

# e-GPS 即時動態定位系統 坐標轉換最佳化之研究



內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 101 年 12 月

# e-GPS 即時動態定位系統 坐標轉換最佳化之研究

研究人員：

技士	黃華尉
技士	湯凱佩
技正	林文勇
隊長	劉至忠
副主任	鄭彩堂

中華民國 101 年 12 月



**101—301000100G—0001**

**Ministry of the Interior  
Research Project Report**

**The Study of Finding the Optimized  
Coordinate Transfer model by e-GPS  
Real-Time Dynamic Positioning  
System**

**By**

**Hua Wei Huang**

**Kai Pei Tang**

**Wen Yong Lin**

**Zhi Zhong Liu**

**Tsai Tang Cheng**

**December, 2012**



# 目 錄

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄 .....	VI
摘要.....	VII
第一章 緒論 .....	1
第一節 緣起及背景.....	1
第二節 研究動機及目的.....	2
第二章 研究方法與流程.....	3
第一節 研究方法.....	3
第二節 研究流程.....	5
第三節 預期成果.....	5
第三章 大地基準及坐標系統.....	6
第一節 大地基準簡述.....	6
第二節 臺灣地區坐標系統概述 .....	10
3-2-1 TWD97 大地基準及坐標系統.....	10
3-2-2 一九九七坐標系統 2010 年成果 .....	11
第三節 臺灣地區控制點變動現況 .....	12
3-3-1 衛星追蹤站 .....	12
3-3-2 一、二、三等衛星控制點.....	14
第四章 e-GPS 即時動態定位系統.....	17
第一節 e-GPS 即時動態定位系統發展概述 .....	17
4-1-1 虛擬基準站即時動態定位技術 .....	18
4-1-2 e-GPS 定位系統基本功能架構.....	20

4-1-3	e-GPS 坐標系統 .....	24
4-1-4	e-GPS 定位成果精度分析與使用限制 .....	26
第二節	e-GPS 即時動態定位系統之相關應用 .....	27
第三節	e-GPS 基準站變動分析 .....	31
第五章	坐標轉換之研究 .....	43
第一節	坐標轉換模式 .....	44
5-1-1	七參數卡式坐標 3 維轉換 .....	45
5-1-2	六參數最小二乘配置轉換模式 .....	46
第二節	e-GPS 坐標系統與 TWD97[2010]間轉換 .....	48
5-2-1	七參數坐標轉換 .....	50
5-2-2	六參數最小二乘配置轉換 .....	56
5-2-3	兩種轉換模式之比較 .....	60
5-2-4	全區與分區轉換之比較 .....	63
5-2-5	包含其他變動因素的坐標轉換 .....	68
第六章	加入速度場資料之轉換分析 .....	79
第一節	坐標轉換與速度場 .....	79
第二節	區域型內插模式轉換 .....	83
第三節	加入速度場資料的坐標轉換 .....	86
第七章	結論與建議 .....	92
第一節	結論 .....	92
第二節	建議 .....	93
附錄	e-GPS 衛星定位基準站站名與點號對照表 .....	97

## 圖目錄

圖 2-2-1	研究流程圖 .....	5
圖 3-1-1	地球參考框架 ITRF05 與 ITRF00 之轉換參數範例 .....	8
圖 3-1-2	地球參考框架 ITRF00 與 ITRF94 之轉換參數範例 .....	8
圖 3-1-3	獲取點位成果之輸入範例 .....	9
圖 3-1-4	點位坐標成果範例 .....	9
圖 3-3-1	衛星追蹤站坐標差值向量示意圖 .....	13
圖 3-3-2	臺灣地區板塊分布圖 .....	14
圖 3-3-3	臺灣地區衛星控制點平面坐標差值向量示意圖 .....	15
圖 3-3-4	臺灣地區衛星控制點高程方向差值向量示意圖 .....	16
圖 4-1-1	VBS-RTK 定位應用科技領域 .....	18
圖 4-1-2	e-GPS 定位系統組成架構及 VBS-RTK 定位技術示意圖 .....	20
圖 4-1-3	e-GPS 衛星定位基準網絡分布圖 .....	21
圖 4-1-4	e-GPS 定位系統控制及計算中心實景 .....	23
圖 4-1-5	本中心 e-GPS 定位系統服務網劃分示意圖 .....	26
圖 4-2-1	e-GPS 即時動態定位系統之應用領域 .....	30
圖 4-3-1	e-GPS 基準站坐標及速度量解流程圖 .....	32
圖 4-3-2	e-GPS 基準站平面位移速度量及標準偏差示意圖 .....	35
圖 4-3-3	北基桃竹服務網平面位移 N-S 方向 2D&3D 示意圖 .....	36
圖 4-3-4	苗中投服務網平面位移 N-S 方向 2D&3D 示意圖 .....	37
圖 4-3-5	彰雲嘉服務網平面位移 N-S 方向 2D&3D 示意圖 .....	38
圖 4-3-6	南高屏服務網平面位移 N-E 方向 2D&3D 示意圖 .....	39
圖 4-3-7	臺東服務網平面位移 N-E 方向 2D&3D 示意圖 .....	40
圖 4-3-8	花蓮服務網平面位移 N-S 方向 2D&3D 示意圖 .....	41
圖 4-3-9	宜蘭服務網平面位移 N-S 方向 2D&3D 示意 .....	42
圖 5-2-1	基準站 e-GPS 坐標與 TWD97[2010]坐標成果較差向量示意圖 .....	49

圖 5-2-2	基本控制點分布及其 e-GPS 及 TWD97[2010]坐標較差示意圖 .....	50
圖 5-2-3	待轉換點轉換後坐標與參考值較差各量級數量統計直方圖 .....	55
圖 5-2-4	待轉換點轉換後坐標與參考值較差各量級數量統計直方圖 .....	55
圖 5-2-5	各轉換分區待轉換點轉換後坐標與實測坐標較差平均值示意圖 .....	59
圖 5-2-6	待轉換點轉換後坐標與實測坐標較差大小分布示意圖 .....	59
圖 5-2-7	不同轉換模式之待轉換點較差 N、E 分量散佈圖 .....	61
圖 5-2-8	不同轉換模式之待轉換點較差 h 分量各區間點數直方圖 .....	61
圖 5-2-9	兩種轉換模式待轉換點標準化常態分布值直方圖 .....	62
圖 5-2-10	各分區待轉換點轉換後坐標較差中誤差比較圖 .....	65
圖 5-2-11	全區與分區轉換結果比較—待轉換點 N、E 分量較差散佈圖 .....	66
圖 5-2-12	全區與分區轉換結果比較—各分量較差區間個數統計直方圖 .....	66
圖 5-2-13	全區與分區轉換結果比較—各分量標準化常態分布值直方圖 .....	67
圖 5-2-14	待轉換點（99 年檢測成果）轉換後坐標與 TWD97[2010]公告坐標間較差之各區間點數統計直方圖 .....	70
圖 5-2-15	待轉換點（97 年檢測成果）轉換後坐標與 TWD97[2010]公告坐標間較差之各區間點數統計直方圖 .....	70
圖 5-2-16	待轉換點（99 年檢測成果）轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖 .....	71
圖 5-2-17	彰雲嘉區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖 .....	72

圖 5-2-18	基北桃竹區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖.....	72
圖 5-2-19	苗中投區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖.....	73
圖 5-2-20	南高屏區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖.....	73
圖 5-2-21	花蓮區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖 .....	74
圖 5-2-22	宜蘭區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖 .....	74
圖 5-2-23	台東區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖 .....	75
圖 5-2-24	花蓮服務網小區域坐標轉換區域劃分示意圖.....	76
圖 5-2-25	待轉換點轉換後坐標與公告坐標間較差之 N、E 分量散佈圖 .....	77
圖 5-2-26	待轉換點轉換結果與公告坐標之各較差區間點數統計直方圖 .....	78
圖 6-1-1	速度場對坐標轉換的影響.....	80
圖 6-1-2	不同時刻坐標系統之轉換模式示意圖.....	82
圖 6-2-1	普通克利金法一半變異元圖範例 .....	85

## 表 目 錄

表 3-3-1	衛星追蹤站坐標差值比較表 .....	13
表 4-1-1	臺灣本島地區 e-GPS 坐標系統基本定義表 .....	25
表 4-1-2	e-GPS 定位成果精度成果分析一覽表 .....	26
表 4-3-1	e-GPS 基準站 TWD97[2010]速度量及標準偏差一覽表 .....	33
表 5-2-1	七參數轉換—各分區轉換共同點及坐標轉換中誤差 .....	51
表 5-2-2	各分區待轉換點轉換後坐標與參考值坐標較差平均值 .....	52
表 5-2-3	各轉換分區待轉換點較差標準偏差及較差值區間一覽表 .....	54
表 5-2-4	六參數最小二乘配置轉換--各分區轉換共同點及坐標轉換 中誤差 .....	57
表 5-2-5	各轉換分區待轉換點較差標準偏差及較差值區間一覽表 .....	58
表 5-2-6	兩種轉換模式全區轉換成果標準偏差及較差平均值 .....	60
表 5-2-7	97、99 年檢測成果轉換至 TWD97[2010]坐標系統成果比 較表.....	69
表 5-2-8	全區、小分區轉換成果與 TWD97[2010]公告坐標成果較 差分析 .....	77
表 6-3-1	六參數轉換之直接轉換及間接轉換成果表 .....	87
表 6-3-2	七參數轉換之直接轉換及間接轉換成果表 .....	87
表 6-2-3	九參數轉換之直接轉換及間接轉換成果表 .....	88
表 6-3-4	花蓮地區 168 點坐標轉換成果表 .....	90
表 6-3-5	苗中投地區 183 點坐標轉換成果表 .....	90

# 摘要

關鍵詞：坐標轉換、速度場、e-GPS、即時動態定位、VBS-RTK

## 一、研究緣起

內政部國土測繪中心自 93 年度起採用先進的虛擬基準站即時動態定位技術，建置「全國性 e-GPS 衛星定位基準站即時動態定位系統」，目前在臺、澎、金、馬任何地點在極短的時間內，依使用者需求，獲得公分級精度等級的即時動態定位服務。e-GPS 即時動態定位系統需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，須有高精度的坐標來維持各基準站間相對關係之正確性，故坐標系統須定期更新坐標，以作為進行即時動態定位之坐標基準平臺，然而此做法將引發後續坐標系統間包括區域性與時間性等極為複雜之整合性議題。

e-GPS 即時動態定位系統的運作方式，是接收各地基準站觀測資料後，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，本中心已自行定義 1 套以時間為函數之 e-GPS 坐標系統，本研究主要目標是因應各基準站 e-GPS 坐標須維持高相對精度而持續更新，分析坐標更新後對於臺灣各地區系統使用者獲得之即時動態定位成果有何直接影響，研議更新前後動態定位坐標成果之整合方式，期能提出各系統間坐標成果轉換之最佳方案。

## 二、研究方法與過程

### (一) 資料蒐集：

蒐集本中心 e-GPS 即時動態定位系統應用研究報告及國內外坐標轉換相關研究文獻，了解即時動態定位技術與連續觀測

站資料相關應用現況，及目前測繪業務上常用的坐標轉換方式，另蒐集本中心近年 e-GPS 基準站解算成果及辦理基本控制點檢測作業成果，作為後續研究分析之資料。

#### (二) 實驗資料預處理：

本研究主要採用臺灣本島地區基準站觀測資料、解算成果及基本控制點檢測成果作為實驗資料，來源資料可能分屬不同年度、不同作業計畫或採不同施測方式，且原始觀測資料坐標成果數量高達數萬筆以上，需進行粗差偵錯及初步成果解算，以提高實驗數據之正確性，以提供後續研究分析使用。

#### (三) 成果分析及驗證：

針對作業區劃分、轉換模式選用、共同點選擇及加入速度場資料等可能影響轉換結果之因素，進行分析研究，除使用本中心現有相關應用程式外，並針對本研究內開發之專案計算模組或工具程式，以近期檢測成果為依據進行驗證，據以評估各種轉換方式之優劣。

### 三、重要發現

(一) 自每天解算之各衛星定位基準站坐標數據，發現基北桃竹、苗中投及彰雲嘉服務網屬相對變化少，精度穩定之服務網；而南高屏、台東、宜蘭及花蓮服務網，則屬相對變化不規則之服務網，其基準站坐標之更新機制需謹慎評估。

(二) 利用 e-GPS 系統基準站作為坐標轉換之共同點，並依現行服務網劃分，採用七參數或六參數最小二乘配置轉換模式時，轉換共同點坐標直接採用基準站更新前後坐標，待轉換點轉換後坐標平面分量精度約可達到 0.02 公尺、高程分

量為 0.05 公尺，求得之轉換參數精度應可符合大部份測繪業務使用。

- (三) 選用基準站不同年度(97、99 年度)的坐標及控制點檢測成果進行坐標轉換結果比較，發現坐標更新間隔時間僅約 1 年半，幾何相對關係已有明顯改變，而採用小分區進行坐標轉換，可提升坐標轉換成果精度，其原因應與小區域基準站、待轉換點變動情形較一致等因素有關。
- (四) 加入速度場資料輔助坐標轉換計算，以速度量將基準站坐標推算至相同時刻後再轉換，可消除較多的形變誤差，對於具有實際速度場資料之點位，在平面分量上的轉換結果相對有明顯精度提升；但實務上利用 e-GPS 系統定位外業觀測之點位並無實際的速度場資料，若以克利金模式內插出該點位之速度量後加入計算，可能因為速度場資料不足無法獲得較佳的轉換成果。

#### 四、主要建議事項

- (一) e-GPS 動態定位系統基準站坐標更新後，利用 e-GPS 基準站作為坐標轉換之共同點，精度約可達 2 公分等級，已符合大多數測繪業務的需求，選用較小的轉換區域可降低區域內相對關係變動不一致所造成的影響，可獲得較符合新坐標系統相對關係的轉換成果。
- (二) 使用最小二乘配置法可假設觀測量無粗差存在，經過計算後不會有改正數存在，共同點坐標值不會因為平差計算後而變更，因此基本控制點間的坐標轉換計算，可優先選用加入最小二乘配置法的轉換模式。

(三) 在進行不同時間坐標系統之轉換時，可採用分區並以直接轉換方式進行，當分區中有精準的速度場模型時，再考量間接轉換的方式。

(四) 後續研究可彙整各機關所建置之連續觀測站資料或大範圍控制點檢測成果等資料，建立長期地殼變動、速度場等資訊，對於建立一組臺灣全區適用之最佳坐標轉換模式，應有實質之幫助。

## ABSTRACT

Keyword : Coordinate Transfer, Velocity Field, e-GPS, Real-Time Dynamic Positioning System, VBS-RTK

The e-GPS real-time dynamic positioning system services established by National Land Surveying and Mapping Center(NLSC) can provide the error fix data and the high accuracy positioning coordinates on the overlap serving regions. Because of maintaining the correct relationship between CORS is necessary, we have to update the CORS' coordinates regularly, but each change will lead to different coordinate transfer parameters. This study is based on the CORS' data and the 1<sup>st</sup> to 3<sup>rd</sup> order satellite control points. We choose different impacts, such as working area, transfer model, control points and velocity field data to analysis. We find the result of using the CORS' of e-GPS stations as control points and six parameter least squares conversion model can fit most surveying works, which the accuracy of horizontal and vertical is about 0.02m and 0.05m. We also use velocity field data to get higher accuracy transfer model on horizontal direction. If we get more data from CORS and satellite control points in the future, we can establish optimized transfer model on the island of Taiwan.

# 第一章 緒論

## 第一節 緣起及背景

內政部國土測繪中心（以下簡稱本中心）自 93 年度起採用先進的虛擬基準站即時動態定位技術（Virtual Base Station Real-Time Kinematic, VBS-RTK），建置「全國性 e-GPS 衛星定位基準站即時動態定位系統」，（以下簡稱 e-GPS 定位系統）透過全國各地所建置之 78 處衛星定位基準站（以下簡稱基準站）每天 24 小時每秒連續接收 GPS 衛星資料，即時傳回位於本中心辦公區的控制及計算中心，進行資料自動化處理後，目前在臺、澎、金、馬任何地點在極短的時間內，可獲得公分級精度等級的即時動態定位服務。

e-GPS 定位系統經本中心自 94 年 4 月起於臺灣中、北部地區進行一系列相關測試結果[內政部國土測繪中心，2006]，已證實 VBS-RTK 定位成果精度在平面方向優於 2 公分，高程方向優於 5 公分，可明顯提升加密控制測量及相關應用測量之產能及效率，節省作業成本。惟 e-GPS 定位系統需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，須有高精度的坐標來維持各基準站間相對關係（1 公分）之正確性，而臺灣地區因位處於地殼變動劇烈地帶，區域性之地表位移量各地均有明顯差異，故本中心 e-GPS 定位系統之坐標系統（以下簡稱 e-GPS 坐標），須定期更新坐標，以作為進行即時動態定位之坐標基準平臺，然而此做法將引發後續坐標系統間包括區域性與時間性等極為複雜之整合性議題。

## 第二節 研究動機及目的

本中心 e-GPS 定位系統的運作方式，是接收各地基準站觀測資料後，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。就整體坐標系統之一致性考量，e-GPS 坐標系統應以內政部 87 年度公佈 TWD97 國家坐標系統為基礎，不僅可以避免坐標系統轉換所衍生之轉換誤差，亦可達到使用上之便利性。惟臺灣地區因位於地殼變動劇烈地帶，造成各地區域性之地表位移量有明顯差異，也因此造成各基準站間坐標相對精度將於一段時間後不敷進行相關資料解算。目前本中心係自行定義 1 套以時間為函數之 e-GPS 坐標系統，而各基準站之坐標須定期進行更新，以維持 e-GPS 定位系統之運作。

本研究主要目的是因應各基準站 e-GPS 坐標須維持高相對精度而持續更新，分析坐標更新後對於臺灣各地區系統使用者獲得之即時動態定位成果有何直接影響，研議更新前後動態定位坐標成果之整合方式。本研究規劃採用本中心基準站更新前後之不同坐標系統，分別施測臺灣地區選定均勻分布之已知基本控制點、基準站鄰近已知控制點，蒐集各基本控制點相關動態定位成果，並蒐集 97 至 99 年度三等控制點速度場測量成果，進行評估分析基準站坐標變動影響之研究，期能提出各系統間坐標成果轉換之最佳方案，供各界參考使用。

## 第二章 研究方法與流程

### 第一節 研究方法

#### 一、資料蒐集

蒐集本中心 e-GPS 定位系統應用研究報告及國內外坐標轉換相關研究文獻，了解即時動態定位技術與連續觀測站資料相關應用現況，及目前測繪業務上常用的坐標轉換方式，另蒐集本中心近年 e-GPS 基準站解算成果及辦理基本控制點檢測作業成果，作為後續研究分析之資料。

#### 二、實驗資料預處理

本研究主要採用臺灣本島地區基準站觀測資料、解算成果及基本控制點檢測成果作為實驗資料，來源資料可能分屬不同年度、不同作業計畫或採不同施測方式，且原始觀測資料坐標成果數量高達數萬筆以上，需進行粗差偵錯及初步成果解算，提高實驗數據之正確性。另外，各項成果使用之參考坐標系統包括：(1) 內政部公告 TWD97 坐標系統 (2) 內政部公告 TWD97[2010]坐標系統 (3) 本中心 e-GPS 坐標系統，後續研究所需之坐標轉換共同點及待轉換點，亦須事先從不同坐標系統測量成果比對彙整後，帶入不同轉換方式進行分析研究，以驗證不同轉換模式之可行性。

#### 三、工具程式開發

除了選用不同作業區、轉換數學模式外，本研究將嘗試加入速度場資料、內插模式，期能提升轉換結果精度及可用性，除使用本中心現有相關應用程式外，另將針對本研究內容自行

開發專案計算模組或工具程式，以利研究之進行。

#### 四、成果分析及驗證

本研究針對作業區劃分、轉換模式選用、共同點選擇及加入速度場輔助資料等可能影響轉換結果之因素，進行分析研究，並以近 5 年檢測成果為依據進行驗證，據以評估各種轉換方式之優劣。

#### 五、撰寫研究報告

依據內政部自行研究案報告書製作標準格式，辦理「e-GPS 即時動態定位系統坐標轉換最佳化之研究」研究報告書撰寫製作。

## 第二節 研究流程

本研究流程主要分為 6 部分(如圖 2-2-1)，分別為研究計畫擬定、資料蒐集、實驗資料預處理、工具程式開發、成果分析與驗證、撰寫研究報告書等。

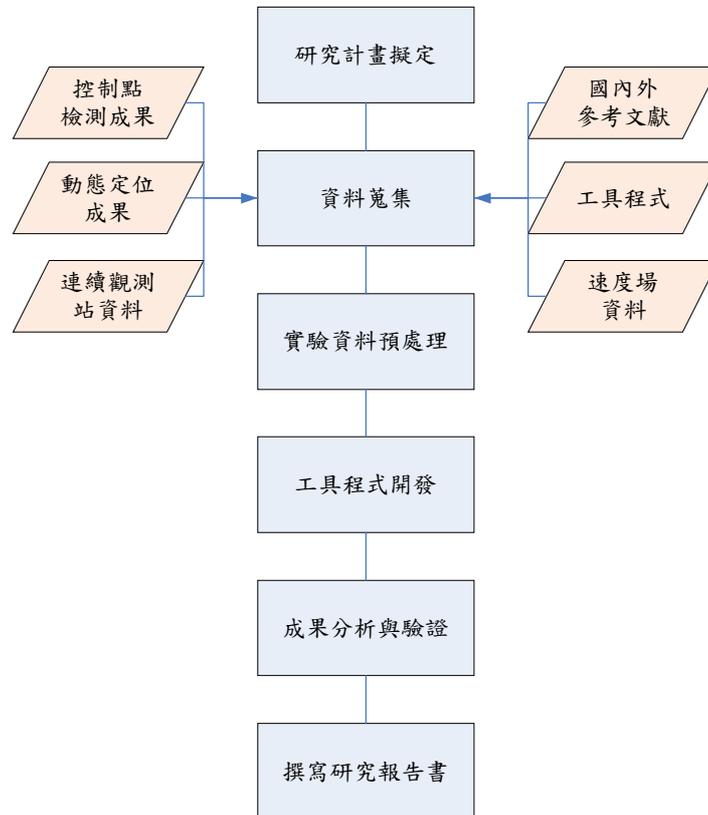


圖 2-2-1 研究流程圖

## 第三節 預期成果

本研究預期成果如下：

- 一、解算 e-GPS 基準站每日觀測資料，分析各服務網基準站變動情形，作為後續基準站坐標之更新機制評估參考。
- 二、採用 e-GPS 基準站作為坐標轉換之共同點，針對作業區劃分、轉換模式選用、共同點選擇及加入速度場輔助資料等可能影響轉換結果之因素，進行分析研究，期能求得最佳轉換模式供測繪業務參考使用。

## 第三章 大地基準及坐標系統

### 第一節 大地基準簡述

制定大地基準是作為大地測量計算時的參考依據。傳統上，大地測量學家利用天文觀測的方法測得地面的絕對位置，以三角、三邊或是角邊混合的方式來決定地面點間的相對位置，採用直接高程測量或間接高程測量來求取地面的高程，並將平面與高程分開計算，所採用的參考系統亦不同（平面為旋轉橢球體、高程為大地水準面），平面與高程坐標往往由於缺乏足夠資訊亦無法關聯起來，而且基於各地區實用上的考量，所選擇的坐標參考系統也常有不一致的情形。但隨著衛星定位技術的快速發展，採用全球性三維坐標系已成為趨勢。

傳統的大地基準基於一些物理因素及決定地球形狀的歷史性發展，劃分為平面基準與高程基準，平面基準採用旋轉橢球體，高程基準則採用大地水準面當作計算的依據。雖然平面坐標上選用的旋轉橢球體多採用最接近地球形狀的旋轉橢球體，各別的區域有時為了使其基本控制網涵蓋地區的橢球體能與相對應之大地水準面有一最佳套合，省去不必要的化算或化算時的精度損失，也可能會選擇區域性的橢球體。全球性的旋轉橢球體均參考於一全球性的地心坐標系—協議的地球坐標系（Conventional Terrestrial System, CTS）或稱地心地固坐標系（Earth Centered Earth Fixed Coordinate System）來決定其空間中的位置與方位，其定義如下：原點為地球質量中心；Z 軸則是由地心到國際時間局（BIH）所定義 CTP（Conventional Terrestrial Pole）方向，此軸為地球最大主慣性軸；X 軸為由地心指

向地球平均赤道面與格林威治平天文子午圈之交點，平天文子午圈為由 BIH 界定之一虛擬均勻轉動之零子午圈；Y 軸則與 X、Z 軸正交面構成一右旋系統。決定了旋轉橢球體中心於 CTS 的位置後，再以長半徑與扁率來定義橢球體的幾何量，以地球重力場模式、重力常數與地球自轉速率表示其物理量，並定義選用的橢球體。定義了參考橢球體後，一個區域性平面坐標基準還需要選擇區域大地基準原點坐標，並且要觀測計算該區域大地基準原點相對於一參考點位的方位角，且須計算區域大地基準原點的大地起伏值和垂線偏差。依據這些資料，區域內各點坐標可由三角測量、三邊測量、導線測量或其他測量方法所得之觀測量經化算及平差計算後得到各點之坐標。而各點高程則由水準測量、三角高程測量等經化算、改正後得到。

衛星定位參考坐標系為一全球性的三維坐標系，其參考橢球為 WGS84 (World Geodetic System 1984) 橢球體，ITRF (International Terrestrial Reference Frame) 定義了其坐標軸和坐標原點。和傳統大地坐標不同的是衛星定位坐標為幾何面的三維坐標，而傳統大地坐標卻分成二維位置坐標和一維的高程坐標，兩者的參考面不同。由於坐標系統會因選用的旋轉橢球體 (中心位置、大小、方位) 依不同年代、不同決定方法而不同，因此，各地區之大地基準常必須明確說明其所依據的橢球大小、位置及方位，這些量會隨著測量方法與技術的進步而會更精確地被重新決定，換言之，大地基準的值是會改變的。

前述 ITRF 係由 IERS (International Earth Rotation and Reference System Service) 負責建立及維護，為全球性三維坐標系統，利用全球各地衛星追蹤站資料，計算求得點位精確絕對坐標。目前定義包

含 ITRF88-97、2000、2005 及 2008，框架間則提供七參數以進行坐標轉換(如圖 3-1-1 及圖 3-1-2)。

### Transformation Parameters between ITRF2005 and ITRF2000

14 transformation parameters between ITRF2005 and ITRF2000 have been estimated and listed in Table 1, using 70 stations listed in Table 2 and located at sites shown on Figure 2.

	T1	T2	T3	D	R1	R2	R3
	mm	mm	mm	10 <sup>-9</sup>	mas	mas	mas
	0.1	-0.8	-5.8	0.40	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012
<b>Rates</b>	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0.000	0.000	0.000
+/-	0.3	0.3	0.3	0.05	0.012	0.012	0.012

Table 1: Transformation parameters at epoch 2000.0 and their rates from ITRF2005 to ITRF2000 (ITRF2000 minus ITRF2005)

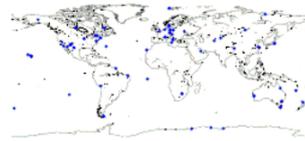


Figure 2: Sites used in the estimation of the transformation parameters between ITRF2005 and ITRF2000

圖 3-1-1 地球參考框架 ITRF05 與 ITRF00 之轉換參數範例(出處為 ITRF 網站)

```

File : ITRF.TP
TRANSFORMATION PARAMETERS AND THEIR RATES FROM ITRF2000 TO PREVIOUS FRAMES
(See Note Below)
-----
SOLUTION      T1    T2    T3    D    R1    R2    R3    EPOCH  Ref.
UNITS-----> cm    cm    cm    ppb  .001" .001" .001"          IERS Tech.
                |    |    |    |    |    |    |    |    |
RATES         T1    T2    T3    D    R1    R2    R3
UNITS-----> cm/y  cm/y  cm/y  ppb/y .001"/y .001"/y .001"/y
-----
ITRF97      0.67  0.61 -1.85  1.55  0.00  0.00  0.00  1997.0  27
rates      0.00 -0.06 -0.14  0.01  0.00  0.00  0.02
ITRF96      0.67  0.61 -1.85  1.55  0.00  0.00  0.00  1997.0  24
rates      0.00 -0.06 -0.14  0.01  0.00  0.00  0.02
ITRF94      0.67  0.61 -1.85  1.55  0.00  0.00  0.00  1997.0  20
rates      0.00 -0.06 -0.14  0.01  0.00  0.00  0.02
ITRF93      1.27  0.65 -2.09  1.95 -0.39  0.80 -1.14  1988.0  18
rates      -0.29 -0.02 -0.06  0.01 -0.11 -0.19  0.07
ITRF92      1.47  1.35 -1.39  0.75  0.00  0.00 -0.18  1988.0  15
rates      0.00 -0.06 -0.14  0.01  0.00  0.00  0.02
ITRF91      2.67  2.75 -1.99  2.15  0.00  0.00 -0.18  1988.0  12
rates      0.00 -0.06 -0.14  0.01  0.00  0.00  0.02
ITRF90      2.47  2.35 -3.59  2.45  0.00  0.00 -0.18  1988.0  9
rates      0.00 -0.06 -0.14  0.01  0.00  0.00  0.02
ITRF89      2.97  4.75 -7.39  5.85  0.00  0.00 -0.18  1988.0  6
rates      0.00 -0.06 -0.14  0.01  0.00  0.00  0.02
ITRF88      2.47  1.15 -9.79  8.95  0.10  0.00 -0.18  1988.0  IERS An. Rep.
rates      0.00 -0.06 -0.14  0.01  0.00  0.00  0.02  for 1988

Note : These parameters are derived from those already published in the IERS
Technical Notes indicated in the table above. The transformation parameters
should be used with the standard model (1) given below and are valid at the
indicated epoch.

: XS : : X : : T1 : : D -R3 R2 : : X :
: : : : : : : : : : : :
: YS : = : Y : + : T2 : + : R3 D -R1 : : Y :
: : : : : : : : : : : :
: ZS : : Z : : T3 : : -R2 R1 D : : Z :

```

(1)

圖 3-1-2 地球參考框架 ITRF00 與 ITRF94 之轉換參數範例(出處為 ITRF 網站)

因各地衛星追蹤站隨地殼變動而改變其坐標，故 IERS 除提供點位坐標之參考框架定義及起算時間外(如圖 3-1-3)，亦包含點位坐標變動之速度場值(如圖 3-1-4)。

## ITRF station positions & velocities

This page extracts positions and velocities of the selected points from an ITRF solution at any epoch. Follow the [guidelines](#). If you request a SINEX file, you will be informed by email when the SINEX is ready to be downloaded on the LAREG ftp server.

