

**111 年度玉山正高檢測工作採購案**  
**2022 Government Procurement for Jade Mountain Orthometric Height Detection**

**工作報告**  
**Work Report**



標案案號：NLSC-111-57  
主辦機關：內政部國土測繪中心  
執行單位：中興測量有限公司

中華民國 111 年 12 月 16 日

## 摘要

玉山為臺灣最高峰，也是東北亞第一高峰，而臺灣位於歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊碰撞劇烈地帶，地質活動頻繁，活躍的造山運動使玉山高度每年皆有些微改變。自 67 年開始相關單位已有系統檢測玉山高程，內政部國土測繪中心於 109 至 111 年辦理臺灣本島地區之正高測量檢測作業，並在 111 年 8 月 4 日由內政部公告臺灣本島一等水準點高程成果。考量前次檢測玉山正高迄今已近 5 年，為了解並更新玉山正高變化情形，爰辦理「111 年度玉山正高檢測工作採購案」，分段辦理玉山沿線水準測量檢測工作，檢核分析由內政部一等水準點 X121(點名：塔塔加節點)至玉山主峰之一等衛星控制點 S026(點名：玉山)，及於支線向北延伸至 YUSN(點名：玉山北峰)之高程變化情形，並錄製測量紀錄影片以供後續向民眾宣導。本案順利完成施測 2 條水準測線，共 23 點監測點位、22 個測段，其中，塔塔加節點(X121)之公告高程為 2609.749m，玉山主峰(S026)之正高約為  $3952.433 \pm 0.046$ m。

關鍵詞：玉山、大地測量、水準測量

## Abstract

Jade Mountain is the highest peak of Taiwan and also the highest peak of Northeast Asia. Taiwan locates in the collision zone of the Eurasian continental plate and the Philippine Sea plate, with frequent geological activities. The active orogeny causes the elevation of Jade Mountain to change slightly every year. Since 1978, relevant offices have systematically measured the elevation of Jade Mountain. The National Land Surveying and Mapping Center (MOI) conducted the orthometric measurement and inspection of Taiwan from 2020 to 2022. On August 4, 2022, the Ministry of the Interior announced the elevation results of the first-order bench mark of Taiwan. Considering that it has been nearly 5 years since the last inspection of the elevation of Jade Mountain, and to understand and update the changes in the elevation of Jade Mountain, MOI have organized the "2022 Government Procurement for Jade Mountain Orthometric Height Detection". Leveling surveys are carried out along the path to Jade Mountain. Analyses include the elevation changes from first-order bench mark (X121) to Mt. Jade Main Peak (S026), and extend northward to the branch line of Mt. Jade North Peak(YUSN). A video of the leveling work is also recorded for follow-up publicity to the public. Successfully completed the survey of 2 leveling lines, 23 monitoring points, and 22 survey sections. Among them, the announced elevation of Tataka Node (X121) is 2609.749 m, Mt. Jade Main Peak (S026) has an elevation of  $3952.433 \pm 0.046$  m.

KEYWORDS: Jade Mountain, geodesy, leveling

## 目錄

摘要.....	I
目錄.....	II
圖目錄.....	III
表目錄.....	III
第一章、前言.....	1
§1-1 計畫背景.....	1
§1-2 工作項目.....	1
第二章、規劃準備.....	3
§2-1 路線規劃.....	3
§2-2 儀器設備與人員編組.....	4
§2-2-1 使用儀器設備 .....	4
§2-2-2 外業作業人員編組 .....	4
§2-3 儀器設備檢核.....	5
§2-3-1 水準儀視準軸校準 .....	5
§2-4 國家公園入園申請.....	8
第三章、工作執行成果.....	9
§3-1 水準外業測量.....	9
§3-2 水準觀測資料處理.....	13
§3-3 測段往返閉合分析.....	14
§3-4 水準觀測資料系統誤差改正.....	15
§3-5 水準網平差計算.....	21
§3-6 玉山正高精度評估.....	23
§3-7 玉山正高分析結果.....	24
§3-8 玉山水準測量紀錄影片.....	29
第四章、檢討與建議.....	30
參考文獻.....	31

附錄 1 工作報告審查意見改進表

附錄 2 儀器檢校報告

附錄 3 水準網平差成果

附錄 4 歷年正高高程成果

## 圖目錄

圖 2-1	玉山沿線水準測量點位分布圖.....	3
圖 2-2	水準儀視準軸校準水準儀與水準尺之擺設位置圖.....	5
圖 3-1	水準外業測量流程圖.....	7
圖 3-2	水準測量外業觀測相片.....	10
圖 3-3	水準資料處理及計算流程圖.....	13
圖 3-4	測線 YS1 之點位高程差比較圖.....	27
圖 3-5	測線 YS2 之點位高程差比較圖.....	28
圖 3-6	水準測量外業攝影作業相片.....	29

## 表目錄

表 2-1	玉山沿線水準測量測線表.....	3
表 2-2	YS04A 點位詳細資料.....	4
表 2-3	使用儀器設備規格表.....	4
表 2-4	外業測量人員及攝影人員編組表.....	5
表 2-5	折射與曲率誤差修正表.....	6
表 2-6	使用水準儀視準軸校準成果一覽表.....	6
表 2-7	視準軸校正紀錄表及檢查保養表.....	7
表 2-8	國家公園申請入園時程一覽表.....	8
表 3-1	測線 YS1 測段往返閉合差成果表.....	14
表 3-2	測線 YS2 測段往返閉合差成果表.....	15
表 3-3	水準測量各項系統誤差改正成果.....	20
表 3-4	點位高程一覽表.....	22
表 3-5	歷年觀測總測段數及點數一覽表.....	24
表 3-6	歷年施測高程差一覽表.....	24
表 3-7	各點位相對於 X121 之高程差較差表.....	25
表 3-8	點位測段高程差比較表.....	28

# 第一章、前言

## §1-1 計畫背景

玉山為臺灣最高峰，亦是東北亞最高峰，山勢挺拔俊美，向為臺灣精神表徵。過去已有系統測定其高程，包括聯勤測量署於民國 67 年辦理臺灣地區三角點測量時，以三角高程測量方法測量結果；次為民國 92 年內政部國土測繪中心（以下簡稱國土測繪中心）前身內政部土地測量局，首次採用直接水準測量方式，推算玉山之正高，並化算至臺灣地區高程基準（Taiwan Vertical Datum 2001，簡稱 TWVD2001）上，之後分別於 105 年辦理「105 年度玉山沿線水準及重力測量工作」及 106 年辦理「106 年度玉山正高檢測工作採購案」，以檢測玉山高程。

而國土測繪中心於 109-111 年辦理臺灣本島地區之正高測量檢測作業，並在 111 年 8 月 4 日由內政部公告臺灣本島一等水準點高程成果，又因臺灣位於歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊碰撞劇烈地帶，地質活動頻繁，考量前次檢測玉山正高迄今已近 5 年，為了解並更新玉山正高變化情形，爰辦理「111 年度玉山正高檢測工作採購案」，分段辦理玉山沿線水準測量檢測工作，檢核分析一等水準點 X121 至玉山主峰一等衛星控制點 S026 之高程變化情形。另為了解玉山北峰 GNSS 連續站 YUSN 正高高程，作為後續應用參考，本案規劃一併辦理水準測量檢測工作。

## §1-2 工作項目

本案工作項目包含如下：

### 一、水準測量

1. 辦理玉山沿線點位普通水準測量，使用之電子水準儀規格應符合：
  - (1) 每公里往返測標準偏差應優於  $3.0\text{mm}$ 。
  - (2) 圓盒氣泡之靈敏度在  $10'/2\text{mm}$  以內。
  - (3) 補償器水平設定精度在  $0.8$  以內。
  - (4) 最小估讀（顯示）讀數為  $1\text{mm}$  以下。
2. 第 1 次作業前應辦理定樁法進行視準軸校正，視準軸誤差係數  $C=[\Delta h_2-\Delta h_1+(e_{45}-e_5)]/\Delta s_2$  不得超過  $0.05\text{mm}/\text{m}$ 。
3. 作業時應填寫水準測量紀錄表，並依下列規定辦理：
  - (1) 前、後視距應盡量約略相等。
  - (2) 採 1 測回 BF（後視—前視）方式觀測。
  - (3) X121 至 YS02 之各測段往返閉合差（系統誤差改正前）不得超過  $10\text{mm}\sqrt{K}$  ( $K$  為測段距離，單位為公里)。
  - (4) YS02 至 YS15 及 YS16 至 YUSN 之各測段往返閉合差（系統誤差改正前）不得超過  $20\text{mm}\sqrt{K}$  ( $K$  為測段距離，單位為公里)。
  - (5) YS15 至 S026 及 YS15 至 YS16 之測段往返閉合差（系統誤差改正前）不得超過

$50mm\sqrt{K}$ 。

- (6) 每個測段應以數位相機拍攝至少 10 張解析度 200 萬像素以上作業情形相片，其中 2 張須可清晰辨識起點與終點標石號碼，其餘照片應拍攝水準測量作業情形及周遭環境（應盡量拍攝艱困環境與作業過程），並分別以起點點號-終點點號為資料夾名稱，將各測段照片存放於資料夾中。
4. 作業使用之電子水準儀，應檢附當年通過財團法人工業技術研究院出具之測試報告，測試項目及標準如下：
- (1) 圓盒氣泡校準：圓盒氣泡偏移量  $\leq \pm 1mm$
  - (2) 視準軸校準：視準軸傾角誤差量  $\leq \pm 10''$
  - (3) 調焦誤差： $\leq \pm 1mm$
  - (4) 測站高差觀測中誤差： $\leq \pm 1mm$
  - (5) 直立軸誤差： $\leq \pm 1.8''$
  - (6) 水平設定精度： $\leq \pm 0.8''$

