

池上斷層

林啓文

(資料收集截止日期 112 年 8 月 31 日)

池上斷層，為逆移斷層兼具左移分量，約呈北北東走向，由花蓮縣玉里鎮春日里向南南西方向延伸，經台東縣池上鄉萬安至鹿野鄉瑞隆 (Hsu, 1956; 張徽正等, 1998; 林啓文等, 2000, 2009, 2021)，長約 67 公里 (圖 1 至圖 5)。

一、地形地質特性

池上斷層位於花東縱谷與海岸山脈交接帶。花東縱谷為北北東走向，寬度約 1-3 公里，西側為中央山脈，縱谷內分布一系列沖積扇與階地。

野外調查結果，春日、福音、麻汝至觀音間，階地邊緣有拱起或反傾現象，部分階面呈類背斜。鐵份以南至樂合間，斷層可能位於秀姑巒溪河床。東竹至東里之間，有一系列脊狀小丘，為河階受擠壓凸起呈壓力脊。富里至池上之間，有線狀崖，崖兩側階面高差富里至大坡為 15-25 公尺，大坡至萬安約 15 公尺，崖前大坡池可能是斷層池；線狀崖向北連接到鼈溪的斷層露頭，露頭上利吉層逆衝至階地礫石層之上 (Hsu, 1962)，顯示該線狀崖可能為斷層崖，但經過調查以及槽溝挖掘，顯示此崖為斷層線崖 (fault-line scarp)，斷層跡位置位於稍西側。

花東縱谷及兩側出露地層包括板岩層、都鑾山層、蕃薯寮層、利吉層、階地堆積層與沖積層 (大江二郎, 1939; Hsu, 1956; Teng, 1979; 陳文山, 1988)。板岩層為深灰至黑色，偶夾薄層變質砂岩，分布於中央山脈側。都鑾山層，以安山岩質角礫岩為主，含凝灰岩、集塊岩、礫岩、凝灰質砂岩和石灰岩等。蕃薯寮層，由砂頁岩互層組成。利吉層，主要為青灰色泥岩，並夾礫岩、砂岩、頁岩、砂頁岩、安山岩、凝灰岩、石灰岩與蛇綠岩等各種外來岩塊，泥岩具緻密鱗片狀葉理。階地堆積層，由礫石、砂和黏土組成。沖積層為礫石、砂和黏土組成。

野外地質調查，富里富池橋東方鰲溪附近有數個階地崖，均為北北東走向，階高差約 3-10 公尺，利吉層向西逆衝至第二階階地礫石之上 (圖 6A)，斷層面位態為 N20°E/60°E，與地形崖走向一致。斷層露頭西側還有數十公尺高的河階，顯示池上斷層可能有數條分支。2022 年 0918 池上地震時，富里附近池上斷層再次活動 (圖 6B)。