Choose an ITRF

Choose the epoch  format : yyyy/mm/dd

Choose the file format

Your e-mail (only if you order a SINEX file)



圖 3-1-3 獲取點位成果之輸入範例(出處為 ITRF 網站)

DATA SET EXPRESSED IN ITRF2005 FRAME  
STATION POSITIONS AND VELOCITIES AT EPOCH 2010/01/01

DOMES NB	SITE NAME	ID	SOLN	X/Vx	Y/Vy	Z/Vz	SIGMA x/vx	SIGMA y/vy	SIGMA z/vz
				m-m/y	m-m/y	m-m/y	m-m/y	m-m/y	m-m/y
21605M002	SHANGHAI	SHAO	1	2831733.652	4675665.890	3275369.363	0.002	0.002	0.002
				-0.0297	-0.0114	-0.0120	0.0002	0.0002	0.0002
21609M001	KUNMING	KUNM	1	-1281255.882	5640746.095	2682879.910	0.002	0.004	0.002
				-0.0317	0.0035	-0.0147	0.0002	0.0005	0.0003

圖 3-1-4 點位坐標成果範例(出處為 ITRF 網站)

隨著國際地球參考框架之更新，納入並解算獲得固定坐標值之衛星追蹤站數量亦逐漸增加，鄰近臺灣地區之國際站數量隨參考框架之更新而增加，可選擇之國際站亦越能符合臺灣地區之變動特性。

## 第二節 臺灣地區坐標系統概述

### 3-2-1 TWD97 大地基準及坐標系統

內政部於 87 年 3 月 17 日台(87)內地字第 8781107 號函公布大地基準選定之衛星追蹤站 8 站、一等衛星控制點 105 點成果及以 87 年 11 月 2 日台(87)內地字第 8778548 號函公布二等衛星控制點 621 點成果，係採用 ITRF94 國際地球參考框架，方位採國際時間局(BIH)定義在 1984.0 時刻之方位，參考橢球體用 GRS80，且坐標時間點為 1997.0 時刻，地圖投影採用橫麥卡托(Transverse Mercator)投影經差 2 度分帶。臺灣、小琉球、綠島、蘭嶼及龜山島等地區其中央子央線定於東經 121 度，澎湖、金門及馬祖等地區中央子央線定於東經 119 度，投影原點均為向西平移 25 萬公尺，中央子午線尺度則為 0.9999，名稱定為「1997 臺灣大地基準(TWD97)」，嗣於 96 年 11 月 15 日台內地字第 0960173460 號令訂定之基本測量實施規則第 6 條內明定，為現行之國家坐標系統(TWD97)。

有關大地基準之計算，係選用國內陽明山、鳳林、太麻里、北港、成功大學、墾丁、金門、馬祖、東沙等 9 站，與國際站 DS10、FAIR、KOKR、YAR1、GUAM、SHAO、TAIW、USU3 等 8 站共 17 站，取得 84 年 4 月 10 日至 87 年 8 月 31 日間觀測成果進行每日基線計算，再結合 13 個國際核心站及全球 51 個國際網測站之計算成果進行整合平差計算，最後固定 HART(南非)、DS42(TIDB 澳洲)、YELL(北美)及 WTZR(歐洲)等站坐標值，計算並公布鳳林、墾丁、北港、太麻里、陽明山、金門、馬祖及東沙等 8 個追蹤站坐標，作為大地基準選用之衛星追蹤站。

一等衛星控制點計公布 105 點，坐標值係以前述 8 個衛星追蹤站 ITRF94 1997.0 時刻(epoch)坐標為固定框架，採用 Bernese 4.0 軟體進行計算得到整體平差成果。至二等衛星控制點計公布 621 點，其中 619 點坐標值係以一等衛星控制點坐標為框架，採用 GPSurvey 2.20 及 TurboNet 軟體進行平差計算；南沙地區 2 點之坐標值則以 8 個衛星追蹤站坐標為框架，採用 Bernese 4.0 進行平差計算。

另本中心於 84 年起至 92 年止，整體規劃利用衛星定位測量技術測設三等控制點，以加密基本控制點之密度，方便各測量作業引用，計測設三等控制點 4,710 點。配合內政部 87 年公布之一、二等衛星控制點，採用 TWD97 坐標系統重新改算，建立維護完整、統一且高精度之衛星控制點坐標系統。

### 3-2-2 一九九七坐標系統 2010 年成果

有鑒於臺灣位於板塊碰撞劇烈地帶，衛星追蹤站及各級衛星控制點因地域不同，亦各隨之不規則地變動其位置，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 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」，並歷經 5 次會議討論，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(以下簡稱為 TWD97[2010]成果)。

內政部於前述會議第 2 次會議決議，交由本中心辦理「2010 年國內 GPS 連續觀測站資料解算工作」及「一九九七坐標系統之 2010 年成果」，本中心完成選取大地基準之衛星追蹤站與一等衛星控制點(GPS 連續站)之評估，配合 99 年度莫拉克風災基本控制點檢測及 100

年度臺灣本島北部地區之一、二及三等衛星控制點檢測作業，經平差解算後陳報內政部，以 101 年 3 月 30 日台內地字第 1010137288 號公告 TWD97[2010]成果，包括衛星追蹤站 18 站、一等衛星控制點(GPS 連續站)219 點、一等衛星控制點 105 點、二等衛星控制點 569 點及三等衛星控制點 2,102 點，共計 3,013 點。

### 第三節 臺灣地區控制點變動現況

TWD97 及 TWD97[2010] 採用相同之坐標系統，惟選用國際站之點位不同，坐標之時刻亦不相同，以下分別就大地基準選用之衛星追蹤站及一、二、三等衛星控制點之 TWD97 與 TWD97[2010]坐標差值分別說明。

#### 3-3-1 衛星追蹤站

大地基準於 87 年選用鳳林、墾丁、北港、太麻里、陽明山、金門、馬祖及東沙等 8 站，並於 921 地震後修正北港及太麻里 2 站坐標，本次公告之大地基準站亦包含此 8 站，有關此 8 站 2 次公告坐標之差值向量(TWD97[2010]-TWD97)如圖 3-3-1，坐標差值比較表如表 3-3-1。

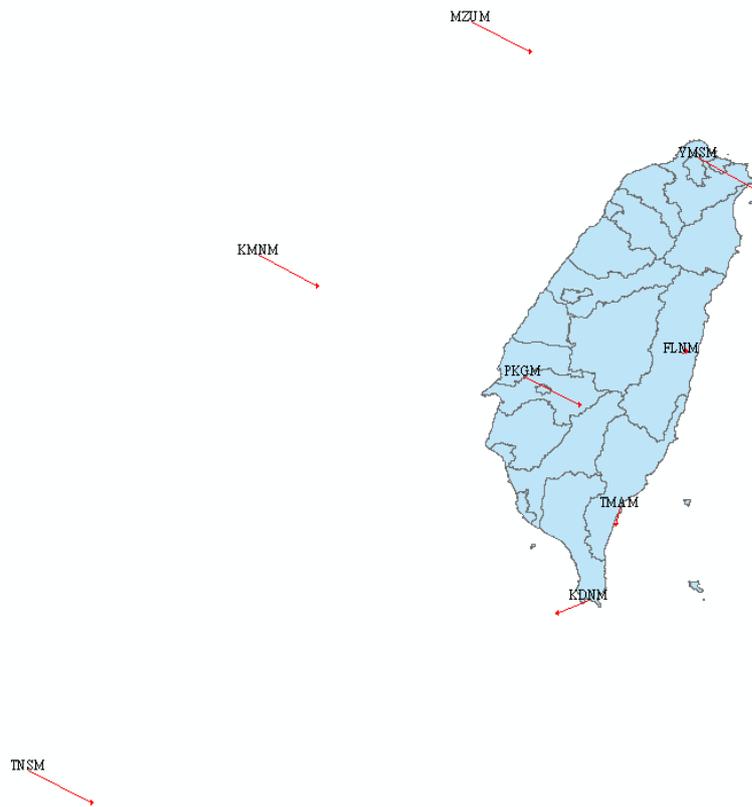


圖 3-3-1 衛星追蹤站坐標差值向量示意圖

表 3-3-1 衛星追蹤站坐標差值比較表

點位名稱	點號	TWD97[2010]-TWD97 坐標差值		
		縱坐標(公分)	橫坐標(公分)	高程(公分)
金 門	KMM	-23.6	43.5	-2.4
馬 祖	MZUM	-22.0	43.1	-2.0
北 港	PKGM	-21.8	41.5	-37.8
東 沙	TNSM	-23.5	41.1	1.3
陽明山	YMSM	-23.5	46.5	-3.4
鳳 林	FLNM	1.8	4.6	-12.0
墾 丁	KDNM	-10.3	-24.1	0.5
太麻里	TMAM	-13.0	-3.9	-5.1

因臺灣地區位屬不同板塊(如圖 3-3-2)，金門、馬祖、北港、陽明山、及東沙等站位於歐亞大陸板塊，坐標變化大致相同，而鳳林、墾丁及太麻里等站受板塊間互動影響，坐標變化情形不甚相同，顯見板塊運動對點位坐標之影響甚鉅。

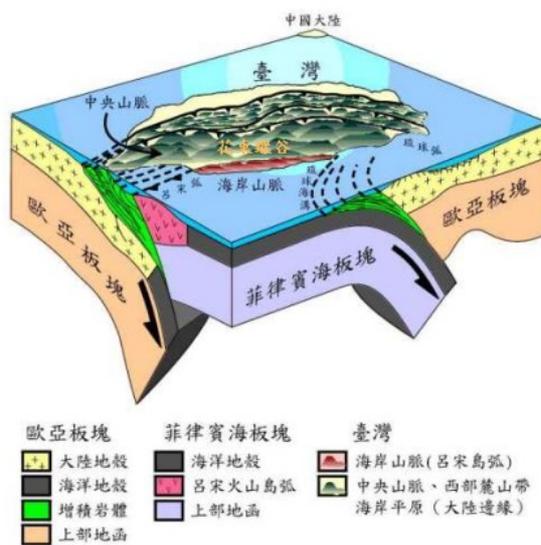
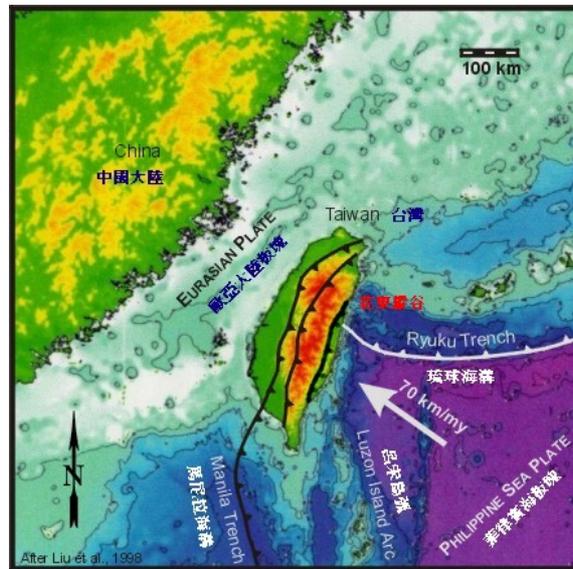


圖 3-3-2 臺灣地區板塊分布圖(出處為教育部數位教學入口網)

### 3-3-2 一、二、三等衛星控制點

比較臺灣本島現有使用公告點位之 TWD97 坐標，與本次公告坐標之差異，分析具有 TWD97 及 TWD97[2010]坐標之點位，平面坐標變化情形如圖 3-3-3，高程方向變化情形如圖 3-3-4。

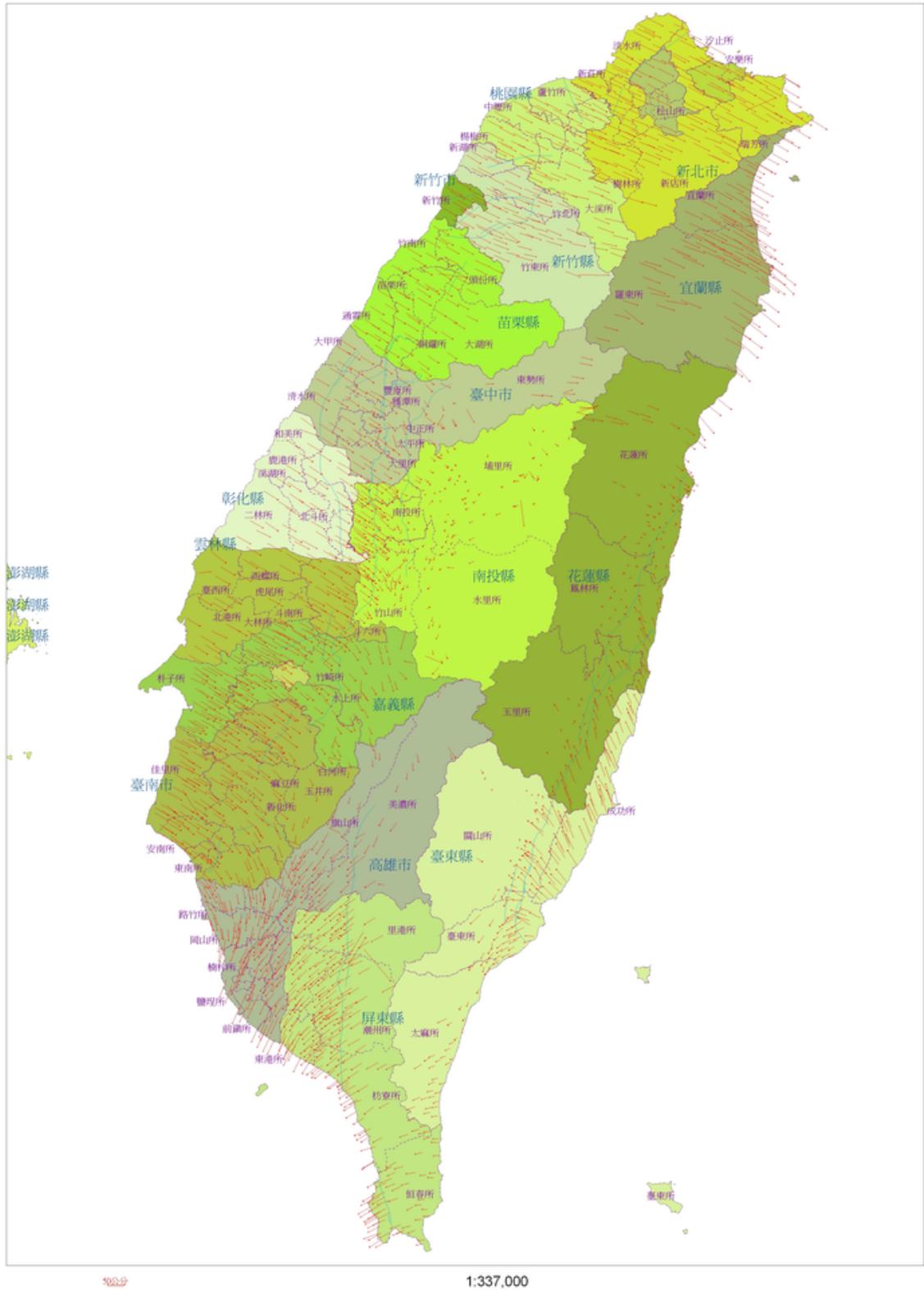


圖 3-3-3 臺灣地區衛星控制點平面坐標差值向量示意圖

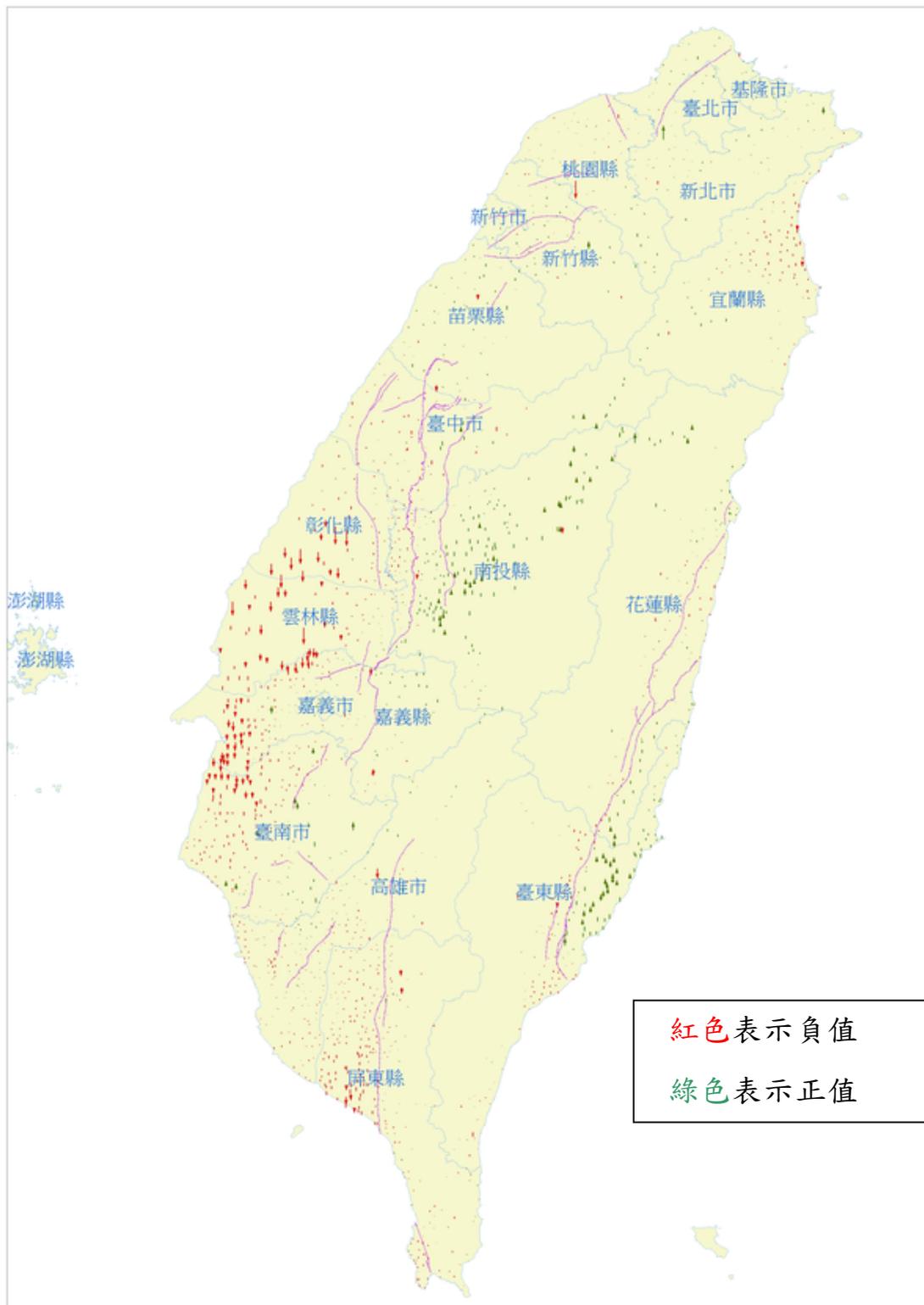


圖 3-3-4 臺灣地區衛星控制點高程方向差值向量示意圖

## 第四章 e-GPS 即時動態定位系統

### 第一節 e-GPS 即時動態定位系統發展概述

由於網際網路及無線數據通訊傳輸技術蓬勃發展，即時動態定位（RTK）已成為國際測繪及定位技術之主流，特別是結合衛星定位基準網及虛擬基準站（Virtual Base Station，VBS）之網路化即時動態定位（Network RTK）技術，更是現今世界各先進國家積極運用以建置即時性動態定位系統。

本中心自 93 年度起配合內政部執行國家基本測量發展計畫及國土測繪整合流通系統建置計畫，規劃採用虛擬基準站法 RTK（VBS-RTK）及網路化 DGPS（Network DGPS）即時動態定位技術，於 97 年度完成 e-GPS 定位系統之建置與測試分析作業，並自 98 年 1 月 1 日起，開放提供國內與測繪業務相關公私立機關（構）及學術單位付費使用。透過寬頻網路線路即時傳輸、處理分布於全國各地 78 處衛星基準站衛星觀測資料，進行定位誤差修正模型解算後，使用者在任何地點只要同步接收 5 顆（含）以上 GPS 衛星訊號，即可搭配無線上網數據通訊傳輸，在極短的時間內獲得高精度的定位成果。

e-GPS 定位系統不僅是國內第 1 套完整涵蓋全國範圍且可達公分級精度的即時性動態衛星定位系統；另各基準站每天 24 小時連續接收 GPS 衛星觀測資料，亦是訂定國家測量基準、長期維護國家坐標系統之重要憑藉，更顯現 e-GPS 定位系統之多功能、多目標使用特性。

#### 4-1-1 虛擬基準站即時動態定位技術

VBS-RTK 定位在系統整體運用與資料供應層面上，包括衛星定位、寬頻網路數據通訊、Mobile Phone 行動式數據傳輸、資料儲管及 Web 網站等 5 項主要先進整合技術（如圖 4-1-1），特別是衛星定位部分的關鍵技術，在於精確求解電離層、對流層及衛星軌道所產生的系統誤差影響量。

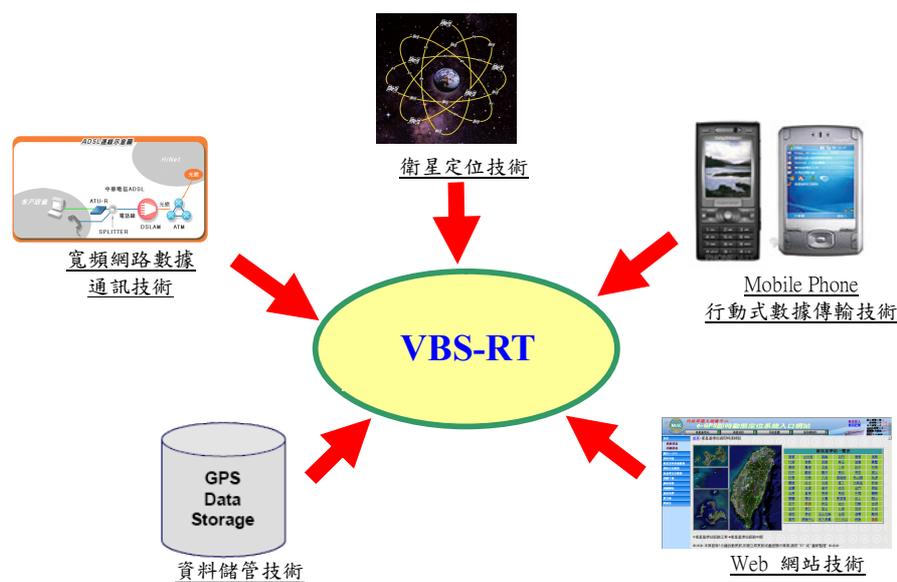
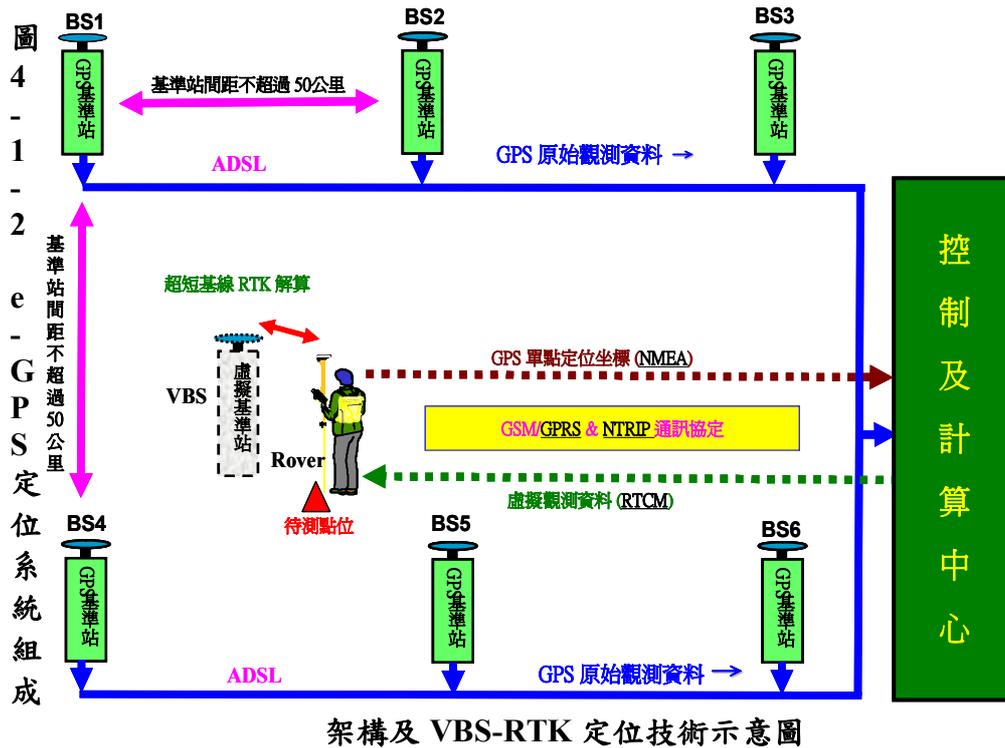


圖 4-1-1 VBS-RTK 定位應用科技領域

傳統單主站 RTK 定位技術最大應用上的瓶頸，在於主站系統誤差改正參數之有效作用距離，因定位誤差的空間相關性，會隨著主站與移動站間距離的增加，而逐漸失去誤差模型的有效性，特別是電離層殘餘誤差。而利用虛擬基準站即時動態定位技術，將可有效增加傳統單主站 RTK 定位之作業範圍，其採用多個衛星定位基準站所組成的 GPS 網絡來估算涵蓋範圍內之定位誤差，配合最鄰近的實體基準站觀測資料，建構虛擬基準站（Virtual Base Station, VBS）作為 RTK 主站使用。因該虛擬基準站與實體移動站間因距離甚短，誤差模型具有高度相關的特性，在 RTK 差分解算的過程中，系統誤

差即可完整地消除，獲得高精度及高可靠度的定位成果。因此，在 VBS-RTK 定位解算過程中，移動站並不是接收某個實際基準站的實際觀測資料，而是接收由控制及計算中心所傳出的虛擬觀測數據，也就是 RTK 主站是經過人工產製的虛擬化基準站，但其意義就如同使用者是接收實體基準站觀測資料一般，這種網路化 RTK 定位技術，稱之為虛擬基準站 RTK 定位技術或簡稱為 VBS-RTK 定位技術。

VBS-RTK 定位技術應用的基本觀念，乃是由多個 GPS 基準站全天候連續地接收衛星資料，經由 ADSL 寬頻網路或其它通訊設備與控制及計算中心連接，即可彙整計算產生區域誤差修正量，並利用移動站單點定位坐標內插計算出虛擬基準站的誤差修正量及虛擬衛星觀測資料。因此，在基準站所構成的基線網範圍內，RTK 使用者只需在移動站上擺設衛星定位接收儀，並將相關定位資訊，透過以全球行動通訊系統 (GSM) 為基礎的整合式封包無線電服務技術 (General Packet Radio Service, GPRS) 或其他無線數據通訊傳輸技術，將 GPS 單點定位坐標成果，依據國際慣用之 NMEA 標準資料格式傳送至控制及計算中心，經透過區域性定位誤差修正量，同步解算獲得該虛擬基準站之虛擬觀測量後，再以「國際海運系統無線電技術委員會」(Radio Technical Commission for Maritime, RTCM) 制定之差分數據標準格式，回傳至移動站衛星定位接收儀進行「超短距離基線」定位解算，獲得 RTK 定位坐標成果。圖 4-1-2 為 e-GPS 定位系統之組成架構示意及 VBS-RTK 動態定位技術解算流程。



#### 4-1-2 e-GPS 定位系統基本功能架構

虛擬基準站即時動態定位系統之基本架構區分為 3 大組成單元：

##### 一、衛星定位基準網

本中心於 92 年度委託財團法人成大研究發展基金會辦理採用虛擬基準站即時動態定位技術之可行性評估及系統整體規劃設計與測試分析等相關研究工作[內政部土地測量局，2004]，研究結果，建議在臺灣本島地區布設衛星定位基準站之最佳間距，以不超過 50 公里為原則。準此，本中心自 93 年度起編列經費展辦全國性 e-GPS 衛星定位基準站建置工作，初期規劃至 95 年度止於臺灣本島及澎湖、金門、綠島、蘭嶼等離（外）島地區建置 66 處基準站，包括 93 年度建置臺灣本島北部地區 23 處基準站，94 年度建置臺灣本島北部地區 20 處基準站，95 年度建置離（外）島及加密臺灣本島地區計 23 處基準站。後續又依本中心陸續辦理實地測試作業之經

驗，於 96 年度針對沿海與高山地區辦理衛星定位基準站加密，最終完成分布台澎金馬共計 78 個衛星定位基準站，基準站分布如圖 4-1-3。建置過程中為避免重複建置造成資源浪費，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，再依網形分布密度，選擇適當地點辦理後續基準站各項建置工作。

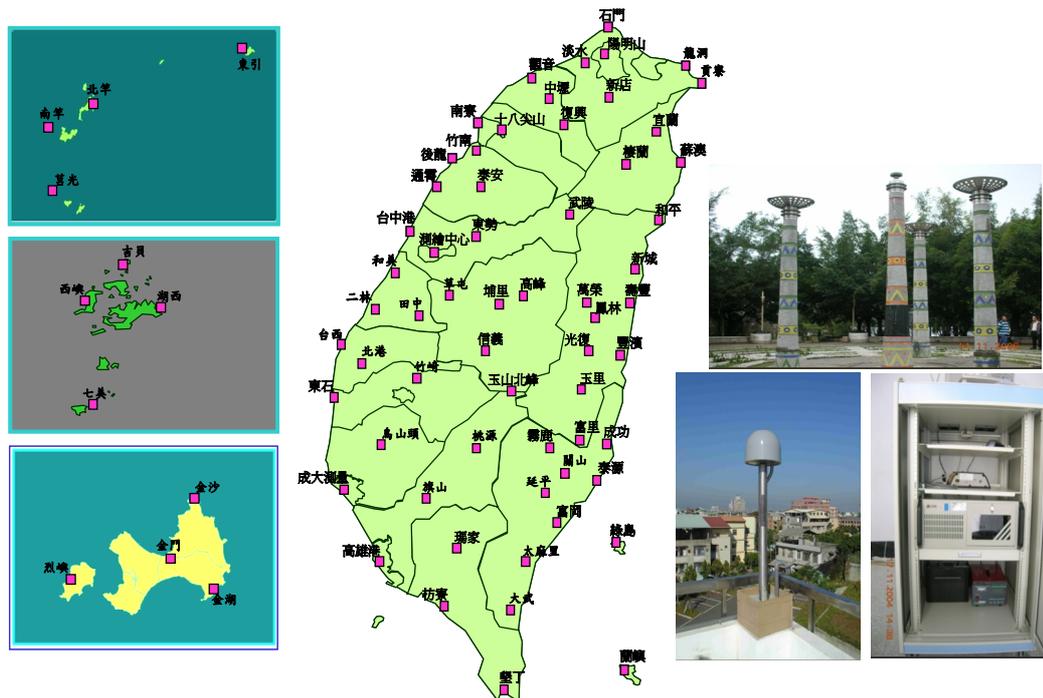


圖 4-1-3 e-GPS 衛星定位基準網絡分布圖（部分基準站未詳列）

## 二、控制及計算中心

e-GPS 控制及計算中心建置於本中心地籍資料庫 4 樓資訊機房，其內部軟硬體設備配置，係配合定位系統軟體、網路架構、分區定位服務網規劃、即時動態資料庫及入口網站管理系統等需求，由本中心逐年辦理採購。目前其主要硬體設備包括中階路由器、高速路由乙太網路交換器、高階工作伺服器、EMC 光纖磁陣列儲存媒

體、不斷電系統、Fortigate 400 型硬體式防火牆、Check-Point 軟體式防火牆及磁帶機。

控制及計算中心及各衛星定位基準站網路線路之申裝，均採用政府網際服務網（GSN）虛擬專用網路（VPN）架構，目前已申裝架設固接式 T1 專線 2 條、E1 專線 1 條及 ADSL 專線 1 條，並採 VPN 架構模式連接各本衛星定位基準站。核心計算軟體係採用美國 Trimble 公司所研發之 GPSNet 定位系統軟體，其區分為 Basic Package、DGPSNet 及 RTKNet 等三大模組，作為衛星定位基準站遠端控制、資料下載使用及進行單頻 200 公里內 DGPS 差分定位解算及公分級 VBS-RTK 即時動態定位解算，其主要功能如下：

- （一）執行控制及計算中心與各基準站接收儀間連線，自動傳輸觀測資料。
- （二）進行資料傳輸時，衛星接收儀仍可正常儲存觀測資料。
- （三）資料下載過程中，不會中斷衛星訊號接收、傳輸與儲存。
- （四）自動下載觀測資料並轉換為 RINEX 格式，並可自動儲存及壓縮。
- （五）即時監控遠端基準站衛星接收儀狀態及設定衛星接收儀運作參數，如有效觀測截角（Cutoff Angle）、接收訊號取樣間隔（SamplingInterval）等。
- （六）自動檢核、管理、儲存原始及處理後衛星觀測資料。
- （七）可產生虛擬位置之 RTCM 觀測數據及 SAPOS FKP 廣播改正資料，並自動傳送至移動站。
- （八）藉由軟體分析碼及載波相位觀測量，可連續計算多路徑誤差、電離層誤差、對流層誤差、星曆誤差及 L1、L2 載波相位整數週波未定值（Integer Ambiguity）。

另為配合本中心營運與推廣事務，控制及計算中心尚具備以下子系統及軟硬體功能模組，圖 4-1-4 為 e-GPS 定位系統控制及計算中心實景。

- (一) VPN (Virtual Private Network) 虛擬私有網路架構。
- (二) GPSNet 定位系統軟體。
- (三) 入口網站及動態資料庫管理系統。
- (四) 使用者即時監控與管制系統。
- (五) 客戶服務系統平台。
- (六) 基準站報修管理系統平台。
- (七) 異地備援系統。



圖 4-1-4 e-GPS 定位系統控制及計算中心實景

### 三、移動站使用者

虛擬基準站即時動態定位技術所需之移動站基本配備，就功能性可區分為衛星定位接收儀、GPRS 或其他可無線上網功能之行動通訊設備及 NTRIP 通訊協定通訊操作介面軟體等 3 大項，其主要功能如下：

- (一) 下載移動站 GPS 原始衛星觀測資料並計算產生導航坐標。
- (二) 透過 GSM/GPRS 及 NTRIP 通訊協定將移動站單點定位導航坐標 (NMEA 資料格式) 傳輸至控制計算中心。
- (三) 聯合移動站觀測資料及虛擬觀測資料進行 RTK 定位解算。

#### 4-1-3 e-GPS 坐標系統

本中心 e-GPS 定位系統因須即時計算處理各基準站涵蓋範圍內之定位誤差修正資料，並依使用者單點定位坐標內插產出虛擬衛星觀測資料，回傳給使用者，進行超短基線 RTK 定位解算，故須有高精度坐標系統，來維持各基準站間相對關係之正確性。然就測繪業務層面考量，e-GPS 坐標系統理應架構在現有 TWD97 國家坐標系統，避免坐標系統轉換所衍生之轉換誤差，如此方能獲得使用上的便利性。惟臺灣地區因位處歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊劇烈碰撞地帶，地殼變動所產生的位移情形，不論在方向及量級上，各地區均顯著不同，此一現象不僅降低 e-GPS 基準站間的空間相對關係，對於 VBS-RTK 定位解算成果精度，在不同地區及不同時間點，均將產生不同程度的影響，造成測繪作業實務應用上之困擾。

為解決坐標系統不一致性問題，本中心乃自行定義 1 套以時間為函數之區域性 e-GPS 坐標系統，作為進行即時動態定位坐標之基準平台，由於臺灣地區地殼變動造成的位移量各地並不一致，加上

e-GPS 定位系統坐標系統與公告坐標有所差異，故考量使用者後續應用可能有坐標轉換的需要並提升定位成果精度，亦參考各縣市轄區後劃分成臺灣本島 7 個、離島 3 個共 10 個服務網，提供使用者依所在位置選擇使用服務網，各服務網劃分詳如圖 4-1-5。

