

全站儀免稜鏡測距校正 量測不確定度評估之研究

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 104 年 12 月

104-301000100G-0002

「全站儀免稜鏡測距校正 量測不確定度評估之研究」

研究人員：技士 康寧凱
 技士 陳聖彥
 技正 邱明全
 課長 王敏雄

內政部國土測繪中心自行研究報告

中華民國 104 年 12 月

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

Study on the uncertainty of measurement by the
reflectorless distance measurement
calibration system

BY

NING KAI KANG

SHENG YAN CHEN

MING CHYU CHIOU

MIN SHIUNG WANG

December 18, 2015

目次

表次.....	II
圖次.....	III
摘要.....	IV
第一章 緒論.....	1
第一節 研究背景與目的.....	1
第二節 國內測距校正現況.....	3
第三節 文獻回顧.....	5
第二章 測距技術與誤差分析.....	9
第一節 測距原理及誤差.....	9
第二節 免稜鏡測距技術.....	18
第三節 反射材質分析.....	21
第三章 免稜鏡測距校正系統設計與建置.....	24
第一節 系統設備.....	24
第二節 校正作業程序.....	27
第三節 反射板材質設計.....	31
第四章 測試成果分析.....	34
第一節 參考標準距離分析.....	34
第二節 免稜鏡測距分析.....	38
第三節 量測品保分析.....	41
第五章 量測不確定度評估.....	45
第一節 量測不確定度.....	45
第二節 量測不確定度誤差來源分析.....	48
第六章 結論與建議.....	58
附錄一 參考標準距離計算.....	61
附錄二 不同反射材質雷射測距數據.....	62
附錄三 各次參考標準距標準差.....	75
附錄四 表單設計.....	76
參考書目.....	81

表次

表 1-1 國內校正實驗室現況	4
表 1-2 測量點分布	7
表 2-1 各顏色漫射表面的反射率	21
表 2-2 各種材料反射率	22
表 3-1 精密測距系統各項儀器及規格	26
表 3-2 反射材質表	31
表 4-1 固定基座基線場距離(稜鏡測距).....	34
表 4-2 固定基座基線場距離(雷射測距).....	35
表 4-3 迴歸分析結果	36
表 4-4 各次器差之 ANOVA 檢定結果.....	37
表 4-5 加常數及乘常數列表	38
表 5-1 固定基座基線場標準距離標準不確定度計算表	51
表 5-2 校正件標準不確定度計算表	53
表 5-3 校正結果器差 ΔD 標準不確度分析表	56

圖次

圖 1-1 校準裝置圖	7
圖 2-1 脈衝法測距原理	10
圖 2-2 相位法測距原理(摘自熊春寶，2011).....	11
圖 2-3 加常數示意圖	14
圖 2-4 加常數之測定方法	14
圖 2-5 週期誤差平台裝置	15
圖 2-6 Nummela 基線.....	17
圖 2-7 調焦與非調焦系統(摘自熊春寶，2011).....	18
圖 3-1 固定基座基線場基樁配置圖	25
圖 3-2 固定基座基線場	25
圖 3-3 校正設備圖	26
圖 3-4 266 m 標準距離觀測組合圖	29
圖 3-5 反射板示意圖(1)	32
圖 3-6 反射板示意圖(2)	33
圖 4-1 器差比較圖	36
圖 4-2 器差比較圖	38
圖 4-3 加常數查核管制圖	41
圖 4-4 0-5m 基樁穩定度管制圖	42
圖 4-5 0-23m 基樁穩定度管制圖	42
圖 4-6 0-31m 基樁穩定度管制圖	43
圖 4-7 0-59m 基樁穩定度管制圖	43
圖 4-8 0-77m 基樁穩定度管制圖	43
圖 4-9 0-95m 基樁穩定度管制圖	44
圖 4-10 0-143m 基樁穩定度管制圖	44
圖 4-11 0-266m 基樁穩定度管制圖	44
圖 5-1 量測不確定度評估流程圖	46

摘要

關鍵詞：免稜鏡測距、器差、量測不確定度

一、研究緣起

電子測距經緯儀(Total station，亦稱全站儀)，為傳統地面測量作業的主要設備，在控制測量、地籍測量、地形測量、工程測量及環境監測等各方面都有相當廣泛的應用，該儀器主要透過角度及距離的觀測來獲得測點之間的空間相對關係，進而獲取所需成果。因此，儀器的誤差直接影響測繪成果的品質，要驗證儀器是否符合精度的要求，就必需經過定期的校正。

內政部國土測繪中心(以下簡稱本中心)為確保測量成果品質，於97年成立「測量儀器校正實驗室」，並於99年3月20日通過全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)認證(實驗室編號2218)，校正項目包含電子測距儀、經緯儀及衛星定位儀，其中電子測距儀即透過稜鏡反射所測得之距離組合關係來校正加常數及乘常數。然而由於儀器的進步，電子測距經緯儀之測距功能除原有使用稜鏡反射施測外，亦發展出免稜鏡測距功能(reflectorless distance measurement, RLM)，俗稱雷射測距，不用稜鏡反射的特性，即可測量反射面與儀器間的距離。為了解免稜鏡測距之精度，使作業人員了解其對成果品質的影響，進而辦理本項研究，發展雷射測距的校正程序，並遵循ISO/IEC 17025

對儀器校正的要求，評估該項校正之量測不確定度，並建立品質管制系統，作為未來建立免稜鏡測距校正系統之參考。

二、研究方法及過程

由於目前國內尚無單位對全站儀免稜鏡測距功能辦理校正，而本中心建置有電子測距儀校正系統，其中設備包含固定基座基線場、距離量測參考標準件、基座等。本研究即參考國外現行對雷射測距校正之作法及國內傳統採稜鏡反射測距校正方法之差異性，研擬免稜鏡校正作業程序，針對量測器差值進行校正，並遵循 ISO/IEC17025 量測不確定度評估程序，對校正作業中各項誤差來源分析，據以估算免稜鏡校正系統之量測不確定度。

為確保系統所用之參考標準件及校正系統之穩定，並瞭解測量過程反射材質及顏色對於免稜鏡測距之影響，本研究除利用常見之幾種不同材質及顏色的反射物進行測試及分析，另藉由本次研究觀測所得數據，亦可建立系統品保管制範圍，並分析用於校正之參考標準距之合理性。

註：參考標準件係指本中心稜鏡測距精度 $\pm(0.6\text{ mm}+1\text{ ppm})$ 、免稜鏡測距精度 $\pm(2\text{ mm}+2\text{ ppm})$ 之精密電子測距經緯儀。

三、重要發現

(一) 材質不同對測距結果無明顯差異：經以免稜鏡測距功能，針對外業測量常見反射材質進行測試結果，顯示材質不同對於測距結果並

無明顯差異。由磁磚之測距結果顯示顏色較淺之反射物對於訊號的反射越強，儀器測得距離較實際距離長；顏色較深則反之。而木板及鐵片之顏色試驗結果，由於所得結果相近，本研究尚無法獲知其測距長短上之差異性及影響量。

(二) 距離長短有關之誤差量因材質不同而異：由顯著性測試發現，以本研究所選用材質測試結果，壁磚及鐵片在與距離長短有關之誤差量均不顯著，僅木板類之乘常數較為顯著。此一現象說明在實際作業過程，可能因漫反射材質之不同，造成因距離長短所產生之誤差量將有所差異。

(三) 免稜鏡測距與稜鏡測距無明顯差異：本研究所用校正方法乃以比較法辦理，故須量測基線場之參考標準距，作為校正之標準值。經以本中心參考標準件(Leica TM30)分別以稜鏡測距及免稜鏡測距方式，量測固定基座基線場距離，比較分析結果顯示，免稜鏡測距結果與稜鏡測距所得距離，在基線場最遠 266m 距離內並無明顯差異。惟免稜鏡之觀測數據重複性誤差的大小，將對於參考標準距之量測不確定度評估造成影響，其標準不確定度分量將達 0.55mm。

(四) 校正結果器差之量測不確定度 $U_{\Delta D}$ ：經評估結果，固定基座基線場參考標準距 U_s 、校正件量測值 U_m 及校正結果器差 $U_{\Delta D}$ 之量測不確定度分別如下所列：

$$U_s = \left((1.6\text{mm})^2 + (1.3 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$$

$$U_m = \left((1.1\text{mm})^2 + (1.5 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$$

$$U_{\Delta D} = \left((1.9\text{mm})^2 + (2.0 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$$

四、主要建議事項

- (一) 由於本研究所累積之觀測數據有限，為使品質管制系統更合理可靠，建議可持續蒐集觀測數據，作為未來系統評估穩定性管制之計算依據。
- (二) 本研究受限於反射材質與顏色之選用種類，與實際作業環境尚有差異(不具代表性)，建議後續可再針對不同材質擴大驗證。
- (三) 本研究規劃之校正方法及系統評估結果，應可作為實驗室免稜鏡測距校正系統後續認證之參考，建議續行規劃研擬標準校正作業程序及系統評估模式，進而取得 TAF 校正實驗室認證。

ABSTRACT

keywords : reflectorless distance measurement 、 difference 、 uncertainty

The total station is one of the major instruments for surveying activities. In order to ensure the quality of surveying result, periodic calibration is suggested. The National Land Surveying and Mapping Center (NLSC), Ministry of the Interior, established the Surveying Instrument Calibration Laboratory (SICL) in 2007, then the electronic distance measurement system, the theodolite system and the GPS satellite system were established later on to meet the ISO / IEC 17025 quality control system. The SICL has been issued the certification of Taiwan Accreditation Foundation (TAF) in 2010. The additive constant and scale error are calibrated in the electronic distance measurement system. However, the total station can be used to measure distance without reflectors now. The purpose of this paper is to investigate the accuracy of the total station with Non-Prism, and confirm the calibration procedure of the new system. Besides, the uncertainty of the new system and the quality control system have been evaluated in this paper.

What we can know about this paper is that the expanded uncertainty of the standard baseline distance with a coverage factor $k = 2.06$ at the level of confidence 95% is $U = \underline{1.6} \text{ mm} + \underline{1.3} \times 10^{-6} \times D$, and the expanded uncertainty of the differences with a coverage factor $k = 2.02$ at the level of confidence 95% is $U = \underline{1.9} \text{ mm} + \underline{2.0} \times 10^{-6} \times D$.

第一章 緒論

第一節 研究背景與目的

所謂「工欲善其事，必先利其器」，測量為釐定經界的基礎，更為推展國家建設之根本，測量成果不但關係人民土地財產權益，亦影響工程品質的優劣，而測量成果好壞除人為誤差外，儀器的良窳也是影響成果的直接因素。測量一定會有誤差，更何況儀器經過長時間的使用及搬運碰撞，勢必更容易產生一些無法為各種測繪業務精度需求所接受的誤差，因此必需經過定期的校正，以驗證是否符合精度的要求。內政部國土測繪中心（以下簡稱本中心）為確保測量成果品質，提升施政公信力，自 71 年起即在全國各地建置簡易基線場定期辦理測距校正作業，並於 95 年建置電子測距固定基座基線場。

本中心為中央測繪機關，為確保測量成果品質，從法規、制度面來推展，97 年為因應國土測繪法及其子法之頒布施行，成立「測量儀器校正實驗室」，發展符合國際認證規範 ISO/IEC 17025 之品質管理系統，於 99 年 3 月 20 日更通過全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)認證後，除對自有儀器定期辦理校正，更於 101 年起正式對外提供校正服務，每年服務國內之公務機關及民間測量公司達數十個，已獲各界肯定。

由於儀器的進步，電子測距經緯儀之測距功能除原有使用稜鏡反射施測外，亦發展出免稜鏡測距功能 (reflectorless distance measurement, RLM) ，

俗稱雷射測距，利用其不須使用稜鏡反射的特性，即可測量反射面與儀器間的距離，達到"所瞄即所測"，省去作業人員跑點的辛勞及時間成本，也能避免危險環境對作業人員所可能造成的傷害，大大提升外業測量的便利性及安全性，但其量測結果因受雷射強度及反射面材質的影響，在外業測量過程中，地形、地物的變化相當複雜多元。惟目前市面上對於雷射測距的功能，並未利用有效的評估方法進行檢驗，實務使用上無法得知其測距精度之變化，進而評估其對測量成果之影響。

本中心於測量儀器校正實驗室辦理校正期間，經常接獲顧客詢問關於免稜鏡測距及手持式測距儀之校正事宜，顯示對於雷射測距校正的確有其需求性。本研究即要參考國內外的作法，發展雷射測距的校正程序，將遵循ISO/IEC 17025 對儀器校正的要求，評估該項校正之量測不確定度，並建立品質管制系統，作為未來建立免稜鏡測距校正系統之參考。並利用實務上常用之反射材質，透過實測資料分析並探討不同的反射材質對測距結果之影響程度，提供外業測量人員參考，提高對於免稜鏡測距之可信度，並找出適合之反射材質，以辦理後續校正作業。

第二節 國內測距校正現況

電子測距經緯儀(Total station，亦稱全站儀)，為傳統地面測量作業的主要設備，在控制測量、地籍測量、地形測量、工程測量及各項環境監測上有相當廣泛的應用，該儀器主要透過角度及距離的觀測來獲得測點之間的空間相對關係，進而獲取所需成果。而本中心目前通過認證之校正項目包括電子測距儀校正、經緯儀校正及衛星定位儀校正等 3 項，其中對於電子測距儀之校正係運用室外固定基座基線場辦理，係使用稜鏡反射模式之測距功能校正作業，其校正結果包括儀器的加常數及乘常數。

另除本中心外，國內目前已通過認證同性質的校正實驗室尚有國家度量衡標準實驗室、名家股份有限公司長度校正實驗室、森泰儀器有限公司長度校正實驗室、久冠測量儀器長度校正實驗室及台灣光電測量儀器校正實驗室，各實驗室與本中心測量儀器校正實驗室有關測距校正之校正項目、校正範圍及最佳校正能力等資訊如表 1-1 所列(財團法人全國認證基金會網址 <http://service.taftw.org.tw/tafweb/indexC.aspx>)，但目前各實驗室均尚未發展免稜鏡的測距校正系統。

表 1-1 國內校正實驗室現況

認證編號	單位名稱	實驗室名稱	校正項目	校正範圍	最佳校正能力
688	國家度量衡標準實驗室	國家度量衡標準實驗室(電量/電磁/光學/長度)	光學經緯儀、電子經緯儀	1~432m	$[0.42+(0.6xD)^2]^{1/2}$ mm D:距離
2218	內政部國土測繪中心	測量儀器校正實驗室	光學經緯儀、電子經緯儀、衛星定位儀及全測站電子經緯儀	0 m to 266 m	$[(1.1 \text{ mm})^2 + (1.9 \times 10^{-6} \times D)^2]^{1/2}$ D:距離
0561	名家股份有限公司	長度校正實驗室	光學經緯儀及電子經緯儀	基線場 0 m to 179 m	$[(0.63 \text{ mm})^2 + (1.0 \text{ E-}6 \times D)^2]^{1/2}$
1887	森泰儀器有限公司	森泰測量儀器校正實驗室	經緯儀	基線場 (0 to 95) m 基線場 (0 to 201) m	$[(1.2 \text{ mm})^2 + (2.5\text{E-}6 \times D)^2]^{1/2}$ $[(0.7 \text{ mm})^2 + (2.4\text{E-}6 \times D)^2]^{1/2}$
2755	久冠測量儀器有限公司	久冠測量儀器長度校正實驗室	光波測距經緯儀、經緯儀、電子測距儀、光學水準儀及電子水準儀(光學部分)	基線場 (0 to 107) m	$[(1.4 \text{ mm})^2 + (1.7 \times 10\text{E-}6 \times L)^2]^{1/2}$
2941	台灣光電工業股份有限公司	台灣光電測量儀器校正實驗室	電子測距儀、衛星定位儀、經緯儀及水準儀	基線場 (0 to 109) m	$[(2.6 \text{ mm})^2 + (1.7\text{E-}6 \times D)^2]^{1/2}$

第三節 文獻回顧

測距儀的發展主要在第二次世界大戰後開始，這個階段發展的儀器為電磁波測距，屬於遠程測距的儀器，到了 20 世紀 60 年代才是研發短程測距的起飛階段，從最早的紅外光電測距儀、半站儀(亦稱測距經緯儀)，一直到全站儀，而現今全站儀的發展又因功能的不同而區分為免稜鏡全站儀、智能型全站儀(robotic total station)或測地機器人(georobot)、超站儀等(熊春寶等，2011)，技術的發展已相當成熟。

王學平等(2007)考量公路工程或橋梁工程，驗收時需由施工人員於橋墩頂部架設稜鏡，以獲得實際坐標及高程。惟施測過程中常因橋墩高度及作業面狹小，造成工程技術人員的不便及危險，因而設計以免稜鏡全站儀檢測的新方法，直接測量橋墩頂端圓周上 3 個點，利用共圓的原理，求出圓心的位置，工作效率得以提高 20-30 倍，點位精度在 3-6mm 範圍內。更可適用於任何圓形構造物中心位置的測量，如高大的煙囪、水塔、古建築等，均可以根據側面觀測點的坐標，計算其中心點的坐標，亦可透過觀測高度很大的建築物或構造物的上、下中心位置的坐標，計算出它的傾斜度進而可進行建築物的傾斜觀測和沉降觀測。

王京衛等(2011)在古建築物測繪作業上，考量傳統方法需以捲尺實際量測，效率不高且有對文物造成汙染或破壞的疑慮，而近景攝影或三維雷射掃描等現代化方法，雖有精度高且無接觸的優點，但技術門檻高、費用較昂貴

且易受周遭高大樹木遮擋等考量，利用免稜鏡測距採用自由測站法進行古建築物測繪，由結果顯示，在距離建築物 2-3 倍高度的距離安置儀器，所獲得精度最高。

岳建平等利用 TOPCON GPT-3002 全站儀，進行了免稜鏡模式下的多種測距性能測試，並與儀器的標示精度進行比較。分別對不同材質的物體觀測結果，發現幾種材料測量結果的內部精度相當，顯示在所用材料表面的反射穩定，另只要物體表面的反射能力足夠強，且信號穩定，則物體表面的粗糙程度對測量數據的影響並不明顯；至於不同色彩對測距的影響，除黑色外，幾種顏色材料的測距結果相當，顯示對測距精度的影響並不明顯，但顏色越淺，物體的反射信號越強，對測距越有利。

楊冶平等(2005)建置 4 套裝置對雷射測距儀 5 個參數進行校準，校準裝置如圖 1-1 所示，其中對於距離校正不確定度的分析，由光纖距離校正不確定度分量及折射率之測量不確定度分量，組成組合不確定度，取擴充因子 2，得到擴充不確定度 1.5。

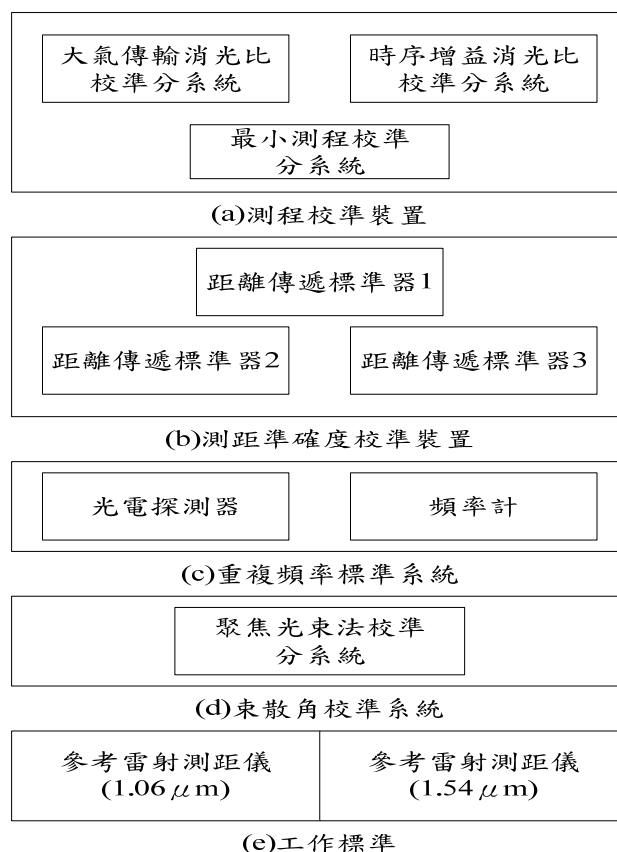


圖 1-1 校準裝置圖

在國外的經驗上，其對於雷射測距儀的校正更建立「手持式激光測距儀檢定規程」(JJG966-2010)，明確規定檢定的項目及範圍，更對量測不確定度進行評估，其中 0-50m 範圍內，以標準鋼卷尺為標準器，在檢定平台上進行，量測不確定度為 $4\mu\text{m}+3*10^{-6}D$ 、 $k=2$ ，而 50m-200m 範圍即使用室外標準基線，量測不確定度為 $1.8\text{mm}+2*10^{-6}D$ 、 $k=2$ ，其校正結果以示值誤差表示，測量範圍及測點的數目列如表 1-2。