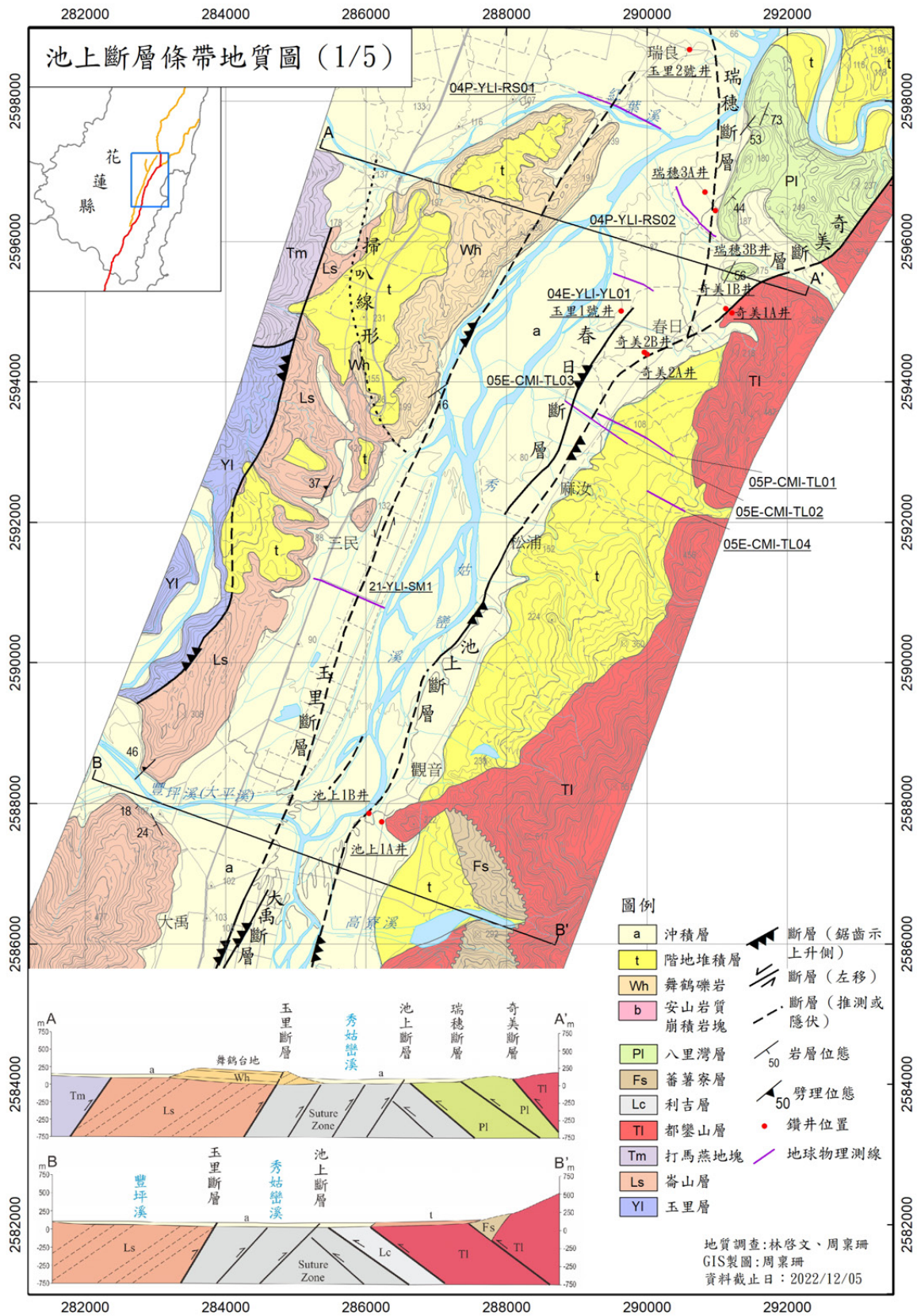


圖 1 池上斷層條帶地質圖 (1/5)。

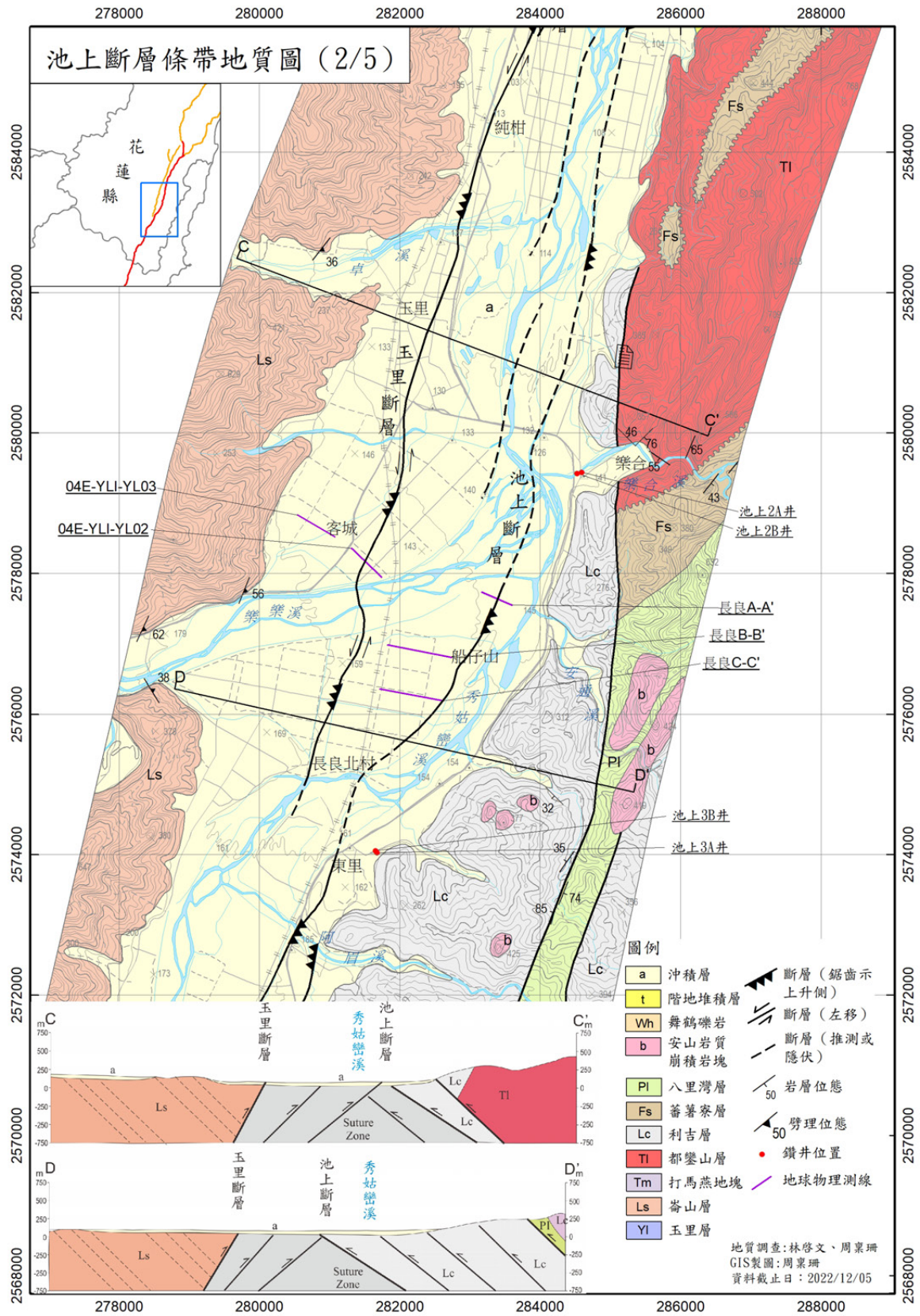


圖 2 池上斷層條帶地質圖 (2/5)。

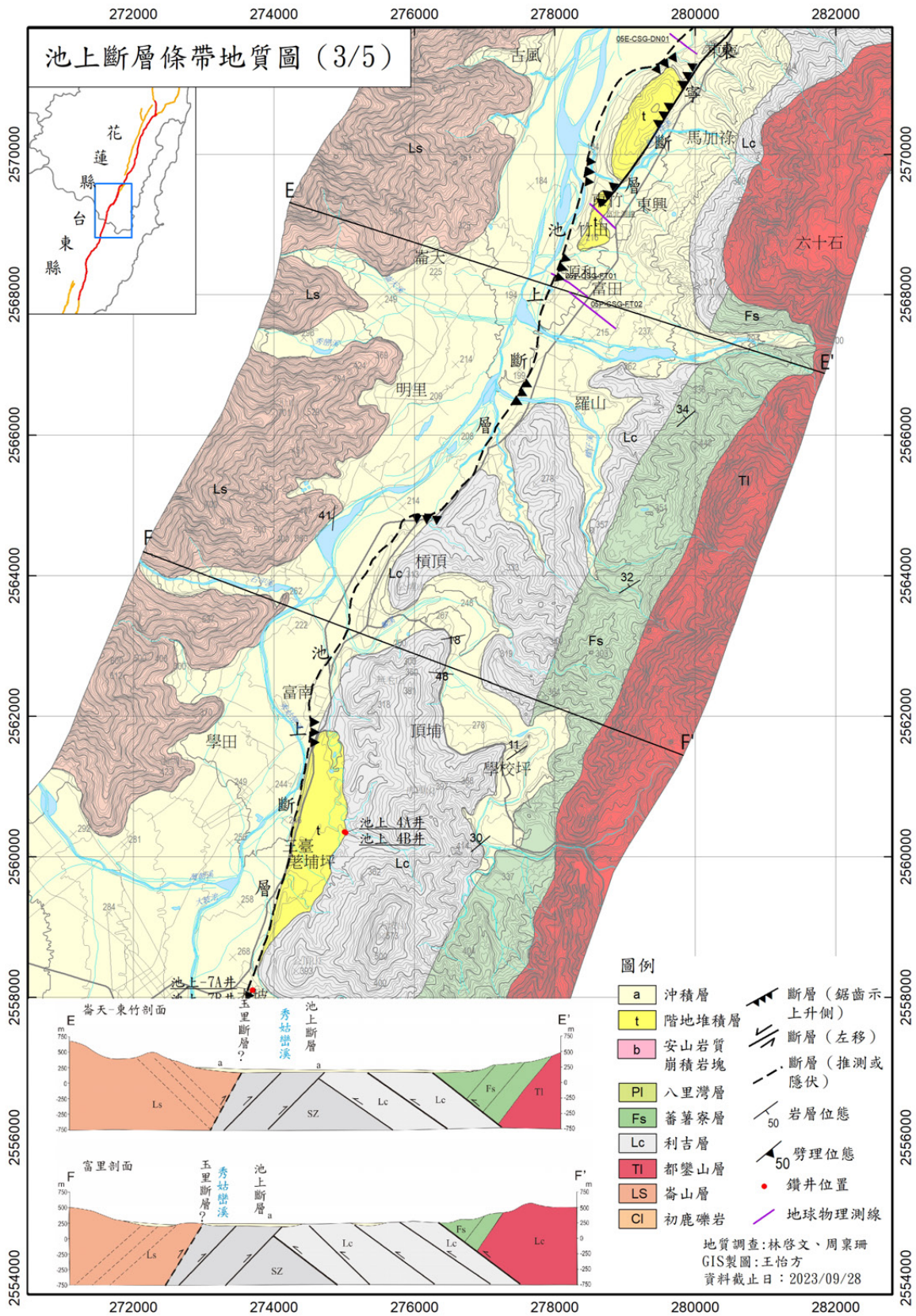


圖 3 池上斷層條帶地質圖 (3/5)。

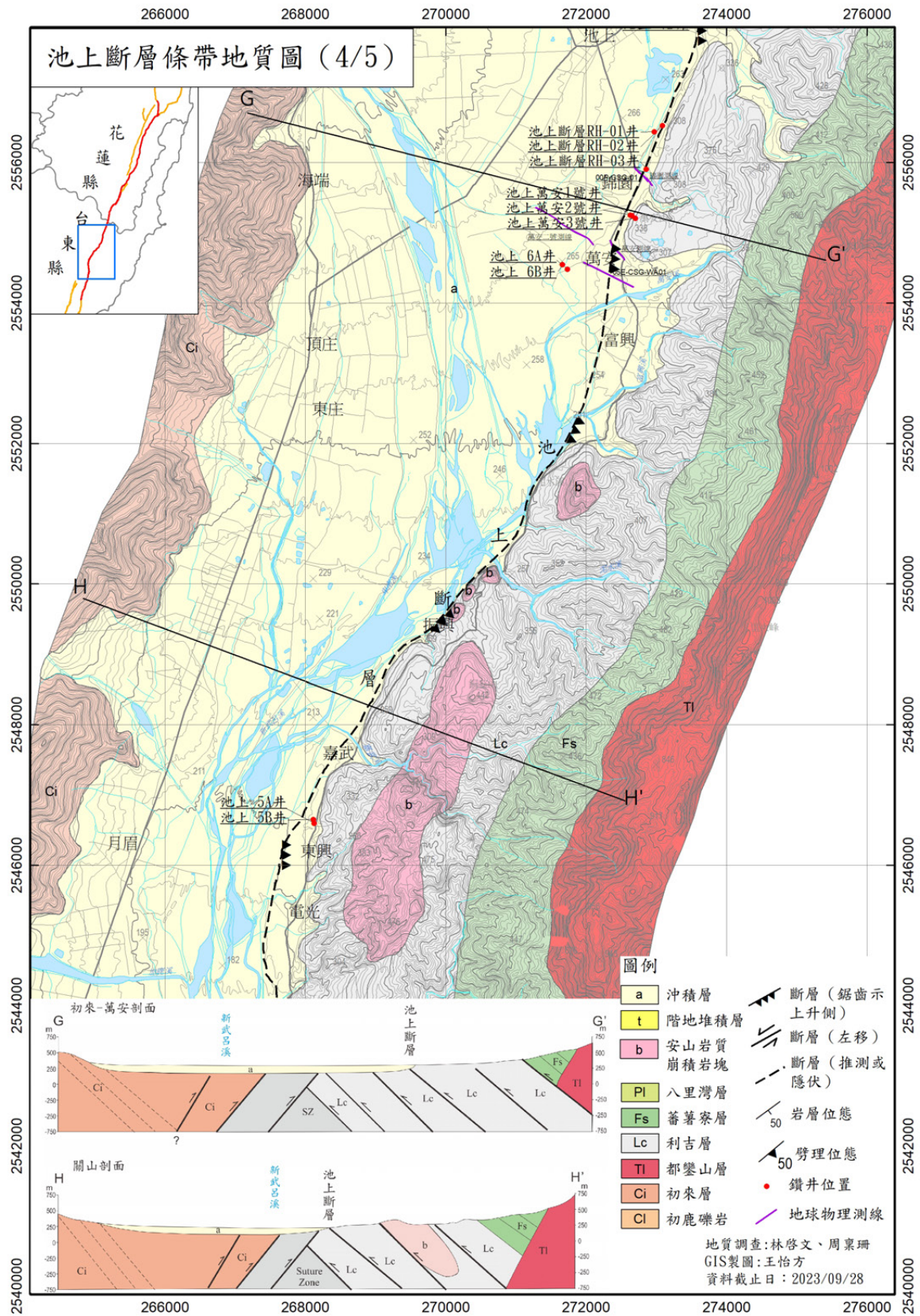


圖 4 池上斷層條帶地質圖 (4/5)。

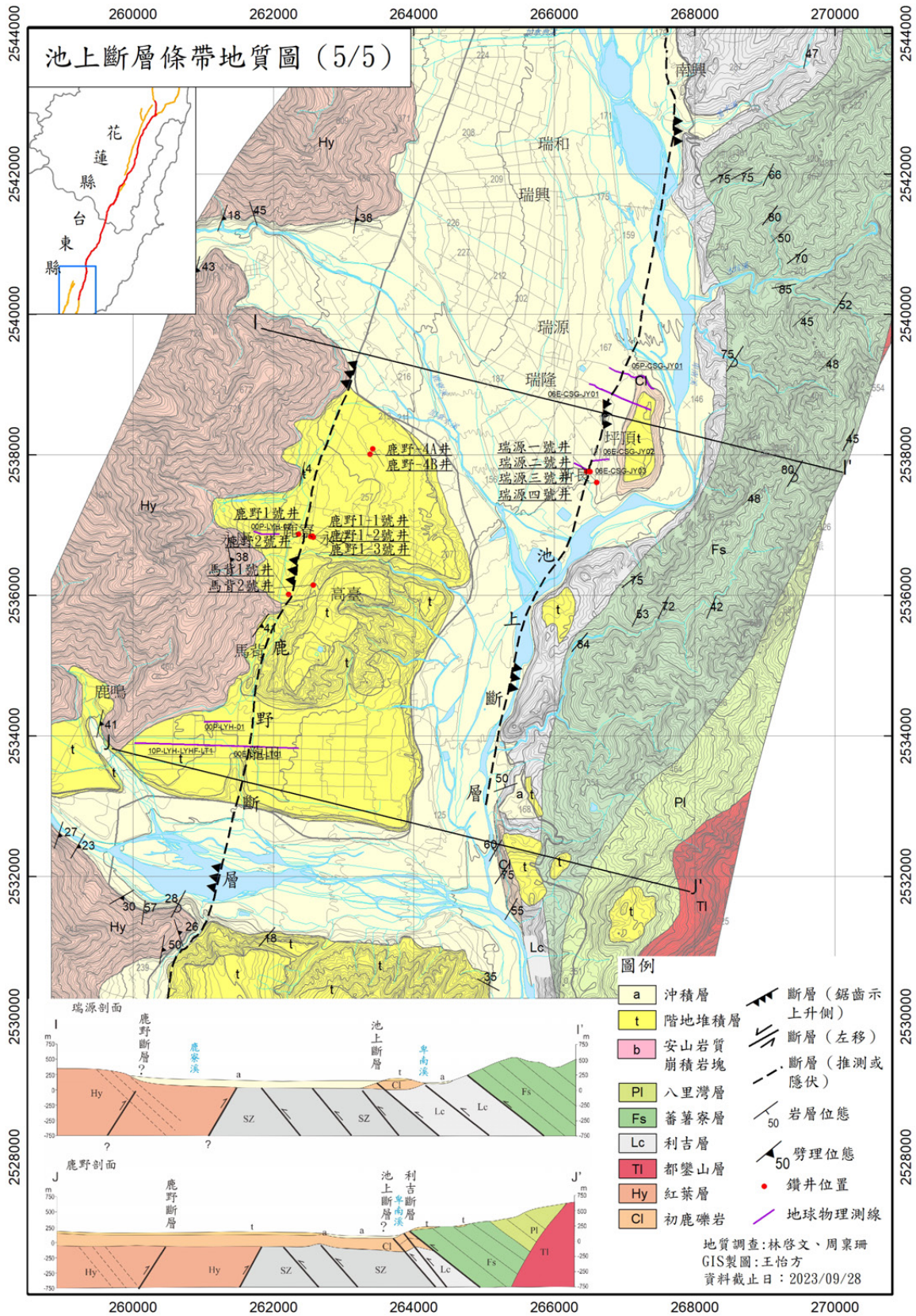


圖 5 池上斷層條帶地質圖 (5/5)。