## 二、水準測量資料處理

1. 原始觀測資料：應為一般文字檔（ASCII 格式）。
2. 系統誤差改正表，其內容包括下列各項資料：
  - (1) 起點點號、終點點號、測段距離、測段檔名、測量日期（包括年、月、日）、測站數及原始高程差。
  - (2) 視準軸誤差改正值、地球曲率改正值、正高改正值、改正值總計及改正後高程差。
  - (3) 閉合差分析表：各測段觀測量經系統誤差改正前辦理，內容包括起點點號、終點點號、測段後視與前視距離、測量日期（包括年、月、日）、原始往返高程差、往返閉合差及容許標準值。
  - (4) 計算成果：計算各點位正高，並分析其精度。

## 三、工作實錄製作

應錄製 Full HD 之高畫質工作紀錄影片，影片內容須包含 X121、YS02、YS12、YS15、S026、YUSNBM 及 YUSN 等點位測量過程，並剪輯成 12-15 分鐘與 3-5 分鐘 2 種版本影片（含旁白及中文字幕）。

## 四、工作報告書

製作工作報告書 5 份及電子檔（Microsoft Word 格式及 PDF 格式）2 份。報告書以 A4 紙張直式橫書打印，編目錄、章節及頁次並加封面裝訂成冊，其內容至少應包含前言、工作項目、儀器符合規格之文件、工作執行成果、各項改正及平差成果、玉山正高分析結果（含與 105 及 106 年成果比較）、檢討與建議及相關圖表。

## 第二章、規劃準備

### §2-1 路線規劃

本案辦理之水準測量路線，由內政部一等水準點 X121（點名：塔塔加節點）至玉山主峰之一等衛星控制點 S026（點名：玉山），並於路線間延伸至玉山北峰 YUSNBM 及 GNSS 連續站 YUSN（點名：玉山北峰），其分布情況如圖 2-1 及表 2-1。其中，YS01~YS17 為國土測繪中心於 105 年埋設之點位，YS04A 則為位於玉山登山口之臨時點（點位詳細資料參照表 2-2）。



圖 2-1 玉山沿線水準測量點位分布圖

表 2-1 玉山沿線水準測量測線表

測線編號	施測點號
YS1	X121—YS01—YS04A—YS02—YS03—YS04—YS05—YS06—YS07—YS08—YS09—YS10—YS11—YS12—YS12A—YS13—YS14—YS15—S026
YS2	YS15—YS16—YS17—YUSNBM—YUSN

註：其中 YS04A 為位於玉山登山口之臨時點

表 2-2 YS04A 點位詳細資料

點號	YS04A	
概略坐標 (TWD97)	縱坐標 (m): 2596968.390 橫坐標 (m): 239783.338	
詳細地點	由排雲登山服務中心沿楠溪交流道往玉山登山口行至約 2.4K 處即可到達點位。本點設於路口中心處。	
點位 路線圖 及 照片	<p>路線圖</p> <p>照片</p>	

## §2-2 儀器設備與人員編組

### §2-2-1 使用儀器設備

本案使用之設備為 Trimble Dini03 電子精密水準儀及相應之設備配件，其規格內容參照表 2-3，檢校報告詳附錄 2。

表 2-3 使用儀器設備規格表

設備名稱	電子精密水準儀 (Trimble Dini03)	規格
設備相片		<ul style="list-style-type: none"> <li>觀測精度 <math>\pm 0.3mm</math></li> <li>最小讀數 0.1mm，最小估讀數 0.01mm</li> <li>水平設定精度 <math>\pm 0.2''</math></li> <li>圓盒氣泡靈敏度 8/2mm</li> <li>有效距離 1.5m~100m</li> </ul>

### §2-2-2 外業作業人員編組

本案外業人員編組，依水準測量之特性，並考量作業區域屬於高山環境險惡之地區，及有效縮短作業時間等三個因素考慮，分別編組，各編組人員如表 2-4。

表 2-4 外業測量人員及攝影人員編組表

隊名	人數	領隊	成員	備註
水準測量 A	5	陳君儒	吳耀崑、林家歲、張健明	測量人員
			鄭宏哲	攝影人員
水準測量 B	5	陳明達	陳良套、邱聖智、陳錫卿	測量人員
			梁勝宗	攝影人員
水準測量 C	4	江佾錄	吳秉儒、陳常樂、劉旭昇	測量人員

## §2-3 儀器設備檢核

### §2-3-1 水準儀視準軸校準

在實際進行水準外業測量前，為確保水準儀本身之誤差值合於規範值內，並記錄水準儀的視準軸誤差值，做為系統誤差改正之依據。進行水準儀視準軸校準時，其水準儀與水準尺之擺設位置如圖 2-2，校準過程說明如下。

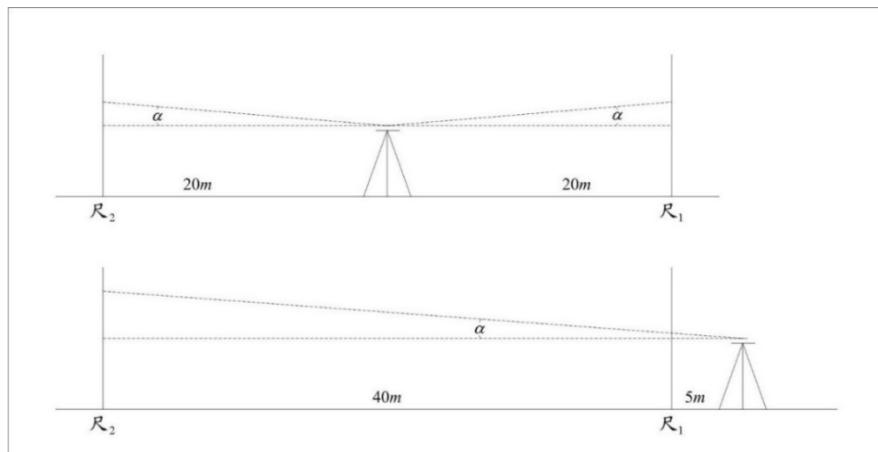


圖 2-2 水準儀視準軸校準水準儀與水準尺之擺設位置圖

依照圖 2-2 架設水準儀及擺放水準尺，並依照下列方法進行水準儀視準軸校正：

#### 1. 校正方法與步驟：

- (1) 於一平坦地精確的量取一段長  $40m$  之線段，兩端分置水準尺，水準儀須精確的整置於線段中央處 ( $20m$  處)。
- (2) 將水準儀及水準尺整平後，以尺  $1$  為後視，尺  $2$  為前視，依序讀取後視讀數、後視距離，前視讀數、前視距離，前視讀數、後視讀數；前後視距離讀數差不得超過  $0.4m$ ，計算高程差  $\Delta h_1$ 。
- (3) 將儀器移動至尺  $1$  後方  $5m$  處，仍以尺  $1$  為後視，尺  $2$  為前視，讀取後視讀數、後視距離，前視讀數、前視距離，前視讀數、後視讀數。
- (4) 計算高程差  $\Delta h_2$ 、前後視距離差  $\Delta s_2$ ，經查「一等水準測量作業規範」(內政部，2014) 之折射與曲率誤差修正表 (表 2-5)，因此  $e_5 = 0$  及  $e_{45} = 0.1$ 。

- (5) 利用公式(2-1)計算視準軸誤差值( $C$ )，檢驗 $C$ 值是否超過  $10.0''$ (即  $0.05\text{ mm/m}$ )之容許值。

$$C = [\Delta h_1 - \Delta h_2 + (e_{45} - e_5)] / (\Delta s_2) \quad (2-1)$$

- (6) 如果 $C$ 值超過容許值，則必須將水準儀送交儀器廠商進行視準軸校正，才能繼續進行外業觀測。

表 2-5 折射與曲率誤差修正表（單向視線）

視距範圍，s(m)	折射與曲率誤差值，e(mm)
0~28	0.0
28~48	0.1
48~61	0.2
61~73	0.3
73~82	0.4
82~91	0.5
91~99	0.6

## 2. 校正注意事項：

- (1) 視準軸之校準應選擇坡度不超過 2%之平坦地，並於外業測量作業前施行之。
- (2) 水準儀及水準尺從箱中取出至操作場所後，應先放置 5 分鐘以適應當地環境；若儀器與環境溫差太大，則須停留(溫差×2)之分鐘數，以求環境與儀器溫度達至平衡。
- (3) 確定水準儀及水準尺的圓盒氣泡已事先校正完畢。
- (4) 由於採用電子式水準儀且僅單一測站，因此折射與曲率誤差改正可忽略不計。
- (5) 電子精密水準儀要先消除內部視準軸校正的功能。
- (6) 校正時應記錄日期、儀器編號、水準尺編號、時間及時間段、量測起始之溫度、風速及日照、操作及記錄人員。

依照前述校正方法進行水準儀視準軸校準作業，本次計畫使用的水準儀經檢核，其檢驗 $C$ 值均能符合  $10.0''$  ( $0.05\text{ mm/m}$ ) 的要求(參照表 2-6)，水準視準軸校正紀錄表及檢查保養表參照表 2-7。

表 2-6 使用水準儀視準軸校準成果一覽表

隊名	組別	儀器序號	校正日期	視準軸檢驗 $C$ 值 ( $\text{mm/m}$ )	備註
水準測量 A	D	748944	2022/10/17	-0.000372	合格
水準測量 B	B	733898	2022/10/17	-0.016792	合格
水準測量 C	E	752102	2022/10/17	-0.000998	合格

註：隊名為入山申請之隊伍名稱，組別則為儀器序號之分組代碼。



表 2-7 準視準軸校正紀錄表及檢查保養表(續)

