

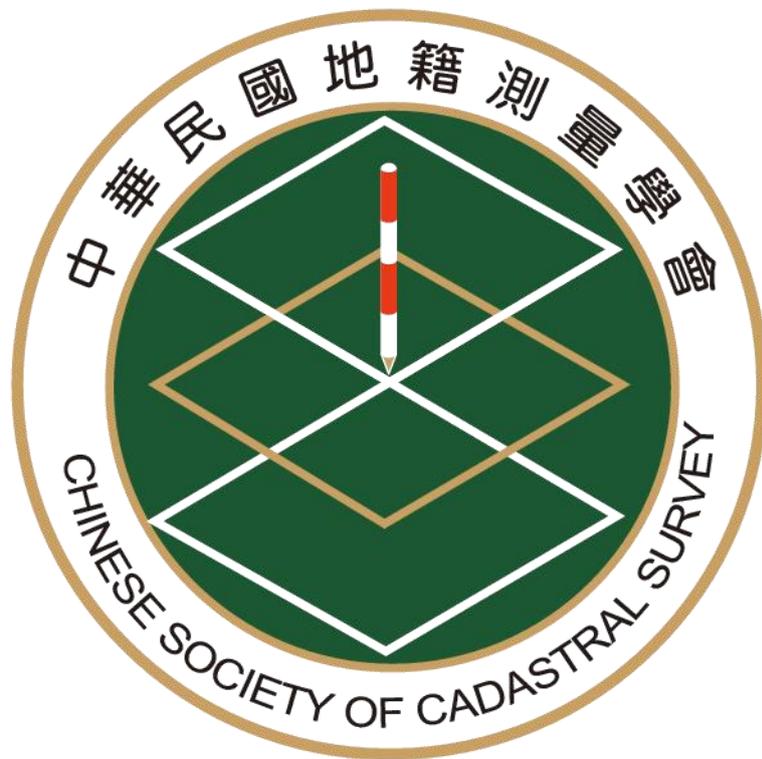
中華民國地籍測量學會期刊

# 國土測繪與空間資訊

Taiwan Journal of Geoinformatics

第十一卷 第二期

中華民國一一二年七月



VOLUME 11, NO. 2

July 2023

Published by Chinese Society of Cadastral Survey &  
National Land Surveying and Mapping Center



內政部國土測繪中心共同發行

# 中華民國地籍測量學會第21屆組織表

## 一、理監事會：

理事長：洪本善

副理事長：江渾欽

常務理事：蕭輔導、高書屏、劉正倫

理事：紀聰吉、王定平、周天穎、楊名、崔國強、王啟鋒、吳宗寶、謝福勝、吳相忠、邱仲銘、張元旭、朱上岸、陳鶴欽、梁崇智、駱旭琛、徐百輝

常務監事：容承明

監事：史天元、白敏思、蕭正宏、陳國華

秘書長：曾耀賢（兼任）

副秘書長：梁旭文（兼任）

秘書：黃華尉（兼任）、何依屏（兼任）、謝博丞（兼任）

幹事：何美娟（兼任）

## 二、各種委員會：

### (一)服務委員會：

主任委員：王啟鋒

委員：王定平、黃仰澤、賴澄標、張瑞隆、朱上岸、黃建華、李文聖、吳智維

幹事：陳俊德

### (二)編輯委員會：

主任委員：史天元

委員：楊名、甯方璽、周天穎、蔡慧萍、韓仁毓、曾國欣、張智安、饒瑞鈞

總編輯：周天穎

編輯：葉美伶、陳鶴欽、黃筱晴

### (三)研究發展委員會：

主任委員：高書屏

委員：王宏仁、林登建、吳宗寶、吳聲鴻、黃文華、賴偉君、駱旭琛、蕭萬禧、謝福勝

總幹事：謝博丞

幹事：董荔偉、李孟娟

### (四)獎章委員會：

主任委員：蕭輔導

委員：張元旭、曾清涼、曾國鈞、謝福來、劉正倫

幹事：由本會秘書處兼任

### (五)教育訓練委員會：

主任委員：崔國強

委員：李文聖、朱上岸、陳俊達、黃建華、蕭介峰、林登建、吳宗寶

總幹事：蕭泰中

幹事：林以恆

### (六)國際事務委員會：

主任委員：周天穎

委員：盧鄂生、王聖鐸、陳惠玲、朱上岸、黃建華、高書屏

總幹事：葉美伶

幹事：邱明全、湯美華、陳家卉

### (七)界址鑑定及諮詢委員會：

主任委員：盧鄂生

委員：邱仲銘、崔國強、謝福勝、駱旭琛、吳宗寶、吳相忠、蕭萬禧、王啟鋒、黃玉鐘

幹事：謝博丞

---

學會地址：408台中市南屯區黎明路二段335巷28號

網址：<http://www.cadastralsurvey.org.tw>

電子郵件：[cscs.editor@gmail.com](mailto:cscs.editor@gmail.com)

## 整合多元化數值資料之監測成果比對 Google Earth 之影像紀錄-以大漢溪河谷為例

黃立信<sup>1\*</sup> 簡宏禧<sup>2</sup>

論文收件日期：112.03.31

論文修改日期：112.05.10

論文接受日期：112.05.26

### 摘要

空間科學技術多元化的發展，已是時代趨勢，如何整合這些觀測資料，應用發展在工程測量上各項領域，正是當前業者和學者努力的目標。

本研究嘗試整合多元化的觀測資料，應用於監測地形變遷之研究。利用三維光達雷射掃描技術，套合電子化全球衛星即時動態定位系統之數值資料，同時結合大氣水文、數值地形模型(Digital Terrain Model)等多元量測的觀測資料，最後比對谷歌地球影像資料紀錄，藉以長期監測大漢溪河谷之地形變遷。

本次研究之方向可大致歸納為以下：

1. 多衛星資料套合e-GNSS觀測系統進行控制點位量測
2. 3D LiDAR觀測資料對大漢溪河谷進行階段性地形監測
3. 整合多元化之數值資料比對影像紀錄
4. 驗證大漢溪河谷之地形變遷

經本實驗數據分析，自106年至111年多次監測，由本研究整合之監測成果比對谷歌地球Google Earth影像紀錄，顯示出大漢溪河谷地形變遷之事實存在，也驗證多元化量測技術監測模式的可行性。

**關鍵詞：**三維光達雷射掃描技術、電子化全球衛星即時動態定位系統、多元量測資料、谷歌地球、地形變遷。

---

<sup>1</sup> 副教授，國防大學理工學院環境資訊及工程學系。

<sup>2</sup> 碩士，國防大學理工學院環境資訊及工程學系。

\*通訊作者，TEL：+886-3-3800364#132，E-mail：[shinn0329@gmail.com](mailto:shinn0329@gmail.com)。

# Integrated multiple digital measurement data for Monitoring results to compare the image records of Google Earth

Lih-Shinn Hwang<sup>1\*</sup>, Hong-Xi, Cheng <sup>2</sup>

## Abstract

The diversified development of space science and technology is the trend of the times. How to integrate these observation data and apply them to various fields of engineering surveying is the goal of current industry practitioners and scholars.

This study attempts to integrate Multiple Measurement Data and apply it to the study of monitoring terrain-changes. Integrated numerical data of 3D LiDAR( three-dimensional Light Detection and Ranging ), e-GNSS (Electronic Global Navigation Satellite System) and multiple measurement data( such as atmospheric-hydrology and DTM data) to compare with Google Earth image record.

The aims of those studies are summarized as follow:

1. Using multi-satellite data integrated e-GNSS technology to implement measurement of control points.
2. Using 3D LiDAR observation data for periodic monitoring the terrain-changes in the Dahan River Valley.
3. Compared Google Earth image- record with the multiple measurement data.
4. Verifying Terrain changes of the Dahan River Valley.

From 2017 to 2022 of multiple monitoring, the results of this study shows the existence of the terrain-changes in the Dahan River Valley, and proposes the feasibility of the monitoring mode of multiple

**Keywords:** 3D LiDAR, e-GNSS, Google Earth, Multiple Measurement Data, Terrain-Changes

---

<sup>1</sup> Associate Professor, Department of Environmental Information and Engineering, National Defense University, C.C.I.T.

<sup>2</sup> Master, Department of Environmental Information and Engineering, National Defense University, C.C.I.T.

\* Corresponding Author, TEL: +886-3-3800364#132, E-mail: [shinn0329@gmail.com](mailto:shinn0329@gmail.com).

## 一、前言

### (一)研究背景與動機

隨著石門水庫竣工，大漢溪水流量的大幅銳減，河底的岩床也裸露而出，橫亙在河岸的武嶺橋、大溪橋成了東西兩岸居民往來的必經道路，每逢颱風期間，強降雨除了迫使石門水庫洩洪以防洪汛潰堤，也順帶為大漢溪及其下游區域提供了豐沛的水流量，伴隨著湍急的水流沖刷河岸造成形變。

地形監測研究是長期且辛苦的作業，使用多衛星影像進行地形監測，是最快捷最便利的方式。經濟部水利署第十河川局也曾以利用UAV(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)結合經緯儀測量的方式，結合地表地質、岩性調查等水文與地文資料蒐集，使用數值模式對河道穩定性進行模擬分析(經濟部水利署第十河川局，2019)；3D LiDAR 技術所得的點雲資料，亦可得到類同的地貌變遷監測結果，且在時效或精度上(特別是地貌地物上之特徵點位的偵測)，更能達到比對的效果。

本研究即是在此基礎上，提出更多元化的方式進行大漢溪河谷之地形監測研究之可行性。本實驗以地面光達技術，於2021年8月至2022年4月期間對大漢溪河道進行四次掃描，共取武嶺橋與大溪橋人行橋所夾區域中六處，與2017年所掃描之點雲與Google Earth影像加以比對，並加入大氣水文資料用以分析大漢溪河谷之變遷。附錄A為中央氣象局在2017-2022年間發佈侵台警報的颱風列表

本研究亦受到Google公司所製作之杜拜1984-2020之時序變遷(Exploring Timelapse in Google Earth, 2021)影片啟發，透過使用三維光達雷射掃描技術(3 Dimensions Light Detection and Ranging, 3D LiDAR)掃描成果之點雲資料及e-GNSS技術，使用地面三維雷射掃描河岸於颱風或強降雨後水流量增大之情況下，與枯水期水流極小的兩種情形下之受侵蝕或堆積情形做為比對，以Google Earth影像時序性紀錄實驗區域之地形並與光達掃描點雲做為成果比對。大漢溪河谷的長期演變，在台灣歷史或人文層面的發展上，都是一頁重要的見證，本研究從事對大漢溪河谷地形變遷之研究，期許在工程測量上的地形監測作業有所突破與發展，能提供給作業單位貢獻與參考。

### (二)研究目的

本次研究之方向可大致歸納為以下：

1. 多衛星資料套合e-GNSS觀測系統進行控制點位量測：  
本研究計畫以Trimble R8S接收儀(2019)，透過國土測繪中心之e-GNSS(2022)系統接收多星系衛星訊號，量測控制點坐標。
2. 3D LiDAR觀測資料對大漢溪河谷進行階段性地形監測：  
本研究計畫以Riegl VZ-1000 3D LiDAR地面雷射掃描儀(訊聯光電，2022)時序性紀錄枯水期與強降雨後水流量，對大漢溪武嶺橋及大溪橋段河道所造成之變遷進行監測。
3. 整合多元化觀測資料比對Google Earth(2022)之影像紀錄：

本研究預計蒐集多元化觀測資料(如大氣水文資料與DTM資料)及點雲成果與Google Earth之影像比對，進行實驗分區地形變遷分析，以求得大漢溪河谷地形變遷時序性差異數據。

4. 驗證大漢溪河谷之地形變遷：

本研究透過多元量測方法，建立大溪河川地區時序性之3D數值變化模型，提供給後來研究人員或是有關水資源之權責單位，進行模擬河岸變遷之歷史，做為防洪汛或水土保持的參考資料。

## 二、實驗項目

### (一)比對內容

本研究參照前人所撰寫之河川與結構物監測相關資料(劉聰桂，2018)(潘國樑，2019)(宋裕棋等，2018)，於實驗區域內部選擇六個區塊作為大漢溪河谷變遷之主要監測項目，其中監測項目有牛軛湖、橋墩、溝渠、護岸、河灘、自然堤等，監測內容主要為 106-111 年受沖刷後之堆積、侵蝕及整體面積變化等，如前表 1 所示。

表 1 河谷監測主要比對項目及內容

監測項目	監測內容
牛軛湖	地形變化、堆積
橋墩	橋墩沖刷、人為影響
溝渠	均夷、沖刷
護岸	回淤變化、人為影響
河灘	受逕流側蝕或堆積情形
自然堤	整體面積變化

### (二)實驗資料

本研究以多衛星結合 e-GNSS 觀測系統並配合 3D LiDAR 對大漢溪部分河道進行定位掃描，利用大範圍長時間掃描觀測，透過結合時序、大氣降水量等變化，以 110/08-111/04 約九個月時間，不同時期所量測之點雲成果所顯示河岸變化，分析大漢溪河谷之變化。

#### 1.控制點部分

本研究利用Trimble R8S衛星接收儀(2019)進行控制點之觀測作業，利用該儀器精度高、只需一人即可作業等優點，實驗以 e-GNSS(Electronic Global Navigation Satellite System)方式接收控制點位坐標並與公告之點位成果以做精度之比較，再選定橋樑兩側之安全處進行設站掃描，使用桃園市政府測量控制點資訊查詢管理系統所公告之點位資料以做為檢核之參考。

#### 2.3D LiDAR 掃描部分

本實驗中沿實驗區外圍橋樑上設定地面控制點，並架設地面光達掃描站以掃描

對側河谷，以公告控制點位作為檢核點，並確保實驗之共軛點足夠在保證精度的情況下進行坐標轉換及以進行後續點雲成果拼接，且實驗全程皆位於高處，即使河水暴漲下仍能保障實驗者之生命安全。

本實驗室研究結果顯示，架站方式需先定平，以保後續點雲之拚接能在同一水平面，於控制點位旁大約 3 公尺擺設儀器掃描，可使點雲處理過程中呈現較為清楚之控制點。利用點雲資料進行解算，所獲取研究區的數值模型網格解析度為 50 公分，相較政府公開資料提供之 20 公尺網格大小，能更細膩表示地形之樣貌。對於在範圍適當大小之區域，提供一快速且精確之數值高程模型之建立方法。直接式的點雲成果展示，不論是精細度以及精度上，都較數值高程模型來得精確，但受限於光達設備成本等限制，還未能將這套展示設施普及化至各基層(黃立信等，2019)。由於本研究中考量掃描範圍較大，測站可大致分為橋樑段與人行步道段兩區域，其中點雲重疊率已足夠用於拼接，第一次實驗中考慮拼接問題於橋樑與人行步道轉角處布置一站，內業時發現橋樑區與人行步道區之河道重疊面之點雲數已足以用於拼接且不影響精度，故於後續實驗中移除轉角處一站。

### 3.大氣與水文部分

參照中央氣象局(2022)、中國文化大學大氣科學系所建置之大氣水文研究資料庫(2022)、經濟部水利署水文資訊網(2022)整合服務系統及石門水庫資訊網(2022)所公布之觀測資料，尤其是有強降雨、颱風等劇烈天氣變化與洪汛事件之資料(經濟部水利署水文資訊網，2022)。

### 4.DTM 資料部分

本研究預計使用內政部地政司所公布之全臺灣20公尺網格數值地形模型資料(政府資訊開放平台，2022)，該資料為使用空載光達產製之數值地形模型(如圖1)，以及本實驗中使用地面三維雷射掃描獲取之各時期點雲，使用Riscan Pro軟體濾除植被及雜訊後，所製成之兩公分網格之DTM，用以比較各時期之地形變遷。

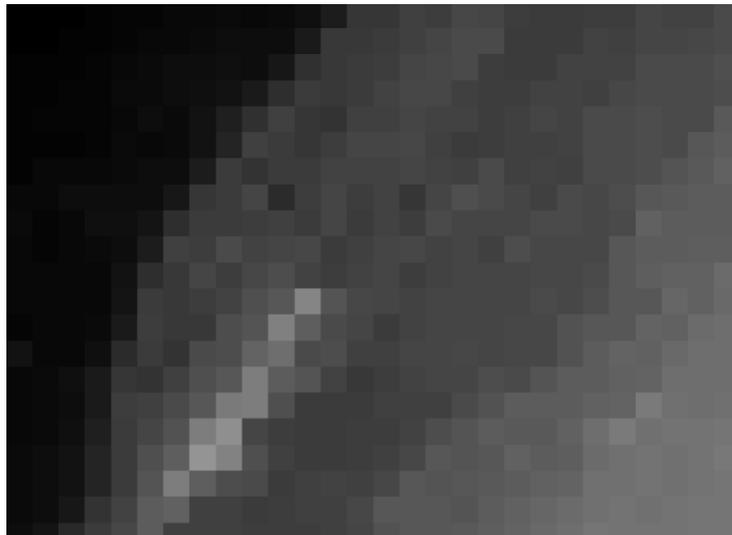


圖 1 內政部地政司公布之全臺灣 20 公尺網格 DTM 示意圖

### 5. Google Earth

Google Earth 為 Google 公司所開發之三維地球模型，其組成主要為歷年之航照與衛照影像，其中包含三維建築模型、三維地景、海洋與水體等。自 2016 年起，Google 使用陸地衛星 8 號以提供解析度約 1-15 公尺的影像。本實驗使用該軟體縮時攝影之功能，以該軟體提供之多年度影像資料，以作為實驗區域變遷之參考。Google Earth 軟體影像如圖 2 所示(Google Earth, 2022)。

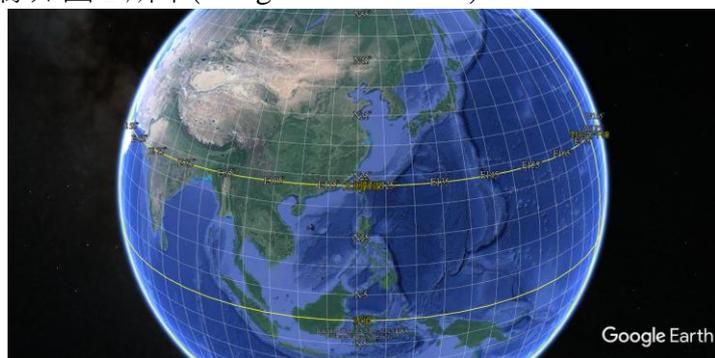


圖 2 Google Earth 影像示意圖 (Google Earth, 2022)

## 三、研究方法

### (一)實驗區域選定

本實驗所選擇研究區域位於大溪區(劉屬予等, 2004)，為大漢溪所流經沖刷之河階地形，選定武嶺橋與大溪人行陸橋所夾之兩岸周遭及河道做為實驗區域(如圖 3)，此一區域內為大漢溪轉彎處，可看出在極端天氣如：颱風的情況下，強降雨影響逕流量增大，地形河流側向沖刷影響變化較大之區域，兩側為人行步道及橋樑，此區域周長約為 1.3 公里，面積約為 9.7 公頃。使用 3D 地面光達對此區域自 110 年 8 月起進行約一年之時序性掃描，並將其成果與 Google Earth 歷年影像作為參照比較。

