

第一章 緒論

第一節 前言

光波測距經緯儀（電子測距經緯儀）目前已被廣範的應用於各項測量作業，以本局業務範圍而言，應用業務包括導線測量、圖根測量及戶地測量..等。角度及距離為測量的兩項根本要素，所有的測量成果均是由這兩項要素經由數學演算推導出各項有用的資訊，而光波測距經緯儀即提供了快速獲取角度及距離觀測的基本工具。

除了「快速」的目的外，另一項測量相當注重的要求即為「準確」，因此儀器本身的穩定性即決定了測量成果的品質。然而光波測距經緯儀由於長期的搬運及使用，儀器本身是否維持著出廠時的規格（精度），則必須透過檢校來加以驗證。

第二節 研究目的

本局自辦理重測業務以來，為確保測量成果品質以維護人民土地關的權益，在相關作業手冊均規定辦理各項作業前必須先將儀器進行檢校作業，以確保儀器精度無誤，始可進行實際觀測作業，現將本局電子測距經緯儀檢校作業之發展敘述如下：

- (1) 民國 78 年應業務需要即於黎明辦公區建立基線場，辦理儀器驗收及檢校作業，並於 81 年要求所屬測量隊於轄區內建置簡易基線場，並將成果記錄於記錄表手動計算儀器誤差。
- (2) 85 年鑑於電腦作業普及，遂委託工業技術研究院量測技發展中心開發「電子測距經緯校正分析軟體」，包括測距檢校及測角檢校計算功能，大幅提升本局儀器校正能力及成果品質。
- (3) 由於工研院開發之「電子測距經緯校正分析軟體」係 DOS 平台之軟體，鑑於 Windows 作業系統已普及大部分電腦執行 DOS 程式有相當之不便，自 91 年起由本局利用 Microsoft

Excel 工具軟體巨集功能，撰寫巨集指令，操作界面親善且容易使用。

- (4) 民國 94 年，由於本局使用個人數位輔助工具 (PDA) 辦理地籍圖重測外業自動化已臻成熟。為進一步落實測量儀器之檢校及簡化檢校成果資料彙整與減少人工記錄產生錯誤機會，自 94 年起自行開發 PDA 輔助檢校作業程式，並於 95 年經測試正常後正式上線使用，同時並於本局辦公大樓前安全島建置強制對心式固定基樁基線場 (以下稱黎明基線場)，進一步擴充本局測距儀器檢校之作業能力及能量。

全國認證基金會 (Taiwan Accreditation Foundation, TAF) 係國內辦理第三者認證服務之單一機構，並提供符合國際規範、社會經濟發展所需求之公正、客觀、獨立之認證服務。為落實本局儀器檢校作業之品質管理制度，並提供相關政府機關多元服務，推動儀器檢校實驗室認證實為本局未來努力方向。TAF 目前係採 ISO/IEC 17025 為實驗室認證的規範，該規範第五章 5.4.6 節規定，實施校正或內校之實驗室應使用程序以估算實驗室之量測不確定度。本研究的主要目的即依據 ISO/IEC 17025 對量測不確定度的要求，評估本局固定式基樁基線場之量測不確定度。

第二章 電子測距誤差來源分析

第一節 電子測距原理

電子測距基本原理是利用測定電磁波（光波）在測線兩端點間往返傳播的時間的 T ，電磁波在大氣中的傳播速度為 V ，則測線兩端的距離為 L ，如下式所列：

$$L = \frac{VT}{2} \quad (2-1)$$

電子測距依其採用的載波不同可分為光波（Lightwave）測距及微波（Microwave）測距。光波測距採用的載波為可見光或紅外線，而微波測距採用的載波為微波段的無線電波，微波測距主要應用於長距離的基線測量（最大可達約 60km），（惟近年來衛星定位技術發達並被廣範應用後，微波測距正逐漸被取代）。光波（或稱光電，electro-optical）測距屬短距離的電子測距，亦是目前市面上電子測距經緯儀的主流，本文要探討的即為短距離光波測距經緯儀，其測距方式又可分為直接式（脈衝）及間接式（相位）兩種。

（一）脈衝式電子測距

即直接測定電磁波在直線上兩端往返行進時間 t （如圖 2-1），按 2-1 式測得距離。

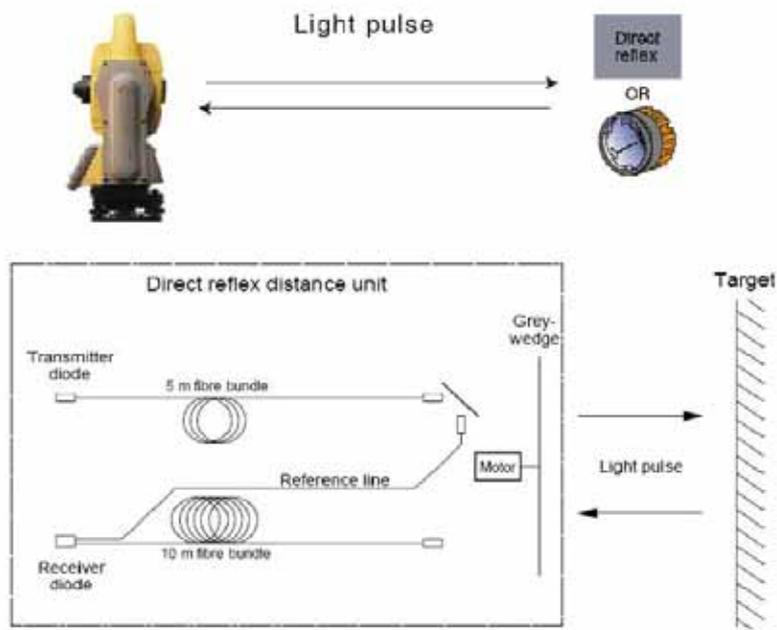


圖 2-1 脈衝式電子測距理

(二) 相位式電子測距

即量測電磁波再一直線兩端往返行進的整週波數及小數波長 $\Delta\lambda$ (相位差) 求得，如圖 2-2 所示，計算式如下

$$L = \frac{N\lambda + \Delta\lambda}{2} \quad (2-2)$$

N：整數週波數

λ ：波長

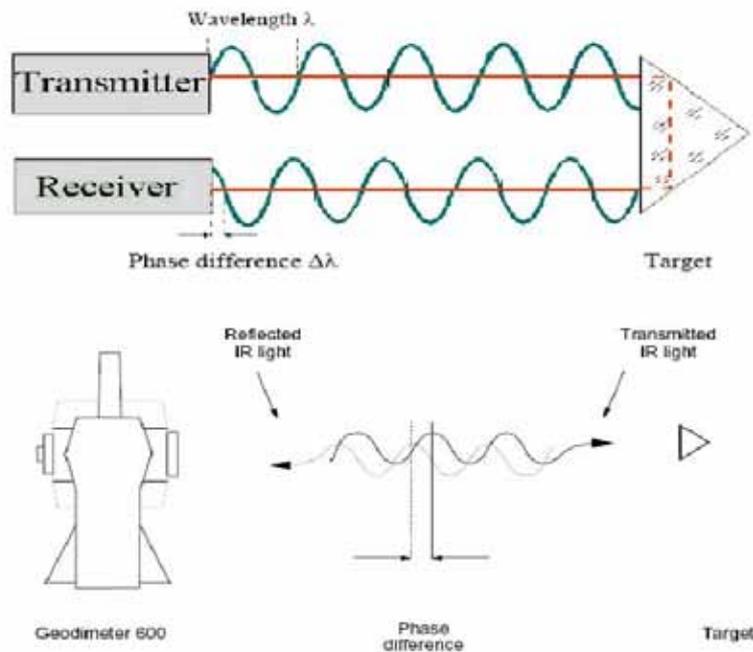


圖 2-2 相位式電子測距原理

第二節 電子測距誤差來源

短距離的電子測距之誤差來源包括：

(一) 自然誤差

即觀測時的氣溫、大氣壓力及濕度與電子測距儀製造時所設定的值不同造成的誤差，2-1 式可進一步以下列方式表示：

$$L = \frac{VT}{2} = \frac{V_0}{2n} T \quad (2-3)$$

V_0 ：真空中的光速值，為 299792.5 km/s

n ：大氣折射率

對於單色光波在大氣標準狀態下（溫度 0°C、大氣壓力 P 為 760mmHg、水蒸汽壓力 e 為 0mmHg、二氧化碳為 0.03%），大氣折射率 n_s 為

$$n_s = 1 + \left(287.604 + \frac{4.8864}{\lambda^2} + \frac{0.0680}{\lambda^4} \right) \times 10^{-6} \quad (2-4)$$

其中 λ 為波長（單位為 mm）。在一般大氣條件下，大氣折射率 n 可由下式求得

$$n = 1 + \frac{(n_s - 1)}{1 + \alpha t} \times \frac{P}{760} - \frac{5.5 \times 10^{-8}}{1 + \alpha t} \times e \quad (2-5)$$

式中 α 為空氣膨脹係數 $\alpha=1/273.2$ 。因此由 2-5 式可知，影響折射率的因素有包括有溫度（ t 單位 $^{\circ}C$ ）、壓力（ P 單位 $mmHg$ ）、濕度（ e 或為蒸汽壓力，單位 $mmHg$ ）及電磁波波長，其中在短距離的電子測距中，由於上式第三項濕度影響很小，可忽略不計，因此上式可簡化為

$$n \approx 1 + \frac{(n_s - 1)}{1 + \alpha t} \times \frac{P}{760} \quad (2-6)$$

因此，一般對電子測距儀之測量值所進行之大氣改正即是為消除此部分的誤差。現今之電子測距儀均內建有大氣改正之功能，使用者只需先量測觀測當時的溫度及壓力，將值輸入儀器，並將儀器中自動修正之功能開啟，則儀器的測量值即是經大氣改正的值。

（二）儀器誤差

即電磁波的頻率偏移及儀器常數誤差，當電子測距儀及反射器經長時期的使用及搬運，均會產生此部分的誤差，分述如下。

（1）頻率偏移：一般亦稱為尺度誤差（乘常數），如下式所列：

$$D = D' \cdot K = D' \cdot f' / f \quad (2-7)$$

D ：正確之距離 D' ：觀測之距離

f ：設計之參考頻率 f' ：實際發射頻率

K：尺度誤差

- (2) 常數誤差：即電子測距儀電子中心與儀器之垂直軸不一致，反射稜鏡之反射中心與其垂直軸亦不一致，合稱零點誤差（加常數），如圖 2-3 所示。

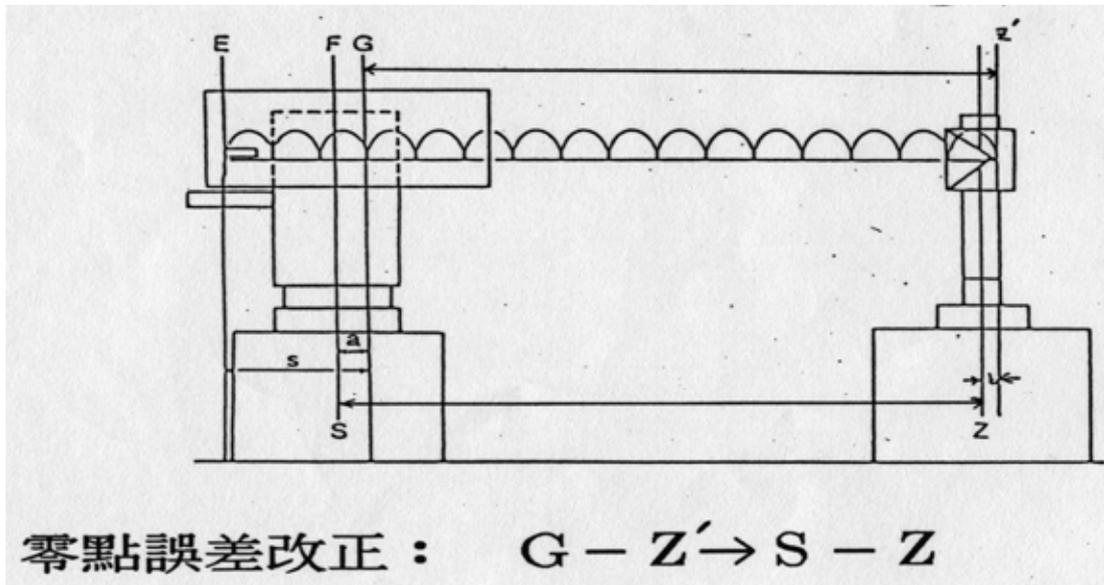


圖 2-3 儀器零點誤差示意圖

儀器誤差的測定，必需定期與已知的標準基線校驗，來確保儀器的品質。

(三) 人為誤差

儀器未架設完全、操作不正確、儀器或反射器對心不佳及目標瞄準等均為人為誤差的來源。

第三章 電子測距基線場建立

電子測距基線場建置的目的即在提供標準基線，以校正出待校正儀器是否有尺度誤差及常數誤差，驗證測距儀器的品質。本局目前建置的基線場包括簡易電子測距基線場及固定式基樁電子測距基線場，分述如下。

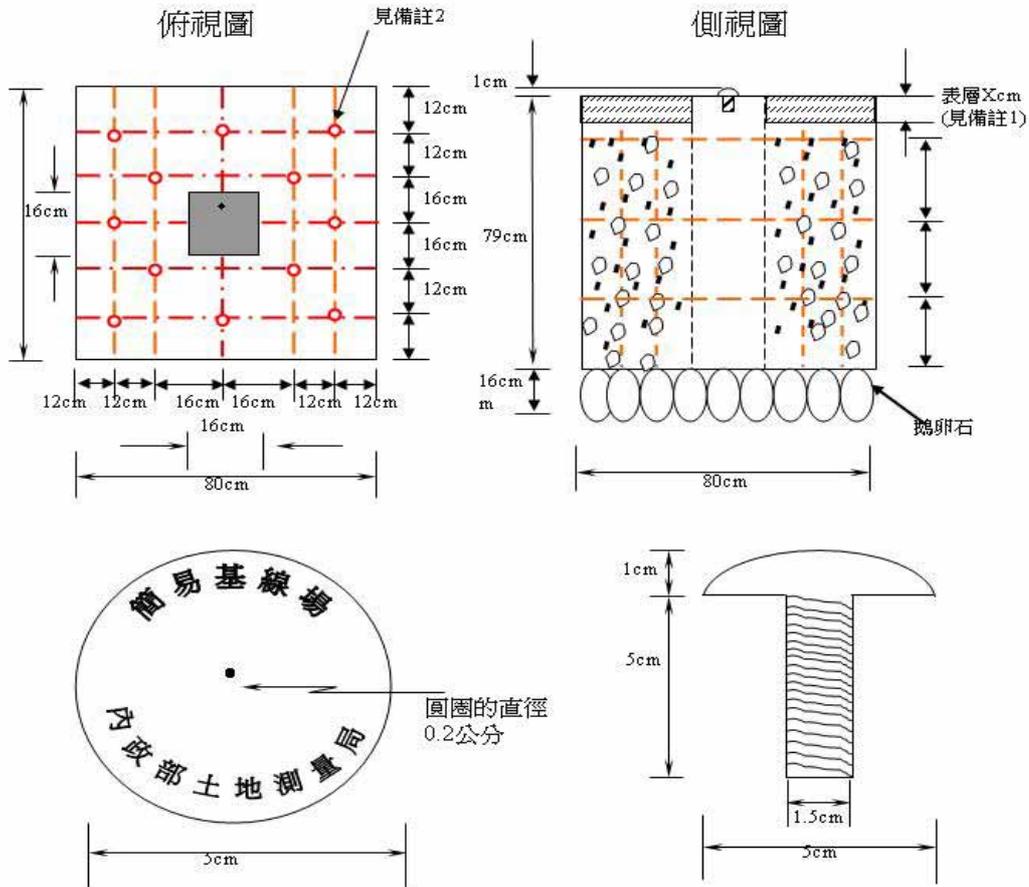
第一節 簡易電子測距基線場

本局目前全省設置有 10 處簡易電子測距基線場，位置如表 3-1，主要提供本局各測量隊及工作站辦理測距儀器檢校。簡易基線場主要是於地面下埋設基樁，並於基樁上設置不鏽鋼標，各簡易基線場的設置規格如圖 3-1 所示，基樁配置如圖 3-2 所示，成圖如圖 3-3 所示。

