

# GPS 衛星定位測量觀測時間長度與基線精度之研究

甯方璽<sup>1\*</sup> 黃勝斌<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國防大學理工學院環境資訊及工程學系

<sup>2</sup>軍備局生產製造中心

## 摘 要

自 GPS 全球衛星定位系統技術發展以來，歷經了許多個階段，至今 GPS 系統也運作已超過 30 年了。衛星定位測量所使用的硬體設備及相關的軟體計算也大幅的增進。對於測量應用而言，以各項的條件來評估，衛星控制點測量的觀測時間長度是否仍需要依照目前的規範才能獲得所需之精度，抑或僅需選擇部份良好的衛星數及衛星分佈時即可滿足我們的需求？本次研究重點即針對衛星觀測時間長短來進行測試，並以 Bernese 及 Trimble Total Control 兩套軟體進行計算。本文採用內政部相關衛星控制點檢測之研究規範來進行分析，所獲結果係根據取樣之時間，在不同的觀測時間長度狀況下來進行基線計算，所得到的成果列於本文中。

**關鍵詞：**觀測時間長度，規範基線精度

## A Study of Suitable GPS Observed Time Length with the Requirement Baseline Precision

Fang-Shii Ning<sup>1\*</sup> and Sheng-Pin Huang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Environmental Information and Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University*

<sup>2</sup>*Material Production Center, Armaments Bureau, MND*

## ABSTRACT

GPS has been operating over 30 years and developed in several stages. In the meantime, GPS survey related software and hardware has been improved significantly. As regards to GPS survey application, we are wondering whether the GPS control point observation time should be fixed according to current specifications or the required precision can also be reached while only adopting part of well-observed and well-distributed satellites? In this research, GPS software Bernese and Trimble Total Control are both used to evaluate various combinations of observed satellites numbers and observation time lengths. The results are analyzed according to official specification of Ministry of the Interior and baselines are formed and calculated based on various satellites observed time intervals and compared in this research.

**Keywords:** observed time length, required baseline precision

## 一、前言

GPS 衛星定位測量技術發展至今，超越了傳統的大地測量所無法到達的精度，也因此項技術無需考慮點位間通視的特性，不受惡劣氣候之妨礙，只要是透空良好的點位，即可實施 GPS 衛星定位測量，突破了傳統測量方法在人力、時間及精度上所受的限制。

GPS 衛星定位測量技術目前廣泛使用於各項測量工作，因此在作業品質的良窳便與國家各項工程建設之發展，有著密不可分的關係。相較於發展初期，衛星定位測量使用之硬體設備精度及軟體功能皆有大幅的提昇，而衛星的分布的數量亦也相較之前的狀況不同，這顯示目前的各項條件都比以往還要來的更好[1-4]。參照我國及美澳各國的測量規範發展的時期[5, 6]，檢視目前內政部規範衛星控制測量時間是否必要再進一步的研究討論來進行修改。

本研究即以不同的基線長度及觀測時間進行測試，探討不同基線長度達到內政部規範要求之靜態測量觀測精度所需時間，做為衛星定位測量作業之參考。

## 二、研究取樣

本研究採用內政部國土測繪中心 76 個 e-GPS 衛星基準站中的 30 個測站觀測資料（如圖 1），並以 Bernese 及 Trimble Total Control（以下簡稱 T.T.C.）兩套軟體進行計算，探討 30 個基站共 435 條不同長度基線與觀測時間長短之關係。

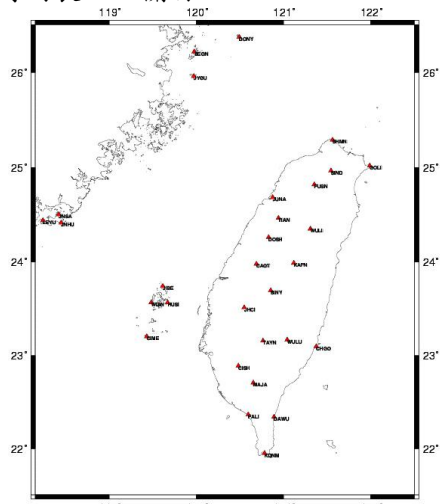


圖 1. 採用 e-GPS 衛星基準站分佈圖

本研究採用 2007 年 1 月 1 日 0800 至 1 月 2 日 0800 整日的衛星基準站觀測資料，除 1 月 2 日的 0430 至 0500 約有 10 至 30 分鐘僅有 4 顆之衛星外，其餘最少都有 5 顆以上之衛星可供觀測，幾何精度因子（Geometrical Dilution of Precision, GDOP）則有 1 月 1 日 0800-0900 時及 1 月 2 日 0700-0800 時有超過 10 之狀況出現，如圖 2、3（以 JHCI 為例）。本研究分析以連續觀測時間 24 小時所計算獲得之基線長度為基準，將不同時間長度計算成果減去 24 小時之計算成果獲得每個時段及每條不同長度基線之較差值。

Bernese 及而 T.T.C. 軟體參數設定部分，取樣間隔為 15 秒一筆，截取角為 15 度，採用 IGS 精密星曆，另外再針對三四等規範檢測時增加使用廣播星曆之計算成果；對流層折射修正採用 Saastamoinen 模式，電離層折射改正則採用無電離層效應觀測量  $L_3$  來消除電離層折射影響，整數周波值求解皆採用 QIF 模式。[7, 8]