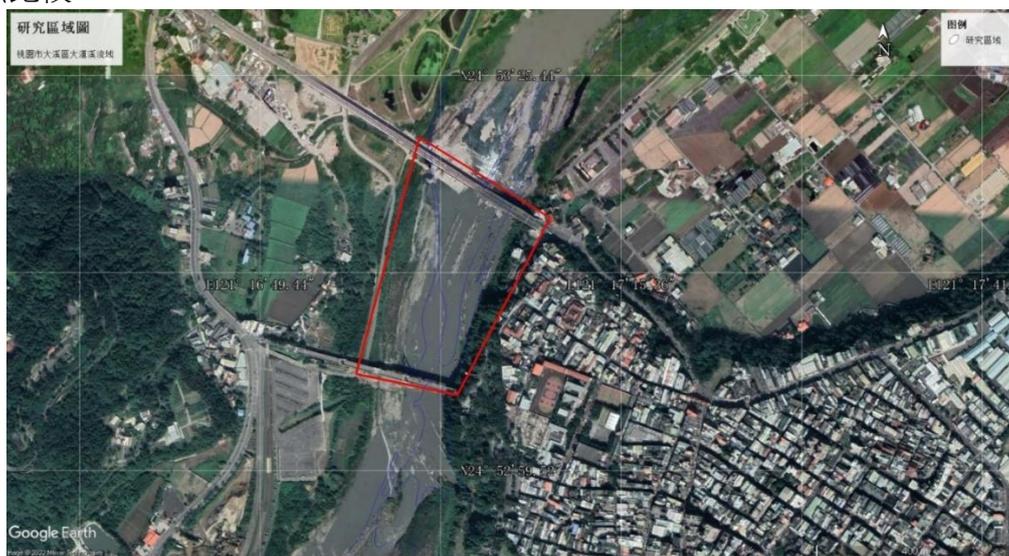


圖 3 大溪研究區空照圖

本文所進行之多元量測技術應用於大溪河谷地形監測之研究，預計實驗結果能提出對於大溪河谷受雨量與逕流量冲刷影響之變動量，以提供相關單位或後來者能進行大漢溪河谷之長期監測或邊坡地形破壞之模擬。

本研究配合國土測繪中心所建構之高精度e-GNSS(電子化全球衛星即時動態定位系統)使用Trimble R8s儀器，於控制點檢核時試驗坐標精度。

3D LiDAR部分則藉由固有之作業方式完成定期掃描，結合降雨、水文等資料，分析地形受逕流冲刷侵蝕後之變遷分析，並與Google Earth之長期影像作為變遷差異比較。

## (二)控制點位檢核

針對長形場景或測區，如橋樑或隧道而言，為避免點雲套疊時誤差累積傳播的現象，可利用於場景的頭尾兩端布設控制點，加強點雲資料與地面民國標間轉換的穩固(湯凱佩等，2004)。

本次研究區域主要為武嶺橋及大溪橋所夾之大漢溪河谷，實驗已完成四次實地掃描，結合106年掃描研究發表之數據(黃立信等，2018)，共五次地面光達掃描，實驗區當中所布設之地面控制點位，使用Trimble R8S衛星接收儀所獲得點位資料。

### 1.布設控制點位：

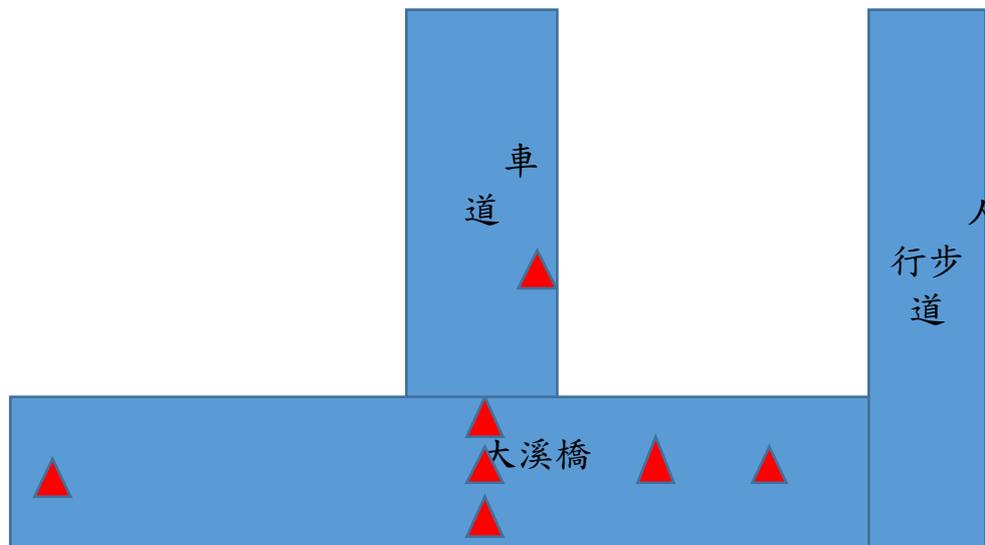


圖 4 實驗區內 7 個共同控制點位置示意圖

本研究使用內政部公告之加密控制點GJ130及圖根點BI224，參考前人之點位，於地面光達測站周圍選取並布設控制點位共計20點，以作為後續點雲坐標轉換之用，由於布設後多次受人為破壞或遺失且有調整地面光達架站位置故在點雲處理時無法獲取控制點坐標，故取四次實驗中皆有使用且保存最完整的控制點之最小公倍數共7點，並於後續計算時使用全部23個點坐標，圖4為實驗區內7個共同控制點位置，圖5為實驗區內四次實驗23個控制點。

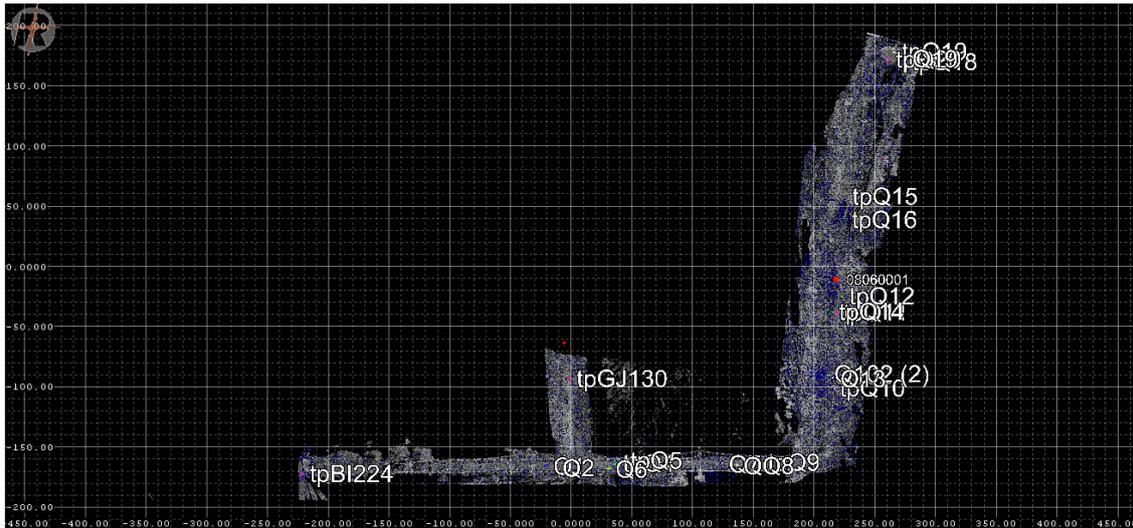


圖 5 實驗區內 23 個控制點位置圖

### 2.e-GNSS[TTG97]

本實驗e-GNSS坐標轉換至TWD97平面坐標系統及TWVD2001高程系統。其中高程部分由於未使用經緯儀量測，故使用公告值進行改正，公告控制點資料如表2所示。

表 2 GJ130 加密控制點及 BI224 圖根點觀測值及偏移量

點號 (單位： 公尺)	公告坐標			e-GNSS(TTG97)			差異量		
	N	E	H	N	E	H	$\Delta E$	$\Delta N$	$\Delta H$
GJ130	2753151.530	278556.820	103.015	2753151.546	278556.815	102.3	-0.005	0.016	-0.715
BI224	2753129.138	278322.594	未測	2753128.964	278323.072	110.648	0.478	-0.174	x

### 3.點雲上控制點之坐標轉換

本研究以改正後之控制點坐標值為坐標轉換之參考，使用Riscan Pro將點雲之專案坐標系統轉換至大地坐標系統，並選取點雲上之控制點坐標，與其坐標值與e-GNSS量測值進行比對，點雲上控制點轉換至大地坐標系統之標準差為0.033公尺，如圖6所示。

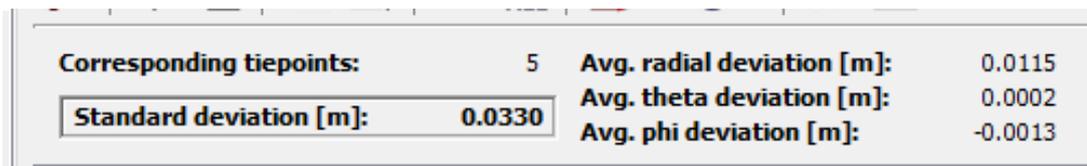


圖 6 控制點坐標轉換標準差示意圖

扣除 8 個差異量較大之點位後，其餘 15 個控制點之地面光達點雲坐標與 e-GNSS[TWD97]比較，E 值差異量在-0.001-0.039 公尺，N 值差異量在-0.004 到-0.045 公尺之間，平面位置差異量為 0.05-0.013 公尺，成果顯示除人為擷取點位造成 Q10

之較大誤差外，成果精度尚在合理範圍內，如表 3 所示。

表 3 15 個控制點地面光達點雲與 e-GNSS[TWD97]比較表

單位:公尺	$\Delta E$	$\Delta N$	平面位置差異量
最大值	0.039	-0.045	0.05
最小值	-0.001	-0.004	0.013
平均值	0.002	-0.012	0.032
標準差	0.022	0.002	0.013

表 4 7 個控制點地面光達點雲與 e-GNSS[TWD97]比較表

單位:公尺	$\Delta E$	$\Delta N$	平面位置差異量
最大值	-0.528	0.158	0.551
最小值	-0.012	-0.004	0.012
平均值	-0.02	0.011	0.166
標準差	0.229	0.08	0.183

若僅以點雲上 7 個（2 個公告點位，5 個共同點位）共同控制點坐標做檢測，坐標誤差最大的點位為 BI224，N 誤差值為 0.158 公尺，E 誤差值為-0.528 公尺，平面位置較差為 0.551 公尺，7 個點位坐標 E 值差異量在-0.012 到-0.528 公尺之間，N 值差異量在-0.004-0.158 公尺之間，平面位置差異量在 0.012-0.551 公尺之間，如上表 4 所示。

### (三)光達掃描作業

本次研究區域主要為武嶺橋及大溪橋所夾之大漢溪河谷，實驗係利用 RIEGL VZ-1000 完成四次實地掃描，並結合黃立信等(2018)之研究，共五次地面光達掃描，實驗當中所布設之地面控制點位，為使用 Trimble R8S 衛星接收儀配合 e-GNSS 觀測系統所獲得點位資料，視每次掃描後點雲拼接成果調整站數與並參考六個控制點位架設掃描站位置。

表 5 外業實驗成果比較表

	2017 之掃描	第一次 掃描	第二次 掃描	第三次 掃描	第四次 掃描
作業時間	2017/03/ 24	2021/08/ 06	2022/01/ 27	2022/02/ 17	2022/04/ 21
地面光達站 數	14 站	8 站	10 站	11 站	12 站
與前次實驗 重疊站數	×	× (2 個公告 值)	5 站 (2 個公告 值)	8 站 (2 個公告 值)	7 站 (2 個公告 值)
外業用時	約兩天	8 小時	6 小時	6 小時	6 小時
內業用時	2 小時	8 小時	2 小時	2 小時	2 小時
點雲數	176,266,067	108,990,295	140,339,317	146,866,502	151,292,500
點雲拼接精 度 (公尺)	0.0048	0.0070	0.0055	0.0030	0.0046

五次掃描成果如表 5 所示，就外業時間而言，2017 年之掃描約用時兩天，2021 年與 2022 年之掃描則約 6-8 小時，唯獨首次作業時因不熟悉軟體操作，故內業部分用時 8 小時，後續掃描之內業部分均在 2 小時左右即可完成作業。圖 7 則為點雲顯示之實驗項目位置示意圖。以結果而言，第三次掃描拼接精度最佳，為 0.003 公尺，但以目視檢測點雲成果而言，第四次掃描之點雲成果較為平均。

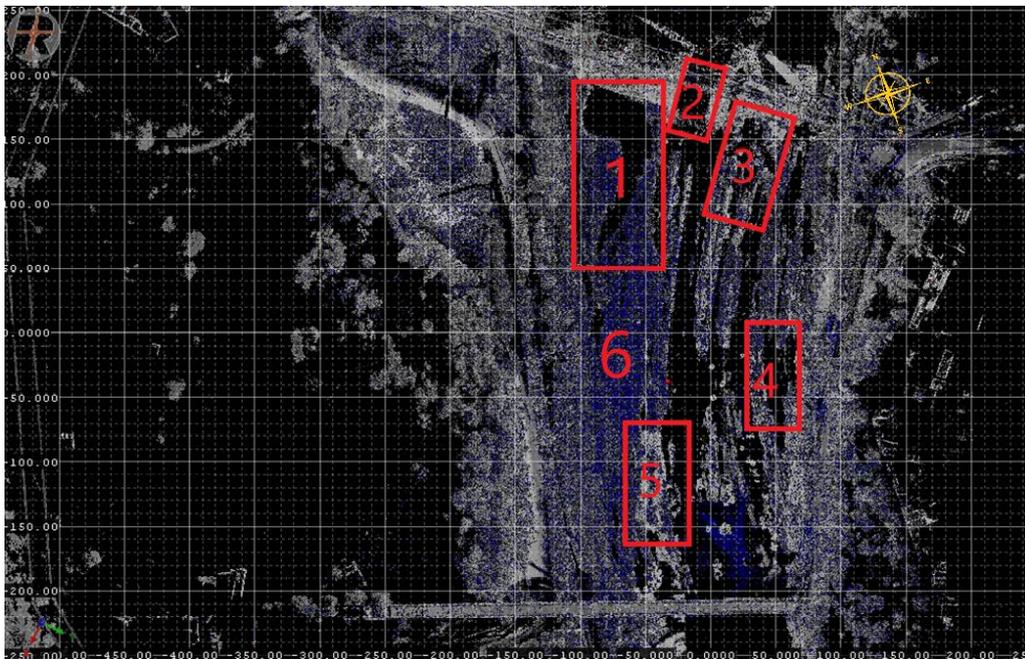


圖 7 點雲顯示之實驗項目位置示意圖

## 四、研究成果與分析

### (一)DTM資料製作

本實驗先前預定使用內政部地政司所公布之 20 公尺網格 DTM 資料(政府開放平台, 2022), 由於網格過大, 精度不足匹配本實驗之成果, 因此吾人自行使用地面光達之點雲資料製作精度較佳之 2 公分網格 DTM 資料, 以供後續比對作業使用。

本實驗比對作業之 2 公分網格 DTM 資料為實驗期間使用地面光達獲取之點雲資料, 透過 Riscan Pro 軟體製作而成, 經程式自動之趨勢演算法自動選取欲濾除之植被及雜訊後, 再行人工選取欲保留之區域與去除不合理之點雲; 經處理後之點雲再行建立 2 公分間距之三角網格, 再進行後續之研究與分析, DTM 製作之參數設定如圖 8 所示, 研究區域之 DTM 如圖 9 所示。

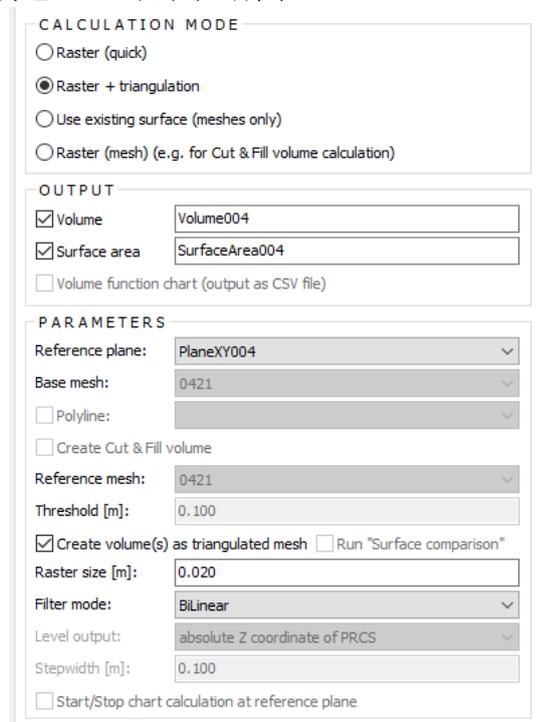


圖 8 DTM 之參數設定示意圖

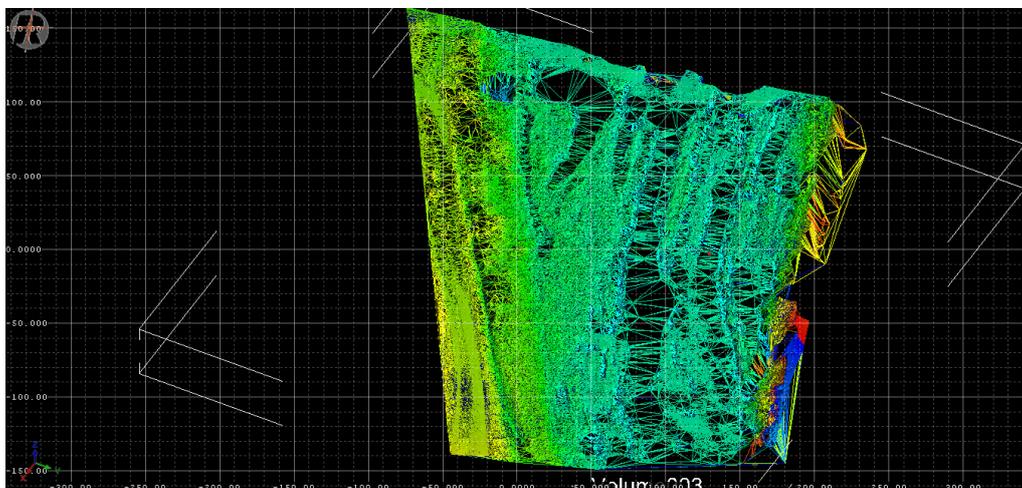


圖 9 研究區域 DTM 示意圖

本實驗以地面光達對大漢溪河道於 2021 年 8 月至 2022 年 4 月期間進行四次掃描，共取武嶺橋與大溪橋人行橋所夾區域中六處，與 2017 年所掃描之點雲與 Google Earth 影像加以比對，並加入大氣水文資料用以分析大漢溪河谷之變遷。

地面光達點雲資料囿於實驗無設置逕流量蒐集裝置，無法具體獲得水位資料，故無法取得具體堆積或侵蝕量。本實驗以 DTM 模式計算不同時期之西側河道面積，可見不同水位情況下（見表 6），各時期逕流量影響河床裸露面積，惟此處植被茂密，只能透過橋樑上與河東步道架站進行地面光達掃描。此區域北至武嶺橋墩，南至大溪橋墩，西至腳踏車道前河溝，東至溝渠前，以製作自然堤之 DTM 方式，比較各時期之表面積變化，民國 2022/02/17 由於有在大溪橋下兩側河灘架站故獲取植被資料反而增多，濾除也較為困難，此區域包含牛軛湖、雜林、河灘、溝渠等地形地景。