表 1-2 測量點分布

測量區間	$D < 1\text{m}$	$1\text{m} < D \leq 50\text{m}$	$50\text{m} < D \leq 100\text{m}$	$100\text{m} < D \leq 200\text{m}$
測量點數	≥ 2	≥ 10	≥ 1	≥ 3

另外李倩(2013)為改善手持式測距儀受限於室外基線場需要極廣大空間，利用光路折疊技術來達到室外檢測室內化的目的，於室內建置 16m 長的平台，試圖將 50m 之室內校正平台縮短，並根據 JJG966-2010 的點數要求設置測點，基線長度則透過經校正之全站儀獲得，計算其示值誤差並與國家測量局的數據比對，結果顯示系統確實可行。

由以上的研究文獻顯示，對於免稜鏡全站儀在各領域已有相當廣泛的應用，且具有實務上的良好成效，包含橋梁檢測、古建物測繪等領域，顯示其在應用上愈來愈普及，也愈受重視。另從國外對於儀器的使用、精度的評估及手持式測距儀的校正等方面研究，顯示國外對於雷射測距精度的重視，亦可發現其對於校正之發展已有一段時間，雷射測距技術上也已相當純熟，足可提供本研究參考。

第二章 測距技術與誤差分析

電子測距依其所採用之光源與頻率不同，大致可分為光電測距與電磁測距。光電測距一般以可見光或紅外光為載波，分為光波測距儀、紅外光測距儀及雷射測距儀，而電磁測距則是以無線電波為載波，一般分為微波測距及雷達測距。電子測距儀的發展已相當長的一段時間，電磁測距因不受天候影響，多應用於長距離之大地測量，然而因衛星定位儀的快速發展、省時省力，亦不受天候影響，測距儀的發展轉而以短距離測距為主，大多採用測距精度較高之光電測距，目前市面上之全站儀即屬此類，應用於小面積的控制測量、地形測量、地籍測量及各種工程測量(何維信，2004)。

本文所要探討的即為具備免稜鏡測距功能之全站儀，雖說免稜鏡測距不需稜鏡反射，僅需藉由反射物之漫反射即可獲得距離，然而其測距原理上並無太大改變，本章仍舊針對測距原理、誤差及測距儀之校正作說明，並簡單敘述國外儀器廠商對於免稜鏡測距技術的發展情形。

第一節 測距原理及誤差

壹、測距原理

電子測距的基本原理相當簡單，雖然依據測定的方式不同，測距方式分為脈衝式測距、相位式測距及變頻式測距等，但其測距原理並沒有改變，無論採用直接或間接方式測得，主要利用測定測距信號在被測距離上往返傳

輸所需時間 T ，據以計算出距離 D ，計算式如式 2-1。以下則僅針對電子測距儀常用之脈衝式測距、相位式測距方法作說明。

$$D = \frac{CT}{2} \quad (2-1)$$

其中， C 為光在大氣中的傳輸速度，可透過觀測時的溫度、壓力和相對濕度等大氣條件來計算。

一、脈衝式測距法(TOF)

脈衝法測距係由發射器(Emitter)發射一短而強之電子訊號，由反射稜鏡將該訊號反射回儀器之接收器(Receiver)，所發射的訊號屬於脈衝式，則所接受的光訊號也是脈衝式，量測發射到接收脈衝訊號之時間差 Δt ，即可根據光速 C 計算兩點間之距離 D ，此方法又稱飛行時間法(Time of Flight, TOF)，其距離計算方式參考式 2-1、原理如圖 2-1。目前市面上的儀器中 Trimble、TOPCON 及 Nikon 係採用此一技術。

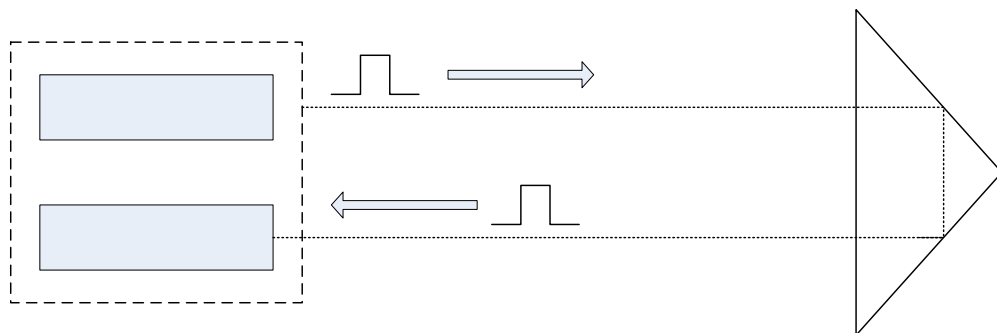


圖 2-1 脈衝法測距原理

二、相位式測距法

相位式測距法是利用一定的頻率對電子測距儀發出的光源進行調制，再透過量測調制光往返測線的相位差來求出距離 D 。發光光源經調

制器調制後射向測線另一端的稜鏡，經反射後的信號由接收器接收，再經由相位計將發射信號與接收信號進行相位比較，找出調制光在測線往返傳播所引起之相位差 $\Delta\phi$ 。一般在電子測距儀中最常見的方法即為測量相位角法，根據調制光的波長計算相位差所代表距離，計算如式 2-2、原理如圖 2-2。雖然此一方法簡單又經濟，惟其測距信號的同頻串擾將使測距成果產生周期誤差，且為求式中 N 的值，必須使用波長不同的多個信號，增加測距時間。

$$D = \frac{1}{2}(N\lambda + \Delta\lambda) = N\frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\phi}{2\pi} \frac{\lambda}{2} \quad (2-2)$$

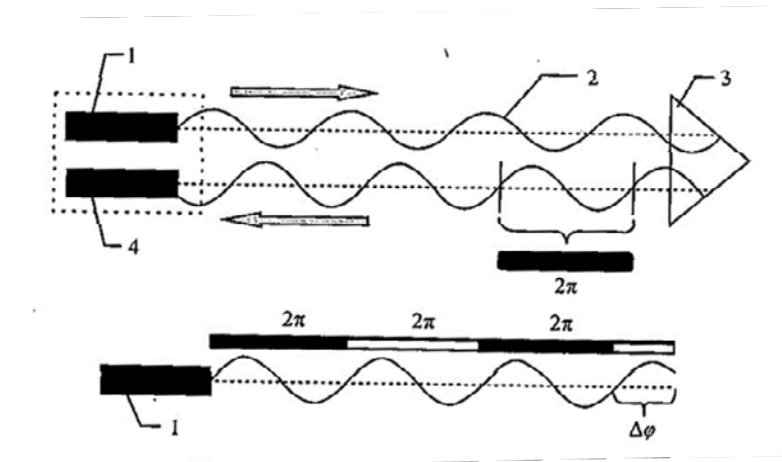


圖 2-2 相位法測距原理(摘自熊春寶，2011)

在相位法發展過程中依儀器精度不同，而採用不同的調制方式，對不足一個週期相位差 $\Delta\phi$ 進行處理，除前述直接測量相位差之測量相位角法外，尚有透過改變測距信號的光程使其相位角增加一 $\Delta\phi$ ，稱為光程調制法，及透過改變測距頻率使 $\Delta\phi = 0$ 的頻率調制法。惟此兩種調

制法大多應用在測距精度相對高的電子測距儀上，其能獲得較高精度的原因有兩項：

- (一) 不須測量相位差。
- (二) 相位差始終為零，不存在週期誤差。

三、測距技術差異比較(Sokkia, 2015)

(一) 相位法：

優點：利用多種頻率波長的相互比較可得到較高精度之測量結果。

缺點：電力充足與否影響測量距離，測量時必需有充足電力以持續發射光源。

(二) 飛行時間法：

優點：1.脈衝式只需一把測尺(或稱一個調制頻率)，而相位法一般需多把測尺(即採用不同的調制頻率)。

2.透過持續發射強力雷射可測得較長的距離。

3.電路較為簡單且成本較低。

缺點：因需利用光波走過的時間計算距離，因此需較多的觀測量，當測量時間太短，反射回來資料不足時，解算精度不高，故必須量測較長時間才能得到較高精度。

貳、測距誤差分析

測距過程有許多誤差來源，依誤差種類主要分為自然誤差、儀器誤差及人為誤差，由於校正的主要目的在測定儀器的誤差，以下僅針對測距儀的主要系統誤差及常數說明如下：

一、加常數 (Additive Constant)：

加常數(也稱零點改正)，如圖 2-3 所示，係由於電子測距儀實質上的光電中心未必與儀器的垂直軸一致；反射鏡等效反射面 R 與反射中心不重合，由於以上的 2 種特性，使得儀器測得距離 D 與實際距離 S 之間存在一與待測距離長短無關之常數差，故須對所有的距離觀測量加上一具有常數性質的改正數(邱明全，2006)。通常儀器在出廠前經過檢定後會將加常數預設至儀器內，但經過一段時間使用後，由於儀器之光路微變及電路老化可能使加常數產生微小變化，故須對加常數進行檢定，一般測定之加常數其實是加常數之剩餘值，但一般仍簡稱加常數。

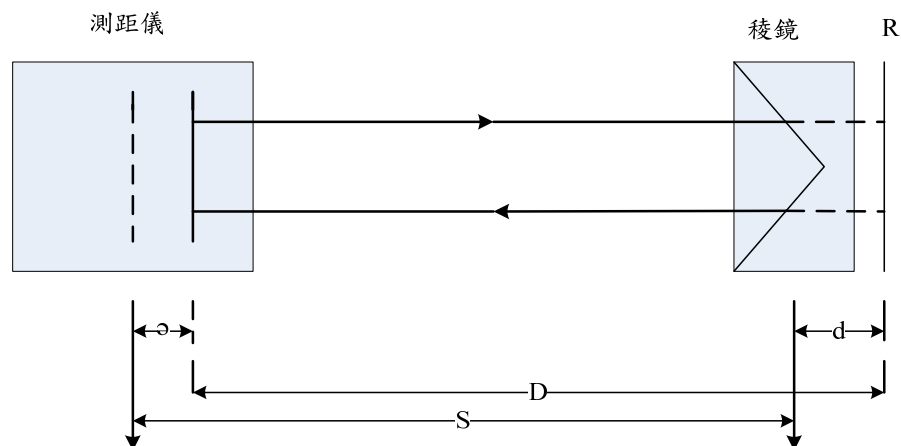


圖 2-3 加常數示意圖

對於電子測距儀加常數測定方法可利用一段式標準基線辦理，如下式

$$K = S_{AC} - D_{AC}$$

其中 S_{AC} 為一標準基線、 D_{AC} 為校正件。如無標準基線，一般所用測定方法如圖 2-4 所示，假設 A、B、C 三點在一直線上，以電子測距儀分別整置於 A 及 B，量測三段長度 D_{AB} 、 D_{AC} 、 D_{BC} ，假設電子測距儀含有加常數 K ，則計算方式如式 2-3：

$$D_{AC} + K = (D_{AB} + K) + (D_{BC} + K)$$

$$K = D_{AC} - D_{AB} - D_{BC} \quad (2-3)$$

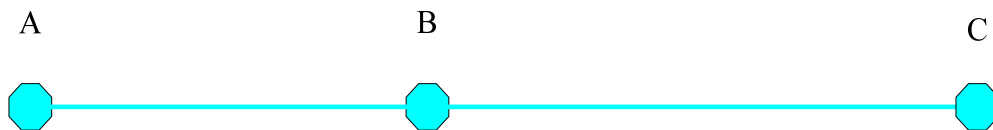


圖 2-4 加常數之測定方法

二、週期誤差 (Cyclic Errors)：

週期誤差指的是以精測尺的長度為週期而重複出現的誤差，主要來源為儀器內部光、電信號的同頻串擾，產生一個固定不變的串擾信號。使得相位式測距原應利用測定測距信號與參考信號的相位差來測定距離，卻變成測定串擾信號和測距信號的合成信號與參考信號的相位差來確定距離(楊俊志, 2004)。雖然現代測距儀的製造水準愈來愈高，週期誤差振幅的幅值越來越小，此項誤差仍被製造商及儀器檢定單位列為檢定項目，一般使用平台法來檢定，檢定平台及儀器墩的設置如圖

2-5 所示。不過隨著瑞士萊卡公司的 Pinpoint 技術和日本 SOKKIA 公司 RED-tech 技術的發展，週期誤差以何種形式表現，則還須進一步研究 (熊春寶，2011)。

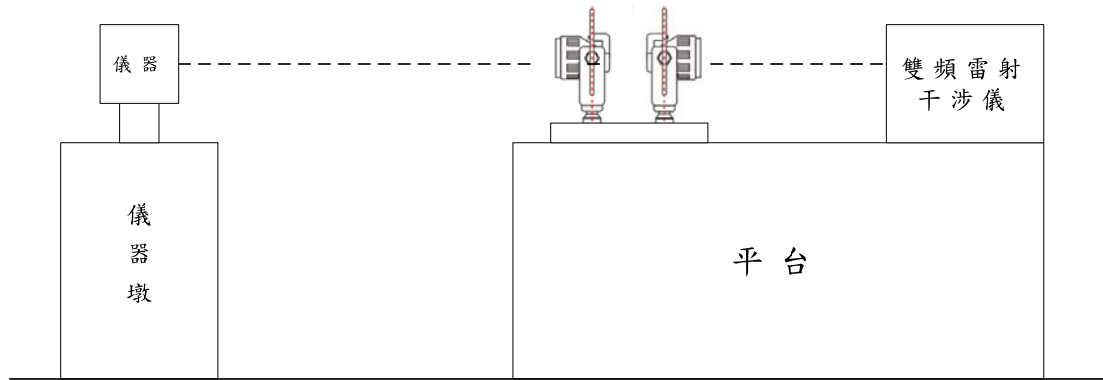


圖 2-5 週期誤差平台裝置

三、發光管相位不均勻(Phase Inhomogen)：

相位不均勻的誤差，一般來說可分為儀器性能及使用 2 部分，由於發光管的發光面上各點發出的光之相位延遲(對相位式測距儀而言)，或由於發光管的發光面上各點發出的光之時間不同(對脈衝式測距儀而言)，在不同距離接收光的位置也不盡相同所引起之誤差，歸類為儀器性能所產生之誤差；至於儀器照准反射稜鏡位置不同，導致接收到的光束部位不同所產生之誤差則屬使用儀器造成。一般為簡化起見，將這種由接收光的位置不同所引起的誤差稱為發光管相位不均勻誤差。此項誤差除製造商改善發光管的品質外，傳統上可透過精確照准反射稜鏡中心來消除其對測距成果之影響。

四、尺度誤差 (Scale Errors)：

尺度誤差在目前國際上比較一致的觀點，一般認為是由儀器幅相誤差(因遠近距離時接收光的強度不一致所引起的測距誤差)及調制頻率的頻率誤差等因素，使儀器存在與距離長短有關之改正項，統稱尺度誤差(又稱乘常數)，德國工業標準 DIN18723-6 及國際標準 ISO17123-4 均採用檢定儀器精測尺頻率作為儀器測距誤差的比例改正項，因此一般所稱乘常數係指因頻率誤差導致，詳如式 2-4。

$$D = D' \times K = D' \times \frac{f}{f'} \quad (2-4)$$

其中 D 為正確距離、D' 為觀測距離、K 為尺度比、f 為設計之參考頻率、f' 為實際發射頻率。

參、測距參數校正

一般對於電子測距儀之常數校正，主要係改正其加常數，瑞士原威特公司 Schwendener 博士 1972 年提出的 6 段解析法，是檢定加常數最有效的方法，已經得到廣泛應用。解析法不需要預先知道基線場的標準長度，以全組合方式觀測 21 段結果，透過平差計算加常數。目前德國工業標準 DIN18723-6 及國際標準 ISO17123-4，均採用 6 段解析法作為正式方法；除了上述加常數外，尚有與測距距離有關之改正項，即所謂乘常數，乘常數的求解，除利用前述檢定頻率的方法外，一般亦採用與基線場的標準值直接比較的方法

式獲得，求解時仍將加常數一併計算，同樣透過 7 個基樁，全組合觀測方式來進行，稱為比較法。

由於一般國際上常用比較法來校正加常數與乘常數，因此基線場的標準長度值就顯得相當重要，國際上為讓測距儀的長度量值能統一，並與世界接軌，將距離量值溯源至各國國家標準，進而統一至國際標準，如採用因瓦基線尺、精密測距儀或干涉儀的方式作為傳遞方式，來測定基線場之距離標準值，例如芬蘭的 Nummela 標準基線(如圖 2-6)、德國的 Munich 標準基線等。



圖 2-6 Nummela 基線

本中心目前對於測距儀的校正，即是參考 ISO17123-4 的方式，建置 9 支固定基樁，以精密測距儀測定基線場標準值，利用比較法的方式，透過觀測數據與參考標準距進行比較分析，以一元迴歸方程式計算加常數及乘常數，並進行統計測試後，獲得最後校正結果。

第二節 免稜鏡測距技術

免稜鏡測距技術，主要透過測距信號經自然界的各種反射面漫反射後，完成距離的量測。目前免稜鏡測距技術採用 2 種不同的光學系統，分為調焦光學系統及非調焦光學系統，如圖 2-7 所示。調焦光學系統是將調焦鏡設置在望遠鏡物鏡與發射光源間，透過調焦鏡的移動，使光源的像投射到被測物體上，即可指出待測點的位置，一般免稜鏡全站儀即採用此一種光學系統；而非調焦光學系統，則是利用信號到達反射面時，其能量分布因屬高斯分布，且不同距離處光斑大小也不同，手持式雷射測距儀即使用這種光學系統。

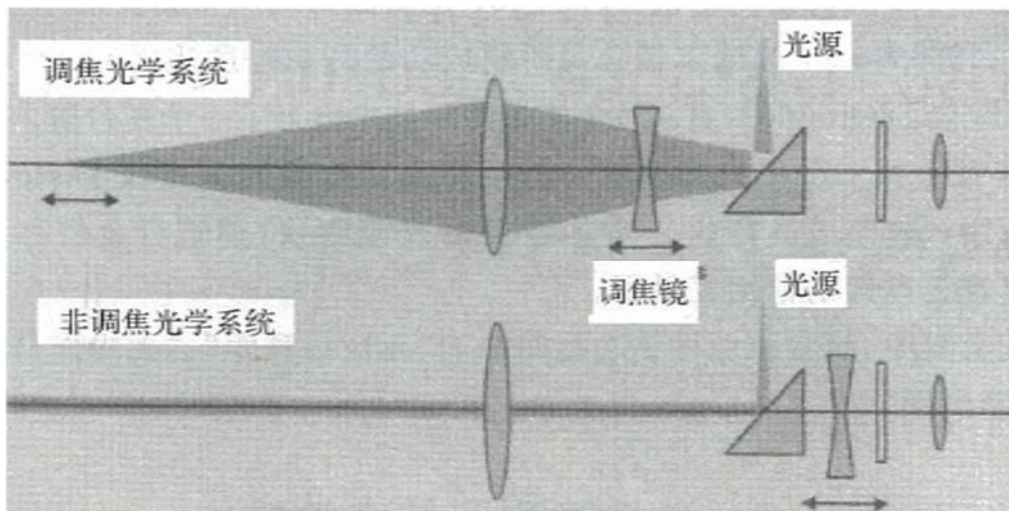


圖 2-7 調焦與非調焦系統(摘自熊春寶，2011)

