

# 112 年度特殊地質對基本控制點 影響及因應機制委託研究

## 成果報告

Influence of specific geological structures  
on control points and related maintenance strategy

內政部國土測繪中心委託研究

中華民國 112 年 11 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

# 112 年度特殊地質對基本控制點 影響及因應機制委託研究

## 成果報告

Influence of specific geological structures  
on control points and related maintenance strategy

受委託單位：國立成功大學

研究主持人：景國恩

研究期程：中華民國 112 年 2 月至 112 年 11 月

研究經費：新臺幣 75 萬元整

內政部國土測繪中心委託研究

中華民國 112 年 11 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



# 目錄

摘要 .....	1
第一章 研究主旨 .....	3
1.1 研究主題與緣起 .....	3
1.2 計畫目標 .....	7
第二章 小琉球島、滾水山及潔底山等地區地質災害歷史資料 .....	8
2.1 小琉球島地質災害歷史資料 .....	8
2.1.1 地質背景 .....	8
2.1.2 地表變形特性與歷史災害 .....	10
2.2 滾水山及潔底山區域地質災害歷史資料 .....	12
2.2.1 地質背景 .....	12
2.2.2 地表變形特性與歷史災害 .....	14
第三章 野外地質調查、基本控制點踏勘與資料解算 .....	16
3.1 野外地質調查與基本控制點踏勘 .....	16
3.1.1 小琉球島基本控制點踏勘 .....	17
3.1.2 滾水山及潔底山區域野外調查及基本控制點踏勘 .....	26
3.1.3 野外地質調查與基本控制點踏勘成果小結 .....	46
3.2 大地測量資料解算與速度場分析 .....	49
3.2.1 大地測量資料蒐集 .....	49
3.2.2 GNSS 資料解算 .....	51
3.2.3 水準資料解算 .....	53
第四章 解算成果與分析 .....	54
4.1 解算成果與點位變動量 .....	54
4.2 地表速度場與可靠度分析 .....	58
4.3 特殊地質對基本控制點影響之探討 .....	62
4.3.1 小琉球島 .....	62
4.3.2 滾水山及潔底山區域 .....	64
第五章 結論與建議 .....	67
5.1 結論 .....	67

5.2 建議 .....	68
參考文獻 .....	70
附錄 .....	73
一、 基本控制點基線解算成果 .....	73
二、 基本控制點精密單點定位坐標解算成果 .....	75
三、 高程基本控制點解算成果 .....	77
四、 GMT 繪圖工具教育訓練辦理情形 .....	78
五、 期中報告審查意見回覆 .....	80
六、 期末報告審查意見回覆 .....	84

## 表目錄

表 1.1 加密控制點修正前後之坐標之殘差統計表.....	4
表 3.1 小琉球島點位狀況彙整.....	46
表 3.2 滾水山及漂底山區域點位狀況彙整.....	47
表 4.1 小琉球島 2023 年 3 月至 9 月 GNSS 點位變動量.....	56
表 4.2 小琉球島精密水準點垂直位移量.....	56
表 4.3 滾水山及漂底山區域 GNSS 點位變動量.....	57
表 4.4 滾水山及漂底山區域東側測線垂直位移量.....	58
表 4.5 滾水山及漂底山地區西側測線垂直位移量.....	58

## 圖目錄

圖 1.1 宜蘭縣加密控制點修正前後之坐標較差圖與統計圖。.....	5
圖 1.2 宜蘭縣加密控制點坐標修正前後之較差值統計圖。.....	5
圖 1.3 臺東縣加密控制點修正前後之坐標較差圖與統計圖。.....	6
圖 1.4 臺東縣加密控制點坐標修正前後之較差值統計圖。.....	6
圖 2.1 小琉球地形與地質圖。.....	9
圖 2.2 小琉球相對於 LC06 測站 2004-2017 年之水平位移場。.....	10
圖 2.3 小琉球相對於 LC06 測站 2004-2017 年之垂直位移場。.....	11
圖 2.4 小琉球北端震測剖面 MSC2-1616-7 之結果與解釋。.....	11
圖 2.5 滾水山及漂底山區域地形與地質圖。.....	13
圖 2.6 臺灣陸上泥火山分布圖。.....	15
圖 2.7 西南部地區 2010 至 2016 年相對於澎湖白沙站之 GNSS 垂直速度場。.....	15
圖 3.1 點位 LC01 之周圍環境。.....	17
圖 3.2 點位 LC02 之周圍環境。.....	18

圖 3.3 點位 LC03 與 T293 之周圍環境。點位 T293 位於拍攝者後方教室頂樓，該點位已遺失。 .....	19
圖 3.4 點位 LC04 之周圍環境。 .....	20
圖 3.5 點位 LC05 之周圍環境。 .....	21
圖 3.6 點位 LC06 之周圍環境。 .....	22
圖 3.7 點位 LC07 之周圍環境。 .....	23
圖 3.8 點位 TG74 之周圍環境。 .....	24
圖 3.9 點位 T294 之周圍環境。 .....	25
圖 3.10 橋頭糖廠內建物顯著破壞。 .....	26
圖 3.11 點位 S958 之周圍環境。 .....	26
圖 3.12 點位 G105 之周圍環境。 .....	27
圖 3.13 點位 SX78 之周圍環境。 .....	28
圖 3.14 點位 SX90 之周圍環境。 .....	29
圖 3.15 點位 G104 之周圍環境。 .....	30
圖 3.16 點位 EW09 之周圍環境。 .....	31
圖 3.17 點位 SX93 之周圍環境。 .....	32
圖 3.18 點位 SY06 之周圍環境。 .....	33
圖 3.19 點位 SZ74 之周圍環境。 .....	34
圖 3.20 點位 G103 之周圍環境。 .....	35
圖 3.21 點位 SW15 之周圍環境。 .....	36
圖 3.22 點位 SY11 之周圍環境。 .....	37
圖 3.23 點位 SZ47 之周圍環境。 .....	38
圖 3.24 點位 1177 之周圍環境。 .....	39
圖 3.25 點位 1176 之周圍環境。 .....	40
圖 3.26 點位 S555 之周圍環境。 .....	41
圖 3.27 點位 SW11 之周圍環境。 .....	42

圖 3.28 點位 1175 之周圍環境。	43
圖 3.29 點位 SX80 之周圍環境。	44
圖 3.30 點位 SX79 之周圍環境。	45
圖 3.31 小琉球島 GNSS 點位分布圖。	49
圖 3.32 滾水山及漂底山區域 GNSS 點位分布圖。	50
圖 3.33 小琉球島水準網形分布圖。	50
圖 3.34 滾水山及漂底山水準測線分布圖。	51
圖 4.1 滾水山與漂底山區域 2016 年至 2021 年地表速度場。	60
圖 4.2 滾水山與漂底山區域地表速度場比對。	61
圖 4.3 小琉球島 2004 年至 2017 年地表水平速度場及地表變形顯著或破壞處。	63
圖 4.4 小琉球島 2004 年至 2017 年地表垂直速度場及地表變形顯著或破壞處。	63
圖 4.5 滾水山及漂底山區域 2016 年至 2021 年地表水平速度場及地表變形顯著或破壞處。	65
圖 4.6 滾水山及漂底山區域 2016 年至 2021 年地表垂直速度場及地表變形顯著或破壞處。	66

## 摘要

為了釐清臺灣地區之特殊地質構造在活動時，於地表產生之變形及其對基本控制點穩定性之影響，本研究選定小琉球、滾水山以及潔底山之特殊地質區域，進行基本控制點之地質災害資料彙整與檢測資料分析。首先進行野外地質調查、地質背景及其相關災害之歷史資料蒐集，發現潛移斷層的證據與泥貫入體／泥貫入筒快速抬升所造成的建物破壞，並發現許多基本控制點位之埋設，雖坐落於相對穩定的小地區，但其與活動構造的位置十分接近，仍會受到構造活動的影響，不利於坐標基準之使用。接著，小琉球島、滾水山及潔底山等特殊地質地區之衛星定位測量及水準測量資料解算部分，本研究分別利用基線處理與精密單點定位解算軟體進行觀測成果解算，其結果顯示，當觀測資料品質穩定時，兩者的解算成果相當一致。此外，這些觀測資料的收集時間不足一年，難以求得合理的速度場，但是藉由比對已發表之速度場，仍可發現基本控制點會受地質作用之變形位移所影響。最後，透過野外地質調查、基本控制點踏勘與點位變動分析成果之整合，釐清點位變動因素可能包含：(1)斷層活動、(2)泥貫入體/泥貫入筒、(3)邊坡滑動、(4)地層下陷、(5)其他人為或未知因素。有關活動斷層與泥貫入體/泥貫入筒的地質作用影響部分，建議建立時間相關之地表變形模式，透過時變平差（time-dependent adjustment）或是半動態基準的方式來提升坐標基準的正確性與可靠性；邊坡滑動或是地層下陷的地質作用影響部分，初步建議於近期持續蒐集該區域點位之運動型態，並嘗試建立其地表變形模型，以便日後彙整納入半動態基準的時變地表變形模式，提升坐標基準正確性；而其他人為或未知因素之影響部分，建議捨棄基本控制點之維護與檢測，以免破壞坐標基準的正確性。最後，相關單位在新設置基本控制點時，應透過既有之測量成果與現地野外調查資料，事先釐清預計設置點位之地質環境，避免控制點設置於邊坡滑動或是其他人為因素影響的地區。

**關鍵字：**基本控制點、特殊地質構造、衛星定位測量、精密水準測量

## ABSTRACT

To clarify the impact of surface deformation, caused by the activities of specific geological structures, on the stability of control points, we selected the special geological areas of Hsiaoliuqiu, Gunshuishan and Tadishan for the data collection and analysis of (1) geological disasters and (2) geodetic surveying for control points in this project. We first conducted field investigations, collected geological background and related historical disaster data, and discovered evidence of potential fault creep and rapid uplift caused by mud tectonics, leading to the building damages. Although many control points seem to be installed in relatively stable areas, their proximity to active tectonics still subjects them to influences from tectonic activities, which is disadvantageous for the use of geodetic datum. Subsequently, GNSS and leveling data analysis in the special geological areas are carried out. We used the baseline and PPP software for the coordinate calculation, showing that when observation quality is stable, two methods provide comparable results. However, due to the less-than-one-year data collection, it was challenging to obtain a reasonable velocity field, but comparison with published velocity fields revealed that the control points are affected by geological deformation. Finally, we integrated field investigations of control points and velocity analysis, identifying the potential factors for benchmark instability, including: (1) active fault, (2) mud diapirs/ diatremes, (3) deep-seated landslide, (4) land subsidence, and (5) other artificial or unknown activities. For active faults and mud diapirs, we suggest establishing the time-varying surface deformation models through the time-dependent adjustment or semi-dynamic datum to enhance the accuracy and reliability of geodetic datum. For deep-seated landslide or land subsidence, we recommend continuously monitoring the control points, trying to establish surface deformation models, and integrating them into the semi-dynamic datum for improving the accuracy of datum. For other artificial or unknown activities, we advise against maintaining and inspecting these control points to avoid compromising the datum accuracy. Finally, when establishing new control points, we should clarify the geological environment first, avoiding placement in areas affected by landslide or other artificial factors.

**Keywords:** control point, specific geological structures, GNSS, precise leveling

# 第一章 研究主旨

## 1.1 研究主題與緣起

內政部自 1993 年起實施「應用全球定位系統實施台閩地區基本控制點測量計畫」，截至 1997 年止，於全臺建立起 8 個衛星追蹤站及 105 個一等與 621 個二等衛星控制點，並於 1998 年利用這些點位之坐標檢測成果，公告新的臺灣地區大地基準 TWD97（內政部國土測繪中心，2022）。隨後，由於歷經 1999 年集集地震、2008 年莫拉克風災、2016 年美濃地震、2018 年花蓮地震等天然災害，以及板塊間長期之擠壓運動所導致之地表變形問題，使得臺灣部分地區之基本控制點網形已產生明顯之扭曲，並造成測繪業務使用上之困難，難以符合各項測量作業之精度規範（內政部國土測繪中心，2022）。故內政部至 2020 年止，完成多次的局部區域基本控制點全面檢測作業以及衛星追蹤站與控制點之增設，進行了大地基準站、一等及二等衛星控制點與各級基本控制點檢測工作，並分別採用國際地球參考框架（International Terrestrial Reference Frame, ITRF）ITRF94 與 ITRF2014，來解算及公告臺灣地區大地基準 TWD97 之 2010（TWD97[2010]）與 2020 年成果（TWD97[2020]）。

雖然臺灣已經經歷多次坐標基準的更新，臺灣目前公告使用之大地基準 TWD97[2020]，在概念上仍為靜態坐標框架，因此在測量實務的操作上，會假設沒有地表變形的發生。換言之，若已知點檢核時發現網形扭曲，多半認為是「測量誤差」所造成的問題，並採用平差來進行校正。然而，由於臺灣位處歐亞板塊及菲律賓海板塊交界，板塊間運動造成的地表變形對坐標框架之網形影響甚鉅，因此，近年來臺參考了美國、日本、紐西蘭等國家的做法（Grant et al., 1999; Tsuji and Matsuzaka, 2004; Pearson et al., 2010），提出半動態參考框架之構想，在長時期維持框架精度與降低框架維護成本上獲得不錯的成果（Ching and Chen, 2015；景國恩等，2017；Li et al., 2019；Hsiao et al., 2021）。

根據本團隊成員過往將半動態框架概念實際應用於臺東縣與宜蘭縣加密控制點之經驗發現（內政部國土測繪中心，2019），時間間隔達 7 年之測量資料，

在經過變形模式修正並獲得成功改善的點位，其 7 年所產生之坐標差異量可以獲得約 80%左右的坐標修正量（表 1.1；圖 1.1 至 圖 1.4）（內政部國土測繪中心，2019）。然而觀察其坐標殘差分布圖可知（圖 3.2 與 圖 3.3），雖然平均殘差數值降低，但是仍有空間上系統性之問題存在，不論是臺東縣或是宜蘭縣，坐標殘差較大的區域，大致上是落在山區，也就是長期坐標（速度場）監測點位不足的地區，可能造成變形模式精度不佳；此外，山區往往可能會產生邊坡不穩定或邊坡滑動的問題，這從殘差向量方向大致垂直山脈走向即可佐證（圖 1.1 與 圖 1.3），這並不是既有變形模式可以處理的問題。除了自然的因素外，人為的破壞，如修路而遭移動，也是導致點位本身不穩定的原因。這些非變形模式所能修正的問題，同樣也會出現在現行之 TWD97[2020]坐標系統中。為了探討與釐清這些地質作用對基本控制點穩定性的影響，本研究在臺灣選擇一個包含多數地質問題的小範圍區域（小琉球、滾水山以及漂底山之特殊地質區域），進行基本控制點之現地質災害資料彙整與檢測資料分析，以提供後續建立特殊地質區域中基本控制點建置與維護之參考依據，未來將建議針對全島進行同樣的工作。

表 1.1 加密控制點修正前後之坐標之殘差統計表（內政部國土測繪中心，2019）

進行比較之年度	項目	差異量 平均值(mm)	改善率
2018 年 宜蘭縣加密區	修正前	132	75.0 %
	修正後	33	
2018 年 臺東一級加密區	修正前	441	88.0 %
	修正後	53	

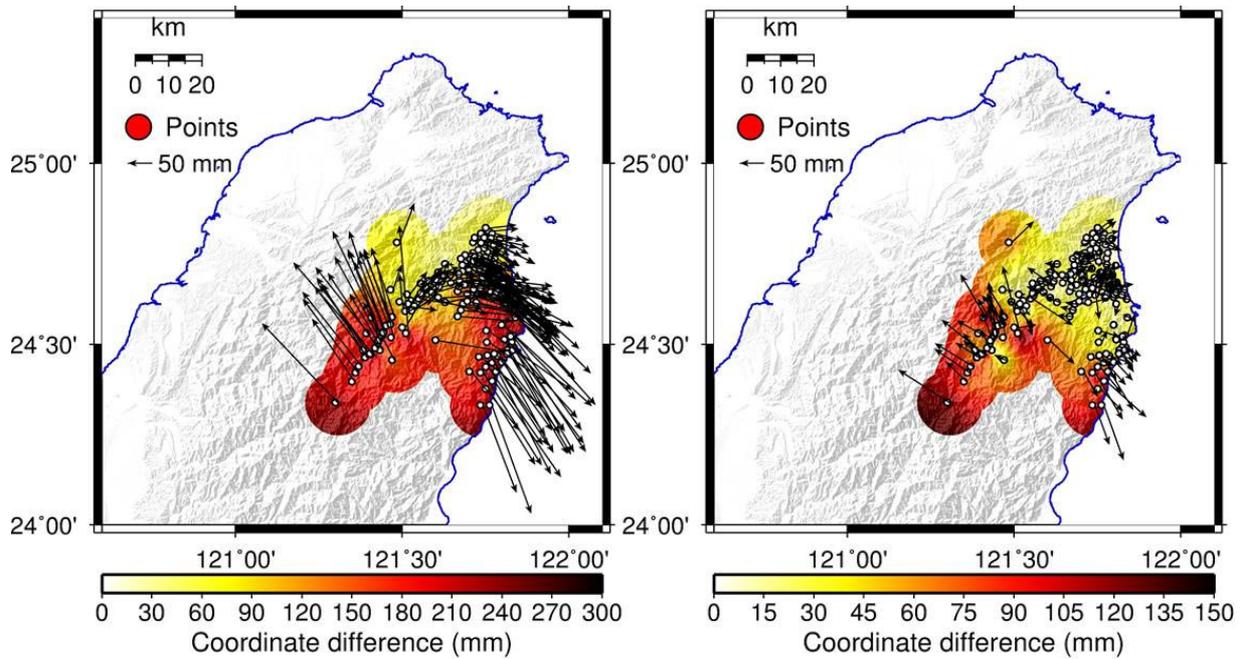


圖 1.1 宜蘭縣加密控制點修正前後之坐標較差圖與統計圖（內政部國土測繪中心，2019）。左圖為修正前之坐標較差，箭頭及顏色為修正前之控制點較差量值，顏色越紅表示較差量越大；右圖為修正後之坐標較差，箭頭及顏色為修正後之控制點較差量值，顏色越紅表示較差量越大。

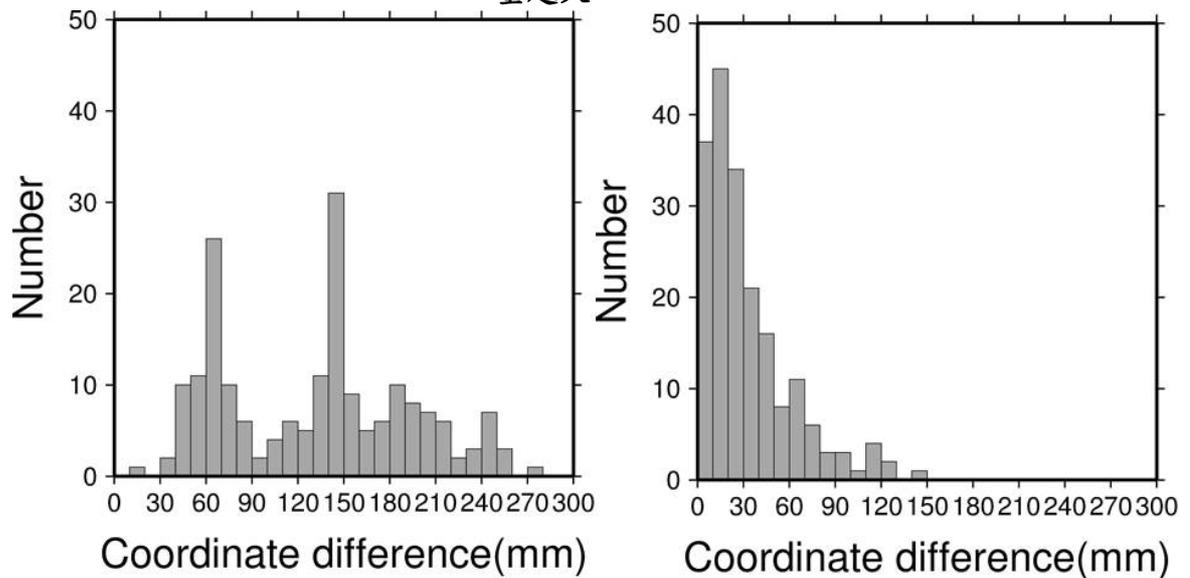


圖 1.2 宜蘭縣加密控制點坐標修正前後之較差值統計圖（內政部國土測繪中心，2019）。左圖為修正前之坐標較差值統計圖；右圖為修正後之坐標較差值統計圖。

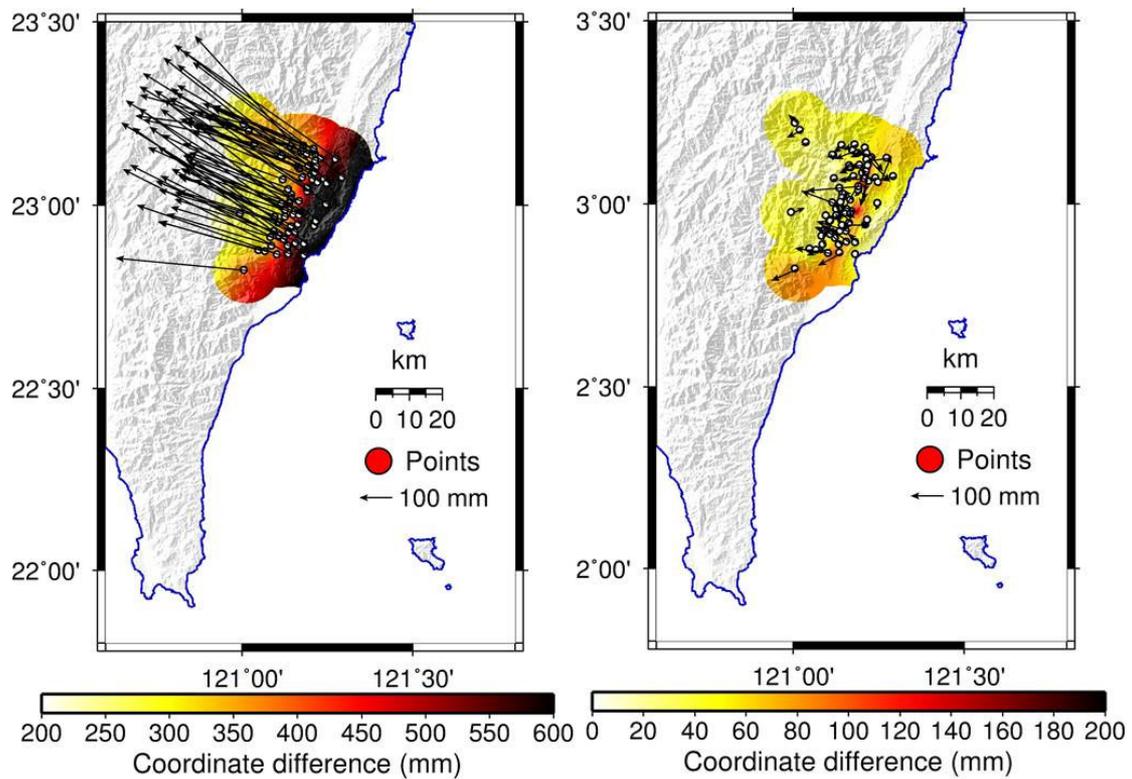


圖 1.3 臺東縣加密控制點修正前後之坐標較差圖（內政部國土測繪中心，2019）。左圖為修正前之坐標較差，箭頭及顏色為修正前之控制點較差量值，顏色越紅表示較差量越大；右圖為修正後之坐標較差，箭頭及顏色為修正後之控制點較差量值，顏色越紅表示較差量越大。