水準視準軸校正紀錄表			水準測量儀器裝備每日檢查保養一覽表		
組 別	E	檔 案 名 稱	20221017E	日期：20221017	檢查保養人員：江俊錄
校 準 日 期	20221017	校 準 時 間	1403-1407	儀 器 裝 備	檢 查 保 養 情 形
水 準 儀 序 號	752102	校 準 人 員	江俊錄		備 註
水 準 尺 1 序 號	73012A	扶 尺 人 員	陳常樂	正 常	異 常
水 準 尺 2 序 號	73018B	扶 尺 人 員	吳秉儒		
量 测 起 始 溫 度	289	風 速	2		
時 間 段	4	日 照	1		
壹、校準前應注意事項：			是	否	
一、校準場地坡度是否小於2%？			是		
二、水準儀及水準尺之間盒氣泡是否已校正完畢？			是		
三、電子精密水準儀是否已消除內部視準軸校正功能？			是		
貳、水準儀整置於線段中央處(20m處)					
註：前後視距離差若大於0.4m需重新整置儀器					
後視(尺)讀數B <sub>1</sub>	1.50301	後視距離	20.030	後視讀數平均	1.50301
前視(尺)讀數F <sub>1</sub>	1.46821	前視距離	20.038	前視讀數平均	1.46820
前視(尺)讀數F <sub>2</sub>	1.46818	前視距離	20.036	後視距離平均	20.031
後視(尺)讀數B <sub>2</sub>	1.50301	後視距離	20.032	前視距離平均	20.037
高程差( $\Delta h_1$ )	0.03481	距離差( $\Delta s_1$ )	-0.006		
參、水準儀置於尺一後方5m處					
前視(尺)讀數F <sub>3</sub>	1.43752	前視距離	5.009	前視讀數平均	1.43752
後視(尺)讀數B <sub>3</sub>	1.40269	後視距離	45.104	後視讀數平均	1.40276
後視(尺)讀數B <sub>4</sub>	1.40283	後視距離	45.095	前視距離平均	5.009
前視(尺)讀數F <sub>4</sub>	1.43751	前視距離	5.009	後視距離平均	45.100
高程差( $\Delta h_2$ )	0.03475	距離差( $\Delta s_2$ )	-40.091		
肆、計算視準軸誤差係數(單位：mm/m)			-0.000998		
$C = [\Delta h_1 - \Delta h_2 + (s_{45} - s_3)] / (\Delta s_2)$					

(c)水準測量 C-組別 E

#### §2-4 國家公園入園申請

由於本案作業區域均位玉山國家公園管轄範圍內，因此各項作業均透過國土測繪中心協助，向管理機關玉山國家公園管理處申請入園許可，作業人員取得許可後併遵循相關規定入內施測。申請作業期程參照表 2-8。

表 2-8 國家公園申請入園時程一覽表

項次	作業內容	入園日期	人數	備註
1	水準測量	2022/10/17~2022/10/23	11	

### 第三章、工作執行成果

#### §3-1 水準外業測量

水準測量採用精密電子自動水準儀進行施測，毋須如傳統水準儀由人工進行目視讀取水準尺上讀數及記錄，兼具高精度與高效率之優點。其觀測原理係由自動水準儀照準掃描條碼水準尺讀數進行比對分析，並自動將水準尺前後視讀數及視距資料、點號等自動紀錄於電子紀錄器記憶體中，除提高精度與工作效率外，亦可避免人工操作讀數及記錄所可能產生之錯誤，水準外業測量流程參照圖 3-1，相關內容說明如后。

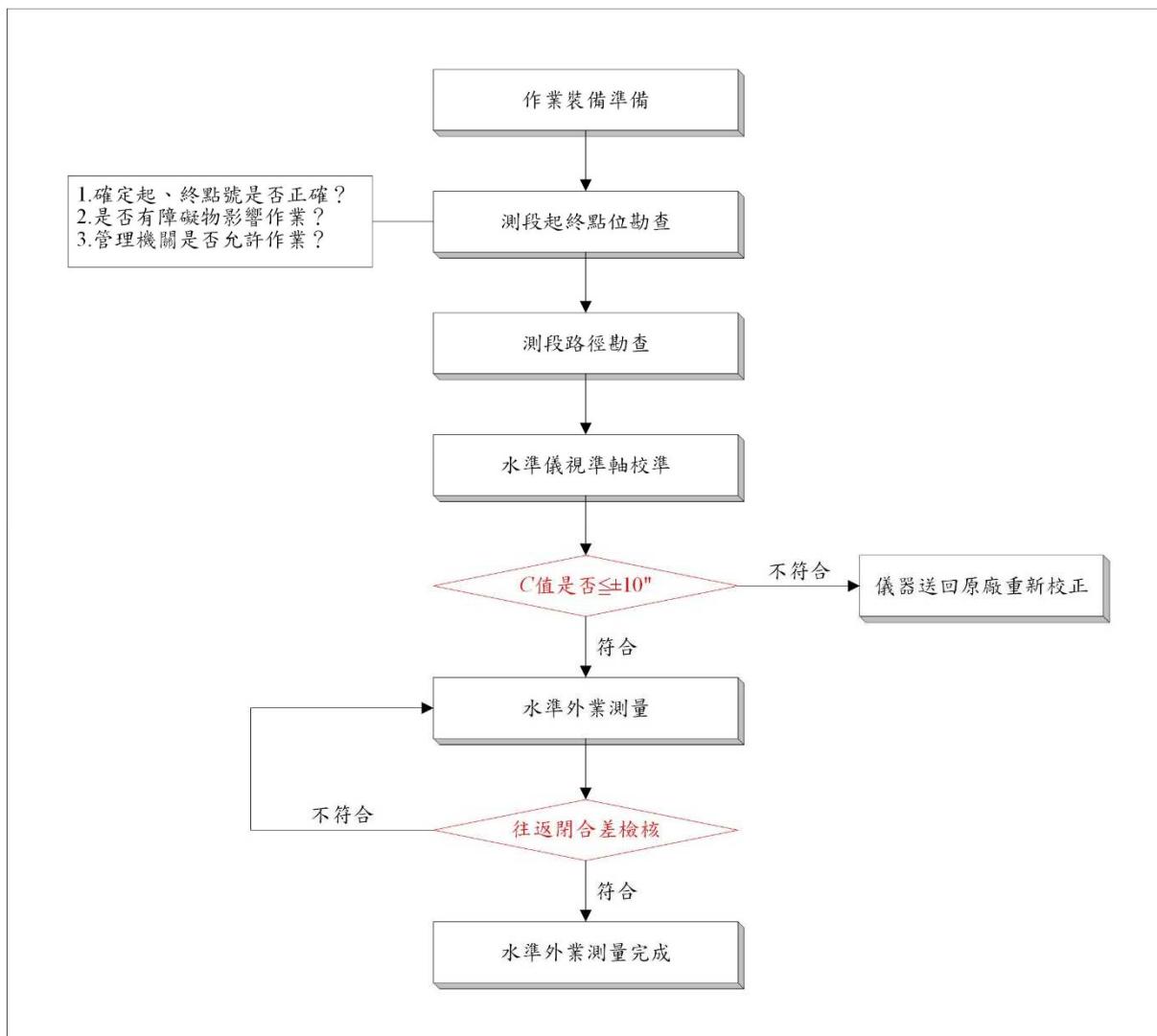


圖 3-1 水準外業測量流程圖

- (1) 立水準尺：將甲尺置於起點上，經由另一名引導員以水線實際量取前後視約相等距離後，引導乙尺置於尺墊上，調整水準尺上的氣泡，使其居中。
- (2) 將水準儀置於二根水準尺的中間，調整儀器使氣泡居中後，再觀測甲尺的讀數，每一次讀數設定至少三次，其讀數標準差 ( $\sigma$ ) 不得大於 0.2mm，記錄讀數。

- (3) 將水準儀轉向乙尺，不可轉動踵定螺旋，若氣泡偏離容許範圍，則儀器須重做檢定。若在容許範圍內，對準乙尺讀取讀數，並記錄讀數。
- (4) 記錄者下指令引導後視尺及儀器往進行方向移動，前視尺則轉動尺面，並確保尺墊位置不動，此時，前視尺變成後視尺，重覆(2)至(3)之步驟，直至甲尺再置於終點的水準點上。
- (5) 於接近終點時，調整前後視距離，使每一測段的測站數為偶數，即保證同一支尺放在起點與終點的點位上，如此可避免水準尺零點不在尺底部的誤差。
- (6) 施測時於標尺底部設置尺墊，以使尺的支撐點置於標尺底部的中央，減少誤差。

實際水準外業測量共計以 3 組設備施測，作業期間自 111 年 10 月 17 日至 10 月 23 日，合計共 7 個工作天，水準測量外業觀測相片參照圖 3-2。



(陡峭步道作業)



(碎石路面作業)

圖 3-2 水準測量外業觀測相片



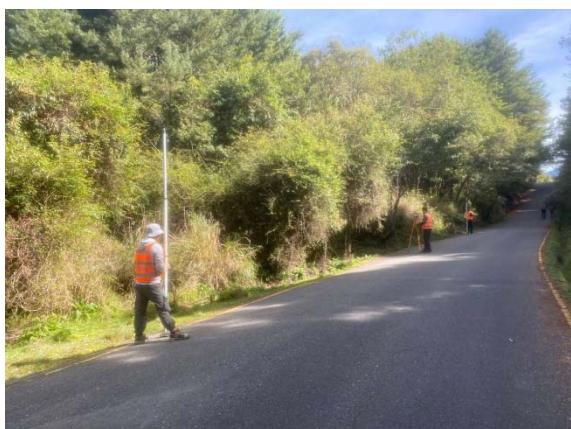
(道路作業)



(密林中作業)



(放置鐵墊防止水準尺滑動)



(道路作業人員著反光背心)



(於腳架上設置反光裝置)

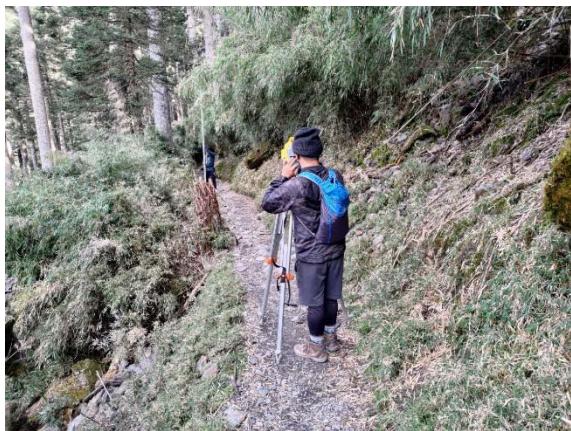
圖 3-2 水準測量外業觀測相片(續)



