

e-GPS 應用於山區地籍測量之研究： 以台電鐵塔用地預為分割測量為例

e-GPS Applied in Mountainous Areas on Cadastral Surveying : A Case Study at Taipower Towers Surveying of Land Preparation Segmentation

林偉祥¹、陳松安²、李旭志³

Wei-Hsiang Lin¹, Sung-An Chen², Hsu-Chih Li³

摘要

本研究選擇桃園縣復興鄉山區為測試區，於作業中採：(1)使用電子化全球衛星即時動態定位系統e-GPS (Electronical-Global Positioning System)測設TWD97 (Taiwan Datum 1997)坐標圖根點；(2)繪製TWD97坐標圖廓處理圖解地籍圖伸縮與變形；(3)鐵塔位置展繪於圖解數化地籍圖等步驟進行坐標轉換。獲得以下結論：(1)山區使用e-GPS測設圖根點是可行的。以6參數轉換最小二乘配置法測設TWD97坐標圖根點成果較佳，其地測檢核距離誤差量最大為1.5公分。(2)圖解地籍圖以4參數轉換繪製TWD97坐標圖廓較符合原始圖廓規格。(3)鐵塔位置以6參數轉換最小二乘配置法展繪於圖解數化地籍圖較符合地籍圖圖紙伸縮與變形的特性。(4)傳遞類神經網路應用於坐標轉換成果符合地籍測量作業規範之精度要求。

關鍵詞：地籍測量、e-GPS、坐標轉換

Abstract

By choosing Fusing Township, Taoyuan County as the study area, we use three procedures in this research to coordinate transformation: (1) Locating control points using Electronical-Global Positioning System (e-GPS) on Taiwan Datum 1997 (TWD97). (2) Grids on TWD97 for deformation of stretched cadastral maps. (3) Compiling locations of Taipower towers on digital cadastral maps. We outline conclusions as follows: (1) It is feasible to locate control points using e-GPS in mountainous areas. It is more suitable to use Affine Transformation with Least-Squares Collocation (LSC) to pinpoint control points on TWD97. In the field work, the maximum distance error is 1.5 cm. (2) It is conformed to the original specifications by using Conformal Transformation and mapping cadastral grids on TWD97. (3) It is more appropriate to resolve deformation of stretched cadastral maps and compile locations of Taipower towers on the digital cadastral maps using Affine Transformation with LSC. (4) The results of coordinate transformation using Back-propagation Network (BPN) are qualified to the accuracy of Cadastration Act.

Keywords: Cadastral Surveying, e-GPS, Coordinate Transformation

¹ 內政部國土測繪中心技士

² 國防大學理工學院環境資訊及工程學系副教授

³ 內政部國土測繪中心課長

一、前言

地籍測量(Cadastral Surveying)屬於平面測量，地籍圖種類以測量方法的不同可區分為數值區，有TWD67(Taiwan Datum 1967)坐標及TWD97(Taiwan Datum 1997)坐標系統；圖解區，有舊地籍坐標、TWD67坐標及數化坐標系統。目前山區大部分為舊地籍坐標之圖解區，現地作業常因地形及地貌的改變致使舊有之圖根點尋找不易；復因幅員廣大，施測可靠經界物不易，影響套繪位置之成果；且因地籍圖為沿用日據時期經描繪而成之副圖，加上繪製年代久遠，地籍圖圖紙保存不易，致使圖紙伸縮及變形嚴重（內政部土地測量局，2005），如據以辦理測量，造成測量精確度降低。

本研究以內政部國土測繪中心建構之高精度電子化全球衛星即時動態定位系統(Electronic-Global Positioning System, e-GPS)應用於山區之地籍測量及配合地籍圖坐標轉換，改善傳統圖根測量方法及地籍圖圖紙伸縮及變形之影響等問題，提升山區測量結果的精確度，研究流程如圖1，而坐標轉換應用可分為：

- (一)e-GPS坐標與TWD97坐標轉換：布設TWD97坐標圖根點。
- (二)舊地籍坐標與TWD97坐標轉換：繪製近似原始地籍圖規格之TWD97坐標圖廓，將計算之圖廓點與圖解數化地籍圖之圖廓點進行坐標轉換改正圖解地籍圖伸縮及變形。
- (三)TWD97坐標及圖解數化地籍圖之坐標轉換：將測量成果展繪至圖解數化地籍圖用於圖解地籍圖的訂正。