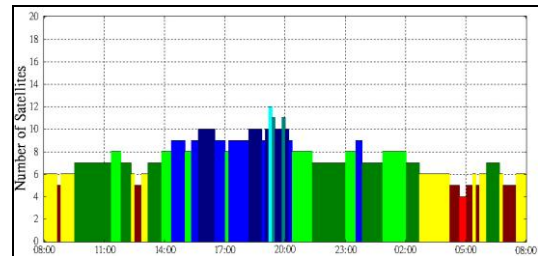


圖 2. JHCI 之可見衛星數圖

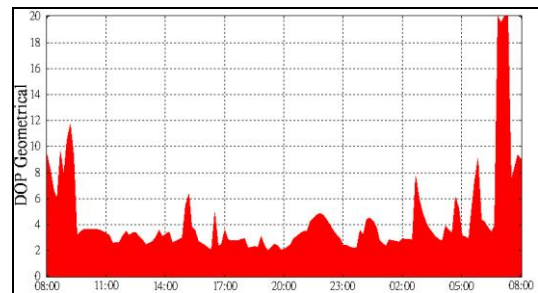


圖 3. JHCI 之 GDOP

本研究中基線長度區分 9-30km（12 條）、30-50km（22 條）、50-100km（54 條）、100-150km（66 條）、150-200km（79 條）、200-250km（65 條）、250-300km（63 條）、300-400km（64 條）及 400-500km（10 條）等 9 種距離長度等級，參考內政部相關研究報告[9]，取其「基線長標準誤差」

之 2 倍值做為檢測評估之標準，來分析本研究的基線計算成果。

### 三、研究成果與分析

#### 3.1 觀測時間長度與基線較差值之關係

將 435 條基線分別以不同時間長度計算成果減去 24 小時之計算成果所得之基線較差值，再求取平均值，以基線較差平均值做為 Y 軸，觀測時間長度為 X 軸，製作成平均基線較差圖（如圖 4）；

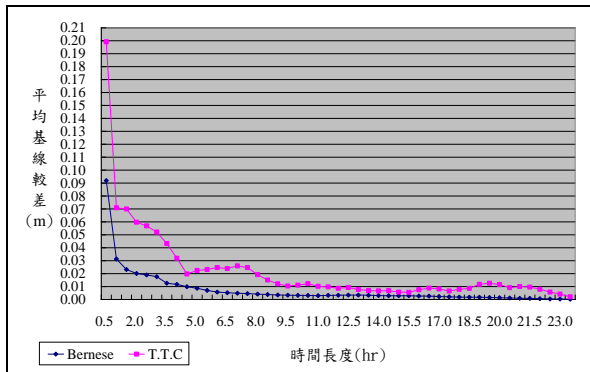


圖 4. 平均基線較差圖

由圖 4 可知，觀測時間長度在 4~5 個小時之後的平均基線差值趨於穩定且收斂的。4 個小時的觀測量經 Bernese 軟體計算後，成果的基線較差平均值約 1.162cm（最大值 6.582cm，最小值 0.013cm）；而 T.T.C.軟體計算的成果，基線較差平均值約 3.289cm（最大值 21.374cm，最小值 0.003cm）。因此，參考內政部之相關作業規範[5]，以 4 個小時的觀測時間長度為基準，區分 0800-1200、1200-1600 及 1600-2000 等 3 種時段（考慮現今作業時段多以台灣地區時 0800-2000 時進行），以不同的時段及觀測時間長度的觀測量進行計算，除分析基線較差值之成果，並針對前述 9 種距離長度等級符合各種規範之合格率成果進行分析。

#### 3.2 一等衛星控制點規範檢測使用精密星曆計算之基線成果

依據一等衛星控制點規範，觀測時間須大於 4 小時，同一時段所有接收器連續且同步觀測時間須大於 2 小時，採用 2 倍基線長標準誤差 ( $2 \times (0.5 \text{ cm} + 1 \text{ ppm} \times L)$ )，L：單

一基線長度之公里數) 為標準進行檢測[9, 10]。

(1) 0.5 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 1.1 cm~12.6 cm；基線合格率为第 1 時段 5 種距離等級、第 2 時段 3 種等級及第 3 時段 4 種距離等級的成果未達 95%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 3.1 cm~38.8 cm；基線合格率为第 1 時段 3 種距離等級、第 2 時段 2 種距離等級及第 3 時段 4 種距離等級的成果未達 95%，如圖 5、6。

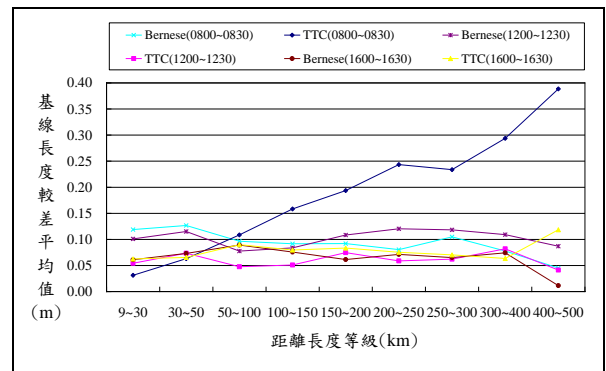


圖 5. 0.5 小時基線較差圖

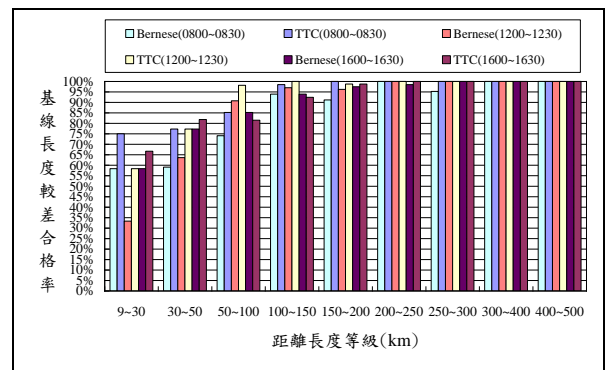


圖 6. 0.5 小時合格率圖

(2) 1 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.6 cm~3.8 cm；基線合格率为僅第 1 時段 1 種距離等級及第 2 時段 2 種距離等級的成果未達 95%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 2.2 cm~11.1 cm；基線合格率为以第 1 時段 3 種距離等級、第 2 時段 3 種距離等級及第 3 時段 2 種距離等級的成果未達 95%，如圖 7、8。