表 3-1 本局簡易基線場位置及現況表

本局單位	基線場名稱	行政區	設置地點	現況
第一測量隊	大安森林公園	台北市	大安森林公園人行道	95m 樁遭施工覆蓋, 暫停使用
	宜蘭運動公園	宜蘭縣	宜蘭市縣立體育公園內	正常
	大漢技術學院	花蓮縣	大漢技術學院校園內	正常
第二測量隊	中央大學	中壢市	中央大學校園內	正常
	勝利水庫	連江縣	南竿勝利水庫堤防上	正常
第四測量隊	員林農工	員林鎮	員林農工校園內	正常
	世賢國小	嘉義市	世賢國小旁人行道	正常
第五測量隊	澎湖馬公	馬公市	澎湖國家公園管理處前	正常
	鳳山中山公園	鳳山市	中山公園人行道旁	正常
第六測量隊	屏東高工	屏東市	屏東市屏東高工校園內	正常

簡易電子測距基線場樁位形式及不鏽鋼標規格



備註：

1. 埋設樁位後以恢復原始地表表層為原則，表層厚度 (X) 依恢復實地原表層材質之需因地制宜，若為草地或水泥地則不留表層 (X=0)。
2. 為穩固基石，開挖範圍內應配置鋼筋，其配置如俯視圖及側視圖虛線所示，為豎筋位置，鋼筋採3/8" 竹目鋼筋。
3. 基樁材質為青石或花崗石或觀音石，不鏽鋼標材質為#316不鏽鋼。
4. 混凝土採現場以水泥：砂：碎石=1:2:4拌合或210kg/cm²預拌混凝土。
5. 不鏽鋼標應以AB膠固定於基樁中心點上。

圖 3-1 簡易基線場規格

7支樁配置圖

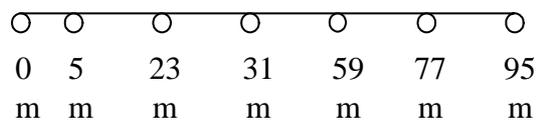


圖 3-2 簡易基線場基樁配置



圖 3-3 簡易基線場樁位完成圖

第二節 固定式基樁基線場

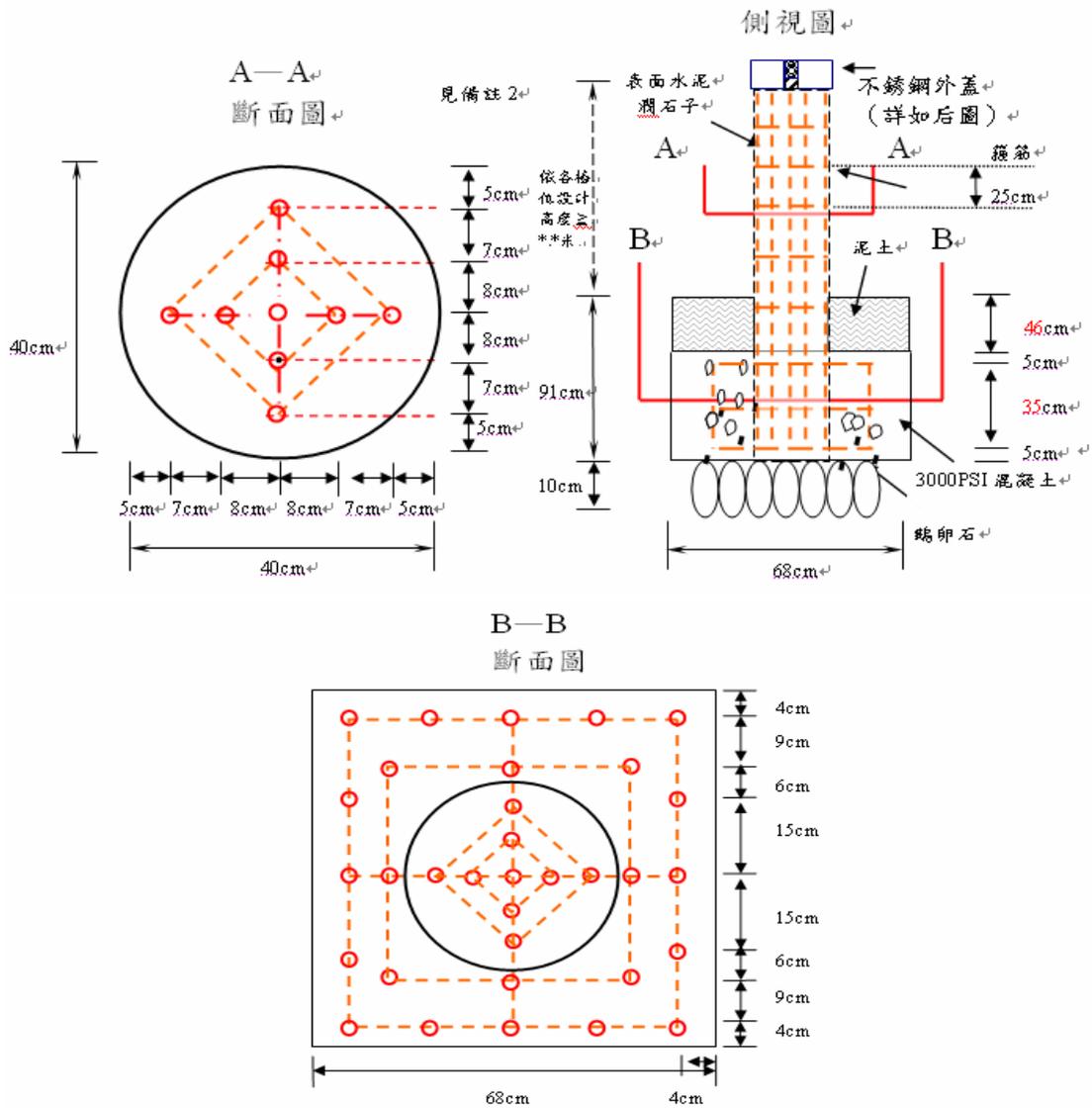
本局辦公大樓前基線場即屬固定式基樁基線場（以下稱黎明基線場），基樁規格如圖 3-4 及 3-5 所示，基樁配置如圖 3-6 所示，建置完成圖如圖 3-7 所示。

固定式基樁基線場與簡易基線場主要不同在於固定式基樁基線場為高出地面的基樁設計，並於基樁上安置強制對心基座，具有下列特點：

- (1) 儀器及稜鏡直接安置於基樁的基座上，減少儀器架設時的對心誤差，提高基線標準值測定的精度。
- (2) 儀器架設時不需如地面基樁式操作腳架對心，作業速度快，效率高，減少人為誤差的發生。

黎明基線場自 95 年 1 月建置完成後，目前固定每月約 1-2 次基線測量，求得各基樁間的標準距離及分析基線場的穩定性。

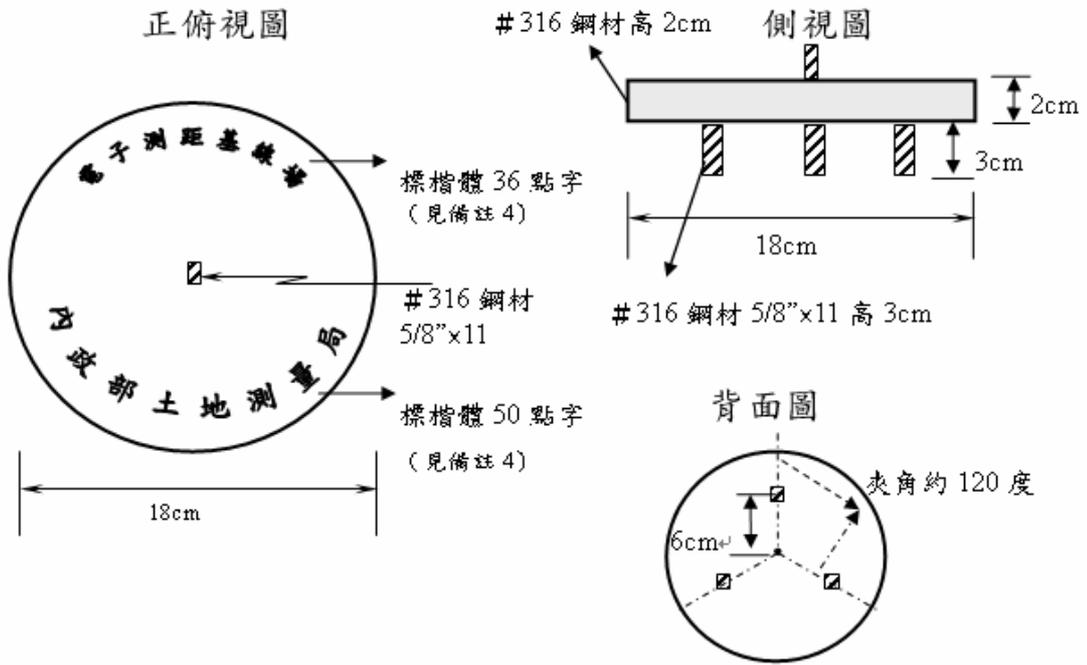
強制對心式電子測距基線場樁位形式及不鏽鋼盤規格



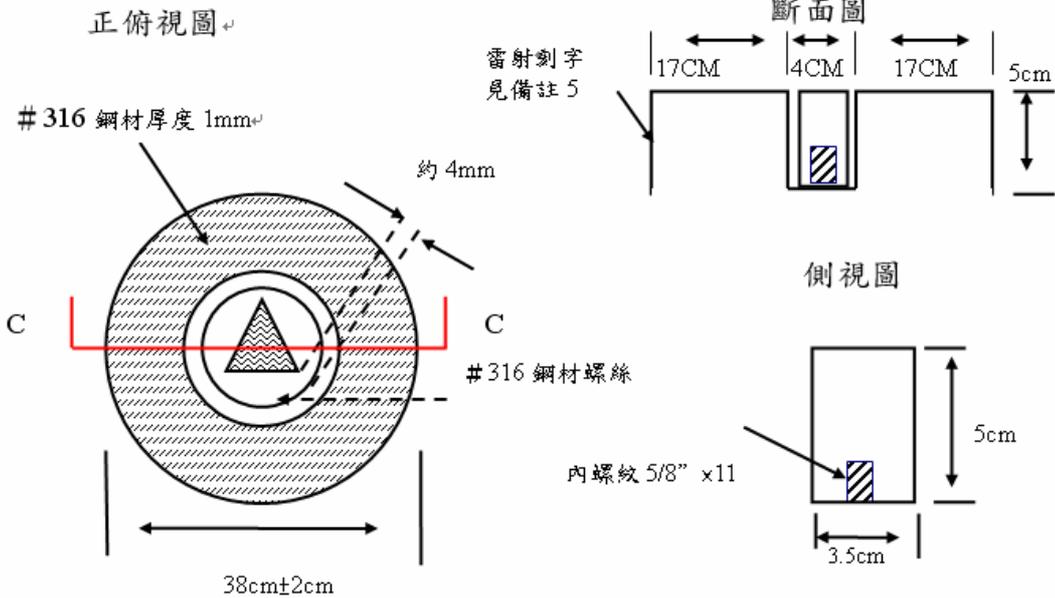
- 備註：1. 為穩固基石，開挖範圍內應配置鋼筋，其配置如俯視圖及側視圖虛線所示，○為豎筋位置，鋼筋採 10φ 鋼筋。
 2. 基樁數量共 9 支，設置位置由本局指定，基樁預拌混凝土強度需至少達 3000psi。

圖 3-4 強制對心規格圖 1

基線場不銹鋼盤規格



不銹鋼蓋及不銹鋼螺絲



- 備註：3.不銹鋼螺絲正俯視圖三角形部分為下凹 5.0 mm。
 4.不銹鋼圓盤採刻字字體大小如圖標示 (深度 1mm)。
 5.不銹鋼蓋外緣刻「內政部土地測量局 電子測距基線場」正楷 (字大小為 72)。
 6.以上所有尺寸如未標示容許誤差時，均不得大於 10% 之尺寸誤差。

圖 3-5 強制對心規格圖 2

9支樁配置圖

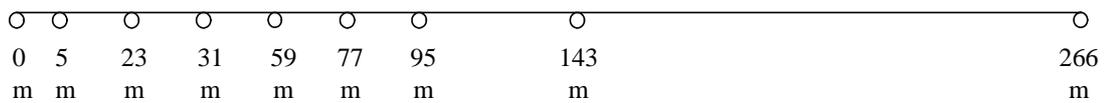


圖 3-6 基線場樁位配置圖



圖 3-7 固定式基樁完成圖

第三節 基線場運作管理

本局目前除黎明電子測距基線場（強制對心基座）外，在各測量隊轄區共有 10 處簡易電子測距基線場（地面基樁式），各簡易基線場之管理及維護係依本局「內政部土地測量局簡易電子測距基線場設置維護使用要點」規定辦理，且為符合國內認證機構（全國認證基金會）對儀器校正（或內校）有關量測追溯性的要求，本局儀器檢校之標準件每年均送至工研院量測中心國家標準基線場檢校合格後，再至各簡易基線場測定標準距離，以完成儀具及基線場的一級追溯。

本局各簡易基線場目前除供本局各測量隊辦理儀器檢校外，亦提供各相關單位（基線場所在縣市政府、地政事務所等）儀器檢校業務需要使用。至黎明電子測距基線場目前以辦理本局儀器檢校為主，惟相關地政機關如需利用本場地辦理儀器檢校，在本局作業時間許可範圍內可協助儀器檢校服務，惟僅能提供檢校精度分析表，無法出具正式檢校報告。