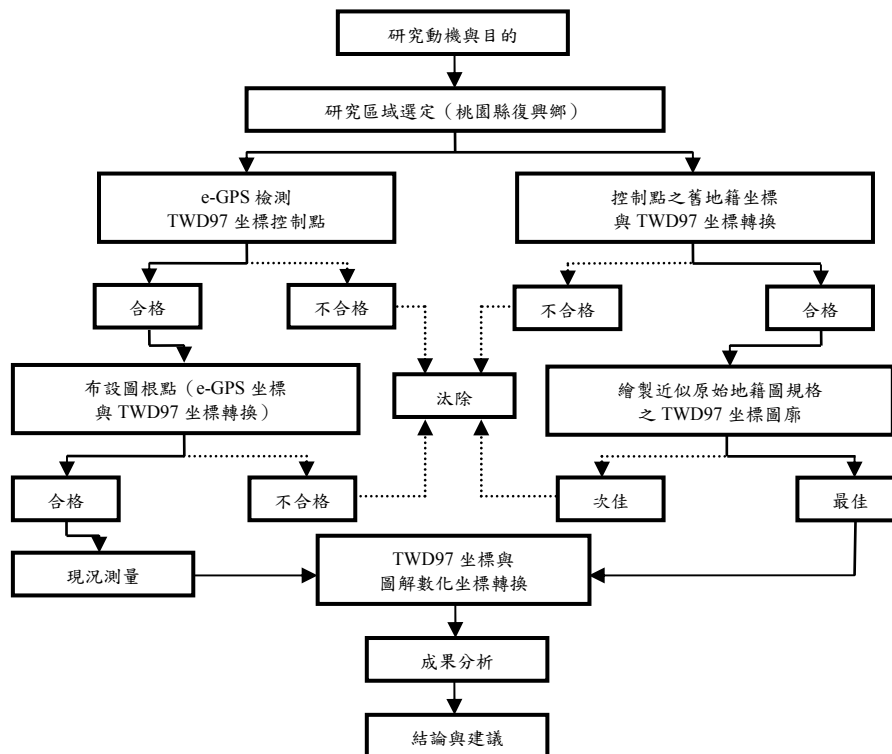


圖1. 研究流程圖

二、理論基礎

- (一)e-GPS：為結合衛星定位、寬頻網路數據通訊、行動式數據傳輸、資料儲管及全球資訊網站等先進主流科技，以全國各地所建置連線運作之衛星定位基準站，就其連續定位觀測資料，建構區域性定位誤差之內插模式，劃分10個定

位服務區，如圖2（內政部國土測繪中心，2010），在短時間內以虛擬基準站 (Virtual Base Station, VBS) 為定位基礎之網路化即時動態定位(Network RTK) 技術，如圖3（內政部國土測繪中心入口網站，2011）。臺灣地區因位處於地殼變動劇烈地帶，且區域性之地表位移量於各地均有明顯差異，因此內政部國土測繪中心在臺灣本島地區選定竹南地政事務所基準站為固定站，自行定義一套以時間為函數之e-GPS坐標系統，如表1，做為即時動態定位之坐標基準。（內政部國土測繪中心e-GPS即時動態定位系統入口網站，2011）。