(山區霧氣縮短站距施測)



(天候正常以正常距離施測)



(步道較平緩時盡量拉長站距，以減少施測站次)



(步道陡峭時縮短站距，以取得有效數據)

圖 3-2 水準測量外業觀測相片(續)

## §3-2 水準觀測資料處理

### 1. 水準測量資料處理流程

於水準外業測量完成後，必須對觀測資料加以整理、檢查，以確定資料是否合乎規範要求；因此，針對本次水準作業依照規範設計一套處理的流程，以對資料進行檢核，確保施測成果品質完善，並且製作各項成果圖表，及後續水準網平差計算與相關成果分析；本案水準測量資料處理的流程參照圖 3-3，後續將利用程式自動化處理各階段的工作，詳細內容將於爾後各章節加以說明。

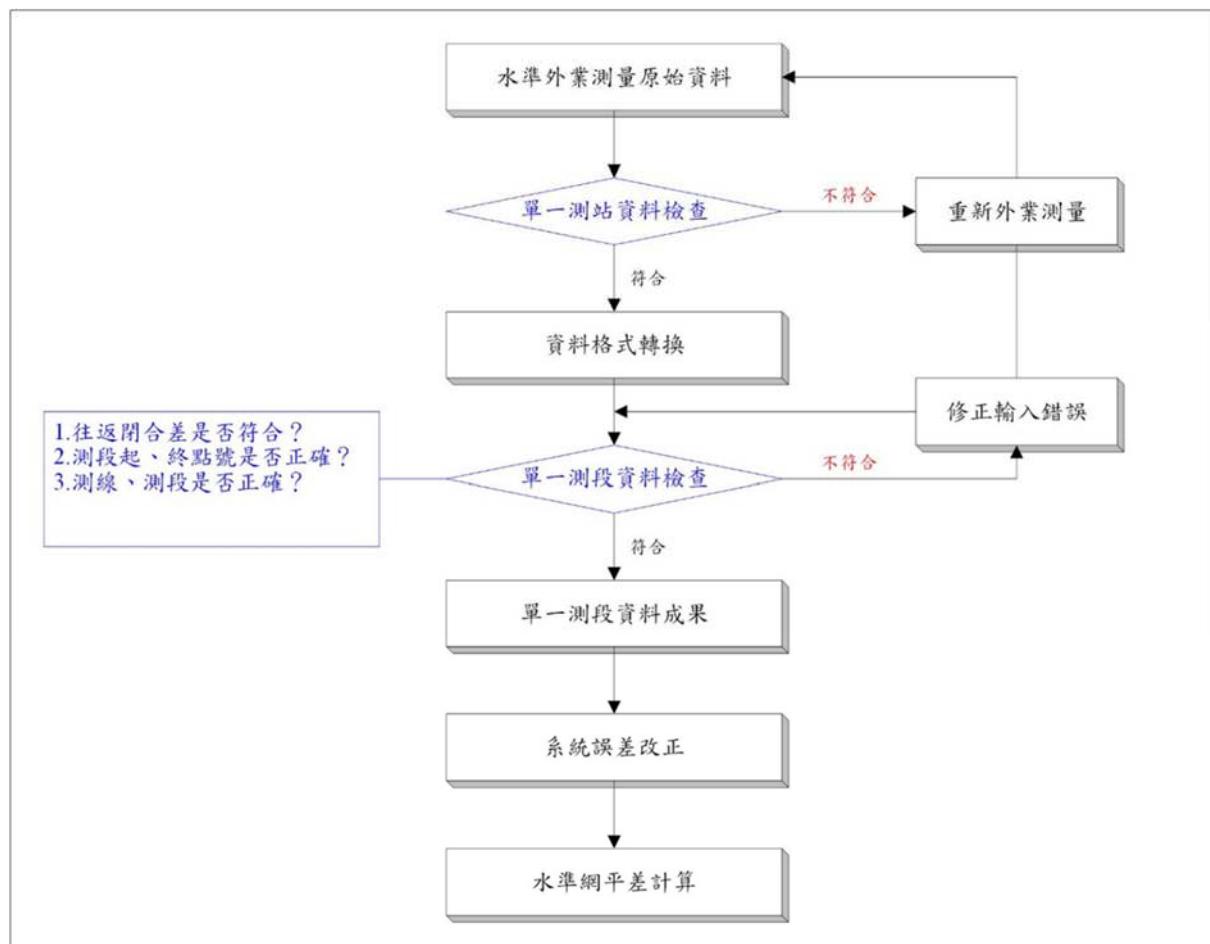


圖 3-3 水準資料處理及計算流程圖

### 2. 水準資料檢核

於水準外業測量完成後，應對觀測資料加以整理、檢查，以確定資料是否合乎規範要求；在此階段中檢查之內容分為二部分：

- (1) 檢查單一測段之觀測資料：內容包括往返閉合差精度、起終點號是否相符等項目，是否含有人為錯誤或精度不合的情形。
- (2) 水準環線閉合差檢查：檢核觀測資料中是否含有較大的系統誤差或其他人為因素的錯誤存在。

### §3-3 測段往返閉合分析

在水準測量中，利用規範每一測段往返閉合差的數值，為控制水準測量精度及檢核測量成果品質最有效及最直接的方法；依本案之精度要求，X121 至 YS02 之各測段往返閉合差（系統誤差改正前）不得超過  $10 \text{ mm}\sqrt{K}$ ；YS02 至 YS15 及 YS16 至 YUSN 之各測段往返閉合差（系統誤差改正前）不得超過  $20 \text{ mm}\sqrt{K}$ ；YS15 至 S026 及 YS15 至 YS16 之測段往返閉合差（系統誤差改正前）不得超過  $50 \text{ mm}\sqrt{K}$ （ $K$  為測段距離，單位為公里）。而各測段經檢核後均能滿足規定之要求（參照表 3-1、表 3-2）。

表 3-1 測線 YS1 測段往返閉合差成果表

測段數	點號	往返高差		前後視距離		往返閉合差 (mm)	容許誤差值 (mm $\sqrt{K}$ )	備註
		往測(m)	返測(m)	後視(m)	前視(m)			
01	X121	69.77949	-69.77772	895.72	872.17	1.77	13.29	合格
	YS01			866.55	899.90			
02	YS04A	-73.10616	73.10677	886.26	896.92	0.61	13.37	合格
				922.75	871.33			
03	YS02	0.59845	-0.59846	3.27	3.76	-0.01	0.84	合格
				3.76	3.26			
04	YS03	111.90959	-111.90532	450.86	463.85	4.27	19.07	合格
				434.28	468.49			
05	YS04	73.17415	-73.16954	370.42	357.73	4.61	17.08	合格
				361.93	367.70			
06	YS05	70.89657	-70.89048	518.52	532.31	6.09	20.49	合格
				525.49	523.47			
07	YS06	27.36286	-27.35748	366.30	398.83	5.38	17.52	合格
				381.23	387.65			
08	YS07	66.73840	-66.73125	325.06	347.76	7.15	16.38	合格
				345.39	323.62			
09	YS08	78.76567	-78.77313	522.04	311.11	-7.46	18.27	合格
				370.52	465.28			
10	YS09	63.16135	-63.16213	207.40	119.17	-0.78	11.40	合格
				152.00	171.46			
11	YS10	95.71410	-95.72535	735.14	395.60	-11.25	21.34	合格
				496.42	648.87			
12	YS11	52.35956	-52.37023	441.23	335.16	-10.67	17.63	合格
				348.97	429.51			
13	YS12	153.06989	-153.05801	618.17	482.69	11.88	21.06	合格
				479.71	636.00			
14	YS12A	0.93547	-0.93514	11.20	6.67	0.33	2.67	合格
				6.69	11.19			
15	YS13	159.49360	-159.48326	466.13	337.37	10.34	17.92	合格
				332.13	469.13			
16	YS14	194.08892	-194.07663	557.44	307.29	12.29	18.54	合格
				289.61	564.58			
17	YS15	101.22092	-101.21534	252.07	127.79	5.58	12.44	合格
				134.64	258.68			
18	S026	95.80003	-95.81201	142.39	97.77	-11.98	24.40	合格
				96.77	139.18			

註：為方便閱讀，綠色字體代表 X121 至 YS02，藍色字體代表 YS02 至 YS15，紅色字體代表 YS15 至 S026 之測段往返閉合差(mm)及容許誤差值(mm $\sqrt{K}$ )。

表 3-2 測線 YS2 測段往返閉合差成果表

測段數	點號	往返高差		前後視距離		往返閉合差 (mm)	容許誤差值 (mm $\sqrt{K}$ )	備註
		往測(m)	返測(m)	後視(m)	前視(m)			
01	YS15	-148.85101	148.83804	146.96	237.10	<b>-12.97</b>	<b>30.91</b>	合格
	YS16			244.83	135.59			
02		-14.34900	14.34298	486.19	418.96	<b>-6.02</b>	<b>19.01</b>	合格
	YS17			498.67	402.86			
03		156.13862	-156.14017	498.23	364.34	<b>-1.55</b>	<b>18.52</b>	合格
	YUSNBM			351.53	501.52			
04		3.72261	-3.72275	17.24	5.38	<b>-0.14</b>	<b>3.01</b>	合格
	YUSN			5.37	17.25			

註：為方便閱讀，藍色字體代表 YS16 至 YUSN，紅色字體代表 YS15 至 YS16 之測段往返閉合差(mm)及容許誤差值(mm $\sqrt{K}$ )。

### §3-4 水準觀測資料系統誤差改正

系統誤差的處理方式，除了利用測量步驟來消弭部分外，最主要便是利用系統誤差改正模式來進行修正，本案進行的系統誤差改正包括視準軸誤差改正、折射誤差改正、地球曲率改正、水準尺溫度改正及正高改正等 5 項，各種誤差之說明如下，而修正結果參照表 3-3：