至於測距方法，早期測繪領域所使用測距儀大多採用相位法，因為其測距精度較高，較容易達到 mm 等級，但因其發射功率低，採用免稜鏡測距模式時，測程很難超過 300m；而脈衝法之測距儀，免稜鏡測距模式雖然很容易超過 500m，但若直接測量脈衝往返時間，則其測距精度又很難達到 mm 等級，必須採用其他技術改善才能符合當前測繪領域對測程及精度的需求。

因此，各儀器廠商紛紛針對測距儀發展適合之測距技術，以下簡要敘述幾家廠商之測距方法：

壹、日本 SOKKIA 的 RED-tec 測距技術

日本 SOKKIA 公司的免稜鏡測距技術，取名為「革命性數位處理技術」(Revolutionary Digital processing technology, RED-tec)，採用的是相位法測距，使用 Class2 及 Class3R 兩種雷射等級作為電子測距之光源，Class2 的免稜鏡測距能力可達 200m，Class3R 可達 500m。

傳統相位法測距過程，一般須透過高低不同頻率的多個測距訊號(長度不同的波長)，對同一目標進行測量，長波長用於擴大儀器的測程，短波長用於保證測量精度，透過組合不同波長的量測結果獲得正確測距結果。RED-tec 測距技術則是將高低不同頻率的測距訊號混合後再發射，儀器採用數字信號測量技術對接收的測距訊號進行分析，還原出各種測距訊號，以獲得不同頻率測距訊號之相位差，進而獲得最後距離。如此可提高測距速度，節省測距時間。

貳、瑞士 Leica 公司 PinPoint 測距技術

免稜鏡測距模式雖然極為方便，免去設置稜鏡的困擾，進而提高工作效率，但仍遭遇測程不足、對特殊目標的測量、多目標識別、發射光源等問題。Leica 公司為解決上列測距儀使用免稜鏡模式所遭遇困難，研發新的測距技術希望能進一步改善。

就測距原理來說，PinPoint 測距技術既不是純脈衝法，也不是純相位法，其測距信號不僅是單一脈衝波或相位波，而是由多種波構成，其解算係將測距部分與反射部分組成一個線性時不變系統(Linear time invariant system，LTIS)進行分析。

參、日本 TOPCON 公司的測距技術

TOPCON 公司開發一系列新技術以滿足當前對測繪儀器高精度之需求，除採用電子減光系統以代替模擬減光系統、在光路系統中增加透反光稜鏡、採用共振電路，將一個脈衝測距訊號轉換成多個振幅逐漸衰減的周期訊號，還採用了獨創的精密測時方法，提高儀器的測距精度。

目前國內全站儀皆由國外進口，由於其應用的頻繁及對測繪成果的要求，對於測距功能的校正已日漸受到重視。然而，免稜鏡測距的技術由於其便利性，日漸受到廣泛應用，但經尋訪國內相關文獻，並未見對於免稜鏡測距校正之規範或說明，本文期望能參考國外作法，研擬適合的方式，作為未來發展校正之參考。

第三節 反射材質分析

由於電子測距經緯儀之雷射測距功能具備免反射稜鏡、人員無需架設稜鏡，即可測量與待測物之距離的特性，大大提升外業測量人員的便利性，解決因障礙物阻隔無法施測的困境。惟因一般的認知中，雷射測距係測距訊號藉由物體表面之漫反射後求得，可能與光源的強弱、反射面的材質、距離長短及環境條件等因素有關，進而影響測距的精度。以下蒐集各顏色漫射表面的反射率及各種材料反射率作為本研究測試之參考(JIS Z8721-1993)。

其中由表 2-1 各種顏色之漫反射表面反射率，可得知其平均反射率，如同我們一般的認知，顏色較淺其反射率較強，顏色較深則相反，反射率之高低依序為白色、黃色、米色、灰色、綠色等；表 2-2 則呈現各種不同材質之反射率。

表 2-1 各顏色漫射表面的反射率

顏色	反射率(%)		
	明亮	平均	暗
黃	70	50	30
米色	65	45	25
茶	50	25	8
紅	35	20	10
綠色	60	30	12
青	50	20	5
灰	60	35	20
白	80	70	-
黑	-	4	-

表 2-2 各種材料反射率

材料		反射率(%)	
鏡面材質 (垂直入射)	銀表面	93	
	鋁電解拋光表面	9~95	
	玻璃鏡面(鋁合金)	80~85	
	汞、鋁	70~75	
	金、鉻、鎳、鉑、錫	60~70	
	銅、鋼、鎢	50~60	
	錫紙、銀箔、鋁箔	20~30	
	透明玻璃	10~12	
	黑色玻璃	5	
	水面	2	
擴散性材料	金屬和玻璃	碳酸鎂(特殊, 反射率標準)	98
		硫酸鋇	93
		氧化鋁	80~85
		鋁漆	60~70
		鋁合金	60~80
		表面粗糙鍍鉻	50~60
		鋅板(新)	30~40
		銀色玻璃	60~70
		磨砂玻璃	15~25
		塗料	白色油漆, 陶瓷, 瓷釉
	淺色油漆		30~70
	深色漆		15~40
	紙類	白紙: 優質紙張	85~91
		白紙: 吸墨紙、肯特紙	70~80
		空白銅版紙	60~65
		空白粗紙	30~50
		描圖紙	20~25
		報紙	40~50
		淺色壁紙、麥麩紙	40~70
		深色壁紙、麥麩紙	20~40
		牛皮紙	25~35
		黑紙	5~10
		黑紙(用於彩色圖表)	1~5
	布料	白色布: 絨布	60~70
		白色布: 棉、麻	40~70
		淺色窗簾	30~50
		格紋	25~30
		黑色布: 布	7~15

材料		反射率(%)	
		黑色布：棉	2~3
		黑色布：天鵝絨	0.4~3
	建築木材	桐（新）	65~75
		檜木（新）	55~65
		杉（新）	30~50
		杉板（新）	25~35
		亮光漆	40~60
		彩色漆	20~40
		外牆板材（新）	40~55
		外牆板材（舊）	10~30
		牆壁 石材	白色瓷磚
	淺色瓷磚		50~70
	白色大理石		50~60
	淺色的人造石		30~50
	淺色磚（新）		30~40
	一般石材		25~50
	紅磚（新）		25~35
	混凝土、水泥瓦、淺色石板		20~30
	深色瓷磚、暗人造石、瓦		10~20
	紅磚（舊）		5~10
	白石膏牆（新）		75~85
	一般白色的牆		55~75
	一般淺色的牆壁		40~60
	日本沙牆（茶葉等淺色）		20~40
	一般深顏色的牆面		15~25
	日本沙牆（綠色等深顏色的）	5~15	
	料 地 坪 材	榻榻米（新）	50~60
		淺色磁磚	40~70
		深色磁磚	10~20
	面 地 表	碎石、水泥、鋪路石	15~30
瀝青路面		15~20	

第三章 免稜鏡測距校正系統設計與建置

由於測距儀測距技術的快速發展，使得測距不再受限於障礙物的阻隔而影響作業進行，然而雷射測距的技術畢竟還是需透過儀器對於反射訊號的接收，進而解算其距離而得，惟其測距精度究竟是否符合出廠的儀器精度，應是使用者所希望了解的資訊。鑒於目前國內尚無機構辦理此一項校正，本章將參考本中心電子測距儀校正程序及國外現行的作業方式，針對免稜鏡測距校正系統的建置，研擬並規劃可行之作業方式，作為未來辦理之參考，進一步通過 TAF 認證，納入本中心儀器校正項目之一。

以下首先針對所使用之系統設備作介紹，再遵循國際認證規範 ISO/IEC17025 之品質要求，研擬辦理校正之作業程序。

第一節 系統設備

免稜鏡測距校正系統(以下簡稱本校正系統)主要之設備及儀器係使用本中心電子測距儀校正系統之設備，包括固定基座電子測距基線場及精密測距系統，分述如下：

一、固定基座電子測距基線場

固定基座電子測距基線場設於至善樓前安全島，設置 9 支穩固之鋼筋混凝土基樁，各基樁上設有可直接架設儀器之 5/8"-11 強制定心基座，為校正系統之工作參考標準件，而各樁位間之參考標準距離係以國家度量衡標準實驗室校正合格之精密電子測距儀測得，據以提供辦理

雷射測距校正，各基樁之配置如圖 3-1，現場照片如圖 3-2(內政部國土測繪中心，2015(a))。

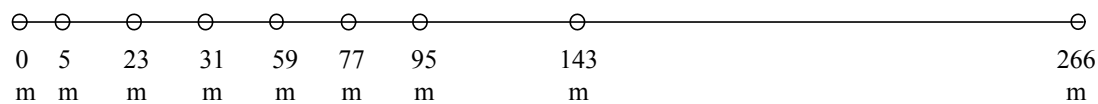


圖 3-1 固定基座基線場基樁配置圖



圖 3-2 固定基座基線場

二、精密測距系統

精密測距系統包括之各項儀器及規格如表 3-1、設備樣式如圖 3-3 所示。

表 3-1 精密測距系統各項儀器及規格

名稱	廠牌	型/序號	數量	規格	功能	備註
精密電子測距儀	Leica	TM30/ 365576	1	精度: $0.6 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \times D$ 最小顯示: 0.1 mm 免稜鏡: $2 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} \times D$	量測距離	參考標準件
反射板	-	-	1	13cm*15cm*2mm (Kodak Gray Card, 90% reflective)	距離量測附件	
溫溼度計	rotronic	HP21 60937078	1	$\pm 0.2^\circ\text{C} / \pm 1.0\% \text{ rh}$	溫溼度量測	-
氣壓計	Meriam	A1500MH 179700-Y1	1	$\pm (0.5 + 0.25\% \times \text{讀數})$	壓力量測	-
求心基座	Sokkia / Leica / Topcon	-	8	定平精度 $60''/2 \text{ mm}$ (含)以上	距離量測附件	-



圖 3-3 校正設備圖

第二節 校正作業程序

壹、校正前準備事項

將校正件儀器攜出儀器櫃，檢查校正件及序號是否與校正申請表填載一致；若否，洽收件人員並連絡顧客查明(此所稱校正件，係指待辦理校正之儀器)。

- 一、依校正申請表檢查儀器配件，並將電池充電。
- 二、校正人員執行校正前，應先熟悉校正程序及校正件儀器操作方法。
- 三、檢查校正件儀器雷射測距基本功能是否正常，發現缺失則停止校正，並通知顧客將儀器攜回。
- 四、校正人員依「校正作業管理程序」填具『校正作業管理表』及清點辦理校正作業應攜至基線場之相關儀器及配件後，始可將儀器攜至固定基座基線場。

貳、校正程序

一、環境溫度及大氣壓力觀測

- (一) 將溫度計及壓力計置於陰涼處開啟，依操作經驗，為讓儀器穩定並適應環境，至少需10分鐘後始可進行觀測。
- (二) 於陰涼處開啟參考標準件及校正件之儀器箱，讓儀器穩定並適應環境，10分鐘後始可開始進行校正作業。
- (三) 使用參考標準件進行參考標準距離量測及每部校正件校正作業觀測前，應觀測環境溫度及絕對壓力，並將觀測值輸入儀器及填

載於觀測記錄表。

二、設置求心基座：架設反射板之樁位均應先整置求心基座，於定平後始可架設反射板施測。

三、加常數查核

(一) 說明：依實驗室校正經驗，影響校正可能的最大誤差來源為電子測距儀加常數，當儀器存在加常數，將直接影響每段標準距離，並影響校正結果正確性，因此執行此項查核，以驗證參考標準件加常數是穩定的，並確保校正結果的正確性。

(二) 時機：每季執行校正之參考標準距離量測作業前。

(三) 方法：將參考標準件整置於31 m (或59 m或77 m) 處基樁，檢查儀器之各項常數並記錄於『電子測距儀加常數查核紀錄表』，將環境溫度及壓力輸入儀器，依該表完成所有觀測，並紀錄觀測結果，據以計算加常數，其值應在第四章第三節、量測品保之管制範圍內，若否則應停止校正並查明原因。

四、參考標準距離量測

依顧客需求 (檢視校正申請表)，分為觀測至 95 m 及觀測至 266 m：

(一) 觀測至266 m：將參考標準件整置於0 m 處基樁，分別照準整置於5 m、23 m、31 m、59 m、77 m、95 m、143 m及266 m處之反射板；接著將參考標準件整置於5 m處基樁，分別照準整置於23 m、31 m、59 m、77 m、95 m、143 m及266 m處之反射板，每段距離正、倒鏡各觀測3次，將平距記錄於『免稜鏡測距參考標準距離觀測紀錄表』，觀測組合圖如圖3-4。

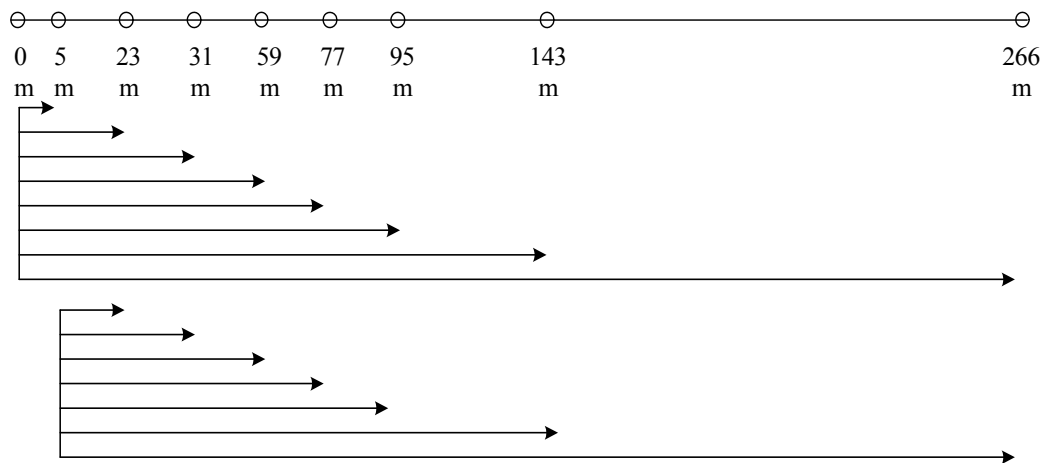


圖 3-4 266 m 標準距離觀測組合圖

- (二) 觀測至95 m：步驟同上，惟143m及266m基樁不予觀測。
- (三) 各段標準距離值應在基樁穩定性管制範圍內，若否應停止校正，查明原因。
- (四) 參考標準距離量測應至少每季辦理1次。
- (五) 完成後將參考標準件各制動螺絲鬆開置回儀器箱。

五、校正件校正作業

- (一) 儀器整置：將校正件自儀器箱取出放置0 m基樁固定基座上，選擇任一方向，調整儀器腳螺旋使管汽泡居中，旋轉儀器 180° ，管汽泡應仍居中或不超過1 mm，否則應以半半改正法改正之；以此方向為準，旋轉儀器 90° ，再以同樣方法檢查之。當將儀器轉至任一方向管汽泡移動均在1 mm內，即完成儀器定平。
- (二) 管汽泡居中後，圓盒汽泡應居中，否則使用校正螺絲，調整汽泡居中。
- (三) 設定儀器單位及功能開啟：依操作手冊設定單位 m / $^\circ\text{C}$ / hPa（若適用）、角度為度 / 分 / 秒；測距設為最佳測距模式、設定顯示最小讀數、溫度 / 壓力自動改正設為ON、軸系補償設為ON；

檢查稜鏡常數是否設定為免稜鏡模式。

- (四) 校正件觀測：依顧客需求(檢視校正申請表)，分為觀測至95m或觀測至266 m，觀測步驟與(四)參考標準距離量測相同。
- (五) 原則上以晴天穩定氣候進行校正為最佳，若在強烈陽光下作業，應使用遮陽傘；校正作業進行中若遇下雨，經判斷仍可繼續作業者，應使用雨具將校正中儀器觀測完成後停止校正；經判斷無法繼續作業者，應立即停止校正。
- (六) 若辦理266 m校正程序，由於143 m及266 m基樁位在不同安全島上，作業時應派員維持交通，作業中各基樁間不得有阻擋物干擾。

六、資料分析

經參考國外對於手持式免稜鏡測距儀校正，僅以示值誤差(即器差 ΔD)作為校正值表示，並未考慮乘常數的部分，應係考量實際作業時，免稜鏡測距之漫反射材質並非一固定材質。因此，以器差為校正值，即校正件之量測距離 D_m 與基線場之標準距離 D_s 比較之差值，取所有器差中絕對值最大者為檢定結果，計算式如 3-1：

$$\Delta D = D_m - D_s \quad (3-1)$$

其中 D_s 為參考標準件依二、(四)所量測之參考標準距，

D_m 為校正件依(五)所量測之距離。

第三節 反射板材質設計

為了解反射材質不同對於雷射測距可能產生的影響，本節蒐集外業測量過程較為常見之幾種材質進行測試及分析，以作為實際使用參考。將各種材質之反射物貼附於反射板，反射物之樣式、材質、顏色及厚度列如表 3-2、反射板示意圖如圖 3-5、3-6。

表 3-2 反射材質表

編號	樣式 1	樣式 2	樣式 3	樣式 4	樣式 5	樣式 6
材質	壁磚	壁磚	壁磚	壁磚	壁磚	壁磚
顏色	白色	綠色	紫色	灰色	黃色	粉紅
厚度 (mm)	8.0	7.5	7.8	7.3	7.8	7.4
編號	樣式 7	樣式 8	樣式 9	樣式 10	樣式 11	樣式 12
材質	鐵片	鐵片	木板	木板	木板	木板
顏色	灰色	白色	花紋	黃色	深色 條紋	白色
厚度 (mm)	0.5	0.5	3.8	4.0	3.7	4.3