未來本局將建立標準作業流程與文件程序品質管理機制，朝取得全國認證基金會（TAF，ISO 17025）儀器檢校實驗室認證努力，以

進一步提供客觀公正的儀器檢校服務。

第四節 基線測量作業

(一) 本局標準件

為管理及測定本局各簡易基線場，本局 93 年採購精密電子測距經緯儀乙部，作為基線測量使用之標準件，儀器主要規格如表 3-1 所示。

表 3-2 本局標準件主要規格表

儀器廠牌	Trimble
型號	3601
測角精度	1"
角度最小讀數	0.1"
測距精度	1mm + 1ppm * D
測距最小讀數	0.1mm
具雙軸自動補償	補償範圍5'
電子管汽泡	靈敏度0.3"
溫度計	儀器本體具溫度計，可設定大氣改正

本標準件每年均會送至工業技術研究院量測中心國家標準基線場檢校，除可了解儀器的精度及確保測量成果外，將儀器送至國家基線場屬一級追溯，亦符合本局將來申請全國認證基金會（Taiwan Accreditation Foundation，TAF）實驗室認證要求。本標準件除測定本局黎明基線場及所屬各測量隊之簡易基線場外，不做任何其它業務使用。

(二) 基線測量前之準備

1. 事先將儀器電池充電，並準備觀測所需之器具，包括反射稜鏡、稜鏡對心基座、溫度計及壓力計。
2. 稜鏡對心基座於觀測前需實施檢查，反射稜鏡必需為標準件送校正時所用之稜鏡。
3. 儀器操作人員需熟悉儀器功能及操作，觀測前需先將儀器取

出，檢視外觀及一般功能，檢查設定單位 $m/^{\circ}C/mbar$ ，大氣改正功能設ON，軸系補償設ON，檢查儀器送校之慮定值（乘常數及加常數）是否為設定值。

4. 觀測前 10-20 分鐘需先將儀器架設於基線場，讓儀器適應環境溫度及壓力。

5. 觀測前使用溫度計及壓力計量測施測環境之溫度及壓力，並將量測值輸入儀器後始可開始觀測。

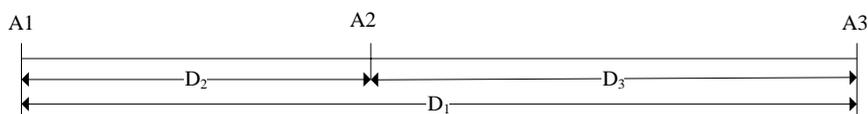
（三）基線量測

基線測量所使用之標準件，每年均會送至國家基線場檢校（精度檢查），以驗證儀器是否存在有乘常數及加常數，並將校正值設定於儀器上，始可進行基線測量。

為檢查儀器檢校後儀器常數是否有變動，降低儀器本身的誤差對基線測量的影響，提高基線測量之可靠度，基線測量前將依儀器原廠使用手冊的建議，實施儀器的加常數查核，另為了解本基線場基線距離的變化情形及後續基線嚴密平差計算，基線測量將採簡易基線測量及全組合基線測量，分述如下：

1. 測距加常數查核

即儀器誤差中常數誤差的查核，依儀器原廠的建議，儀器需定期使用下列簡易方法進行測距儀加常數查核。



(1) 將儀器置於A1，觀測稜鏡A3，得距離 D_1 。

(2) 將儀器置於A2，觀測稜鏡A1及A3，得距離 D_2 及 D_3 。

若儀器含有常數誤差（C），可由下式計算而得

$$D_1 + C = (D_2 + C) + (D_3 + C)$$

$$C = D_1 - (D_2 + D_3) \quad (3-1)$$

本局標準件 (Trimble 3601) 自 93 年採購起，每年均定期送至工業技術研究院量測中心國家標準基線場進行儀器檢校，檢校後均將檢校值設定於儀器中，以消除儀器誤差對標準距離觀測作業的影響，本局標準件 93-95 年送至工研院量測中心檢校之加常數及乘常數變化表如表 3-3 所示。

表 3-3 本局標準件 (Trimble 3601) 檢校值

送校日期	加常數 C(mm)	乘常數 S(ppm)	報告編號
93 年 5 月 14 日	0	0	B930312R
94 年 5 月 3 日	2.8	0	B940186
95 年 4 月 24 日	1.5	0	B950359

由表 3-2 可推論儀器的乘常數誤差較不易變動，加常數誤差則可能由於儀器 (或稜鏡) 的經常性移動及使用而有所變化，因此在進行黎明基線場全組合基線測量時，為使測量成果更具可靠性，於測量前先將儀器置於 0M 基樁處，觀測 95M 基樁處稜鏡 (D₁)，儀器再置於 59M 基樁處，觀測 0M 及 95M 基樁處稜鏡 (D₂ 及 D₃)，利用 (3-1) 式計算儀器常數誤差 C 如表 3-3，其中「設定 C」一欄的值為送工研院檢校的成果值，「檢核 C」一欄為計算出的觀測時儀器的常數誤差，由表 3-3 可得，2006/3/31 及 2006/4/18 計算出的 C 值已超出本局標準件規格 (1mm + 1ppm)，推論儀器加常數值已改變，此結果和今年 (95) 與去年檢校出的值差異由 2.8mm 改變為 1.5mm，改變量 -1.3mm 相符 (由表 3-2 比較)，此結果將於後續成果計算中進一步驗證。

表 3-3 儀器常數誤差檢核表

日期	設定 C(M)	0-95	59-0	59-95	檢核 C(M)
2006/3/31	0.0028	95.0143	59.0126	36.0033	-0.0016
2006/4/18	0.0028	95.0146	59.0127	36.0035	-0.0016
2006/6/1	0.0015	95.0133	59.0109	36.0020	0.0004
2006/6/22	0.0015	95.0139	59.0121	36.0013	0.0005
2006/7/26	0.0015	95.0134	59.0119	36.0014	0.0001
2006/8/29	0.0015	95.0132	59.0117	36.0020	-0.0005
2006/9/14	0.0015	95.0129	59.0112	36.0019	-0.0002

2.全組合基線場測量

全組合基線測量方式即是將儀器依序設置在 0m、5m、23m、31m、59m、77m、95m、143m 等處基樁，分別觀測設置在 5m、23m、31m、59m、77m、95m、143m、266m 等處反射稜鏡，每次觀測正鏡觀測 6 次，倒鏡觀測 6 次，並記錄於觀測計錄表，如圖 3-8 所示。

全組合觀測之目的是為進行各基樁標準距離嚴密平差計算以求本基線場各樁位間之標準距離，本年度每月之全測段觀測資料詳附錄 1，各觀測值之平均值如附錄 2。

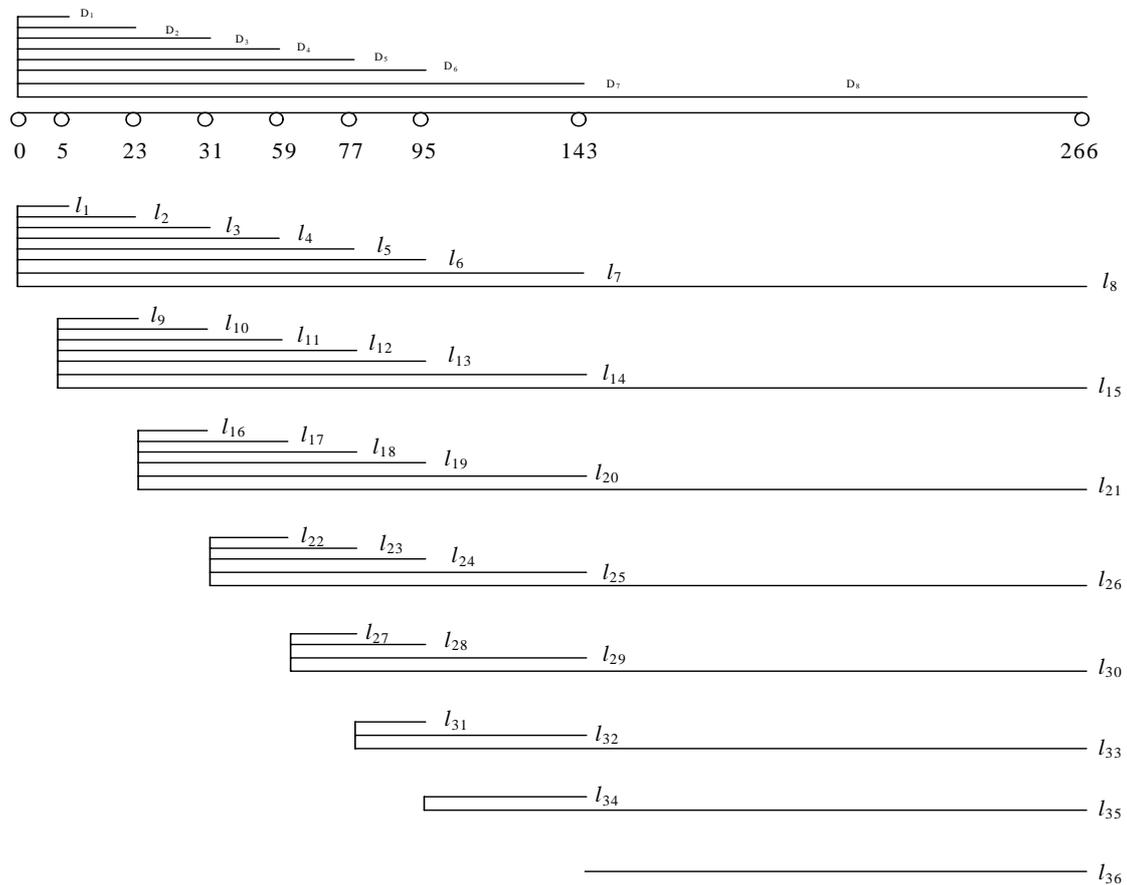


圖 3-8 全組合觀測示意圖

3.簡易基線測量

簡易基線測量方式即是將儀器依序設置在 0m、5m 處基樁，分別

觀測設置在 5m、23m、31m、59m、77m、95m、143m、266m 等處反射稜鏡，每次觀測正鏡觀測 6 次，倒鏡觀測 6 次，並記錄於觀測計錄表。

簡易基線測量之目的是為縮短觀測時間，了解基樁間的距離變化及基樁穩定性，本年度實施之簡易基線測量及全組合測量之 0m 及 5m 觀測散佈圖如圖 3-9 至圖 3-23，數值表詳附錄 3。