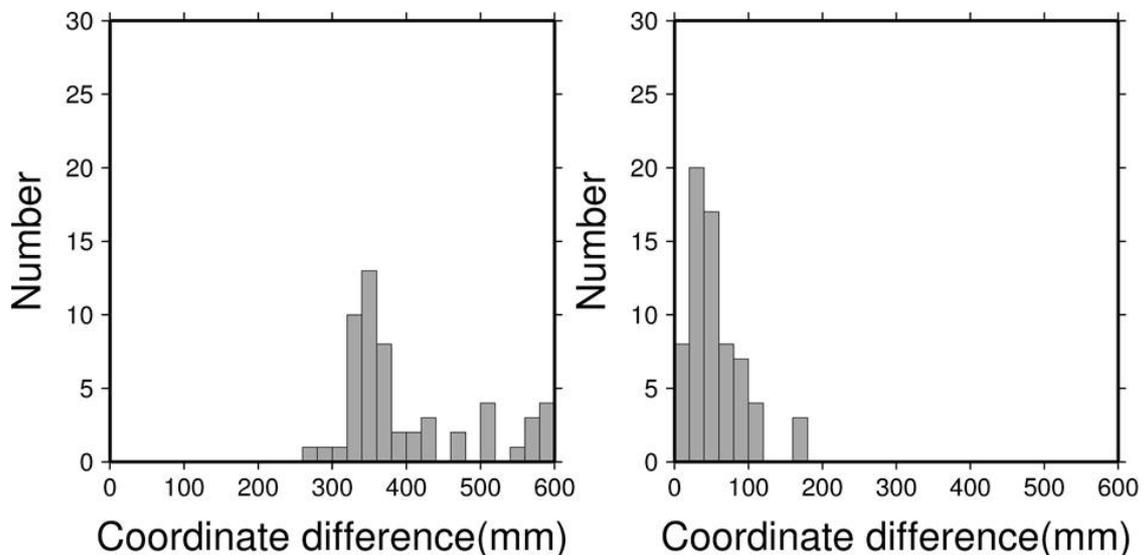


圖 1.4 臺東縣加密控制點坐標修正前後之較差值統計圖（內政部國土測繪中心，2019）。左圖為修正前之坐標較差值統計圖；右圖為修正後之坐標較差值統計圖。

## 1.2 計畫目標

為了釐清臺灣地區之特殊地質構造活動於地表所產生之變形，及其對於基本控制點之影響，並探討可能之因應機制，本研究選定小琉球、滾水山以及漂底山之特殊地質區域，進行基本控制點之地質災害資料彙整與檢測資料分析，以達成下列目標：

(1) 由於小琉球島、滾水山及漂底山為臺灣地區中地質特性較為顯著之特殊地質地區，為了釐清並降低影響各研究區域基本控制點精度之地質作用種類與型態，本團隊蒐集並彙整小琉球島、滾水山及漂底山地區之地質背景及相關災害之歷史資料，以便於後續進行資料解析與因應機制探究時，納入進行綜合分析。

(2) 辦理小琉球島、滾水山及漂底山等特殊地質地區衛星定位測量及水準測量資料解算。進行小琉球島、滾水山及漂底山等地區之點位變動分析，以了解基本控制點受地質作用影響產生之變形位移情形。

(3) 透過衛星定位測量及水準測量資料之坐標時間分析，探討受特殊地質作用下基本控制點的管理維護方式，並在未來協助測繪中心建立該區域的管理及因應機制。

## 第二章 小琉球島、滾水山及潔底山等地區地質災害歷史資料

### 2.1 小琉球島地質災害歷史資料

#### 2.1.1 地質背景

小琉球島為一位於臺灣西南部海域、近似狹長橢圓形之珊瑚礁島嶼，總面積僅約 6.8 平方公里，長軸呈東北-西南方向，北寬南窄，整體以珊瑚礁侵蝕後之丘陵地形為主（圖 2.1a）。全島分別由受侵蝕所形成之東北-西南走向及西北-東南走向 2 條地溝切分為四塊台地區域，東西兩側海岸皆以海蝕地形及崩崖地形為主，靠近中央地溝處地勢較高，並逐漸向沿岸區域趨緩（圖 2.1a）。地層部分，小琉球島之基盤為琉球嶼泥岩，上覆一層琉球嶼石灰岩。其中，泥岩之特性為青灰色泥岩夾薄層棕黃色砂質頁岩或粉砂岩，無顯著之層理且常呈現塊狀，容易受到侵蝕；石灰岩部分則是由珊瑚礁組成並參有貝類及有孔蟲等遺骸（黃鑑水與劉桓吉，1990；石再添，1991；屏東縣政府琉球鄉公所，2023）（圖 2.1b）。此外，有學者提出，小琉球島之形成可能與重要之特殊地質構造—泥貫入體有關，如陳松春等（2014；2016；2017a；2017b）針對臺灣西南部海域所進行之泥貫入體研究認為，琉球嶼泥岩便是泥貫入體頂部的地層，為一出露海平面的泥貫入體構造（Chi, 1981; Sun and Liu, 1993; Lacombe et al., 2004），亦為臺灣西南部海域中具最大的抬升量之泥貫入體。綜上所述，小琉球島上因為主要由泥岩及珊瑚礁所組成，相對於珊瑚礁而言，泥岩材質較易受風化侵蝕，再加上泥貫入體之快速抬升影響，便使得小琉球島整體之差異侵蝕更為快速與顯著，進而影響到島上基本控制點之穩定性。

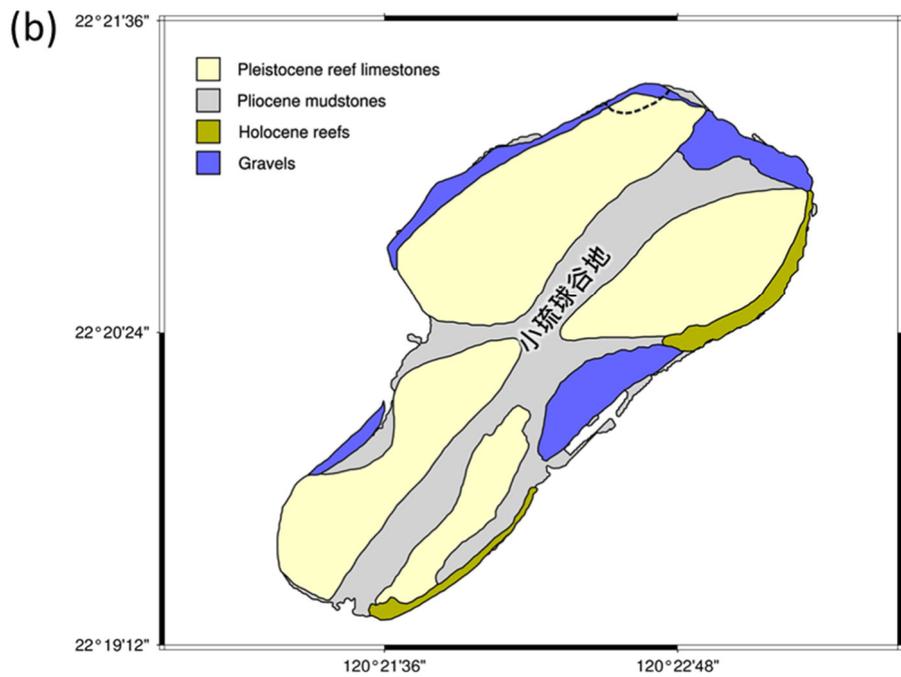
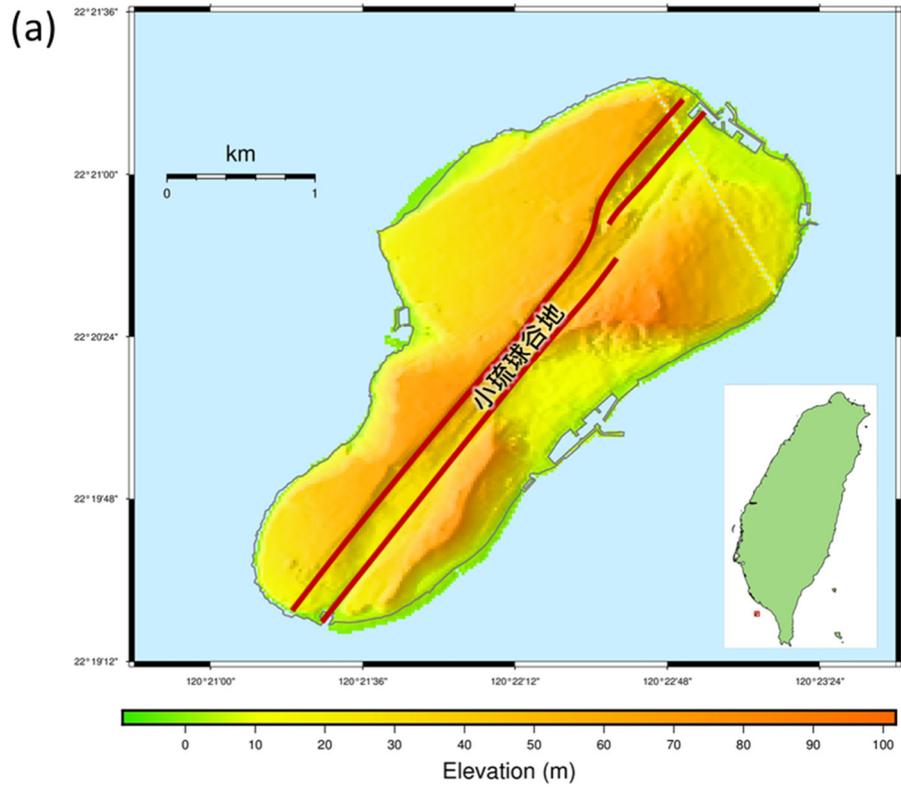


圖 2.1 小琉球地形與地質圖。

藍色星號為泥火山；深紅色實線為谷地邊界。(a) 滾水山及漂底山區域地形圖。越偏暖色系表示地勢越高。右下角為小琉球島之地理位置，位於紅色方框範圍內。(b) 滾水山及漂底山區域地質圖（修改自 Lacombe et al., 2004）。淡黃色為更新世礁灰岩；灰色為全新世珊瑚礁；黃綠色為上新世泥岩；藍紫色為礫石。

## 2.1.2 地表變形特性與歷史災害

根據景國恩與李恩瑞（2021）所主持之國科會研究計畫「探討臺灣西南部因泥貫入體與活動構造交互作用造成之地表快速變形特性及其對地震潛勢評估之影響 (3)」之研究成果，小琉球島 2004-2017 年相對於谷地中央測站 LC06 的水平地表位移場顯示，島嶼西北翼與東南翼之位移量差異甚鉅，西北翼多小於 10 mm，東南翼則分布約為  $79 \pm 2$  mm，指出島嶼中央東北-西南走向之谷地為該區域的地表位移邊界（圖 2.2）。垂直位移場部分則沒有顯著之型態趨勢或分界（圖 2.3）。此外，由地表垂直位移場（圖 2.3）與震測剖面（例如：圖 2.4）之成果中，則可觀察到泥貫入體的垂直抬升，而小琉球上方東北-西南走向之純左移剪切在地表水平位移場（圖 2.1）也有顯著的記錄。

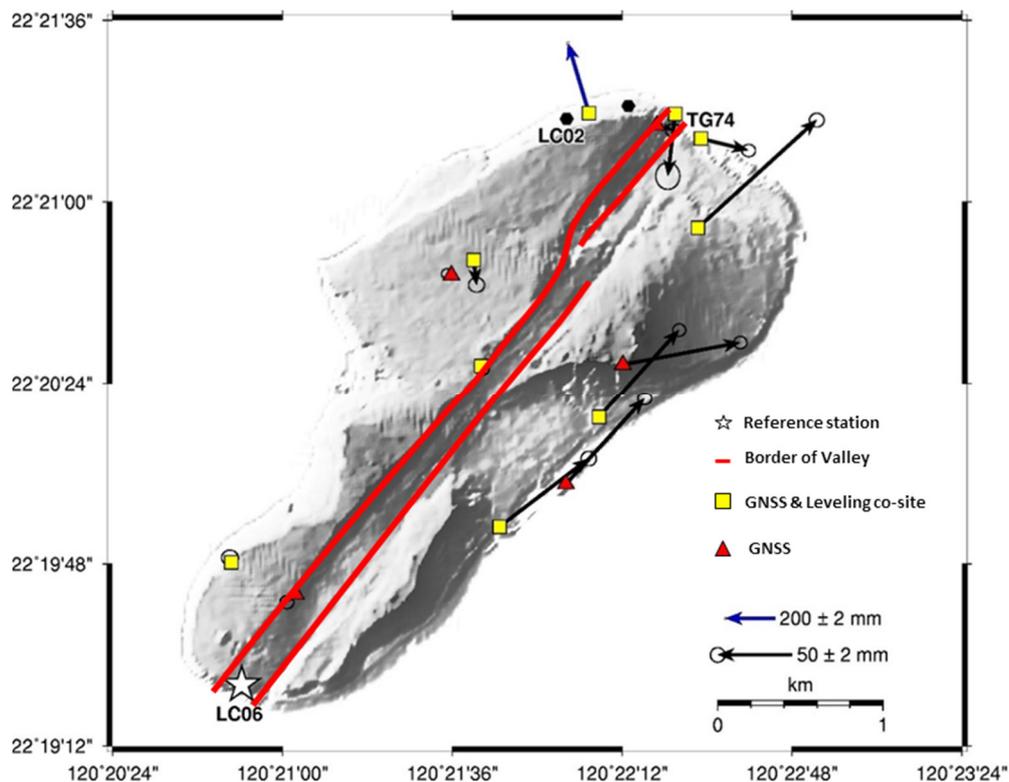


圖 2.2 小琉球相對於 LC06 測站 2004-2017 年之水平位移場。  
紅色三角形為 GNSS 測站；黃色正方形為 GNSS 與水準共站；紅色實線為推測之走向滑移斷層線，兩條實線中間為谷地（修改自景國恩與李恩瑞，2021）。

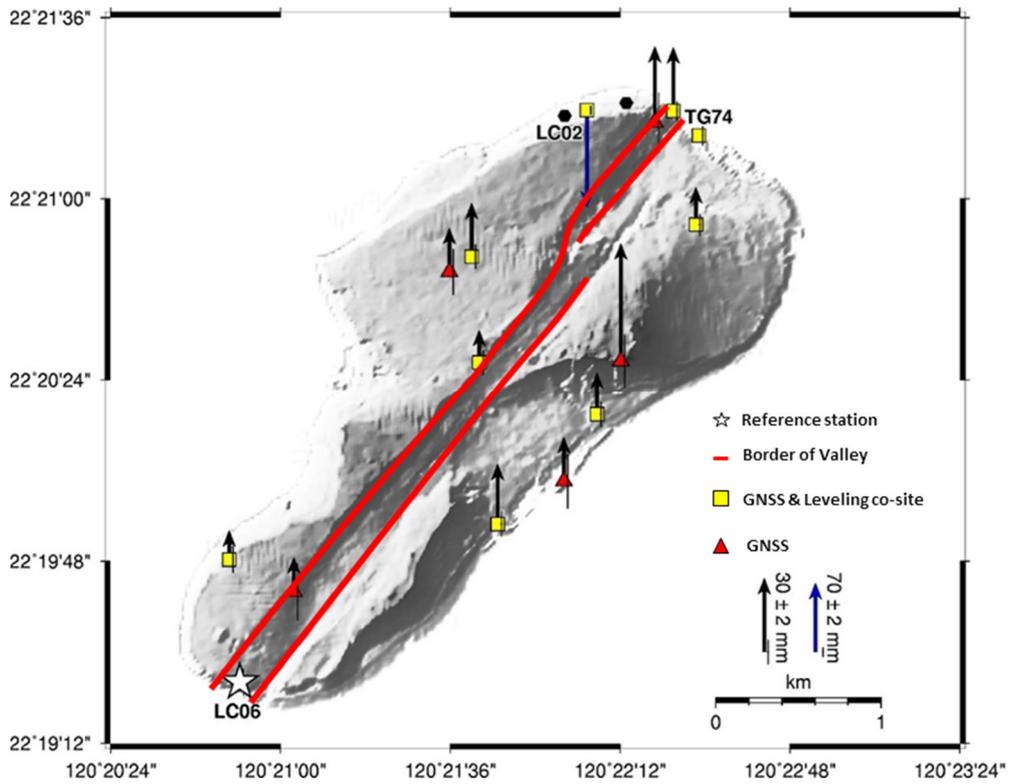


圖 2.3 小琉球相對於 LC06 測站 2004-2017 年之垂直位移場。紅色三角形為 GNSS 測站；黃色正方形為 GNSS 與水準共站；紅色實線為推測之走向滑移斷層線（修改自景國恩與李恩瑞，2021）。

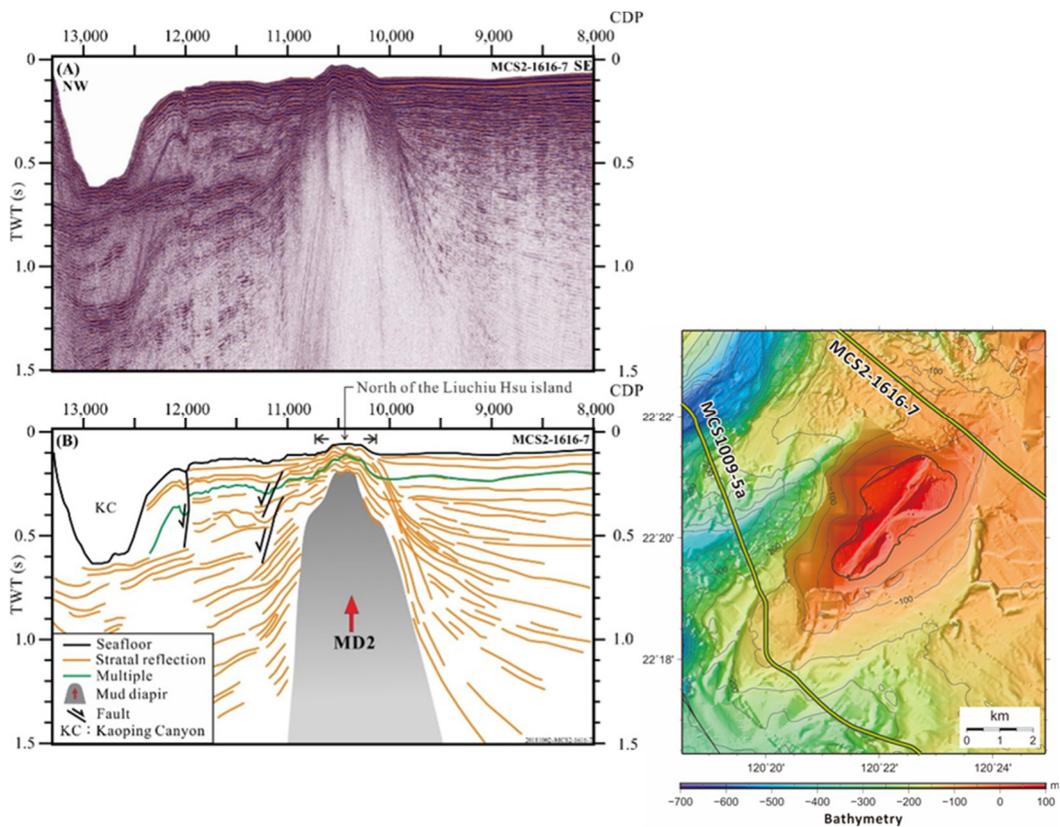


圖 2.4 小琉球北端震測剖面 MSC2-1616-7 之結果與解釋（景國恩與李恩瑞，2021）。右圖顯示剖面位置，小琉球東北方淺綠色實線為左圖剖面之位置。

## 2.2 滾水山及潔底山區域地質災害歷史資料

### 2.2.1 地質背景

滾水山及潔底山皆位於高雄市北側區域，為北側嘉南平原與南側屏東平原之過渡帶，地形上除了平原之外，西側近臺灣海峽側有珊瑚礁丘陵隆起形成之大、小崗山，隨後即為西部麓山帶，東由田寮、燕巢區起往中央山脈延伸，整體地勢呈現東高西低（圖 2.5a）。此外，臺灣西南部區域有豐富的泥火山地形，其主要分布於臺南、高雄及屏東縣境內，多半位在背斜軸部及斷層附近（圖 2.6），且大致可劃分為古亭坑背斜泥火山帶、旗山斷層泥火山以及高屏海岸平原泥火山帶三帶（曾威豪，2006）。滾水山及潔底山則位於高屏海岸平原泥火山帶中，區域內除了潔底山、滾水山外還有鯉魚山，共三個泥火山區。同小琉球島，此區主要以青灰泥岩為主，屬於顆粒細小，膠結性不佳之材質，故其岩性較弱易受沖蝕（圖 2.5b）。而由於泥貫入體是位於臺灣西南海域的重要地質構造特徵（Sun and Liu, 1993；蔣正興和俞何興，1997），雖然通常隱伏於海床下方，但若有裂隙或斷層貫穿地層，便可能藉由該裂隙噴出泥質沉積物，而形成泥火山外觀，故該區域地形之形成亦被認為與泥貫入體有關。

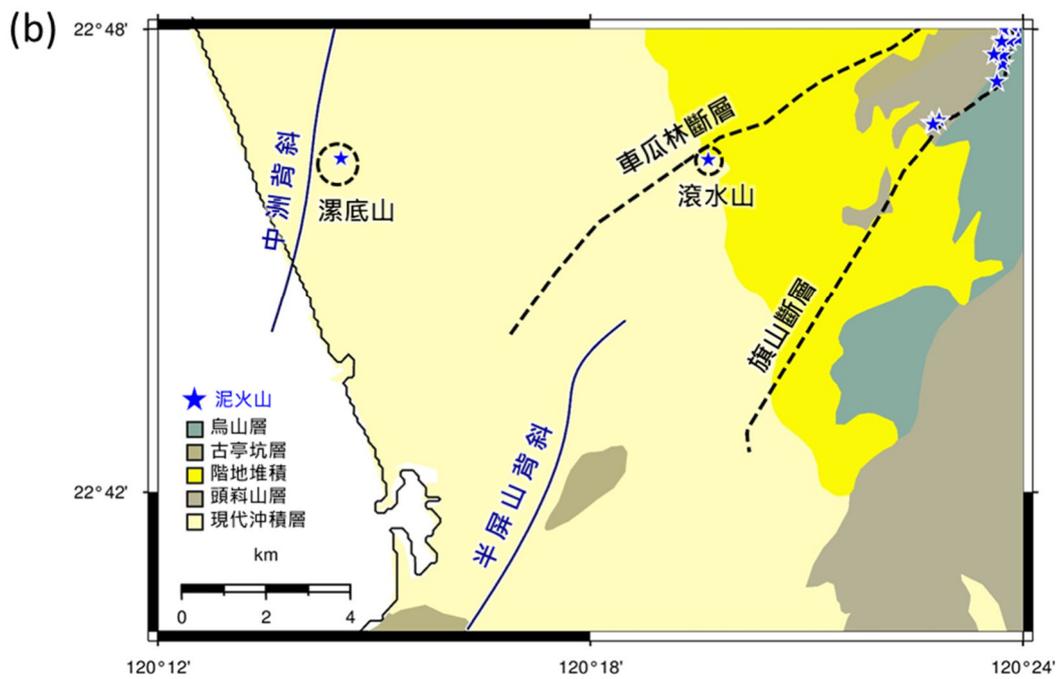
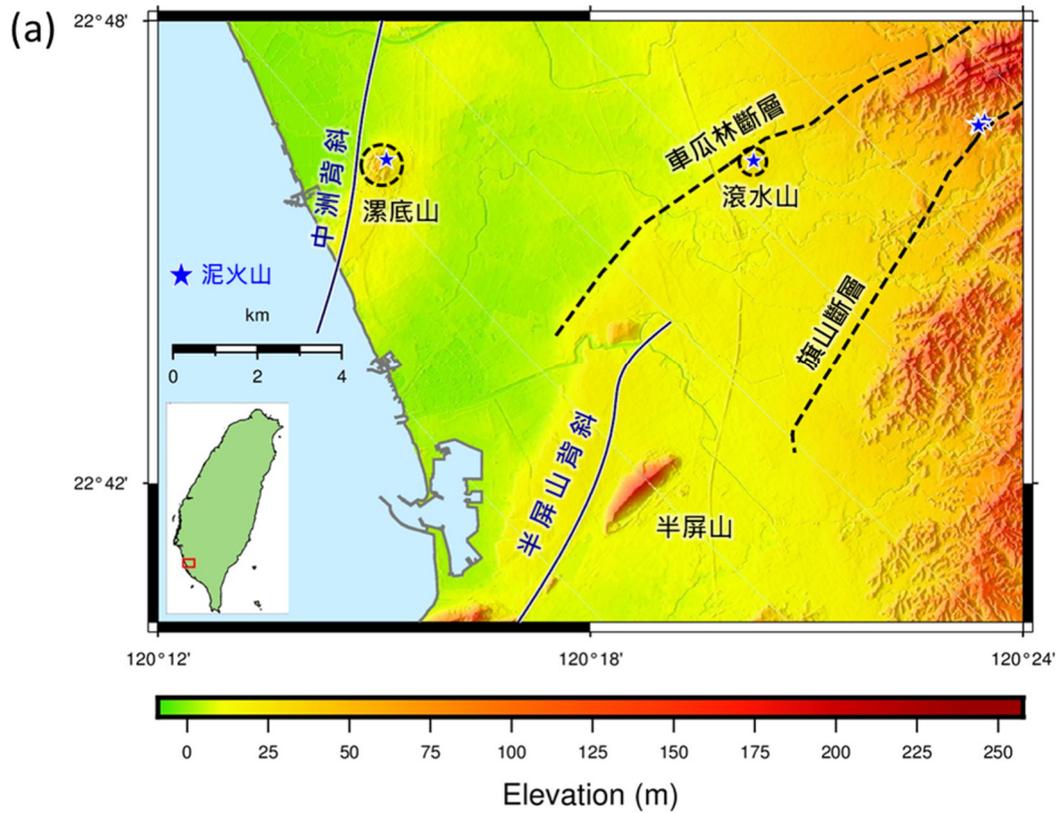


