

e-GPS 方式應用於臺灣山區地籍測量作業之研究

e-GPS Methodology for Cadastral Surveying at Mountainous Areas in Taiwan

林偉祥¹ 陳松安² 王明志³ 曾耀賢⁴
Wei-Hsiang Lin¹ Sung-An Chen² Ming-Chih Wang³ Yao-Hsien Tseng⁴

摘要

山區辦理地籍測量作業常因原有圖根點滅失或數量不足、幅員廣大、可靠經界物不足及圖解區地籍圖伸縮與變形等因素影響，而降低測量成果的精確度。本研究採用：(1)電子化全球衛星即時動態定位系統 (e-GPS) 測設TWD97(Taiwan Datum 1997)坐標圖根點；(2)全區轉換參數將地籍圖標準圖廓坐標轉換得TWD97坐標圖廓點；(3)以各圖幅圖廓點之TWD97坐標與數化坐標之轉換參數，將鐵塔位置展繪於圖解區地籍圖，等坐標轉換步驟，達成以新的測量技術辦理圖解區地籍圖之土地復丈，並能兼顧處理地籍圖伸縮與變形影響量之目標。

本研究以臺灣桃園縣復興鄉山區之圖解區為研究區，獲得以下結論：(1)使用e-GPS測設圖根點並以6參數轉換最小二乘配置法成果較佳，其距離檢核精度可達1.5公分。(2)以4參數轉換繪製圖廓較符合原始圖廓規格。(3)以6參數轉換最小二乘配置法展繪鐵塔位置於圖解區地籍圖較符合其圖紙伸縮與變形的特性。

關鍵詞：地籍測量、圖解區、電子化全球衛星即時動態定位系統 (e-GPS)、坐標轉換

Keywords:Cadastral Surveying, Graphical Solution Areas, e-GPS Real-Time Kinematic Positioning System (e-GPS), Coordinate Transformation

¹內政部國土測繪中心 技士，23090@mail.nlsc.gov.tw

²國防大學理工學院環境資訊及工程學系 副教授

³臺北市立教育大學歷史與地理學系 助理教授

⁴內政部國土測繪中心 簡任技正

一、前言

地籍測量屬於平面測量之範圍。在臺灣地籍圖可區分為以數值方式辦理測量之數值區，其坐標系統包含有TWD67 (Taiwan Datum 1967)坐標及TWD97(Taiwan Datum 1997)坐標等系統；以圖解方式辦理測量之圖解區，其坐標系統包含有地籍坐標及TWD67坐標等系統。目前山區大部分為地籍坐標之圖解區，於現地作業常因天然災害的發生而造成地形及地貌的改變，致使舊有之圖根點位移或滅失；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治時期經緯掛繪而成之副圖，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如據以辦理測量，造成測量精確度降低。本研究係以位於圖解區之鐵塔座落土地辦理土地分割作業之實務需要，基於地處山區，早期圖根點多已滅失且可靠界址不足，研究採用e-GPS技術辦理圖根測量，採行e-GPS測量成果轉換為TWD97成果之方式與分析適用之參數模式。後續以TWD97坐標系統下的現況測量成果，利用坐標轉換方式來訂正地籍坐標系統的地籍圖，並利用地籍圖標準圖廓特性與坐標轉換程序，使圖紙伸縮因素之影響得以於訂正地籍圖時產生作用，讓訂正成果符合該地籍圖具有伸縮之特性。研究流程如圖1。

