

利用七參數進行 TWD67、TWD97 與 e-GPS 定位坐標之轉換 —以中壢地區為例

Coordinate Transformation Between TWD67, TWD97 and e-GPS By Using Seven Parameters Method: case study on Jhongli

葉大綱¹ 吳建廷² 楊明遠³ 黃金城⁴ 韓治安⁵

Ta-Kang Yeh Chien-Ting Wu Ming-Yuan Yang Chang-Chen Huang Chih-An Han

摘要

內政部國土測繪中心業已完成全台 e-GPS 系統之建置，並已逐步推廣到地方政府的測量工作中；然 e-GPS 所量測之坐標，與台灣現行的 TWD67 及 TWD97 之間仍存有一系統性誤差，應可利用七參數坐標轉換法來修正。本研究在中壢觀音地區，選取了 20 點 TWD67 控制點與 55 點 TWD97 控制點來進行測試，並將量測成果與政府公告值相比較。經過七參數坐標轉換之後，e-GPS 定位坐標與 TWD67 公告值之差異，在 N 方向上由 203.84 公尺降低為 2.8 公分，E 方向上由 829.93 公尺降低為 5.7 公分。若比較 e-GPS 與 TWD97 之差異，在 N 方向上由 4.1 公分降低為 1.6 公分，E 方向由 2.7 公分降低為 1.6 公分。證實了只要經過適當的坐標轉換，不論在單筆資料或平均值上，可將 e-GPS 應用於 TWD97 控制點地籍測量。

關鍵詞：台灣大地基準、網路全球定位系統、七參數轉換、基準轉換

Abstract

National Land Surveying and Mapping Center of Taiwan already constructed the e-GPS system, and this system is widely adopted by the cadastral survey. However, there is a systematic error existed between the TWD67, TWD97 and e-GPS, and this kind of error can be eliminated by using seven parameters transformation. In this study, 20 TWD67 and 55 TWD97 controlling points in Jhongli were measured by e-GPS and the measured coordinates were compared with the announced values by government. After coordinate transformation of seven parameters, the error between TWD67 and e-GPS was from 203.84 m to 2.8 cm in N direction; and that was from 829.93 m to 5.7 cm in E direction. Moreover, the error between TWD97 and e-GPS was from 4.1 cm to 1.6 cm in N direction; and that was from 2.7 cm to 1.6 cm in E direction. It will be okay to use e-GPS technology in TWD97 cadastral survey when proper coordinate transformation is employed.

Keywords: Taiwan Geodetic Datum, e-GPS, 7-parameter transformation, Datum transformation

¹ 清雲科技大學 空間資訊與防災科技研究所 副教授；bigsteel@cyu.edu.tw

² 國立交通大學 土木工程學系 博士候選人

³ 桃園縣中壢地政事務所 測量課 課長

⁴ 桃園縣中壢地政事務所 測量課 技士

⁵ 桃園縣中壢地政事務所 測量課 技士

一、前言

內政部國土測繪中心（原土地測量局）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 年度建置離島及加密臺灣本島地區計 23 處基準站。另為

避免重複建置造成資源浪費，故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，目前已完成所有基準站之建置及整合，本島及離島共計 87 座，而 e-GPS 衛星定位基準網分布現況如圖 1 所示【內政部國土測繪中心，2010】。

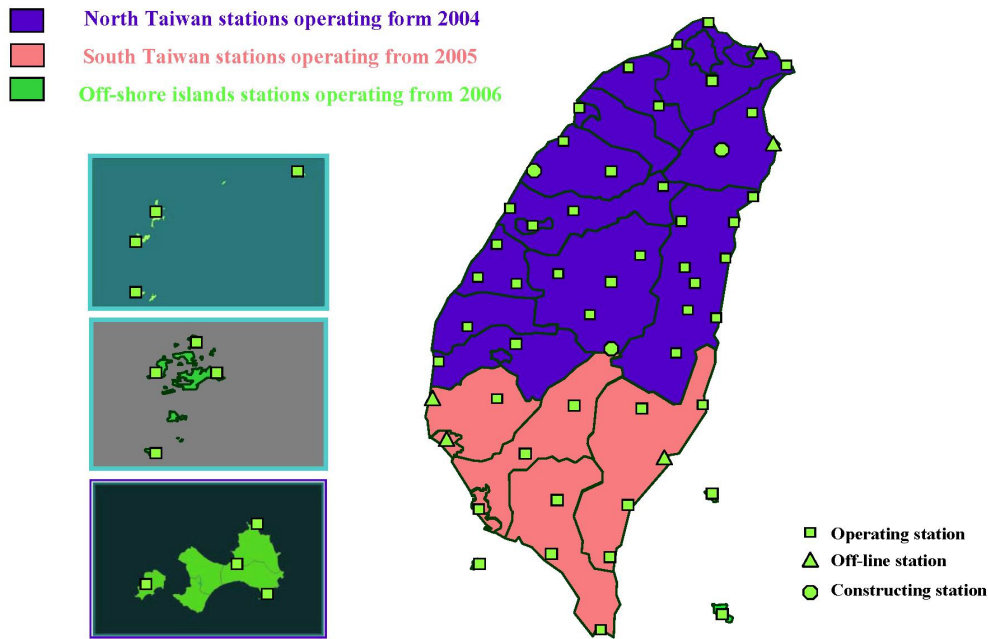


圖 1 全國性 e-GPS 衛星定位基準網分布圖【內政部國土測繪中心，2010】

在桃園新竹地區，e-GPS 定位精度標準差已證實可達平面 2 公分、高程 4 公分以內【王敏雄等人，2004】，相較於傳統 RTK 不僅操作方便、節省人力與物力，其定位的精度與可靠度更大為提高。然網路 RTK 對於參考主站之坐標精度要求甚高，主站坐標誤差一旦大於 2

公分，就會導致解算基線及區域誤差模式無法求解，此一要求對於位在板塊運動活躍地區的台灣來說，可說是嚴重的致命傷。根據中央研究院十多年以來的監測數據，台灣西部每年的平均位移約 2 公分，台灣東部的位移卻可高達 7 公分，因此【Yu *et al.*, 1997】，台灣地

區的坐標框架系統可算是年年都在變化的。而政府在考量了人民的需求及經費的許可下，台灣大地基準(Taiwan Datum, TWD)並不適合時常變動，台灣上一個坐標系統 TWD67 經歷了 30 年才全面性的更換至 TWD97，因此，如何在現行的基準上讓 e-GPS 定位技術發揮其最大的效益應是刻不容緩需解決的問題。根據在花蓮地區的 e-GPS 定位結果，發現 e-GPS 定位之內部精度皆極佳，但其定位成果一旦套合在 TWD97 坐標系統上時，平面方向就會發生 20~30 公分的偏移現象，其主要原因是因為全國 e-GPS 衛星定位基準網是基於竹南站做為參考原點，距離竹南越遠的地方，由於台灣地區參考框架的變形，會使得部分地區（特別是台灣東部）由於坐標框架不一致，而會產生類似的坐標誤差，此誤差屬於系統誤差的一種【Yeh *et al.*, 2011】。

而為了讓 e-GPS 定位技術能夠更廣泛的應用在工程測量及地籍測量上，藉由後處理的坐標參數轉換來進行修正，應是可行的方法之一；另一個作法則是將台灣地區依板塊運動特性分網處理，但此一作法卻可能會造成在各網形的交界處產生無法重合的問題，因此在本研究中暫不考慮此作法。藉由後處理的坐標參數轉換來進行修正，在過去的研究中已證實可消除大部分的誤差，而達到 2.5 公分的外部精度水準【Yeh *et al.*, 2011】。目前國內雖然已有許多 e-GPS 定位技術的研究，但是卻缺乏 e-GPS 定位技術的實際應用層面，對於第一線進行土地測量工作的地政事務所來說，往往需要高效率且高可靠度的量測成果；利用 e-GPS 技術測量所獲得的坐標，目前已有許多研究案例應用在控制測量上，不過應仔細考慮台灣地區地殼變動的事

