

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**

第十四卷 第一期

中華民國一五五年一月



VOLUME 14, NO. 1

January 2026

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 23 屆組織表

## 1.理事會

理 事 長：楊名

副理事長：史天元

常務理事：蕭輔導、紀聰吉、曾耀賢

理 事：洪本善、高書屏、江渾欽、劉正倫、駱旭琛、王啓鋒、洪榮宏、周天穎、白敏思、邱俊榮、王定平、梁崇智、吳相忠、邱元宏、何明修、吳宗寶

秘 書 長：梁旭文 (兼任)

副秘書長：陳鶴欽 (兼任)

秘 書：黃華尉 (兼任)、謝博丞 (兼任)

幹 事：何美娟 (兼任)

## 2.監事會

常務監事：崔國強

監 事：陳典熙、蕭介峰、王敏雄、朱金水

## 3.服務委員會 (設委員 5-9 人，幹事 2-4 人)

主任委員：王啓鋒

委 員：王定平、黃仰澤、邱俊榮、張瑞隆、劉正倫、黃建華、李文聖、吳智維

幹 事：陳俊德

## 4.編輯委員會 (設委員 7-11 人，總編輯 1 人，編輯 2-4 人)

主任委員：陳國華

委 員：史天元、林士淵、曾子榜、曾國欣、張智安、景國恩、蕭宇伸、儲豐宥、韓仁毓

總 編 輯：周天穎

編 輯：洪翎嘉、葉美伶、周廷柔

## 5.研究發展委員會 (設委員 7-11 人，總幹事 1 人，幹事 2-4 人)

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：秘書處兼辦

幹 事：任顯豐

## 6.獎章審查委員會 (設委員 5-7 人，幹事 1-2 人)

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：秘書處兼辦

## 7.教育訓練委員會 (設委員 5-7 人，總幹事 1 人，幹事 1-2 人)

主任委員：崔國強

委 員：吳宗寶、李文聖、黃建華、陳俊達、林登建、蕭介峰

總 幹 事：蕭泰中

幹 事：林以恆

## 8.國際事務委員會 (設委員 4-7 人，總幹事 1 人，幹事 2-4 人)

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、黃振傑、陳家卉

## 9.界址鑑定及諮詢委員會 (設委員 13-21 人，總幹事 1 人，幹事 1-3 人)

主任委員：盧鄂生

委 員：邱仲銘、洪本善、謝福勝、王啓鋒、駱旭琛、吳宗寶、吳相忠、梁崇智、黃玉鐘、劉育儒、杜仲楹、李志宏

總 幹 事：王建得

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)

# 應用高解析度 SAR 影像於大型浮頂式油槽油位動態監測

陳以耕<sup>1\*</sup>

論文收件日期：114.10.24

論文修改日期：115.01.11

論文接受日期：115.01.19

## 摘要

合成孔徑雷達具備全天候、晝夜可觀之特性，能在不利光照與氣象條件下提供監測燃油基礎設施的可靠替代資訊。本文建立高解析度 TerraSAR-X 影像量化大型浮頂式油槽油位動態之操作框架。使用 X 波段聚束模式影像萃取油槽特徵散射弧，推估油槽直徑、槽壁高與浮頂高，並以次像素精度進行量測，同時構建專用的誤差傳播模型以評估幾何參數之不確定性。研究分析 2022 年 12 月至 2023 年 1 月之多時序 TerraSAR-X 影像，重建浮頂高的時間變化並換算對應體積變動。蒐集中油大林煉油廠之地面紀錄進行對照驗證，結果顯示兩者高度一致；即便在地面儀器失效或資料中斷時，該框架仍能有效辨識浮頂高度之時序變化。綜上所述，本研究以單一且穩定之感測來源，將可物理詮釋的 SAR 散射特徵連結至可量化之幾何反演，提供可靠、可重複且近即時油位監測能力，對於能源設施之持續觀測與能源管理應用具實務價值。

**關鍵詞：**合成孔徑雷達、油位監測、後向散射、浮動頂、儲油槽

---

<sup>1\*</sup> 博士生，國立臺灣大學土木工程學系，TEL: +886-9-72246045，E-mail: [d10521008@ntu.edu.tw](mailto:d10521008@ntu.edu.tw)。

# High-Resolution SAR-Based Monitoring of Fuel-Level Dynamics in Large Floating-Roof Oil Tanks

Yi-Keng Chen <sup>1\*</sup>

## Abstract

Synthetic Aperture Radar imagery enables all-weather, day-and-night observation and thus provides a robust alternative to optical imagery for monitoring petroleum infrastructure. This study establishes an operational framework to quantify fuel-level dynamics in large floating-roof oil tanks using multi-temporal, high-resolution TerraSAR-X data. Characteristic backscattering arcs are extracted from X-band spotlight images to derive tank diameter, wall height, and floating-roof elevation with sub-pixel precision, and a dedicated error-propagation model is developed to assess uncertainty in these geometric estimates. Multi-date TerraSAR-X acquisitions collected between December 2022 and January 2023 are analyzed to retrieve temporal variations in floating-roof height and convert them to volumetric change. Validation against CPC refinery records shows close agreement, and the method remains effective even when field instruments are unavailable. By linking physically interpretable SAR signatures to quantitative geometric retrievals from a single, stable sensor, the proposed framework delivers reliable, repeatable, and near-real-time assessments of fuel storage, offering a practical basis for continuous monitoring and energy-management applications.

**Keywords:** Backscattering, Floating-Roof, Fuel-Level Monitoring, Oil Tank, Synthetic Aperture Radar

---

<sup>1\*</sup> Ph.D. student, Department of Civil Engineering, National Taiwan University, TEL: +886-9-72246045 ,  
E-mail: [d10521008@ntu.edu.tw](mailto:d10521008@ntu.edu.tw).

## 1. Introduction

Oil tanks are critical components of national energy infrastructure, serving as essential facilities for the storage and management of petroleum products. Among various designs, large floating-roof tanks (Figure 1) are widely adopted for their storage efficiency and safety advantages. The floating roof moves vertically with changes in fuel level, thereby minimizing vapor emissions and reducing the risk of fire. Understanding their spatial distribution and volumetric variation is vital for assessing regional energy reserves. Such information supports monitoring of consumption patterns and enhances energy management efficiency. However, direct field observation is often hindered by restricted accessibility, operational hazards, and equipment limitations, which constrain continuous and large-scale monitoring efforts.

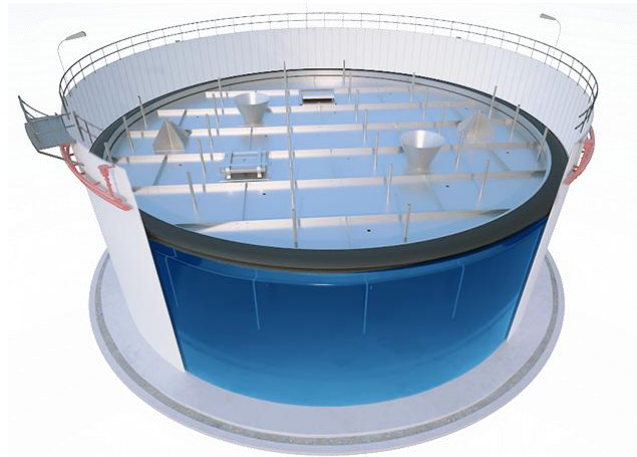


Figure 1. The schematic diagram of a floating-roof oil tank (Petrosazeh Beinolmelal Aram Co., 2024).

Remote sensing offers an efficient, non-intrusive means to monitor such industrial facilities. Optical and thermal infrared imagery have long been utilized for identifying and mapping oil tanks based on their distinctive circular morphology and reflective characteristics. Despite their advantages, optical observations are susceptible to atmospheric interference, illumination variability, and cloud obstruction, rendering them unreliable for persistent monitoring. In contrast, SAR, which operates in the microwave spectrum, can acquire data under all-weather and day–night conditions. Its ability to detect strong backscatter from metallic structures makes it particularly suitable for monitoring oil tanks, whose roofs and sidewalls act as prominent radar reflectors.

Recent advances in high-resolution spaceborne SAR technology have enabled the extraction of detailed geometric information and temporal variations of individual tanks. Nevertheless, most prior studies have primarily focused on tank detection, classification, and inventory mapping, while limited attention has been given to quantitative estimation of fuel-level and volumetric changes. Furthermore, few studies have proposed an integrated methodology that connects radar backscattering characteristics with precise

geometric modeling for energy storage monitoring.

The objective of this study is to establish an operational framework for quantifying fuel-level variations in large floating-roof oil tanks using multi-temporal, high-resolution SAR imagery. The proposed framework combines geometric analysis of radar backscattering features with temporal tracking of floating-roof displacements to infer fuel-level dynamics. By leveraging commercial SAR imagery, this research contributes to the development of a consistent and scalable methodology for continuous, near-real-time monitoring of energy storage infrastructure, providing a valuable foundation for national energy management and strategic resource assessment.

## 2. Literature Review

The remote sensing-based monitoring of oil tanks has received growing attention owing to their strategic significance in national energy infrastructure and industrial management. Early studies, such as that of Arnese (2021), explored the use of optical satellite imagery to estimate tank height and volume through geometric and shadow-based analyses. These works demonstrated the feasibility of remotely assessing storage capacity; however, optical methods remain constrained by illumination variability, atmospheric interference, and the inability to operate under cloud cover or at night. Such limitations make optical observations unsuitable for consistent, large-scale, and long-term monitoring applications.

The advancement of radar remote sensing has introduced new opportunities for all-weather, day-and-night observation of industrial facilities. Lopez and Stilla (2021) utilized high-resolution SAR imagery to monitor floating-roof oil tanks by detecting coherent scatterers associated with roof reflections. Their research demonstrated that variations in SAR backscatter amplitude correspond to changes in floating-roof elevation, providing a feasible means to infer fuel-level variations. The findings confirmed the strong potential of SAR data for detecting structural displacements in metallic tanks, particularly under conditions where optical data are unavailable or unreliable.

Subsequent developments have expanded the integration of SAR and optical data for large-scale tank identification and mapping. Wu et al. (2022) demonstrated the effectiveness of SAR imagery for dense oil-tank detection and classification, achieving high reliability in complex industrial environments. Similarly, Fan et al. (2023) conducted a comparative evaluation of high-resolution remote sensing techniques for tank recognition, underscoring the robustness of SAR data for consistent infrastructure monitoring. Although these studies advanced tank detection and classification, they remained focused on object identification rather than quantitative fuel-level estimation or volumetric analysis.

Despite the increasing use of SAR for industrial monitoring, existing research has predominantly emphasized detection, classification, or inventory mapping rather than the physical interpretation of radar backscatter in relation to tank geometry and fuel-level

variation. A comprehensive analytical framework linking SAR backscattering characteristics to the geometric and volumetric behavior of floating-roof oil tanks remains insufficiently developed. Addressing this gap is crucial to improving radar–target interaction modeling and advancing quantitative SAR monitoring of energy infrastructure. Accordingly, this study aims to establish a theoretical and methodological foundation for fuel-level estimation in large oil tanks using multi-temporal, high-resolution SAR observations.

### 3. Methodology

A structured workflow was developed to establish an operational framework for monitoring fuel-level variations in large floating-roof oil tanks using multi-temporal, high-resolution SAR imagery. The procedure begins with the collection of SAR data from the TerraSAR-X satellite, from which essential metadata such as range spacing, azimuth spacing, and incidence angle are extracted to support subsequent geometric analysis. The SAR intensity imagery is then examined to identify characteristic backscattering patterns of oil tanks, and the pixel distances between key scattering arcs are measured to estimate the tank diameter, wall height, and floating-roof elevation. Multi-temporal acquisitions are further integrated to determine temporal variations in floating-roof height, with the derived results validated against ground-based petroleum company records and high-resolution optical imagery. This integrated framework provides a reliable, repeatable, and sensor-independent approach for quantitative oil-tank monitoring and supports near-real-time assessment of large-scale fuel storage dynamics.

#### 3.1 Study Area

The study area is the Dalin Refinery of CPC Corporation (Figure 2), located in Kaohsiung City, southern Taiwan. As one of the nation’s major petroleum refining and storage facilities, it plays a vital role in national energy supply and distribution. In this study, eight large floating-roof oil tanks with diameters exceeding 80 meters were selected for analysis. The entire refinery area could be encompassed within a single SAR scene, enabling effective observation of tank geometry and temporal fuel-level variations.

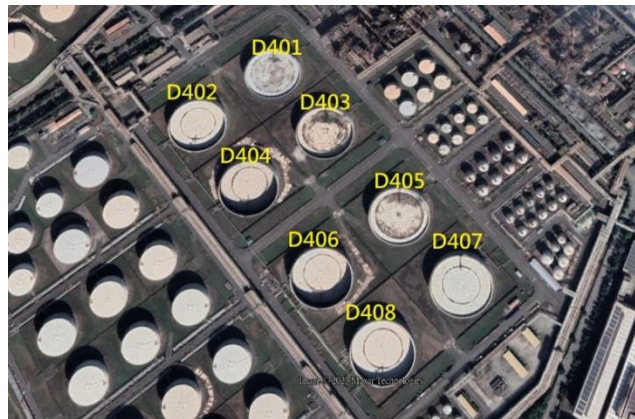


Figure 2. Floating-roof oil tank ID in study area: The Dalin Refinery. (CPC Corporation, 2022).

### 3.2 High-Resolution SAR Imagery

High-resolution SAR imagery is essential for accurately estimating the geometric parameters of large floating-roof oil tanks. Operating in the X-band, these sensors provide fine spatial detail and strong sensitivity to metallic surfaces, enabling clear delineation of structural boundaries and backscattering features produced by tank walls, roofs, and surrounding ground surfaces. Because the elevation of a floating roof changes with fuel volume, detecting subtle geometric variations requires imagery capable of resolving centimeter-scale geometric variations. The superior spatial resolution of modern SAR systems allows the precise identification of characteristic scattering patterns—particularly the bright arcs and dihedral reflections formed at the intersections of vertical tank walls and flat ground planes. These stable, high-contrast backscattering features serve as reliable geometric references for deriving key parameters such as tank diameter, wall height, and floating-roof elevation.

In addition to high spatial precision, SAR offers regular temporal monitoring, enabling consistent observation of variations in oil-tank geometry and fuel-level dynamics. In this study, TerraSAR-X imagery was exclusively employed due to its superior technical characteristics and proven reliability for quantitative infrastructure monitoring. Operated by the German Aerospace Center (DLR), TerraSAR-X is an X-band radar mission that provides spotlight-mode imagery with approximately 1 m ground resolution and a stable 11-day revisit cycle. Its exceptional orbital stability, precise geolocation accuracy (<1 m), and high radiometric consistency ensure reproducible measurements across multiple acquisitions. These attributes make TerraSAR-X particularly suitable for detecting subtle structural and volumetric variations in large industrial facilities such as oil storage tanks. The consistent imaging geometry and long-term data continuity of TerraSAR-X enable the establishment of a robust and repeatable monitoring framework for monitoring the temporal dynamics of fuel storage with high geometric fidelity and quantitative precision.

### 3.3 Backscattering Characteristics of Oil Tanks in SAR Imagery

SAR systems typically employ a side-looking imaging geometry to perform range measurements and to avoid ambiguity caused by objects aligned along the flight path being projected onto the same range cell. As illustrated in Fig. 3, when two targets (a and b) are situated on a flat surface, a nadir-looking configuration would result in overlapping echoes that reach the antenna simultaneously, rendering them indistinguishable. In contrast, a side-looking configuration allows the radar to separate these targets because their echoes return at different times. Due to this geometry, SAR imagery exhibits distinct spatial resolutions in the azimuth and range directions: the azimuth resolution depends on radar wavelength and slant range, while the range resolution is primarily governed by the incidence angle. Consequently, each pixel in a Single Look Complex (SLC) image is elongated rather than

square. This geometric effect causes symmetric structures, such as oil tanks, to appear stretched or distorted in SAR imagery (Fig. 4). The grayscale intensity represents the normalized radar cross section (NRCS), where brighter pixels indicate stronger backscatter, reflecting nonuniform scattering responses across the oil-tank surface resulting from the side-looking illumination geometry.

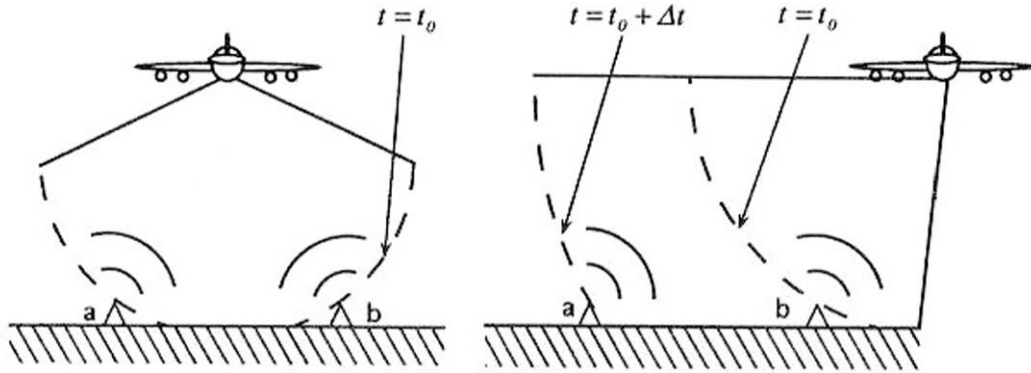


Figure 3. Schematic illustration of the relationship between SAR ranging and side-looking geometry (NASA, 2016).

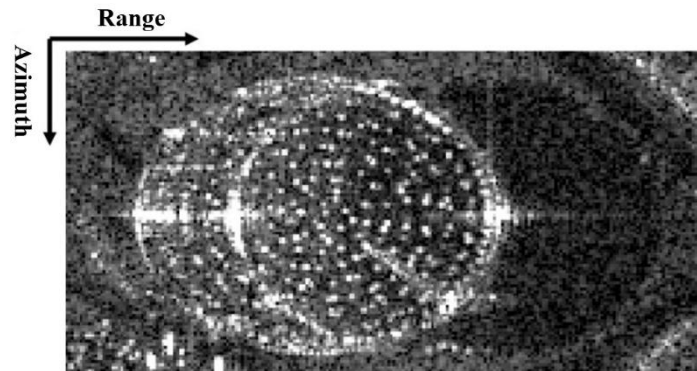


Figure 4. Geometric distortion of oil tank in SAR imagery.

Excluding the shadow region on the side opposite the satellite reveals that oil tanks exhibit complex and distinctive backscattering signatures. According to Lopez and Stilla (2021), these signatures are closely linked to tank geometry (Figure 5): (1) fixed-roof tanks, with their curved surfaces, produce no distinct scattering features, while (2) floating-roof tanks, defined by the vertical junction between the roof and sidewalls, generate strong dihedral reflections, resulting in bright and coherent radar returns.

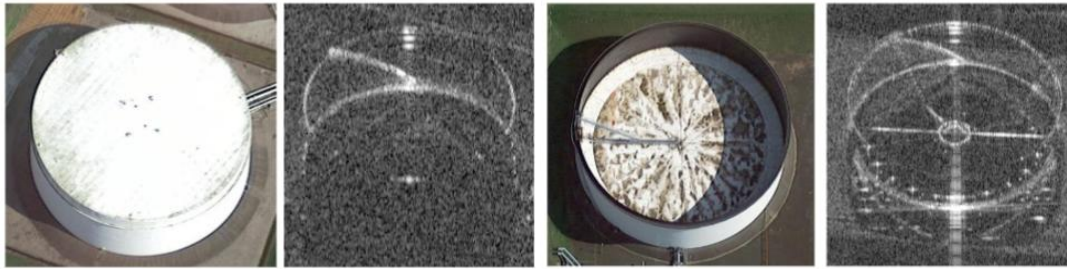


Figure 5. Optical and SAR Imagery of Fixed-Roof (Left) and Floating-Roof (Right) Oil Tanks (Lopez and Stilla, 2021).

### 3.4 Estimation of Oil Tank Geometry

The backscattering characteristics of an oil tank can be simplified into three distinct arcs (Fig. 6), corresponding to the tank roof (red), the tank bottom (blue), and the floating roof (green). Each arc represents a strong and well-defined SAR return generated by double-bounce reflections. Physically, since the external geometry of the tank remains constant, only the position of the green arc is expected to vary under identical imaging conditions, reflecting vertical changes in fuel level within the tank.

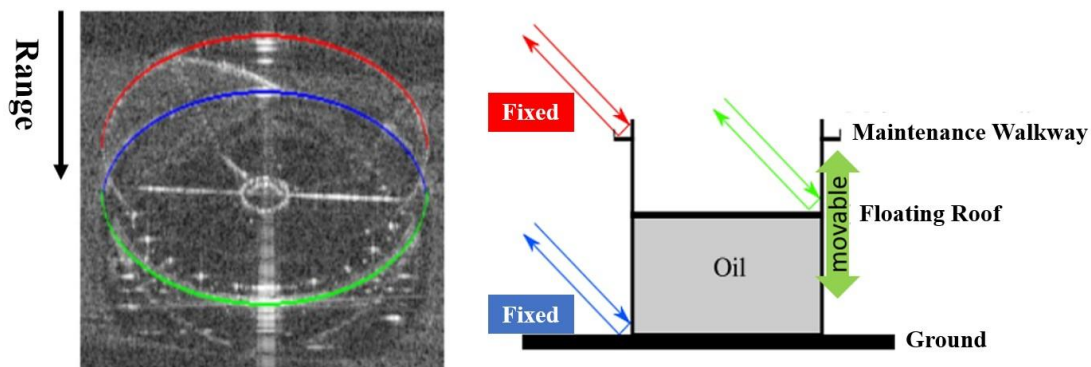


Figure 6. Backscattering characteristics of the floating-roof oil tank in SAR image and its corresponding geometric structure (modified from Lopez and Stilla, 2021).

Building on Figure 7, several studies have proposed methods for estimating the diameter, tank height, and floating-roof height of oil tanks, although their approaches vary. Based on a synthesis of these works, the applicable computational procedures adopted in this study are summarized as follows:

1. Oil tank diameter (D): Following Back and Jeon (2020), the tank diameter is derived by measuring the width between characteristic scattering points along the azimuth direction and multiplying it by the corresponding pixel spacing. It should be noted that pixel spacing differs from spatial resolution, as most commercially available SAR images are resampled products. The calculation formula for the diameter of oil tank is as follows:

$$D = (\text{pixels between diameter points}) \times (\text{azimuth pixel spacing}) \quad (1)$$

2. Oil tank height (H): According to Lopez and Stilla (2021), the tank height is computed by measuring the distance between the red and blue arcs described earlier and

incorporating range-direction pixel spacing and the incidence angle into the calculation. The calculation formula for the height of oil tank is as follows:

$$H = \frac{(\text{pixels between red\&blue}) \times (\text{range pixel spacing})}{\cos(\text{incidence angle})} \quad (2)$$

3. Floating-roof height (h): Based on a corrected formulation modified from Back and Jeon (2020), the floating-roof height can be estimated by measuring the distance between the green and blue arcs and using the previously derived diameter as a supporting parameter. The calculation formula for the floating-roof of oil tank is as follows:

$$h = \left[ (\text{pixels between green\&blue}) + \frac{\text{Diameter} \times \sin(\text{incidence angle})}{\text{range pixel spacing}} \right] \times \frac{\text{range pixel spacing}}{\cos(\text{incidence angle})} \quad (3)$$

The measured distances used in the above equations are summarized schematically in Figure. 7.

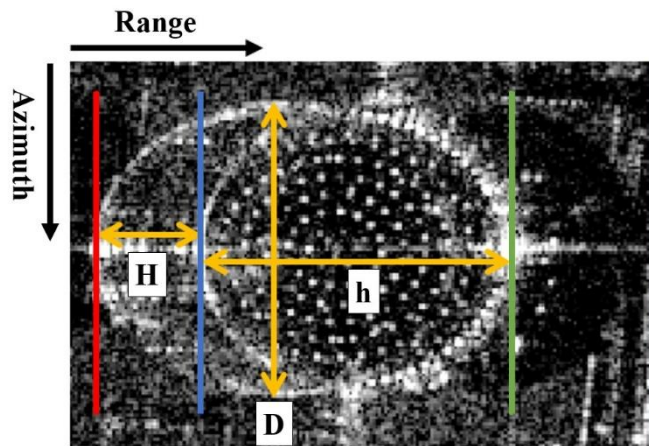


Figure 7. Schematic illustration of different colored-line positions used for estimating oil tank geometry.

### 3.5 Floating-Roof Height Variation and Estimation Errors

Monitoring the variation in floating-roof height provides a direct and quantitative indicator of changes in oil storage volume within large industrial tanks. Unlike static geometric features, the vertical displacement of the floating roof reflects real-time fuel-level fluctuations caused by loading and unloading operations. Because the floating roof moves freely along the tank wall according to the stored liquid's surface elevation, its temporal evolution can be used to infer volumetric changes with high sensitivity and accuracy. This makes floating-roof monitoring an effective proxy for assessing petroleum storage dynamics in both operational and strategic contexts.

By analyzing multi-temporal SAR imagery, it becomes possible to retrieve floating-roof height at different acquisition dates and construct time series of oil volume variation. As illustrated in Figure 8, the temporal evolution of fuel storage among several tanks exhibits distinct patterns that correspond to varying operational activities, such as refilling

or consumption cycles. When sufficient temporal sampling is available, these time series enable continuous assessment of fuel storage behavior, supporting early detection of abnormal fluctuations and estimation of regional energy consumption trends.

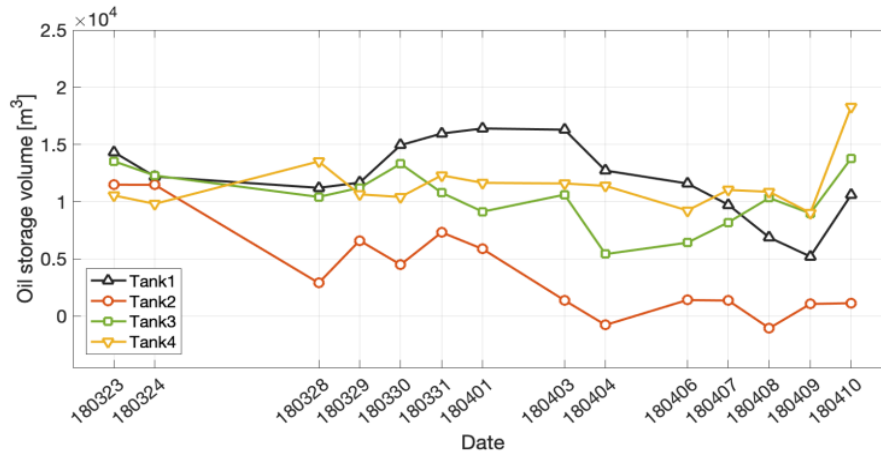


Figure 8. Temporal variation of floating-roof height and oil storage volume (Back and Jeon, 2020).

According to the principle of error propagation, when a target variable is derived indirectly rather than directly measured, the uncertainties associated with all input parameters inevitably propagate through the computation to affect the final estimated value. Assuming that these parameters are independent and uncorrelated, a simplified error propagation model can be applied to quantify the impact of measurement inaccuracies on derived quantities such as tank diameter, wall height, and floating-roof elevation. In this research, the propagation of measurement errors is analyzed to evaluate the reliability of geometric estimations derived from SAR imagery. Particular attention is given to uncertainties arising from the identification of scattering features whether manually or automatically extracted—as even sub-pixel deviations in feature localization can lead to notable discrepancies in geometric dimensions after spatial conversion. Quantifying the extent to which these image-based uncertainties influence the calculated structural parameters enables a systematic assessment of the accuracy of oil tank height and fuel-level estimation.

Errors introduced by radar imaging geometry, sensor configuration, or signal noise are not explicitly modeled in this framework, as these factors are complex to parameterize and would require advanced radiometric or interferometric analysis. Nevertheless, understanding the propagation of geometric measurement errors provides critical insight into the sensitivity and robustness of SAR-based volumetric estimation, thereby ensuring that the inferred fuel-level variations are both physically consistent and quantitatively dependable.

The oil tank diameter ( $D$ ) is obtained by measuring the width between characteristic scattering points along the azimuth direction in the SAR image and multiplying it by the

azimuth pixel spacing ( $S_A$ ). Because this relationship is linear, the associated uncertainty also propagates linearly:

$$\sigma_D = S_A \times \sigma_{P_D} \quad (4)$$

where  $P_D$  is the pixel distance between characteristic scatterers and  $\sigma$  represents the standard deviation. Pixel-level uncertainty along the azimuth direction directly contributes to diameter error. Simulations were conducted with deviations ranging from 0 to 2 pixels at 0.5-pixel intervals to evaluate sensitivity.

The oil tank height ( $H$ ) is derived from the pixel distance between the red and blue arcs in Figure 6, combined with range pixel spacing ( $S_R$ ) and incidence angle ( $\theta$ ):

$$\sigma_H = \sqrt{\left(\frac{S_R}{\cos \theta}\right)^2 \sigma_{P_H}^2 + \left(\frac{P_H \times S_R \times \sin \theta}{\cos^2 \theta}\right)^2 \sigma_{\theta}^2} \quad (5)$$

where  $P_H$  is the pixel count between arcs. The uncertainty in both range-direction pixel measurement and incidence-angle variation directly affects the precision of the height estimation. The incidence angle was constrained to  $20^\circ$ – $60^\circ$ , representing the typical operational range of most spaceborne X-band SAR systems such as TerraSAR-X, COSMO-SkyMed, and ICEYE. This range avoids extreme geometries, very low angles that produce shadowing and very high angles that reduce backscatter sensitivity, ensuring stable geometric accuracy for height retrieval.

The floating-roof height ( $h$ ) is calculated from the pixel distance between the green and blue arcs and the estimated diameter. The total uncertainty considers both pixel-measurement error and propagated diameter error:

$$\sigma_H = \sqrt{\left(\frac{S_R}{\cos \theta}\right)^2 \sigma_{P_h}^2 + \left(\frac{S_A}{\tan \theta}\right)^2 \sigma_{P_D}^2} \quad (6)$$

where  $P_h$  is the pixel count between arcs. Simulations with pixel deviations from 0 to 2 pixels at 0.5-pixel intervals and incidence angles between  $20^\circ$  and  $60^\circ$  confirmed that both azimuth- and range- direction uncertainties significantly affect floating-roof estimation, underscoring the importance of accurate feature localization in SAR-based fuel-level monitoring.

#### 4. Result and Discussion

Previous SAR-based studies on floating-roof oil tanks have largely focused on demonstrating the feasibility of detecting roof displacement or identifying relative filling and emptying trends, with limited quantitative validation against independent ground-based measurements. In contrast, this study evaluates SAR-derived floating-roof heights directly using refinery fuel records, yielding an RMSE of 1.27 m and an  $R^2$  of 0.989 at the individual tank level. This enables the performance of the proposed framework to be assessed in terms of absolute geometric and volumetric accuracy, rather than relative

change alone. Accordingly, the following results are discussed not only in terms of temporal behavior of fuel storage, but also with respect to the quantitative reliability and consistency of the SAR-based retrievals under operational conditions.

#### 4.1 Estimation of Oil Tank Geometry

The incidence angle and pixel spacing of the acquired SAR imagery are crucial parameters for estimating the three-dimensional geometry of oil tanks. Accordingly, the metadata associated with each SAR image were carefully examined, and the relevant parameters were compiled into reference tables (Table 1). Because high-resolution SAR imagery typically features a narrow swath width, the variation in incidence angle between the near and far range within a single scene is generally less than one degree. Therefore, the mean incidence angle of each image was adopted for all subsequent geometric computations. In total, five TerraSAR-X X-band images from December 2022 to January 2023 were utilized to ensure adequate temporal coverage.

This study analyzed eight large floating-roof oil tanks with diameters greater than 80 meters at the Dalin Refinery, to evaluate temporal variations in tank geometry. The tank diameter, wall height, and floating-roof height were calculated using the formulas defined in Equations 1 to 3, with the required parameters derived from Tables 1. Variations in pixel measurements between successive SAR acquisitions were then compared to identify tanks exhibiting measurable vertical changes. To improve geometric precision, a sub-pixel analysis was performed by dividing each original pixel into ten equal segments along both azimuth and range directions, resulting in a minimum measurable resolution of 0.1 pixel for more accurate dimensional estimation.

Table 1. Metadata of TerraSAR-X Images.

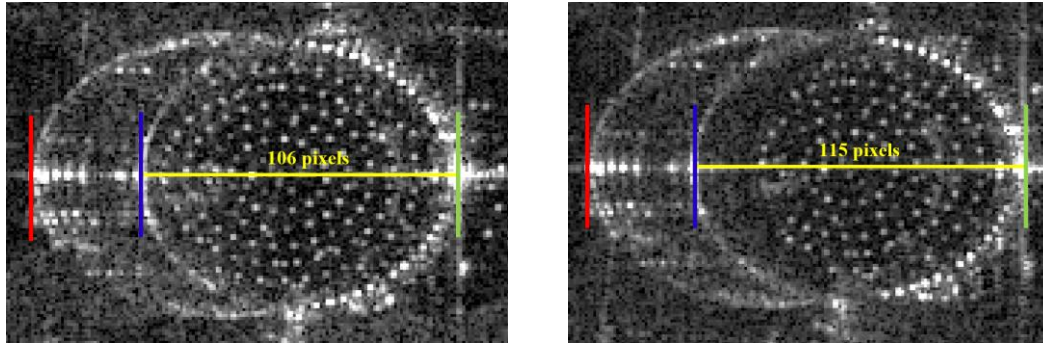
Image Date	2022/12/11	2022/12/22	2023/01/02	2023/01/13	2023/01/24
Range pixel spacing (m)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Azimuth pixel spacing (m)	0.87	0.87	0.86	0.87	0.87
Incidence angle (°)	50.62	50.62	50.62	50.62	50.62

A floating-roof height quantitative demonstration test was conducted using TerraSAR-X imagery (Table 4) to evaluate the feasibility of the proposed measurement approach. In the first case, Test A, the distance between the blue and green arcs increased from 106 to 115 pixels, indicating a displacement away from the satellite, which corresponds to a decrease in floating-roof height and thus a reduction in fuel volume. Based on Equation 3, the floating-roof heights derived from the two SAR acquisitions were 10.54 m and 4.89 m, respectively, resulting in a fuel-level drop of 5.65 m. In contrast, for Test B, the pixel distance between the tank bottom and the floating roof decreased from 107 to 86

pixels, signifying a displacement toward the satellite and an increase in stored fuel volume. The calculated floating-roof heights increased from 9.91 m to 23.09 m, corresponding to an elevation rise of 13.18 m.

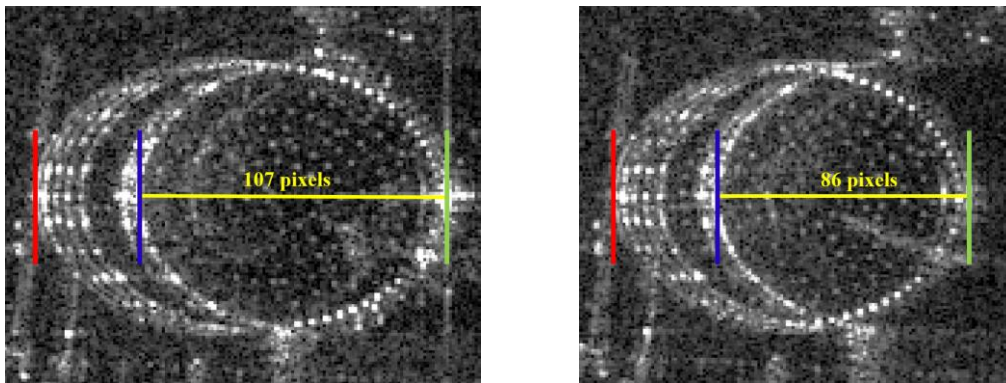
Table 2. Floating-roof height quantitative demonstration test.

Test A (Oil Decreased)



106 pixels / 10.54 m → 115 pixels / 4.89 m

Test B (Oil Increased)



107 pixels / 9.91 m → 86 pixels / 23.09 m

As shown in Tables 3, 4, and 5, the retrieved diameters and wall heights of the eight oil tanks remained highly consistent across all TerraSAR-X acquisitions. The standard deviation of the estimated diameters was below 0.6 m, while that of the wall heights was within 0.15 m, confirming the excellent geometric stability and measurement reliability of the TerraSAR-X data. In contrast, the floating-roof heights exhibited noticeable temporal fluctuations among individual tanks, indicating measurable variations in stored fuel volume. In Table 5, blue text denotes an increase in floating-roof height, corresponding to a rise in fuel level, whereas red text indicates a decrease, reflecting fuel withdrawal. These findings demonstrate the robustness of TerraSAR-X imagery in precisely characterizing stable structural parameters and detecting subtle, time-dependent changes in fuel-level dynamics of large floating-roof oil tanks.