A



B



圖 6 池上斷層露頭。A：富里鄉富池橋附近，利吉層逆衝至接地礫石層之上。B：2022 年 0918 池上地震，富里鄉富池橋北側農路池上斷層產生地表破裂與隆起。

池上斷層最南端鹿野鄉瑞隆村坪頂附近，利吉層向西逆衝至河階礫石層（紀權宥，2007），礫石層已傾斜（年代為 $1,360 \pm 60$ cal yr BP），斷層位態 $N13^{\circ}E/43^{\circ}E$ ，顯示斷層近期有活動跡象。

二、地下構造特性

1. 地質鑽探

瑞源地區坪頂山西側有 4 口淺井鑽探（陳文山等，2006），井址位於向西傾斜的河階與其西側未傾動河階交會處。BH-4 井為 70 度斜井，井深 35.6 公尺為利吉層與礫石層交界，河階崖下 BH-3 井，井深 15 公尺皆為礫石層；研判高約 3 公尺階地崖為池上斷層位置，由階崖位置與 BH-4 井在岩芯下的斷層帶深度計算，池上斷層向東傾斜約 67 度。

2. 地球物理探勘

池上斷層沿線有數條地球物理測線（石瑞銓等，2000，2003a，2003b；董倫道等，2005）：錦園反射震測測線的重合剖面（圖7A），有2條主要斷層，斷層面分別為高角度與高角度向東傾斜。萬安測線反射震測的重合剖面（圖7B），以褶皺為主，也有小型斷層跡象，萬安測線位於斷層上盤。萬安2號側線反射震測，層狀構造清楚，上部地層進覆於另一套地層面上。富北反射震測測線的重合剖面（圖7C），岩層形成褶皺與不連續帶，褶皺兩翼形成逆衝及反向逆衝斷層。