自系統建置初期，e-GPS 坐標系統以內政部陽明山衛星追蹤站作為約制點位，先行解算各基準站精密坐標後，再由各基準站中挑選點位位移變化量最小且資料接收衛星觀測資料最穩定之苗栗竹南基準站 (JUNA) 為固定站，並考量其速度量，作為後續精密解算各衛星基準站坐標及速度場解算之依據，有關坐標系統基本定義及相關資訊如表 4-1-1。另外針對福建省金門及馬祖等 2 處區域性分區定位服務網部分，則考量地緣及因地殼變動所產生位移量甚小等因素，分別就近選取內政部金門 (KMMN) 及馬祖 (MZUM) 衛星追蹤站，作為其他基準站精密坐標之起算點；澎湖地區因境內並無衛星追蹤站，故權宜採用北港衛星追蹤站 (PKGM) 為該服務網區各基準站精密坐標之起算點。

表 4-1-1 臺灣本島地區 e-GPS 坐標系統基本定義表

國際坐標基準框架		ITRF 94	
坐標定義起始時刻		2005 年 02 月 15 日 12 : 00 : 00	
固定站點名	X-坐標	Y-坐標	Z-坐標
苗栗竹南站 (JUNA)	- 2975764.7118m	4976994.8411m	2647324.2334m
年平均速度量	0.0083m/yr	- 0.0006 m/yr	- 0.0129 m/yr

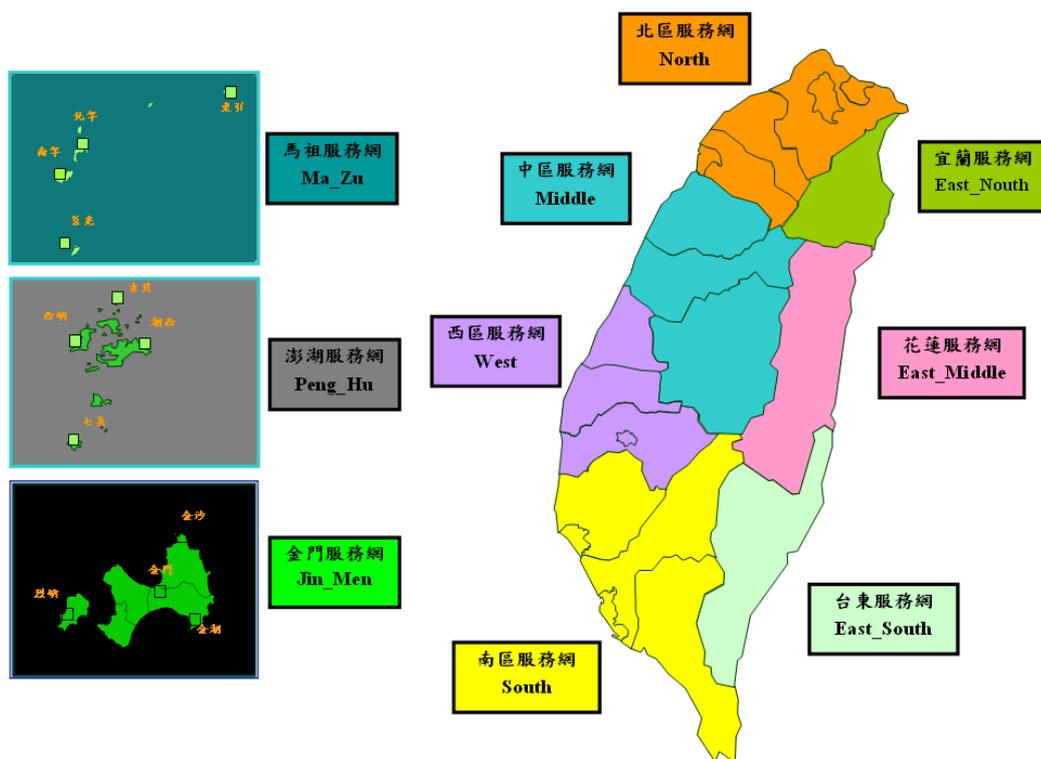


圖 4-1-5 本中心 e-GPS 定位系統服務網劃分示意圖

#### 4-1-4 e-GPS 定位成果精度分析與使用限制

按本中心於 94 年 4 月至 95 年 12 月期間於臺灣中北部及花蓮地區採用 VBS-RTK 及網路 DGPS 差分定位技術，進行定位成果精度測試統計分析如表 4-1-2。

表 4-1-2 e-GPS 定位成果精度成果分析一覽表

測試別	VBS-RTK	網路 DGPS	網路 DGPS
採用儀器設備	雙頻測量型	雙頻測量型	單頻導航型
N	1.37	9.76	37.46
E	1.42	9.02	38.26
H	3.74	22.79	--

(標準偏差，單位：公分)

鑑於 e-GPS 坐標系統與 TWD97 坐標系統之區域性差異，使用者除不可直接引用 e-GPS 實測坐標，作為各類測繪業務成果使

用外，針對小範圍測量作業地區（如地籍圖重測區或其他地籍整理地區），本中心建議使用者應先行蒐集測區附近各級已知基本控制點資料（含測區範圍內外控制點點之記及 TWD97 公告坐標，並以待轉換點位不外插為原則），至實地採用 VBS-RTK 定位技術施測，並將上開基本控制點視為轉換共同點，進行坐標轉換以達到已知點坐標強制套合之目的。

## 第二節 e-GPS 即時動態定位系統之相關應用

以本中心 e-GPS 定位系統架構及基本功能而言，除可提供移動站使用者進行 VBS-RTK 或 VBS DGPS 等即時性動態定位解算外，另其每日 24 小時所連續觀測獲得之衛星觀測資料，亦可作為輔助其他非即時性且高精度之定位應用，除在內政部長期推動陸域及海域基本圖測量、國土利用調查、訂定國家測量基準、長期維護國家坐標系統，甚至在國土資訊系統各類圖層資料蒐集等，可以達到一定程度的加速及品質提升作用。茲就近年來本中心 e-GPS 定位系統實際應用於各項測繪業務領域之舉例如下：

### 一、各級基本控制點測設與管理：

- （一）三等精度控制點速度場測量及管理維護作業。
- （二）基本測量及圖資測製實施計畫—基本控制點檢測工作。
- （三）一等水準點 e-GPS 測量工作
- （四）內政部莫拉克颱風災區基本控制點檢測工作。
- （五）加密控制點及圖根點測設作業。

### 二、各類基礎圖資測設輔助定位：

- （一）基本地形圖修測作業

- (二) 通用版電子地圖測製工作
- (三) 圖解數化地籍圖整合建置及都市計畫地形圖套疊計畫。
- (四) 莫拉克颱風災區基本地形圖修測工作。
- (五) 莫拉克颱風災區 LiDAR 高解析度數值地形圖測製工作。
- (六) 中華電信市街基本圖作業。

### 三、各類工程及其他細部測量應用：

- (一) 集水區侵蝕及測量之調查評估計畫地形及河道斷面測量工作。
- (二) 臺灣高鐵路權正確位置放樣及地形測量計畫。
- (三) 澎湖公共設施管線整體規劃及系統建置計畫。
- (四) 管線衛星定位測量及相關工程。
- (五) 旗山溪大田及寶隆護岸復建工程。
- (六) 省道路線 GPS 定位里程標誌新設工程。
- (七) 國道一號五股至楊梅段拓寬工程計畫。
- (八) 玉里~豐濱 161KV 輸電線路統包工程。
- (九) 臺電鐵塔用地預為分割測量作業。
- (十) 法院囑託鑑定測量。

### 四、各類資源調查應用：

- (一) 辦理外來入侵植物全國現狀調查。
- (二) 辦理三棘蠶之棲地及生活史研究。
- (三) 辦理綠色造林先驅示範計畫。
- (四) 興達發電廠環境監測-水深地形調查。
- (五) 台東市雨水下水道檢討規劃。

### 五、變形監測應用：

- (一) 活動斷層帶地表變形測量。

- (二) 辦理臺灣造山帶侵蝕抬昇速率探討。
- (三) 臺灣東部活動斷層-臺灣東部活動斷層之長期滑移速率及其相關之構造地形。
- (四) 高精度 GPS 定位法於結構物幾何變位監測之應用研究。

#### 六、輔助航遙測應用：

- (一) 利用航照等高科技監測防止盜濫採砂石計畫工作。
- (二) 臺北市 3D 航測數值地形圖重製工作案測製作業。
- (三) 辦理推動全國農村再生社區整體規劃區域航空攝影。
- (四) 辦理國有林堰塞湖監測與防災通報系統建置作業。
- (五) 以無人載具技術進行國有林重大土石災區調查案。
- (六) 臺灣全區航遙測資料庫建置計畫工作。

e-GPS 定位系統具備多目標、高效率、高產能之定位資訊蒐集能力，若針對定位成果予以標準化，對於目前政府極力推展國土資訊系統之圖層建構，將會有直接的輔助效益。e-GPS 定位系統之應用領域及其輔助國土資訊系統定位資料圖層之關聯性詳如圖 4-2-1，茲就其相關增值應用領域分列如下：

#### 一、非即時性定位應用包括：

- (一) 測量基準訂定。
- (二) 國家坐標系統維護。
- (三) 各級基本控制點補建與檢測。
- (四) 地殼變形監測。
- (五) GPS 精密軌道計算。
- (六) 地球科學、大氣科學等學術研究。
- (七) 其他增值應用。

二、即時性定位應用包括：

- (一) 工程測量。
- (二) 細部測量（如界址測量、地形測量、海洋測量等）。
- (三) 資源踏勘及調查。
- (四) 輔助決策（如環境監測、農業發展...）。
- (五) 民生及旅遊等諮詢服務。
- (六) 載具導航定位。
- (七) 車輛派遣與監控（DGPS）。
- (八) 其他加值應用。

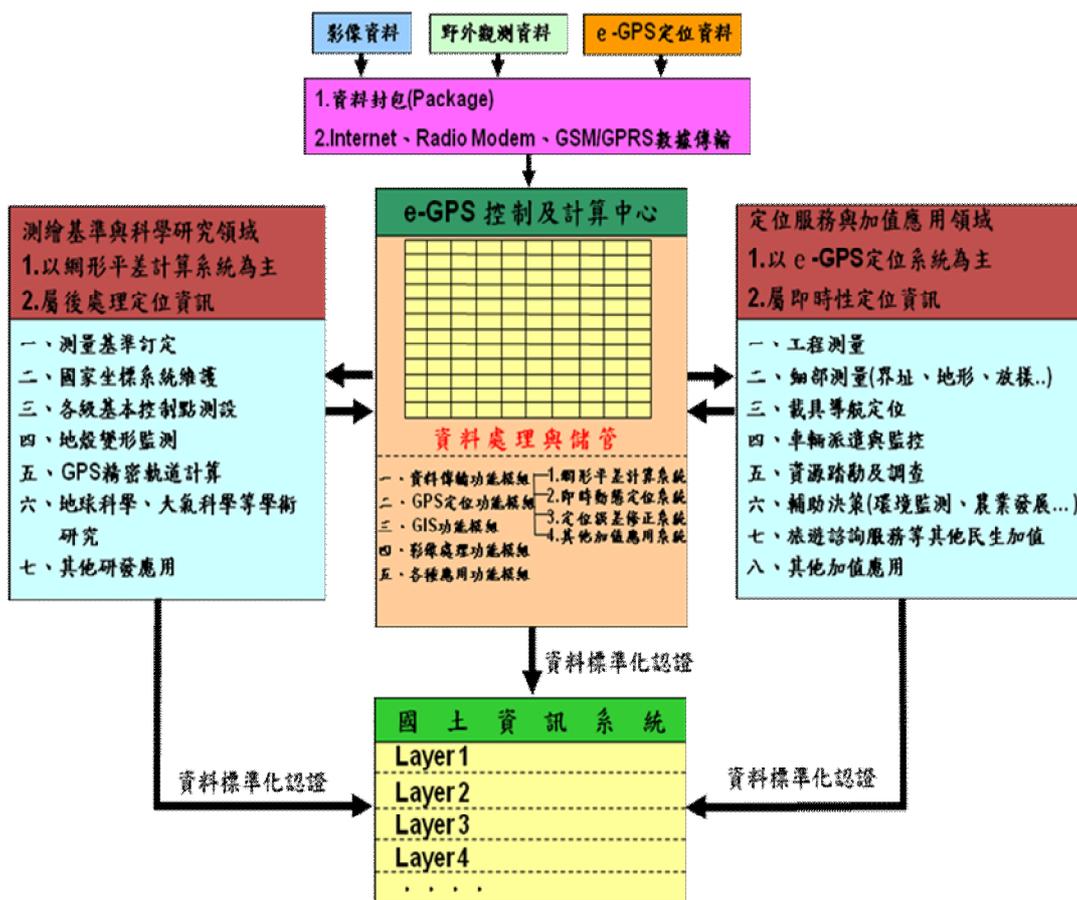


圖 4-2-1 e-GPS 即時動態定位系統之應用領域

### 第三節 e-GPS 基準站變動分析

本中心 e-GPS 基準站分布於臺灣本島及金門、馬祖、澎湖等離外島地區，由於金門、馬祖及澎湖地區無地殼板塊運動造成相對位移之影響，均獨立整區為一服務網，其坐標框架皆固定於 TWD97 之坐標框架，上開地區自 98 年對外服務至今，均維持穩定之效能與精度。本節主要針對位於臺灣本島地區所建置之 55 處基準站所組成之服務網作分析，期望藉由基準站長時間連續觀測計算而得之相對位移速度量及 TWD97[2010]與 TWD97 之成果差異，以探求各區服務網之 e-GPS 基準站受地殼板塊變動影響情形，並分析使用者於各服務網受地殼板塊之可能影響情形，作為後續 e-GPS 基準站坐標框架更換至 TWD97[2010]，如何提供不同框架間坐標轉換之參考數據。

為精確解算基準站坐標及其速度場，採用瑞士伯恩大學天文研究所開發之 BERNESE 計算軟體、IGS 公布之最終精密星曆 (Final) 及依據內政部公告 TWD97【2010】大地基準所聯測之 5 個國際站資料，以 KUNM(昆明)為參考站，每天解算各衛星定位基準站坐標，再針對每一基準站每天坐標進行 TAU 測試 ( $\tau$ -Test) 剔除較差之成果後，以線性方程式計算三軸坐標速度場。計算流程如圖 4-3-1，各基準站速度量變化及其標準偏差值、坐標解算天數統計及資料蒐集之起迄時間如表 4-3-1 及圖 4-3-2。

為了解各服務網之變動情形，利用 SIGMAPLOT 商用軟體，將各服務網平面位移速度量再分為 N-S 方向與 E-W 方向，同時利用軟體繪製基準站速度場等值線如圖 4-3-3~圖 4-3-9，分析各服務網變動情形。

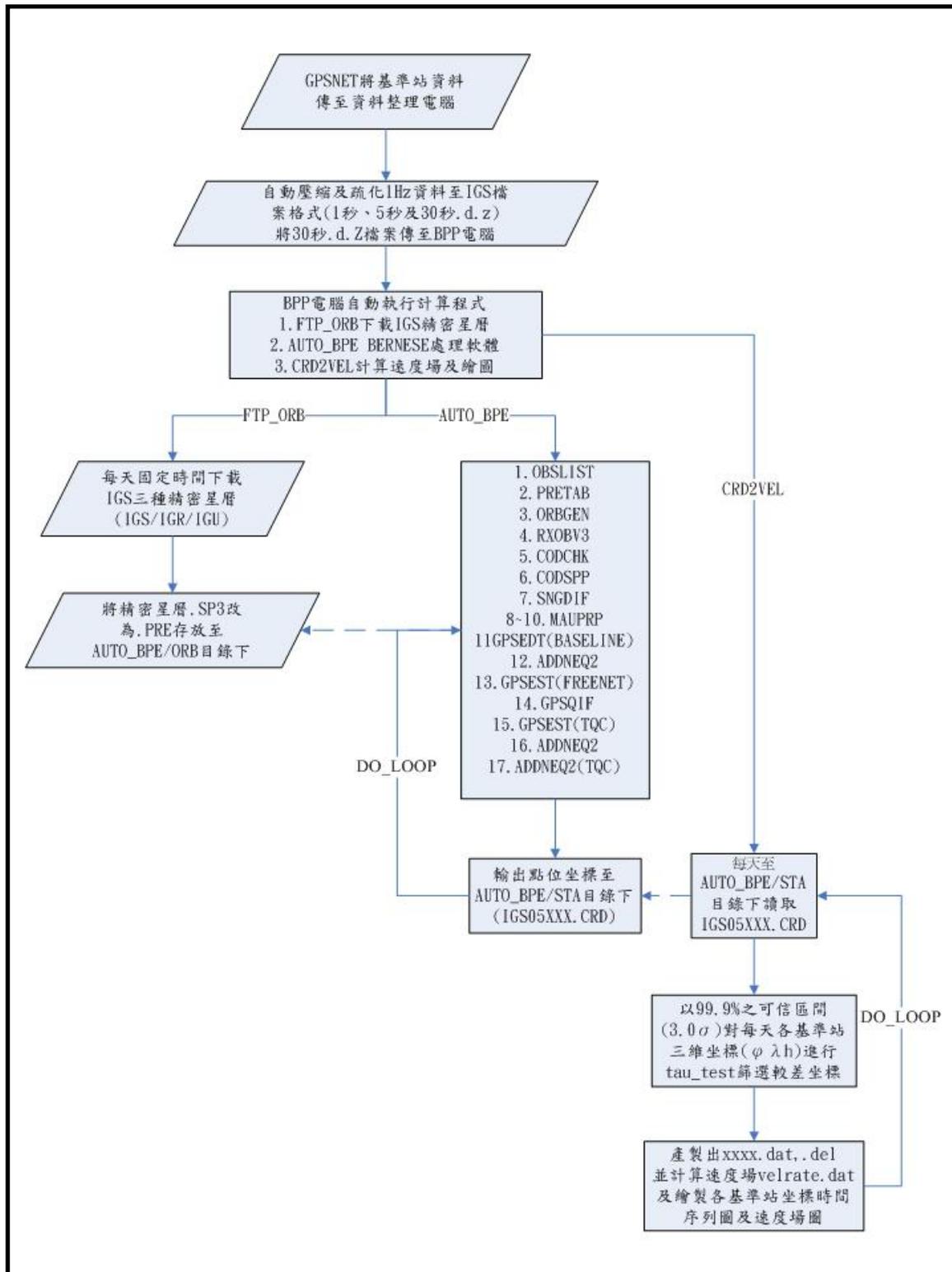


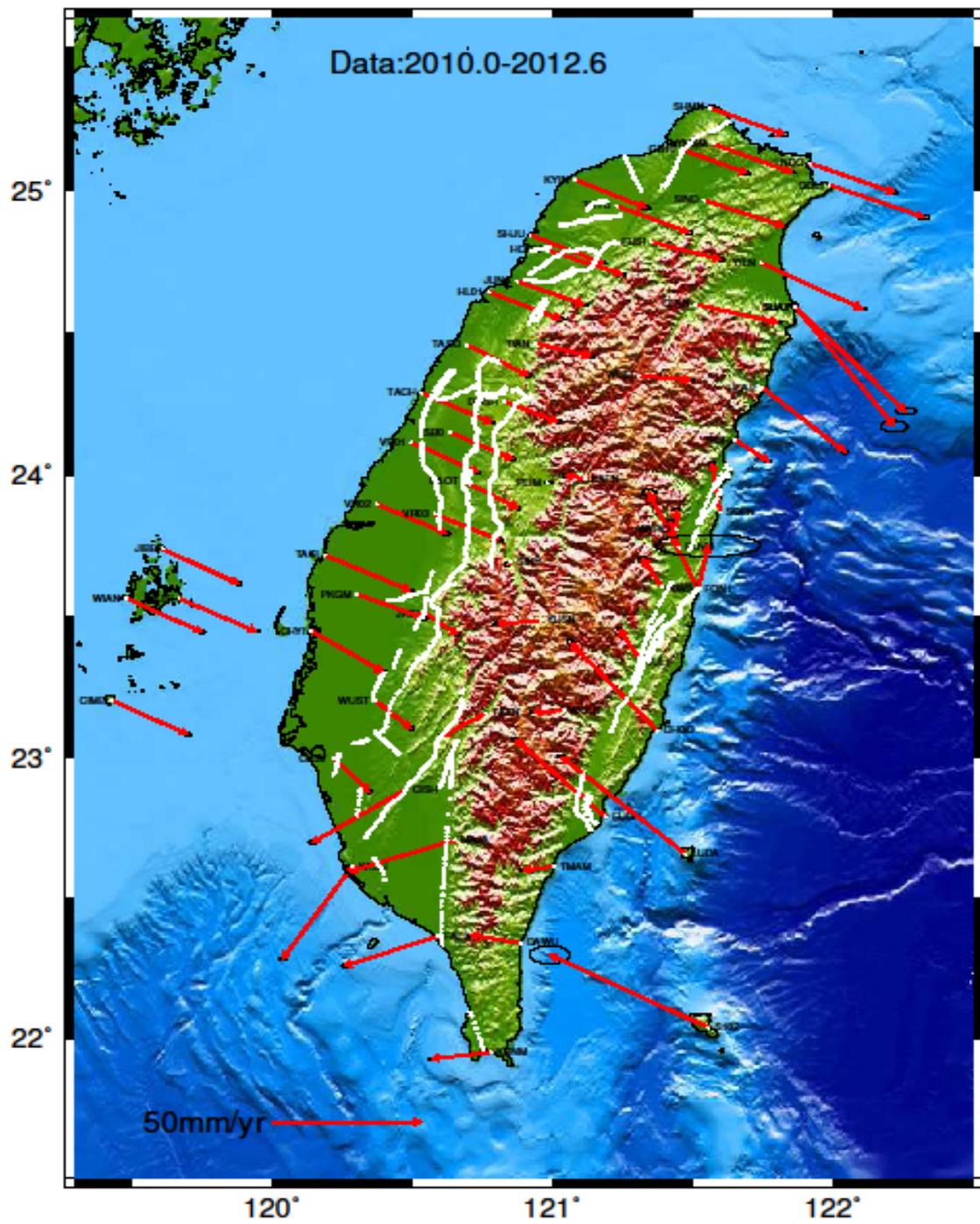
圖 4-3-1 e-GPS 基準站坐標及速度量解流程圖

表 4-3-1 e-GPS 基準站 TWD97[2010]速度量及標準偏差一覽表

(資料期間:2010 年 Day 001 - 2012 年 Day180)

	name	Vn (mm/yr)	$\sigma$ Vn	Ve (mm/yr)	$\sigma$ Ve	Vh (mm/yr)	$\sigma$ Vh	days	start_time	end_time
1	CAOT	-9.6	0.2	17.7	0.4	6.3	0.7	829	2010.001	2012.496
2	CHGO	31.6	0.3	-29.0	0.5	10.1	0.6	871	2010.001	2012.496
3	CHYI	-14.8	0.2	24.1	0.5	-18.1	0.8	824	2010.001	2012.496
4	CISH	-19.2	0.2	-31.5	0.5	15.0	0.6	851	2010.001	2012.496
5	CKSV	-12.1	0.2	11.9	0.4	16.2	0.6	832	2010.001	2012.496
6	CLAN	-6.4	0.2	27.2	0.5	15.0	0.7	850	2010.001	2012.496
7	DAWU	2.8	0.2	-17.0	0.4	10.7	0.7	869	2010.001	2012.496
8	DOSH	-7.4	0.2	18.2	0.4	13.0	0.6	873	2010.001	2012.496
9	FALI	-10.8	0.2	-31.3	0.4	-1.4	0.8	873	2010.001	2012.496
10	FLNM	9.2	0.2	-3.0	0.5	8.1	0.7	868	2010.001	2012.496
11	FONB	15.8	1.6	3.4	7.2	-20.0	12.0	206	2011.851	2012.496
12	FUGN	28.0	0.2	-30.4	0.4	7.8	0.7	851	2010.001	2012.496
13	FUSI	-6.3	0.2	23.3	0.5	10.5	0.7	873	2010.001	2012.496
14	GOLI	-11.5	0.3	31.7	0.8	9.4	1.3	582	2010.004	2011.742
15	GS10	-8.6	0.2	21.9	0.5	3.4	0.7	827	2010.001	2012.496
16	GUFU	10.3	0.2	-6.4	0.5	2.4	0.7	871	2010.001	2012.496
17	HCHM	-8.6	0.2	24.6	0.5	8.7	0.8	775	2010.001	2012.496
18	HL01	-9.8	0.2	24.0	0.5	8.7	0.7	864	2010.001	2012.496
19	HUAP	-23.1	0.2	27.7	0.5	6.2	0.8	858	2010.001	2012.496
20	JHCI	-7.7	0.2	10.8	0.4	11.5	0.6	871	2010.001	2012.496
21	JULI	11.8	0.2	-7.3	0.4	-2.0	0.7	868	2010.001	2012.496
22	JUNA	-8.4	0.2	22.5	0.5	13.4	0.7	874	2010.001	2012.496
23	KAFN	1.3	0.2	-6.3	0.5	22.3	0.7	843	2010.001	2012.496
24	KASH	-33.4	0.2	-23.4	0.5	8.1	0.6	858	2010.001	2012.496
25	KDNM	-2.4	0.2	-19.8	0.5	15.3	0.7	859	2010.001	2012.496
26	KYIN	-10.3	0.2	24.1	0.5	13.1	0.7	857	2010.001	2012.496
27	LNDO	-10.6	0.2	28.3	0.5	10.3	0.8	685	2010.004	2012.496
28	LSB0	-9.6	0.2	21.0	0.5	4.5	0.7	866	2010.001	2012.496
29	MAJA	-11.3	0.2	-35.4	0.4	13.3	0.6	870	2010.001	2012.496

30	PKGM	-8.7	0.2	22.4	0.4	-11.4	0.9	874	2010.001	2012.496
31	PLIM	0.2	0.2	0.5	0.5	1.7	0.8	838	2010.001	2012.496
32	SHJU	-10.0	0.2	24.2	0.5	9.9	0.7	858	2010.001	2012.496
33	SHMN	-9.7	0.2	25.1	0.5	9.2	0.7	830	2010.001	2012.496
34	SICH	-7.6	0.2	10.9	0.4	9.2	0.7	863	2010.001	2012.496
35	SIND	-9.2	0.2	26.4	0.5	10.0	0.7	870	2010.001	2012.496
36	SINY	-1.0	0.2	-1.0	0.5	17.4	0.7	849	2010.001	2012.496
37	SOFN	17.6	0.2	-2.6	0.5	13.8	0.8	866	2010.001	2012.496
38	SUAO	-37.4	0.5	36.8	1.4	4.2	2.3	530	2010.977	2012.496
39	TACH	-10.7	0.2	23.3	0.5	8.7	0.7	861	2010.001	2012.496
40	TASI	-12.8	0.2	28.6	0.5	-11.9	0.8	864	2010.001	2012.496
41	TASO	-11.2	0.2	20.6	0.5	12.9	0.8	850	2010.001	2012.496
42	TAYN	-8.2	0.2	-14.8	0.5	21.8	0.7	845	2010.031	2012.496
43	TCYU	-9.5	0.2	24.1	0.5	10.5	0.7	862	2010.001	2012.496
44	TIAN	-4.7	0.2	18.6	0.6	8.1	0.8	852	2010.001	2012.496
45	TMAM	-1.7	0.2	-10.4	0.4	7.3	0.7	862	2010.001	2012.496
46	VR01	-10.8	0.2	22.3	0.4	9.2	0.7	865	2010.001	2012.496
47	VR02	-10.7	0.2	23.5	0.5	-26.9	0.7	868	2010.001	2012.496
48	VR03	-9.3	0.2	21.7	0.4	4.8	0.7	868	2010.001	2012.496
49	WARO	6.9	0.2	0.3	0.5	7.7	0.7	864	2010.001	2012.496
50	WULI	-1.5	0.2	17.3	0.5	18.8	0.8	842	2010.001	2012.496
51	WULU	-0.7	0.2	-10.0	0.5	19.3	0.7	843	2010.001	2012.496
52	WUST	-10.1	0.2	12.0	0.4	14.4	0.6	866	2010.001	2012.496
53	YILN	-16.4	0.2	33.7	0.5	5.4	0.7	869	2010.001	2012.496
54	YMSM	-10.3	0.2	26.2	0.5	11.4	0.7	816	2010.001	2012.496
55	YUSN	-1.1	0.2	-14.2	0.6	10.5	0.9	677	2010.056	2012.496



GMT 2012 Jul 25 17:07:50 Copyright©2010 by NLSC

圖 4-3-2 e-GPS 基準站平面位移速度量及標準偏差示意圖

## 一、基北桃竹服務網 (NORTH\_RTK)：

(一) 在 N-S 方向，各基準站年位移量平均為 9.8mm，由北向南移動，相鄰基準站之相對年位移差量約 1mm~8mm，大部分地區之相對年位移差量在 2mm 內，最大差量主要為 YILN (宜蘭) 站之影響。

(二) 在 E-W 方向，各基準站年位移量平均為 26.4mm，由西向東移動，相鄰基準站之相對年位移差量約 1mm~6mm，大部分地區之相對年位移差量在 2mm 內，最大差量主要為 YILN (宜蘭) 站之影響詳如圖 4-3-3。

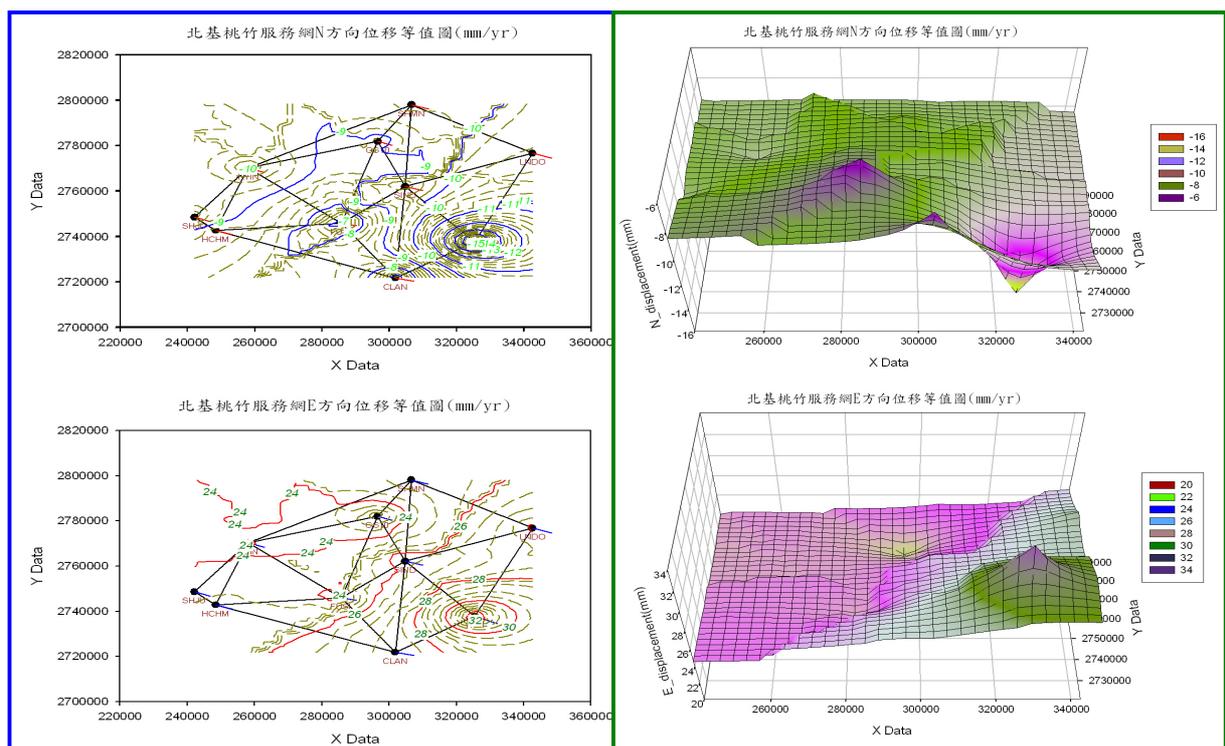


圖 4-3-3 北基桃竹服務網平面位移 N-S 方向 2D&3D 示意圖

## 二、苗中投服務網 (MIDDLE\_RTK)：

(一) 在 N-S 方向，各基準站年位移量平均為 6.7mm，由北向南移動，各基準站之位移量由西北向東南方向遞減，至

WULI-KAFN-YUSN (武陵-高峰-玉山北峰) 處，位移量為 0，相鄰基準站之相對年位移差量均在 5mm 內，呈現線性變化。

(二) 在 E-W 方向，各基準站年位移量平均為 15.4mm，由西向東移動，各基準站之位移量由西北偏北向東南偏南方向遞減，至 KAFN-PLIM-SINY (高峰-埔里-信義) 處，位移量為 0，相鄰基準站之相對年位移差量約 4mm~24mm，主要分成西部平原與山區 2 個區塊，西部平原之相對年位移差量在 4mm 內，山區之相對年位移差量在 14~24mm，仍呈現穩定之空間線性變化詳如圖 4-3-4。

