

e-GPS 應用於高程測量之研究：以桃園市周遭為例

Implementation of e-GPS for Research on Height Measurement : A Case Study Around Taoyuan City

蘇英茂*

Ying-Mao Su*

陳松安**

Sung-An Chen**

李旭志***

Hsu-Chih Lee***

摘要

水準測量之高程雖然精度高，但觀測時需考量當下時間、氣候及實地狀況等因素較為費時費工。因此本研究運用電子化全球衛星即時動態定位系統(e-Global Positioning System, e-GPS)在桃園市周邊區域內具有公告正高之水準點及加密控制點上進行兩次測量，每點接收 3600 筆資料再區分為七個組別(180、600、1200、1800、2400、3000、3600 筆)求取橢球高，加上內政部公布之臺灣地區大地起伏模式來求取正高，並與水準點及加密控制點之公告正高相比較分析。

由兩次實驗成果得知各組橢球高標準偏差絕對值之平均值，於第一區介於 1.6 公分至 3.7 公分，第二區介於 1.5 公分至 3 公分，因此得知第一區之橢球高標準偏差絕對值之平均值高於第二區。兩次觀測各組正高較差之均方根誤差(Root of Mean Square, RMS)於第一區介於 3.7 公分至 5.9 公分，第二區介於 2.3 公分至 4 公分，e-GPS 水準測量成果其兩次觀測各組正高較差之 RMS 平均值第一區為 3.4 公分，第二區為 3.1 公分。跨區部分，第一區施測點至第二區各施測點 RMS 平均值為 4.5 公分，第二區施測點至第一區各施測點 RMS 平均值為 4.8 公分其成果均符合內政部國土測繪中心法院囑託地形測量之細部測量高程精度小於 10 公分、內政部營建署公共設施管線施工測量高程精度小於±20 公分的規定。

Abstract

Although high accuracy of elevation Leveling there would be time consuming while considering factors such as observation cost, weather uncertainty and field conditions. Therefore, this study planned to implement Electronical-Global Positioning System (e-GPS) for twice surveying operations on intensified control

* 國防大學理工學院環境資訊及工程學系碩士生/內政部國土測繪中心聘員

** 國防大學理工學院環境資訊及工程學系副教授

*** 內政部國土測繪中心課長

points and benchmarks with known orthometric heights in the study areas around Taoyuan city. On Each node we received 3600 documents files of data further divided into seven groups (i.e. 1800, 600, 1800, 2400, 3000, and 3600). We used geoid height announced by Ministry of Interior (MOI) in Taiwan area to calculate orthometric height in order for comparative analysis of those on benchmarks and intensified control points.

From the results of surveying experiments we derived mean values of ellipsoidal heights in each group ranged from 1.6 to 3.7 cm in the Area 1 and in the Area 2 from 1.5 to 3 cm. Therefore, we could see that the mean values in the Area 1 are higher than those in the Area 2. Root of Mean Square (RMS) values derived from both orthometric heights (i.e. calculated and announced ones) are ranged from 3.7 to 5.9 cm in the Area 1 and from 2.3 to 4 cm in the Area 2. The RMS averaged results of orthometric heights differences from e-GPS leveling surveys of two observations are 3.4 cm in Area 1 and 3.1 cm in Area 2. In cross-section areas RMS mean value of measuring points from the Area 1 to the Area 2 is 4.5 cm and 4.8 cm from the Area 2 to the Area 1. Both of the results are fit to height accuracy requirements ($< 10\text{cm}$) of detailed topographic surveying specified by National Land Surveying and Mapping Center and the requirements ($< \pm 20\text{cm}$) by Construction and Planning Agency, Ministry of Interior for public facilities (e.g. pipelines) constructions.

關鍵詞	Keywords
水準測量	Leveling
電子化全球衛星即時動態定位系統	Electronical-Global Positioning System(e-GPS)
大地起伏	Geoid Height
正高	Orthometric Height

一、前言

國家推展的重大經濟建設工程，舉凡地層下陷之監測、地下水位之監控、隧道開挖、河川整治、山坡地之開發管制、捷運系統、高速公路、高速鐵路、橋樑、水庫之興建與維護等交通、經濟工程建設。國家科學之研究、天然資源之探勘及開採、人造衛星之發射及軌道計算、地球科學之研究及應用等均有賴精確之高程控制點系統，故高程資料之需求日益殷切。良好的高程控制點系統，除可促進國家各項工程建設發展外，亦可有效提升國家整體競爭力【1】。

水準測量為直接測定高程差，是一種普遍用來測量點位高程或點位間高程差的測量方法，為避免測量誤差及增加成果精度，施測時，水準點間之各測段均作往返測量，且按先往測再返測順序進行並檢查觀測量及各測段之往測與返測的差值。水準測量之高程精度高，但觀測時需考量當下時間、氣候、實地狀況等因素，故較為費時費工。三角高程測量為間接測定高程差之方法，其根據測得之距離及

縱角計算高程差，若距離較長時，受地球曲率及大氣折光之影響，須加以改正且其高程精度較差。電子化全球衛星即時動態定位系統(e-Global Positioning System, e-GPS)測量方式，可單人單機作業且不受氣候之影響，無需通視且定位速度快，可增加產能，大幅降低作業成本，所有使用者皆在同一框架下進行即時定位，可提供全面性的定位成果品質監控，快速獲得點位高程，增加作業效益。因此；本研究嘗試在研究區採用 e-GPS 觀測，比較分析觀測時間長短及不同研究區對求取正高之精度為何，可作為未來使用 e-GPS 觀測作業時間及作業精度的參考。若其精度能符合一般的測繪或工程應用上之需求，將可供相關單位參考，藉以逐步取代傳統高程測量方式，達到高程現代化作業方式。

二、理論基礎

(一) 臺灣高程系統與高程基準

臺灣高程系統及高程基準之定義：臺灣水準點之高程系統採用正高。高程基準係定義在1990年1月1日之標準大氣環境下，採用基隆潮位站1957年至1991年之潮位資料化算而得之平均海水面，並命名為2001臺灣高程基準(TaiWan Vertical Datum 2001, TWVD2001)【1】。

臺灣水準原點之建立：內政部於民國 90 年新設臺灣水準原點，作為高程控制系統之基準，並據以辦理一等水準測量工作，以為所有水準點之起源；採雙水準原點設計，一為主點（點號：K999），屬地下點位，一為副點（點號：K998），屬地面點位，均位於基隆市海門公園內，水準原點之高程系統採用 TWVD2001 所定義之高程系統【1】。內政部為配合交通部基隆港務局辦理「東岸聯外道路新建工程（北段標）」於民國 103 年將此臺灣水準原點遷移至基隆市國立海洋科技博物館對面的公園綠地，採雙水準原點設計，一為主點（點號：K997），屬地下點位，一為副點（點號：K996），屬地面點位。將可作為測量各地海拔高度的基準，並永久保存【2】。

臺灣一等水準網共規劃2,065個新設一等水準點，其中民國88及89年度先行辦理臺灣環島路線一等一級水準網，計1,010個一等水準點測量工作（水準路線總長度約2,020公里），民國90及91年度辦理一等二級水準網，計1,055個一等水準點測量工作（水準路線總長度約2,110公里）。為維持高程控制系統之完整，確保其精度，內政部自民國92年開始執行「國家基本測量發展計畫」，由國土測繪中心於民國95年8月至97年9月辦理完成全島一等水準網檢測工作，計完成2,439點之水準測量工作，施測水準路線全長約4,287公里【1】。

(二) e-GPS系統

e-GPS系統為內政部國土測繪中心所建構之高精度電子化全球衛星即時動態定位系統。其保留架構於網際網路通訊及無線數據傳輸技術之GPS即時動態定位系統，字母“e”係具有「電子化」及「網路化」之含意。由於網際網路及無線數據通訊傳輸技術蓬勃發展，GPS即時動態定位已成為國際測繪科技與定位技術之主流，特別是結合衛星定位、寬頻網路數據通訊、Mobile Phone行動式數據傳輸、資料儲管及全球資訊網站(Web)等5項先進主流科技之核心定位技術-虛擬基

準站 (Virtual Base Station, VBS) 為基礎之網路化即時動態定位 (Network RTK) 技術，如圖 1。透過建置於全國各地之衛星定位基準站每天 24 小時每秒之即時傳輸連續性衛星觀測資料，經由控制及計算中心對於各基準站衛星觀測資料之整合計算處理後，目前在臺灣本島（含綠島、蘭嶼）及澎湖、金門、馬祖地區，只要可同時接收 5 顆 GPS 衛星訊號的地方，都可以利用整合封包無線電服務技術 (General Packet Radio Service, GPRS) 等無線上網的方式，在極短的時間內，獲得高精度之坐標定位成果【3】。