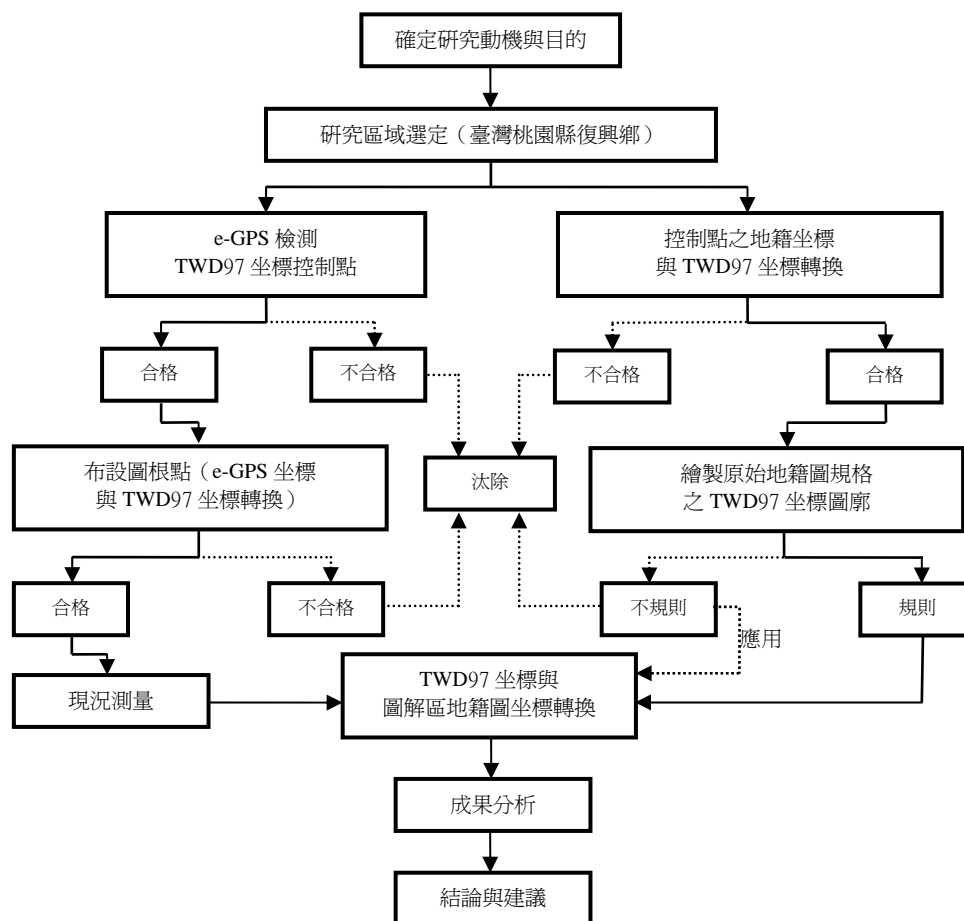


圖1 研究流程圖

其中：(一)e-GPS檢測TWD97坐標控制點位置差合格與否及(二)布設圖根點地測檢查合格與否的判定是參照「地籍圖重測成果檢查作業須知」規定。(三)由於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，因此本研究將地籍坐標之圖廓點視為與界址點精度相等。故控制點之地籍坐標與TWD97坐標轉換後位置差合格與否的判定是參照「地籍測量實施規則第73條」規定(最大誤差45公分)。(四)繪製原始地籍圖規格之TWD97坐標圖廓之規則性判定是以所繪製圖廓與原始測設圖廓規格(以圖幅左下方之圖廓點為基準，為N方向400間與E方向500間，夾角為90度，繪製成一長方形圖廓，經單位化算至公尺後圖廓規格約為N方向727.273公尺與E方向909.091公尺)相比較選擇：(1)採用何種轉換模式所繪製圖廓規格較相符。(2)所繪製圖廓規格之較差是否符合「地籍測量實施規則第73條」規定。

本研究中坐標轉換應用項目可分為：(一)e-GPS坐標與TWD97坐標轉換：使用e-GPS檢測涵蓋研究區內之TWD97坐標控制點，以本研究規劃之不同轉換模式計算求取該區最佳轉換模式及參數，用以布設TWD97坐標圖根點，解決原有圖根點多已滅失，無圖根點可用的問題，並可減少作業人力及時間。(二)地籍坐標與TWD97坐標轉換：選擇涵蓋研究區內之具有地籍坐標與TWD97坐標的控制點，以不同轉換模式研究分析該區域最佳轉換模式及參數，用以繪製原始地籍圖規格之TWD97坐標圖廓(即將地籍圖標準圖廓4個圖廓點以坐標轉換為TWD97坐標)，再以其圖廓點與圖解區地籍圖數化成果之圖廓點進行坐標轉換，解決地籍圖圖紙伸縮及變形之問題。由於圖解區每一地籍圖圖幅之伸縮及變形量不相同且具有不規則的特性，因此不規則性亦可應用於後續TWD97坐標與圖解區地籍圖坐標之轉換項目。(三)TWD97坐標與圖解區地籍圖之數化坐標轉換：以本研究規劃之最合適之轉換模式計算求取每一圖幅的轉換參數，將實測TWD97坐標現況測量成果展繪至圖解區地籍圖數化之成果，訂正地籍圖。