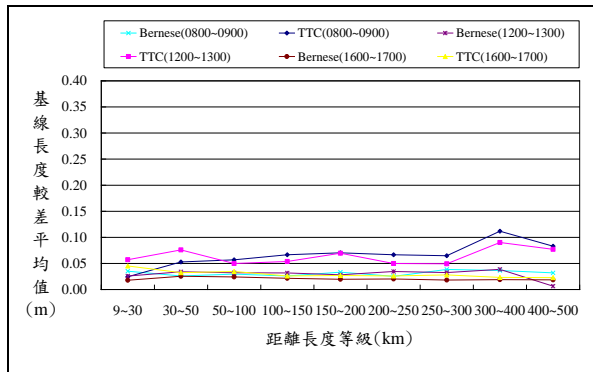


圖 7.1 小時基線較差圖

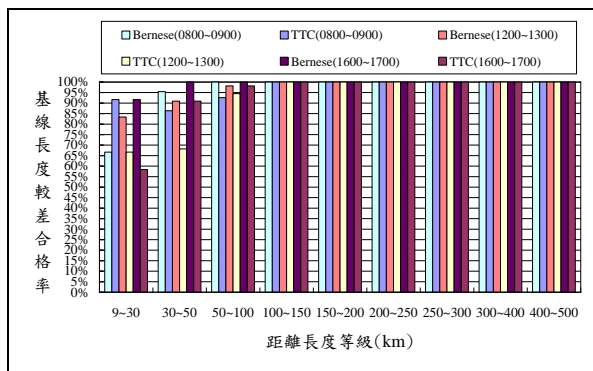


圖 8.1 小時合格率圖

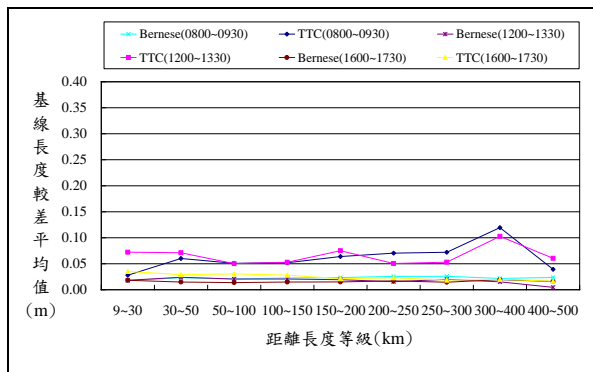


圖 9.1.5 小時基線較差圖

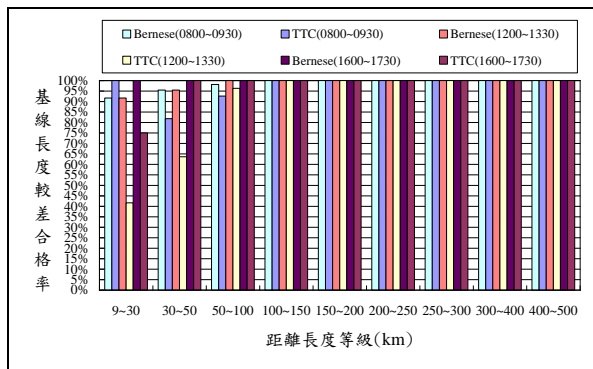


圖 10.1.5 小時合格率圖

(3) 1.5 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.4

cm~2.5 cm；基線合格率僅第 1 時段 1 種距離等級及第 2 時段 1 種距離等級的成果未達 95%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 1.6 cm~11.9 cm；基線合格率以第 1 時段 2 種距離等級、第 2 時段 2 種距離等級及第 3 時段 1 種距離等級的成果未達 95%，如圖 9、10。

(4) 2 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.4 cm~2.4 cm；基線合格率僅第 1 時段 1 種距離等級成果未達 95%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 1.1 cm~13.2 cm；基線合格率以第 1 時段 3 種距離等級、第 2 時段 3 種距離等級及第 3 時段 1 種距離等級成果未達 95%，如圖 11、12。

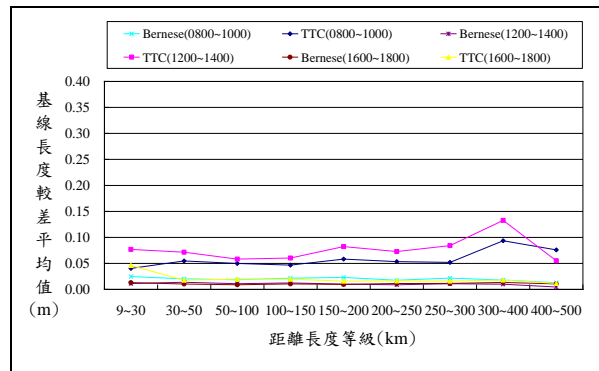


圖 11.2 小時基線較差圖

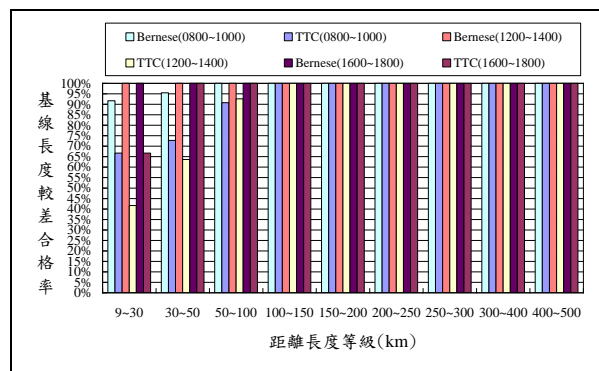


圖 12.2 小時合格率圖

(5) 2.5 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.4 cm~2.5 cm；基線合格率僅第 1 時段 1 種距離等級的成果未達 95%。T.T.C.軟體計算成果，基於 3 種時段基線長度較差平均值為 1.2 cm~11.7 cm；檢核基線合格率以第 1 時段 3 種距離等級、第 2 時段 2 種距