Table 3. Estimation of oil tank diameter.

ID/Date	2022/12/11	2022/12/22	2023/01/02	2023/01/13	2023/01/24	Mean	Std
D401	83.17	83.43	82.65	83.26	83.43	83.19	0.32
D402	83.35	83.69	82.47	83.52	83.43	83.29	0.48
D403	83.78	83.69	82.82	83.69	83.52	83.50	0.39
D404	83.61	83.69	82.65	83.43	83.69	83.41	0.44
D405	83.43	83.87	82.56	83.43	83.61	83.38	0.49
D406	83.61	83.52	82.73	83.26	83.52	83.33	0.36
D407	83.43	83.61	82.30	83.78	83.61	83.35	0.60
D408	83.61	83.43	82.39	83.43	83.78	83.33	0.54

Unit: Meter.

Table 4. Estimation of oil tank height.

ID/Date	2022/12/11	2022/12/22	2023/01/02	2023/01/13	2023/01/24	Mean	Std
D401	18.44	18.30	18.44	18.37	18.44	18.40	0.06
D402	18.51	18.51	18.44	18.44	18.44	18.47	0.04
D403	18.37	18.30	18.30	18.37	18.51	18.37	0.09
D404	18.37	18.65	18.58	18.51	18.58	18.54	0.11
D405	18.30	18.30	18.44	18.37	18.51	18.38	0.09
D406	18.51	18.65	18.37	18.65	18.51	18.54	0.12
D407	18.72	18.58	18.65	18.37	18.58	18.58	0.13
D408	18.51	18.44	18.51	18.23	18.30	18.40	0.13

Unit: Meter.

Table 5. Estimation of floating-roof height.

ID\Date	2022/12/11	2022/12/22	2023/01/02	2023/01/13	2023/01/24
D401	17.49	4.97	6.50	3.20	7.67
D402	17.10	17.91	16.11	17.10	17.17
D403	3.45	3.73	2.74	3.73	3.77
D404	11.71	8.84	5.89	16.04	13.09
D405	11.99	5.65	16.28	17.77	3.02
D406	8.87	7.95	10.55	12.84	13.06
D407	11.64	18.27	7.42	10.36	16.14
D408	12.49	16.68	15.90	2.21	3.13

Unit: Meter.

## 4.2 Error Propagation of Oil Tank Geometry

This study developed an error propagation model to assess the uncertainties involved in estimating oil tank diameter, wall height, and floating-roof height (fuel level) under different SAR incidence angles. The maximum pixel error was set to 2 pixels, propagated in 0.5-pixel increments, with incidence angles ranging from  $20^\circ$  to  $60^\circ$ , reflecting the typical range of most SAR missions. All five TerraSAR-X acquisitions used in this analysis had a consistent incidence angle of  $50.62^\circ$ .

For TerraSAR-X, the diameter error propagates linearly, reaching approximately 1.7 m at the maximum 2-pixel uncertainty. The wall-height error follows a secant function, resulting in about 1.8 m of uncertainty under identical conditions, while the floating-roof height error, governed by both secant and cotangent relationships reaches roughly 4.8 m at a  $60^\circ$  incidence angle.

The empirical measurements are well within these theoretical limits, with actual uncertainties remaining below 1 pixel, approximately 0.7 pixels for oil tank diameter and less than 0.5 pixels for oil tank height, demonstrating higher accuracy than the modeled expectations. The error-propagation behavior is illustrated in Figures 9 to 11, where red asterisks indicate the observed uncertainty levels. In addition, very small incidence angles cause radar echoes to overlap temporally, producing coarse, blurred imagery that complicates geometric interpretation. Conversely, excessively large incidence angles reduce sensitivity to floating-roof displacement. Hence, extreme incidence angles either too low or too high are unsuitable for the proposed error propagation framework.

In floating-roof oil tanks, the stored oil is completely shielded by a metallic floating roof, and SAR signals interact only with the tank wall, roof, and ground through double-bounce scattering. Therefore, variations in oil properties (e.g., temperature, viscosity, vapor pressure) do not directly affect the geometric locations of the backscattering arcs used for height retrieval, but may only influence local radiometric noise and feature-detection uncertainty.

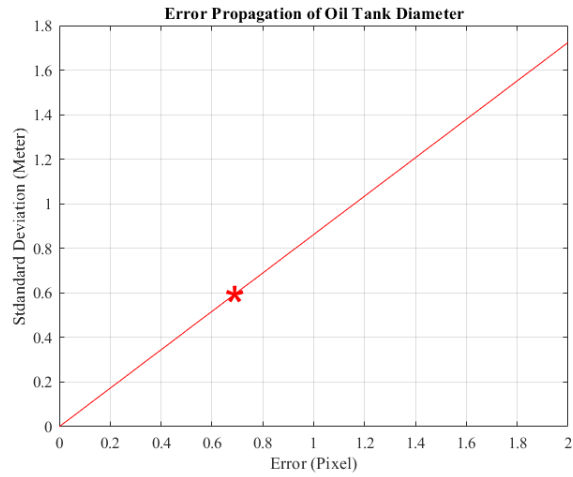


Figure 9. Error propagation of oil tank diameter.

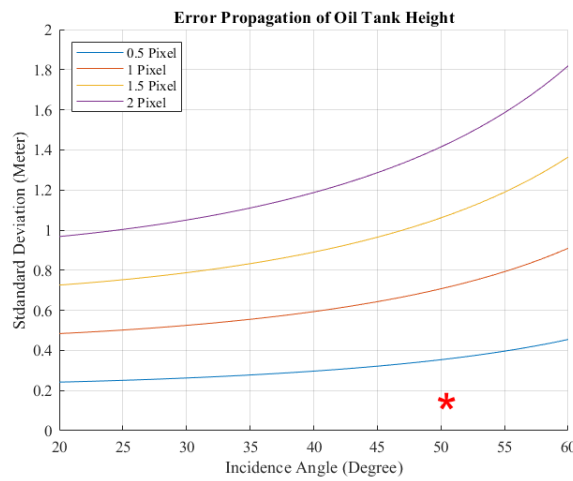


Figure 10. Error propagation of oil tank height.

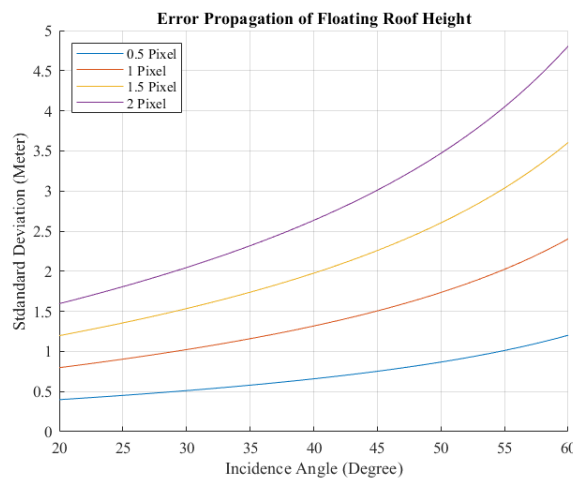


Figure 11. Error propagation of floating-roof height.

### 4.3 Comparison with CPC Ground-Based Records

CPC Corporation provided ground-based oil tank records corresponding to three TerraSAR-X acquisition dates (January 2, January 13, and January 24, 2023). These datasets were used to validate the floating-roof height estimates derived from TerraSAR-X imagery. Since CPC data only included fuel volume (in cubic meters), the corresponding floating-roof heights were derived by dividing the recorded fuel volume by the tank surface area. The validation was performed by comparing the CPC-derived floating-roof heights (treated as reference values) with the TerraSAR-X–derived estimates using the coefficient of determination ( $R^2$ ) and root mean square error (RMSE). Tank D403 was excluded from the analysis due to erroneous CPC measurements caused by an instrument malfunction. The validation results yielded an RMSE of 1.27 m and an  $R^2$  value of 0.989, indicating a very high degree of consistency between the TerraSAR-X observations and the CPC ground-truth data (Figure 12).

Table 6. Fuel level records from CPC.

ID	Fuel level (m <sup>3</sup> )			Floating-Roof Height (m)		
	2023/1/2	2023/1/13	2023/1/24	2023/1/2	2023/1/13	2023/1/24
D401	33143	11186	35967	5.94	2.00	6.44
D402	86869	87284	86875	15.57	15.64	15.57
D403	12704	12704	12704	2.28	2.28	2.28
D404	27833	80461	64690	4.99	14.42	11.59
D405	84512	87273	11943	15.14	15.64	2.14
D406	56115	58791	66277	10.05	10.53	11.88
D407	35890	52466	80926	6.43	9.40	14.50
D408	87245	12257	10347	15.63	2.20	1.85

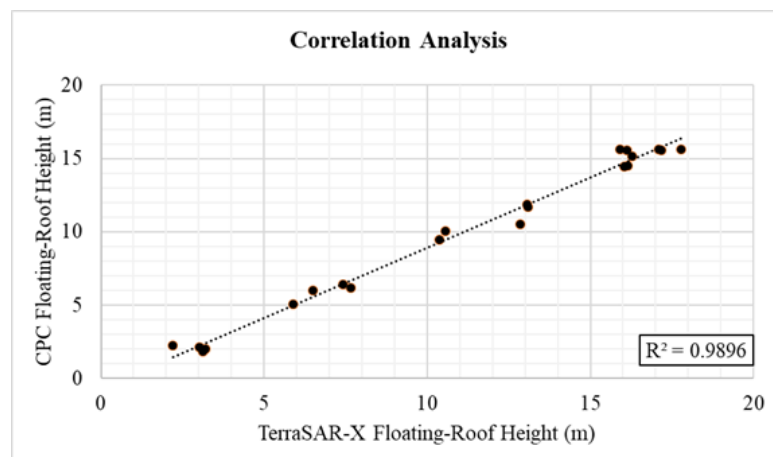


Figure 12. Correlation between TerraSAR-X–derived floating-roof heights and CPC ground-based measurements.

Comparisons of floating-roof height observations across different acquisition dates revealed minor discrepancies, likely resulting from variations caused by the structural thickness of the floating roof. The observed errors ranged between -0.5 and -1.5 m. Measurements from January 2 and January 24, 2023 exhibited low standard deviations, both below 0.3 m, while those from January 13 showed larger deviations exceeding 0.6 m. The increased uncertainty on January 13 was mainly attributed to the pronounced starburst effect in the corresponding SAR imagery (Figure 12), which introduced higher pixel-level noise and thus greater measurement uncertainty in the floating-roof height estimation.

Additionally, the CPC dataset (Table 6) contained erroneous readings for tank D403, as its fuel-level sensor malfunctioned in 2022 and remained under maintenance during the observation period. Consequently, the recorded fuel volumes remained constant across the three acquisition dates. Nevertheless, SAR-based observations clearly captured variations in floating-roof height between January 2 and January 24, 2023, demonstrating that SAR imagery can effectively detect fuel-level changes even in the absence of accurate or complete ground-based data. Figure 14 presents a comparison between the TerraSAR-X, derived floating-roof heights and CPC records for each tank at the Kaohsiung Dalin Refinery.

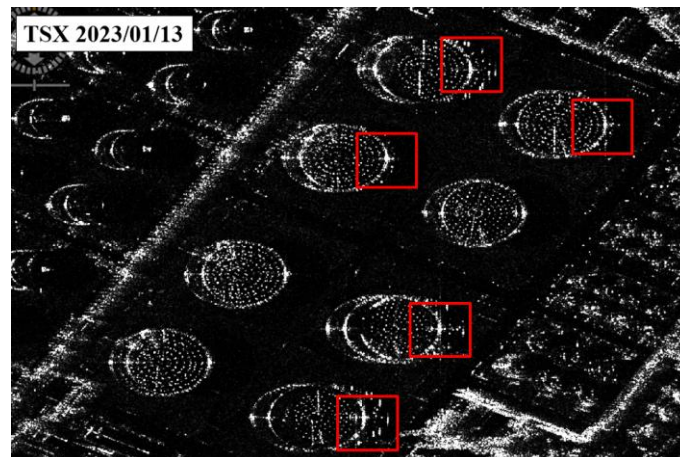


Figure 13. The starburst effect observed in the TerraSAR-X acquisition on 13 January, 2023; red boxes indicate areas where the effect is most pronounced.

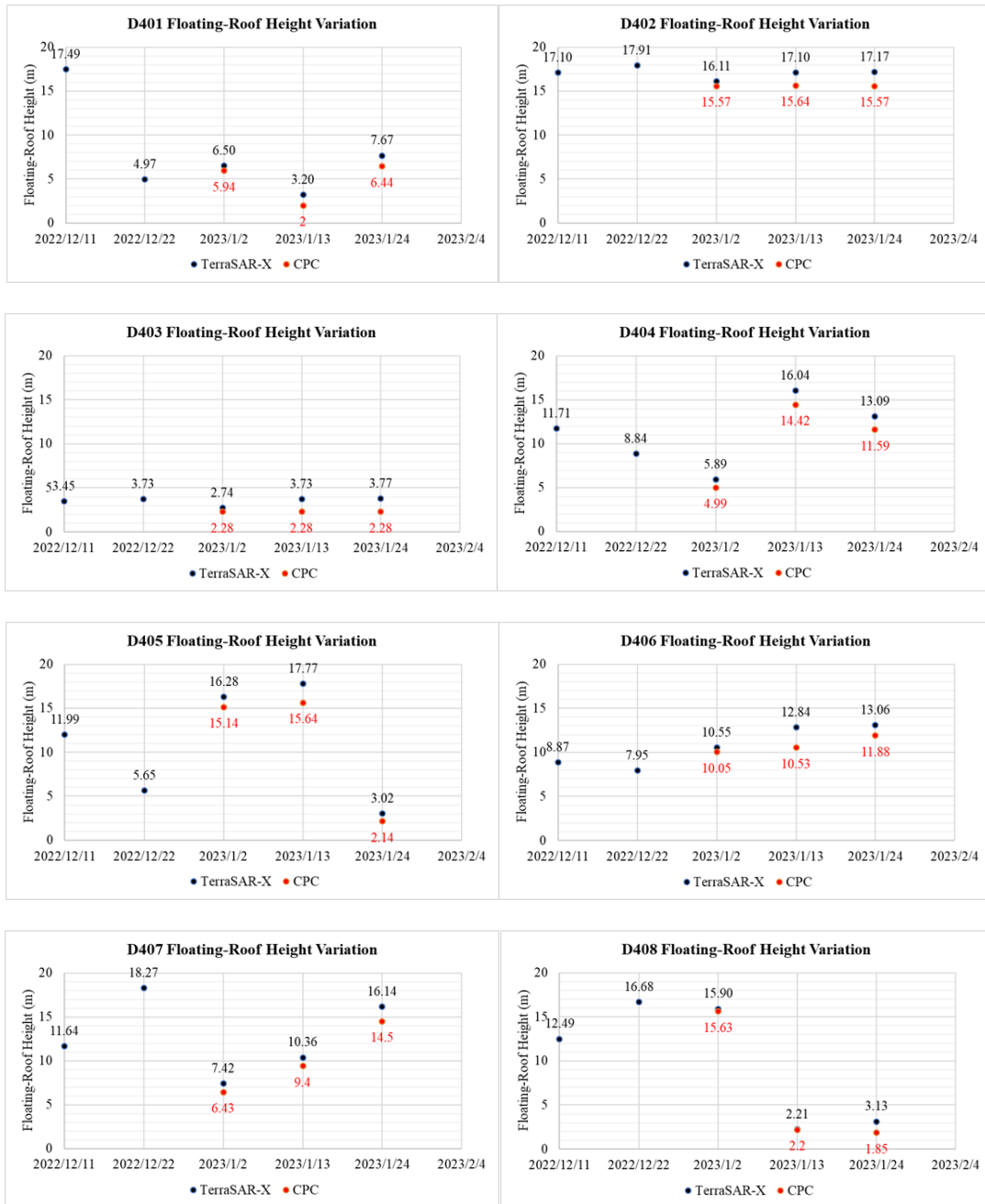


Figure 14. Floating-roof height variations of oil tank D401 to D408.

Although the validation in this study is primarily based on CPC ground-based fuel records for a limited number of acquisition dates, the reliability of the proposed framework is not solely dependent on the availability of such external measurements. The case of tank D403, for which the CPC sensor reported constant values due to malfunction, demonstrates that SAR-derived floating-roof heights can still capture physically plausible temporal variations consistent with those observed in neighboring tanks. In addition, the high temporal stability of tank diameters and wall heights across all TerraSAR-X acquisitions (Tables 3 and 4) provides an internal consistency constraint that limits potential geometric drift in floating-roof retrievals. Even in the absence of operational logs or in situ level

sensors, the combined temporal coherence and geometric self-consistency of the SAR measurements offer a robust basis for assessing fuel-level dynamics.

## 5. Conclusion

This study introduced a refined SAR-based framework for quantifying fuel-level dynamics in large floating-roof oil tanks using multi-temporal TerraSAR-X imagery. This approach extends previous detection-focused studies by directly linking SAR backscattering geometry with quantitative structural estimation. Through precise extraction of scattering arcs, the framework enables sub-pixel accuracy in determining tank diameter, wall height, and floating-roof elevation, allowing quantitative monitoring of fuel-level variations.

The developed error propagation model systematically evaluated uncertainty sources and confirmed that observed measurement deviations—below 0.5 pixel—were well within theoretical limits. Validation against CPC ground-based data yielded a strong correlation ( $R^2 = 0.989$ , RMSE = 1.27 m), confirming the reliability of SAR-derived estimates. Notably, the method successfully detected fuel-level fluctuations even when field instruments failed, underscoring its operational independence. However, backscattering-arc localization in this study relies on manual or rule-based interpretation of SAR intensity patterns. The starburst effect observed on 13 January 2023 demonstrates that scene-dependent radiometric artifacts and speckle can increase pixel-level uncertainty and introduce operator-dependent variability. Although tank geometry remains stable, such effects may degrade sub-pixel accuracy in floating-roof height retrieval. Future work may therefore benefit from automated approaches, such as machine learning-based feature extraction or Hough circle detection, to improve the objectivity and repeatability of arc estimation.

The main contribution of this research lies in establishing a physics-based, repeatable, and sensor-independent approach for volumetric monitoring using high-resolution SAR imagery. The framework provides a practical foundation for near-real-time fuel-level assessment and can be further expanded through integration with multi-sensor SAR constellations to enhance temporal resolution and support long-term energy infrastructure surveillance.

## 6. Reference

- Al-Yacouby, A. M., Hao, L. J., Liew, M. S., Ratnayake, R. C., & Samarakoon, S. M. (2021). Thin-Walled Cylindrical Shell Storage Tank under Blast Impacts: Finite Element Analysis. *Materials*, 14(22), p.7100.
- Arnese, E. (2021). Optical and SAR methods analysis for oil tanks height estimation.
- Back, M., & Jeon, T. (2020, September). Analysis of oil storage trend using KOMPSAT-5 SAR data. In *IGARSS 2020-2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp.4088-4091. IEEE.

- Di Carlo, F., Miano, A., Giannetti, I., Mele, A., Bonano, M., Lanari, R. & Meda, A., Prota, A. (2021). On the integration of multi-temporal synthetic aperture radar interferometry products and historical surveys data for buildings structural monitoring. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 11(5), pp.1429-1447.
- Fan, L., Chen, X., Wan, Y., & Dai, Y. (2023). Comparative analysis of remote sensing storage tank detection methods based on deep learning. *Remote Sensing*, 15(9), p.2460.
- Hammer, H., Kuny, S., & Schulz, K. (2017). Simulation-based signature analysis of fuel storage tanks in high-resolution SAR images. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(8), pp.1278-1282.
- Kim, J. R., Lin, S. Y., Yun, H. W., Tsai, Y. L., Seo, H. J., Hong, S., & Choi, Y. (2017). Investigation of potential volcanic risk from Mt. Baekdu by DInSAR time series analysis and atmospheric correction. *Remote Sensing*, 9(2), p.138.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (1994). Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons. Inc, United States of America.
- Lopez, C. V., & Stilla, U. (2021). Monitoring of oil tank filling with spaceborne sar using coherent scatterers. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, pp.5638-5655.
- Parisher, R. A., & Rhea, R. A. (2011). *Pipe drafting and design*. Gulf Professional Publishing.
- Petrosazeh Beinolmelal Aram Co., (2024), How are floating roof tanks constructed?, <https://petrostructure.com/en/blog/floating-roof-tank-construction-steps/>
- Shaluf, I. M., & Abdullah, S. A. (2011). Floating roof storage tank boilover. *Journal of loss prevention in the process industries*, 24(1), pp.1-7.
- Shi, L., Shuai, J., Wang, X., & Xu, K. (2017). Experimental and numerical investigation of stress in a large-scale steel tank with a floating roof. *Thin-Walled Structures*, 117, pp.25-34.
- Sun, X., Liu, Y., Wang, J., & Cen, Z. (2008). Stress and deflection analyses of floating roofs based on a load-modifying method. *International journal of pressure vessels and piping*, 85(10), pp.728-738.
- Tsai, Y. L. S., Dietz, A., Oppelt, N., & Kuenzer, C. (2019). Wet and dry snow detection using Sentinel-1 SAR data for mountainous areas with a machine learning technique. *Remote Sensing*, 11(8), p.895.
- Tsai, Y. L. S., Lin, S. Y., Kim, J. R., & Choi, Y. (2019). Analysis of the seasonal velocity difference of the Greenland Russell glacier using multi-sensor data. *Terrestrial*,

*Atmospheric & Oceanic Sciences*, 30(4).

- Wang, S., Stratford, T., & Reynolds, T. P. S. (2022). Creep of an FRP-strengthened metallic beam under cyclic temperature and cyclic load. *Journal of Constructional Steel Research*, 196, p.107417.
- Wang, X., Zhou, K., Mebarki, A., & Jiang, J. (2020). Numerical simulation of thermal response behavior of floating-roof tanks exposed to pool fire. *Applied thermal engineering*, 179, p.115692.
- Wu, Q., Zhang, B., Xu, C., Zhang, H., & Wang, C. (2022). Dense Oil Tank Detection and Classification via YOLOX-TR Network in Large-Scale SAR Images. *Remote Sensing*, 14(14), p.3246.
- Zinke, R., Köhler, F., Klippel, A., Krause, U., & Leitl, B. (2020). Emissions of volatile hydrocarbons from floating roof tanks and their local dispersion: Considerations for normal operation and in case of damage. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 66, p.104179.

## 以多元測地技術探討光電場建置與地下工程對聚落地

### 表變形之影響

蔡佩京<sup>1</sup> 景國恩<sup>2\*</sup>

論文收件日期：114.11.10

論文修改日期：114.12.22

論文接受日期：115.01.06

### 摘 要

不當的地下潛鑽工程常是造成地層下陷的其中一個原因，然而嘉義縣義竹鄉北華村自民國 112 年 3 月起，在聚落內道路與建物陸續出現的裂縫與傾斜，以及部分受損嚴重的結構物，卻暗示複雜的地表變形成因與機制。為釐清此成因，本研究整合透地雷達、RTK-GNSS 測量、連續傾斜計及干涉式合成孔徑雷達等多元測地資料，分析不同時期人為活動對地盤穩定之影響。在第一期聚落周邊光電場與聚落內潛鑽的施工中（112 年 1 月至 3 月），Sentinel-1A 升軌 InSAR 影像（111 年 12 月至 112 年 4 月）之視衛星方向（LOS）速度場顯示，光電場區的變形梯度最大，LOS 速度達 -9.5 cm/yr，較場區周邊高出約 -2 cm/yr。然而，透地雷達顯示地下潛鑽路段無外擴掏空現象，因此推測聚落地表出現拉張裂縫與傾斜變形之破壞成因，可能來自於光電場淺層抽水所造成之地層壓密。在第二期光電場之建置期間（112 年 11 月至 113 年 1 月），為驗證施工對地盤穩定之影響，本研究結合 InSAR 以及 7 個 RTK-GNSS 測點與 1 部連續傾斜計的資料來進行分析，RTK-GNSS 結果顯示光電場中心累積下陷量約 6 cm，邊緣則下陷約 3 至 5 cm，傾斜計在光電場施工前（112 年 5 月至 12 月），向南累積傾度約 90”，於施工抽水後兩週內，增幅約 21.6”。InSAR 結果（112 年 11 月至 113 年 2 月）顯示光電場範圍 LOS 速度達 -8 cm/yr，較周圍高約 -2 cm/yr，下陷中心與光電場施工區一致，證實光電場施工期間發生顯著淺層壓密。綜合兩期成果可知，光電場抽水造成淺層含水層孔壓驟降與地層壓密，潛鑽工程引發近場解壓與剪切破壞，兩者在時間與空間上產生疊加效應，最終導致聚落結構物裂損與傾斜。本研究建議未來於軟弱地層推動再生能源設施時，應同步考量地盤穩定性評估、抽水控制與即時監測系統之建置，以確保綠能開發與聚落安全能並行。

**關鍵字：**大地測量、光電場施工、地層下陷、聚落災害

<sup>1</sup> 博士生，國立成功大學測量及空間資訊學系

<sup>2\*</sup> 教授，國立成功大學測量及空間資訊學系，TEL：06-2757575 # 63840，E-mail: jingkuen@mail.ncku.edu.tw

# Analysis of Settlement Surface Deformation Induced by Photovoltaic Farm Construction and Underground Engineering Using Multi-Source Geodetic Techniques

Pei-Ching Tsai<sup>1</sup>, Kuo-En Ching<sup>2\*</sup>

## Abstract

Improper underground horizontal directional drilling (HDD) is often one of the causes of land subsidence. However, since March 2023, cracks and tilting have appeared in roads and buildings within Beihua Village, Yizhu Township, Chiayi County. Some structures have suffered severe damage, indicating that the surface deformation may involve more complex mechanisms. To clarify the causes, this study integrates multiple geodetic datasets, including ground-penetrating radar (GPR), RTK-GNSS surveys, continuous tiltmeters, and interferometric synthetic aperture radar (InSAR), to analyze the influence of anthropogenic activities on ground stability at different periods.

During the first phase of solar farm and HDD construction around the settlement (January–March 2023), Sentinel-1A ascending-track InSAR (December 2022–April 2023) revealed that the deformation gradient was greatest within the solar farm, with line-of-sight (LOS) velocities reaching -9.5 cm/yr, about -2 cm/yr greater than the surrounding area. GPR profiles showed no evidence of subsurface voids along the HDD route, suggesting that tensile cracks and surface tilting in the settlement were likely caused by shallow pumping-induced compaction beneath the solar farm.

During the second construction phase of the solar farm (November 2023–January 2024), InSAR, seven RTK-GNSS stations, and one continuous tiltmeter were used to evaluate the effects of construction on ground stability. The RTK-GNSS data indicated cumulative subsidence of approximately 6 cm at the center of the solar farm and 3–5 cm along its margins. The tiltmeter recorded a cumulative southward tilt of about 90" from May to December 2023, which increased by 21.6" within two weeks after pumping began. InSAR results (November 2023–February 2024) showed LOS velocities of up to -8 cm/yr within the solar farm, about -2 cm/yr higher than nearby areas with the maximum subsidence coinciding with the construction zone, confirming significant shallow compaction during the construction period.

---

<sup>1</sup> PHD student, Department of Geomatics, National Cheng Kung University

<sup>2\*</sup> Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University, TEL : 06-2757575 # 63840 · E-mail: jingkuen@mail.ncku.edu.tw

Synthesizing results from both phases, the study concludes that pumping at the solar farm induced a rapid drop in pore pressure and shallow compaction, while HDD activities triggered local stress release and shear failure. The temporal and spatial superposition of these effects ultimately led to cracking and tilting of settlement structures. This study recommends that future renewable energy developments in soft-sediment areas should incorporate ground-stability assessments, pumping control, and real-time monitoring systems to ensure the coexistence of sustainable green energy development and community safety.

**Keywords:** Geodesy, Land Subsidence, PV Farm Construction, Structural Damage

## 一、前言

自政府啟動能源轉型政策以來，將再生能源併網與電力基礎設施升級列為國家重點發展項目（包含大規模太陽光電設施的推動、電網強化與地下化工程布建）並積極推動漁電共生。由於地勢低平且土層鬆軟，再加上養殖業的頻繁抽水所導致的地層下陷，使得臺灣西南部沿海的地層下陷區成為光電設施開發的主要潛在風險區（Hsiao et al., 2021）。然而政府與開發業者常在此地規劃大規模地面型光電場，並配合地下電纜潛鑽施工與抽水整地作業，倘若在工程初期未充分評估當地地質條件，如水文、土層壓縮潛勢、含水層特性，且未建立適當監測機制，在施工期間或後續運行階段將可能引發淺層地層壓縮、不等量沉陷、拉張變形，進而對鄰近聚落、道路、管線與建築物安全構成潛在威脅。

北華村位於嘉義縣義竹鄉西緣，地勢低窪，長期以魚塢養殖為主要產業。自民國 112 年 3 月起，村內多處道路與建物陸續出現明顯裂縫與傾斜現象（圖 1、圖 2），部分區域的地面甚至產生高低落差，經現地查訪，發現村內主要幹道嘉 26 線自同年 2 月起即有一段地下電纜潛鑽工程正在施作，其鄰近區域亦確實出現較為嚴重的破壞情形（結構物與地面之裂縫可達 5 至 7 公分）；然而，令人關注的是，距離工程位置數十至數百公尺外的房屋也出現結構物與地面交界處張裂的情形，顯示變形範圍遠超過一般工程擾動所能影響的尺度（Fang et al., 2014；Hashash et al., 2011）。進一步調查發現，北華村北側 100 公尺處，有一面積大於整個聚落的地面型太陽光電場也正同時進行施工，現場存在長時間且高頻率的抽水作業，推測該活動可能導致淺層地層壓縮與地盤下陷（Powers et al., 2007）。由於光電場施工與地下電纜工程的時序高度重疊，兩者對地層穩定性的交互影響成為潛在關鍵因素。

基於上述背景，本研究針對嘉義縣義竹鄉北華村自民國 112 年 3 月起所發生之聚落破壞事件，進行多元測地資料之分析與交叉驗證。需特別指出的是，本研究之調查工作啟動於破壞事件發生之後，因此無法取得事前的背景監測資料，故本研究透過多時序干涉合成孔徑雷達技術（InSAR）與現地調查結果進行回溯性判釋與機制重建。在初期階段，研究團隊首先於現地執行地表破壞調查與透地雷達（GPR）測勘，以確認裂縫分布與地下結構完整性。接著利用 InSAR 回溯比對光電場及地下電纜施工前後的地表沉陷趨勢，本研究同時於地下電纜潛鑽工程核心區域的一處受損建築物上，設置連續式傾斜儀以監測地表傾斜隨時間變化。於 112 年 11 月底北華村東側另有第二期光電場工程啟動，使本研究得以觀測光電場施工對地表變形的直接影響。為掌握該施工期間之變形演化，本研究於光電場周邊布設 RTK-GNSS 監測網，並結合連續傾斜計與 InSAR 時序分析，建立因光電場施工導致地表變形的時空分布模型。

綜合上述多元監測成果，本研究旨在釐清北華村地盤變形的空間分布特性與主導控制機制，進一步評估再生能源設施施工對地層穩定與聚落安全之影響，並提出可作為後續綠能開發區域地質安全監測與風險管理之參考依據。

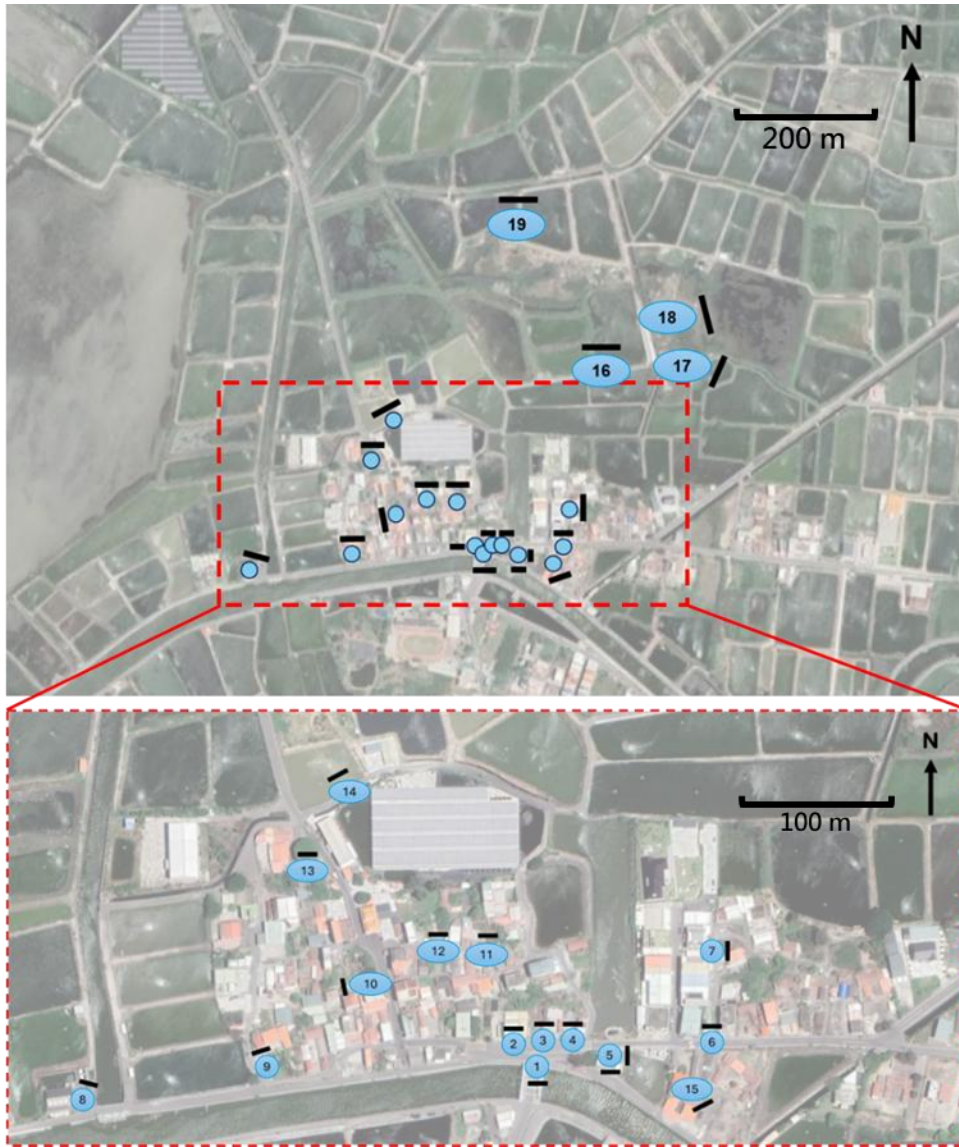


圖 1 嘉義縣義竹鄉北華村破裂分佈圖。藍色圓點表示為破裂位置；黑色粗線為破裂延伸方向。(圖資來源：Google Earth)



圖 2 嘉義縣義竹鄉北華村結構物破裂照片 (112/03/22 拍攝)。

## 二、區域背景與潛在影響因子

### (一)區域背景

嘉義縣沿海地區為經濟部水利署每年例行監測之地層下陷重點觀測區，根據水利署公告近三十年（民國 80 年至 113 年）嘉義縣地層下陷累積量分布圖（圖 3），可明顯看出沿海地區為沉陷幅度最為顯著的區域之一，雖然本研究區（圖 3 紅色星號）位於嚴重下陷區之邊緣，自民國 80 年至今之累積下陷量仍達約 1.1 公尺。根據本研究區域內水利署設置的長期監測水準點 CYWRA13 資料指出，自民國 100 年設置以來，於民國 105 年以前每年下陷速率約為 1 至 2 公分，105 年之後則增加至約 2 至 3 公分（水利署，2022），顯示區域沉陷速率有逐漸加劇的趨勢，歷年監測成果亦指出，年度降雨量與地層下陷量呈明顯負相關，雨量偏少之年份，因地下水補注不足而導致沉陷量明顯增加；反之，雨量充沛時下陷速率則略為減緩。