表 6 大溪橋橋墩點雲水位比較表

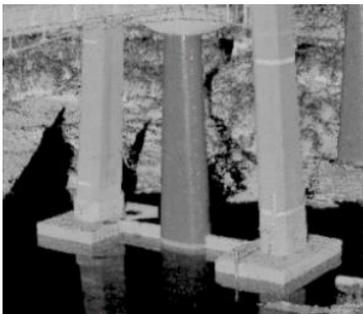
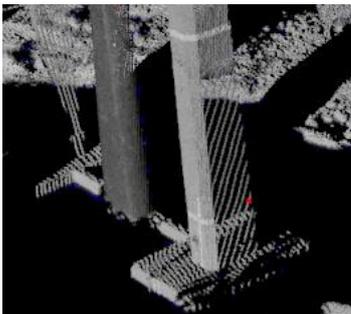
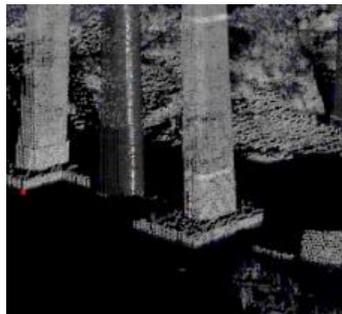
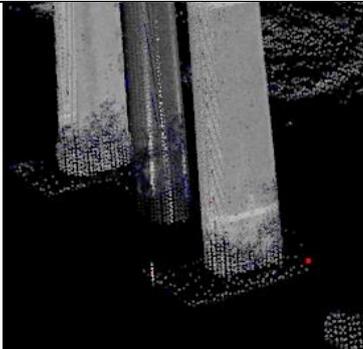
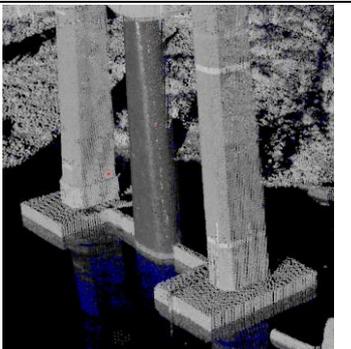
地面光達掃描系統			
	2017/03/24 水位	2021/08/06 水位	2022/01/27 水位
大溪橋橋墩			
	2022/02/17 水位	2022/04/21 水位	
			

表 7 各期自然堤點雲比較表

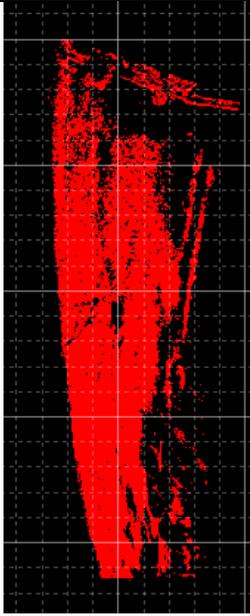
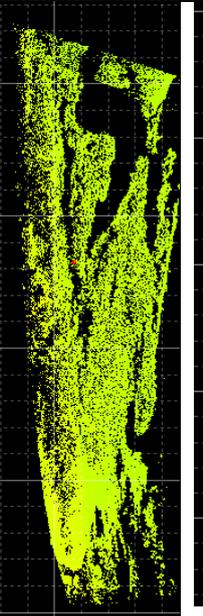
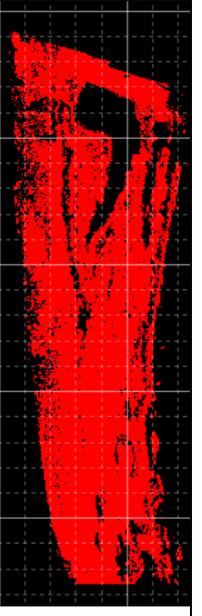
日期	2017/03/24	2021/08/06	2022/01/27	2022/02/17	2022/04/21
自然堤點雲					

表 8 自然堤 Google Earth 影像比較表

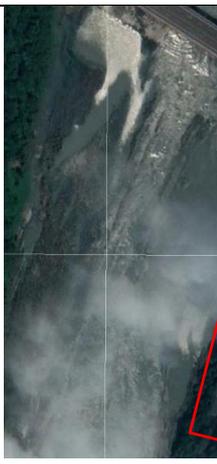
日期	2015/12/13	2017/04/30	2021/08/22	2021/09/26	2022/03/11
自然堤影像					

表 9 大漢溪河西自然堤表面積比較表

DTM			
日期	2017/03/24	2021/08/06	2021/01/27
表面積	51645.212506 (平方公尺)	44717.550861 (平方公尺)	49050.803489 (平方公尺)
日期	2022/02/17	2022/04/21	
表面積	47071.785140 (平方公尺)	50238.976340 (平方公尺)	

結合表 7 之各期自然堤點雲比較表與表 8 之自然堤 Google 影像可知，此區域有一定程度之變遷，因此，結合表石門水庫後池所公布之雨量水文資料與表 9 之大漢溪河西自然堤表面積比較表後可知，2017/03/24 至 2022/04/21 之各時期運轉水量分別約為：1,500、9,000、1,700、5,500、3,000（千噸），單日集水區降雨量接近為 0（毫米），因此當日之水庫運轉水量為影響自然堤表面積變動之主要因素；DTM 模式之自然堤表面積分別為：51645.212506、44717.550861、49050.803489、47071.785140、50238.976340（平方公尺）。

2022/04/21 之 DTM 表面積相較 2022/01/27 之 DTM，增加約 1,188 平方公尺，結合中央氣象局和水庫提供之水文資料來判斷，可能為颱風期間排砂排淤所帶來之堆積造成；2022/04/21 之 DTM 面積相較 2017/03/24 之 DTM 面積，減少約 1,406 平方公尺。實驗期間雨量差異不大下，故推算應是受逕流所影響，短期內來看為排砂造成堆積，但長時間而言應是受到侵蝕因素之影響，因此，大漢溪河谷存在地形變遷之事實。

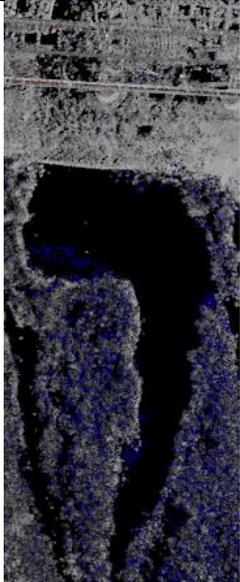
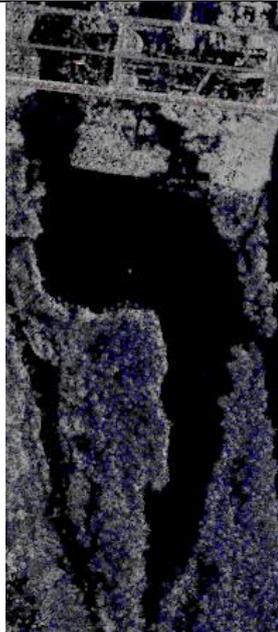
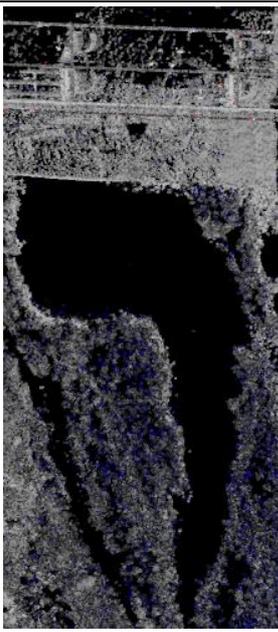
## (二)河谷地形變遷分析

本實驗之大漢溪河道，共取武嶺橋與大溪橋人行橋所夾區域中六處，以五時期掃描加以比對檢核，分析如下。

### 1.第一處變遷

第一處為武嶺橋下西岸處，從點雲圖上，可發現左側月牙處於逕流量較大時會一定程度淹沒與另一側形成流通，於 Google 影像中可看出，牛軛湖於 2015/01/13 時尚未形成，為河道之淤積河灘，見表 10。

表 10 大漢溪河道第一處變遷（光達點雲資料）比對表

地面光達掃描系統	2017/03/24	2021/08/06	2022/01/27
第一處			
	2022/02/17	2022/04/21	
			

於 2017/04/30 影像及 2017/03/24 掃描之點雲中可看出已經有部分侵蝕，並可看出牛軛湖雛形，於民國 110/08/06 點雲資料中可見右側之淤積已形成，且牛軛湖明顯可見；自 2021/08/06 之掃描及 2021/08/22 影像迄今之資料比對可知，此部分已基本成型且無太大變化，見表 11。

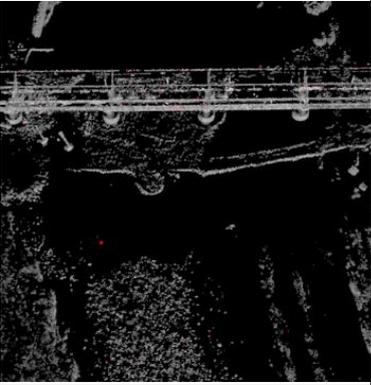
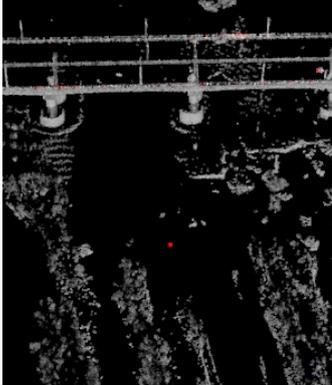
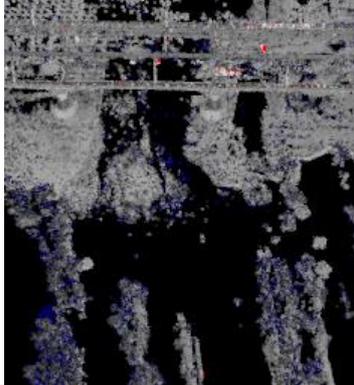
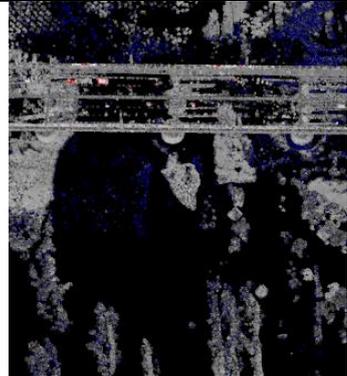
表 11 大漢溪河道第一處變遷 (Google Earth 影像) 比對表

Google Earth 影像	2015/01/13	2017/04/30
第一處		
	2021/08/22	2022/03/11
		

## 2.第二處變遷

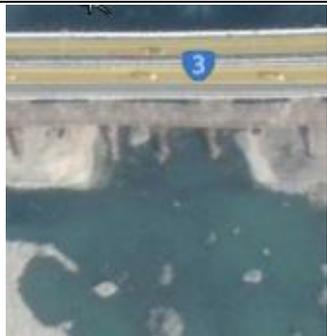
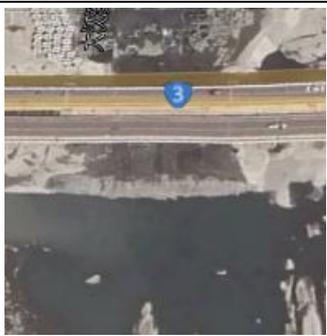
第二處為武嶺橋右側第三至第四橋墩處，於 2017/03/24 掃描點雲可看出有建置類似於攔砂或護墩等工法之設施，2017/03/24 掃描之點雲可見清楚之長形物體，此一處也導致左側堆積，形成第一處之牛軛湖，由點雲及影像對比可知此一處可能已經拆除或沖刷毀壞、淹沒等，如表 12 所示；以點雲資料可知第三至第四橋墩處受沖刷與堆積影響較大，由於未取得流速及流量等資料，故無法確切得知各時期之搬運力(competence)及侵蝕流速(erosion velocity)之侵蝕情形。

表 12 大漢溪河道第二處變遷（光達點雲資料）比對表

地面光達掃描系統			
日期	2017/03/24	2021/08/06	2022/01/27
第二處			
日期	2022/02/17	2022/04/21	
第二處			

由於2021年8月之影像較難以辨識，故改採2021/09/26之影像作為比對參考，於2015/12/13之Google影像可見堆積或工程尚未完成，於2016-2017年逐漸形成，如表13所示。

表 13 大漢溪河道第二處變遷（Google Earth 影像）比對表

Google Earth 影像			
日期	2015/12/13	2016/07/27	2017/01/22
第二處			
日期	2017/04/30	2021/09/26	2022/03/11



3.第三處變遷

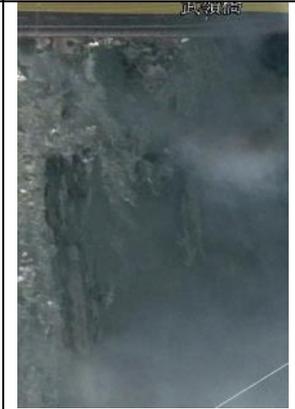
表 14 大漢溪河道第三處變遷（光達點雲資料）比對表

地面光達掃描系統			
日期	2017/03/24	2021/08/06	2022/01/27
第三處			
日期	2022/02/17	2022/04/21	
第三處			

第三處為長期冲刷後所留河床岩層處之溝渠(Gulljes)，由於大漢溪長期受下切作用侵蝕，所冲刷留下較硬之底岩河道(bedrock channel)，2021/08/22 之 Google 影像資料受雲層阻擋，故使用 2021/09/26 之影像做為比對參考，見表 15，第二道冲積

岩較為容易受逕流量影響浮覆淹沒，由於河床為底岩，此處受沖刷影響較不明顯，唯人形頂部處為武嶺橋橋墩所在之水泥構造物，受逕流沖刷而有一定之堆積與侵蝕而導致形變，此外，逕流量大時也會淹沒水泥構造物直接沖刷橋墩，由於橋樑管理機關已對橋墩處進行保護工程，因此於光達點雲中未出現明顯變形現象，如表 14 所示。

表 15 大漢溪河道第三處變遷 (Google Earth 影像) 比對表

Google Earth 影像			
日期	2017/04/30	2018/03/18	2021/08/22
第三處			
日期	2021/09/26	2022/03/11	
第三處			

#### 4.第四處變遷

第四處為大漢溪東岸河階護岸工程處，以光達掃描之點雲而言，短期內除受逕流量影響浮覆外變動不大，見表 16，就 Google Earth 之長時間拍攝影像作為參考則變化量較明顯，2010/05/03 之影像可見有疑似人造之設施，可能是為工程所建置之土坡或護岸工程，2017 年之影像及光達點雲中只剩消波塊部分，見表 17，考量此區域水流湍急，可能為沖刷所破壞或河道工程改工後拆除，溝渠部分則受沖刷逐漸細碎化。

表 16 大漢溪河道第四處變遷（光達點雲資料）比對表

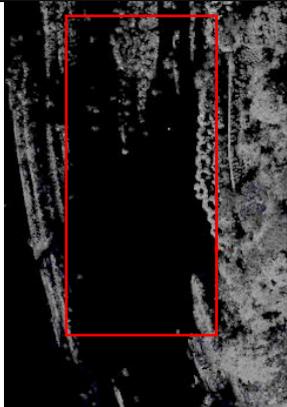
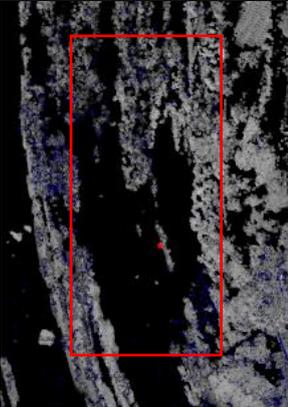
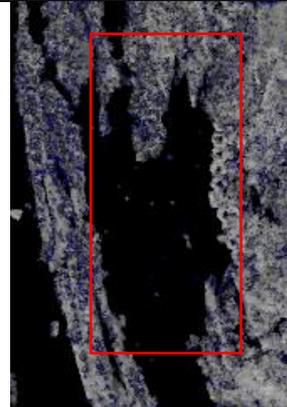
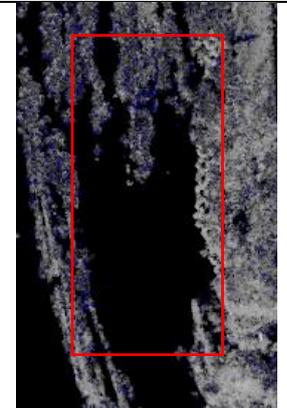
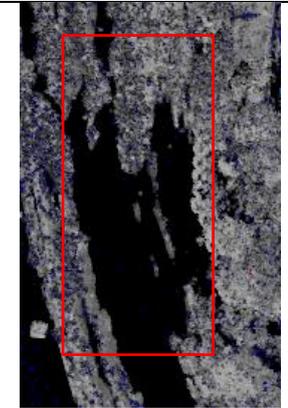
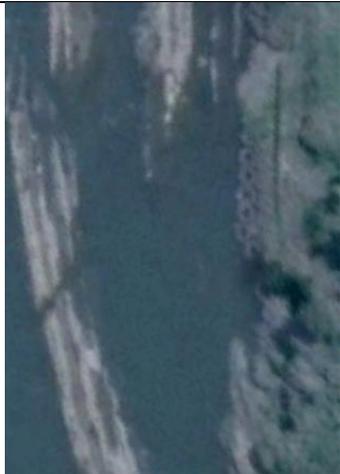
地面光達掃描系統			
日期	2017/03/24	2021/08/06	2022/01/27
第四處			
日期	2022/02/17	2022/04/21	
第四處			

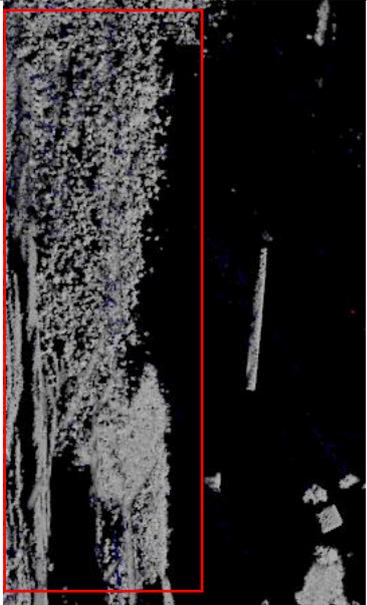
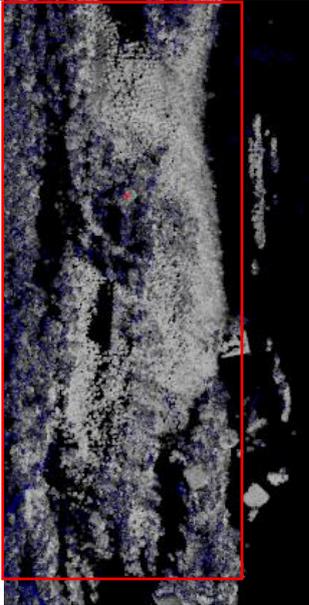
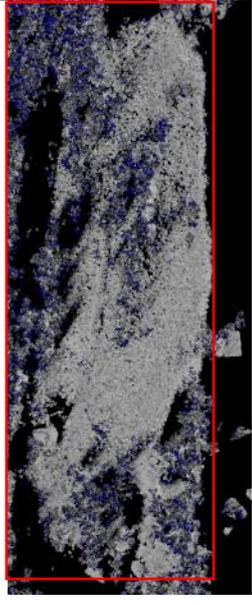
表 17 大漢溪河道第四處變遷（Google Earth 影像）比對表