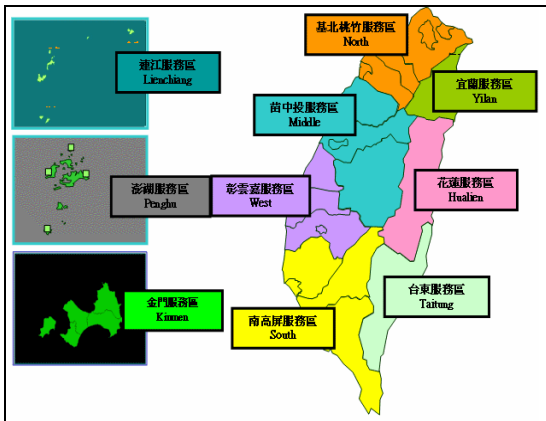


圖2. e-GPS定位服務區範圍

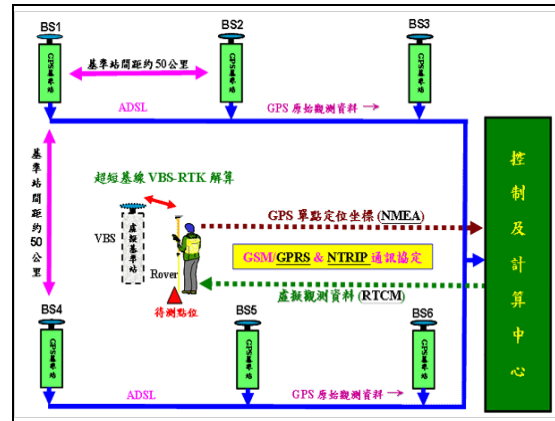


圖3. VBS-RTK定位系統示意圖

表1. 臺灣本島地區e-GPS坐標系統之基本定義

固定站點名		竹南	
國際坐標基準框架		ITRF94	
坐標定義起始時刻		2005年02月15日12:00:00	
X坐標	-2975764.7118	X速度量	0.0083公尺/年
Y坐標	4976994.8411	Y速度量	-0.0006公尺/年
Z坐標	2647324.2334	Z速度量	-0.0129公尺/年

- (二) 3參數轉換：含1個旋轉角及2個平移量（翁享裕，2006）。
- (三) 4參數轉換：含1個旋轉角、1個尺度量及2個平移量（翁享裕，2006），以下式表示。

$$\begin{cases} Y_2 = aY_1 + bX_1 + c \\ X_2 = -bY_1 + aX_1 + d \end{cases} \quad (1)$$

式中：a表尺度量；b表旋轉量；c、d表平移量。

- (四) 6參數轉換：含1個旋轉角、2個尺度量、1個軸系不正交偏角及2個平移量（翁享裕，2006），以下式表示。

$$\begin{cases} Y_2 = aY_1 + bX_1 + c \\ X_2 = eY_1 + fX_1 + d \end{cases} \quad (2)$$

式中：a、f表尺度量；b表旋轉量；c、d表平移量；e表軸系不正交量。

(五)倒傳遞類神經網路：基礎架構包括輸入層、隱藏層和輸出層等三層網路所連結。倒傳遞神經網路處理單元之輸出入值之關係如下（葉怡成，1999）：

$$Y_j = M(\text{net}_j) \quad (3)$$

$$\text{net}_j = \sum W_{ij}X_i - \theta_j \quad (4)$$

式中：Y_j表輸出變數；M表轉換函數；W_{ij}表連結加權值；X_i表輸入變數；θ_j表門限值。

(六)最小二乘配置法：導入未知參數的最小二乘配置法數學模式，以下式表示。

$$L = AX + S + n \quad (5)$$

式中：L表觀測量（轉換後坐標）；A表設計矩陣（轉換前坐標）；X表未知參數（轉換參數）；S表各觀測量的訊號（系統誤差）；n表各觀測量純粹由於偶然特性經平差計算後所產生的殘差（偶然誤差）。

而訊號和雜訊都是含有隨機特性的量（黃華尉，2003）。若將二者合併在一起估計即成為一個隨機量V。則(5)式變為間接觀測平差的觀測方程式：

$$L - V = AX \quad (6)$$

最小二乘配置法應用於坐標轉換，4參數轉換至少2個坐標轉換共同點，6參數轉換至少3個坐標轉換共同點，則可求出轉換參數。

三、資料蒐集與處理

(一)研究區域簡介：以桃園縣復興鄉山區之新設輸電線路為研究區，復興鄉為桃園縣唯一的山地鄉，地理位置如圖4（復興鄉公所入口網站，2011）。地籍範圍涵蓋桃園縣復興鄉高坡段（如圖5之紅色區域1）、羅浮段（如圖5之綠色區域2）及色霧閣段（如圖5之藍色區域3），黑色點線為輸電線路。

