

斷層活動性觀測研究第五階段(1/5)

經濟部中央地質調查所

一、 目標與效益

(一)目標:

配合「行政院災害防救科技創新服務方案」課題四「精進防災科研技術」，為落實「防災資訊創新應用」、「防災科技產業推廣」及「防災科技社會服務」，發揮「深耕研發、創新應用、實質整合」之防災科研應用成效，提升「災害預警技術」並擴大「環境監測技術與應用」，對活動斷層進行調查及觀測，提供明確資訊，以達預警及防災的目標，並加速進行位於人口密集區附近之活動斷層調查及斷層參數的分析，進而評估斷層活動潛勢，計畫成果可供中央及地方政府進一步加值作為災害潛勢的評估分析與災損分析，作為地震防、減災之基礎資訊。

活動斷層相關資料是國土利用規劃的基礎資料，也是地震危害度評估的重要依據。所以，活動斷層調查部分針對未知或資料仍不足的活動斷層應持續利用地表地質調查、地形判釋、地球物理地電阻法探勘、地球物理震測、地表變形觀測及地質鑽探等方法進行斷層位置精查；若有合適地點則透過地質剖面開挖、探坑挖掘及定年等方法，以獲得斷層長期變動速率。

活動斷層觀測部分，藉由長期連續的地表變形觀測，包括地表變形觀測與分析、斷層活動性觀測整合分析、斷層潛勢分析研究等方式，評估斷層的活動潛勢，製作斷層活動機率圖。

(二)效益

本計畫之成果可提供活動斷層相關具體資料，以評估公共建設的規劃與設計，減少盲目提高防範級數擴大工程建設經費，對產業發展後續發展後續投入防、減災工作之各項投資將有明顯助益，對地震防、減災及重大工程建設均有重大經濟效益，納入活動斷層相關資訊與參數後，使防、減災工作可以提升效能，由此亦可窺見本計畫在經濟效益上的重要性。

臺灣百餘年來已發十數起重大的災害性地震，其中最嚴重的 3 次，便造成約 7,000 人死亡，另外僅 921 集集地震就造成 2,400 人以上的死亡及 100 億美元以上有形財物的損失，而這些估算還不包括重建的經費。基本上，本計畫成果是進行國土規劃不可或缺的資料，其投入之經費遠低於災損及重建。計畫調查與觀測成果，對重大工程建設(如核電廠、水庫、高速鐵路、科學園區等)短、中、長期使用安全評估，都是非常關鍵的資料，可提供重大工程設計施工及國土利用規劃之參考，以避離高敏感或高風險的區域。

二、計畫重點

為能有效執行 110 年度地質科技研究發展計畫，將建立高科技水準的地質調查團隊，提供國土開發、保育及防災地質資訊與專業服務。本年度計畫重點分述如下：

本計畫重點為進行活動斷層調查與觀測，工作重點概述如下

- (一) 活動斷層條帶地質圖精進與繪製:外地質調查、地質剖面開挖、探坑挖掘及定年等方法，針對大茅埔-雙冬斷層北段(烏溪以北)進行活動斷層條帶地質圖精進與繪製。
- (二) 活動斷層地下地質探查:進行梅小崗山斷層、車瓜林斷層、口宵里斷層及玉里斷層地下地質探查工作，以增補劃設地質敏感區所需之現地調查資訊，並且藉由統整地質鑽探、岩心記錄分析，建立鑽井位置之地下剖面、區域地質、地形特徵與梅山斷層的地質特性，繪製口宵里斷層之斷層跡(帶)位置圖，及撰寫口宵里斷層地質敏感區劃設草案。
- (三) 重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估：持續觀測 GPS、水準測量及 PSInSAR 衛星干涉資料進行整合分析，觀測斷層活動相關的地殼變動情形。
- (四) 應用合成孔徑雷達差分干涉技術觀測地表變形：綜合運用地變動觀測資料，建構斷層地下孕震構造，進行斷層活動潛勢評估與境況模擬，製作臺灣地區斷層活動潛勢圖，提供國家地震防、減災規劃之應用。

(五)活動斷層資料彙整與加值應用：觀測資料標準化格式轉換、資料處理、顯示之公用程式，並將相關計畫研究成果公開上網，方便民眾查詢活動斷層相關資訊。在調查方面，本項持續進行活動斷層之調查，累積活動斷層基本資料，適時更新活動斷層分布圖及活動斷層參數表。

三、計畫成果

(一) 活動斷層條帶地質圖精進與繪製

本年度調查的斷層為大茅埔-雙冬斷層北段(烏溪以北)，進行斷層位置精查以及地質圖繪製工作。完成斷層跡追蹤、區域地質調查、地質剖面開挖(清理邊坡)、探坑挖掘採樣以及碳-14定年，並繪製路線地質圖（

圖 1）、二萬五千分之一條帶地質圖（圖 2）以及撰寫條帶地質圖說明書。

大茅埔-雙冬斷層北段於仙洞指坑南岸的露頭可見斷層切過階地礫石層，其斷層上盤為福隆園層砂岩層，下盤為覆蓋於頭崙山層礫岩層之上的階地礫石層（圖 3），本區可藉由此露頭控制斷層位置，其餘地區則利用岩層位態變化以及岩性差異來推估斷層的位置。