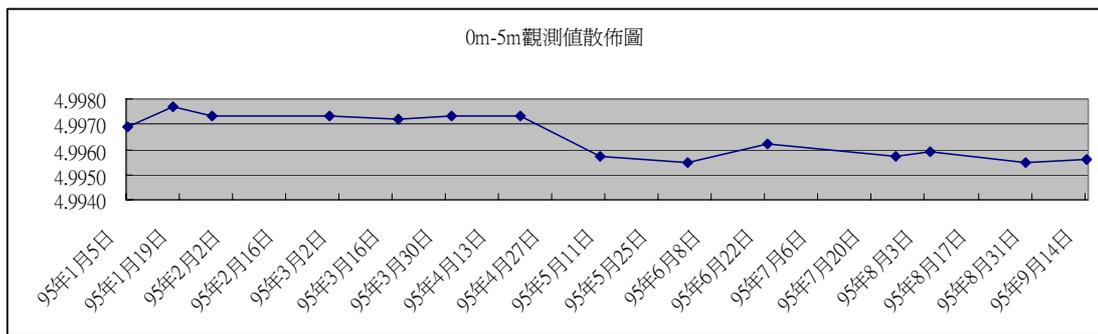


圖 3-9 0m - 5m 觀測散佈圖

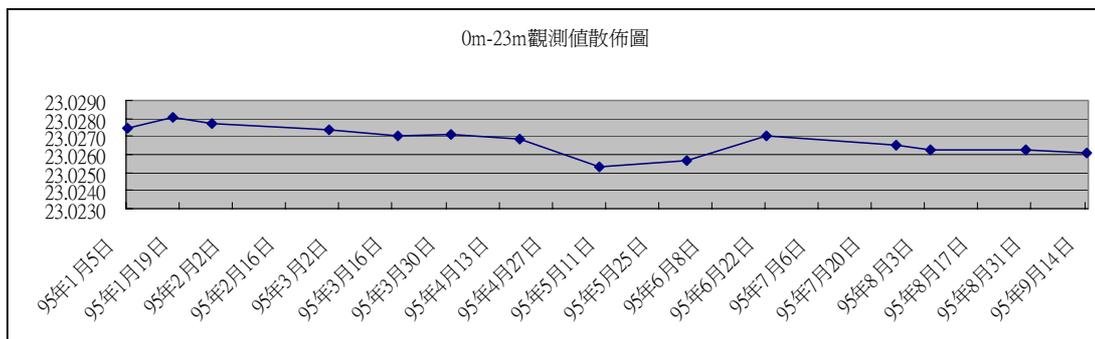


圖 3-10 0m - 23m 觀測散佈圖

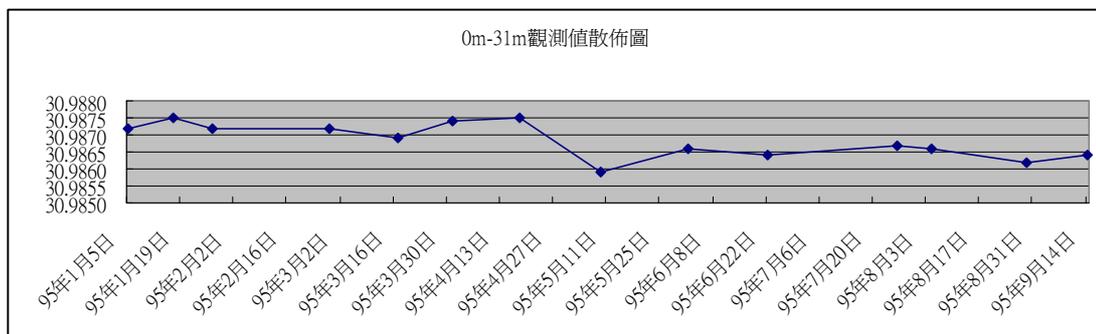


圖 3-11 0m - 31m 觀測散佈圖

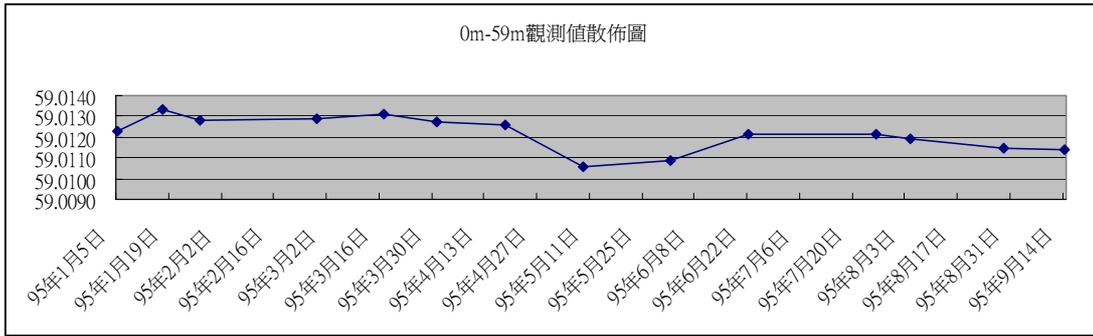


圖 3-12 0m - 59m 觀測散佈圖

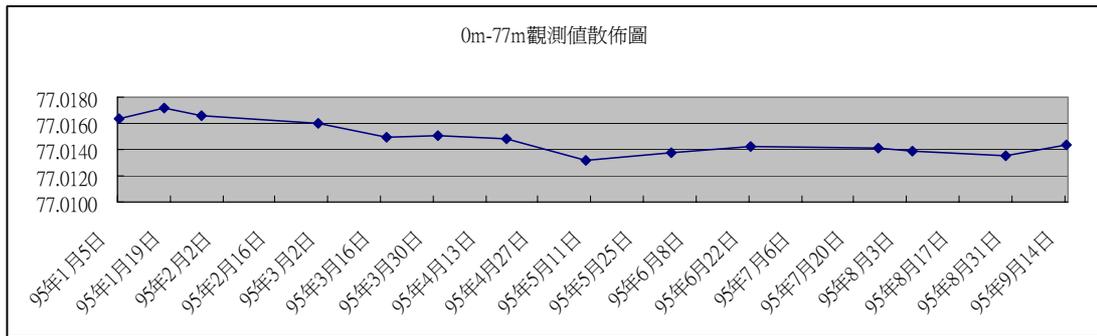


圖 3-13 0m - 77m 觀測散佈圖

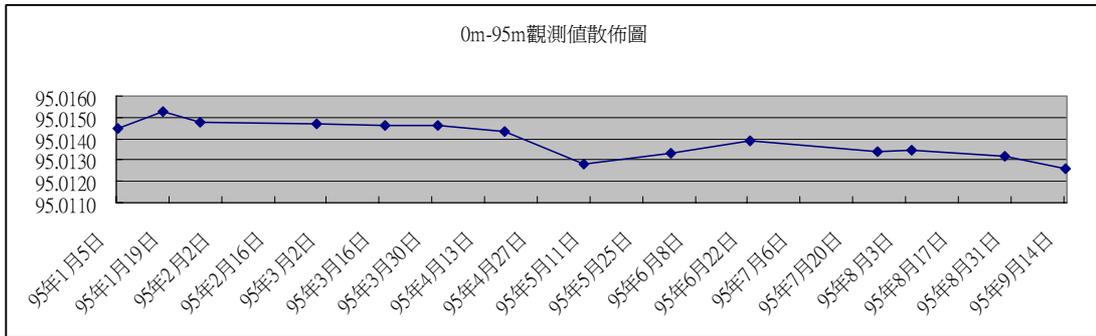


圖 3-14 0m - 95m 觀測散佈圖

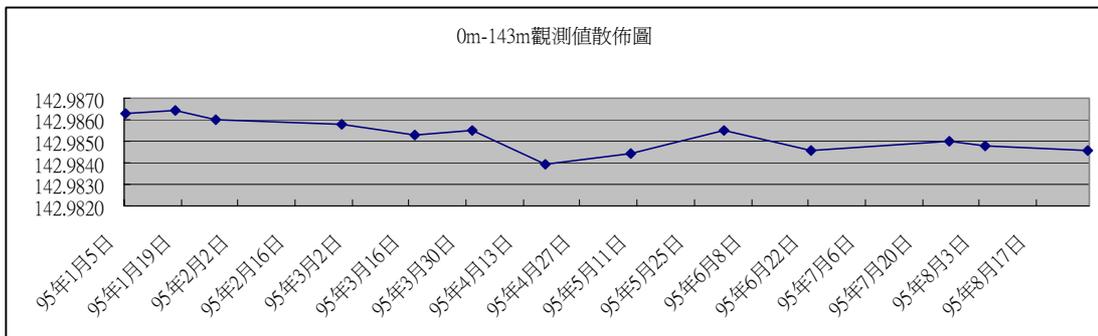


圖 3-15 0m-143m 觀測散佈圖

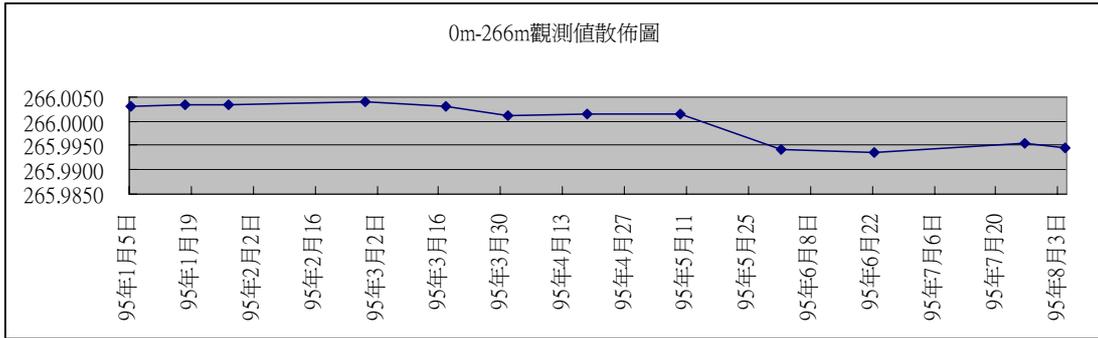


圖 3-16 0m - 266m 觀測散佈圖

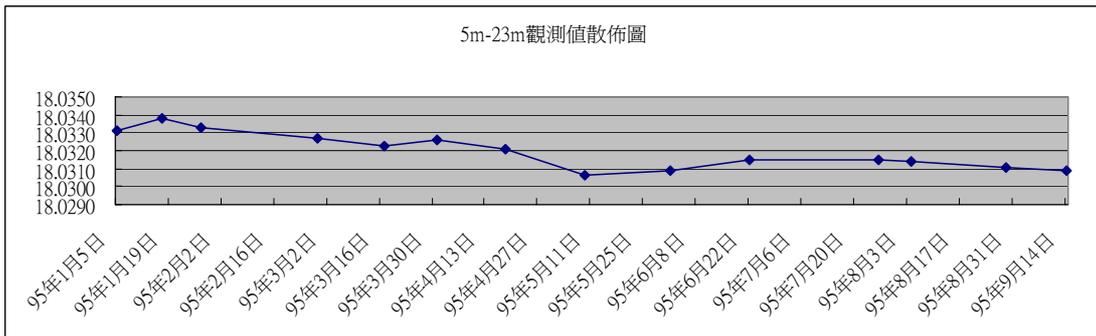


圖 3-17 5m - 23m 觀測散佈圖

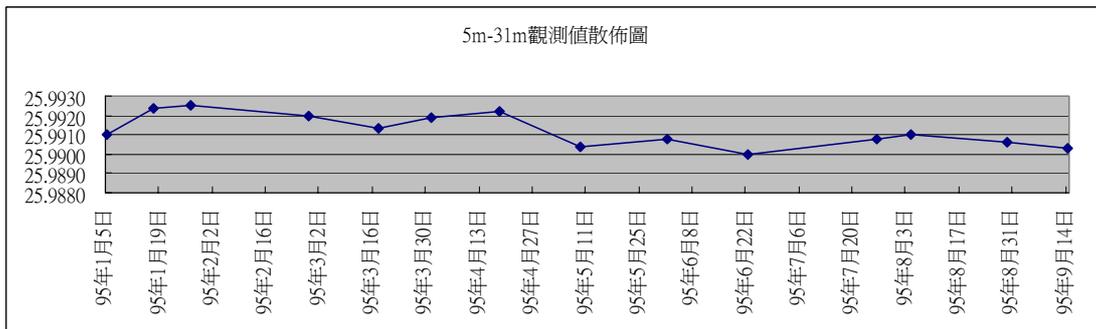


圖 3-18 5m - 31m 觀測散佈圖

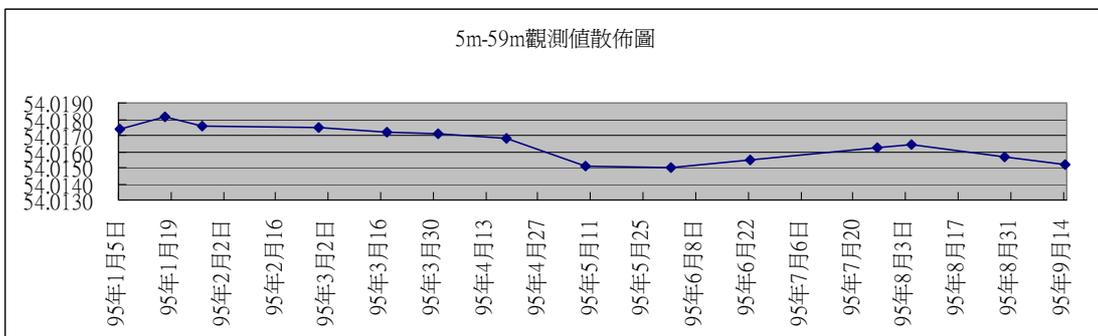


圖 3-19 5m - 59m 觀測散佈圖

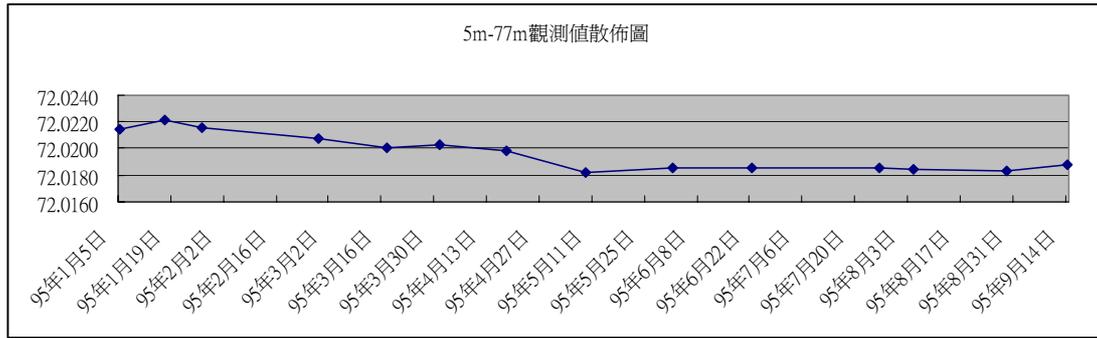


圖 3-20 5m - 77m 觀測散佈圖

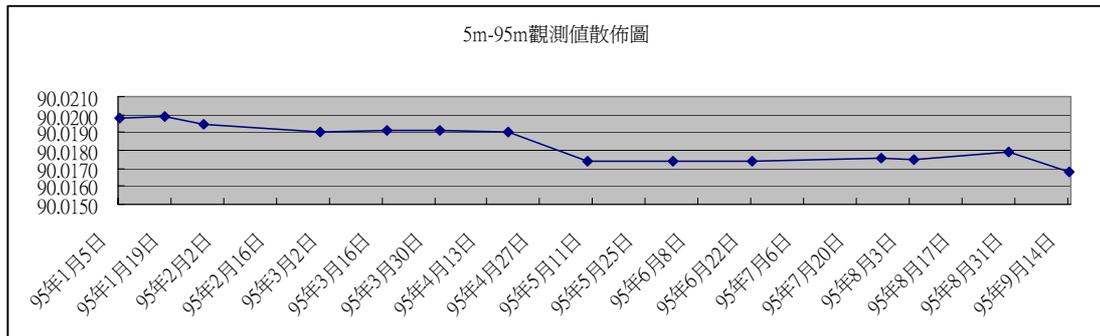


圖 3-21 5m - 95m 觀測散佈圖

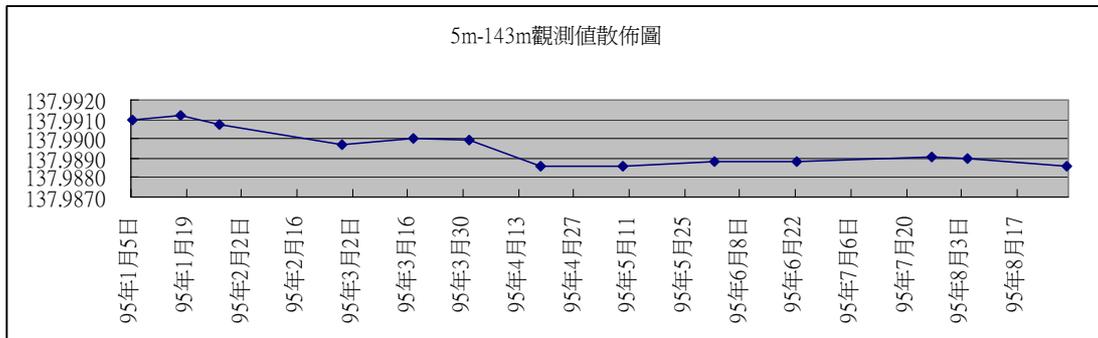


圖 3-22 5m - 143m 觀測散佈圖

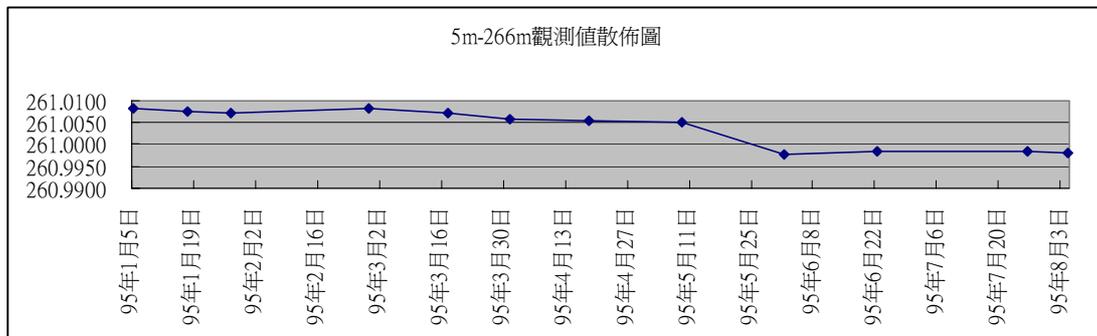


圖 3-23 5m - 266m 觀測散佈圖

第五節 基線標準距離計算

(一) 平差模式建立

至 95 年 8 月止，本基線場已進行 5 次全組合觀測，基線測量觀測所得數據，將利用整體嚴密平差方程式，採用間接平差法進行最小二乘平差計算，求得最佳參考標準距離、乘常數及加常數。模式說明如下：

觀測距離 = 標準距離 - 乘常數 * 標準距離 - 加常數

各段標準距離假設為 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_7 、 D_8

乘常數 S 、加常數 C

各觀測值 l 之剩餘差 v_i

觀測方程式為 $l_i + v_i = D_i - SD_i - C$ (3-2)