實。此外，台灣地區新舊的坐標系統仍處於同時並用的階段，以桃園中壢來說，TWD67 與 TWD97 坐標系統同時被地政單位所使用，若想要應用 e-GPS 技術於地籍測量，則必須先將 e-GPS 量測坐標轉換為 TWD97，再將 TWD97 轉換為 TWD67；然過去採用大範圍的坐標轉換方式，其轉換精度卻容易超出地籍測量的規範。因此本研究與中壢地政事務所合作，主要目的為開發小區域（以中壢觀音為主）高精度坐標轉換程式，精確獲取坐標轉換參數；同時配合精度驗證及不確定度評估，準確的估算利用 e-GPS 所量測而得的控制點坐標，並計算其與政府公告具有法定效力的 TWD97、TWD67 坐標之間的差異。期望能藉由此一坐標轉換流程，導入 e-GPS 應用於地籍測量的範疇中，以提昇國內土地測量的品質。

二、文獻回顧

在 e-GPS 定位技術部分，崔國強等人【2002】運用 RTK 及 VRS 技術在短基線網中，其定位結果頗為一致，且採用不同星曆其結果亦相差甚微，可知 GPS 在短距離 RTK 定位上已經相當精確；在中、長距離基線網中，超快速星曆靜態解與 VRS 所解算之結果相差不大，當 VRS 產生在移動站時，其定位坐標最大差異為 2.91 公分。陳鶴欽等人【2004】使用連續觀測站 30 秒 1 筆的資料來計算定位成果，分別比較在 30-50、50-70、70-90 公里三種基準站的間距，發現 50-70 公里間距在定位成果均符合平面 3 公分的定位精度，並且在設站成本上效益最大，可作為台灣地區設置虛擬電子基準站之參考。

此外，馮倩君與楊名【2004】設計出一種演算法，利用卡曼濾波解算出參

考站網的週波未定值，從而建立區域內即時性的系統誤差模式，利用此系統誤差模式以內插的方式根據移動站的概略坐標產生虛擬參考站，最後此虛擬參考站與移動站進行標準的短基線 RTK 定位得到移動站之坐標，成果顯示，VRS-RTK 之平面定位精度在 5 公分以內，高程定位精度在 15 公分以內，而 VRS-RTK 定位過程均能在數筆（1~4 筆）資料內完成搜尋整數週波未定值並解算出移動站坐標。王敏雄等人【2004】明確的指出內政部土地測量局為擴大 RTK 有效作業範圍，同時降低主站布設密度，已規劃透過網際網路高速、寬頻之數據傳輸技術，於九十五年度前完成建置全國性電子化 GPS(e-GPS)衛星定位測量基準網，就其連續定位觀測資料，建構區域性定位誤差內插模式，並配合虛擬基準站即時動態定位技術，獲得高精度的定位成果，提供多目標定位服務及加值應用。最後，儲慶美與簡裕城【2004】以彰化縣架設之 VRS 網為實例分析其成果及精度，選擇縣內之內政部 GPS 已知衛星點共 20 點視為檢核點，經 GPS-VRS 方法測量之成果分別與檢核點原坐標比較，其橫坐標之平均差值為 1.3 公分，縱坐標之平均差值為 1.3 公分。

目前較可行之方案為發展虛擬參考站及區域改正參數（Area Correction Parameters, ACP）之技術，以改善即時動態定位在中、長距離時，定位的效能。Seeber【2000】指出在德國地區，便實際運用了 VRS 和 ACP 這兩種方法，使得地籍測量、GIS、航海測量等，即使基線長在 30~50 公里之間，仍可達到公分級即時定位之效能。其中，ACP 的基本觀念，即利用參考站對即時觀測坐標的結果改正，在不同的區域給予不同之改正

參數，藉以改正移動站站坐標，但其點位必需在三個參考站網內，如此才能藉由簡單之內差法求得該移動站之改正參數，這概念的優點是不需與控制計算中心做連結，只需對三個參考站之中的任一參考站做連結，即可得到移動站所需之改正參數，然後便可對移動站站坐標加以改正。Fortes【2000】則以巴西實際測試 VRS 定位技術的經驗，提供給未來使用者具體的建議。此外，Vollath *et al.*【2001】改採用行動電話（GSM/GPRS）方法來替代無線電，即時提供給使用者可獲得公分級精度之定位，其優點還除了可以增加 RTK 作業之距離，並可增加系統之可靠性及減少 RTK 初始化之時間。而 Wubbena *et al.*【2001】則展示了其自行研發軟體的高精度及高效率。而 Landau *et al.*【2002】提出為了保證得到滿意的定位精度，傳統的單主站 RTK 的作業距離都非常有限，大約都在 10 公里的基線長度以內，或者是將主站加密，讓 RTK 作業時能服務全區。

在坐標轉換部分，高書屏【1987】主要是探討台灣地區 TWD 大地坐標系統與都卜勒（Doppler）衛星坐標系統間之轉換參數。結論中提到 Molodensky-Badekas 模式所得知轉換參數精度較佳，但經過轉換後所得結果與採 Bursa-Wolf 模式相差不大，且七參數轉換比三參數或四參數的轉換精確。賈鴻揚【1988】則指出 Bursa-Wolf 模式與 Molodensky-Badekas 模式對點位坐標轉換的結果是一致，不過當考慮轉換後點位坐標的中誤差成果時，則以 Molodensky-Badekas 模式的估計較為可靠。在不同坐標系統之間求取轉換參數，就是要使得參考於兩個或多個不同坐標系統的測量坐標成果能夠經過轉換

而整合在同一坐標系統之下。一般的作法都採用簡單的多項式轉換，利用古典最小二乘法平差原理轉換到同一個坐標系統內，例如四參數轉換、六參數轉換等等。離散點擇用最小二乘配置法實施坐標轉換整合後，因計算而產生之幾何關係必然遭受扭曲而不復維持，因此進行坐標轉換後應重新進行幾何形狀的計算使其關係恢復，選用適當的坐標轉換方法，才有可能圓滿的解決坐標整合問題【洪慧齡，1999】。

對小區域的範圍而言，可將 TWD67 與 TWD97 坐標系統當成是兩個平面，透過平面坐標轉換的模式，配合最小二乘配置法來配賦控制點的殘餘誤差，並將其反應在未知點的坐標分量上，透過六參數轉換結合最小二乘配置法的方式，進行小區域的平面坐標轉換，將 TWD67 的地籍坐標轉換至 TWD97 坐標系統下，進行土地複丈作業有不錯的精度表現【戴翰國等，2002】。而不同的坐標成果整合之轉換計算，共同點的選擇為最重要，採用分佈較密且均勻的三、四等衛星控制點為共同點的來源，由於地籍測量成果僅為二維資料，並無高程資料，於是以前最小二乘法平差原則，進行不同大小涵蓋區域與不同坐標轉換模式之地籍資料坐標轉換比較研究。研究結果顯示，以六參數非線性坐標轉換為較佳的模式。又地籍圖多半皆引測導線點或圖根點，於是如果使用一、二等點恐會導致地籍線扭曲或變形，為符合現況及提高共同點數，宜採用第三、四等控制點做坐標轉換的共同點來源【許皓寧，2003】。國內也有學者利用 Delaunay 三角網所具備優異的特性，建構多點式的仿射變換提供了大範圍到小區域 TWD97 坐標系統與 TWD67 坐標系統之間坐標轉