由於網際網路及無線數據通訊傳輸技術發展迅速，加上 GPS 衛星定位測量方法及成果資料之計算已由後處理演變為具有操作簡便、施測快速及可達公分級精度等優點之即時性定位技術，但此技術受限於定位系統誤差及無線電通訊距離與干擾等影響，使得即時性定位技術之移動站與基準站間的距離，僅限於數公里範圍才能獲得公分級精度。因此內政部國土測繪中心為提供多目標定位服務與加值應用及減少主站布設密度，規劃透過網際網路高速及寬頻之數據傳輸技術，於民國 96 年度完成建置 e-GPS 系統，就其連續定位觀測資料，建構區域性定位誤差之內插模式，並配合虛擬基準站即時動態定位技術 (VBS-RTK)，以獲得高精度的定位成果【4，5】。

目前透過全國各地所建置連線運作之衛星定位基準站，每天 24 小時，每秒連續接收 GPS 衛星觀測資料，即時傳回控制及計算中心進行資料自動化處理，並配合內政部國土測繪中心三等控制點補建、新建及管理維護年度施政計畫，以縣市為單位，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 GPS 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 GPRS 或其他無線上網方式，在短時間內，依使用者需求，獲得公分級精度等級的即時動態定位服務【3】。

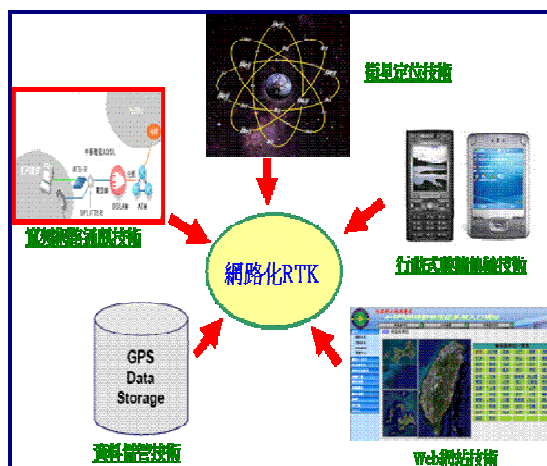


圖 1 e-GPS 基本架構

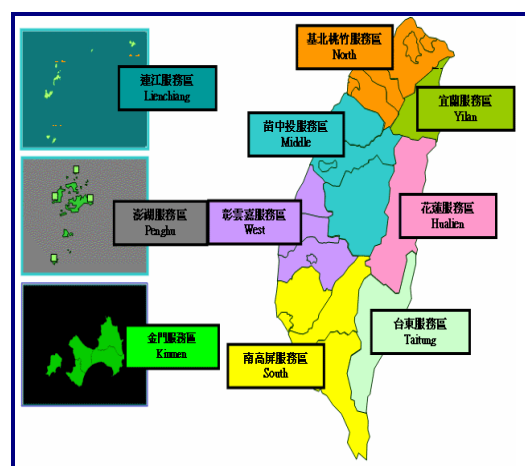


圖 2 e-GPS 定位服務區範圍圖

(三) e-GPS 水準測量

大地水準面是一個不規則的曲面，不能用數學公式表述，因而需要尋找一個理想的幾何體代表地球的形狀和大小；經由大地測量的研究發現，具有對稱性規

則形狀的橢球體非常接近地球形狀，且非常接近大地體，而且可以用嚴密的數學公式來表達此橢球面，該橢球稱為參考橢球體，它是一個橢圓繞其短軸旋轉而形成的形體，故又稱旋轉橢球體；參考橢球體表面，是球面坐標系基準面，稱為參考橢球面【6】。正高以大地水準面作為基準面（高程起算面），垂直於大地水準面之直線稱為垂線。地表上任何一點位之正高即是地面點沿其垂線至大地水準面之距離。橢球高以橢球面為基準面，垂直於橢球面之直線稱為法線。橢球高即是由地面點沿其法線至橢球面的距離。大地起伏為大地水準面至橢球面之距離，其具有連結正高與橢球高之物理意義，如圖3。三者之關係可由式(1)表示：

$$H = h - N \quad (1)$$

式中；

H ：正高，

h ：橢球高，

N ：大地起伏。

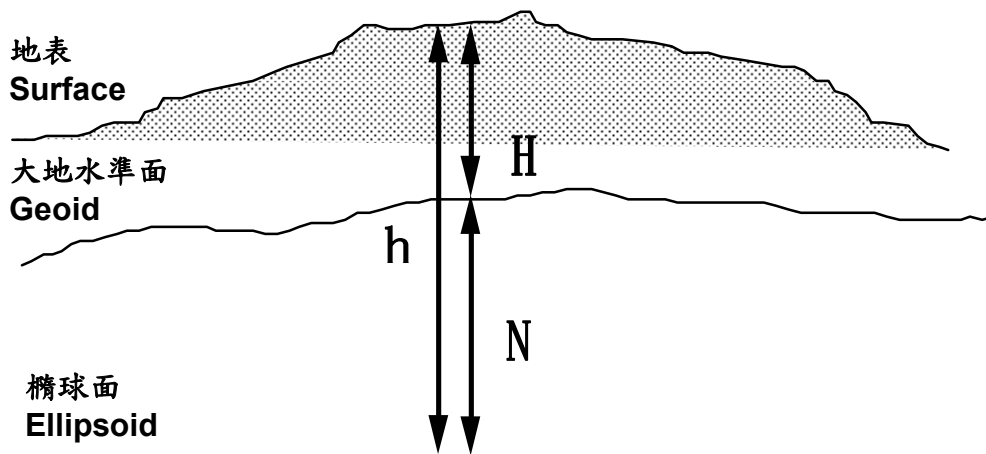


圖3 正高、橢球高及大地起伏之關係示意圖

GPS水準測量之示意圖，如圖4，其透過GPS測量起點A及迄點B之橢球高，若起點A之正高 H_A 已知，且加上高程基準間的關係，吾人可求得迄點B正高 H_B ，其公式如式(2)【7，8】：

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} = H_A + (h_B - N_B) - (h_A - N_A) \quad (2)$$

式中；

H_A 、 H_B ：分別表起點A及迄點B之正高，

h_A 、 h_B ：分別表起點A及迄點B之橢球高，

N_A 、 N_B ：分別表起點A及迄點B之大地起伏。

本研究以e-GPS測量取代上述之GPS測量，故本文簡稱為e-GPS水準測量。

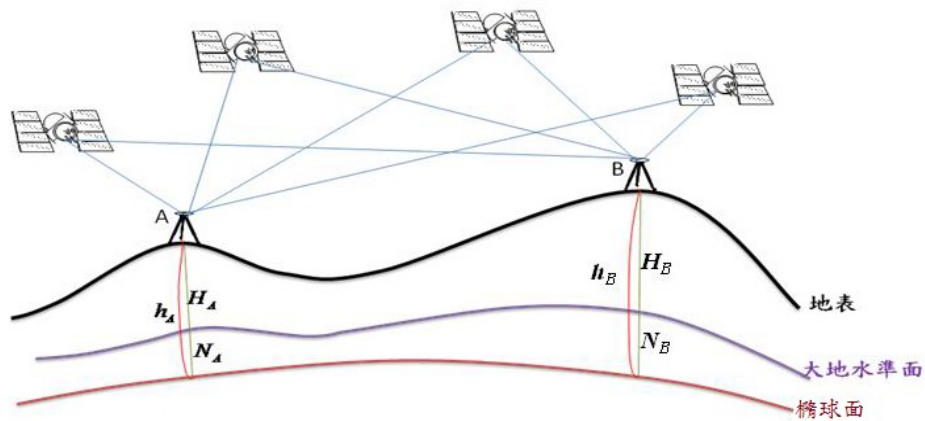


圖 4 GPS 水準測量示意圖【7】

(四) 異常值剔除及精度評估方式

測量作業中常用以評估觀測量可靠度(Reliability)的指標就是觀測量的信賴區間(Confidence Interval)，或稱為不確定性(Uncertainty)。在常態分配的觀測量中，其不確定性與觀測量標準偏差(Standard Deviation)有關。故測量作業在實務上以3倍，作為誤差的極限值，也就是容許誤差【9】。本研究將依常態分布99.7%信心區間進行粗差偵錯，將殘差大於3倍標準偏差之觀測量剔除，期能提昇精度，標準偏差公式，如式(3)。

$$\text{標準偏差} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

式中；

X_i ：觀測值，

\bar{X} ：所有 X_i 的平均值，

n ：觀測數。

均方根對數值離散的程度有一種加權的效果，透過均方根可以看出數量分佈的情形，這對於在各種領域上許多需要統計分析的數據是相當重要的一個指標。因此本研究 e-GPS 所得之正高值減去施測點之公告正高值得正高較差，選用均方根誤差作為精度評鑑指標，如式(4)【10】，

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (T_j - Y_j)^2}{n}} \quad (4)$$