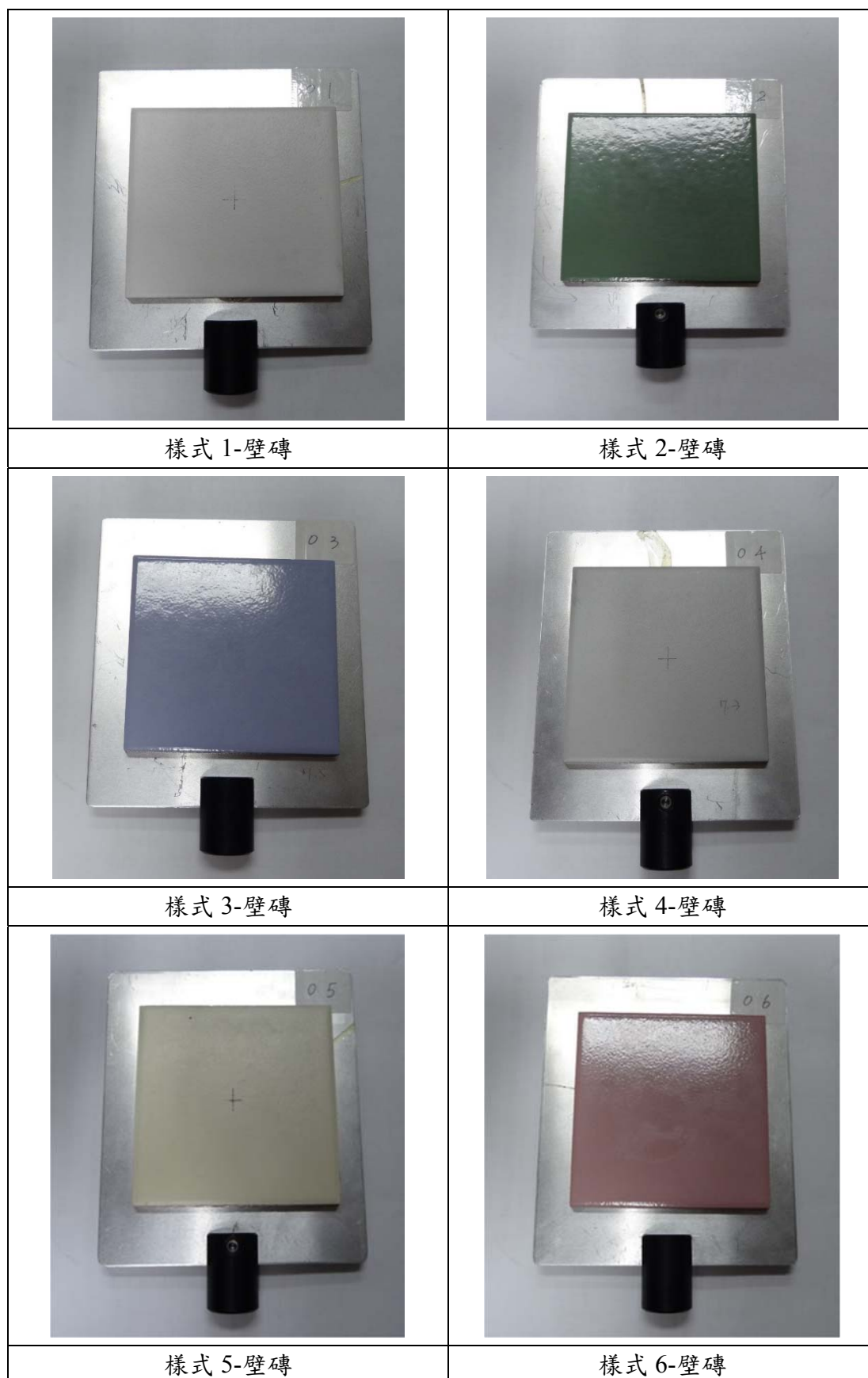


圖 3-5 反射板示意圖(1)

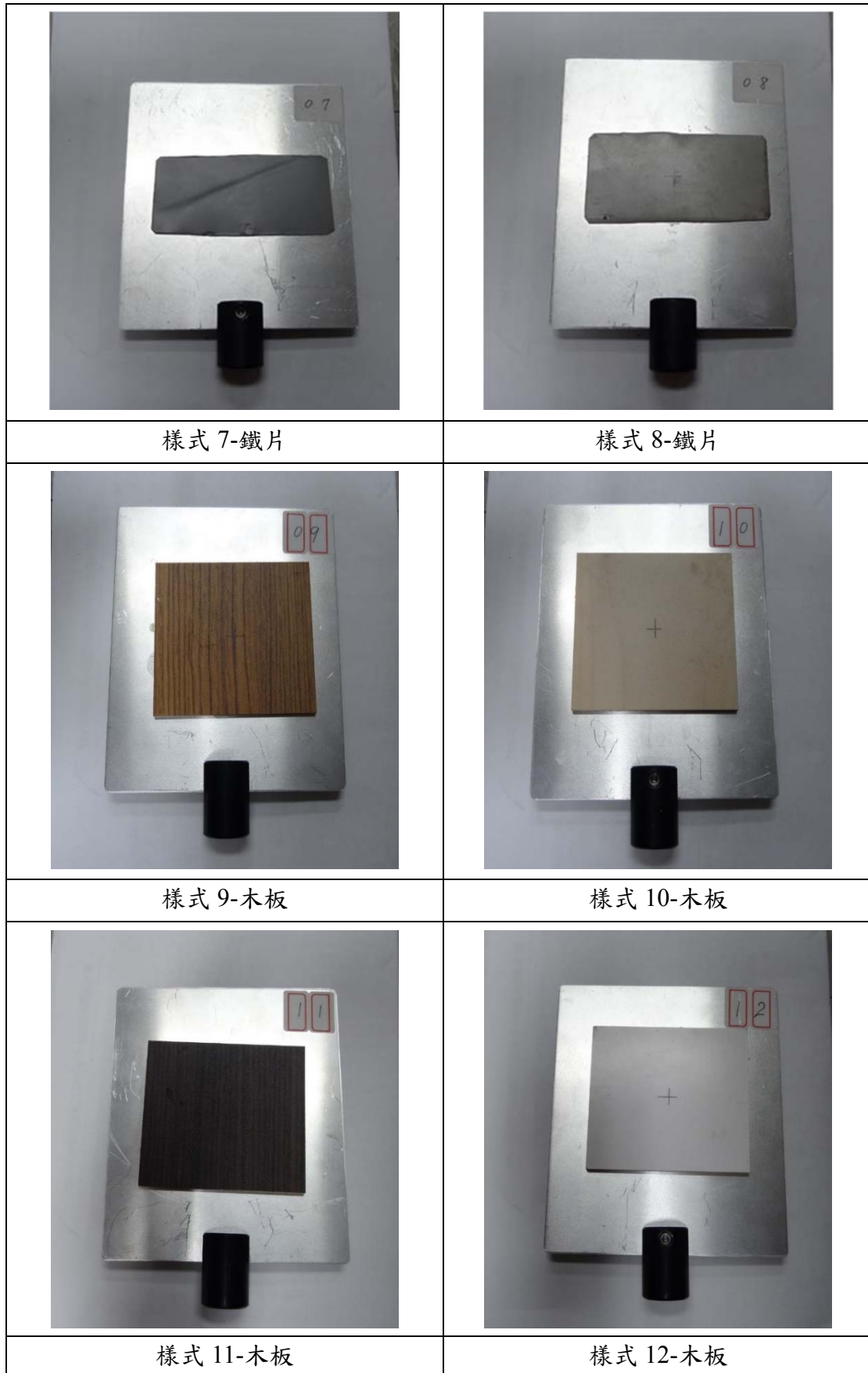


圖 3-6 反射板示意圖(2)

第四章 測試成果分析

第一節 參考標準距離分析

本研究之方法乃以比較法辦理校正，主要仍以本中心電子測距儀校正系統之固定基座基線場為工作參考標準件，藉由經國家度量衡標準實驗室校正之參考標準件，量測所得距離作為參考標準距，據以辦理後續校正。考量辦理校正時，係以校正件測得反射板表面距離，而校正所用之參考標準距離，如使用稜鏡反射測距，所測得距離為基樁中心距離，將因反射板厚度約2mm，使參考標準距與反射板所得距離產生一固定差。本節將嘗試利用參考標準件以雷射測距功能，透過反射板量測各樁位距離，一方面驗證參考標準件之雷射測距精度，並分析直接以雷射測距作為參考標準距之可行性。經以稜鏡及反射板分別測得固定基座基線場距離如表 4-1、4-2。

表 4-1 固定基座基線場距離(稜鏡測距)

施測日期	0-5	0-23	0-31	0-59	0-77	0-95	0-143	0-266
1040429	4.9975	23.0276	30.9882	59.0136	77.0170	95.0168	142.9867	265.9991
1040507	4.9976	23.0275	30.9881	59.0132	77.0169	95.0168	142.9868	265.9991
1040514	4.9978	23.0277	30.9885	59.0132	77.0170	95.0168	142.9869	265.9995
平均	4.9976	23.0276	30.9883	59.0134	77.0170	95.0168	142.9868	265.9992

施測日期	5-23	5-31	5-59	5-77	5-95	5-143	5-266
1040429	18.0301	25.9909	54.0161	72.0197	90.0191	137.9894	261.0017
1040507	18.0299	25.9905	54.0156	72.0194	90.0190	137.9892	261.0015
1040514	18.0300	25.9910	54.0156	72.0195	90.0192	137.9892	261.0025
平均	18.0300	25.9908	54.0158	72.0195	90.0191	137.9892	261.0019

表 4-2 固定基座基線場距離(雷射測距)

施測日期	0-5	0-23	0-31	0-59	0-77	0-95	0-143	0-266
1040429	4.9970	23.0265	30.9874	59.0121	77.0160	95.0158	142.9860	265.9986
1040507	4.9969	23.0271	30.9874	59.0124	77.0162	95.0163	142.9866	265.9978
1040514	4.9980	23.0269	30.9875	59.0121	77.0160	95.0159	142.9866	265.9984
平均	4.9973	23.0268	30.9874	59.0122	77.0161	95.0160	142.9864	265.9983

施測日期	5-23	5-31	5-59	5-77	5-95	5-143	5-266
1040429	18.0293	25.9897	54.0144	72.0195	90.0180	137.9883	261.0010
1040507	18.0294	25.9896	54.0140	72.0188	90.0178	137.9884	261.0006
1040514	18.0287	25.9902	54.0144	72.0190	90.0178	137.9886	261.0017
平均	18.0291	25.9898	54.0143	72.0191	90.0179	137.9884	261.0011

為驗正以雷射測距所得距離之精度及作為未來參考標準距之可行性分析，分別以稜鏡所測得距離作為參考標準距離，以雷射測距所得距離進行比較，各次所得器差比較如圖 4-1，利用一元線性迴歸分析，所得截距及變數(加常數及乘常數)如表 4-3。由結果發現各次量測所得距離大致較稜鏡所得距離為短，截距皆約 1mm 上下，平均截距約 0.85mm；變數對測距的影響量則相當小，幾可忽略，顯示雷射測距所得距離與參考標準距之差異，主要為與距離無關之常數差。其中所用反射板之厚度約 2mm，如採計至反射板之中心，須將雷射測距所得距離加計 1mm，換言之，即與參考標準距相近，所得截距將幾近於 0，顯示雷射測距所得距離尚在其標示精度範圍 $\pm(2\text{mm}+2\text{ppm})$ 內，且以雷射測距所得距離直接作為校正之參考標準距使用

應為可行，本文中用以分析之參考標準距離係以前述 3 次雷射測距平均所得(詳附錄一)。

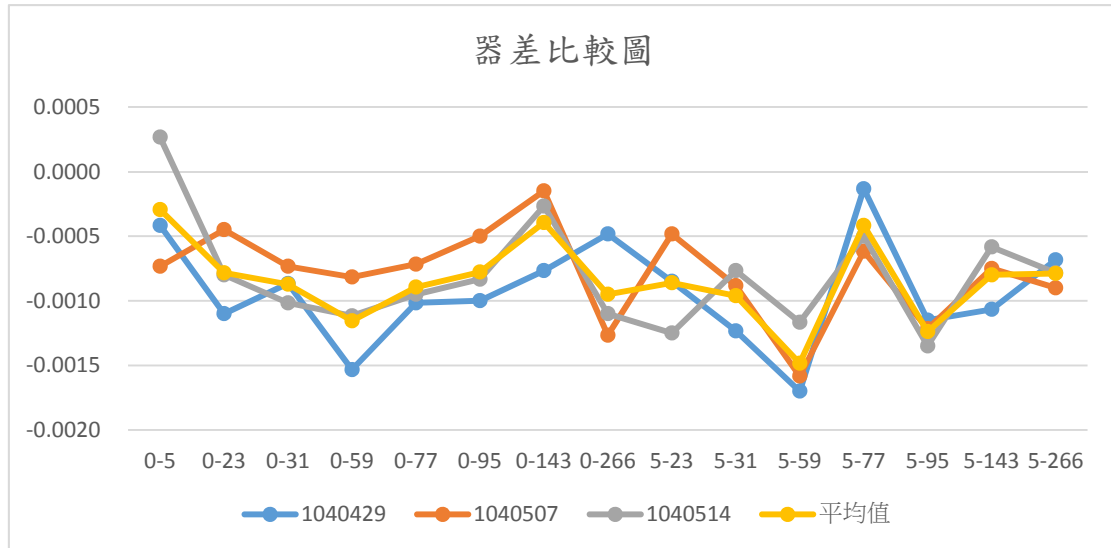


圖 4-1 器差比較圖

表 4-3 迴歸分析結果

施測日期	1040429	1040507	1040514	3 次距離 平均值	平均
截距(mm)	1.1	0.7	0.8	0.8	0.85
變數(ppm)	-1.4	0.9	0.4	0	0

另為進一步驗正各次稜鏡測距與雷射測距之比較結果是否具一致性，將利用變異數分析(analysis of variance, ANOVA)進行測試，用來檢定三個或三個以上的母體平均數是否相同，本研究使用 Microsoft Excel 中資料分析工具進行此項分析，利用 $F = \frac{MSA}{MSE}$ 的比值來衡量母體平均數的差異，比值越大表示母體平均數差異越大(陳淼勝，2010)，假說如下

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1 : \mu_1, \mu_2, \mu_3 \text{ 不全相等}$$

$$MSA = \frac{\sum_{j=1}^k n_j (\bar{x}_j - \bar{\bar{x}})^2}{k - 1}$$

其中 n_j 表第 j 個母體抽樣個數， \bar{x}_j 表從第 j 個母體取出的樣本平均數， $\bar{\bar{x}}$ 為所有資料總平均。

$$MSE = \frac{\sum_{j=1}^k (n_j - 1) s_j^2}{n_T - k}$$

其中 $n_T = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k$ 表全體資料筆數。

表 4-4 各次器差之 ANOVA 檢定結果

組	個數	總和	平均	變異數
1040429	15	-0.014	-0.00093	1.6806E-07
1040507	15	-0.0118	-0.00079	1.2906E-07
1040514	15	-0.01222	-0.00081	1.7555E-07

變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	1.82E-07	2	9.1E-08	0.57785477	0.565498698	3.219942293
組內	6.62E-06	42	1.58E-07			
總和	6.8E-06	44				

各次器差之 ANOVA 檢定結果如表 4-4，由於 $F < \text{臨界值}$ ，故無法拒絕虛無假設，也就是說 3 次器差並無明顯差異。

第二節 免稜鏡測距分析

將各種樣式之反射面貼附於反射板，並依第三章第二節之校正程序，將全站儀(Leica TM30)分別整置於 0m 及 5m 樁位，再以雷射測距功能測得各樁位之距離，測量時已經分別對觀測距離進行溫度、壓力的改正，再將各段距離與參考標準距(第四章第一節所得結果)進行比較分析，獲得各樣式反射面各測段之器差(詳附錄二)，器差比較圖如圖 4-2，經以一元迴歸分析計算加常數及乘常數，並檢定其顯著性(詳附錄二)後列如表 4-5。

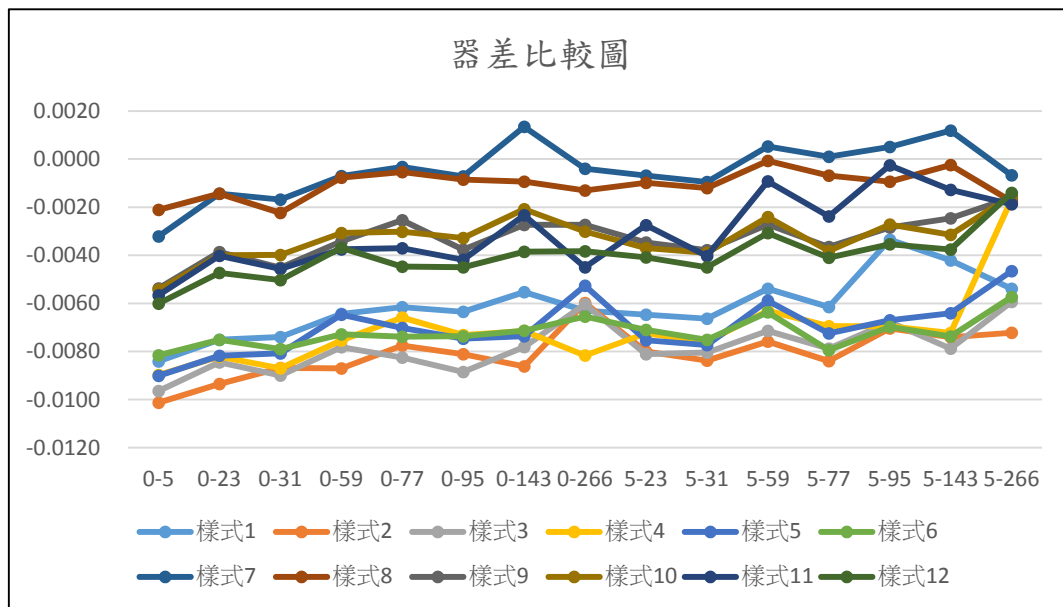


圖 4-2 器差比較圖

表 4-5 加常數及乘常數列表

編號	樣式 1	樣式 2	樣式 3	樣式 4	樣式 5	樣式 6
材質	壁磚	壁磚	壁磚	壁磚	壁磚	壁磚
顏色	白色	綠色	紫色	灰色	黃色	粉紅色
厚度 (mm)	8.0	7.5	7.8	7.3	7.8	7.4
加常數	6.7	8.9	8.7	8.2	8.0	7.7
乘常數	-	-	-	-	-	-
誤差值	1.3	-1.4	-0.9	-0.9	-0.2	-0.3

編號	樣式 7	樣式 8	樣式 9	樣式 10	樣式 11	樣式 12
材質	鐵片	鐵片	木板	木板	木板	木板
顏色	灰色	白色	花紋	黃色	深色條紋	白色
厚度 (mm)	0.5	0.5	3.8	4.0	3.7	4.3
加常數	1.0	1.1	4.0	4.0	3.5	4.8
乘常數	-	-	-8.3	-7.9	-	-8.4
誤差值	-0.5	-0.6	-0.2	0	0.2	-0.5

由於反射材貼附於反射板上，各測段之器差計算所得之加常數，可以解釋為各反射面量測距離與參考標準距間的常數差，此為一與測距長度無關之誤差量，乘常數則是一隨測距長短而變化之誤差量($d \cdot 10^{-6}m$, d 為距離)。

經顯著檢定測試，僅 3 項木板材質具與距離長短有關之常數差，故分析時暫不考慮乘常數的影響，理論上，計算所得加常數應與厚度相同，即加常數反應的常數差應為厚度所造成。由實測數據顯示，計算所得加常數與厚度之差值並不顯著，其絕對值皆在 1.4mm 以內，最大者 1.4mm 為樣式 2 之綠色壁磚，最小者則為樣式 10 之黃色木板，顯示材質不同似乎對測距結果並沒有太顯著影響，與岳建平等人之研究結果相似。

至於顏色對於測距結果的影響如何呢?由樣式 1~6 不同顏色壁磚計算之結果顯示，誤差值以黃色-0.2mm 及粉紅色-0.3mm 最小，顯示與參考標準距最為接近，較深的綠色之差值雖為-1.4mm 較大，均在儀器規格 $\pm(2mm+2ppm)$ 之量測精度以內。但從誤差值的變化趨勢可以發現，白色之加常數與厚度差值雖為 1.3mm，但其值為正，顯示其可獲得較實際距離長之距離，依序為粉

紅色、黃色、灰色及紫色，最後綠色則可能因反射效果較弱，所獲得的結果將較實際距離短，所得結論亦與表 3-1 各種顏色漫反射的反射率高低相近。

而樣式 7 及樣式 8 同為鐵片，所得結果與參考標準值比較，因乘常數均不顯著，而誤差值亦相當接近，顯示在本次研究中，以灰色與白色鐵片所得測距結果似乎沒有明顯差異；樣式 9~12 之木板所獲得距離經與參考標準值比較，在不考慮乘常數之情況下，顯示其誤差值亦相當接近，最大誤差僅 -0.5mm，雖然顏色不同誤差值或有差異，但似乎不甚明顯，由本次試驗所得數據，尚無法明確獲知其顏色不同對測距結果之影響。