Google Earth 影像		
日期	2010/05/03	2017/04/30
第四處		
日期	2021/09/26	2022/03/11



5.第五處變遷

表 18 大漢溪河道第五處變遷（光達點雲資料）比對表  
地面光達掃描系統

地面光達掃描系統			
日期	2017/03/24	2021/08/06	2022/01/27
第五處			
日期	2022/02/17	2022/04/21	

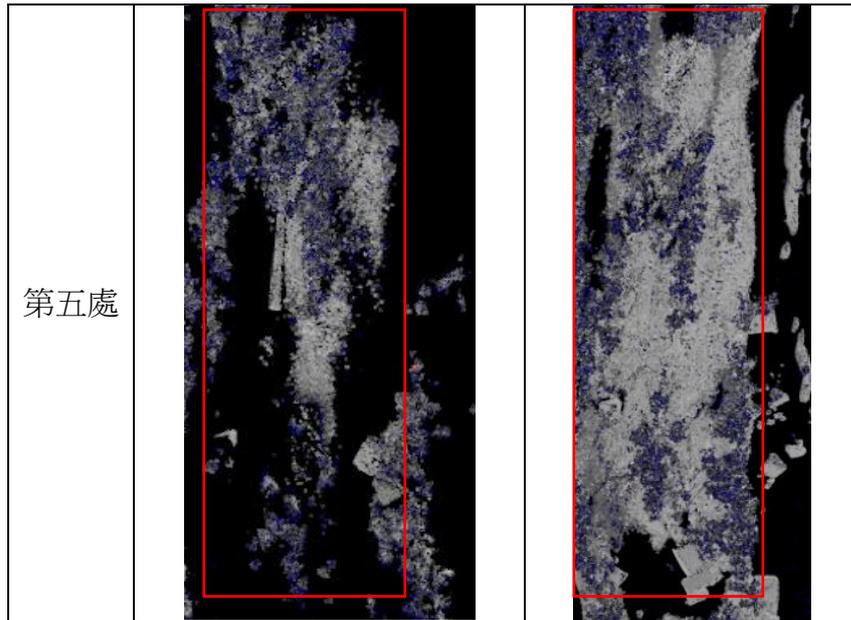


表 19 大漢溪河道第五處變遷 (Google Earth 影像) 比對表

Google Earth 影像			
日期	2015/12/13	2017/04/30	2017/07/28
第五處			
日期	2021/09/26	2022/03/11	



第五處為位於大溪人行陸橋西岸河道之河灘，此區域可參考大溪橋橋墩上之水位線標示以判斷大概水位，從點雲可看出有片狀之分流設施，周遭設有改變水流防止土壤侵蝕以保護橋墩之豆腐岩，見表 18，此區域受水流側向沖刷，2015-2017 年之 Google Earth 影像而言為受側向水流侵蝕，但 2017 年迄今之點雲及 Google Earth 影像皆顯示此區塊為堆積狀態，見表 19，研判水流於此處受人行陸橋影響減緩，故於此處產生堆積。

### (三)大漢溪河谷地形分區比對

本次實驗於大漢溪河谷中選取六處，以 2017 年與 2022 年之地面光達點雲資料與 Google Earth 影像進行變遷差異比對，實驗結果顯示第一處、第二處、第五處、第六處之比對結果一致，第三處、第四處之比對結果有差異，經判釋後係受大氣水文之影響，比對成果如表 20 所示。

表 20 河谷變遷地面光達點雲資料與 Google Earth 影像比對表

大漢溪河谷	VZ-1000 地面光達掃描系統	Google Earth 影像系統	比對結果
第一處	牛軛湖堆積成形	影像變化與地面光達相同	結果一致
第二處	橋墩處護墩受沖刷或工程破壞	影像變化與地面光達相同	結果一致
第三處	實驗期間較短點雲變化不明顯	溝渠受沖刷影響更為破碎	結果不一致
第四處	106-110 年變化較小	99-106 年變化較大	結果不一致
第五處	河灘堆積	點雲與影像變化情形相同	結果一致
第六處 (河西自然堤)	自然堤面積受大氣水文影響變化	點雲與影像變化情形相同	結果一致

本次實驗。其比對結果分析如下：

經比對作業後可知，第一處之牛軛湖原先為河灘，後經淤積形成，而形成之原因可能為第二處之橋墩保護工程之影響，第二處之保護工程之變動於參考文獻[5]中可知，此處可能受水流攻角影響形成淘空，因此管理單位於工程中將此處鼎塊移除而後回填，因此造成點雲與影像中顯示之變動，第一處、第二處之點雲資料與 Google Earth 影像比對結果基本一致。

第三處為沖刷後留下較硬之岩層，實驗期間由於石門水庫放流較少故沖刷不明顯與影像比對後可見影像之成果顯示裸露岩床較為細碎，結果不一致之原因，經分析可能為受大氣水文之影響導致；第四處於光達點雲資料中顯示變化量較小，於實驗期間之變動與 Google Earth 影像相同，惟 2010 年之影像顯示此處之護岸有大幅變化，推測可能為河道工程所影響，故比對後點雲與影像結果不一致。

第五處、第六處(河西自然堤部分)之點雲變化情形與 Google Earth 影像呈現之結果一致，主要為受大氣水文之外部營力而產生變化。

#### (四) 全區域比對之時序分析

將 2017 年與 2022 年之點雲分別製成 2 公分網格之 DTM 模型後，使用 Riscan Pro 軟體之 Surface Comparison 功能進行套合比對，套合後結果如下圖 10 所示。

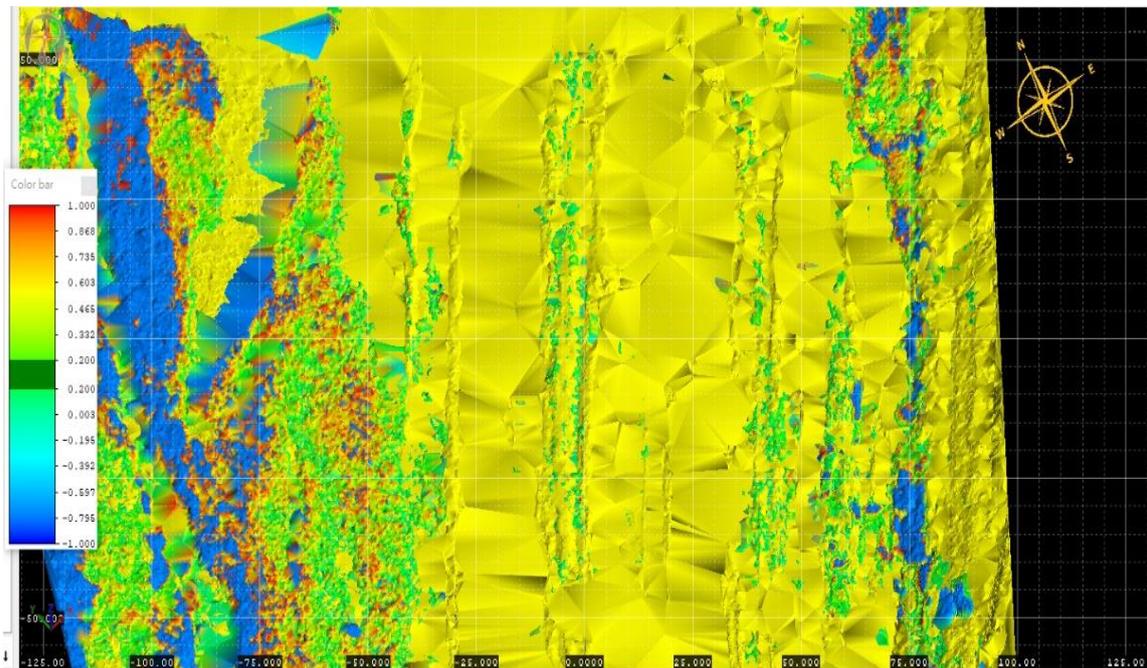


圖 10 2017 與 2022 年兩時期 2 公分 DTM 模型相較

在圖 10 中，2017 與 2022 年 DTM 模型相較，黃色區域大多為水域不予計算，左側紅色部分顯示有部分堆積堆積量約在 33 ~100 公分，兩岸之外側藍色區域都有約 100 公分之侵蝕產生，中間溝渠綠色部分也有 20 公分之侵蝕。

從兩時期觀測資料相較，無論是點雲資料比對或是 DTM 模型相較，皆可得出河床逐漸左偏的證明，故可推論整體河道應為向下且向兩側之侵蝕，且整體河道

可能受後續石門水庫之防淤隧道啟用而持續變化，實驗成果顯示大漢溪河谷確實呈現地形變遷之事實存在。由本研究結果顯示利用多元化量測技術對大漢溪河谷長期監測，也提供另類監測模式的可行性。

## 五、結論與建議

### (一) 結論

1. 本次實驗分為六處區域，以2017年與2022年之點雲資料與Google Earth影像，進行地形變遷之比對，實驗結果顯示第一處、第二處、第五處、第六處之比對結果一致，第三處、第四處之比對結果有差異，經判釋後係受大氣水文之影響，造成比對結果不一。
2. 106年時武嶺橋西側之牛軛湖已有雛形，於2021-2022年點雲則顯示已成形，但結合更早之影像則顯示為河灘，且與東側之地形類似，有溝渠存在，至2021年溝渠則幾乎不可見，東側之溝渠顯示受水流影響更為破碎。
3. Google Earth影像部分由於擁有較長時序之歷史影像資料，相較本實驗地面光達所掃描之點雲而言，可獲取更多變化量，結合大氣水文資料可以較清楚分析變遷方向及成因。
4. 就本研究中六個區域而言，並非一貫呈現侵蝕或堆積，其中點雲結果與Google Earth影像比對成果部分不一致，是由於地面光達掃描期間無較明顯之洪汛故監測部位呈現均夷狀態，因此整體需加入Google Earth影像才有較明顯之變化。
5. 第三處地面光達監測時間較短故變化不明顯，以長期影像方式比對則可以發現溝渠變得更為破碎。第四處單以2021-2022年之點雲而言變化不大，加入2017年以前之資料後發現點雲及影像可明顯判釋出變化。
6. 全區域比對部分，就2017與2022年DTM模型相較，黃色區域大多為水域不予計算，左側紅色部分顯示有部分堆積堆積量約在33~100公分，兩岸之外側藍色區域都有約100公分之侵蝕產生，中間溝渠綠色部分也有20公分之侵蝕。從兩時期觀測資料相較，無論是點雲資料比對或是DTM模型相較，皆可得出河床逐漸左偏的證明，實驗成果顯示大漢溪河谷確實呈現地形變遷之事實存在。

### (二) 建議

空間科學技術多元化的發展是時代趨勢，本文已驗證整合多元化的觀測資料，長期監測大漢溪河谷地形變遷之應用，也提供另類監測模式的可行性。建議未來在成本考量的情況下，相關部門在監控類似河川環境變遷的作法上，可採用與學術單位合作研究的模式，一則可省儀器設備的投資，二來少去人員技術的栽培，即可平衡各項多元化量測的成果，達到監測最佳化的目的。畢竟越多元化的觀測資料，對防災救災的工程提出的貢獻，越具加分效果和參考價值。

## 參考文獻

經濟部水利署第十河川局，2019，“大漢溪崁津橋至武嶺橋下游中庄攔河堰河段監測調查及河道穩定評估”，國立交通大學，新竹，NO.1，結-2 頁。

Exploring Timelapse in Google Earth，

[https://www.youtube.com/watch?v=5W-zPqrGQWA\(2021/04/16\)](https://www.youtube.com/watch?v=5W-zPqrGQWA(2021/04/16))

Trimble 入口網站，Trimble R8, R6 and R4 User Guide Version 4.80RevisionA,

[http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-666216/R8-R6-R4\\_v480A\\_UserGuide.pdf\(2019.11.02\)](http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-666216/R8-R6-R4_v480A_UserGuide.pdf(2019.11.02))。

內政部國土測繪中心，e-GNSS 即時動態定位入口網站，

[http://www.egnss.nlsc.gov.tw/\(2022/05/05\)](http://www.egnss.nlsc.gov.tw/(2022/05/05))。

迅聯光電有限公司，[http://www.linkfast.com.tw/\(2020.12.20\)](http://www.linkfast.com.tw/(2020.12.20))

Google Earth，三維地球模型，

[https://support.google.com/Earth#topic=7364880\(2022/05/28\)](https://support.google.com/Earth#topic=7364880(2022/05/28))

劉聰桂，2018，普通地質學（下），國立臺灣大學出版中心，臺北市，第 372-391 頁。

潘國樑，2019，工程地質通論，五南出版社，臺北市，第 282-287 頁。

宋裕棋、張國鎮、陳俊仲、李政寬、洪曉慧、蘇進國，2018，“橋梁監測與結構健康診斷”，土木水利，第 45 卷，第五期，第 22-29 頁。

黃立信、王建文、邱建華、崔國強，2019，“比對地面光達技術與影像掃描系統進行隧道變形測量之研究”，測量工程學會，臺灣，第 1-6 頁。

中央氣象局劇烈天氣監測系統，

[https://qpeplus.cwb.gov.tw/pub/?tab=monitor\(2022/05/05\)](https://qpeplus.cwb.gov.tw/pub/?tab=monitor(2022/05/05))。

中國文化大學大氣科學系大氣水文研究資料庫，

[https://dbar.pccu.edu.tw/\(2022/05/05\)](https://dbar.pccu.edu.tw/(2022/05/05))。

經濟部水利署水文資訊網整合服務系統，

[https://gweb.wra.gov.tw/Hydroinfo/\(2022/05/05\)](https://gweb.wra.gov.tw/Hydroinfo/(2022/05/05))。

石門水庫主題網，

[https://shihmen.wranb.gov.tw/\(2022/05/05\)](https://shihmen.wranb.gov.tw/(2022/05/05))。

政府資料開放平臺，

[https://data.gov.tw/dataset/35430\(2022/05/15\)](https://data.gov.tw/dataset/35430(2022/05/15))。

鄧屬予、劉聰桂、陳于高、劉平妹，2004，“大漢溪襲奪對台北盆地的影響”，國立臺灣師範大學，臺北，NO.41，第 61-78 頁。

湯凱佩、劉燈烈、曾義星，2004，“以獨立模型法進行多測站地面光達資料的平差結合”，第二十三屆測量學術及應用研討會，第 151-158 頁。

黃立信、陳其沅、張嘉倫、邱建華，2018，利用 3D 雷射掃描技術應用於結構物監測及地形數化之研究，測量工程(Journal of Society Engineering)，第 57 卷，第 23-38 頁。

附錄A 2017-2022年中央氣象局發佈侵台警報的颱風列表(中央氣象局，2022)								
颱風名稱	侵臺路徑	警報期間	近臺				發佈警報次數	
			強度	最低氣壓	最大風速	暴風半徑		暴風半徑
<a href="#">彩雲</a>	--	2021年6月3日-6月4日	輕度				--	
<a href="#">閃電</a>	5	2020年11月5日-11月7日	輕度	982	28	120	--	19
<a href="#">巴威</a>	--	2020年8月22日-8月22日	輕度	950	43	220	80	--
<a href="#">米克拉</a>	--	2020年8月10日-8月11日	輕度	992	26	120	--	--
<a href="#">哈格比</a>	--	2020年8月2日-8月3日	中度	975	36	100	30	--
<a href="#">黃蜂</a>	--	2020年5月16日-5月17日	輕度	960	43	120	50	--
<a href="#">米塔</a>	6	2019年9月29日-10月1日	中度	965	38	180	60	18
<a href="#">白鹿</a>	4	2019年8月23日-8月25日	輕度	985	26	150	--	19
<a href="#">利奇馬</a>	--	2019年8月7日-8月10日	強烈	925	77	280	100	22
<a href="#">丹娜絲</a>	--	2019年7月14日-7月21日	輕度	985	13	180	--	18
<a href="#">山竹</a>	--	2018年9月14日-9月15日	強烈	895	60	320	120	12
<a href="#">瑪莉亞</a>	--	2018年7月9日-7月11日	強烈	915	55	280	100	17
<a href="#">泰利</a>	--	2017年9月12日-9月14日	中度	935	48	250	80	19
<a href="#">谷超</a>	--	2017年9月6日-9月7日	輕度	998	18	80	--	7
<a href="#">天鴿</a>	--	2017年8月20日-8月22日	中度	965	33	180	50	15
<a href="#">海棠</a>	7	2017年7月29日-7月31日	輕度	990	20	100	--	14
<a href="#">尼莎</a>	2	2017年7月28日-7月30日	中度	955	40	180	60	19



## 地面三維雷射掃描儀校正系統建立及營運實務探討

陳聖彥<sup>1\*</sup> 鄒慶敏<sup>2</sup> 楊枝安<sup>3</sup> 陳鶴欽<sup>4</sup>

論文收件日期：112.04.21

論文修改日期：112.05.24

論文接受日期：112.05.26

### 摘要

隨著地面三維雷射掃描儀(簡稱掃描儀)廣泛應用於各項測繪作業上，其掃描快速與量測高穩定性及應用於相關領域之適用性已逐漸受各界重視。另依據「國土測繪法」及「應用測量實施規則」測量成果品保相關規定，辦理應用測量之儀器裝備，應依測量計畫目的及作業精度等需求辦理校正，因此建立掃描儀校正週期，已成為掃描品質良莠之重要基本依據。

地面三維雷射掃描儀校正系統(以下稱本校正系統)於建立之初，除在適用性方面，考量國內常見掃描儀校正可行性外，亦以通過「財團法人全國認證基金會」(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)認證，所出具校正報告具全球公信力為目標進行建置。另為期通過認證後，能快速上線提供服務，亦辦理校正服務試營運，針對試營運期間廠商送校成果，持續修正相關作業，以提升整體服務品質及效能。

依據試營運經驗得知，本校正系統可以順利完成掃描儀校正作業，並成功出具2份校正報告，除了顯示本校正系統對於掃描儀校正作業具可行性外，藉由校正成果亦可證明本校正系統具備提供掃描儀校正服務的能力。

**關鍵詞：**地面三維雷射掃描儀、測量儀器校正實驗室、點雲

---

<sup>1</sup> 技士，基本測量及企劃科，內政部國土測繪中心。

<sup>2</sup> 技正，應用圖資測製科，內政部國土測繪中心。

<sup>3</sup> 技正，基本測量及企劃科，內政部國土測繪中心。

<sup>4</sup> 科長，基本測量及企劃科，內政部國土測繪中心。

\* 通訊作者，TEL:(04)22522966 轉 273，E-mail:23102@mail.nlsc.gov.tw。

# **A discussion on built program and practical running experience of Terrestrial Laser Scanner calibration system**

Sheng-Yan Chen<sup>1\*</sup>, Ching-Min Chou<sup>2</sup>, Chih-Ann Yang<sup>3</sup>,  
He-Chin Chen<sup>4</sup>

## **Abstract**

Due to its outstanding 3D modeling capabilities, Terrestrial Laser Scanner (TLS) has been widely used in engineering surveying fields in recent years. Pursuant to the provisions, the instruments used for measurement shall be calibrated according to the purpose and accuracy requirements.