臺中市新社區抽藤坑大甲溪西南側 FT2 階地的 HA 及 HC 探坑，碳-14 十四定年顯示此階地最後堆積的年代約為 1,200 年前。因 FT2 河階面已受近期斷層活動造成高程的落差，可推測大茅埔-雙冬斷層於 1,200 年來應有活動過；位於大甲溪東側的石角溪北岸 FT3 階地之 HB 探坑，碳-14 定年顯示該階地最後的堆積年代約為 400 年前，由於 FT3 河階面未受近期斷層活動造成高程落差，表示大茅埔-雙冬斷層未切穿此河階地而可推測大茅埔-雙冬斷層於 400 年來應未活動過。根據上述階地年代與斷層的關係顯示，近期大茅埔-雙冬斷層北段可能於距今 1,200~400 年間有活動過。1999 年集集地震時，大茅埔-雙冬斷層有地表破裂現象，顯示斷層仍有再活動趨勢，為第一類活動斷層。

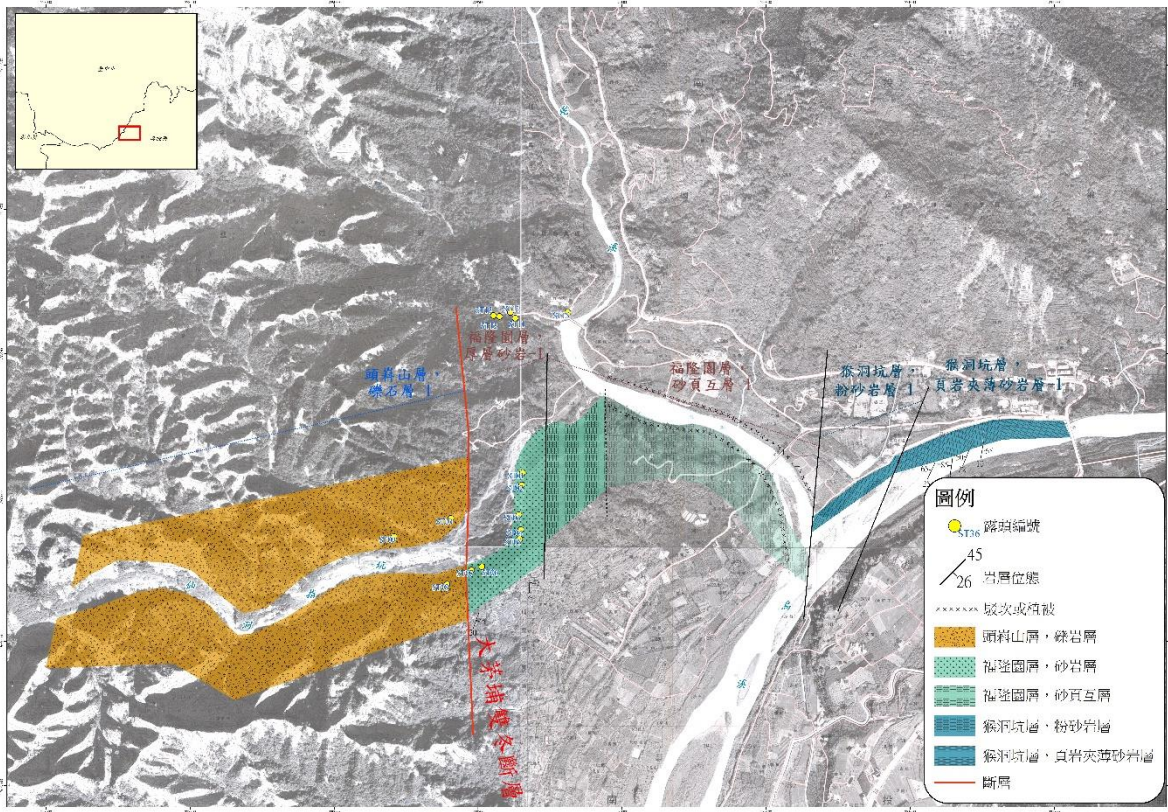
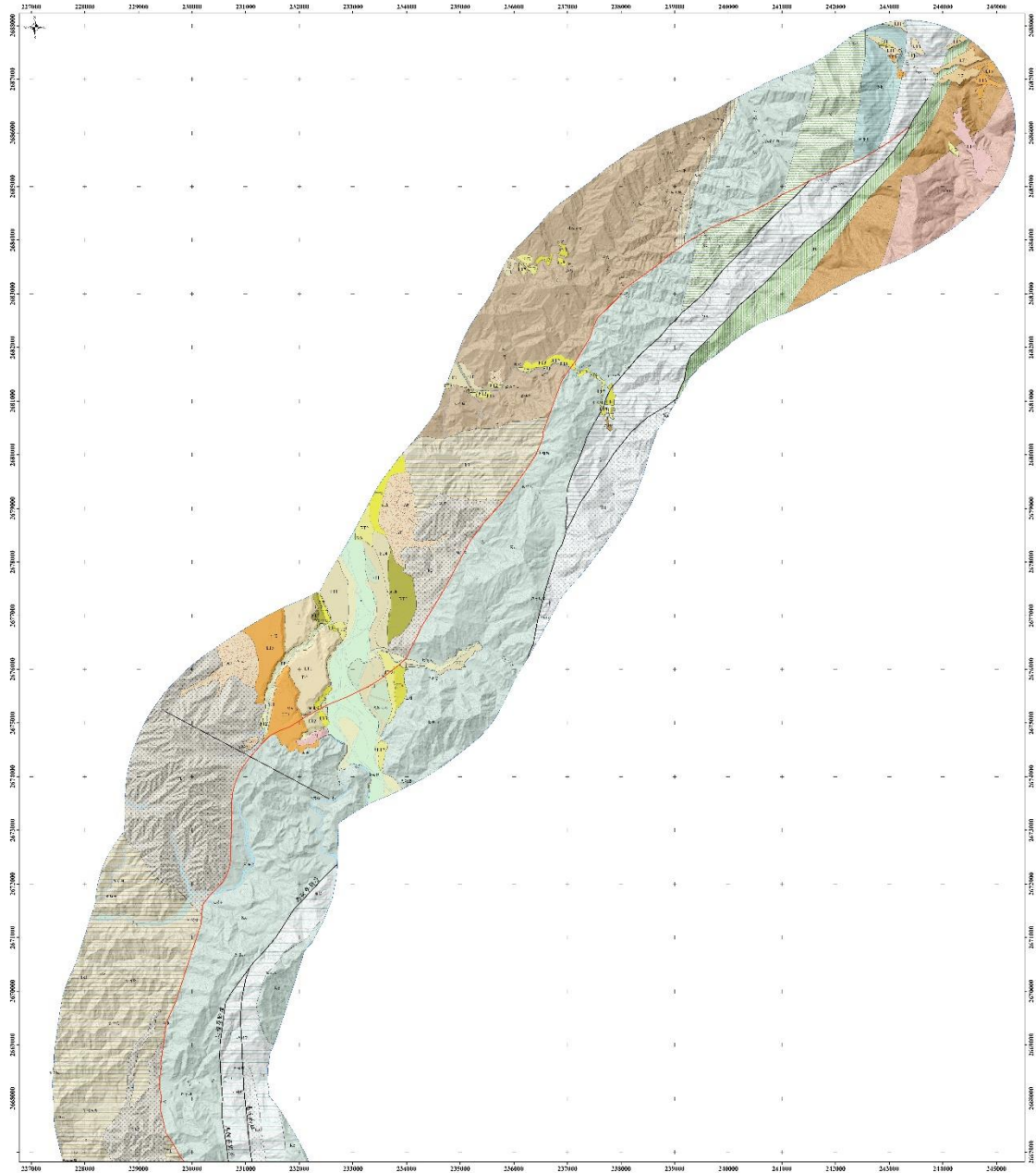
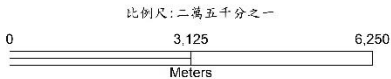