圖 2.5 滾水山及漂底山區域地形與地質圖。

藍色星號為泥火山；深藍色實線為背斜構造；黑色虛線為活動斷層；黑色虛線圓圈為漂底山及滾水山。(a) 滾水山及漂底山區域地形圖。越偏暖色系表示地勢越高。左下角為滾水山及漂底山區域地理位置，位於紅色方框內。(b) 滾水山及漂底山區域地質圖。淡黃色為現代沖積層；淺墨綠色為頭崙山層及其它相當地層；黃色為階地堆積；黃墨綠色為古亭坑層；深綠色為烏山層。

## 2.2.2 地表變形特性與歷史災害

滾水山及漂底山區域除了前節所述之泥貫入體影響外，其鄰近區域同時有旗山斷層、車瓜林斷層以及小崗山斷層等數條活動斷層通過，故此區之地表變形特性深受活動斷層影響。其中，旗山斷層是西南部麓山帶中位於最東側之逆衝斷層，呈東北—西南走向（圖 2.6），根據沿主斷層之斷層跡及斷層面上之擦痕調查結果，旗山斷層主要為逆衝斷層兼具左移分量。然而 GNSS 資料的分析卻指出，旗山斷層為具有右移分量之逆衝斷層（Lacombe et al., 2001；Ching et al., 2007；景國恩等，2008）車瓜林斷層則為一東北—西南走向之逆衝斷層，根據台灣世曦公司所佈設之高密度大地測量監測網分析結果得知，該斷層為具有左移分量之逆衝斷層。小崗山斷層位於大、小崗山西緣，為一總長約 8 公里逆衝斷層，走向為北北東—南南西走向（Sun, 1964）（圖 2.6），一般認為此斷層的形成和台地的隆起必有其關連性。而根據本團隊成員於中央地質調查所針對此區域地表變形（2021）之進一步分析更發現，旗山斷層與車瓜林斷層具有高度潛移之特性，並發現小崗山斷層之地表變形並非單純之斷層活動形式，故推測其可能為泥貫入作用抬升台地，並伴隨地層的錯動形成之斷層。綜上所述，滾水山及漂底山區域由於泥岩易受沖蝕之特性、泥火山之噴發以及活動斷層潛移特性等所導致之地表不穩定性，可能影響到該區域中基本控制點之精度。

此外，此區域最顯著之破壞與相關災害，即為國道 3 號田寮 3 號高架橋及中寮隧道，根據國道高速公路局與台灣世曦工程顧問股份有限公司「國道 3 號田寮 3 號高架橋及中寮隧道區域地殼變形監測」一系列之計畫工作指出，車瓜林斷層與旗山斷層分別通過田寮 3 號高架橋及中寮隧道北出口處，車瓜林斷層造成高架橋近乎 50 mm/yr 的縮短量，旗山斷層則於隧道處造成高達 80 mm/yr 的垂直速度差異量，兩條斷層間的塊體也有近乎 100 mm/yr 之顯著快速抬升量（圖 2.7），也正是前述的快速抬升造成了中寮隧道北口的垂直淨空不足進而可能影響車輛通行與安全疑慮，故國道高速公路局與台灣世曦工程顧問股份有限公司於 2018 年起便採取拆除中寮隧道北口，並將土方回填至田寮 3 號高架橋

下之方式完成改善工程。

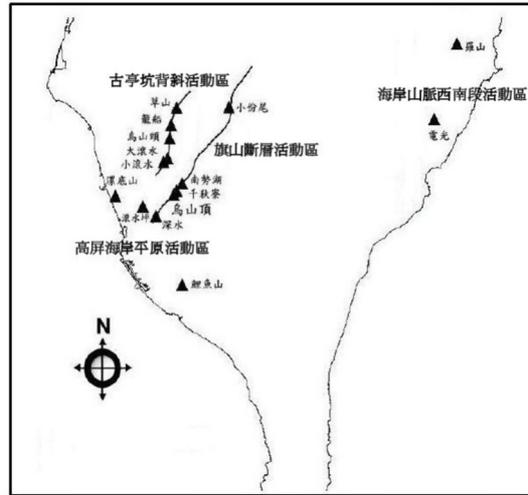


圖 2.6 臺灣陸上泥火山分布圖 (曾威豪, 2006)。  
黑色三角形為泥火山。

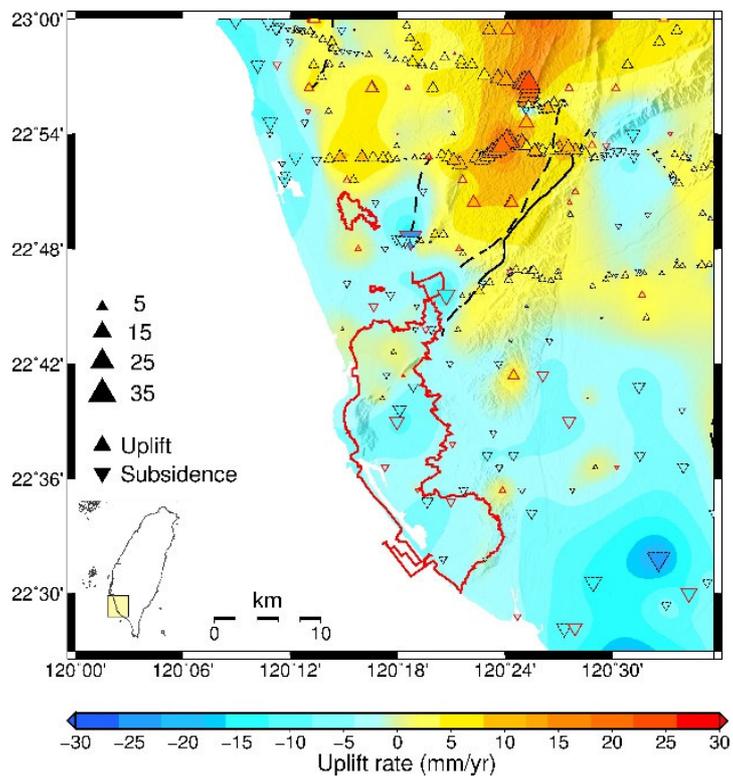


圖 2.7 西南部地區 2010 至 2016 年相對於澎湖白沙站 (S01R) 之 GNSS 垂直速度場。擷取自中央地質調查所 (2021)。三角形方向表示抬升或沉降；三角形大小表示速度大小；暖色系表示抬升速率；冷色系表示沉降速率；黑色邊框表示精密水準；黑色虛線邊框表示 GNSS 移動站；紅色邊框表示 GNSS 連續站。黑色實線與虛線線條為活動斷層。

## 第三章 野外地質調查、基本控制點踏勘與資料解算

### 3.1 野外地質調查與基本控制點踏勘

在臺灣地區過去所累積大量之大地測量資料及相關研究下，目前已經掌握可能造成基本控制點網形扭曲或點位不穩定的地質條件包含：(1) 潛移斷層、(2) 邊坡滑動、(3) 泥貫入體、(4) 地層下陷與 (5) 其他非自然因素。其中，本團隊透過前述地質災害歷史資料蒐集工作已初步掌握工作區域之地質環境，獲得第一版之地質背景。而由於上述可能會造成基本控制點網形扭曲或點位不穩定之地質條件，除了地層下陷以外，其他包含潛移斷層、邊坡滑動與泥貫入體等地質活動，都有可能在地表具有人造建物的條件下留下證據，因此，透過野外地質調查及基本控制點的現地踏勘，將有助於確認造成基本控制點網形扭曲或點位不穩定之地質條件。故此工作階段中，本團隊已多次至研究區域進行現地調查，記錄地質活動於地表及建物上所造成的破壞或變形等證據，並確認該研究區域部分基本控制點之狀況。以下為本階段彙整之點位及野外現況：

### 3.1.1 小琉球島基本控制點踏勘

#### 點位 LC01

該點位於小琉球東北端白沙尾漁港旁接近花瓶岩的路邊(圖 3.1；圖 3.14)，是 GNSS 控制點和一等水準點共點，雖然此點位於港邊，但是周圍環境大致穩定。然而該樁位已被大量覆土掩埋，需要經過簡單挖掘才能找到鋼標，因此就點位穩定性而言，需考慮是否會受到覆土的應力產生系統性的位移。此外，此點上方就是一棵大樹，在設置之初，該樹並未嚴重影響點位透空度，而現今的大樹已經嚴重影響到 GNSS 觀測之透空度，但不影響水準測量之通視，因此就現今的環境而言，該點不適合再當作 GNSS 控制點，且點位保存環境不佳，建議將該點遷移至附近更好的位置，或提高維護頻率。



圖 3.1 點位 LC01 之周圍環境。

## 點位 LC02

該點位於小琉球美人洞旁附近的停車場與公廁旁(圖 3.2)，是 GNSS 控制點和水準點共點。此點位於山邊的平坦地，且在公廁整建前之點位埋設狀態良好，乍看下是符合地質穩定的環境，然而仔細察看點位旁的護坡(圖 3.2 藍色箭頭)，會發現水泥護坡已經出現數條寬度超過 3 公分的裂隙。再往岸邊約 10 公尺處往下走的階梯查看，會見到階梯已經產生 1 公分以上的垂直張裂裂隙(圖 3.2 紅色箭頭)。另檢視停車場旁的環島道路，會發現停車場旁的路段較兩側路段高程為低，且有重鋪的痕跡。這些跡象都指出這個局部區域可能位於邊坡滑動區域，才導致這些人造建物之破壞。此外，在 2022 至 2023 年間前往該處時，已見到此處公廁在整建。因此，不論是從其所在之地質環境來看，或是受到公廁整建工程的影響，皆使 LC02 不適合作為一等水準點與衛星控制點。



圖 3.2 點位 LC02 之周圍環境。

### 點位 LC03 與 T293

點位 LC03 和 T293 皆位於全德國小，兩個點位直線距離在 200 公尺以內。LC03 為一等水準點，同時也作為 GNSS 控制點，位於校門口左側圍牆內的地面上(圖 3.3)，點位一旁榕樹茂盛，造成透空不佳，周邊無破壞或變形，數公尺旁花圃有裂隙，但初判應為植物樹根造成；T293 為三等控制點，位於該校西南方教室樓梯口上方的樓板上。LC03 位於東北方，而 T293 位於西南方。兩者之間的空地上可以見到一條西北-東南走向延伸、高約 20-30 公分向西南傾斜的崖面(圖 3.3 黃色箭頭)，這個崖面可以持續向西北方向延伸，且崖底兩側花臺圍牆可以見到擠壓破壞的新生破裂。因此這個崖面很有可能是由於潛移逆斷層所造成。LC03 位於斷層上盤，T293 位於斷層下盤。換言之，點位 LC03 和 T293 皆不是位於地質穩定的區域中。此外，T293 經清查已遺失。



圖 3.3 點位 LC03 與 T293 之周圍環境。點位 T293 位於拍攝者後方教室頂樓，該點位已遺失。

## 點位 LC04

LC04 為一等水準點，同時也作為 GNSS 控制點，位於上杉路下坡左側之草地上(圖 3.4)。該點透空度良好，由於位於相對平坦的草地上，所以看起來該點位似乎是穩定的。然而，若檢視上杉路旁的水泥護坡(圖 3.4)，則會發現整個護坡皆有非常新鮮的破壞，呈現擠壓抬升的破壞形態。在點位旁的水泥面，甚至出現破壞上拱的形態。比對這個位置的上杉路與比鄰的點位草地會發現點位草地應是原地形高度，上杉路的坡道應是後來開路修築的，因此結合此處見到的抬升破壞，可以判定這個區域正處於擠壓抬升的環境。換言之，LC04 並不是位於地質穩定的區域中。



圖 3.4 點位 LC04 之周圍環境。

## 點位 LC05

LC05 為一等水準點，同時也作為 GNSS 控制點，位於烏鬼洞遊客入門處 (圖 3.5)。該點設立之初的透空度良好，由於位於相對平坦的草地上，所以看起來該點位似乎是穩定的。然而，現今點位已被大量的樹叢圍繞，透空度已不佳，(圖 3.5)。就目前的現地調查結果指出，點位應位於地質活動較穩定的區域，所以仍然可以做為水準點使用。



圖 3.5 點位 LC05 之周圍環境。

## 點位 LC06

LC06 為一等水準點，同時也作為 GNSS 控制點，位於南福村附近，鄰近二龍宮與公園涼亭，點位在公園人行步道旁(圖 3.6)。該點南側有樹蔭遮蔽，透空度不甚理想，根據目前的點位調查結果指出，LC06 應是位於地質穩定的區域中。



圖 3.6 點位 LC06 之周圍環境。

## 點位 LC07

LC07 為一等水準點，同時也作為 GNSS 控制點，位於大福村大福亭旁之路邊水泥地上(圖 3.7)。該點透空度良好，由於位於水泥地上，所以看起來該點位似乎是穩定的。然而，須注意距離點位僅約 10 公尺附近之新漁港漁具倉庫，該建物牆壁上已出現大量的新鮮破裂，顯示這些破壞仍在進行中(圖 3.7)。目前懷疑這些破裂可能和活動斷層有關，因此需持續注意其後續破壞的形態發展。換言之，LC07 有高度的可能性並非位於地質穩定的區域中。



圖 3.7 點位 LC07 之周圍環境。

## 點位 TG74

該點位於小琉球東北端白沙尾漁港中的堤防上，鄰近不到 1 公尺遠的位置即是小琉球潮位站(圖 3.8)，是為了之建立與維護離島高程控制系統而設置，為內政部之 GNSS 控制點與水準點，該點位鋼標本身狀況良好，標號及十字也仍清晰可見，也完全無遮蔽，透空極佳。根據國土測繪中心的「106 年度高程基準檢測工作報告」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，所以除潮位儀本身的準確度外，還須掌握潮位站之穩定性，以排除潮位站的沉陷因素。在該報告中同時也指出，點位 TG74 狀況良好。但根據現場的觀察，該點位位於港內的堤防上，初看之下的點位狀況確實相當穩定(圖 3.8)。然而若觀察堤防四周，則會發現堤防已向潮位站方向傾斜，並且已經出現因為水泥塊滑動所造成之巨大裂隙，且此滑動也和區域地質構造活動無關，說明此潮位站與 TG74 點位已經不再位於穩定的塊體上。雖然該點位之透空度極佳，卻不再適合作為基準點或是基本控制點的檢測，也不適合作為地殼變形監測點位。



圖 3.8 點位 TG74 之周圍環境。

## 點位 T294

該點位於小琉球中山路西南端的 GNSS 控制點，但該點東側有一大片樹林遮蔽該點，嚴重影響透空，進而造成訊號極資料之不穩定，而該點位十字標中心也已鏽蝕一圈、不清晰，極有可能造成每次施測時定心之位置有所偏差。另此點位設置於水溝上，結構相對不穩定，周圍水泥護欄亦可見破裂，雖然底下結構無其他破壞或變形，但此處位於該路段之中山路往西南抬升處以極對向道路抬升之交界處(圖 3.9)，且對向地勢較高之區域內部分房屋有明顯結構損壞，故應與測量結果比對，確認此點位之變形型態。



圖 3.9 點位 T294 之周圍環境。

### 3.1.2 滾水山及潔底山區域野外調查及基本控制點踏勘

#### 橋頭糖廠

鄰近滾水山西側之橋頭糖廠大門附近之日治時期舊宿舍，有明顯之右移錯動破壞，其破壞與車瓜林斷層錯動方向一致，且位置與車瓜林斷層位置相符，可知潛移斷層雖然不向鎖定斷層那樣具有較大之威脅性，但其對於地表及建物之破壞仍非常顯著，進而也會影響基本控制點之穩定性（圖 3.10）。



圖 3.10 橋頭糖廠內建物顯著破壞。

#### 點位 S958

該衛星控制點位於左營國小的操場跑道邊，為中央地質調查所設置之地殼變動監測點 G158。該點點位狀況良好，透空度佳（圖 3.11）。學校位於都市中，操場並無觀察到顯著破裂，因此該點適合當作衛星控制點。



圖 3.11 點位 S958 之周圍環境。

## 點位 G105

該點位於莒光國小大門旁之草皮上，為一等水準點（圖 3.12）。該點點位狀況良好，樁位穩固，但是透空度差（圖 3.12），因此無法當成衛星控制點使用。然而在檢視周圍環境後，發現該點位所在地勢向西南傾斜，教室較高而後昌路較低（圖 3.12），因此該點位極可能落在背斜其中一翼上，在使用時需注意此點位可能位於活動背斜上，或是鄰近活動逆斷層。



圖 3.12 點位 G105 之周圍環境。

## 點位 SX78

該點位為衛星控制點，位於台 19 甲道路邊，福德祠圍牆前方（圖 3.13），本團隊於 2023 年 5 月 30 日勘查當天發現該處路段正在施工，而該點位已完全遺失，僅遺留紅色噴漆記號，故未能確定該點是否為原點位位置。此外，該處透空不佳，上方樹蔭茂密，且鄰近圍牆及電線桿，即使並未遺失，接收衛星之條件也不佳。且該處鄰近車流量較大之三岔路口，有被輾壓之可能性，周邊也有發現路面龜裂的狀況，但目前無法排除是否為施工造成（圖 3.13）。



圖 3.13 點位 SX78 之周圍環境。

## 點位 SX90

該點位為三等衛星控制點，雖然透空良好，但坐落於水溝上方，且鄰近電線杆，衛星訊號可能受到干擾，另沿路水溝有橫向裂隙（圖 3.14），表示該結構有變動疑慮。此外，此處道路寬度不足，若有會車情形，或車輛欲在此路段停車，易遭車輛輾壓，而實際觀察鋼標，亦有擦痕存在，表示該點位確實有遭受破壞的狀況（圖 3.14）。



圖 3.14 點位 SX90 之周圍環境。

## 點位 G104

該點位為一等水準點，設置於國昌國中緊鄰德民路 1012 巷之圍牆內側，該點位狀況良好，鋼標上僅些許輕微刮痕，標號及十字仍清晰可見（圖 3.15），四周環境大致平整，無明顯破壞。根據圖資，該處地勢相比外側路面略高一些，然而該點位於右昌斷層下盤，為相對穩定之區域，初步判斷應非地下構造所致。此外，圍牆外雖有發現裂隙，但其位置與圍牆內樹木種植位置相近（圖 3.15），應為樹根生長而非構造活動所造成之結構物破壞。



圖 3.15 點位 G104 之周圍環境。

## 點位 EW09

該點位為衛星控制點，設置於楠梓行政中心頂樓（圖 3.16），因不便進入查看，故以觀察大樓外觀與穩定性為主，經檢視確認，該大樓之結構完整（圖 3.16），無抬升變形或破壞，故初步判斷此控制點位於穩定之區域。

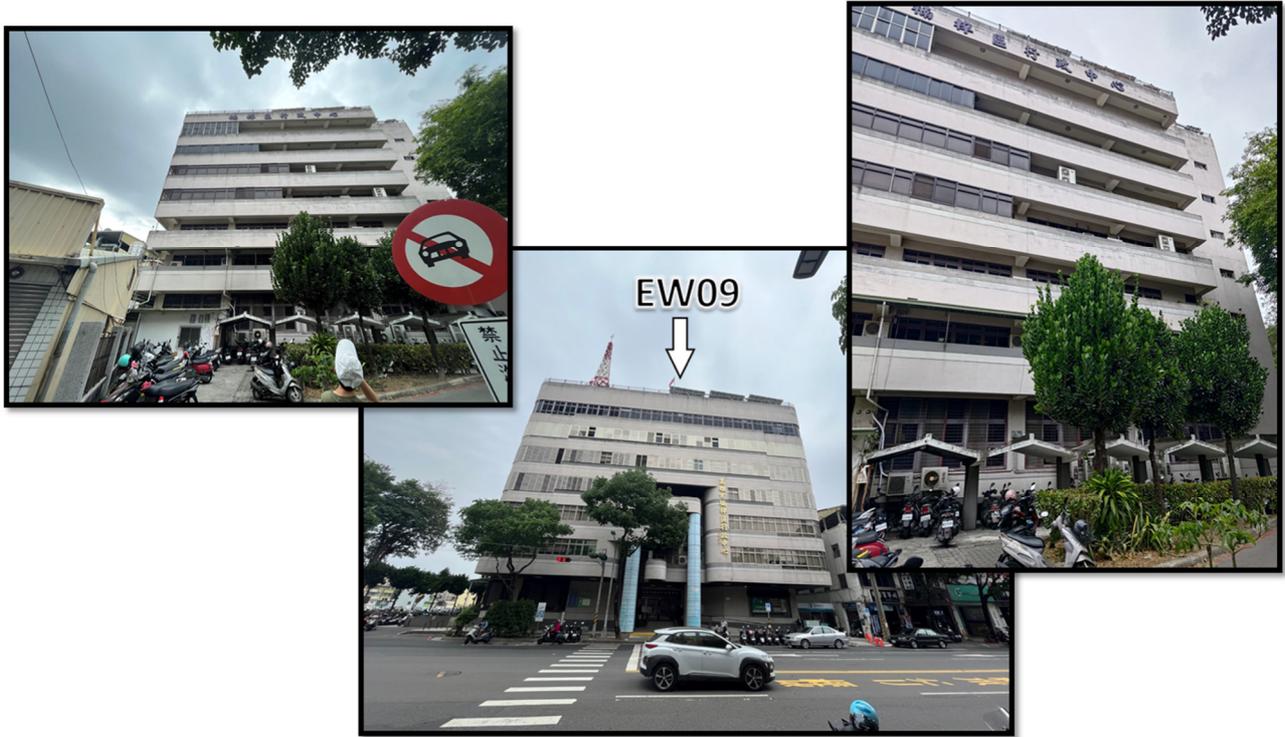


圖 3.16 點位 EW09 之周圍環境。

### 點位 SX93

該點位為衛星控制點，設置於路旁之水溝壁上，鋼標周圍有輕微鏽蝕，標號及十字上有噴漆及髒污（圖 3.17），可能影響每次施測時定心位置產生誤差，建議進行清理。除此之外，周圍環境地勢平坦，無顯著破壞，旁邊的水泥護欄等結構物亦無破壞與變形（圖 3.17），故該點位應屬穩固。



圖 3.17 點位 SX93 之周圍環境。

## 點位 SY06

該點位為衛星控制點，設置於鳳雄國小側門馬路旁之水溝溝壁上，點位埋設雖屬穩固，但緊鄰車道旁，車輛會車時有極高可能會被輾壓，經檢視也發現鋼標上確實有變形磨損之痕跡（圖 3.18），十字刻痕已有部分毀損，建議應盡快修復避免影響定心位置。此外，該點位正上方有樹蔭遮蔽（圖 3.18），降低其透空度，影響衛星訊號接收。