式中；

T_j ：第 j 個施測點之正高值，

Y_j ：第 j 個施測點之正高公告值，

n ：施測點數目。

三、研究方法與流程

本研究採用 e-GPS 在具有公告正高之施測點（水準點及加密控制點）上進行測量，每點觀測接收 3600 筆，每筆觀測時間為一秒，再區分為七個組別（組別 1、2、3、4、5、6、7 分別表 180、600、1200、1800、2400、3000、3600 筆），配合內政部公布之臺灣地區大地起伏模式及 EGM2008 (Earth Gravitational Model 2008) 大地起伏模式分別求取正高，將其與施測點之公告正高進行比較分析。研究流程如圖 5。

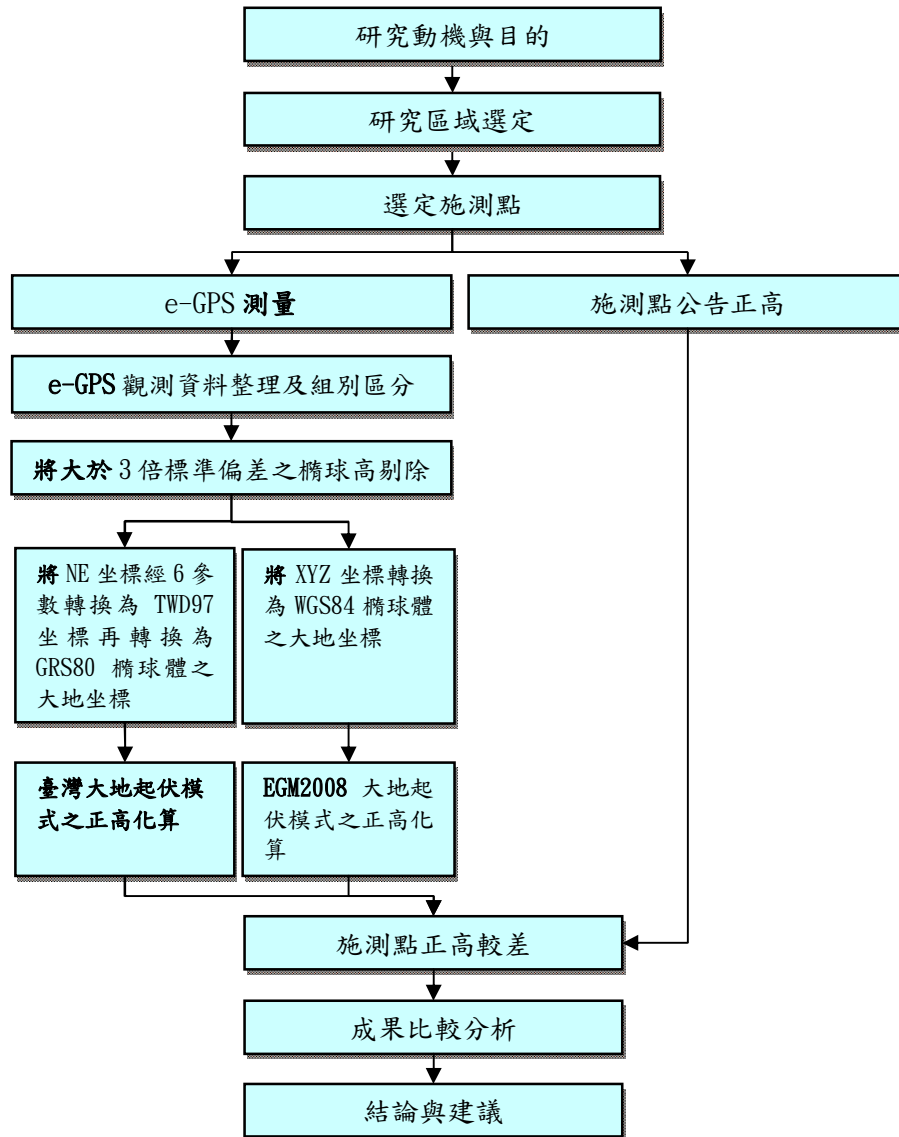


圖 5 研究流程圖

四、資料蒐集處理與成果分析

(一) 研究區域簡介

本研究區域為桃園縣境內，涉及桃園市、八德市、蘆竹鄉、龜山鄉等。此區域為民國 101 年桃園縣政府辦理之都市計畫區一千分之一 GIS 數值地形圖測製第二期計畫之部分區域，此區域內含一等水準點及加密控制點【11】。為了獲取不同區域的資料來作分析比較，因此將研究區域再分為二區，第一區涉及龜山鄉（平均正高約 153 公尺），第二區涉及桃園市、八德市、蘆竹鄉等（平均正高約 92 公尺），研究區之施測點，其範圍涵蓋東西長約為 13.5 公里，南北寬約為 6.5 公里，如圖 6，其中；●表加密控制點，■表一等水準點。

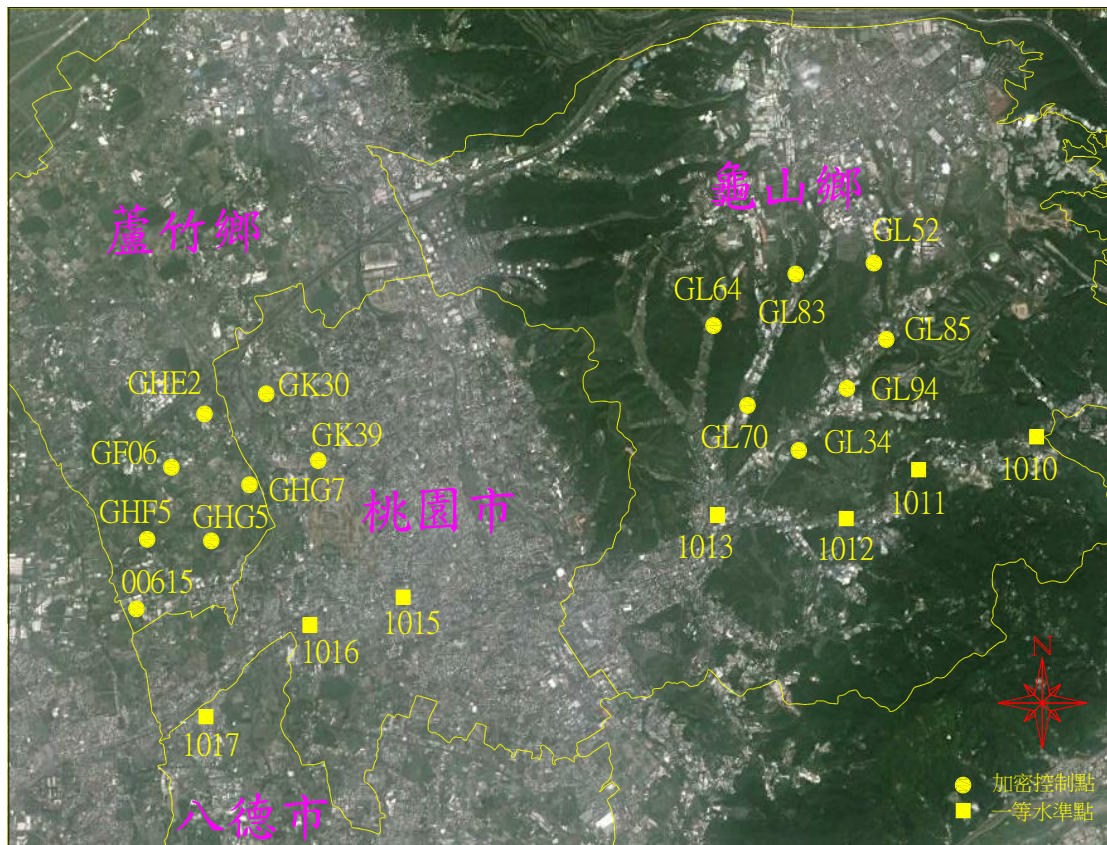


圖6 研究區域示意圖

(二) 臺灣地區大地起伏模型

臺灣地區大地起伏模型為內政部所公布之大地起伏模型，其資料空間解析度為 $30'' \times 30''$ （約 900 公尺 \times 900 公尺）。內政部地政司衛星測量中心網頁 (<http://www.gps.moi.gov.tw/SSCenter/Introduce/InfoPage.aspx>) 提供程式申請，申請者只要在該線上平台填寫申請表經審查通過便提供程式給申請者使用。使用此程式只要將大地經緯度依欄位輸入建立文字檔後執行程式，即可產生一個包含大地經緯度及大地起伏值之輸出文字檔，此模式於文中將簡稱為「內政部模式」。