採間接平差，可得平差計算式如下：

$$V_{n \times 1} = A_{n \times u} X_{u \times 1} - L_{n \times 1} \quad (3-3)$$

$L_{n \times 1}$ ：觀測量矩陣，本基線場 $n=21$ （僅測至 95m 全組合）或 36（測至 266m 全組合）。

$V_{n \times 1}$ ：剩餘差矩陣。

$A_{n \times u}$ ：係數矩陣， u 為未知數個數。

$X_{u \times 1}$ ：未知數矩陣。

經平差後可得 $X = N^{-1}n$

其中 $N = A^T P A$ ； $n = A^T P L$

P 為各觀測值的權矩陣，可由儀器規格計算而得

$$\text{驗後變方 } \sigma_0^2 = \frac{V^T P V}{n-u}$$

$$\text{未知數中誤差 } \sigma_x^2 = \sigma_0^2 N^{-1}$$

(二) 建立觀測方程式及成果計算

依上述討論，假設未知數為各段標準距離 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_7 、 D_8 （如圖 3-1 所示）及乘常數 S 、加常數 C ，依 (3-2) 式，可建立觀測方程式如下

$I_1+V_1=D_1-SD_1-C$
 $I_2+V_2=D_2-SD_2-C$
 $I_3+V_3=D_3-SD_3-C$
 $I_4+V_4=D_4-SD_4-C$
 $I_5+V_5=D_5-SD_5-C$
 $I_6+V_6=D_6-SD_6-C$
 $I_7+V_7=D_7-SD_7-C$
 $I_8+V_8=D_8-SD_8-C$
 $I_9+V_9=D_2-D_1-S(D_2-D_1)-C$
 $I_{10}+V_{10}=D_3-D_1-S(D_3-D_1)-C$
 $I_{11}+V_{11}=D_4-D_1-S(D_4-D_1)-C$
 $I_{12}+V_{12}=D_5-D_1-S(D_5-D_1)-C$
 $I_{13}+V_{13}=D_6-D_1-S(D_6-D_1)-C$
 $I_{14}+V_{14}=D_7-D_1-S(D_7-D_1)-C$
 $I_{15}+V_{15}=D_8-D_1-S(D_8-D_1)-C$
 $I_{16}+V_{16}=D_3-D_2-S(D_3-D_2)-C$
 $I_{17}+V_{17}=D_4-D_2-S(D_4-D_2)-C$
 $I_{18}+V_{18}=D_5-D_2-S(D_5-D_2)-C$
 $I_{19}+V_{19}=D_6-D_2-S(D_6-D_2)-C$
 $I_{20}+V_{20}=D_7-D_2-S(D_7-D_2)-C$
 $I_{21}+V_{21}=D_8-D_2-S(D_8-D_2)-C$
 $I_{22}+V_{22}=D_4-D_3-S(D_4-D_3)-C$
 $I_{23}+V_{23}=D_5-D_3-S(D_5-D_3)-C$
 $I_{24}+V_{24}=D_6-D_3-S(D_6-D_3)-C$
 $I_{25}+V_{25}=D_7-D_3-S(D_7-D_3)-C$
 $I_{26}+V_{26}=D_8-D_3-S(D_8-D_3)-C$
 $I_{27}+V_{27}=D_5-D_4-S(D_5-D_4)-C$
 $I_{28}+V_{28}=D_6-D_4-S(D_6-D_4)-C$
 $I_{29}+V_{29}=D_7-D_4-S(D_7-D_4)-C$
 $I_{30}+V_{30}=D_8-D_4-S(D_8-D_4)-C$
 $I_{31}+V_{31}=D_6-D_5-S(D_6-D_5)-C$
 $I_{32}+V_{32}=D_7-D_5-S(D_7-D_5)-C$
 $I_{33}+V_{33}=D_8-D_5-S(D_8-D_5)-C$
 $I_{34}+V_{34}=D_7-D_6-S(D_7-D_6)-C$
 $I_{35}+V_{35}=D_8-D_6-S(D_8-D_6)-C$
 $I_{36}+V_{36}=D_8-D_7-S(D_8-D_7)-C$

由表 3-2 可得知，本年度本局標準件送工研院檢校前後乘常數 S

並無變化，但加常數 C 卻有明顯的改變，由 2.8mm 改變為 1.5mm，改變量-1.3mm，此改變量已超出本局標準件規格（1mm+1ppm），此檢校結果亦與 2006/3/31 及 2006/4/18 全組合觀測前之加常數查核成果（表 3-3，均為-1.6mm）大致相符。因此基線計算時擬視儀器無乘常數誤差 S，即上述觀測方程式 S 項可略，各方程式改列如下：

$$V_1 = D_1 - C - l_1$$

$$V_2 = D_2 - C - l_2$$

$$V_3 = D_3 - C - l_3$$

$$V_4 = D_4 - C - l_4$$

$$V_5 = D_5 - C - l_5$$

$$V_6 = D_6 - C - l_6$$

$$V_7 = D_7 - C - l_7$$

$$V_8 = D_8 - C - l_8$$

$$V_9 = D_2 - D_1 - C - l_9$$

$$V_{10} = D_3 - D_1 - C - l_{10}$$

$$V_{11} = D_4 - D_1 - C - l_{11}$$

$$V_{12} = D_5 - D_1 - C - l_{12}$$

$$V_{13} = D_6 - D_1 - C - l_{13}$$

$$V_{14} = D_7 - D_1 - C - l_{14}$$

$$V_{15} = D_8 - D_1 - C - l_{15}$$

$$V_{16} = D_3 - D_2 - C - l_{16}$$

$$V_{17} = D_4 - D_2 - C - l_{17}$$

$$V_{18} = D_5 - D_2 - C - l_{18}$$

$$V_{19} = D_6 - D_2 - C - l_{19}$$

$$V_{20} = D_7 - D_2 - C - l_{20}$$

$$V_{21} = D_8 - D_2 - C - l_{21}$$

$$V_{22} = D_4 - D_3 - C - l_{22}$$

$$V_{23} = D_5 - D_3 - C - l_{23}$$

$$V_{24} = D_6 - D_3 - C - l_{24}$$

$$V_{25} = D_7 - D_3 - C - l_{25}$$

$$V_{26} = D_8 - D_3 - C - l_{26}$$

$$V_{27} = D_5 - D_4 - C - l_{27}$$

$$V_{28} = D_6 - D_4 - C - l_{28}$$

$$V_{29} = D_7 - D_4 - C - l_{29}$$

$$V_{30} = D_8 - D_4 - C - l_{30}$$

$$V_{31} = D_6 - D_5 - C - l_{31}$$

$$V_{32} = D_7 - D_5 - C - I_{32}$$

$$V_{33} = D_8 - D_5 - C - I_{33}$$

$$V_{34} = D_7 - D_6 - C - I_{34}$$

$$V_{35} = D_8 - D_6 - C - I_{35}$$

$$V_{36} = D_8 - D_7 - C - I_{36}$$

取各未知數近似值如下 $D_1=5$ 、 $D_2=23$ 、 $D_3=31$ 、 $D_4=59$ 、 $D_5=77$ 、 $D_6=95$ 、 $D_7=143$ 、 $D_8=266$ 、 $C=0$ ，利用(3-3)式及附錄1之各階段全組合觀測值，平差所得結果如表3-5、表3-6。

表 3-5 平差成果

觀測日期	觀測中誤差(m)	備註
95/3/31	0.00047	從 0 測
95/4/18	0.00033	從 0 測
95/6/1	0.00045	從 0 測
95/6/22	0.00040	從 0 測
95/7/26	0.00035	從 0 測
95/8/29	0.00044	從 0 測
95/9/14	0.00032	從266測回

表 3-6 平差後 0m 樁至各樁標準距離

次數	日期	設定 C	0-5	0-23	0-31	0-59	0-77	0-95	0-143	0-266	C
1	95/3/31	0.0028	4.9954	23.0257	30.9862	59.0109	77.0140	95.0126	142.9836	266.0006	-0.0017
2	95/4/18	0.0028	4.9954	23.0256	30.9861	59.0107	77.0136	95.0126			-0.0016
3	95/06/01	0.0015	4.9956	23.0261	30.9868	59.0106	77.0144	95.0127	142.9841	266.0008	-0.00004
4	95/06/22	0.0015	4.9962	23.0274	30.9867	59.0120	77.0147	95.0134	142.9850	266.0014	0.00002
5	95/7/26	0.0015	4.9957	23.0266	30.9867	59.0117	77.0144	95.0130	142.9843	265.9933	-0.00015
6	95/8/29	0.0015	4.9956	23.0263	30.9866	59.0113	77.0142	95.0133	142.9846	265.9943	0.00001
7	95/9/14	0.0015	4.9959	23.0263	30.9867	59.0115	77.0146	95.0130	142.9844	265.9943	0.00009

由表 3-6 可得，95/3/31 及 95/4/18 平差後成果之加常數 C 分別為 -1.7mm 及 -1.6mm，與表 3-3 加常數查核成果相符，95/5 依今年送工研院檢校資料重設加常數後（1.5mm），平差後成果之加常數 C 均小於儀器規格（1mm+1ppm），顯示標準件送校後加常數並無明顯變化。由表（3-6）各標準距離的散佈圖如圖 3-24 至圖 3-31 所示。