由顯著性測試發現，以上述材質測試結果，壁磚及鐵片在與距離長短有關之誤差量均不顯著，僅木板類之乘常數較為顯著。此一現象說明在實際作業過程，可能因漫反射材質之不同，因距離長短所產生之誤差量將不同。由此可見，似乎可以假設以免稜鏡測距校正的方式，並無法有效評估出儀器之乘常數，如欲校正儀器之乘常數，是否還是以稜鏡測距校正為佳，針對此一假設，則可再進步一驗證。

第三節 量測品保分析

為確保儀器測距精度無虞及基樁之穩定，本節透過以量測次數順序 x_i 為橫軸，對應查核參數值 y_i 為縱軸，分析查核參數平均值 A_c 、計算標準差 S_c ，以統計 99.7 % 信賴水準，取 3 倍標準差作為管制上限 UCL 與管制下限 LCL，做為系統品質控制依據。未來執行時，以上數據應於每年重新計算一次，其計算式如下：

$$UCL = A_c + 3S_c$$

$$LCL = A_c - 3S_c$$

壹、加常數查核管制

此項查核管制，則以近期利用參考標準件 Leica TM30 觀測所得加常數查核值，計算平均值及標準差，並繪製管制圖如圖 4-3，作為加常數查核之管制，確保儀器之常數誤差不會影響參考標準距之量測。未來俟累積足夠查核資料，則可利用歷次辦理加常數查核所得資料，計算加常數平均值及標準差，進行管制。

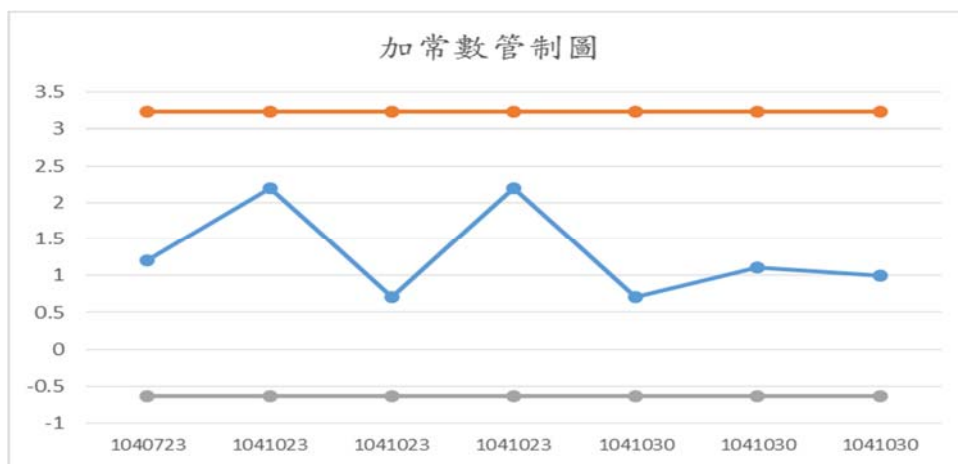


圖 4-3 加常數查核管制圖

貳、基樁穩定性管制

此項穩定性管制，初步以近期利用參考標準件 Leica TM30 觀測所得參考標準距 5 次，計算平均值及標準差，並繪製管制圖如 4-6 至圖 4-11，以各基樁相對於 0 m 之水平距離作為基樁穩定性之管制，確保參考標準距之穩定。未來俟累積足夠資料，則可利用歷次辦理校正前量測之參考標準距離計算平均值及標準差，進行管制。

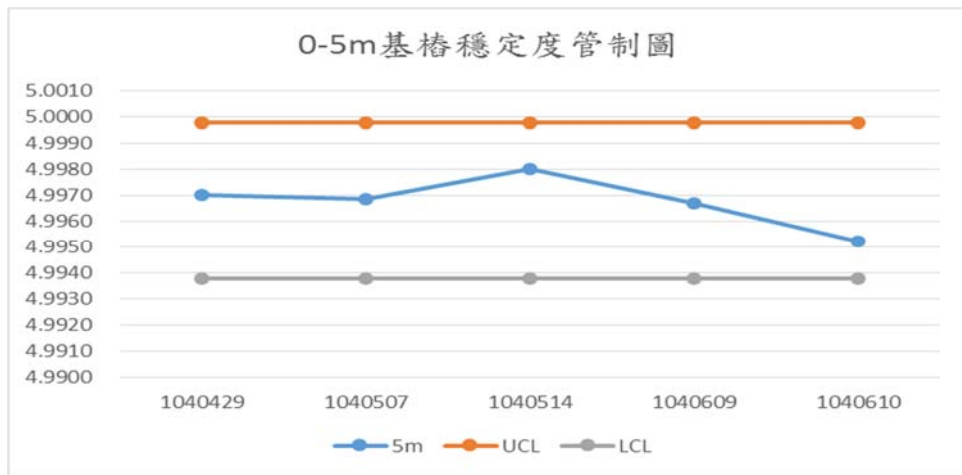


圖 4-4 0-5m 基樁穩定度管制圖

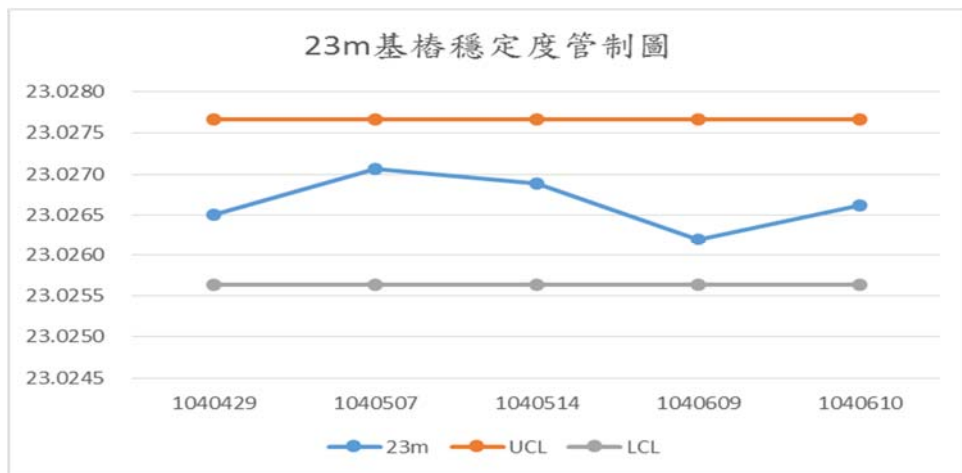


圖 4-5 0-23m 基樁穩定度管制圖

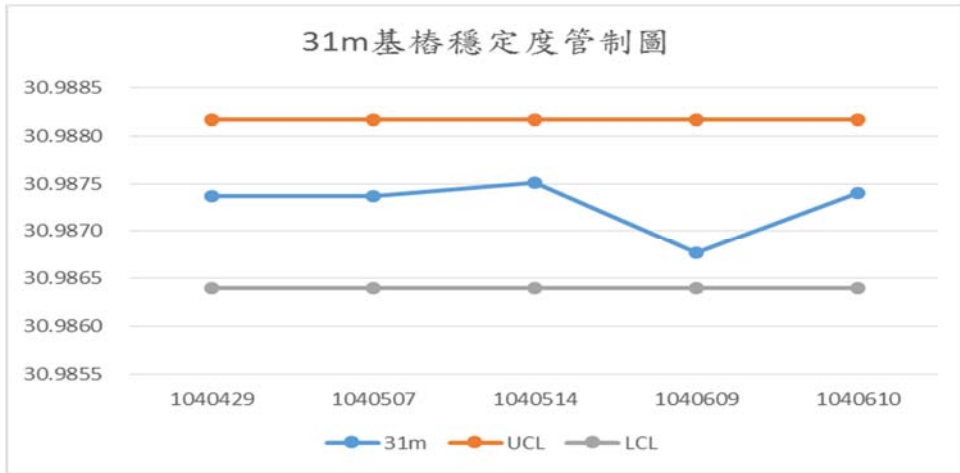


圖 4-6 0-31m 基樁穩定度管制圖

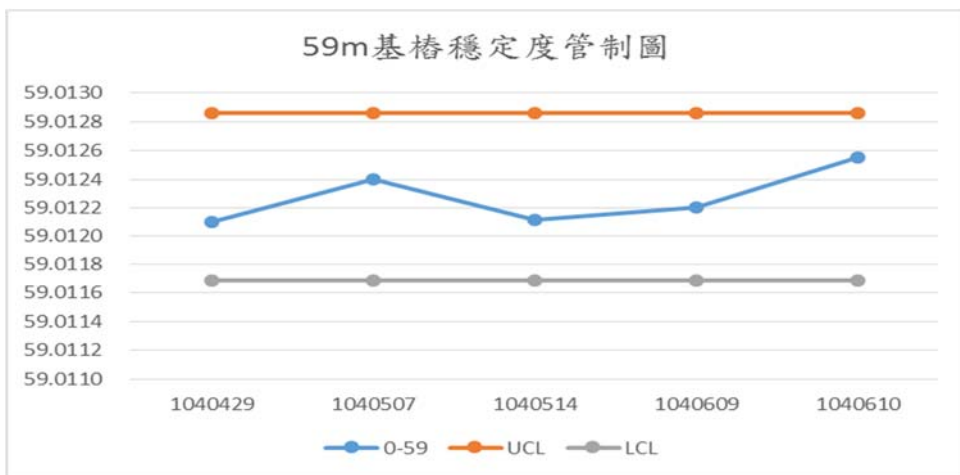


圖 4-7 0-59m 基樁穩定度管制圖

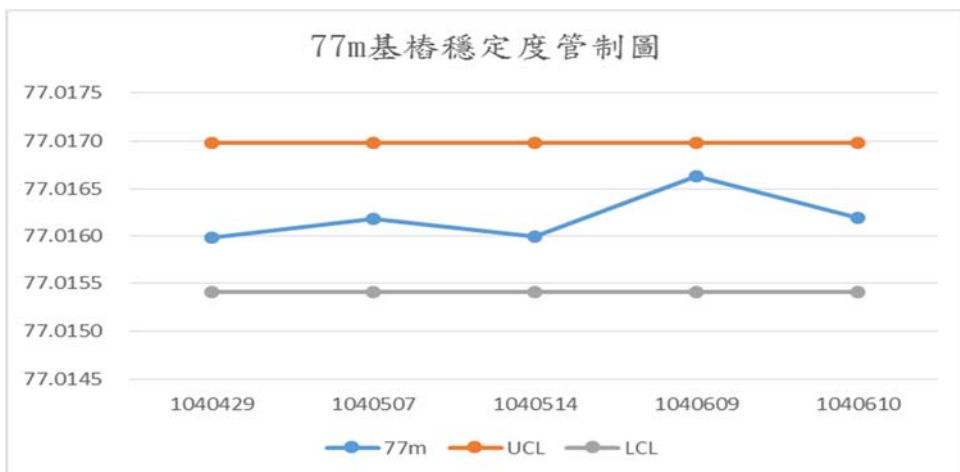


圖 4-8 0-77m 基樁穩定度管制圖

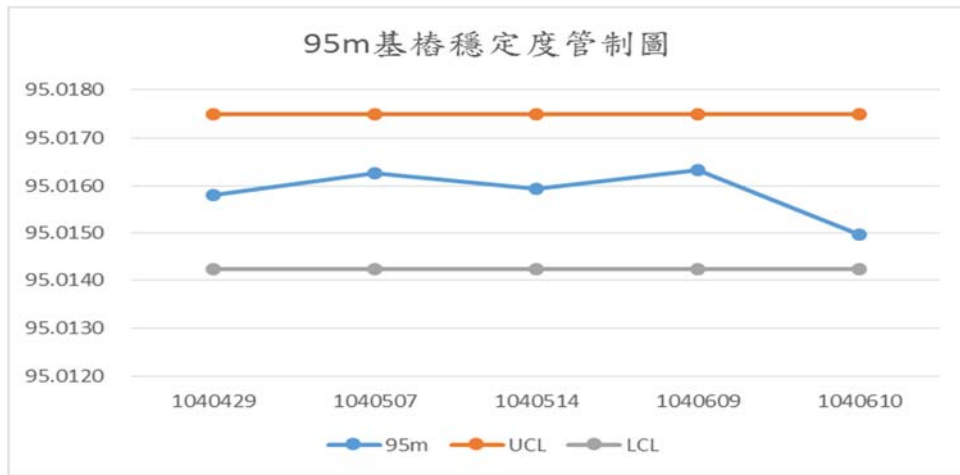


圖 4-9 0-95m 基樁穩定度管制圖

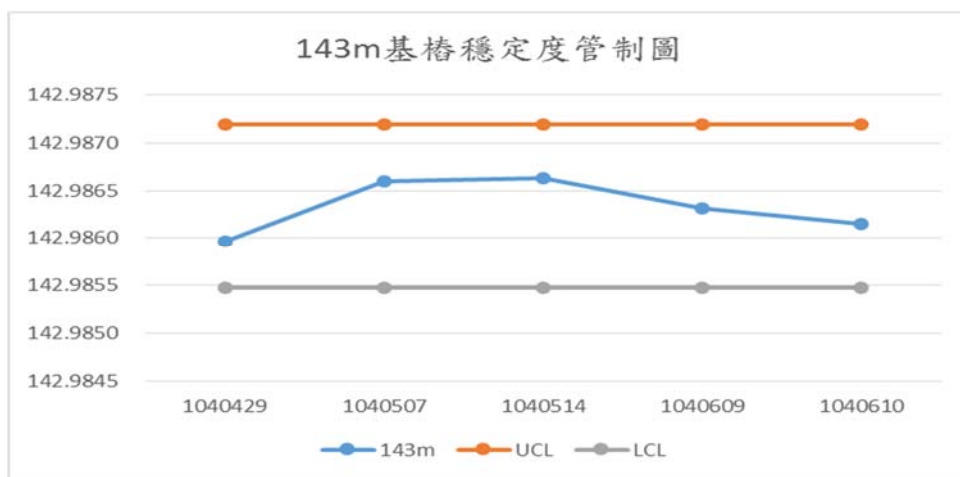


圖 4-10 0-143m 基樁穩定度管制圖

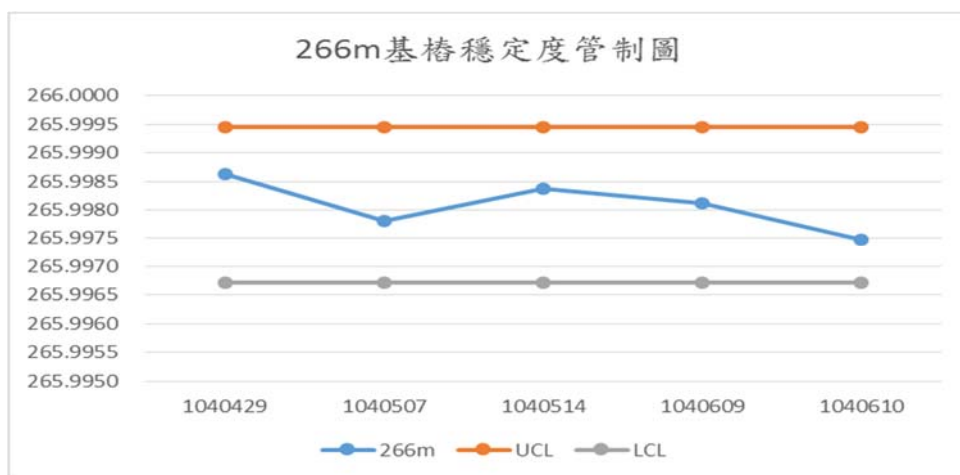


圖 4-11 0-266m 基樁穩定度管制圖

第五章 量測不確定度評估

第一節 量測不確定度

本研究分析流程係參考國際標準組織 (International Organization for Standardization, ISO) 出版的「量測不確定度表示方式指引」(Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 2nd Edition, 1995, 簡稱 ISO-GUN)(林開儀譯, 1995)所建議的方法, 評估各校正項目之不確定度, 將各項不確定度來源予以分類並量化為 A 類及 B 類的標準不確定度, 其中 A 類標準不確定度的評估方法為利用統計分析, B 類標準不確定度的評估方法為 A 類評估方法以外的其他方法。再依量測不確定度傳遞原理計算組合標準不確定度、依 Welch-Satterthwaite 公式計算有效自由度 ν 並藉由查表得涵蓋因子 k , 作為校正報告敘述校正結果擴充不確定度之依據, 評估流程如圖 5-1。

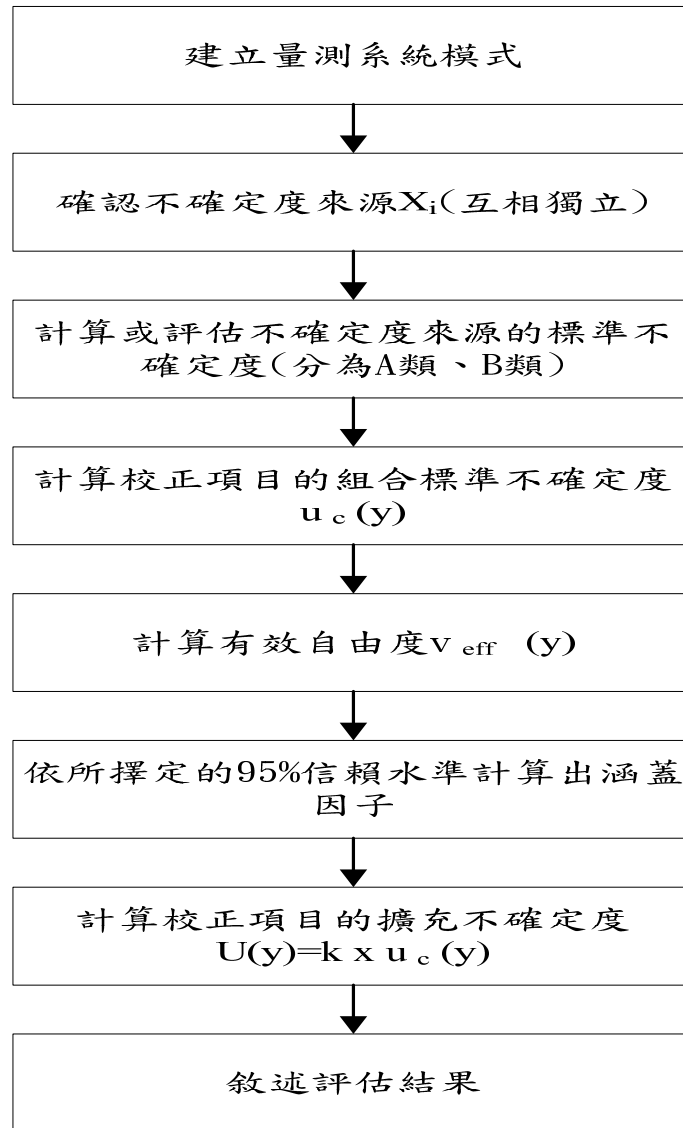


圖 5-1 量測不確定度評估流程圖

- 一、 建立量測系統模式（數學模式） $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ 。
- 二、 確認系統中的不確定度來源 X_i ，且 X_i 彼此為獨立不相關。
- 三、 將各項不確定度來源 X_i 予以分類並量化為A類及B類的標準不確定度（Type A and type B standard uncertainty） u_A 、 u_B ，其中A類標準不確定度的評估方法為利用統計分析，B類標準不確定度的評估方法為A類評估方法以外的其他方法。計算或估計出所有 X_i 的最佳估計值

x_i ， Y 的估計值 $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ ，自由度 ν_i 及靈敏係數 $c(x_i) = c_i$ ，其中 $c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$ 。

- 四、評估A、B兩類標準不確定度後，再依量測不確定度傳遞原理計算組合標準不確定度（Combined standard uncertainty）

$$\begin{aligned} u_c^2(y) &= [c_1 u(x_1)]^2 + [c_2 u(x_2)]^2 + [c_3 u(x_3)]^2 + \dots + [c_n u(x_n)]^2 \\ &= [u_1(y)]^2 + [u_2(y)]^2 + [u_3(y)]^2 + \dots + [u_n(y)]^2 \quad (5-1) \end{aligned}$$