離等級及第 3 時段 1 種距離等級成果未達 95%，如圖 13、14。

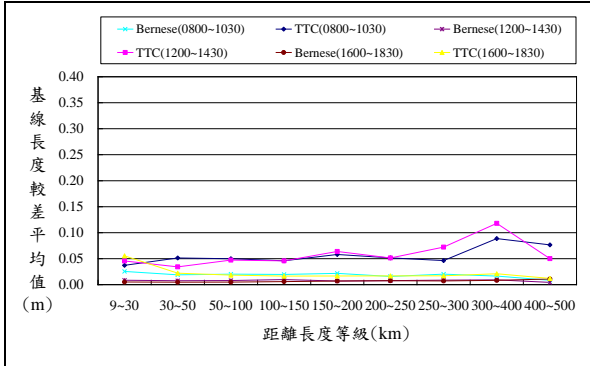


圖 13. 2.5 小時基線較差圖

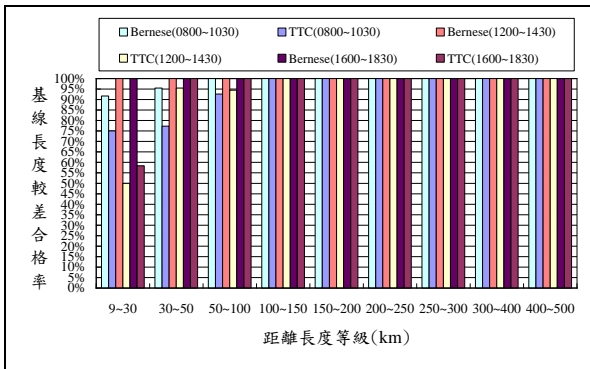


圖 14. 2.5 小時合格率圖

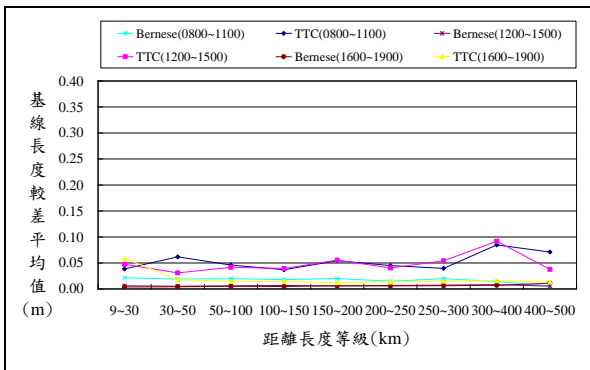


圖 15. 3 小時基線較差圖

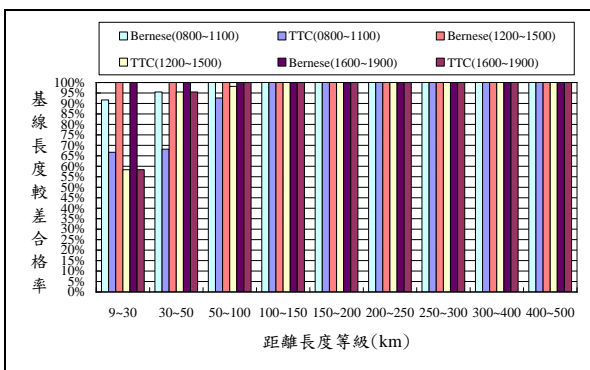


圖 16. 3 小時合格率圖

(6) 3 小時觀測量:Bernese 軟體計算之成果中，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.3 cm~2.1 cm；基線合格率僅第 1 時段 1 種距離等級成果未達 95%。T.T.C.軟體計算之成果中，於 3 種時段基線長度較差平均值為 1.2 cm~9.1 cm；基線合格率以第 1 時段 3 種距離等級、第 2 時段 1 種距離等級及第 3 時段 1 種距離等級成果未達 95%，如圖 15、16。

(7) 3.5 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.3 cm~1.4 cm；基線合格率皆達到 100%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.9 cm~7.4 cm；基線合格率以第 1 時段 3 種距離等級、第 2 時段 1 種距離等級及第 3 時段 1 種距離等級成果未達 95%，如圖 17、18。

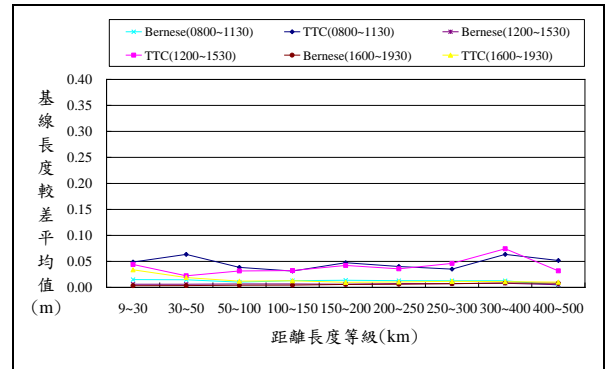


圖 17. 3.5 小時基線較差圖

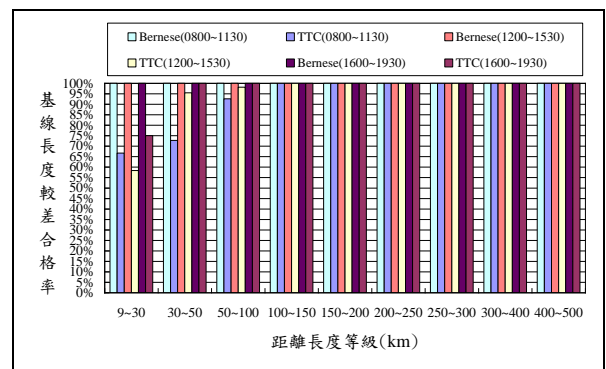


圖 18. 3.5 小時合格率圖

(8) 觀測 4 小時，Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.2 cm~1.3 cm；基線合格率皆達到 100%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.4 cm~5.1 cm；基線合格率僅以第 1 時段 2 種距離等級、第 2 時段 1 種距離等級及第 3 時段 1 種距離等級