圖 1、仙洞指坑-烏溪路線地質圖。

大茅埔-雙冬斷層條帶地質圖(1/2)



- 圖例**
- 斷層
 - 大茅埔-雙冬斷層 地殼 202112
 - ▲ 崩塌地帶
 - L1 礫石
 - L2 礫石
 - L3 礫石
 - L4 礫石
 - F1 礫石
 - F2 礫石
 - F3 礫石
 - F4 礫石
 - F5 礫石
 - F6 礫石
 - F7 礫石
 - F8 礫石
 - F9 礫石
 - F10 礫石
 - F11 礫石
 - F12 礫石
 - F13 礫石
 - F14 礫石
 - F15 礫石
 - F16 礫石
 - F17 礫石
 - F18 礫石
 - F19 礫石
 - F20 礫石
 - F21 礫石
 - F22 礫石
 - F23 礫石
 - F24 礫石
 - F25 礫石
 - F26 礫石
 - F27 礫石
 - F28 礫石
 - F29 礫石
 - F30 礫石
 - F31 礫石
 - F32 礫石
 - F33 礫石
 - F34 礫石
 - F35 礫石
 - F36 礫石
 - F37 礫石
 - F38 礫石
 - F39 礫石
 - F40 礫石
 - F41 礫石
 - F42 礫石
 - F43 礫石
 - F44 礫石
 - F45 礫石
 - F46 礫石
 - F47 礫石
 - F48 礫石
 - F49 礫石
 - F50 礫石
 - F51 礫石
 - F52 礫石
 - F53 礫石
 - F54 礫石
 - F55 礫石
 - F56 礫石
 - F57 礫石
 - F58 礫石
 - F59 礫石
 - F60 礫石
 - F61 礫石
 - F62 礫石
 - F63 礫石
 - F64 礫石
 - F65 礫石
 - F66 礫石
 - F67 礫石
 - F68 礫石
 - F69 礫石
 - F70 礫石
 - F71 礫石
 - F72 礫石
 - F73 礫石
 - F74 礫石
 - F75 礫石
 - F76 礫石
 - F77 礫石
 - F78 礫石
 - F79 礫石
 - F80 礫石
 - F81 礫石
 - F82 礫石
 - F83 礫石
 - F84 礫石
 - F85 礫石
 - F86 礫石
 - F87 礫石
 - F88 礫石
 - F89 礫石
 - F90 礫石
 - F91 礫石
 - F92 礫石
 - F93 礫石
 - F94 礫石
 - F95 礫石
 - F96 礫石
 - F97 礫石
 - F98 礫石
 - F99 礫石
 - F100 礫石