換，經過 Delaunay 三角網之多點仿射變換後的數據可靠度相當高，空間拓樸關係的保持也有優良的精度表現，可彌補傳統以固定轉換參數作為坐標轉換之彈性不足的缺點，提高轉換演算過程的機動性與靈活度【蔡建彰，2006】。

亦有學者如 Vanicek and Steeves【1996】採行類似方法進行坐標轉換之研究，基於坐標轉換可不考慮尺度參數之考量，因為尺度不同意味著點位（坐標）的系統變形，而非坐標系統的變形，故僅以 3 個旋轉參數與 3 個平移參數來進行轉換，並求取轉換參數。Reit【1998】亦曾提出一種適用於兩區域性坐標系統轉換之平差模式，此種模式除考慮點位坐標之特性外，並可適用於所有區域坐標系統之計算以獲得轉換參數；其作法係先將大地坐標轉換為三維地心坐標，另以七參數相似轉換模式進行轉換，平差計算後將可同時得到每個點位在三個分量上的殘差向量。而 Grafarend and Okeke【2007】亦推導一組轉換公式，其是利用曲線線性化基準轉換的方式將 WGS84 坐標基準轉換至區域基準上，以模擬資料進行測試時，可獲得差異在 2 公分以內之麥卡托投影坐標轉換結果。Awange and Grafarend【2002】亦針對七參數坐標基準轉換的問題，提出了線性最小平方與非線性 Gauss-Jacobi 組合的演算法，該法先以四次方多項式求解出尺度參數後，再將其帶入與旋轉參數有關之式中，以求出三個旋轉參數；最後再依一般之七參數轉換關係式，求出三個平移參數。此種演算法具有之優點包括：使用已知值進行計算、不需線性化、不需要遞迴運算、變方協變方矩陣可自動組成、輸出的結果可直接檢視等。

三、理論基礎

本研究利用參數坐標轉換法，比較坐標轉換前與轉換後之差異性並評估其優缺點，藉以提昇 e-GPS 定位之精度。本研究考慮台灣地區基準轉換之影響因素如下：

基準轉換 = 參考框架之轉換 (3D)
+ 網形變形 (2D+1D) + 偶然誤差 (2D+1D).. (1)

因此轉換的第一步驟將採用相似轉換之七參數法，配合附有未知數的條件平差法模式，其中七參數法可採用 Bursa-Wolf 或 Molodensky-Badekas 模式。在三度空間同一點的兩組卡氏坐標轉換中，首先能夠假定一個普遍的線性 (affine) 轉換，其形式如下【Rapp, 1993】：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \\ a_{30} \end{bmatrix} \dots (2)$$

其中包含十二個未知參數 a_{ij} ($i = 1, 2, 3$ 與 $j = 0, 1, 2, 3$)，兩組卡氏坐標 (X, Y, Z) 與 (x, y, z) 。若考慮三度空間坐標為正交 (orthogonal) 轉換的特殊情形時，則 (2) 式的未知參數須滿足下面的條件式：

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^{-1} \dots (3)$$

將 (3) 的條件式代入 (2) 可將十二參數約化成六參數，寫成下面正交坐標轉換的六參數形式：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \dots (4)$$

其中六參數包含平移參數 ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) 與旋轉參數 ($\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$)。

如果認為兩個坐標系統間有一尺度上的差異，則可以引進單一的尺度參數 S ，使六參數變成七參數的正交坐標轉換，形式如下：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = SR(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \dots (5)$$

所以在沒有網形變形的理想情形時，應只需利用七參數即可勝任三度空間坐標的正交轉換，其中七參數包含一個尺度參數、三個平移參數、三個旋轉參數，下面舉述在基準轉換時利用七參數法較常應用的 Bursa-Wolf 模式轉換法。

Bursa-Wolf 的七參數模式包含平移參數 ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)、尺度參數 (S) 與旋轉參數 ($\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$)，並且假設旋轉參數的值很小，兩組坐標分別為 (X, Y, Z) 與 (x, y, z) ，其轉換方程式如下：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{BW} + S \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \dots (6)$$

為避免 Bursa-Wolf 模式可能產生之平移與旋轉參數產生高度相關之特性，可先將坐標原點平移至轉換區域重心點後再進行轉換，即採用 Molodensky-Badekas 模式：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{MB} + \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{bmatrix} + S \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_m \\ y - y_m \\ z - z_m \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中 Molodensky-Badekas 的七參數模式包含平移參數 ΔX , ΔY , ΔZ 、尺度參數 s 與旋轉參數 ε_x 、 ε_y 、 ε_z ，並假設旋轉參數的值很小。兩組坐標分別為 (X, Y, Z) 與 (x, y, z) ； (x_m, y_m, z_m) 代表 (x, y, z) 之區域重心坐標【Rapp, 1993】。而 Bursa-Wolf 轉換模式較適合用於兩種全球性衛星大地基準間之轉換，Molodensky-Badekas 轉換模式則較適合用於衛星大地基準與區域大地基準間之轉換，這是因為在轉換過程中會有先將點位坐標平移至轉換區域重心之動作。

然七參數法只能考慮到參考框架的轉換與點位的偶然誤差，缺乏對於網形變形的模式化功能，因此尚須配合最小二乘共置法模式，此模式分別考慮到參考框架轉換、網形變形與點位的偶然誤差之影響因素。最小二乘共置法之數學模式如下【Moritz, 1989】：

$$L = Ax + s + n \quad (8)$$

其中 L 為觀測量、 x 代表系統參數、 s 為訊號、 n 為雜訊。當利用 (7) 式中之系統參數來達成三維之參考框架轉換時，平面與高程分開之網形變形與偶然誤差的影響可分別由訊號及雜訊來吸收。Vanicek 與 Steeves 曾論述由二維至三維之大地基準轉換僅有四個轉換參數為可

估計的，此四個參數亦即 Veis 轉換模式中的三個平移量以及基準原點之方位旋轉角。

經由參考框架轉換後的殘量包含了網形變形與偶然誤差的影響，可利用最小二乘預估方法來進行估計【Moritz, 1989】：

$$\hat{s} = \beta + C_{TL} C_{LL}^{-1} (L - A\bar{x} - \beta) \quad (9)$$

$$\hat{n} = L - \hat{s} \quad (10)$$

其中 \hat{s} 為平差後的訊號估值， \hat{n} 指平差後的量測誤差估值， β 為訊號的期望值。 C_{TL} 是指全部點位之訊號的變方-協變方矩陣； C_{LL} 是指觀測點之變方-協變方矩陣，為訊號與雜訊的變方-協變方矩陣之和。

四、資料蒐集與處理

本研究為探討小區域的坐標轉換模式，因此選擇中壢地政事務所管轄的中壢市、觀音鄉為測試區域，中壢觀音地段分佈圖如圖 2 所示。接下來以上述的地段分佈圖為依據，以均勻分佈的方式挑選 20 點 TWD67 控制點與 55 點 TWD97 控制點作為本實驗的測試點；並透過中壢地政事務所提供的地籍圖重測處理系統查詢政府公告坐標值，來進行本研究的外部精度驗證。