- 五、依Welch-Satterthwaite公式計算有效自由度（Effective degrees of freedom）

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\frac{u_1^4(y)}{\nu_1} + \frac{u_2^4(y)}{\nu_2} + \frac{u_3^4(y)}{\nu_3} + \dots + \frac{u_n^4(y)}{\nu_n}} \quad (5-2)$$

- 六、依所選定95%的信賴水準（Confidence Level），可由t分配表中查得涵蓋因子（Coverage Factor） κ 。

- 七、以組合標準不確定度 $u_c(y)$ 乘上涵蓋因子 κ 後，得出擴充不確定度（Expanded uncertainty） $U(y) = \kappa \times u_c(y)$ 。

- 八、完成評估報告敘述量測結果 y 及標準不確定度 $u_c(y)$ 、擴充不確定度 $U(y)$ 。

第二節 量測不確定度誤差來源分析

壹、建立量測方程式

固定基座基線場雷射測距儀之器差，計算式如下：

$$\text{器差}(\Delta D) = \text{校正件測距儀量測值}(D_m) - \text{基線場標準距離}(D_s)$$

由於校正件雷射測距儀量測值與基線場基樁標準距離獨立不相關，

則校正結果器差 ΔD 之組合標準不確定度為

$$u_{\Delta D} = \left(u(D_m)^2 + u(D_s)^2 \right)^{1/2} = \left(u_m^2 + u_s^2 \right)^{1/2} \quad (5-3)$$

式中 u_s 表示基線場標準距離之組合標準不確定度； u_m 表示校正件

測距儀量測值之組合標準不確定度(內政部國土測繪中心，2015(b))。

貳、固定基座基線場參考標準距離不確定度來源分析

固定基座基線場係使用本中心 Leica TM30 為參考標準件進行基線標準距離測量，並以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，分析基線場不確定度來源如下：

- 一、來自一級追溯值 (X_1)：屬B類評估，本基線場使用之參考標準件係追溯自國家度量衡標準實驗室之基線場，故該基線場之不確定度會傳播至本基線場。經檢視參考標準件校正報告（104年9月7日，報告編號 D150417A），校正結果器差在95%信賴水準下之擴充不確定度為0.9 mm，涵蓋因子為1.98，有效自由度估算為60。惟上述來自一級之追溯值係針對稜鏡測距，經考量第四章第一節評估結果，以參考標準件

(Leica TM30)所得雷射測距與稜鏡測距結果並無明顯差異，本項誤差仍以0.9mm估算。

二、基線場距離重複觀測 (X₂): 屬A類評估，以多次基線場參考標準距離量測時，取各基樁相對0m及5m之距離標準差最大值為 1.34 mm，標準距離之量測係每一段量測6次取平均，則平均值的標準誤差

$$\sigma = \frac{1.34}{\sqrt{6}} = 0.55\text{mm}$$

，假設常態分布，分配係數1，自由度5，各次標準

差詳附錄三。

三、大氣條件變化 (溫、溼度、氣壓) (X₃): 參考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量測之不確定性，屬B類評估，大氣修正計算公式如下：

$$S = 281.8 - \left[\frac{0.29065}{1 + \alpha t} P - \frac{4.126 \times 10^{-6} h}{1 + \alpha t} E \right], \quad E = 10^{\frac{7.5t}{t+237.7} + 0.7857} \quad (5-4)$$

其中P為大氣壓力 (單位hPa)，t為溫度 (單位°C)，h為空氣相對濕度 (單位 %)， α 為空氣展開係數 (1/273.15)，按此式推估，當溫度量測誤差為1°C時修正量約為 0.8×10^{-6} ，相對濕度誤差量為20%時修正量約為 0.3×10^{-6} ，大氣壓力觀測誤差量為1 hPa時修正量約為 0.3×10^{-6} 。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 1×10^{-6} ，假設為矩形分布，分配係數 $\sqrt{3}$ ，估計其相對不確定性R%為20%，自由度v依(5-5)式可得為12.5。

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

四、反射板定平誤差 (X_4): 屬B類評估, 基線場各基樁上之固定基座於安置時, 均使用水準器定平, 按一般對心基座之定平精度 $60''/2 \text{ mm}$, 估計此項誤差對距離量測影響應可控制在 0.3 mm 內, 為矩形分布, 分配係數 $\sqrt{3}$, 估算其相對不確定性為 20% , 則由(5-5)式得自由度為 12.5 。

五、反射板平面度誤差 (X_5): 屬B類評估, 即反射板平面度的不確定性, 正常情況下, 反射板平整無彎曲變形, 估計此項誤差為 0.2 mm , 假設為矩形分布, 分配係數為 $\sqrt{3}$, 估計其相對不確定性 $R\%$ 為 20% , 自由度依(5-5)式可得為 12.5 。

六、基樁偏移量 (X_6): 本實驗室辦理校正之參考標準距離係每季辦理1次, 因此視基樁短時間內無偏移, 本項評估值為 0 。

七、儀器最小讀數 (X_7): 屬B類評估, 為儀器讀數的解析度。Leica TM30距離讀數的解析度為 0.1 mm , 假設為矩形分布, 分配係數 $\sqrt{3}$, 估計其相對不確定性 $R\%$ 為 20% , 自由度依(5-5)式可得為 12.5 。

由上述不確定度來源分析, 建立固定基座基線場標準距離不確定度計算表如表 5-1。

表 5-1 固定基座基線場標準距離標準不確定度計算表

代號	不確定度來源	不確定度	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	0.9 mm	B	常態	1.98	0.46	1	0.46	60
X ₂	基線場距離重複觀測	$1.34/\sqrt{6}$ mm	B	常態	1	0.55	1	0.55	5
X ₃	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 ₄	反射板定平誤差	0.3 mm	B	矩形	$3^{1/2}$	0.18	1	0.18	12.5
X ₅	反射板平面度誤差	0.2 mm	B	矩形	$3^{1/2}$	0.12	1	0.12	12.5
X ₆	基樁偏移量	0	-	-	-	-	-	-	-
X ₇	儀器最小讀數	0.1 mm	B	矩形	$3^{1/2}$	0.06	1	0.06	12.5

參、校正件距離量測不確定度來源分析

即校正件於基線場進行校正時之不確定度來源，依校正程序，校正件每一段距離均觀測 6 次，取其平均值，現分析校正件不確定度來源如下：

一、校正件重複觀測 (X₈)：屬 B 類評估，為校正件儀器本身的穩定度，

以校正件的儀器規格做為該項不確度的考量。以校正件每一段距離測

距 6 次取平均值，即

$$\overline{SD} = \frac{sd_1 + sd_2 + sd_3 + sd_4 + sd_5 + sd_6}{6} \quad (5-6)$$

假設每一次測距的標準誤差為 σ ，即

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = \sigma_5 = \sigma_6 = \sigma \text{ 則平均值的標準誤差 } \sigma_{sd} = \frac{\sigma}{\sqrt{6}}。$$

以儀器規格 $2 \text{ mm} + 2 \times 10^{-6} \times D$ 來模擬估算此項不確定度分量，為矩形分布，分配係數 $\sqrt{3}$ ，估計其相對不確定度性 10%，則自由度為 50。

二、反射板定平誤差 (X_9): 屬B類評估，基線場各基樁上之固定基座於安置時，均使用水準器定平，按一般對心基座之定平精度 $60''/2 \text{ mm}$ ，估計此項誤差對距離量測影響應可控制在 0.3 mm 內，為矩形分布，分配係數 $\sqrt{3}$ ，估算其相對不確定性 $R\%$ 為 20%，則由 (5-5) 式得自由度為 12.5。

三、大氣改正誤差 (X_{10}): 校正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 $1 \times 10^{-6} \times D$ ，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 (5-5) 式可得為 12.5。

四、反射板平面度誤差 (X_{11}): 屬B類評估，即儀器測量時未對準反射板中心時的不確定性，經估計為 0.2 mm ，假設為矩形分布，分配係數為 $\sqrt{3}$ ，估計其相對不確定性 $R\%$ 為 20%，自由度依 (5-5) 式可得為 12.5。

五、儀器最小讀數 (X_{12}): 屬B類評估，為儀器讀數的解析度。假設校正件距離讀數的解析度為 $\Delta \text{ mm}$ ，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(5-5)式可得為12.5。

由上述不確定度來源分析，校正件距離量測不確定度計算表如表 5-2。

表 5-2 校正件標準不確定度計算表

代號	不確定度來源	不確定度	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 ₈	校正件重複觀測	$a / \sqrt{6}$ mm	B	矩形	3 ^{1/2}	$a / 3\sqrt{2}$	1	$a / 3\sqrt{2}$	50
		$(b \times 10^{-6}) / \sqrt{6}$	B	矩形	3 ^{1/2}	$(b \times 10^{-6}) / 3\sqrt{2}$	D	$[(b \times 10^{-6}) / 3\sqrt{2}] \times D$	50
X ₉	反射鏡定平誤差	0.3 mm	B	矩形	3 ^{1/2}	0.18	1	0.18	12.5
X ₁₀	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 ₁₁	反射板平面度誤差	0.2 mm	B	矩形	3 ^{1/2}	0.12	1	0.12	12.5
X ₁₂	儀器最小讀數	Δ mm	B	矩形	3 ^{1/2}	$\Delta / \sqrt{3}$	1	$\Delta / \sqrt{3}$	12.5

註：儀器規格為 $a \text{ mm} + (b \times 10^{-6}) \times D$ ，最小讀數為 Δ

肆、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

$$u_{\Delta D} = (u(D_m)^2 + u(D_s)^2)^{1/2} = (u_m^2 + u_s^2)^{1/2} \quad (5-7)$$

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

一、基線場標準距離之組合標準不確定度 u_s

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

$$\begin{aligned}
 u_s^2 &= X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + X_4^2 + X_5^2 + X_6^2 + X_7^2 \\
 &= (cu(x_1))^2 + (cu(x_2))^2 + (cu(x_3))^2 + (cu(x_4))^2 + (cu(x_5))^2 + (cu(x_6))^2 + (cu(x_7))^2 \\
 &= (0.46mm)^2 + (1.0mm)^2 + (0.58 \times 10^{-6} \times D)^2 + (0.18mm)^2 + \\
 &\quad (0.12mm)^2 + (0mm)^2 + (0.06mm)^2 \\
 &= (0.75mm)^2 + (0.58 \times 10^{-6} \times D)^2
 \end{aligned}$$

$$\text{即 } u_s = \left[(0.75mm)^2 + (0.58 \times 10^{-6} \times D)^2 \right]^{1/2}$$

有效自由度採 Welch-Scatterthwaite 公式，以固定基座基線

場最長基樁 266 m 計算如 5-8 式：

$$\begin{aligned}
 v_{eff} &= \frac{(u_s)^4}{\frac{X_1^4}{v_1} + \frac{X_2^4}{v_2} + \frac{X_3^4}{v_3} + \frac{X_4^4}{v_4} + \frac{X_5^4}{v_5} + \frac{X_6^4}{v_6} + \frac{X_7^4}{v_7}} \\
 &= \frac{0.77^4}{\frac{0.46^4}{60} + \frac{0.55^4}{5} + \frac{(0.58 \times 0.266)^4}{12.5} + \frac{0.18^4}{12.5} + \frac{0.12^4}{12.5} + \frac{0.06^4}{12.5}} \\
 &= 17
 \end{aligned}$$

(5-8)

而標準距離之擴充不確定度 $U_s = ku_s$ ， k 稱為涵蓋因子

(Coverage factor)，取信賴水準 95%，查 t 分布表得 $k=2.11$ ，故

基線場標準距離之擴充不確定度

$$U_s = 2.11 \times \left((0.75mm)^2 + (0.58 \times D)^2 \right)^{1/2} = \left((1.59m)^2 + (1.23 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$$

二、校正件量測值之組合標準不確定度 u_m

由校正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，以參考標準件雷射測距規格 $\pm(2\text{mm}+2\text{ppm})$ ，最小讀數為 0.1mm

估算，校正件量測值之組合標準不確定度計算如 5-9 式：

$$\begin{aligned}
 u_m^2 &= X_8^2 + X_9^2 + X_{10}^2 + X_{11}^2 + X_{12}^2 \\
 &= (cu(x_8))^2 + (cu(x_9))^2 + (cu(x_{10}))^2 + (cu(x_{11}))^2 + (cu(x_{12}))^2 \\
 &= (0.47\text{mm})^2 + (0.47 \times 10^{-6} \times D)^2 + (0.18\text{mm})^2 + (0.58 \times 10^{-6} \times D)^2 \\
 &\quad + (0.12\text{mm})^2 + (0.06\text{mm})^2 \\
 &= (0.52\text{mm})^2 + (0.75 \times 10^{-6} \times D)^2
 \end{aligned}$$

(5-9)

$$\text{即 } u_m = \left((0.52\text{mm})^2 + (0.75 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$$

有效自由度採 Welch-Scatterthwaite 公式，以固定基座基線

場最長基樁 266m 計算如 5-10 式：

$$\begin{aligned}
 v_{eff} &= \frac{(u_m)^4}{\frac{X_8^4}{v_8} + \frac{X_9^4}{v_9} + \frac{X_{10}^4}{v_{10}} + \frac{X_{11}^4}{v_{11}} + \frac{X_{12}^4}{v_{12}}} \\
 &= \frac{0.56^4}{\frac{0.47^4}{50} + \frac{(0.47 \times 0.266)^4}{50} + \frac{0.18^4}{12.5} + \frac{(0.58 \times 0.266)^4}{12.5} + \frac{0.12^4}{12.5} + \frac{0.06^4}{12.5}} = 85
 \end{aligned}$$

(5-10)

而校正件量測值之擴充不確定度 $U_m = ku_m$ ， k 稱為涵蓋因子，取信賴水準 95%，查 t 分布表得 $k=1.99$ ，故校正件量測值之擴充不確定度

$$\begin{aligned} U_m &= 1.99 \times \left((0.52 \text{ mm})^2 + (0.75 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} \\ &= \left((1.04 \text{ mm})^2 + (1.50 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} \end{aligned}$$

三、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 與校正件測距儀量測值 D_m 獨立不相關，不確定度計算表如表 5-3 所示：

表 5-3 校正結果器差 ΔD 標準不確定度分析表

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	$\left(0.75^2 + (0.58 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$	17
u_m	校正件測距儀量測值 D_m 組合標準不確定度	1	$\left(0.52^2 + (0.75 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$	85

則校正結果之組合標準不確定度以 (5-7) 計算如下

$$\begin{aligned} u_{\Delta D} &= \left(u(D_m)^2 + u(D_s)^2 \right)^{1/2} = \left(u_m^2 + u_s^2 \right)^{1/2} \\ &= \left((0.75 \text{ mm})^2 + (0.58 \times 10^{-6} \times D)^2 + (0.52 \text{ mm})^2 + (0.75 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} \quad \text{有} \\ &= \left((0.92 \text{ mm})^2 + (0.95 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} \end{aligned}$$

效自由度採 Welch-Scatterthwaite 公式，以固定基座基線場最長基樁 266 m 計算如下：

$$v_{eff} = \frac{(u_{\Delta D})^4}{\frac{u_s^4}{v_s} + \frac{u_m^4}{v_m}} = \frac{0.95^4}{\frac{0.77^4}{17} + \frac{0.56^4}{85}} = 42 \quad (5-11)$$

而器差之擴充不確定度 $U_{\Delta D} = k u_{\Delta D}$ ， k 稱為涵蓋因子，取信賴水準 95%，查 t 分布表得 $k = 2.02$ ，故基線場校正結果器差 ΔD 之擴充不確定度 $U_{\Delta D}$

$$\begin{aligned} U_{\Delta D} &= 2.02 \times \left((0.92\text{mm})^2 + (0.95 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} \\ &= \left((1.86\text{mm})^2 + (1.92 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2} \end{aligned}$$

因此，固定基座電子測距基線場以規格 $2\text{ mm} + 2 \times 10^{-6}$ 、最小讀數 0.1 mm 之雷射測距儀模擬校正 266m ，則擴充不確定度為 $U_{\Delta D} = \left((1.9\text{mm})^2 + (2.0 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$ ， D 從 1 m 至 266 m 。

第六章 結論與建議

壹、結論

- 一、經以電子測距經緯儀之免稜鏡測距功能，針對外業測量常見反射材質進行測試結果，顯示材質不同對於測距結果並無明顯差異，最大誤差值僅約1.4mm。至於比較顏色對於測距結果之影響，由壁磚之測距結果顯示其影響亦不顯著，惟顏色較淺之反射物對於訊號的反射越強，儀器所得距離較實際距離長；顏色較深則反之。測程之長短依序為白色、粉紅色、黃色、灰色、紫色，最後是綠色，其中以黃色所得距離最為接近參考標準距。而木板及鐵片之試驗結果，由於2種不同顏色鐵片所得結果幾近相同，而不同顏色木板所得結果亦無明顯差異，最大誤差為白色0.5mm，故尚無法明確獲知其差異及影響，仍須進一步研究。
- 二、由顯著性測試發現，以本研究所選用材質測試結果，壁磚及鐵片在與距離長短有關之誤差量均不顯著，僅木板類之乘常數較為顯著。此一現象說明在實際作業過程，可能因漫反射材質之不同，因距離長短所產生之誤差量將不同。
- 三、為分析並驗證免稜鏡測距精度，以作為後續校正參考，利用本中心所用參考標準件(Leica TM30)分別以稜鏡反射及免稜鏡方式測距，由分析結果得知相較於稜鏡模式，免稜鏡測距結果並無明顯差異，顯示其精度尚符合其標示規格 $\pm(2\text{mm}+2\text{ppm})$ ；另經分析3次量測所得器差，並以

ANOVA統計分析結果，顯示並無明顯差異，代表其免稜鏡測距尚稱穩定。

四、經系統評估結果，以基線場最長距離266m計算，固定基座基線場參考標準距離之擴充不確定度 U_s ，取信賴水準95%，查t分布表得 $k=2.06$ ，故 $U_s = 2.11 \times \left((0.75\text{mm})^2 + (0.58 \times D)^2 \right)^{1/2} = \left((1.6\text{mm})^2 + (1.3 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$ 。另由誤差分析結果，顯示組合標準不確定度之主要誤差來源為參考標準距之重複觀測項 X_2 ，其標準不確定度分量為0.55mm，如欲提高能量，使擴充不確定度 U_s 變小，必需降低參考標準件之重複觀測誤差量。

五、而校正件量測值之擴充不確定度 U_m ，取信賴水準95%，查t分布表得 $k = 1.99$ ，故 $U_m = \left((1.1\text{mm})^2 + (1.5 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$ ，其中D為距離。

六、以規格 $2\text{ mm} + 2 \times 10^{-6}$ 、最小讀數0.1 mm之雷射測距儀系統評估結果，在95%信賴水準下，量測器差擴充不確定度 $U_{\Delta D} = \left((1.9\text{mm})^2 + (2.0 \times 10^{-6} \times D)^2 \right)^{1/2}$ 、 $k=2.02$ 、有效自由度為42，D從1 m至266 m。

貳、建議

一、由於本研究所累積之觀測數據有限，為使品質管制系統更合理，建議應累積至少20至30筆以上之觀測數據，較具代表性。因此，可持續蒐集參考標準距及加常數之觀測數據，作為未來系統穩定性管制之計算依據。且囿於測試之反射物材質及顏色數量有限，無法涵蓋所有材料及顏色，

與實際作業環境有所差異，建議後續針對更多不同材質及顏色予以測試，擴大驗證。

二、本研究規劃之校正方式及系統評估結果，應可作為實驗室免稜鏡測距校正系統後續認證之參考，建議續行規劃研擬標準校正作業程序及系統評估模式，進而取得TAF校正實驗室認證。

三、本研究系規劃利用參考標準件之免稜鏡測距直接進行參考標準距離量測，如欲符合ISO/IEC17025對於系統之量測追溯，因國內尚無辦理此一校正之單位，如欲以此方式辦理，尚需進一步思考如何辦理參考標準件之追溯。