座標系統:TWD 97座標系統
製圖單位:顏一勤應用地質技師事務所
製圖日期:中華民國110年12月

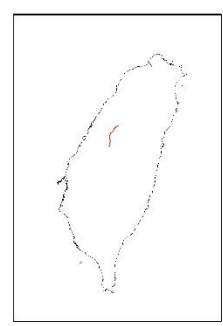
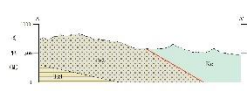


圖 2、大茅埔-雙冬斷層北段(烏溪以北)條帶地質圖



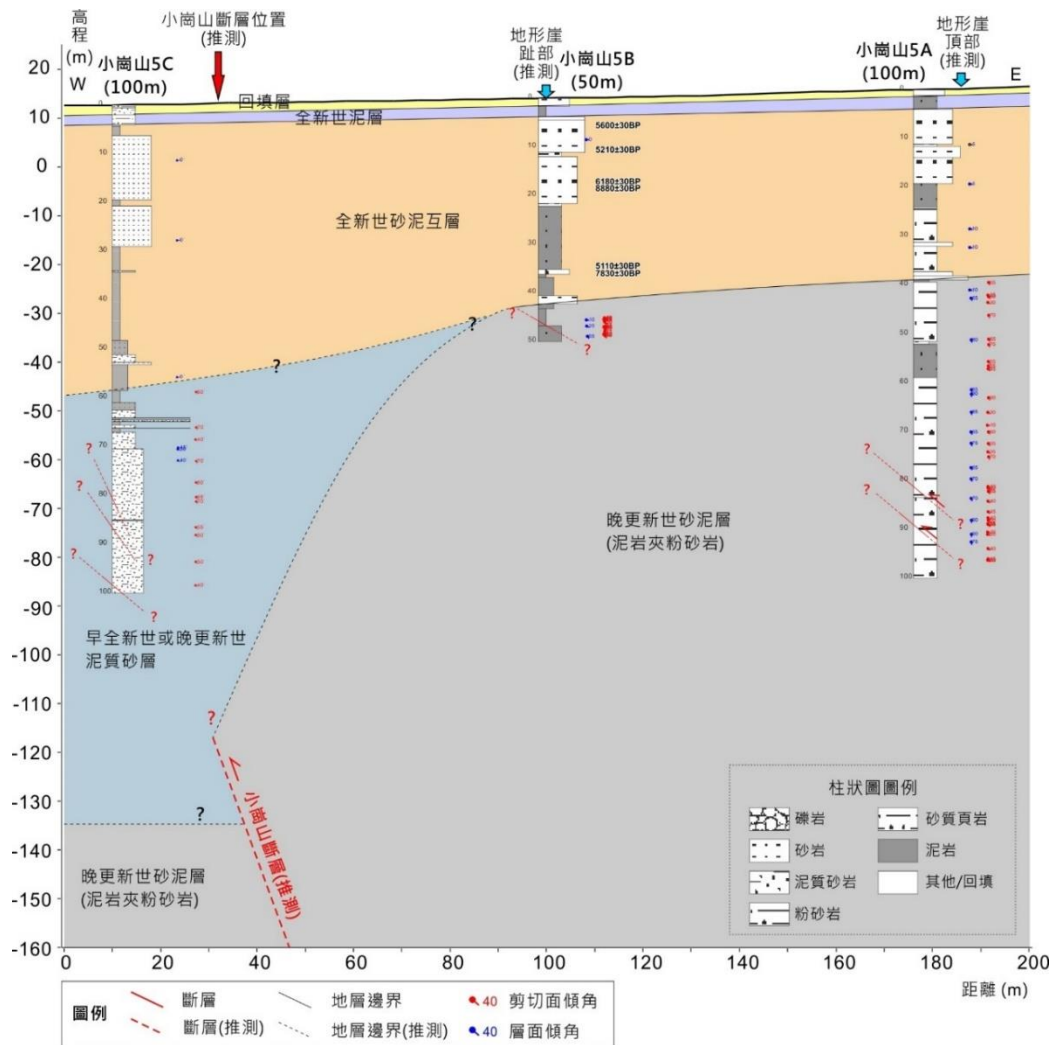
圖 3、仙洞指坑南岸的大茅埔-雙冬斷層斷層露頭。

(二) 活動斷層地下地質探查

本年度調查小崗山斷層、車瓜林斷層、口宵里斷層以及玉里斷層的性質與地下構造形貌，進行了地表地質調查、地質鑽探、岩心記錄分析、地球物理探勘及建立剖面等工作，作為地質敏感區劃定和國土規劃的基礎資料。本年度主要成果包括完成小崗山斷層 4 孔、車瓜林斷層 5 孔、口宵里斷層 6 孔，共計 15 孔地質鑽探工作，總鑽探長度共計 1,300 公尺，繪製 7 處地質構造剖面，1 條玉里斷層 1100 公尺的淺層震測，以及完成「活動斷層地質敏感區（口宵里斷層）劃設草案」。