成果未達 95%，如圖 19、20。

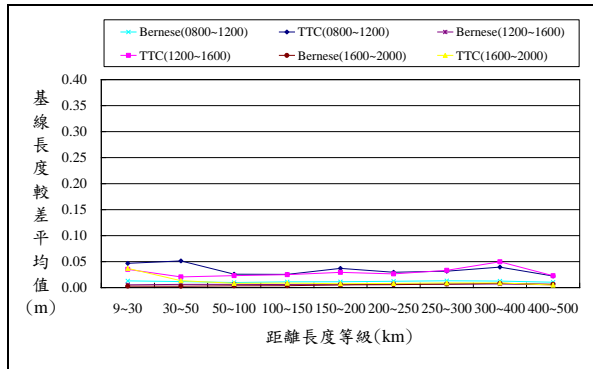


圖 19. 4 小時基線較差圖

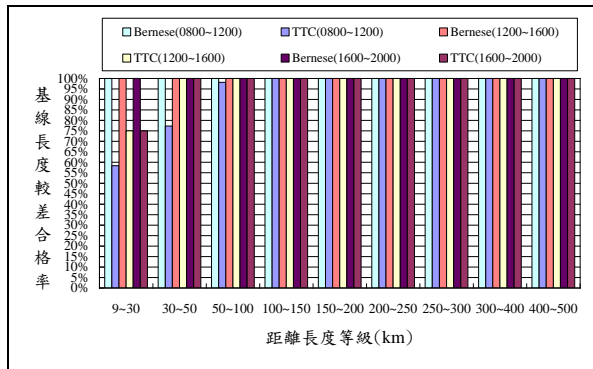


圖 20. 4 小時合格率圖

### 3.3 二等衛星控制點規範檢測使用精密星曆計算之基線成果

依據二等衛星控制點規範，觀測時間須大於 2 小時，同一時段所有接收器連續且同步觀測時間須大於 1 小時，採用 2 倍基線長標準誤差 ( $2 \times (1 \text{ cm} + 2\text{ppm} \times L)$ )，L：單一基線長度之公里數) 為標準進行檢測 [9, 10]。以基線計算結果之 3 種觀測時段的 0.5 小時、1 小時、1.5 小時及 2 小時計算成果來進行分析。

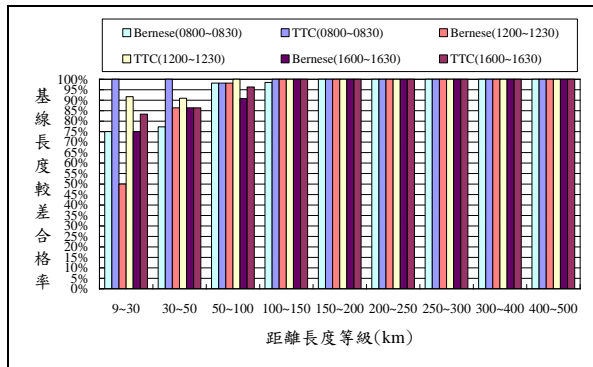


圖 21. 0.5 小時合格率圖

(1) 0.5 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果於 3

種時段基線長度較差平均值為 1.1 cm~12.6 cm；基線合格率以第 1 時段 2 種距離等級、第 2 時段 2 種距離等級及第 3 時段 3 種距離等級成果未達 95%。T.T.C. 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 3.1 cm~38.8 cm；基線合格率以第 2 時段 2 種距離等級及第 3 時段 2 種距離等級成果未達 95%，如圖 21。

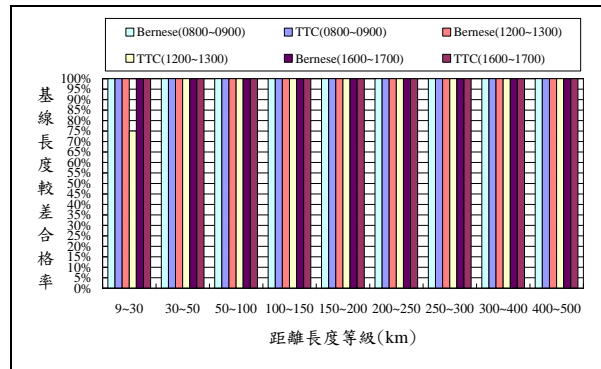


圖 22. 1 小時合格率圖

(2) 1 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.6 cm~3.8 cm；基線合格率皆達 100%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 2.2 cm~11.1 cm；基線合格率僅第 2 時段 1 種距離等級成果未達 95%，如圖 22。

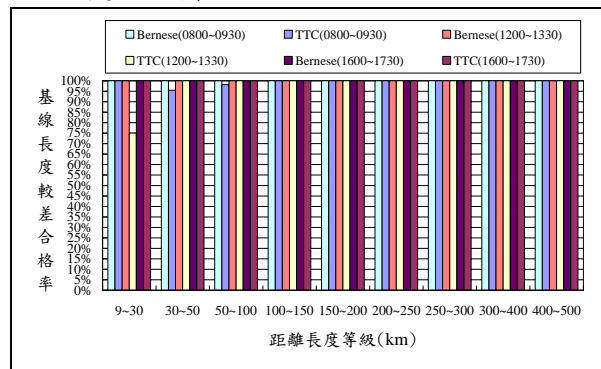


圖 23. 1.5 小時合格率圖

(3) 1.5 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.4 cm~2.5 cm；基線合格率皆達 100%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 1.6 cm~11.9 cm；基線合格率僅第 2 時段 1 種距離等級成果未達 95%，如圖 23。

(4) 2 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.4

cm~2.4 cm；基線合格率皆達 100%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 1.1 cm~13.2 cm；基線合格率以第 2 時段 2 種距離等級及第 3 時段 1 種距離等級成果未達 95%，如圖 24。

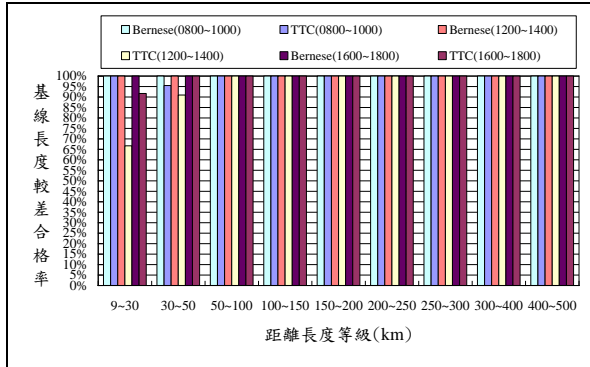


圖 24. 2 小時合格率圖

### 3.4 三、四等衛星控制點規範檢測使用精密星曆計算之基線成果

依三、四等衛星控制點觀測時間須大於 1.5 小時及 1 小時，同一時段所有接收器連續且同步觀測時間須大於 45 分鐘，採用 2 倍基線長標準誤差 ( $2 \times (1.5 \text{ cm} + 3\text{ppm} \times L)$ ，L：單一基線長度之公里數) 為標準進行檢測 [9, 11, 12]。以基線計算結果之 3 種觀測時段的 0.5 小時及 1 小時計算成果來進行分析。