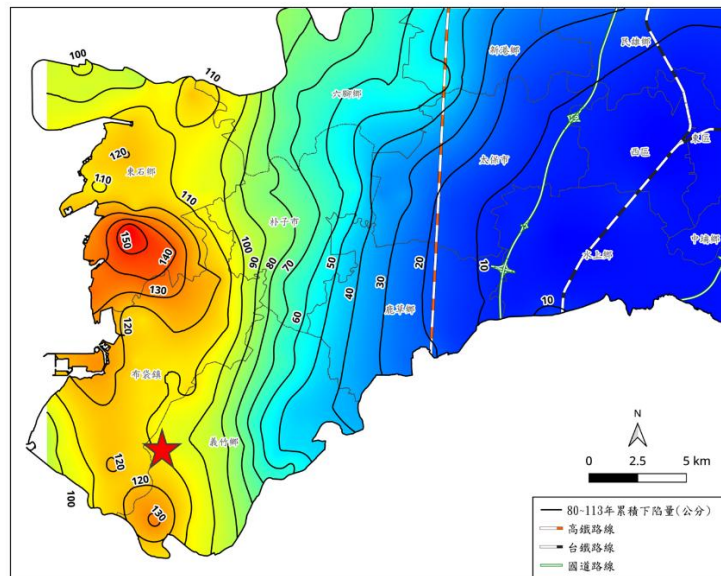


圖 3 民國 80 年至 113 年嘉義縣累積下陷圖。紅色星號表示為本研究區域位置。(資料來源：水利署地層下陷監測整合服務系統)

### (二)潛在影響因子分析

雖然造成結構物與地面間產生裂縫的原因相當多，但是考慮到這些破壞為民國 112 年 3 月起才被發現，且破壞是廣布於村落之中（圖 1），因此本研究首先排除單一結構物本身設計建造不當之疑慮，並考量村落受到的周遭環境變動之因素。

本研究推測此變動因素可能為 (1) 極端之溫差變化：由於近年來之氣候變遷，使得各地短時間的溫度變化跨度相當大，因此結構物與路面材質受到溫差影響造成的膨脹收縮行為，可能導致結構物與路面之間的裂縫；(2) 活動地質作用：臺灣會發生之地質作用有地震、斷層活動、土壤液化、邊坡滑動及火山等。當這些地質活

動發生時，伴隨的地表搖晃及不均勻變形，會因為結構物與地面所能承受的作用力強度不一致，進而導致結構物與路面產生裂縫；(3) 地盤沉陷：若結構物地基與路面下方的地層因挖掘或過度抽水等各種人為因素被掏空，則可能導致結構物地基與路面之不等量沉陷，造成結構物與路面之間的裂縫產生。

為檢視裂縫是否與極端氣溫變化有關，本研究蒐集中央氣象署嘉義縣近十年（民國 103 年至 113 年）月均溫資料進行比較（圖 4），結果顯示，本地在民國 112 年 2 至 3 月的氣溫變化並無異於往年，故排除溫差變化引致結構破壞的可能。此外，根據經濟部地質調查及礦業管理中心之活動斷層分布圖與土壤液化潛勢資料指出，北華村並無活動斷層通過，雖屬高液化潛勢區，但與周邊區域無顯著差異。中央氣象署資料亦顯示，民國 112 年 3 月期間本區未發生中大規模地震（圖 5），僅有花蓮規模 5.4 地震，該地震於義竹地區僅造成 2 級震度，不足以引發液化或結構損壞。

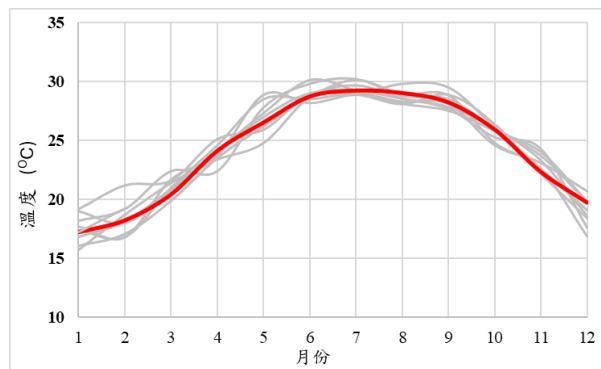


圖 4 民國 103 年至 113 年嘉義縣各月份氣溫分佈圖。紅色實線為民國 112 年度的氣溫變化線；灰色實線則為其他年份之氣溫變化線。（資料來源：中央氣象署）

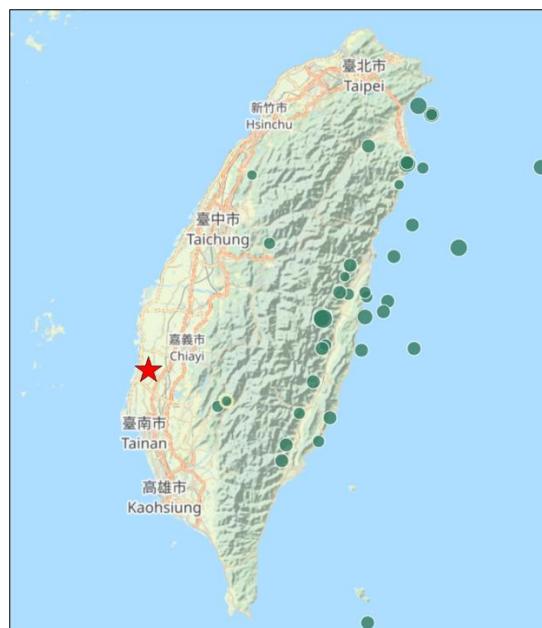


圖 5 民國 112 年 3 月份全臺有感地震分佈圖。紅色星號標示為北華村位置；綠色圓點則表示為有感地震之震央位置。（圖資來源：中央氣象署）

因此，在排除氣溫與地質活動兩項自然因素後，本研究推測造成村莊內多處結構物與地面產生裂縫之因素，極有可能為地盤沉陷所導致。然而地盤沉陷也有多種因素，在分析本研究區域的人文活動因子後，本研究總結三個導致本場域地盤沉陷的主要因素：(1)北華村位於嘉義縣沿海低窪區，當地居民以魚塭養殖為主要產業，地下水取用為長期維生之必要資源，因此地下水抽取與地層壓密為該區沉陷的重要長期背景因素。(2)行政院於民國 105 年通過綠能產業推動方案，設定民國 114 年再生能源發電占比達 20%之目標，其中太陽光電占比最高，為配合國家能源政策，嘉義沿海養殖區域廣泛推動「漁電共生」，魚塭土地大量租賃作為光電設置場域，北華村亦為推動光電設施之聚落之一。惟大面積光電場施工涉及抽水整地與基礎工程，若缺乏地層特性及水文條件評估，可能對地盤穩定造成影響。(3)此外，為配合政府能源轉型政策，在光電場建置後，需進行輸電系統與區域電網的銜接工程，採用地下電纜方式將電能輸送至主幹電網。該工程因採用潛鑽的工法通過村莊，因此在潛鑽的過程中也會出現短時間之地下空間擾動，尤其在軟弱含水層中，局部變形風險不容忽視。

### (三)地盤沉陷說明

本研究區之地理環境大致為(圖 6)，魚塭養殖區域在村莊外圍環繞，村莊聚落北側為光電場建置施工區，聚落中心為地下電纜潛鑽通過路徑。為探討不同人為活動於研究區域內之空間分布與其對地盤穩定之影響，本研究分別就魚塭養殖、光電場建置及地下電纜工程三項人為活動，說明其空間位置特徵與可能造成之地盤影響。

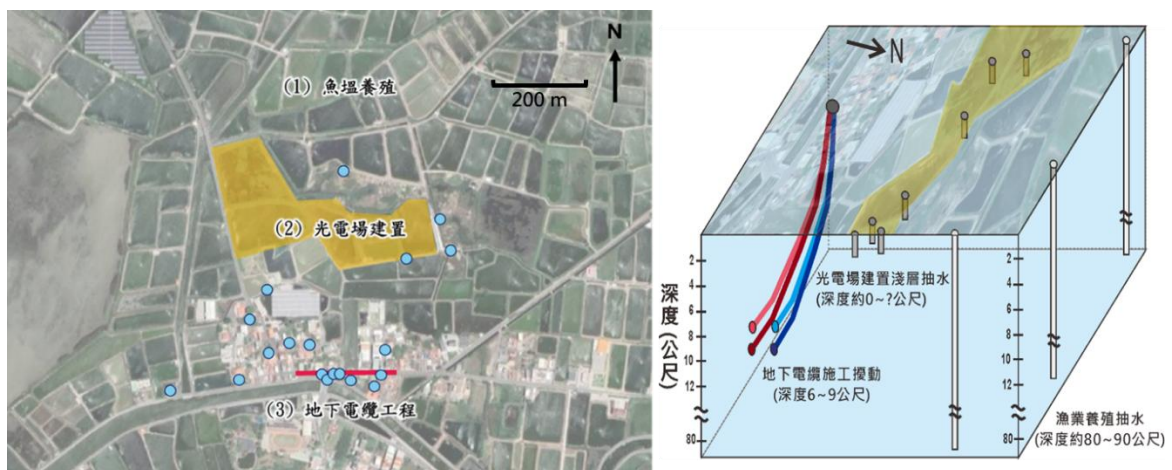


圖 6 民國 112 年 3 月近北華村之工程施作位置及各項可能因素影響深度示意圖。

(圖資來源：Google Earth)

## 1. 魚塭養殖

北華村位於嘉義縣沿海低窪地帶，主要產業為魚塭養殖，地下水取用為維持養殖作業之必要資源。調查結果顯示，當地以淡水養殖為主，主要取自深度約 80 至 90 公尺的深層地下水；少部分淡鹽水養殖則同時抽取約 10 公尺深之淺層水源。每年 2 至 3 月為魚蝦苗放養期，該時段地下水抽取量顯著增加，為年度抽水高峰期。然而，漁塭抽水行為為長期且穩定的產業活動，村莊產業結構近年亦無明顯變化。根據經濟部水利署長期地層下陷監測資料顯示，北華村每年於 2 至 3 月皆呈現穩定且可預期之下陷量，屬多年持續累積的背景沉陷現象。換言之，民國 112 年 2 至 3 月的抽水活動雖維持既有規模，但並非異常或突增事件，因此本研究排除魚塭養殖抽水為當次村莊裂縫與結構破壞的直接成因。

## 2. 光電場建置

在距離北華村聚落北側約 300 公尺處（圖 6，橘色多邊形範圍），設有一座面積約 60,000 平方公尺的地面型光電場。該工程於民國 112 年 1 月 30 日起開始進行整地施工，主要作業內容包括地基整平與立樁穩固。於軟弱且高含水量之地層條件下，為確保立樁施工期間之短期穩定性與施工可行性，工程實務上常需於施工期間採取淺層抽水或降水措施，以降低表層土壤含水量，使立樁範圍內地層接近不飽和狀態（Powers et al., 2007；Terracon Consultants-NY, Inc., 2020）。

根據民國 112 年 3 月 21 日所拍攝之現地影像（圖 7），可觀察到施工場域周圍並未設置排樁，且場區內密布管線，部分管線明顯將水排向鄰近大排與墓地。雖目前缺乏該場域抽水作業之具體紀錄，然綜合現場排水配置、施工期長度，以及立樁作業對表層地層條件之需求，可合理推測該光電場自 1 月 30 日至 3 月 21 日期間，主要針對表層至數公尺深度之土層進行持續性抽水作業。



圖 7 光電場施工時之現地抽水照片。

### 3. 地下電纜工程

自民國 112 年 2 月 2 日起，台灣電力公司輸變電工程處南區施工處於北華村村莊內施作「義竹－布袋線（第三工區）」土建工程，採潛鑽工法進行地下電纜管路施工（圖 6，紅色實線位置），本案路段位於嘉 29 線與嘉 26 線交會處，長度約 200 公尺，施工期間自 2 月 2 日至 3 月 16 日止，共完成四個管孔之潛鑽作業（圖 8）。其中第一與第二迴路深度約 6 至 7 公尺，第三與第四迴路則約 8 至 9 公尺，管孔直徑約 1 公尺。

本工程於導鑽、擴孔與修孔階段，均需移除部分地質材料，雖同時注入皂土穩定液以維持孔壁穩定、防止坍塌，但材料取出與孔內壓力變化仍可能對周圍地層造成短期擾動與孔隙壓變化(圖 9)。依據台電公司地質鑽探報告，本區表層為回填土，其下 6 公尺以內為 N 值介於 1.5 至 5 之間的粉質黏土層，屬典型軟弱地盤。該類地層具高含水量、高孔隙比與低強度等特性，易受擾動產生壓縮與變形。由於地層結構非均質且與地下水具高度連動性，即使潛鑽施工深度位於 6 公尺以下，仍可能因地層材料移除與壓力變化，導致上覆土層局部鬆動，進而引發地表沉陷或不等量變形的風險（王繼勝、李曜明，1999；吳家瑋，2005）。

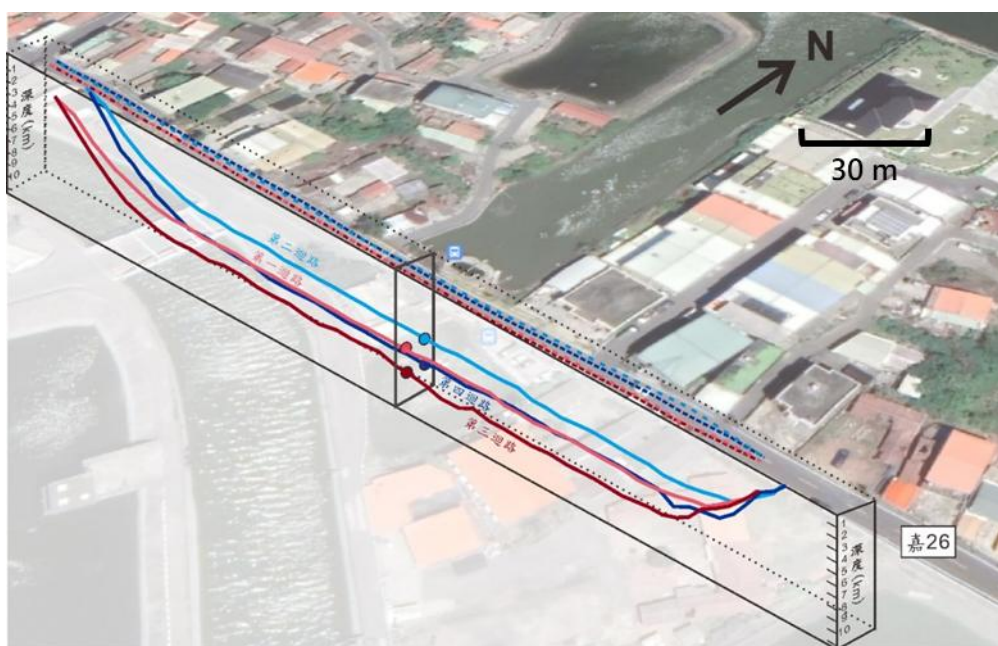


圖 8 台電地下電纜管線分布示意圖。(圖資來源：Google Earth)

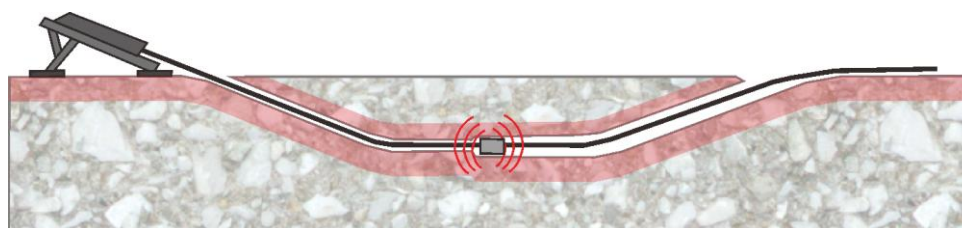


圖 9 潛鑽工法示意圖。紅色多邊形表示為可能受潛鑽擾動直接影響到的地層。

綜合以上分析，北華村地層於民國 112 年 2 至 3 月期間，可能同時承受三項人為活動的複合影響，包括魚塭養殖抽水、光電場建置期間之淺層抽水，以及地下電纜潛鑽施工造成之局部地層擾動（圖 6）。這三項活動在時間上高度重疊，空間位置亦彼此相鄰，對土層孔隙水壓及有效應力分布產生疊加效應，使得地盤變形具有多源性與非均勻性特徵。

地盤沉陷的幅度與範圍主要受壓縮層深度、壓密量值及地層性質控制，若壓縮作用集中於深層含水層，其地盤變形將呈現範圍廣、變形量小的緩沉型態；反之，若壓縮發生於淺層鬆軟土層，則沉陷範圍較侷限但幅度顯著，常伴隨高梯度的不等量變形（Pujades et al., 2017；Wang et al., 2025）。北華村地層以粉質黏土與飽和砂質層為主，含水量高、壓縮性大，極易對外界孔壓變化產生敏感反應，因此當多項工程行為於短期間內集中作用，可能造成局部地層超越先前的預壓密壓力，導致壓密速率加快並產生瞬時沉陷。

此外，根據地表形變理論與衛星雷達觀測結果顯示，當地層因抽水或壓密產生下陷時，地表不僅會發生垂直方向的沉陷，亦常伴隨指向下陷中心的水平向位移運動（Bawden et al., 2001；King et al., 2007；Wahr et al., 2013）（圖 10）。這類水平收斂運動若作用於具剛性差異的地表構造物（如道路、建築物基礎或管線），將容易引發拉張裂縫與剪切破壞。因此，本研究透過分析地表變形的範圍、方向與量級變化，結合 InSAR 與 RTK-GNSS 觀測資料，推估 112 年北華村聚落結構破壞之主要致因。

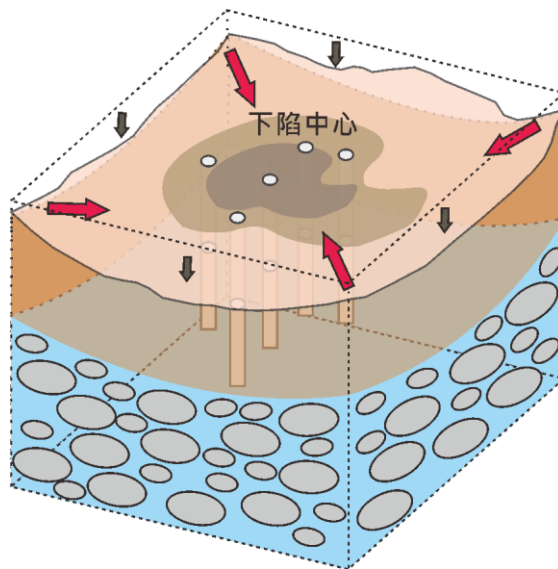


圖 10 地層下陷示意圖。紅色箭頭為水平位移方向；黑色箭頭為垂直位移方向。

### 三、研究資料與時期分析方法

為探討北華村於不同時期人為活動影響下之地盤變形特性，本研究建立多時期資料整合架構。研究工作區分為兩個階段：第一階段為 112 年 2 至 3 月村莊破壞事件之原因回溯分析，利用 InSAR 影像重建事件前後地表變形，並結合透地雷達與現地調查資料以判釋潛在破壞機制；第二階段為同年 11 月光電場再施工期間之持續監測，藉由 RTK-GNSS、連續傾斜計觀測與 InSAR 資料，進一步驗證光電場再施工對地盤穩定與聚落結構安全之影響。

#### (一)第一階段：事件發生後之回溯分析（112 年 2-3 月）

為釐清民國 112 年 3 月北華村聚落破壞之成因與地盤變形機制，本研究首先針對事件發生前後進行回溯性分析。該階段以 InSAR 時間序列影像為主要資料來源，重建村莊及其周邊區域之地表變形分布，並輔以透地雷達 (GPR) 與現地踏勘資料，檢核破壞位置與地層間之對應關係，InSAR 資料的時段涵蓋破壞發生前後兩個月，藉此觀察施工活動與地表沉陷的時空變化；GPR 探測則針對主要裂縫與道路破壞區域實施，以辨識淺層鬆動層或空洞分布。綜合多元資料結果，建立事件初期地盤變形之時空分布基礎，作為後續持續監測與機制推論之比較基準。

##### 1. InSAR 影像解算與結果分析

本研究使用歐盟 Sentinel 1A 衛星自 111 年 12 月 15 日至 112 年 4 月 2 日的連續升軌影像 (圖 11, 左圖)，共 10 幅，採以 ISCE 進行影像解算，得測區內於結構物損壞事件前後之地表變位趨勢。

雷達干涉影像成果以視衛星方向 (Line of Sight, LOS) 的速度變化呈現 (圖 11 右)，本研究選取義竹工業區內之一穩定點位作為參考點 (圖 11 右)，作為區域變形判釋之基準。結果指出，參考點以西區域之 LOS 速度普遍呈現負值，表示在每一次 Sentinel-1A 衛星通過量測時，該區地表在視線方向上逐漸遠離雷達，可解釋為垂直沉陷或東向之水平位移。進一步將範圍縮小至本案場址所在區域 (圖 12, 左上角嵌圖紅色方框範圍)，可見北華村及其周邊的 LOS 速度約 -5 至 -12 cm/yr，顯示該區在分析期間存在明顯的下沉。事件發生時間 (112 年 2 至 3 月) 恰橫跨年度枯水期與養殖漁業抽水高峰期，在此期間地表運動以持續沉陷為主，其時空分布特徵與經濟部水利署長期地層下陷監測成果相互吻合，顯示北華村位處之嘉義沿海沉陷帶背景條件清楚。

然而，本研究除需掌握區域尺度的大地變形型態外，亦須進一步解析場址內部不同位置之變形梯度與空間變化趨勢；因此，針對主要測區 (圖 12)，沿村莊與光電場、地下電纜路線配置關係，選取三條南北向剖面 (AA'、BB'、CC') 及一條東西向剖面 (DD')，以檢視場址內 LOS 速度之沿線變化 (圖 13)。各剖面速度變化說明如下：

- (1) 南北向剖面 AA' (圖 13 A 剖面) 為北華村村落西側，北起嘉 29 鄉道與溪墘大排水交會點南側約 500 公尺，南至新店村漁塭養殖區，LOS 速度顯示

在北華村之速度約-7 至-9 cm/yr，而在跨過剖面 1 公里位置後，則漸增至-12 cm/yr，而剖面 1.00 至 1.25 公里處以進入新店村之漁塭養殖區，同前段所述，因已進入漁塭養殖的抽水期，因此可能受其影響，有較顯著的 LOS 速度變化；

- (2) 南北向剖面 BB'（圖 13 B 剖面）為橫跨北華村村落中心的剖面，由北至南行經第一期光電場建置場址-村落-地下電纜施工路線-北新橋-新店村村落，整條剖面的 LOS 速度分部落在-6 至-8 cm/yr 之監，然在剖面 0.45 至 0.65 公里處出現了顯著的速度落差帶，LOS 速度遽增到-9.0 至-9.5 cm/yr，與南北側有約 2.0 至 2.5 cm/yr 的 LOS 速度差，而該位置恰橫跨光電場建置場址；
- (3) 南北向剖面 CC'（圖 13 C 剖面）為北華村村落東側，在剖面起點往南 0.25 公里跨過溪墘大排水後，LOS 速度由-5.5 cm/yr 增加至-8.0 cm/yr，因進入了整段的漁塭區，同 AA' 所述，因已進入漁塭養殖的抽水期，因此整段可能受其影響，有較大的 LOS 速度呈現；
- (4) 東西向剖面 DD'（圖 13 D 剖面）橫切過北華村落，該剖面的 LOS 速度約為 7.5 cm/yr，而在剖面 0.4 至 0.5 公里處有顯著的速度落差帶，LOS 速度遽增到-9.0 至-9.5 cm/yr，與東西側有約 1.5 至 2.0 cm/yr 的 LOS 速度差，而該位置恰橫跨第一期光電場建置場址。

綜合剖面 A、B、C 與 D 之分析結果可知，第一期光電場建置區域的 LOS 速度變化幅度明顯高於鄰近區域，顯示該區於分析期間呈現相對集中的沉陷現象。此結果不僅與光電場施工期間之抽水與整地作業時序相符，推論光電場範圍內之地層壓縮與含水層變動為造成局部快速沉陷的主要控制因素。

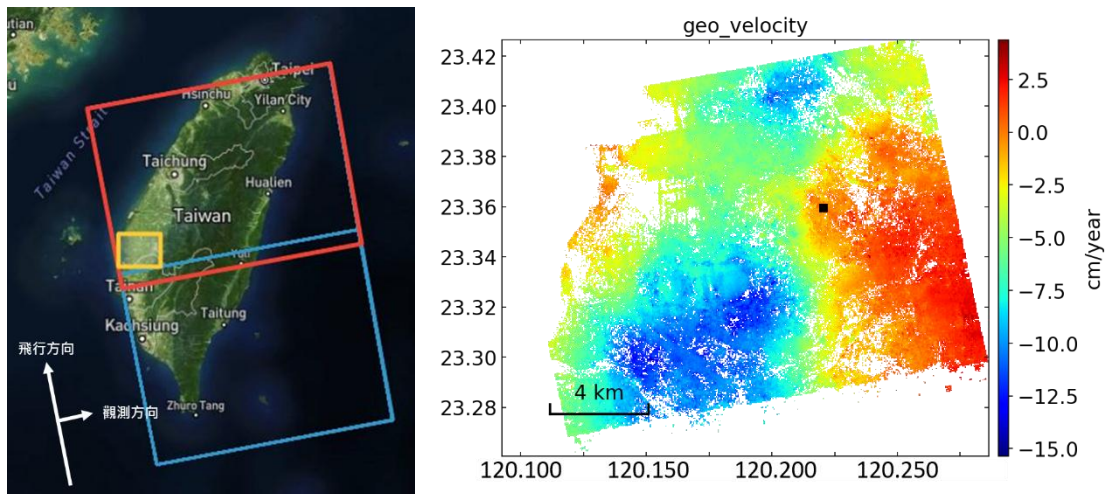


圖 11 Fram74 雷達干涉影像(紅色方框)及黃框範圍內之視衛星方向速度場(cm/yr)。  
黃框為本研究自 Frame74 影像截取使用之範圍；黑色方框為此雷達干涉影像選用之參考點(義竹工業區)。

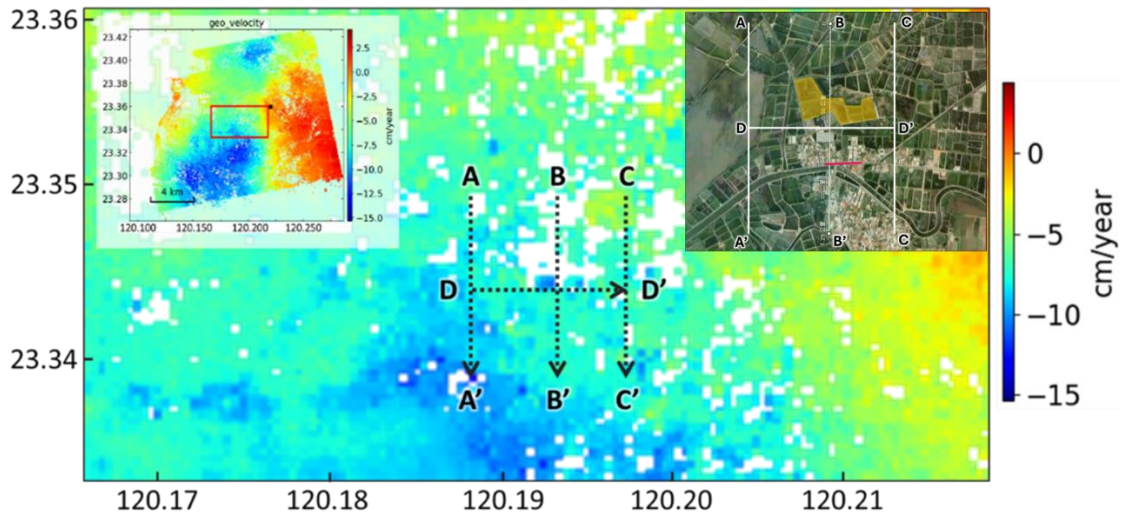


圖 12 本研究範圍之雷達干涉影像視衛星方向速度場 (cm/yr) (第一期光電場建置)。  
於範圍內切了三個南北向剖面：A、B、C 剖面，及一個東西向剖面：D 剖面。  
(圖資來源：Google Earth)

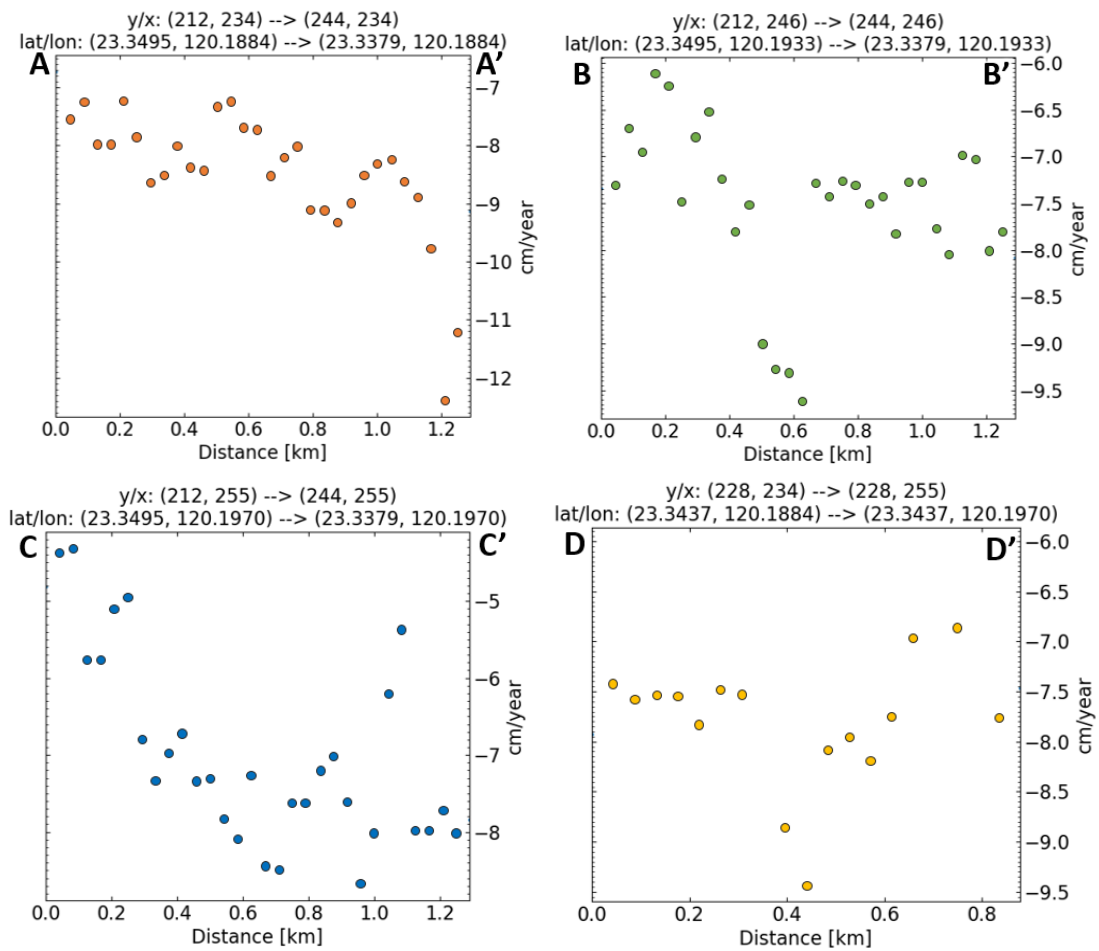


圖 13 雷達干涉影像視衛星方向速度剖面圖 (cm/yr) (第一期光電場建置)。



### 3. 小結

綜合 InSAR 與 GPR 兩項成果的分析，結果顯示光電場範圍內沉陷速率明顯高於鄰近地區，且未見地下電纜工程有外擴掏空或異常空洞現象，再結合現地調查資料（圖 1）記錄到的破壞範圍，推論北華村的破壞主要為區域性沉陷背景下，可能因光電場施工抽水及地層壓縮所誘發之局部不均勻沉陷。

#### (二)第二階段：再施工期間之監測分析（112 年 11 月以後）

為進一步驗證光電場再施工對地盤穩定與聚落結構安全之影響，本研究於民國 112 年 11 月底光電場第二期工程開工前，建立監測網進行持續觀測，監測系統主要包括 RTK-GNSS 測量點與連續式傾斜計，分別佈設於新建置光電場周邊與村莊內受前次破壞顯著的建築物上，並同步蒐集該期間的 InSAR 影像以了解地表的時空變化。此階段觀測之目的，在於即時掌握施工期間地表的變化趨勢，評估地表回穩或再沉陷現象是否與前期破壞事件具一致性，並藉由多元資料的交叉比對，提高監測結果之可靠度與解釋性。

##### 1. RTK-GNSS 測量

由於地下水抽取會導致地層下陷的發生，而地表除垂直下陷外亦伴隨著往下陷中心的水平位移，因此通過對沉陷區的完整地表變形監測，即可掌握地盤沉陷參數。然而民國 112 年 2 至 3 月間之光電場抽水活動，由於該光電場建置時並無監測資料以了解光電場的抽水活動對地表可能造成的影響，因此本研究於民國 112 年 11 月下旬光電場第二期施工前，於場址周邊佈設 7 個 RTK-GNSS 測量點（圖 16），並於 112 年 12 月 1 日至 113 年 1 月 7 日期間進行 6 次重複量測（圖 17）。監測結果顯示，各測點皆可觀察到不同程度的位移與週期性特徵。其中，SD01 位於推測抽水中心區，在觀測期間累積最大下陷量約 6 公分，下陷趨勢穩定且無明顯週期性訊號；SD02 至 SD06 則呈現 3 至 5 公分不等的下陷，伴隨明顯週期性訊號；SD07 位於後鎮大排以北，主要表現為週期性訊號，未見顯著沉陷。整體而言，RTK-GNSS 觀測顯示光電場施工區域內地表變形具局部集中特性，沉陷中心與推測之抽水範圍一致。

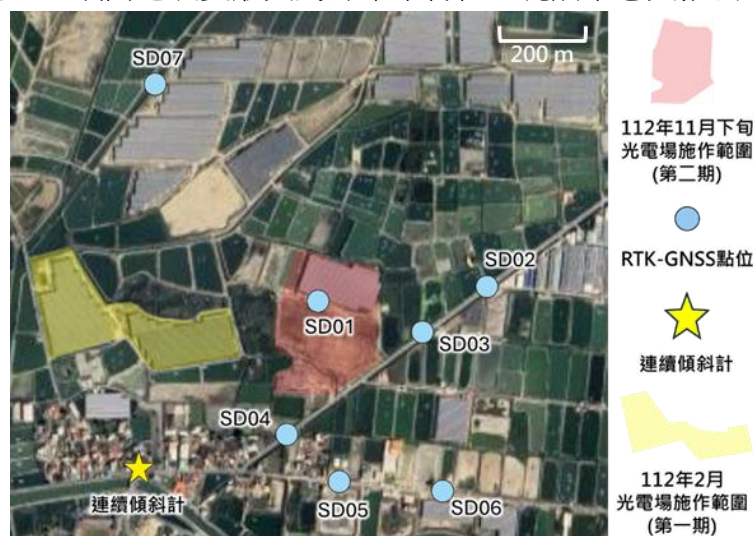


圖 16 光電抽水監測設備分布圖。

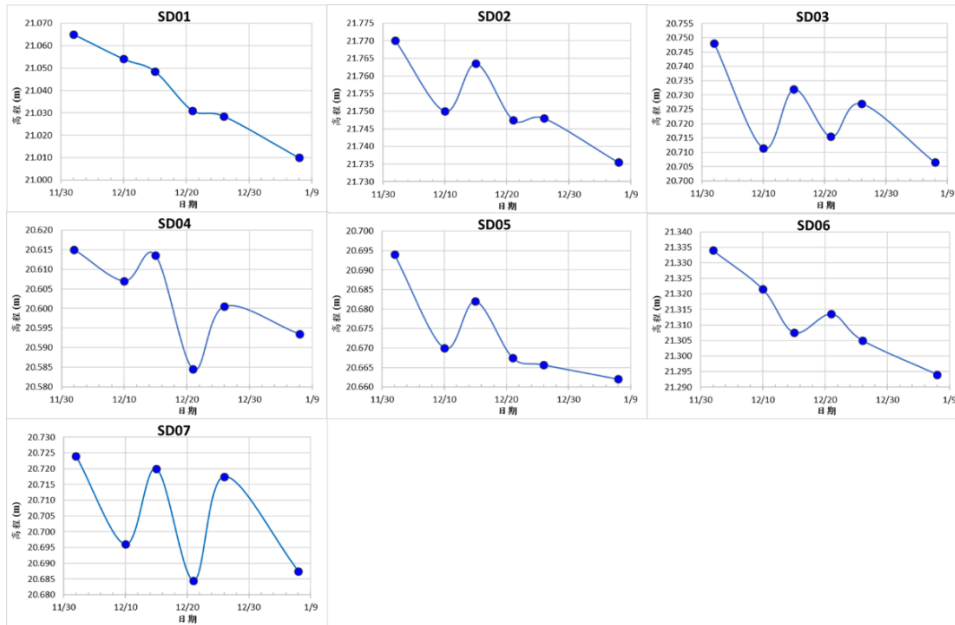


圖 17 RTK 測量點位時序圖。

## 2. 連續傾斜計資料分析

村莊內的連續式傾斜計，於民國 112 年 5 月 15 日架設於一與地面有顯著裂痕之結構物牆面上（圖 18），其南北向的傾度變化較東西向顯著，整體往南南東方向傾斜，該結構物往南傾斜增加，其表現出了非線性段的趨緩趨勢，即受前次的破壞後已漸趨穩定；自架設後至同年度 12 月 15 日為止，有往南約 90.0 秒的傾度變化，然該趨緩趨勢在觀察到光電場抽水的兩、三週後，有顯著之傾度落差產生，7 天內往南約 21.6 秒之傾度變化（12/17 至 12/22）。另可留意到該結構物亦受 113 年 04 月 03 日花蓮地震之影響，即該結構物在受損後出現傾斜情形，雖於一段時間內呈現穩定狀態，惟在地震或其他外界擾動作用下，仍容易再次發生顯著的傾斜變化。