小崗山斷層於高雄市岡山區田厝附近的鑽探剖面，雖未能鑽遇主斷層面，但岩心已有密集剪切面，大致可推估斷層位置（圖 4）。車瓜林斷層往西南延伸的狀況，於高雄市燕巢區梅園南方的鑽探場址，主要斷層面位於 7A 井與 7C 井間，後續將規劃於燕巢至橋頭地區進行鑽探調查。口宵里斷層 3 處鑽井場址皆鑽穿斷層，可獲得斷層跡良好的控制。上盤岩層常出現褶皺現象並伴生剪切面，下盤岩層則和緩無構造活動。玉里斷層的淺層震測剖面，僅見一小規模的岩層褶曲，推測本測區地下岩層並無明顯被錯動的現

象。



（三）活動斷層帶地表變形大地測量

本所自 91 年執行「地震地質調查及活動斷層資料庫建置」計畫起，迄今已於活動斷層分布地區設置超過 800 多處 GNSS 移動站，以及長度約一千公里跨斷層之精密水準測線，藉由每年進行定期性、重複性的觀測，獲取近斷層區域水平、垂直速度場，推求斷層的短期滑移速率與近斷層區域的應變分布情形。

GNSS 測量區域分為 8 個區域，為降低季節性的變動影響觀測成果，因此排定相同的月份執行，以同測段(session)所有測站同步連續觀測 6 小時以

上為原則；水準測量則是精密的垂直變形結果，可幫助瞭解斷層二側的垂直變位情形，是二維剖面模型建置的重要依據。

地表變形觀測提供斷層鄰近區域水平及垂直速度場、垂直速度場(圖 5)資訊，在加入數值模型反演計算後，可求得斷層面上的滑移率(slip rate)、鎖定率及滑移虧損(slip deficit)，提供活動斷層潛勢評估的重要參數。

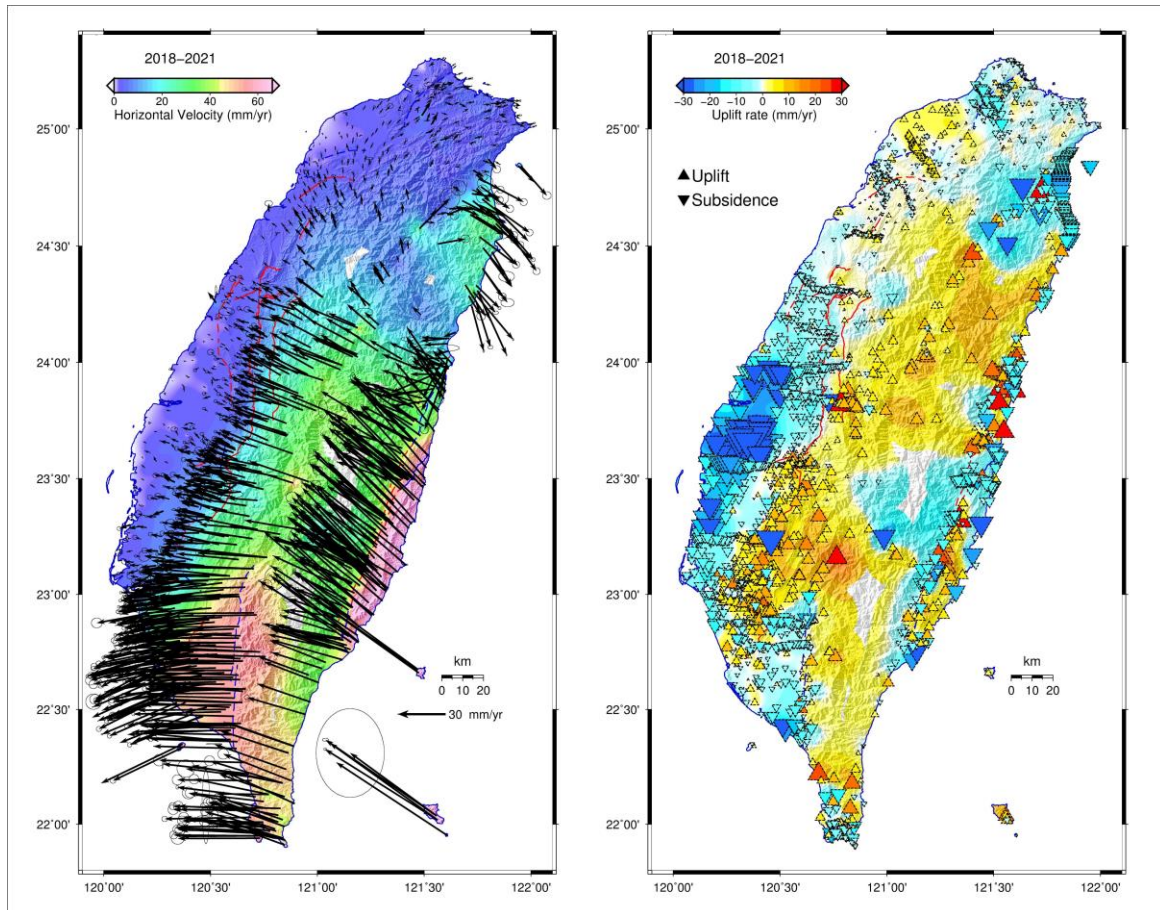


圖 5、GNSS 移動站測量所獲得之水平速度場及垂直速度場，觀測期間：2018-2021。

(四) 重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估

分析全臺大地測量資料(包含 GNSS 連續站、移動站及水準測量)，獲得南部重要區域地表水平與垂直地表速度場，進行地表變形強度分布範圍之劃設，將地表變形以 $1.7 \mu\text{strain/yr}$ 為級距，劃分為 0 至 5 等 6 個等級，根據此分級繪製地表變形強度分布圖，同時透過斷層模型之建立整合測量與地質資料，推估臺灣南部重要區域鄰近斷層之斷層滑移虧損速率，依據基線應變反演模型成果，由經驗式與機率模式推求與繪製斷層活動潛勢圖，經