(1) 0.5 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 1.1 cm~12.6 cm；基線合格率以第 1 時段 2 種距離等級、第 2 時段 2 種距離等級及第 3 時段 2 種距離等級成果未達 95%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 3.1 cm~38.8 cm；基線合格率以第 2 時段 1 種距離等級及第 3 時段 1 種距離等級成果未達 95%，如圖 25。

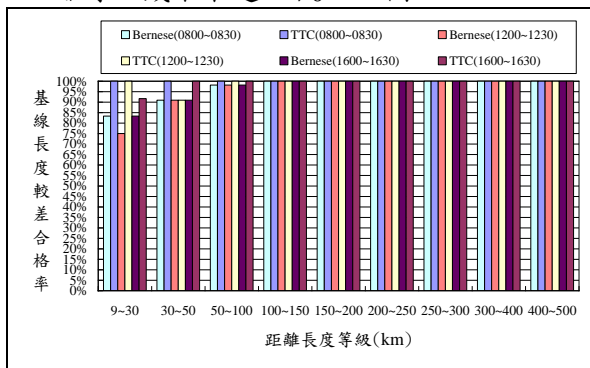


圖 25. 0.5 小時合格率圖

(2) 1 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 0.6 cm~3.8 cm；基線合格率均為 100%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 2.2 cm~11.1 cm；基線合格率僅第 2 時段 1 種距離等級成果未達 95%，如圖 26。

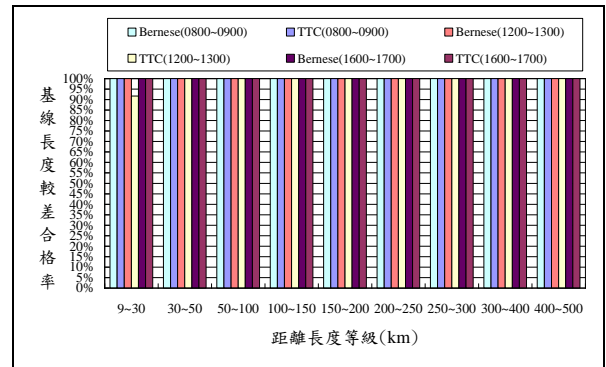


圖 26. 1 小時合格率圖

### 3.5 三、四等衛星控制點規範檢測使用廣播星曆計算之基線成果

以實際作業時，進行三、四等衛星控制點測量時，星曆均採用廣播星曆，因此特別將觀測量使用廣播星曆重新計算，並採用 2 倍基線長標準誤差 ( $2 \times (1.5 \text{ cm} + 3\text{ppm} \times L)$ ，L：單一基線長度之公里數) 為標準進行檢測 [9, 11, 12]。以基線計算結果之 3 種觀測時段的 0.5 小時及 1 小時計算成果來進行分析。

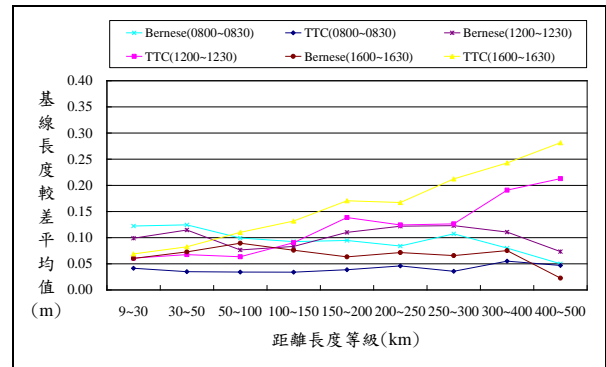


圖 27. 0.5 小時基線較差圖

(1) 0.5 小時觀測量:Bernese 軟體計算成果於 3 種時段基線長度較差平均值為 4.9 cm~12.4 cm；基線合格率以 3 種時段都各有 2 種距離等級成果未達 95%。T.T.C.軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 2.7 cm~9.5 cm；基線合格率以第 1

時段 1 種距離等級及第 3 時段 1 種距離等級成果未達 95%，如圖 27、28。

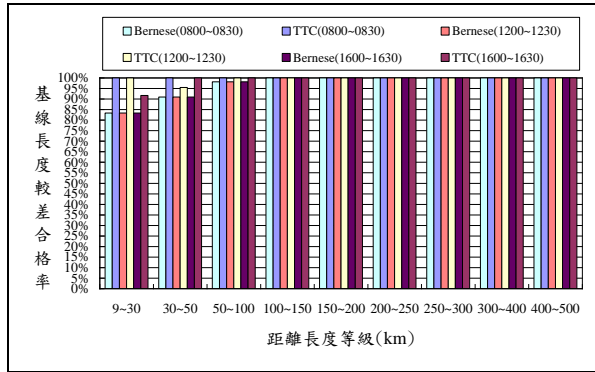


圖 28. 0.5 小時合格率圖

(2) 0.5 小時觀測量: Bernese 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 1.1 cm~4.5 cm；基線合格率均為 100%。T.T.C. 軟體計算成果，於 3 種時段基線長度較差平均值為 1.0 cm~8.7 cm；基線合格率僅第 2 時段 1 種距離等級成果未達 95%，如圖 29、30。