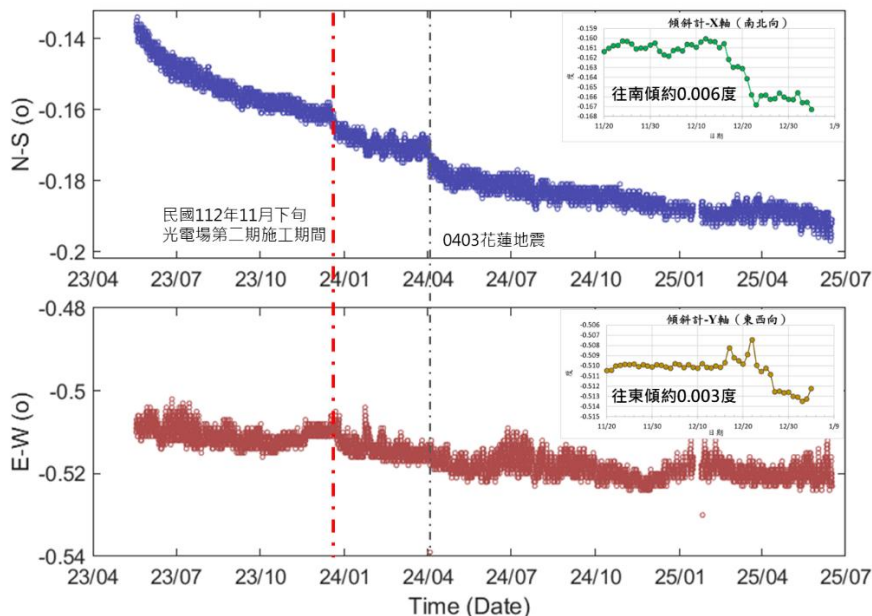


圖 18 連續傾斜計時間序列圖。監測時間段為民國 112 年 5 月 15 日至民國 113 年 9 月 15 日。

### 3. InSAR 影像解算與結果分析

第二期光電場自 112 年 11 月下旬開始建置，使用 10 幅歐盟 Sentinel 1A 衛星自 112 年 11 月 4 日至 113 年 2 月 20 日的連續升軌影像，同樣採用 ISCE 進行影像解算，獲得光電場建置期間之地表變位。

同第一期光電場之方式，解析研究範圍內不同位置之變形梯度與空間變化趨勢；因此，針對主要測區（圖 19），沿第二期光電場範圍，選取三條南北向剖面（AA'、BB'、CC'）及一條東西向剖面（DD'），以檢視 LOS 速度之沿線變化（圖 20）。各剖面速度變化說明如下：

- (1) 南北向剖面 AA'（圖 20 A 剖面）為光電場西側邊緣，同圖 12 之 B 剖面，沿線 LOS 速度由北向南逐漸增加，約由-2 cm/yr 增加至-6 cm/yr；
- (2) 南北向剖面 BB'（圖 20 B 剖面）為橫跨光電場中心位置，為本次分析的主要變形剖面。沿線 LOS 速度介於-3 至-8 cm/yr，其中約在 0.6 公里處出現沉陷速率突增區，沉陷速率達-7.8 cm/yr，明顯高於兩側區域約 2 至 3 cm/yr。該變形集中區對應光電場主要抽水與立樁作業範圍，顯示該處為地層壓縮最為顯著之區域；
- (3) 南北向剖面 CC'（圖 20 C 剖面）位於光電場東緣，LOS 速度約介於-2 至-7 cm/yr，整體呈現由北向南遞增之趨勢，變形幅度略小於場區中央，且未出現明顯的局部集中沉陷現象；
- (4) 東西向剖面 DD'（圖 20 D 剖面）切穿光電場核心區。沿線 LOS 速度約介於-3 至-8 cm/yr，於距離約 0.4 至 0.5 公里處出現沉陷速率梯度突變，變形量遽增約 2 cm/yr，該位置與第二期光電場主要施工位置相符。

綜合剖面 AA'、BB'、CC' 與 DD' 之分析結果可知，第二期光電場範圍內之沉陷速率整體介於-2 至-6 cm/yr，並在場區中央形成局部高沉陷帶，沉陷約-8 cm/yr，該位置與第二期光電場施工位置一致，顯示短期人為擾動為該範圍地表變形的主要控制因子；相較於第一期光電場結果，沉陷範圍略為縮小，惟施工區之沉陷幅度仍為顯著。

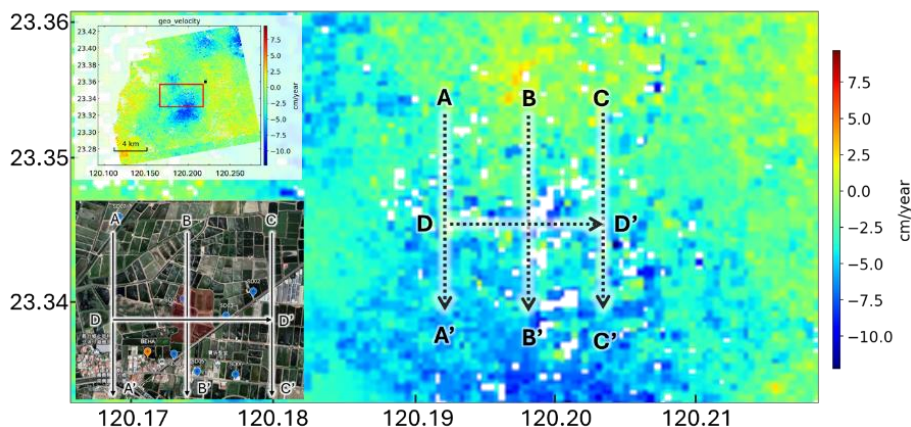


圖 19 本研究範圍之雷達干涉影像視衛星方向速度場 (cm/yr) (第二期光電場建置)。於範圍內切了三個南北向剖面：A、B、C 剖面，及一個東西向剖面：D 剖面。（圖資來源：Google Earth）

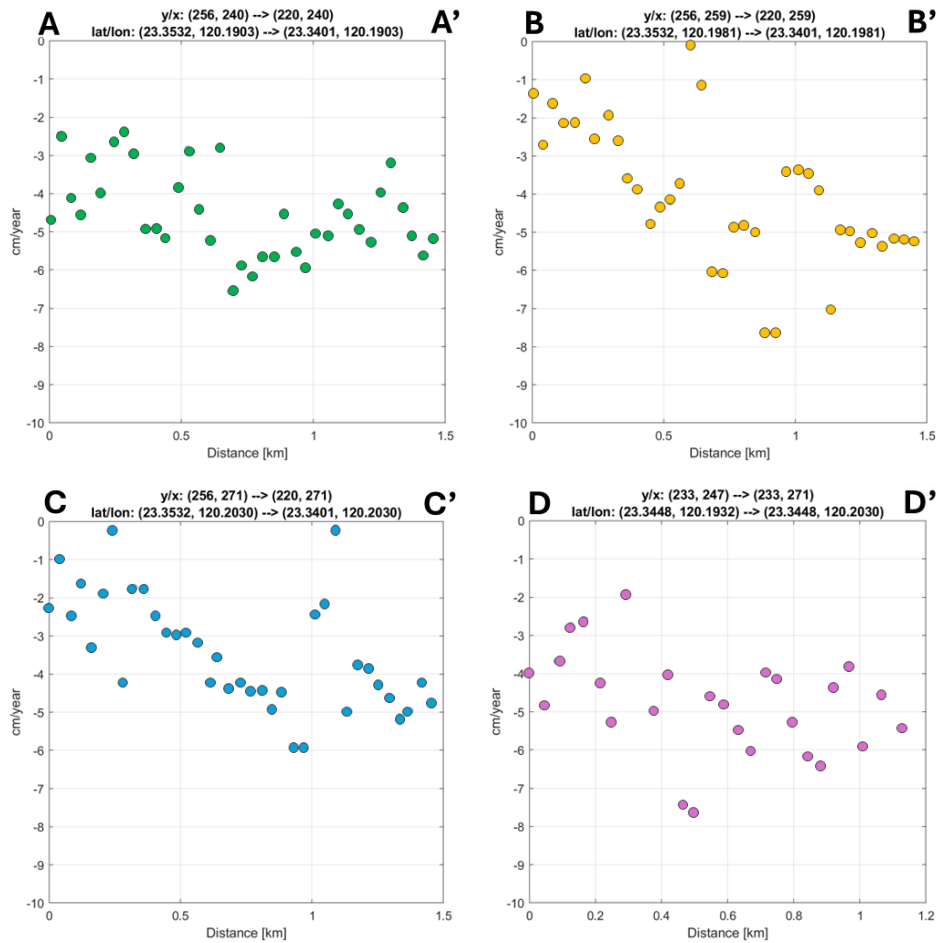


圖 20 雷達干涉影像視衛星方向速度剖面圖 (cm/yr) (第二期光電場建置)。

#### 4. 小結

第二階段之多元監測成果顯示，光電場再施工期間地層受人為活動有顯著的影響。RTK-GNSS 量測結果指出，第二期光電場施工後場區中心即出現局部沉陷集中現象，最大下陷量達約 6 公分，顯示抽水行為對地盤穩定性具直接影響；而連續傾斜計監測則記錄到第二期光電場抽水兩至三週後，村莊內之建物出現短時間內顯著的傾度變化，反映地層擾動之即時反應；InSAR 影像分析進一步驗證，第二期光電場施作期間，北華村之沉陷速率整體介於-2 至-8 cm/yr，而於光電場範圍內有高沉陷帶，約-8 cm/yr。整體而言，光電場再施工期間之地表變形仍以局部壓密型沉陷為主，範圍雖較第一期略小，但其空間分布與施工活動仍呈高度對應。

#### 四、研究結果與討論

藉由 InSAR、RTK-GNSS 分析兩期光電場建置期間北華村的地表變形，皆獲得於光電場建置區域有較高的 LOS 速度量值，即有較大的沉陷產生；兩期光電場建置期間，光電場範圍內之沉陷速率明顯高於周邊區域約 1.5 至 2 cm/yr，呈現局部壓密型沉陷分布，此現象顯示光電場施工期間短期、大量的抽水行為造成含水層孔隙壓降低，使飽和粉質黏土層發生快速壓縮，進而引發地層下陷。

連續式傾斜計於民國 112 年 3 月起所發生之聚落破壞事件後設置，監測結果顯示，村莊核心區建物傾度自架設以來整體呈南南東方向傾斜，自建置開始至第二期光電場建置前傾角變化約 90”，顯示建物（地層）已趨於穩定。然而，第二期光電場始整地抽水後的兩至三週內，傾斜計紀錄了顯著的瞬變反應，於 7 天內該建物往南傾斜增加 21.6”，此短期傾斜變化與光電場抽水期高度一致，反映地層壓縮引發的地表拉張現象具延展性，而使得數百公尺外的聚落區域亦被影響。傾斜計與 RTK-GNSS 的時序比對結果顯示，光電場沉陷中心之下陷行為與聚落傾斜變化呈高度對應關係，兩者變化時間差 1 至 2 週，此結果驗證，當光電場區域因抽水產生快速壓縮時，周邊地層將以拉張與傾斜的方式釋放應力，導致聚落建物產生傾斜或裂縫擴展。

綜合 InSAR、RTK-GNSS 與傾斜計等多元監測結果，可歸納出北華村地盤變形的主要控制機制如下：

- (一)淺層抽水誘發壓密沉陷：光電場施工期間為確保立樁穩定，於淺層深度進行持續抽水，導致上部土層含水量驟降，孔隙壓降低並產生快速壓密沉陷。
- (二)地層下陷造成拉張變形：沉陷中心形成後，周邊地層向中心收斂，造成地層拉張，聚落區結構物與地面接縫始產生破裂。
- (三)潛鑽工程引致近場擾動：地下電纜施工期間，潛鑽工法移除地質材料並改變孔隙壓，於施工路線附近引發局部沉陷與剪切破壞。
- (四)複合效應加大破壞情事：由於光電場施工與潛鑽工程時間重疊，使地層孔壓變化在時間與空間上產生疊加效應，進而導致了於潛鑽工程施工路線旁有較顯著的災損產生。

因此，北華村之聚落破壞屬於短期高強度人為活動於長期沉陷背景下的「疊加效應」。若以地層變形角度，光電場抽水行為造成之垂直沉陷量雖屬局部反映，然而兩期光電場之建置範圍遠大於村落的面積，並且第一期光電場的建置僅在村莊中心正北側約 300 公尺處，其引起的水平拉張效應確已足以造成聚落結構物與地面的開裂亦或變形，進而引發後續更為顯著的災損產生。

## 五、結論與建議

本研究結果顯示，北華村聚落破壞事件並非單一工程所致，而是光電場大規模抽水與地下潛鑽工程於同期間施作之複合效應所引起。光電場施工面積遠大於聚落本體，其長時間的連續抽水行為造成淺層含水層顯著壓密，導致廣域地層下陷與張裂；潛鑽工程則使已受張力影響之地層發生瞬時解壓，加劇局部破壞。此現象揭示，各項工程建置若忽略地質敏感性，即可能對聚落地盤穩定造成重大潛在風險。

本研究建立之多元監測架構可有效揭示地層變形之多尺度特性：InSAR 提供廣域沉陷分布與變形梯度判釋；RTK-GNSS 量測可定量描述局部沉陷幅度與時序變化；連續傾斜計則提供即時監測，反映地層擾動對結構物之影響。藉由多元資料相互驗證，可有效區分自然背景沉陷與人為擾動效應，並提升變形機制判釋之可靠度。

現行光電場建置相關之法規與審查制度，其規範多著重於用地合法性、結構安全與行政程序，對於施工期間之抽水行為、地盤穩定性評估及即時監測，尚缺乏具體且量化之要求。以本研究案為例，光電場施工期間之淺層抽水行為，雖未違反既有法規，卻在軟弱地層背景下誘發顯著之局部壓密沉陷，並透過水平拉張效應影響數百公尺外之聚落結構安全，顯示現行制度在「施工期地盤影響評估」與「跨工程行為之累積效應考量」上仍有不足，使得於施工期間或施工後若發生地盤變形或結構物損害時，相關影響之責任歸屬、損害成因判釋與補救依據不易釐清。

未來光電場或地下設施工程於軟弱地層區施工時，如無法遠離聚落，則建議應採取分區、分期、分層抽水控制策略，並於光電場建置期間建立監測系統，以即時掌握地層變形趨勢。在推動再生能源設施之同時，應同步考量地層敏感性與水文條件，建立施工期環境監測與地盤保護規範，確保綠能發展與地層安全並行，並保障居民之生存環境永續與基礎設施安全。

## 參考文獻

- 王繼勝, 李曜明, 1999, 軟弱地層地質改良對深開挖工程之影響工程案例探討, 《地工技術》, 第 75 期, 頁 15-28。
- 台灣電力股份有限公司輸變電工程處南區施工處, 2023, 《義竹~布袋線(第三工區) 土建工程-地質鑽探報告書》。
- 吳家瑋, 2005, 《黏土層中潛盾鑽掘引致之地表沉陷》, 國立台灣大學工學院土木工程學研究所碩士論文。
- 國立成功大學, 2022, 《臺北、苗栗、臺中、嘉義與屏東地區地層下陷監測及分析》, 經濟部水利署。
- Bawden, G. W., W. Thatcher, R. S. Stein, K. W. Hundnut, and G. Peltzer, 2001, Tectonic contraction across Los Angeles after removal of groundwater pumping effects, *Nature*, 412, pp.812-815.
- Chang, C. P., K. S. Chen, C. T. Wang, J. Y. Yen, T. Y. Chang, and C. W. Lin, 2004, Application of space-borne radar interferometry on crustal deformations in Taiwan: A perspective from the nature of events, *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15(3), pp.523-543.
- Fang, Y. S., C. T. Wu, S. F. Chen, and C. Liu, 2014, An estimation of subsurface settlement due to shield tunneling, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 44, pp.121-129.
- Hashash, Y., and J. Javier, 2011, *Evaluation of Horizontal Directional Drilling (HDD)*, Civil Engineering Studies, Illinois Center for Transportation, Series No. 11-095, UILU-ENG-2011-2021, ISSN: 0197-9191.
- Hsiao, Y. J., J. L. Chen, and C. T. Hung, 2021, What are the challenges and opportunities in implementing Taiwan's aquavoltaics policy? A roadmap for achieving symbiosis between small-scale aquaculture and photovoltaics, *Energy Policy*, 153.
- King, N.E., D. Argus, J. Langbein, D. C. Agnew, G. Bawden, R. S. Dollar, Z. Liu, D. Galloway, E. Reichard, A. Yong, F. H. Webb, Y. Bock, K. Stark, and D. Barseghian, 2007, Space geodetic observation of expansion of the San Gabriel Valley, California, aquifer system, during heavy rainfall in winter 2004–2005, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 112, B03409.
- Powers, J. P., A. B. Corwin, Paul C. Schemall, and W. E. Kaeck, 2007, *Construction Dewatering and Groundwater Control: New Methods and Applications*, 3rd Edition, Wiley & Sons, Inc. ISBN: 978-0-471-47943-7.
- Pujades, E., S. D. Simone, J. Carrera, E. Vázquez-Suñé, and A. Jurado, 2017, Settlements around pumping wells: Analysis of influential factors and a simple calculation procedure, *Journal of Hydrology*, 548, pp.225-236.
- Terracon Consultants-NY, Inc., 2020, *Preliminary geotechnical engineering report: Cider*

*Solar Site, Genesee County, New York (Terracon Project No. J5205161)*, Report prepared for Stantec.

Wahr, J., S.A. Khan, T. Dam, L. Liu, J. H. Angelen, M.R. Broeke, and C. M. Meertens, 2013, The use of GPS horizontals for loading studies,with applications to northern California and southeast Greenland, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: SOLID EARTH*, 118, pp.1795-1806.

Wang, S., W. Wang, Z. Xu, Q. Song, and Qian, J., 2025, Field Pumping and Recharge Test Study for Confined Aquifers in Super-Large Deep Foundation Pit Group Sites, *Buildings*, 15(8), p.1383. <https://doi.org/10.3390/buildings15081383>.



# 使用 QGIS 開發地籍圖資加值應用外掛程式 之實作驗證

陳宏榮<sup>1\*</sup> 吳相忠<sup>2</sup> 陳淑美<sup>3</sup>

論文收件日期：114.12.05

論文修改日期：115.01.21

論文接受日期：115.01.26

## 摘要

隨著地理資訊系統(GIS)技術的持續發展,開放原始碼且具跨平台特性的 QGIS 展現出高度可擴充性及友善介面,逐漸成為地籍圖資應用的新興工具。目前地籍測量之地籍圖如要轉至 GIS 系統,地政單位雖提供多種工具可轉出 SHP 檔或 DXF 檔,惟此類檔案轉入 GIS 系統常有失真情形。為因應地籍測量的實務需求,本研究旨在探討於 QGIS 環境中結合 Python 開發地籍外掛程式的可行性與成效,並聚焦於地籍圖資匯入、查詢、計算與分析等核心功能之應用。

本研究共開發 3 組 QGIS 外掛程式,合計 14 項功能模組。「cad\_import 外掛程式」負責匯入地籍圖與相關界址點、圖根點、相片、地籍調查表、土地所有權人及他項權利人等資料,並保留正確的圓弧曲線與地中地結構;「cad\_calculate 外掛程式」提供地號面積與公差計算、差異比對,以及整合的視覺化分析與查詢功能;「cad\_survey 外掛程式」則支援光線法 MAC 檔與現況點 CNT 格式資料之展繪、現況點至地籍線最短距離計算、利用數值高程模型(DEM)對觀測距離(OBS 檔)進行歸化至平均海水面、網形平差成果圖繪製及三參數坐標轉換等相關功能。

研究結果顯示,透過客製化 QGIS 外掛程式可有效簡化地籍測量作業流程,突破傳統由政府機關開發之制式系統的限制,並展現 GIS 在地籍測量應用中的高度彈性與開發程式潛力。本研究不僅為地籍測量提供可行的開放原始碼解決方案,且具實務推廣及後續系統擴充之價值。

**關鍵字：**QGIS外掛程式、地中地、地籍測量、空間資料分析、數值高程模型  
(DEM)

---

<sup>1</sup> 技正,測量科,臺南市政府地政局

<sup>2</sup> 專門委員,臺南市政府地政局

<sup>3</sup> 局長,臺南市政府地政局

通訊作者, [TEL:\(06\)2991111#1231](tel:062991111#1231), [E-mail:hungjung@mail.tainan.gov.tw](mailto:hungjung@mail.tainan.gov.tw)

# Development and Validation of a QGIS Plugin for Extended Cadastral Data Applications

Hung-Jung Chen<sup>1\*</sup>, Hsiang-Chung Wu<sup>2</sup>, Shu-Mei Chen<sup>3</sup>

## Abstract

With the continuous development of Geographic Information Systems (GIS), the open-source and cross-platform QGIS has demonstrated high extensibility and a user-friendly interface, and is increasingly recognized as a tool for cadastral data applications. In current cadastral surveying practice, although land administration agencies provide tools to export cadastral maps as SHP or DXF files for GIS integration, these conversions often result in geometric distortions. To address these practical challenges, this study investigates the feasibility and applicability of developing custom Python-based cadastral plugins for QGIS, focusing on core functions such as data import, query, computation, and analysis.

Three QGIS plugins were developed, comprising 14 functional modules. The `cad_import` plugin manages the import of cadastral maps along with boundary points, control points, photographs, cadastral survey forms, landowners, and other rights holders, while preserving precise circular arcs and Enclave parcel (land-within-land) structures. The `cad_calculate` plugin provides parcel area and tolerance calculations, discrepancy comparison, and integrated visualization and query functions. The `cad_survey` plugin supports radiation method MAC files and surveyed points in CNT format, computes shortest distances from surveyed points to cadastral boundaries, reduces observed distances (OBS files) to mean sea level using Digital Elevation Models (DEM), generates network adjustment plots, and performs three-parameter coordinate transformations.

The results indicate that custom QGIS plugins can effectively streamline cadastral surveying workflows, overcome the limitations of conventional government-developed systems, and highlight the adaptability and extensibility of GIS in cadastral applications. This study not only provides a feasible open-source solution for cadastral surveying but also offers practical value for wider adoption and future system expansion.

**Keywords:** Cadastral surveying, Digital Elevation Model (DEM), Enclave parcel, QGIS plugin, Spatial data analysis

---

<sup>1</sup> Technical Specialist, Land Surveying Section, Bureau of Land Administration, Tainan City Government

<sup>2</sup> Senior Specialist, Bureau of Land Administration, Tainan City Government

<sup>3</sup> Commissioner, Bureau of Land Administration, Tainan City Government

\*Corresponding author, Tel:+886-6-2991111 ext.1231, E-mail:hungjung@mail.tainan.gov.tw

## 一、前言

在現代社會中，地籍資料的精確性和完整性對於土地管理、城市規劃和自然資源保護至關重要，隨著地籍測量工作逐漸從傳統圖解作業方式邁入數位化和自動化，以及地理資訊系統（GIS）技術的發展，尤其是 QGIS 等開放原始碼 GIS 平台的普及下，QGIS 能提供強大地理數據處理能力和靈活的擴展性，QGIS 在既有的各項工具與演算法(algorithm)外，提供了模型設計器（Model Designer）允許使用者無需撰寫程式碼，僅透過拖曳方式串接多個 GIS 分析模組，建立自動化處理流程，而外掛管理與安裝（Manage and Install Plugins）功能提供第三方開發者上傳的外掛程式(plugin)，讓使用者有更高的功能擴展機制，雖然開發客製化的外掛程式可滿足更多的需求，惟目前國內地籍測量資料的特殊性與專業性，適用的地籍測量 QGIS 外掛程式仍相對匱乏。

早期為了地籍測量之執行效率與加值運用，曾於 AutoCad 軟體撰寫相關的 AutoLisp 程式以輔助地籍測量圖資的展繪與計算，目前地籍測量之地籍圖如要轉至 GIS 系統，地政單位雖提供多種工具可轉出 SHP 檔或 DXF 檔，惟此類檔案轉入 GIS 系統常有圓弧地籍線失真情形，數值地籍圖該圓弧地籍線係由 3 個界址點(起點、中點、終點)所定義，該界址點經公告後對後續土地複丈實屬重要。此外，地籍測量圖資不僅地籍圖，舉凡控制點、界址點、地籍調查表註記、參考點及參考線等亦是重要資訊，另界址點、控制點之相片及土地所有權人與他項權利資料，皆有必要轉至 GIS 系統以提升作業的便利性。

地籍圖資除了幾何圖形外尚有屬性資訊，如登記面積與計算面積之較差可運用於圖簿校對與重測或地籍整理之分析、測量觀測資料 MAC 檔的計算、現況點至地籍線的距離計算、角邊網形平差中距離觀測量的平均海水面歸化改算、網形平差成果圖之網形展繪、觀測數據與點位之誤差橢圓顯示及已知點之改正數等，此類運算與加值應用皆可擴大地籍測量於 GIS 之運用，此外在地籍測量中常使用三參數坐標轉換亦有其重要性。

在 GIS 中地籍圖資的妥善儲存與管理上，以單純檔案格式（如 SHP 或 DXF）儲存圖資已難以支應資料維護、加值運用與長期管理之需求，使用合宜的資料格式來儲存地籍測量圖資之 GIS 資料格式有其必要，例如以支援空間資料的開放標準格式(符合 OGC 標準)且廣泛應用於 GIS 系統中的 Geopackage 與 PostgreSQL/ PostGIS，其中 Geopackage 適用於個人或小型專案使用，而 PostgreSQL/ PostGIS 適合大規模空間資料的管理與應用。

目前國外既有 QGIS 地籍相關外掛程式，其功能多集中於官方地籍資料之下載、轉換與管理，因此本研究將以地籍測量實務為核心，在 QGIS 平台開發外掛程式，聚焦於地籍資料匯入、計算、測量成果分析與圖形化顯圖等功能，將其系統性整合，並結合 GeoPackage 或 PostgreSQL/PostGIS 等空間資料格式進行資料儲存與管理，以擴展地籍測量圖資於 GIS 平台之應用深度，並提升其於 Web GIS 環境中進行展示、分析與廣泛應用的可行性與效益。

## 二、文獻回顧

目前國內運用 QGIS 在地籍測量領域的研究並不多，例如使用數值地形模型 (DEM) 資料在 QGIS 利用相關演算法來萃取山脊線數值資料，提供該資料作為山區地籍圖套疊的重要參考(許豪修，2024)，其採用 QGIS 既有工具及演算法即可有效的協助地籍測量實務作業之研究，又有運用 QGIS 的模型設計器(Model Designer)串接各既有演算法的方式將地籍資料匯入 QGIS 並結合 QField 對地籍資料進行管理(陳冠廷，2020)，上述皆使用軟體既有的工具而無需撰寫程式即可對地籍測量產生實質助益。另採用 QGIS API 開發之外掛程式則有先將地籍圖資先轉為 ESRI Shape File (\*.shp)檔案，再匯入開放原始碼資料庫管理系統 PostgreSQL/PostGIS，建立地籍資料庫，並利用 Quantum GIS (現稱 QGIS)提供之 API，建立較為直觀的地籍圖下載及查詢附加元件之地籍圖展繪方式(劉濠雄等，2011)，而內政部曾委由國家實驗研究院國網中心進行技術開發提供坡度分析、坡向分析、近似高程分析、高程陰影圖、路線剖面分析、開闊度分析、地表形貌分析等功能之 TwDTM 則屬客製化的外掛程式 (國家實驗研究院國網中心，2022)，此外對於非屬地籍相關運用的則有針對人口密集都會區的地震救援整備與防災規劃需求，建立一個具備自動化規劃地區救援路網與推估想定地震境況下救援道路之阻斷風險工具軟體，亦是使用 QGIS 外掛程式的方式(楊承道等，2022)。








在國外 QGIS 開發外掛程式則有應用於各不同領域的研究，如為因應氣候變遷與建築業的高能耗問題而開發的一款外掛程式，這款工具能有效模擬區域層級的城市能源需求，並將結果以 3D 形式呈現，幫助決策者實現城市永續發展和碳中和目標 (Hosseingholizadeh et al., 2023)。另隨著 QGIS 3.0 在 2018 年推出 3D 視覺化支援，為提升 QGIS 對 3D 城市模型的支援所開發的 QGIS 外掛程式，此外掛程式可讀取並解析 CityJSON 格式的資料，將 3D 城市物件的幾何形狀與屬性轉換為 QGIS 圖層，這款外掛程式提供了一個在 QGIS 中處理 3D 城市模型的實用工具 (Vitalis et al., 2020)。為了讓非遙感探測專業人士也能輕鬆進行土地覆蓋監測，Congedo (2021) 則開發了 QGIS 的一款 Python 外掛程式，名為「半自動分類外掛程式 (Semi-Automatic Classification Plugin, SCP)」，這款外掛程式整合了從遙感影像下載到預處理、分類分析及後處理的一系列功能，簡化並自動化了土地覆蓋分類的流程，讓廣泛的 QGIS 使用者都能受益於遙感影像分析。另外傳統土地覆蓋分類常耗費大量人力與時間，一款名為「土地分類外掛程式 (Land Classification Plugin, LCP)」的 QGIS 外掛程式，利用 Pix2Pix 架構（一種卷積神經網路，CNN）實現自動化土地覆蓋分類，且在不同土地覆蓋類別中的總體精度達到 83.40%，顯示在分類任務的效率，也對於土地管理、環境監測和城市規劃等領域之應用展現潛力(Cubillas et al., 2024)。

鄰近國家日本則因 QGIS 社群(如 OSGeo Japan 與 OpenStreetMap 日本基金會等組織)長期致力於推廣開放原始碼的地理空間軟體，在民間力量與官方的雙重驅動下開發了眾多的 QGIS 外掛程式，其中 QGIS LAB 所發表的〈QGIS で法務省の登記

所備付地図データを読み込む方法」一文，即以實務案例說明如何將法務省公開之登記所備付地圖資料（XML 格式），透過 QGIS 外掛程式工具 MOJXML Loader 轉換為 GeoJSON 或 GeoPackage 等 GIS 通用格式，並於 QGIS 中進行讀取與應用(QGIS LAB 編輯部，2024)，此作法有效降低對專有系統之依賴，使官方登記圖資得以融入既有 GIS 系統中，提升資料整合與應用彈性。對照國內在 QGIS 外掛程式開發應用仍是少數，如何進一步將地籍測量實務之需求系統性整合於 GIS 平台中，仍將是必須持續努力的目標。

QGIS 作為開放原始碼地理資訊系統（GIS）平台，憑藉其可擴充的外掛程式，在地籍測量與地籍資料管理領域展現高度的應用潛力，目前 QGIS Plugin Repository 中含「cadastral」關鍵字之外掛程式，其開發遍及眾多國家，依其功能可分類為「地籍資料下載與存取」，其主要分布於義大利、法國、斯洛維尼亞、德國及愛沙尼亞，另「地籍資料格式轉換與整理」則有義大利、西班牙、斯洛伐克、保加利亞及日本(MOJXML Loader 無 cadastral 關鍵字)等國家，大多因應各國地籍資料交換之需求，此外「地籍宗地操作與屬性處理」則涵蓋義大利、法國、西班牙及韓國，功能偏向宗地管理與行政應用，而「地籍調查與現地記錄輔助」則有法國的外掛程式，其彙整如表 1，此顯示運用 QGIS 外掛程式在不同的國家的地籍管理與應用上有一定的助益。

表 1 QGIS 地籍相關外掛程式彙整表

外掛程式名稱	ICON	功能性質(國籍)	用途說明
Cadastral Divisions		C 義大利	依線條將多邊形(宗地)分割為等面積或指定面積的新圖層。
Cxf_in		B 義大利	用於義大利地籍圖資之處理，可自動處理、分類、樣式化並整合輸出地籍向量資料(GeoJSON)，特別適用於地政、環境評估與區域規劃等專業應用。
Estrai Catasto		B 義大利	載入義大利地籍 GeoJSON 格式，依屬性分層、樣式化並匯出至 GeoPackage。
Italy Inspire Cadastre Downloader		A 義大利	下載義大利地籍資料，其資料來源符合歐盟 INSPIRE 指令規範，提供具有標準格式的地籍分區與宗地資料。
Zornade Italian Parcel Downloader		A 義大利	透過 RapidAPI 從 Zornade 下載包含 57 個屬性的義大利地籍資料，適用於高階 GIS 分析與評估。
APNCad		D 法國	地籍整理期間於數位平板上記錄實地筆記的應用程式，由 BNIC 的 Jean-Noël Marchal 及 Marius François-Marchal 合作開發。
Chasse - Gestion des lots		C 法國	專為法國亞爾薩斯(Alsace)與摩澤爾(Moselle)地區設計，用於管理「狩獵區域(lots de chasse)」的劃設與地籍資

			料整合。
France Commune Cadastre		A 法國	利用 IGN API 搜尋法國地籍宗地與行政區並顯示於地圖上。
Point Cadastre		A 法國	為點圖層自動關聯法國地籍資料，並建立新圖層（需連網）。
Cadastral Classifier		C 西班牙	使用地籍資訊對西班牙市鎮的土地宗地進行分類（不含 Navarra 與 País Vasco 區域）。
ParCatGML		B 西班牙	根據 GML INSPIRE CP 格式匯出地籍 GML 檔以供西班牙地籍管理系統之地籍虛擬辦公室（Oficina Virtual del Catastro）進行地籍宗地的驗證之用。
Si Kataster		A 斯洛維尼亞	存取斯洛維尼亞 GURS 提供的地籍資料並記錄其來源與取得日期。
Vgi2Shp		B 斯洛伐克	將斯洛伐克地籍 VGI 檔轉換為 ESRI SHP 格式，專供當地使用。
Gazetteer Berlin/Brandenburg		A 德國	搜尋柏林與勃蘭登堡的地址與地籍資料，其資料來源為官方每日更新。
Cadastral Extractor		B 保加利亞	使用者可針對地籍 .shp 圖層輸入特定的地號或識別碼，從中快速提取對應的不動產圖資與屬性資料。
Estonian Address Search		A 愛沙尼亞	專為愛沙尼亞開發進行官方地址與地籍單位（cadastral units）查詢與定位，協助用戶快速在 QGIS 地圖中查找與導覽地址資料。
GetBaseLine		C 韓國	針對地籍圖層進行屬性式合併的工具，透過以「PNU（主要地址號碼）」為依據的 dissolve 操作，整合多筆地塊為一個地址單元。
MOJXML Loader		A 日本	可以將日本的地圖資料「MOJ Map XML」（土地登記多邊形）快速轉換為各種 GIS 地理空間格式資料（GeoJSON、GeoPackage、FlatGeobuf 等）
<p>註:功能性質分類                      A:地籍資料下載與存取      B:地籍資料格式轉換與整理                      C:地籍宗地操作與屬性處理   D:地籍調查與現地記錄輔助</p>			