(三) EGM2008 大地起伏模型

EGM2008 為美國國家地理空間情報局 (U.S. National Geospatial-Intelligence Agency, NGA) 所發布地球重力場模型，該模型達 2159 階 (degree) 及 2159 次 (order) 加上額外係數可擴展至 2190 階及 2159 次，其空間解析度為 $5' \times 5'$ ($\frac{\pi}{2190}$ 約 9000 公尺 \times 9000 公尺)。EGM2008 計算大地起伏是基於 WGS84 橢球體而得，其網頁 (<http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/index.html>) 提供程式下載，使用者只要將大地經緯度依欄位輸入於文字檔內執行程式，即可獲得包含大地經緯度及大地起伏值之輸出文字檔【12】。

(三) e-GPS 外業

選擇研究區域內分布均勻且具有 TWD97 2°TM 坐標及具有正高數據的一等水準點及加密控制點作為本研究之施測點位。蒐集各施測點之公告坐標、正高及點之記等相關資料。其中一等水準點成果為內政部國土測繪中心於民國 98 年公

告之成果，加密控制點為「101 桃園縣都市計畫區一千分之一 GIS 數值地形圖測製第二期計畫」之公告成果【11】。

e-GPS外業採用LEICA ATX1230衛星接收儀，其可接收GPS、GLONASS及GPS L2C訊號，並支援未來GPS L5訊號及Galileo訊號等，接收頻道數達72頻道。定位精度於靜態測量時，平面為 $5\text{mm}\pm 0.5\text{ppm}$ (Parts Per Million)，高程為 $10\text{mm}\pm 0.5\text{ppm}$ ；於動態測量時，平面為 $10\text{mm}\pm 1\text{ppm}$ ，高程為 $20\text{mm}\pm 1\text{ppm}$ 。L1/L2載波觀測量精度為 $\pm 0.2\text{mm}$ ，電碼觀測量精度為 $\pm 20\text{mm}$ 【13】。本研究區域座落於e-GPS基北桃竹服務區，外業搭配中華電信GPRS作為通訊傳輸介面，現場依作業手冊【14】採用鋁製或木製三腳架搭配基座進行觀測，架設接收儀時須確實定心、定平，並採3個不同方向重複量測天線高，再取其平均值，衛星資料接收仰角設定15度，平面定位精度設定為2公分（含）以下，高程定位精度設定為5公分（含）以下，觀測資料設定須含5顆（含）以上衛星觀測資料，PDOP(Position Dilution of Precision)值設定小於5。本研究施測時，設定每秒接收1筆資料但不一定每秒皆能收到資料，故每施測點設定接收3600筆觀測資料。

(四)觀測資料處理

本研究為考慮不同時間之觀測資料分析成果，故在研究區域內實施兩次外業觀測。第一次觀測於民國102年7月中旬至9月初，如表1，第二次觀測於民國102年11月下旬至12月初，如表2。

表1 第一次觀測時間表

觀測日期	天氣	施測點點號			
102年7月15日	晴	GL70			
102年7月17日	晴	GL34			
102年7月23日	晴	GHG5	GF06		
102年7月24日	晴	GK39	GHE2	1016	
102年7月25日	陰	1013	1011		
102年7月26日	晴	GHF5	1017		
102年7月30日	陰	1010	1012	GL52	GL85
102年7月31日	晴	1015			
102年8月8日	晴	00615			
102年8月12日	晴	GHG7	GK30		
102年9月6日	晴	GL94	GL83	GL64	

表 2 第二次觀測時間表

觀測日期	天氣	施測點點號			
102年11月21日	晴	GK30	GK39	GHG7	
102年11月22日	晴	GHG5	GF06	GHF5	
102年11月23日	晴	00615	1017	GHE2	
102年11月25日	陰	1010	1011		
102年11月29日	晴	1012	GL83		
102年11月30日	晴	GL94	GL85	GL70	GL34
102年12月1日	晴	1013	GL64	GL52	1016
102年12月2日	晴	1015			

施測點之分布如圖 7，其中第一區施測點（紅色）包含一等水準點 4 點（點號分別為 1010、1011、1012、1013）及加密控制點 7 點（點號分別為 GL34、GL70、GL94、GL52、GL64、GL83、GL85）合計 11 點。第二區施測點（藍色）包含一等水準點 3 點（點號分別為 1015、1016、1017）及加密控制點 8 點（點號分別為 GF06、GHF5、GHG5、GK30、GK39、GHE2、GHG7、00615）合計 11 點

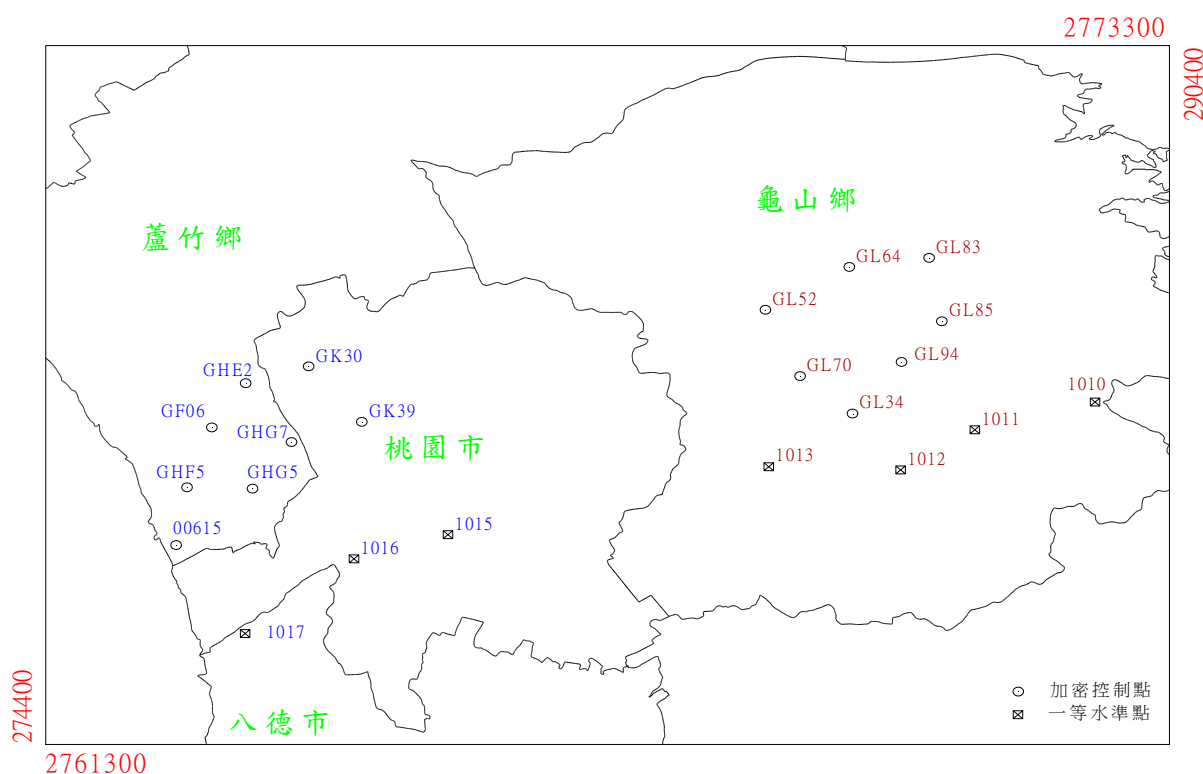


圖 7 施測點點位分布圖

每一施測點觀測接收 3600 筆資料，依筆數區分為七個組別（組別 1、2、3、4、5、6、7 分別表 180、600、1200、1800、2400、3000、3600 筆），先將殘差大於 3 倍標準偏差之橢球高(h)剔除，再將各點位每觀測時間觀測之坐標及橢球高

分別取其平均值，即代表各點位之不同組別坐標及橢球高，經統計分析各組橢球高異常值剔除率如表 3、表 4、表 5 及表 6。

表 3 第一次觀測第一區各組橢球高異常值剔除率（單位：%）

點號 組別	1010	1011	1012	1013	GL34	GL70	GL94	GL52	GL64	GL83	GL85
1	0.00	0.56	0.56	0.00	0.00	0.00	0.56	7.20	2.22	5.56	3.88
2	0.17	0.17	0.16	0.83	1.00	0.00	1.00	1.00	0.83	4.67	0.83
3	0.00	3.33	0.00	0.42	1.58	0.08	0.50	0.25	0.58	5.50	1.17
4	0.83	1.00	0.00	0.11	1.11	0.06	0.67	0.61	0.22	5.00	1.39
5	0.38	1.29	0.00	0.17	0.83	0.33	0.75	0.71	0.33	3.58	2.33
6	0.37	1.10	0.10	0.07	0.30	0.30	0.67	4.57	5.20	3.00	3.43
7	5.72	0.88	0.47	0.83	0.28	0.28	0.81	3.38	2.56	2.64	0.47