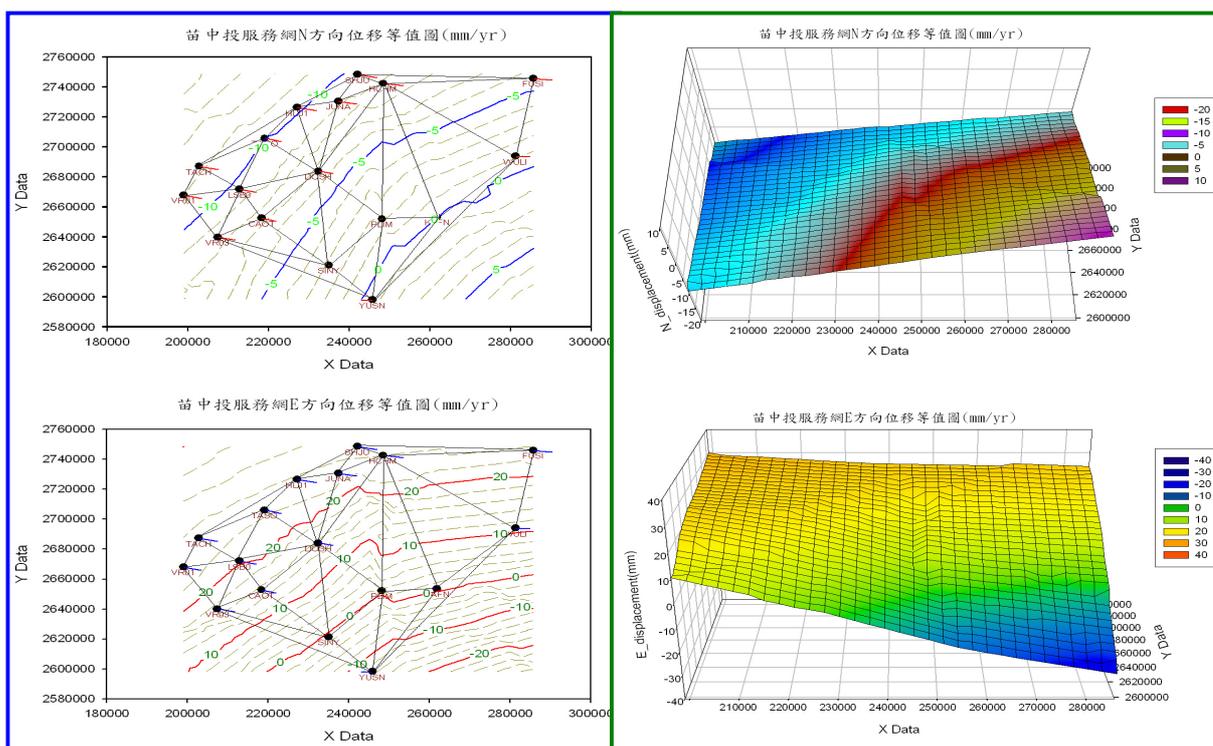


圖 4-3-4 苗中投服務網平面位移 N-S 方向 2D&3D 示意圖

### 三、彰雲嘉服務網 (WEST\_RTK)：

(一) 在 N-S 方向，各基準站年位移量平均為 9.1mm，由北向南移動，各基準站之位移量由東向西方向遞減。相鄰基準站

之相對年位移差量均在 3mm 內，呈現穩定之空間線性變化。

(二) 在 E-W 方向，各基準站年位移量平均為 14.0mm，由西向東移動，各基準站之位移量由西北向東南方向遞減，至 SINY (信義) 處，位移量為 0，相鄰基準站之相對年位移差量約 4mm~24mm，主要分成西部平原與山區 2 個區塊，西部平原之相對年位移差量在 4~10mm 內，山區之相對年位移差量在 14~24mm，仍呈現穩定之空間線性變化詳如圖 4-3-5。

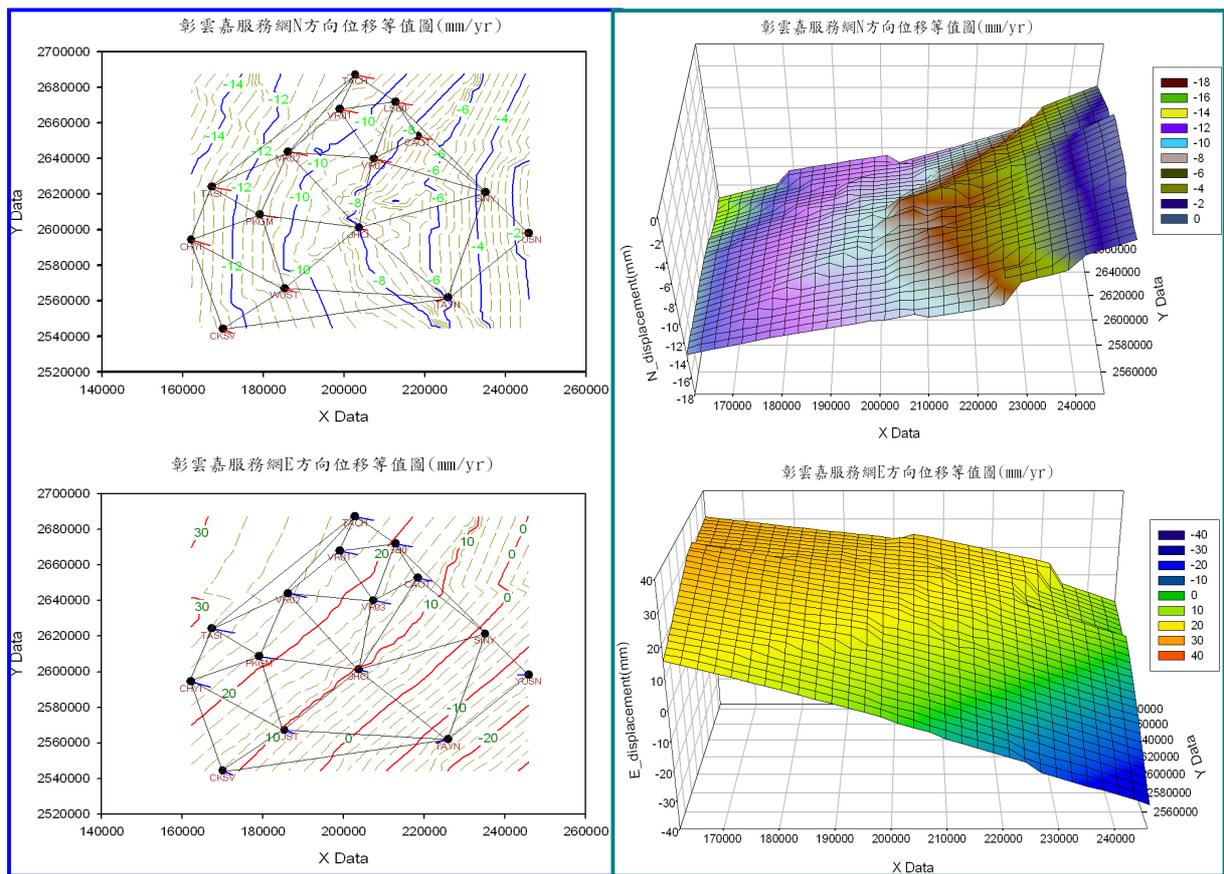


圖 4-3-5 彰雲嘉服務網平面位移 N-S 方向 2D&3D 示意圖

#### 四、南高屏服務網 (SOUTH\_RTK)：

(一) 在 N-S 方向，各基準站年位移量平均為 9.4mm，由北向南移動，惟其標準偏差達 9.7mm，各站位移量差異大，由東向西方向遞減，相鄰基準站之相對年位移差量在 10~15mm 內。

(二) 在 E-W 方向，各基準站年位移量平均為 10.3mm，標準偏差達 19.3mm，位移方向分成 2 部分，CHYI(東石)、CKSV(成功大學)、WUST(烏山頭)及 JHCI(竹崎)由西向東移動，其餘基準站由西向西移動，相互擠壓在臺南、嘉義與高雄交界地區，相對年位移差量約 26mm，變化複雜詳如圖 4-3-6。

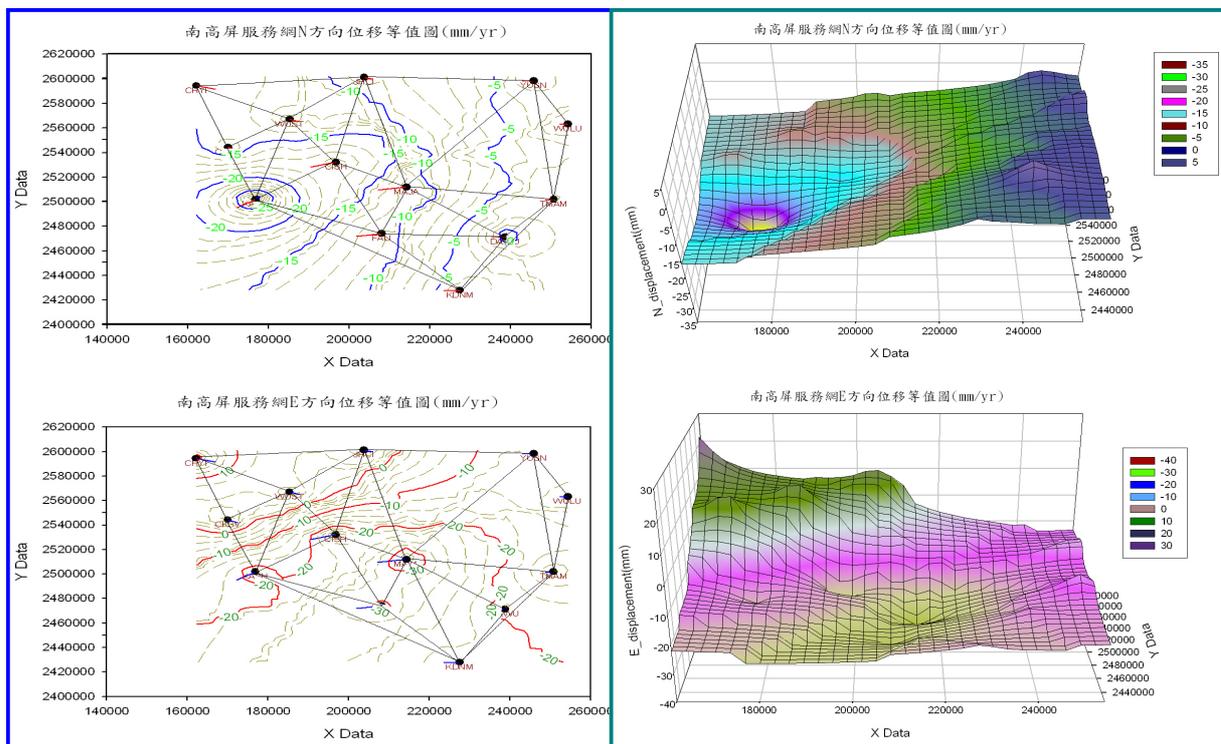


圖 4-3-6 南高屏服務網平面位移 N-E 方向 2D&3D 示意圖

#### 五、臺東服務網 (TAITUNG\_RTK)：

- (一) 在 N-S 方向，各基準站年位移量平均為 6.4mm，由北向南移動，惟其標準偏差達 15.9mm，各站位移量差異大，位移方向分成 2 部分，TAYN (桃源)、MAJA (瑪家) 及 FALI (枋寮) 由北向南移動，YUSN (玉山北峰)、DAWU (大武) 及 KDNM (墾丁) 位移量為 0，其餘基準站由南向北移動，西部山區與東部海岸山脈產生錯動之情形。相鄰基準站之相對年位移差量約 10~20mm。
- (二) 在 E-W 方向，各基準站年位移量平均為 18.6mm，標準偏差達 9.8mm，位移方向由東向西移動，相對年位移差量約 15mm 內，變化複雜詳如圖 4-3-7。

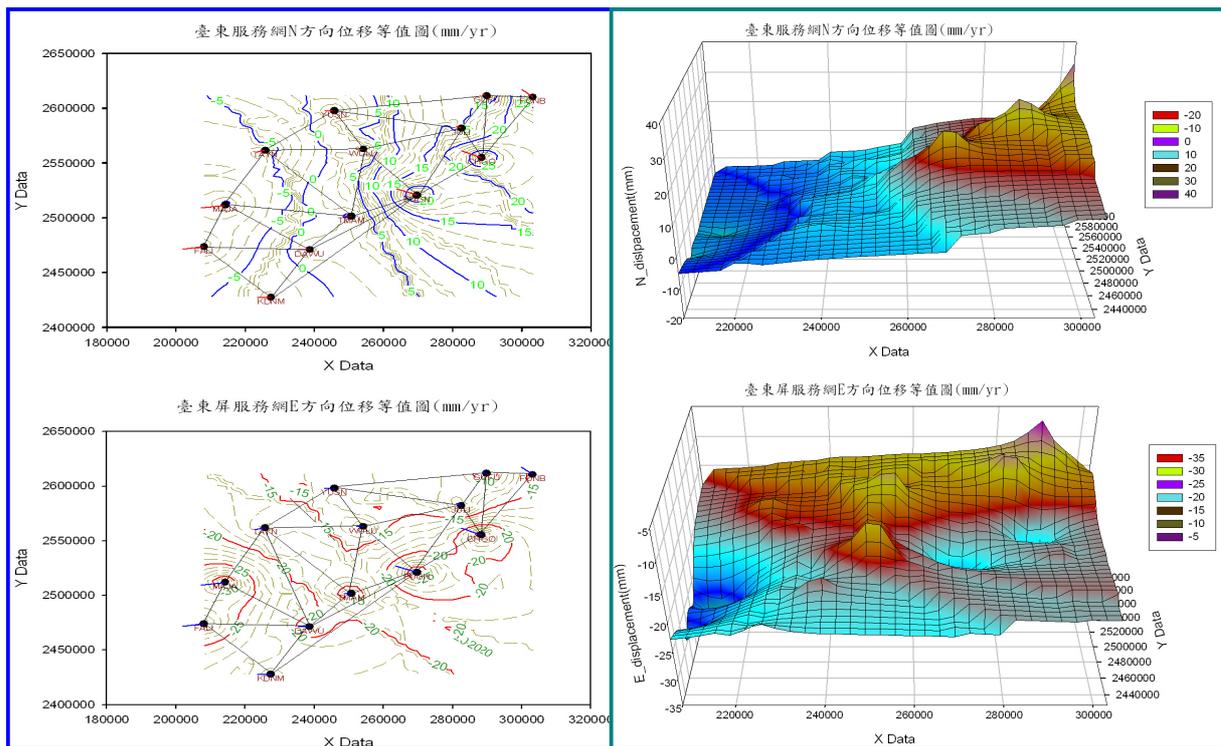


圖 4-3-7 臺東服務網平面位移 N-E 方向 2D&3D 示意圖

## 六、花蓮服務網 (HUALAN\_RTK)：

- (一) 在 N-S 方向，各基準站年位移量平均為 2.2mm，其標準偏差達 17.5mm，各站位移量差異大，位移方向分成 3 部分，

YUSN (玉山北峰)、SINY (信義) 及 TAYN (桃源) 位移量為 0，SICH (新城)、HUAP (和平)、CLAN (棲蘭) 及 SUA0 (蘇澳) 位移由北向南移動，其餘基準站由南向北移動，相互擠壓在花蓮新城附近，相對年位移差量約 20mm 內。

(二) 在 E-W 方向，各基準站年位移量平均為 1.1mm，標準偏差達 17.4mm，位移方向分成 2 部分，SICH (新城)、HUAP (和平)、CLAN (棲蘭) 及 SUA0 (蘇澳) 由西向東移動，其餘基準站由東向西移動，相互錯動在花蓮壽豐附近，相對年位移差量最大約 24mm，變化複雜詳如圖 4-3-8。

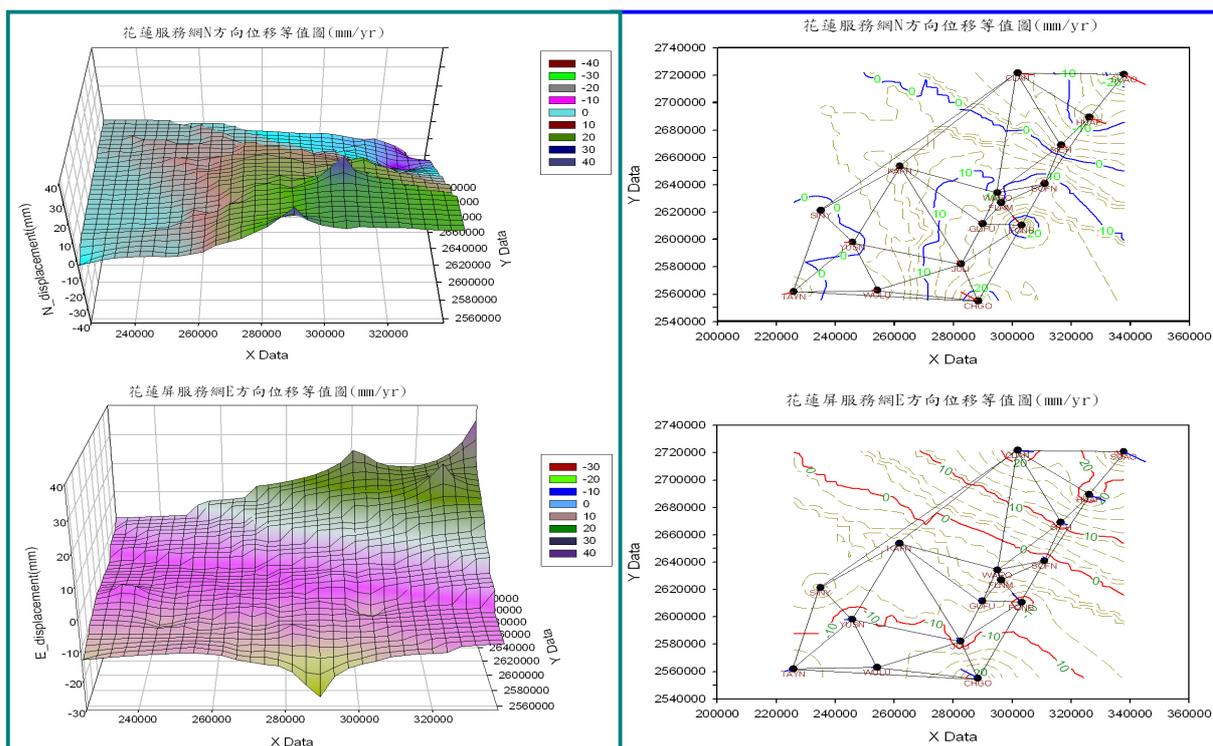


圖 4-3-8 花蓮服務網平面位移 N-S 方向 2D&3D 示意圖

### 七、宜蘭服務網 (ILAN\_RTK)：

(一) 在 N-S 方向，各基準站年位移量平均為 13.6mm，由北向南移動，惟其標準偏差達 10.9mm，各站位移量差異大，由

西向東方向遞增。相鄰基準站之相對年位移差量在 10~20mm 內，主要變化臺北與宜蘭交界地區及蘇澳地區。

(二) 在 E-W 方向，各基準站年位移量平均為 28.0mm，標準偏差達 5.7mm，相對年位移差量在 10mm 內，相對變化尚平穩詳如圖 4-3-9。

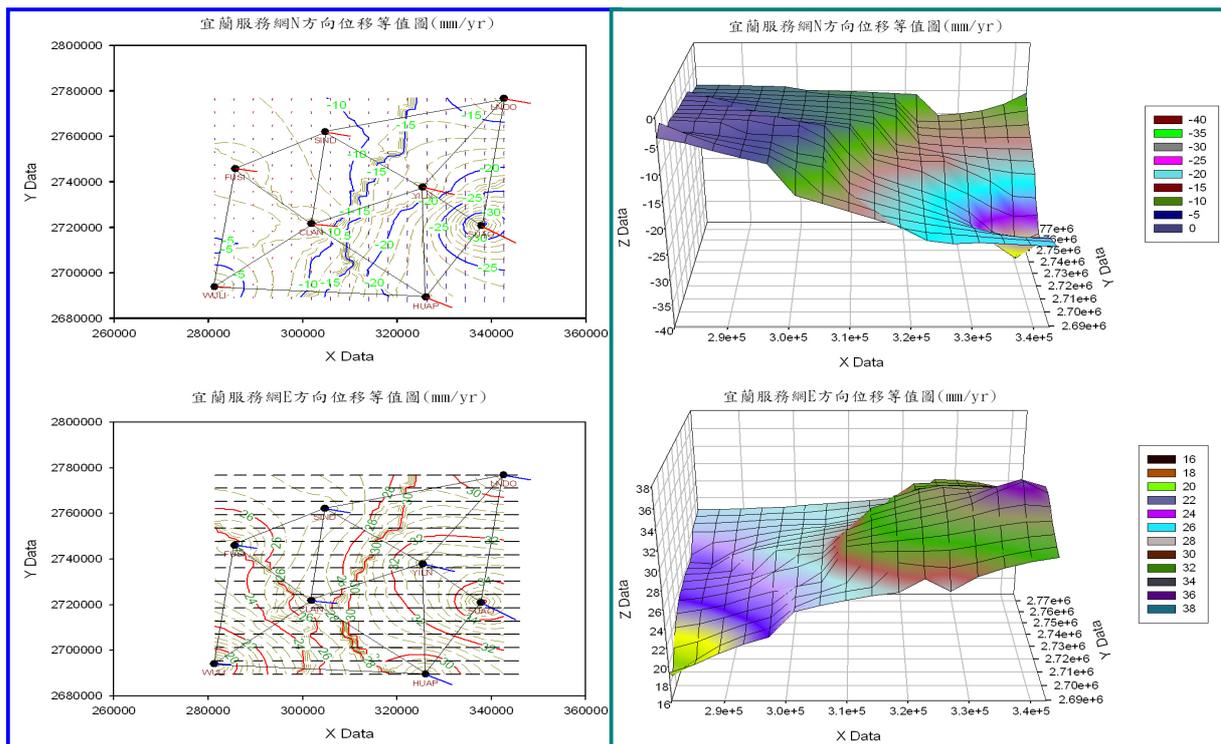


圖 4-3-9 宜蘭服務網平面位移 N-S 方向 2D&3D 示意

綜上分析，臺灣本島 7 個服務網中北基桃竹、苗中投及彰雲嘉服務網屬相對變化較小且規律穩定，除了部分山區外相鄰基準站之相對年位移差量多在 10mm 以下；其餘南高屏、台東、花蓮及宜蘭服務網則相對變化較大且複雜，主要還是受板塊運動所影響，其基準站坐標之更新機制需謹慎評估，以利後續營運服務，另外後續坐標轉換可能需考量不同服務網之變化情形而有所因應。

## 第五章 坐標轉換之研究

空間點位坐標（值）是表示在參考系統中點位位置的數學量，在測量實務上定義了坐標參考系統原點後，其他點位的坐標必須經過觀測，利用得到的觀測量計算後建立與原點之間的關係。事實上沒有一種測量方式得到的觀測量是沒有誤差的，不論粗差、偶然性誤差或系統性誤差，任何一種都會造成觀測量與真值有差異，依照觀測量計算得到的點位坐標也就未必能代表點位於參考系統中真正的位置。

實際於測量應用上，一個地面點的坐標必須經過許多觀測過程，利用許多的觀測量計算後才能決定，以三等控制點為例，必須聯測到一等或二等或其他已知之三等控制點，其中不但包含參考基準本身或施測過程中產生的誤差，較低等級的點還必須繼承較高等級點坐標的既有誤差，也必然繼承上等網的網形張力。目前坐標轉換常選擇在不同坐標系統中，同時具有不同坐標系統成果的點位（以下簡稱為共同點）作為轉換之用，以各種數學模式求得兩基準間的坐標轉換參數。由於點位坐標錯誤或網形張力等問題，不同基準間的坐標轉換問題不再只是坐標參考系統坐標軸間單純的平移、旋轉與尺度變化，還必須考慮到點位坐標本身所包含的各種誤差。

在測繪業務應用上，網形張力是影響坐標轉換成果精度最大的因素，其產生原因是源於偶然誤差的不可避免及錯誤或系統誤差的存在，另就即時動態定位方式而言，虛擬基站（觀測資料）的產生是利用鄰近的實體基準站觀測資料再加上附近數個基準站求解得到的修正參數，經過 RTK 解算得到動態定位坐標成果，除了偶然誤差

外，也隱含了實體基準站給定坐標值的影響，通常這些實體基準站坐標解算精度都很高，微小的系統性誤差一般使用者多無法察覺，但設置於地殼變動頻繁地區又長時間未更新基準站坐標時，就可能因基準站間相對關係變動而產生複雜的網形張力問題，尤其在不同的板塊或斷層帶交接處兩端點位更為顯著。

由於臺灣地區的地理特性，e-GPS 定位系統基準站坐標不得不定期檢測並更新坐標，以維持參考坐標系統的相對精度，使用者最直接面臨的問題就是系統基準站的坐標改變後，施測同一個點位便會獲得不同的定位成果（坐標值）。為釐清基準站的坐標改變對於使用者會造成多大的影響，本章將選定部分臺灣地區基本控制點在基準站坐標更新前後，進行即時動態定位檢測，進行相關坐標轉換分析研究。

## 第一節 坐標轉換模式

由於 VBS-RTK 動態定位是先產生虛擬觀測主站觀測資料，再進行 RTK 解算求得移動站坐標，而虛擬主站的產生與最鄰近的基準站有高度相關性，故對於 e-GPS 定位系統的使用者而言，基準站坐標更新後相對關係已變動，也就等同於測量基準框架已改變，更新前後之動態定位成果就必須以數學轉換模式進行坐標轉換。考量後續定位系統成果以卡氏直角坐標與投影坐標為主，以下研究主要選用測繪業務上經常使用之七參數卡式坐標 3 維轉換及六參數最小二乘配置模式進行。

### 5-1-1 七參數卡式坐標 3 維轉換

卡氏直角坐標間轉換一般常採用的數學模式包括：

一、Bursa-Wolf 七參數轉換模式：[Fritzensmeier et al.,1985、Rapp,1993]

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = S \cdot R \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

式中 S 表尺度因子， $R = R_1(\omega)R_2(\phi)R_3(\kappa)$ ，為 Cardan 旋轉矩陣， $(X,Y,Z)$ 和 $(x,y,z)$ 為兩組卡氏直角坐標， $(X_0, Y_0, Z_0)$ 為平移參數。上式是最簡單之結合模式。

二、Molodensky-Badekas 七參數模式[Fritzensmeier et al.,1985、Rapp,1993]

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} + S \cdot R \cdot \begin{bmatrix} x - x_m \\ y - y_m \\ z - z_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} \quad R = \begin{vmatrix} 1 & \varepsilon_x & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{vmatrix}$$

$(X,Y,Z)$ 和 $(x,y,z)$ 為兩組卡氏直角坐標， $(x_m, y_m, z_m)$ 為 $(x,y,z)$ 坐標系統之重心坐標。與 Bursa-Wolf 模式不同的是先將坐標原點平移至轉換區域重心後再進行轉換，以避免平移與旋轉參數之間產生高度相關的現象。

採用七參數卡式坐標 3 維轉換模式，如果使用的轉換共同點數量大於參數未知數，是把共同點坐標當做觀測量後平差計算求得一組最佳轉換參數，計算後觀測量會產生改正數，也就是轉換共同點坐標值也會變更，與規範次等級基本控制測量應與較高等級基本控制測量聯繫之作法有牴觸疑慮。

### 5-1-2 六參數最小二乘配置轉換模式

六參數轉換（又稱仿射轉換，Affine Transformation）是平面轉換上常用的數學模式，其轉換參數包含旋轉因子、平移因子外，亦可同時假設 X 軸與 Y 軸的比例不同。最少須三個控制點方能解算方程式，其方程式為：

$$\begin{aligned}X &= a_1x + b_1y + c_1 \\Y &= a_2x + b_2y + c_2\end{aligned}$$

依據最小二乘法理論整體平差，以坐標值為觀測量，組成間接觀測方程式，整體平差並加入觀測值的可靠度分析。而最小二乘配置法（Least-Squares Collocation）則是一種結合最小二乘法、內插與濾波平差方法，最小二乘配置法不僅能處理含有訊號（signal，在此可視為系統性誤差）的觀測值，還能由一些已知的觀測值或平差計算得到的成果去估計另外一些沒有觀測資料的地方，估計新點的同時可將不希望傳播過去的觀測量雜訊（noise，在此可視為粗差）過濾掉。引入未知參數的最小二乘配置法數學模式為：

$$l = Ax + s + n$$

式中  $x$  為未知參數， $s$  為訊號向量， $n$  為雜訊向量， $n$  為設計矩陣， $l$  為觀測量。 $s$  表示了各觀測量的訊號， $n$  即為各觀測量純粹由於偶然特性經平差計算後所產生的殘差， $s$  和  $n$  都是含有隨機特性的量，若將  $s$  和  $n$  是合併在一起估計即成為一個隨機量  $v = s + n$ 。若觀測量沒有訊號存在，則隨機量  $v = n$ ，若觀測量含有訊號，利用間接觀測平差法所求出之觀測量的改正數會顯現含有某一種系統性

的趨勢，一般利用殘差向量圖可以明顯的看出來。最小二乘配置法包括平差(未知參數  $x$  的估計)，預估(計算任一點的  $s$ )與濾波( $n$  的移除)三種作用，可以將訊號  $s$  自間接觀測平差所得的觀測量改正數中分離出來。

在坐標轉換的例子中，觀測量  $l$  就是坐標值，待定參數  $x$  就是二個坐標系統間的轉換參數：

$$l = \begin{bmatrix} X'_1 \\ Y'_1 \\ \vdots \\ X'_n \\ Y'_n \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_n & y_n & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 \end{bmatrix}, \quad x = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \\ f \end{bmatrix}, \quad s=0, \quad n=0$$

訊號  $s$  的產生是由於轉換時採用的參考點一部份或全部在其中一坐標系統（或兩坐標系均有）會因某些原因而有系統性的誤差趨勢，這些原因可能包括控制網的網形張力問題、控制點舊坐標與新坐標施測間隔的期間由於地殼變動造成一部份的點位一起向某方向偏移、不同地圖投影方式或投影變形造成點位坐標的偏移等。而雜訊  $n$  的產生則是參考點中某些點位其中一坐標系坐標含有粗差的緣故，但是測量上採用的點位坐標大部分都是經平差計算得來的，因此它們不再含有獨立不相關的偶然誤差，故粗差的產生原因可能包括將不同點位的坐標當作同一個參考點的新舊坐標的點位對應錯誤、參考點新舊坐標施測間隔期間該點位受到人為或其他因素破壞造成位移、參考點新舊坐標其中之一抄寫錯誤等。

最小二乘配置法是利用隨機程序（Stochastic Process）所推導出來的方法，可客觀的且嚴密地來處理觀測量與函數模式間含有系統

性誤差的問題，若假設無雜訊存在，所有共同點坐標經最小二乘配置法估計後不會有改正數存在，而待轉換點坐標則已將共同點所顯現的相關性考慮進去[尤瑞哲，1998、黃華尉，2001]，希望藉此於坐標轉換過程中達到分配系統性誤差的目的。

## 第二節 e-GPS 坐標系統與 TWD97[2010]間轉換

本節篩選本中心 e-GPS 定位系統中，有內政部 101 年公告 TWD97[2010]坐標成果之臺灣本島基準站計 48 站，除了原本的 e-GPS 坐標外，另以 TWD97[2010]坐標成果模擬作為基準站更新後坐標，更新後獲得的即時動態定位成果，理論上將十分接近 TWD97[2010]坐標系統（以下簡稱 TWD97[2010]坐標成果）。各基準站兩種坐標成果較差平均值（絕對值）N 分量為 0.174 公尺、E 分量為 0.465 公尺、h 分量為 0.016 公尺，基準站分布及兩種坐標值之較差向量如圖 5-2-1。

另選用臺灣鄰近基準站或均勻分布之各級基本控制點計 102 點，分別在 2 種坐標系統進行實地檢測，每個點檢測 3 測回、每測回接收 180 筆以上固定解，經過粗差偵錯並將各點測回成果求平均後，分別得到 e-GPS 及 TWD97[2010]兩種坐標系統即時動態定位成果，基本控制點分布及其兩種坐標值之較差（平面與高程）如圖 5-2-2。

以下使用 48 站基準站作為坐標轉換計算之共同點，分別採用七參數卡氏直角坐標轉換及最小二乘配置六參轉換等 2 種方式，全區或分區進行坐標轉換，並利用各地基本控制點實際的動態定位成果進行比較分析。