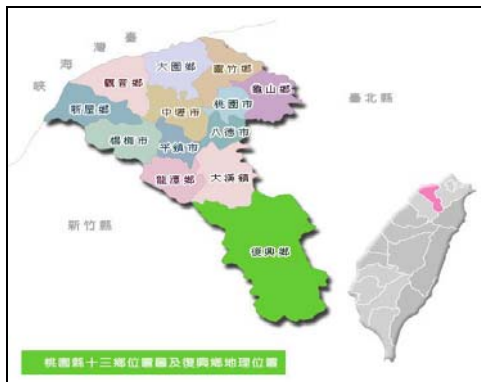


圖4. 復興鄉地理位置圖

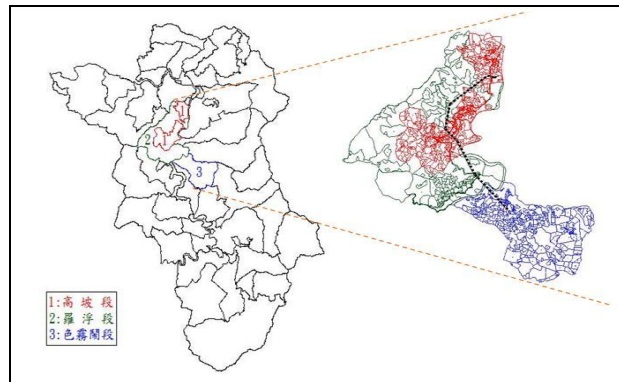


圖5. 復興鄉地段圖

(二) 檢測控制點及圖根點計算：採用研究範圍內各等級TWD97坐標控制點作為e-GPS坐標轉換所需檢測之控制點，經檢測合格後進行坐標轉換應用於圖根點計算。本研究選取檢測控制點（藍色點號）及鐵塔中心位置（黑色點號）分布情形如圖6。e-GPS布設圖根點以施測1座鐵塔布設3點圖根點且能互相通視，並採用經緯儀以光線法觀測鐵塔所有樁位或是鄰近之可靠界址點為原則。並以施測編號3號鐵塔位置作為採用e-GPS辦理圖根測量與傳統導線辦理圖根測量之比較，如表2。

表2. 不同模式辦理施測3號鐵塔位置所需之圖根測量比較

項目 \ 模式		e-GPS測量	導線測量
外業	作業人數(人)	2	4
	作業時間(分)	15	60
	圖根數量(點)	3	14
內業作業時間(分)		5	20
圖根點位精度		一致性	誤差累積性