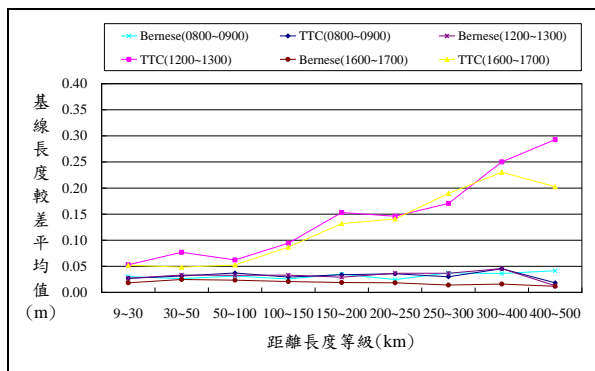


圖 29. 1 小時基線較差圖

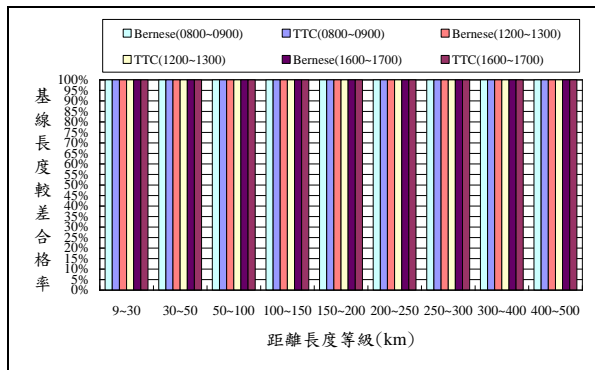


圖 30. 1 小時合格率圖

以實際測量作業時，多數的基線皆短於 50 公里，因此特別將各項計算成果之中，將 50 公里以下等級的基線（共 34 條）採用 3.2 節-3.5 節之方式進行檢測，如圖 31-38。

在基線長度較差值來看，可發現在觀測時間 1 個小時以上的較差值相對穩定；在合格率方面，則相同在 1 個小時以上的表現大致相同。

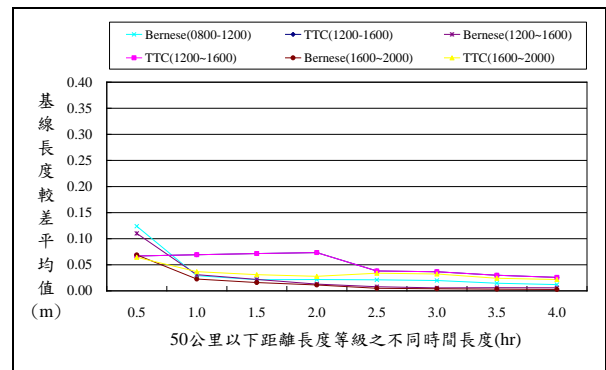


圖 31. 50 公里以下等級之基線較差圖  
(一等規範-精密星曆)

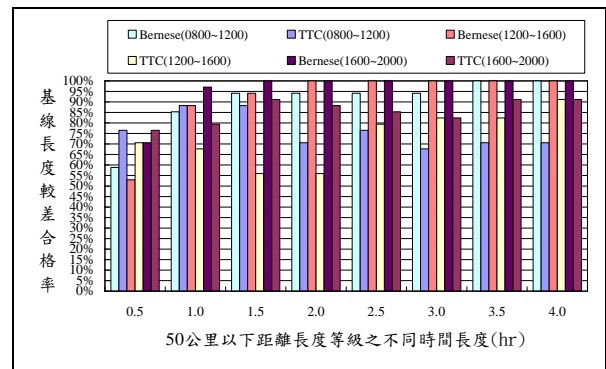


圖 32. 50 公里以下等級之合格率圖  
(一等規範-精密星曆)

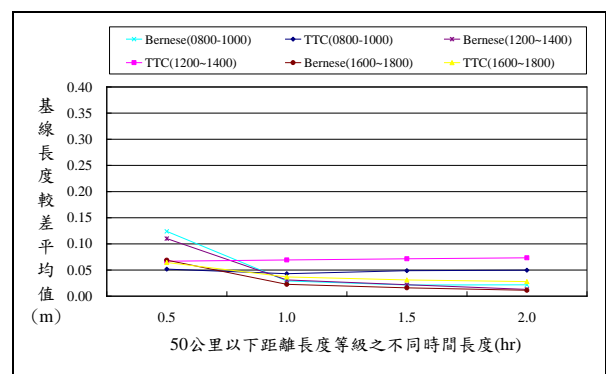


圖 33. 50 公里以下等級之基線較差圖  
(二等規範-精密星曆)

### 3.6 基線長度 50 公里以下之基線成果



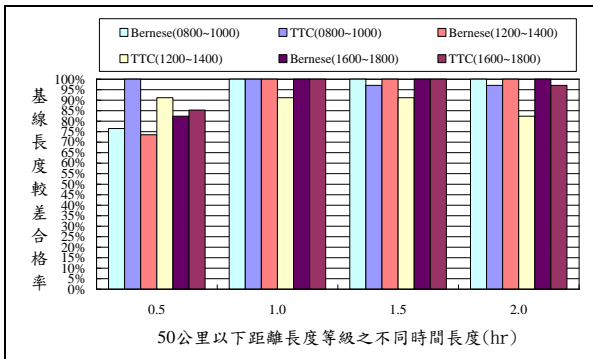


圖 34. 50 公里以下等級合格率高  
 (二等規範-精密星曆)

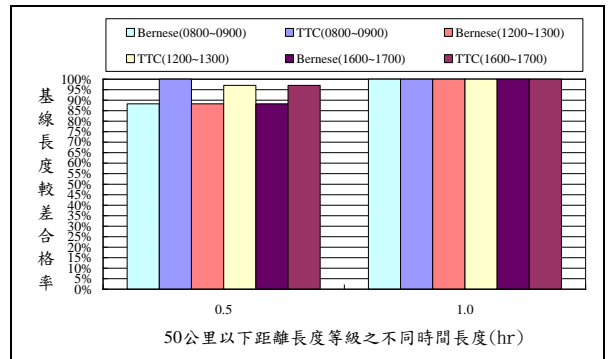


圖 38. 50 公里以下等級之合格率高  
 (三四等規範-廣播星曆)