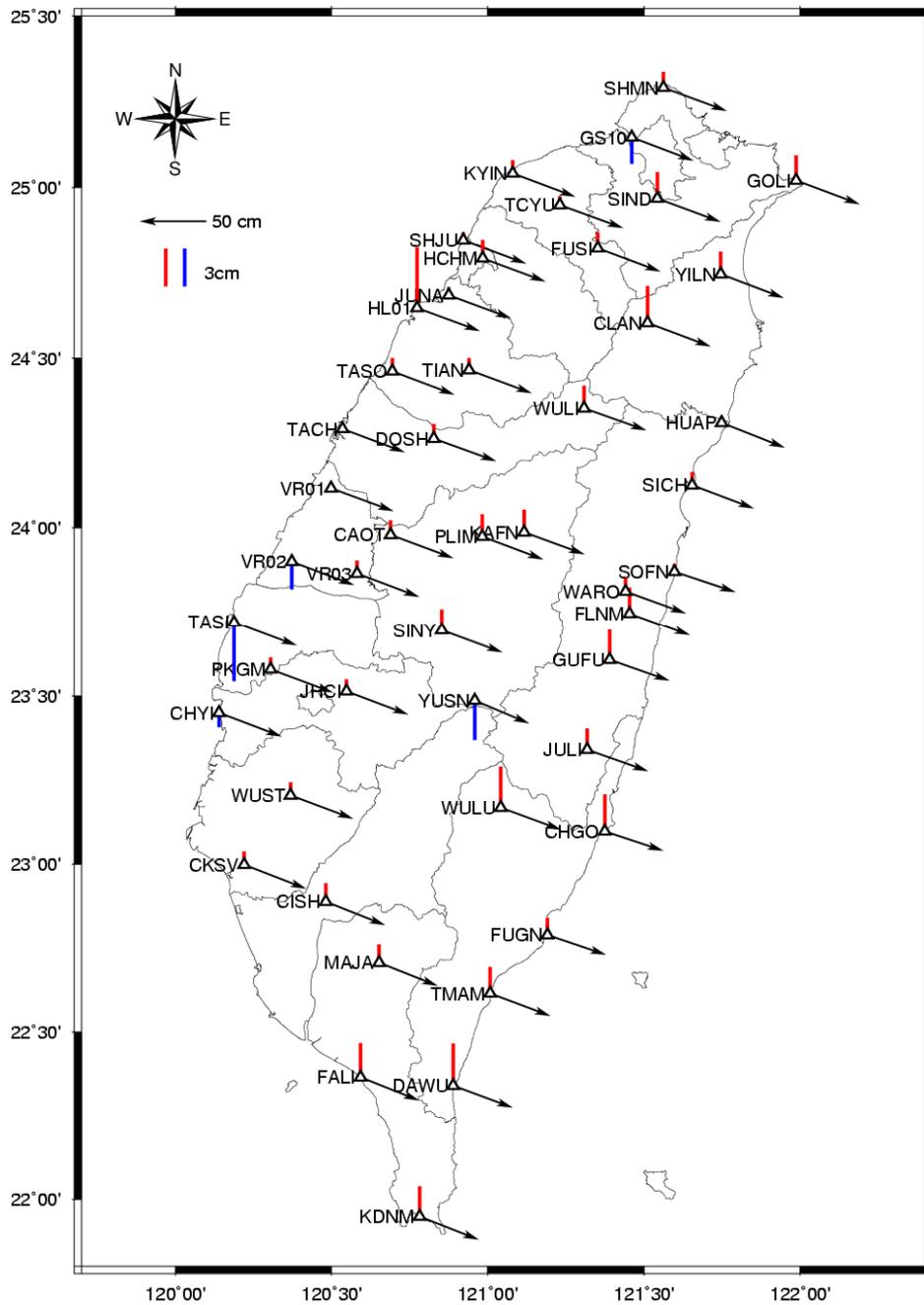


圖 5-2-1 基準站 e-GPS 坐標與 TWD97[2010]坐標成果較差向量示意圖

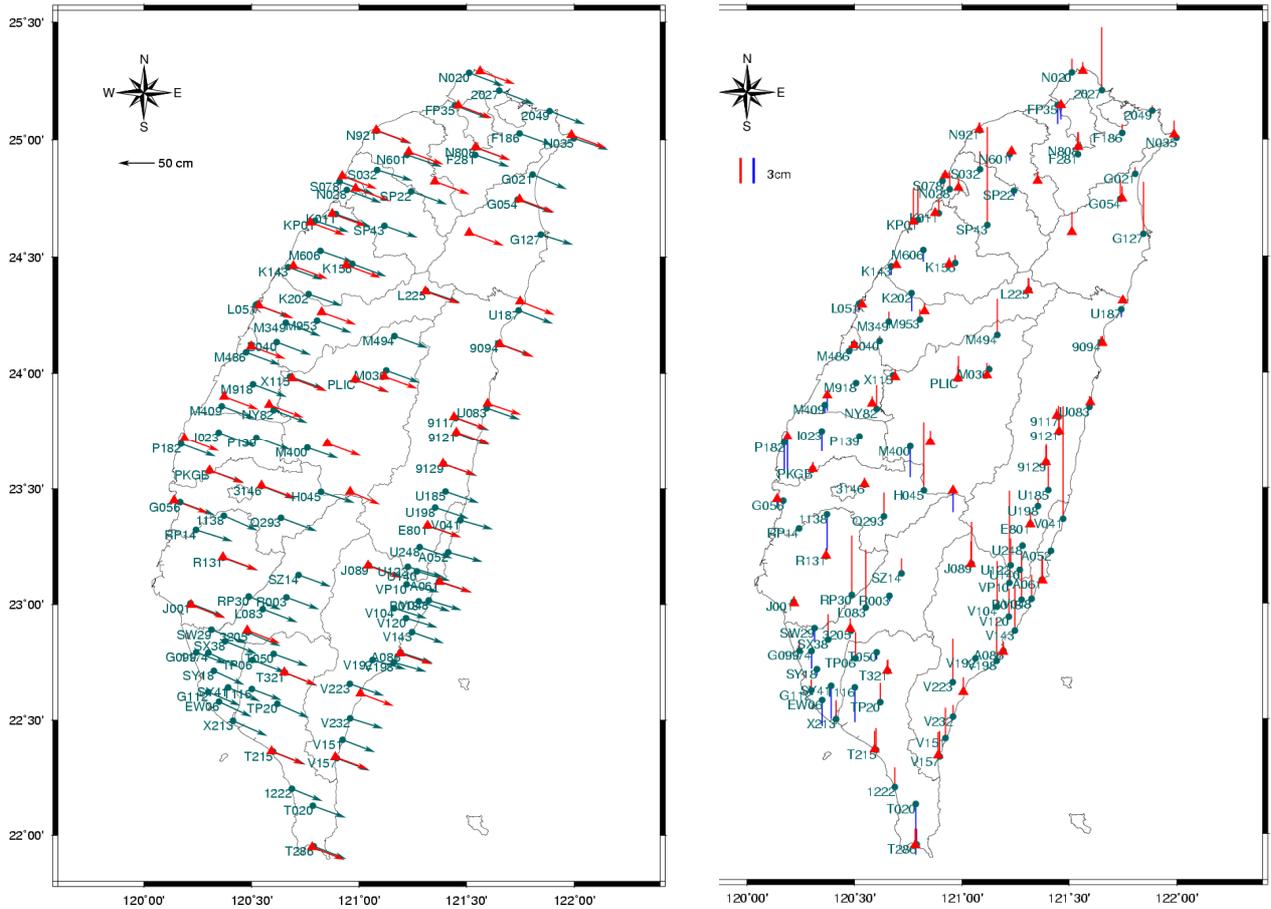


圖 5-2-2 基本控制點分布及其 e-GPS 及 TWD97[2010]坐標較差示意圖

### 5-2-1 七參數坐標轉換

本中心即時性衛星動態定位服務方式採用分區方式提供，臺灣本島地區分為基北桃竹、苗中投、彰雲嘉、南高屏、台東、花蓮及宜蘭等 7 個服務網，以下採用各分區使用之基準站作為轉換共同點，進行七參數坐標轉換計算，並可由轉換後得到之中誤差來評估各區共同點的幾何關係，如果中誤差較大，可能表示該區轉換前後各共同點坐標值所代表的相對關係變動較大，各分區所使用之共同點（基準站）及轉換後中誤差如表 5-2-1，全區則是將臺灣本島所有基準站作為轉換

共同點，轉換後中誤差為 0.0115 公尺。從表 5-2-1 可發現，基北桃竹和宜蘭服務網轉換後中誤差相較其他分區成果較小，分別為 0.0062 公尺和 0.0056 公尺。

表 5-2-1 七參數轉換—各分區轉換共同點及坐標轉換中誤差

轉換分區	使用之共同點 (基準站)	自由度	各分區坐標轉換中誤差 (單位：公尺)
全區	CAOT、CHGO、CHYI、CISH、CKSV、CLAN、DAWU、DOSH、FALI、FLNM、FUGN、FUSI、GOLI、GS10、GUFU、HCHM、HL01、HUAP、JHCI、JULI、JUNA、KAFN、KDNM、KYIN、MAJA、PKGM、PLIM、SHJU、SHMN、SICH、SIND、SINY、SOFN、TACH、TASI、TASO、TCYU、TIAN、TMAM、VR01、VR02、VR03、WARO、WULI、WULU、WUST、YILN、YUSN	137	0.0115
北基桃竹	SHMN、GS10、SIND、GOLI、KYIN、TCYU、CLAN、YILN、FUSI、SHJU、WULI、JUNA、HCHM	32	0.0062
苗中投	FUSI、SHJU、WULI、JUNA、TASO、TIAN、TACH、DOSH、HL01、VR01、VR03、CAOT、SINY、PLIM、KAFN、YUSN、HCHM、LSB0	47	0.0109
彰雲嘉	VR01、VR02、VR03、CAOT、SINY、TASI、PKGM、JHCI、CHYI、TACH、WUST、CKSV、YUSN、LSB0	35	0.0146
台東	GUFU、JULI、CHGO、YUSN、WULU、FUGN、TMAM、MAJA、DAWU、FALI、KDNM	26	0.0125
花蓮	SICH、CHGO、FLNM、GUFU、JULI、WARO、CLAN、WULU、WULI、KAFN、YUSN、SINY	29	0.0136
宜蘭	SIND、GOLI、YILN、FUSI、CLAN、WULI、HUAP	14	0.0056
南高屏	GUFU、JULI、TMAM、DAWU、KDNM、WULU、YUSN、FALI、MAJA、CISH、JHCI、CHYI	29	0.0131

※基準站中文名稱可參考附錄對照表

由於基準站坐標更新後，e-GPS 系統使用者獲得的即時動態定位坐標亦會隨著更新而變動，相同的點位會獲得不同組的坐標值，在不同時間施測的測繪成果如需整合，就必須採用坐標轉換的方式轉換至相同時刻的坐標系統。為評估轉換結果與實測成果間差異，本節採用七參數坐標轉換方式，將基本控制點實際檢測獲得之 e-GPS 坐標轉到 TWD[2010]坐標系統，再將該基本控制點實際利用檢測獲得之坐標（TWD[2010]）作為參考值，進行比較分析。

經過計算後，使用全區 48 個共同點轉換得到的結果（以下簡稱全區轉換），與參考值的坐標值較差（絕對值）平均值 dX 為 0.015 公尺、dY 為 0.020 公尺、dZ 為 0.019 公尺，各分量與參考值坐標較差平均約在 0.02 公尺。若使用各分區之轉換共同點進行轉換，單一分區較差平均值 dX 最大 0.021 公尺（南高屏）、dY 最大 0.026 公尺（臺東），dZ 最大 0.031 公尺（臺東），各服務網較差（絕對值）平均值如表 5-2-2。

表 5-2-2 各分區待轉換點轉換後坐標與參考值坐標較差平均值

轉換分區 (共同點數量)	待轉換點 數量	該區待轉換點兩種坐標較差平均值(單位:公尺)		
		dX	dY	dZ
全區 (48)	102	0.015	0.020	0.019
北基桃竹 (13)	15	0.012	0.021	0.014
苗中投 (18)	16	0.012	0.014	0.010
彰雲嘉 (14)	12	0.012	0.016	0.012
台東 (11)	17	0.017	0.026	0.031
花蓮 (12)	12	0.009	0.013	0.011
宜蘭 (7)	3	0.009	0.021	0.029
南高屏 (12)	27	0.021	0.023	0.018

因為七參數轉換屬於三維的卡式直角坐標轉換，若以 XYZ 分量表示，則不易察覺平面與高程的差異，故將 XYZ 卡氏坐標轉換成測繪業務上常使用之 2 度 TM 投影坐標，並與參考值進行比較分析。計算後得到待轉換點使用全區轉換後與實測坐標值較差（絕對值）平均值各分量分別為 dE 為 0.011 公尺、dN 為 0.016 公尺、dh 為 0.024 公尺，若使用各分區之轉換共同點進行轉換，單一分區較差平均值 dE 最大 0.018 公尺（南高屏）、dN 最大 0.022 公尺（宜蘭、臺東），dh 分量最大值 0.036 公尺（臺東）；另外採用全區或各分區轉換參數得到的各分量較差標準偏差及較差值區間詳如表 5-2-3、待轉換點與參考值較差各量級數量統計直方圖詳如圖 5-2-3、圖 5-2-4。

由分析結果可知，若將本中心 e-GPS 定位系統所使用之基準站坐標，更新為 TWD97[2010]坐標後，待轉換點原動態定位成果透過七參數（全區）轉換至新坐標系統，E、N、h 分量較差中誤差分別為 0.015 公尺、0.021 公尺、0.036 公尺，與參考值的較差介於 $\pm 0.02$ 公尺之間的比率，E、N、h 分量分別為 88.2%、81.4%、69.6%，轉換精度應可符合大部分測繪業務使用；如果採用分區轉換方式（待轉換點使用該分區的轉換參數進行轉換），彙整所有待轉換點與參考值的較差介於 $\pm 0.02$ 公尺之間的比率，平面 E、N 分量分別提高為 91.2%、91.2%，高程 h 分量則維持在差異微小的比率 68.6%，顯然，使用分區轉換在平面分量上，可得到更接近參考值的轉換結果。

表 5-2-3 各轉換分區待轉換點較差標準偏差及較差值區間一覽表 (單位:公尺)

轉換分區	項目	dE	dN	dh
全區	較差中誤差	0.015	0.021	0.036
	點位較差範圍	0.045 ~ -0.042	0.044 ~ -0.066	0.089 ~ -0.135
北基桃竹	較差中誤差	0.009	0.012	0.040
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.018 ~ -0.009	0.011 ~ -0.015	0.034 ~ -0.080
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.014 ~ -0.013	0.009 ~ -0.018	0.038 ~ -0.075
苗中投	較差中誤差	0.010	0.011	0.024
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.031 ~ -0.011	0.014 ~ -0.022	0.046 ~ -0.041
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.037 ~ -0.009	0.014 ~ -0.024	0.053 ~ -0.046
彰雲嘉	較差中誤差	0.012	0.010	0.031
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.003 ~ -0.030	0.015 ~ -0.023	0.031 ~ -0.089
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.001 ~ -0.032	0.023 ~ -0.018	0.037 ~ -0.084
台東	較差中誤差	0.013	0.027	0.050
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.015 ~ -0.030	0.005 ~ -0.055	0.023 ~ -0.135
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.025 ~ -0.017	0.001 ~ -0.066	0.020 ~ -0.135
花蓮	較差中誤差	0.014	0.015	0.016
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.002 ~ -0.041	0.010 ~ -0.033	0.037 ~ -0.019
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.010 ~ -0.029	0.006 ~ -0.042	0.031 ~ -0.017
宜蘭	較差中誤差	0.020	0.027	0.035
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.033 ~ -0.007	0.022 ~ -0.041	0.008 ~ -0.060
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.025 ~ -0.013	0.021 ~ -0.040	0.007 ~ -0.054
南高屏	較差中誤差	0.022	0.017	0.037
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.041 ~ -0.053	0.037 ~ -0.019	0.100 ~ -0.077
	分區坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.045 ~ -0.042	0.044 ~ -0.013	0.089 ~ -0.074

採用全區單一轉換參數

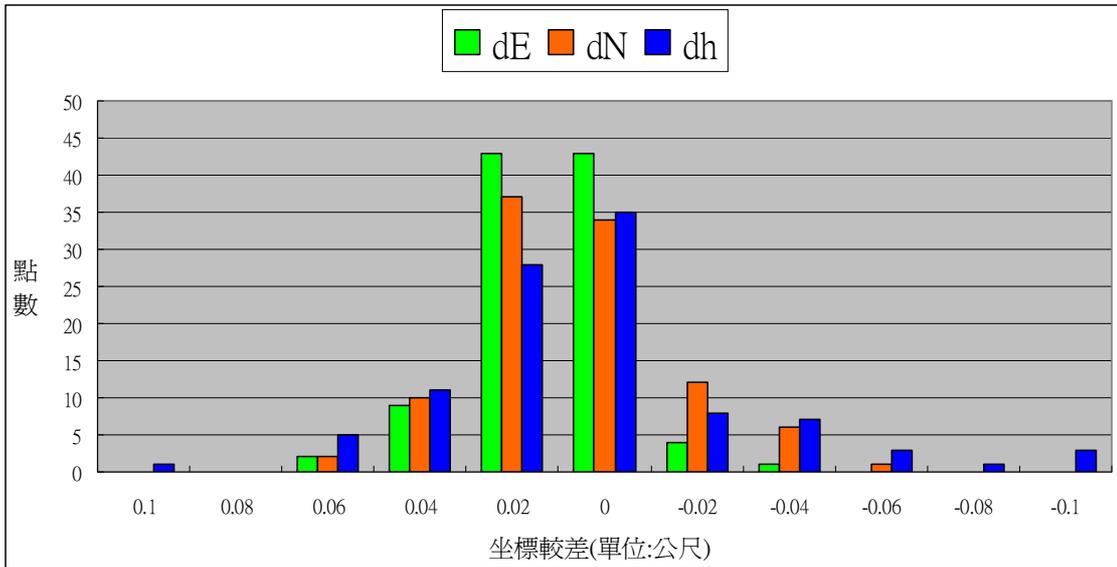


圖 5-2-3 待轉換點轉換後坐標與參考值較差各量級數量統計直方圖

採用各分區轉換參數計算後彙整

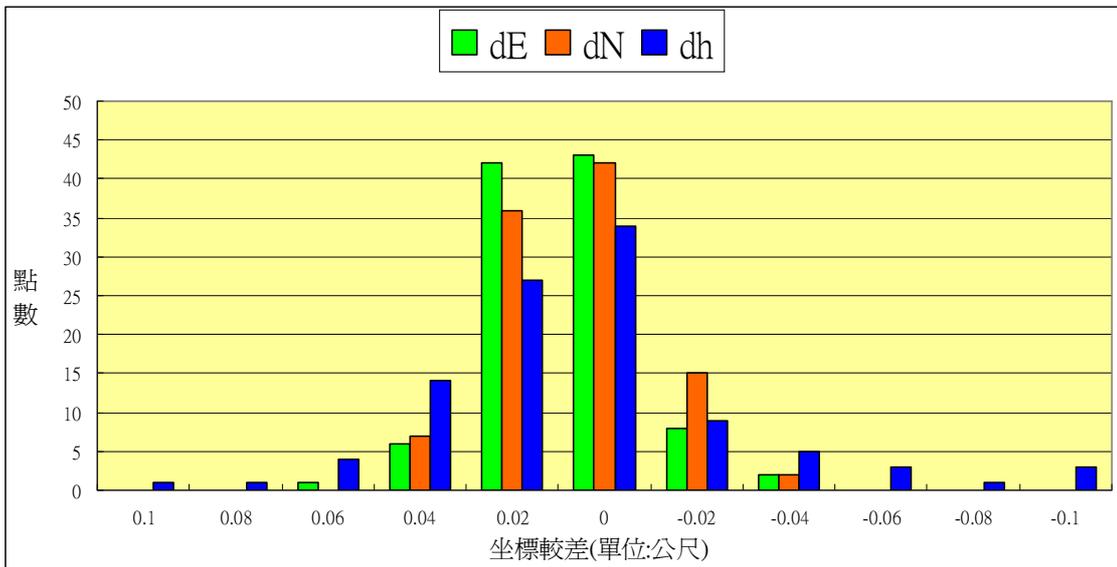


圖 5-2-4 待轉換點轉換後坐標與參考值較差各量級數量統計直方圖

### 5-2-2 六參數最小二乘配置轉換

本節同樣依 5-2-1 節方式，分為全區轉換、基北桃竹、苗中投、彰雲嘉、南高屏、台東、花蓮、宜蘭等 8 區，採用各分區使用之基準站作為轉換共同點，進行六參數最小二乘配置轉換計算。這種坐標轉換模式屬平面轉換方式，故坐標轉換計算使用之轉換程式是將平面及高程分量分開計算，也就是將 N、E、h 坐標分量（觀測量）視為無相關性，分別推估函數模式間進行系統性誤差的改正。各分區所使用之共同點（基準站）及轉換後中誤差如表 5-2-4，計算後可得知全區轉換中誤差為 0.0081 公尺（平面），同樣也是基北桃竹和宜蘭服務網轉換後中誤差相較其他分區成果為小，分別為 0.0003 公尺和 0.0004 公尺。

為評估轉換結果與實測成果間差異，本節採用六參數最小二乘配置轉換，將基本控制點觀測得到之 e-GPS 坐標轉到 TWD97[2010] 坐標系統，同樣把該點實際檢測之 TWD97[2010] 坐標視為參考值進行比較分析。計算後得知使用全區轉換得到的結果，與實測坐標值較差（絕對值）平均值 dE 為 0.010 公尺、dN 為 0.011 公尺、dh 為 0.023 公尺，單一分區較差平均值 dE 最大 0.017 公尺（南高屏、宜蘭）、dN 最大 0.022 公尺（宜蘭），dh 最大 0.035 公尺（臺東）、ds 最大 0.028 公尺（宜蘭），各服務網分區較差（絕對值）平均值如下圖 5-2-5；另外採用全區或各分區轉換參數得到的各分量較差標準偏差及較差值區間詳如表 5-2-5，待轉換點轉換後坐標與實測坐標之較差，各量級數量統計直方圖詳如圖 5-2-6。

表 5-2-4 六參數最小二乘配置轉換--各分區轉換共同點及坐標轉換中誤差

轉換分區	使用之共同轉換點	自由度 (平面)	各分區坐標 轉換中誤差
全區	CAOT、CHGO、CHYI、CISH、CKSV、CLAN、DAWU、DOSH、FALI、FLNM、FUGN、FUSI、GOLI、GS10、GUFU、HCHM、HL01、HUAP、JHCI、JULI、JUNA、KAFN、KDNM、KYIN、MAJA、PKGM、PLIM、SHJU、SHMN、SICH、SIND、SINY、SOFN、TACH、TASI、TASO、TCYU、TIAN、TMAM、VR01、VR02、VR03、WARO、WULI、WULU、WUST、YILN、YUSN	90	0.0081
基北桃竹	SHMN、GS10、SIND、GOLI、KYIN、TCYU、CLAN、YILN、FUSI、SHJU、WULI、JUNA、HCHM	20	0.003
苗中投	FUSI、SHJU、WULI、JUNA、TASO、TIAN、TACH、DOSH、HL01、VR01、VR03、CAOT、SINY、PLIM、KAFN、YUSN、HCHM、LSB0	30	0.0077
彰雲嘉	VR01、VR02、VR03、CAOT、SINY、TASI、PKGM、JHCI、CHYI、TACH、WUST、CKSV、YUSN、LSB0	22	0.0082
台東	GUFU、JULI、CHGO、YUSN、WULU、FUGN、TMAM、MAJA、DAWU、FALI、KDNM	16	0.0098
花蓮	SICH、CHGO、FLNM、GUFU、JULI、WARO、CLAN、WULU、WULI、KAFN、YUSN、SINY	22	0.0108
宜蘭	SIND、GOLI、YILN、FUSI、CLAN、WULI、HUAP	8	0.004
南高屏	GUFU、JULI、TMAM、DAWU、KDNM、WULU、YUSN、FALI、MAJA、CISH、JHCI、CHYI	18	0.0116

※基準站中文名稱可參考附錄對照表

表 5-2-5 各轉換分區待轉換點較差標準偏差及較差值區間一覽表 (單位:公尺)

轉換分區	項目	dE	dN	dh
全區	較差中誤差	0.014	0.016	0.036
	點位較差範圍	0.040 ~ -0.038	0.039 ~ -0.056	0.081 ~ -0.145
北基桃竹	較差中誤差	0.009	0.012	0.039
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.018 ~ -0.006	0.010 ~ -0.015	0.009 ~ -0.075
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.015 ~ -0.009	0.013 ~ -0.011	0.009 ~ -0.075
苗中投	較差中誤差	0.010	0.009	0.024
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.031 ~ -0.007	0.007 ~ -0.024	0.056 ~ -0.040
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.036 ~ -0.007	0.008 ~ -0.024	0.057 ~ -0.039
彰雲嘉	較差中誤差	0.016	0.009	0.033
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.008 ~ -0.041	0.014 ~ -0.022	0.017 ~ -0.105
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.008 ~ -0.033	0.014 ~ -0.021	0.025 ~ -0.096
台東	較差中誤差	0.011	0.021	0.050
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.017 ~ -0.022	0.004 ~ -0.051	0.019 ~ -0.140
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.016 ~ -0.023	0.003 ~ -0.056	0.015 ~ -0.145
花蓮	較差中誤差	0.014	0.010	0.012
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.005 ~ -0.044	0.009 ~ -0.023	0.021 ~ -0.020
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.007 ~ -0.037	0.009 ~ -0.029	0.019 ~ -0.022
宜蘭	較差中誤差	0.021	0.028	0.033
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.034 ~ -0.007	0.021 ~ -0.043	0.008 ~ -0.055
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.023 ~ -0.007	0.028 ~ -0.029	0.004 ~ -0.061
南高屏	較差中誤差	0.021	0.015	0.037
	坐標較差範圍 (分區轉換參數)	0.040 ~ -0.043	0.030 ~ -0.025	0.084 ~ -0.068
	坐標較差範圍 (全區轉換參數)	0.040 ~ -0.038	0.039 ~ -0.019	0.081 ~ -0.070

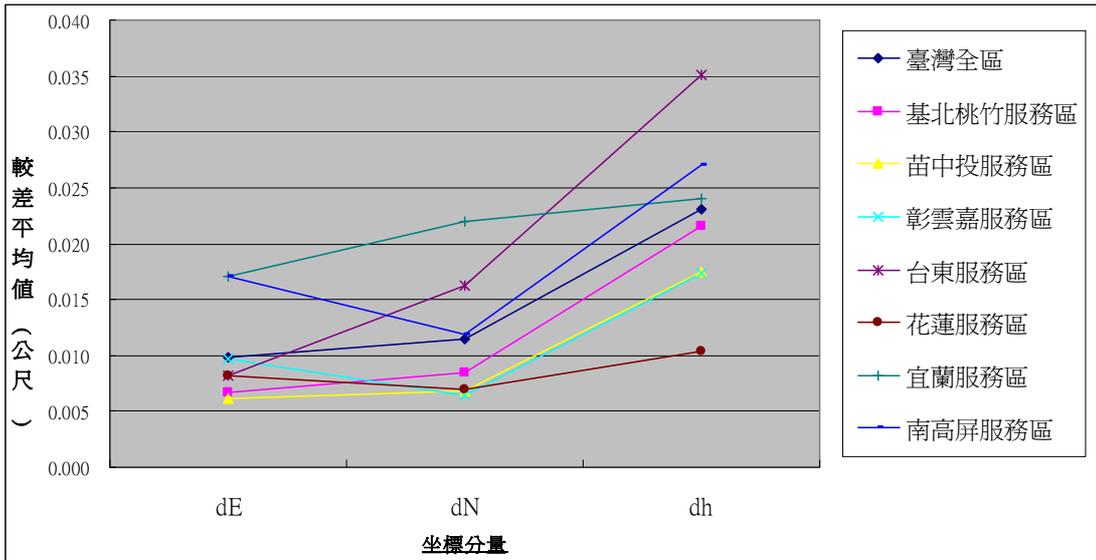


圖 5-2-5 各轉換分區待轉換點轉換後坐標與實測坐標較差平均值示意圖

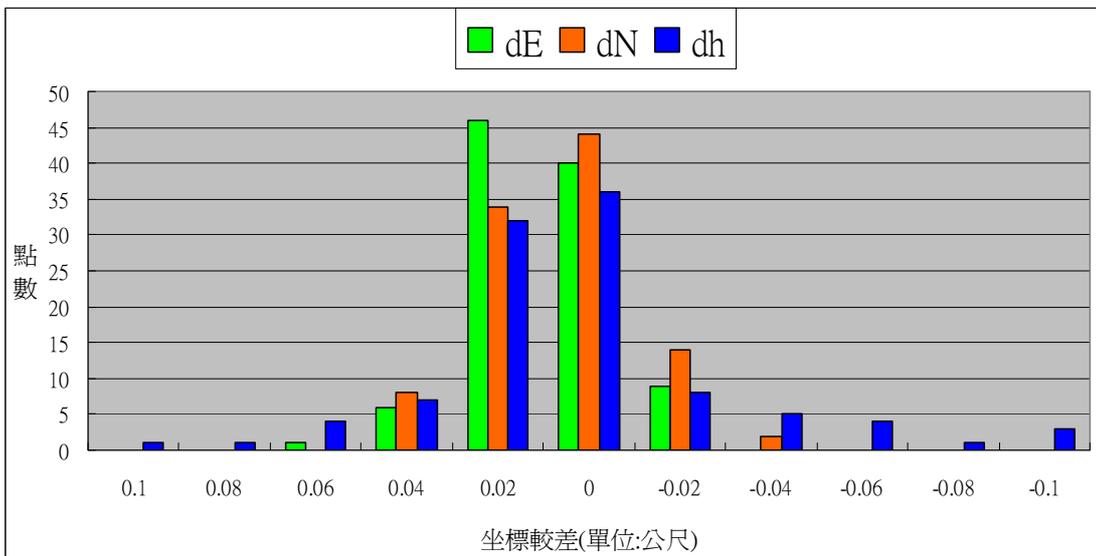


圖 5-2-6 待轉換點轉換後坐標與實測坐標較差大小分布示意圖

由分析結果可知，若將本中心 e-GPS 定位系統所使用之基準站坐標，更新為 TWD97[2010]坐標後，以基準站當作共同點，待轉換點原動態定位成果透過六參數最小二乘配置轉換（全區）至新坐標系統後，與實際動態定位成果較差介於 $\pm 0.02$ 公尺的比率，E、N、h 分量分別為 93.1%、90.2%、74.5%，尤其在平面分量上均達到九成以上，轉換精度應可符合大部分測繪業務使用。

### 5-2-3 兩種轉換模式之比較

另外為評估不同的轉換模式對於轉換結果是否有差異，本節將待轉換點的實測 TWD97[2010]坐標當作參考值，與七參數轉換與六參數最小二乘配置轉換兩種轉換成果(全區)進行比較分析，若以各點位較差平均值及標準偏差作為判斷指標（詳如表 5-2-6），兩種轉換模式得到的結果相當接近，六參數最小二乘配置轉換模式僅略微優於七參數轉換。

表 5-2-6 兩種轉換模式全區轉換成果標準偏差及較差平均值

轉換模式	項目	E 分量	N 分量	h 分量
七參數轉換	較差標準偏差	0.015	0.021	0.036
	較差平均值 (絕對值)	0.011	0.016	0.024
六參數最小二 乘配置轉換	較差標準偏差	0.014	0.016	0.036
	較差平均值 (絕對值)	0.010	0.011	0.023

(單位:公尺)

\*較差標準偏差計算方式，係將各點位坐標（與參考值）較差平方加總後再除以總點數

若將待轉換點兩種轉換成果與實測坐標的 N、E 分量差值，當作 X、Y 分量繪製成散佈圖（詳如圖 5-2-7），h 分量則以 2 公分為一個區間，計算各區間點位數量並繪製成直方圖（詳如圖 5-2-8），若依上述待轉換換點散布情形作為轉換成果優劣評斷指標，可發現兩種轉換模式並無明顯差異。

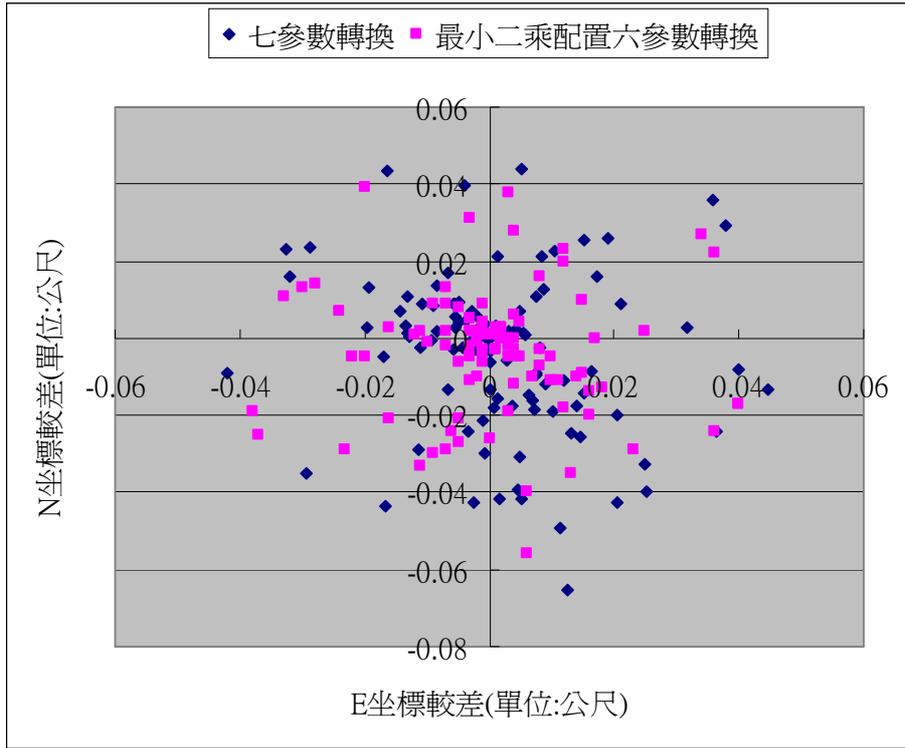


圖 5-2-7 不同轉換模式之待轉換點較差 N、E 分量散佈圖

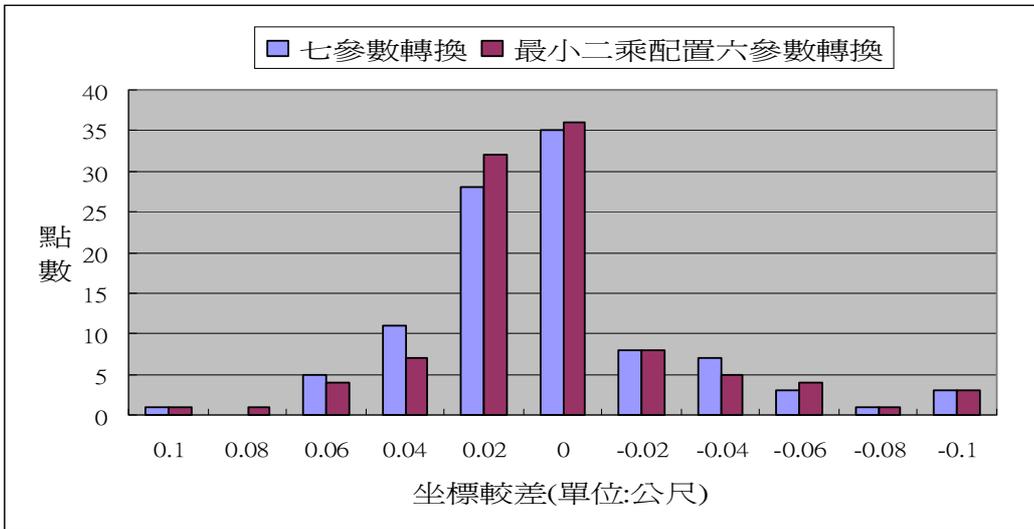


圖 5-2-8 不同轉換模式之待轉換點較差 h 分量各區間點數直方圖

進一步以常態分布來比較分析兩種轉換模式轉換結果，利用與參考值的較差計算標準化常態分布值  $Z$ ，兩種轉換模式待轉換點標準化常態分布值直方圖如下圖 5-2-9。

$$Z = \frac{I - \mu}{\sigma} \quad \mu : \text{算術平均數} \quad \sigma : \text{標準差}$$