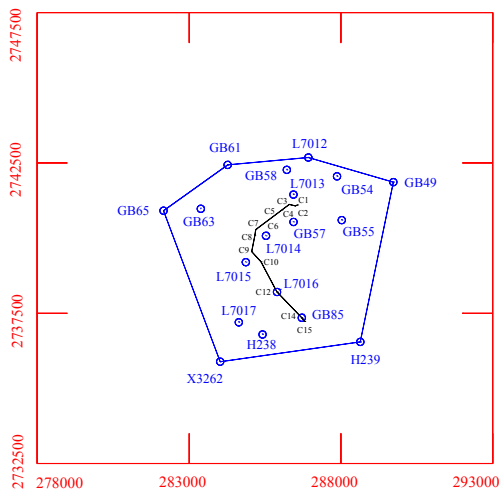


圖6. 檢測控制點及鐵塔分布圖

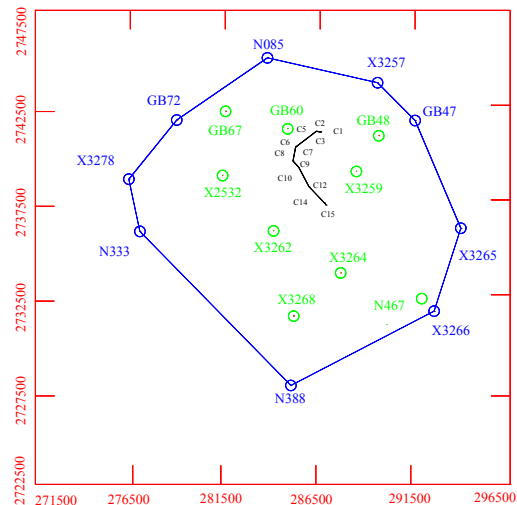


圖7. 圖廓計算控制點及鐵塔分布圖

(三) 地籍圖TWD97坐標圖廓計算：將計算之圖廓點與圖解數化地籍圖之圖廓點進行坐標轉換改正圖解地籍圖伸縮及變形。所需控制點選取以研究範圍內同時具有舊地籍坐標與TWD97坐標之各等級控制點。本研究選取控制點（藍色點號為坐標轉換共同點，綠色點號為坐標轉換檢核點）及鐵塔中心位置（黑色點號）分布情形如圖7。再以控制點檢核合格之坐標轉換模式及參數，於研究區內繪製16個地籍圖圖廓，與原始圖廓規格作比較，判別繪製圖廓的適用性。

(四) 鐵塔位置展繪至圖解數化地籍圖：圖解區每一地籍圖圖幅伸縮及變形量不相同且具有不規則的特性（董荔偉，2006），因此本研究以各圖幅作為區分，分別以計算之圖廓點與圖解數化地籍圖之圖廓點進行坐標轉換，將鐵塔位置展繪至圖解數化地籍圖之坐標，用於圖解區地籍圖的訂正。

四、成果與分析

(一) e-GPS坐標與TWD97坐標轉換

1、檢測控制點：檢測角度分布如圖8。檢測距離較差比值分布如圖9。結果顯示控制點角度較差值區間為-15至12秒，符合控制點檢測成果較差在±20秒以內之規範。控制點距離之較差比值區間為1/20,273至1/9,999,999，符合控制點檢測成果較差小於1/20,000之規範（內政部國土測繪中心，2009）。

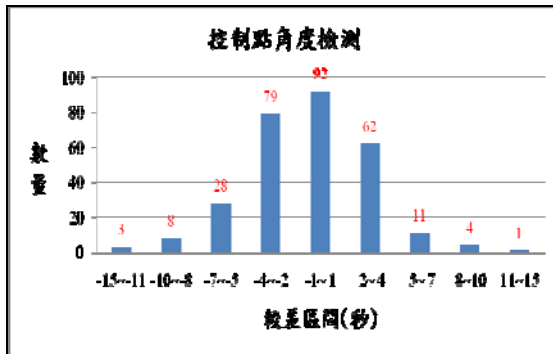


圖8. 控制點角度檢測較差

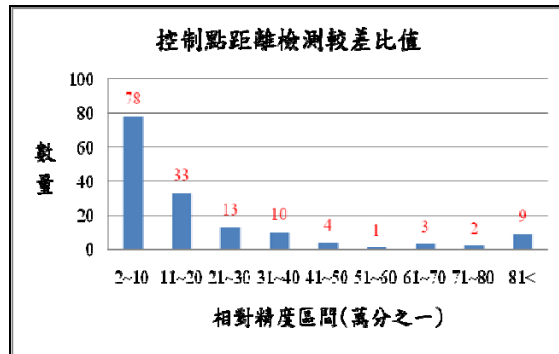


圖9. 控制點距離檢測較差比值

2、布設圖根點：e-GPS布設圖根點使用3參數轉換、4參數轉換最小二乘配置法、6參數轉換最小二乘配置法及倒傳遞類神經網路轉換之距離地測檢核成果如表3，顯示皆符合圖根測量觀測成果之相鄰點位直接距離觀測檢測較差應小於3公分之規範（內政部國土測繪中心，2009）。其中以6參數轉換最小二乘配置法轉換模式之地測檢核角度較差區間及地測檢核距離較差區間最小，其距離誤差量最大為-1.5公分。因此本研究於布設圖根點之e-GPS坐標與TWD97坐標轉換採用6參數轉換最小二乘配置法轉換模式，最佳轉換參數如表4。

表3. 不同坐標轉換模式布設圖根點之比較

項目 模式	地測檢核 角度較差（秒）	地測檢核 距離較差（公分）
3參數轉換	-24~40	-1.7~1.4
4參數轉換 最小二乘配置法	-34~33	-1.6~1.4
6參數轉換 最小二乘配置法	-25~25	-1.5~1.4
倒傳遞類神 經網路轉換	-29~40	-1.7~1.4