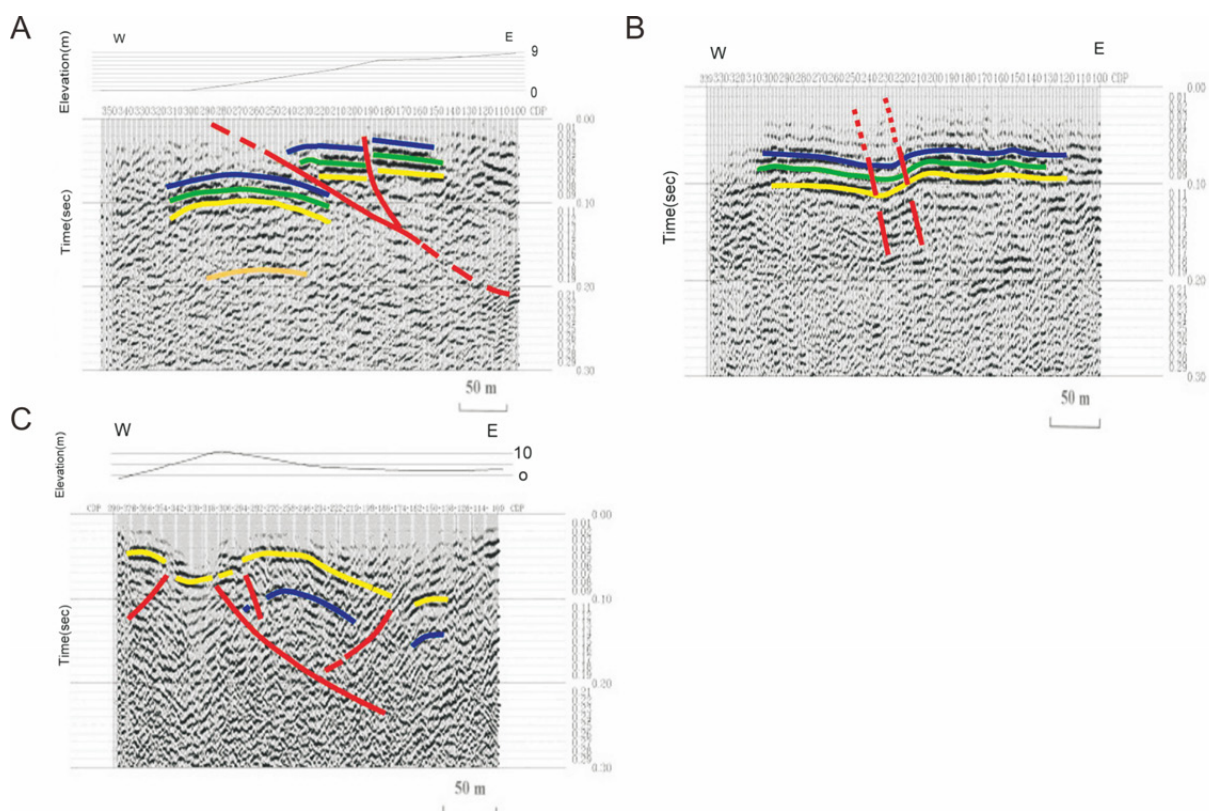


圖7 池上斷層淺層反射震測結果（石瑞銓等，2000，2003a，2003b）。A：錦園測線重合剖面。B：萬安測線重合剖面。C：富北測線重合剖面。

富田地區有2條反射震測測線（05P-CSG-FT01與05P-CSG-FT02），剖面愈靠近西側反射層彎曲現象愈明顯，剖面中也有小型斷層存在，厚層沖積層下方為利吉層，兩剖面均位於池上斷層上盤。東寧地電阻測線（05E-CSG-DN01），剖面中由電阻率高低分為東西兩側，東側與利吉層地表露頭的電阻率相近，西側岩層可能為礫石層，研判斷層介於兩者之間。萬安地電阻測線（05E-CSG-WA01），剖面近地表有一層厚30-35公尺礫石層，下方東側為利吉層，西側電阻率很高，側向不連續處可能是斷層。

瑞源反射震測測線（05P-CSG-JY01），剖面中西側為水平反射層，東側則無明顯反射訊號，研判為利吉層，反射振幅的側向變化可能是池上斷層，位置在平頂小丘西緣，斷層向東傾斜。瑞源地區地電阻測線（包括測線06E-CSC-JY01、06E-CSC-JY02與

06E-CSC-JY03)，依據地電阻高低分為 A 層、B 層與 C 層：A 層具低電阻率，對應利吉層，B 層位於 A 層西側，具高電阻率特徵研判對應縱谷沖積層，C 層分布於近地表處對應沖積層，A 層與 B 層接觸位置可能是斷層；在測線 06E-CSC-JY01 處池上斷層與 A 線形一致，在測線 06E-CSC-JY02 與 06E-CSC-JY03，池上斷層位於線形西側約 100 公尺。

三、斷層活動特性

1. 歷史地震

1951 年 11 月 25 日 2 時 47 分與 2 時 50 分，台灣東部發生 2 次強震(台灣省氣象所，1952)，造成花東縱谷內有地表破裂，東側抬升並略向北移動，地表破裂跡分為 2 段，其中一段由麻汝、東里、東竹村、新興村及富里國校，池上鄉慶豐村、錦園村至鹿野鄉巒山村。徐鐵良(Hsu, 1962)認為池上斷層為 1951 年 11 月 25 日的地震斷層。針對 1951 年地震重新定位(Cheng *et al.*, 1996)，顯示 2 時 47 分池上地震的震央位於卑南主山東南方，震源深度 16 公里，規模 $M_s=6.8$ 。

2003 年 12 月 10 日，池上地區發生規模 6.8 的地震，造成部分地表破裂；有些學者認為該次地震是池上斷層破裂造成(Lee *et al.*, 2006)，地震序列中主震與餘震大多沿著池上斷層分布。地震前後的水準測量結果顯示，該次地震的同震垂直位移為 10.8 公分(劉政等，2007)。由強震站與 GPS 分析顯示，該次地震，震央為 23.106°N、121.34°E，震源深度 16 公里(再定位為 25 公里深)，由於震央分布顯示斷層帶呈弧形，在地下淺部(深度小於 10 公里)傾角 60-70 度、深度 20-30 公里傾角 40-50 度(Hu *et al.*, 2007a)，斷層機制為逆移斷層；由 GPS 資料顯示，同震最大水平位移為 4.5 公分，震央地區最大水平位移為 12.6 公分，垂直位移 26.3 公分。

2022 年 9 月 17 日晚上 9 點 41 分，花東縱谷發生芮氏規模 6.4 關山地震，震源深度 7.3 公里，隔天 9 月 18 日下午 2 點 44 分再發生芮氏規模 6.8 池上地震，震源深度 7 公里。關山地震可能是池上地震的前震，而玉里斷層再度活動是此次地震的成因(圖 8；經濟部中央地質調查所，2022)，池上斷層沿線也有多處地表破裂，由花蓮縣玉里鎮松浦地區，向南至台東縣鹿野鄉瑞隆村二層坪。