由地動預估式與三維斷層錯位模型，繪製旗山斷層、車瓜林斷層以及小崗山斷層於重要區域之景況地震動與同震位移分布情形(圖 6)

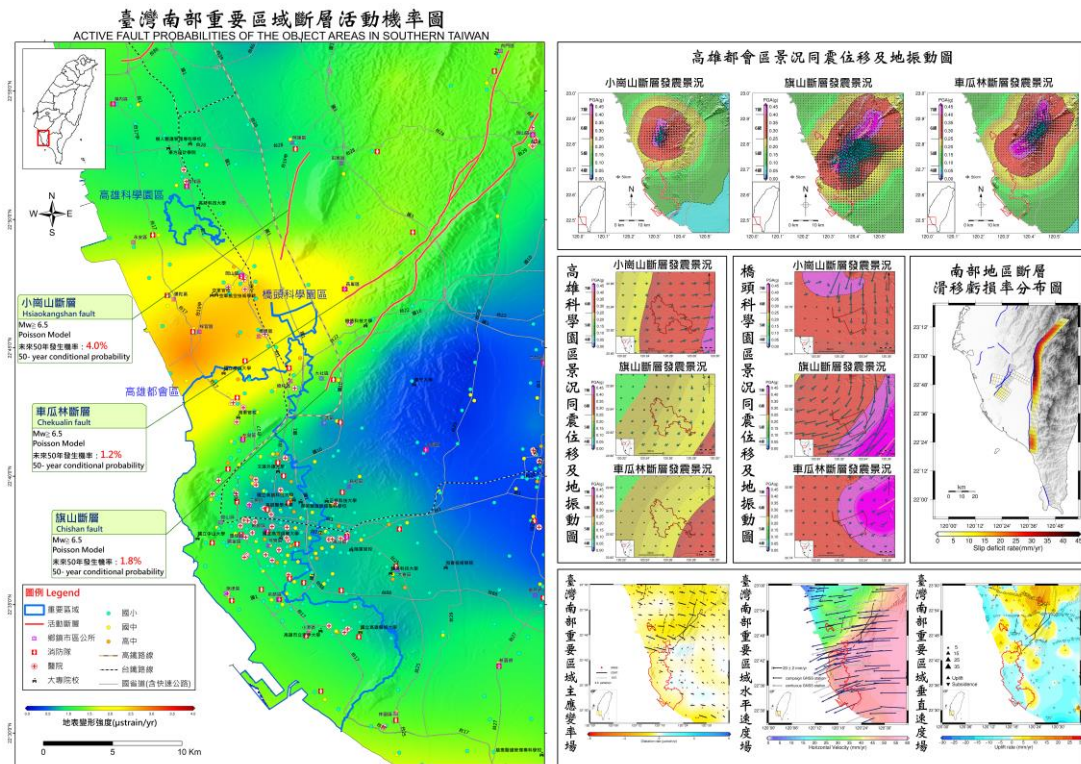


圖 6、南部重要區域斷層活動機率及景況同震位移圖。

(五) 應用合成孔徑雷達差分干涉技術觀測地表變形

運用合成孔徑雷達差分干涉技術，我們採用歐洲太空總署哨兵 (Sentinel) 衛星系列於 2014 年至 2020 年拍攝之衛星影像，升軌共 172 幅、降軌共 144 幅，將其分為三個時間段，針對南部重要區域進行觀測，解析地表大範圍變形結果，並與水準測線及 GNSS 測量資料比對，獲得斷層滑移變化及連續的地表變形情形。綜整 2018-2020 年雷達衛星觀測結果，在跨越車瓜林斷層和旗山斷層呈現每年 10 公釐之視衛星方向速度場(Line of Sight, LOS) 差異，顯示斷層有明顯之活動性，並觀察到車瓜林斷層滑移主要以右移的形式為主 (圖 7)。

PSInSAR 在判釋小崗山斷層範圍與活動性，相關成果也可利用在觀測區域內其他斷層判釋、協助活動斷層地質敏感區劃設工作，與其他測量資料搭配結合，建立時間與空間皆具之高解析度國土地表變形模型，於減災與