表4. e-GPS布設圖根點之轉換參數

$\begin{cases} Y_2 = aY_1 + bX_1 + c \\ X_2 = eY_1 + fX_1 + d \end{cases}$	
a= 1.00000500313	e= 0.00000627460
b=-0.00000111784	f= 0.99999347957
c= -0.04572661193	d=-0.01417090759

(二) 舊地籍坐標與TWD97坐標轉換

1、控制點轉換：由於舊地籍坐標之控制點及地籍圖受當時施測技術、儀器設備及比例尺過小等因素之影響，在精確度方面較低於TWD97坐標，因此本研究將舊地籍坐標之圖廓點視為與界址點精度相等。其共同點轉換成果如圖10。檢核點轉換成果如圖11。

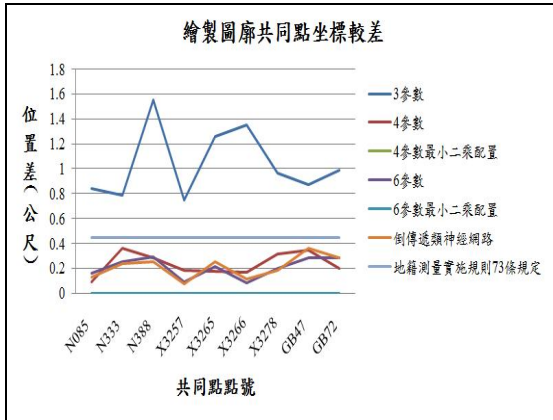


圖10. 繪製圖廓共同點坐標較差

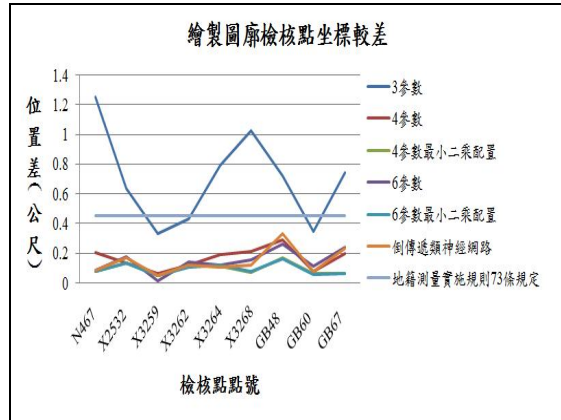


圖11. 繪製圖廓檢核點坐標較差

研究結果顯示，控制點使用3參數轉換後共同點位置差未符合「地籍測量實施規則第73條」規定（全國法規資料庫入口網站，2011），而使用4參數轉換、4參數轉換最小二乘配置法、6參數轉換、6參數轉換最小二乘配置法及倒傳遞類神經網路轉換後共同點及檢核點位置差皆符合規定。

2、繪製TWD97坐標圖廓：採用符合規定之坐標轉換模式於研究區內繪製16個地籍圖圖廓與原始圖廓規格作檢核及比較。研究結果顯示，繪製地籍圖圖廓與原始圖廓規格作檢核及比較如表5。所繪製之圖廓，其N較差及E較差皆符合「地籍測量實施規則第73條」（全國法規資料庫入口網站，2011）之規範。其中以4參數轉換模式繪製圖廓於各項目之較差量間較具有規則性及軸系間正交之特性，較符合原始測設圖廓規格，最佳轉換參數如表6。另外使用6參數轉換最小二乘配置法模式繪製圖廓於各項目之較差量間較具有不規則性及軸系間不正交之特性。

表5. 不同坐標轉換模式繪製TWD97坐標圖廓之比較

項目 模式	繪製圖廓 N 較差 (公尺)	繪製圖廓 E 較差 (公尺)	繪製圖廓 角度較差 (秒)
4 參數轉換	0.089~0.090	0.112~0.113	0
4 參數轉換 最小二乘配置法	0.074~0.077	0.092~0.098	1~5
6 參數轉換	0.097~0.098	0.104~0.105	4~5
6 參數轉換 最小二乘配置法	0.081~0.087	0.088~0.094	4~9
倒傳遞類神 經網路轉換	0.096~0.098	0.104~0.106	5~6