#### 1. 視準軸誤差改正 (collimation error correction)

水準測量時，若水準儀的視準軸與其水準管軸非呈「理想」的相互平行狀態，則在每次架站的觀測中，必會引入因視準軸之偏離所產生的微小誤差量，此稱之為視準軸誤差（陳國華，2004）。若在理想的狀態下，當水準外業測量時，若能保持測站前、後視視距長度相等，則視準軸誤差應可消除之，但實際作業時，僅能保持前、後視視距在一定的差距範圍內，並無法真正維持前、後視視距相等，因此必需計算視準軸偏離水平線的角度，以進行該水準儀觀測量的視準軸誤差改正。

若以  $C$  表示每單位公尺視距所產生的偏差量，單位為 mm/m，則每個測站因視準軸偏離所引入的視準軸誤差  $\Delta\ell$  可表示為 (Rappleye, 1984)：

$$\Delta\ell = \ell_B - \ell_F = C \cdot S_B - C \cdot S_F = C \cdot (S_B - S_F) = C \cdot \Delta S \quad (3-1)$$

其中  $\ell_F$ 、 $\ell_B$  分別為測站前後視的視準軸誤差量，單位為 mm。

$S_F$ 、 $S_B$  分別為測站前後視的視距長度，單位為 m。

$\Delta S$  為前後視的視距差，單位為 m。

所以視準軸誤差值  $C$ ，即代表視準軸偏離水平方向所造成每單位視距長度偏離的誤差，依照前面的敘述，當前、後視距相等時，在計算高差時，這誤差會互相抵消；但當這誤差無法完成消除時，則一測段所造成的總視準軸誤差 ( $C_{col}$ ) 和前、後視距差總和 ( $\sum \Delta S$ ) 成正比 (內政部，2014)。因此，每一測段水準測量的視準軸誤差改正  $C_{col}$ ，可

以用下列公式表示：

$$C_{col} = -C \times \sum \Delta S \quad (3-2)$$

其中  $C_{col}$  為測段視準軸誤差改正量，單位： $mm$ 。

$C$  為視準軸誤差改正值，單位： $mm/m$ 。

$\Delta S$  為前後視距差，單位： $m$ 。

前述公式 (3-2) 中，視準軸誤差改正值  $C$ ，將會因水準儀之不同而改變，在實際作業過程中，於每日水準儀視準軸校正作業中依 (2-1) 式計算而得，由於「一等水準測量作業規範」明訂視準軸誤差改正值  $C$  應小於  $0.05 mm/m$ ，而前後視距差總和 ( $\sum \Delta S$ ) 須小於  $1.5 m$ ，因此每一測段的視準軸誤差改正 ( $C_{col}$ ) 應盡量小於  $0.075 mm$ ，惟本案因地形起伏落差大，經檢視實際觀測數據，部分測段視準軸誤差改正值大於  $0.075 mm$ ，但仍不影響本次測量成果。為了要降低視準軸誤差的影響，若要確保每部水準儀視準軸誤差改正值  $C$  的穩定，除了對每部儀器定期檢核外，並在儀器的搬運過程中，小心謹慎地保持儀器的穩定度以維持其精密程度。

## 2. 折射誤差改正 (refraction error correction)

折射誤差在水準測量中，是較為複雜且嚴重的一種誤差。當光線由一介質進入另一介質，由於不同介質的折射率不同，光線的行進方向就會因此發生偏折，在水準測量施測時，若光線行進路線的空氣折射率不同，則光線並非以一直線行進，而是成曲線狀，當接近地表之溫度較高時，光線會產生向上偏折之曲線，空氣的折射率基本上為壓力、溫度和濕度的函數。

因此在水準測量中，折射誤差主要受到三項因素之影響，分別是測站的視距長度、兩水準尺之間的高差以及觀測視線上的溫度梯度等。溫度梯度的變化與外界環境密切相關，白天觀測時，受到日照的影響，溫度梯度大多為負值，在晚間，由於地面的散熱速度較空氣來得快速，其使得溫度梯度大多呈現正值（陳國華，2004）。

在改變空氣折射率的各項因素中，以溫度的影響最為重要 (Bomford, 1980)，因此折射公式幾乎皆由此因素推導而得，根據所用參數的不同，又可分為三大類 (Angus-Leppan, 1984)：

- (1) 直接量測溫度梯度進行改正。
- (2) 利用量測之溫度計算溫度梯度進行改正。
- (3) 利用氣象因素預估溫度梯度進行改正。

在實際運用上，大多採用第(1)種直接量測地表溫度梯度之改正法，進行觀測資料的折射誤差改正，然運用此方法須建立下列 3 項假設 (Kukkamaki, 1938；Angus-Leppan, 1984)：

- (1) 空氣的折射率僅是溫度的函數，忽略其他因素影響。
- (2) 假設各等溫面與地表面平行。
- (3) 假設接近地面的溫度隨高度相關，即高度的函數。

配合前述的假設基礎，再參考 Kukkamaki 的折射誤差修正公式，則可得每一測站的折射誤差改正值 ( $R$ ) 如公式 (3-3) (Kukkamaki, 1980；內政部，2014)：

$$R = -6.7 \times 10^{-8} \times L^2 \times \Delta T \times \Delta H \quad (3-3)$$

其中  $-6.7 \times 10^{-8}$  為適合臺灣地區之折射常數，單位： $/m^2 \cdot ^\circ C$ 。

$L$  為前後視之平均視距，單位： $m$ 。

$\Delta T$  為  $2.5m$  與  $0.5m$  高度之溫度差，單位： $^\circ C$ 。

$\Delta H$  為測站 (setup) 高差，單位： $m$ 。

因此依公式 (3-3) 計算後，我們可以計算各測段折射誤差改正值，由於前後視之平均視距  $L$  及  $2.5 m$  與  $0.5 m$  高度之溫度差  $\Delta T$  理應在有限度的範圍之內，因此影響折射誤差改正值主要在為測站高差  $\Delta H$ ，理論上兩水準點間的高程差愈大，代表每一次擺站的測站高差  $\Delta H$  愈大，但若測段間的路徑呈現起伏的狀態時，就無法依此方法論定。

### 3. 地球曲率改正 (curvature correction)

地表任一點的水準面（或稱重力等位面）並不為平面，其使得水準測量時之視準軸並不會平行於水準面，如果測站的前後視距長度不相等，則會使得觀測得到的水準高差含有因地球曲率影響的微量誤差，此稱為地球曲率誤差。一般來說，地球之曲率在南北方向的變化會較東西方向為大，故其誤差之影響量，南北方向的測線亦會較東西方向者略大（陳國華，2004）。

所以在水準測量每次觀測時，都會引進一個微小的系統誤差，其大小和視距的平方成正比。由於臺灣地區不大，地球曲率改正 ( $\ell_{cur}$ ) 的公式可簡化為（內政部，2014）：

$$\ell_{cur} = -(\sum S_B^2 - \sum S_F^2)/2r \quad (3-4)$$

其中  $S_B$  為後視視距， $S_F$  為前視視距，單位： $m$ 。

$r$  為地球之平均半徑，單位： $m$ 。

依公式（3-4）計算可求得所有測段的地球曲率改正成果，我們由公式（3-4）中得知影響地球曲率改正值之最大因素為前後視距總和平方之差值( $\sum S_B^2 - \sum S_F^2$ )，依「一等水準測量作業規範」規定，每一測站前後視距差應盡量小於 0.5 m，惟本案因地形起伏落差大，實際作業並無法維持測站前後視距差小於 0.5m，但各測段的地球曲率改正影響仍十分微小。

#### 4. 水準尺溫度改正 (rod temperature correction)

水準尺是在木頭、金屬上刻蝕精細的標準刻劃，然而在使用時，其環境溫度與刻蝕時不同，因此每單位刻劃之長度會因而膨脹收縮，若不修正，則會造成系統性的誤差。一般而言，大地水準測量所用的水準尺都以膨脹係數較小的銦鋼來製作。銦鋼是在鋼中加入鎳的合金，其膨脹係數大約在  $10^{-6}$  ( $ppm/^\circ C$ ) 左右，而一般水準尺刻劃是在標準溫度( $20^\circ C$ )之環境下製作；因此各測站水準尺溫度改正為(Rappleye, 1984; 內政部, 2014)：

$$C_{temp} = K \times (t - t_s) \times \Delta H \quad (3-5)$$

其中  $K$  為一對水準尺的平均膨脹係數，單位： $ppm/^\circ C$ 。

$t$  為測站水準尺平均溫度，單位： $^\circ C$ 。

$t_s$  為水準尺長度檢定溫度，單位： $^\circ C$ 。

$\Delta H$  為測站高差，單位： $m$ 。

上述公式（3-5）中，水準尺的平均膨脹係數  $K$ ，是內政部利用一等一級、一等二級水準網測量工作的資料，配合多重線性迴歸分析模式所求得的（曾清涼等，2003；陳國華，2004），其值為  $1.26 \times 10^{-6}$  ( $ppm/^\circ C$ )。我們利用這個數值，配合外業測量實際量測的數據資料，可計算所有測段的水準尺溫度改正值，由公式（3-5）中我們得知，當在坡度極平緩的地方觀測時，水準尺伸縮所造成的影響甚微，但若水準尺間之高程差異愈大，此時水準尺伸縮所引入的誤差值也愈大，但和折射誤差改正相同，當測段坡度有起伏時，則尚無法查知。

#### 5. 正高改正 (orthometric correction)

水準測量得到的高差稱為水準高差或幾何高差，除了測量的偶然誤差外，受到地球重力等位面不為平面且不相互平行之影響，測站的水準高差並不會等於兩水準尺之間的正高差(Heiskanen et al., 1967)，因此所測得的水準高差將會因路徑之不同，而得到不同的結果，為了使成果不受路徑影響，必須對觀測量進行正高改正。

對於相鄰二水準點(A、B)間高程差之正高改正值( $OC_{AB}$ )可以利用下列公式計算(內政部, 2014)：

$$OC_{AB} = \int_A^B \frac{g-g_0}{g_0} dH + \frac{\overline{g_A}-g_0}{g_0} H_A - \frac{\overline{g_B}-g_0}{g_0} H_B \quad (3-6)$$