附錄一 參考標準距離計算

測站	1040429			1040507			1040514			平均
	正鏡	倒鏡	平均	正鏡	倒鏡	平均	正鏡	倒鏡	平均	
0-5M	4.9971	4.9967	4.9970	4.9971	4.9969	4.9969	4.9980	4.9981	4.9980	4.9973
	4.9973	4.9967		4.9967	4.9969		4.9980	4.9981		
	4.9975	4.9969		4.9971	4.9965		4.9976	4.9984		
0-23M	23.0267	23.0266	23.0265	23.0272	23.0270	23.0271	23.0269	23.0268	23.0269	23.0268
	23.0263	23.0265		23.0270	23.0273		23.0268	23.0268		
	23.0263	23.0266		23.0266	23.0273		23.0269	23.0271		
0-31M	30.9873	30.9877	30.9874	30.9871	30.9878	30.9874	30.9875	30.9873	30.9875	30.9874
	30.9872	30.9873		30.9869	30.9879		30.9878	30.9875		
	30.9874	30.9873		30.9866	30.9879		30.9876	30.9874		
0-59M	59.0121	59.0120	59.0121	59.0123	59.0123	59.0124	59.0117	59.0119	59.0121	59.0122
	59.0117	59.0127		59.0119	59.0130		59.0126	59.0119		
	59.0118	59.0123		59.0121	59.0128		59.0127	59.0119		
0-77M	77.0166	77.0153	77.0160	77.0166	77.0161	77.0162	77.0158	77.0157	77.0160	77.0161
	77.0164	77.0153		77.0165	77.0159		77.0163	77.0157		
	77.0169	77.0154		77.0164	77.0156		77.0165	77.0160		
0-95M	95.0160	95.0160	95.0158	95.0162	95.0163	95.0163	95.0152	95.0160	95.0159	95.0160
	95.0156	95.0158		95.0162	95.0162		95.0160	95.0163		
	95.0160	95.0154		95.0163	95.0164		95.0156	95.0165		
0-143M	142.9862	142.9861	142.9860	142.9864	142.9869	142.9866	142.9860	142.9866	142.9866	142.9864
	142.9870	142.9854		142.9862	142.9867		142.9871	142.9865		
	142.9856	142.9855		142.9864	142.9870		142.9869	142.9867		
0-266M	265.9996	265.9981	265.9986	265.9971	265.9993	265.9978	265.9983	265.9992	265.9984	265.9983
	265.9990	265.9981		265.9967	265.9983		265.9979	265.9989		
	265.9990	265.9980		265.9967	265.9987		265.9979	265.9980		
5-23M	18.0289	18.0295	18.0293	18.0296	18.0290	18.0294	18.0291	18.0287	18.0287	18.0291
	18.0289	18.0296		18.0295	18.0295		18.0289	18.0284		
	18.0290	18.0296		18.0296	18.0293		18.0287	18.0286		
5-31M	25.9902	25.9893	25.9897	25.9898	25.9895	25.9896	25.9901	25.9902	25.9902	25.9898
	25.9900	25.9894		25.9900	25.9895		25.9902	25.9901		
	25.9896	25.9894		25.9896	25.9892		25.9902	25.9904		
5-59M	54.0156	54.0135	54.0144	54.0143	54.0137	54.0140	54.0145	54.0143	54.0144	54.0143
	54.0152	54.0133		54.0141	54.0138		54.0146	54.0143		
	54.0154	54.0136		54.0142	54.0138		54.0145	54.0142		
5-77M	72.0196	72.0196	72.0195	72.0192	72.0182	72.0188	72.0187	72.0196	72.0190	72.0191
	72.0194	72.0197		72.0193	72.0185		72.0188	72.0191		
	72.0192	72.0197		72.0194	72.0179		72.0188	72.0188		
5-95M	90.0184	90.0174	90.0180	90.0164	90.0190	90.0178	90.0177	90.0174	90.0178	90.0179
	90.0184	90.0174		90.0166	90.0189		90.0173	90.0182		
	90.0184	90.0178		90.0167	90.0191		90.0176	90.0187		
5-143M	137.9882	137.9885	137.9883	137.9872	137.9897	137.9884	137.9886	137.9882	137.9886	137.9884
	137.9883	137.9885		137.9873	137.9898		137.9887	137.9883		
	137.9880	137.9883		137.9872	137.9893		137.9887	137.9892		
5-266M	261.0008	261.0010	261.0010	260.9994	261.0017	261.0006	261.0010	261.0024	261.0017	261.0011
	261.0008	261.0015		261.0004	261.0012		261.0010	261.0025		
	261.0005	261.0013		260.9994	261.0012		261.0009	261.0023		

附錄二 不同反射材質雷射測距數據

儀器站	反射站	參考標準距	樣式1			器差
			正鏡	倒鏡	平均	
0M	5M	4.9973	4.9891	4.9886	4.9889	-0.0084
			4.9890	4.9888		
			4.9892	4.9887		
	23M	23.0268	23.0189	23.0195	23.0193	-0.0075
			23.0189	23.0196		
			23.0194	23.0195		
	31M	30.9874	30.9795	30.9807	30.9800	-0.0074
			30.9797	30.9804		
			30.9794	30.9804		
	59M	59.0122	59.0063	59.0054	59.0058	-0.0064
			59.0061	59.0053		
			59.0060	59.0055		
	77M	77.0161	77.0102	77.0093	77.0099	-0.0062
			77.0104	77.0094		
			77.0105	77.0096		
	95M	95.0160	95.0108	95.0091	95.0097	-0.0063
			95.0106	95.0084		
			95.0101	95.0089		
143M	142.9864	142.9818	142.9801	142.9809	-0.0055	
		142.9812	142.9800			
		142.9819	142.9802			
266M	265.9983	265.9904	265.9931	265.9920	-0.0063	
		265.9903	265.9939			
		265.9900	265.9941			
5M	23M	18.0291	18.0227	18.0228	18.0227	-0.0065
			18.0226	18.0226		
			18.0225	18.0228		
	31M	25.9898	25.9830	25.9833	25.9832	-0.0066
			25.9831	25.9832		
			25.9834	25.9831		
	59M	54.0143	54.0085	54.0096	54.0089	-0.0054
			54.0084	54.0097		
			54.0080	54.0091		
	77M	72.0191	72.0133	72.0127	72.0129	-0.0062
			72.0131	72.0127		
			72.0132	72.0126		
	95M	90.0179	90.0148	90.0141	90.0145	-0.0034
			90.0147	90.0141		
			90.0149	90.0144		
	143M	137.9884	137.9843	137.9841	137.9842	-0.0042
			137.9843	137.9840		
			137.9848	137.9839		
266M	261.0011	260.9936	260.9970	260.9957	-0.0054	
		260.9935	260.9984			
		260.9931	260.9985			

儀器站	反射站	參考標準距	樣式2			器差
			正鏡	倒鏡	平均	
0M	5M	4.9973	4.9874	4.9871	4.9872	-0.0101
			4.9873	4.9869		
			4.9872	4.9872		
	23M	23.0268	23.0171	23.0178	23.0175	-0.0093
			23.0172	23.0179		
			23.0168	23.0180		
	31M	30.9874	30.9785	30.9789	30.9787	-0.0087
			30.9784	30.9790		
			30.9786	30.9790		
	59M	59.0122	59.0044	59.0028	59.0035	-0.0087
			59.0043	59.0028		
			59.0037	59.0030		
	77M	77.0161	77.0098	77.0071	77.0083	-0.0078
			77.0089	77.0074		
			77.0094	77.0072		
	95M	95.0160	95.0083	95.0075	95.0079	-0.0081
95.0093			95.0066			
95.0085			95.0071			
143M	142.9864	142.9779	142.9779	142.9778	-0.0086	
		142.9775	142.9778			
		142.9779	142.9777			
266M	265.9983	265.9930	265.9920	265.9923	-0.0060	
		265.9910	265.9931			
		265.9912	265.9934			
5M	23M	18.0291	18.0211	18.0210	18.0211	-0.0080
			18.0211	18.0212		
			18.0211	18.0213		
	31M	25.9898	25.9814	25.9815	25.9814	-0.0084
			25.9813	25.9816		
			25.9813	25.9815		
	59M	54.0143	54.0066	54.0068	54.0067	-0.0076
			54.0065	54.0069		
			54.0065	54.0068		
	77M	72.0191	72.0102	72.0111	72.0107	-0.0084
			72.0103	72.0110		
			72.0105	72.0110		
	95M	90.0179	90.0113	90.0103	90.0108	-0.0070
			90.0114	90.0107		
			90.0110	90.0102		
	143M	137.9884	137.9809	137.9811	137.9810	-0.0074
137.9810			137.9812			
137.9810			137.9810			
266M	261.0011	260.9915	260.9950	260.9939	-0.0072	
		260.9913	260.9966			
		260.9919	260.9968			

附錄二 不同反射材質雷射測距數據

儀器站	反射站	參考標準距	樣式 3			器差
			正鏡	倒鏡	平均	
0M	5M	4.9973	4.9872	4.9879	4.9877	-0.0096
			4.9874	4.9880		
			4.9875	4.9880		
	23M	23.0268	23.0183	23.0183	23.0184	-0.0084
			23.0184	23.0182		
			23.0187	23.0183		
	31M	30.9874	30.9779	30.9786	30.9784	-0.0090
			30.9785	30.9784		
			30.9785	30.9786		
	59M	59.0122	59.0050	59.0038	59.0044	-0.0078
			59.0043	59.0038		
			59.0054	59.0040		
	77M	77.0161	77.0093	77.0067	77.0078	-0.0083
			77.0082	77.0068		
			77.0091	77.0067		
	95M	95.0160	95.0071	95.0074	95.0072	-0.0088
			95.0070	95.0075		
			95.0061	95.0078		
143M	142.9864	142.9793	142.9787	142.9786	-0.0078	
		142.9795	142.9775			
		142.9781	142.9784			
266M	265.9983	265.9927	265.9912	265.9922	-0.0060	
		265.9932	265.9916			
		265.9931	265.9916			
5M	23M	18.0291	18.0209	18.0209	18.0210	-0.0081
			18.0210	18.0210		
			18.0214	18.0209		
	31M	25.9898	25.9814	25.9822	25.9818	-0.0080
			25.9817	25.9821		
			25.9811	25.9821		
	59M	54.0143	54.0075	54.0070	54.0071	-0.0071
			54.0073	54.0068		
			54.0075	54.0067		
	77M	72.0191	72.0117	72.0103	72.0112	-0.0079
			72.0120	72.0104		
			72.0125	72.0103		
	95M	90.0179	90.0124	90.0104	90.0111	-0.0068
			90.0112	90.0102		
			90.0116	90.0107		
	143M	137.9884	137.9807	137.9806	137.9806	-0.0079
			137.9802	137.9809		
			137.9803	137.9807		
266M	261.0011	260.9932	260.9960	260.9951	-0.0059	
		260.9943	260.9964			
		260.9949	260.9960			

儀器站	反射站	參考標準距	樣式 4			器差
			正鏡	倒鏡	平均	
0M	5M	4.9973	4.9886	4.9881	4.9883	-0.0090
			4.9889	4.9879		
			4.9885	4.9880		
	23M	23.0268	23.0190	23.0180	23.0186	-0.0082
			23.0191	23.0182		
			23.0190	23.0183		
	31M	30.9874	30.9787	30.9789	30.9787	-0.0087
			30.9784	30.9787		
			30.9785	30.9791		
	59M	59.0122	59.0046	59.0044	59.0047	-0.0075
			59.0051	59.0047		
			59.0049	59.0043		
	77M	77.0161	77.0092	77.0091	77.0095	-0.0066
			77.0100	77.0094		
			77.0098	77.0093		
	95M	95.0160	95.0084	95.0088	95.0087	-0.0073
			95.0086	95.0086		
			95.0087	95.0090		
	143M	142.9864	142.9785	142.9794	142.9793	-0.0071
			142.9788	142.9800		
			142.9790	142.9798		
	266M	265.9983	265.9898	265.9916	265.9901	-0.0082
			265.9907	265.9896		
			265.9894	265.9895		
5M	23M	18.0291	18.0221	18.0218	18.0219	-0.0073
			18.0220	18.0216		
			18.0221	18.0217		
	31M	25.9898	25.9820	25.9826	25.9822	-0.0076
			25.9819	25.9822		
			25.9819	25.9827		
	59M	54.0143	54.0081	54.0079	54.0080	-0.0063
			54.0080	54.0075		
			54.0084	54.0079		
	77M	72.0191	72.0120	72.0119	72.0121	-0.0070
			72.0124	72.0114		
			72.0131	72.0120		
	95M	90.0179	90.0113	90.0101	90.0109	-0.0070
			90.0117	90.0103		
			90.0118	90.0102		
	143M	137.9884	137.9822	137.9802	137.9812	-0.0072
			137.9822	137.9800		
			137.9825	137.9802		
	266M	261.0011	261.0004	260.9978	260.9994	-0.0017
			261.0004	260.9985		
			261.0008	260.9985		

附錄二 不同反射材質雷射測距數據

儀器站	反射站	參考標準距	樣式 5			器差
			正鏡	倒鏡	平均	
0M	5M	4.9973	4.9884	4.9882	4.9883	-0.0090
			4.9884	4.9881		
			4.9885	4.9882		
	23M	23.0268	23.0185	23.0187	23.0186	-0.0082
			23.0186	23.0188		
			23.0185	23.0187		
	31M	30.9874	30.9791	30.9795	30.9793	-0.0081
			30.9791	30.9797		
			30.9790	30.9796		
	59M	59.0122	59.0055	59.0057	59.0057	-0.0065
			59.0056	59.0061		
			59.0055	59.0060		
	77M	77.0161	77.0090	77.0091	77.0090	-0.0070
			77.0087	77.0092		
			77.0092	77.0090		
	95M	95.0160	95.0081	95.0088	95.0085	-0.0075
			95.0081	95.0088		
			95.0083	95.0091		
	143M	142.9864	142.9800	142.9789	142.9790	-0.0074
			142.9797	142.9783		
			142.9789	142.9784		
	266M	265.9983	265.9921	265.9945	265.9930	-0.0053
			265.9915	265.9941		
			265.9924	265.9934		
5M	23M	18.0291	18.0217	18.0214	18.0216	-0.0075
			18.0216	18.0215		
			18.0218	18.0216		
	31M	25.9898	25.9821	25.9821	25.9821	-0.0077
			25.9821	25.9821		
			25.9820	25.9821		
	59M	54.0143	54.0080	54.0087	54.0084	-0.0059
			54.0081	54.0088		
			54.0080	54.0087		
	77M	72.0191	72.0114	72.0123	72.0118	-0.0073
			72.0115	72.0123		
			72.0113	72.0122		
	95M	90.0179	90.0115	90.0105	90.0112	-0.0067
			90.0117	90.0107		
			90.0118	90.0107		
	143M	137.9884	137.9820	137.9820	137.9820	-0.0064
			137.9826	137.9815		
			137.9827	137.9814		
	266M	261.0011	260.9953	260.9973	260.9964	-0.0047
			260.9958	260.9979		
			260.9948	260.9974		

儀器站	反射站	參考標準距	樣式6			器差
			正鏡	倒鏡	平均	
0M	5M	4.9973	4.9890	4.9892	4.9892	-0.0082
			4.9892	4.9891		
			4.9893	4.9891		
	23M	23.0268	23.0190	23.0194	23.0193	-0.0075
			23.0192	23.0194		
			23.0192	23.0196		
	31M	30.9874	30.9794	30.9793	30.9795	-0.0079
			30.9797	30.9796		
			30.9797	30.9794		
	59M	59.0122	59.0049	59.0050	59.0049	-0.0073
			59.0050	59.0049		
			59.0049	59.0048		
	77M	77.0161	77.0083	77.0090	77.0087	-0.0074
			77.0083	77.0090		
			77.0084	77.0090		
	95M	95.0160	95.0080	95.0088	95.0086	-0.0074
			95.0084	95.0091		
			95.0084	95.0091		
	143M	142.9864	142.9790	142.9799	142.9793	-0.0071
			142.9794	142.9799		
			142.9793	142.9781		
	266M	265.9983	265.9906	265.9922	265.9917	-0.0065
			265.9902	265.9931		
			265.9907	265.9935		
5M	23M	18.0291	18.0218	18.0223	18.0220	-0.0071
			18.0218	18.0224		
			18.0216	18.0223		
	31M	25.9898	25.9822	25.9822	25.9823	-0.0075
			25.9824	25.9823		
			25.9825	25.9822		
	59M	54.0143	54.0081	54.0077	54.0079	-0.0064
			54.0080	54.0078		
			54.0081	54.0077		
	77M	72.0191	72.0111	72.0112	72.0111	-0.0079
			72.0114	72.0109		
			72.0110	72.0112		
	95M	90.0179	90.0114	90.0102	90.0109	-0.0070
			90.0112	90.0107		
			90.0111	90.0107		
	143M	137.9884	137.9815	137.9810	137.9811	-0.0074
			137.9806	137.9809		
			137.9815	137.9809		
	266M	261.0011	260.9946	260.9959	260.9953	-0.0057
			260.9954	260.9957		
			260.9948	260.9956		

附錄二 不同反射材質雷射測距數據

儀器站	反射站	參考標準距	樣式 7			器差
			正鏡	倒鏡	平均	
0M	5M	4.9973	4.9943	4.9940	4.9941	-0.0032
			4.9942	4.9940		
			4.9941	4.9940		
	23M	23.0268	23.0255	23.0252	23.0254	-0.0014
			23.0257	23.0250		
			23.0257	23.0252		
	31M	30.9874	30.9853	30.9861	30.9857	-0.0017
			30.9857	30.9858		
			30.9855	30.9860		
	59M	59.0122	59.0118	59.0116	59.0115	-0.0007
			59.0112	59.0120		
			59.0106	59.0118		
	77M	77.0161	77.0160	77.0154	77.0157	-0.0003
			77.0161	77.0158		
			77.0157	77.0154		
	95M	95.0160	95.0157	95.0152	95.0153	-0.0007
			95.0158	95.0147		
			95.0153	95.0150		
	143M	142.9864	142.9877	142.9878	142.9878	0.0014
			142.9883	142.9879		
			142.9885	142.9863		
	266M	265.9983	265.9981	265.9982	265.9979	-0.0004
			265.9969	265.9980		
			265.9981	265.9979		
5M	23M	18.0291	18.0284	18.0285	18.0285	-0.0007
			18.0283	18.0284		
			18.0286	18.0285		
	31M	25.9898	25.9882	25.9890	25.9889	-0.0009
			25.9891	25.9891		
			25.9889	25.9889		
	59M	54.0143	54.0141	54.0151	54.0148	0.0005
			54.0143	54.0155		
			54.0145	54.0153		
	77M	72.0191	72.0186	72.0201	72.0192	0.0001
			72.0188	72.0199		
			72.0191	72.0186		
	95M	90.0179	90.0186	90.0182	90.0184	0.0005
			90.0182	90.0186		
			90.0179	90.0187		
	143M	137.9884	137.9896	137.9903	137.9896	0.0012
			137.9893	137.9899		
			137.9878	137.9909		
	266M	261.0011	260.9996	261.0008	261.0004	-0.0007
			260.9987	261.0017		
			260.9997	261.0019		