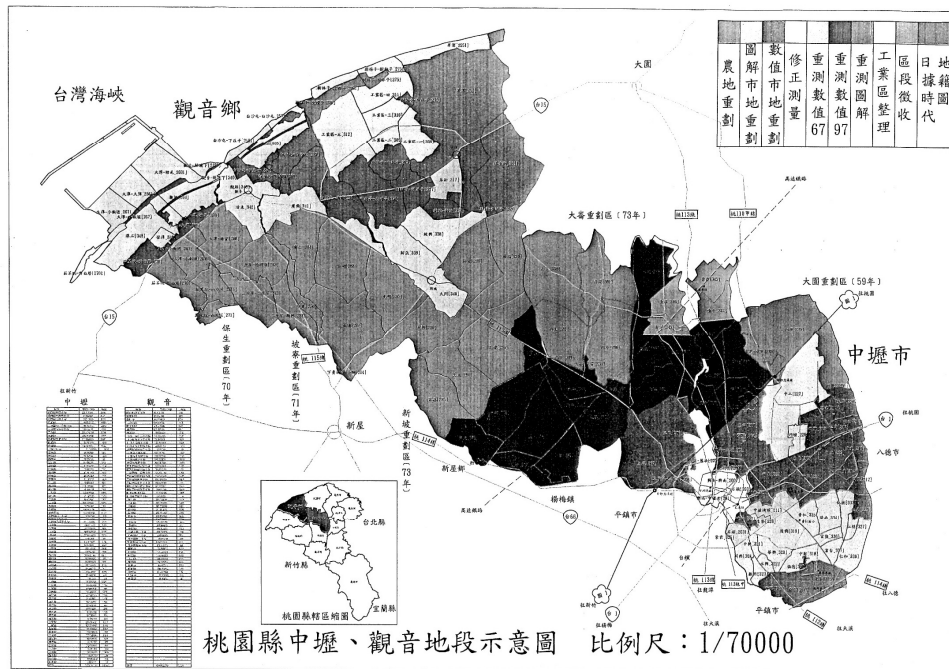


圖 2 中壢觀音地段示意圖

在外業利用 e-GPS 方式施測時，所使用的儀器為 Leica ATX1230 衛星接收儀及其控制器，搭配 Nokia 6230i 手機以及碳纖維材質之標準測桿與輕便式腳架。由於本研究中所使用的 e-GPS 儀器，其資料儲存方式是存在儀器內的 CF 記憶卡中，所以首先必須要先使用讀卡機將資料轉存至電腦中，之後便可以將 e-GPS 之資料匯入 LG0 處理軟體中。由於 LG0 軟體可以接受相當多種類的資料訊息，而本研究中所使用的座標轉換軟體則有其一定的轉換格式，所以必須將 LG0 內所呈現之數據資料，作一座標轉換前之排版與整理，並以純文字的檔案格式儲存，以此方式將每一筆數據資料作為坐標轉換前之前置作業。

最後再將每一筆數據資料，使用台灣地區大地基準及座標系統轉換計算程式進行轉換，而將 TWD97 地心座標 (X, Y,

Z) 轉換至 TWD97 平面座標 (N, E, h) 之轉換作業。而在完成座標轉換之後，轉換程式會產生另一個純文字檔案，內容包含了轉換前與轉換後之座標資料，而本研究則是要將轉換完成之純文字檔案匯入 Excel 軟體中進行資料排序與分析，並使用 Excel 軟體將排序整理好的數據資料，以表格的方式做一簡單清晰的數據呈現之外，更以此繪成精標準差之直條圖，以提供本研究所需了解的相關資訊，並且以此圖型做為本研究分析之依據。

五、成果分析

5.1 e-GPS 與 TWD67 精度驗證

首先，針對在 TWD67 控制點位上的觀測資料，進行內部精度標準差絕對值的分析。圖 3 及圖 4 分別呈現在 TWD67 控制點上重複施測 30 次所計算之 N 方向

與 E 方向標準差絕對值，可以得知 N 方向的誤差在 1.4 公分以內，E 方向的誤差略大，但仍都在 2.5 公分以內；以平

均標準差來計算，N 方向標準差絕對值的平均值為 0.4 公分，E 方向為 0.5 公分，顯示 e-GPS 定位的內部精度極佳。

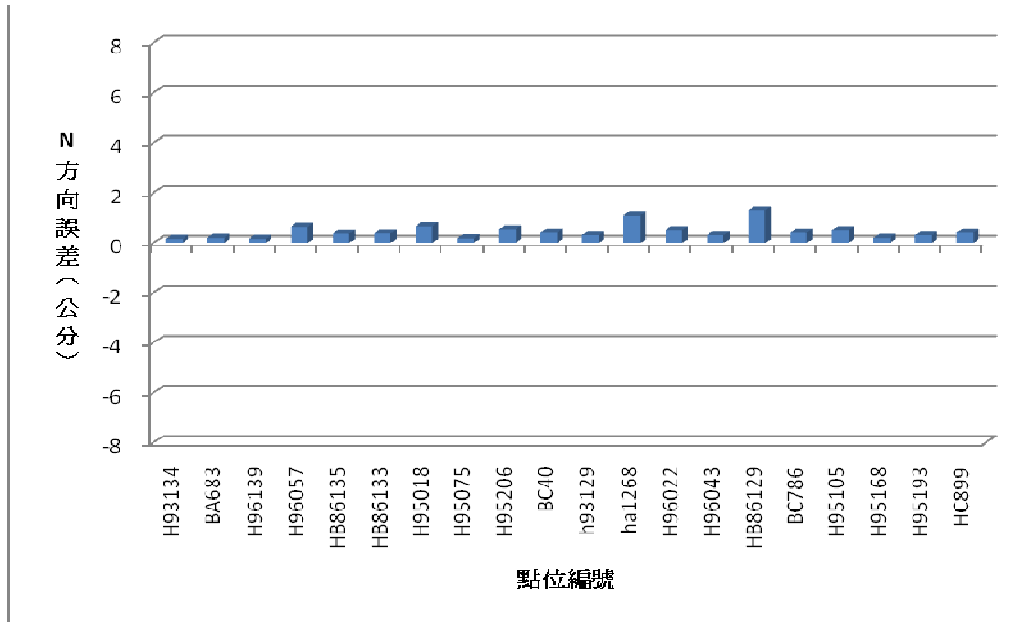


圖 3 在 TWD67 控制點上重複施測 30 次所計算之 N 方向標準差

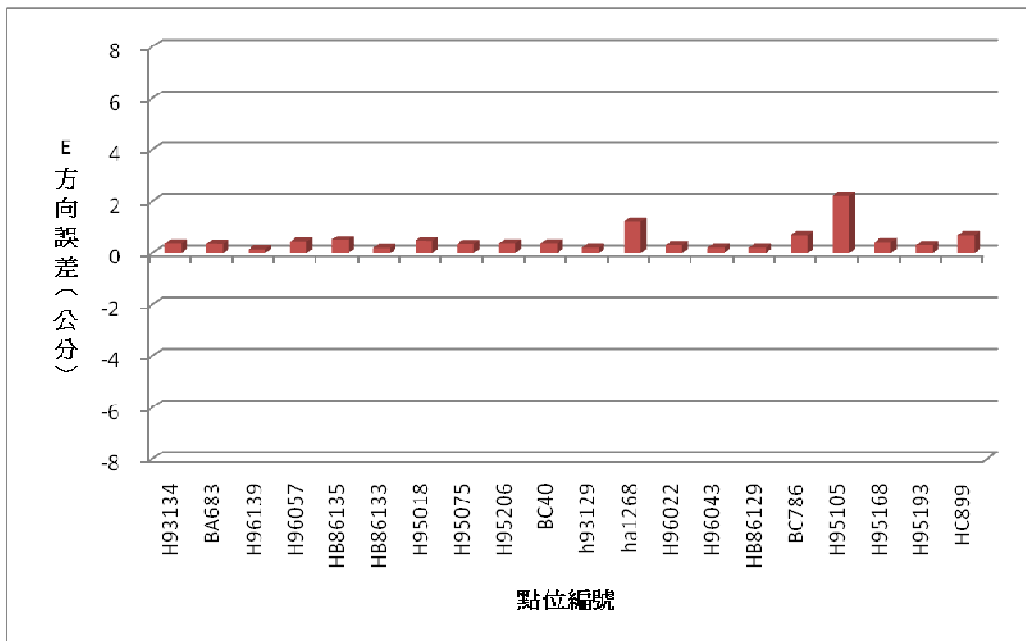


圖 4 在 TWD67 控制點上重複施測 30 次所計算之 E 方向標準差

接下來，將 e-GPS 量測的平均值與政府的 TWD67 公告值相比較，藉以驗證 e-GPS 之外部精度，其成果如圖 5 及圖 6 所示。在本研究所測試的點位中，N 方向誤差介於 -203.6 至 -204.1 公尺之間，E 方向誤差則介於 829.4 至 830.6 公尺之