資料來源：QGIS，本研究整理。

整體而言，QGIS 地籍相關外掛程式在查詢、載入、分類、視覺化與資料整合等應用是可行的，未來可持續對資料處理自動化以強化地籍資料之使用效率，進一步豐富地籍資料的呈現與應用。

在學習資源方面，官方提供之 QGIS 開發者指南與範例專案是重要的學習參考，

如 PyQGIS 3.34 developer cookbook (QGIS Project, 2024a)，而 Gary Sherman 所著的《The PyQGIS Programmer's Guide》(Sherman, 2014) 提供了如何透過 PyQGIS 函式庫與 Python 語言，對 QGIS 軟體進行客製化開發與功能擴充，尤其在圖層管理、屬性資料操作與空間幾何運算等方面，此外，QGIS 3.0 以上的版本可參考更新版本《The PyQGIS Programmer's Guide: Extending QGIS 3 with Python 3》(Sherman, 2018)，以符合應用程式介面 PyQGIS API 3.0 及 python 3 版本的開發設計，確保在 QGIS 3.0 以上之架構下外掛程式的各項功能執行得以達成既定的效能與穩定性。

總體而言，QGIS 外掛程式開發是一項結合程式設計、GIS 知識與介面設計的跨領域挑戰。透過適當的工具與系統化的學習路徑，開發者可針對不同應用需求建構功能完整且具效率的空間分析模組。

### 三、研究方法

#### (一) QGIS 外掛程式開發之方式

依據 QGIS 的技能發展程度可大致區分為 QGIS 既有之基本各項功能、QGIS Repository 安裝外掛程式、Model Designer 設計模型、撰寫 Script、自行開發客製化外掛程式及使用 QGIS 二次開發等階段，其中自行開發客製化外掛程式可藉由 QGIS 提供的 Python API 可用於自動化地理資料處理與分析，此需深入理解 PyQGIS API、Qt 框架以及 QGIS 的內部架構，而 QGIS 二次開發則是 QGIS 技術開發的最高階，涉及 QGIS 軟體的核心程式碼修改與擴展，使用 C++ 語言，直接修改 QGIS 的原始碼，開發全新的功能模組，對程式設計能力有更高的要求，需全面理解 QGIS 內部運作機制，通常需要由資深開發者或研究人員來完成。

由於使用 QGIS 核心進行二次開發需涉及更多的技能與更深入的研究，本研究採自行開發客製化外掛程式的方式對各種需求功能進行開發，過程中可藉由輔助 Plugin Builder 外掛程式快速建立外掛模板，自動產生包含必要結構與檔案的程式碼架構，完成後進行編譯資源檔案，將 resources.qrc 透過 pyrcc5 指令轉換成 Python 可讀的 resources\_rc.py，確保圖示與其他資源能正確載入，在介面設計階段，可利用 Qt Designer 設計.ui 檔，並透由 pyuic5 編譯為 Python 檔案，以便與主程式進行整合，進入核心程式撰寫時則需根據功能需求撰寫主邏輯，並結合 PyQGIS API 操作圖層、執行空間分析，建立完整的應用程序，最後藉由 Plugin Reloader 外掛程式即時重載與除錯並檢查功能是否符合預期。

此外，開發 QGIS 外掛程式除了需熟悉 PyQGIS 的操作外，可運用 Python 標準套件(Standard Libraries) 和第三方套件(Third-Party Packages) 的強大功能進行檔案處理、數據運算、空間分析及資料庫連線等應用，例如 dbfread 套件可用於讀取 dbf 資料表，statistics 套件針對統計之平均值、標準差、中位數...等運算，因此靈活運用合宜的套件，將可創建出功能豐富、高效與實用的外掛程式。

## (二) 地籍圖資建立圖層的幾何型別探討

由於圖層為幾何與屬性資料所架構的，在現代地理資訊系統與空間資料庫的應用中，傳統的線性幾何型別如 `LineString` 與 `Polygon` 已逐漸無法滿足精細化邊界描述的需求，為了更準確地表現真實世界中存在的圓弧曲線邊界，在開放地理空間資訊聯盟（Open Geospatial Consortium, OGC）於 2011 年發布的《地理資訊—簡單圖徵存取—第 1 部分：共通架構實作標準》（OpenGIS® Implementation Standard for Geographic Information - Simple Feature Access - Part 1: Common Architecture）中，詳細定義了多種幾何類型之整數代碼。

該標準旨在促進各類地理資訊系統及資料庫在空間資料存取與操作上的一致性，並確保不同系統間能夠正確共享與解析空間幾何資料，其中預留未來擴充所需的編碼範圍，文中指出，表(表 2)中以陰影標示的代碼 `CircularString`、`CompoundCurve` 及 `CurvePolygon` 專供未來使用，但並不代表當前已支援或使用的幾何型別(Open Geospatial Consortium Inc. 2011)，其中 `CircularString` 是用來表示由圓弧線段組成的線性幾何，藉由三個點（起點、中間點、終點）定義每段圓弧，適合用於道路轉彎、河流彎道或圓形邊界等圓弧線特徵，而 `CompoundCurve` 則進一步結合了線段（`LineString`）與圓弧線段（`CircularString`），描述了包含直線與圓弧線段的複合線段，如複雜道路邊界及鐵路中心線等，能精確表達真實場景中同時包含直線與圓弧線段的曲線結構，另 `CurvePolygon` 則以曲線邊界環（可由 `CompoundCurve` 組成）定義封閉區域，允許外環及內環皆採用曲線形式，以精確表現自然地形、湖泊、濕地或不規則土地邊界等複雜封閉區域。

表 2 幾何類型之整數代碼（Open Geospatial Consortium Inc. 2011）

Type	Code
Geometry	0
Point	1
LineString	2
Polygon	3
MultiPoint	4
MultiLineString	5
MultiPolygon	6
GeometryCollection	7
CircularString	8
CompoundCurve	9
CurvePolygon	10
MultiCurve	11
MultiSurface	12
Curve	13
Surface	14
PolyhedralSurface	15
TIN	16

此外，在 SQL/MM Spatial 標準（ISO/IEC 13249-3）中亦提出了 `CompoundCurve` 與 `CurvePolygon` 等進階型別，進一步擴充空間資料表達的靈活性與精度，其中

CompoundCurve 是一種由多段圓弧線段 (CircularString) 與直線 (LineString) 所組成的連續曲線(圖 1c)，各段必須首尾相接，確保曲線的連續性與幾何正確性，另 CurvePolygon 則是用於描述具有曲線邊界的封閉多邊形區域，可由一個外環 (Exterior Ring) 與零個或多個內環 (Interior Rings) 組成(圖 2a)，允許外環與內環皆採用曲線描述，使幾何形狀表現更貼近自然界的實際輪廓，並且 CurvePolygon 的封閉性要求其外環與內環必須完全閉合，避免幾何錯誤或拓撲衝突(Knut Stolze, 2003)。

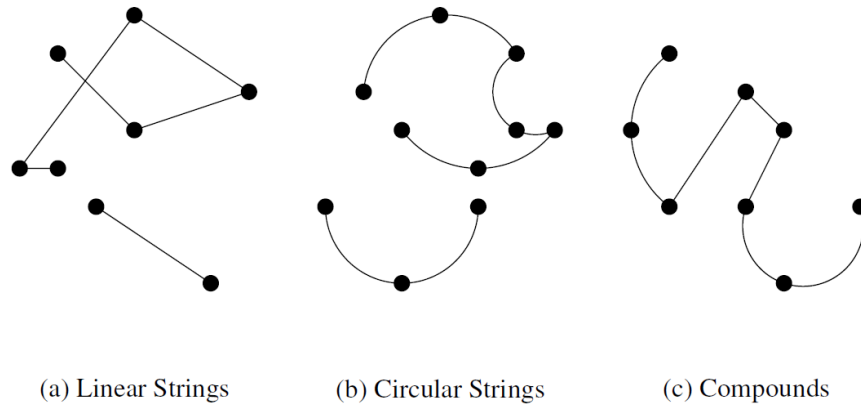


圖 1 曲線之範例(Knut Stolze, 2003)

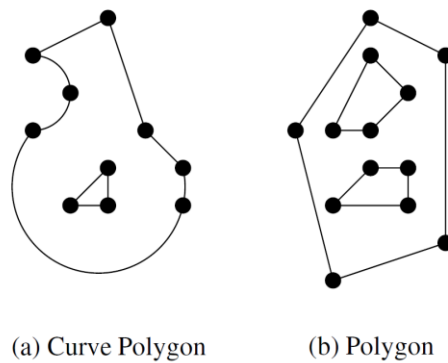


圖 2 多邊形之範例(Knut Stolze, 2003)

目前在 QGIS 系統中可新增的圖層類型計有 Temporary Scratch Layer、Shapefile Layer、GeoPackage Layer、Spatialite Layer、Mesh Layer、GPX Layer 及 Virtual Layer 等項，其中臨時草稿圖層 (Temporary Scratch Layers) 使用的幾何型別則計有點 (Point)、多點 (MultiPoint)、線 (LineString/CompoundCurve)、多線 (MultiLineString/MultiCurve)、面 (Polygon/CurvePolygon)、多面 (MultiPolygon/MultiSurface) 等，可支援大多數的幾何型別，並支援曲線(Curve)類型，惟仍需注意部分驅動程式不支援某些幾何類型，例如 CircularString、CompoundCurve、CurvePolygon、MultiCurve、MultiSurface 等(QGIS Project, 2025b)，當遇到這些情形，QGIS 將會自動將它們轉換為其他可支援的幾何型態，因此若要充分利用 CompoundCurve 與 CurvePolygon 帶來的高精度與真實性，建議使用支持完整曲線幾何的格式及資料庫 (如 GeoPackage 或 PostGIS)，以保留真實的地籍圖資幾何。

地籍圖之宗地經界也會因道路設計、河川曲流、圓形設施或其他特殊設計而出現圓弧曲線及「地中地」(即土地完全被其他地號包圍)的情形,因此為了在 QGIS 中可以產製具有圓弧曲線之地籍圖各宗地,採用 CurvePolygon 幾何型別,以直接讀取地籍圖的地政整合版格式 PAR、BNP 及 COA 等檔案,建立 WKT(Well-known text 是一種純文本標記格式,由開放地理空間聯盟(OGC)所制定)之圖徵幾何,展繪成可顯示圓弧曲線與地中地的地籍圖圖層,其範例如下(圖 3):

CURVEPOLYGON (COMPOUNDCURVE ((0 0, 0 4),CIRCULARSTRING (0 4, 5 7, 10 4),(10 4, 10 0, 0 0)),COMPOUNDCURVE((8 2,8 4,2 4, 2 2),CIRCULARSTRING (2 2, 5 1, 8 2)))

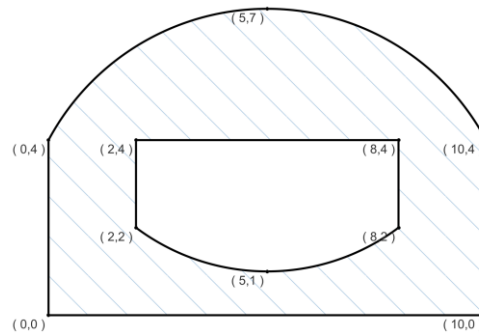


圖 3 具有圓弧曲線之 CurvePolygon

地籍線亦存在同樣情形,因此採用 CompoundCurve 幾何型別,其允許在一條線中同時包含直線段與圓弧線段,可完整的呈現了地籍線,該 WKT 範例如下(圖 4)。

COMPOUNDCURVE(( 5 3, 5 5), CIRCULARSTRING(5 5, 7 7, 9 5), (9 5, 12 5), CIRCULARSTRING(12 5, 13 4, 12 3), (12 3, 10 3))

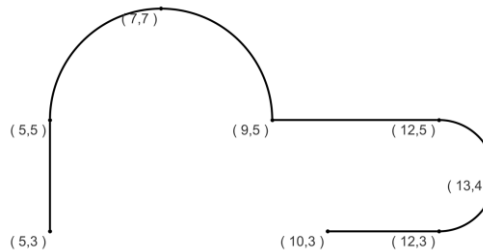


圖 4 具有圓弧曲線之 CompoundCurve

除了使用一般的 Point 及 LineString 外,透由 CurvePolygon 與 CompoundCurve 將可完整保存相關圖資圖的樣貌與精度,此外,在 QGIS 的臨時草稿圖層(Temporary Scratch Layers)可建立上述所需之幾何類型,故在研究中外掛程式產製的圖層皆為臨時草稿圖層,圖徵幾何則由讀取之地政檔案轉換成 WKT 所建立,以達成地籍圖資各類圖層的正确呈現,確保面積計算的準確性與後續的空間分析應用。

### (三) 結合影像資料進行加值運算

傳統地籍測量主要依賴於向量(vector)來表示土地界址、地號等資訊,並透過屬性表格儲存所有權人、面積等數據,然而,僅單純的使用向量與屬性資料的應用,

往往力有未逮，此時，結合影像資料的運算展現了優勢，如導入高解析度空拍圖、衛星影像及 DEM 等資料，則可利用影像處理功能進行多方面的應用分析，因此，透過 QGIS 外掛程式的開發，不僅能處理傳統的向量資料與屬性資訊，更能進一步結合影像資料進行空間運算。

在角邊網形平差的計算上除觀測數據的正確性外，所觀測的距離至少需實施相關的改正，其中距離的兩端點或高程差大者、山區或長距離者的平均海水面歸化改正對計算成果精度有較大影響(尤瑞哲等，2024)，而目前在角邊網形平差程式之平均海水面歸化改正，有時控制點或圖根點並無高程值，此時可藉由 DEM 取得高程值並進行改算，目前內政部已公開數值高程模型 (DEM) 為 20 公尺，政府機關更可申請 1 公尺的數值高程模型，因此藉由 DEM 來取得各控制點高程，再計算平均海水面距離改正，便可克服控制點無高程值而無法對每一觀測距離逐一改算的難度，此透過數值高程模型與角邊網形平差資料(OBS 檔)之結合，進行平均海水面歸化改正的外掛程式，有助於高程數據自動完成改正計算，提升平差成果的精度，亦為後續的地籍測量奠定良好基礎。

#### (四) 地籍圖資彙整、加值應用與驗證

本研究旨在聚焦於實作驗證，使用 QGIS 開發外掛程式，解析地籍圖資之檔案格式，將其轉換為標準的地理圖層，另對相關圖資進行計算、分析查詢等加值應用，藉以提升地籍資料於地理資訊系統中的應用價值，依功能目的區分下列兩項。

##### 1.地籍圖資建立地理圖層

地政機關的地籍圖資基本檔案格式多屬特殊格式，因此需先行解析各種格式之幾何與屬性資料再進行建立地理圖層，其中地籍圖採讀取 PAR、BNP、COA 等整合版檔案，直接產製 CurvePolygon 圖層，精確呈現地籍圖之幾何，而界址點 (COA/D14)、參考點 (D14)、控制點 (CTL) 及現況點 (CNT) 則統一轉換為 Point 圖層，另地籍調查表註記 (D21) 與參考線 (D29) 將產製為 CompoundCurve 圖層，保留其複雜線形，而網形平差成果 (CTL、COR、OBS、LST) 與光線法 MAC 檔 (CTL、MAC) 也將分別轉化為 LineString 及 Point 圖層，以便於空間展示與分析(表 3)。此外，為確認外掛程式執行可達預期，對於產製具有圓弧地籍圖之成果，計以 QGIS 之 Extract vertices 演算法取得該宗地 CurvePolygon 幾何的所有頂點(vertex)，並依 Join attributes by nearest 演算法計算各頂點與原始公告界址點坐標之最近距離，比較兩者之間的坐標差異，並採用 Vertex Editor 工具查證宗地坐標與圓弧半徑的正確性，重複驗證程式執行之正確性。

表 3 地籍圖資基本項目

項目	讀取檔案	檔案格式	外掛程式 建立圖層(幾何)	建立之圖層名稱
地籍圖 (整合)	PAR、BNP、 COA (地政整合版)	文字檔	CurvePolygon	*****AM (整段地籍圖) *****SM (單筆地籍圖)

界址點	COA 或 D14 (重測系統)	文字檔、 dBASE 檔 案格式	point	*****CP COA 界址點 *****DP D14 界址點
參考點	D14(重測系統)	dBASE 檔 案格式	point	*****RP D14 參考點
控制點	CTL	文字檔	point	*****CT 控制點
地籍調查 表註記	D21(重測系統)	dBASE 檔 案格式	CompoundCurve	*****MK 調查表註記
參考線	D29(重測系統)	dBASE 檔 案格式	CompoundCurve	*****RL 參考線
網形平差 成果	CTL、COR、 OBS 或 LST (角邊網形平差)	文字檔	Point LineString	*****_ELL 角邊網形平差成果 (控制點) *****_NET 角邊網形平差成果 (距離及角度)
現況點 CNT 檔	CNT	文字檔	point	*****_CNT CNT 檔建立圖層
光線法 MAC 檔	CTL、MAC	文字檔	point	*****-MACP MAC 檔計算之現況點 *****-CT2D MAC 檔計算之控制點 重複計算點 *****-CT2 MAC 檔計算之補點 *****-CTL CTL 檔讀取之控制點

資料來源：本研究整理。

## 2.地籍圖資的計算、分析與查詢加值應用

為提升地籍資訊之分析與實務應用，藉由匯入之地籍基本圖層、屬性資料與其他資料(如 DEM)，可進一步整合外部資料創造加值效益，其中透過 MDB 檔案，將所有權人及他項權利人資料與地籍圖層結合，建立屬性連結，實現權屬與地籍圖的結合，另界址點與控制點的 Point 圖層與相片建立對應連結，有利於管理、查閱及分析，在空間分析方面，計算公差及較差，並運用計算地籍整理前後之圖資進行比對，產製新的圖層，可直觀呈現地籍整理前後的面積變化情形，此外，為評估地籍與現況的一致性，可計算地籍線與現況點的最近距離，利用產製的圖層與屬性提供判斷數據，最後，在角邊網形測量觀測量的精度提升上，可結合 DEM 圖層對 OBS 觀測值進行歸化平均海水面及投影距離之改正，以提升 OBS 檔案的正確性(表 4)。為確保外掛程式公差計算之正確性，採由其他程式(如 Excel)依地籍測量實施規則第二百四十三條規定之公式計算各宗地的公差值，再與外掛程式計算成果比較兩者差異之方式進行驗證。

表 4 地籍圖資加值應用項目

項目	使用檔案或圖層	建立圖層或新增屬性欄位
所有權人及他項權利人資料	MDB 檔 (地籍調查表) *****AM (地籍圖圖層)	建立無幾何 SRBLOW 所有權及 RCLOR 他項權利圖層，並與地籍圖圖層建立關聯 (Relations)
界址點與控制點相片	資料夾 (存放影像檔)	於*****CP、*****DP 及*****CT 等圖層新增屬性欄位(相片存放路徑)
地籍整理前後對比較成果地籍圖	*****AM (地籍圖圖層)	建立地籍整理前後比對之 Comp_map(CurvePolygon)圖層
公差及較差計算	*****SM (地籍圖圖層)	於*****AM 及*****SM 圖層新增公差屬性欄位資料
地籍線與現況點之最近距離計算(分類)	*****AM *****SM (地籍圖圖層) *****-MACP *****_CNT (現況點圖層)	1.建立現況點與地籍線之最近距離計算之 *****-MACP_new(Point)圖層 2.建立知點檢核之控制點方向線及改正數 chage_data_CH (Point)圖層 3.建立現況點與地籍線之最近距離計算建立之*****-MACP_Closest (LineString) 圖層
依 DEM 計算 OBS 之歸化平均海水面及投影的距離改正	DEM 圖層 *****CT 圖層 OBS 檔	1.於*****CT 圖層新增高程屬性欄位 2.輸出歸化改正後之 OBS 檔

資料來源：本研究整理。

### (五) 圖層屬性 (Layer Properties)與專案屬性 (Project Properties)的設計運用

在 QGIS 外掛程式開發上，圖層屬性 (Layer Properties) 和專案屬性 (Project Properties)提供了豐富的資訊和操作介面，其中圖層屬性是針對個別圖層上的設定，可設定圖層的符號(symbology)、標籤(labels)、欄位結構(attributes form)、顯示(display)…等，透過此設定可為新加入的圖層設立樣式(style)或根據資料內容生成複雜的標籤規則，有助於自動化地圖樣式調整、簡化資料處理流程，並確保視覺呈現的一致性。專案屬性則負責整個 QGIS 專案的型態設定，其中「關聯」(Relations)是一個強大的功能，它允許在不同的圖層或表格之間建立資料庫層級的關係，這兩項屬性設定能讓 QGIS 外掛程式提供高度客製化的實用性。

本研究在開發外掛程式中運用自動指定顏色、線型與填色方式等符號 (Symbology) 設定，使圖層以既定風格呈現並具備一致的視覺標準，此外，標籤 (Labels) 設定標註屬性欄位資料於圖面，提升空間資料的可讀性，而透過屬性表單 (Attributes Form) 的版面與欄位設計，可建構下拉選單與欄位驗證，讓資料輸入時具備一致的輸入介面，亦提升屬性資料顯示的視覺化，另 HTML 地圖提示 (HTML Map Tip) 是一項強化 QGIS 使用者互動體驗的重要功能，透過在滑鼠游標懸停於圖徵上時即顯示屬性資訊，使用者無需開啟屬性表即可快速掌握空間資料

內容，利用 HTML 可自動為圖層設定地圖提示，每個圖層載入後即擁有此提示資訊，相關語法及顯示資訊(圖 5)如下範例：

```
<h4> [%'點名:' || "name" %] </h4>
<h4> [% 'N 坐標:' || "Ycor" || '      E 坐標:' || "Xcor"      %] </h4>
<h4> [%'長軸:' || "ma_axis"      || '\n' || '短軸:' || "mi_axis"%]</h4>
```

點名:BAB028

N坐標:2547004.840 E坐標:175522.038

長軸:0.005 短軸:0.002

圖 5 HTML Map Tip 顯示範例

QML 檔 (QGIS Style File) 在 QGIS 系統中是用來儲存和載入圖層樣式資訊的檔案，雖然 QGIS 可以使用 PyQGIS 對圖層各別項目逐一的渲染(Renderer)，惟本研究為了方便調整圖層樣式，採先對各圖層進行各項設定後存為 QML 檔，再由程式碼讀取 QML 檔設定圖層樣式，此方式對於樣式的修改、程式開發與後續維護上更為合適，程式語法如下：

```
qml_path = 'C:/styles/landuse_style.qml' # 指定 QML 樣式檔路徑
layer.loadNamedStyle(qml_path) # 圖層套用樣式
layer.triggerRepaint() # 更新圖層渲染
```

在專案屬性設定的資料表間關聯(Relations)建立，可透過外掛程式開發自動設定指定主層、從層、欄位對應與關聯名稱，完成關聯結構建置，建構多對一或一對多的資料關聯關係，當關聯設定完成後，QGIS 會自動在表單中呈現對應的資料子表單，提升空間資料的結構化與快速查閱的便捷性，建立關聯的語法如下：

```
rel = QgsRelation() #建立一個 QgsRelation 物件，定義兩圖層之間的關聯
rel.setId('rel1') #設定該 Relation 的唯一識別碼 (ID)
rel.setName('Rel_SRBLow') #設定 Relation 的名稱
rel.setReferencingLayer(layer_2.id()) #指定「參照層」(Referencing Layer)
rel.setReferencedLayer(layer_1.id()) #指定「被參照層」(Referenced Layer)
rel.addFieldPair('Uni_SecN','Uni_SecN') #設定參照層與被參照層關聯欄位對應
#將建立之 relation 加入 Project 之 relationManager 中
QgsProject.instance().relationManager().addRelation(rel_1)
```

#### (六) 地籍測量之 QGIS 各外掛程式設計架構

在本研究中計開發三組 QGIS 外掛程式，共涵蓋 14 項功能，其中 cad\_import 有 5 項、cad\_calculate 有 4 項，另外 cad\_survey 則有 5 項(圖 6)。

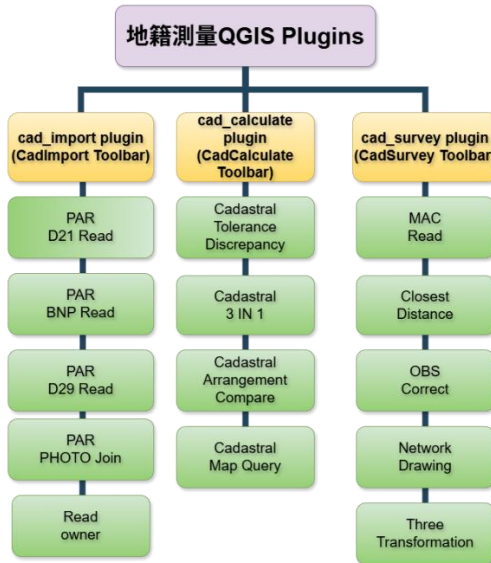


圖 6 三組外掛程式的各項主要功能

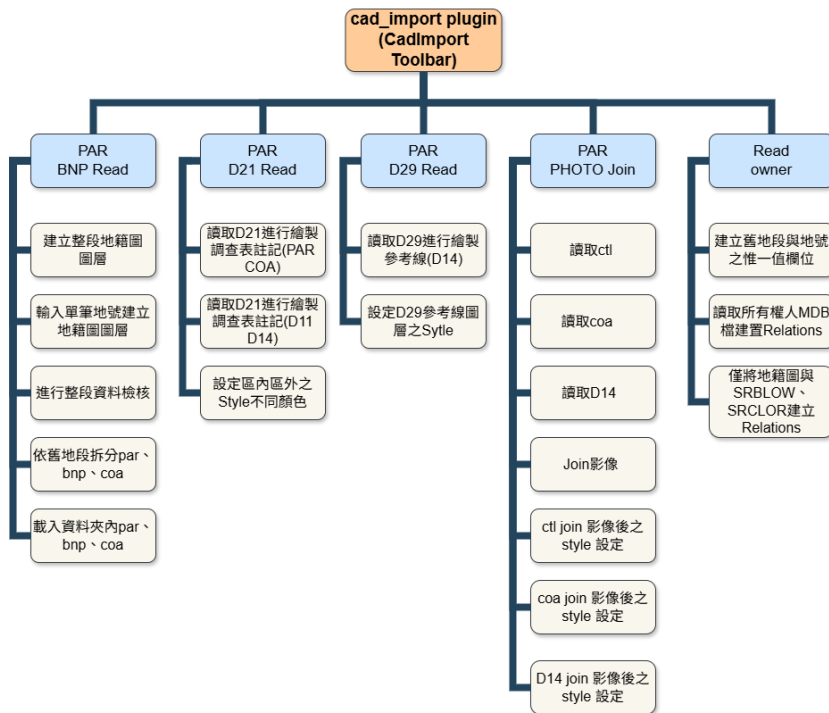


圖 7 cad\_import 外掛程式的各項操作內容

cad\_import 外掛程式可匯入地籍圖、控制點、界址點、地籍調查表註記、參考線及所有權人資訊，並可連結控制點與界址點之相片，地籍圖可完整呈現正確的圓弧曲線與地中地圖形(圖 7)。

cad\_calculate 外掛程式支援地號面積較差與公差的計算及各級距的視覺化顯示，亦可進行地籍整理前後之差異比對與分析，並提供快速查詢匯入地籍資料之功能(圖 8)。

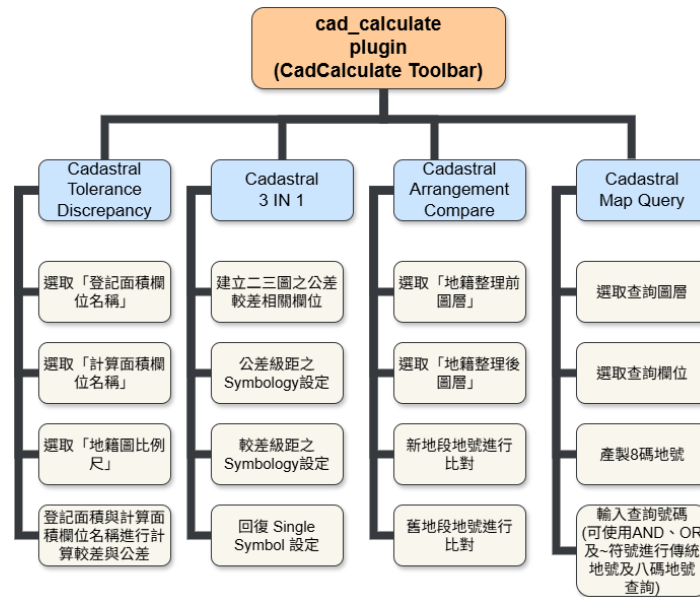


圖 8 cad\_calculate 外掛程式的各項操作內容

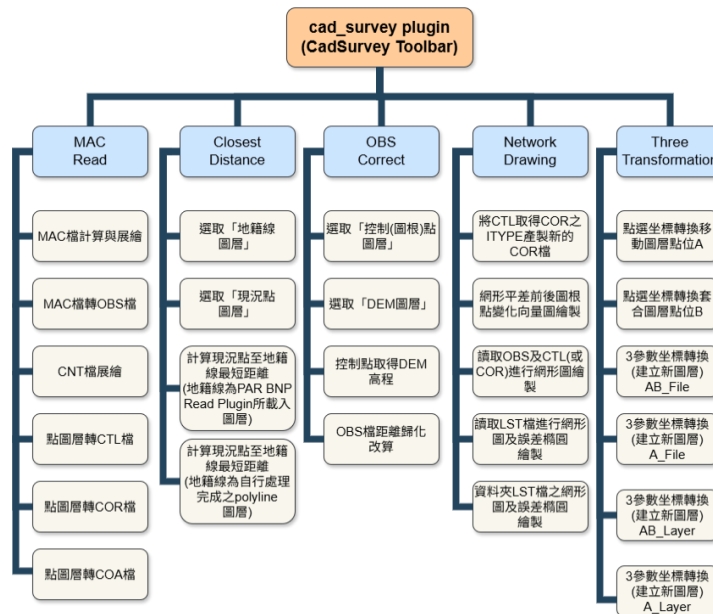


圖 9 cad\_survey 外掛程式的各項操作內容

cad\_survey 外掛程式則支援 MAC 與 CNT 格式資料之計算與展繪，並可配合數值高程模型 (DEM) 對 OBS 格式進行平均海水面與投影距離之歸化計算，另可快速計算地籍線與現況點之最近距離之予以分析並依級距分類，亦可繪製網形平差成果圖及簡易三參數坐標轉換(圖 9)。

#### 四、研究成果

開發完成之外掛程式計有 cad\_import、cad\_calculate 及 cad\_survey 等 3 項，由於並未上傳至 QGIS 的儲存庫(Repository)，故皆採用 ZIP 檔進行安裝，安裝完成後可在功能表及工具列點選執行 (圖 10)的各項功能，各項外掛程式的完成之實作分

述如下。

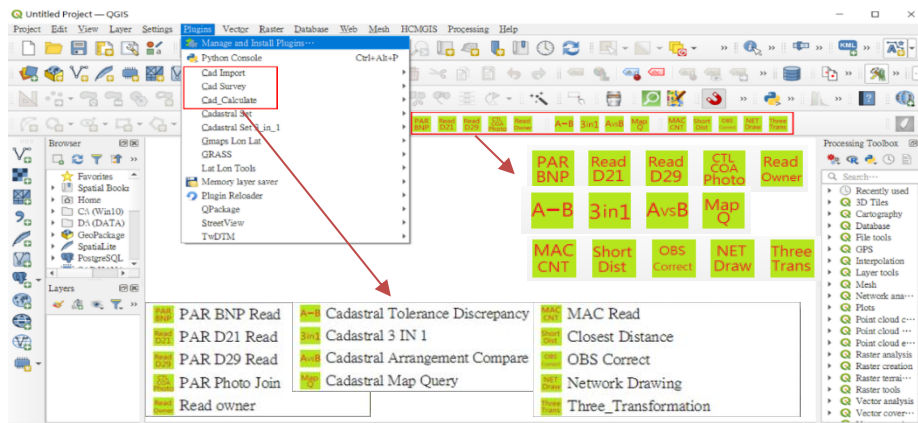


圖 10 外掛程式之功能表及工具列

(一) Cad Import cad\_import 外掛程式(介面如圖 11)



圖 11 Cad Import cad\_import 外掛程式之各項工具的執行介面

PAR BNP Read 工具在地籍圖匯入時，圓弧曲線及地中地(圖 12)可正確展繪，匯入之地籍圖為臨時草稿圖層 (Temporary Scratch Layers)、CurvePolygon 幾何型態及 TWD97 / TM2 zone 121(EPSC:3826) 坐標系統，若為其他坐標坐標系統可另行設定，圖層屬性欄位為新地號(name)、舊地段代碼(oldsect)、舊地號(oldname)、原登

記面積(oldArea)、新面積(newArea)等項(表 5)，此外具有地段中之各別地號、整段簡易檢核、同一整合格式中有兩個不同地段拆分成不同的 PAR、BNP、COA 檔及資料夾中的所有地段地籍圖同時讀取等功能。

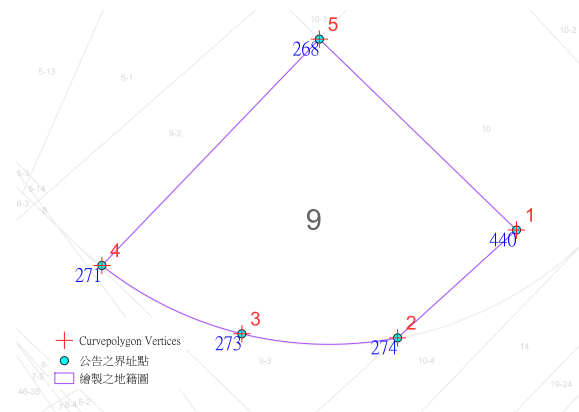


圖 12 簡易或複雜的地中地展繪

表 5 地籍圖圖層屬性欄位

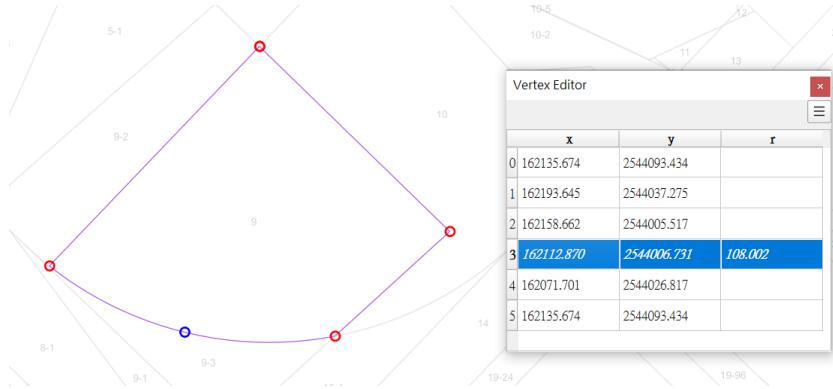
name	oldsect	oldname	oldArea	newArea
1	7051	1	248.00000	247.78000
2	7051	2	353.00000	351.56000
3	7051	3	49.00000	49.45000
4	7051	4	37.00000	37.78000
5	7051	5	63.00000	63.40000
6	7051	6	44.00000	43.14000
7	7051	7	4.00000	3.78000
8	7051	8	140.00000	138.63000

對於產製具有圓弧曲線地籍圖成果之驗證:(1)先使用 QGIS 之 Extract vertices 演算法取得 CurvePolygon 幾何的所有頂點(vertex)，而其中弧線僅為 3 個頂點(圖 13a)，此證明了該圓弧曲線未轉為簡單幾何(Polygon)。(2)載入原始界址點後採 Join attributes by nearest 演算法計算各頂點與原始公告界址點的最近距離，比較兩者之間的坐標計算距離值皆為 0(圖 13a)，驗證了外掛程式產製之宗地地籍圖並不會有 SHP 檔圓弧曲線失真情形，且匯入之坐標值與公告坐標相同無異。(3)Vertex Editor 工具查得相關坐標及圓弧半徑(圖 13b)顯示之數據皆屬正確。故依上述方法證實了程式可完整且正確的顯示具有圓弧曲線的地籍圖。