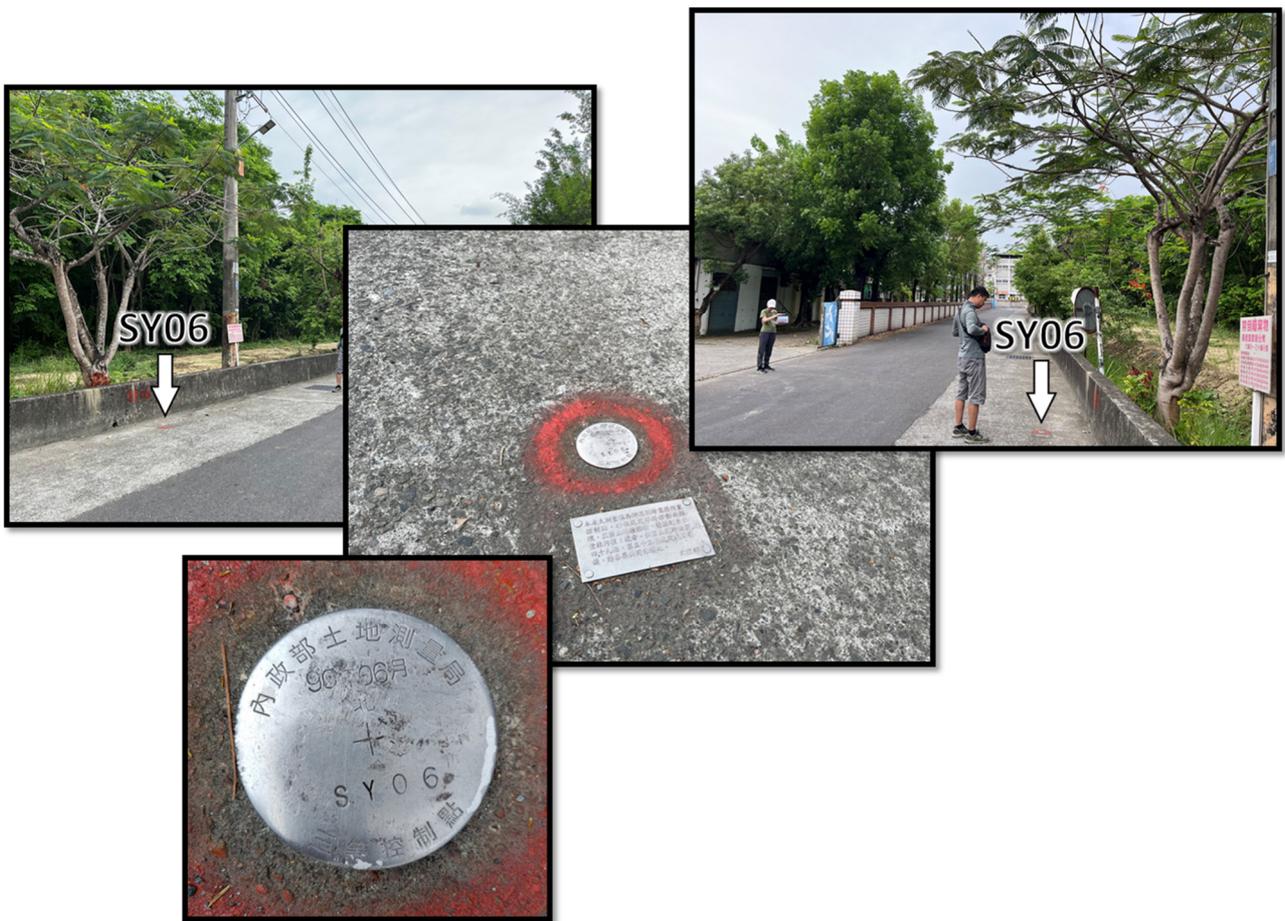


圖 3.18 點位 SY06 之周圍環境。

## 點位 SZ74

該點位為衛星控制點，設置於興中橋旁人行道旁斜坡上，緊鄰電線桿，為水泥樁位，其破損程度高，且樁標上之十字已嚴重磨損（圖 3.19），雖然樁位看起來仍算穩固，但相鄰之儀器箱基座明顯可見已與土地分離（圖 3.19）。由於該點位位於後勁溪堤防上，因此，應謹慎確認其是否有不均勻沉陷導致點位發生傾斜，而有水平運動之發生。此外，該點位位於斜面上，不利於長時間的觀測作業。



圖 3.19 點位 SZ74 之周圍環境。

## 點位 G103

該點位為一等水準點，設置於台 17 線之中央分隔島上，基礎穩固，點位狀況良好，樁標標號與十字皆清晰（圖 3.20），周圍地勢大致平坦，大區域觀之，由衛星控制點 SZ74 往北至此之地形呈下坡，地質活動可能相對穩定。此外，該點西側臨近海岸，且東北方有魚塭（大尾龍膽池）（圖 3.20），可能有進行抽水，故須檢視資料是否有地層下陷之可能性。



圖 3.20 點位 G103 之周圍環境。

## 點位 SW15

該點位為衛星控制點，設置於蚵仔寮兒二公園中，為水泥樁上嵌鋼標型態之點位，基礎穩固、點位狀況良好，標號與十字清晰未受破壞（圖 3.21）。周圍環境穩定，視線範圍內地勢平穩。然而此點位於鳳凰樹下，遮蔽嚴重，透空極差，且與樹距離僅約 1 m（圖 3.21），樁位未來有受樹根破壞之可能性。此外，此點位於漁港旁，後續應確認是否有地層下陷之疑慮。



圖 3.21 點位 SW15 之周圍環境。

## 點位 SY11

該點位為衛星控制點，為地調所所設置之地殼變動基準點 G156，設置於蚵寮國小操場跳遠跑道旁，點位穩固且標號十字清晰，但樹蔭遮蔽嚴重（圖 3.22），透空已不佳，若採長時間觀測則勉強可行。此點位於海邊，且在點位周圍跑道旁也有觀察到人行道有部分分離，需注意是否為地層下陷區。此外，校園外圍環境不正常，西側海邊赤崁南路 94 巷教職員停車場附近有隆起，且水泥護欄有明顯的破壞（圖 3.22），此區地形高低變化大，學校正好位於地勢高區，後續若有進一步之計畫工作，應嘗試確認該區域是否位於背斜軸上。



圖 3.22 點位 SY11 之周圍環境。

## 點位 SZ47

該點位為衛星控制點，設置於路口人行道旁，點為本身穩固、標號清晰，但點位北側有大樹遮蔽（圖 3.23），透空度較差。而地質條件上，其東北方延伸至橋新十路路段，為向東北方向下傾斜，比對斷層分布圖則可發現，此區域之道路坡度可能是車瓜林斷層和右昌斷層交界處的斷層崖所造成，而此點位正好位於斷層崖的正上方，且觀察周圍結構物發現，保金巷坡底的民宅圍牆有反覆翻修損壞之痕跡（圖 3.23），可知此控制點在地質條件上較不穩定。



圖 3.23 點位 SZ47 之周圍環境。

## 點位 1177

該點位為一等水準點，點位本身穩固、狀況良好，透空度極佳（圖 3.24），建議可同時作為衛星控制點使用。周圍環境無看到破壞及變形，但校門東北側教室有疑似 5-10 mm 的抬升量。此外，該校東邊台 1 線已觀察到斷層崖，因此初判此點位應位於斷層上盤。



圖 3.24 點位 1177 之周圍環境。

## 點位 1176

該點位為一等水準點，點位本身穩固、狀態良好，周圍環境穩定（圖 3.25），可能位於車瓜林斷層下盤，雖然觀察到機車花圃旁有裂隙，但判斷應為旁邊水溝所造成。另外，該點透空極佳且地質穩定，建議可同時作為衛星控制點使用。



圖 3.25 點位 1176 之周圍環境。

## 點位 S555

該點位為衛星控制點，設置於五林國小操場鄰近跑道之草皮上，雖然上面的鐵蓋已遺失，但點位狀況穩固，且透空度極佳（圖 3.26），周圍也未見破壞或變形，環境穩定。



圖 3.26 點位 S555 之周圍環境。

## 點位 SW11

該點位為內政部三等衛星控制點，設置於岡山文化中心之停車場旁，為水泥樁上嵌鋼標型態之點位（圖 3.27），基礎穩固、點位狀況良好，然而上方樹蔭遮蔽嚴重，透空度不佳，且鋼標有明顯之磨損痕跡（圖 3.27），雖然標號與十字仍屬清晰，但應注意磨損程度並加以維護。此外，點位旁不到 100 m 處為捷運施工工地，有地層下陷之虞。



圖 3.27 點位 SW11 之周圍環境。

## 點位 1175

該點位內政部一等水準點，設置於岡山路上之中央分隔島上（圖 3.28），雖然車流量大，但點位狀況穩固，護石也相當完整，周圍環境穩定且地勢平坦，透空度亦佳（圖 3.28），可同時作為衛星控制點使用。



圖 3.28 點位 1175 之周圍環境。

## 點位 SX80

該點位為內政部三等衛星控制點，設置於介壽路中央分隔島上，為水泥樁上嵌鋼標型態之點位，點位狀況穩固，透空度極佳，標號十字皆清晰（圖 3.29），周圍環境穩定且地勢平坦，惟最底下之水泥基座有破裂（圖 3.29），應再確認是否為人為損壞。



圖 3.29 點位 SX80 之周圍環境。

## 點位 SX79

該點位為衛星控制點，點位本身狀況良好，基礎穩固且透空極佳，鄰近結構物未見破壞，周邊環境穩定，地勢平坦（圖 3.30）。



圖 3.30 點位 SX79 之周圍環境。

### 3.1.3 野外地質調查與基本控制點踏勘成果小結

野外調查成果彙整如表 3.1 及表 3.2，在小琉球島與滾水山及漂底山區域野外地質調查與基本點位踏勘過程中，本研究發現許多基本控制點位之埋設，雖然位於相對穩定的地點，但若仔細觀察周圍環境或確認相關監測資料及文獻，卻發現其與邊坡滑動、活動度高之潛移斷層，或是包含背斜、泥貫入體、泥貫入筒與泥火山等所構成之泥體構造位置十分接近，亦即該基本控制點仍可能受到構造活動的影響。同時，部分點位也明顯有受到其他人為或未知因素影響之虞，如鋼標磨損等皆可能影響觀測成果，進而破壞坐標基準的正確性。

表 3.1 小琉球島點位狀況彙整

編號	測站	透空度	現場龜裂	現地塌陷或隆起	可能之地質因素	持續觀測或維護必要	是否建議更換位置
1	LC01	極差	無	無	無	需勤加維護與清潔	若能提高點位維護與砍樹頻率高，則不需更換
2	LC02	差	嚴重	無	邊坡滑動	無	是
3	LC03	差	無	有	潛移逆斷層	需砍樹	否
4	LC04	極佳	無	有，與上杉路有顯著地勢差異	疑似活動逆斷層	無	否
5	LC05	極差	無	無	無	需砍樹	否
6	LC06	差	無	無	無	需砍樹	否
7	LC07	佳	嚴重	有，點位旁地面有稍微隆起與裂隙	活動斷層	持續觀測	否
8	T294	差	有	有，對向區域隆起	泥貫入體	無	是，樁位已磨損
9	TG74	極佳	嚴重	有，顯著隆起變形	非地質因素	需砍樹	是，基礎已位移

表 3.2 滾水山及深底山區域點位狀況彙整

編號	測站	透空度	現場龜裂	現地塌陷或隆起	可能之地質因素	持續觀察或維護必要	是否建議更換位置
1	EW09	佳	無	無	無	無	否
2	S555	極佳	無	無	無	無	否
3	S958	極佳	無	無	無	無	否
4	SW11	極差	無	無	無	需修剪樹，持續觀察施工是否造成地層下陷。	否
5	SW15	極差	無	目測無	無	持續觀察是否有下陷及樹根破壞。	否，但若出現樹根破壞，則建議更換
6	SX78	已遺失，需重新選點					
7	SX79	極佳	無	無	無	無	否
8	SX80	極佳	有，水泥基座破裂，但應確認是否為人為。	無	無	無	否
9	SX90	極佳	輕微，顯示結構不穩定	無，但位於易遭輾壓處，可能有沉陷疑慮。	無	需修復磨損之刻痕。	是
10	SX93	極佳	無	無	無	無	否
11	SY06	差	無	無，但位於易遭輾壓處，可能有沉陷疑慮。	無	需修復磨損之刻痕。	是
12	SY11	極差	有，跑道旁人行道分離	無，但比對校外地勢，此點為位於地勢高區。	可能為背斜軸	持續觀察	否
13	SZ47	差	有，鄰近民宅圍牆有顯著裂隙	有，可能位於斷層崖上	活動斷層	無	否
14	SZ74	差	無	有，旁邊儀器箱已與土地分離，可能有不均勻沉陷之狀況。	無	需修剪樹及修復樁標	是

15	1175	極佳，建議可同時作為衛星控制點	無	無	無	無	否
16	1176	佳，建議可同時作為衛星控制點	有，但初判為水溝而非構造造成	無	無	無	否
17	1177	極佳，建議可同時作為衛星控制點	無	無，但該校校門旁教室有抬升情形。	活動斷層	無	否
18	G103	極佳，建議可同時作為衛星控制點	無	目測無	無	持續觀察是否有下陷	否
19	G104	尚可	有，但可能為樹根造成	無，但地勢較外側路面高。	無	持續觀測	否
20	G105	極差	無	無顯著隆起，但地勢向西南傾斜。	背斜或活動斷層	需砍樹	否

## 3.2 大地測量資料解算與速度場分析

### 3.2.1 大地測量資料蒐集

本研究所解算之資料包含滾水山與潔底山等高雄地區 2022 年 7 月、12 月與 2023 年 4 月，以及小琉球島 2023 年 3 月與 9 月之 GNSS 及水準觀測資料。GNSS 部分，小琉球地區原規劃觀測 15 點，經清查 T293 遺失，總計觀測 14 個點位（圖 3.31；圖 3.33），高雄地區原規劃觀測 25 點，經清查 SX78 遺失，觀測總數為 24 個點位（圖 3.32；圖 3.34）。採靜態觀測方式進行，每次觀測期間約 6 至 7 小時。

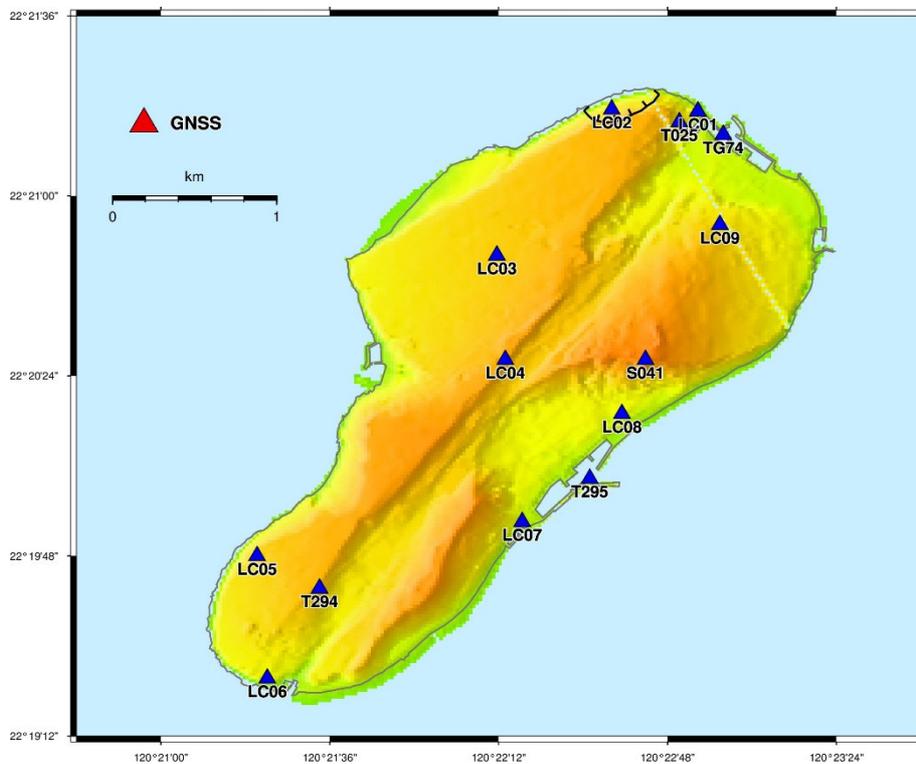


圖 3.31 小琉球島 GNSS 點位分布圖。

底圖為數值高程模型，越偏暖色系表示地勢越高；藍色三角形為 GNSS；黑色虛線為地滑區。

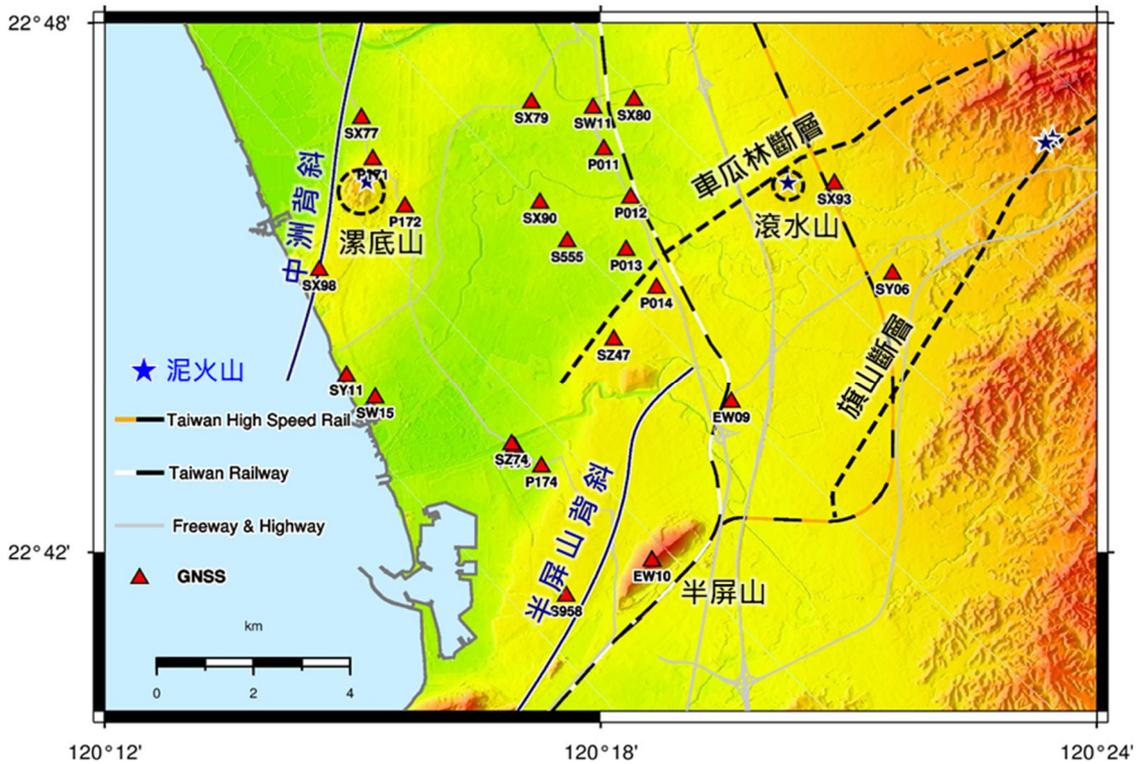


圖 3.32 滾水山及漂底山區域 GNSS 點位分布圖。

底圖為數值高程模型，越偏暖色系表示地勢越高；紅色三角形為 GNSS；藍色星號為泥火山；深藍色實線為背斜構造；黑色虛線為斷層線；黑色圓圈分別為滾水山及漂底山；淺灰色實線為國道路線；橘白相間者為高鐵路線；黑白相間者為臺鐵路線。

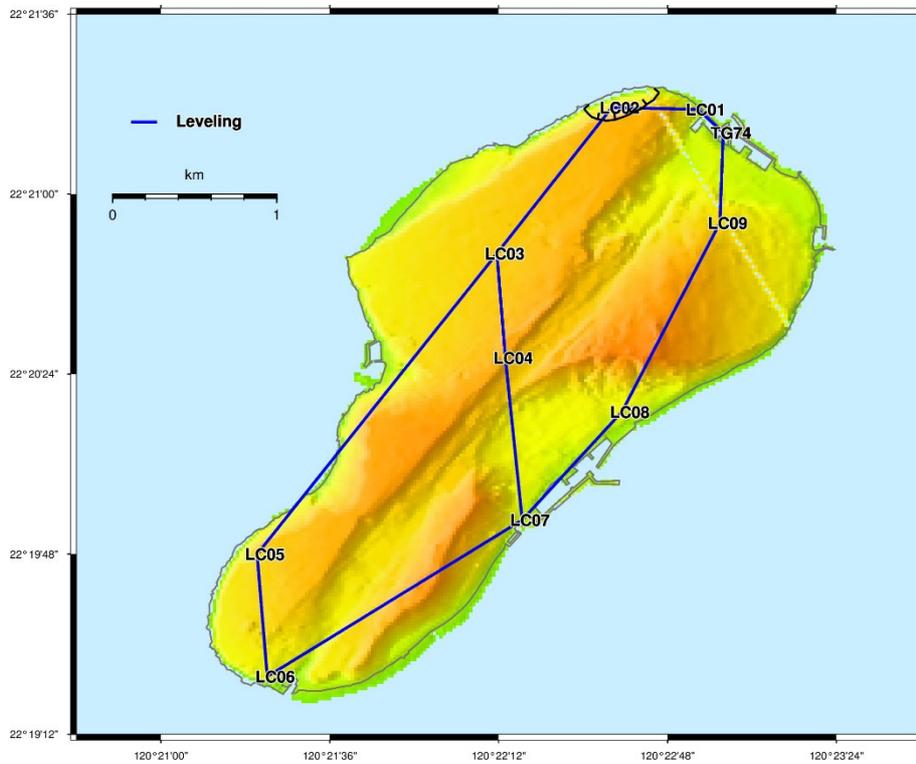


圖 3.33 小琉球島水準網形分布圖。

底圖為數值高程模型，越偏暖色系表示地勢越高；藍色實線為水準測線；黑色虛線為地滑區。

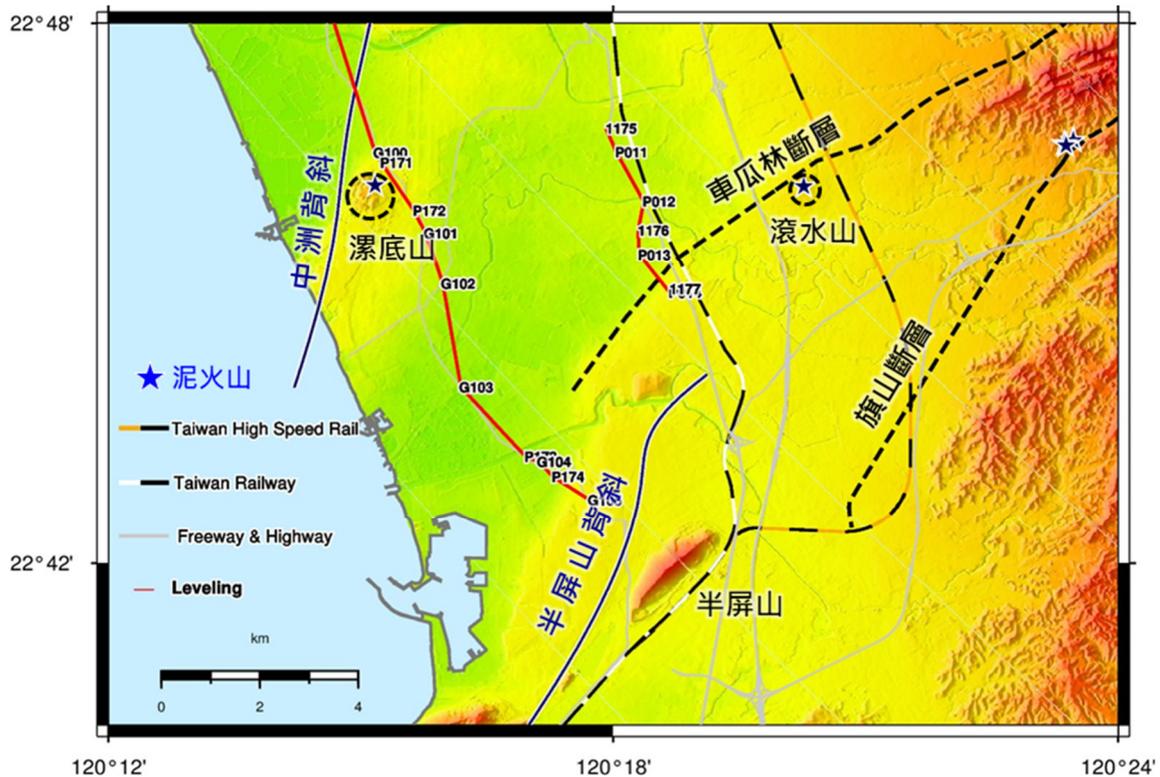


圖 3.34 滾水山及黑底山水準測線分布圖。

底圖為數值高程模型，越偏暖色系表示地勢越高；紅色實線為水準測線；藍色星號為泥火山；深藍色實線為背斜構造；黑色虛線為斷層線；黑色圓圈分別為滾水山及黑底山；淺灰色實線為國道路線；橘白相間者為高鐵路線；黑白相間者為臺鐵路線。