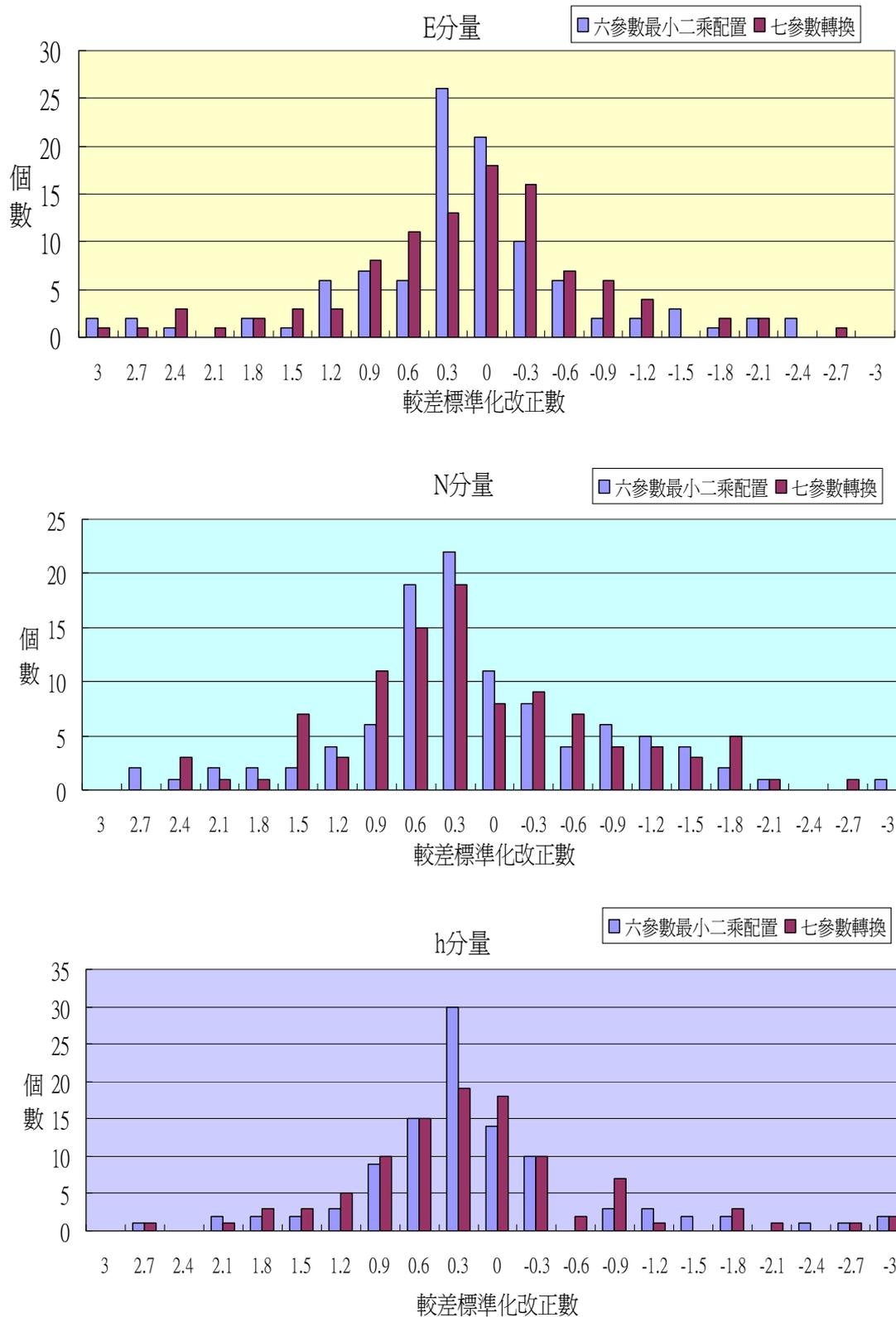


圖 5-2-9 兩種轉換模式待轉換點標準化常態分布值直方圖

整體而言，不論使用何種轉換模式，與實測坐標進行比較，N、E 分量較差平均值可小於 0.02 公尺、高程分量可小於 0.025 公尺，若以單一點位而言，平面最大較差 E 分量為 0.04 公尺、N 分量 0.056，高程最大較差為 0.145 公尺。如果選用相同的共同點，兩種轉換模式結果並無很大的差異，但比較較差標準化改正數的分布情形，使用六參數最小二乘配置轉換模式的轉換結果，可看出較差標準化改正數接近 0 級距的點位數量較多，優於七參數轉換模式，轉換結果較為一致。另外，使用七參數轉換模式，如果轉換共同點的數量大於未知數，平差計算時作為觀測量的共同點坐標會有改正數，也就是原本的坐標值會因為平差計算後而變更，有適法性之疑慮；而最小二乘配置法可假設觀測量無粗差存在，所有共同點坐標經最小二乘配置法估計後不會有改正數存在，且轉換結果也較為一致，相較之下如涉及基本控制點間的坐標轉換計算，建議可優先選用加入最小二乘配置法的轉換模式。

#### 5-2-4 全區與分區轉換之比較

相較於網形平差計算，坐標轉換計算係利用區內共同點坐標求得 1 組最佳轉換參數，再依此組參數求得待轉換點新坐標，故轉換結果會與該區共同點整體變動趨勢較為相關，故轉換共同點的選擇也是影響坐標轉換結果的因素。為評估分區或全區轉換模式否對轉換結果是有影響，本節將待轉換點的 TWD97[2010]實測坐標當作參考值，依各服務網劃分採用六參數最小二乘配置轉換模式進行坐標轉換，與全區轉換結果做比較。

比較分區及全區轉換結果後，彙整得到各分區 N、E、h 分量較差標準偏差比較詳如圖 5-2-10；另外將 N、E 分量差值當作 X、Y 分

量繪製成散佈圖，並與全區轉換成果一起比較得到之 N、E 分量較差散佈圖及 h 分量較差區間個數統計直方圖詳如圖 5-2-11、圖 5-2-12；最後，將所有待轉換點坐標分區轉換成果彙整，求得全區與分區轉換各分量標準化常態分布值直方圖詳如圖 5-2-13。

由結果分析可得知，分區或全區轉換所得到的成果並無明顯差異，測試使用的 7 個服務網待轉換點，不論使用分區轉換或全區轉換參數計算得到的較差標準偏差值都十分相近，但使用各分區轉換參數的點位，N、E 分量較差值在 0.02~-0.02 公尺範圍，點數略多、分布也較集中，分析可能原因為本次採用轉換分區是參考本中心 e-GPS 系統劃分之服務網，各分區範圍至少超過 1 個或數個縣市以上，且各分區使用之共同點亦有重複，無法凸顯兩者轉換參數的不同，故分區或全區轉換結果顯示出來的差異性也較小。

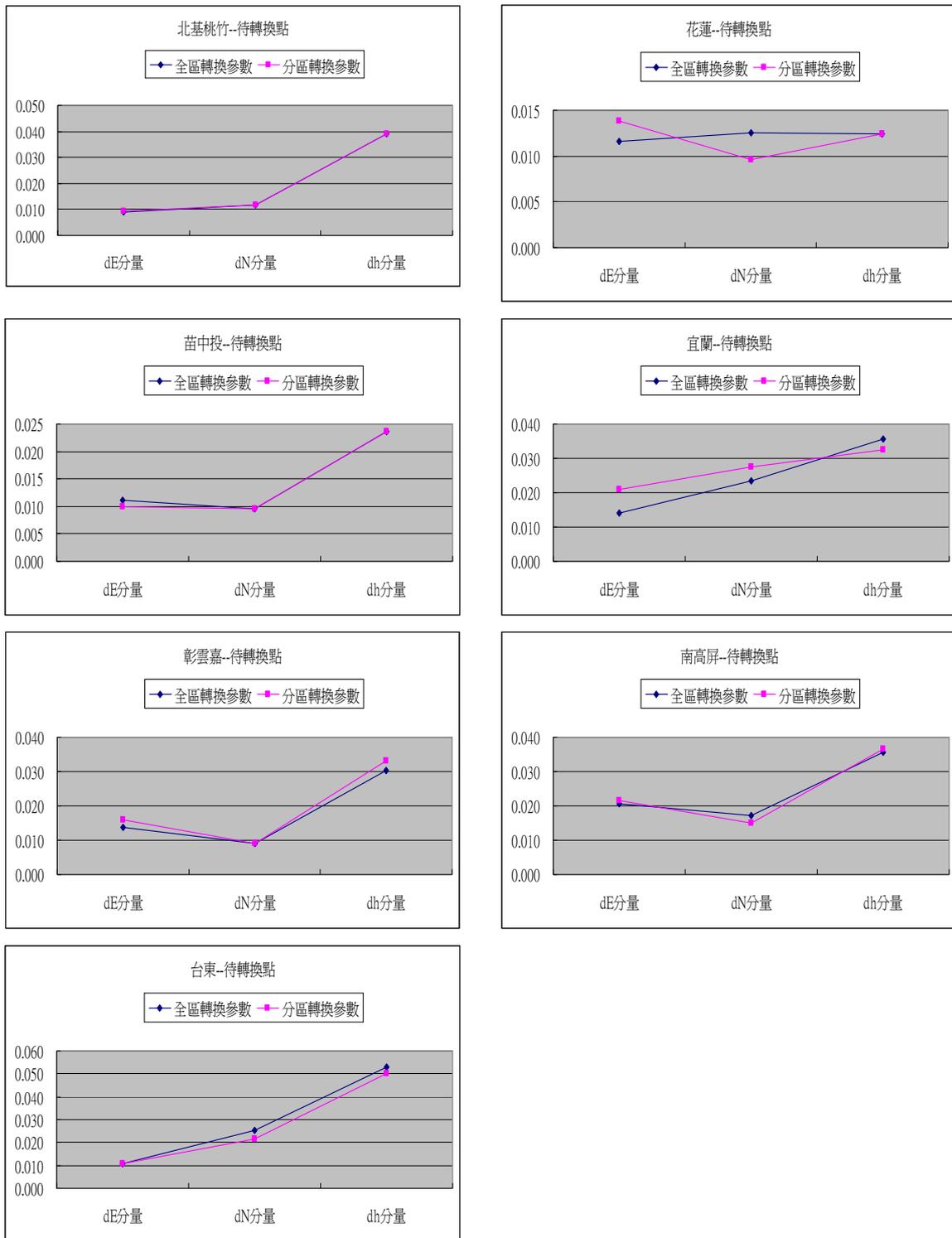


圖 5-2-10 各分區待轉換點轉換後坐標較差中誤差比較圖

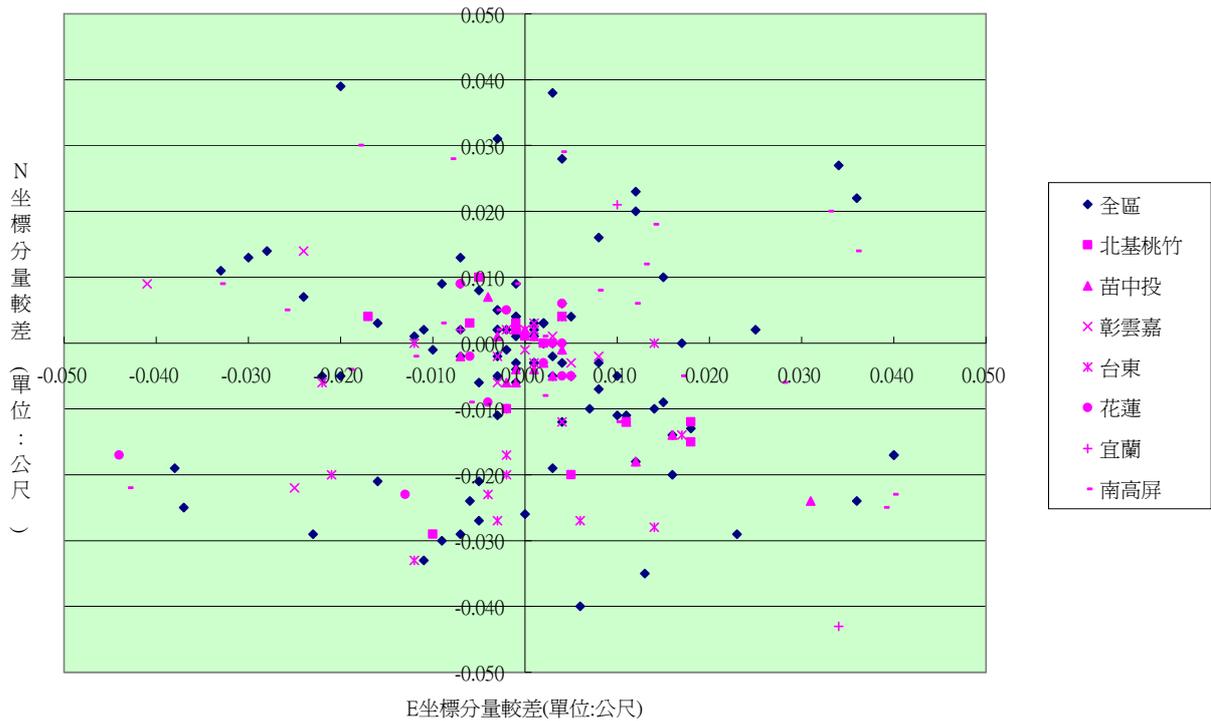


圖 5-2-11 全區與分區轉換結果比較—待轉換點 N、E 分量較差散佈圖

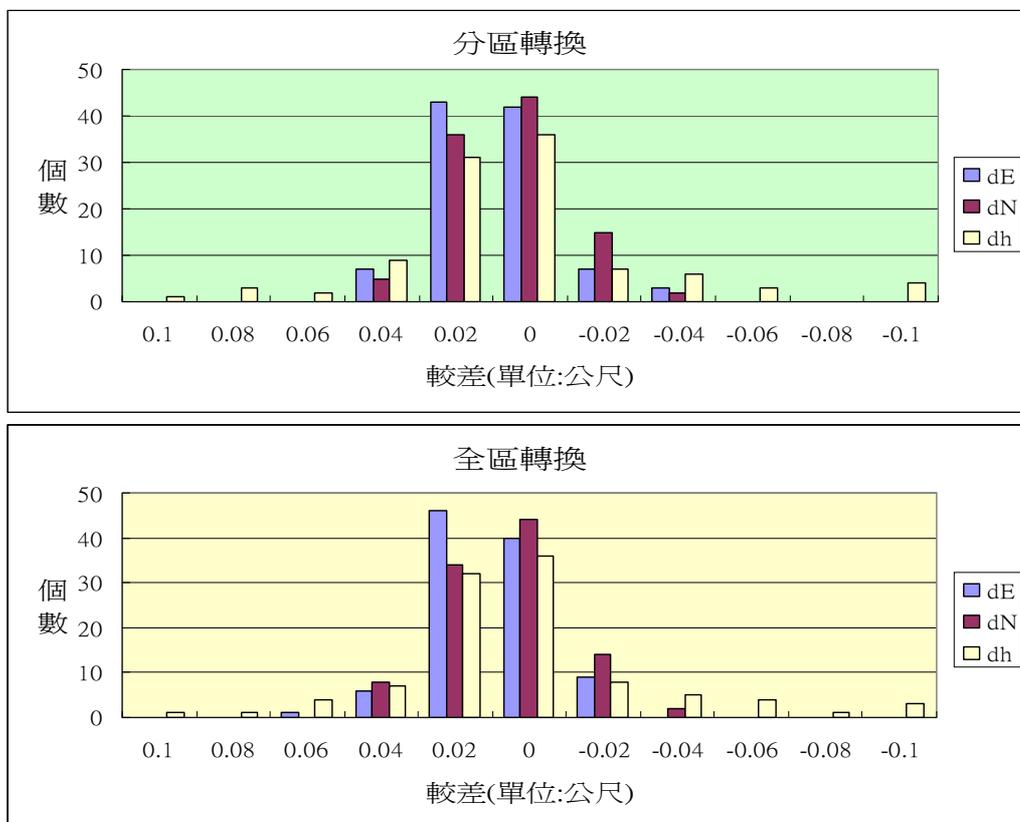


圖 5-2-12 全區與分區轉換結果比較—各分量較差區間個數統計直方圖

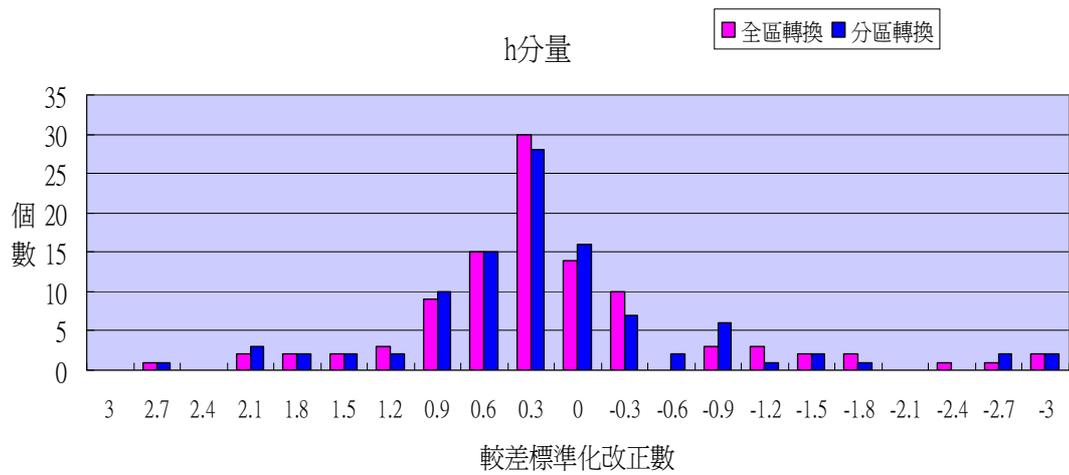
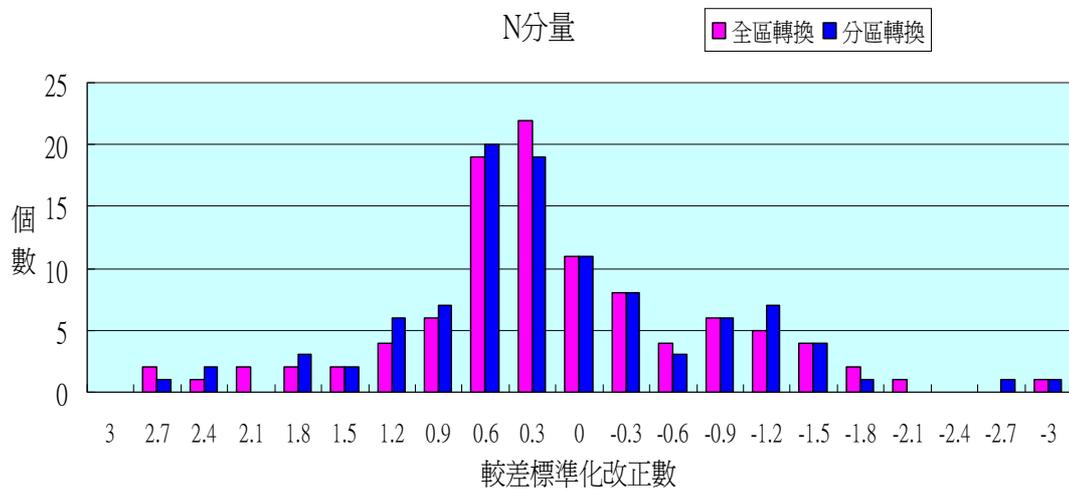
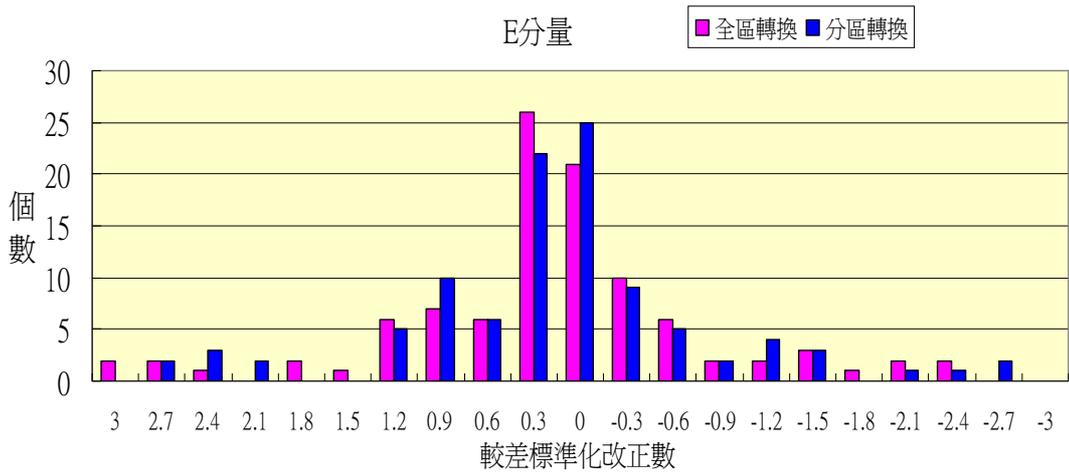


圖 5-2-13 全區與分區轉換結果比較—各分量標準化常態分布值直方圖

### 5-2-5 包含其他變動因素的坐標轉換

考量 e-GPS 定位系統的營運需要，基準站坐標不可能頻繁變動，本中心 e-GPS 定位系統自 96 年度開始建置完成起，曾在 98 年 7 月 1 日更新過基準站坐標並沿用至今。系統使用者在更動基準站坐標前後，亦將獲得不同坐標系統的即時動態定位成果，即便兩者的差異很小，為了後續測繪成果應用的一致性，仍需要進行坐標轉換到同一坐標系統。另外，基準站坐標更新間隔期間，不論是基準站本身或是基本控制點的設置地點，仍持續受到地殼變動、人為或其他因素影響，不同點位間相對關係也持續在改變，甚至必須考量相對位移不一致的因素，也包含了先前章節提到之網形張力影響，一旦進行坐標轉換計算的範圍越大或基準站坐標更新的時間越長，上述因素對於坐標轉換的結果影響可能就越大。

為評估基準站坐標變動實際可能造成的影響，本節選用本中心 97 及 99 年度（本中心 e-GPS 定位系統曾於 98 年 7 月 1 日更新基準站坐標）「三等精度速度場測量及管理維護作業」臺灣地區基本控制點動態定位成果，同樣利用基準站作為轉換共同點，分別將 97 年和 99 年檢測成果轉換到 TWD97[2010]坐標系統，共同點轉換前坐標分別使用 97 年 2 月 5 日、98 年 7 月 1 日更新之基準站坐標成果（均以 BERNESE 軟體使用連續觀測資料計算得到），轉換後坐標均使用內政部公告之[2010]坐標成果，並據以計算轉換參數。

待轉換點選用臺灣本島地區具有內政部公告 TWD97[2010]成果（靜態測量成果）之各級基本控制點 1,540 點，分別使用 97 或 99 年度檢測坐標，及上述 2 組轉換參數進行坐標轉換後，再與各基本控制點 TWD97[2010]內政部公告成果（參考值）進行比較。2 組坐

標轉換成果之轉換中誤差、較差平均值及較差標準偏差比較詳如表 5-2-7。

由表 5-2-7 數據可知，使用相同轉換共同點，2 組轉換參數平面轉換中誤差分別為 0.0083 及 0.0239 公尺，坐標更新間隔時間僅約 1 年半，但共同點間的幾何相對關係已有明顯改變，也連帶影響了待轉換點的轉換結果。99 年度檢測成果轉換至 TWD97[2010]坐標系統後，與公告坐標比較的較差標準偏差及較差平均值，均明顯優於 97 年度檢測成果的轉換結果。

表 5-2-7 97、99 年檢測成果轉換至 TWD97[2010]坐標系統成果比較表

資料年度	平面轉換中誤差	點數	項目	較差分量 (單位:公尺)			
				dN	dE	dh	ds
99 年度	0.0083 (公尺)	共同點 46 點	較差標準偏差	0.016	0.017	0.062	0.023
		待轉換點 1540 點	較差平均值	0.011	0.012	0.046	0.018
97 年度	0.0239 (公尺)	共同點 46 點	較差標準偏差	0.026	0.025	0.066	0.037
		待轉換點 1540 點	較差平均值	0.018	0.019	0.050	0.029

\*較差標準偏差計算方式，係將各點位坐標（與參考值）較差平方加總後再除以總點數

另外，再將待轉換點轉換後坐標與內政部公告坐標間 N、E、h 分量的差值，以 2 公分為一個區間，計算各區間點位數量並繪製成直方圖，99、97 年度檢測成果轉換後較差相關散佈圖及直方圖如圖 5-2-14、圖 5-2-15。若依待轉換換點散布情形作為轉換成果優劣評斷指標，可發現 99 年度轉換成果，N、E、h 分量較差落在 0.02~-0.02 公尺中的比例分別為 90.0%、88.0%和 41.6%；而 97 年度轉換成果 N、E、h 分量較差落在 0.02~-0.02 公尺中的比例則降為 74.4%、75.8

%和 41.6%，99 年度轉換成果較差散布情形較為集中，明顯優於 97 年度轉換成果。另外從統計直方圖可知，待轉換點 h 分量較差在各區間的點位數量，呈現一個常態分布情形，轉換後結果與內政部 [2010]公告成果（靜態測量成果）間約有 0.03 公尺的系統性差值，推測原因可能與檢測作業（動態或靜態觀測）方式有關，惟仍需進一步探討。

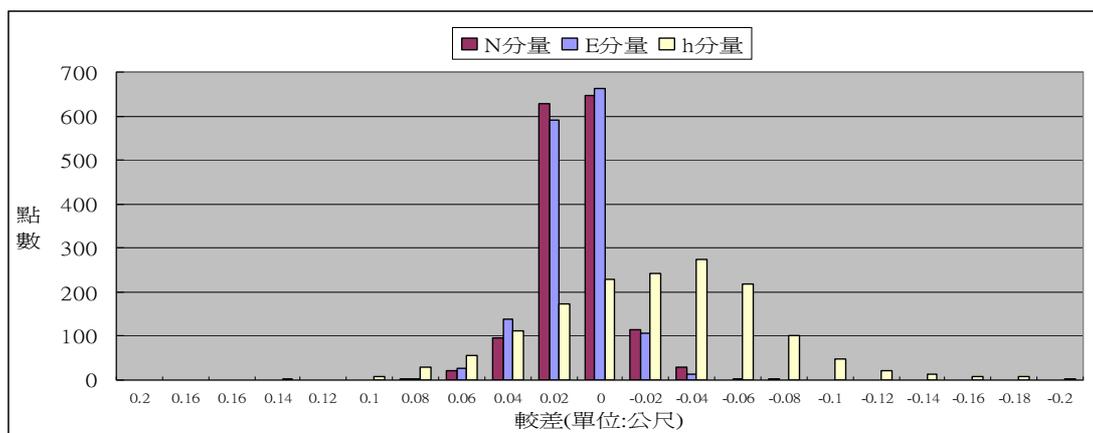


圖 5-2-14 待轉換點（99 年檢測成果）轉換後坐標與 TWD97[2010]公告坐標間較差之各區間點數統計直方圖

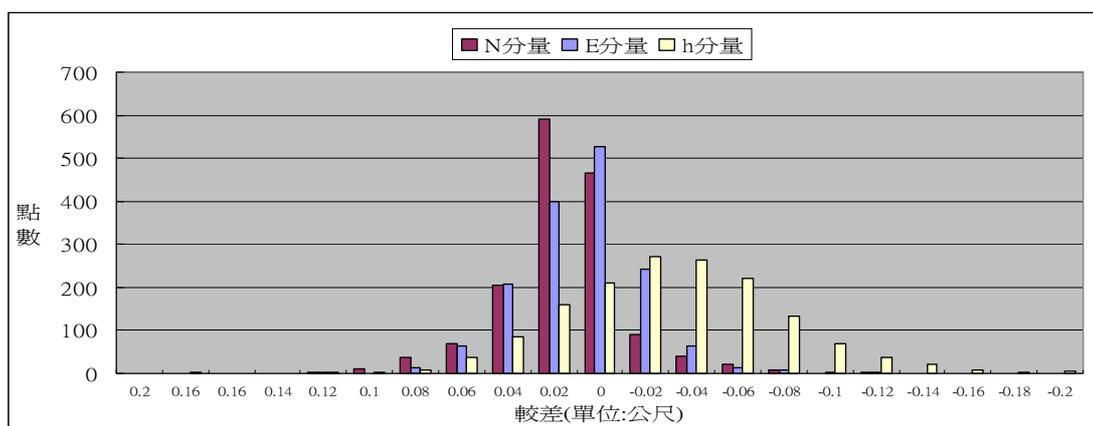


圖 5-2-15 待轉換點（97 年檢測成果）轉換後坐標與 TWD97[2010]公告坐標間較差之各區間點數統計直方圖

如果進一步把 N、E 分量的較差繪製成 X、Y 散佈圖，臺灣地區的待轉換點轉換後坐標與 TWD97[2010]公告坐標間較差之 N、E 分量散佈圖如圖 5-2-16，可知 97 年檢測成果轉換後坐標與公告坐標的差值，明顯比 99 年的檢測成果大。如果再依照 e-GPS 服務網劃分繪製各分區散佈圖（如圖 5-2-17、圖 5-2-18、圖 5-2-19、圖 5-2-20、圖 5-2-21、圖 5-2-22、圖 5-2-23），各分區轉換結果也是以 99 年度檢測結果較優。另外，南高屏、花蓮、宜蘭及台東等區，2 年度檢測成果轉換後的差異性比其他 3 區還要更明顯，這與先前第四章第三節分析結果，南高屏、花蓮、宜蘭及台東等區屬於相對變動性較大的區域，有一致性的分析結果。