界址點號	界址點E坐標	界址點N坐標	頂點序號	頂點E坐標	頂點N坐標	兩點距離
268	162135.674	2544093.434	5	162135.674	2544093.434	0
271	162071.701	2544026.817	4	162071.701	2544026.817	0
273	162112.87	2544006.731	3	162112.87	2544006.731	0
274	162158.662	2544005.517	2	162158.662	2544005.517	0
440	162193.645	2544037.275	1	162193.645	2544037.275	0

(a) CurvePolygon 各頂點與原始公告界址點坐標值之比較



(b) Vertex Editor 工具查證 CurvePolygon 各頂點之坐標及圓弧半徑

圖 13 地籍圖圓弧曲線正確性之驗證

PAR D21 Read 讀取 D21 檔案(地籍調查表)的資料，匯入後建立地籍調查表圖層，屬性為經界線地籍調查代碼，可採不同顏色符號設定區內及區外樣式區別(圖 14)。

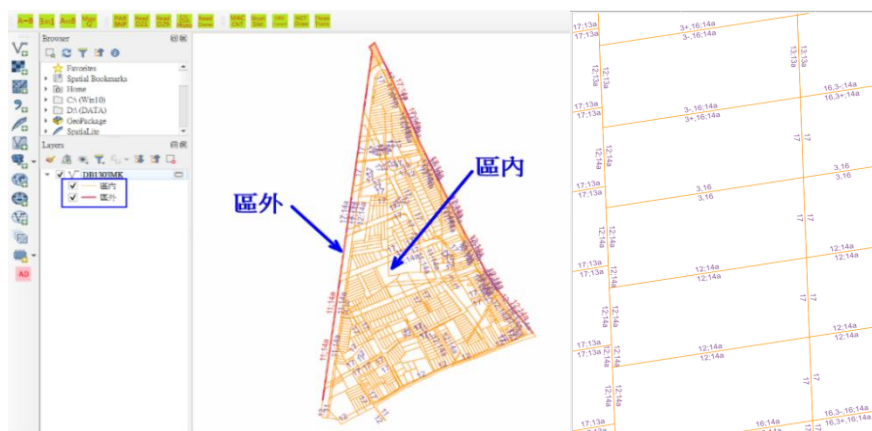


圖 14 地籍調查表 D21 圖層

PAR D29 Read 讀取 D29(參考線)檔案，可自動對所有參考線層設定不同顏色以利於區分(圖 15)。



圖 15、參考線 D29 圖層

PAR Photo Join 對界址點檔(COA 或 D14)或圖根點(CTL 檔)建立點圖層，D14 檔案可同時產製參考點圖層，對界址點或圖根點相片進行管理時，可將影像檔名依點號加上 A(近照)、B(遠照)字元，置於同一資料夾內(圖 16)，對界址點或圖根點與相片匹配 (圖 17)。

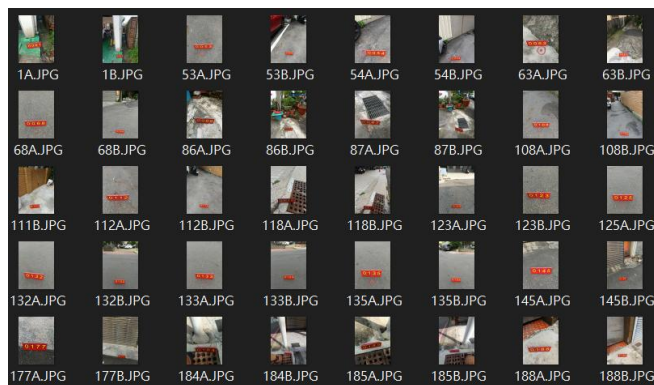


圖 16 界址點或圖根點相片依點號加上 A(近照)、B(遠照)置同一資料夾

id	name	Xcor	Ycor	[_MAT]	[_SOU]	IMG_A	IMG_B	IMG_LA	IMG_LB	IMG_IA	IMG_IB
3372	894	169211.85298	2545262.87412	4	2	<img src = "file...>	<img src = "file...>	<a href= "file://...>	<a href= "file://...>	D:/MyDATA/pl...	D:/MyDATA/pl...
3371	893	169216.06800	2545262.55857	4	2	<img src = "file...>	<img src = "file...>	<a href= "file://...>	<a href= "file://...>	D:/MyDATA/pl...	D:/MyDATA/pl...
3370	892	169211.85298	2545262.87412	4	2	<img src = "file...>	<img src = "file...>	<a href= "file://...>	<a href= "file://...>	D:/MyDATA/pl...	D:/MyDATA/pl...
3369	891	169220.29531	2545262.25248	4	2	<img src = "file...>	<img src = "file...>	<a href= "file://...>	<a href= "file://...>	D:/MyDATA/pl...	D:/MyDATA/pl...
3368	890	169220.29531	2545262.09003	4	2	<img src = "file...>	<img src = "file...>	<a href= "file://...>	<a href= "file://...>	D:/MyDATA/pl...	D:/MyDATA/pl...
3367	889	169224.51390	2545261.60977	4	2	<img src = "file...>	<img src = "file...>	<a href= "file://...>	<a href= "file://...>	D:/MyDATA/pl...	D:/MyDATA/pl...
3366	888	169228.70722	2545261.13152	4	2	<img src = "file...>	<img src = "file...>	<a href= "file://...>	<a href= "file://...>	D:/MyDATA/pl...	D:/MyDATA/pl...
相片匹配成果訊息						<img src = "file...>	<img src = "file...>	<a href= "file://...>	<a href= "file://...>	D:/MyDATA/pl...	D:/MyDATA/pl...
總計5277個feature匹配成功計 A:693 B:677 張影像						<img src = "file...>	<img src = "file...>	<a href= "file://...>	<a href= "file://...>	D:/MyDATA/pl...	D:/MyDATA/pl...
[確定]						<img src = "file...>	<img src = "file...>	<a href= "file://...>	<a href= "file://...>	D:/MyDATA/pl...	D:/MyDATA/pl...
3343	845	169273.78000	2545557.44500	4	2	<img src = "file...>	<img src = "file...>	<a href= "file://...>	<a href= "file://...>	D:/MyDATA/pl...	D:/MyDATA/pl...

圖 17 界址點或圖根點與相片進行匹配並建立屬性欄位



圖 18 樁標分類及開啟 show Map Tips 顯示界址點相片

所讀取的界址點為 D14 檔案時，可依 COT\_MATTER 欄位(樁標資訊)顯示樁標符號，其中 1~5 顯示所對應之制式樁標符號，如界址點有匹配之相片時，該符號會自動顯示為紅色，否則顯示水藍色，便於辨別界址點相片之有無，另 9 以外之值則歸類為其他，另開啟 show Map Tips 工具時，滑鼠移至圖面紅色樁標符號處自動顯示相片影像(圖 18)，懸停於非紅色樁標符號僅顯示該界址點號，而開啟 Identify Features 工具，可達上述效果，惟顯現所有屬性資料。

PAR owner 則利用地籍調查表系統之 mdb 檔與地籍圖圖層建立 Relations，使地籍圖結合了所有權人及他項權利人的資料，當 Identify Features 點選宗地時可顯示宗地所有權人及他項權利人的完整資訊(圖 19)。

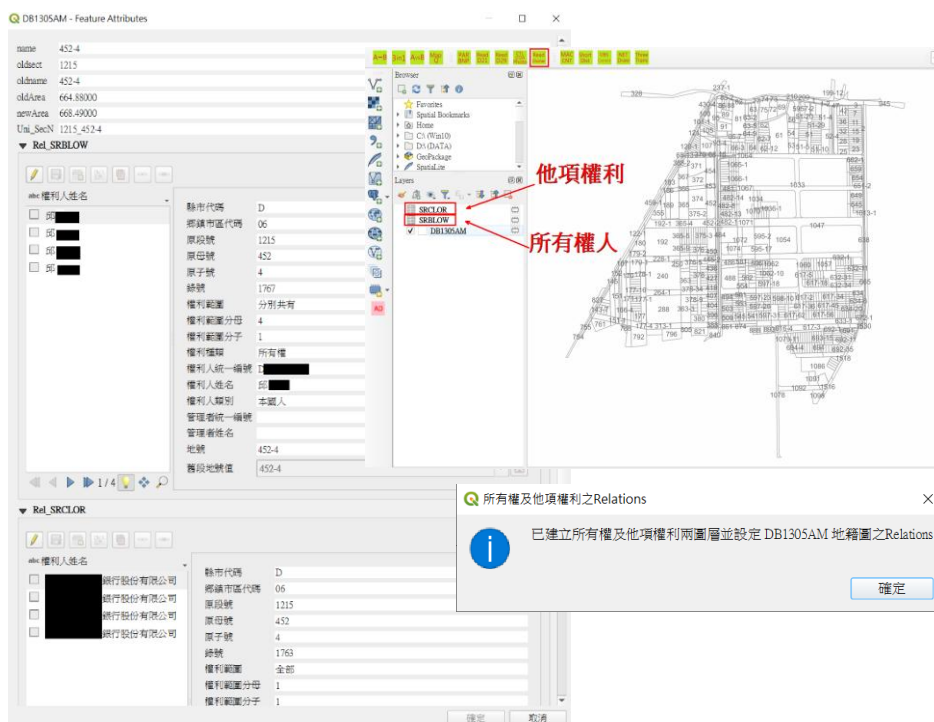


圖 19 地籍調查表之 mdb 檔與地籍圖圖層建立 Relations 進行查詢

Cad Import cad\_import 外掛程式，其可將地籍圖、控制點、界址點、地籍調查表註記、參考線與所有權人資訊，連結界址與控制點相片等資料於 QGIS 進行整合，使地籍測量作業流程由傳統分散式作業，彙整於單一平台執行應用，另配合 QGIS 可介接或匯入眾多格式資料之功能，使測量人員可完整掌握圖形、屬性與現地狀況，降低資料反覆比對，且藉由正確呈現圓弧曲線與地中地拓撲，有利於土地複丈(鑑界)對界址點計算之正確性，相較傳統作業，此模式可有效縮短整體作業時程，並兼顧測量成果之幾何正確性，在地籍測量實務作業具有明顯效益。

(二) cad\_calculate 外掛程式(介面如圖 20)

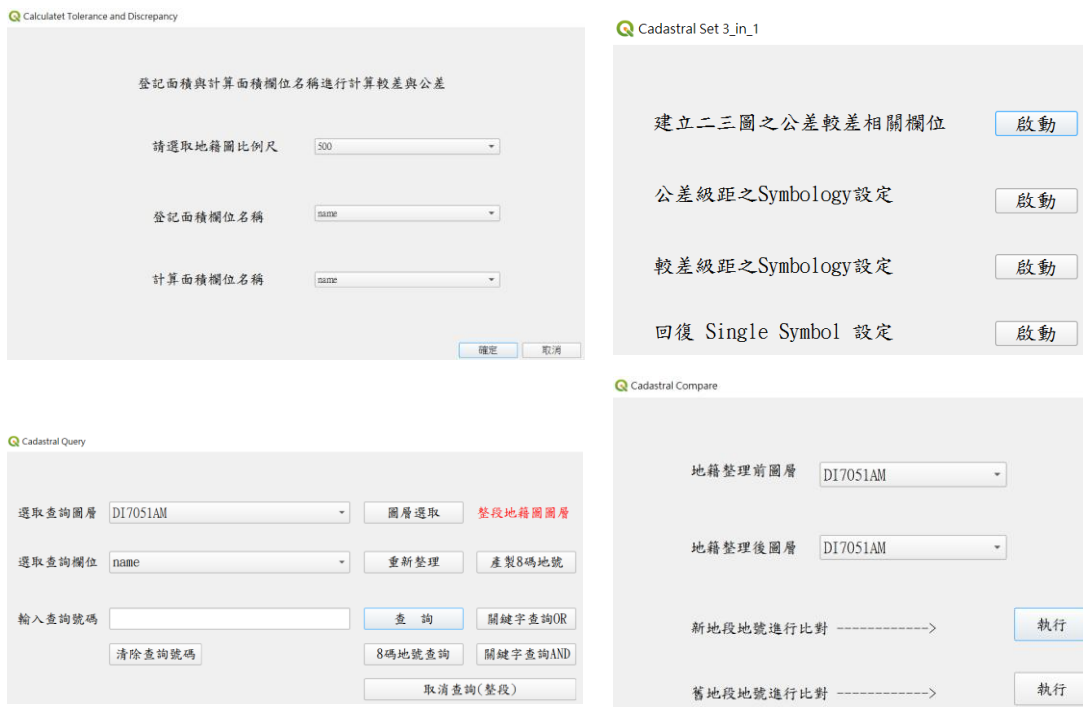


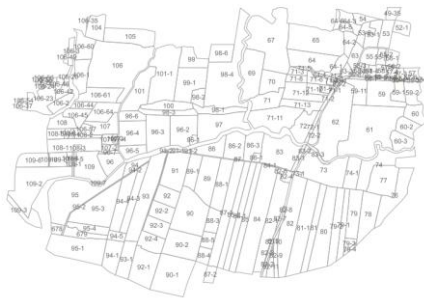
圖 20 cad\_calculate 外掛程式之各項工具的執行介面

Cadastral Tolerance Discrepancy 工具用於計算公差、較差及幾倍公差之值，並建立相關屬性欄位，另為確認程式計算正確，採用 Excel 軟體依地籍測量實施規則第二百四十三條規定之公式計算各宗地的公差值，再與外掛程式的計算成果比較兩者之差異，其 214 筆宗地公差值皆相同，此驗證了程式的計算正確性。(圖 21)

Cadastral 3 IN 1 工具可快速完成各公差與較差的級距設定及顯圖，其以不同顏色對公差與較差各級距展繪圖形，在實務作業上提供直觀且有效的資訊便於分析(圖 22、圖 23)。



	name	oldsect	oldname	oldArea	newArea	Tolerance	Difference	Times
1	49-35	8007	49-35	963.00000	955.62000	19.86	-7.38	-0.37
2	52-1	8007	52-1	1319.00000	1330.40000	24.4	11.4	0.47
3	53	8007	53	2075.00000	2078.85000	32.91	3.85	0.12
4	53-1	8007	53-1	2080.00000	2071.55000	32.96	-8.45	-0.26
5	53-2	8007	53-2	1325.00000	1330.11000	24.47	5.11	0.21
6	54	8007	54	1071.00000	1077.47000	21.29	6.47	0.3
7	55	8007	55	1575.00000	1558.24000	27.42	-16.76	-0.61
8	55-1	8007	55-1	858.00000	848.87000	18.42	-9.13	-0.5
9	55-2	8007	55-2	166.00000	164.24000	6.46	-1.76	-0.27
10	56-1	8007	56-1	1123.00000	1124.41000	21.96	1.41	0.06
11	56-2	8007	56-2	46.00000	57.71000	2.93	11.71	4



序號	地號	登記面積	計算面積	程式計算 公差值	地籍測量實施規則 公式計算值	程式與公式 差值
1	49-35	963	955.62	19.86	19.86	0
2	52-1	1319	1330.4	24.4	24.4	0
3	53	2075	2078.85	32.91	32.91	0
4	53-1	2080	2071.55	32.96	32.96	0
5	53-2	1325	1330.11	24.47	24.47	0
210	109-8	1623	1675.07	27.97	27.97	0
211	109-9	69	76.74	3.75	3.75	0
212	678	748	778.22	16.85	16.85	0
213	679	1796	1828.4	29.91	29.91	0
214	813	961	962.15	19.83	19.83	0
<b>214筆土地公差差異值加總=</b>						<b>0</b>

圖 21 面積公差、較差、公差倍數計算與驗證

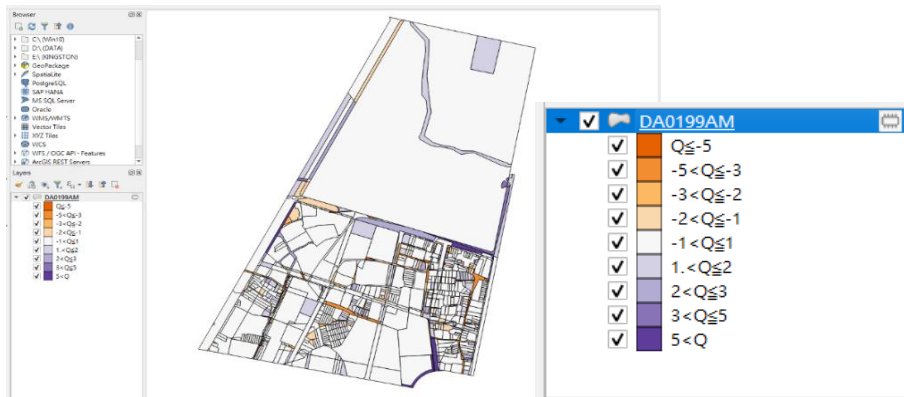


圖 22 公差級距設定與顯圖

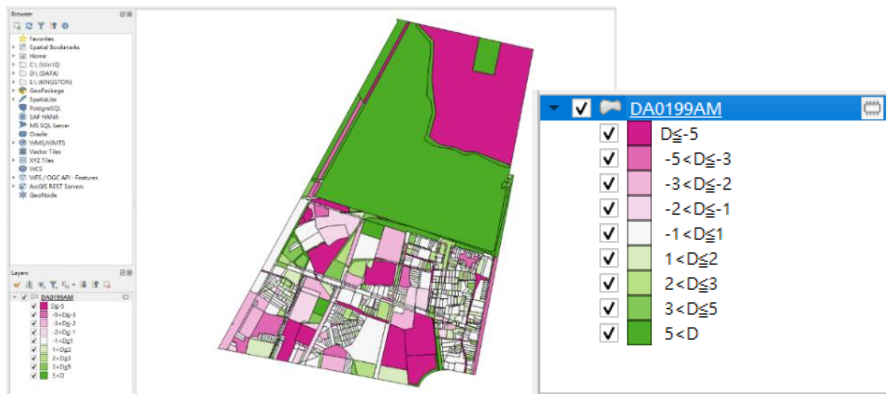


圖 23 較差級距設定與顯圖

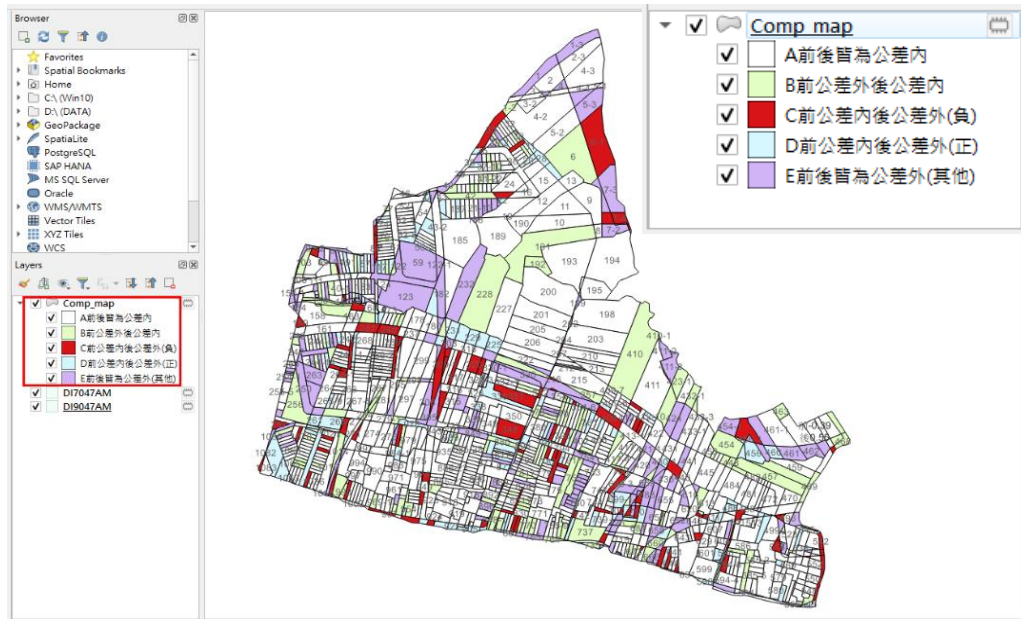


圖 24 地籍整理前後之面積比對與分類

Cadastral Arrangement Compare 用於地籍整理前後比對(如辦理重測、二、三圖...等), 藉由地籍整理前後公差之計算與比對, 其比對後的圖層分成 A、B、C、D、E 等 5 項影響程度, 並依不同顏色進行提示(圖 24), 當為 C 類(紅色)時表示原地籍整理前為 1 倍公差內, 地籍整理後越逾 1 倍公差且較差為負值, 此類宗地在整理後比整理後反而更為不合宜, 需特別予以注意及研討, 此工具可提供地籍整理實務的重要參考資訊。

cadastral\_query 工具針對地籍資料之各圖層進行篩選, 針對地籍資料之特殊性, 提供更便利且直觀的工具, 例如以地號區間進行篩選(圖 25), 將可讓使用者以更直觀的條件設定進行圖資選取。

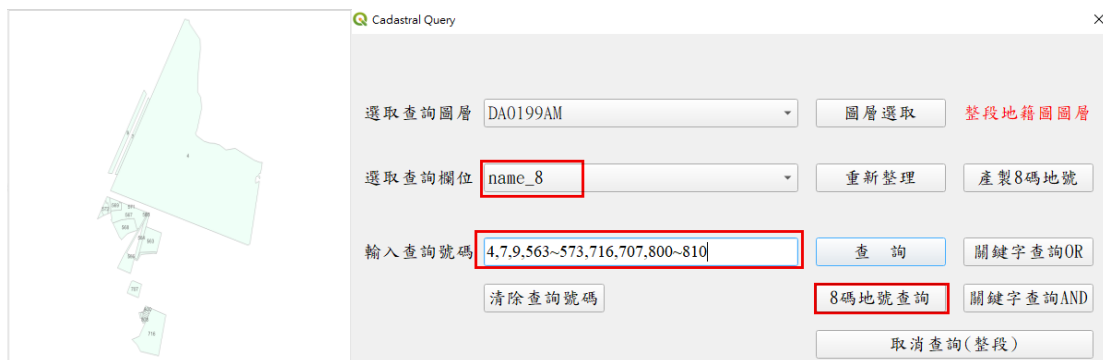


圖 25 地籍圖資篩選

cad\_calculate 外掛程式整合地號面積較差與公差自動計算、級距視覺化顯示、地籍整理前後差異比對分析, 並提供快速查詢與直觀篩選工具, 對地籍測量實務流程可產生實質性的系統化改善, 然而傳統土地複丈與地籍整理上, 雖有對面積公差與較差大量計算的程式, 但此開發之外掛工具除了基本計算外另提供了級距分析與圖形渲染, 對於大量資料判讀相當的有效率, 且具有整理前後之地籍圖直接進行比

對的工具，利用不同顏色渲染各宗地比對後的成果，可快速識別出疑義的地號，並列為優先研討的對象，比起傳統作業方式，將使測量人員能迅速聚焦於異常宗地，快速找到問題並大幅降低潛在爭議的風險。



圖 26 cad\_survey 外掛程式之各項工具的執行介面

### (三) cad\_survey 外掛程式(介面如圖 26)

MAC Read 可讀取 CTL 及 MAC 檔進行計算與圖層展繪，現況點圖層之符號為 3 個不同半徑的圓，便於估算現況點至地籍線的距離，另為檢核圖根點或補點之正確性，可計算重複的圖根點或補點並將建立 CT2D 圖層，建立重複點號的較差值的屬性欄位，利於檢核之用。MAC 檔轉 OBS 檔則依點名以英文字母為啟始字元之角度及距離觀測量轉為角邊網形平差的 OBS 格式，另 0~9 啟始字元建立一新的 MAC 檔，並提供 CNT 檔展繪或相關點圖層轉為 CTL、COR 及 COA 檔案格式，以便其他軟體之運用(圖 27)。

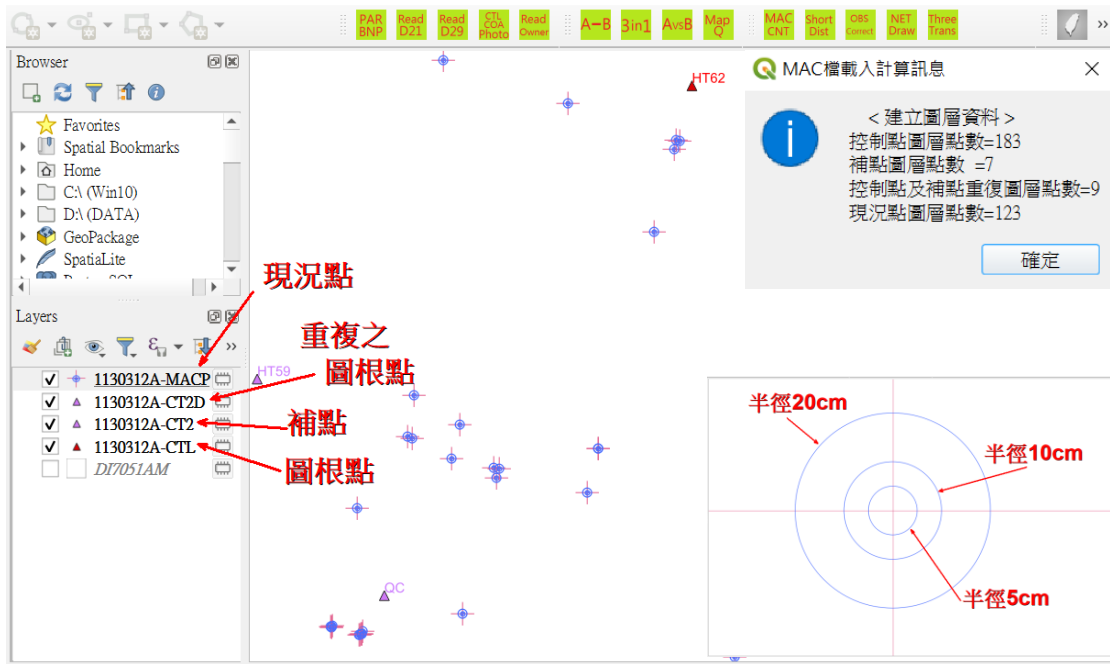


圖 27 MAC、CNT 檔計算展繪及 CTL、COR 及 COA 轉檔

Closest Distance 可計算現況點至地籍線的最近距離，地籍圖可 PAR BNP Read 工具所載入，亦可使用 DXF 格式匯入之地籍圖，計算所建立的圖層，其會依不同之距離分級，採不同顏色顯示分級便於判別，此外，提供相關統計資料供參考如最短距離之最大值、最短距離之最小值、最短距離之加總、最短距離之平均值及最短距離之標準誤差等數據(圖 28)。在此工具的撰寫上，為加速開發，導入 Closest Points 外掛程式於程式碼中，故在安裝 cad\_survey 外掛程式前需先安裝 Closest Points 外掛程式。



圖 28 現況點與地籍線之最近距離計算與分析

OBS Correct 藉由 DEM 取得 OBS 檔之各控制點的高程值並提供平均值，當執行距離歸化改算，依距離兩端控制點高程值進行歸化計算，並顯示各改正後的 OBS 檔案儲存位置 (圖 29)。

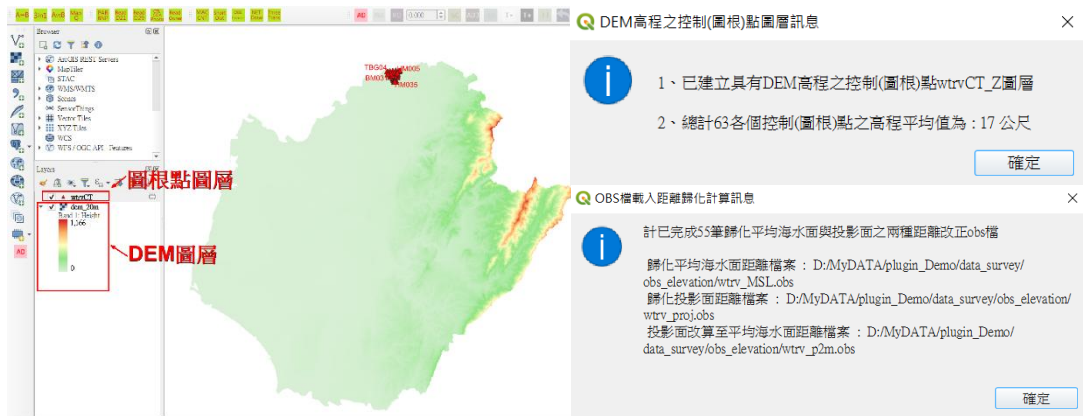


圖 29 運用 DEM 對 OBS 檔進行歸化平均海水面與歸化投影面之改正

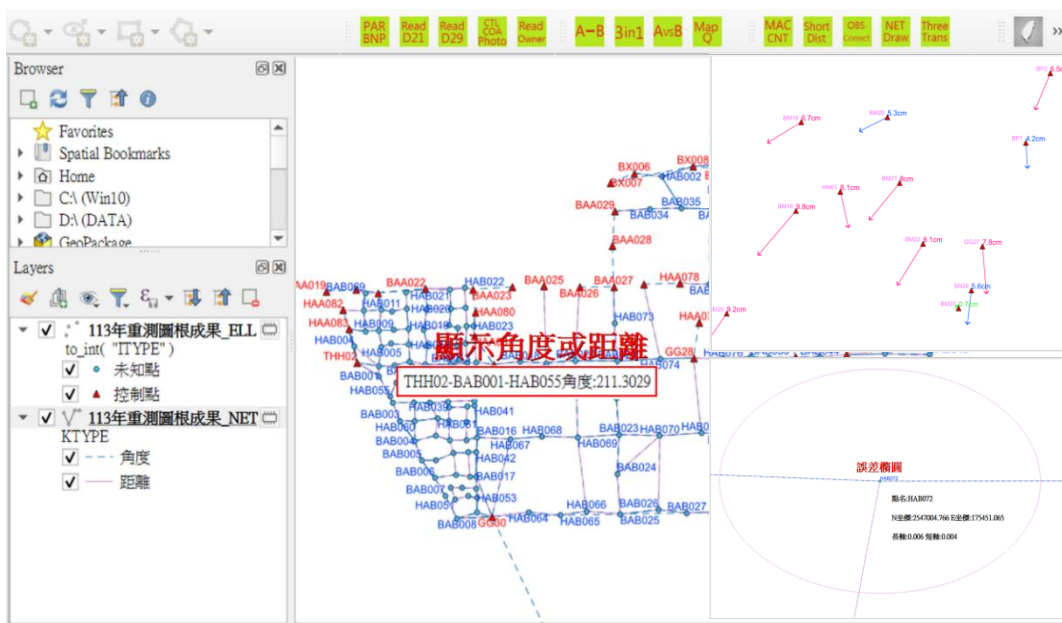


圖 30 角邊網形平差之網形圖展繪與已知點檢核分析

Network Drawing 繪製角邊網形平差之網形圖及誤差橢圓，其中控制點 Point 圖層建立了誤差橢圓屬性欄位值，開啟 Show Map Tips 且滑鼠懸停於控制點時，可顯示坐標與誤差橢圓值，另建立了角度與距離之 LineString 幾何圖層與屬性欄位，滑鼠懸停同可顯示角度或距離觀測量，且可計算平差前後已知控制點的改正數並建立控制點變化的向量圖，顯示改正數的方向線與距離值，距離亦建立級距 (0~3cm, 3~6cm, 6~cm 以上) 並分成 3 種不同顏色(綠、藍、紅)，利於角邊網形平差進行已知控制點檢核時的分析(圖 30)。

Three Transformation 提供 3 參數坐標轉換，目前 QGIS 的地理配準 (Georeferencer) 工具中提供 Linear、Helmert、Polynomial 1、Polynomial 2、Polynomial 3、Thin Plate Spline(TPS)及 Projective 等坐標轉換，惟地籍圖坐標轉換常不需 scale 參數，故 3 參數坐標轉換有其必要性，另在操作上匹配點的選取可採用兩項不同的選取方式，轉換後建立新圖層，並輸出距離差值文字檔供參考(圖 31)，此 3 參數坐標轉換是先計算兩組坐標中心點進行平移後，再計算旋轉角度方式進行轉換，在此

並未提供對點對線的坐標轉換。

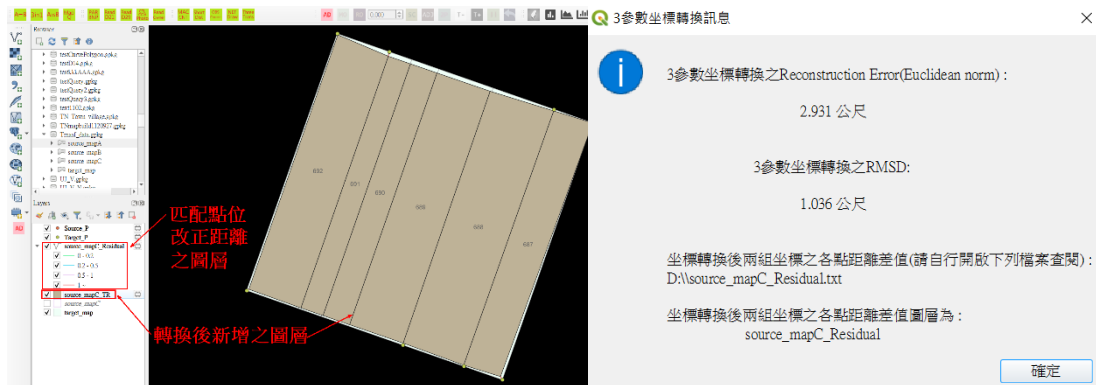


圖 31 簡易 3 參數坐標轉換

cad\_survey 外掛程式除了相關計算、圖形展繪、簡易坐標轉換工具外，其地籍線與現況點自動計算最近距離之工具，可透過計算完成所有之距離採級距分析方式並結合圖形的渲染，快速判別界址點與經界線的偏移情形顯現異常之點位，以作為網形平差控制點精度約制之考量與土地複丈套疊成果的判斷輔助，相較由人工於圖面點選量測單一距離的傳統作業方式，顯著縮短工作時間，並增加了整體的判斷可靠度。

由於 GeoPackage 具備高度的可攜性與相容性，該格式除了可儲存向量、影像及非空間資料表(Non-spatial tables)資料外，還能將圖層的樣式、詮釋資料(Metadata)及 QGIS 專案檔(傳統為 qgz 或 qgs 檔)一併存入同一個 gpkg 檔案中，特別適合用於單人操作、資料整合與專案備份等用途，在實作驗證中可將外掛程式所建立的相關圖層及專案皆儲存於 GeoPackage 檔案中(圖 32)，達成資料與專案設定整合管理的效果，但如涉及專案含有大量即時更新的資料、多人協作、大型點陣處理及雲端等應用時，仍建議改由資料庫(如 PostgreSQL/PostGIS)方式進行管理。

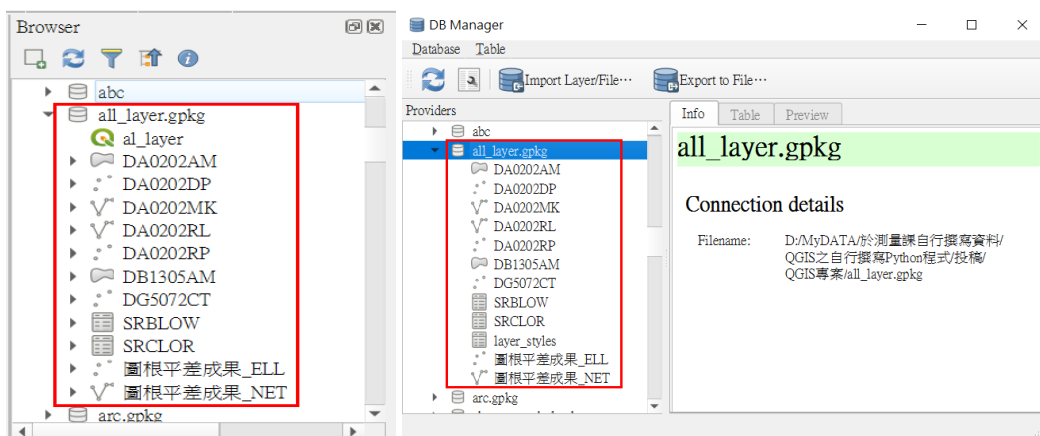


圖 32 地籍測量相關圖資與專案存於單一 GeoPackage 格式

## 五、結論與建議

本研究以開放原始碼 GIS 軟體 QGIS 為核心平台，結合 Python 程式開發技術，設計出三組專為地籍測量實務作業需求的外掛程式，透過這些外掛程式的實作與測試，證實 QGIS 不僅具有地籍圖資處理之能力，更可藉由外掛程式的開發突破傳統地政系統封閉式的限制，使圖資處理更具彈性與流程更為簡化，有助於擴展地籍圖資在 GIS 平台的應用及後續的 Web GIS 應用。