春日里至東里地區，以向西逆衝地表破裂為主。埤尾至松浦之間，變形最大，地表破裂呈東北東走向延伸約 2 公里，向西逆衝約 10-50 公分；破裂程度與變形量向北逐漸減小，顯示池上斷層由南往北破裂。舊田西側至東里間，地表破裂斷斷續續分布於秀姑巒溪中，每段長約 700 多公尺至 1.5 公里。東里至萬寧，地表破裂連續長度約 2.7 公里，範圍東西寬約 200-400 公尺，呈北北東走向，東側抬升約 5-10 公分，顯示斷層向西逆衝

兼具左移分量。崙天大橋以南至花蓮縣富里鄉及台東縣池上鄉錦園村以北，地表破裂連續，延伸約 13.4 公里，走向 N22°E，向西逆衝兼具左移分量。

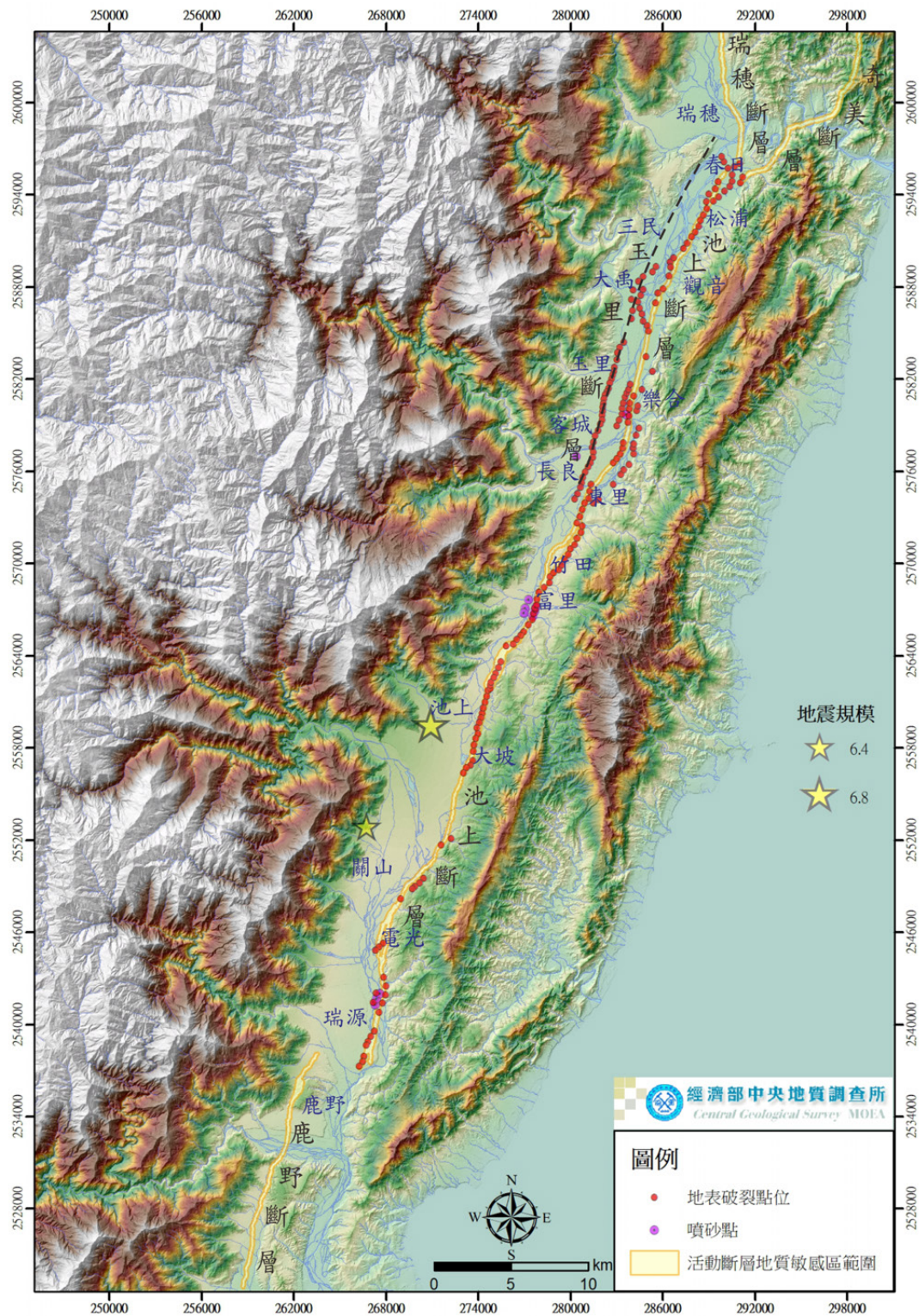


圖8 2022年0917關山地震與0918池上地震地表破裂分布圖。

20220918 池上地震時，池上斷層上盤產生一條新的地表破裂，稱為東寧斷層，由富里鄉萬寧向西南延伸至竹田，長約 3.5 公里，呈 N30°N 走向。東寧斷層位於池上斷層上盤。富北國中操場，呈雁行排列小型斷層（圖 9 左），呈 N42° E-48°E 走向，西北側皆為上盤，抬升量少於 15 公分。東寧附近水稻田有西側抬升的地表破裂（圖 9 右），斷層再向北延伸至萬寧附近。



圖 9 東寧斷層露頭。左：富北國中操場呈雁行排列的地表裂隙，西側抬升。右：東能附近龍露的地表破裂，西側抬升。

2. 古地震與長期滑移速率

池上斷層沿線有數處槽溝開挖調查（陳文山等，2006）：錦園 1 號槽溝，位於錦園村沿山 197 號縣道錦園橋旁，南側中研院設置有池上斷層潛變儀，槽溝剖面並未發現斷層，但沉積層已傾斜，G1 礫石層與 G2 礫石層的變形是沉積同時形成的褶皺；因此潛變儀顯現的是池上斷層帶的應變集中現象，斷層未出露地表。錦園橋 1 號槽溝東側有一口 60 公尺深鑽井 RH04，岩芯上部沉積層傾斜 25-35°，下部沉積層（剪切帶以下）傾角 15-25°，井深 36.2-36.35 與 38.7 公尺有 2 處剪切帶。錦園溪（約斷層崖的位置）有一 31 公尺深鑽井 RH05，下部沉積層（剪切帶以下）傾角 50-65°，井深 21.3-21.7 與 25.8 公尺有 2 處剪切帶。從槽溝、鑽井與斷層崖的相關位置，連接 RH04 與 RH05 井的剪切帶，研判有一向東傾斜 33° 斷層面，研判斷層未截切至地表，而是盲斷層形式。