其中  $\overline{g_A}$  為 A 點沿著垂線到大地水準面路徑的平均重力，單位： $gal(cm/sec^2)$ 。

$\overline{g_B}$  為 B 點沿著垂線到大地水準面路徑的平均重力，單位： $gal(cm/sec^2)$ 。

$g_0$  為臺灣地區之平均重力值。

$H_A$  與  $H_B$  分別為 A 與 B 點之高程值，單位： $cm$ 。

一般而言，上述公式中  $\overline{g_A}$  與  $\overline{g_B}$  可以分別依 (3-7) 式及 (3-8) 式計算之：

$$\overline{g_A} = g_A - \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \gamma}{\partial H} + 4\pi G\rho \right) H_A \quad (3-7)$$

$$\overline{g_B} = g_B - \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \gamma}{\partial H} + 4\pi G\rho \right) H_B \quad (3-8)$$

其中  $\frac{\partial \gamma}{\partial H}$  為正常空間梯度，其值為  $-0.3086mgal/m$ 。

$G$  為重力常數，其值為  $66.7 \times 10^{-9} cm^3/g \cdot sec^2$ 。

$\rho$  為岩層密度，其值為  $2.67 g/cm^3$ 。

$g_A$  與  $g_B$  分別為 A 與 B 點之重力值，單位為  $mgal$ 。

由於 (3-6) 式中， $g$  為二水準點間每個測站的實測重力值，於測量作業中會產生沉重的負擔，考量水準點間的間距一般約為  $2 km$ ，其間重力變化尚稱平滑，因此計算時以二水準點之平均重力值  $g_{AB}$  替代  $g$ ，並以  $H_B = H_A + \Delta H$  代入，則簡化為：

$$OC_{AB} = \frac{1}{g_0} [H_A(\overline{g_A} - \overline{g_B}) + \Delta H(g_{AB} - \overline{g_B})] \quad (3-9)$$

其中  $\overline{g_A} = g_A + 0.0424H_A$ 。

$\overline{g_B} = g_B + 0.0424H_B$ 。

$g_{AB} = \frac{1}{2}(g_A + g_B)$ 。

由上述公式 (3-9) 可知，計算正高改正值需每個點位之重力資料，本案中總計施測 23 點，重力值採用過去辦理之「105 年度玉山沿線水準及重力測量工作」(內政部, 2016) 之重力成果內 (GS2009 系統)，以於後續求得每測段間之正高改正值。

經由前述計算後可得各測段系統誤差改正成果如表 3-3。



### §3-5 水準網平差計算

觀測資料經過錯誤之剔除以及系統誤差改正後，並且確定高程基準後，即可進行水準網平差計算。水準網平差計算的目的，主要是將觀測量所剩餘的偶然誤差，藉由平差的手段及相關的統計模式，分散至各個觀測量，最後求得一組未知數的最佳近似解。一般而言，常用的平差方法是採最小二乘法平差模式，利用所有觀測量改正數的平方和為最小的理論，計算出最佳的平差成果。使用的平差模式即以 Gauss-Markoff Model(GMM) 求解各水準點的高程，利用每一個測段作為平差輸入的觀測量，則其觀測方程式如(3-10)式：

$$V_{ij} + \Delta H_{ij} = H_j - H_i; P_{ij} \quad (3-10)$$

其中若  $i$  為測段的起點， $j$  為測段的終點。

式中  $\Delta H_{ij}$  表示該測段之高程差，單位為  $m$ 。

$H_i$  表  $i$  點的高程， $H_j$  表  $j$  點的高程，單位為  $m$ 。

$V_{ij}$  表測段高程差的改正數，單位為  $m$ 。

$P_{ij}$  表該測段的權值，以測段距離（單位為  $km$ ）的倒數賦予。

因此我們可以將每一測段的高程差均依(3-10)式列一觀測方程式，若有  $n$  個測段的高程差，可組成  $n$  個觀測方程式，則觀測方程式可以矩陣方式表示如下：

$$V = AX - L \quad (3-11)$$

其中  $V$  為觀測量（測段高程差）改正數的向量矩陣。

$X$  為未知數（水準點高程）的向量矩陣。

$A$  為  $X$  的係數矩陣。

$L$  為觀測量的向量矩陣。

若假設各測段觀測量之間彼此獨立不相關，則權矩陣  $P$  中，各觀測量權值將依照其測段距離倒數賦予。

在上述的平差模式中，各水準點的高程為待求的未知數，這些未知數雖然均是函數獨立，但觀測方程式中若沒有任何已知點的高程值，則其非滿秩矩陣，法方程式會有無數個解。為了改變法方程式矩陣的奇異性，在水準網中需賦予一個已知起算點的高程，依其高程為基準，平差後得到的其他水準點高程值，則會是相對於此已知點的成果。因此我們必須對水準網賦予一個起算點的高程，採用的點位以 X121 (點名：塔塔加節點) 為高程約制點，則平差後其他水準點的高程值均為相對於 X121 之高程，其中，105 年及 106 年成果採用之公告高程為內政部於 104 年 4 月 12 日公告之「104 年臺灣一等水

準網水準測量成果」(內政部，2015)，本案公告高程則採用內政部於111年8月4日公告之「111年臺灣一等水準網水準測量成果」(內政部，2022)。依前述方式平差後，可求得各點位高程值如表3-4，平差結果詳如附錄3。

表 3-4 點位高程一覽表

點號	TWD97 (m) 縱坐標	TWD97 (m) 橫坐標	正高高程(m)	備註
X121	2598252.742	238746.557	2609.74945	約制點
YS01	2597329.402	238622.291	2679.54955	
YS04A	2596968.390	239783.338	2606.41639	
YS02	2596962.816	239779.800	2607.01531	
YS03	2596729.325	240402.326	2718.98299	
YS04	2596574.027	240856.104	2792.17915	
YS05	2596380.589	241633.381	2863.10427	
YS06	2596555.758	242092.102	2890.46817	
YS07	2596156.091	242390.887	2957.23769	
YS08	2595654.286	242914.463	3036.04385	
YS09	2595789.782	243042.001	3099.23010	
YS10	2596212.442	243779.541	3194.97079	
YS11	2595795.049	244258.137	3247.35499	
YS12	2595935.959	244867.391	3400.48702	
YS12A	2595952.771	244864.027	3401.42244	
YS13	2595984.575	245300.953	3560.99807	
YS14	2596258.746	245407.879	3755.22715	
YS15	2596380.854	245498.835	3856.53784	
S026	2596329.179	245634.124	3952.43279	
YS16	2596707.012	245524.449	3707.57459	
YS17	2597472.077	245817.316	3693.21589	
YUSNBM	2598231.825	245844.260	3849.50769	
YUSN	2598246.031	245826.841	3853.22918	

註：本次測得YUSN係該點位上衛星追蹤站（天線盤ARP）之高程，並非該點鋼標之高程值

### §3-6 玉山正高精度評估

由於地形限制，玉山水準測量路段未能成環狀閉合，無法以平差方法計算權單位中誤差、未知數中誤差等精度評估指標（內政部，2004；參考 111 年 12 月 13 日玉山正高檢測成果研商會議資料）。故僅就水準測量各測段往返閉合差推估本案水準測量成果之精度為 $\pm 32.1\text{mm}$ ，推估成果精度之方法如下：

玉山主峰 S026 三角點正高係由 (3-12) 式計算：

$$H_{S026} = H_{X121} + \Delta H_{X121-S026} + OC1_{X121-S026} \dots\dots\dots (3-12)$$

其中  $\sigma H_{X121}$  可由公告成果獲得， $\sigma \Delta H_{X121-S026}$  為本案測量成果精度， $\sigma OC1_{X121-S026}$  則依 (3-13) (3-14) 式推估：

$$\text{因 } OC_{AB} = \frac{1}{g_0} \left( \frac{g_A + g_B}{2} - g_0 \right) \Delta n_{AB} + \frac{g_A + 0.0424H_A - g_0}{g_0} H_A - \frac{g_B + 0.0424H_B - g_0}{g_0} H_B \dots\dots\dots (3-13)$$

$$\text{故 } \sigma_{OC}^2 = \left( \frac{\partial OC}{\partial g_A} \right)^2 \sigma_{g_A}^2 + \left( \frac{\partial OC}{\partial g_B} \right)^2 \sigma_{g_B}^2 = \left( \frac{\Delta n_{AB} + 2H_A}{2g_0} \right)^2 \sigma_{g_A}^2 + \left( \frac{\Delta n_{AB} + 2H_B}{2g_0} \right)^2 \sigma_{g_B}^2 \dots\dots\dots (3-14)$$

依據 (3-14) 式若採  $g_0 = 978868.3 \text{ mgal}$ ， $\sigma_{g_A} = \sigma_{g_B} = \pm 0.2 \text{ mgal}$ ，計算得  $\sigma_{OC} = \pm 3.7 \text{ mm}$ 。則

$$\sigma H_{X121} = \pm 10.0 \text{ mm}，\sigma \Delta H_{X121-S026} = \pm 32.1 \text{ mm}，\sigma_{OC} = \pm 3.7 \text{ mm}，\sigma H_{S026} = \pm 33.8 \text{ mm}。$$

若採國土測繪中心玉山正高測量報告 (93 年 4 月) 寬估精度評估方式，則

$$\sigma H_{X121} = \pm 10.0 \text{ mm}，\sigma \Delta H_{X121-S026} = \pm 44.5 \text{ mm}，\sigma_{OC} = \pm 3.7 \text{ mm}，\sigma H_{S026} = \pm 45.8 \text{ mm}。$$