然而，研究過程中亦發現某些限制與待解決的課題，首先，QGIS 在面對 CurvePolygon 或 CompoundCurve 等幾何類型，雖具備良好的視覺呈現能力，但在進行某些演算法的幾何運算，如涉及拓撲的疊加(overlay)運算(Intersection、Difference、Clip…等)，因受限於對此類幾何的支援，往往會隱性的將曲線近似轉換為簡單幾何（如 Polygon 或 LineString）再進行計算，導致原始幾何資訊之精度或拓撲關係遭到破壞，致影響圖籍的真實性，此外，許多常見空間資料格式與資料庫儲存系統（如 Shapefile、Spatialite…等）對於這些幾何的支援程度亦不一致，增加資料轉換成本與潛在錯誤風險，未來可優先以 QGIS 核心開發具有曲線幾何的計算元件，或將資料傳至 PostgreSQL/PostGIS，藉由其原本即具備支援曲線的各项函式進行處理，再傳回 QGIS 的方式進行探討，以提升 QGIS 在 CurveGeometry 與 CompoundCurve 幾何上的支援，增進地籍圖資的顯圖與計算正確性。再者，由於 QGIS 為社群驅動之開放原始碼專案，其版本更新頻繁且底層 API 架構會隨版本演進而變動，因此外掛程式可能面臨相容性問題，例如某些函式庫在不同的 QGIS 版本(本研究以 3.34 至 3.38 版本進行驗證)或未來 4.0 以上版本的幾何處理邏輯可能改變，皆為後續開發外掛程式必須考量的事項。

綜上，本研究驗證了 QGIS 平台在地籍測量應用上的技術可行性與效率優勢，所開發的外掛程式不僅可簡化繁瑣作業流程，更為地籍資料的視覺化分析與空間運算提供一套高擴充性的解決方式。而除了本研究所規劃設計的相關地籍測量應用外，由於地籍圖資的特殊性，例如各地段之地籍圖因成圖方式、時間、坐標系統可能不一致，致使毗鄰各地段間的接邊易產生重疊或縫隙問題，當各地段圖資匯入 GIS 後可試著透由 GIS 系統既有的各類工具、演算法或自行開發外掛程式等方式，快速或自動尋找重疊與縫隙並加以修正，此類模式未來應可協助解決國內地籍測量作業上的相關問題。

此外，若要使達到最高的效能和最深度的客製化，建議直接使用 C++ 語言和 QGIS 核心 API 進行二次開發，透過直接操作 QGIS 核心 API，對地籍的拓撲規則、資料格式、高精度計算、外部儀器介接或平差軟體…等需求進行開發與整合，提升運算效率並支援複雜功能，並嵌入適合的測量圖形介面設計，使 QGIS 從通用 GIS 軟體轉型為專業地籍測量系統，惟此開發難度較高，但對國內地籍測量發展趨勢上將會產生重要影響。最後，未來若可導入更多地政圖資相關應用所開發的外掛程式，提供更便利的加值分析，將更有助於推動智慧地政的發展，並實現永續土地管理的願景。

## 參考文獻

- 尤瑞哲、李景中、吳相忠、邱式鴻、林志奕、洪榮宏、陳宏榮、許翰齊、黃灝雄、韓仁毓、藍國華，2024，《現代測量學》，初版，臺中：滄海圖書，ISBN：978-626-9855-57-5。
- 國家實驗研究院國網中心，2022，TwDTM 說明文件：For TwDTM 1.6.0（發布日期：2022年1月18日），內政部委託技術開發。
- 許豪修，2024，1 米解析度數值地形模型（DEM）資料萃取山脊線數值資料應用於地籍圖套疊，《地籍測量》，第 43 卷，第 4 期，頁 1 - 8。
- 陳冠廷，2020，開源地理資訊系統 Quantum GIS 於地政領域之應用及分析（Application and Analysis of Quantum GIS in Land Administration），《地籍測量》，第 39 卷，第 4 期，頁 47 - 67。
- 楊承道、曹雅筑、吳文元、朱易昌，2022，救援路網規劃與震損風險評估原型軟體發展：QGIS Python Plugin 開發者技術手冊（第一版），新北市：國家地震工程研究中心，報告編號 NCREE-22-019。
- 劉濠雄、顏守韓、廖泫銘，2011，使用開放源碼 GIS 軟體建立地籍圖查詢套繪系統，《2011 年台灣地理資訊學會年會暨學術研討會論文集》，臺北：臺大醫院國際會議中心，2011-11-09~2011-11-10。
- QGIS LAB 編輯部，2024，QGIS で法務省の登記所備付地図データを読み込む方法，QGIS LAB by MIERUNE，[https://qgis.mierune.co.jp/posts/usecase\\_moj-mapdata](https://qgis.mierune.co.jp/posts/usecase_moj-mapdata)，最近檢索時間 2025 年 1 月。
- Congedo, L., 2021, Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS, *Journal of Open Source Software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Cubillas, J. E., Torculas, R., Mayol, J., and Bajao, P. J., 2024, Land classification plugin for QGIS using Pix2Pix, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-5-2024, 33. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-5-2024-33-2024>
- Hosseingholizadeh, M., Coors, V., Ostadabbas, H., and Friesecke, F., 2023, Development of QGIS plugin for urban energy simulation using 3D city model at the city district level, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, X-1/W1-2023, 81-90. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-81-2023>
- Open Geospatial Consortium Inc., 2011, OpenGIS® Implementation Standard for Geographic Information – Simple Feature Access – Part 1: Common Architecture (OGC 06-103r4, Version 1.2.1, Corrigendum), Wayland, MA: Open Geospatial Consortium. <http://www.opengis.net/doc/is/sfa/1.2.1>
- QGIS Project, 2025a, PyQGIS 3.34 Developer Cookbook, <https://docs.qgis.org>，Last

accessed March 3, 2025.

QGIS Project, 2025b, QGIS Desktop 3.34 User Guide, <https://docs.qgis.org> , Last accessed March 3, 2025.

Sherman, G., 2014, *The PyQGIS Programmer's Guide*, Locate Press, ISBN: 978-0-9894217-2-0.

Sherman, G., 2018, *The PyQGIS Programmer's Guide: Extending QGIS 3 with Python 3*, Locate Press, ISBN: 978-0-9985477-2-5.

Stolze, K., 2003, SQL/MM Spatial: The standard to manage spatial data in a relational database system, in *Datenbanksysteme für Business, Technologie und Web (BTW 2003)*, Proceedings of the 10th BTW Conference, Leipzig, Germany, 26–28 February 2003.

Vitalis, S., Arroyo Ohori, K., and Stoter, J., 2020, CityJSON in QGIS: Development of an open-source plugin, *Transactions in GIS*, 24(5), 1147–1164. <https://doi.org/10.1111/tgis.12657>



# 以小琉球之基本控制點測量成果為例探討控制點位選擇之重要性

蕭詩涵<sup>1</sup> 景國恩<sup>2\*</sup> 陳鶴欽<sup>3</sup> 鍾岳龍<sup>4</sup> 洪翎嘉<sup>5</sup>

論文收件日期：114.12.09

論文修改日期：115.01.18

論文接受日期：115.01.22

## 摘要

本研究以小琉球地區之基本控制點為例，探討在地質活動的環境下基本控制點位選擇與穩定性評估的重要性。內政部國土測繪中心分別於 2003 至 2004 年及 2017 年完成小琉球 15 個基本控制點之 GNSS 與精密水準測量，其中 10 點為 GNSS 與水準共點。本研究將兩期成果重新約制於位於島嶼西側且環境相對穩定之點位 LC06，求得小琉球相對於 LC06 之三維地表位移場，並結合 2022 至 2025 年間之野外調查，檢視各控制點樁位與周邊構造物、地形及地質間之關係。結果顯示，小琉球整體呈現數十 mm 等級之抬升，但 LC02 點位在 13 年間卻出現約百 mm 等級之沉陷及顯著水平位移，且方向與現地觀察到之邊坡滑動一致，周邊護坡與階梯亦持續產生破壞，顯示該點位實際坐落於邊坡滑動的區域中。位於小琉球中央谷地附近之 LC03、LC04 與 LC07 點位周邊則可見地形階地、局部擠壓抬升與裂隙發育，對應潛移逆斷層與小規模活動斷層之作用；在 LC03、LC05 與 LC06 點位附近亦可辨識泥貫入筒活動所造成的建物上拱與局部抬升。此外，潮位基準點 TG74 之觀測條件雖然良好，但所在堤防已整體向潮位站方向傾斜並產生大型滑移裂隙，顯示其作為高程及坐標基準點的穩定性亦存疑。綜合地表位移場與野外證據可知，小琉球多處基本控制點並非設置在真正穩定的基盤上，坐標較差反映的較可能是地表真實變形，而非單純測量誤差。因此本研究認為，在構造活動之區域規劃控制網時，控制點選擇不應僅依賴地形平坦與透空良好等環境條件，而必須整合區域地質構造、泥體構造分布、長期地表位移場及現地破壞跡象，排除潛在邊坡滑動區與局部構造活動帶，並透過定期檢測與野外查核維持點位穩定性，方能避免控制網在長期運作中發生難以察覺之網形扭曲，確保測量成果之可靠基準。

**關鍵詞：**泥體構造、基本控制點、精密水準測量、衛星定位測量

<sup>1</sup> 博士候選人，國立成功大學測量及空間資訊學系

<sup>2</sup> 教授，國立成功大學測量及空間資訊學系

<sup>3</sup> 科長，內政部國土測繪中心基本測量及企劃科

<sup>4</sup> 專員，內政部國土測繪中心基本測量及企劃科

<sup>5</sup> 技士，內政部國土測繪中心基本測量及企劃科

\* 通訊作者，TEL：(06) 2757575 轉 63840，E-mail：jingkuen@mail.ncku.edu.tw

# Assessing the Importance of Control Point Site Selection: A Case Study of Basic Control Points in Hsiaoliuchiu Island

Shih-Han Hsiao<sup>1</sup> , Kuo-En Ching<sup>2\*</sup> , He-Chin Chen<sup>3</sup> , Yuen-Lung Jung<sup>4</sup> ,  
Ling-Chia Hung<sup>5</sup>

## Abstract

We investigated the importance of control point site selection and stability assessment in geologically active environments in this study, using the basic control network on Hsiaoliuchiu Island as a case example. The National Land Surveying and Mapping Center (NLSC) conducted GNSS and precise leveling surveys on 15 control points in 2003-2004 and 2017, including 10 points with collocated GNSS and leveling benchmarks. In this work, both survey epochs were minimally constrained to station LC06, located on the western side of the island in a relatively stable setting, to derive the three-dimensional displacement field of Hsiaoliuchiu. These geodetic results were integrated with systematic field investigations conducted between 2022 and 2025, focusing on the geological context, local structures, and deformation features surrounding each control point. The results show that the island has undergone several tens of millimeters of uplift, while LC02 experienced nearly 100 mm of subsidence and substantial horizontal displacement over 13 years. The displacement direction is consistent with on-site evidence of slope movement, and nearby retaining walls and stairways exhibit progressive structural damage, indicating that LC02 lies within an active sliding zone. Around LC03, LC04, and LC07 in the central valley, minor scarps, localized uplift, and surface cracking correspond to creeping reverse faults and small active structures. Additional deformation associated with mud diatremes is observed near stations LC03, LC05, and LC06, expressed as ground warping and building uplift. Although the benchmark TG74 provides excellent GNSS observing conditions, the host breakwater has tilted toward the station and developed large sliding fractures, calling into question its long-term stability as a vertical and horizontal reference. Overall, both geodetic and field evidence demonstrate that many control points on Hsiaoliuchiu are not

---

<sup>1</sup> Doctoral Candidate, Department of Geomatics, National Cheng Kung University

<sup>2</sup> Professor, Department of Geomatics, National Cheng Kung University

<sup>3</sup> Section Chief, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior

<sup>4</sup> Associate Specialist, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior

<sup>5</sup> Technical Specialist, National Land Surveying and Mapping Center, Ministry of the Interior

\* Corresponding Author, TEL : +886-06-2757575 ext. 63840, E-mail : jingkuen@mail.ncku.edu.tw

situated on truly stable ground, and the observed coordinate discrepancies likely reflect genuine surface deformation rather than measurement error. We concluded that control point selection should not rely solely on flat terrain or adequate sky visibility in tectonically active regions. Instead, it must incorporate regional geological structures, the distribution of mobile shale features, long-term displacement fields, and direct field indicators of instability. Excluding potential landslide zones and local active structures, combined with regular re-surveys and field inspections, is essential to maintain control-point stability and to prevent subtle yet cumulative distortions of the control network, thereby ensuring the long-term reliability of geodetic reference frameworks.

**Keywords:** Control point, GNSS, Precise Leveling, Mobile shale

## 一、前言

基本控制點的設置為測量與各項工程建設之主要依據(內政部, 2004), 因為在測量工作中, 測量誤差會隨著施測範圍的增加而不斷累積, 最終超過可允許的誤差範圍。因此, 為了防止測量誤差的不斷積累與提高測量成果的精度, 在測區中選擇數個法定參考框架中已公告已知坐標之基本控制點做為已知坐標點位, 再以這些控制點進行測定周圍其他的點位坐標或是施工放樣等工作。因此, 基本控制點的坐標精度控制就非常重要。在不考慮施測儀器精度的前提下, (1)參考框架的穩定性與(2)基本控制點本身的穩定性, 則是影響基本控制點坐標精度的兩個主要因素。

就參考框架穩定性而言, 由於臺灣在 1993 年以前之基本控制點遺失與損毀情況嚴重, 為建立完整統一且高精度之基本控制點系統, 依據「應用全球定位系統實施台閩地區基本控制點測量計畫」, 內政部於 1993 年至 1997 年間建立了 8 個衛星追蹤站, 並完成一等衛星控制點 105 點與二等衛星控制點 622 點之施測, 訂定新的靜態坐標系統 TWD97 (內政部國土測繪中心, 2019)。然而, 由於 1999 年集集地震的發生, 導致超過 1 公尺以上之地表變形, 嚴重影響災區及其鄰近範圍內基本三角點及民眾之土地權益。為維護基本控制點之精度, 內政部於 1999 年全面檢測中部災區範圍內之控制點, 並公布其 TWD97 坐標成果(內政部國土測繪中心, 2025)。而後, 隨著板塊長期穩定之震間運動及莫拉克風災等事件之發生, 控制點坐標又逐漸產生偏差而不符地籍測量之精度規範, 且期間各單位不斷增設衛星追蹤站與觀測站, 並提升計算精度, 國際地球參考框架在此期間也已經歷數次更新, 故內政部於 2012 年沿用 TWD97 坐標系統及其測量基準定義, 公告坐標系統 TWD97[2010] (內政部國土測繪中心, 2025)。然而, 由於 2018 年花蓮地震的發生, 內政部國土測繪中心為維護基本控制點之精度, 再度公告震源區內各級衛星控制點的最新坐標成果。隨後, 直至 2020 年, TWD97[2010]已公告 8 年有餘, 因板塊運動所產生的長期位移又使得部分點位精度已不敷實務應用, 故而內政部召集專家學者研議, 決定採用 ITRF2014, 解算 TWD97 之 2020 年成果, 並公告現行之坐標系統 TWD97[2020] (內政部國土測繪中心, 2025)。後續, 2022 年至 2024 年間, 因 2022 年 9 月臺東縣關山鎮及池上鄉發生芮氏規模 6.4 及 6.8 地震, 以及 2024 年 4 月花蓮近海芮氏規模 7.2 地震與多起餘震, 分別造成花東地區以及臺中、南投、宜蘭與花蓮地區之基本控制點位移, 而使得其精度已不符規範, 共歷經兩次重新檢測與區域性的基本控制點 GNSS 測量成果公告。在此期間, 也辦理了 2022 年東沙島、2023 年澎湖、金門、馬祖、綠島及蘭嶼等, 以及 2024 年連江縣莒光鄉及東引鄉的基本控制點 GNSS 測量工作, 陸續更新了包含東沙島在內各離島基本控制點 TWD97[2020]成果(內政部國土測繪中心, 2025)。

據由前述 TWD97 的維護歷程可知, 由於臺灣位處於歐亞板塊與菲律賓海板塊之交界, 快速之地殼變形(Yu *et al.*, 1997; Ching *et al.*, 2011a, 2011b)導致頻繁地震的發生, 造成臺灣地區靜態坐標系統約 5-10 年左右, 其基本控制點精度即不敷使用, 需進行重新檢測。為了應對臺灣參考框架穩定性不足的問題, 近年來檢討臺灣坐標

框架的研究相當多(Chiu and Shih, 2014; Ching and Chen, 2015; 邱元宏, 2016; 景國恩等, 2017; Li *et al.*, 2019)。進一步，為了降低臺灣參考框架維護的人力、時間與經費成本，在參考美國、日本、紐西蘭等國家的做法(Grant *et al.*, 1999; Tsuji and Matsuzaka, 2004; Pearson *et al.*, 2010)，臺灣半動態參考框架的構想因此被提出並逐漸完善(Ching and Chen, 2015; 景國恩等, 2017; Li *et al.*, 2019；Hsiao *et al.*, 2021)。換言之，為了解決臺灣參考框架的穩定性，已有相當多的研究在進行，且逐步獲得各界的關注。

就基本控制點本身的穩定性而言，根據「內政部辦理一等二等衛星控制點測量作業規範」與「內政部國土測繪中心辦理加密控制衛星測量作業手冊」中，衛星控制點的選取基準皆指出，(1)點位對空通視必需良好；(2)遠離干擾衛星訊號接收之無線電波來源；(3)遠離造成多路徑效應之訊號反射源；以及(4)無局部滑動之地質穩固處。由於有種種點位勘查標準的制定，所以一般在進行測量工作中，多直接認定基本控制點之點位是穩固的。換言之，當已知點檢測成果與公告坐標不符時，往往會直接認為此不符值是測量誤差所造成的；若此不符值落在規範要求內，則會直接進行測量平差，求取最終成果。然而，是否這些檢測結果與公告結果之不符值，確實是測量誤差所造成的嗎？基本控制點本身是否真坐落於地質穩固處？點位又是否曾遭人為破壞或移動？

為了探討與釐清是否有特殊地質作用或人為因素影響基本控制點之穩定性，本研究將採用國土測繪中心於 2003 年、2004 年及 2017 年在小琉球(圖 1)辦理基本控制點與水準點檢測作業之較差成果、地質災害資料彙整以及點位現地探勘等工作，來探討基本控制點點位選擇之重要性及其影響。

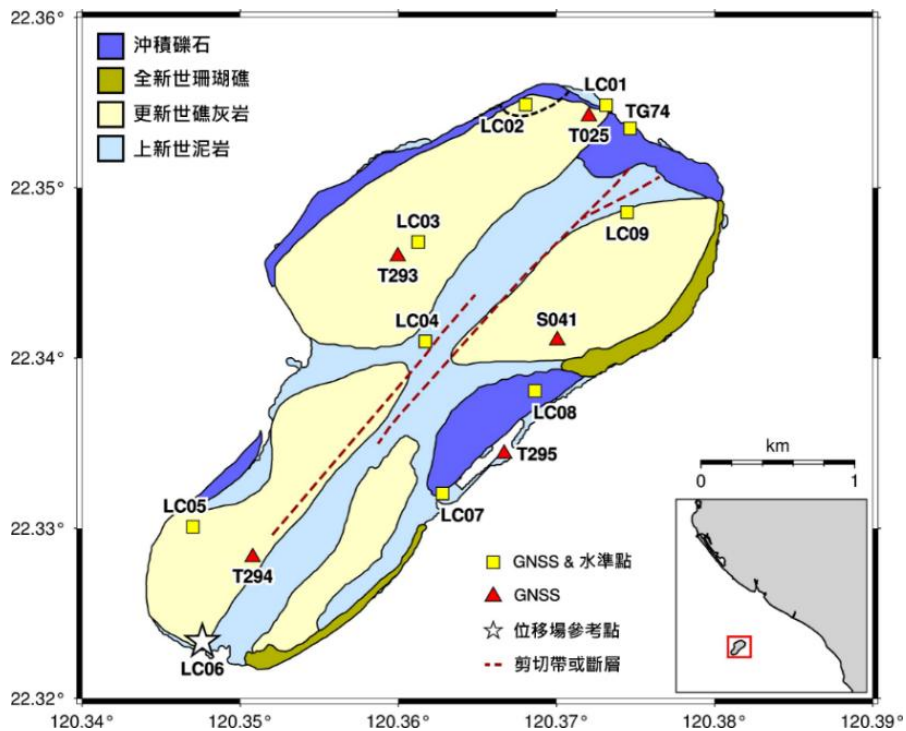


圖 1 小琉球基本控制點點位分布圖。底圖為重新繪製自 Lacombe *et al.* (2004) 之地質圖。紅色虛線為剪切帶或斷層位置；黑色虛線為邊坡滑動區域。黃色方形為 GNSS 與水準共點；紅色三角形為 GNSS 測站；白色星號除了是 GNSS 與水準共點，也是位移場之參考點。左上角方框為地質圖例，靛色為沖積礫石；黃綠色為全新世珊瑚礁；黃色為更新世礁灰岩；淺藍色為上新世泥岩。右下插圖標示出小琉球與本島間的地理位置關係。

## 二、小琉球基本控制點位介紹與資料計算

由於臺灣位處板塊擠壓與地震頻繁發生區，因此具有快速的地表相對位移(Yu *et al.*, 1997, Ching *et al.*, 2011a)，為此內政部國土測繪中心在臺灣建立 TWD97 國家坐標系統，並依照各離島潮汐觀測資料建立當地之正高高程系統，並定期辦理基本控制點檢測作業。在研究地區，內政部國土測繪中心於 2003 年完成 15 個基本控制點之建置，包含 10 個 GNSS 與水準共點、以及 5 個 GNSS 衛星控制點(圖 1)。隨後，國土測繪中心於 2003 年及 2017 年分別進行 2 次外業測量作業，共計辦理 15 個基本控制點測量作業，其中 10 個水準點同時辦理精密水準測量。

## (一) GNSS 測量

小琉球地區的 GNSS 外業測量共分 2 次進行，第 1 次觀測在 2003 年 8 月 4 日及 12 月 28 日，分 3 個時段實施；第 2 次觀測在 2017 年 7 月 28 日分 2 個時段，同一時段每個點位至少同步觀測 180 分鐘，並使用基線解算軟體(表 1)，搭配 IGS 精密星曆進行基線解算(表 1)，並使用 L1、L2 線性組合相除電離層效應、使用 Hopfield 模式改正對流層效應，最後進行網形平差求取各點位最或是值，並將成果最小約制在點位 T293，2 次平差後點位平均標準偏差  $\sigma_N$ 、 $\sigma_E$ 、 $\sigma_h$  分別均為 0.001 m、0.001 m 與 0.003 m，顯示測量成果符合基本測量實施規則中衛星定位測量之各項精度規範要求。

表 1 GNSS 測量相關參數及基線統計資料

	第一次 (2003 年)	第二次 (2017 年)
使用儀器	Trimble 4700	Trimble 5700
觀測時段	3	2
資料記錄速度	15 seconds	1 second
測站重複率	60.0%	33.3%
基線解算軟體	GPSurvey V2.35	TopconTools V8.2
基線數	100	88
基線重複數(率)	20 (20%)	10 (11.4%)

## (二) 精密水準測量

精密水準測量是目前測量地表高程方向變化最可靠的方法，測量精度可達釐米等級。小琉球地區的精密水準外業測量共分 2 次進行，第一次是在 2004 年 9 月 12-15 日，第 2 次測量在 2017 年 9 月 14-16 日，2 次皆使用 Trimble Dini 12 精密水準儀，並依照內政部訂定之「一等水準測量作業規範」進行外業觀測，水準儀並應每半年進行 1 次校正作業，並由符合國家度量衡標準實驗室航或簽署國際實驗室相互承認辦法之認證機構所認知實驗室為之，並出具校正報告。

每天精密水準外業觀測前，均會進行水準儀視準軸校準作業，其視準軸誤差須小於 10.0" (即 0.05 mm/m)。外業過程中，單一測站須符合前後視距差 $\leq 0.5$  m、最長視距 $\leq 50$  m、每次讀數需介於 0.3 m - 2.7 m、讀數標準誤差 $\leq 0.2$  mm 等要求。而對單一測段需符合往返閉合差 $\leq 2.5 \text{ mm}\sqrt{k}$  (k：測線距離，單位：km)、測段往返累積視距差需 $\leq 2.0$  m、測站須為偶數等條件。完成各測段檢核後，進行系統誤差改正，包含視準軸誤差改正(collimation error)、折射誤差改正(refraction error)、地球曲率誤差改正(curvature error)、水準尺溫度誤差(thermal expansion of invar leveling rod)及正高改正(orthometric height reduction)等項目，並檢核水準環線閉合差需 $\leq 2.5 \text{ mm}\sqrt{F}$  (F：組合閉合圈水準環線之總長度，單位：km)。最後進行最水準網平差，並將成果最小約制在點位 TG74，進行 2 次成果分析。相關水準測量平差成果如表 2。

表 2 精密水準測量相關成果統計資料

	第一次 (2004 年)	第二次 (2017 年)
平差點數	10	10
觀測測段數	12	11
多於觀測數	3	2
觀測先驗精度	0.45 mm	0.39 mm
閉合差圈總數	3	2
閉合圈最大值	1.34 mm	-3.88 mm
閉合圈最大值環線距離	5.937 km	9.954 km
改正數最大值(mm)	-0.56 mm	1.08 mm
點位標準偏差最大值	±0.74 mm	±1.58 mm

### 三、小琉球地表位移場

由於內政部國土測繪中心辦理之基本控制點檢測作業是在 2003 年、2004 年、2017 年分別進行，為了釐清在經過近乎 13 年之時間間隔後，此控制網之網形是否仍舊與原設計網形一致，本研究即進行各點位之坐標較差計算，求取各點位 13 年之水平與垂直位移量。然而由於 GNSS 的約制點是點位 T293 與精密水準的約制點 TG74 並不一致，為了使水平與垂直位移場具有相同的參考點，本研究重新將兩次 GNSS 與精密水準之坐標成果重新最小約制在點位 LC06 (圖 1)，並計算出小琉球相對於 LC06 之水平位移場(圖 2a)與垂直位移場(圖 2b)。選擇點位 LC06 為參考點的原因有三點：(1)該點位為 GNSS 與精密水準共點；(2)在進行野外調查後，指出該點位環境相對穩固(圖 3)；(3)該點位於全島最西側的中軸線上，可以反映全島的地殼變形特徵。

小琉球相對於 LC06 的 GNSS 水平位移場指出(圖 2a)，以島嶼中央東北-西南走向之谷地為界，島嶼西北側除了點位 TG74 與 LC01 具有約 42 mm 朝西南或南、LC03 約 17 mm 朝南的位移量，以及點位 LC02 具有 294 mm 朝北北西的位移量外，其餘點位的水平位移量多小於 8 mm。在島嶼東南側的水平位移場則相對一致，約  $79 \pm 2$  mm 朝東北運動。小琉球相對於點位 LC06 的 GNSS 與精密水準垂直位移場指出(圖 2b)，全島幾乎都在抬升，抬升量約在 12-26 mm 間，且 GNSS 和精密水準的抬升量相當一致。其中，點位 S041 具有  $48 \pm 4$  mm 的最大抬升量，然而該點位為 GNSS 點且數值遠大於周遭點位(圖 2b)，因此此抬升量是否可信，仍續持續監測該點位來確認。此外，TG74 點位與 LC02 點位則分別具有  $1 \pm 2$  mm 與  $99 \pm 2$  mm 之沉陷量。

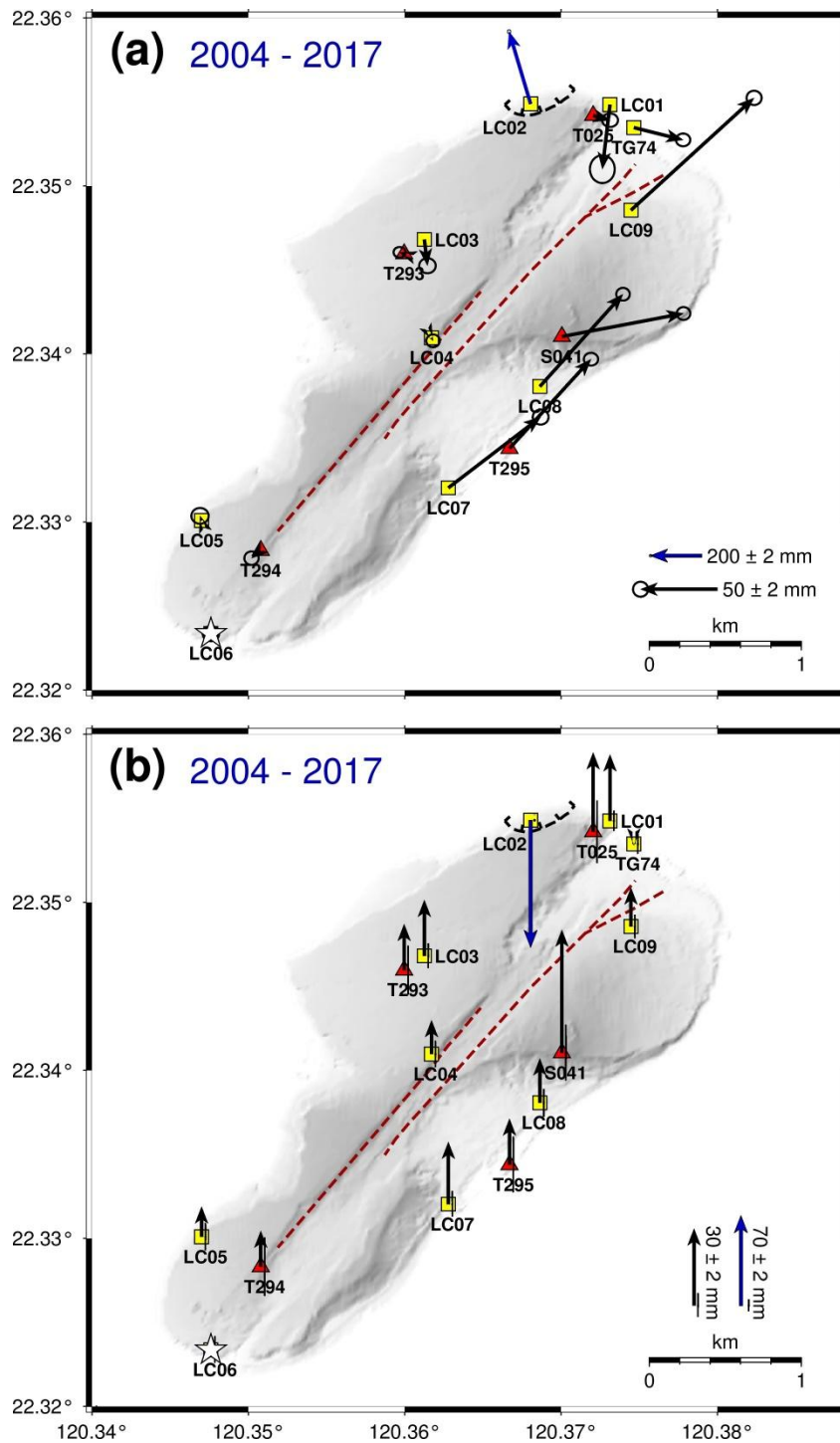


圖 2 小琉球相對於測站 LC06 之地表位移場。灰色底圖為 20 m 數值地形圖。紅色虛線為斷層位置；黑色虛線為深層崩塌的可能範圍。紅色三角形為 GNSS 測站位置；黃色方形為 GNSS 與水準共點位置；白色星號為位移場之參考點。(a)水平位移場。箭頭標示地表位移量與位移方向，箭頭尖端之橢圓為 95% 之可信區間。由於 LC02 受邊坡滑動影響，位移量較大，故特別以不同比例尺之藍色箭頭繪製。(b)垂直位移場。箭頭標示地表位移量與位移方向，箭頭底部右側之黑色細線為 95% 之可信區間。



圖 3 點位 LC06 之周圍環境。

#### 四、小琉球地質背景與基本控制點點位現狀調查成果

由地表位移場可以見到(圖 2)，僅約 6.8 平方公里的小琉球，其位移場卻具有相當大的空間差異。為了釐清這些坐標較差發生的原因，本研究進行了地質背景基本控制點樁位與周邊區域現地調查。

##### (一) 地質背景

小琉球位於臺灣西南部海域，為一呈狹長橢圓形之珊瑚礁島嶼，長軸方向略呈東北至西南。島上以珊瑚礁侵蝕後之丘陵地形為主(圖 1)，北寬南窄，地勢在中央地溝帶附近較高，向沿岸逐漸降低。全島受兩組主要侵蝕谷地控制，分別呈東北至西南與西北至東南方向，將島面切割為四個台地區域。其東西兩側臨海崖與海蝕地形發育良好，顯示長期侵蝕與抬升所造成的複合型地貌演化。地層方面，小琉球之基盤為上新世泥岩，上覆珊瑚礁所形成之石灰岩形成四個台地區，島嶼東南側與西北側則有全新世珊瑚礁的分布，全島沿岸區域則有小區域的礫石堆積(圖 1)。其中，泥岩呈青灰色，夾薄層棕黃色砂質頁岩或粉砂岩，層理不明顯且具塊狀構造，易受風化侵蝕；石灰岩則含大量珊瑚礁、貝類及有孔蟲遺骸(黃鑑水與劉桓吉，1990；石再添等，1991；Lacombe *et al.*, 2004；屏東縣政府琉球鄉公所，2023)。此組合呈現一典型之「弱泥岩基盤—強石灰岩覆蓋」構造架構，為島上明顯差異侵蝕與崩崖地形的成因之一。

多項研究指出，小琉球的形成與臺灣西南部海域直徑約 1-2 公里之泥貫入體(mud diapir)活動密切相關。琉球嶼泥岩被認為是大型泥貫入體上拱至海平面附近的頂部地層(Chi, 1981；Sun and Liu, 1993；Lacombe *et al.*, 2004)。陳松春等(2014；2016；2017a；2017b；2020)之後的研究則支持此觀點，認為小琉球乃臺灣西南部海域中抬升量最大的泥貫入體之一。而關於臺灣西南部泥貫入體相關研究，景國恩等(2023)在臺南台地地表變形機制研究中也曾提出，根據 Brown(1990)之描述，

泥貫入體除了前述文獻中常見的上拱穹頂型態外，其也常伴隨著直徑約 1 公尺至百公尺的「diatrema」小型貫入體發育，景國恩等（2023）將其中文名稱定義為泥貫入筒（mud diatrema），且基於野外調查證據也確實明確指出泥貫入體與泥貫入筒的發育尺度大小並不一致。另一方面，Wang *et al.*（2022）進一步利用反射震測剖面、海床地形與沉積物資料解析其構造機制，指出小琉球位於深度約 4 至 5 公里的滑脫面之上。該滑脫面控制上部泥體之塑性上拱與變形，促使泥基背斜與後續泥體構造發育。研究顯示泥體構造具有持續活動性，沉積層呈現隆升、變薄與褶皺，對應上新世以來平均縮短速率約 0.64 mm/yr，而抬升速率由 0.5 - 0.8 mm/yr 增加至約 1.1 - 1.3 mm/yr，顯示此構造體系持續成長。Wang *et al.*（2022）認為，該區之構造並非典型逆衝斷層主導，而是由滑脫構造與泥體塑性變形共同驅動，深部滑脫面在應力累積下仍可能產生地震型破裂，而歷史紀錄中 1865 年也曾出現小琉球地表破裂事件，顯示此構造具一定的活動潛勢。