表 4 第一次觀測第二區各組橢球高異常值剔除率（單位：%）

點號 組別	1015	1016	1017	GF06	GHF5	GHG5	GK30	GK39	GHE2	GHG7	00615
1	4.44	0.00	1.11	2.22	2.78	1.67	1.11	1.67	2.22	0.00	1.11
2	6.67	4.00	1.00	0.83	2.17	0.83	0.67	0.67	5.17	1.17	0.83
3	5.58	0.00	0.50	0.83	0.50	0.83	0.42	1.67	2.92	1.17	1.00
4	2.61	0.00	0.67	0.67	0.56	0.56	1.78	0.06	2.67	1.17	1.06
5	2.63	0.00	0.67	0.75	0.50	0.75	1.25	0.13	2.21	0.92	1.29
6	1.47	0.00	0.63	1.10	0.40	1.00	1.43	0.30	1.33	1.13	1.07
7	1.25	5.11	0.75	1.58	0.25	1.42	1.14	0.36	1.00	1.03	1.14

表 5 第二次觀測第一區各組橢球高異常值剔除率（單位：%）

點號 組別	1010	1011	1012	1013	GL34	GL70	GL94	GL52	GL64	GL83	GL85
1	0.56	1.67	1.67	0.00	0.00	3.33	3.33	2.22	1.11	2.22	0.00
2	0.00	0.00	0.83	0.00	1.83	0.67	0.00	2.33	1.67	1.50	3.83
3	0.25	0.00	0.58	0.00	1.75	0.83	0.08	1.50	0.00	1.33	2.58
4	0.11	0.11	10.61	0.00	3.00	0.61	0.00	1.11	0.06	2.11	0.44
5	0.83	0.33	0.71	0.04	3.58	3.88	0.00	1.21	0.04	3.96	0.25
6	0.40	0.93	0.30	2.40	3.67	5.07	0.07	1.00	0.03	3.73	0.37
7	1.08	1.25	0.28	2.00	11.86	5.64	0.14	0.75	0.06	3.00	0.36

表 6 第二次觀測第二區各組橢球高異常值剔除率 (單位: %)

點號 組別	1015	1016	1017	GF06	GHF5	GHG5	GK30	GK39	GHE2	GHG7	00615
1	2.78	0.56	1.67	0.56	1.11	0.56	3.33	0.00	2.22	1.11	0.00
2	0.83	0.00	0.50	0.50	0.00	0.50	1.00	1.33	1.00	0.83	1.00
3	0.25	0.00	0.92	0.75	0.00	1.75	2.83	0.58	0.50	2.08	1.83
4	0.22	0.00	1.22	1.33	0.00	1.56	2.89	2.28	6.78	1.72	1.94
5	1.50	0.04	1.21	2.04	0.00	1.83	3.83	2.25	5.75	1.75	2.46
6	1.50	0.60	1.13	1.87	0.97	1.53	4.70	0.90	5.13	1.60	2.50
7	1.56	0.00	0.78	2.17	0.94	1.92	5.00	0.83	4.86	1.58	2.75

由表3至表6可知第一次觀測各組橢球高異常值第一區平均剔除率約為1.35%，第二區平均剔除率約為1.37%，第二次觀測各組橢球高異常值第一區平均剔除率約為1.49%，第二區平均剔除率約為1.56%，兩次觀測之平均剔除率第一區約為1.42%，第二區約為1.46%，第一區平均剔除率略低於第二區。其中第二次觀測第一區施測點1012第4組及施測點GL34第7組其橢球高異常值剔除率較大，由其橢球高異常值剔除前後標準偏差比較圖，如圖8及圖9，可得知其異常值剔除前後之差異比其他施測點大。

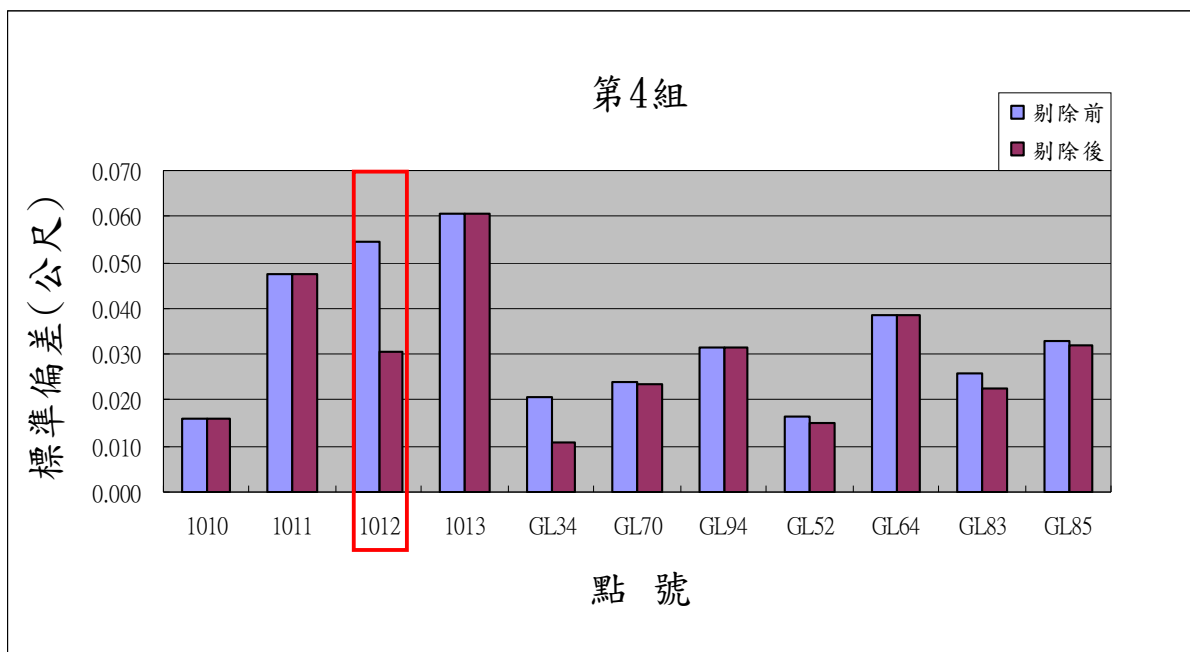


圖8 第二次觀測第一區第4組橢球高異常值剔除前後標準偏差比較圖

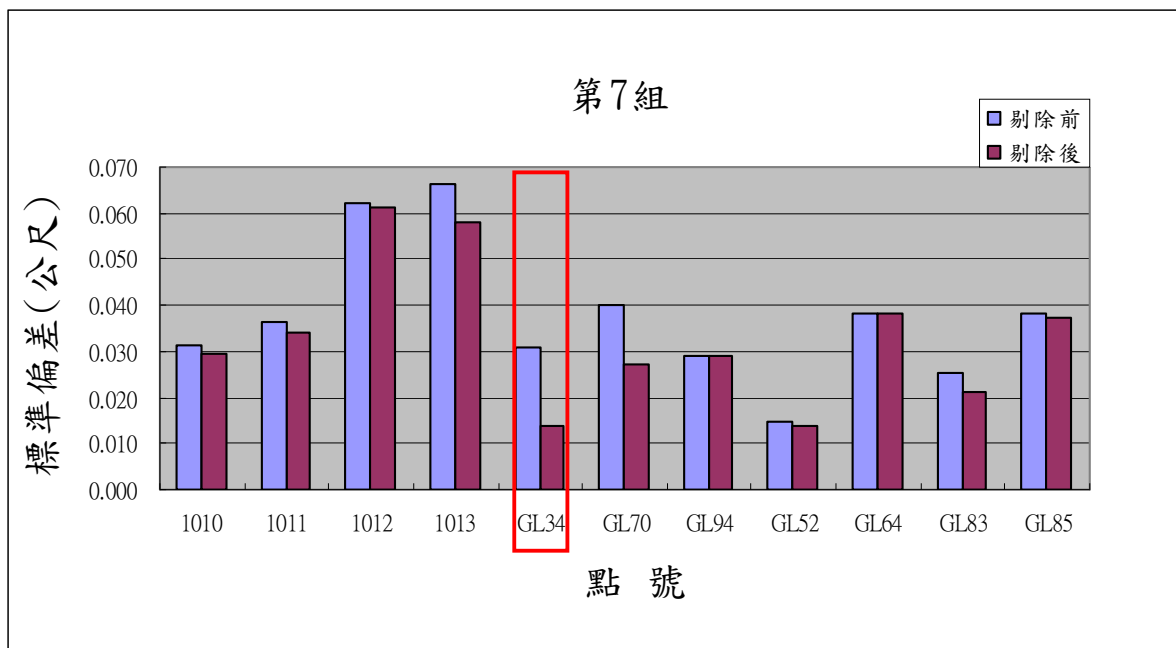


圖 9 第二次觀測第一區第 7 組橢球高異常值剔除前後標準偏差比較圖

大地起伏值採內政部模式【15】及EGM2008模式【12】來作相關之運算及比較分析。其處理方式如下:

1. e-GPS觀測所得之資料為配合上述兩種大地起伏模式來計算大地起伏值，因此各別須做不同方式的坐標轉換。首先以6參數轉換方式將N坐標、E坐標轉換為TWD97坐標再將TWD97坐標轉換為GRS80橢球體之大地經緯度，由內政部模式計算出其大地起伏值(N)，空間直角X坐標、Y坐標、Z坐標運用坐標轉換方式將其轉換為WGS84橢球體之大地經緯度，由EGM2008模式計算出其大地起伏值(N)。
2. 將各組所觀測之橢球高及大地起伏值由式(1)計算出正高再與公告之正高相比較，得其差值。本研究係以兩種不同大地起伏模式計算大地起伏值，故可由兩種不同的大地起伏值來計算其正高，方式如下:
 - (1)以內政部模式計算之大地起伏值所得之正高，將其扣除公告正高得較差，得知第一次觀測第一區施測點之正高較差絕對值介於0.1公分至9.8公分，第二區施測點之正高較差絕對值介於0公分至9.5公分。第二次觀測第一區施測點之正高較差絕對值介於0.6公分至9.9公分，第二區施測點之正高較差絕對值介於0公分至6.4公分，由兩次觀測之正高較差成果得知第二區之正高較差變化小於第一區。
 - (2)以EGM2008大地起伏模式計算之大地起伏值所之得正高，將其扣除公告正高得較差，得知第一次觀測第一區施測點正高較差絕對值介於49.2公分至62.2公分，第二區施測點正高較差絕對值介於50.9公分至63.4公分。第二次觀測第一區施測點正高較差絕對值介於49公分至65.3公分，第二區施測點正高較差絕對值介於47.7公分至60.3公分，由兩次觀測之正高較差成果平均值得知第二區之較差變化小於第一區。其兩次觀測與內政部模式

計算之各施測點正高較差比較，如表7至表10。兩區兩種模式各施測點正高較差之差值平均值，如表11、表12。

表7 第一次觀測第一區兩種模式各施測點正高較差比較表（單位:公尺）

點 號	1010	1011	1012	1013	GL34	GL70	GL94	GL52	GL64	GL83	GL85
內政部模式	0.030	0.005	0.015	0.015	0.026	0.056	0.010	0.022	0.029	0.087	0.052
EGM2008 模式	0.558	0.609	0.593	0.574	0.563	0.522	0.578	0.562	0.555	0.503	0.536
差 值	0.527	0.604	0.578	0.558	0.537	0.465	0.568	0.540	0.525	0.416	0.484

表8 第一次觀測第二區兩種模式各施測點正高較差比較表（單位:公尺）

點 號	1015	1016	1017	GF06	GHF5	GHG5	GK30	GK39	GHE2	GHG7	00615
內政部模式	0.006	0.045	0.062	0.010	0.010	0.015	0.007	0.011	0.024	0.040	0.007
EGM2008 模式	0.553	0.584	0.607	0.540	0.532	0.543	0.526	0.524	0.557	0.565	0.546
差 值	0.547	0.539	0.545	0.530	0.522	0.528	0.519	0.513	0.533	0.525	0.539

表9 第二次觀測第一區兩種模式各施測點正高較差比較表（單位:公尺）

點 號	1010	1011	1012	1013	GL34	GL70	GL94	GL52	GL64	GL83	GL85
內政部模式	0.034	0.039	0.055	0.058	0.098	0.016	0.020	0.069	0.044	0.062	0.071
EGM2008 模式	0.554	0.568	0.548	0.641	0.491	0.589	0.566	0.503	0.540	0.528	0.517
差 值	0.520	0.530	0.492	0.583	0.394	0.573	0.545	0.434	0.497	0.465	0.445

表10 第二次觀測第二區兩種模式各施測點正高較差比較表（單位:公尺）

點 號	1015	1016	1017	GF06	GHF5	GHG5	GK30	GK39	GHE2	GHG7	00615
內政部模式	0.027	0.041	0.016	0.016	0.014	0.012	0.010	0.035	0.034	0.035	0.016
EGM2008 模式	0.522	0.580	0.561	0.550	0.545	0.540	0.539	0.564	0.499	0.560	0.555
差 值	0.495	0.539	0.545	0.534	0.531	0.528	0.529	0.529	0.464	0.525	0.539

表11 第一區兩種模式各施測點正高較差之差值平均值 (單位:公尺)

點號	第一次觀測兩種模式正高較差之差值	第二次觀測兩種模式正高較差之差值	平均
1010	0.527	0.520	0.524
1011	0.604	0.530	0.567
1012	0.578	0.492	0.535
1013	0.558	0.583	0.571
GL34	0.537	0.394	0.466
GL70	0.465	0.573	0.519
GL94	0.568	0.545	0.557
GL52	0.540	0.434	0.487
GL64	0.525	0.497	0.511
GL83	0.416	0.465	0.441
GL85	0.484	0.445	0.465
總平均			0.513

表12 第二區兩種模式各施測點正高較差之差值平均值 (單位:公尺)

點號	第一次觀測兩種模式正高較差之差值	第二次觀測兩種模式正高較差之差值	平均
1015	0.547	0.495	0.521
1016	0.539	0.539	0.539
1017	0.545	0.545	0.545
GF06	0.53	0.534	0.532
GHF5	0.522	0.531	0.527
GHG5	0.528	0.528	0.528
GK30	0.519	0.529	0.524
GK39	0.513	0.529	0.521
GHE2	0.533	0.464	0.499
GHG7	0.525	0.525	0.525
00615	0.539	0.539	0.539
總平均			0.527

(3)由(1)及(2)之分析得知EGM2008模式在第一區或第二區，其正高較差平均約大於內政部模式52公分故不適用於小區域的臺灣地區，因此本研究在後面之分析將不包括EGM2008模式之成果。

(五)成果分析

1.異常值剔除前後成果分析：

本研究採兩次外業觀測，並將每施測點之觀測資料區分為七個組別，將殘差大於3倍標準偏差之橢球高異常值剔除並比較剔除前後之成果，第一次觀測施測點各組橢球高剔除前（後）標準偏差絕對值之平均值，如表13，第二次觀測施測點各組橢球高剔除前（後）標準偏差絕對值之平均值，如表14。

表 13 第一次觀測各組橢球高標準偏差平均值（單位:公尺）

組別	第一區		第二區	
	異常值剔除前 標準偏差平均值	異常值剔除後 標準偏差平均值	異常值剔除前 標準偏差平均值	異常值剔除後 標準偏差平均值
1	0.023	0.016	0.016	0.015
2	0.026	0.023	0.025	0.018
3	0.034	0.031	0.027	0.023
4	0.036	0.033	0.029	0.026
5	0.037	0.035	0.028	0.026
6	0.039	0.035	0.029	0.027
7	0.042	0.037	0.031	0.027

表 14 第二次觀測各組橢球高標準偏差平均值（單位:公尺）

組別	第一區		第二區	
	異常值剔除前 標準偏差平均值	異常值剔除後 標準偏差平均值	異常值剔除前 標準偏差平均值	異常值剔除後 標準偏差平均值
1	0.027	0.026	0.018	0.017
2	0.033	0.032	0.027	0.026
3	0.034	0.033	0.032	0.030
4	0.033	0.030	0.032	0.028
5	0.034	0.031	0.032	0.028
6	0.035	0.031	0.031	0.027
7	0.038	0.026	0.032	0.028

從表 13 及表 14 得知各組橢球高異常值剔除後標準偏差絕對值之平均值均小於剔除前。第一次觀測各組橢球高標準偏差絕對值之平均值第一區介於 1.6 公分至 3.7 公分，平地介於 1.5 公分至 2.7 公分，第二次觀測各組橢球高標準偏差絕對值之平均值第一區介於 2.6 公分至 3.3 公分，第二區介於 1.7 公分至 3 公分。因此；由兩次觀測得知第一區標準偏差絕對值之平均值均高於第二區，且第一區及第二區之第 1 組標準偏差絕對值之平均值皆小於其他組。施測點橢球高剔除後標準偏差趨勢圖第一次觀測第一區部分，如圖 10，第二區部分，如圖 11，第二次觀測第一區部分，如圖 12，第二區部分，如圖 13。