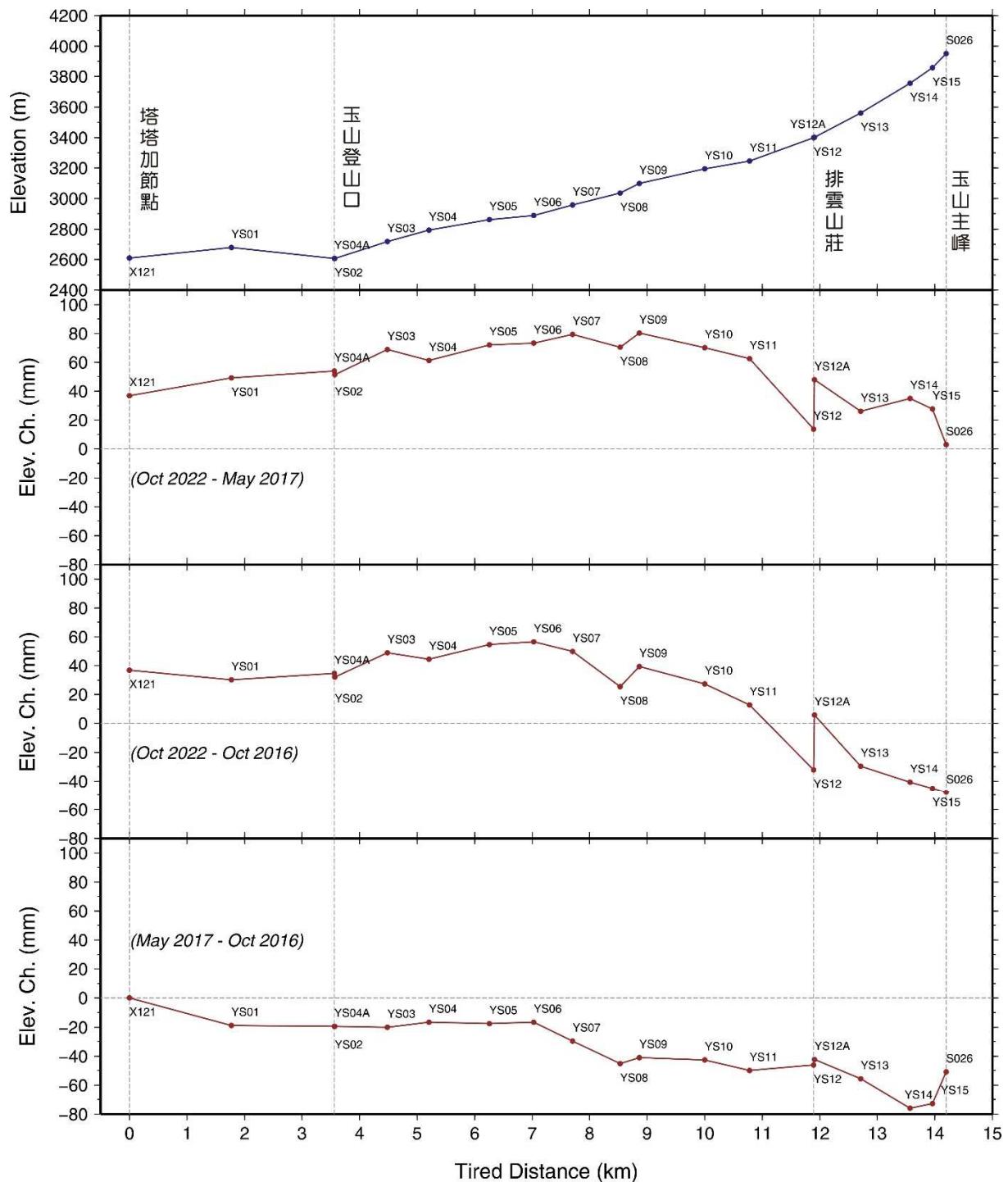


圖 3-4 測線 YS1 之點位高程差比較圖

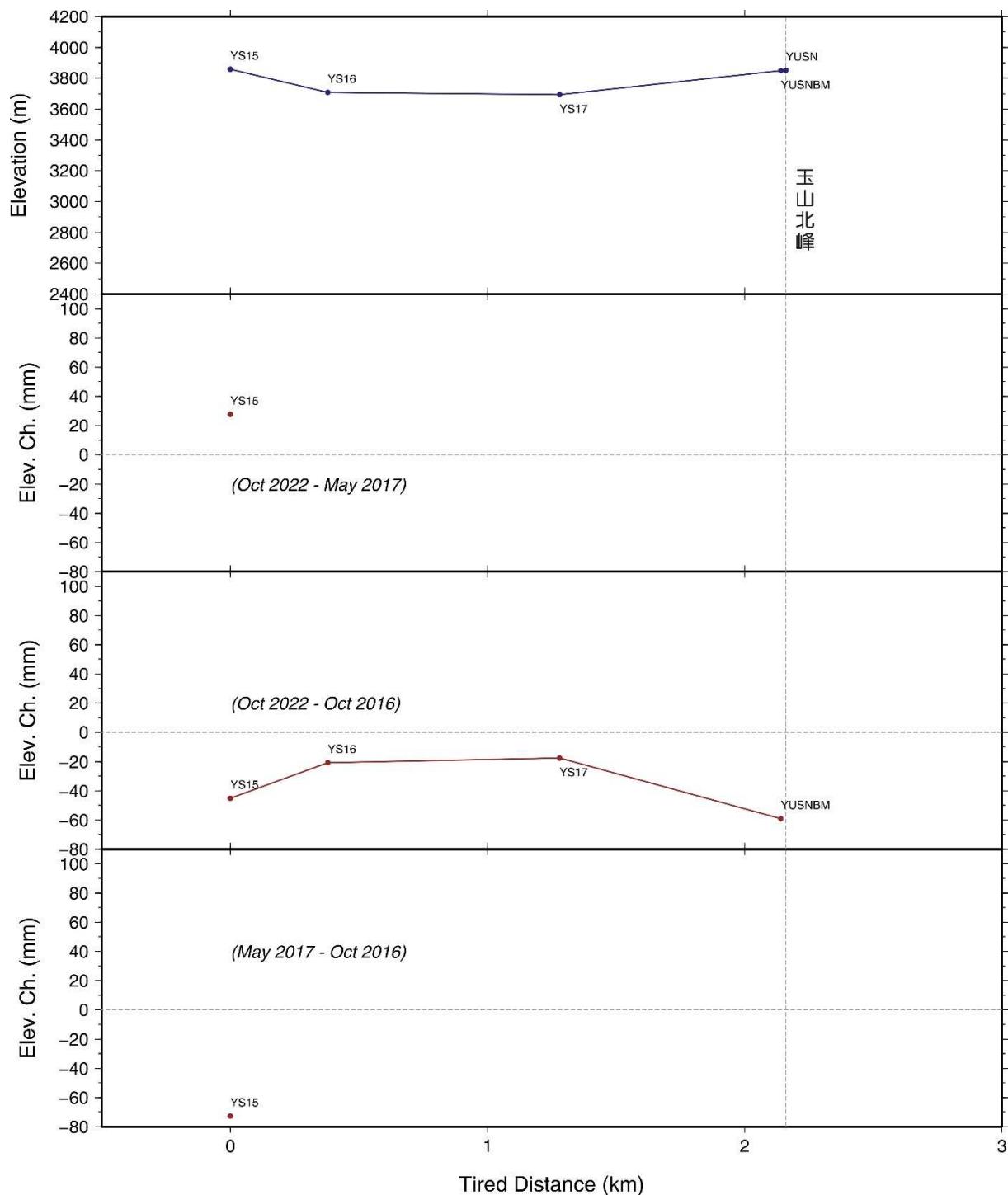


圖 3-5 測線 YS2 之點位高程差比較圖

### §3-8 玉山水準測量紀錄影片

本案屬高山作業，因天數較長且補給不便，對攝影人員及裝備都是很大的考驗。施測其間共派遣 2 位攝影人員，分成兩組作業跟隨外業測量人員進行拍攝（圖 3-6），可互相支援，且人員身體狀況必須良好，出發前需接受醫師評量及處置高山隨身藥物，保暖衣物及行動糧食需準備充分，並盡量以脫水食物為佳，裝備攜帶輕型攝影機，儲存設備及電力設備需充足萬無一失，以拍攝紀錄測量隊實際作業狀態，將高山作業辛勞及高山美景記錄下來，錄製 Full HD 之高畫質工作紀錄影片，其中，影片內容包含 X121、YS02、YS12、YS15、S026、YUSNBM 及 YUSN 等點位測量過程，並剪輯成 12-15 分鐘與 3-5 分鐘 2 種版本影片（含旁白及中文字幕）。