錦園 2 號槽溝：G3 礫石層以下的岩層受斷層作用而形成褶皺；此處有 2 口探井，RH-01 井位於槽溝東側的階地上，RH-02 井位於階地崖下 2 號槽溝旁，兩井相距約 100 公尺，階地上 RH-01 井 4-75 公尺為利吉層，RH-02 井岩芯為 36 公尺厚河流相礫石層，研判池上斷層位於 RH-02 井與階地之間，亦即河階崖為斷層崖。

錦園 3 號槽溝；位在錦園村邱宅南側的張宅，槽溝剖面斜坡崖下的沉積層呈向斜，褶皺軸附近有一垂直錯距約 8-11.5 公分的逆斷層，斷層截切地表回填土，研判此逆斷層可能是 2003 年 12 月 10 日地震後產生的破裂，屬於震間（或震後）的潛變現象。錦園 3 號槽溝主要變形是褶皺，與錦園 1 號槽溝與萬安 2 號槽溝的褶皺變形相似；由槽溝可能最大變形量比對，G1 砂礫層的垂直抬升量超過 2.5 公尺，長期抬升速率大於 8.3 公厘/年。

萬安槽溝：位於錦園村保安宮南側的線狀崖上，萬安 1 號槽溝剖面北牆有 7 條斷層，南牆僅 4 條斷層，研判至少有 4 次古地震事件，每次事件造成垂直位移約數十公分，最大約 60 公分；由 1 號槽溝之地層比對結果，古地震事件皆發生於 S1 層（碳 14 定年，為距今 975 ± 165 年前）沉積之後，總位移量約 2.25 公尺，推估抬升速率大於 2.0 公厘/年；此速率遠小於潛變形成的抬升量。萬安 2 號槽溝剖面為向西傾斜的單斜構造，其中有 1 條斷層造成小於 10 公分的垂直落差，可能為單斜形成時的伴生構造。朱曜國(2007)彙整上述萬安地區槽溝開挖結果，池上斷層在過去 800 年內至少有 5-10 次古地震事件，活動週期為 50-160 年。

3. 地殼變形監測

安朔葉等 (Angelier *et al.*, 1997) 監測結果，池上斷層主要以潛移方式活動，並造成路面、水溝、房屋等遭到破壞，以大坡、錦園、萬安一帶最明顯，平均每年 1.9-2.7 公分的位移量。余水倍與郭隆晨等 (Yu and Kuo, 2001) 由 GPS 測量結果，池上斷層水平位移速率為 30 公厘/年。李建成等 (Lee *et al.*, 2006) 計算池上斷層潛移速率約 20-30 公厘/年，結合 GPS 固定站、潛變儀與大地測量結果，2003 年地震池上斷層地表的同震位移為水平縮短 1-2 公分、垂直錯移 1-2 公分；該次地震後 125 日的潛移為水平縮短 12 公分、垂直錯移 6-11 公分，其中 4-7 公分為地震發生 20 日後所發生，研判是受到未膠結的厚層沉積物影響所致。

陳文山等 (2008) 利用 GPS 觀測結果 (Yu and Kuo, 2001) 分析海岸山脈沿著池上斷層的潛移速率，在玉里大橋為 23.8 公厘/年（方向 282°），池上地區為 26.4 公厘/年（方向 285°），瑞源地區為 22.9 公厘/年（方向 283°）。橫跨池上斷層的水平變形速率快速遞減了 21-25 公厘/年，代表池上斷層帶年平均壓縮量（垂直斷層走向的方向），也表示海岸山脈相對中央山脈震間的地表變形是集中於池上斷層。

針對花東縱谷觀測點位的速度場，因為 2013 年瑞穗地震、2018 年花蓮地震，改變本地區速度場，將速度場區分為 2002~2013 年、2013~2018 年以及 2018~2022 年等 3 個時間

段估算（圖10；景國恩等，2022）；2018年花蓮地震後，花蓮地區水平速度場由西北位移轉為向西或西偏南位移，位移量也較地震前小，震前約20~30 mm/yr，地震後為10~15 mm/yr。花東地區的水平速度相對於S01R測站，大致呈現向西北50~80 mm/yr速度運動，池上斷層兩側約有10 mm/yr 水平速度差。