防災上做出貢獻。

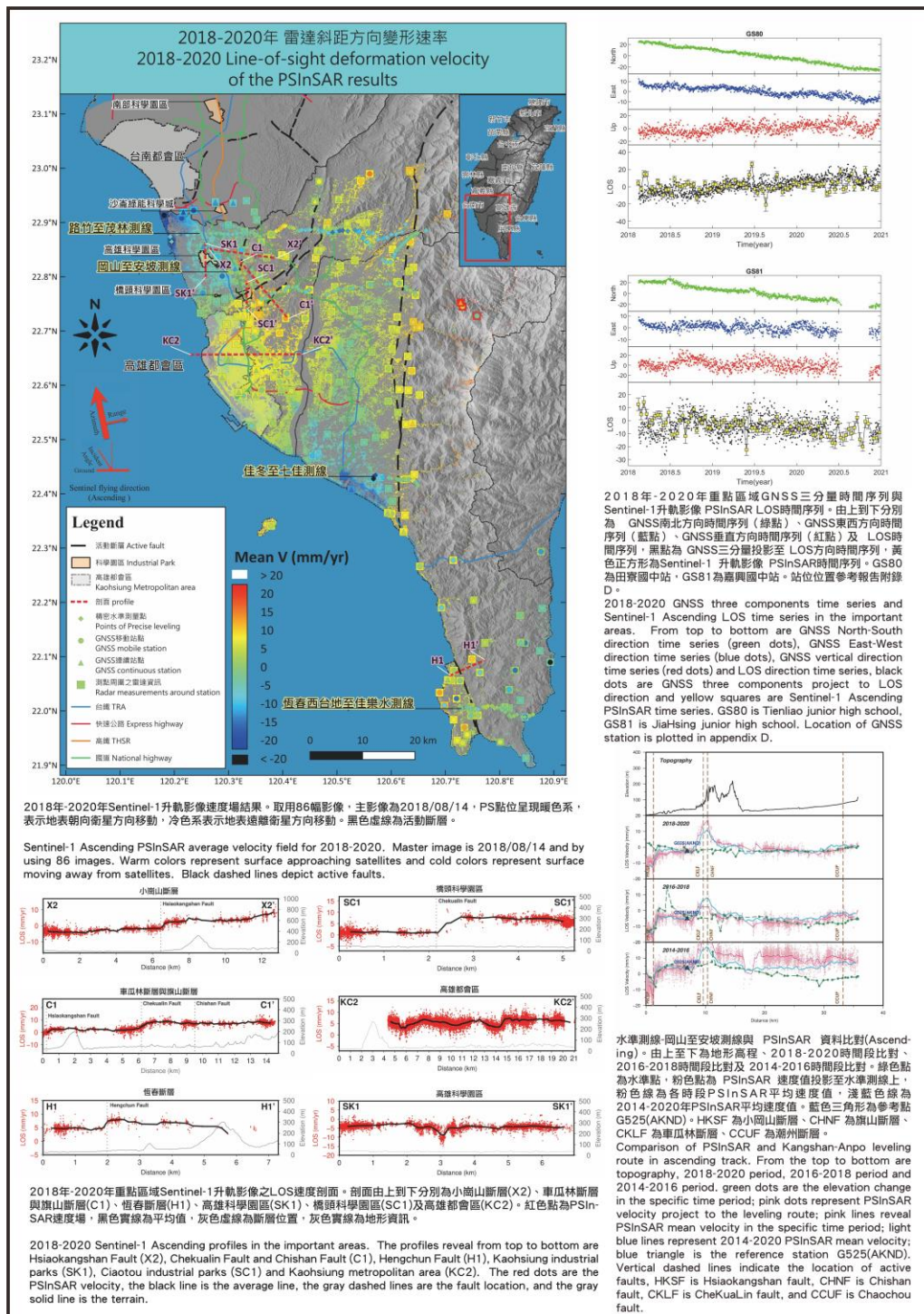


圖 7、部重要區域合成孔徑雷達差分干涉技術觀測地表變形圖。

(六) 活動斷層分布圖

活動斷層是指「更新世晚期(距今約十萬年)以來曾活動過，未來可能再度活動的斷層」，依據活動年代的證據，又分為第一類與第二類，第一類是

指有一萬年內活動年代的證據，第二類是指有十萬年內活動年代的證據。本所將 2016 年以來調查的結果更新至活動斷層分布圖，新增初鄉斷層、口宵里斷層及車瓜林斷層等 3 條斷層，分別位於南投縣、臺南市及高雄市，總計 36 條活動斷層(圖 8)。

初鄉斷層、口宵里斷層及車瓜林斷層等 3 條斷層與其它活動斷層一樣，因為有 10 萬年內活動的證據，且長度大於 5 公里，故列入活動斷層分布圖中。活動斷層隨著調查結果的進展，活動斷層的分類有可能由第二類改為第一類，所以，分類基礎並非等同地震潛勢或危險度高低，換言之，斷層未來活動風險與斷層的分類並無直接相關。活動斷層圖資可供國土計畫、土地開發審查、災害防救、緊急應變、建築物耐震設計等規劃應用參考。