間；而 N 方向誤差平均值約為 203.84 公尺，E 方向誤差平均值為 829.93 公尺，顯示 e-GPS 與 TWD67 之間有相當大的系統誤差，應為區域基準與全球基準的差異而來，可以嘗試藉由七參數坐標轉換加以消除。

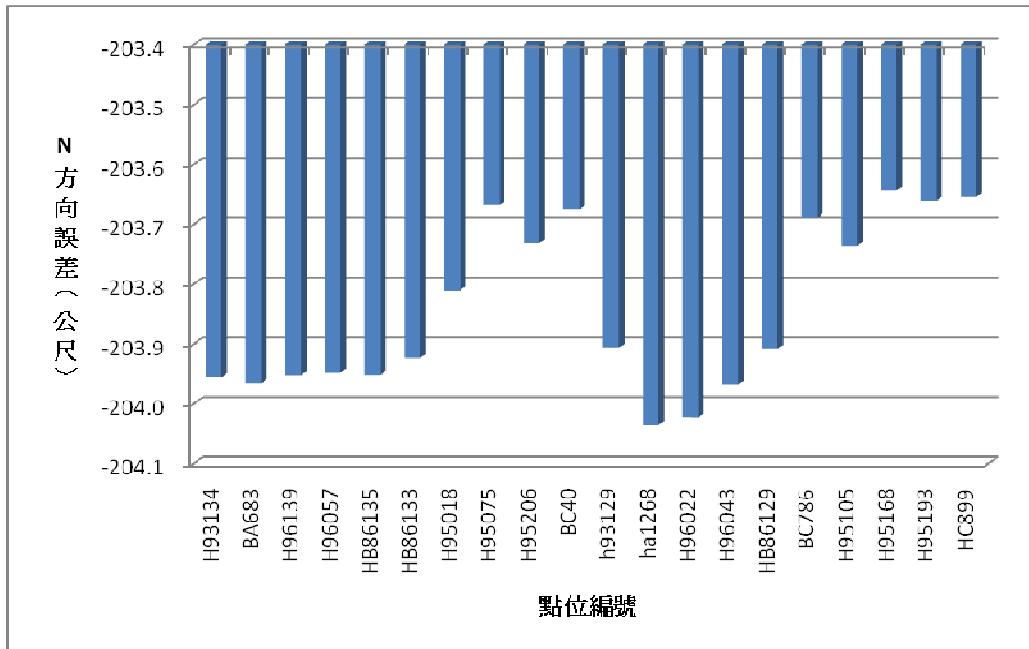


圖 5 e-GPS 量測值與 TWD67 公告值在 N 方向之差異

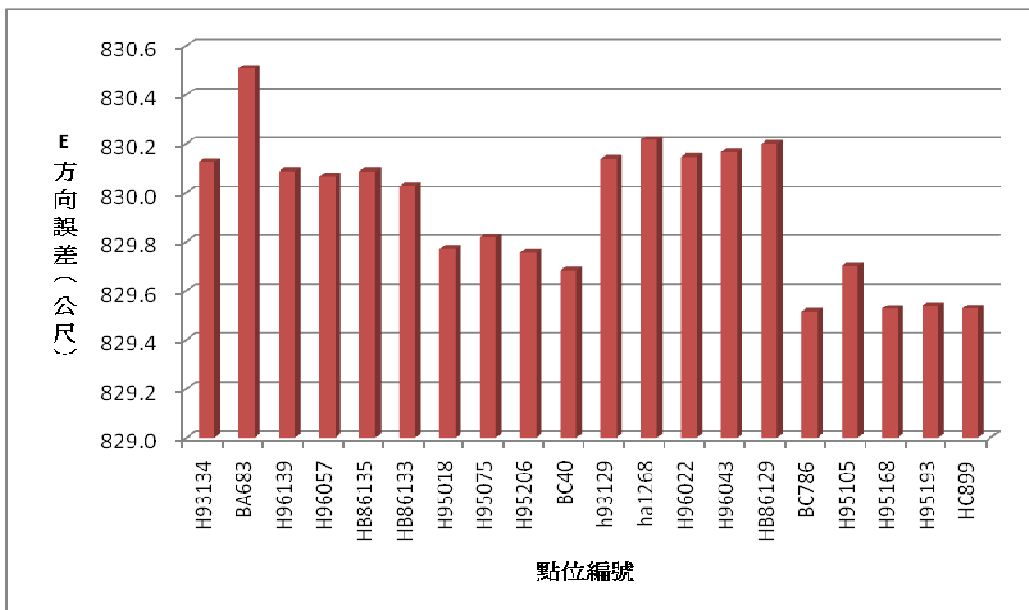


圖 6 e-GPS 量測值與 TWD67 公告值在 E 方向之差異

經過了坐標轉換的修正之後，e-GPS 量測值與 TWD67 公告值之誤差已有了明顯的改善。改正後 N 方向的誤差介於-10 至 6 公分之間，E 方向的誤差則介於-20 至 40 公分之間；以平均值來分析，N 方向的平均誤差由 203.84 公尺降低為 2.8

公分，E 方向的平均誤差也從原本的 829.93 公尺降低為 5.7 公分，雖然單筆資料的誤差偶有超出地籍測量實施規範的 6 公分標準，但以平均值來說，若小心使用應可利用 e-GPS 來進行小區域的 TWD67 控制點測量。