二、理論基礎

(一)e-GPS：為結合衛星定位、寬頻網路數據通訊、Mobile Phone行動數據傳輸、資料儲管及全球資訊網站(Web)等5項先進主流科技，並以分布全國連線運作之衛星定位基準站，建構區域性定位誤差之內插模式，劃分為10個VBS-RTK定位服務區(如圖2)，在臺灣本島、綠島、蘭嶼、澎湖、金門及馬祖地區任何地點只要衛星接收儀可同時接收5顆以上GPS衛星訊號，都可以全天候經由整合封包無線電服務技術GPRS(General Packet Radio Service)或其他無線上網方式，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)在短時間內獲得公分級精度等級的即時動態定位服務。

e-GPS坐標理應以內政部87年度公佈之TWD97坐標系統為基礎。惟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，以及控制點的精度亦有等級之分等原因，也因此造成各基準站間之坐標精度已不敷進行相關基線資料解算，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(JUNA)為固定站，並自行定義一套以時間為函數之e-GPS坐標系統，如表1，做為本系統進行即時動態定位之坐標基準。



圖 2 e-GPS 定位服務區範圍

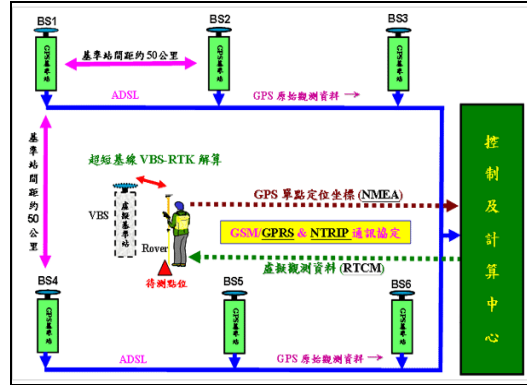


圖 3 VBS-RTK 定位系統示意圖

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(JUNA)	
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)地籍圖坐標可分為地籍坐標、TWD67坐標及TWD97坐標，其相關參數如表2。

表2 地籍圖坐標系統比較表

名稱 項目	地籍坐標	TWD67坐標	TWD97坐標
起始時間	日治時期	民國69年	民國87年
坐標原點	臺中公園 主三角點89號	南投埔里虎子山 一等三角點	ITRF推算之地心 及BIH定義之方位
投影方式	無	2° TM	2° TM
投影 坐標原點	無	中央子午線與赤道之交 點向西平移25萬公尺	中央子午線與赤道之交 點向西平移25萬公尺
坐標單位	間	公尺	公尺

(三)3參數轉換：含1個旋轉角及2個平移量，數學式如(1)。

$$\begin{cases} Y_2 = Y_1 \cos T + X_1 \sin T + Y_0 \\ X_2 = -Y_1 \sin T + X_1 \cos T + X_0 \end{cases} \quad (1)$$

(四)4參數轉換：含1個旋轉角、1個尺度量及2個平移量，數學式如(2)。

$$\begin{cases} Y_2 = (Y_1 \cos T + X_1 \sin T)S + Y_0 \\ X_2 = (-Y_1 \sin T + X_1 \cos T)S + X_0 \end{cases} \quad (2)$$

假設 $a = S \cos T$ ， $b = S \sin T$ ， $c = Y_0$ ， $d = X_0$ ，則(2)式可以(3)式表示：

$$\begin{cases} Y_2 = aY_1 + bX_1 + c \\ X_2 = -bY_1 + aX_1 + d \end{cases} \quad (3)$$

(五)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，數學式如(4)：

$$\begin{cases} Y_2 = S_y \cos(T + U)Y_1 + S_x \sin T X_1 + Y_0 \\ X_2 = -S_y \sin(T + U)Y_1 + S_x \cos T X_1 + X_0 \end{cases} \quad (4)$$