### 3.2.2 GNSS 資料解算

為解算本研究工作區域基本控制點之 TWD97[2020]坐標，採用 Bernese 基線解算軟體進行坐標求解，軌道資料採用 IGS 提供的精密星曆，極運動改正採用 IERS (International Earth Rotation Service) Bulletin B 公佈值，將 UTC 與 UT1 之差值加以修正，並將坐標值由瞬間極坐標系修正至 J2000 平均極 (CIO) 坐標系。接著利用電碼資料透過計算測站及接收儀的時間誤差量來進行單點定位及計算接收儀時鐘改正量。計算出的時鐘改正量會儲存進入相位觀測檔中，使接收儀之時間能準確至  $10^{-6}$  至  $10^{-7}$  秒。下一步，將所有測站依觀測量的數目，選擇兩測站間共同觀測量最多者組成線性獨立的一次差觀測量。透過三次差處理對精密星曆與衛星時錶資料進行資料之編修、週波脫落之補正、時錶差修正、錯誤觀測量或觀測量不能使用之標示。後續處理過程中，被標示的觀測量將不予以處理。所用的檢查頻率可為 L1、L2 或 L3，對雙頻 GNSS

資料則使用 L3 (無電離層線性組合)。最後，則是將篩選過之相位觀測量組成二次差觀測量以求解坐標參數。

在求解坐標參數時，首先使用 QIF (Quasi-Ionosphere-Free) 方式解算週波未定值，採用 L1 及 L2 載波信號，一條一條基線循序解算 (Baseline-mode)。解算完每條基線的週波未定值之後，使用“消去” (ELIMI) 策略，並採用無電離層線性組合信號 (L3)，在時段模式 (Session-mode) 下同時處理各時段相應之所有基線來解算週波未定值，如此所得結果便兼顧到了各基線間的相關性。GNSS 觀測資料選定仰角  $15^\circ$  以上部份計算，乃為避免在低仰角度觀測時伴隨的較大雜訊所造成之影響。對流層折射效應對於 GPS 定位測量的高程效應有著顯著的影響，本研究採用 Saastamoinen model，以海平面標準氣象資料，溫度  $18^\circ\text{C}$ ，相對溼度 50%，大氣壓力 1013.25 mbar，推求各測站的對流層改正起始值，並引用大氣資料進行對流層折射影響量的改正參數，以各測站每 2 小時增加 1 個參數之方式，加以吸收殘留的對流層折射誤差。

為了獲得小琉球島、滾水山及潔底山等特殊地質地區合理之地表速度場，本研究除了採用 Bernese 基線解算軟體的求解結果進行分析，同時也使用精密單點定位 (Precise Point Positioning, 簡稱 PPP) 解算程式 PRIDE-PPP-AR 來進行解算。PRIDE-PPPAR 解算程式可計算精密之測站坐標，相較基線解軟體，其優點是不需要分小網方式解算，解算速度較快，且不需要參考站、各站的解算結果有獨立性，不會受到資料較差的測站干擾。解算採用 IGS 網站上獲取相應觀測日的精密衛星軌道、精密衛星時鐘改正、衛星掩蔽信息及有關地球的時間、極移、旋轉和極軸方向等資料，接著以 PPP 方法對各觀測日的所有站點進行單獨處理，獲得各點的單日卡氏坐標解 (Geng, 2019)。再將卡氏坐標成果轉換為橫麥卡托二度分帶坐標成果。

### 3.2.3 水準資料解算

水準測量是獲得高精度相對高程的主要測量方法，相較於 GNSS 而言，其垂直向精度可提升約數十倍。因此，為了瞭解小琉球島、滾水山及潔底山特殊地質地區較精確的高程變化情形，本研究主要以精密水準測量資料進行解算與分析。水準測量誤差來源分為儀器誤差、觀測誤差及受外界因素影響的自然誤差。按其影響的性質則分為偶然誤差（隨機誤差）和系統誤差兩類。對系統誤差而言，有些可通過選線或觀測的安排加以消除或減弱（許榮欣和高書屏，1996）。在精密水準測量中，最常注意的系統誤差包括有：（1）視準軸誤差、（2）折射誤差、（3）地球曲率改正、（4）水準尺溫度改正、（5）水準尺刻劃改正與（6）正高改正。這些系統誤差在嚴格的精密測量程序中，如：規定往返測必須在不同的環境中進行、相鄰兩測站採用不同之觀測次序、每測段的總測站為偶數等方法，均可消除一些系統性誤差的影響。然而，縱使依照如此嚴格的觀測程序，最後仍會存有部分的系統誤差必須依靠儀器之校準與修正模式來消除或降低（劉啟清，1986）。這些系統誤差的修正方法，主要參照 Ching et al. (2011) 使用的方式。高程計算部分假設起始施測點位之高程為 0 m，其餘點位由前一點位之高程加上系統誤差改正後之高程差，即為各水準點之累計高程值。因本研究分析水準資料的目的在於求取垂直速度場，因此計算過程中，將正高改正量視為定值而不進行正高改正。

此外，本研究之兩個研究區域中，滾水山及潔底山區域為東、西兩條測線（圖 3.34），小琉球島為一閉合之水準觀測網（圖 3.32），故小琉球島之精密水準資料解算進行了最小約制平差處理，解算成果與分析將於第四章呈現與說明。

## 第四章 解算成果與分析

### 4.1 解算成果與點位變動量

如 3.2.1 節所述，本研究解算資料包含小琉球島 14 個 GNSS 點位、1 個精密水準網之 2023 年 3 月與 9 月，共 2 次之觀測資料，以及滾水山與漂底山等高雄地區 24 個 GNSS 點位、2 條精密水準測線之 2022 年 7 月、12 月及 2023 年 4 月，共 3 次之觀測資料。其中，GNSS 部分採靜態觀測方式進行，每次觀測時間約 6 至 7 小時。GNSS 觀測資料分別透過 Bernese 基線解算軟體以及 PRIDE-PPP-AR 進行解算，以 ITRF2014 坐標框架為基準，並採用 IGS 提供的精密星曆，進行坐標解算。因 LC04 於 2023 年 9 月 7 日及 S041 於 2023 年 9 月 6 日、7 日之觀測資料品質不佳，故 PRIDE-PPP-AR 無法針對此些資料進行解算，而 Bernese 基線解算軟體仍可獲得解算成果。因此，LC04 之 PRIDE-PPP-AR 成果為 2023 年 9 月施測作業中其他時間段之觀測成果取平均，S041 則無 2023 年 9 月之資料成果。此外，由於 PRIDE-PPP-AR 之原始解算成果為單日卡氏坐標解 (Geng, 2019)，故本研究將卡氏坐標成果轉換為橫麥卡托二度分帶坐標成果 (請見附錄一、二)。

點位變動分析部分，根據分析結果，小琉球島 2023 年 3 月至 9 月之 GNSS 移動站平均水平位移量 Bernese 及 PRIDE-PPP-AR 之結果分別約 6.00 mm 及 18.62 mm，垂直位移量則皆約 22.00 mm (表 4.1)，整體而言以 LC05 之點位變動量較大，其垂直位移約其他點位之 2 倍以上；精密水準測量部分，其平均垂直位移則約 11.06 mm，以 LC02 及 LC03 之垂直變動量較大一些，但仍落在 10.00-20.00 mm 之整體變動量範圍內 (表 4.2)。滾水山及漂底山區域兩種解算軟體之分析成果相近，2022 年 7 月至 12 月之平均水平位移量皆約 25.00 mm 左右，平均垂直位移量則皆約 30.40 mm (表 4.3)；2022 年 12 月至 2023 年 4 月之水平位移量皆約 15.00 mm 左右，平均垂直位移量 Bernese 及 PRIDE-PPP-AR 之結果則分別約 5.5 mm 及 12.85 mm，此區域中整體數點位變動量極為相近，無顯著變動者 (表 4.3)；精密水準測量部分，東側測線 2022 年 7 月至 12 月之平

均垂直位移約 3.46 mm，2022 年 12 月至 2023 年 4 月則約 4.95 mm，差異不大。西側測線部分，2022 年 7 月至 12 月之平均垂直位移約 -2.09 mm，2022 年 12 月至 2023 年 4 月則約 4.03 mm，兩時期差異量較大且由下陷轉為抬升（表 4.4；表 4.5）。

根據前述分析結果，可發現研究區域內有許多點位變動量較大，初步推斷造成此顯著差異的原因主要是由於測量誤差與地殼因固體潮或季節性因素所導致的週期運動。依據地調所利用 GNSS 移動站與精密水準進行斷層活動監測的經驗，如東部變形速率高的地區，約要 4 年左右的時間來獲得可靠的數值；如北部變形速率低的區域，則約要 8-10 年的監測數據來獲得可靠的數值；此外，若每年能盡量於同一時期施測，則可降低季節性因素影響。目前本計畫的資料收集大多不足一年，且於不同季節進行施測，故較難獲得可靠的觀測成果，後續可能需要更長期之資料與詳細之點位勘查來釐清其原因。

表 4.1 小琉球島 2023 年 3 月至 9 月 GNSS 點位變動量

編號	測站	Bernese 基線解算成果		PRIDE-PPP-AR	
		水平位移 (m)	垂直位移 (m)	水平位移 (m)	垂直位移 (m)
1	LC01	0.037	-0.285	0.002	0.027
2	LC02	0.039	0.148	0.003	0.053
3	LC03	-0.022	-0.055	-0.054	-0.117
4	LC04	-0.010	0.015	-0.017	-0.022
5	LC05	-0.012	-0.229	-0.042	-0.165
6	LC06	-0.001	0.043	-0.006	0.028
7	LC07	-0.004	0.009	-0.016	0.003
8	LC08	-0.009	0.026	-0.013	-0.019
9	LC09	-0.044	0.012	-0.051	0.010
10	S041	-0.003	-0.038	-	-
11	T025	-0.029	0.106	-0.002	-0.048
12	T294	-0.011	-0.066	-0.008	-0.029
13	T295	-0.003	0.002	-0.024	-0.009
14	TG74	-0.012	0.003	-0.015	0.005

表 4.2 小琉球島精密水準點垂直位移量

編號	點位	垂直位移 (mm)
1	LC01	12.70
2	LC02	19.50
3	TG74	11.90
4	LC03	14.20
5	LC04	13.50
6	LC05	5.40
7	LC07	10.80
8	LC06	0.00
9	LC08	10.30
10	LC09	12.30

表 4.3 滾水山及深底山區域 GNSS 點位變動量

編號	測站	Bernese 基線解算成果				PRIDE-PPP-AR			
		2022 年 7 月至 12 月		2022 年 12 月 至 2023 年 4 月		2022 年 7 月至 12 月		2022 年 12 月 至 2023 年 4 月	
		水平位移 (m)	垂直位移 (m)	水平位移 (m)	垂直位移 (m)	水平位移 (m)	垂直位移 (m)	水平位移 (m)	垂直位移 (m)
1	EW09	-0.041	-0.278	-0.016	0.028	-0.033	-0.277	-0.025	0.018
2	EW10	-0.065	-0.283	0.008	0.019	-0.049	-0.247	-0.013	0.022
3	P011	-0.026	-0.288	-0.008	-0.006	-0.022	-0.304	-0.009	-0.017
4	P012	-0.009	-0.303	0.005	0.007	-0.026	-0.307	0.002	0.005
5	P013	-0.006	-0.259	-0.009	-0.032	-0.020	-0.284	-0.016	-0.035
6	P014	-0.011	-0.303	-0.027	0.031	-0.026	-0.295	-0.021	-0.008
7	P171	-0.014	-0.316	-0.031	0.059	-0.022	-0.312	-0.007	0.062
8	P172	-0.017	-0.294	-0.042	0.008	-0.025	-0.298	-0.014	0.034
9	P173	-0.048	-0.315	-0.016	0.049	-0.039	-0.338	-0.010	0.039
10	P174	-0.038	-0.393	0.019	-0.178	-0.036	-0.306	-0.005	-0.116
11	S555	-0.020	-0.312	-0.006	0.014	-0.022	-0.320	-0.013	0.024
12	S958	-0.045	-0.266	-0.013	0.049	-0.032	-0.278	-0.022	0.028
13	SW11	-0.062	-0.329	0.004	-0.025	-0.045	-0.327	0.002	-0.003
14	SW15	0.005	-0.483	-0.058	-0.029	-0.003	-0.480	-0.034	0.088
15	SX77	-0.010	-0.279	-0.035	-0.019	-0.020	-0.289	-0.012	0.008
16	SX79	-0.021	-0.307	-0.010	-0.025	-0.029	-0.337	-0.014	-0.014
17	SX80	-0.012	-0.326	-0.012	0.015	-0.025	-0.334	-0.015	-0.006
18	SX90	-0.024	-0.292	-0.006	0.049	-0.026	-0.316	-0.011	0.038
19	SX93	-0.003	-0.312	-0.027	0.023	-0.025	-0.309	-0.019	0.039
20	SX98	-0.008	-0.290	-0.035	0.014	-0.018	-0.292	-0.010	0.027
21	SY06	-0.032	-0.312	-0.013	0.032	-0.048	-0.327	-0.007	0.001
22	SY11	-0.019	-0.170	-0.032	0.061	-0.025	-0.144	-0.012	0.026
23	SZ47	-0.014	-0.319	-0.007	-0.009	-0.026	-0.288	-0.011	-0.004
24	SZ74	-0.024	-0.275	-0.037	-0.038	-0.038	-0.289	-0.014	0.038

表 4.4 滾水山及潔底山區域東側測線垂直位移量

編號	點位	2022 年 7 月至 12 月 垂直位移 (mm)	2022 年 12 月 2023 至 4 月 垂直位移 (mm)
1	1175	0.00	0.00
2	P011	-1.09	1.73
3	P012	2.27	2.50
4	1176	1.05	4.39
5	P013	2.34	5.84
6	P014	10.24	10.50
7	1177	9.43	9.69

表 4.5 滾水山及潔底山地區西側測線垂直位移量

編號	點位	2022 年 7 月至 12 月 垂直位移 (mm)	2022 年 12 月 2023 至 4 月 垂直位移 (mm)
1	G099	0.00	0.00
2	G100	-2.56	2.29
3	P171	1.40	3.58
4	P172	-0.72	4.72
5	G101	-1.70	3.99
6	G102	-2.99	4.69
7	G103	-4.34	5.64
8	P173	-5.03	4.90
9	G104	-4.36	4.90
10	P174	-4.95	4.77
11	G105	2.28	4.88

## 4.2 地表速度場與可靠度分析

為了針對本計劃目標—特殊地質對基本控制點之影響進行評估，除了以本研究觀測成果之點位位移量進行評估外，對於點位長期可能造成的影響而言，可靠之地表速度場成果更為重要。而根據本研究所取得之 GNSS 及水準觀測資料，可再透過線性迴歸獲得地表速度場（圖 4.2）。然而，本階段所取得之資料期間不足一年，一般而言，短期之資料穩定性較低，較難獲得可靠之速度場。因此，在進行基本控制點之影響分析與因應機制探討前，本研究採用滾水山與潔底山區域歷史資料為例進行比對，以確認本研究資料之可靠度。根據景國恩等（2023）所提出滾水山與潔底山區域之 GNSS 連續站及 InSAR 進行聯合反演，並相對於澎湖白沙 GNSS 連續站站 S01R 長期速度所獲得之地表速度場，可發現此區域屬於地表變形速率較高之區域，整體水平變形速率超過 35 mm/yr，最

高可達約 55.0 mm/yr，而由垂直速度場可發現，此區域中沉降速率約 1.0-3.0 mm/yr，大部分地區以抬升為主，抬升速率可達約 6.0-7.0 mm/yr (圖 4.1)。

為了與前述資料進行比對，本研究同樣採用 S01R 之長期速度場作為約制，根據比對結果，可發現所獲得之水平速度場皆超過 49.0 mm/yr，最高甚至可達約 110 mm/yr，整體數值近乎歷史資料成果之 2 倍以上。此外，亦發現 SW15 之觀測成果與過往長期資料及本研究其他測站之速度場方向並不一致 (圖 4.1；圖 4.2)，後續應確認其可能原因。而垂直速度場部分，由於本研究成果為 GNSS 靜態觀測成果，垂直觀測精度成果不佳，整體速度場高達 307.0-572.0 mm/yr，且全區皆呈現嚴重的下陷，與過去的長期觀測成果相差甚鉅。精密水準測量之部分，為了與 GNSS 及歷史資料成果可相互進行比較，本研究在東西兩條測線分別選定垂直變形量近乎為 0.0 mm/yr、位於較穩定區域之 P013 以及 G104 作為約制點，以最接近該兩點之 GNSS 連續站及 InSAR 聯合反演之垂直速度為參考值進行約制。經比對可看出，就整體速度場分布而言，精密水準之成果相對較合理一些，呈現沉降與抬升之點位與過往之長期資料區域近乎一致，惟速度場數值上，部分點位仍有 2 至 3 倍之差異，尤以東側測線之差異較大 (圖 4.1；圖 4.2)。

綜上所述，由於本研究之監測期間較短且資料之時間與空間密度較低，故其所獲得之地表速度場可靠度也較低。為了探討特殊地質對基本控制點之影響，這些觀測成果不可或缺，因此，建議後續應持續進行監測，以獲得更長期而穩定之資料成果，以便了解各基本控制點更精確之變動情形。而本研究在此階段將先以過往較長期之資料來進行特殊地質對基本控制點影響之探討。

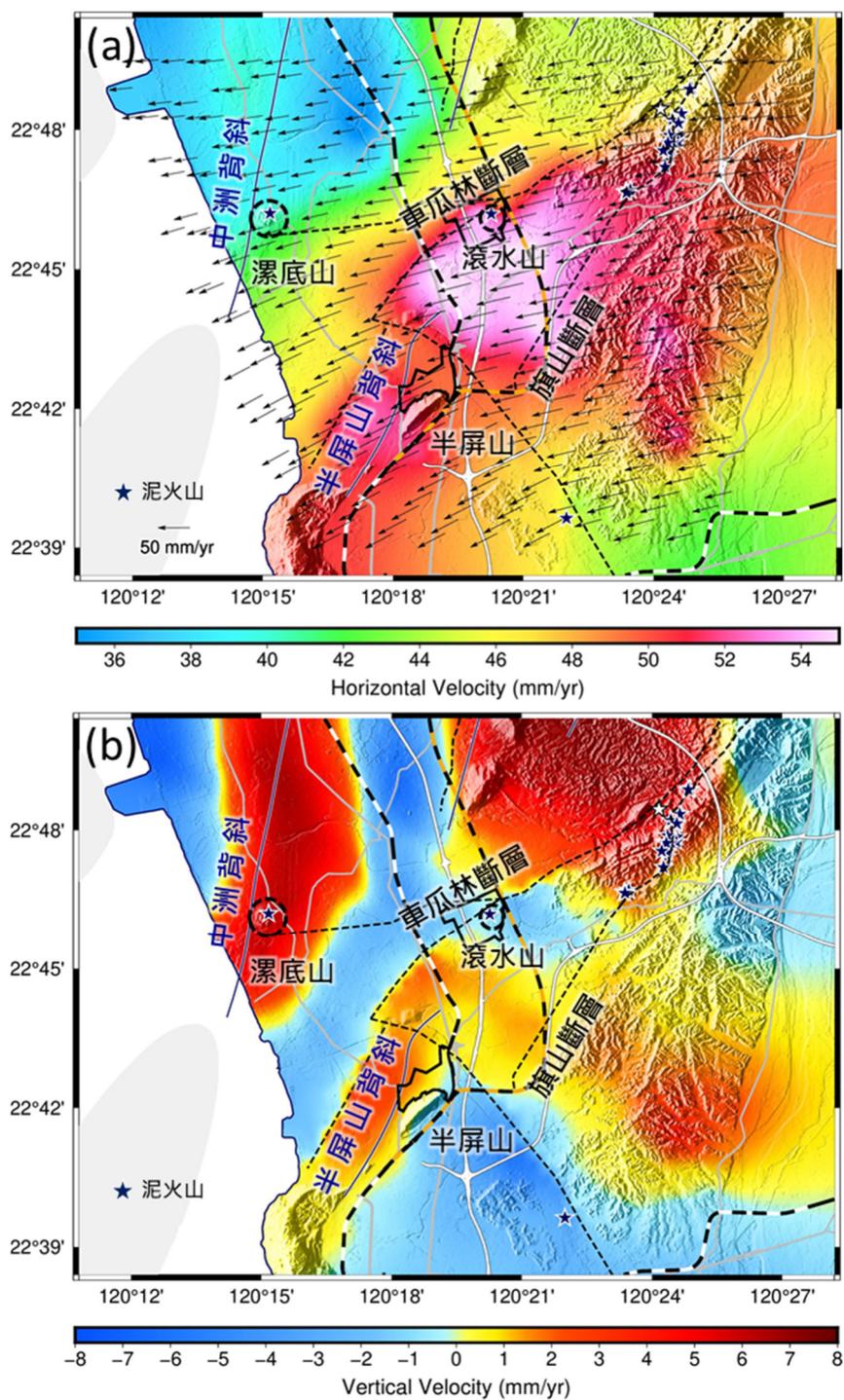


圖 4.1 滾水山與漂底山區域 2016 年至 2021 年地表速度場。  
 擷取自景國恩等 (2023)。橘白相間者為高鐵路線；黑白相間者為臺鐵路線；深藍色星號為泥火山；深藍色實線為背斜構造；黑色虛線為活動斷層；黑色虛線圓圈為漂底山及滾水山。  
 (a) 水平速度場。底色為水平速度，冷色系表示地表速度場數值越低；暖色系表示地表速度場數值越高。(b) 垂直速度場。冷色系表示沉降；暖色系表示抬升。