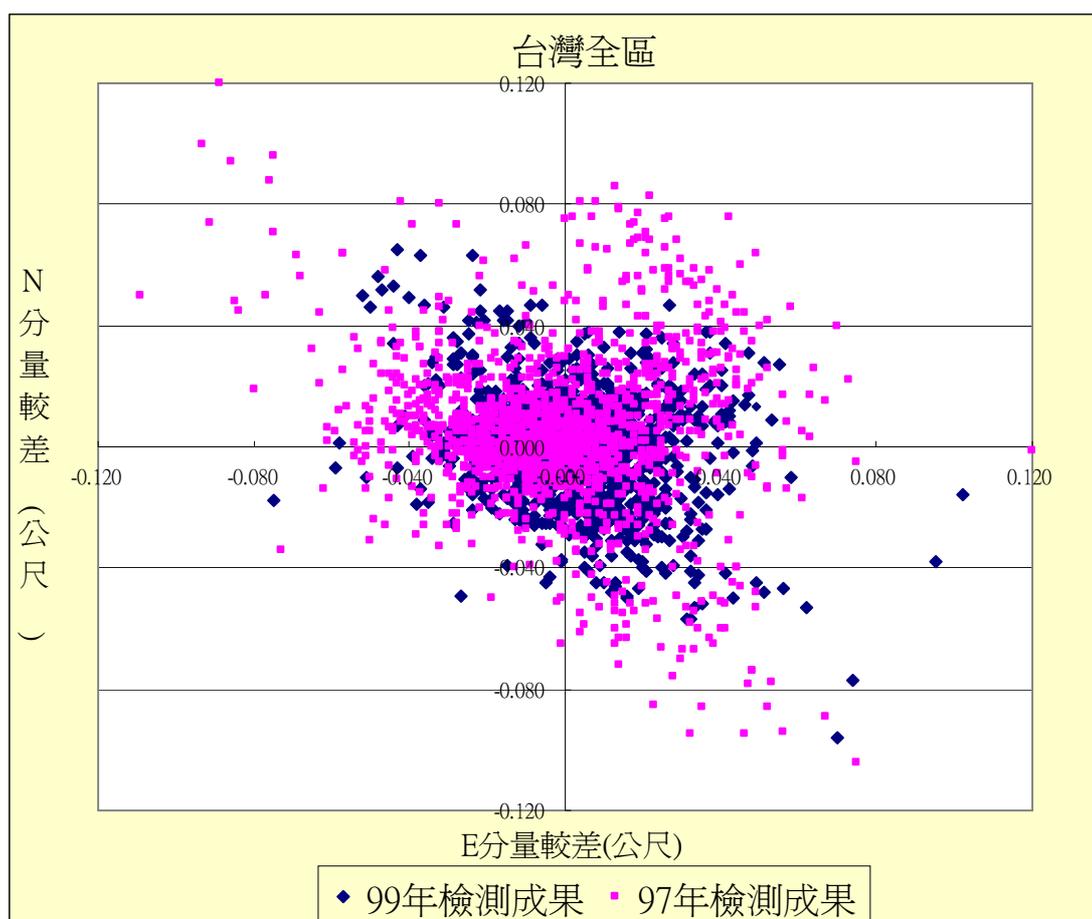


圖 5-2-16 待轉換點（99 年檢測成果）轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖

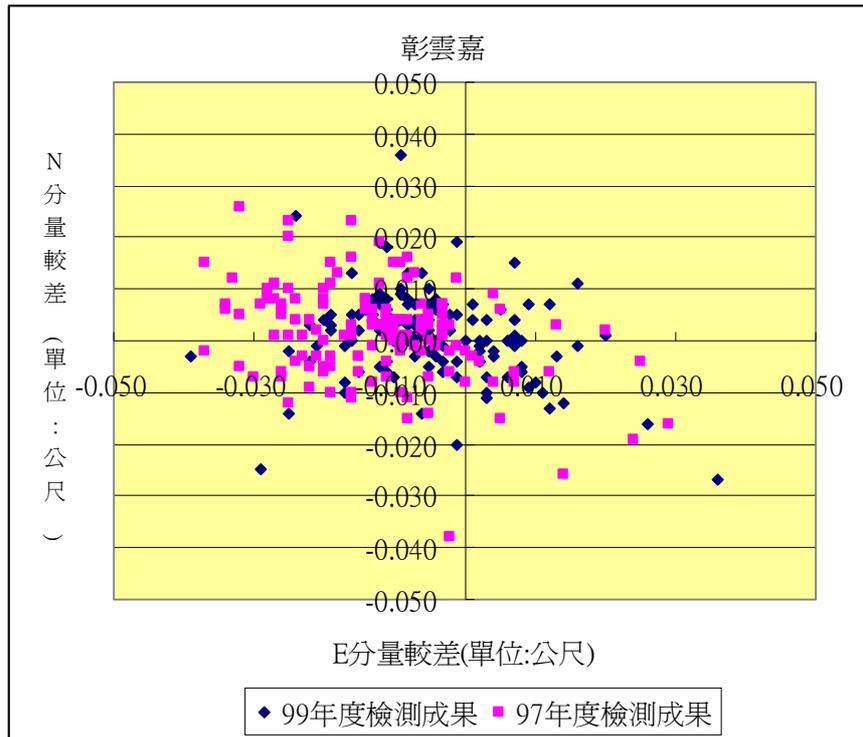


圖 5-2-17 彰雲嘉區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖

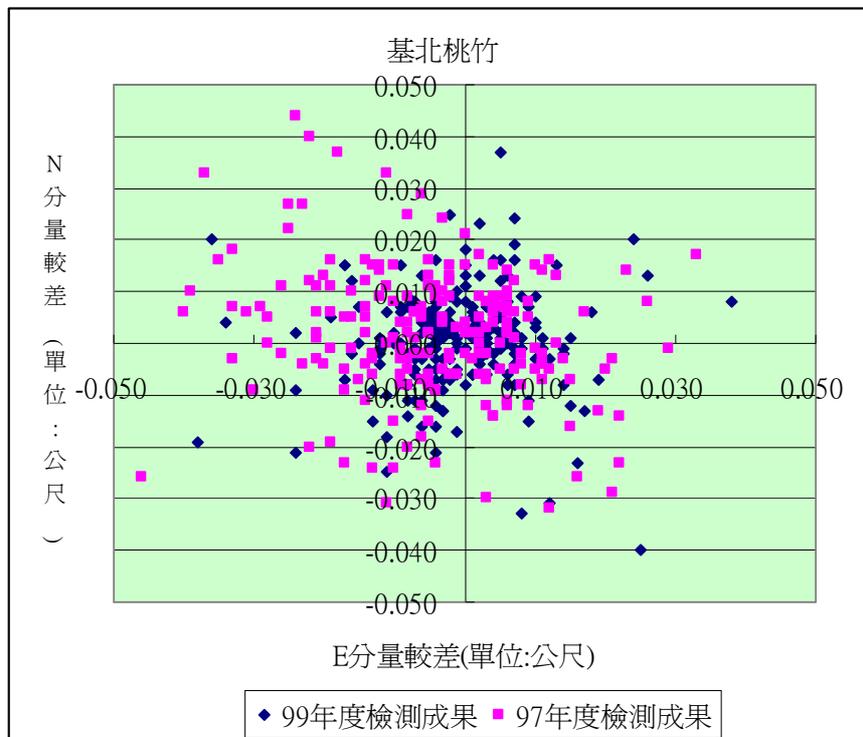


圖 5-2-18 基北桃竹區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖

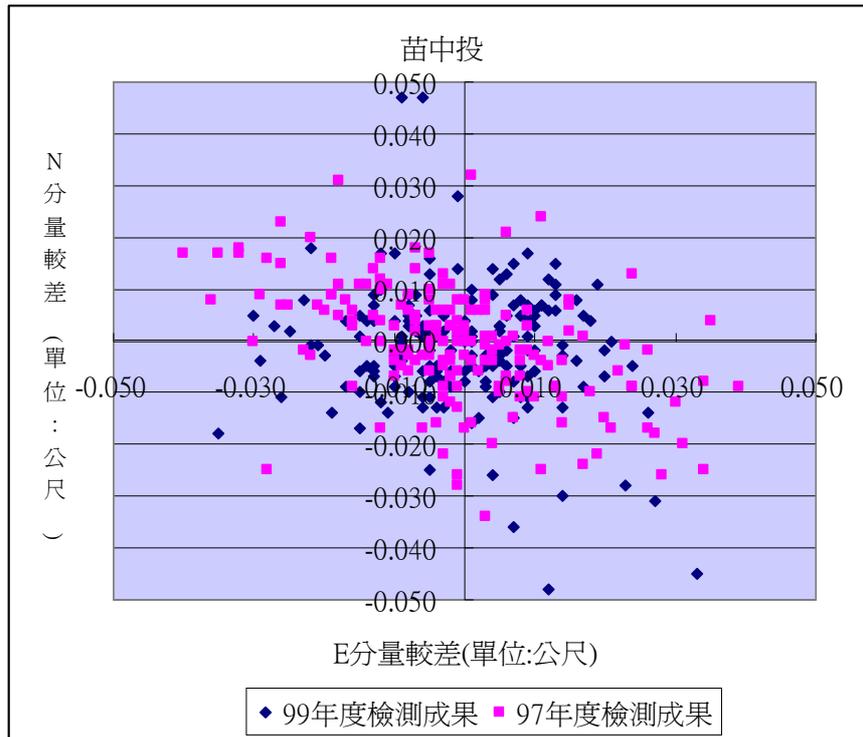


圖 5-2-19 苗中投區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖

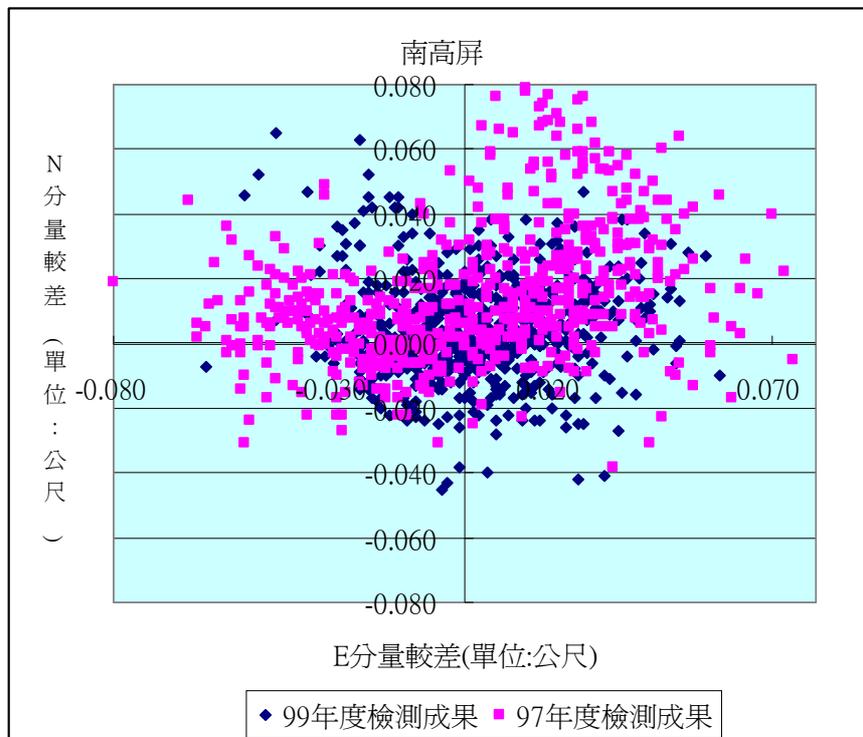


圖 5-2-20 南高屏區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖

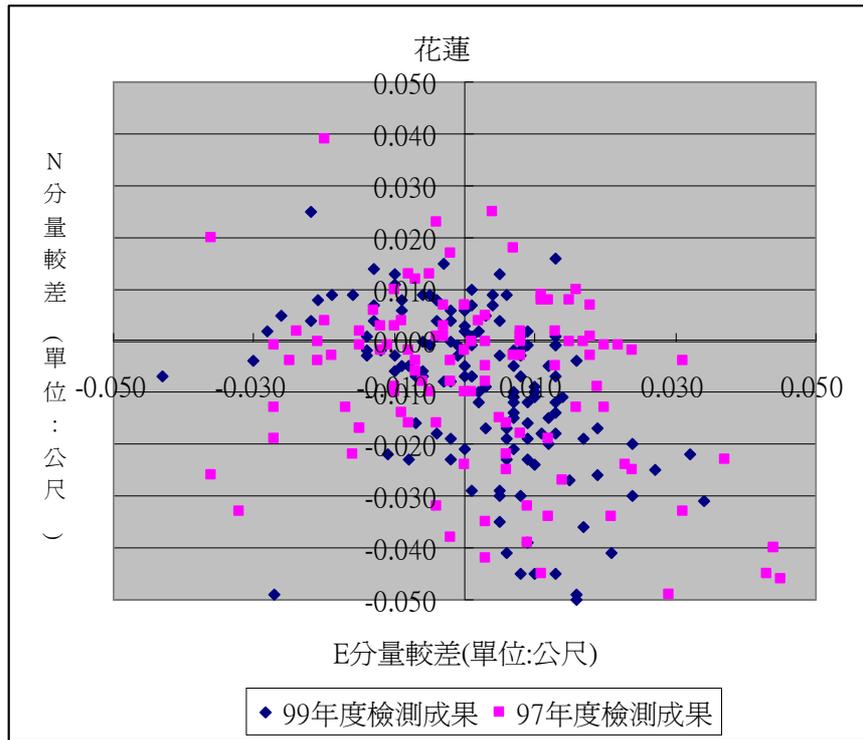


圖 5-2-21 花蓮區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖

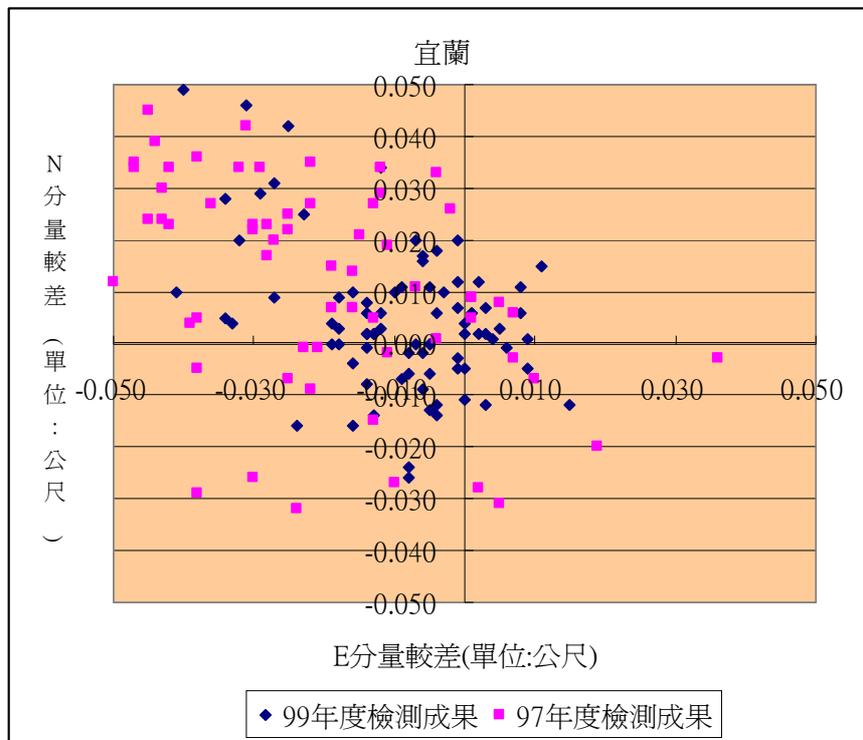


圖 5-2-22 宜蘭區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖

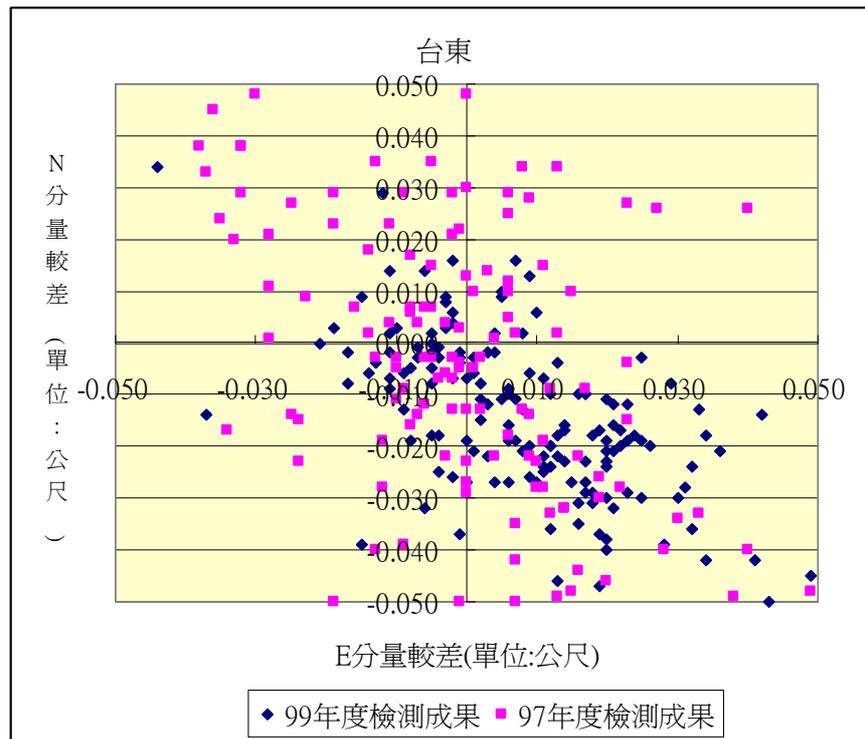


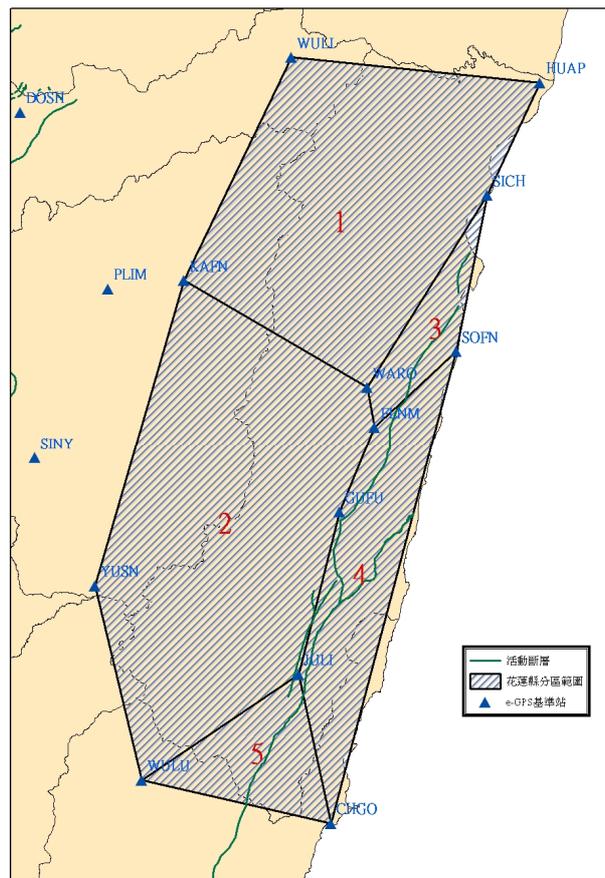
圖 5-2-23 台東區待轉換點轉換後坐標與公告坐標間 N、E 分量較差散佈圖

由以上結果分析可知，若是基準站坐標更動的間隔時間越長，共同點轉換前後的幾何關係差異就越大，對於坐標轉換的結果影響就越明顯。為了降低上開因素的影響，以下嘗試選用較小的轉換區域，也就是將共同點分布（包圍）的範圍縮小，受到各種因素造成幾何關係變動趨勢應該也較為一致，分析是否能提升轉換成果精度。

以地殼變動較大的花蓮服務網範圍(包含台東服務網北部部分地區)，劃分成 5 個小分區進行坐標轉換研究，各個小分區選擇 3~6 個基準站作為共同點，小區域的劃分方式如圖 5-2-24。待轉換點選用 97 年度「三等精度速度場測量及管理維護作業」基本控制點動態定位成果合計 168 點，以六參數最小二乘配置轉換模式求得轉換參數，將待轉換點坐標轉換到 TWD97[2010]坐標系統，以 TWD97[2010]公告成果當作參考值，計算得到的較差標準誤差及絕對值平均值如

表 5-2-8，經與全區轉換參數轉換得到的結果進行比較，小分區轉換不論是在 N、E、h 分量，均與 TWD97[2010]公告成果較為接近。

另外，再將待轉換點轉換後坐標與內政部公告坐標分別求得 N、E、h 分量較差，並將各點位 N、E 分量差值，當作 X、Y 方向分量繪製成散佈圖（如圖 5-2-25），以 2 公分為一個區間，統計各區間點位數量並繪製成直方圖（如圖 5-2-26），可知小分區轉換與 TWD97[2010]公告成果的較差，在 -0.04~0.04 公尺的範圍內數量較多且分布也較為集中，明顯與 TWD97[2010]公告成果較為接近。由以上分析結果可知，使用小分區進行坐標轉換，因為已知點變動情形較一致，據以計算得到的轉換參數，可獲得與後續檢測成果較接近的轉換結果。



5-2-24 花蓮服務網小區域坐標轉換區域劃分示意圖

表 5-2-8 全區、小分區轉換成果與 TWD97[2010]公告坐標成果較差分析

轉換方式	項目	dN	dE	dh
使用臺灣全區轉換參數	較差標準誤差	0.037	0.024	0.078
	較差絕對值平均	0.026	0.019	0.065
使用小區域轉換參數	較差標準誤差	0.023	0.022	0.076
	較差絕對值平均	0.017	0.017	0.063

(單位：公尺)

\*較差標準偏差計算方式，係將各點位坐標（與參考值）較差平方加總後再除以總點數

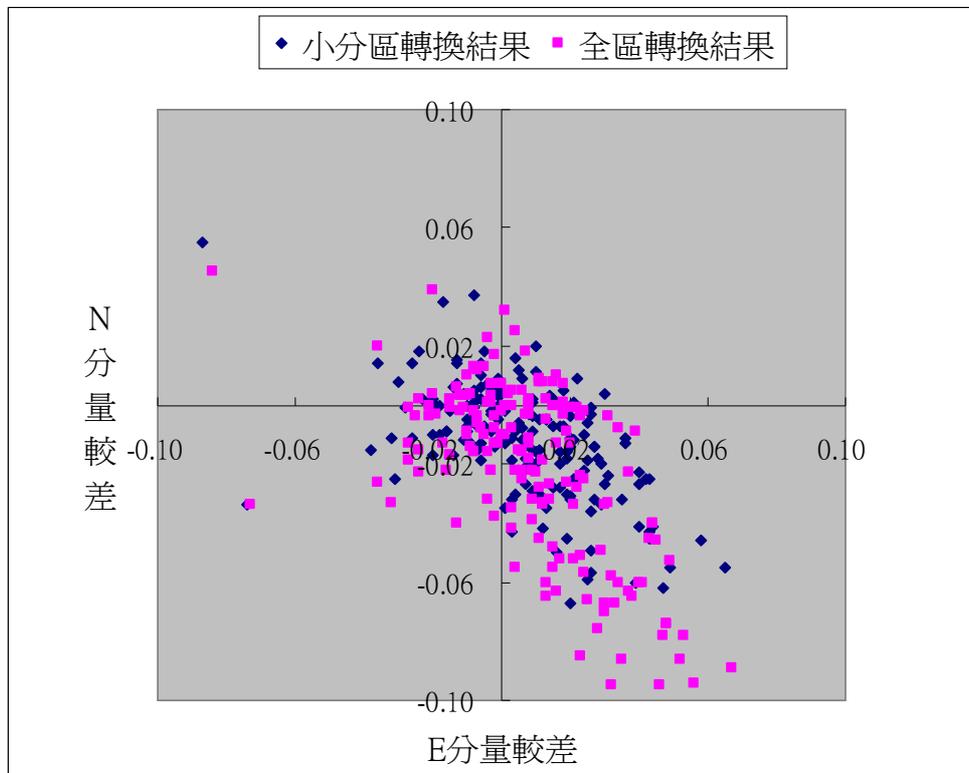


圖 5-2-25 待轉換點轉換後坐標與公告坐標間較差之 N、E 分量散佈圖 (單位：公尺)

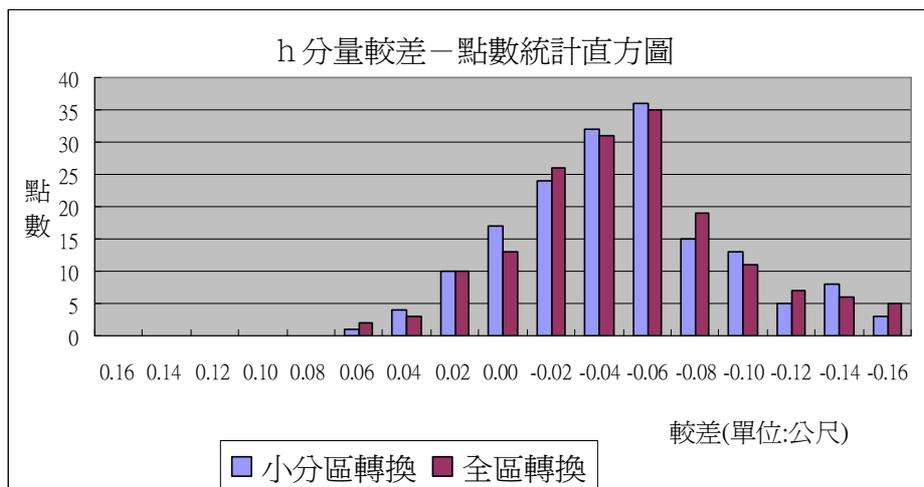
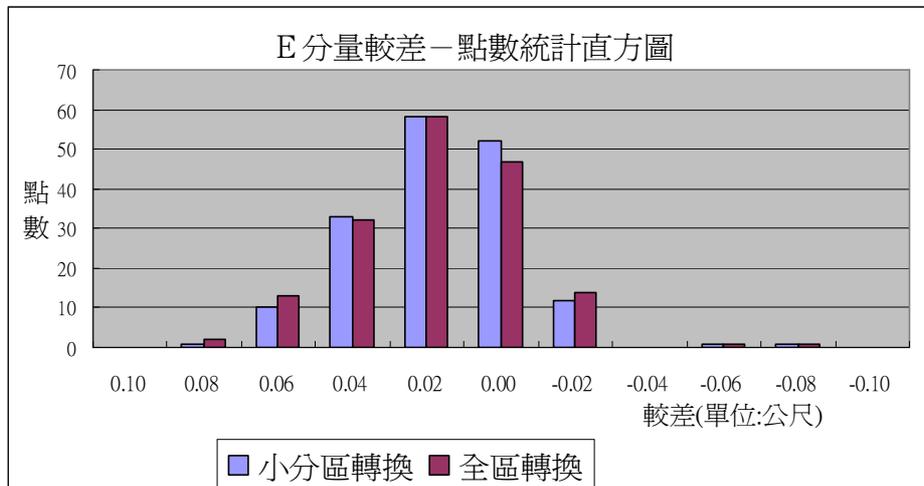
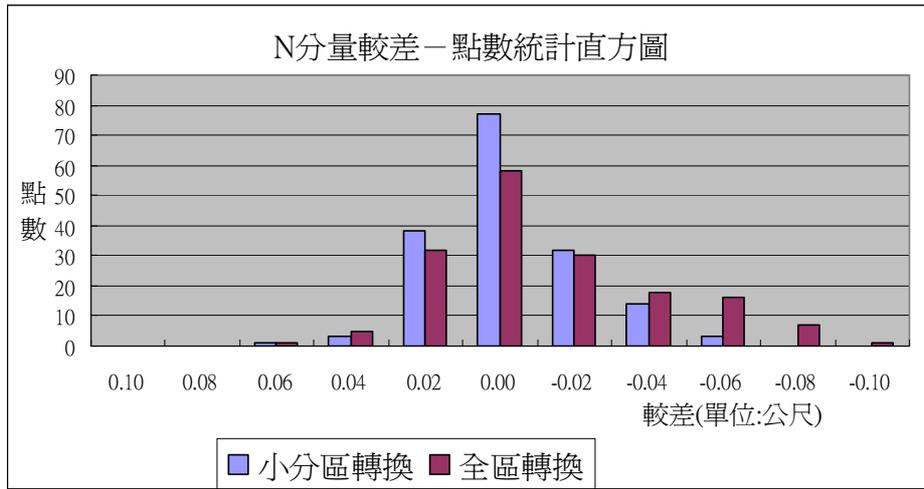


圖 5-2-26 待轉換點轉換結果與公告坐標之各較差區間點數統計直方圖

## 第六章 加入速度場資料之轉換分析

### 第一節 坐標轉換與速度場

空間內插在學理上是指使用已知值的點來推估其他點值大小的一個過程，利用一群有已知值的點建立內插的數學方程式，而已知點數量與分布均會影響空間內插的準確度。空間內插最基本假設是一個需要被內插的未知點，被鄰近已知點影響的程度會大於距離較遠的點，數學函式越複雜的內插模式，可加入評估的因素就越多。目前測繪業務上常使用的坐標轉換模式，係先收集共同存在觀測成果之點位，依輸入條件提供該點位坐標值，並以點位間距離作為內插計算相關性（權）的參考依據，求得函數參數值後進一步推算出新設點位坐標成果。但是這樣求得的轉換參數僅代表兩種成果在分別的坐標系統、固定時刻的轉換參數，卻忽略了待轉換點坐標本身可能還包含了誤差，甚至影響轉換結果精度。

以圖 6-1-1 為例，已知 e-GPS 系統坐標成果欲轉換求得 TWD97 坐標系統成果，一般做法是利用外圍共同點（基準站）坐標  $(X, Y, Z)_{TWD97}$ 、 $(X, Y, Z)_{e-GPS}$  及選定的轉換模式，求得轉換參數後，將待轉換點坐標  $(x, y, z)_{e-GPS}$  帶入轉換公式，即可獲得待轉換點轉換後坐標  $(x, y, z)_{TWD97}$ 。但實際上待轉換點坐標  $(x, y, z)_{e-GPS}$  與共同點坐標  $(X, Y, Z)_{e-GPS}$  測設的時間可能不同，由於地殼變動產生速度場的影響量，待轉換點已由  $(x, y, z)_{e-GPS}$  的位置變動至  $(x', y', z')_{e-GPS}$ ，實測獲得的 e-GPS 系統坐標當然也會有所差異，若帶入不同時刻的共同點坐標所求的的轉換公式，很可能就會有系統性的誤差產生。

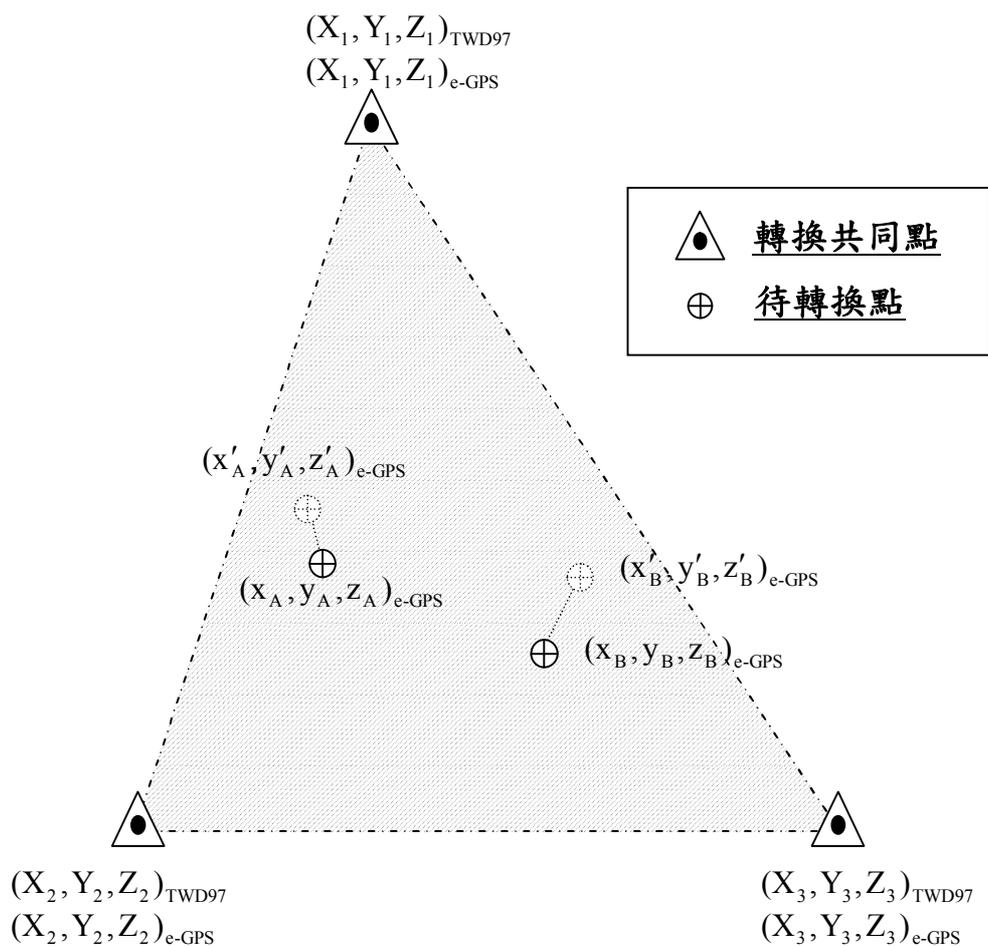


圖 6-1-1 速度場對坐標轉換的影響

由於地殼板塊運動，點位位置將隨時間而位移，而不同板塊間其位移的方向也不一致，因板塊巨大且移動緩慢。故對局部位置在短時間（數年）內可視為等速移動，在此前提下，點位某時間點所在位置（坐標）已知，該點位在另一時間點之位置，則可利用已知位置加上其位移速度乘上時間間距，即可推估得到，而重點即為如何能得到點位的移動速度？直接對點位進行觀測來求得位移速度是不合效益的，權宜的做法可對少數幾個分布均勻的固定點進行長期觀測以求得速度量，再利用這些已知的速度資訊去推估其他點位的速度量。臺灣地區已建構許多衛星追蹤站，利用長期的觀測資料，可推算追蹤站坐標移動的速度量，利用追蹤站已知的速度量，再配

合適當之內插模式，可推估任一位置之速度量，即可形成臺灣地區的速度場模型。

由於地殼板塊運動，e-GPS 基準站坐標須定期更新以維持定位精度，前面章節已探討不同時間之 e-GPS 坐標系統轉換模式，由計算成果可知，分區並採用六參數最小二乘配置法解算成果較佳，惟前述計算方式是直接以共同點 2 組不同時間點之坐標進行轉換模式參數求解，藉由轉換參數（模式）吸收可能的誤差。在實務作業中，利用 e-GPS 施測點位坐標，再將坐標轉換至另一時刻之坐標系統，不考量 e-GPS 測量精度問題，分析其可能之誤差來源主要有：

一、點位施測時間與基準站坐標系統之時間差造成的誤差：

假設點位施測之時間為  $t$ ，基準站之坐標時間為  $t_0$ ，因各點位速度量不同，經  $t_0$  至  $t$  時間差的移動後，於  $t$  時刻與  $t_0$  時刻的點位（包括施測點及基準站）間的幾何分布關係已有些微不同，而觀測所得的坐標係以  $t$  時刻之幾何關係但經由基準站  $t_0$  時刻之坐標約制所求得，並視為觀測點之  $t_0$  時刻坐標，此過程存在有誤差量。

二、e-GPS 不同時間坐標系統的轉換誤差：

基準站（共同點）於  $t_1$  時刻之坐標系統與  $t_2$  時刻之坐標系統間進行坐標轉換時，因點位位移因素， $t_1$  時刻與  $t_2$  時刻共同點間幾何關係將略有不同，故使用此種情況下得到之轉換參數，待轉換點轉換結果可能含有較大的誤差。

前述所提兩項誤差可能之來源，其中第一項因涉及 e-GPS 對於虛擬站之解算模式，觀測點坐標經基準站坐標約制解算後，要回推並分離出速度量所造成的誤差量將十分複雜且困難，此議題將不在

本研究中討論。第二項誤差來源的解決方式可利用速度場資料將共同點坐標修正至同一時刻，點位幾何分布狀態相近，理論上應可得較好的轉換成果，但其關鍵為如何得知共同點在這段期間的位移量，即共同點之速度場資料必須已知。