表6. 繪製TWD97坐標地籍圖圖廓之轉換參數

$\begin{cases} Y_2 = aY_1 + bX_1 + c \\ X_2 = -bY_1 + aX_1 + d \end{cases}$	
a= 1.00012151108	c=2670970.67173656449
b=-0.00234207163	d= 217995.77158313344

(三)TWD97坐標與圖解數化坐標轉換

本研究新設輸電線路地籍範圍涵蓋桃園縣復興鄉高坡段、羅浮段及色霧鬧段，地籍圖圖幅數量計10幅，圖幅位置分布如圖12。其中羅浮段地籍圖性質屬於TWD97坐標之數值區，可直接將實測鐵塔位置展繪至地籍圖；高坡段(圖幅編號1、4及7)及色霧鬧段(圖幅編號3)地籍圖性質屬於舊地籍坐標之圖解區並具有圖解數化坐標。由於圖解區地籍圖有伸縮及變形的情形，以研究區內數化地籍圖圖廓規格減去原始圖廓規格並比較其伸縮及變形量如表7，各圖幅N較差量介於-2.446至3.797公尺，各圖幅E較差量介於-1.863至1.987公尺，各圖幅角度較差量介於-813至277秒，顯示每一圖幅之伸縮及變形量不相同且具有不規則的特性，因此本研究以各圖幅作為區分，並分別進行坐標轉換。

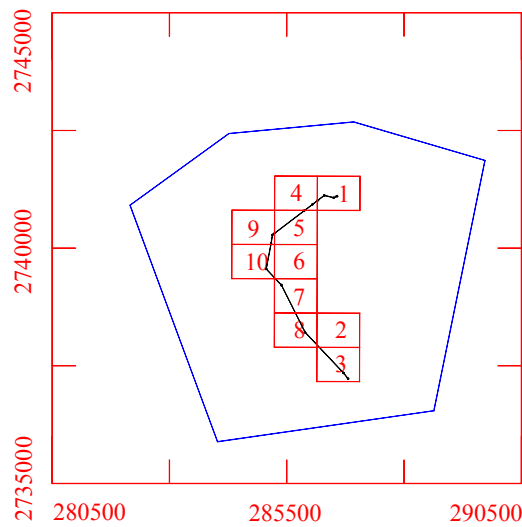


圖12. 圖幅位置分布圖

表7. 研究區地籍圖伸縮及變形量

圖幅編號	N較差(公尺)	E較差(公尺)	角度較差(秒)
1	3.797	-1.863	-813
3	2.250	1.987	81
4	-0.181	-0.900	277
7	-2.446	-1.568	-51

由於圖解地籍圖的伸縮及變形量具有不規則的特性，本研究以6參數轉換最小二乘配置法模式以繪製完成之圖廓點與圖解數化地籍圖之圖廓點進行坐標轉換，將鐵塔位置展繪至圖解數化地籍圖之坐標，用於圖解區地籍圖的訂正。

本研究中圖幅編號1、3、4及7幅，最佳轉換參數分別如表8、表9、表10及表11。經坐標轉換後，再以圖廓左下方之圖廓點為基準，以展繪鐵塔中心樁位置作比較，將圖解地籍圖伸縮及變形改正後位置減去改正前位置之較差，並比較鐵塔位之面積較差，如表12。研究結果顯示，地籍圖伸縮及變形所造成的位置較差為0.539公尺至2.240公尺，超過「地籍測量實施規則第73條」（全國法規資料庫入口網站，2011）之規定。面積較差為-1.35平方公尺至1.06平方公尺，符合「地籍測量實施規則第243條」（全國法規資料庫入口網站，2011）面積計算之規定。

表8. 圖幅編號1之轉換參數

$\begin{cases} Y_2 = aY_1 + bX_1 + c \\ X_2 = eY_1 + fX_1 + d \end{cases}$	
a= 1.00086620677	e= -0.00033384450
b= 0.00056076005	f= 0.99754871772
c= 1.52499999967	d= 0.12650000003