For needs in aforementioned, the Survey Instrument Calibration Laboratory (SICL) of National Land Surveying and Mapping Center (NLSC) built TLS calibration system, and also was granted accreditation by Taiwan Accreditation Foundation (TAF) in 2022.

In accordance with experience for running of SICL, the TLS calibration system works well, and successfully issued 2 calibration reports. The result proves that the SILC has the capability to offer the calibration service.

**Keywords:** Point Clouds, Survey Instrument Calibration Laboratory, Terrestrial Laser Scanner

---

<sup>1</sup> Executive Officer, Department of Basic Survey and Planning Section, National Land Surveying and Mapping Center.

<sup>2</sup> Specialist, Applied Map Mapping Section, National Land Surveying and Mapping Center.

<sup>3</sup> Specialist, Department of Basic Survey and Planning Section, National Land Surveying and Mapping Center.

<sup>4</sup> Section Chief, Department of Basic Survey and Planning Section, National Land Surveying and Mapping Center.

\* Corresponding Author, TEL: +886-4-22522966#273, E-mail : 23102@mail.nlsc.gov.tw

## 一、前言

隨著儀器精度與量測技術需求不斷提升，各項測量輔助設備也在測繪各界的投入研發中快速成長，其中地面三維雷射掃描儀(以下稱掃描儀)快速獲取大量高精度三維相對坐標點雲及實景之特性，已逐漸成為國內古蹟維護保存、隧道工程建設、森林調查、穩定監測等不可或缺之測量工具，其量測品質相對於其他監測方法快速且全面性之特性已漸為各界所重視。

次按「國土測繪法」及「應用測量實施規則」測量成果品質相關規定，辦理上述應用測量領域所使用之儀器裝備，應依測量計畫目的及作業精度等需求辦理校正，建議應用於上述領域之掃描儀，應訂定校正週期，並納入測量計畫辦理，以維持儀器之觀測成果品質，確保測繪成果之可靠度。爰為提升國內應用掃描儀之測量成果品質，建立掃描儀校正設備並定期辦理校正，已逐漸成為測繪界共識！

## 二、常見掃描儀系統介紹

掃描儀系統屬於長距離量測系統，掃描距離一般約大於30 m，因其具有快速且精準獲取物件表面高密度三維坐標(點雲)能力，近年來廣泛地應用於工程測量及古蹟保存等領域。

依各廠牌掃描儀規格設計上之差異，不同型號有各自掃描距離、範圍、速度及精度，且根據不同參數設定，可能瞬間產生大量點雲資料，其數量可達每秒上萬點甚至數百萬點以上，因此需要以大量或大空間儲存裝置存取掃描資料，並透過資料處理軟體進行瀏覽、分析與處理，以達到使用者需求。

掃描儀依據固定式掃描器及動態式掃描儀器分為固定式雷射掃描儀，一般稱為地面雷射掃描儀(TLS)及車載移動式掃描儀(Mobile Mapper)。固定式雷射掃描儀依掃描有效距離有不同應用領域，依掃描儀測距範圍大致可分為短、中、長距離等三種類型，各廠牌功能規格可參考各儀器廠商網站，依據內政部國土測繪中心2019年委託研究案資料蒐集彙整分類如下。

短距離掃描(量測範圍 $< 150$  m)其有效距離約為60至130 m，水平與垂直各有 $360^\circ$ 與 $300^\circ$ 至 $317^\circ$ 的最大轉角。掃描速度可達到360 ~ 2,000 kHz，距離精度與測角精度可分別達1~4 mm 與  $0.00046^\circ \sim 0.00053^\circ$ (如表1)。

中距離掃描(量測範圍介於150 m ~2,000 m)其有效距離約為800 m，水平與垂直各有 $360^\circ$ 與 $320^\circ$ 的最大轉角。掃描速度可達到266 ~ 1,000 kHz，距離精度與測角精度可分別達1~20 mm 與  $0.0022^\circ \sim 0.1^\circ$ (如表2及3)。

長距離掃描(量測範圍 $> 2,000$  m)其有效距離為2,000至6,000m，水平與垂直各有 $360^\circ$ 與 $60^\circ$ 至 $120^\circ$ 的最大轉角。掃描速度可達到222 ~ 500 kHz，距離精度與測角精度可分別達5~15 mm 與  $0.0046^\circ$ (如表4)。

表1 短距離掃描儀規格

廠 牌	FARO	FARO	Trimble	Trimble	Leica	Leica
型 號	FOCUS S70	FOCUS M70	TX6	TX8	BLK360	RTC360
平均掃描速度 (meas./sec)	976,000	488,000	500,000	1,000,000	360,000	2,000,000
有效距離(m)	70		80	120	60	130
角度精密度規格(°)	垂直 0.0053 水平 0.0053	N/A	垂直 0.0046 水平 0.0046	垂直 0.0046 水平 0.0046	N/A	垂直 0.005 水平 0.005
水平視角範圍(°)	360					
垂直視角範圍(°)	300		317		300	
測距精密度規格*	1mm@10m	3mm@10m	2mm@100m		4mm@10m	1mm+10ppm

\*A mm@B m 表示於 B m 處其精度約為 A mm

表2 中距離掃描儀規格(1/2)

廠 牌	Z+F	RIEGL	RIEGL	Teledyne Optech	Trimble
型 號	IMAGER® 5016	VZ-400	VZ-400i	CMS V500	SX10
平均掃描速度 (meas./sec)	1,000,000	122,000	500,000	N/A	266,000
有效距離(m)	365 m	600 m	800 m	500 m	600 m
角度精密度規格(°)	垂直 0.004 水平 0.004	N/A		垂直 0.1 水平 0.1	垂直 0.0014 水平 0.0014
水平視角範圍(°)	360				
垂直視角範圍(°)	320	100		320	300
測距精密度規格*	1mm+10ppm	5mm@100m		20mm	2.5mm@100m

\*A mm@B m 表示於 B m 處其精度約為 A mm

表3 中距離掃描儀規格(2/2)

廠牌	Leica	Leica	FARO	FARO	FARO
型號	ScanStation P30/P40	ScanStation P50	FOCUS S150	FOCUS S350	FOCUS X 330
平均掃描速度 (meas./sec)	1,000,000		976,000		
有效距離 (m)	270m	>1000m	150m	350m	330m
角度精密度規格(°)	垂直 0.0022 水平 0.0022		垂直 0.0053 水平 0.0053		N/A
水平視角範圍(°)	360				
垂直視角範圍(°)	290		300(+150/-150)		
測距精密度規格*	1.2mm+10ppm	1.2mm+10ppm(120m / 270m mode)3mm+10ppm(570m / >1km mode)	1mm@10m		2mm@25m

\*A mm@B m 表示於 B m 處其精度約為 A mm

表4 長距離掃描儀規格

廠牌	RIEGL	RIEGL	RIEGL	Teledyne Optech
型號	VZ-2000i	VZ-4000	VZ-6000	Polaris
平均掃描速度 (meas./sec)	500,000	222,000		500,000
有效距離(m)	2500m	4000m	6000m	2000m
角度精密度規格(°)	N/A			垂直 0.0046 水平 0.0046
水平視角範圍(°)	360			
垂直視角範圍(°)	100(+60/-40)	60(+30/-30)		120(+70/-50)
測距精密度規格*	5mm@100m	15mm@150m		5mm@100m

\*A mm@B m 表示於 B m 處其精度約為 A mm

內政部國土測繪中心地面三維雷射掃描儀校正系統(以下稱本校正系統)於2019年評估階段，已將前述各種距離的掃描儀納入待校需求，以期盼所發展的校正系統

可適用於不同測距形式(脈衝式或相位式)、不同的掃描儀掃描方式(縱掃式或橫掃式)及上述概略區分之短、中、長距離掃描儀。另外本校正系統建立後，以國內測繪廠商所配置或購買的掃描儀進行測試評估，並由廠商指派熟悉掃描儀操作之人員攜帶掃描儀，於校正場進行掃描並提供量測結果，最後考量各款掃描儀適用本校正系統的可行性。

### 三、建立掃描儀校正系統委託研究

為將掃描儀定期辦理校正之共識逐步落實，並有效推廣校正，內政部國土測繪中心分別於2019及2020年委託工業技術研究院(量測技術發展中心)及國立成功大學(測量及空間資訊學系)聯合團隊針對校正方法、距離校正評估、坐標校正評估、軟體開發辦理相關研究作業，並就校正實例分析後，得出結論如下：

#### (一)建立地面三維雷射掃描儀校正系統委託研究(內政部國土測繪中心，2019)

- 1.校正方法探討：採近似美國機械工程師學會ASME(2006)雷射追蹤儀法校正方式，兼具長距離與角度(或坐標)的查核，並與標準件進行比對式校正。為分析掃描儀系統性誤差來源，援用Chow et al.(2010)的演算法平差數據，並求定掃描儀系統性誤差參數，求定出的誤差參數，可進一步提供掃描儀誤差補償的效益。
- 2.室外距離校正場評估：距離校正以內政部國土測繪中心現有電子測距儀校正場進行評估，藉以完成可校正距離的掃描儀距離校正。經實作評估後，內政部國土測繪中心現有電子測距儀校正場適用掃描儀之距離校正。
- 3.室內坐標校正場評估：於內政部國土測繪中心黎明辦公區莊敬樓建置室內幾何校正場，校正場內設置有4支固定式基樁及20個校正桿，每桿配置4個校正標，可提供全測站經緯儀及掃描儀架設進行觀測。為達到前述目標，設計完成掃描儀專用校正標，並裝置於室內幾何校正場20個校正桿80個固定位置，經校正實作案例評估後，此校正場與校正裝置能執行校正所需之相關活動。
- 4.軟體開發：為進行掃描儀點雲數據分析量測，研究案進行軟體開發，成果已可完成自動化分析點雲數據、自動化量測校正標中心點坐標、整體數據平差及求定常數項系統性誤差改正參數，並可經由計算得到器差及其他參數。
- 5.校正實例分析：選定3部掃描儀於室內幾何校正場執行校正，並輔以軟體自動化量測後，掃描儀量測值經比對於參考值，其器差值標準差統計量，在不同掃描儀案例方面，平面器差與高程器差約在2-5 mm。

#### (二)建立地面三維雷射掃描儀校正系統作業(內政部國土測繪中心，2020)

- 1.校正方法分析：本校正系統校正方法兼具長距離與角度(或坐標)查核，並與參考件進行比對式校正。掃描儀校正項目可以區別為：(1)與掃描儀距離量測單元有關的距離校正；(2)與掃描儀整體系統有關，包含綜合性角度量測單元及坐標比對評估的掃描儀幾何校正兩項。
- 2.校正場地及校正系統能量分析：掃描儀校正項目區分為距離校正與幾何校正。

- (1)距離校正：以內政部國土測繪中心現有電子測距儀校正場執行掃描儀距離校正工作；(2)掃描儀幾何校正：以建置於內政部國土測繪中心黎明辦公區莊敬樓室內校正場執行。本案援用Lichti et al.(2007)的演算法及ISO17123-3角度評估方法，並發展平差數據程式，以求定掃描儀整體幾何特性評估。
- 3.校正距離評估：經評估在室外距離校正場執行掃描儀距離校正工作結果，5 m至95 m距離內能有效率完成校正作業。嘗試執行143 m、266 m距離校正掃描，點雲反射強度品質不易辨識中心點及點雲密度顯著稀疏引入誤差源，因此在既有室外距離校正場校正能量，雷射掃描儀校正距離範圍設定在5 m~95 m。
- 4.校正程序評估：掃描儀水平角及垂直角準確度及在三維坐標系之坐標定位準確度，相對應95%信賴水準，以Trimble SX10校正結果的掃描儀器差值，平面坐標量測不確定度為 2.7 mm，垂直坐標量測不確定度為 1.8 mm。
- 5.校正技術預期：本校正系統屬創新性系統，內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室增列此校正能量具有領先創新地位。本案委託研究對象協助認證輔導，確保本項校正系統與國際接軌，創新校正系統建置過程有國家標準實驗室技術參與，符合國際趨勢的期望。

#### 四、掃描儀校正場所評估

本校正系統經由內政部國土測繪中心2019年委託研究及2020年委託建立校正系統作業之相關文獻探討得知，國外掃描儀校正：(1)依場地區別：有室內與室外場地；(2)依校正模式區別：校正模式分別為坐標比對及距離比對。坐標比對：如ISO建議的坐標比對程序及ASME(2006)方法。Chow(2010)與Muralikrishnan et al.(2015)以室內校正標得到較多的校正數據，進而可進行修正誤差源的效益(如表5)。

因此經由文獻分析後，歸納校正模式包含一個可量測距離的距離校正場及可量測坐標的幾何校正場進行校正。

表5 國內外三維雷射掃描儀校正相關論文比較表(內政部國土測繪中心，2019)

論文	ASME (2006)	Gottwald, (2008)	Muralikrishnan (2015)	Chow (2010)	曾 (2008)	賴 (2004)
目的	儀器性能量測		分析儀器誤差並修正			
Target	Laser tracker	TLS				
量測 方法	藉由量測距離及長 度，得到儀器性能。		以公式擬合實驗，修正儀器誤差			
校正 標	2 個或多 個反射體	多個球型 標	平面標(垂直 8 個,水平 2 個)	平面標 (~200 個)	平面標 (~27 個)	一個牆 面布平 面標或 室外特 徵點
距離 量測	> 20 m(>6 點)	間接式				
角度 或坐 標量 測	長度 (35 點) 雙面 (36 點)	~50 m (不 同長度)	長度量測；雙 面量測縱角與 水平角偏差	室內校 正標	室外校 正標 (50 m~ 200 m)	室內校 正標
儀器 誤差 分析	無		以公式擬合實驗			

(一)室外距離校正場

一個合適的距離校正場，需要足夠的掃描距離，以供掃描儀進行測距的比對校正作業，參考美國國家標準暨技術研究所NIST於文獻 Muralikrishnan (2008)所提到的距離校正場就有60 m。以內政部國土測繪中心設置既有之電子測距儀校正場進行評估，其長基線雖達266m，但經內政部國土測繪中心(2020)委託研究評估後，以短基線95m可符合距離基本需求，另校正場95m間設置7支鋼筋混凝土基樁，各基樁上設有可直接架設掃描儀之強制定心基座，各樁位間之標準距離係定期以國家度量衡標準實驗室校正合格之精密電子測距儀查核，因此設置之基樁具高度穩定性，非常適合以掃描儀專用校正標供掃描儀進行掃描校正辨識，在後續分析方面，亦適合以掃描測距的線性改正參數進行校正。基樁配置如圖1，環境現況如圖2。

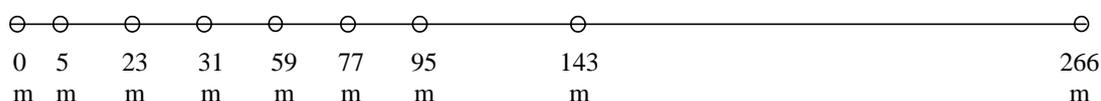


圖1 電子測距儀校正場基樁配置圖



圖2 電子測距儀校正場

## (二)室內幾何校正場

本案經由內政部國土測繪中心2019年委託研究參考國內外文獻Chow et al.(2010)與賴志凱(2004)探討分析後，評估室內幾何校正場環境條件以一般辦公室環境條件設置即可滿足，其選址條件包括：

- 1.室內幾何校正場址空間尺寸：掃描儀量測距離尺寸建議大於3m。內政部國土測繪中心規劃建置之室內幾何校正場室內長約8.76 m、寬約4.78 m、高約2.60 m，符合空間尺寸需求。距離校正需求是透過距離校正場執行，而角度與坐標校正需求，此處空間尺寸適合掃描儀佈標校正。
- 2.牆面材質穩定性及牆面可否允許設置反射標：此處為鋼筋混凝土結構建物，具高度穩定性，室內評估透過適當佈標規劃，配合掃描需求採立柱方式配置校正標，可滿足校正需求。
- 3.校正場環境控制：幾何校正場環境控制需求方面，溫度經評估需求為 $25\pm 8^{\circ}\text{C}$ ，濕度需求為 $65\pm 30\%$ 。執行校正期間，宜進行一般辦公室環境溫控條件管制，以符合校正需求。內政部國土測繪中心設置之幾何校正場空間適當，溫控條件佳，經評估可做為室內幾何校正場使用。

經由以上選址條件評估結果，內政部國土測繪中心設置於黎明辦公區莊敬樓之室內幾何校正場符合選址需求，掃描儀設計樁位及配置校正標之設計樁位規劃如圖3。

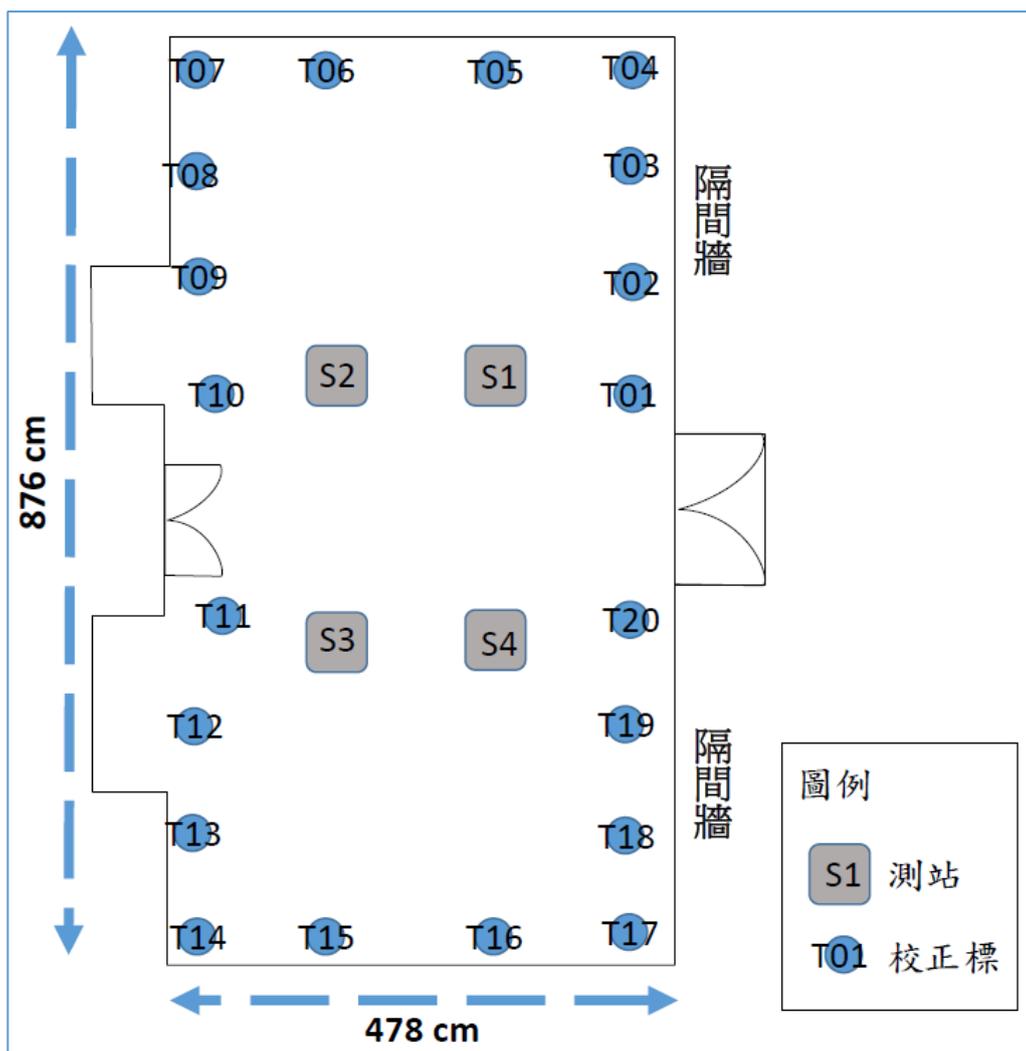


圖3 室內幾何校正場

### 五、校正標之設計、製作與布設

在校正標材質方面，選擇條件為需要同時適合掃描儀及全測站儀測距反射訊號。在校正標型式方面，常用反射標形式是平面反射標，亦有球型雷射掃描標(如圖4)。其中，球型的雷射掃描標需配合掃描距離變換不同直徑球型，以避免球體過大，導致球心求定的誤差變大或球體過小導致掃描點數過少。