本中心 e-GPS 基準站除提供即時動態定位服務外，亦持續接收衛星觀測資料並進行解算，多數具有速度場資料，即可利用這些資料將基準站由  $t_1$  時刻坐標推算至  $t_2$  時刻坐標，再進行同為  $t_2$  時刻兩坐標系統之間的轉換，圖 6-1-2 為不同時刻坐標系統之轉換模式示意圖，如圖中所示， $T$  為  $t_1$  時刻坐標系統與  $t_2$  時刻坐標系統直接轉換， $T_1$  及  $T_2$  則是利用速度量資訊推算至同時刻再進行坐標轉換，以下內容稱前者（即  $T$ ）為直接轉換，後者（ $T_1$  及  $T_2$ ）為間接轉換。但如果共同點本身無可參考之速度量資料，則必須利用連續觀測站所建立之速度場資料，間接以內插模式推估出共同點所在位置之速度場。

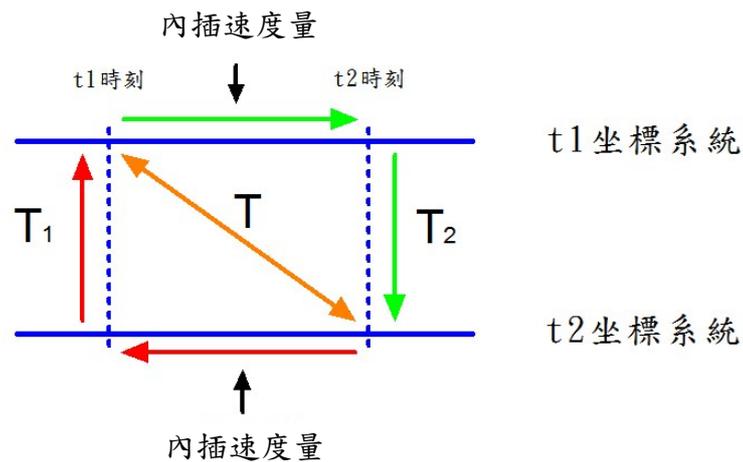


圖 6-1-2 不同時刻坐標系統之轉換模式示意圖

## 第二節 區域型內插模式轉換

由於並不是每個共同點都可以提供速度場資訊，故欲在坐標轉換中加入速度場資料需要更複雜的內插模式，若依照選用特徵點方式的不同，內插模式可以分為全域型內插法(global interpolation)與區域型內插法(local interpolation)。區域型與全域型差別在於使用控制點來推估未知點的數量不同，全域型可使用全部的已知點來推估未知點，但預估的資料內容越複雜，相對就需要更高階的趨勢面模型；故本研究在內插速度場時選用了區域型內插法，僅使用鄰近區域部分已知點來推估未知點，可減少遠距離控制點對推估點的影響，較符合控制點逐級加密的測設方式，亦可減少計算時間。

但區域型內插法選擇樣本的方法是非常重要的工作項目，需決定取用多少點數作為樣本，雖然假設選用越多的點所獲得的準確性越高，但這項假設的正確性，與未知點和已知點分布的關連性、空間自相關的範圍及資料的品質三項因子有關，越多的樣本點通常意味著無更顯著特性的估計值。一般來說選用已知點的方式，可採用最近已知點、一個固定範圍內的點，或使用4分(8分)方向區塊來選取，區域型常用的模式包括：

### 一、反距離權重法(Inverse Distance Weighted Interpolation)

其概念是一個未知值的點，它被周圍已知點的值的影響程度與距離成反比，距離越遠影響程度越小，影響的程度是以未知點和已知點之間距離的次方表示。公式如下：

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^s Z_i \frac{1}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{d_i^k}}$$

$Z_0$  是點 0 的推估值

$Z_i$  是已知點 i 的值

$d_i$  是點 i 與點 0 之間的距離

s 是用來進行推估的已知點

k 是自定的權重值

## 二、克利金法(Kriging)

此種方法是假設說屬性的空間變異不是完全的隨機性 (stochastic)或是完全的決定性 (deterministic)，此法可提供估計變數的標準偏差值。而空間的變異的要素包含有空間相關要素 (區域變數的變異性)、偏移值(表示一個趨勢)及隨機誤差，考量偏移值存在與否或區域變數使用的模式，即衍生出不同克利金法的種類：

### (一) 普通克利金法(Ordinary Kriging)：

普通克利金法假設的前題是  $Z(s) = \mu + \varepsilon(s)$ ，其中  $\mu$  是未知的常數，可利用個簡單的預測方法，靈活性預測其值，可用於似乎有某種趨勢的數據(如點與點之間存在空間相依性)，利用經驗值獲得半變異元及協方差(Semi-variogram and covariance)參數，可應用於趨勢分析並可得到未知點位之觀測誤差量。半變異元定義如下：

$$\gamma(s_i, s_j) = \frac{1}{2} \text{var}(Z(s_i) - Z(s_j)), \quad (\text{var 為中誤差})$$

若空間中 2 點  $s_i, s_j$  越接近，我們會預期 2 點越相似，就如同  $Z(s_i) - Z(s_j)$  也越小一樣，其中半變異元(如下圖 6-2-1)包含碎塊效應(nugget，是在距離為 0 時的半變異數，代表空間雜訊)、範圍(range，是空間相關的部分，它顯示半變異數隨著距離增加，超過範圍之的半變異數，將是持平的狀態)及基值(sill，達到持平狀態的 r 值)。

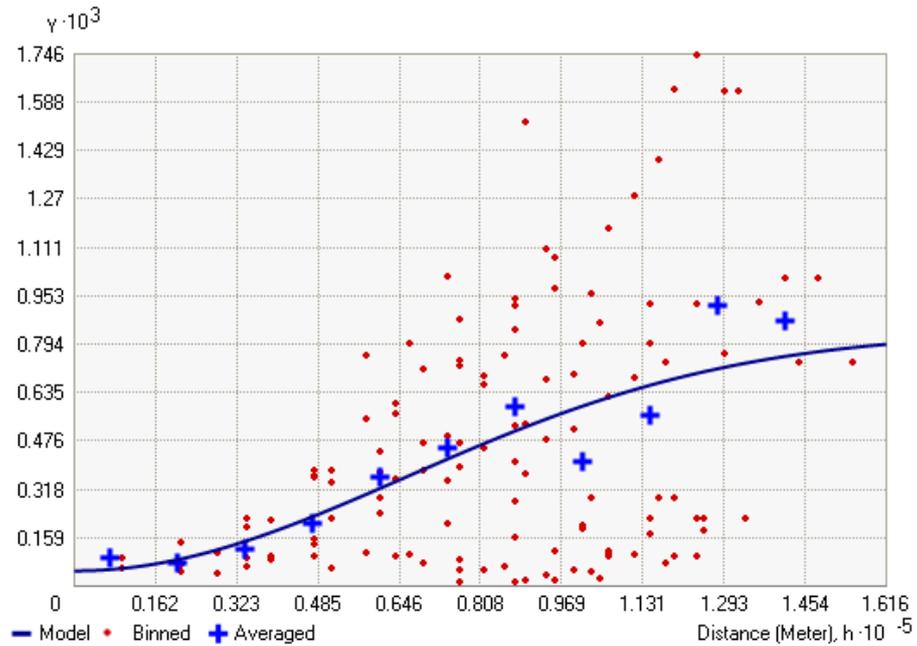


圖 6-2-1 普通克利金法—半變異元圖範例

半變異元圖必須與數學函數或模型擬合(fit)，如高斯(gaussian)、線性(linear)、球面(spherical)、圓形(circular)和指數(exponential)模型，使圖形中趨勢線與資料吻合，擬合過後的半變異元圖便可用估算任何給定距離的半變異數。

## (二) 泛克利金法(Universal Kriging)

泛克利金法假設的前題是  $Z(s) = \mu(s) + \varepsilon(s)$ ，其中  $\mu(s)$  是一種確定性的函數，為第二階多項式趨勢的虛線， $\varepsilon(s)$  假定是隨機的。所有的  $\varepsilon(s)$  的平均值為 0。事實上泛克利金法就是以回歸方式解釋空間坐標的變異量，且  $\varepsilon(s)$  是獨立的。泛克利金法亦可利用經驗值獲得半變異元圖及協方差(Semi-variogram and covariance)參數，應用於趨勢分析並可得到未知點位之觀測誤差量。

### 第三節 加入速度場資料的坐標轉換

本節將嘗試利用克利金模式可推求最佳趨勢面之特性，採用基準站的速度場資料內插求得待轉換點所在位置的速度場資料，加入坐標轉換計算。理論上，不同的坐標系統中點位會被給定不同坐標值，但在同一時刻，這些點位不同坐標系統中其幾何相對位置仍應該是相符的，故兩個坐標系統不同時間之坐標轉換，如能利用速度量先將點位坐標推算至相同時間，消除因時間差距所產生的幾何形變後再進行轉換（即第六章第一節所稱之間接轉換），應可得較佳之轉換成果。

為驗證此推論，本節進行三組點位之 e-GPS 坐標系統與 TWD97[2010]坐標系統轉換測試，第一組為花蓮地區 12 個基準站，該地區基準站之位移差異大且方向也較不一致，點位網形屬相對變化不規則；第二組苗中投地區 15 個基準站，該地區基準站之位移差異小且方向也較為一致，點位網形屬相對變化規則穩定；第三組為臺灣地區 46 個基準站，為測試整個臺灣地區之轉換結果。基準站之坐標為靜態基線測量並經網形平差而得，且其速度量為已知，每組均分別進行直接轉換及間接轉換，計算轉換後坐標各方向殘差之中誤差 (rms) 及殘差絕對值之平均值，並採用三種轉換公式進行測試，第一種為六參數轉換（為減少可能影響因素，此處未加入最小二乘配置模式），同樣將平面跟高程為分開轉換；第二種為七參數轉換（第一、二種轉換已在先前的章節說明）；第三種為三維九參數轉換，其轉換公式原理為七參數轉換的擴展，將七參數轉換中 1 個比例尺參數擴展為 3 個，即 3 軸方向各 1 個，用以吸收各方向上之尺度形變，擴展後公式如下：

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s1 & 0 & 0 \\ 0 & s2 & 0 \\ 0 & 0 & s3 \end{bmatrix} \cdot R \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l \\ m \\ n \end{bmatrix}$$

( $s1, s2, s2$  為三個方向之比例尺參數)

當  $s1=s2=s2$  時，即等同於七參數轉換，所需最少共同點點數為 3 點即可求解，三種方式的計算結果分別如表 6-3-1、表 6-3-2 及表 6-2-3。

表 6-3-1 六參數轉換之直接轉換及間接轉換成果表

單位：mm

組別	轉換方式	N rms	E rms	H rms	N 平均值	E 平均值	h 平均值
花蓮地區 (12 個基準站)	直接轉換	24.8	15.0	27.3	21.3	12.6	19.8
	間接轉換	10.8	10.0	32.0	9.4	8.6	21.7
苗中投地區 (15 個基準站)	直接轉換	5.0	13.6	28.4	4.0	10.9	20.0
	間接轉換	4.0	7.2	31.9	3.2	6.1	21.4
臺灣地區 (46 個基準站)	直接轉換	23.4	22.9	34.2	16.2	18.1	27.3
	間接轉換	11.8	12.5	31.3	7.7	9.5	22.9

表 6-3-2 七參數轉換之直接轉換及間接轉換成果表

單位：mm

組別	轉換方式	N rms	E Rms	H rms	N 平均值	E 平均值	H 平均值
花蓮地區 (12 個基準站)	直接轉換	30.0	18.2	27.4	24.3	15.0	19.9
	間接轉換	9.3	10.1	33.0	7.7	8.6	22.7
苗中投地區 (15 個基準站)	直接轉換	17.2	20.5	28.4	13.7	17.6	19.8
	間接轉換	7.3	10.2	31.9	5.4	8.3	21.3
臺灣地區 (46 個基準站)	直接轉換	33.3	28.8	34.2	24.9	24.1	27.2
	間接轉換	12.0	13.8	31.4	8.1	10.4	22.6

表 6-2-3 九參數轉換之直接轉換及間接轉換成果表

單位：mm

組別	轉換方式	N rms	E rms	H rms	N 平均值	E 平均值	h 平均值
花蓮地區 (12 個基準站)	直接轉換	24.7	14.5	27.3	21.2	12.1	19.7
	間接轉換	8.3	9.7	33.6	7.0	8.2	23.2
苗中投地區 (15 個基準站)	直接轉換	4.9	13.5	28.4	4.0	10.6	19.9
	間接轉換	4.0	7.2	31.8	3.2	6.0	21.4
臺灣地區 (46 個基準站)	直接轉換	23.5	22.3	34.2	16.3	18.0	27.2
	間接轉換	10.1	12.7	31.4	6.4	9.1	22.5

由計算結果顯示，間接轉換先以速度量將基準站坐標推算至同時刻後再轉換，其結果與直接轉換相較，在平面部分明顯為佳，高程部分則成果略差但很相近，其中花蓮地區點位網形屬相對變化不規則，時間差距造成之形變較大，間接轉換方式可消除較多的形變誤差，故轉換結果相對有明顯改善。本項測試結果與前述將坐標利用速度量推算至同時刻時，則點位幾何分布狀態相近，理論上可得較好的轉換成果之推論相符。

另外，比較所採用之三種轉換公式結果，七參數轉換結果較差，而六參數轉換結果與三維九參數轉換結果較佳，且兩者成果十分接近。分析七參數及九參數轉換之差異，直接轉換點位分布因時間差存在幾何形變，因各基準站之位移速度量大小及方向有差異，故幾何形變中包含有尺度上的變化，由第四章第三節中所述，點位相對位移量在 N-S 方向及 E-W 方向各有不同，意即在不同方向有不同之比例尺形變，九參數轉換轉換因包含三維方向之比例尺參數，較符合實際的轉換狀態，故轉換結果較佳，相同之原因，平面六參數

轉換亦包含了兩方向軸之尺度參數，故轉換成果亦較單一尺度參數之七參數轉換佳。在實務使用時，建議採用六參數轉換加高程獨立轉換或九參數轉換均可，若點位具有完整的三維坐標可選擇三維九參數轉換，僅有平面坐標時則可採用平面六參數轉換。

以上測試之點位（基準站）速度量為已知，可用速度量消除因時間差距所產生的幾何形變，故間接轉換較直接轉換成果為佳，但實務上以 e-GPS 進行外業觀測之點位，其速度量僅可利用內插方式求得，而以此求得之速度量精確度會影響轉換結果，為進一步了解此過程對轉換成果造成的影響，本節另以兩組實測點位進行轉換測試，第一組為前面章節中所使用之花蓮地區 168 個實測點，並以花蓮地區 12 個基準站為已知控制點，因該地區點位網形屬相對變化不規則，故再分全區（12 基準站）及分小區（各小區 3~6 基準站）進行轉換計算；第二組為苗中投地區 183 個實測點，並以苗中投地區 15 個基準站為已知控制點。上述實測點位均有 TWD97[2010]公告坐標，亦有 97 年 e-GPS 測量之坐標，轉換測試採用六參數參數轉換模式，並選擇加入或不加入最小二乘法模式進行直接轉換及間接轉換之計算，間接轉換過程中實測點位之速度量計算採用一般克利金法（Ordinary Kriging）內插，最後成果整理如表 6-3-4 及表表 6-3-5，由成果顯示三個結果：

- 一、分區方式比全區方式的成果佳（花蓮地區）。
- 二、加入最小二乘配置法模式的成果較佳。
- 三、直接轉換與間接轉換之成果差異不大，但花蓮地區分區轉換時，直接轉換結果略佳。

其中一與二結果是可預期的，而第三項結果則是與原先之推測不同。

表 6-3-4 花蓮地區 168 點坐標轉換成果表

單位：mm

	數學模式	轉換方式	N rms	E rms	h rms	N 平均值	E 平均值	h 平均值
全區	加入最小二乘配置法	直接轉換	27.8	25.6	76.0	20.2	19.5	62.6
		間接轉換	28.1	25.6	75.7	20.4	19.6	62.3
	未加入最小二乘配置法	直接轉換	34.9	28.6	70.7	28.0	23.0	57.0
		間接轉換	30.1	26.4	73.9	22.6	20.3	59.1
分區	加入最小二乘配置法	直接轉換	22.5	22.4	74.3	16.8	17.3	60.8
		間接轉換	26.3	24.8	79.7	19.4	19.1	65.7
	未加入最小二乘配置法	直接轉換	23.4	23.1	74.3	17.8	17.8	60.9
		間接轉換	26.4	25.2	79.7	19.5	19.3	66.1

表 6-3-5 苗中投地區 183 點坐標轉換成果表

單位：mm

	數學模式	轉換方式	N rms	E rms	h rms	N 平均值	E 平均值	h 平均值
全區	加入最小二乘配置法	直接轉換	11.6	15.8	63.8	8.9	11.9	53.1
		間接轉換	11.6	15.8	63.6	9.0	11.8	52.9
	未加入最小二乘配置法	直接轉換	12.1	21.7	69.6	9.6	17.5	58.2
		間接轉換	12.0	17.3	70.8	9.5	13.3	59.8

分析花蓮地區分區轉換，間接轉換結果並未優於直接轉換之可能原因，為無法得到點位精確的速度量所造成，實測點速度量是由基準站之速度量內插而來，基準站速度量本身有量測精度，其誤差會傳播於內插結果，且倘若選用之內插模式不適當無法精確的反應真實點位位移情況，反而可能造成轉換結果更差。

本研究雖採用常用之一般克利金法進行內插，但該內插法之基礎是依據地理統計的一般特性，距離愈相近的兩點其地理屬性應愈相近，其內插值與距離有關且為平緩之變化，此種特性並不完全符合臺灣地理特性，尤其本研究中所選之花蓮地區，該地區屬相對變化不規則區域，尤其跨越斷層線後，點位之位移方向可能差異很大，點位位移速度及方向類似於不連續跳躍，與上述一般克利金法中相近點位變化為平緩之基本原理不同，無法內插得到點位準確的速度量，造成間接轉換成果未能比直接轉換成果好，與預期結果不同。

另外，由表 6-3-苗中投地區之轉換成果亦可發現，間接轉換與直接轉換結果相近，但成果均較花蓮地區為佳。由於苗中投地區屬點位網形相對變化規則穩定區域，雖與克利金模式內插原理相符合，但時間差造成點位網形間的形變原本就比較小，不同時間可能僅為平移、旋轉及尺度上的形變，其多數的形變誤差已可由轉換數學模式（參數）消除，故在此個案間接轉換也無法顯著提升其轉換結果。

## 第七章 結論與建議

### 第一節 結論

- 一、本研究利用衛星定位基準站每天解算之坐標數據，分析各服務網基準站變動情形，發現基北桃竹、苗中投及彰雲嘉屬相對變化少、精度穩定之服務網；而南高屏、台東、宜蘭及花蓮則屬相對變化不規則之服務網。另將歷年基本控制點檢測結果進行坐標轉換比對分析後，也發現一致性的變動情形。
- 二、利用 e-GPS 系統基準站作為坐標轉換之共同點，並依現行服務網劃分，採用七參數轉換模式時，各服務網分區轉換參數計算之中誤差為 0.006~0.015 公尺；採用最小二乘配置六參數轉換模式時，轉換參數計算之中誤差為 0.003 ~0.012 公尺。若進一步分析兩種坐標系統檢測坐標成果，102 個待轉換點轉換後坐標值與實測坐標各分量坐標較差平均，七參數轉換結果 X、Y、Z 分量均約為 0.020 公尺，而最小二乘配置六參數轉換 N 或 E 分量約為 0.015 公尺、h 分量為 0.030 公尺，求得之轉換參數精度應可符合大部份測繪業務使用。
- 三、使用七參數或最小二乘配置六參數轉換模式之轉換結果並無明顯差異，若參考待轉換點坐標較差分布、標準化改正數等精度指標，使用六參數最小二乘配置轉換模式的轉換結果，略優於七參數轉換模式之結果。
- 四、若依照本中心現行之 e-GPS 定位服務網劃分方式，分區或全區轉換所得到的成果並無明顯差異，分析原因應與劃分之服務網

範圍大（跨縣市）且各分區使用的共同點部分重複有關，分區或全區的轉換參數顯示出來的差異性較小，連帶兩者轉換成果也較一致。

- 五、選用不同年度的基準站坐標及控制點檢測成果進行坐標轉換結果比較，2 組轉換參數平面轉換中誤差分別為 0.0083 公尺及 0.0239 公尺，坐標更新間隔時間僅約 1 年半，但共同點間的幾何相對關係已有明顯改變。
- 六、為降低各地基準站變動情形不一致的因素，在地殼變動較頻繁之花蓮服務網區域內，進一步採用更小分區進行坐標轉換，發現小分區轉換結果坐標較差標準偏差及較差平均值均變小，可提升坐標轉換成果，其原因應與小區域基準站、待轉換點變動情形較一致等因素有關。
- 七、採用具備實際速度場資料的基準站進行坐標轉換，以速度量將基準站坐標推算至相同時刻後再進行轉換，可消除較多的形變誤差，在平面分量上的轉換結果相對有明顯改善。
- 八、對於缺少速度場資料之點位，本研究利用克利金模式內插出該點位之速度量加入轉換，並無法獲得較佳的轉換成果，其原因除了轉換模式已吸收了部份誤差外，再加上台灣地理特性、各地位移情形不均，利用基準站速度場資料及克利金內插法仍無法得到該點位精確的速度量所致。

## 第二節 建議

- 一、e-GPS 定位系統基準站坐標更新後，利用 e-GPS 基準站作為坐標轉換之共同點，精度約可達 2 公分等級，已符合大多數測繪

業務的需求，但針對相對變化不規則之服務網，其基準坐標之更新機制需謹慎評估，以利後續營運服務。

- 二、 考量更新時間間隔、速度場及網型張力等因素，選用較小的轉換區域可降低區域內相對關係變動不一致所造成的影響，應可獲得較符合新坐標系統相對關係的轉換成果。
- 三、 使用七參數轉換模式如果轉換共同點的數量大於未知數，原本的坐標值會於平差計算後產生改正數，坐標值變動而有適法性之疑慮；而最小二乘配置法可假設觀測量無粗差存在，共同點坐標經最小二乘配置法估計後不會有改正數存在，且轉換結果也較為一致。因此涉及基本控制點間的坐標轉換計算，可優先選用加入最小二乘配置法的轉換模式。
- 四、 e-GPS 動態定位之觀測精度平面部分約在 2 公分，高程約在 5 公分，而由實際測試的結果得知花蓮服務網轉換成果相對較差，其轉換後平面分量坐標較差中誤差約在 2~3 公分，高程分量約在 7~8 公分，此轉換成果應為合理且已符合大部分使用需求。因此爾後在進行不同時間坐標系統間轉換時，可採用分區並以直接轉換方式進行，而當分區中有精準的速度場模型時再考量間接轉換的方式。
- 五、 本研究的目標是期望能求得一組適用所有測繪業務使用的轉換參數，但受到觀測誤差、網形張力及地殼變動等因素，大幅增加了其困難度。未來如果能彙整各單位機關所建置之連續觀測資料、大範圍控制點檢測成果等資料，建立長期地殼變動、速度場等資訊，加入坐標轉換應用，應有實質而有效之幫助。

## 參 考 文 獻

- (1) 尤瑞哲，1998：三度空間 GPS坐標和臺灣地區二度 TM坐標轉換可行性分析之研究，NSC 87-2211-E006-036。
- (2) 黃華尉，2001：TWD97與 TWD67二度 TM坐標轉換之研究，國立成功大學測量工程學系碩士論文。
- (3) 內政部土地測量局，2004，臺灣e-GPS電子基準站規劃設計及測試分析，委託研究案報告（執行單位：財團法人成大研究發展基金會）。
- (4) 內政部國土測繪中心，2005，e-GPS 衛星基準站即時動態定位系統 VBS-RTK 定位測試成果報告。
- (5) 內政部國土測繪中心，2006，e-GPS 測試成果分析報告(中文版)。
- (6) 內政部國土測繪中心，2007，e-GPS 定位系統應用於基本控制測量作業之研究。
- (7) 內政部國土測繪中心，2008，應用 e-GPS 即時動態定位系統辦理三等控制點檢測作業可行性之探討。
- (8) 內政部國土測繪中心，97、98、99 年度三等精度控制點速度場測量及管理維護作業工作總報告。
- (9) 內政部國土測繪中心，97、98、99 年度三等精度控點速度場測量及管理維護作業工作總報告。
- (10) 內政部國土測繪中心，2010，探討及分析現行 GPS 技術(靜態、RTK、e-GPS 等)之作業方式。
- (11) 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。
- (12) Fritzensmeier, K., Kloth, G., Niemeier, W., and Eichholz, K., 1985. "Simulation Studies on the Improvement of

Terrestrial 2-D-Networks by Additional GPS  
-Information” , Inertial, Proceedings of Doppler and  
GPS Measurements for National and Engineering Surveys.  
Schriftenreihe: Universitat der Bundeswehr Munchen and  
Universitarer Studiengang Vermessungswesen.

- (13) Rapp, R . H., 1993, “Geometric Geodesy Part II” ,  
Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio  
State University, U.S.A., pp. 57-93.
- (14) Press, WH; Teukolsky, SA; Vetterling, WT; Flannery, BP  
(2007), “Numerical Recipes: The Art of Scientific  
Computing (3rd ed.)” , New York: Cambridge University  
Press, ISBN 978-0-521-88068-8.

附錄： e-GPS 衛星定位基準站站名與點號對照表

項次	站名	點號	所在地點	建置機關	天線盤廠牌型號
1	南寮	SHJU	新竹市南寮漁港	內政部	Trimble Zephyr Geodetic
2	臺中港	TACH	臺中港防風林消防隊	內政部	Trimble Zephyr Geodetic
3	高峰	KAFN	南投縣仁愛鄉霧社高峰茶園	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
4	石門	SHMN	台北縣石門鄉立體育館	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
5	貢寮	GOLI	台北縣貢寮鄉水產種苗繁殖場	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
6	復興	FUSN	桃園縣復興鄉介壽國民中學	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
7	竹南	JUNA	苗栗縣竹南鎮竹南地政事務所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
8	東勢	DOSH	臺中縣東勢鎮東勢地政事務所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
9	武陵	WULI	臺中縣和平鄉武陵農場	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
10	草屯	CAOT	南投縣草屯鎮草屯地政事務所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
11	信義	SINY	南投縣信義鄉信義國民中學	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
12	壽豐	SOFN	花蓮縣壽豐鄉塩寮派出所	花蓮縣政府	Trimble Zephyr Geodetic
13	萬榮	WARO	花蓮縣萬榮鄉西林國民小學	花蓮縣政府	Trimble Zephyr Geodetic
14	豐濱	FONB	花蓮縣豐濱鄉	花蓮縣政府	Trimble Zephyr Geodetic

15	玉里	JULI	花蓮縣玉里鎮玉里地政事務所	花蓮縣政府	Trimble Zephyr Geodetic
16	二林	VR02	彰化縣二林鎮二林地政事務所	彰化縣政府	Trimble Zephyr Geodetic
17	田中	VR03	彰化縣田中鎮中地政事務所	彰化縣政府	Trimble Zephyr Geodetic
18	和美	VR01	彰化縣和美鎮和美地政事務所	彰化縣政府	Trimble Zephyr Geodetic
19	和平	HAUP	花蓮縣秀林鄉和平國民小學	交通部中央氣象局	Trimble Zephyr Geodetic
20	觀音	KYIN	桃園縣觀音鄉觀音國民中學	交通部中央氣象局	Trimble Zephyr Geodetic
21	鳳林	FLNM	花蓮縣鳳林鎮鳳林地政事務所	內政部	Topcon CR3-GGD w/Radome
22	東石	CHYI	嘉義縣東石鄉東石漁港加油站	內政部	Trimble Zephyr Geodetic
23	瑪家	MAJA	屏東縣瑪家鄉原住民文化園區	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
24	旗山	CISH	高雄縣旗山鎮旗山地政事務所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
25	枋寮	FALI	屏東縣枋寮鎮枋寮地政事務所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
26	竹崎	JHCI	嘉義縣竹崎鄉竹崎地政事務所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
27	大武	DAWU	台東縣大武鄉公所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
28	高雄港	KASH	高雄港 10 號碼頭	內政部	Trimble Zephyr Geodetic
29	烏山頭	WUST	台南縣官田鄉烏山頭水庫	交通部中央氣象局	Trimble Zephyr Geodetic

30	桃源	TAYN	高雄縣桃源鄉公所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
31	霧鹿	WULU	台東縣海端鄉霧鹿國民小學	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
32	淡水	GS10	台北縣淡水鎮竹圍國民中學	經濟部中央地質調查所	Trimble Zephyr Geodetic
33	北港	PKGM	雲林縣北港鎮北港地政事務所	內政部	Topcon CR3-GGD w/Radome
34	墾丁	KDNM	屏東縣恆春鎮墾丁國家公園管理處	內政部	Topcon CR3-GGD w/Radome
35	太麻里	TMAM	台東縣太麻里鄉太麻里地政事務所	內政部	Topcon CR3-GGD w/Radome
36	新城	SICH	花蓮縣新城鄉秀林國民中學	花蓮縣政府	Trimble Zephyr Geodetic
37	宜蘭	YILN	宜蘭縣宜蘭市國立宜蘭大學	國立宜蘭大學	Trimble Zephyr Geodetic
38	光復	GUFU	花蓮縣光復鄉大富國民小學	花蓮縣政府	Trimble Zephyr Geodetic
39	逢甲	FCU1	臺中市西屯區逢甲大學	逢甲大學	Leica AT502
40	成功	CHGO	台東縣成功鎮成功地政事務所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
41	金門	KMNM	金門縣金湖鎮金門衛星追蹤站	內政部	Topcon CR3-GGD w/Radome
42	埔里	PLIM	南投縣埔里鎮虎子山公園	內政部	Topcon CR3-GGD w/Radome
43	台南	CK01	台南市南區體育運動公園	國立成功大學	Dorne Margolin Model B

44	富南	T104	花蓮縣富里鄉富南國民小學	國立臺灣大學	Leica AT504 w/Choke Ring
45	泰源	T102	台東縣東河鄉泰源技能訓練所	國立臺灣大學	Leica AT504 w/Choke Ring
46	馬祖	MZUM	連江縣南竿鄉馬祖衛星追蹤站	內政部	Topcon CR3-GGD w/Radome
47	中壢	TCYU	桃園縣中壢市清雲科技大學	清雲科技大學	Trimble Zephyr Geodetic
48	蘭嶼	LANB	台東縣蘭嶼鄉蘭嶼氣象站	交通部中央氣象局	Trimble Zephyr Geodetic
49	棲蘭	CLAN	宜蘭縣大同鄉棲蘭地區	交通部中央氣象局	Trimble Zephyr Geodetic
50	學田	T105	花蓮縣富里鄉學田國民小學	國立臺灣大學	Leica AT504 w/Choke Ring
51	永豐	T103	花蓮縣富里鄉永豐國民小學	國立臺灣大學	Leica AT504 w/Choke Ring
52	東管處	T101	台東縣成功鎮交通部觀光局東部海岸國家風景區管理處	國立臺灣大學	Leica AT504 w/Choke Ring
53	池上	T107	台東縣池上鄉萬安國民小學	國立臺灣大學	Leica AT504 w/Choke Ring
54	關山	T109	台東縣關山鎮電光國民小學	國立臺灣大學	Leica AT504 w/Choke Ring
55	延平	T110	台東縣延平鄉桃源國民中學	國立臺灣大學	Leica AT504 w/Choke Ring
56	蘇澳	SUAO	宜蘭縣蘇澳港區	交通部中央氣象局	Trimble Zephyr Geodetic
57	新店	SIND	台北縣新店市新店地政事務所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic

58	金沙	JNSA	金門縣金沙鎮榮湖污水處理廠	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
59	烈嶼	LEYU	金門縣烈嶼鄉紅山淨水廠	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
60	金湖	JNHU	金門縣金湖鎮新塘垃圾掩埋廠	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
61	北竿	BEGN	連江縣北竿鄉坂里國民小學	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
62	東引	DONY	連江縣東引鄉東引警察所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
63	莒光	JYGU	連江縣莒光鄉東莒派出所	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
64	七美	CIME	澎湖縣七美鄉立圖書館	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
65	吉貝	JIBE	澎湖縣白沙鄉吉貝村活動中心	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
66	外垵	WIAN	澎湖縣西嶼鄉外垵國民小學	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
67	湖西	HUSI	澎湖縣湖西鄉龍門國民小學	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
68	泰安	TIAN	苗栗縣泰安鄉汶水國民小學	內政部國土測繪中心	Trimble Zephyr Geodetic
69	十八尖山	HCHM	新竹市十八尖山公園	內政部	Topcon CR3-GGD w/Radome
70	成功大學	CKSV	台南市成功大學測量及空間資訊學系	內政部國土測繪中心	Topcon CRG3-CONE
71	中心本部	LSB0	臺中市南屯區土地測量局	內政部國土測繪中心	Topcon CRG3-CONE

72	玉山北峰	YUSN	嘉義縣玉山北峰氣象站	交通部中央氣象局	Trimble Zephyr Geodetic
73	富岡	FUGN	台東市富岡漁港潮位站	內政部	Trimble Zephyr Geodetic
74	龍洞	LADO	台北縣貢寮鄉龍洞遊艇碼頭潮位站	內政部	Trimble Zephyr Geodetic
75	台西	TASI	雲林縣台西鄉台西地政事務所	內政部國土測繪中心	Dorne Margolin Model B
76	通霄	TSAO	中油探採事業部注儲工程處	內政部國土測繪中心	LEIAT504GG SCIS