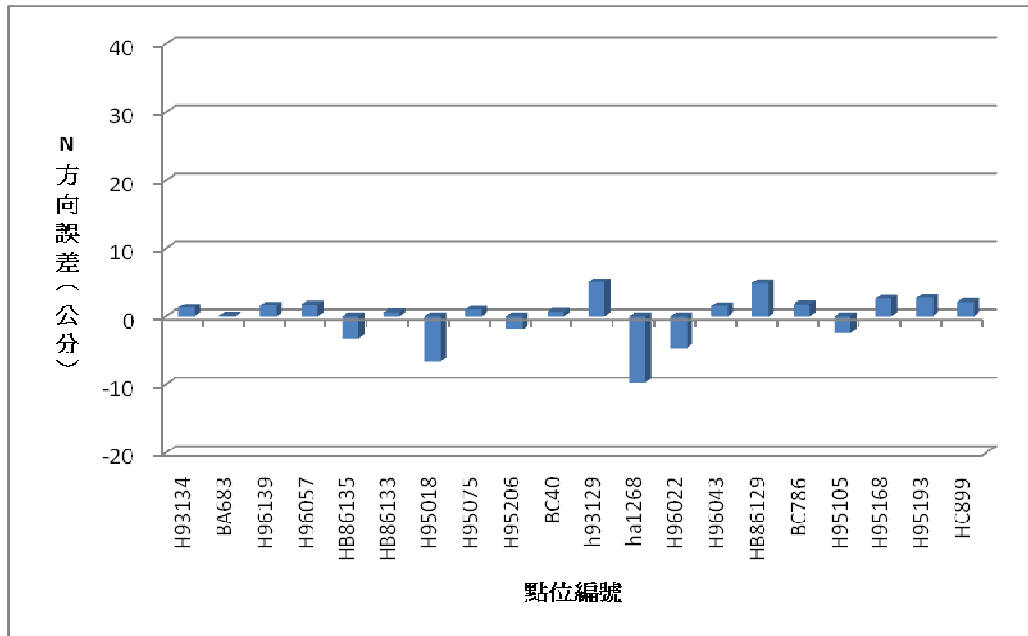


圖 7 坐標轉換後 e-GPS 量測值與 TWD67 公告值在 N 方向之差異

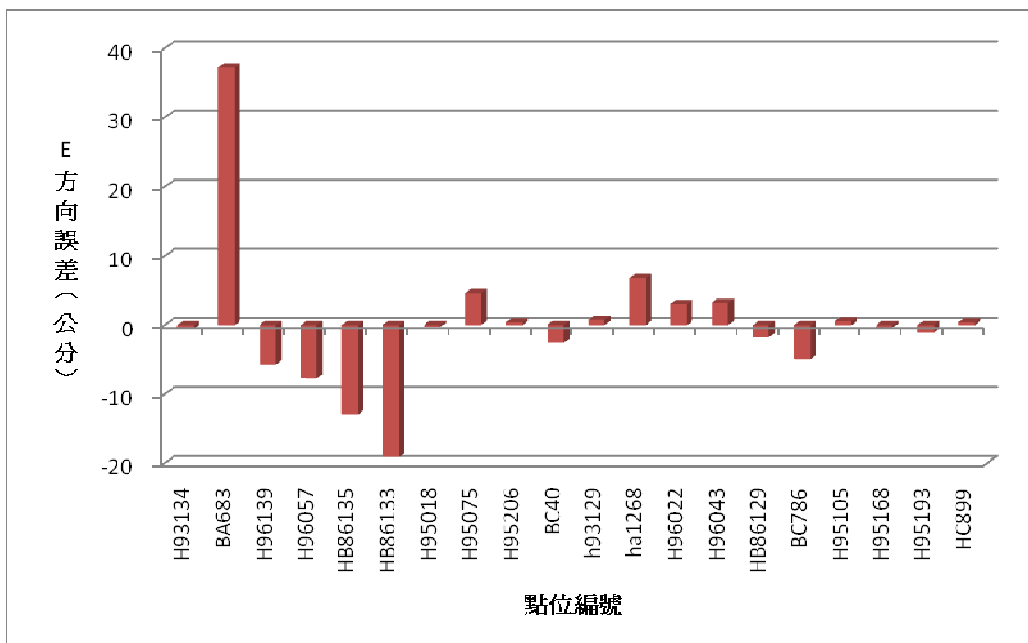


圖 8 坐標轉換後 e-GPS 量測值與 TWD67 公告值在 E 方向之差異

5.2 e-GPS 與 TWD97 精度驗證

第二部分，針對在 TWD97 控制點位上的觀測資料，進行內部精度標準差絕對值的分析。圖 9 及圖 10 分別呈現在 TWD97 控制點上重複施測 30 次所計算之

N 方向與 E 方向標準差絕對值，可以得知 N 方向的誤差在 2.1 公分以內，E 方向的誤差在 2.0 公分以內；以平均標準差來計算，N 方向與 E 方向標準差絕對值的平均值皆為 0.5 公分。

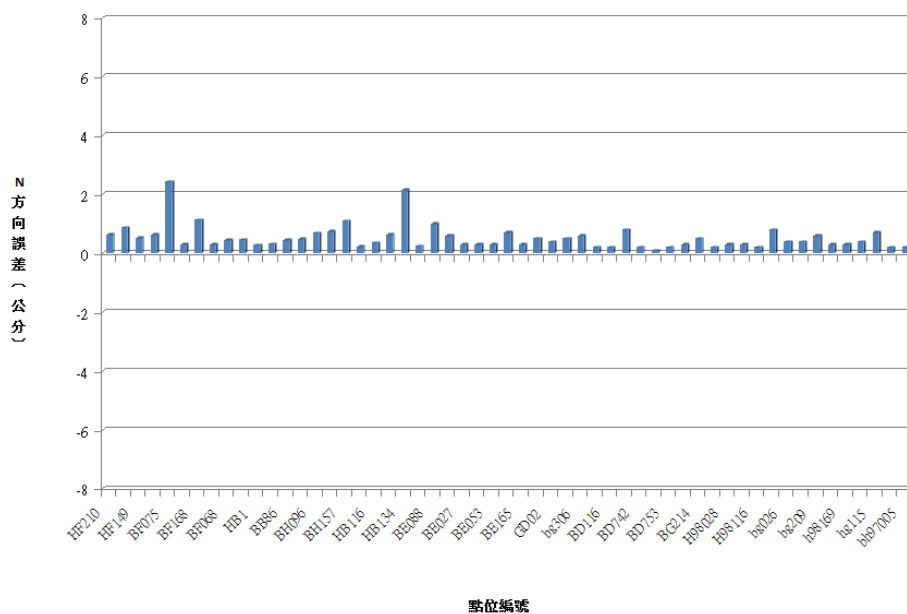


圖 9 在 TWD97 控制點上重複施測 30 次所計算之 N 方向標準差

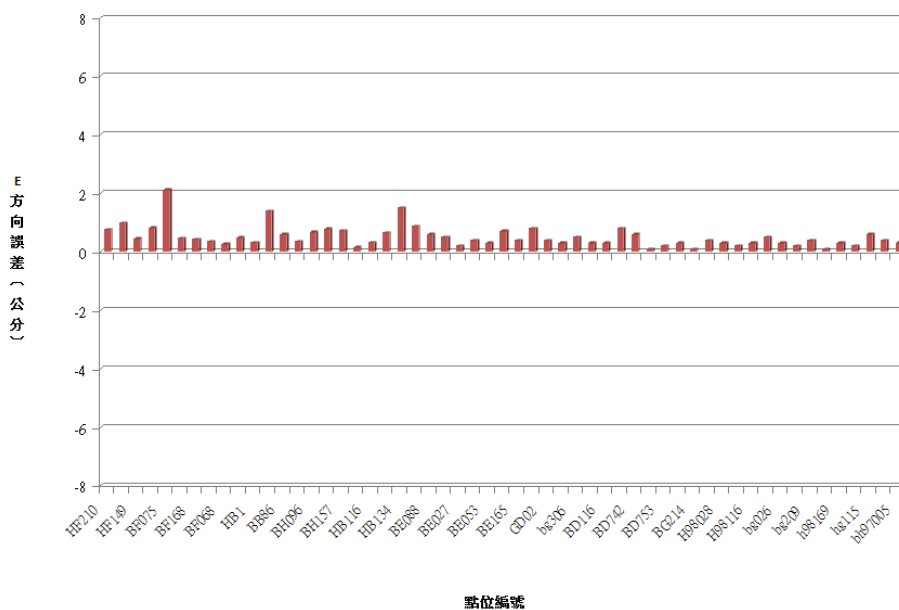


圖 10 在 TWD97 控制點上重複施測 30 次所計算之 E 方向標準差

接下來，將 e-GPS 量測的平均值與政府的 TWD97 公告值相比較，藉以驗證 e-GPS 之外部精度，其成果如圖 11 及圖 12 所示。在本研究所測試的點位中，N 方向誤差介於-7.4 至 0.6 公分之間，E 方向誤差則介於-6.2 至 1.8 公分之間；