經由內政部國土測繪中心2019年委託研究，NIST在文獻Muralikrishnan (2015)中比較三種校正標(1個平面標與2個球型標)，在測量不同距離重複性精度(10次觀測)，可得知在不同距離，平面標都比球型標佳(如表6)。經評估室內幾何校正場及室外距離校正場需求分析後，以平面的反射標較具彈性，對於幫助儀器接收訊號的判讀及分析較大。

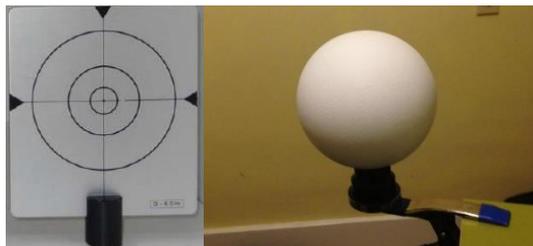


圖4 平面反射標與球型標

表6 比較不同標在不同範圍下的測距精度(Muralikrishnan, 2015)

Range	Contrast target			Scan sphere			Titanium sphere		
	$\sigma_R$	$R\sigma_H$	$R\sigma_V$	$\sigma_R$	$R\sigma_H$	$R\sigma_V$	$\sigma_R$	$R\sigma_H$	$R\sigma_V$
2 m	0.005	0.012	0.022	0.010	0.026	0.025	0.009	0.025	0.023
4 m	0.005	0.019	0.033	0.017	0.024	0.042	0.020	0.024	0.042
6 m	0.004	0.036	0.048	0.020	0.034	0.057	0.043	0.039	0.056
8 m	0.012	0.045	0.086	0.058	0.089	0.112	0.047	0.108	0.114

在自動化量測的彈性方面，雷射掃描點雲落在反射標上，最佳設計是反射標與背景平面不在同一平面，如圖5。藉由反射標型式設計，能以自動化程式判斷並分離標面內點雲與背景牆面的點雲，達到自動化量測的彈性需求。



圖5 立體平面標設計成果

### (一)室內幾何校正場校正標之設計、製作與布設

經由上述得知，由於校正標須與背景保持距離，才有利於自動化程式進行判讀，因此在室內幾何校正場校正標規劃設計方面，考量校正標移動之便利性，規劃以校正標背面配置螺桿方式，將其獨立於牆面一段距離。另在校正標尺寸大小方面，依據內政部國土測繪中心2019年委託研究經驗得知，30 m 距離內，直徑10 cm之校正標，對於校正精度之需求，已足夠自動化辨識圓形標能力。

在校正標固定座設計方面，依據前述校正標分析，設計原則是反射面材質、平面標型、立體式的校正標，並考量價格、加工製作等特性，最終校正標與固定座之

製作規格設計如圖6，製作完成的校正標與固定座之實體圖如圖7。

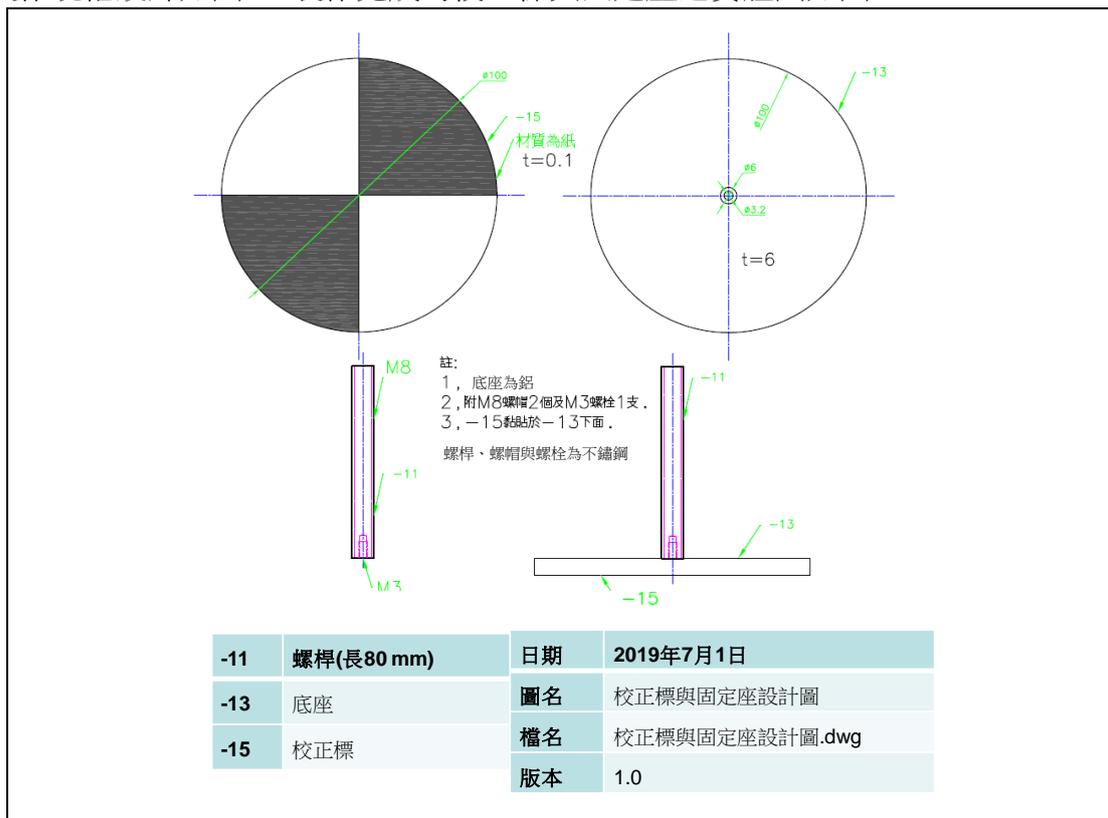


圖6 室內幾何校正場校正標設計圖



圖7 室內幾何校正場校正標製作成果樣式

在校正標布設方面，考量校正標需要堅固的支撐柱進行固定及移動，所以經評估材質後，以鋁擠型柱做為其固定柱，需求總計20根，各柱編號標示為T01到T20，平均分配於靠近四個牆面處，另每柱配置4個固定校正標，各柱校正標編號由低至高為1到4，全部總計配置80個校正標，並以連結片固定於鋁擠型柱，如圖8左圖圓形處及右圖圓形標配置實體圖。

為進行掃描，於室內佈設4個尺寸較粗的鋁擠型柱做為掃描儀基站，每基站高度約1.4 m，站間最短距離約1 m，最長距離約3 m，亦即室內量測距離範圍為1 m ~ 3 m。編號部分以逆時針方式標示為S1到S4，如圖8左圖方形處。

為使供掃描儀掃描用之基樁與配置校正標之校正柱穩固，將固定校正標與掃描儀用的鋁擠型柱，以連結片及圓盤等固定於地板與天花板後，各校正標於各柱上之間距約0.7 m，各柱間距離約1 m。布設完成如圖9。



圖8 室內幾何校正場校正標與掃描儀基樁固定位置圖



圖9 室內幾何校正場校正標與基樁布設圖(上圖朝南攝影，下圖朝北攝影)

## (二)室外距離校正場校正標之設計、製作與布設

室外距離校正場所需使用的雷射掃描專用校正標，在考量價格、校正工作適用性後，以雷射掃描校正標結合校正標固定座製作如圖10，形狀為四方型，規格如表7，校正標大小為45 cm × 42 cm。

在室外距離校正場校正標布設方面，內政部國土測繪中心設置既有之電子測距儀校正場配置有現成合適的固定基樁，基樁在基線場之配置如圖11，因此將校正標固定於基樁上如圖12，藉由移站過程將校正標移到後續基樁供掃描儀進行掃描。

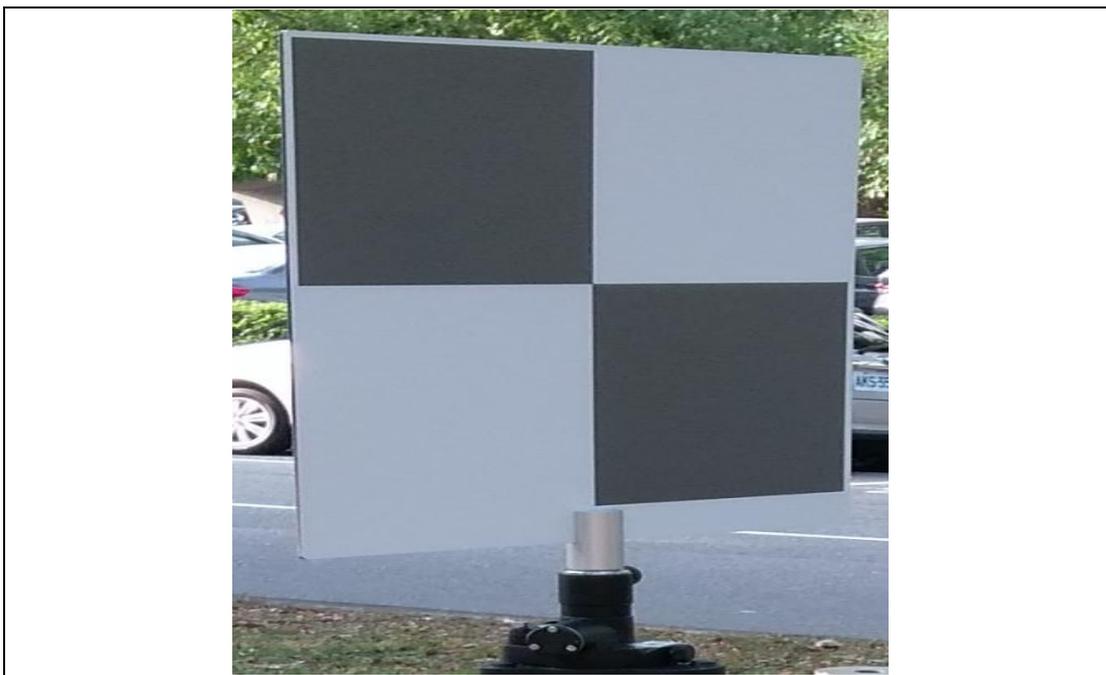


圖10 室外距離校正場雷射掃描校正標成果樣式

表7 室外距離校正場校正標規格

材 質	陽極處理鋁板上有黑色/白色反光膜
尺 寸	450 mm × 420 mm
下方連接	12 mm 外徑圓柱(5/8"內牙)，可安裝於距離校正場固定基樁。
黑白標型尺寸	410 mm × 410 mm

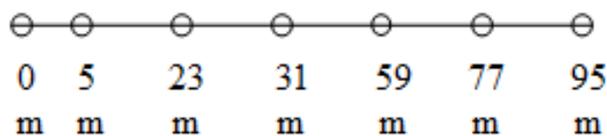


圖11 室外距離校正場基樁配置圖



圖12 測距基線校正場校正標布設圖

## 六、校正程序

送校者第1次送件需先至內政部國土測繪中心測量儀器校正服務網(<https://sicl-nlsc.moi.gov.tw/>)註冊填具相關基本資料成為會員，接續填具線上申請表經審查通過後，通知送校者依據所排定之校正日期，經審核送校者身分、授權掃描儀操作人員身分及掃描儀資訊正確後，至「室內幾何校正場」及「室外距離校正場」，在內政部國土測繪中心人員指揮下辦理掃描作業。

在完成「室內幾何校正場」及「室外距離校正場」校正程序，由送校者將掃描儀攜回，並下載掃描成果輸出檔案(LAS格式)，送至內政部國土測繪中心辦理分析。整體校正程序如圖13，詳細校正程序分述如下：

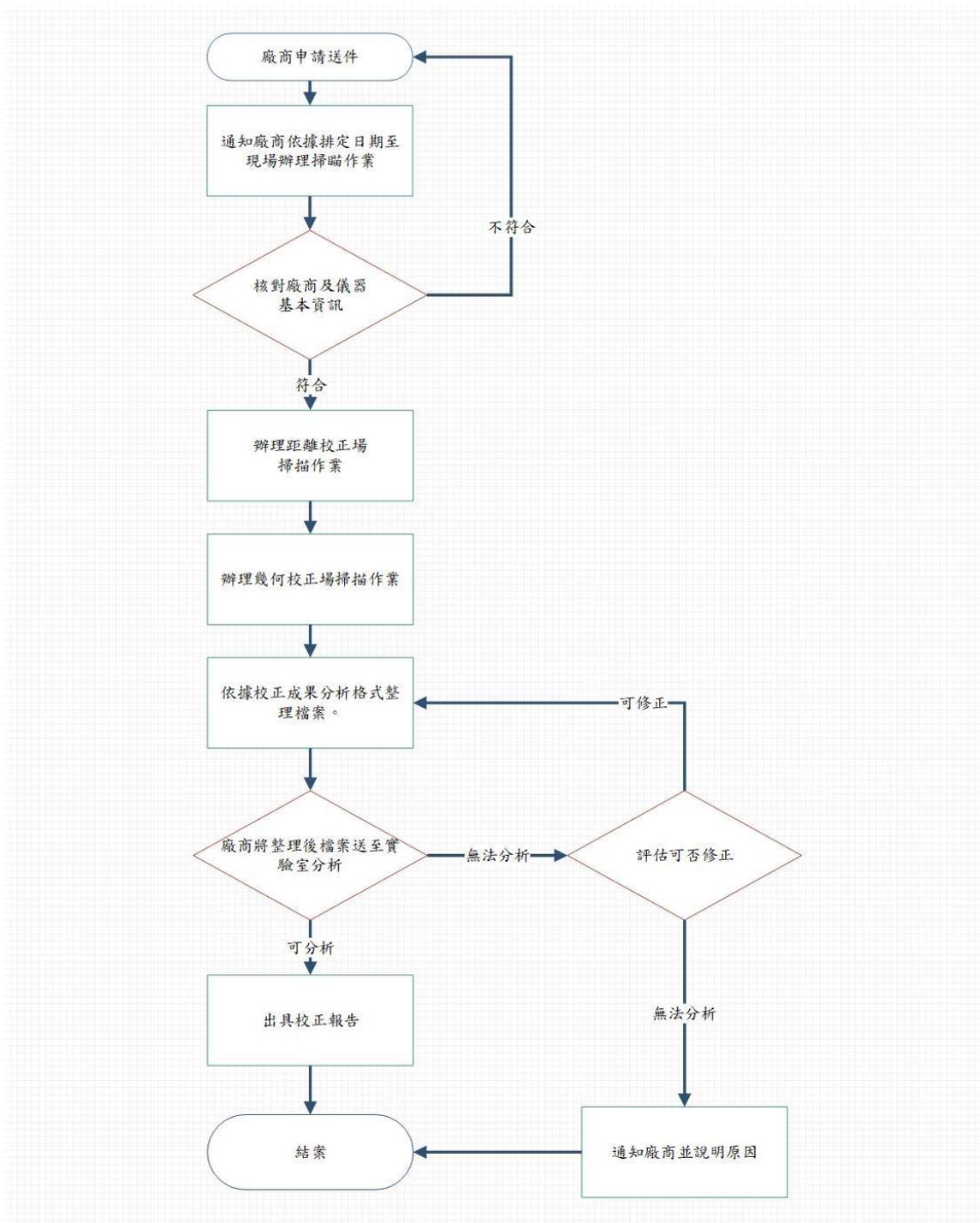


圖13 校正程序流程圖

(一)室內幾何校正場校正程序說明

依據內政部國土測繪中心地面三維雷射掃描儀校正程序(2022)所述，室內幾何校正場設置S1、S2、S3及S4等4支方形鋁質固定校正基樁，各校正基樁設置可架設掃描儀之強制定心裝置，供掃描儀架設於基樁進行掃描。另室內校正場設置20支固定式鋁擠型柱，並標示為T01到T20，各分布於4個象限，T01~T05位於第1象限，T06~T10位於第2象限，T11~T15位於第3象限，T16~T20位於第4象限，其空間配置

與分布示意如圖14，現場實體如圖15。每支立柱上固定4個不鏽鋼材質直徑10 cm並貼有紅外線反射貼紙之校正標，20支立柱計有80個校正標。

校正程序為將掃描儀架設於室內校正場校正基樁S1上，定平後於掃描儀設定測站坐標為(0, 0, 0)。將掃描儀面向北方進行全景(最大掃描範圍)掃描作業，及掃描密度與掃描範圍等參數之設定(各標面點雲間距小於5 mm)。完成面向北方掃描後，依序將掃描儀轉向東、南及西方(即轉向90、180及270度方向)，以同樣參數設定完成掃描。完成架設S1校正基樁掃描作業後，同上步驟，依序完成S2、S3、及S4掃描作業。

全部測站完成掃描後，4個基樁各掃描4次共獲得16個檔案。如掃描儀無法設定方向進行掃描，則各測站可對準同一方向各掃描4次。

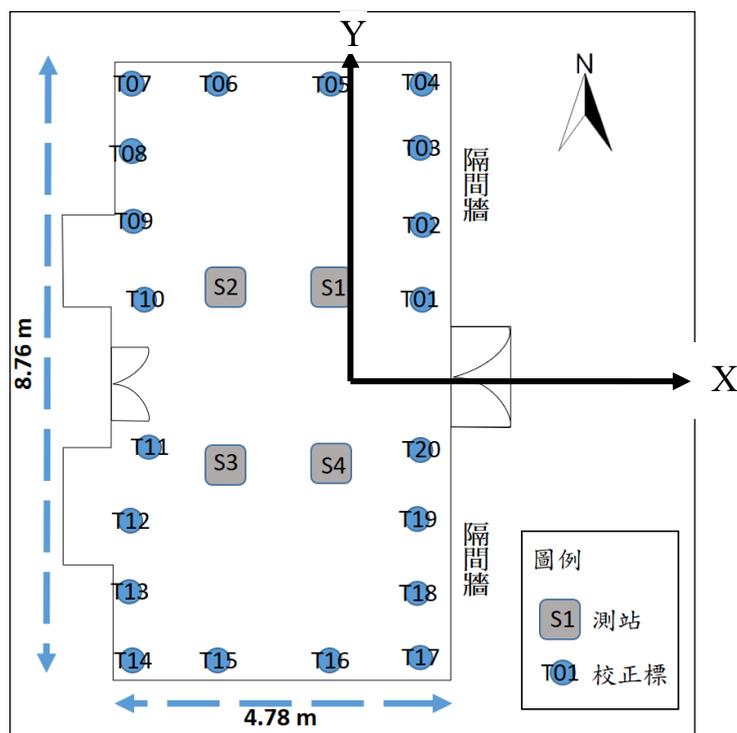


圖14 室內幾何校正場與校正標配置圖



圖15 室內校正場設置與校正標

## (二)室外距離校正場校正程序說明

依據內政部國土測繪中心地面三維雷射掃描儀校正程序(2022)，室外距離校正場設於內政部國土測繪中心電子測距儀校正場，95m內設置7支鋼筋混凝土基樁，各基樁上設有架設掃描儀之強制定心基座，而各樁位間之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經緯儀測得，各基樁配置及施測距離組合如圖16。