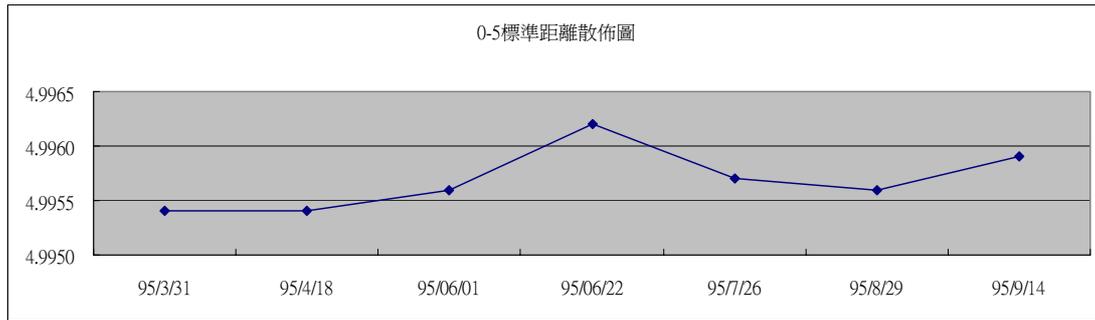


圖 3-24 0-5 標準距離散佈圖

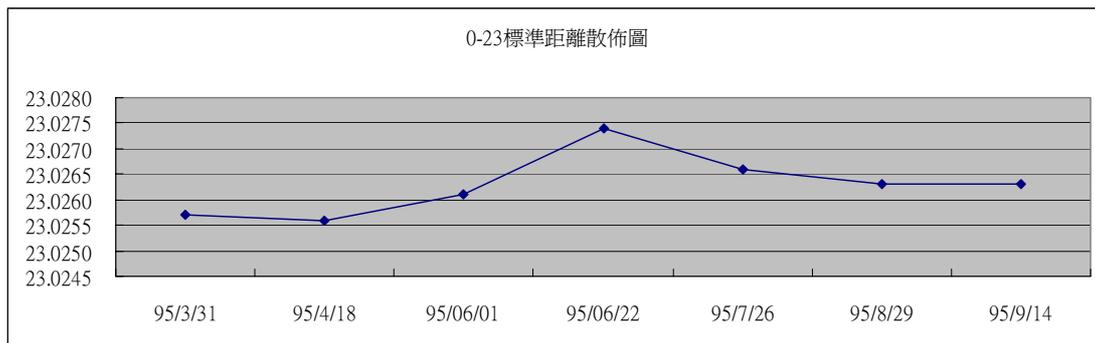


圖 3-25 0-23 標準距離散佈圖

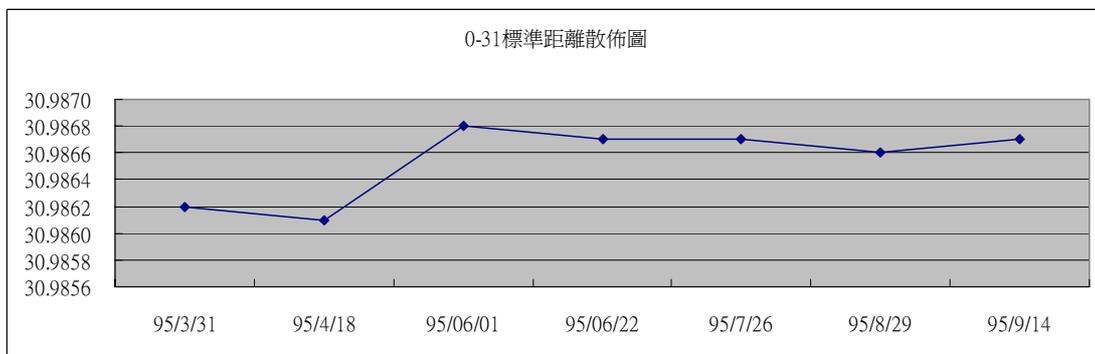


圖 3-26 0-31 標準距離散佈圖

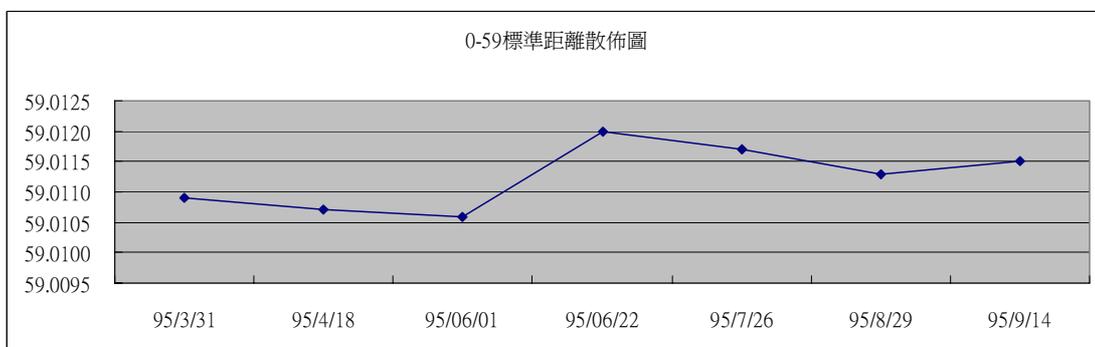


圖 3-27 0-59 標準距離散佈圖

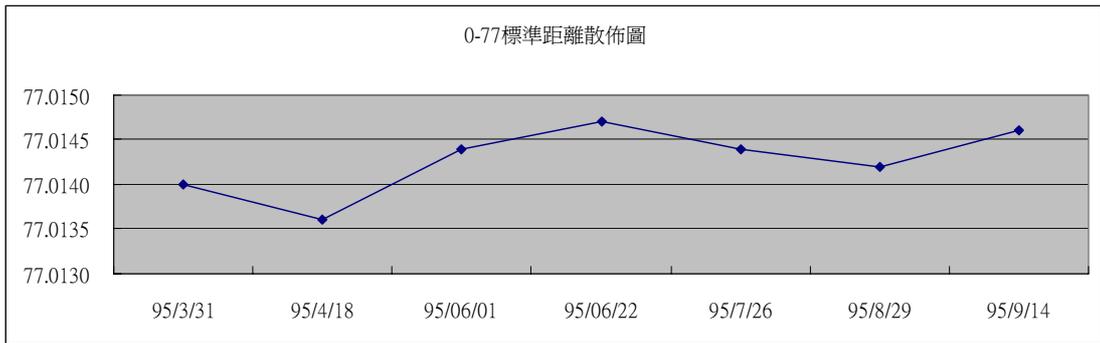


圖 3-28 0-77 標準距離散佈圖

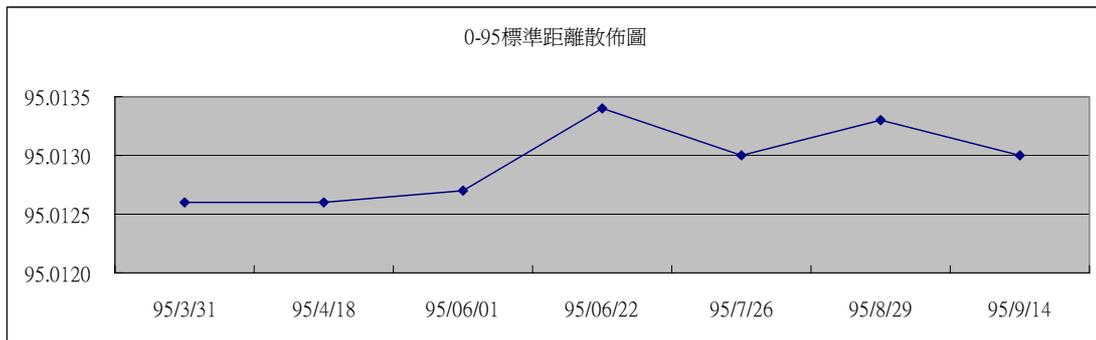


圖 3-29 0-95 標準距離散佈圖

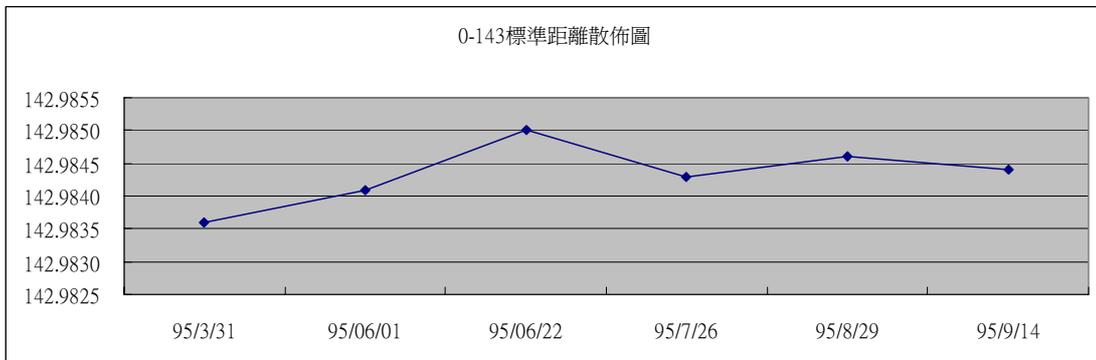


圖 3-30 0-143 標準距離散佈圖

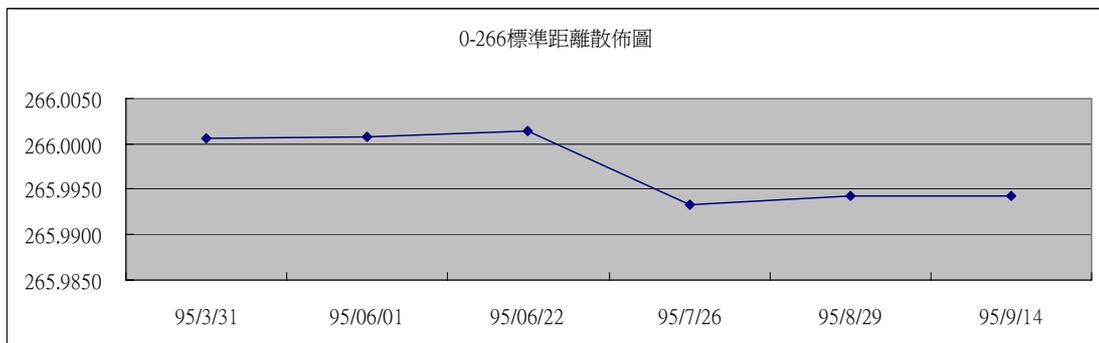


圖 3-31 0-266 標準距離散佈圖

為進一步了解及驗證加常數 C 對觀測標準距離的影響，現考慮基線計算時不將 C 加入平差，則 (3-2) 式可改列如下：

$$l_i + v_i = D_i \quad (3-5)$$

由 (3-5) 式，未知數為 0m 至各基樁的距離，採間接觀測平差，平差所得結果如表 3-7、表 3-8。

表 3-7 不含加常數平差成果

觀測日期	觀測中誤差(m)	備註
95/03/31	0.00101	
95/04/18	0.00094	
95/06/01	0.00045	
95/06/22	0.00039	
95/07/26	0.00044	
95/08/29	0.00035	
95/09/14	0.00032	

表 3-8 不含加常數平差後 0m 樁至各樁標準距離

	設定 C(m)	0-5	0-23	0-31	0-59	0-77	0-95	0-143	0-266
95/03/31	0.0028	4.9958	23.0265	30.9875	59.0124	77.0160	95.0150	142.9864	266.0037
95/04/18	0.0028	4.9959	23.0265	30.9875	59.0125	77.0159	95.0154		
95/06/01	0.0015	4.9956	23.0261	30.9869	59.0107	77.0144	95.0128	142.9843	266.0010
95/06/22	0.0015	4.9962	23.0274	30.9867	59.0120	77.0147	95.0134	142.9849	266.0014
95/07/26	0.0015	4.9956	23.0263	30.9865	59.0113	77.0142	95.0132	142.9846	265.9943
95/8/29	0.0015	4.9957	23.0266	30.9868	59.0119	77.0145	95.0132	142.9846	265.9936
95/9/14	0.0015	4.9958	23.0262	30.9867	59.0114	77.0145	95.0128	142.9843	265.9941

比較表 3-5 及 3-7 可得 (其中 95/4/18 觀測時，143m 及 266m 處基樁被車輛擋住無法觀測)，95/3/31 及 95/4/18 觀測成果平差後中誤差為 1.01mm 及 0.94mm 明顯大於包含 C 的平差成果 (0.47mm 及 0.33mm)，比較表 3-6 及 3-8 計算可得表 3-9，95/3/31 及 95/4/18 平差後標準距離在 31m 後之基樁標準距與 95/06/01 重設加常數後之平差後標準距離有明顯差異 (超出儀器規格)，顯示若儀器有加常數存在，該加常數易由長距離基線吸收，影響較長距離的標準距離值較大。因此為避免加常數變化影響標準距離測定作業，本研究進行標準距離平差計算，若於加常查核時，發現標準件之加常數異常，則考慮加常數

C，並進一步自我檢驗本局標準件加常數變化。

表 3-9 加入 C 及不加入 C 平差後成果差值

	加常數	0-5	0-23	0-31	0-59	0-77	0-95	0-143	0-266
95/03/31	0.0028	-0.0004	-0.0008	-0.0013	-0.0015	-0.0020	-0.0024	-0.0028	-0.0031
95/04/18	0.0028	-0.0005	-0.0009	-0.0014	-0.0018	-0.0023	-0.0028		
95/06/01	0.0015	0.0000	0.0000	-0.0001	-0.0001	0.0000	-0.0001	-0.0002	-0.0002
95/06/22	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
95/07/26	0.0015	0.0001	0.0003	0.0002	0.0004	0.0002	-0.0002	-0.0003	-0.0010
95/8/29	0.0015	-0.0001	-0.0003	-0.0002	-0.0006	-0.0003	0.0001	0.0000	0.0007
95/9/14	0.0015	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.0002

(三) 基樁穩定性分析

利用上節嚴密平差後之各段基線標準距離，計算前後兩次標準距離的差值來檢視基樁的穩定性，計算如下：

$$dD_1 = D_{S_1} - D_{S_1} \quad (3-6)$$

$$dD_2 = D_{S_2} - D_{S_2}$$

...

$$dD_n = D_{S_n} - D_{S_n}$$

取各差值 dD_1 、 dD_2 ... dD_n 的總和計算其標準誤差 σ

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (d\bar{D} - dD_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (3-7)$$

若理想值為未知數則分母取 $(n-1)$ ，但以本研究而言，最理想狀態為各基樁均固定不動，即理想值為 0，故除以 n 。利用 (3-6) 式由表 (3-5) 可計算得表 (3-10)，利用 (3-7) 式由表 (3-9) 計算各基樁偏移量標準偏差及各段距平差後標準偏差如表 (3-11) 及 (3-12)。

表 3-10 各基樁前後兩次觀測平差後偏移量 (單位 mm)

次數	0-5	0-23	0-31	0-59	0-77	0-95	0-143	0-266
2-1	0.000	-0.100	-0.100	-0.200	-0.400	0.000		
3-2	0.200	0.500	0.700	-0.100	0.800	0.100	0.500	0.200
4-3	0.600	1.300	-0.100	1.400	0.300	0.700	0.900	0.600
5-4	-0.500	-0.800	0.000	-0.300	-0.300	-0.400	-0.700	-8.100

6-5	-0.100	-0.300	-0.100	-0.400	-0.200	0.300	0.300	1.000
7-6	0.300	0.000	0.100	0.200	0.400	-0.300	-0.200	0.000

(註：2-1 表示第 2 次平差值減第 1 次平差值，餘類推)

表 3-11 基樁偏移量中誤差 (單位 mm)

樁位	中誤差	3 倍中誤差
0-5	0.36	1.09
0-23	0.73	2.20
0-31	0.32	0.97
0-59	0.67	2.02
0-77	0.45	1.35
0-95	0.39	1.16
0-143	0.64	1.92
0-266	0.59	1.77

表 3-12 各段距離平差後標準偏差(單位 m)

日期	0-5	0-23	0-31	0-59	0-77	0-95	0-143	0-266	C
95/3/31	0.00024	0.00025	0.00027	0.00028	0.00031	0.00033	0.00036	0.00040	0.00017
95/4/18	0.00019	0.00020	0.00022	0.00025	0.00029	0.00032			0.00015
95/06/01	0.00023	0.00024	0.00026	0.00027	0.00030	0.00032	0.00035	0.00039	0.00016
95/06/22	0.00020	0.00021	0.00023	0.00024	0.00026	0.00028	0.00031	0.00034	0.00014
95/7/26	0.00018	0.00018	0.00020	0.00021	0.00023	0.00025	0.00027	0.00030	0.00012
95/8/29	0.00023	0.00024	0.00025	0.00027	0.00029	0.00031	0.00034	0.00038	0.00016
95/9/14	0.00016	0.00017	0.00018	0.00019	0.00021	0.00023	0.00025	0.00027	0.00011
95/10/27	0.00023	0.00024	0.00026	0.00028	0.00030	0.00032	0.00035	0.00039	0.00016