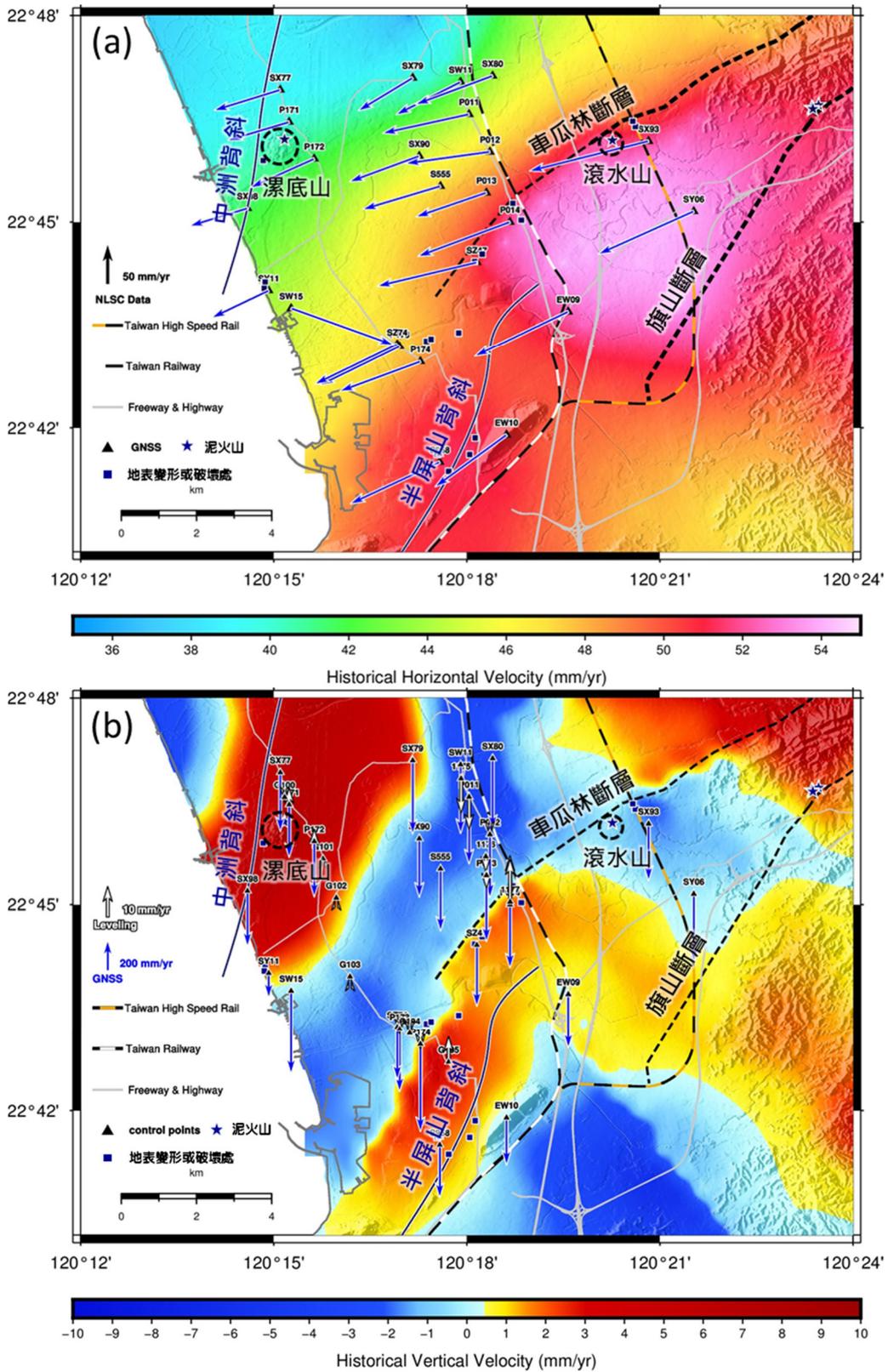


圖 4.2 滾水山與漂底山區域地表速度場比對。

深藍色星號為泥火山；深藍色方塊為野外調查地表變形或破壞處；深藍色實線為背斜構造；黑色虛線為活動斷層；黑色虛線圓圈為漂底山及滾水山；底圖為 2016 至 2021 年之長期速度場。(a) 水平速度場。冷色系表示地表速度場數值越低；暖色系表示地表速度場數值越高；藍色箭頭為本研究計畫 GNSS 移動站之解算分析成果。(b) 垂直速度場。冷色系表示沉降；暖色系表示抬升；藍色箭頭為本計畫之 GNSS 移動站之解算分析成果；白色箭頭為精密水準測量觀測成果，兩者比例尺不相同。

### 4.3 特殊地質對基本控制點影響之探討

基於前述以滾水山及潔底山區域所進行之基本控制點地表速度場可靠度分析，本研究目前之速度場成果相對不穩定，故將以過往較長期之地表速度場為基礎，結合本團隊至研究區域現地進行野外調查之成果，來進行特殊地質對基本控制點點位影響之探討。

#### 4.3.1 小琉球島

首先，小琉球島之歷史資料為 2004 年至 2017 年 GNSS 靜態觀測及精密水準點相對於 LC06 之地表速度場，根據地表速度場，可明顯看出不論水平速度場或垂直速度場，LC02 之速度場皆遠大於其他基本控制點，且垂直速度場與其他基本控制點不同，小琉球島整體為抬升，但 LC02 有極為顯著的沉降，另其水平速度場往西北之分量也遠大於其他點位（圖 4.3），這個結果與現地進行野外調查時所觀察到的邊坡滑動方向一致，且該點位周遭環境也確實有邊坡滑動破壞的證據（圖 3.2）。此外，在野外調查中，也發現了在 LC03、LC04、LC07 有疑似活動斷層的地表變形與破壞，由地表速度場來看，LC03 及 LC07 之水平速度場相對於鄰近區域之其他點位確實較大，LC04 雖變形速度未有顯著差異，但觀察地形可發現，該點位確實坐落於地形地勢變化較大之位置。另 LC03 及 LC07 鄰近區域也有觀察到建物抬升變形，而由垂直速度場也可見該點確實正在抬升，且速率相較於其他西南側點位更快（圖 4.4），抬升變形的範圍為數公尺。綜上所述，本研究認為小琉球島之基本控制點除了受東北西南走向之主要斷層而有擠壓抬升或剪切錯移影響之外，於部分點位所觀察到的小規模抬升可能為泥貫入體上更小分支之泥貫入筒（mud diatreme）（景國恩等，2023）。

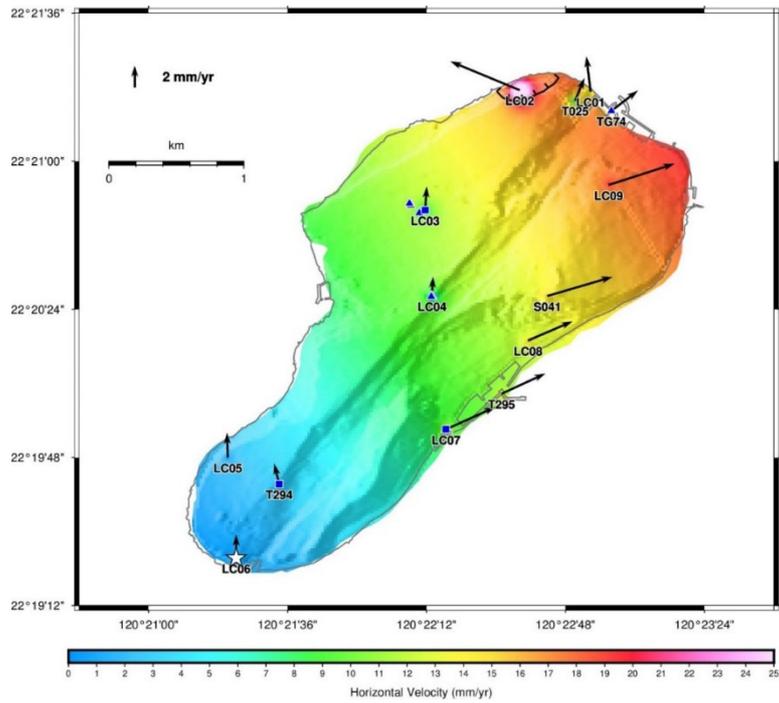


圖 4.3 小琉球島 2004 年至 2017 年地表水平速度場及地表變形顯著或破壞處。  
 修改自景國恩等 (2019)。底圖為小琉球島數值高程模型以及相對 LC06 (白色星號) 之水平速度場速率，冷色系表示地表速度場數值越低；暖色系表示地表速度場數值越高；箭頭為速度場數值與方向；藍色方塊為疑似斷層活動所產生之變形或破壞處；藍色三角形為建物抬升變形與破壞之處；黑色虛線為邊坡滑動區域。

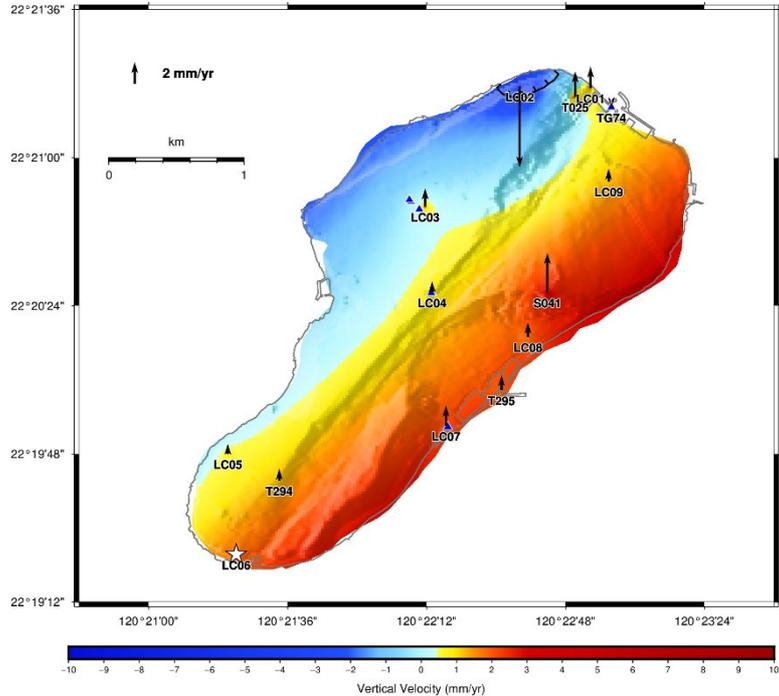


圖 4.4 小琉球島 2004 年至 2017 年地表垂直速度場及地表變形顯著或破壞處。  
 修改自景國恩等 (2019)。底圖為小琉球島數值高程模型以及相對 LC06 (白色星號) 之垂直速度場速率，冷色系表示地表速度場數值越低；暖色系表示地表速度場數值越高；箭頭為速度場數值與方向；藍色方塊為疑似斷層活動所產生之變形或破壞處；藍色三角形為建物抬升變形與破壞之處；黑色虛線為邊坡滑動區域。

### 4.3.2 滾水山及潔底山區域

滾水山與潔底山區域部分，根據該區之地表速度場及活動斷層及背斜等相關地質構造分布可發現，潔底山西北與東南兩側區域之速度場有顯著之落差，且在橋頭科學園區也有看到結構物有顯著之右移錯動破壞，而該位置與車瓜林斷層延伸處吻合，與 P013 及 P014 控制點相近，且正好通過兩點之間，在其往西南延伸至 SZ47 控制點附近也有觀察並記錄到顯著的道路坡度，疑似為車瓜林和右昌斷層交界處的斷層崖所造成，而此點正好位於斷層崖的正上方，同時觀察附近的民宅圍牆有持續性的損壞（圖 4.5 藍色方形處；圖 3.23），故本研究認為此區域及該點位之地質條件較不穩定。P171、P172、SX77、SX98 及 SY11 皆位於中洲背斜構造上，根據野外調查結果發現，SY11 所在區地形高低變化大，且正好位於地勢高區，並同樣有許多結構物破壞，控制點之穩定性可能受地質條件影響很大（圖 4.5）。此外，從垂直速度場來看 S958 及 EW10 之間有速度梯度落差，而在該處沿線我們也觀察到地勢的顯著變化，目前 S958 之現地狀況仍算穩定（圖 4.6）。為了確認研究區域特殊地質對所有基本控制點之影響，建議後面需有更長期之監測資料來提供確認。

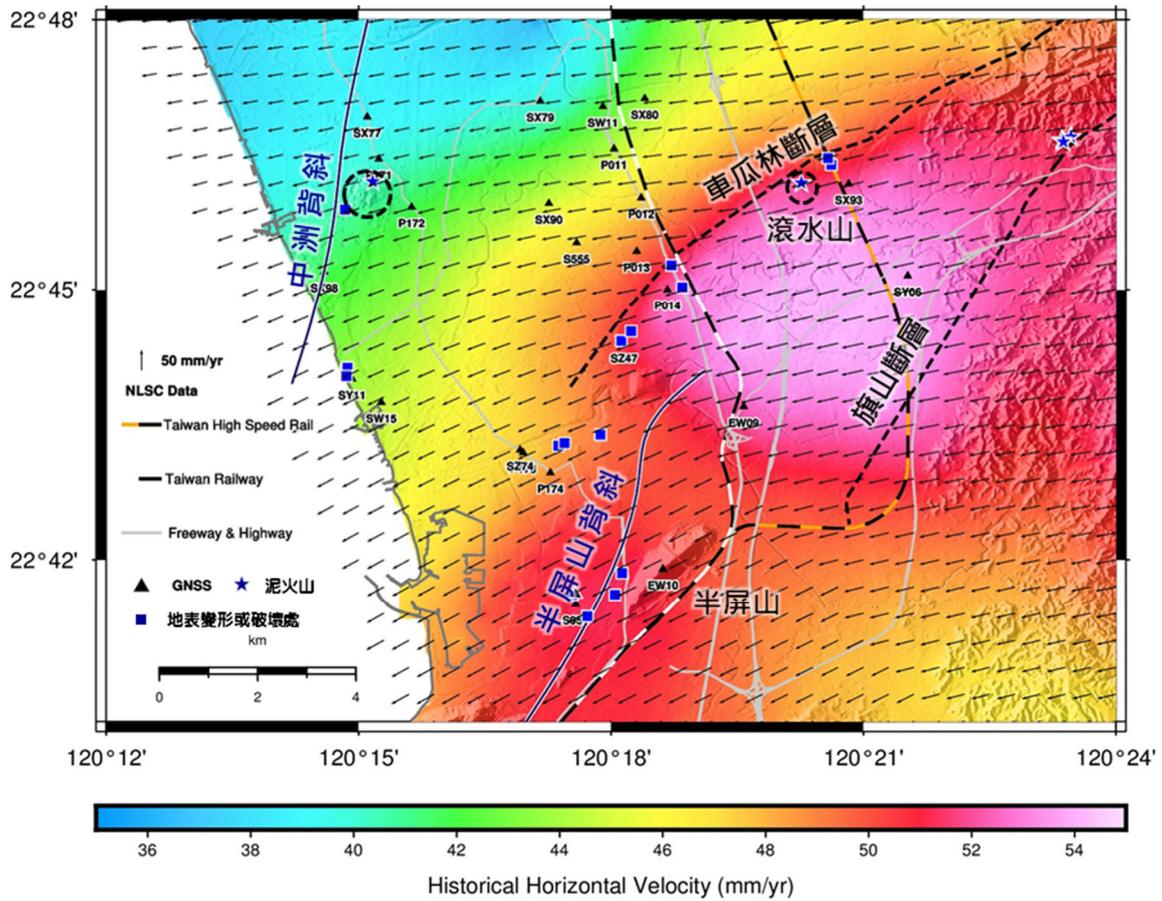


圖 4.5 滾水山及深底山區域 2016 年至 2021 年地表水平速度場及地表變形顯著或破壞處。修改自景國恩等 (2023)。底圖為滾水山及深底山區域數值高程模型以及相對 S01R 之水平速度場速率，冷色系表示地表速度場數值越低；暖色系表示地表速度場數值越高；藍色星號為泥火山；藍色方塊為野外調查地表變形或破壞處；深藍色實線為背斜構造；黑色虛線為活動斷層；黑色虛線圓圈為深底山及滾水山；箭頭為速度場數值與方向；藍色方塊為疑似斷層活動所產生之變形或破壞處；藍色三角形為建物抬升變形與破壞之處；藍色星號為泥火山。

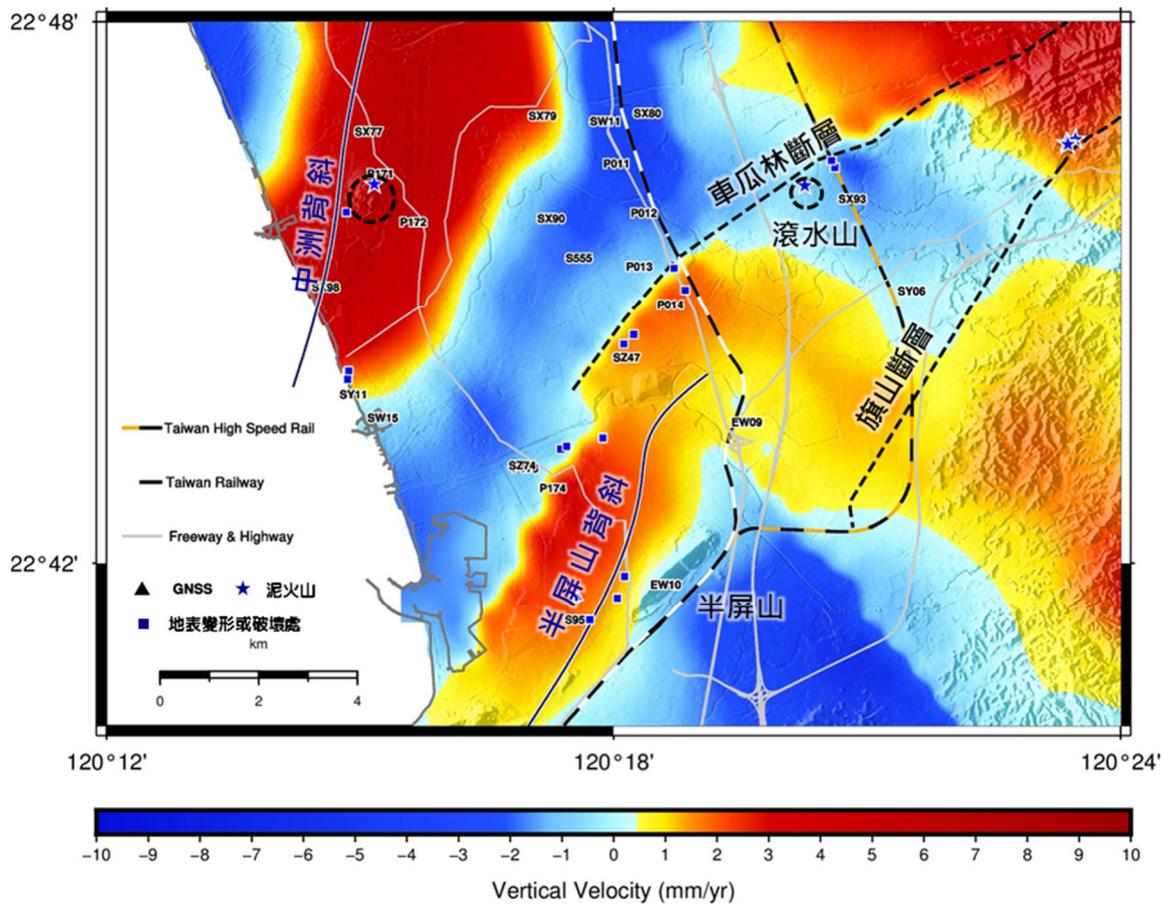


圖 4.6 滾水山及深底山區域 2016 年至 2021 年地表垂直速度場及地表變形顯著或破壞處。修改自景國恩等 (2023)。底圖為滾水山及深底山區域數值高程模型以及相對 S01R 之水平速度場速率，冷色系表示地表速度場數值越低；暖色系表示地表速度場數值越高；藍色星號為泥火山；藍色方塊為疑似斷層活動所產生之變形或破壞處；藍色三角形為建物抬升變形與破壞之處；深藍色實線為背斜構造；黑色虛線為活動斷層；黑色虛線圓圈為深底山及滾水山；箭頭為速度場數值與方向。

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本年度之工作執行成果，本計畫提出以下幾項結論：

#### 1. 小琉球島為活動泥貫入體並具有顯著的差異侵蝕

一貫穿島嶼中線的活動斷層，且島上除活動斷層外，小琉球島本身的形成可能與臺灣西南部重要之特殊地質構造—泥貫入體有關（陳松春等，2014；2016；2017a；2017b），琉球嶼的泥岩很有可能是泥貫入體頂部的地層，為一出露海平面的泥貫入體構造（Chi, 1981; Sun and Liu, 1993; Lacombe et al., 2004），且其抬升量為臺灣西南部海域中最大的一個，綜合小琉球島之岩體特性，其顯著的差異侵蝕會影響島上基本控制點之穩定性。

#### 2. 小琉球島上之基本控制點多位於地質不穩定之區域

根據本研究以滾水山及漂底山區域過往所蒐集的長期資料，與本研究觀測成果所獲得之地表速度場比對分析，發現本計畫短期觀測成果分析獲得之地表三維速度場並不可靠，故本計畫之分析僅能以歷史資料與野外調查成果進行分析。分析結果指出，小琉球島整體處於抬升狀態，但 LC02 卻有顯著之下陷活動，可能為邊坡滑動所造成，而在島上多處點位如 LC03、LC04 及 LC07 發現小琉球島之基本控制點有受東北西南走向之主要斷層活動影響而有擠壓抬升影響之外，於 LC03 及 LC07 也觀察到可能為泥貫入體上更小分支之泥貫入筒所造成的小規模抬升。不論是歷史文獻、資料成果或是現地野外調查結果皆顯示小琉球島上之基本控制點多數位於地質不穩定之區域。

#### 3. 滾水山與漂底山地區具有潛移斷層及泥貫入體的活動，且影響到基本控制點之穩定性

就滾水山與漂底山地區，文獻資料指出此區除了常見的泥火山之外，潛移斷層及泥貫入體的活動在大地測量觀測資料中也顯著可見，如車瓜林斷層等潛移斷層的錯動量，以及泥貫入體極為快速的抬升，皆導致此區域處於持續活動的狀態。地表速度場部分，如前所述，雖然基於本研究觀測成果分析獲得之地

表三維速度場之穩定性與可靠度不佳，但透過此區域過往長期之地表速度場與今年度所進行之現地野外調查結果進行比對及分析，仍可發現車瓜林斷層的潛移活動在橋頭科學園區、P013 及 P014 鄰近區域造成顯著的變形與破壞，SZ47 控制點附近也有觀察並記錄到顯著地形落差與持續性的損壞。而 SY11 同樣有許多結構物破壞，且地形起伏也較大，顯示該基本控制點之穩定性可能受地質條件影響很大。部分點位目前雖然現地狀況仍算穩定，但依據地表速度場分布情形，難以確保其穩定性，仍有持續觀察之必要。

## 5.2 建議

綜上所述，本計畫發現許多基本控制點位之埋設，雖坐落於相對穩定的地區，但其與邊坡滑動、潛移斷層，或是包含背斜、泥貫入體、泥貫入筒與泥火山等所構成之泥體構造位置十分接近，仍會受到構造活動的影響，不利於坐標基準之使用。因此本研究有以下幾點建議：

### 1. 持續進行基本控制點監測，以利後續建立其地表變形模型

由於本研究資料累積時間不足，目前僅能依據過往之長期資料進行分析，為了確認各基本控制點是否受到如邊坡滑動或是地層下陷的地質作用影響，建議應持續蒐集該區域點位之運動型態，以利後續建立其地表變形模型，並於日後彙整納入半動態基準的時變地表變形模式，提升坐標基準正確性。

### 2. 捨棄已受人為或未知因素影響之基本控制點維護與檢測作業

針對其他人為或未知因素之影響，如易頻繁遭車輛輾壓或人為毀損的點位，建議捨棄這些基本控制點之維護與檢測，以免破壞坐標基準的正確性。

### 3. 未來設置新的基本控制點時，應透過既有之測量成果與現地野外調查資料，事先釐清地質環境

本研究建議相關單位在新設置基本控制點時，應透過既有之測量成果與現地野外調查資料，事先釐清預計設置點位之地質環境，並且在點位預定設置地點周圍 100-200 公尺區域勘查，避免控制點設置於點位不穩定、邊坡滑動或是

其他人為因素影響的地區。另一方面，若能在設點前比對既有之地表變形速率圖，也能事先避開不穩定之點位位置。

## 參考文獻

- 中央地質調查所，2018。斷層活動性觀測研究第四階段-地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估期末報告書。
- 中央地質調查所，2021。重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估期末報告書。
- 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，2022。<https://www.nlsc.gov.tw/cp.aspx?n=1482>。最後瀏覽時間：2023.01.06。
- 李柏逸、景國恩、張午龍、蕭詩涵、石晶瑩、魯曜銓、饒瑞鈞、陳國華，2021。臺灣地區2006至2019年地表同震位移場目錄之建置，臺灣地殼變形論文集，第68-83頁。
- 屏東縣政府琉球鄉公所，2023。<https://www.pthg.gov.tw/liuchiu/cp.aspx?n=EE81F58B7E438AAE&s=FBD7C17EB0FEE7F2>。最後瀏覽時間：2023.07.21。
- 許榮欣、高書屏，1996。臺灣地區一等水準網測量殘留之系統誤差之研究。行政院國家科學委員專題研究計畫成果報告，共82頁。
- 曾威豪，2006。台灣西南海域海底泥火山之分布特徵與噴發機制，國立臺灣大學海洋研究所碩士論文，共62頁。
- 景國恩、李恩瑞，2021。探討臺灣西南部因泥貫入體與活動構造交互作用造成之地表快速變形特性及其對地震潛勢評估之影響(3)。行政院科技部補助專題研究計畫成果報告，共32頁。
- 景國恩、陳鶴欽、陳松春、張午龍，2019。以小琉球為例探討增積楔中泥貫入體發育之地表變形型態，2019臺灣地球科學聯合學術研討會，2019年5月14日-2019年5月17日。
- 景國恩、陳松春、張午龍、盧志恒、羅祐宗、饒瑞鈞、郭昱廷、蕭詩涵、蔡佩京、陳建良，2023。泥岩作用對南科橋頭與楠梓園區之地表變形研究，中華民國地質學會與中華民國地球物理學會112年年會暨學術研討會，2023年5月17日-2023年5月18日。
- 景國恩、饒瑞鈞、李建成、胡植慶、侯進雄，2008。由1995-2005年之GPS觀測資料探討台灣西南部之地殼變形，經濟部中央地質調查所特刊，第二十八號，第17-31頁。
- 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，第83-109頁。
- 陳松春，2013。臺灣西南海域上部高屏斜坡泥貫入體及泥火山之分布及相關海床特徵。國立中央大學地球物理研究所博士論文，共116頁。
- 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，第 30-49 頁。
- 陳松春、許樹坤、蔡慶輝、王詠絢、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，第 7-22 頁。
- 陳松春、許樹坤、蔡慶輝、王詠絢、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，第 33-46 頁。
- 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，第 1-32 頁。
- 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。
- 蔣正興、俞何興，1997。臺灣西南海域琉球嶼海底泥貫入體之形狀、構造與層序地層。第四屆地層研討會-臺灣西南部地區地質研討會大會手冊及論文摘要，第 42-46 頁。
- 劉啟清 (1986) 水準測量的系統誤差，第五屆測量學術及應用研討會論文集。國科會工程研究中心及成功大學，F1-F25。
- Chi, W.R. (1981), Calcareous nannoplankton from the sediments of the Liuchiuhsu, southwestern Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, 24, 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., Lee, J.-C., Hu, J.-C. (2007), Contemporary deformation of tectonic escape in SW Taiwan from GPS observations, 1995-2005. *Earth and Planetary Science Letters*, 262, 601-619.
- Ching, K.-E., K. M. Johnson, R.-J. Rau, R. Y. Chuang, L.-C. Kuo, P.-L. Leu (2011), Inferred fault geometry and slip distribution of the 2010 Jiashian, Taiwan, earthquake is consistent with a thick-skinned deformation model, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 301, 78-86.
- Grant, D. B., G. H. Blick, M. B. Pearse, R. J. Beavan, P. J. Morgan (1999), The development and implementation of New Zealand Geodetic Datum 2000, IUGG99 General Assembly, Birmingham UK, 18-30.
- Geng, J., X. Chen, Y. Pan, S. Mao, C. Li, J. Zhou, & K. Zhang (2019), PRIDE PPP-AR: An open-source software for GPS PPP ambiguity resolution. *GPS Solutions*, 23(4), 91.
- Hsiao, S.-H., K.-E. Ching, K.-H. Chen, C.-K. Li (2021), Timing of coseismic displacement grid model construction for updating the semi-kinematic reference frame: Case study in Taiwan, *J. Geodesy*, 95, 25, <https://doi.org/10.1007/s00190-021-01477-w>.