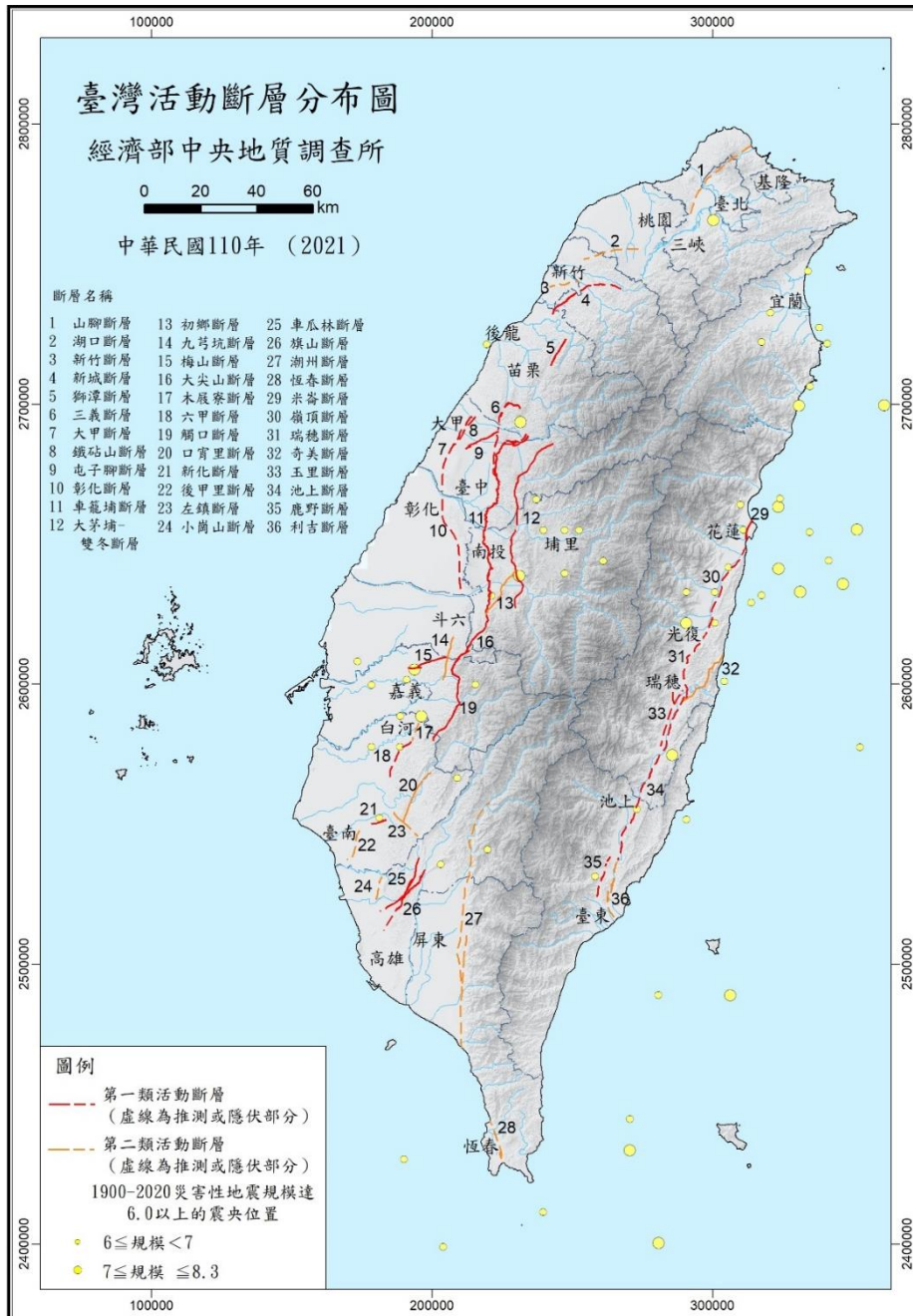


圖 8、2021 年版臺灣活動斷層分布圖，新增初鄉斷層、口宵里斷層及車瓜林斷層等 3 條斷層。

(七) 活動斷層資料彙整與加值應用

活動斷層調查資料，整合野外地質調查、淺層鑽探、地電阻探勘、空拍等調查方法，建立地質構造剖面相關資料，完成活動斷層地質敏感區劃定計

畫書草案。活動斷層觀測資料透過標準化格式轉換、資料處理、分析，對活動斷層短期滑移速率與潛在的活動構造進行分析研究。

110 年度網頁從多面向進行整體優化，以更友善與專業為優化主軸，強化即時性、親和性、互動性設計。除了從網站操做介面加強與民眾的溝通互動，提升趣味感與親和力，導入 RWD 響應式網頁設計，並符合政府網站無障礙規範 2.1 版 A 級規範，讓不同的瀏覽裝置的使用者都能舒適的瀏覽與查詢活動斷層資訊，大幅提升使用者的瀏覽體驗，今年度資訊服務人次超過 24 萬人次。

此外，GIS 查詢系統除了更新 103-109 年新進的調查資料外，更進行各項功能的強化，包括資料更新強化、系統操作版面強化、地震資訊強化、外部圖資強化、功能強化及管理功能強化；並完成事件型活動斷層雲端服務建置、資訊安全強化與檢測報告服務、滲透修復服務、災害復原演練等，串聯「臺灣活動斷層」網頁中條帶地質圖資訊，增加使用的便利性與優質的查詢服務效能。(

圖 9)

上述活動斷層相關資料，可應用於是否位於地質敏感區區位之查詢，並協助內政部辦理申請人查詢土地與活動斷層空間之關係，供其申辦非都市土地變更或開發使用，同時並協助國內重大開發案件提供地質專業意見。

活動斷層參數資料，可供國家地震工程研究中心、國家災害防救科技中心及行政院災害防救辦公室，供做地震風險評估使用。提供國家重要公共建設地質諮詢服務，參與許多國內重大開發案之意見諮詢，包括烏山頭水庫、中山大學仁武校區、2018 台中花博、國道 7 號、豐原-東勢生活圈快速道路、龍崎掩埋場、淡北快速道路、馬頭山掩埋場等案，本所均透過公、私管道提供專業地質意見，對於社會影響甚為深遠。



圖 9、臺灣活動斷層網頁優化及 GIS 查詢系統強化。