由表 3-7，取 3 倍 σ ($+3\sigma, -3\sigma$) 為標準範圍並畫出各參考標準距的管制圖，如圖 3-32 至圖 3-39。

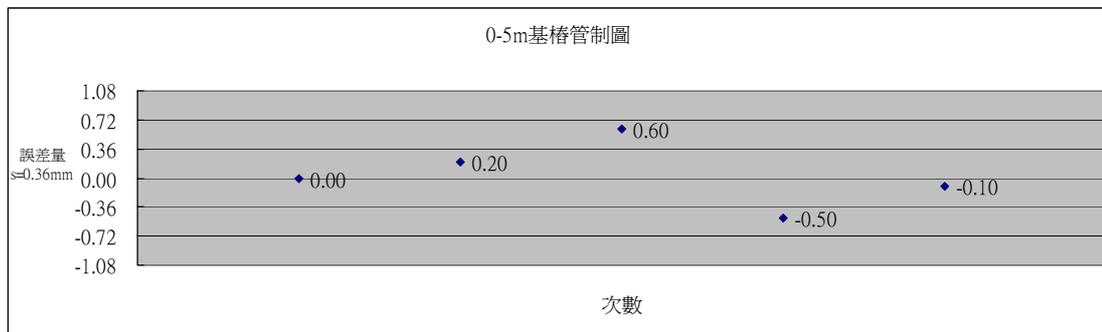


圖 3-32 0-5M 基樁管制圖

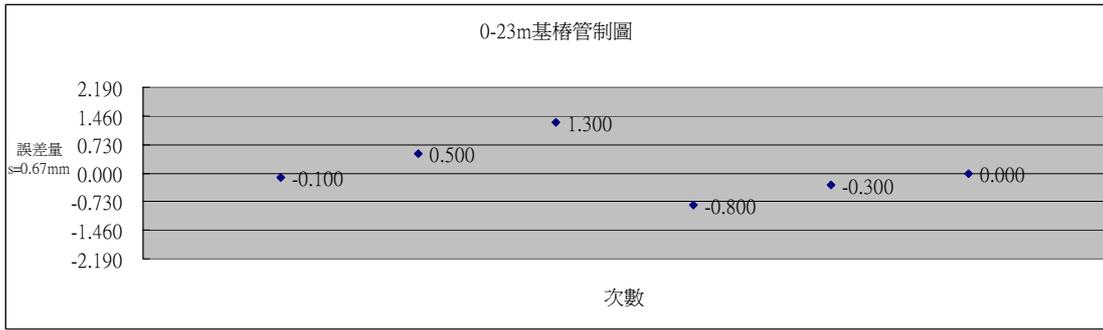


圖 3-33 0-23M 基樁管制圖

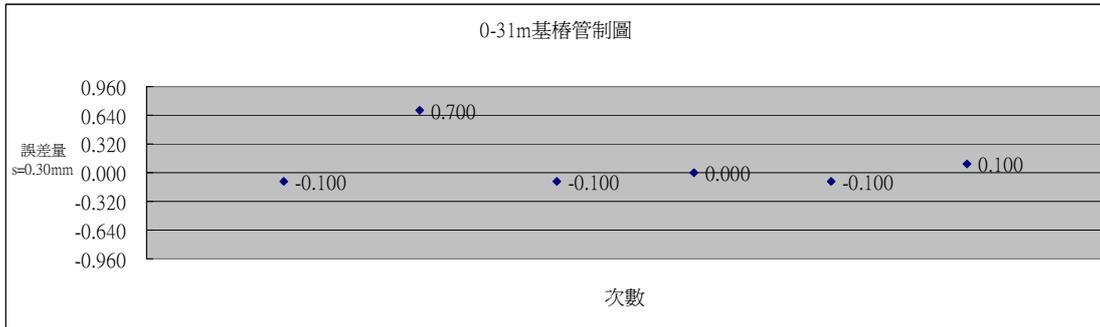


圖 3-34 0-31M 基樁管制圖

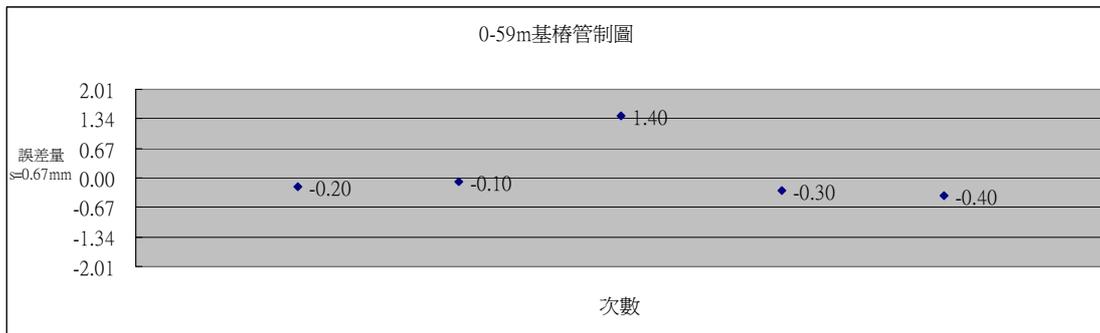


圖 3-35 0-59M 基樁管制圖

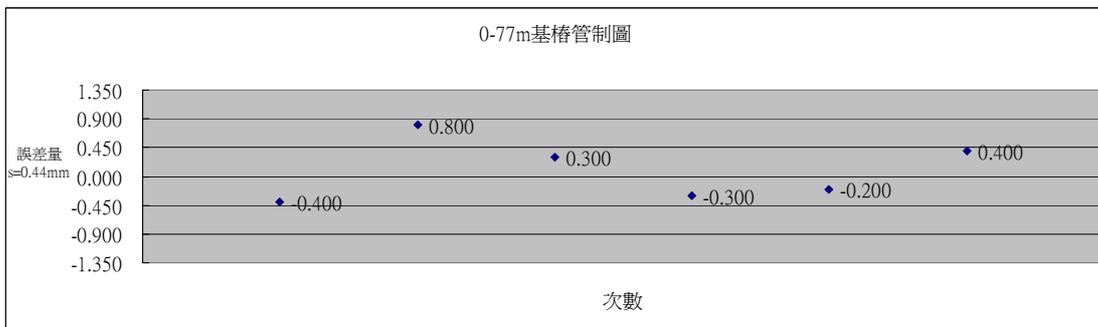


圖 3-36 0-77M 基樁管制圖

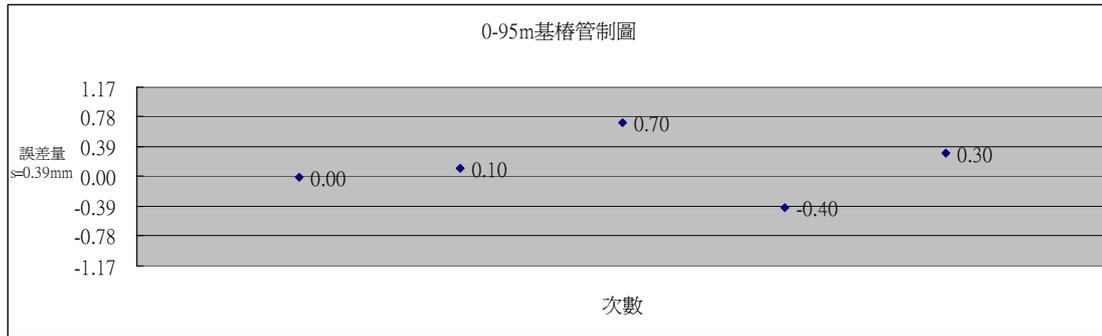


圖 3-37 0-95M 基樁管制圖

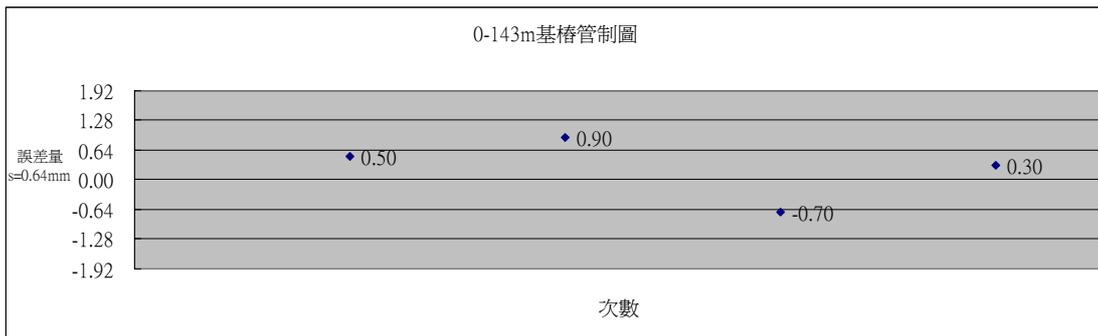


圖 3-38 0-143M 基樁管制圖

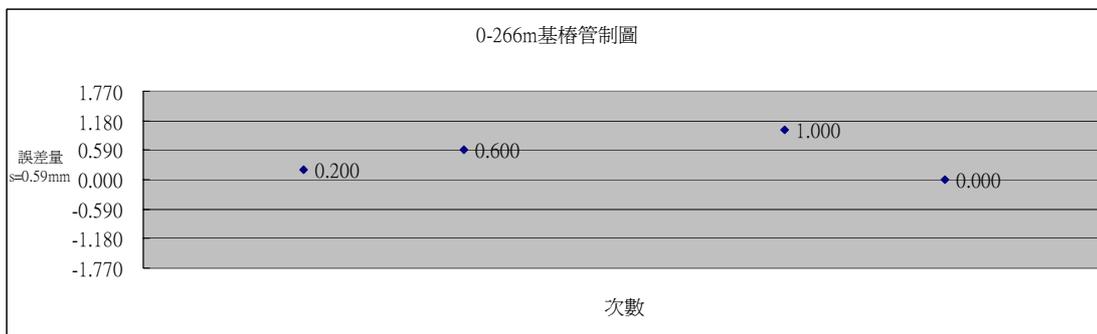


圖 3-39 0-266M 基樁管制圖

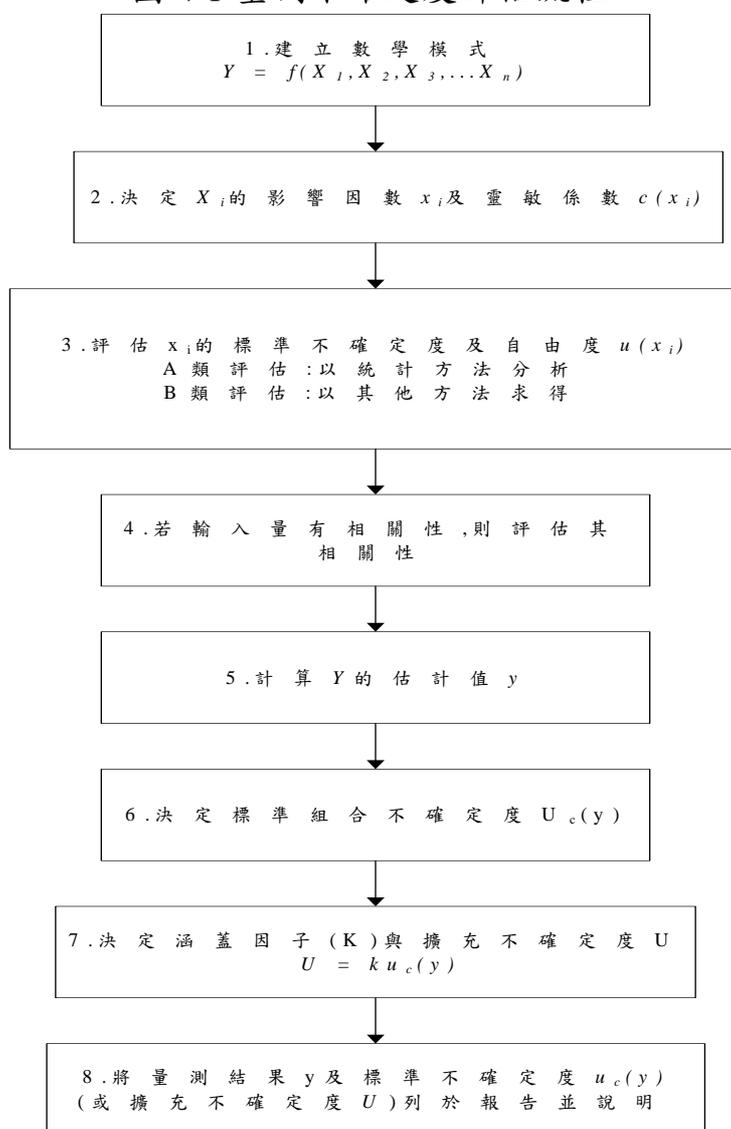
由表 3-6 可知，266m 處樁位平差後標準距離在 95/06/22 為 266.0014m，在 95/07/26 為 265.9943m，有明顯變化（約 8.1mm），經檢視基樁外觀並無明顯撞痕，且利用工程用水平器檢視基座表面亦無明顯偏移（水準器泡仍居中）。在 95/06/22 及 95/07/26 期間適逢梅雨季，連續下雨約 2-3 週，猜測係本基樁埋設後土質仍鬆軟未達穩定狀態，經下雨後有下陷位移現象，95/08/29 後基線測量顯示該基樁又趨於穩定，將持續監測並觀察該基樁的穩定性。

第四章 基線場量測不確定度來源及數據分析

第一節 量測不確定度

依 TAF 實驗室認證規範 ISO/IEC 17025 第五章 5.4.6 規定，實施校正或內校之實驗室應使用程序以估算實驗室之量測不確定度。為使本基線場符合 ISO/IEC 17025 對量測不確定度估算之要求，將依「ISO 量測不確定度表示方式指引 (the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement)，ISO GUM」，評估本基線場的量測不確定度。依 ISO GUM 建議，評估量測不確定度有 8 步驟，如圖 4-1 所示。

圖 4-1 量測不確定度評估流程



如果各輸入量無相關性，則可依下列八步驟評估：

第一步：建立數學模式 $Y = f(X_1, X_2, X_3 \cdots X_n)$

第二步：求出 X_i 的最佳估值 X_i 、標準不確定度 $u(X_i)$ 及自由度 $v(X_i)$
 $= v_i$ 。

第三步：計算 Y 的估計值 y ：只要將 X_i 的估計值 X_i 代入函數 f 即可。

第四步：計算的靈敏係數 $c(X_i) = c_i$ ，其中： $C_i = \frac{\partial y}{\partial x_i}$ (4-1)

第五步：計算 y 之標準不確定度：標準組合不確定度 $u_c^2(y)$ 可由下式得出：

$$\begin{aligned} u_c^2(y) &= [c_1 u(x_1)]^2 + [c_2 u(x_2)]^2 + [c_3 u(x_3)]^2 + \dots + [c_n u(x_n)]^2 \\ &= [u_1(y)]^2 + [u_2(y)]^2 + [u_3(y)]^2 + \dots + [u_n(y)]^2 \end{aligned} \quad (4-2)$$

第六步：計算量測量 y 有效自由度 v_{eff} ：可由 Welch-Scatterthwaite 方程式得出

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\frac{u_1^4(y)}{v_1} + \frac{u_2^4(y)}{v_2} + \frac{u_3^4(y)}{v_3} + \dots + \frac{u_n^4(y)}{v_n}} \quad (4-3)$$

第七步：決定擴充不確定度：從已知 y 之有效自由度之值，配合所要的信賴水平（通常採用 95%），可從 t 分配查表得函蓋因子 K ，此函蓋因子乘上組合標準不確定度 $u_c(y)$ 即可得擴充不確定度。

$$U = K \times u_c(y) \quad (4-4)$$

第八步：將量測結果 y 及標準不確定度 $u_c(y)$ （或擴充不確定度 U ）列於報告中。

第二節 函數建立及不確定度來源分析

（一）函數建立

黎明基線場電子測距儀器差值計算式如下：

$$\text{器差} = \text{待校件測距儀量測值} - \text{基線場基樁標準值。} \quad (4-7)$$

所得誤差可以下式表示：

$D_{\text{器差}} = \text{待校件測距儀量測誤差} - \text{基樁標準值誤差}$

即 $\Delta D = D_m - D_s$ 。

由於待校件測距儀量測值與基線場基樁標準值獨立不相關，則校正結果器差 ΔD 組合標準不確定度為

$$u_{\Delta D} = \left(u(D_m)^2 + u(D_s)^2 \right)^{1/2} = \left(u_m^2 + u_s^2 \right)^{1/2}$$

式中 u_s 表示基線場標準距離之組合標準不確定度； u_m 表示待校件測距儀量測值之組合標準不確定度。

(二) 不確定度來源分析

1. 基線場標準距離不確定度來源分析

黎明基線場係使用本局 Trimble 3601 為標準件進行基線標準距離測量，並以精密之溫度計及壓力計施測環境之溫度及壓力以進行觀測值之大氣影響修正，現分析基線場不確定度來源如下：

- (1) 來自一級追溯值 (X_1)：屬B類評估，本基線場標準件係追溯自工研院量測中心國家標準基線場，故該基線場之不確定會傳播至本基線場。依標準件檢校報告，國家標準基線場在 95% 信賴水準下之擴充不確定度為 $\left((0.6)^2 + (1.6 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} \text{mm}$ ，擴充係數為 1.99，有效自由度為 103。
- (2) 基線場距離重複觀測 (X_2)：屬A類評估，以多次基線場全組合觀測嚴密平差求得，為長方形分布，取歷次平差後未知數（即各段標準距離）中誤差的最大值 0.40mm（即表 3-12），分配係數 $\sqrt{3}$ ，自由度 21（即多餘觀測數）。
- (3) 大氣條件變化（溫、溼度、氣壓） (X_3)：標準距離測定時均已將環境條件輸入儀器自動修正，此項估計係環境量測時之誤差造成標準距離量測之不確定性，屬B類評估，依本基線場標準件 Trimble 3601 使用手冊是依下式對大氣進行修正。

$$S = 281.8 - \left[\frac{0.29065}{1 + \alpha t} P - \frac{4.126 \times 10^{-6} h}{1 + \alpha t} E \right], \quad E = 10^{\frac{7.5t}{t+237.7} + 0.7857}$$