假設 $a = S_y \cos(T+U)$ ， $b = S_x \sin T$ ， $c = Y_0$ ， $e = -S_y \sin(T+U)$ ， $f = S_x \cos T$ ， $d = X_0$ ，則(4)式可以(5)式表示：

$$\begin{cases} Y_2 = aY_1 + bX_1 + c \\ X_2 = eY_1 + fX_1 + d \end{cases} \quad (5)$$

(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如(6)：

$$L = AX + S + n \quad (6)$$

而訊號(S)和雜訊(n)都是含有隨機特性的量。若將二者合併在一起估計即成爲一個隨機量V。則(6)式變爲間接觀測平差的觀測方程式，數學式如(7)：

$$L - V = AX \quad (7)$$

(七)前述式中： X_2 、 Y_2 表共同點轉換後坐標； X_1 、 Y_1 表共同點轉換前坐標；T表旋轉角； X_0 、 Y_0 表平移量；S表尺度參數；a、f表尺度量；b表旋轉量；c、d表平移量； S_x 、 S_y 表尺度參數；U表軸系不正交之偏角；e表軸系不正交量；L表轉換後坐標；A表轉換前坐標；X表轉換參數；S表系統誤差；n表偶然誤差。

三、資料蒐集與處理

(一)研究區域簡介：研究區域爲新設輸電線路「巴陵山線69仟伏輸電線路#1~#15鐵塔預爲分割作業」。該輸電線路坐落於臺灣桃園縣復興鄉山區，地理位置如圖4，地籍範圍如圖5，涵蓋復興鄉高坡段爲圖解區、羅浮段爲數值區及色霧帶段爲圖解區，其中黑色點線爲輸電線路，長度約5.5公里，地籍圖圖幅數量計10幅，面積約爲660公頃。

(二)檢測控制點及圖根點計算：採用研究範圍內各等級TWD97坐標控制點作爲與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，並採用經緯儀觀測鐵塔所有樁位或是鄰近之可靠經界物爲原則。並以施測編號3號鐵塔位置作爲採用e-GPS辦理圖根測量與傳統導線辦理圖根測量之比較，如表3。



圖 4 復興鄉地理位置圖

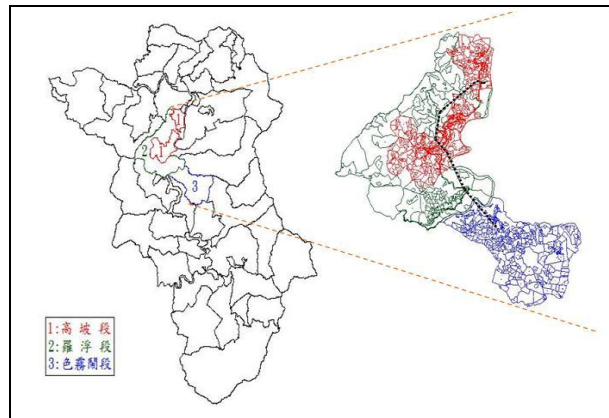


圖 5 復興鄉地段圖

表3 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	導線
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

(三)地籍圖TWD97坐標圖廓計算：為改正地籍圖伸縮及變形之影響，必需計算研究區內各圖幅標準圖廓點之TWD97坐標，每一圖幅各別再以此未伸縮變形之圖廓點與圖解區地籍圖數化成果之圖廓點(已伸縮變形)解算坐標轉換參數，作為將現況點(鐵塔位置)TWD97坐標轉換為地籍圖上地籍坐標之依據，以處理該幅地籍圖伸縮及變形之影響。解算標準圖廓TWD97坐標轉換參數，係應用涵蓋研究範圍同時具有地籍坐標與TWD97坐標之各等級控制點。本研究中使用之控制點(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。再以檢核點位置檢查合格(地籍測量實施規則第73條規定)之坐標轉換模式及參數，於研究區內繪製地籍圖TWD97坐標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，因此本研究以各圖幅作為區分，分別以計算之TWD97坐標圖廓點與圖解區地籍圖數化成果之圖廓點求解坐標轉換參數，將鐵塔位置展繪至圖解區地籍圖數化之成果，以訂正地籍圖。