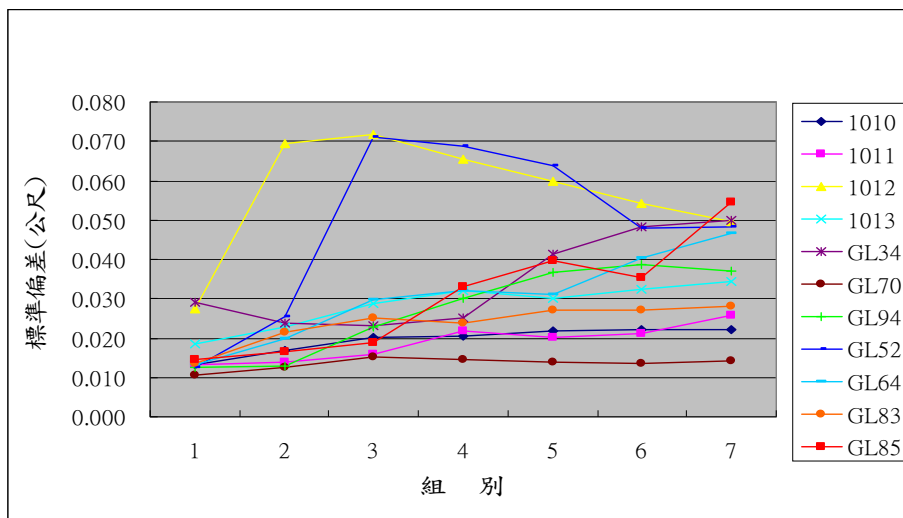


圖 10 第一次觀測第一區施測點橢球高標準偏差趨勢圖

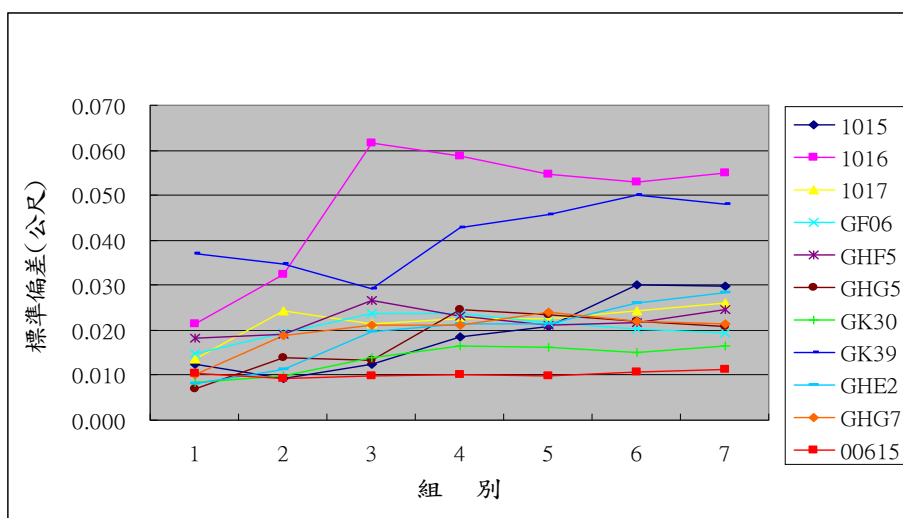


圖 11 第一次觀測第二區施測點橢球高標準偏差趨勢圖

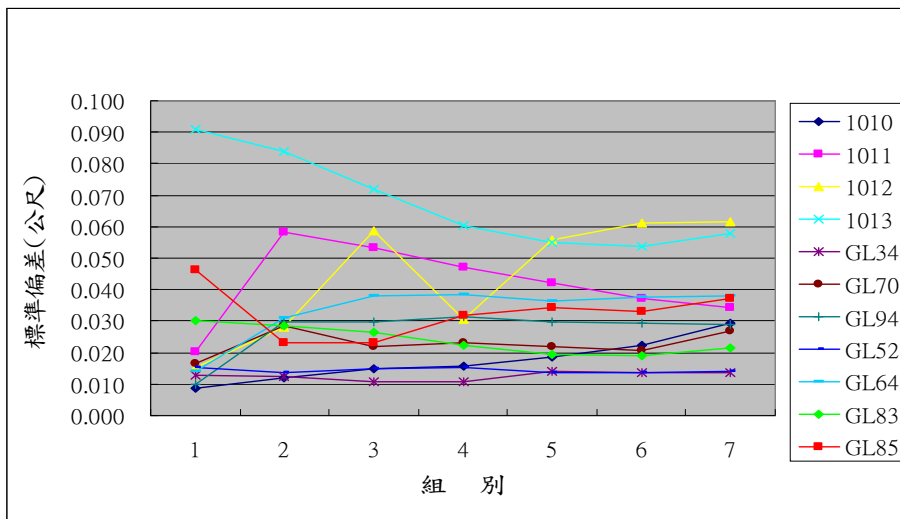


圖 12 第二次觀測第一區施測點橢球高標準偏差趨勢圖

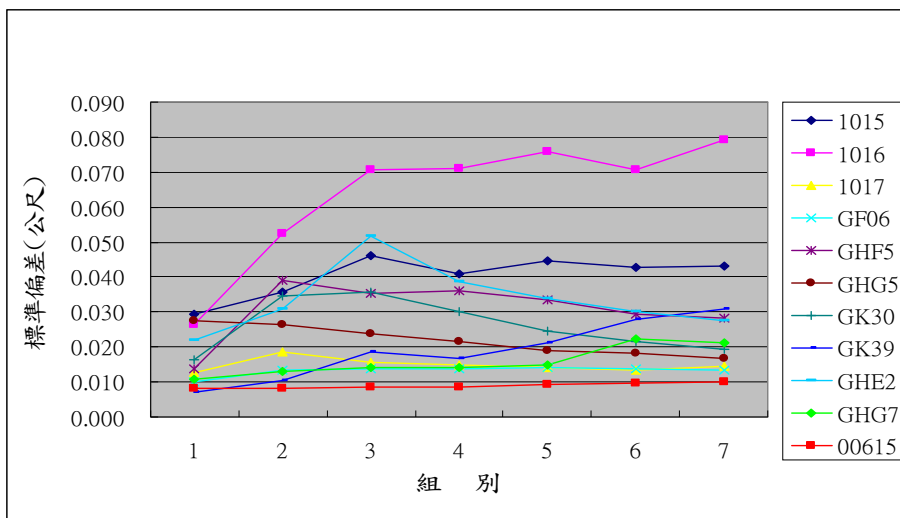


圖 13 第二次觀測第二區施測點橢球高標準偏差趨勢圖

由圖 10 至圖 13 得知兩次觀測除了第一次觀測第一區點號 1012、GL52，第二區點號 1016、GK39 及第二次觀測第一區點號 1012、1013，第二區點號 1016 等施測點分布較為分散外其餘施測點分布較為集中且第一區及第二區之施測點橢球高標準偏差值大多分布於 5 公分內。

2. 正高較差成果分析:

由正高較差資料整理得第一次觀測第一區及第二區各組正高較差 RMS 值如表 15 及第二次觀測第一區及第二區各組正高較差 RMS 值如表 16。

表 15 第一次觀測各組正高較差 RMS 值 (單位:公尺)

組 別	第一區	第二區
1	0.045	0.040
2	0.039	0.038
3	0.038	0.028
4	0.037	0.026
5	0.039	0.024
6	0.041	0.025
7	0.044	0.025

表 16 第二次觀測各組正高較差 RMS 值 (單位:公尺)

組 別	第一區	第二區
1	0.059	0.034
2	0.056	0.028
3	0.055	0.031
4	0.058	0.023
5	0.059	0.024
6	0.058	0.026
7	0.056	0.026

從表 15 至表 16 得知其兩次觀測各組 RMS 值第一次觀測第一區介於 3.7 公分至 4.5 公分，第二區介於 2.4 公分至 4 公分。第二次觀測第一區介於 5.5 公分至 5.9 公分，第二區介於 2.3 公分至 3.4 公分。由兩次觀測得知第二區正高較差 RMS 值小於第一區。由以上成果分析得知第一區及第二區各組之成果均符合內政部國土測繪中心法院囑託地形測量之細部測量高程精度小於 10 公分【16】、內政部營建署公共設施管線施工測量高程精度小於±20 公分的規定【17】。

3. e-GPS 水準測量成果分析:

本研究以 e-GPS 水準測量方式求得迄點 B 之正高，其公式如式(2)，以內政部模式計算施測點之大地起伏值經計算得正高值，將其扣除該點公告正高得較差，除了各區(第一區及第二區)各別計算外另採跨區方式來計算。第一區之起點 (A 點) 分為 GL94、GL64、1010、1012 等點，迄點 (B 點) 分為第一區各施測點。第二區之起點 (A 點) 分為 GK30、GHG7、00615、1015 等點，迄點 (B 點) 分為第二區各施測點。跨區部分，第一區之起點