其中P為大氣壓力（單位hPa），t為溫度（單位 $^{\circ}\text{C}$ ），h為空氣相對濕度（單位%），依操作手冊記載當環境溫度 12°C 、大氣壓力 1013hPa 、相對濕度為60%時大氣修正值為 0ppm ，依此大氣修正式估計，當溫度改變量為 1°C 時修正量約為 0.8ppm ，相對濕度改變量為20%時修正量約為 0.3ppm ，大氣壓力改變量為 3hPa 時修正量約為 0.4ppm 。因此保守估計此項因儀器量測值大氣修正不完全之不確定度為 1ppm ，假設為矩形分布，分配系數 $\sqrt{3}$ ，估計其相對不確定性R%為20%，自由度依(4-5)式可得為12.5。

$$\left(\frac{100}{R}\right)^2 * \left(\frac{1}{2}\right) \quad (4-5)$$

- (4) 反射鏡圓氣泡定平誤差 (X_4)：屬B類評估，以基線場使用稜鏡基座計算，管氣泡精度規格為 $10'/2\text{mm}$ ，當管氣泡偏離中心 2mm ，角度偏差 $10'$ ，以此換算距離偏離量，為 0.63mm ，為常態分布，分配系數3，估算其相對確定性為20%，則由(4-5)式得自由度為12.5。
- (5) 照準偏心回復訊號 (X_5)：屬B類評估，即儀器測量時未對準稜鏡中心時的不確定性，經實際測試（儀器設置 0m ，觀測 59m 稜鏡，可明顯觀測稜鏡，調整目鏡十字絲位置再測距），最大差值為 1.1mm ，最小差值為 0.2mm ，共觀測9次取均值為 0.4mm ，假設為矩形分布，分配系數為 $\sqrt{3}$ ，估計其相對不確定性R%為20%，自由度依(4-5)式可得為12.5。
- (6) 基樁偏移量 (X_6)：屬A類評估，利用重複基線距離觀測嚴密平差成果來分析基樁穩定性，由平差後基樁距離前後二次成果之變化量來估算基樁位置穩定性之標準不確定性，為常態分布，取(表 3-7)中誤差的最大值 0.73mm ，分配係數1，自由度 ∞ 。

(7)儀器最小讀數(X_7):屬B類評估,為儀器讀數的解析度。TRIMBLE 3601 距離讀數的解析度為 0.1mm,假設為矩形分布,分配系數 $\sqrt{3}$,估計其相對不確定性R%為 20%,自由度依(4-5)式可得為 12.5。

由上述不確定度來源分析,建立黎明基線場標準距離不確定計算表如表 4-1。

表 4-1 黎明基線場標準距離不確定度計算表

代號	不確定度來源	不確定度 (單位 mm)	類別	機率分配	分配係數	標準不確定度 $u(x_i)$	敏感係數 $c_i = \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_i}$	標準不確定度分量(mm) $c_i \times u(x_i)$	自由度
X ₁	來自一級追溯值	0.6 ²	B	常態	1.99	0.18	1	0.18	28
		(1.6×10 ⁻⁶) ²	B	常態	1.99	1.28×10 ⁻⁶	D	(1.28×10 ⁻⁶)×D	28
X ₂	基線場距離重複觀測	0.40	A	常態	9 ^{1/2}	0.23	1	0.23	21
X ₃	大氣條件變化	(1×10 ⁻⁶)	B	矩形	3 ^{1/2}	0.58×10 ⁻⁶	D	(0.58×10 ⁻⁶)×D	12.5
X ₄	反射鏡圓氣泡定平誤差	0.63	B	常態	9 ^{1/2}	0.21	1	0.21	12.5
X ₅	照準偏心回復訊號	0.4	B	矩形	3 ^{1/2}	0.23	1	0.23	12.5
X ₆	基樁偏移量	0.73	A	矩形	3 ^{1/2}	0.42	1	0.42	∞
X ₇	儀器最小讀數	0.1	B	矩形	3 ^{1/2}	0.04	1	0.04	12.5

2. 待校件距離量測不確定度來源分析

即待校件於基線場進行校正時之不確定度來源,依校正程序,待校件每一段距均觀測 3 次,取平均值為最後觀測值,現分析待校件不確定度來源分析。

(8) 待校件重複觀測 (X_8):屬A類評估,為待校件儀器本身的穩定度,以待校件的儀器規格做為該項不確度的考量。以待校件

每一段距離測距 3 次取平均值，即

$$\overline{SD} = \frac{sd_1 + sd_2 + sd_3}{3} \quad (4-6)$$

假設每一次測距的標準誤差為 σ ，即 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma$ 則平均值的標準誤差 $\sigma_{sd} = \frac{\sigma}{\sqrt{3}}$ 。以與本基線場標準件相同儀器規格 1mm+1ppm 來模擬估算此項不確定度分量，為常態分布，分配係數 3，估計其相對不確定度性 10%，則自由度為 50。

- (9) 反射鏡圓氣泡定平誤差 (X_9)：待校件觀測時使用本局標準基座，該項來源與標準距離測定時相同。屬B類評估，估計為 0.63mm，為常態分布，分配係數 3，估算其相對確定性為 20%，則由 (4-5) 式得自由度為 12.5。
- (10) 大氣改正誤差 (X_{10})：待校件一般也具有自動改正環境造成之大氣誤差，當改正不完全時即有不確定度存在，估計為 1ppm，為矩形分布，分配係數 $\sqrt{3}$ ，估計其相對不確定性R%為 20%，自由度依(4-5)式可得為 12.5。
- (11) 儀器最小讀數 (X_{11})：屬B類評估，為儀器讀數的解析度。假設待校件距離讀數的解析度為 0.1mm，為矩形分布，分配係數 $\sqrt{3}$ ，估計其相對不確定性R%為 20%，自由度依(4-5)式可得為 12.5。

由上述不確定度來源分析，待校件距離量測不確定度計算表如表 4-2。

表 4-2 待校件不確定度計算表

代號	不確定度來源	不確定度(單位 mm)	類別	機率分配	分配係數	標準不確定度 $u(x_i)$	敏感係數 $c_i = \frac{\partial f(x_i)}{\partial x_i}$	標準不確定度分量(mm) $c_i \cdot u(x_i)$	自由度
X ₈	待校件重複觀測	0.57	A	常態	9 ^{1/2}	0.19	1	0.19	50
		$(0.57 \times 10^{-6})^2$	A	常態	9 ^{1/2}	(0.19×10^{-6})	D	$(0.19 \times 10^{-6}) \times D$	50
X ₉	大氣條件變化	(1×10^{-6})	B	矩形	3 ^{1/2}	(0.58×10^{-6})	D	$(0.58 \times 10^{-6}) \times D$	12.5
X ₁₀	反射鏡圓氣泡定平誤差	0.63	B	常態	9 ^{1/2}	0.21	1	0.21	12.5
X ₁₁	儀器最小讀數	0.1	B	矩形	3 ^{1/2}	0.04	1	0.04	12.5

(三) 組合標準不確定度及擴充不確定度

校正結果器差 ΔD 組合標準不確定度為

$$u_{\Delta D} = \left(u(D_m)^2 + u(D_s)^2 \right)^{1/2} = \left(u_m^2 + u_s^2 \right)^{1/2}$$

式中 u_s 表示基線場標準距離之組合標準不確定度； u_m 表示待校件測距儀量測值之組合標準不確定度

1. 基線場標準距離之組合標準不確定度 u_{sc}

由基線場標準距離不確定度來源分析，因各來源獨立不相關，由誤差傳播，標準距離之組合標準不確定度如下

$$\begin{aligned} u_s^2 &= X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_4^2 + X_5^2 + X_6^2 + X_7^2 \\ &= (cu(x_1))^2 + (cu(x_2))^2 + (cu(x_3))^2 + (cu(x_4))^2 + (cu(x_5))^2 + (cu(x_6))^2 + (cu(x_7))^2 \\ &= 0.18^2 + (1.28 \times 10^{-6} \times D)^2 + 0.23^2 + (0.58 \times 10^{-6} \times D)^2 + 0.21^2 + 0.23^2 + 0.42^2 + 0.04^2 \\ &= 0.60^2 + (1.41 \times D)^2 \end{aligned}$$

$$\text{即 } u_s = \left(0.60^2 + (1.41 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$$

有效自由度採 Welch-Scatterthwaite 公式，以黎明基線場最長基樁 266m 計算如下：

$$\begin{aligned}
v_{eff} &= \frac{(u_{sc})^4}{\frac{X_1^4}{v_1} + \frac{X_2^4}{v_2} + \frac{X_3^4}{v_3} + \frac{X_4^4}{v_4} + \frac{X_5^4}{v_5} + \frac{X_6^4}{v_6} + \frac{X_7^4}{v_7}} \\
&= \frac{0.7075^4}{\frac{0.18^4}{103} + \frac{(1.28 \times 0.266)^4}{103} + \frac{0.23^4}{21} + \frac{(0.58 \times 0.266)^4}{12.5} + \frac{0.21^4}{12.5} + \frac{0.23^4}{12.5} + \frac{0.42^4}{\infty} + \frac{0.04^4}{12.5}} \\
&= 358
\end{aligned}$$

而標準距離之擴充不確定度 $U_s = ku_s$ ， k 稱為擴充係數 (Coverage factor)，取信賴水準 95%，查 t 分布表得 $k=1.96$ ，故基線場標準距離之擴充不確定度

$$U_s = 1.96 \times \left(0.60^2 + (1.41 \times D)^2 \right)^{1/2} = \left(1.18^2 + (2.77 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} \text{ mm}$$

2. 待校件量測值之組合標準不確定度 u_m

由待校件量測值之不確定度來源分析，因各來源獨立不相關，由誤差傳播，待校件量測值之組合標準不確定度計算如下

$$\begin{aligned}
u_m^2 &= X_8^2 + X_9^2 + X_{10}^2 + X_{11}^2 \\
&= (cu(x_8))^2 + (cu(x_9))^2 + (cu(x_{10}))^2 + (cu(x_{11}))^2 \\
&= 0.19^2 + (0.19 \times 10^{-6} \times D)^2 + (0.58 \times 10^{-6} \times D)^2 + 0.21^2 + 0.04^2 \\
&= 0.29^2 + (0.61 \times D)^2
\end{aligned}$$

$$\text{即 } u_m = \left(0.29^2 + (0.61 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$$

有效自由度採 Welch-Scatterthwaite 公式，以黎明基線場最長基

樁 266m 計算如下：

$$\begin{aligned}
v_{eff} &= \frac{(u_m)^4}{\frac{X_8^4}{v_8} + \frac{X_9^4}{v_9} + \frac{X_{10}^4}{v_{10}} + \frac{X_{11}^4}{v_{11}}} \\
&= \frac{0.3323^4}{\frac{0.19^4}{50} + \frac{(0.19 \times 0.266)^4}{50} + \frac{(0.58 \times 0.266)^4}{12.5} + \frac{0.21^4}{12.5} + \frac{0.04^4}{12.5}} = 54
\end{aligned}$$

而標準距離之擴充不確定度 $U_s = ku_s$ ， k 稱為擴充係數，取信賴水準 95%，查 t 分布表得 $k=2.01$ ，故基線場標準距離之擴充不確定度

$$U_m = 2.01 \times (0.29^2 + (0.61 \times D)^2)^{1/2} = (0.58^2 + (1.23 \times 10^{-6} \times D)^2)^{1/2} \text{ mm}$$

3. 校正結果器差之組合標準不確定度 $u_{\Delta D}$

基線場標準距離 D_s 與待校件測距儀量測值 D_m 獨立不相關，不確定度計算表如表 4-3 所示：

表 4-3 校正結果器差 ΔD 不確定度分析表

代號	不確定度來源	敏感係數	標準不確定度分量(mm)	自由度
u_s	標準基線 D_s 組合標準不確定度	1	$(0.60^2 + (1.41 \times 10^{-6} \times D)^2)^{1/2}$	358
u_m	待校件測距儀量測值 D_m 組合標準不確定度	1	$(0.29^2 + (0.61 \times 10^{-6} \times D)^2)^{1/2}$	54

則校正結果之組合標準不確定度計算如下

$$\begin{aligned} u_{\Delta D} &= (u(D_m)^2 + u(D_s)^2)^{1/2} = (u_m^2 + u_s^2)^{1/2} \\ &= (0.60^2 + (1.41 \times 10^{-6} \times D)^2 + 0.29^2 + (0.61 \times 10^{-6} \times D)^2)^{1/2} \\ &= (0.66^2 + (1.54 \times 10^{-6} \times D)^2)^{1/2} \text{ mm} \end{aligned}$$

有效自由度採 Welch-Scatterthwaite 公式，以黎明基線場最長基樁 266m 計算如下：

$$v_{eff} = \frac{(u_{\Delta D})^4}{\frac{u_s^4}{v_s} + \frac{u_m^4}{v_m}} = \frac{0.7768^4}{\frac{0.7075^4}{358} + \frac{0.3323^4}{54}} = 393$$

而器差之擴充不確定度 $U_{\Delta D} = k u_{\Delta D}$ ， k 稱為擴充係數，取信賴水準 95%，查 t 分布表得 $k=1.96$ ，故基線場器差之擴充不確定度

$$U_{\Delta D} = 1.96 \times (0.66^2 + (1.54 \times 10^{-6} \times D)^2)^{1/2} = (1.30^2 + (3.02 \times 10^{-6} \times D)^2)^{1/2} \text{ mm}$$

因此黎明電子測距基線場以電子測距儀規格 1mm+1ppm 模擬校正，則最佳校正能力為

$$U_{\Delta D} = (1.30^2 + (3.02 \times 10^{-6} \times D)^2)^{1/2}, \text{ D 從 1m 至 266m}$$

第五章 結論及展望

- 一、測量成果品質的提升，除人員的教育訓練外，儀器的良窳為最重要的因素，因此持續且定期的儀器檢校是必要的。
- 二、基線量測是長時間及持續性的工作，在研究過程中發現黎明基線場 266m 處基樁在 95 年 6 月至 95 年 7 月發生約 8mm 之移動量，之後又趨於穩定，本基線場的標準距離量測將會持續進行並分析基樁穩定性，隨時掌握正確之標準距離。
- 三、檢視及分析黎明基線場各項不確定度來源發現，最大的不確定度來源為「基線場距離重複觀測」及「基樁偏移量」二項，本基線場尚屬建置初期，待各基樁隨土質環境長時間穩定後，本基線場之校正能力應可再提升。
- 四、黎明基線場建置後本局電子測距儀檢校的能力及能量已大符提升，展望未來，建立品質管理文件及相關作業程序，進而申請 TAF 實驗室認證實並提供對外服務為努力方向。

參考書目

1. 財團法人全國認證基金會，量測不確定度研討會－基礎班 訓練教材（第四版），95年03月01日修訂。
3. 財團法人全國認證基金會，測試結果量測不確定度評估指引，94年01月13日。
4. 財團法人全國認證基金會，實驗室認證規範 ISO/IEC 17025 訓練訓練教材（第三版），94年08月08日修訂。
5. 何維信，測量學（第四版），90年10月。
6. 林開儀譯，量測不確定度表示方式指引（Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement，2nd Edition，1995），工研院量測中心認證/驗證、訓練組。
7. 逢甲大學環境資訊科技研究所，電子測距儀系統評估報告，92年10月。
8. 逢甲大學環境資訊科技研究所，電子測距儀校正作業程序，92年10月。
9. 工業技術研究院量測技術發展中心，電子測距儀校正程序，92年7月18日。
10. 工業技術研究院量測技術發展中心，電子測距儀校正系統評估報告，95年9月7日七版。
11. 國立臺灣大學土木工程學系，Electronic Distance Measurement（課程教材），95年。
12. 陳清標，檢校基線場幾何設計之研究，測量工程學會第四期，80年11月。
13. Trimble，Zeiss Elta[®] Control Unit Software User Guide，2001年6月4日。
14. 於宗壽、魯林成，測量平差基礎，測繪出版社，1994年6月