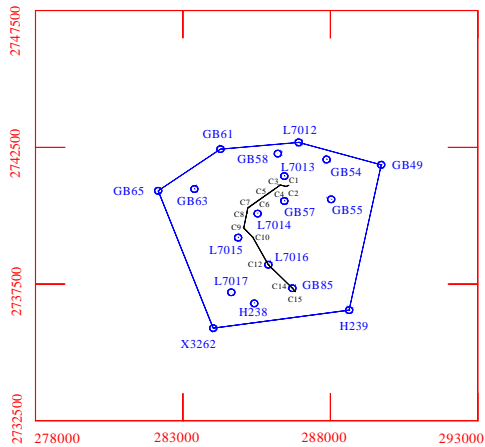


圖 6 檢測控制點及鐵塔分布圖

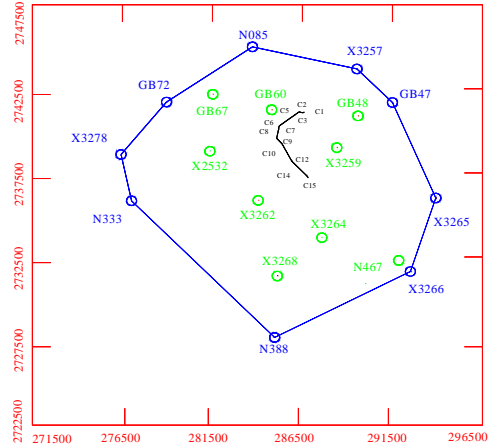


圖 7 圖廓計算控制點及鐵塔分布圖

四、成果與分析

(一) e-GPS坐標與TWD97坐標轉換

- 1、e-GPS檢測控制點：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秒以內之規定。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之規定。
- 2、e-GPS布設圖根點：研究結果如表4。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及6參數轉換最小二乘配置法之距離地測檢核成果，皆符合圖根測量觀測成果之相關點位直接距離觀測檢核較差應小於3公分之規定。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5。

表4 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

表5 e-GPS布設圖根點之轉換參數

a= 1.00000500313	e= 0.00000627460
b=-0.00000111784	f= 0.99999347957
c= -0.04572661193	d=-0.01417090759

(二)地籍坐標與TWD97坐標轉換

- 1、控制點轉換：由於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8。檢核點轉換成果如圖9。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規定，而使用4參數轉換、4參數轉換最小二乘配置法、6參數轉換及6參數轉換最小二乘配置法轉換後共同點及檢核點位置差皆符合規定。

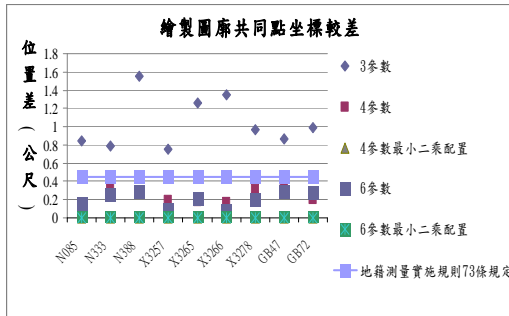


圖 8 繪製圖廓共同點坐標較差

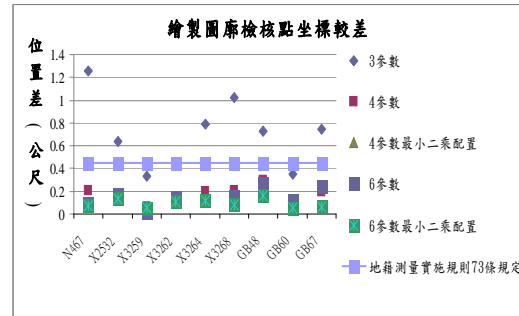


圖 9 繪製圖廓檢核點坐標較差

2、繪製圖廓：採用符合規定之4參數轉換、4參數轉換最小二乘配置法、6參數轉換及6參數轉換最小二乘配置法坐標轉換模式於研究區內繪製TWD97坐標地籍圖圖廓與原始圖廓規格作檢核及比較。研究結果顯示（如表6），其所繪製之圖廓，其N較差及E較差皆符合規範。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，因此適用於繪製原始地籍圖規格之TWD97坐標圖廓，最佳轉換參數如表7。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6 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