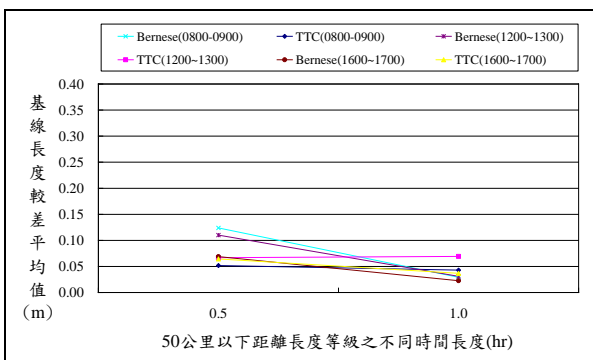


圖 35. 50 公里以下等級之基線較差圖  
 (三四等規範-精密星曆)

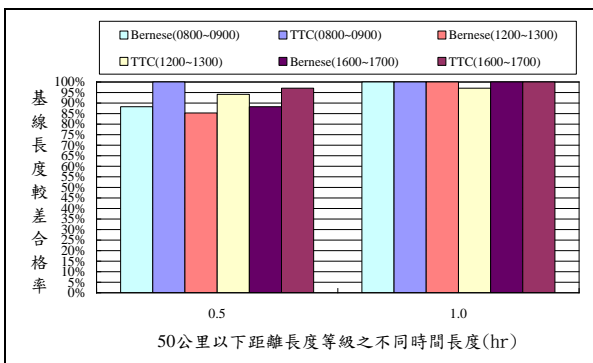


圖 36. 50 公里以下等級之合格率高  
 (三四等規範-精密星曆)

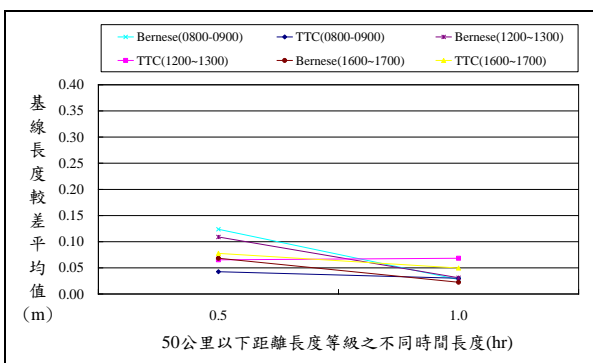


圖 37. 50 公里以下等級之基線較差圖  
 (三四等規範-廣播星曆)

#### 四、結論與建議

由本研究相關之結論與建議彙整說明如下：

##### 4.1 結論

- (1) 在同樣的觀測資料採用不同的觀測時間長度來進行基線向量的計算，可由其平均基線長度差發現，整體的差值變化量在不錯的條件下，觀測時間長度足夠（4 小時以上）、幾何分佈良好，則可獲得穩定之基線向量解算成果。
- (2) 依照內政部目前檢測衛星控制點相關規範來檢視，在一等衛星控制點部分，Bernese 軟體在 1.5 小時至 3 小時之基線較差值合格率可以達到 99% 以上，3.5 小時則可達到 100%，T.T.C. 軟體在 0.5 小時至 4 小時之基線較差值合格率都在 96% 以上。
- (3) 若依照二等衛星控制點規範來檢視，Bernese 軟體在 0.5 小時基線較差值合格率可以達到 97.70%，1 小時則可達到 100%，T.T.C. 軟體在 0.5 小時基線較差值合格率可以達到 99.7%，1 小時則可達到 100%。
- (4) 若依照三、四等衛星控制點規範來檢視，Bernese 軟體在 0.5 小時基線較差值合格率可以達到 98.85%，1 小時則可達到 100%，T.T.C. 軟體在 0.5 小時及 1 小時之基線較差值合格率可以達到 100%。

## 4.2 建議

- (1) 因為目前的衛星數及分佈狀況條件比以往更佳，現在接收儀的穩定度也提高許多，再由本研究成果可得知，目前的衛星測量時間，應該可再進一步的進行相關研究來針對目前相關作業規定時間的適切性，以提昇外業工作的效能。
- (2) 由本研究三種不同時段的成果，在第 1 種時段（0800-1200）所獲得之基線合格率最低，由其衛星狀況來進行研判，應是由於該時段的 0800-0930 的 GDOP 值偏高所造成，因此在台灣地區建議若要能進行觀測前，可利用相關軟體來獲得相關衛星數及衛星分佈的狀況資訊，以蒐集得較佳之成果。

## 誌 謝

本研究誠蒙內政部國土測繪中心之資料提供，得以進行且完成，特此誌謝。

## 參考文獻

- [1] 劉正倫，GPS 相對定位載波相位基線解法之研究，國立成功大學航空測量研究所碩士論文，台南，1988。
- [2] 楊翼聰，GPS 衛星定位測量重點規範之研議，國立成功大學航空測量研究所碩士論文，台南，1992。
- [3] 陳鶴欽，結合低價單頻 GPS 接收儀與虛擬參考站定位精度之研究，國立成功大學地球科學研究所博士論文，台南，2009。
- [4] 李豐華，GPS 靜態相對定位基線向量穩定性分析之研究，國防大學中正理工學院軍事工程研究所碩士論文，桃園，2002。
- [5] Federal Geodetic Control Committee (FGCC), Geometric geodetic accuracy standards and specifications for using GPS relative positioning techniques, pp. 1-3 , 1988.
- [6] Intergovernmental Committee for Surveying and Mapping (ICSM), Standards and practices for control surveys (SP1) Version 1.7, pp. A1-A17, 2007.

- [7] University of Bern, Bernese GPS software Version 5.0, 2007.
- [8] <http://www.trimble.com>, Trimble total control Version 2.7, 2002.
- [9] 張嘉強、李振燾、陳文豐，“GPS 檢測基本控制點精度標準之擬訂”，第三十屆測量學術發表會專輯，第 115-130 頁，2002。
- [10] 內政部，內政部辦理一等、二等衛星攢制點測量作業規範，第 2 頁，1994。
- [11] 內政部，基本測量實施規則，第 11 頁，2007。
- [12] 內政部，數值法地籍圖重測作業手冊，第 4 章，第 1-23 頁，2004。