校正方法第1階段將掃描儀置於0 m站定平，掃描儀設定測站坐標為(0, 0, 0)。接下來分別於5 m、23 m、31 m、59 m、77 m及95 m等站架設不鏽鋼材質方形校正標(如圖17)，並以易自動化辨識出最遠基樁之校正標中心為目標，進行掃描密度參數設定(各基樁標面點雲間距小於40 mm為原則)，及設定掃描儀掃描範圍，接著進行校正標範圍內的掃描，得到反射標附近的點雲資料。每個測段進行3次重複掃描，即每個測段可獲得3個掃描點雲檔案。

第2階段為將掃描儀架設於5 m站，完成定平後，於23 m、31 m、59 m、77 m及95 m等站架設校正標，同上步驟進行掃描。

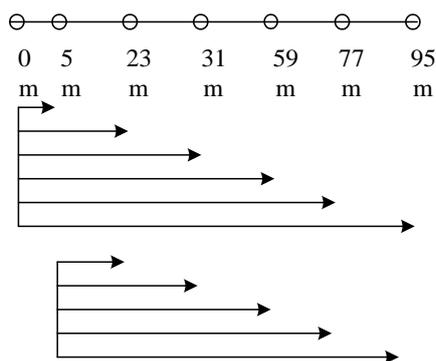


圖16 室外距離校正場基樁配置及施測距離組合圖



圖17 室外距離校正標

## 七、資料分析

### (一)室內幾何校正

依據內政部國土測繪中心地面三維雷射掃描儀校正系統評估(2022)，室內幾何校正資料分析係採用內政部國土測繪中心開發之校正分析軟體以自動化方式進行量測坐標計算，並進行不確定度分析，分析流程圖如圖18，分述如下：

#### 1.點雲萃取轉檔及標心辨識：

進行掃描檔點雲萃取轉檔作業，並以RANSAC演算法自動辨識校正標點雲中心位置。

#### 2.校正標之中心點坐標量測：

藉由8個校正標中心點的參考值坐標(編號T041、T044、T071、T074、T141、T144、T171、T174)，將校正標點雲中心坐標轉換成空間直角坐標系進行平差計算，並輔以

人工判讀確認成果。平差後得到80個校正標的空間直角坐標系位置( $X_i, Y_i, Z_i$ )，扣除8個轉換用坐標，共獲得72個校正標之坐標量測值。原則全部測站完成掃描後，共獲得16個數據檔案，在不受遮蔽情形下，各校正標應可被掃描16次，但由於遮蔽或標面反射角度條件不佳等因素，以致校正標中心位置採用程式自動辨識時，部分校正標可能發生無法辨識，或辨識錯誤的情形，需人工輔助偵錯。在偵錯後，每一個校正標中心位置，至少仍需有3次(含)以上自動辨識成果，才納入平差計算，因此校正標心坐標量測值個數可能低於72個。若平差計算後，某1象限之校正標之坐標量測值個數低於10個，則重新進行自動標心辨識及平差計算，直到滿足每1象限之校正標之坐標量測值個數達10個(含)以上，才算完成量測坐標計算工作。

### 3. 器差計算：

計算掃描儀幾何校正器差部分，器差為掃描儀量測坐標與室內幾何校正場最近測得之標準坐標比較之差值，即校正標參考值係利用實驗室參考標準件量測校正標物空間坐標( $X_{ri}, Y_{ri}, Z_{ri}$ )，再以掃描儀掃描校正標計算得到空間量測值( $X_i, Y_i, Z_i$ )，經由比對同一校正標兩者差值計算器差。

計算掃描儀水平角準確度部分，是參考ISO 17123-3角度校正方法。掃描儀架設於S1~S4等校正基樁，儀器視軸高度與校正標高度近似等高者，包括T023、T033、T043、T053、T063、T073、T083、T093、T123、T133、T143、T153、T163、T173、T183、T193，共16個校正標構成近似水平面，在水平方向以360度環繞校正基樁，比對標準件水平角度參考值與掃描儀水平角度量測值，計算出標準差作為掃描儀水平角準確度。

計算掃描儀垂直角準確度部分，為參考ISO 17123-3角度校正方法。掃描儀架設於S1~S4等校正基樁，掃描後點雲坐標計算垂直角分析校正標：T051、T052、T053、T054、T061、T062、T063、T064、T151、T152、T153、T154、T161、T162、T163、T164，共16個校正標。比對標準件垂直角參考值與掃描儀垂直角量測值，計算出標準差作為掃描儀之垂直角準確度。

### 4. 不確定度分析：

依國際標準組織(ISO)建議方法，將各項誤差來源予以量化為A類及B類不確定度。其中A類以統計方法評估，B類用其他方法評估，兩者皆以假設性機率分布為基礎，估得各標準不確定度，再合併成組合標準不確定度，依特定信賴水準與有效自由度，決定涵蓋因子，計算擴充不確定度。本校正系統係依財團法人全國認證基金會「校正領域量測不確定度評估指引」及「有關量測不確定度之政策」，評估量測不確定度。依該指引建議，評估量測不確定度流程如圖19。

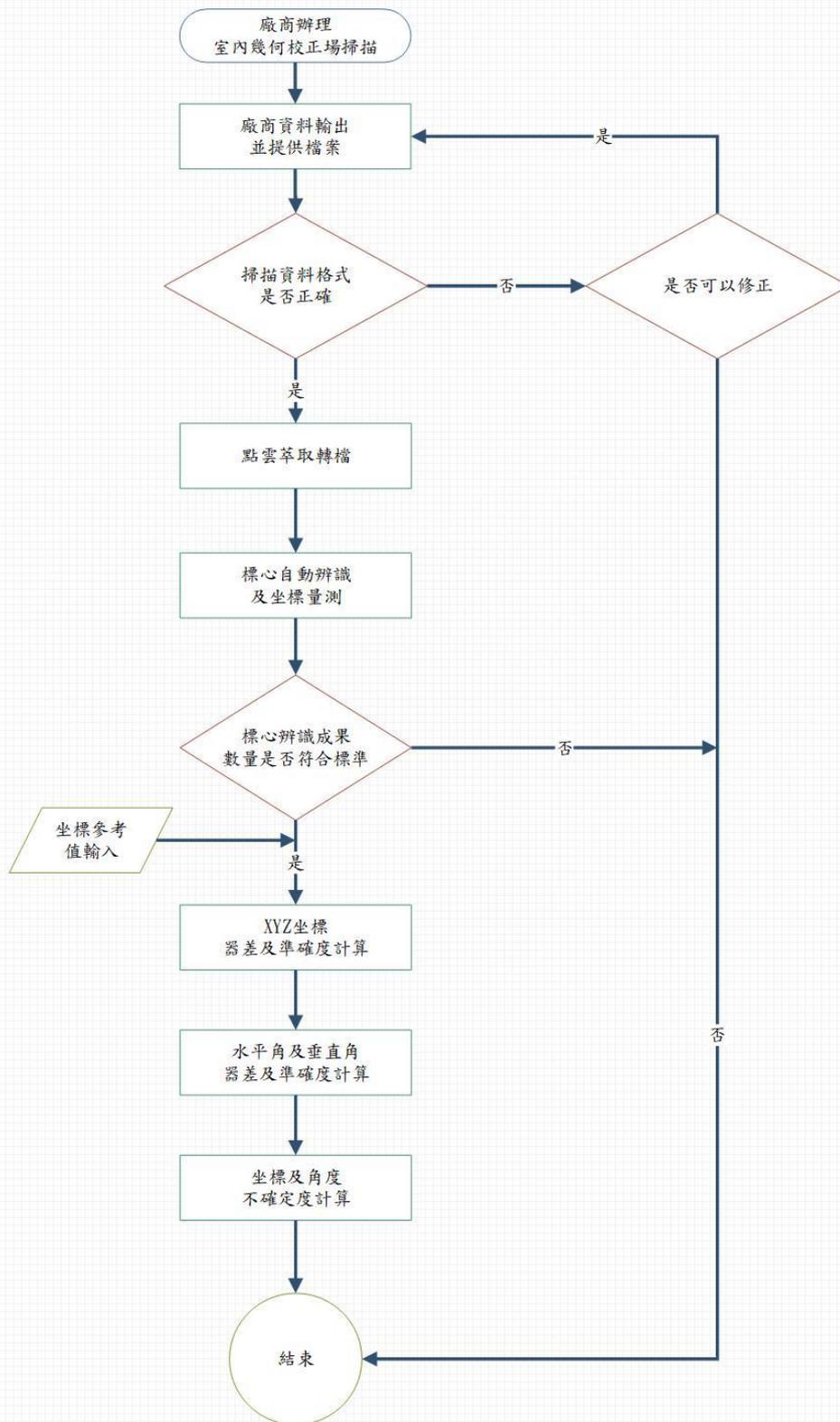


圖18 室內幾何校正分析流程圖

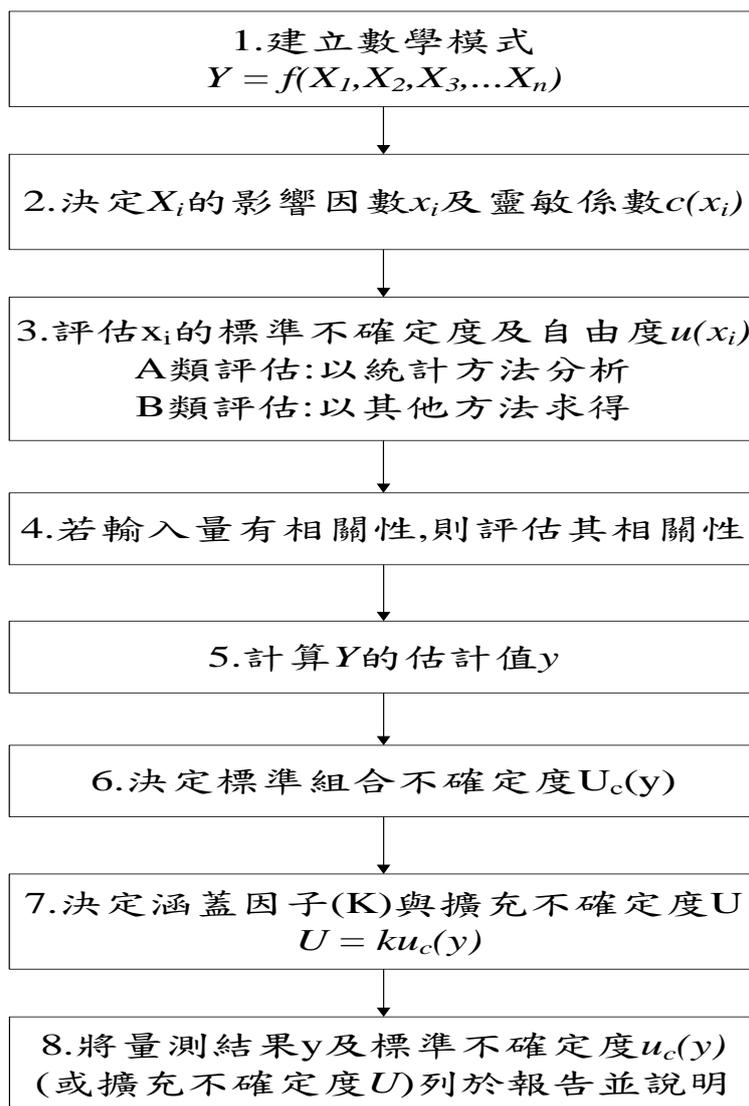


圖19 幾何校正評估量測不確定度流程圖(財團法人全國認證基金會，2008)

## (二)室外距離校正

依據內政部國土測繪中心地面三維雷射掃描儀校正系統評估(2022)，室外距離校正採用內政部國土測繪中心開發之LiDAR軟體，以自動化方式進行掃描檔點雲萃取轉檔作業，並自動辨識校正標點雲中心位置，求得掃描儀量測距離。接續計算量測距離與基線場標準距離比較之差，以求得器差。

接續以各基線為縱軸，基線標準距離為橫軸，經線性迴歸分析方法計算，得到測距儀加常數與尺度比修正值。掃描儀量測距離加上測距儀尺度比及加常數之修正後，即可得校正後之距離。剩餘誤差部分，以掃描儀經校正後之距離與基線場之標準距離比較之差值即可獲得。

依國際標準組織(ISO)建議方法，將各項誤差來源予以量化為A類及B類不確定度。其中A類以統計方法評估，B類用其他方法評估，兩者皆以假設性機率分布為基礎，估得各標準不確定度，再合併成組合標準不確定度，依特定信賴水準與有效自

由度，決定涵蓋因子，計算擴充不確定度。本校正系統係依「校正領域量測不確定度表示方式指引」，評估量測不確定度。依該指引建議，評估量測不確定度流程如圖18。

## 八、校正系統通過全國認證基金會認證

內政部國土測繪中心基於確保測繪成果品質及落實測繪法令，期就國內掃描儀校正制度予以探究，建置完整體制，並通過國際相互承認之機構「財團法人全國認證基金會」(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)認證，使我國校正標準與國際同步，以提供測繪業辦理全球認證之校正服務，進而提升測繪產業之競爭力。

為達成上述目標，內政部國土測繪中心測量儀器校正實驗室於2021年9月9日向TAF申請「三維雷射掃描儀校正系統」增列認證，並經TAF派員於2021年12月16、17、21及22日連同其餘評鑑項目，至內政部國土測繪中心辦理現場評鑑(如圖20至21)，並於2022年3月7日通過認證。



圖20 全國認證基金會認證情形(文件查核)



圖21 全國認證基金會認證情形(室內外校正場校正查核)

## 九、校正系統校正規費收費標準發布施行

本校正系統係提供顧客掃描儀校正服務，作業流程包含收件、校正作業、資料處理及數據檢核後出具校正報告，並經報告簽署人簽署、技術主管、品質主管及實驗室主管審核後，由校正人員用印送顧客收執。

校正所需成本包含直接成本及間接成本，內容涉及人工、物料、設備、電費等支出，所需費用經送內政部轉財政部於111年11月1日正式發布施行，每部收費新臺幣6萬元整(如表8)。

表8 內政部國土測繪中心規費收費標準表

服務項目	計費單位	費額
地面三維雷射掃描儀校正	部	六萬

## 十、校正系統試營運計畫

本校正系統依據內政部國土測繪中心試營運計畫，於2022年8月1日至9月30日辦理，試營運期間計有4家廠商填具校正申請表及操作授權紀錄表，送內政部國土測繪中心審查通過後，排定日期通知廠商辦理校正，相關掃描儀操作人員能力及掃描儀資訊如表9，試營運結果2家廠商完成掃描作業，並由內政部國土測繪中心出具校正報告；2家廠商則分別因為室內幾何校正及室外距離校正無法完成掃描，致無法出具校正報告。受限於篇幅，以下僅以A廠商為例，簡略說明分析過程及結果：

表9 試營運情形表

編號	授權操作人員能力	掃描儀廠牌	掃描儀型號	校正結果或原因分析	校正所需時間
A	年資 5.8 年，相關科系畢業。	RIEGL	VZ-400i	出具校正報告	2 個月
B	年資 3 年，相關科系畢業。	Trimble	TX8	經分析室內幾何校正場校正結果，除部分檔案誤差過大，另部分檔案無法分析，致整體報告無法產出。	
C	年資 5 年，相關科系畢業。	FARO	FOCUSs150	經分析室外距離校正場校正結果，部分檔案誤差過大，經聯繫廠商結果，廠商持續轉出不同格式檔案送本中心，皆無法完成分析。	
D	年資 36 年，相關科系畢業。	RIEGL	VZ-1000	出具校正報告	1.5 個月

廠商向內政部國土測繪中心申請校正後，依內政部國土測繪中心通知派員攜帶掃描儀至現場辦理掃描(如圖22)，並將掃描後檔案交付內政部國土測繪中心辦理校正分析，在室內幾何校正辨識結果方面(16個檔案之一如圖23)，室內80個標每個標可被辨識3次以上計80個，扣除8個轉換用坐標，共獲得72個校正標之坐標量測值。整體而言，掃描成果完整，可供後續各項相關幾何數據分析使用。另在器差分析部分，XYZ整體器差數值約介於-3.6至2.7 mm之間(如圖24及表10)。

計算掃描儀水平角準確度部分，本次校正作業自動辨識校正標點雲中心坐標計16個，經比對16個水平角度值後，水平角準確度為39"。計算掃描儀垂直角準確度部分，自動辨識校正標點雲中心坐標共16個，經比對16個垂直角度值後，垂直角準確度為56"(如表11)。另在擴充不確定度評估結果部分，水平角準確度擴充不確定度為144"，垂直角準確度擴充不確定度為121"。

在室外距離校正部分，檔案分析結果方面(3個檔案之一如圖25)，室外11段量測距離應獲得33個標面辨識成果，實際獲得33個標面檔案。整體而言，掃描成果非常完整，可供後續各項相關距離數據分析使用。

在校正結果分析部分(如表12)，採用內政部國土測繪中心開發之LiDAR軟體，以自動化方式進行掃描檔點雲萃取轉檔作業，並自動辨識校正標點雲中心位置，求得11段量測距離，並依據掃描儀量測距離與校正場標準距離比較計算差值。以各基線為縱軸，校正場準距離Ds為橫軸，經線性迴歸分析方法計算，得到測距儀加常數0.4 mm與尺度比修正值 $39.7 \times 10^{-6}$ 。另以掃描儀量測距離與校正場標準距離之差值求得各測線器差，另以掃描儀校正距離Dc與校正場標準距離之差值計算各測線剩餘誤差。