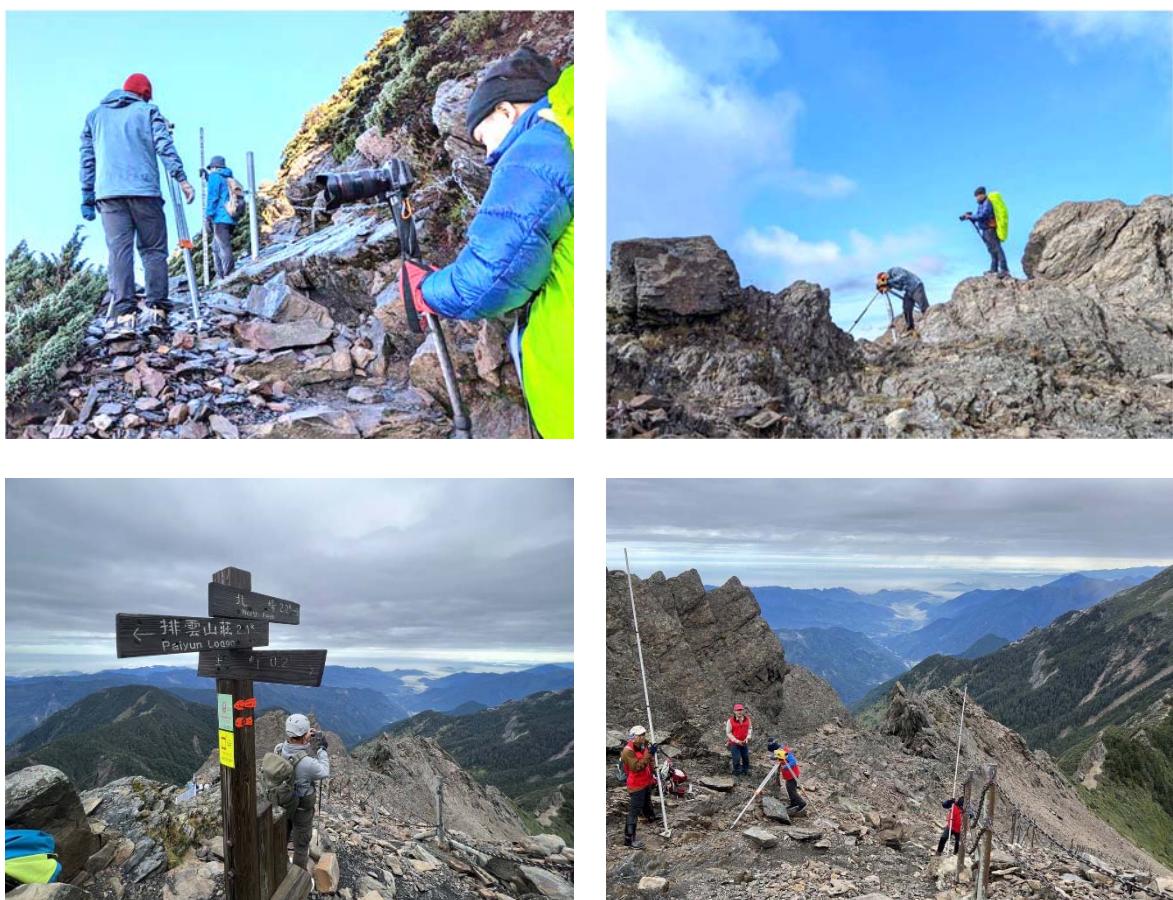


圖 3-6 水準測量外業攝影作業相片

## 第四章、檢討與建議

本次辦理「111 年度玉山正高檢測工作採購案」，在國土測繪中心各方加以協助及指導，及玉山國家公園管理處於入園作業時大力協助，因此方能順利圓滿完成本案。

透過 105 年度、106 年度及 111 年度之觀測數據進行點位高程差較差分析，可了解歷年玉山點位正高成果有以下情形：

- (1) 106 年度及 105 年度之整體點位高程差為負值；111 年度及 105 年度比較可見塔塔加遊客中心到排雲山莊間 (YS01~YS12A) 之點位高程較差多呈現正值，排雲山莊到玉山北峰間 (YS12~YUSN) 則多呈現負值；於 111 年度至 106 年間之點位高程較差則皆呈現正值。
- (2) 111 年塔塔加節點至玉山主峰之整體高度相較於 106 年為上升之趨勢。

而本次辦理過程中，依照實際作業針對爾後辦理相關案件時，提供以下兩點供主辦單位進行參考：

1. 由於臺灣地區易受颱風的侵害，加上每年春天有梅雨季節，考量作業區域屬於高山環境險惡的地區，往後辦理的季節仍建議比照本案選定秋末冬初的季節，雖然作業區域溫度較低，但可避免因下雨增加作業時的困擾，以及危害作業人員的安全。
2. 建議後續可持續配合每 5~6 年辦理之全臺一等水準檢測作業，待檢測作業完竣並公告當年度之水準點高程成果後，再辦理玉山正高檢測工作，持續追蹤玉山之高度變化。

## 參考文獻

- 內政部，2004，玉山正高測量作業報告。
- 內政部，2014，一等水準測量作業規範（103 年修正本）。
- 內政部，2015，104 年臺灣一等水準網水準測量成果。
- 內政部，2016，105 年度玉山沿線水準及重力測量工作採購案。
- 內政部，2017，106 年度玉山正高檢測工作採購案。
- 內政部，2022，111 年臺灣一等水準網水準測量成果。
- 陳國華，2004，整合 TWVD2001 水準及 GPS 資料改進台灣區域性大地水準面模式以應用於 GPS 高程測量，國立成功大學測量及空間資訊學系博士論文。
- 胡明城、魯福，1993，現代大地測量學，上冊；測繪出版社。
- 曾清涼、楊名、劉啟清，2003，一等二級水準網測量督導查核工作總報告書；內政部。
- Angus-Leppan, P. V., 1984, Geodetic Refraction: Refraction in Geodetic Leveling, Springer-Verlag, Berlin, pp. 163-180.
- Demoulin A., and A. Collignon, 2000, Nature of the recent vertical ground movements inferred from high-precision leveling data in an intraplate setting: NE Ardenne, Belgium, J. Geophys. Res., 105, 693-705.
- Heiskanen, W. A. and H. Moritz, 1967, Physical Geodesy, W. H. Freeman and Co., San Francisco, CA, U.S.A., 364 pages.
- Hodgkinson, K. M., R. S. Stein, and G. Marshall, 1996, Geometry of the 1954 Fairview Peak-Dixie Valley earthquake sequence from a joint inversion of leveling and triangulation data, J. Geophys. Res., 101, 25437-25457.
- Kukkamaki, T. J., 1938, Über Die Nivellitische Refraktion, Finn. Geod. Inst., Helsinki, Finland, No. 25, 48 pages.
- Kukkamaki, T. J., 1980, Error Affecting Leveling, NAD Symposium, Ottawa, CIS, p.1-10.
- Kostoglodov V., R. W. Valenzuela, A. Gorbatov, J. Mimiaga, S. I. Franco, J. A. Alvarado, and R. Pelaez, 2001, Deformation in the Guerrero seismic gap, Mexico, from leveling observations, J. Geod., 75, 19-32.
- Lin, J., and R. S. Stein, 1989, Coseismic folding, earthquake recurrence, and the 1987 source mechanism at Whittier Narrows, Los Angeles Basin, California, J. Geophys. Res., 94, 9614-9632.
- Rappleye, H. S., 1984, Manual of Leveling Computation and Adjustment, Supersedes Coast and Geodetic Survey Special Publication No. 240, NOS/NOAA, Rockville, Maryland.

## 附錄 1 工作報告審查意見改進表

審查意見	處理情形
1. 請補充中英文摘要。	1. 依審查意見修正，補充中英文摘要，詳見工作報告 P.I。
2. P.15 「本案進行的系統誤差改正包括視準軸誤差改正、折射誤差改正、地球曲率改正、水準尺溫度改正及正高改正等 5 項，各種誤差之說明如下，而修正結果參照附錄 2」，應修正為「本案進行的系統誤差改正包括視準軸誤差改正、折射誤差改正、地球曲率改正、水準尺溫度改正及正高改正等 5 項，各種誤差之說明如下，而修正結果參照表 3-3」。	2. 依審查意見修正，詳見工作報告 P.15。
3. P.16 文中提及由於「一等水準測量作業規範」明訂視準軸誤差改正值 $C$ 應小於 $0.05 \text{ mm/m}$ ，而前後視距差總和 ( $\Sigma \Delta S$ ) 須小於 $1.5 \text{ m}$ ，因此每一測段的視準軸誤差改正 ( $C_{col}$ ) 應小於 $0.075 \text{ mm}$ 。惟本案因地形起伏落差大，經檢視實際觀測數據，部分測段視準軸誤差改正值大於 $0.075 \text{ mm}$ ，文字敘述與實際有落差，建議修正。	3. 依審查意見修正，詳見工作報告 P.16。
4. P.18 文中提及依「一等水準測量作業規範」規定，每一測站前後視距差應小於 $0.5 \text{ m}$ ，因此，各測段的地球曲率改正影響亦十分微小。惟本案因地形起伏落差大，實際作業並無法維持測站前後視距差小於 $0.5 \text{ m}$ ，故文字敘述與實際有落差，建議修正。	4. 依審查意見修正，詳見工作報告 P.18。

審查意見	處理情形
<p>5. P.22「則依前述方式平差後，可求得各點位高程值如表 3-4」，應修正為「則依前述方式平差後，可求得各點位高程值如表 3-4，詳如附錄 2」；另本次測得 YUSN 係該點位上衛星追蹤站之高程，並非該點鋼標之高程值，請補充說明；表 3-4 除求得各點位高程值，並請分析其精度。</p>	<p>5. 依審查意見修正，詳見工作報告 P.22，並於 P.23 分析其精度。</p>





## 附錄 4 歷年正高高程成果

點號	TWD97 (m)		正高高程成果 (m)		
	縱坐標	橫坐標	105 年	106 年	111 年
X121	2598252.742	238746.557	2609.71271	2609.71271	2609.74945
YS01	2597329.402	238622.291	2679.51950	2679.50050	2679.54955
YS04A	2596968.390	239783.338	2606.38177	2606.36229	2606.41639
YS02	2596962.816	239779.800	2606.98329	2606.96383	2607.01531
YS03	2596729.325	240402.326	2718.93411	2718.91403	2718.98299
YS04	2596574.027	240856.104	2792.13471	2792.11802	2792.17915
YS05	2596380.589	241633.381	2863.04971	2863.03218	2863.10427
YS06	2596555.758	242092.102	2890.41168	2890.39491	2890.46817
YS07	2596156.091	242390.887	2957.18801	2957.15842	2957.23769
YS08	2595654.286	242914.463	3036.01855	3035.97351	3036.04385
YS09	2595789.782	243042.001	3099.19077	3099.14971	3099.23010
YS10	2596212.442	243779.541	3194.94351	3194.90075	3194.97079
YS11	2595795.049	244258.137	3247.34236	3247.29258	3247.35499
YS12	2595935.959	244867.391	3400.51921	3400.47322	3400.48702
YS12A	2595952.771	244864.027	3401.41668	3401.37444	3401.42244
YS13	2595984.575	245300.953	3561.02769	3560.97204	3560.99807
YS14	2596258.746	245407.879	3755.26784	3755.19210	3755.22715
YS15	2596380.854	245498.835	3856.58290	3856.51011	3856.53784
S026	2596329.179	245634.124	3952.48071	3952.42989	3952.43279
YS16	2596707.012	245524.449	3707.59525	---	3707.57459
YS17	2597472.077	245817.316	3693.23340	---	3693.21589
YUSNBM	2598231.825	245844.260	3849.56692	---	3849.50769
YUSN	2598246.031	245826.841	---	---	3853.22918

註： 111 年測得 YUSN 係該點位上衛星追蹤站（天線盤 ARP）之高程，並非該點銅標之高程值