- Hsu, Y.-J., S.-B. Yu, L.-C. Kuo, Y.-C. Tsai, H.-Y. Chen (2011), Coseismic deformation of the 2010 Jiashian, Taiwan earthquake and implications for fault activities in southwestern Taiwan, *Tectonophysics*, 502, 328-335.
- Lacombe, O., F. Mouthereau, J. Angelier, B. Deffontaines (2001), Structural, geodetic and seismological evidence for tectonic escape in SW Taiwan, *Tectonophysics*, 333, 323-345.
- Lacombe, O., Angelier, J., Mouthereau, F., Chu, H.-T., Deffontaines, B., Lee, J.-C., Rocher, M., Chen, R.-F., Siame, L. (2004), The Liuchiu Hsu Island offshore SW Taiwan: tectonic versus diapiric anticline development and comparisons with onshore structures. *Comptes Rendus Geoscience*, 336, 815-825.
- Lee, J.-C., J. Angelier, H.-T. Chu, J.-C. Hu, F.-S. Jeng, R.-J. Rau (2003), Active fault creep variations at Chihshang, Taiwan, revealed by creep meter monitoring, 1998-2001, *J. Geophys. Res.*, 108, 2528, doi:10.1029/2003JB002394.
- 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), 1543-1555. <https://doi.org/10.1007/s00190-019-01267-5>.
- McCaffrey, R. (2002), Crustal block rotations and plate coupling, in *Plate Boundary Zones*, *Geodyn. Ser.*, vol. 30, edited by S. Stein and J. Freymueller, pp. 101-122, AGU, Washington, D. C
- Nikolaidis, R. (2002), Observation of geodetic and seismic deformation with the Global Positioning System, thesis, Univ. of Calif., San Diego.
- Okada, Y. (1985), Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(4), 1135-1154.
- Pearson, C., R. McCaffrey, J. Elliott, and R. Snay (2010), HTDP 3.0: Software for Coping with the Coordinate Changes Associated with Crustal Motion, *J. Surv. Eng.*, 136, 80-90.
- Sun, S. C. (1964), Photogeologic study of the Tainan-Kaohsiung coastal plain area, Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 3, 39-51.
- Sun, S.C., C.S. Liu (1993), Mud diapir and submarine channel deposits in offshore Kaosiung-Hengchun, southwest Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 28, 1-14.
- Tsuji, H., Matsuzaka, S. (2004), Realization of Horizontal Geodetic Coordinates 2000, *Bulletin of the Geographical Survey Institute*, 51, 11-30.

## 附錄

### 一、基本控制點基線解算成果

根據本研究計畫透過 Bernese 基線解算軟體，以 ITRF2014 坐標框架為基準，並採用 IGS 提供的精密星曆，進行坐標求解，本階段所有解算成果如下，其中， $\sigma_E$ 、 $\sigma_N$ 、 $\sigma_h$  分別為 E、N、h 之標準差：

#### 1. 小琉球解島算成果

編號	測站	2023 年 3 月						2023 年 9 月					
		E (m)	N (m)	h (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)	E (m)	N (m)	h (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)
1	LC01	186327.634	2472963.640	25.609	0.014	0.005	0.022	186327.204	2472963.710	25.324	0.006	0.002	0.008
2	LC02	185804.142	2472969.932	44.667	0.002	0.001	0.004	185804.070	2472969.977	44.815	0.002	0.001	0.005
3	LC03	185100.400	2472079.269	58.469	0.002	0.001	0.004	185100.330	2472079.252	58.414	0.002	0.001	0.004
4	LC04	185144.581	2471432.033	70.787	0.001	0.001	0.002	185144.538	2471432.026	70.802	0.000	0.000	0.001
5	LC05	183624.177	2470233.907	56.386	0.002	0.001	0.005	183624.150	2470233.897	56.157	0.002	0.001	0.006
6	LC06	183682.624	2469488.092	33.793	0.001	0.001	0.003	183682.603	2469488.093	33.836	0.001	0.000	0.002
7	LC07	185251.354	2470442.272	25.912	0.001	0.001	0.003	185251.334	2470442.269	25.921	0.001	0.000	0.002
8	LC08	185857.684	2471107.436	31.447	0.001	0.001	0.002	185857.654	2471107.429	31.473	0.000	0.000	0.001
9	LC09	186462.760	2472267.383	50.872	0.001	0.001	0.002	186462.703	2472267.343	50.884	0.000	0.000	0.001
10	S041	186004.309	2471436.132	107.660	0.001	0.001	0.002	186004.278	2471436.131	107.622	0.002	0.001	0.003
11	T025	186215.925	2472891.583	44.531	0.002	0.001	0.005	186215.860	2472891.559	44.637	0.002	0.001	0.004
12	T294	184013.237	2470034.305	67.010	0.001	0.001	0.003	184013.185	2470034.298	66.944	0.001	0.001	0.002
13	T295	185655.210	2470700.270	28.534	0.001	0.001	0.002	185655.177	2470700.269	28.536	0.000	0.000	0.001
14	TG74	186483.912	2472811.598	24.276	0.001	0.001	0.002	186483.878	2472811.589	24.279	0.000	0.000	0.001

## 2. 滾水山及漂底山區域

編號	測站	2022年7月						2022年12月						2023年4月					
		E (m)	N (m)	h (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)	E (m)	N (m)	h (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)	E (m)	N (m)	h (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)
1	EW09	180798.165	2514351.793	65.922	0.076	0.074	0.040	180798.119	2514351.755	65.644	0.061	0.053	0.024	180798.102	2514351.740	65.672	0.060	0.047	0.022
2	EW10	179139.266	2511045.186	192.197	0.103	0.086	0.104	179139.148	2511045.129	191.914	0.089	0.056	0.060	179139.217	2511045.132	191.933	0.109	0.049	0.056
3	P011	178186.483	2519654.717	26.996	0.046	0.045	0.026	178186.436	2519654.694	26.708	0.065	0.057	0.028	178186.435	2519654.686	26.701	0.051	0.039	0.020
4	P012	178737.358	2518648.139	28.932	0.096	0.093	0.053	178737.313	2518648.134	28.628	0.068	0.057	0.030	178737.299	2518648.139	28.636	0.051	0.039	0.020
5	P013	178635.114	2517552.317	27.082	0.069	0.066	0.036	178635.045	2517552.316	26.823	0.082	0.083	0.039	178635.048	2517552.307	26.792	0.050	0.039	0.021
6	P014	179257.842	2516766.125	35.420	0.069	0.068	0.041	179257.770	2516766.119	35.117	0.079	0.067	0.039	179257.762	2516766.093	35.149	0.065	0.047	0.027
7	P171	173400.907	2519467.712	30.965	0.047	0.045	0.024	173400.862	2519467.701	30.649	0.052	0.046	0.021	173400.881	2519467.669	30.709	0.063	0.046	0.024
8	P172	174059.139	2518481.767	30.799	0.047	0.045	0.024	174059.087	2518481.754	30.505	0.052	0.046	0.022	174059.105	2518481.711	30.513	0.059	0.047	0.024
9	P173	176306.643	2513430.672	24.346	0.055	0.056	0.044	176306.604	2513430.627	24.031	0.081	0.072	0.043	176306.613	2513430.610	24.081	0.062	0.047	0.027
10	P174	176855.200	2513017.858	25.182	0.072	0.060	0.059	176855.103	2513017.827	24.790	0.086	0.055	0.044	176855.033	2513017.850	24.611	0.106	0.050	0.049
11	S555	177411.114	2517738.291	26.335	0.087	0.093	0.049	177411.069	2517738.274	26.023	0.081	0.083	0.039	177411.052	2517738.270	26.037	0.049	0.039	0.019
12	S958	177354.128	2510321.108	37.246	0.057	0.056	0.039	177354.091	2510321.065	36.979	0.079	0.072	0.043	177354.072	2510321.054	37.028	0.064	0.048	0.031
13	SW11	177959.531	2520529.427	28.102	0.073	0.066	0.057	177959.494	2520529.367	27.773	0.048	0.040	0.028	177959.466	2520529.373	27.748	0.067	0.040	0.031
14	SW15	173425.999	2514483.776	23.799	0.091	0.080	0.091	173425.999	2514483.781	23.316	0.119	0.071	0.077	173425.890	2514483.731	23.287	0.139	0.055	0.055
15	SX77	173161.032	2520336.921	25.944	0.047	0.045	0.025	173160.999	2520336.914	25.665	0.051	0.046	0.020	173161.008	2520336.878	25.646	0.065	0.046	0.026
16	SX79	176687.671	2520636.727	26.599	0.081	0.088	0.056	176687.639	2520636.709	26.291	0.072	0.060	0.038	176687.624	2520636.700	26.266	0.057	0.039	0.031
17	SX80	178812.744	2520690.159	30.207	0.084	0.093	0.056	178812.692	2520690.151	29.881	0.064	0.056	0.031	178812.672	2520690.140	29.896	0.052	0.039	0.024
18	SX90	176854.799	2518542.582	25.935	0.081	0.088	0.051	176854.753	2518542.561	25.644	0.069	0.061	0.033	176854.741	2518542.556	25.693	0.050	0.039	0.021
19	SX93	182956.003	2518921.225	43.241	0.049	0.047	0.026	182955.896	2518921.230	42.930	0.048	0.041	0.019	182955.912	2518921.202	42.953	0.061	0.047	0.023
20	SX98	172277.578	2517167.135	38.135	0.046	0.045	0.024	172277.545	2517167.130	37.845	0.051	0.046	0.020	172277.560	2517167.093	37.859	0.059	0.046	0.023
21	SY06	184149.792	2517028.352	48.104	0.074	0.069	0.054	184149.713	2517028.325	47.792	0.079	0.067	0.041	184149.708	2517028.313	47.824	0.067	0.047	0.031
22	SY11	172835.353	2514957.185	27.212	0.078	0.073	0.051	172835.348	2514957.166	27.042	0.084	0.067	0.044	172835.297	2514957.138	27.103	0.064	0.047	0.030
23	SZ47	178366.930	2515678.688	36.738	0.104	0.103	0.075	178366.856	2515678.679	36.419	0.090	0.070	0.041	178366.813	2515678.675	36.410	0.080	0.047	0.031
24	SZ74	176239.082	2513493.402	26.300	0.069	0.060	0.055	176238.975	2513493.386	26.026	0.053	0.047	0.026	176239.026	2513493.346	25.988	0.061	0.048	0.025

## 二、基本控制點精密單點定位坐標解算成果

基本控制點解算部分，本研究同時採用 Pride PPP-AR 進行解算，原始解算成果為卡氏坐標，本團隊在此同時進行坐標轉換，將其轉換為 TWD97[2020]之坐標成果，目前各測站之初步解算成果如下。其中，LC04 於 9 月 7 日當天觀測以及 S041 之 9 月所有觀測，其資料品質皆不佳，故無法進行解算：

### 1. 小琉球島

編號	測站	2023 年 3 月						2023 年 9 月					
		E (m)	N (m)	h (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)	E (m)	N (m)	h (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)
1	LC01	186327.399	2472963.658	25.381	0.032	0.011	0.066	186327.370	2472963.662	25.409	0.010	0.011	0.041
2	LC02	185804.267	2472969.876	44.687	0.002	0.002	0.007	185804.261	2472969.880	44.740	0.009	0.006	0.016
3	LC03	185100.526	2472079.231	58.522	0.003	0.003	0.018	185100.387	2472079.188	58.405	0.032	0.009	0.055
4	LC04	185144.676	2471431.991	70.818	0.001	0.001	0.004	185144.665	2471431.975	70.796	0.001	0.001	0.004
5	LC05	183624.245	2470233.878	56.355	0.002	0.001	0.008	183624.283	2470233.833	56.190	0.003	0.002	0.013
6	LC06	183682.731	2469488.049	33.806	0.001	0.001	0.003	183682.711	2469488.045	33.835	0.001	0.001	0.005
7	LC07	185251.458	2470442.234	25.919	0.001	0.001	0.004	185251.441	2470442.219	25.922	0.001	0.001	0.008
8	LC08	185857.789	2471107.388	31.475	0.001	0.001	0.003	185857.781	2471107.375	31.455	0.001	0.001	0.003
9	LC09	186462.867	2472267.338	50.880	0.000	0.000	0.002	186462.828	2472267.290	50.890	0.001	0.001	0.003
10	S041	186004.409	2471436.092	107.658	0.001	0.001	0.005	-	-	-	-	-	-
11	T025	186216.007	2472891.534	44.585	0.001	0.001	0.009	186215.984	2472891.534	44.537	0.002	0.002	0.013
12	T294	184013.337	2470034.266	67.004	0.001	0.001	0.002	184013.315	2470034.260	66.975	0.001	0.001	0.005
13	T295	185655.303	2470700.233	28.539	0.000	0.000	0.001	185655.291	2470700.211	28.530	0.000	0.000	0.002
14	TG74	186484.017	2472811.552	24.281	0.000	0.000	0.001	186484.004	2472811.538	24.285	0.001	0.001	0.003

## 2. 滾水山及潔底山區域

編號	測站	2022年7月						2022年12月						2023年4月					
		E (m)	N (m)	h (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)	E (m)	N (m)	h (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)	E (m)	N (m)	h (m)	$\sigma_E$ (m)	$\sigma_N$ (m)	$\sigma_h$ (m)
1	EW09	180798.144	2514351.810	65.856	0.001	0.001	0.004	180798.092	2514351.781	65.579	0.001	0.000	0.002	180798.078	2514351.757	65.597	0.000	0.000	0.002
2	EW10	179139.226	2511045.197	192.097	0.008	0.006	0.033	179139.177	2511045.151	191.850	0.004	0.003	0.015	179139.182	2511045.138	191.873	0.004	0.002	0.014
3	P011	178186.477	2519654.719	26.939	0.000	0.001	0.003	178186.435	2519654.699	26.635	0.001	0.001	0.002	178186.417	2519654.692	26.618	0.000	0.000	0.002
4	P012	178737.336	2518648.161	28.861	0.001	0.001	0.008	178737.302	2518648.138	28.554	0.001	0.001	0.003	178737.278	2518648.142	28.559	0.001	0.000	0.002
5	P013	178635.080	2517552.344	27.025	0.001	0.001	0.004	178635.043	2517552.326	26.741	0.001	0.001	0.004	178635.035	2517552.311	26.706	0.001	0.000	0.002
6	P014	179257.806	2516766.151	35.358	0.001	0.001	0.007	179257.761	2516766.129	35.063	0.001	0.001	0.004	179257.741	2516766.109	35.055	0.001	0.001	0.003
7	P171	173400.881	2519467.723	30.878	0.000	0.001	0.002	173400.857	2519467.703	30.566	0.001	0.001	0.002	173400.845	2519467.697	30.628	0.001	0.001	0.005
8	P172	174059.111	2518481.781	30.721	0.001	0.001	0.003	174059.086	2518481.758	30.423	0.001	0.000	0.002	174059.073	2518481.744	30.457	0.001	0.000	0.002
9	P173	176306.632	2513430.683	24.298	0.002	0.002	0.007	176306.598	2513430.646	23.961	0.001	0.001	0.006	176306.579	2513430.637	24.000	0.001	0.001	0.004
10	P174	176855.164	2513017.889	25.014	0.003	0.002	0.015	176855.081	2513017.858	24.708	0.002	0.002	0.007	176855.112	2513017.852	24.592	0.002	0.002	0.009
11	S555	177411.094	2517738.304	26.257	0.001	0.001	0.004	177411.062	2517738.284	25.937	0.001	0.001	0.003	177411.042	2517738.273	25.961	0.000	0.000	0.001
12	S958	177354.117	2510321.113	37.193	0.001	0.001	0.005	177354.078	2510321.083	36.914	0.001	0.001	0.004	177354.054	2510321.063	36.943	0.001	0.001	0.003
13	SW11	177959.487	2520529.425	28.032	0.003	0.003	0.015	177959.457	2520529.382	27.705	0.001	0.001	0.006	177959.448	2520529.385	27.702	0.002	0.001	0.007
14	SW15	173425.988	2514483.792	23.661	0.006	0.005	0.031	173426.019	2514483.787	23.181	0.005	0.004	0.023	173426.112	2514483.746	23.268	0.003	0.002	0.011
15	SX77	173161.011	2520336.936	25.872	0.001	0.001	0.003	173160.994	2520336.917	25.583	0.001	0.000	0.002	173160.970	2520336.907	25.591	0.000	0.000	0.002
16	SX79	176687.650	2520636.740	26.559	0.002	0.002	0.009	176687.633	2520636.713	26.221	0.001	0.001	0.004	176687.620	2520636.700	26.207	0.001	0.001	0.004
17	SX80	178812.719	2520690.179	30.137	0.001	0.002	0.008	178812.686	2520690.156	29.804	0.001	0.001	0.003	178812.668	2520690.142	29.798	0.001	0.001	0.003
18	SX90	176854.778	2518542.591	25.887	0.001	0.001	0.006	176854.745	2518542.567	25.571	0.001	0.001	0.003	176854.734	2518542.557	25.609	0.001	0.000	0.002
19	SX93	182955.975	2518921.253	43.159	0.001	0.001	0.003	182955.899	2518921.233	42.849	0.042	0.034	0.170	182955.884	2518921.215	42.888	0.000	0.000	0.002
20	SX98	172277.552	2517167.148	38.063	0.001	0.001	0.003	172277.541	2517167.131	37.771	0.001	0.000	0.002	172277.519	2517167.122	37.798	0.000	0.000	0.002
21	SY06	184149.757	2517028.379	48.078	0.002	0.002	0.011	184149.702	2517028.335	47.751	0.002	0.001	0.007	184149.688	2517028.329	47.752	0.001	0.001	0.005
22	SY11	172835.322	2514957.202	27.103	0.002	0.002	0.010	172835.304	2514957.178	26.960	0.002	0.002	0.008	172835.290	2514957.167	26.986	0.001	0.001	0.005
23	SZ47	178366.913	2515678.716	36.626	0.002	0.002	0.011	178366.859	2515678.694	36.338	0.001	0.001	0.006	178366.841	2515678.684	36.334	0.001	0.001	0.004
24	SZ74	176239.035	2513493.419	26.198	0.001	0.001	0.007	176238.976	2513493.385	25.909	0.001	0.001	0.004	176238.980	2513493.372	25.946	0.001	0.001	0.004

### 三、 高程基本控制點解算成果

本研究取得滾水山及漂底山區域 2022 年 7 月、12 月與 2023 年 4 月，共 3 次精密水準測量成果，對兩條側線分別進行系統誤差改正，並個別以其施測起始點（東側為 1175，西側為 G099）之高程為 0.0000 m，進行相對高程之解算；小琉球島則為 2023 年 3 月與 9 月共 2 次之精密水準觀測，同樣先進行系統誤差改正，不同的是小琉球為一閉合之水準觀測網，故另外進行最小約制平差，而為了與歷史文獻資料進行比對，以 LC06 為約制點（高程為 0.0000 m），獲得高程解算成果如下（單位為公尺）：

#### 1. 小琉球島高程計算成果

編號	測站	2023 年 3 月		2023 年 9 月	
		H (m)	$\sigma_H$ (m)	H (m)	$\sigma_H$ (m)
1	LC01	-8.6778	0.0007	-8.6651	0.0010
2	LC02	10.8178	0.0006	10.8373	0.0009
3	TG74	-9.6149	0.0007	-9.6030	0.0010
4	LC03	24.6541	0.0005	24.6683	0.0007
5	LC04	36.9335	0.0005	36.9470	0.0008
6	LC05	22.5805	0.0003	22.5859	0.0005
7	LC07	-7.9385	0.0005	-7.9277	0.0007
8	LC06	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	LC08	-2.4154	0.0006	-2.4051	0.0008
10	LC09	16.9888	0.0007	17.0011	0.0010

#### 2. 滾水山及漂底山區域東側水準測線

編號	測站	2022 年 7 月		2022 年 12 月		2023 年 4 月	
		H (m)	$\sigma_H$ (m)	H (m)	$\sigma_H$ (m)	H (m)	$\sigma_H$ (m)
1	1175	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	P011	-0.8768	0.0002	-0.8779	0.0001	-0.8761	0.0002
3	P012	0.9704	0.0005	0.9715	0.0001	0.9759	0.0005
4	1176	1.0326	0.0004	1.0349	0.0001	1.0374	0.0004
5	P013	-0.7989	0.0006	-0.7966	0.0001	-0.7908	0.0005
6	P014	6.5290	0.0007	6.5384	0.0002	6.5481	0.0007
7	1177	7.4875	0.0007	7.4977	0.0001	7.5082	0.0006