而 N 方向誤差平均值約為 4.1 公分，E 方向誤差平均值為 2.7 公分，以小區域來說仍屬於一種系統性誤差，應與竹南站相對於 TWD97 之坐標變化而來，亦可嘗試藉由七參數坐標轉換加以消除。

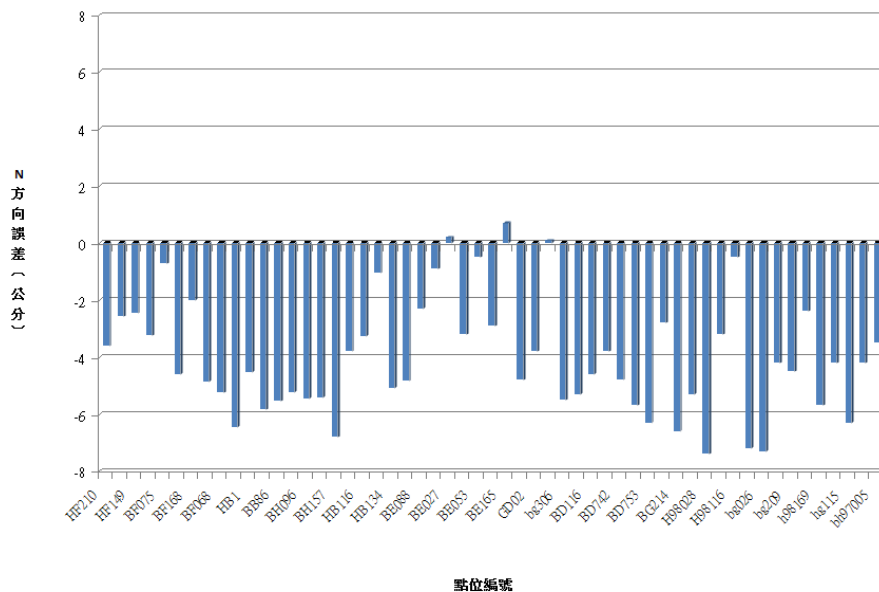


圖 11 e-GPS 量測值與 TWD97 公告值在 N 方向之差異

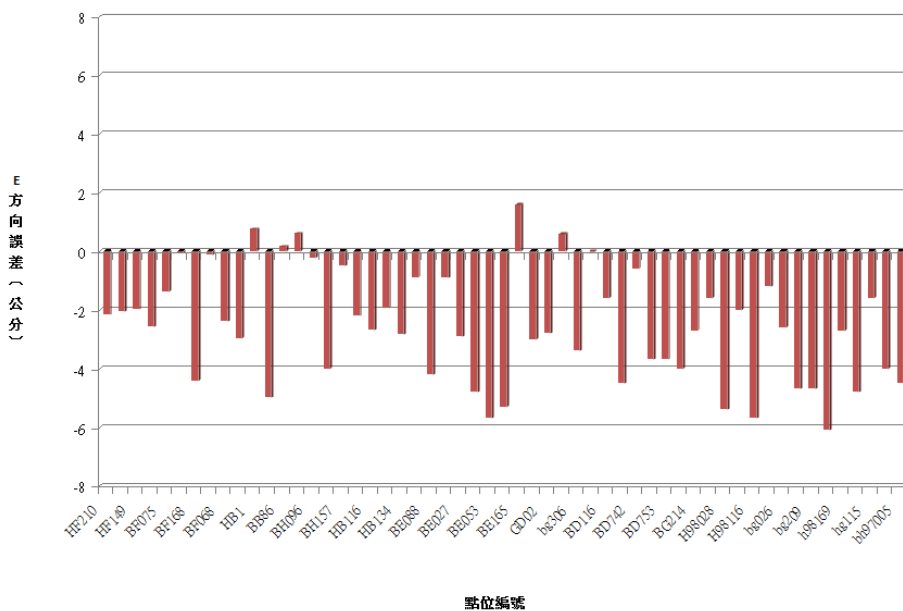


圖 12 e-GPS 量測值與 TWD97 公告值在 E 方向之差異

經過了坐標轉換的修正之後，e-GPS 量測值與 TWD97 公告值之誤差也有明顯的改善。改正後 N 方向的誤差介於-3.5 至 4.2 公分之間，E 方向的誤差則介於-3.2 至 4.0 公分之間；以平均值來分析，N 方向的平均誤差由 4.1 公分降低為 1.6 公分，E 方向的平均誤差也從原本的 2.7

m 降低為 1.6 公分。大致上而言若有經過適當的坐標轉換，不論在單筆資料或平均值上，利用 e-GPS 進行 TWD97 控制點量測其精度皆符合地籍測量實施規範的 6 公分標準，在小區域的 TWD97 控制點測量上應可全面的採用 e-GPS 來進行快速的定位。