綜合上述資料，小琉球的地形骨架主要受「深部滑脫面驅動泥體上拱」與「差異侵蝕作用」共同塑造。泥岩基盤因易受侵蝕而逐漸被削弱，石灰岩則相對抗蝕，使島上呈現明顯的谷地與崩崖地形。同時，上拱的泥體構造包刮泥貫入體與泥貫入筒，兩種構造的尺度大小並不相同。此一深部至淺部之構造過程，使小琉球呈現長期且具區域差異的抬升與侵蝕速率，而泥體構造之持續活動與不同尺度的地表變形亦可能降低島上部分地區之地表穩定性，並可能造成基本控制點網型扭曲。對於依賴地表穩定性的測量控制點而言，此構造背景顯然具有重要影響，並可能影響其長期作為參考基準點之可靠性。

## （二）特殊狀況點位

為了確認島上基本控制點是否可能受到上述地質構造活動的影響，本研究對島上所有點位及其周圍區域進行了野外實地調查，並將調查過程中發現有特殊狀況的點位在此彙整說明：

### 1. 點位 LC02

點位 LC02 位於小琉球美人洞旁的停車場與公廁附近（圖 4），為 GNSS 與水準點的共點。此區表面看似平坦穩固，但實際勘查顯示其周邊結構已出現多處異常。點位旁的水泥護坡可見數條寬度超過 3 公分的裂隙（圖 5 藍色箭頭），距岸邊約 10 公尺的階梯亦有超過 1 公分的垂直張裂（圖 5 紅色箭頭）。停車場旁的道路高程略低且有重鋪痕跡，整體跡象指向此區可能位於局部邊坡滑動帶，使周邊人工構造物持續受擾動。在 2022 至 2023 年間，公廁曾進行整建，2023 年 10 月再次勘查時，雖公廁工程已完成，但護坡裂隙有擴大趨勢，階梯原有裂縫因新設扶手底座而被覆蓋，然而第一階的裂隙與階梯下矮牆多處破裂仍清楚可見（圖 5）。2025 年重新勘查時則發現，階梯扶手已經向外傾斜，新的扶手底座與階梯間又開始出現裂縫。前方步道近 1 至 2 年內重鋪的水泥地板亦出現新的破裂。此外，沿美人路北側更可見護坡因邊坡滑動而發生的嚴重破壞（圖 5）。



圖 4 點位 LC02 於 2022 與 2023 年之周圍環境。

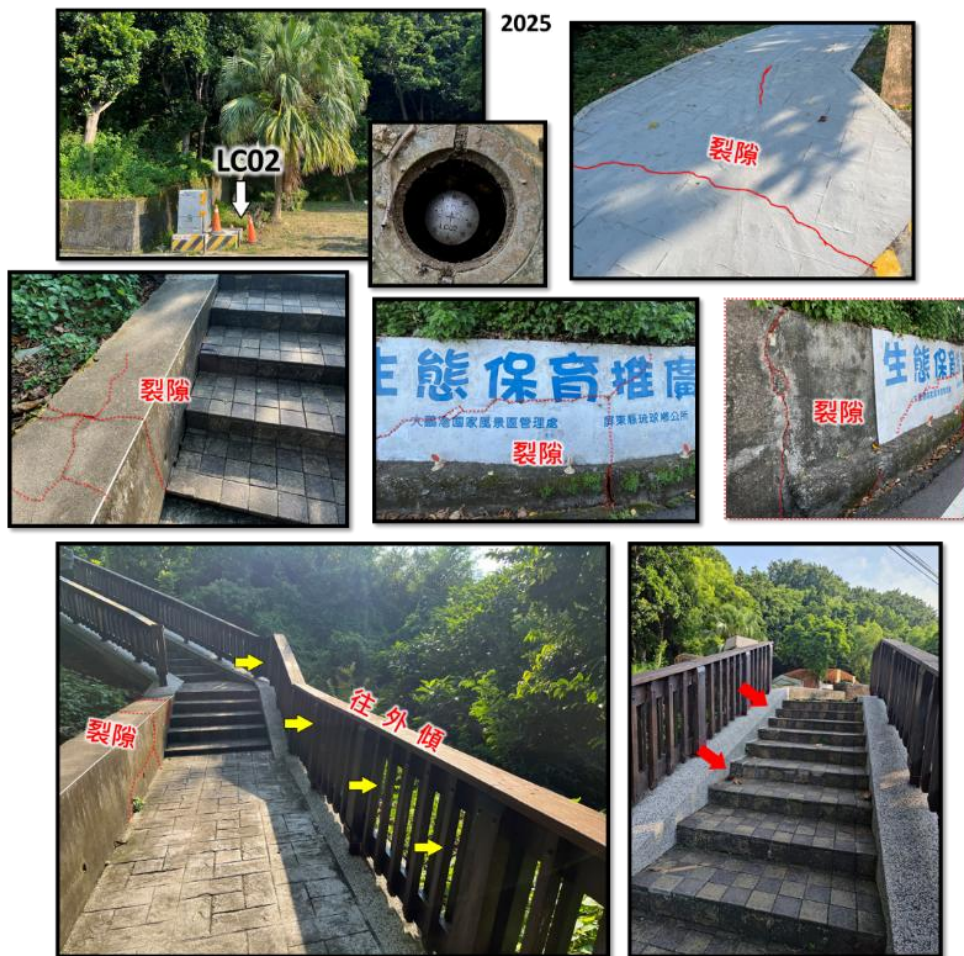


圖 5 點位 LC02 於 2025 年之周圍環境。

## 2. 點位 LC03

點位 LC03 與 T293 皆位於全德國小校園內，兩點直線距離在 200 公尺以內。LC03 為一等水準點與 GNSS 共點，位於校門口左側圍牆內的地面上(圖 6)，點旁榕樹使透空度不佳，周邊未見明顯破壞，數公尺旁花圃於 2023 年勘查時有裂隙，初判應為植物樹根造成，2025 年已重建，待後續持續觀察； T293 為三等控制點，位於該校西南方教室樓梯口上方樓板。LC03 位於東北方，而 T293 位於西南方。兩者之間的空地可見一條西北至東南延伸、向西南傾斜的崖面，崖高約 20 至 30 公分(圖 6 黃色箭頭)，崖底兩側花壇圍牆呈現持續擠壓破壞，顯示此崖面可能為潛移逆斷層所形成。2025 年勘查時，原先因長期變形而隆起的地磚已被拆除並改鋪水泥(圖 6)，後續是否再度產生裂隙仍須追蹤。此外，在校內靠近側門的位置可見許多受泥體構造作用影響的抬升破壞。最明顯的裂縫可達 3 至 5 公分，鄰近教室的階梯矮牆與柱子亦出現抬升開裂(圖 7)。綜合所有觀察，本研究認為此區域主要受到泥體構造與其周邊小斷層的共同影響，兩者皆不屬於地質穩定區域。此外，點位 T293 於 2022 年清查時發現遺失，但依原本的相對位置判斷，LC03 位於此小斷層的上盤，T293 則位於下盤，後續相關延伸研究仍可利用 T293 遺失前的資料確認兩點之垂直變形差，分析此小斷層的活動量。



圖 6 點位 LC03 與 T293 之周圍環境。



圖 7 點位 LC03 與 T293 周圍可能因泥體構造活動造成的破壞。

### 3. 點位 LC04

點位 LC04 為一等水準點與 GNSS 控制點共點，位於上杉路下坡左側的草地上。點位透空度良好，表面環境看似平穩。然而，本研究於 2023 年勘查時即注意到上杉路旁的水泥護坡呈現新鮮破壞，點位旁的水泥面亦出現上拱現象（圖 8），顯示此區有明顯的擠壓抬升作用。比對周邊地形可推測，點位所在的草地較接近原始地形，而上杉路坡面可能為後期開挖修築，因此其受抬升作用影響更容易出現破壞。本年度再次勘查時發現護坡裂隙持續增加，對向護坡牆也出現新的明顯破裂（圖 8），顯示此處抬升活動仍在進行。綜合相關跡象，點位 LC04 並非位於地質穩定區域。



圖 8 點位 LC04 點位狀況與周圍環境。

#### 4. 點位 LC05

點位 LC05 為一等水準點與 GNSS 控制點，位於烏鬼洞遊客入口處（圖 9）。設置初期透空度良好，但 2023 年勘查時發現點位已被大量樹叢包圍，透空度明顯下降。由於其位於平坦草地上，當時研判地質環境相對穩定，雖不利於 GNSS 觀測，仍可作為水準點使用。2025 年重新調查時，擴大觀察範圍後在烏鬼洞風景區停車場附近發現明顯的結構物損壞與小範圍地表變形。景區出口旁的水泥圍牆出現嚴重破裂，圍牆內部地磚亦呈現明顯因地形抬升而產生的位移（圖 9）。此類破壞型態強烈指向泥貫入筒活動造成的局部抬升。雖目前變形範圍較小，對 LC05 的直接影響有限，但後續仍須持續觀察周邊是否出現更多類似變形跡象。

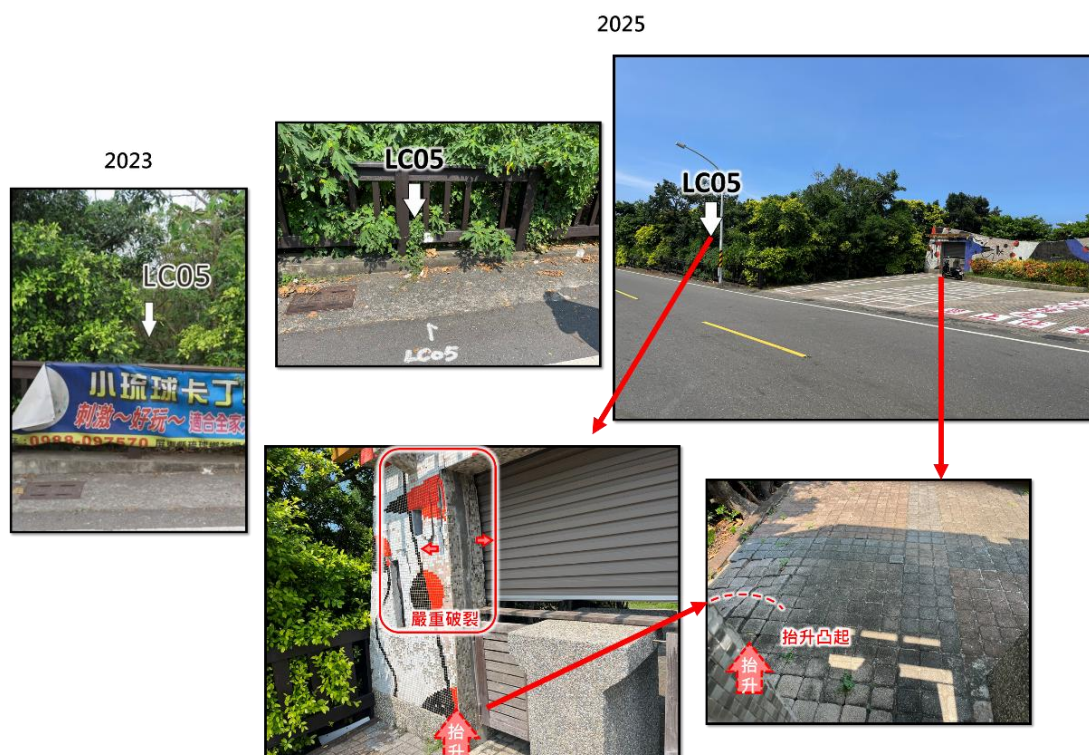


圖 9 點位 LC05 點位狀況與周圍環境。

## 5. 點位 LC06

點位 LC06 為一等水準點與 GNSS 共點，位於南福村附近，鄰近二龍宮的公園人行步道旁（圖 10）。初次進行點位勘查時，發現點位南側雖有樹蔭遮蔽，但透空度還算良好，周圍地勢平且未發現地表變形與結構物損壞，研判此區非常穩定，故選定為小琉球地表位移場的約制點。2025 年擴大調查至二龍宮周邊區域時，發現明顯的地表變形跡象。二龍宮前方階梯可見約 1 至 2 公分的抬升裂隙。再往後方廣場則可觀察到大量新鮮且較為嚴重的裂縫，雖有修補痕跡仍持續擴大，最大裂縫寬度已達約 15 公分（圖 10）。更重要的是，廣場與小徑之間存在一條高度近 1 公尺的線形崖，沿此線形延伸至道路對側，民宿圍牆亦出現大裂縫及修補痕跡，顯示該線形崖可能對應一活動速率較快的潛移斷層。此外，線形崖靠近海岸的一端還可見一處凸起的小丘，高度差約 1.2 公尺，其形態與尺度皆符合泥貫入筒活動的特徵（圖 10）。綜合以上觀察，LC06 目前仍屬穩定，但數百公尺處的結構物有發現小區域顯著的地表變形與破壞，故後續將持續觀察，一旦發現構造活動可能影響到點位的穩定時，則須更換約制點，但可保留點位持續觀測，以便後續分析構造活動性。



圖 10 點位 LC06 點位狀況與周圍環境。

## 6. 點位 LC07

點位 LC07 為一等水準點與 GNSS 控制點，位於大福村大福亭旁的路邊水泥地上（圖 11）。2023 年勘查時，點位透空度良好，表面環境看似穩定。然而距離點位約 10 公尺的新漁港漁具倉庫外牆已出現多處新鮮裂隙（圖 11）。2025 年重新勘查時，該建物的破壞仍在擴大。外牆與柱子連接處出現明顯擠壓與凸出變形，柱子外牆已有剝落並露出鋼筋的情形（圖 11）。此類破壞型態可能與活動斷層相關，需持續追蹤其發展。綜合現場觀察，點位 LC07 周邊顯示明顯的結構擾動跡象，該點位具有高度可能並非位於地質穩定區域。



圖 11 點位 LC07 點位狀況與周圍環境。紅色箭頭指向裂隙的位置。

## 7. 點位 S041

點位 S041 為一等三角點及小琉球衛星控制點，位於八七高地山頂，周邊有太陽能板與電塔。現場植被茂密（圖 12），透空度偏低，但經適度修剪後可改善。山頂雖較不易發生典型邊坡滑動，但仍可能有表層鬆動、局部崩塌或雨後小規模位移。此外，本區泥貫入體活動範圍可能延伸至山頂，仍需留意是否造成局部抬升或地表裂隙，後續宜定期觀察環境變化，以確保點位長期穩定性。



圖 12 點位 S041 點位狀況與周圍環境。

## 8. 點位 TG74

該點位位於小琉球東北端白沙尾漁港的堤防上，為內政部設置的 GNSS 控制點與水準點。2023 年勘查時鋼標保存良好，標號與十字刻痕清晰，且無遮蔽、透空度極佳（圖 13）。然而本年度重新勘查時，發現點位旁放置兩塊大型石頭，鋼標表面多處凹陷，十字刻痕也遭敲擊（圖 13），顯示有遭受人為破壞的可能。內政部國土測繪中心於「113 年度高程基準檢測工作報告」中指出，為了解高程系統基準是否穩定，又因潮位基準與高程系統相互結合，故除潮位儀本身的準確度外，還須掌握潮位站之穩定性，在該報告中同時也指出，點位 TG74 狀況良好（內政部國土測繪中心，2025）。但本團隊於 2023 年及 2025 年的現場觀察顯示，堤防本體已朝潮位站方向明顯傾斜（圖 13），並出現大型滑移裂隙。此滑動與區域地質構造無關，反映堤防整體已非穩固塊體。因此，儘管 TG74 點位的透空度極佳，其所在結構已不再穩定，並不適合作為基準點、基本控制點或地殼變形監測點。

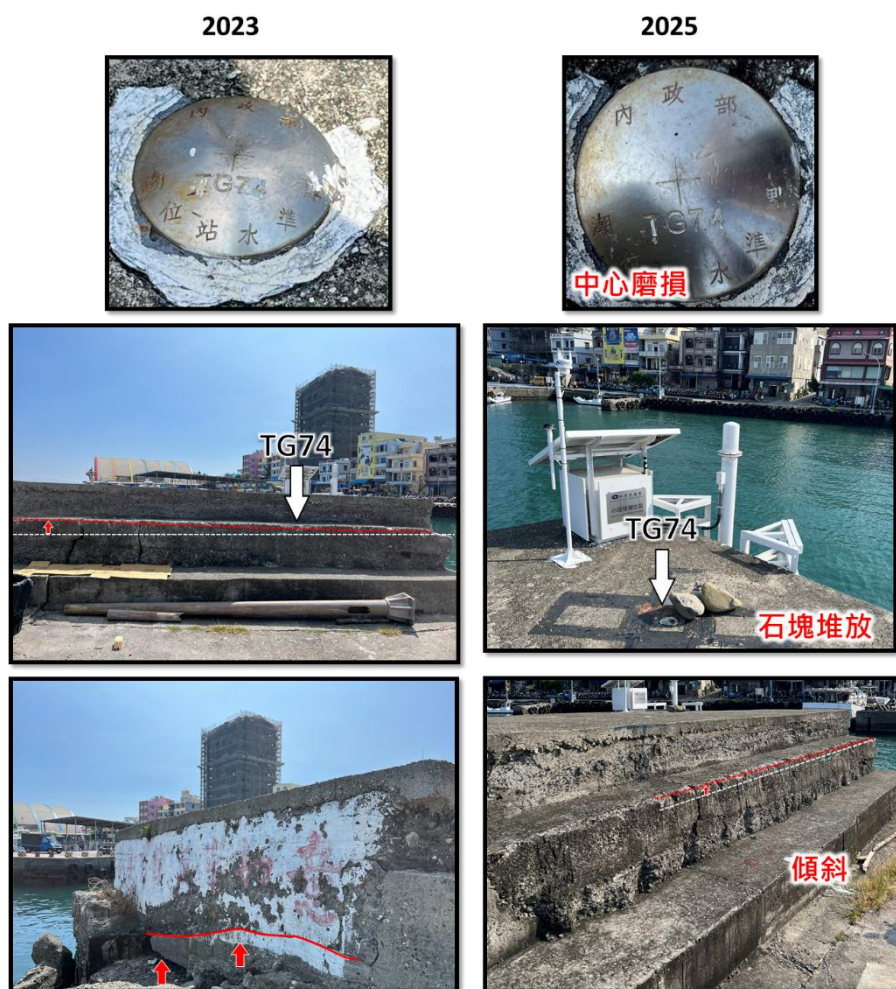


圖 13 點位 TG74 點位狀況與周圍環境。

### (三) 小琉球基本控制點狀況彙整

針對基本控制點進行野外調查，是為了釐清控制測量成果與公告坐標不符時，其背後真正的成因。過去在實務作業上，多預設基本控制點已依作業規範選在「地質穩固處」，因此當檢測成果與公告坐標出現差異時，往往直接視為觀測或平差上的誤差處理。然而，小琉球僅約 6.8 平方公里，從相對於點位 LC06 的水平與垂直位移場可以清楚看出，其地表變形已呈現顯著的空間差異（圖 2）。此一現象顯示，造成坐標差異的原因，很可能不只是觀測誤差，而是部分控制點本身即處於持續變形的環境之中。如果未對點位周遭的地質條件與構造關係進行實地查證，控制網形便可能在不知不覺間遭到扭曲。

而本次野外調查也進一步確認，小琉球多處基本控制點並非設置在真正穩定的地質區域。其中，點位 LC02 明顯位於邊坡滑動帶，點位 LC03、LC04 與 LC07 周邊可見因潛移逆斷層造成的擠壓抬升，點位 LC03 與 LC05 附近也可觀察到泥貫入筒活動引起的小尺度抬升變形。點位 S041 這些變形多為長期緩慢累積，短期觀測不易察覺，卻可能在數十年後造成與原始公告坐標難以調和的差異。若僅從數值上檢視坐標差異是否落在容許範圍內，而忽略點位所處的構造背景與地質環境，便有可能將真實的地表變形誤判為單純測量誤差。此次野外證據顯示，點位選擇與場址條件本身，即是影響小琉球控制網精度與穩定性的關鍵。

## 五、討論與結論

小琉球的地形與地質背景顯示，本區域並非單純的穩定基盤，而是受泥體構造活動所長期塑造。小琉球整個島體主要由泥岩構成，易受風化侵蝕，上覆的石灰岩則相對抗蝕，加上泥體構造持續上拱，使島上呈現複雜的差異抬升與侵蝕分布。深部滑脫面、泥體塑性變形以及歷史紀錄中的地表破壞亦指出，小琉球並非靜止的地質塊體，而是一個持續變形的構造。構造長期持續的活動對於基本控制點穩定性的影響在過去常被忽略並以為是一般的測量誤差，進而造成控制測量網形的扭曲。

本研究整合小琉球 2004 至 2017 年的地表位移場、地質構造分布以及近年野外調查結果指出，目前已發現小琉球有約 55% 的基本控制點均受不同型態的地質變形影響。其中，由於整個島體為泥體上拱，幾乎所有點位皆呈現抬升，僅 TG74 由於堤防本體已明顯傾斜不再穩定，故而有很小的沉陷量。水平位移場則指出，中央谷地紅色斷層線東南側往東北方有約 60-100 mm 的顯著位移量，西北側則主要往南方位移，顯示此處斷層可能正在潛移（圖 1；圖 2）。點位 LC02 呈現遠高於其他點位的沉降與水平位移量，與現地所見邊坡滑動方向一致，且鄰近區域中也有顯著的滑動破壞證據，顯示該區域可能受更大尺度邊波滑動影響，而此問題若未在控制網建立前被辨識，將直接造成控制網內部幾何的系統性扭曲。類似現象也出現在中央谷地附近的點位 LC03、LC04 與 LC07，這些點位周邊可觀察到地形階差、擠壓與局部抬升，雖其變形量相對較小，但控制點與公告坐標之間的落差在多年累積後，也足以超出測量容許範圍。此外，點位 LC03、LC05 與 LC07 附近可見泥貫入筒造成

的局部抬升，呈現建物上拱、地面突起與裂縫等現象，屬於典型的泥體上升與塑性變形表現。這類抬升的空間範圍雖小，卻集中且具有持續累積的特性，若控制點正好位於此類構造通道附近，其坐標便會隨泥體活動而逐漸偏移。另外，值得注意的是，點位 LC06 周邊亦出現疑似泥貫入筒與小型活動斷層的破壞跡象。雖目前尚未直接影響控制點，但地質構造具有空間連續性，故須維持現地調查頻率，若該變形向控制點方向擴展，則應更換小琉球島的位移場約制點。

以上證據顯示，小琉球地質構造活動所產生的變形並非局部事件，而是由滑脫構造、泥體上拱、侵蝕與潛移斷層共同造成的交互作用。一般而言，在基本控制點規劃與測量實務中，往往假設控制點本身穩定，並將觀測成果與公告坐標間的差異視為儀器或觀測誤差而忽略。然而根據本研究在小琉球進行的分析與調查發現，控制點因構造活動產生的不穩定才是造成坐標不符的真正來源，而非觀測誤差。

因此，本研究認為，控制點的選擇不應僅依靠地形平坦或透空狀況等表面條件，而應建立在更完整的測地與地質資訊整合之上，包含區域地質構造、泥貫入體分布、歷史地表位移場以及野外破壞證據等，皆應於控制網設計時同步考量。若忽略這些因素，短期觀測所得之成果即使通過平差檢定，但控制網仍可能在地質變形的長期作用下逐漸產生不可察覺的扭曲。小琉球的案例充分顯示，未來在具有構造活動背景的区域布設基本控制點時，應該避開潛在邊坡滑動區與局部構造活動帶，並透過對控制點觀測成果之持續分析，配合點位狀況與鄰近區域的野外調查，以確認點位的穩定性。唯有在控制網設計與維護過程中納入地質與地表變形證據，方能確保測量基準的可靠性並有效降低網形失準的風險。

## 致謝

本研究承蒙內政部國土測繪中心 106-107 年度「精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式」、「離島地區一等水準點水準及衛星測量」案以及 112-114 年度「特殊地質對基本控制點影響及因應機制採購案」提供 GNSS、水準觀測及相關研究資料與經費支援，使本研究得以順利完成，特此申謝。

## 參考文獻

- 石再添、張瑞津、許民陽、沈淑敏，1991，琉球嶼的海階及珊瑚礁定年研究，《國立臺灣師範大學地理研究所「地理研究報告」》，第 17 期，第 85-97 頁。
- 內政部國土測繪中心，2019，《108 年度精進現代化 TWD97 國家坐標系統變位模式工作總報告書》。
- 內政部國土測繪中心，2025，<https://www.nlsc.gov.tw/cp.aspx?n=1482>。最後瀏覽時間：2025.12.05。
- 內政部國土測繪中心，2025，《113 年度「高程基準檢測工作」報告》。
- 邱元宏，2016，《時變基準於臺灣基本測量與地籍測量影響探討》，國立交通大學土木. 工程學系博士學位論文。

林啟文、游鎮源、洪國騰、周稟珊，2012，臺灣南部臺南—高雄泥岩區的地質構造研究，《經濟部中央地質調查所彙刊》，第 25 號，頁 143-174。

屏東縣政府琉球鄉公所，2025，

<https://www.pthg.gov.tw/liuchiu/cp.aspx?n=EE81F58B7E438AAE&s=FBD7C17EB0FEE7F2>。最近檢索時間 2025 年 12 月。

景國恩、楊名、陳鶴欽、林文勇、梁旭文、劉正倫，2017，臺灣半動態基準之建立與展望，《國土測繪與空間資訊》，第 5 卷，頁 83-109。

景國恩、陳松春、吳泓昱、蔡佩京、蕭詩涵、陳芊如，2023，臺南台地現今地殼變形機制爭議之初步探討及來自成大資源工程系教學井之暗示，《土木水利》，第 50 卷 2 期，頁 19-22。

陳松春、許樹坤、王詠綸、劉家瑄，2014，臺灣西南海域上部高屏斜坡之泥貫入體與活躍泥火山的分布及油氣潛能，《鑛冶》，第 58 卷 2 期，頁 30-49。

陳松春、許樹坤、蔡慶輝、王詠綸、洪崇勝、郭富雯，2016，泥貫入體構造對恆春西台地及附近海域之地體構造演化影響，《鑛冶》，第 60 卷 3 期，頁 7-22。

陳松春、許樹坤、蔡慶輝、王詠綸、葉一慶、劉家瑄，2017a，臺灣西南海域泥貫入體抬升及天然氣水合物解離所引發的大型海底山崩，《鑛冶》，第 61 卷 3 期，頁 33-46。

陳松春、陳建良，2017b，臺灣西南半屏山、古亭坑及大崗山背斜之泥貫入體構造特徵研究，《經濟部中央地質調查所 106 年自行研究計畫報告第 10614 號》，共 78 頁。

陳松春、景國恩、羅祐宗、陸挽中，2020，台南背斜及中洲背斜之泥貫入體特徵、活動性及地質安全，《經濟部中央地質調查所彙刊》，第三十三號，頁 1-32。

黃鑑水、劉桓吉，1990，《臺灣區域地質圖數值檔五萬分之一：琉球嶼》，經濟部中央地質調查所：新北市中和區。

Brown, K.M., 1990, The nature and hydrogeologic significance of mud diapirs and diatremes for accretionary system, *Journal of Geophysical Research*, 95, B6, pp. 8969-8982.

Chi, W. R., 1981, Calcareous nannoplankton from the sediments of the Liuchiuhsu, southwestern Taiwan, *Proceedings of the Geological Society of China*, 24, pp.141-147.

Ching, K. E., & Chen, K. H., 2015, Tectonic effect for establishing a semidynamic datum in Southwest Taiwan, *Earth Planets and Space*, 67, 207.

<https://doi.org/10.1186/s40623-015-0374-0>.

Ching, K. E., Rau, R. J., Johnson, K. M., Lee, J. C., Hu, J. C., 2011a, Present-day kinematics of active mountain building in Taiwan from GPS observations during 1995–2005. *Journal of Geophysical Research*, 116: B09405, doi:10.1029/2010JB008058.

- Ching, K. E., Johnson, K. M. Rau, R. J. Chuang, R. Y., Kuo, L. C., & Leu, P. L., 2011b, Inferred fault geometry and slip distribution of the 2010 Jiashian, Taiwan, earthquake is consistent with a thick-skinned deformation model, *Earth Planet Science. Letter*, 301, pp. 78-86.
- Chiu, Y. H., & Shih, T. Y., 2014, National Datum Uncertainty due to Reference Frame Transformation: Case Study for the Geodetic Datum of Taiwan, *Journal of Surveying Engineering*, 140(3):05014002.
- Grant, D. B., Blick, G. H., Pearse, M. B., Beavan, R. J., & Morgan, P. J., 1999, The development and implementation of New Zealand Geodetic Datum 2000, *Proceedings of the IUGG99 General Assembly*: Birmingham UK.
- Hsiao, S. H., Ching, K. E., Chen, K. H., & Li, C. K., 2021, Timing of coseismic displacement grid model construction for updating the semi-kinematic reference frame: Case study in Taiwan, *Journal of Geodesy*, 95, 25.
- Lacombe, O., Angelier, J., Mouthereau, F., Chu, H. T., Deffontaines, B., Lee, J. C., *et al.*, 2004, The Liuchiu Hsu Island offshore SW Taiwan: tectonic versus diapiric anticline development and comparisons with onshore structures, *Comptes Rendus Geoscience*, 336, pp. 815-825.
- Li, C. K., Ching, K. E., & Chen, K. H., 2019, The ongoing modernization of the Taiwan semi-dynamic datum based on the surface horizontal deformation model using GNSS data from 2000 to 2016, *Journal of Geodesy*, 93(1), pp. 1543-1555.
- Pearson, C., McCaffrey, R., Elliott, J., & Snay, R., 2010, HTDP 3.0: Software for Coping with the Coordinate Changes Associated with Crustal Motion, *Journal of Surveying Engineering*, 136, pp. 80-90.
- Sun, S.C., & Liu C.S., 1993, Mud diapir and submarine channel deposits in offshore Kaosiung-Hengchun, southwest Taiwan, *Petroleum Geology of Taiwan*, 28, pp.1-14.
- Tsuji, H., & Matsuzaka, S., 2004, Realization of Horizontal Geodetic Coordinates 2000, *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, 51, pp. 11-30.
- Wang, Y., Lin, Y. N., Ota, Y., Chung, L. H., Shyu, J. B. H., Chiang, H. W., *et al.*, 2022, Mud diapir or fault-related fold? On the development of an active mud-cored anticline offshore southwestern Taiwan, *Tectonics*, 41(9), e2022TC007234.
- Yu, S. B., Chen, H. Y., & Kuo, L. C., 1997, Velocity field of GPS stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, 274, pp.41-59

# 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：

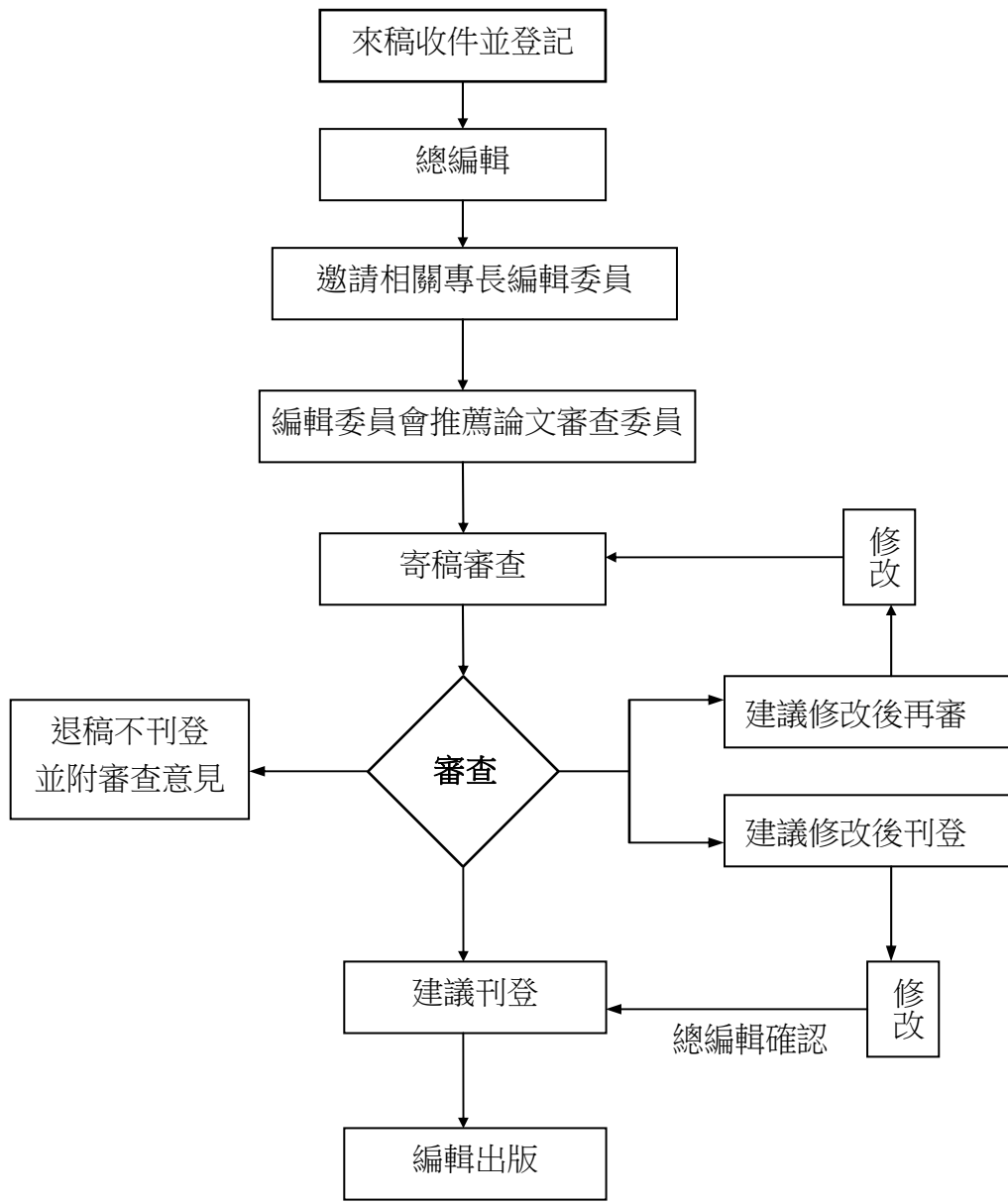
1. 刊登。
2. 修改後刊登(應列明審查意見及建議事項)。
3. 修改後再審(應列明審查意見及建議事項)。
4. 不適刊登(應列明審查意見)。

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 陳國華 國立臺北大學不動產與城鄉環境學系

## 編輯委員 (依姓氏筆劃順序排列)

史天元 國立陽明交通大學土木工程學系

林士淵 國立政治大學地政學系

張智安 國立陽明交通大學土木工程學系

曾子榜 國立成功大學測量及空間資訊學系

曾國欣 國立中央大學太空及遙測研究中心

景國恩 國立成功大學測量及空間資訊學系

蕭宇伸 國立中興大學水土保持學系

儲豐宥 國立成功大學測量及空間資訊學系

韓仁毓 國立臺灣大學土木工程學系

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

洪翎嘉 內政部國土測繪中心

周廷柔 逢甲大學地理資訊系統研究中心

發行人 楊名 理事長 國立成功大學測量及空間資訊學系

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

第十四卷第一期

民國一一五年一月

Vol. 14, No. 1

January 2026

目 錄  
CONTENTS

- 應用高解析度 SAR 影像於大型浮頂式油槽油位動態監測  
陳以耕 ..... 01  
**High-Resolution SAR-Based Monitoring of Fuel-Level Dynamics in Large Floating-Roof Oil Tanks**  
Yi-Keng Chen
- 以多元測地技術探討光電場與地下工程對聚落地表變形之影響  
蔡佩京、景國恩 ..... 23  
**Analysis of Settlement Surface Deformation Induced by Photovoltaic Farm Construction and Underground Engineering Using Multi-Source Geodetic Techniques**  
Pei-Ching Tsai , Kuo-En Ching
- 使用 QGIS 開發地籍圖資加值應用外掛程式之實作驗證  
陳宏榮、吳相忠、陳淑美 ..... 47  
**Development and Validation of a QGIS Plugin for Extended Cadastral Data Applications**  
Hung-Jung Chen , Hsiang-Chung Wu , Shu-Mei Chen
- 以小琉球之基本控制點測量成果為例探討控制點位選擇之重要性  
蕭詩涵、景國恩、陳鶴欽、鍾岳龍、洪翎嘉 ..... 79  
**Assessing the Importance of Control Point Site Selection: A Case Study of Basic Control Points in Hsiaoliuchiu Island**  
Shih-Han Hsiao , Kuo-En Ching , He-Chin Chen , Yuen-Lung Jung , Ling-Chia Hung