表7 繪製TWD97坐標地籍圖圖廓之轉換參數

a= 1.00012151108	c=2670970.67173656449
b=-0.00234207163	d= 217995.77158313344

(三)TWD97坐標與圖解區地籍圖之數化坐標轉換

本研究以巴陵山線69千伏新設輸電線路#1-#15鐵塔預為分割作業，其地籍範圍涵蓋臺灣

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10。其中羅浮段屬於TWD97坐標之數值區（圖幅編號2、5、6、8、9及10），地籍圖無伸縮及變形的情形，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）屬於地籍坐標之圖解區並具有數化成果坐標。由於圖解區地籍圖有伸縮及變形的情形，以研究區內地籍圖之數化圖廓規格減去原始圖廓規格並比較其伸縮及變形量如表8，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。

由於圖解區地籍圖的伸縮及變形量具有不規則的特性，本研究於繪製TWD97坐標圖廓之比較成果顯示，以6參數轉換最小二乘配置法之坐標轉換模式成果較符合不規則的特性，所以選用此模式。再以繪製完成之TWD97坐標之圖廓點與圖解區地籍圖數化成果之圖廓點解算得到之坐標轉換參數，將TWD97坐標之鐵塔位置展繪至圖解區地籍圖數化之成果，用於後續圖解區地籍圖的訂正。

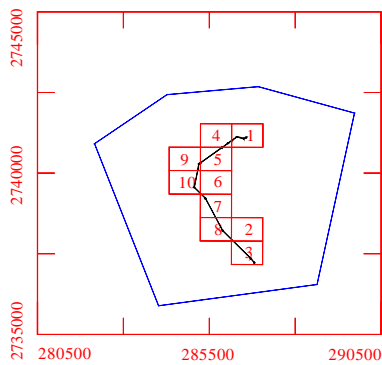


圖 10 圖幅位置分布圖

表 8 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

TWD97坐標與圖解區地籍圖數化成果坐標轉換後，再以圖幅左下方之圖廓點為基準，以展繪鐵塔中心樁之位置作比較，將圖解區地籍圖伸縮及變形改正後位置減去改正前位置之較差（如表9）。

表9 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

研究結果顯示，圖解區地籍圖圖紙伸縮及變形所造成鐵塔中心樁之位置較差為0.539公尺至2.240公尺，超過相關規定，因此圖解區之測量作業應辦理地籍圖圖紙伸縮及變形之改正。

五、結論與建議

- (一)本研究於山區以e-GPS布設圖根點，可解決舊有圖根點嚴重滅失無圖根點可用之問題，並減少作業人力及時間。測量成果以3參數轉換、4參數轉換最小二乘配置法及6參數轉換最小二乘配置法等坐標轉換模式轉換為TWD97坐標後，地測檢核結果均符合較差應小於3公分之規範，其中以6參數轉換最小二乘配置法之模式地測檢核距離較差區間較小，其距離誤差量最大僅1.5公分。
- (二)以同時具有地籍坐標及TWD97坐標之控制點經由坐標轉換後，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，處理各圖幅之TWD97坐標與地籍圖地籍坐標之坐標轉換，可以將地籍圖伸縮變形因素影響作用於測量成果轉換至圖解區地籍圖，據以較合理的訂正地籍圖。

參考文獻

- 1、<http://www.egps.nlsc.gov.tw/>
- 2、<http://www.fu-hsing.gov.tw/>
- 3、<http://www.nlsc.gov.tw/>
- 4、內政部土地測量局(2007)，打造地籍圖新風貌-圖解地籍圖數值化計畫20年工作紀實。
- 5、內政部國土測繪中心(2009)，地籍圖重測成果檢查作業須知。
- 6、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。
- 7、林文亮(2007)，e-GPS系統應用於圖根控制測量之探討-以臺中縣龍井鄉重測區為例，中興大學土木工程學系研究所碩士論文。
- 8、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。
- 9、陳文通(2006)，VRS-GPS網絡RTK技術及其應用，福建建設科技，第1期，第36-38頁。
- 10、梁煜誠(2006)，VRS-RTK應用於圖根點補建之坐標轉換區域研究-以大湖地區為例，中興大學土木工程學系研究所碩士論文。
- 11、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。
- 12、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。