儀器站	反射站	參考標準距	樣式 8			器差
			正鏡	倒鏡	平均	
0M	5M	4.9973	4.9952	4.9952	4.9952	-0.0021
			4.9954	4.9953		
			4.9953	4.9948		
	23M	23.0268	23.0251	23.0258	23.0254	-0.0014
			23.0251	23.0259		
			23.0252	23.0252		
	31M	30.9874	30.9846	30.9855	30.9852	-0.0022
			30.9849	30.9854		
			30.9851	30.9856		
	59M	59.0122	59.0116	59.0111	59.0114	-0.0008
			59.0119	59.0110		
			59.0120	59.0110		
	77M	77.0161	77.0157	77.0152	77.0155	-0.0005
			77.0155	77.0155		
			77.0157	77.0155		
	95M	95.0160	95.0155	95.0151	95.0152	-0.0009
			95.0153	95.0150		
			95.0152	95.0148		
143M	142.9864	142.9848	142.9856	142.9855	-0.0009	
		142.9852	142.9860			
		142.9851	142.9861			
266M	265.9983	265.9967	265.9976	265.9970	-0.0013	
		265.9957	265.9981			
		265.9958	265.9979			
5M	23M	18.0291	18.0275	18.0288	18.0282	-0.0010
			18.0272	18.0291		
			18.0272	18.0291		
	31M	25.9898	25.9884	25.9885	25.9886	-0.0012
			25.9886	25.9886		
			25.9890	25.9886		
	59M	54.0143	54.0137	54.0146	54.0142	-0.0001
			54.0137	54.0142		
			54.0140	54.0150		
	77M	72.0191	72.0184	72.0186	72.0184	-0.0007
			72.0186	72.0182		
			72.0185	72.0181		
	95M	90.0179	90.0161	90.0172	90.0169	-0.0009
			90.0163	90.0174		
			90.0167	90.0178		
	143M	137.9884	137.9872	137.9911	137.9882	-0.0002
			137.9862	137.9892		
			137.9868	137.9887		
266M	261.0011	260.9972	261.0023	260.9993	-0.0018	
		260.9955	261.0030			
		260.9961	261.0018			

附錄二 不同反射材質雷射測距數據

儀器站	反射站	參考標準距	樣式 9			器差
			正鏡	倒鏡	平均	
0M	5M	4.9973	4.9924	4.9914	4.9919	-0.0054
			4.9924	4.9915		
			4.9924	4.9915		
	23M	23.0268	23.0230	23.0228	23.0230	-0.0039
			23.0233	23.0227		
			23.0231	23.0228		
	31M	30.9874	30.9827	30.9834	30.9829	-0.0045
			30.9820	30.9832		
			30.9827	30.9834		
	59M	59.0122	59.0089	59.0084	59.0088	-0.0034
			59.0091	59.0087		
			59.0091	59.0085		
	77M	77.0161	77.0140	77.0130	77.0135	-0.0025
			77.0140	77.0132		
			77.0137	77.0132		
	95M	95.0160	95.0118	95.0130	95.0122	-0.0038
			95.0123	95.0116		
			95.0129	95.0118		
	143M	142.9864	142.9826	142.9832	142.9837	-0.0027
			142.9846	142.9841		
			142.9842	142.9833		
	266M	265.9983	265.9942	265.9968	265.9955	-0.0027
			265.9939	265.9967		
			265.9951	265.9965		
5M	23M	18.0291	18.0256	18.0257	18.0257	-0.0035
			18.0257	18.0258		
			18.0255	18.0257		
	31M	25.9898	25.9863	25.9855	25.9860	-0.0038
			25.9862	25.9858		
			25.9867	25.9857		
	59M	54.0143	54.0111	54.0117	54.0116	-0.0027
			54.0112	54.0121		
			54.0113	54.0119		
	77M	72.0191	72.0164	72.0144	72.0154	-0.0037
			72.0162	72.0146		
			72.0161	72.0149		
	95M	90.0179	90.0154	90.0142	90.0150	-0.0028
			90.0157	90.0147		
			90.0151	90.0150		
	143M	137.9884	137.9861	137.9850	137.9860	-0.0025
			137.9863	137.9859		
			137.9861	137.9865		
	266M	261.0011	261.0010	260.9986	260.9995	-0.0016
			261.0005	260.9969		
			261.0018	260.9980		

儀器站	反射站	參考標準距	樣式 10			器差	
			正鏡	倒鏡	平均		
0M	5M	4.9973	4.9919	4.9916	4.9919	-0.0054	
			4.9920	4.9919			
			4.9919	4.9920			
	23M	23.0268	23.0268	23.0227	23.0229	23.0228	-0.0040
				23.0227	23.0230		
				23.0228	23.0228		
	31M	30.9874	30.9874	30.9831	30.9836	30.9834	-0.0040
				30.9833	30.9836		
				30.9833	30.9837		
	59M	59.0122	59.0122	59.0091	59.0092	59.0091	-0.0031
				59.0091	59.0091		
				59.0091	59.0092		
	77M	77.0161	77.0161	77.0132	77.0130	77.0130	-0.0030
				77.0129	77.0127		
				77.0134	77.0130		
	95M	95.0160	95.0160	95.0124	95.0131	95.0127	-0.0033
				95.0124	95.0133		
				95.0123	95.0128		
	143M	142.9864	142.9864	142.9845	142.9839	142.9843	-0.0021
				142.9845	142.9841		
				142.9849	142.9840		
266M	265.9983	265.9983	265.9953	265.9945	265.9953	-0.0030	
			265.9950	265.9961			
			265.9943	265.9963			
5M	23M	18.0291	18.0257	18.0251	18.0254	-0.0037	
			18.0257	18.0252			
			18.0257	18.0252			
	31M	25.9898	25.9898	25.9859	25.9860	25.9859	-0.0039
				25.9859	25.9859		
				25.9859	25.9859		
	59M	54.0143	54.0143	54.0118	54.0120	54.0119	-0.0024
				54.0118	54.0119		
				54.0118	54.0119		
	77M	72.0191	72.0191	72.0149	72.0157	72.0153	-0.0038
				72.0150	72.0157		
				72.0149	72.0154		
	95M	90.0179	90.0179	90.0146	90.0154	90.0151	-0.0027
				90.0142	90.0161		
				90.0143	90.0162		
	143M	137.9884	137.9884	137.9844	137.9860	137.9853	-0.0031
				137.9846	137.9866		
				137.9845	137.9857		
	266M	261.0011	261.0011	260.9989	260.9993	260.9996	-0.0015
				260.9992	261.0000		
				260.9995	261.0004		

附錄二 不同反射材質雷射測距數據

儀器站	反射站	參考標準距	樣式 11			器差
			正鏡	倒鏡	平均	
0M	5M	4.9973	4.9916	4.9919	4.9917	-0.0057
			4.9915	4.9917		
			4.9915	4.9917		
	23M	23.0268	23.0227	23.0235	23.0228	-0.0040
			23.0225	23.0229		
			23.0226	23.0226		
	31M	30.9874	30.9830	30.9825	30.9829	-0.0046
			30.9830	30.9831		
			30.9827	30.9828		
	59M	59.0122	59.0088	59.0086	59.0085	-0.0038
			59.0085	59.0081		
			59.0084	59.0083		
	77M	77.0161	77.0138	77.0105	77.0124	-0.0037
			77.0132	77.0114		
			77.0140	77.0112		
	95M	95.0160	95.0109	95.0109	95.0118	-0.0042
			95.0120	95.0127		
			95.0125	95.0119		
	143M	142.9864	142.9848	142.9827	142.9841	-0.0023
			142.9845	142.9838		
			142.9846	142.9840		
	266M	265.9983	265.9945	265.9943	265.9938	-0.0045
			265.9930	265.9948		
			265.9934	265.9926		
5M	23M	18.0291	18.0269	18.0258	18.0264	-0.0028
			18.0270	18.0260		
			18.0269	18.0257		
	31M	25.9898	25.9861	25.9852	25.9858	-0.0040
			25.9865	25.9853		
			25.9862	25.9854		
	59M	54.0143	54.0129	54.0133	54.0134	-0.0009
			54.0134	54.0131		
			54.0136	54.0138		
	77M	72.0191	72.0167	72.0166	72.0167	-0.0024
			72.0165	72.0168		
			72.0170	72.0166		
	95M	90.0179	90.0179	90.0171	90.0176	-0.0003
			90.0181	90.0168		
			90.0181	90.0176		
	143M	137.9884	137.9873	137.9870	137.9872	-0.0013
			137.9883	137.9867		
			137.9872	137.9865		
	266M	261.0011	260.9977	260.9979	260.9992	-0.0019
			260.9993	261.0019		
			260.9975	261.0009		

儀器站	反射站	參考標準距	樣式 12			器差
			正鏡	倒鏡	平均	
0M	5M	4.9973	4.9910	4.9914	4.9913	-0.0060
			4.9910	4.9916		
			4.9914	4.9914		
	23M	23.0268	23.0221	23.0216	23.0221	-0.0047
			23.0221	23.0221		
			23.0221	23.0225		
	31M	30.9874	30.9824	30.9821	30.9824	-0.0050
			30.9826	30.9823		
			30.9827	30.9822		
	59M	59.0122	59.0093	59.0080	59.0085	-0.0037
			59.0091	59.0077		
			59.0092	59.0078		
	77M	77.0161	77.0120	77.0114	77.0116	-0.0045
			77.0115	77.0114		
			77.0119	77.0113		
	95M	95.0160	95.0112	95.0121	95.0115	-0.0045
			95.0111	95.0124		
			95.0101	95.0121		
	143M	142.9864	142.9823	142.9827	142.9826	-0.0038
			142.9821	142.9826		
			142.9827	142.9829		
266M	265.9983	265.9930	265.9955	265.9944	-0.0038	
		265.9943	265.9960			
		265.9933	265.9945			
5M	23M	18.0291	18.0255	18.0244	18.0251	-0.0041
			18.0258	18.0246		
			18.0257	18.0243		
	31M	25.9898	25.9852	25.9855	25.9853	-0.0045
			25.9854	25.9854		
			25.9850	25.9854		
	59M	54.0143	54.0115	54.0110	54.0112	-0.0031
			54.0117	54.0108		
			54.0115	54.0107		
	77M	72.0191	72.0154	72.0146	72.0150	-0.0041
			72.0155	72.0146		
			72.0153	72.0145		
	95M	90.0179	90.0148	90.0139	90.0143	-0.0035
			90.0148	90.0136		
			90.0148	90.0140		
	143M	137.9884	137.9847	137.9855	137.9847	-0.0038
			137.9842	137.9847		
			137.9844	137.9846		
	266M	261.0011	260.9993	260.9993	260.9997	-0.0014
			261.0002	260.9996		
			261.0003	260.9993		

顯著性檢定值

材質	加常數 C	乘常數 R	S_0	S_c	S_R	$ C/S_c $	結果	$ R/S_R $	結果
樣式 1	6.7	-6.7	2.52E-06	9.94E-07	8.29E-06	4.83	顯著	1.01	不顯著
樣式 2	8.9	-9	4.41E-06	1.74E-06	1.45E-05	2.76	顯著	0.58	不顯著
樣式 3	8.7	-9.9	4.14E-06	1.63E-06	1.36E-05	2.94	顯著	0.62	不顯著
樣式 4	8.2	-11.6	3.61E-06	1.42E-06	1.19E-05	3.38	顯著	0.71	不顯著
樣式 5	8	-11.5	3.27E-06	1.29E-06	1.07E-05	3.73	顯著	0.78	不顯著
樣式 6	7.7	-5.5	3.46E-06	1.36E-06	1.14E-05	3.52	顯著	0.74	不顯著
樣式 7	1	-5.7	3.99E-06	1.57E-06	1.31E-05	3.05	顯著	0.64	不顯著
樣式 8	1.1	-0.2	3.33E-06	1.31E-06	1.09E-05	3.66	顯著	0.77	不顯著
樣式 9	4	-8.3	1.04E-06	4.08E-07	3.41E-06	11.75	顯著	2.74	顯著
樣式 10	4	-7.9	1.09E-06	4.29E-07	3.58E-06	11.20	顯著	2.35	顯著
樣式 11	3.5	-4.6	1.89E-06	7.45E-07	6.21E-06	6.45	顯著	1.35	不顯著
樣式 12	4.8	-8.4	7.80E-07	3.07E-07	2.56E-06	15.63	顯著	3.28	顯著

其中，

\tilde{D}_i ：參考標準距

D_i ：量測值

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

$$\Delta_i = \tilde{D}_i - \bar{D}_i$$

$$S_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}{n-2}}$$

$$Q_{CC} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{n * \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2} \quad , \quad Q_{RR} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}$$

$$S_c = \sqrt{Q_{CC}} * S_0$$

$$S_R = \sqrt{Q_{RR}} * S_0$$

檢定判斷值 $t_{0.05}(13) = 2.16$

附錄三 各次參考標準距標準差

儀器站	稜鏡站	1040429	1040507	1040514	1040610
0M	5M	0.00033	0.00023	0.00026	0.00030
	23M	0.00017	0.00027	0.00012	0.00017
	31M	0.00018	0.00057	0.00017	0.00017
	59M	0.00036	0.00042	0.00042	0.00032
	77M	0.00073	0.00039	0.00033	0.00035
	95M	0.00025	0.00008	0.00047	0.00036
	143M	0.00060	0.00032	0.00038	0.00034
	266M	0.00066	0.00112	0.00056	0.00103
5M	23M	0.00035	0.00023	0.00024	0.00031
	31M	0.00037	0.00028	0.00011	0.00068
	59M	0.00107	0.00025	0.00015	0.00044
	77M	0.00020	0.00063	0.00034	0.00116
	95M	0.00050	0.00134	0.00053	0.00062
	143M	0.00019	0.00131	0.00035	0.00126
	266M	0.00037	0.00098	0.00079	0.00066

附錄四 表單設計

校正申請表

申請單編號：		申請日期： 年 月 日						
顧客資料	顧客名稱：		統一編號：					
	聯絡人：		聯絡電話：		傳真：			
	聯絡地址：							
	報告抬頭：				聯絡人：			
	報告地址：							
校正目的								
校正件基本資料	校正件編號	(*) 廠牌	(*) 型號	(*) 序號	(*) 校正項目	儀器櫃編號	費用	(#) 校正人員
	(*) 配件：							
	(*) 配件：							
➤ 校正項目 A. <input type="text" value="電子測距儀(95M)"/> B. <input type="text" value="電子測距儀(266M)"/> C. <input type="text" value="經緯儀"/> D. <input type="text" value="衛星定位儀"/> G. <input type="text" value="雷射測距儀(95M)"/> H. <input type="text" value="雷射測距儀(266M)"/> ➤ (*) 顧客填寫項目 (#) 由技術主管核定後填入 ➤ 本頁不夠填寫時，請填次頁。								
收費	費用合計新台幣 _____ 元整，領取校正報告前請先繳費。							
收件檢查	<input type="checkbox"/> 每部送校儀器，外觀檢視 <input type="checkbox"/> 無明顯異狀。 <input type="checkbox"/> 異狀註記： <input type="checkbox"/> 每部儀器應檢附稜鏡、儀器操作手冊、充電器及電池（同型儀器操作手冊檢附乙份即可）。 <input type="checkbox"/> 每部儀器開機測試，功能正常（EDM 測試測距、測角功能；GPS 為測試可否接收資料）。							
注意事項	1、送校正之儀器如發現無法校正時，本實驗室將於 7 個工作天內通知顧客領回。 2、儀器校正完畢後，請先付費後領取校正報告。 3、校正完畢並經通知後，本實驗室最長代管 15 個工作天，逾期不領回致遭損失，恕不負責。 4、校正報告領回後如有疑問，請於 15 個工作天內向本實驗室反應，逾期不受理。 5、本表經顧客及收件人簽章後，即具「委託契約」效力，實驗室應影印乙份供顧客留存。 6、對內及對外服務均使用此申請表。							
顧客簽章		收件人簽章		技術主管		收費簽章		
						收據編號		

校正作業管理表

編號：

申請單編號：		校正件編號：		儀器櫃編號：		
廠牌：		型號：		序號：		
流程項目		校正作業			經手人	
校正	項目	最近查核日期	日期	開始時間	完成時間	校正人員
校正報告	項目		日期	時間	製作人員	數據檢核
審查	審查人員		審查情形 (結果)			簽章
	報告簽署人		項目：			
			項目：			
	技術主管					
	品質主管					
實驗室主管						

項目	經手人	顧客簽章
校正件領回		
校正報告領回		

SICL-4-17-0

----- 截 切 線 -----

隨 件 標 籤		
申請單編號：	校正件編號：	儀器櫃編號：
顧客名稱：		
廠牌 / 型號 / 序號：		校正項目：
<input type="checkbox"/> 校畢簽名：		<input type="checkbox"/> 退件：

附註：本標籤自顧客取回校正件後自動失效。

電子測距儀加常數查核紀錄表

編號：

檢測單位：		地點：		日期： 年 月 日	
儀器廠牌：		型號：		序號：	
精度規格： mm ± ppm		溫度： (±0.4)°C		壓力： (±1.4) hPa	
儀器設定加常數 C ₀ ： (mm)					
加常數(C)查核					
儀器站	稜鏡站	正鏡	倒鏡	總平均	
() M	0 M			D ₁	
() M	95 M			D ₂	
0 M	95 M			D ₃	
計算實測加常數：C ₁ = D ₃ - D ₂ - D ₁ =					
C ₁ = (mm) <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 於管制範圍內					

觀測人員：

紀錄人員：

說明：

1. 儀器站可架設 31M 或 59M 或 77M 處基樁。
2. 壓力若為 mmHg ，範圍為 ±1.0 mmHg

免稜鏡測距參考標準距離觀測紀錄表

編號：

量測單位：		地點： 固定基座基線場		日期： 年 月 日	
儀器廠牌：		型號：		序號：	
精度規格： mm \pm x 10 ⁻⁶		溫度：(± 0.4 °C)		壓力：(± 1.4)hPa	
儀器站	稜鏡站	觀測值 (平距)		平均值	
		正鏡	倒鏡		
0M	5M				
0M	23M				
0M	31M				
0M	59M				
0M	77M				
0M	95M				
0M	143M				
0M	266M				

免稜鏡測距參考標準距離觀測紀錄表

儀器站	稜鏡站	觀測值 (平距)		平均值
		正鏡	倒鏡	
5M	23M			
5M	31M			
5M	59M			
5M	77M			
5M	95M			
5M	143M			
5M	266M			

觀測人員：

紀錄人員：

參考書目

內政部國土測繪中心，2015(a)，「電子測距儀校正作業程序」，SICL-3-01-0。

內政部國土測繪中心，2015(b)，「電子測距儀校正系統評估」，SICL-3-01-1。

王學平、王登杰、孫英明、董磊，2007，免稜鏡全站儀在橋梁檢測中的應用，山東大學工學報第26卷第2期。

王京衛、楊風雷、郭秋英，2011，基於免稜鏡全站儀的古建築文物測繪方法，山東大學工學報第37卷第3期。

何維信，2004，測量學(第五版)，宏泰出版社。

李倩，2013，手持式激光測距儀檢定方法及系統研究，西安里工大學。

岳建平、高永剛、謝波，無反射稜鏡全站儀測距性能測試，中國科技論文在線<http://www.paper.edu.tw>。

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。

邱明全，2006，固定基樁基線量測不確定度模式分析及建立之研究，內政部土地測量局。

財團法人全國認證基金會，2008，校正領域量測不確定度評估指引
(TAF-CNLS-G16(1))。

財團法人全國認證基金會網址

<http://service.taftw.org.tw/tafweb/indexC.aspx>。

陳焱勝、李德治，2010，統計學概論，前程文化事業有限公司。

國家質量監督檢驗檢疫總局，2011，手持式激光測距儀檢定規程
(JJG 966-2010)。

森泰儀器有限公司，2015，經緯儀/測距儀原理及維護保養。

http://www.sokkia.com.tw/article/instrument_maintain_v2.1.pdf

楊俊志，2004，全站儀的原理及其檢定，測繪出版社。

楊治平、楊照金、侯民，2005，激光測距機主要參數校準測量不確定度分析，應用光學26(4):56-57。

熊春寶、楊俊志，2011，測地機器人，測繪出版社。

ISO/IEC GUIDE 98-3 Uncertainty of Measurement : Part3 : Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM 1995)，First edition，ISO/IEC 2008.

JIS Z 8721-1993 Colour specification Specification according to their three attributes.