### 3. 滾水山及漂底山區域西測水準測線

編號	測站	2022年7月		2022年12月		2023年4月	
		H (m)	$\sigma_H$ (m)	H (m)	$\sigma_H$ (m)	H (m)	$\sigma_H$ (m)
1	G099	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	G100	4.6627	0.0010	4.6601	0.0005	4.6624	0.0008
3	P171	7.0430	0.0011	7.0444	0.0005	7.0480	0.0008
4	P172	5.8910	0.0014	5.8893	0.0006	5.8933	0.0011
5	G101	1.1964	0.0016	1.1934	0.0007	1.1981	0.0012
6	G102	6.8654	0.0013	6.8647	0.0006	6.8694	0.0010
7	G103	0.0181	0.0020	0.0138	0.0009	0.0194	0.0015
8	P173	0.3426	0.0022	0.3376	0.0010	0.3425	0.0017
9	G104	0.0928	0.0022	0.0884	0.0010	0.0933	0.0017
10	P174	0.9479	0.0023	0.9429	0.0010	0.9477	0.0017
11	G105	14.8973	0.0024	4.8996	0.0011	14.9045	0.0018

### 四、 GMT 繪圖工具教育訓練辦理情形

本團隊已於 112 年 9 月 28 日，於內政部國土測繪中心第二會議室完成 The Generic Mapping Tools (GMT) 製圖軟體之教育訓練，本團隊除了提供軟體安裝檔案與教材給出席人員與機關，於教育訓練當天亦進行範例教學，整體課程包含軟體簡介與安裝、實例與重要指令說明、基本地圖的繪製、常用圖表繪製以及實際操作與討論。教育訓練當天出席人員皆可依照步驟及教學範例完成測繪領域常用之圖表繪製，部分人員於課程最後已有能力自行嘗試更進階之圖表繪製方式，最後本團隊也提供課程中所使用的軟體、教材、教學網站、範例及相關指令檔，以便出席人員或機關後續可自行使用。詳細課表與當天辦理情形如下：

時間	課程內容
09:00-10:00	GMT 簡介與安裝
10:00-11:00	如何開始 GMT—實例與重要指令說明
11:00-12:00	基本地圖的繪製與操作
12:00-13:30	中場休息
13:30-15:00	常用圖表繪製與操作
15:00-16:30	操作問題討論



## 五、 期中報告審查意見回覆

期中報告審查意見	審查意見回覆
<p>1.本計畫為探討臺灣地區之特殊地質構造在活動時，於地表產生之變形以及其對基本控制點穩定性之影響，在內文研究主題與緣起，舉臺東與宜蘭為例，並直接選本計畫小琉球、滾水山以及潔底山之特殊地質區域，進行基本控制點之地質災害資料彙整與檢測資料分析，這中間欠缺一個連結，建議應將本計畫研究目標與選定的目標區做一連結，說明其選擇目標區的理由與目的。</p>	<p>已在報告 P.4進行說明如下：本研究計畫在臺灣選擇一個包含多數地質問題的小範圍區域（小琉球、滾水山以及潔底山之特殊地質區域）為例，進行基本控制點之現地質災害資料彙整與檢測資料分析，以提供後續建立特殊地質區域中基本控制點建置與維護之參考依據。</p>
<p>2. P8、P9，圖2.1與圖2.2應加註位移場的計算時間，如（2004-2017），另圖2.2應更正為垂直位移場。並請加註圖2.3震測剖面之出處及內文的引用文獻。</p>	<p>已加註並更正圖2.2、圖2.3圖說。並加註震測剖面之出處及內文的引用文獻，請見 P.8及圖2.4。</p>
<p>3. P8，文中指出小琉球島嶼中央東北-西南走向之谷地為該區域的地表位移邊界，建議以線條將這條邊界繪出，更何況 LC06作為相對控制點而言，該點位於邊界的哪一側？應有明確的標示。</p>	<p>已用紅色實線標註地表位移邊界於圖2.2、圖2.3。內文中亦以加註 LC06位於谷地中央，即地表位移邊界上，請見 P.8。</p>
<p>4. 圖2.3，小琉球北端震測剖面，顯示泥貫入體的垂直抬升，建議將此震測剖面的起始位置測線套疊於圖2.1與圖2.2中，俾以瞭解泥貫入體與垂直位移場的相對位置關係與影響。另圖中紅色與黃色點位各代表什麼意義，請補充說明。</p>	<p>由於該剖面位置不在圖2.2、圖2.3範圍中，故已另新增該剖面位置示意圖於圖2.4右圖。並加註圖說。已加註紅色與黃色點位圖例與圖說，請見圖2.2及圖2.3。</p>
<p>5. 在3.1.1節中，描述了各控制點的踏勘結果，說明了點位透空度環境與地質環境的穩定性，然強烈建議加一張點位分布圖（從圖2.1及圖2.2大部分點位亦無法獲知控制點的位置）。</p>	<p>點位分布圖請見圖3.31。已同時加註參考圖號於該段文字中。</p>

<p>6. P44，圖4.1小琉球島水準測線分布圖，應修正為『滾水坪及潔底山水準測線分布圖』，並於圖上標出滾水坪及潔底山的位置，利於判讀。</p>	<p>期末報告已刪除該圖，並於圖3.32及圖3.34中標示滾水山及潔底山的位置。</p>
<p>7. P45，表4.1 &amp; 表4.2顯示東西測垂直位移量，建議將該位移量，以繪圖顯示位移量變化曲線圖，並於圖上標示可能的地質構造位置（包括活動斷層、背斜軸、泥貫入體），方能解讀位移變化與地質構造的相關性。</p>	<p>感謝委員的建議，期末報告中進行了地表速度場與可靠度分析，分析結果指出目前之地表變形監測成果尚不穩定，故進一步之分析僅採用以往之長期資料，請見4.3節。</p>
<p>8. 本研究在於瞭解相關地質構造對控制點的穩定性與維護的必要性，不是說哪些控制點會受地質構造的影響，應該就勘查與測量結果，建議甲方可能的較為穩定的埋設地點，俾能完成本研究的實際目的。</p>	<p>感謝委員建議，期中僅就初步勘查結果進行彙整，後續已完成較完整之勘查與測量成果分析，期末報告中已提供甲方更具體之維護建議，請見5.2節。</p>
<p>9. P3、P10及P42內容滾水坪或是滾水山？</p>	<p>已全數修正為滾水山。</p>
<p>10. P6衛星定位測量可否考慮加入歷史觀測資料計算或整體分析？</p>	<p>後續將蒐集歷史觀測資料，並進行整體分析，相關內容請見4.2及4.3節。</p>
<p>11. P7文獻引用不確實（屏東縣政府琉球鄉公所，2023，無參考文獻）；陳松春等（2014；2016；2017）與參考文獻不同。</p>	<p>已補上參考文獻，請見P.65。</p>
<p>12. 野外地質調查結果不佳的監測點為何也納入量測點位？</p>	<p>本計畫之目的即為結合野外調查、點位的位移或地表變形等方法進行綜合性之分析。因此，野外地質調查結果不佳的監測點仍需進行分析，以便後續確認該點位是否應繼續使用。</p>
<p>13. 研究區域內是否所有點位均會辦理野外踏勘？</p>	<p>本團隊已完成約2/3之點位踏勘，雖期望能於計畫期程內盡量各點位辦理野外踏勘，但於解算與分析工作同惟本計畫重要之工作。於本計畫期程內未能完成之點位，預計於後續延伸之研究工作中繼續完成。</p>
<p>14. 為何小琉球有14點監測點只觀測9點？而滾水山及潔底山共26點只觀測24點（P36-P41）？</p>	<p>小琉球部分表格為解算成果點號誤植，實際觀測14點；滾水山及潔底山點數誤植，總共25點，SX78遺失，觀測24點，已修正。</p>

15. PPP 成果應轉換至 NEh 與 Bernese 成果比較。	此工作已完成，並已於期末報告中呈現，請見附錄二。
16. 建議後續有 Baseline-mode 與 PPP 的比較。	此工作已完成，並已於期末報告呈現，相關內容請見4.1節及表4.1、表4.3。
17. P30表1、表2與表13、表14、表15 成果無法匹配。	已修正部分誤植之數值，解算成果已更新並呈現於附錄二。
18. 表格內容缺少單位。	感謝委員提醒，已加註單位於各表格中。
19. 請增加點位成果說明。	此工作已安排進行中，預計於期末報告呈現。
20. P42成果次序有誤，小琉球出現2次測線 A。	感謝委員提醒，經確認，小琉球測線已更正為一閉合水準網，相關成果請見附錄三。
21. GNSS 及水準測量解算成果請加入解算精度。	此工作已完成，並已於期末報告中呈現，請見4.3節。
22. 僅高程變動分析，無平面成果分析？	平面成果分析已於期末成果報告中呈現，請見第四章。
23. P43、P44、P46文字誤繕。	感謝委員提醒，已全數修正。
24. P47參考文獻與報告內容引用有誤。	已補上參考文獻。
25. 本計畫可參考控制點精度及製圖精度，配合目前觀測成果（或結合歷史觀測成果），提供未來重新解算坐標之頻率。	感謝委員建議，已結合歷史資料進行分析，請見4.2節及4.3節。
26. P27~P29水準及 GNSS 資料解算建議補充解算精度、測量細節、外業規劃及硬體設備等說明。	感謝委員建議，由於外業及設備主要由中心進行，本團隊僅針對資料進行解算，故未針對測量細節、外業規劃及硬體設備等多加描述。
27. 圖2.2標題之「水平」應修正為「垂直」	感謝委員提醒，已修正圖2.3標題。
28. P30表1、表2點號重複，應為誤植致同點號坐標相異，另請說明 SE、SN、Sh 意義。	感謝委員提醒，已修正數值及點號。SE、SN、Sh 為 E、N、h 之標準差，已修正為 $\sigma_E$ 、 $\sigma_N$ 、 $\sigma_h$ 。
29. 圖4.1標題「小琉球」應修正為「滾水山及漂底山」	感謝委員提醒，期末報告已刪除該圖，水準測線分布圖請見圖3.34。
30. 報告內成果數據表格應註明單位。	感謝委員提醒，已加註單位。

31. 建議於期末說明本案成果與過去(2004~2017)之水平及垂直變動速率是否一致。	感謝委員建議，已進行比較與分析，請見期末報告4.2節。
32. 小琉球東側均為地質不穩定區，如何挑選合適之控制點設置地點？	初步建議為，如果地質不穩定是來自斷層活動，將須搭配變形模式進行修正，或是進行時間相關平差。最終具體建議，請見期末報告5.2節。
33. 建議加入「小琉球」、「滾水山及漂底山」之地理位置圖、地形圖及環境地質圖等相關圖資。	已加入相關圖資，請見圖2.1及圖2.5。
34. 圖表標題請置中，另 PPP-AR 部分請補充參考文獻。	已調整圖表標題為置中，並已補上 PPP-AR 之參考文獻。
35. 第四章之資料成果排序請再檢視。	感謝委員建議，已重新調整資料呈現方式，請見表4.1至表4.5。
36. PPP 成果 X、Y、Z 請轉換至 N、E、h。	此工作已完成，並已於期末報告中呈現，請見附錄二。
37. 請確認 Bernese 解算所採坐標框架 (ITRF2014 or ITRF2020)	由於 TWD97[2020]所採用之坐標框架為 ITRF2014，故本團隊在 Bernese 解算時同樣以 ITRF2014坐標框架為基準。
38. 圖3.13標題之點號應修正為 SX90。	感謝委員提醒，已修正，請見圖3.14。
39. P15兩側「花抬」應修正為「花檯」，P16上杉路「路」及 P20沉陷因素「故」為贅字，P21明顯之「又移厝棟」應為「右移錯動」，P28卡「方」坐標應為卡「氏」坐標，P45差「一輛」初步分析應為差「異量」初步分析，P46貫「徹」島嶼應為貫「穿」島嶼，P46受到「造」活動應為受到「構造」活動的影響。	感謝委員提醒，已全數修正，請見 P.17、P.18、P.22、P.24、P.47、P.63、P.64。
40. 解算成果與分析請分區比較不同時期成果差異，單期解算成果另置於附錄，同時期重複觀測點位應予平差或取平均，小琉球水準資料建議進行水準網最小約制平差。	感謝委員建議，已將解算成果改置於附錄。其餘分析工作已於完成並呈現於附錄一、二、三中。

## 六、 期末報告審查意見回覆

期末報告審查意見	審查意見回覆
1. 期末報告初稿中，應在其附錄中期中報告審查意見回覆中說明在期末報告初稿 p?? 已修正或補正。有很多地方均為「預計於期末報告呈現」，應標示在 p??。	感謝委員提醒，已修正，請見附錄五。
2. 期中報告審查意見回覆第5點，圖3.14有誤，應為圖3.31。	感謝委員提醒，已在圖3.31修正。
3. p.4，表1.1加密控制點修正前後之坐標之殘差統計表，只見宜蘭縣和臺東縣，然本計畫選定的兩個工作區，卻未見2018年的成果殘差，為何？請說明，或補上該兩區域的成果說明。	如 P.4內容所示，在檢視測繪中心過往針對大地基準維護之研究成果過程中，發現臺東縣與宜蘭縣的加密控制點成果在經過地表變形模式修正後，不同時段的點位坐標差仍然存在空間上系統性之形態問題，可能和如深層地滑等區域地質活動有關。為了釐清區域地質活動如何影響基本控制點的坐標檢測精度，在考慮區域地質的複雜度，本計畫先選擇臺灣西南部平原區做為研究區域來釐清上述問題，未來將建議針對全島進行同樣的工作。
4. 圖2.1、圖2.2，雖於圖說中，有些並未於圖中以圖例標示，請補正；另於圖2.3小琉球北端震測剖面，請於圖2.2中標示位置。	由於該剖面位置不在圖2.2、圖2.3範圍中，故已另新增該剖面位置示意圖於圖2.4之右圖。
5. 第3章野外地質調查及基本控制點的踏勘，建議應以一張表格簡略呈現點位的外在環境（含透空度、現場龜裂、現地塌陷或隆起）、可能的地質因素、持續觀測或維護必要性、或建議更換地點等。	感謝委員提醒。請見表3.1及表3.2。
6. 控制點的維護與持續觀測與否，雖為本計畫的主要目標，然於相關的地質因素影響，也是位處地質不穩定帶的臺灣該面對的重要議題，針對歷史監測記錄，適時加密觀測時間，並與模型修正的差異值，也是不容忽視的課題。	感謝委員的提點。

<p>7. 圖3.31、圖3.32 GNSS 的點位分布圖，請加上標示相關的地質背景，如活動斷層、背斜軸、向斜軸、泥貫入體、泥火山、地滑區等等。</p>	<p>感謝委員提醒，已標示相關的地質背景於圖3.31及圖3.32，並同時修改水準測線圖，請見圖3.33至圖3.34。</p>
<p>8. 圖4.1、圖4.2，兩圖同樣為2016-2021的長期速度場，然於垂直速度場怎麼會差異如此巨大，與水準測量成果差異巨大，於圖4.2(b)垂直箭頭根本看不到盡頭，請詳加說明並修改垂直比例尺大小。有無釐清 GNSS 的控制點與水準點的參考控制點是否已差異巨大？有無參考地調所2016-2021的長期垂直速度場？地調所2023年的GNSS與水準測量均已完成，可以參考看看。由表4.3 GNSS 點位變動量中看出，除了P174點位從2022/07至2023/04持續下降外，其餘普遍下降巨大的時間，在於2022/07至2022/12之間，其中是否有什麼特殊原因？這是2022年12月就已經知道的結果，距今已一年，為何要後續確認其可能的原因？(p.55)，此外，應與 p.51 的內文相呼應。</p>	<p>本計畫已經針對垂直速度場的箭頭採用不同的比例尺進行成果展示，請見圖4.2b，水準為白色箭頭，GNSS 為藍色箭頭，已改用兩種比例尺呈現。如 P.55 內容所示，GNSS 和水準的速率有共同的參考點，S01R 測站。透過和地調所2016-2021的垂直速度場比對，可以見到兩者的速度值落差相當大，造成此差異的原因和表4.3的差異原因一致，如 P.55 內容所示，皆是由於測量誤差與地殼的週期運動所導致。根據地調所利用 GNSS 移動站與精密水準進行斷層活動監測的經驗，如東部變形速率高的地區，約要4年左右的時間來獲得可靠的數值；如北部變形速率低的區域，則約要8-10年的監測數據來獲得可靠的數值。目前本計畫的資料收集大多不足一年，且於不同季節進行施測，故難以獲得可靠的觀測成果。</p>
<p>9. 圖說應清楚說明，檢查比例尺是否正確，如圖1.1、如1.3。</p>	<p>感謝委員提醒，已新增圖說，請見圖1.1、圖1.3。同時也修正了圖4.2及圖4.5之比例尺。</p>
<p>10. 部分資料位移量變化極大，需多注意並檢查。</p>	<p>感謝委員提醒，已檢查並修正，請見表4.1。</p>
<p>11. 請再檢查計算成果是否正確。</p>	<p>感謝委員提醒，已檢查並修正，請見附錄一。</p>
<p>12. 圖4.1、圖4.2、圖4.5之圖例、比例尺似有問題，請檢查。</p>	<p>感謝委員提醒，已修正。請見圖4.1、圖4.2及圖4.5。</p>
<p>13. 由圖3.4、圖3.8、圖3.10等點位有明顯擋土牆、房屋、堤防傾斜等狀況，而表4.1中 Bernese 基線解位移量較大，請確認位移量較大與現況是否有關。</p>	<p>已重新確認解算成果，請見表4.1。</p>

14. 請將3.1節所有點位調查成果另彙整一表格。	感謝委員建議，已建立成果表，請見表3.1及表3.2。
15. p.23「空之點」請修正。	感謝委員提醒，已修正，請見P.26。
16. 表4.3~表4.5多個點位（特別是水準測線）明顯先負值（2022.07~2022.12）再轉為正值（2022.12~2023.04）原因為何？另表4.3兩時期垂直變動量差異甚大，原因為何？	如 P.55內容所示，造成此差異的原因主要是由於測量誤差與地殼因固體潮或季節性因素所導致的週期運動。根據地調所利用 GNSS 移動站與精密水準進行斷層活動監測的經驗，如東部變形速率高的地區，約要4年左右的時間來獲得可靠的數值；如北部變形速率低的區域，則約要8-10年的監測數據來獲得可靠的數值；此外，若每年能盡量於同一時期施測，可降低季節性因素影響。目前本計畫的資料收集大多不足一年，且於不同季節進行施測，故難以獲得可靠的觀測成果而出現委員見到的變位形態。
17. 教育訓練未來可增加滿意度調查表、意見回饋單等，彙整於附件。	感謝委員建議，未來將考慮增加滿意度調查表或意見回饋單。
18. 本研究分析成果與圖4.1~圖4.6等過去研究成果，變位趨勢是否一致？	如 P.55內容所示，透過比較本計畫分析結果和過去的速度場，可以見到兩者的速度值落差相當大，造成此差異的原因主要是由於測量誤差與地殼的週期運動所導致。目前本計畫的資料收集大多不足一年，故難以獲得可靠的觀測成果。
19. 建議中之第2、3項一般作業時會依現場環境加以考量，是否有不同一般考量因素之建議？	如 P.68-69內容所示，雖然現階段之點位選擇有要求要考量現場環境，但是根據本計畫的點位勘查，確實發現許多點位並非坐落於穩定地質環境，或是並非位於不易被破壞的位置。特別是穩定地質環境，建議要有初步的野外地質訓練，並且需要在點位預定設置地點周圍100-200公尺區域勘查，如此才有機會避免點位之不穩定。另一方面，若能在設點前比對既有之地表變形速率圖，也能事先避開不穩定之點位位置。

<p>20. 部分點位同時具 GNSS 及水準測量成果，建議彙整兩者垂直位移變化進行分析。</p>	<p>感謝委員建議，但本計畫之 GNSS 之觀測並非長期連續觀測，且許多點位透空度不佳，加上 GNSS 受限於衛星分布限制，於垂直向之觀測精度本就較差，故建議可於 GNSS 連續站與水準點共點之測站再進行此項分析，較有意義。</p>
<p>21. Bernese 解算成果不佳倘係受 LC04 及 S041 影響，建議剔除該兩點後重新解算。</p>	<p>感謝委員建議，已重新解算，請見附錄一。</p>
<p>22. 結論表示短期觀測不易分析出可靠速度場，是否有建議的觀測頻率及累積時間長度？</p>	<p>如 P.55 內容所示，根據地調所過去利用 GNSS 移動站與精密水準進行斷層活動監測的經驗，若每年施測一次時，如東部變形速率高的地區，約要4年左右的時間來獲得可靠的數值；如北部變形速率低的區域，則約要8-10年的監測數據來獲得可靠的數值。</p>
<p>23. 小琉球島水準點於2023.03~2023.09 垂直位移量之量級大多在10mm 以上，需要持續探討與分析。</p>	<p>感謝委員建議，如 P.55 內容所示，造成此差異的原因主要是由於測量誤差與地殼的週期運動所導致。根據地調所利用 GNSS 移動站與精密水準進行斷層活動監測的經驗，如東部變形速率高的地區，約要4年左右的時間來獲得可靠的數值；如北部變形速率低的區域，則約要8-10年的監測數據來獲得可靠的數值；此外，若每年能盡量於同一時期施測，可降低季節性因素影響。目前兩次資料僅相隔半年，難以獲得可靠的觀測成果，後續將持續累積資料並進行探討分析。</p>

<p>24. 小琉球島水準點同時具 GNSS 及水準測量成果，可將兩種垂直方向位移量成果相互比對分析其變動趨勢是否一致。</p>	<p>如 P.55 內容所示，然而根據地調所利用 GNSS 移動站與精密水準進行斷層活動監測的經驗，如東部變形速率高的地區，約要4年左右的時間來獲得可靠的數值；如北部變形速率低的區域，則約要8-10年的監測數據來獲得可靠的數值；此外，若每年能盡量於同一時期施測，可降低季節性因素影響。目前本計畫的資料收集大多不足一年，且於不同季節進行施測，故難以獲得可靠的觀測成果，故建議待測量成果穩定後再將 GNSS 及水準測量之變動趨勢進行比對分析，始能獲得可靠而有效之成果。</p>
<p>25. 請將3.1節之點位調查成果彙整為一總表。</p>	<p>已修正。請見表3.1及表3.2。</p>
<p>26. Bernese 解算成果不佳部分，經檢視附錄之點位計算成果，其中誤差過大，請再釐清原因。</p>	<p>感謝委員提醒，已修正，請見表4.1及附錄一。</p>
<p>27. p.7進行基本控制點之「現」地質災害資料彙整與檢測資料分析，贅字？缺漏其他文字？</p>	<p>感謝委員提醒，已修正為「進行基本控制點之地質災害資料彙整與檢測資料分析」，請見 P.7。</p>
<p>28. p.50小琉球2023年9月 Bernese 解算成果可能受 S041及 LC04觀測資料品質不佳影響，造成 Bernese 及 PRIDE-PPP-AR 解算成果之水平位移量差異極大，是否剔除該2點重新解算，以確認 Bernese 是否受該2點觀測品質不佳影響。</p>	<p>感謝委員提醒，已檢查並修正解算成果，請見附錄一。</p>

<p>29. p.53、p.55滾水山及潔底山2022年7月至12月及2022年12月至2023年4月，分別以 Bernese 及 PRIDE-PPP-AR 計算之2時期垂直位移量均出現差異甚大情形，可否分析造成此情形之可能因素？</p>	<p>如 P.55內容所示，造成此差異的原因主要是由於測量誤差與地殼的週期運動所導致。根據地調所利用 GNSS 移動站與精密水準進行斷層活動監測的經驗，如東部變形速率高的地區，約要4年左右的時間來獲得可靠的數值；如北部變形速率低的區域，則約要8-10年的監測數據來獲得可靠的數值；此外，若每年能盡量於同一時期施測，可降低季節性因素影響。目前兩次資料僅相隔半年，難以獲得可靠的觀測成果，後續將持續累積資料並進行探討分析。</p>
<p>30. 圖3.9: TG74應為 T294。</p>	<p>感謝提醒，已修正，請見圖3.9。</p>
<p>31. P14~P21、P23~P25請重新排版，點位說明跟圖放同一頁。</p>	<p>感謝建議，已調整排版，請見 P3.1.1節及3.1.2節。</p>