圖22 室內幾何校正場(左)及室外距離校正場(右)校正情形



圖23 室內幾何校正場掃描成果分析

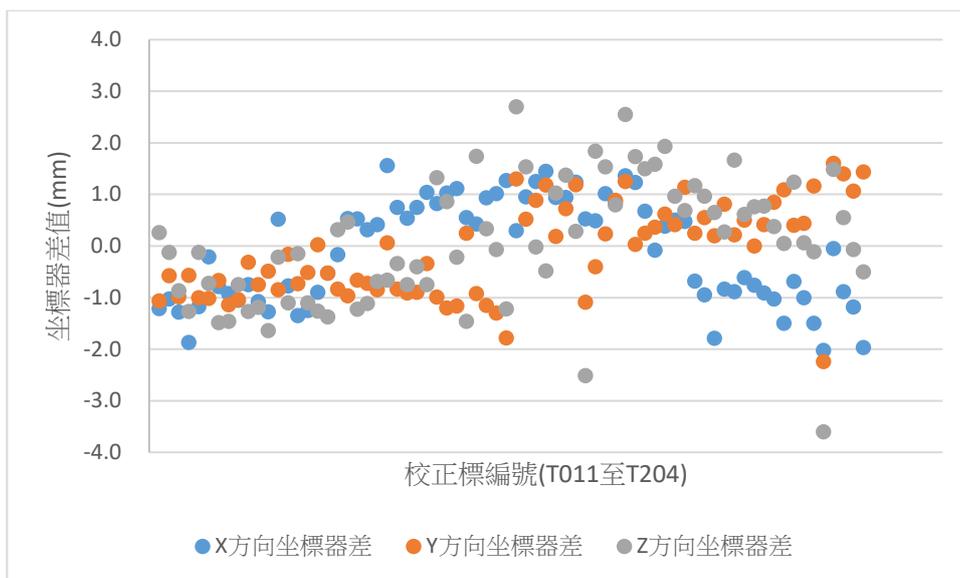


圖24 XYZ各方向校正標觀測成果器差分布圖

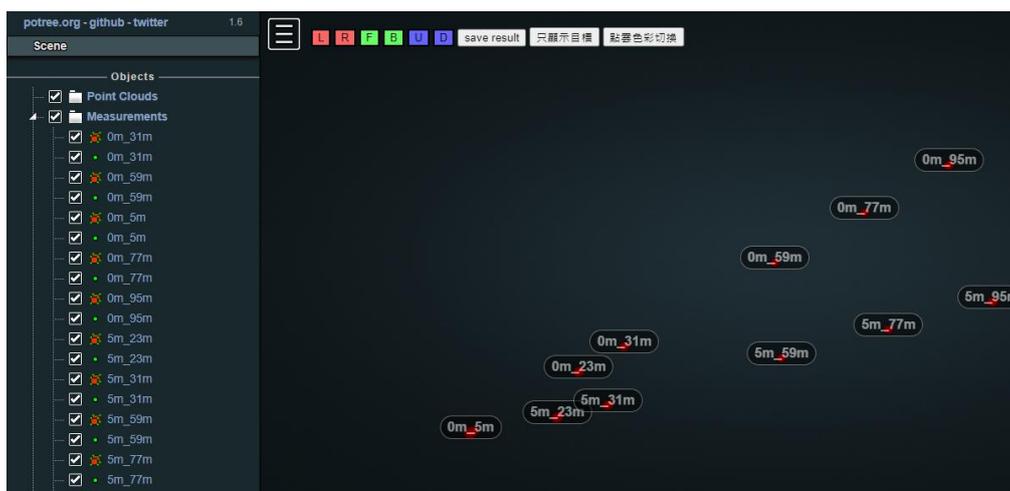


圖25 室外距離校正場掃描成果分析

表10 XYZ各方向校正標觀測統計表(單位：mm)

項目	X	Y	Z
MAX	1.6	1.6	2.7
MIN	-2.0	-2.2	-3.6
AVE	-0.1	-0.1	0.1

表11 水平角及垂直角器差計算表(單位：秒)

項 目	水平角 準確度	垂直角 準確度
校正結果	39.0	56.0
MAX	59.2	83.7
MIN	-77.1	-78.0
AVE	-1.6	2.7
擴充不確定度	144	121

表12 室外距離校正場觀測成果器差計算表

測線 i	儀器站 I	反射站 P	基線 標準距離 Ds(m)	掃描儀 量測距離 Dm(m)	掃描儀 校正距離 Dc(m)	器 差 $\Delta D(\text{mm})$ $= Dm - Ds$	剩 餘 誤 差 $Vd(\text{mm})$ $= Dc - Ds$
1	0	5	4.9978	4.9988	4.9994	1.0	1.6
2	0	23	23.0281	23.0274	23.0287	-0.7	0.6
3	0	31	30.9888	30.9865	30.9881	-2.3	-0.7
4	0	59	59.0138	59.0101	59.0129	-3.7	-0.9
5	0	77	77.0179	77.0131	77.0166	-4.8	-1.3
6	0	95	95.0183	95.0123	95.0165	-6.0	-1.8
7	5	23	18.0300	18.0286	18.0298	-1.4	-0.2
8	5	31	25.9908	25.9896	25.9910	-1.2	0.2
9	5	59	54.0158	54.0140	54.0166	-1.8	0.8
10	5	77	72.0199	72.0176	72.0209	-2.3	1.0
11	5	95	90.0202	90.0190	90.0230	-1.2	2.8

## 十一、結論與後續研究

### (一)結論

- 1.內政部國土測繪中心建置掃描儀校正項目，除為政府機關唯一通過TAF認證之掃描儀校正項目，亦為國內唯一通過掃描儀校正項目，對於提升相關掃描儀應用領域定期校正觀念，具有指標性之作用。
- 2.考量送校者對於掃描儀應用領域需求及精度之不同，內政部國土測繪中心出具之校正報告，原則不針對個別掃描儀提供符合性聲明，亦不負責待校正設備之率定及調校。
- 3.依據試營運經驗得知，本校正系統可以順利完成掃描儀校正作業，並成功出具

2份校正報告，除了顯示本校正系統對於掃描儀校正作業具可行性外，藉由校正成果亦可證明本校正系統具備提供掃描儀校正服務的能力。

## (二)後續研究

本校正系統之分析過程，除須先進行系統分析外，後續並須輔助人工判讀，導致整體校正時間較長，約需2個月。為降低校正所需時間，使整體校正過程標準化，並減少人為分析之介入以降低人為錯誤率，後續將持續就校正作業發展更新軟體功能，以提升整體效能。

## 參考文獻

- 內政部國土測繪中心，2019，《108年度建立地面三維雷射掃描儀校正系統委託研究》，內政部國土測繪中心。
- 內政部國土測繪中心，2020，《109年度建立地面三維雷射掃描儀系統作業》，內政部國土測繪中心。
- 內政部國土測繪中心，2022，《地面三維雷射掃描儀校正程序》，內政部國土測繪中心。
- 內政部國土測繪中心，2022，《地面三維雷射掃描儀校正系統評估》，內政部國土測繪中心。
- 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。
- 財團法人全國認證基金會，2008，《量測不確定度研討會－基礎班 訓練教材(第 6.1 版)》，財團法人全國認證基金會。
- 財團法人全國認證基金會，2014，《有關量測不確定度之政策，TAF-CNLA-R06(6)》，財團法人全國認證基金會。
- 曾義星、林見福、蔡漢龍、陳鶴欽、曾耀賢，2008，《地面光達系統誤差分析及校正》，地籍測量，第廿七卷第1 期，第39-50頁。
- 賴志凱，2004《地面雷射掃描儀的精度分析與檢定》，國立成功大學測量與空間資訊所碩士論文。
- ASME,2006,Standard – Performance Evaluation of Laser-Based Spherical Coordinate Measurement Systems, ASME.
- Chow, J., Lichti, D., and Teskey, W., 2010. Self-calibration of the Trimble (Mensi) GS200 terrestrial laser scanner. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 38 (Part 5), [On CD-ROM].

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

ISO Guide 99:1993 - International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM).

ISO 17123-3, Optics and optical instruments-Field procedures for testing geodetic and surveying instruments-Part 3: Theodolites, 2001.

Lichti, D., Australia, Stefan BRÜSTLE, Germany and Jochen FRANKE, Australia, 2007, Self Calibration an Analysis of the Surphaser 25HS 3D Scan-ner. FIG Working Week, Hong Kong SAR, TS 8C.

Muralikrishnan, B., Sawyer, D., Blackburn, C., Phillips, S., Borchardt, B., Estler, W. T., 2008. Performance Evaluation of Laser Trackers Proceedings of the 8th Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems (PerMIS '08) pp. 149-155.

Muralikrishnan, B., Ferrucci, M., Sawyer, D., Gerner, G., Lee, V., Blackburn, C., Phillips, S., Petrov, P., Yakovlev, Y., Astrelin, A., Milligan, S., Palmateer, J., 2015“Volumetric Performance Evaluation of a Laser Scanner Based on Geometric Error Model”, Precision Engineering 40:139–150.

# 投稿須知

所有稿件以未曾在國內、外以任何形式刊載為限，且稿件內容不得有侵犯他人著作權或商業宣傳行為，否則由作者自行負法律之責任。文體以中文或英文撰寫為原則，並附中文及英文摘要。稿件須加註標點、分段及編列頁碼。內容編排以下列順序為原則：（一）封面：包括中文及英文之論文名稱、作者姓名、作者所屬單位、聯絡地址、電話、傳真、電子郵件住址；（二）中、英文摘要及關鍵詞等；（三）內文；（四）註釋；（五）謝誌；（六）參考文獻；及（七）附錄與圖表。審查通過後，無法直接由電腦列印之圖、表，應另附完稿之圖、表（不超過A4紙張），以利編排。圖或照片應以黑白為原則，如需彩色印刷請作者自行負擔費用。內文所引用之文獻須列於參考文獻，參考文獻請以姓氏筆劃多寡，依序以中文列出，之後再依英文姓氏之英文字母，依序以英文列出。各項格式書寫方式，請參考下列說明：

## 各項格式說明如下：

壹、文書檔案採 A4 直式橫寫書格式，版面邊界分別為上（2.54cm）、下（2.54cm）、左（3cm）、右（2.8cm），字體以新細明體及英文 Times New Roman 等兩種字體排版。

貳、首頁（Title page），應包含下列內容：

一、標題（Article Title）：包括中、英文文章篇名。

二、作者（Author's Name）：

1. 包括中、英文作者姓名。
2. 分別以中、英文註腳載明作者的職稱、單位。若作者有數人，則以阿拉伯數字 1, 2, 3... 個別標示。
3. 須標示通訊作者(加註\*)，註明連繫電話、E-mail，英文電話請以國際電話方式書寫。

三、摘要（Abstract）：包括中、英文摘要。

四、關鍵字（Keywords）：包括中文、英文關鍵字，分別列於中、英文摘要之下。

參、正文（Manuscript）

一、稿件標題章節編號層次及順序

中文請按「一，（一），1，（1），a」順序排列；英文則按「1，1.1，1.1.1...」順序排列。

二、引述用例

（一）直接引述：

中文請用單引號「」；英文請用雙引號“ ”，並以括弧標示引述文獻頁次。

（二）引述中復有引述，或特殊引用時：

中文單引號「」在外，雙引號『』在內。英文雙引號“ ”在外，單引號‘ ’在內。

### 三、文獻引述用例

#### (一) 文中註明引述文獻

1. 請以（作者，年份）方式表示。
2. 若有數篇文章以分號（；）區隔；中英文文獻分開，並各自以引述文獻之出版年份先後依序排列。
3. 若同一作者，有數篇文章同時引述，則以（作者，年份 1、年份 2）；若同一作者有同一年發表文章同時引述，則以（年份 a, b）表示。
4. 若一篇文章有 2 位作者，請全部列出。中文為（作者 A 與作者 B，年份）；英文為（作者 A and 作者 B, 年份）
5. 若一篇文章有 3 位以上作者（含 3 位），中文請用（第一位作者等，年份）；英文請（第一位作者 *et al.*, 年份）用。
6. 英文期刊第一作者姓在前，名在後，第二作者之後，名在前，姓在後。

#### (二) 文中已有作者姓名時

1. 請以作者（年份）方式表示
2. 若有數篇文章同時引述，則以作者 A（年份）、作者 B（年份）…表示
3. 若有必要加註說明時，請用註腳，內文註腳號碼使用上標

### 四、圖版、插圖及表用例

1. 圖名請置於圖之正下方，並以圖 1、圖 2……方式表示。
2. 表名請置於表格之正上方，並以表 1、表 2……方式表示。
3. 若引用他人圖表需註明資料來源。

### 五、公式寫法用例

以(1)、(2)、(3)…依序編號。例： $\hat{X} = (A^T P A)^{-1} A^T P L$  (1)

### 肆、參考文獻(References)

- 一、專書：作者，年份，《書名》，版次，出版地：出版者。
- 二、期刊論文：作者，年份，篇名，《期刊名》，卷期數，頁碼。
- 三、研討會論文：作者，出版年，論文名稱，《研討會名稱》。
- 四、博碩士論文：作者，年份，《論文名稱》，學校科系名稱(碩/博士論文)。
- 五、網路等電子化資料：作者（單位），年份，篇名，網站名稱，網址。
- 六、技術報告或研究報告：作者，年份，《報告名稱》，研究單位。

# 中華民國地籍測量學會「國土測繪與空間資訊」期刊 論文審查辦法

中華民國 101 年 09 月 25 日第 16 屆第 6 次理監事聯席會議通過

第一條 為規範「國土測繪與空間資訊」期刊論文審查辦法(以下簡稱本辦法)，得依本會編輯委員會組織簡則第二條規定訂定之。

第二條 來稿經登記後由總編輯就來稿性質，邀請相關專長之編輯委員推薦審查委員。編輯委員會負責對審查委員及投稿作者保持雙向匿名方式審查，審查作業程序如附圖。

第三條 審查委員應於接到論文後三週內審查完畢，並將論文審查表(如附表)，連同論文寄回編輯委員會，審查意見表中須明確勾選其中一項：

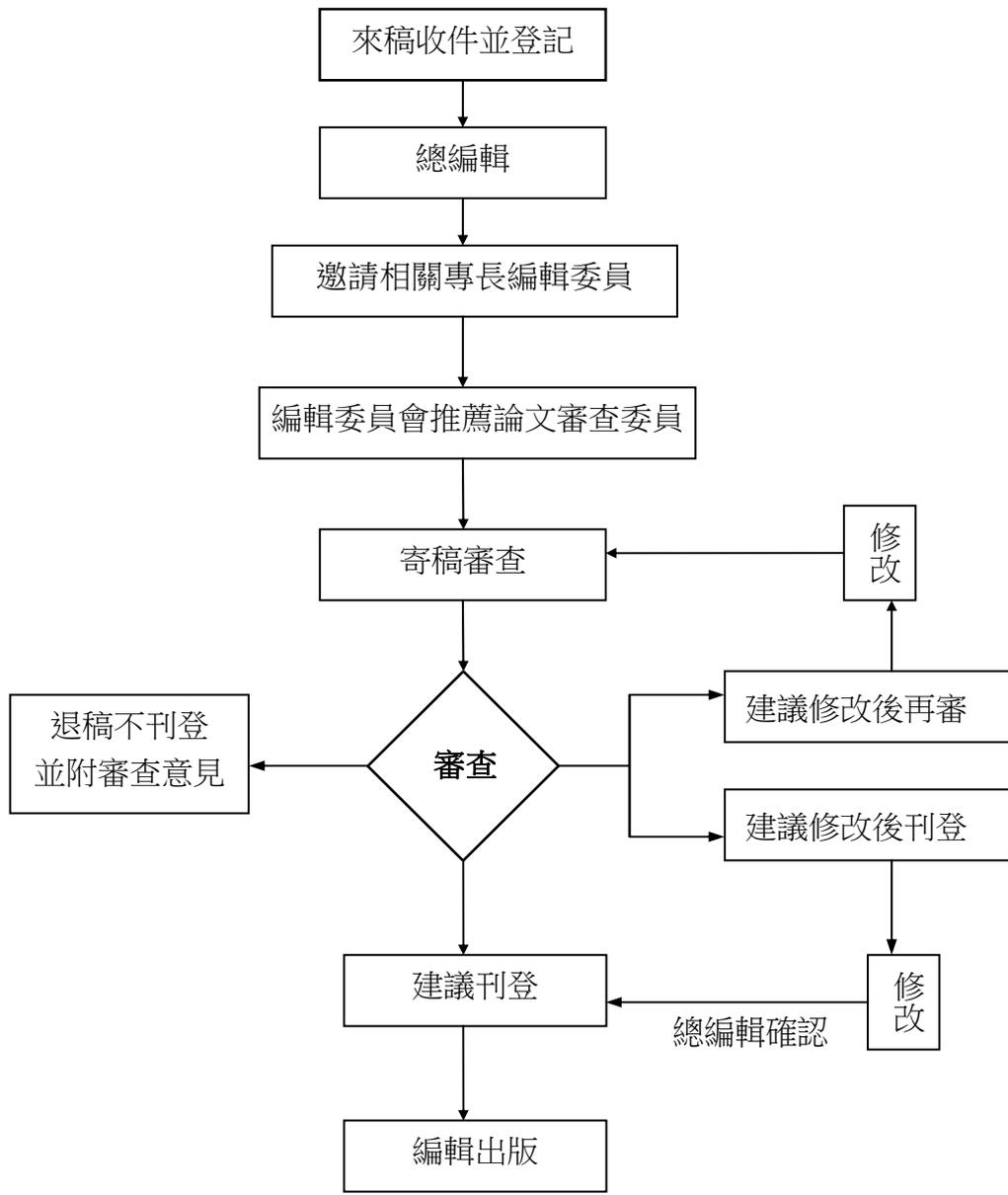
1. 刊登。
2. 修改後刊登(應列明審查意見及建議事項)。
3. 修改後再審(應列明審查意見及建議事項)。
4. 不適刊登(應列明審查意見)。

第四條 審查結果處理方式：

處理 方式 第一位 審查委員意見 第二位 審查委員意見	刊登	修改後刊登	修改後再審	不適刊登
刊登	刊登	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後刊登	寄回修改	寄回修改	寄回修改後再審	第三位審查
修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	寄回修改後再審	不適刊登
不適刊登	第三位審查	第三位審查	不適刊登	不適刊登

附註：再審以一次為限。

第五條 本辦法經理監事會通過後實施，修改時亦同。



論文審查流程圖

# 國土測繪與空間資訊期刊

TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

---

## 編輯委員會

主任委員      史天元      國立交通大學土木工程學系

## 編輯委員 (依姓氏筆劃順序排列)

周天穎      逢甲大學土地管理學系

甯方璽      國立政治大學地政學系

曾國欣      國立中央大學太空及遙測研究中心

張智安      國立交通大學土木工程學系

楊 名      國立成功大學測量及空間資訊學系

蔡慧萍      國立中興大學土木工程學系

韓仁毓      國立臺灣大學土木工程學系

饒瑞鈞      國立成功大學地球科學系

總 編 輯      周天穎      逢甲大學土地管理學系

編 輯      葉美伶      逢甲大學地理資訊系統研究中心

陳鶴欽      內政部國土測繪中心

黃筱晴      逢甲大學地理資訊系統研究中心

發 行 人      洪本善      理事長      逢甲大學土地管理學系

鄭彩堂      主任      內政部國土測繪中心

出 版 所      中華民國地籍測量學會

內政部國土測繪中心

---

國土測繪與空間資訊  
TAIWAN JOURNAL OF GEOINFORMATICS

第十一卷第二期

民國一一二年七月

Vol. 11, No. 2

July 2023

目 錄  
CONTENTS

整合多元化數值資料之監測成果比對 Google Earth 之影像紀錄-以大漢溪河谷  
為例

黃立信、簡宏禧.....65

**Integrated multiple digital measurement data for Monitoring results to compare  
the image records of Google Earth**

Lih-Shinn Hwang , Hong-Xi, Cheng

地面三維雷射掃描儀校正系統建立及營運實務探討

陳聖彥、鄒慶敏、楊枝安、陳鶴欽.....93

**A discussion on built program and practical running experience of Terrestrial  
Laser Scanner calibration system**

Sheng-Yan Chen, Ching-Min Chou, Chih-Ann Yang, He-Chin Chen