表9. 圖幅編號3之轉換參數

$\begin{cases} Y_2 = aY_1 + bX_1 + c \\ X_2 = eY_1 + fX_1 + d \end{cases}$	
a= 1.00110270624	e= -0.00052620768
b= 0.00084233042	f= 0.99926185706
c= -0.34324999992	d= 0.40850000000

表10. 圖幅編號4之轉換參數

$\begin{cases} Y_2 = aY_1 + bX_1 + c \\ X_2 = eY_1 + fX_1 + d \end{cases}$	
a= 0.99725313099	e= 0.00034520511
b= 0.00085861298	f= 0.99906757152
c= -0.26574993394	d= -0.43375007689

表11. 圖幅編號7之轉換參數

$\begin{cases} Y_2 = aY_1 + bX_1 + c \\ X_2 = eY_1 + fX_1 + d \end{cases}$	
a= 1.00319743488	e= -0.00122274074
b= 0.00018236599	f= 1.00139396765
c= -0.08249999990	d= 0.30850000000

表12. 鐵塔位置展繪前與展繪後之較差

鐵塔編號	1	2	3	4	5	11	14	15
中心樁位置差 (公尺)	2.240	2.024	1.774	1.111	0.539	1.804	1.065	1.186
鐵塔規劃面積 (平方公尺)	289	289	289	289	289	289	289	289
鐵塔面積較差 (平方公尺)	0.33	0.11	-0.50	-1.00	-0.11	1.06	-1.34	-1.35

五、結論

- (一)山區以e-GPS布設圖根點，經由3參數轉換、4參數轉換最小二乘配置法、6參數轉換最小二乘配置法及倒傳遞類神經網路等模式之坐標轉換後，以全測站經緯儀辦理圖根點地測檢核，結果顯示皆符合圖根測量觀測成果之採RTK觀測者其相鄰點位直接距離觀測檢核較差應小於3公分之規範。而6參數轉換最小二乘配置法之模式，其地測檢核距離較差區間較小，距離誤差量最大為1.5公分。
- (二)以同時具有舊地籍坐標及TWD97坐標之控制點經由3參數轉換、4參數轉換、4參數轉換最小二乘配置法、6參數轉換、6參數轉換最小二乘配置法及倒傳遞類神經網路等模式之坐標轉換後，並繪製地籍圖圖廓與原始地籍圖圖廓規格比較。結果顯示以4參數轉換後所繪製之地籍圖圖廓，其N較差區間、E較差區間及角度較差較小，並具有軸系正交之特性。
- (三)本研究採用以繪製圖廓之成果顯示較符合不規則特性的6參數轉換最小二乘配置法模式辦理TWD97坐標與數化坐標間之坐標轉換，用於圖解區地籍圖的訂正。
- (四)倒傳遞類神經網路應用於不同坐標之轉換，其成果符合地籍測量作業規範之精度要求。

參考文獻

- 內政部土地測量局，2005，圖解地籍圖數化計畫工作成果報告，第1-22頁。
- 內政部國土測繪中心，2009，地籍圖重測成果檢查作業須知，第4-21頁。
- 內政部國土測繪中心，2010，98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，第5-55頁。
- 翁享裕，2006，建物測量成果圖加值運用-以臺中市1/1000數值地形圖房屋圖層資料更新為例，臺中市政府自行研究報告，臺中，95年度。
- 黃華尉，2003，TWD97與TWD67二度TM坐標轉換之研究，成功大學測量工程研究所碩士論文，臺南，103頁。
- 葉怡成，1999，應用類神經網路，儒林圖書有限公司，第(2-1)-(3-66)頁。
- 董荔偉，2006，圖解數化地籍圖接合方法改進之研究，中興大學土木工程學系研究所碩士論文，臺中，85頁。
- <http://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?PCode=D0060053>，(全國法規資料庫入口網站)，前次查訪2011-05-05。
- <http://www.egps.nlsc.gov.tw/>，(內政部國土測繪中心e-GPS即時動態定位系統入口網站)，前次查訪2011-05-05。
- <http://www.fu-hsing.gov.tw/>，(復興鄉公所入口網站)，前次查訪2011-05-05。
- <http://www.nlsc.gov.tw/>，(內政部國土測繪中心入口網站)，前次查訪2011-05-05。