(A點) 分為1010、GL94，迄點 (B點) 分為第二區各施測點，第二區之起點 (A點) 分為00615、1015，迄點 (B點) 分為第一區各施測點。其中第一區施測點GL52、GL70、GL34、1013等4點，其兩次觀測之橢球高較差值較大故此4點施測點不加入討論。兩次觀測第一區及第二區之正高較差值與點位間距離之比較，點位間距離長或短其正高較差值並沒有因此變化或變小，可見其正高較差值大小不會因其點位間距離之長短而產生變化。第一次觀測各組正高較差RMS值第一區成果如表17，第二區成果如表18，第二次觀測各組正高較差RMS值第一區成果如表19，第二區成果如表20。

表17 第一次觀測第一區e-GPS水準測量正高較差RMS值 (單位:公尺)

起迄點 組別	施測點 GL94 至各施測點	施測點 GL64 至各施測點	施測點 1010 至各施測點	施測點 1012 至各施測點	施測點 1010 至 (第二區)各施測點	施測點 GL94 至 (第二區)各施測點
1	0.044	0.044	0.047	0.036	0.045	0.049
2	0.040	0.043	0.035	0.060	0.055	0.044
3	0.043	0.030	0.030	0.031	0.054	0.030
4	0.048	0.032	0.032	0.037	0.054	0.023
5	0.040	0.034	0.034	0.044	0.055	0.028
6	0.037	0.038	0.035	0.046	0.057	0.036
7	0.039	0.040	0.037	0.049	0.056	0.037

表18 第一次觀測第二區e-GPS水準測量正高較差RMS值 (單位:公尺)

起迄點 組別	施測點 GK30 至各施測點	施測 GHG7 至各施測點	施測點 00615 至各施測點	施測點 1015 至各施測點	施測點 00615 至 (第一區)各施測點	施測點 1015 至 (第一區)各施測點
1	0.036	0.053	0.037	0.040	0.055	0.052
2	0.039	0.040	0.034	0.036	0.047	0.046
3	0.034	0.032	0.025	0.026	0.049	0.047
4	0.031	0.031	0.024	0.023	0.044	0.048
5	0.032	0.028	0.023	0.023	0.046	0.047
6	0.031	0.028	0.024	0.027	0.047	0.042
7	0.028	0.027	0.024	0.029	0.051	0.043

表19 第二次觀測第一區e-GPS水準測量正高較差RMS值（單位:公尺）

起迄點 組別	施測點 GL94 至各施測點	施測點 GL64 至各施測點	施測點 1010 至各施測點	施測點 1012 至各施測點	施測點 1010 至 (第二區)各施測點	施測點 GL94 至 (第二區)各施測點
1	0.023	0.031	0.022	0.029	0.062	0.060
2	0.043	0.031	0.021	0.027	0.052	0.030
3	0.030	0.016	0.016	0.018	0.058	0.043
4	0.046	0.032	0.028	0.039	0.053	0.031
5	0.042	0.032	0.030	0.031	0.050	0.036
6	0.036	0.030	0.031	0.026	0.048	0.042
7	0.031	0.024	0.035	0.023	0.041	0.047

表20 第二次觀測第二區e-GPS水準測量正高較差RMS值（單位:公尺）

起迄點 組別	施測點 GK30 至各施測點	施測 GHG7 至各施測點	施測點 00615 至各施測點	施測點 1015 至各施測點	施測點 00615 至 (第一區)各施測點	施測點 1015 至 (第一區)各施測點
1	0.037	0.036	0.034	0.086	0.067	0.021
2	0.029	0.041	0.031	0.064	0.060	0.021
3	0.030	0.038	0.030	0.041	0.062	0.032
4	0.020	0.029	0.020	0.031	0.068	0.044
5	0.021	0.033	0.021	0.039	0.070	0.037
6	0.023	0.038	0.022	0.041	0.069	0.036
7	0.022	0.037	0.020	0.036	0.067	0.039

從表17及表18可知第一次觀測各組正高較差RMS值第一區介於3公分至6公分，第二區介於2.3公分至5.3公分。跨區部分，第一區施測點至第二區各施測點介於2.3公分至5.7公分，第二區施測點至第一區各施測點介於4.2公分至5.5公分。從表19及表20可知第二次觀測各組正高較差RMS值第一區介於1.6公分至4.6公分，第二區介於2公分至8.6公分。跨區部分，第一區施測點至第二區各施測點介於3公分至6.2公分，第二區施測點至第一區各施測點介於2.1公分至7公分。兩次觀測各組之RMS平均值第一區為3.4公分，第二區為3.1公分。第一區施測點至第二區各施測點之RMS平均值為4.5公分，第二區施測點至第一區各施測點之RMS平均值為4.8公分，由此可知正高較差值第二區小於第一區。

五、結論與建議

(一) 結論

本研究經上述之資料蒐集與處理及成果分析，獲得較重要之結論如次：

1. 觀測採兩次進行且每施測點觀測接收 3600 筆再區分為七個組別，第一次觀測各組橢球高標準偏差絕對值之平均值第一區介於 1.6 公分至 3 公分，第二區介於 1.5 公分至 2.7 公分，第二次觀測各組橢球高標準偏差絕對值之平均值第一區介於 2.6 公分至 3.3 公分，第二區介於 1.7 公分至 3 公分。因此顯然可知第一區之橢球高標準偏差絕對值之平均值高於第二區，而第一區及第二區其第 1 組橢球高標準偏差絕對值之平均值皆小於其他組。
2. 兩次觀測各組計算之正高值與公告正高值較差，其 RMS 值於第一區介於 3.7 公分至 5.9 公分，第二區介於 2.3 公分至 4 公分。e-GPS 水準測量成果其兩次觀測各組之 RMS 平均值第一區為 3.4 公分，第二區為 3.1 公分。跨區部分，第一區施測點至第二區各施測點 RMS 平均值為 4.5 公分，第二區施測點至第一區各施測點 RMS 平均值為 4.8 公分。本研究經由兩次觀測所得之成果分析得知第一區及第二區各組成果均符合內政部國土測繪中心法院囑託地形測量之細部測量高程精度小於 10 公分、內政部營建署公共設施管線施工測量高程精度小於 ± 20 公分的規定。由此可知觀測接收 180 筆資料其成果已符合以上之高程精度的規定。

(二) 建議

1. e-GPS 觀測獲得之高程為橢球高，但需要藉由大地起伏計算方能獲得其點位之正高值，可見大地起伏值之精度也直接影響正高值精度，因此透過完善之重力資料來建構一個能涵蓋全國的高精度且高解析度的大地起伏模式是非常重要的。
2. 內政部及該部國土測繪中心近年來積極推動臺灣地區重力測量工作，克服臺灣特殊之地理環境，辦理陸地重力測量、空載重力測量、船載重力測量，建立完整之重力網，並搭配高精度及高解析度數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM)、一等水準點之 GPS 及水準測量資料修正 GPS 基準站。目前內政部於民國 103 年 3 月公告「102 年臺灣地區重力網重力測量成果」，並於民國 103 年 6 月公告「103 年台灣地區大地起伏模型」，提供各界橢球高與正高轉換媒介，後續可運用此程式來辦理相關研究之比較分析。

六、參考文獻

- [1] 內政部(2008)，內政部 97 年臺灣一等水準網水準測量成果，第 1-7 頁。
- [2] <http://www.nlsc.gov.tw/>。
- [3] <http://www.egps.nlsc.gov.tw/>。
- [4] 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，第 5-34 頁。

- [5] Günther, R. (2002), "Accuracy Performance of Virtual Reference Station(VRS) Networks," *Journal of Global Positioning Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 40-47.
- [6] 中華民國地籍測量學會短期專業訓練班(2010), 大地測量學, 課程講義, 第 2.1-2.15 頁。
- [7] 楊名、黃金維、陳國華(2011), "臺灣地區發展高程現代化作業技術先期研究", 財團法人成大研究發展基金會, 第 5-28 頁。
- [8] 林老生(2012), "e-GPS 水準測量精度研究", 臺灣土地研究, 第 15 卷, 第 2 期, 第 35-58 頁。
- [9] 林偉祥(2011), "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", 國防大學理工學院環境資訊及工程學系空間科學研究所碩士論文, 桃園, 第 9-22 頁。
- [10] Dealcin, R.E. and Kilde, D.G. (1997) "A Note on Standard Deviation and RMS".
- [11] 桃園縣政府(2012), 101 桃園縣都市計畫區一千分之一 GIS 數值地形圖測製第二期計畫測量工作報告書。
- [12] <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/index.html>。
- [13] <http://www.surveying-tech.com.tw/ec99/default.asp/>。
- [14] 內政部國土測繪中心(2010), 內政部國土測繪中心採用虛擬基準站即時動態定位技術辦理加密控制及圖根測量作業手冊。
- [15] <http://www.gps.moi.gov.tw/SSCenter/Introduce/InfoPage.aspx/>。
- [16] 內政部國土測繪中心(2013), 內政部國土測繪中心法院囑託地形測量工作手冊。
- [17] 內政部營建署(2010), 公共設施管線資料庫系統建置案共通規格。