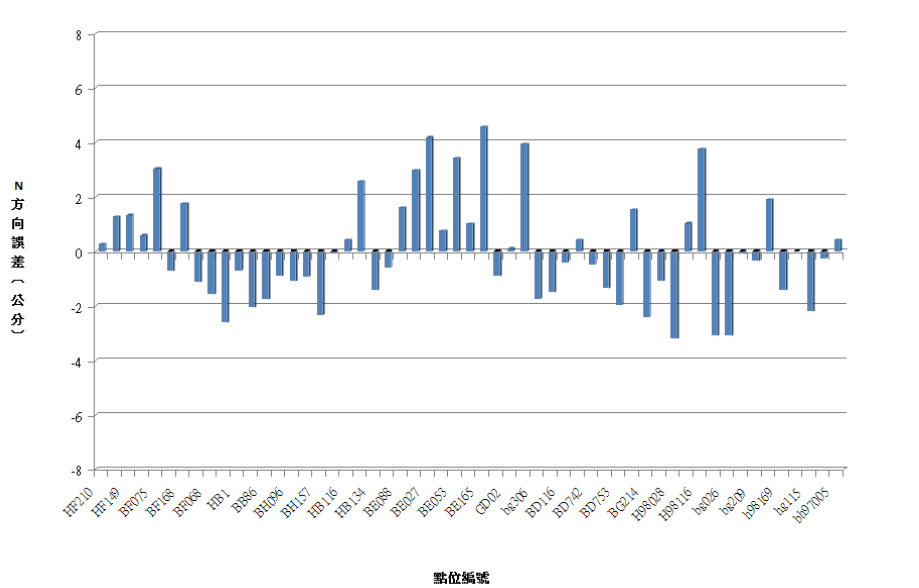


圖 13 坐標轉換後 e-GPS 量測值與 TWD97 公告值在 N 方向之差異

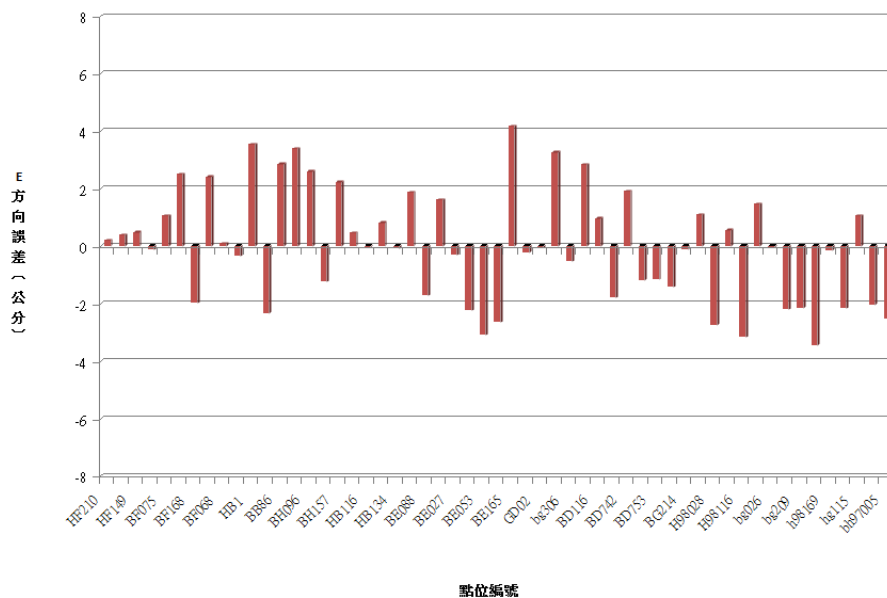


圖 14 坐標轉換後 e-GPS 量測值與 TWD97 公告值在 E 方向之差異

六、結論與建議

- (一)在 e-GPS 的內部精度評估上，不論是 N 方向或 E 方向，其標準差絕對值的平均值皆在 0.5 公分之內，顯示 e-GPS 定位的內部精度極佳。
- (二)在中壢觀音地區，若將 e-GPS 定位坐標與 TWD67 公告值相比較，N 方向誤差平均值約為 203.84 公尺，E 方向誤差平均值為 829.93 公尺，顯示 e-GPS 與 TWD67 之間有相當大的系統誤差；但經過了七參數坐標轉換之後，N 方向的平均誤差將降低為 2.8 公分，E 方向的平均誤差也將降低為 5.7 公分。
- (三)同樣在中壢觀音地區，若將 e-GPS 定位坐標與 TWD97 公告值相比較，N 方向誤差平均值約為 4.1 公分，E 方向誤差平均值為 2.7 公分，以小區域來說仍屬於一種系統性誤差；但經過了七參數坐標轉換之後，N 方向的平均誤差將降低為 1.6 公分，E 方向的平均誤差也將降低為 1.6 公分。
- (四)若將 e-GPS 應用於 TWD67 控制點測量，雖然單筆資料的誤差偶有超出地籍測量實施規範，但以平均值來說，還是可以利用 e-GPS 來進行小區域的 TWD67 控制點測量；若將 e-GPS 應用於 TWD97 控制點測量，只要經過適當的坐標轉換，不論在單筆資料或平均值上，其精度皆符合地籍測量實施規範的 6 公分標準，在小區域的 TWD97 控制點測量上應可全面的採用 e-GPS 來進行快速的定位。
- (五)未來可嘗試利用 e-GPS 連續接收站的觀測資料，來進行坐標轉換參數

之求定，以節省外業上之人力，並可達到近即時性轉換參數之求解，然使用此一方法之精度仍須有待進一步之驗證。

誌謝

本研究能夠順利完成，感謝清雲科技大學土木工程系黃建鈞、潘楷仁、詹雅琳、李慎永、張怡婷、王怡翔等六位同學協助進行野外觀測資料之蒐集，以及內政部國土測繪中心所提供的服務與資料。

參考文獻

1. 王敏雄、劉至忠、李彥弘，2004。全國性電子化 GPS 衛星定位基準站即時動態定位系統之建置，第六屆 GPS 衛星科技研討會，國立成功大學，台南。
2. 內政部國土測繪中心，2010。<http://www.egps.nlsc.gov.tw/>。
3. 洪慧齡，1999。土地測量成果坐標整合之研究，國立成功大學測量工程學研究所碩士論文。
4. 高書屏，1987。高書屏，1987，臺灣地區虎子山坐標系統轉換參數之初步研究，測量工程，第 29 卷，第四期，pp. 1-13。
5. 崔國強、湯俊發、陳冠翔、游佩諭，2002。虛擬參考站技術於 GPS 定位上之應用研究，第二十一屆測量學術及應用研討會，國立交通大學，新竹。
6. 許皓寧，2003。臺北市地籍資料 TWD67 與 TWD97 坐標轉換之比較研究，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
7. 陳鶴欽、林世賢、曾清涼、劉至忠、吳萬順，2004。台灣地區虛擬電子基

- 準站最佳間距之研究，第二十三屆測量學術及應用研討會，國立中興大學，台中。
8. 曾清涼，2003。台灣 e-GPS 電子基準站規劃設計及測試分析，內政部土地測量局期末報告。
 9. 馮倩君、楊名，2004。以多參考站為基礎之 GPS 即時動態定位演算法發展，第二十三屆測量學術及應用研討會，國立中興大學，台中。
 10. 賈鴻揚，1988。衛星實測資料應用於台灣一等控制網補強與基準轉換，國立成功大學測量工程研究所碩士論文。
 11. 儲慶美、簡裕城，2004。GPS 新技術—虛擬參考站系統，第六屆 GPS 衛星科技研討會，國立成功大學，台南。
 12. 蔡建彰，2006。以 Delaunay 三角形建構坐標轉換框架提供空間資料整合應用之研究，國立成功大學地球科學系碩士論文。
 13. 戴翰國、余致義、曾清涼，2002。利用六參數平面轉換與最小二乘配置進行 TWD67 與 TWD97 之地籍資料坐標轉換—以台北市大安通化段為例，第五屆 GPS 衛星科技研討會，國立成功大學，台南。
 14. Awange, J. L., E. W. Grafarend, 2002. Linearized least squares and nonlinear Gauss-Jacobi combinatorial algorithm applied to the 7-parameter datum transformation problem, 127, pp.109-116.
 15. Fortes, L. P., 2000. Testing a multi—Reference GPS station network for OTF positioning in Brazil, *Proceedings of the ION GPS2000*, Salt Lake City, Utah.
 16. Grafarend, E., F. Okeke, 1998. Transformation of conformal coordinates of type mercator from a global datum (WGS84) to a local datum (Regional, National), *Marine Geodesy*, 21, pp.169-180.
 17. Landau, H., U. Vollath, X. Chen, 2002. Virtual reference station systems, *Journal of Global Positioning Systems*, 1(2), pp.137-143.
 18. Moritz, H., 1989. Advanced physical geodesy, 2nd Edition, Karlsruhe, Wichmann, Germany.
 19. Rapp, R. H., 1993. Geometric geodesy Part II, Department of Geodetic Science and Survey, The Ohio State University, pp.57-93.
 20. Reit, B. G., 1998. The 7-parameter transformation to horizontal geodetic datum, *Survey Review*, 34, pp.400-412.
 21. Seeber, G., 2000. Real-time satellite positioning on the centimeter level in the 21st century using permanent reference stations, *Proceedings of the ION GPS2000*, Salt Lake City, Utah.
 22. Vanicek, P., R. Steeves, 1996. Transformation of coordinates between two horizontal geodetic datums, *Journal of Geodesy*, 70, pp.740-745.
 23. Vollath, U., A. Decking, H. Landau, C. Pagels, 2001. Long-range RTK positioning using virtual reference stations, *Proceedings of the International Symposium on Kinematic System in Geodesy, Geomatics and Navigation*, Banff, Canada.
 24. Wubbena, G., A. Bagge, M. Schmitz, 2001. RTK networks based on Geo++ GNSMART—Concepts, Implementation, Results, *Proceedings of the IONGPS 2001*, Salt Lake City, Utah.
 25. Yeh, T. K., B. F. Chao, C. S. Chen, C. H. Chen, Z. Y. Lee, 2011. Performance improvement of network-based RTK-GPS positioning in Taiwan, *Survey Review*, in press.