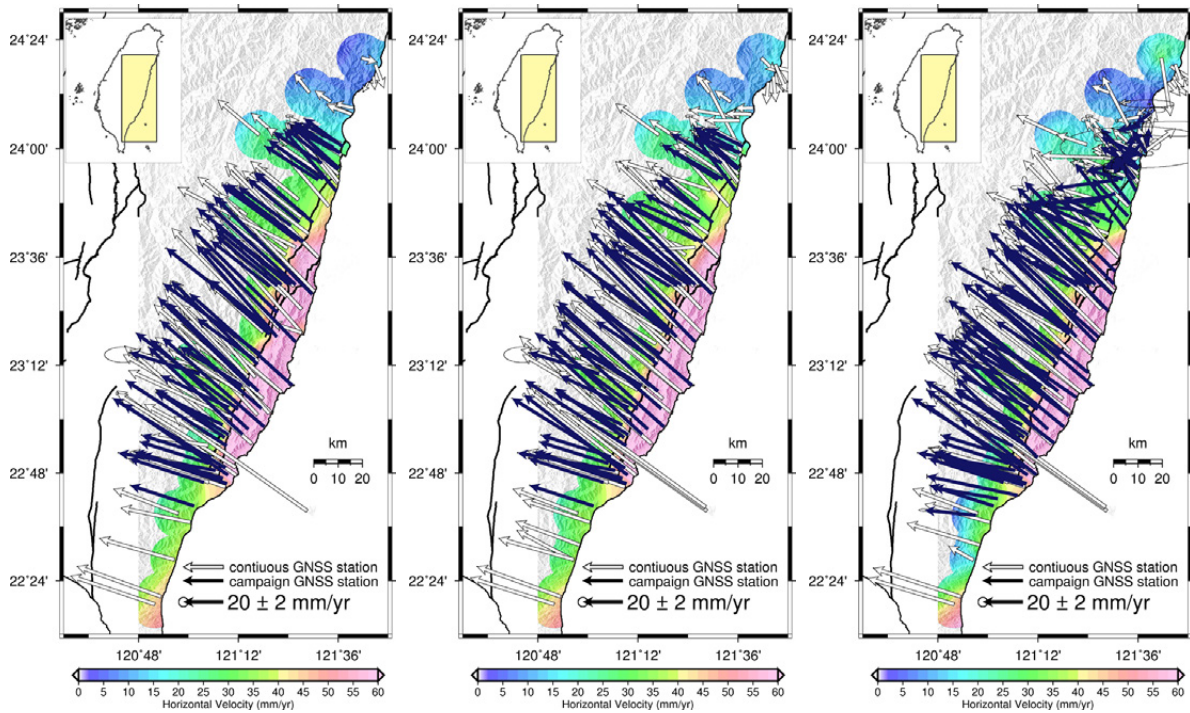


圖10 花東地區相對於澎湖白沙站（S01R）之GNSS 水平方向速度場，彩色色階為資料解算之速度場分布色階圖。左圖為2002~2013年速度場，中圖為2013~2018年速度場，右圖為2018~2022年速度場。

垂直方向速度場池上斷層兩側有不同運動方向（圖11；景國恩等，2022），上盤約10mm/yr抬升速度，而下盤約10 mm/yr沉降速度。

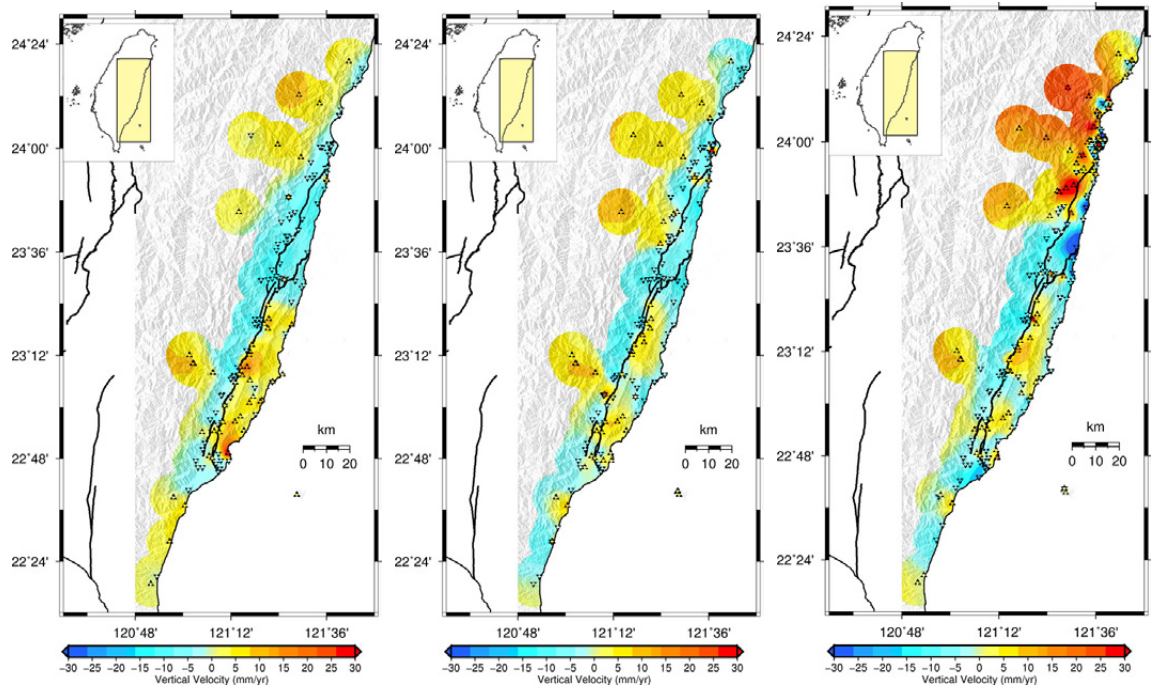


圖11 花東地區相對於澎湖白沙站(S01R)垂直方向速度場，左圖為2002~2013年速度場，中圖為2013~2018年速度場，又圖為2018~2022年速度場。三角形方向表示抬升或沉降，暖色系表示抬升速率，冷色系表示沉降速率。

四、總結與評估

池上斷層除了 1951 年地震造成的地表破裂外，2003 年 12 月 10 日地震也造成部分地區地表破裂，2022 年 9 月 17 日與 9 月 18 日地震也造成沿線地表破裂現象；此外，斷層持續有潛變現象。過去 800 年以來，池上斷層至少有 5 次的古地震事件，每次事件斷層垂直位移數十公分，最大位移量約 60 公分。池上斷層長期抬升速率超過 20 公厘/年，水平位移速率約為 30 公厘/年，推估斷層的活動周期為 50-160 年。

參考文獻

- 大江二郎（1939）台東圖幅及說明書，比例尺十萬分之一。臺灣總督府殖產局出版，第 861 號。
- 台灣省氣象所（1952）中華民國 41 年地震報告。台北，83 頁。
- 石再添、張瑞津、黃朝恩、石慶得、楊貴三、孫林耀明（1983）臺灣北部與東部活斷層的地形學研究。臺灣師範大學地理研究所地理研究報告，第 9 期，第 20-72 頁。
- 石瑞銓、陳平護（2000）活動斷層地球物理探勘計畫（4/5）-台灣東部地區活動斷層地球物理探勘。經濟部中央地質調查所，共 103 頁。
- 石瑞銓、陳平護、呂明達、陳文山（2003a）地震地質調查及活動斷層資料庫建置：地

- 球物理探勘計畫(2/5)。經濟部中央地質調查所報告 92-8 號，共 216 頁。
- 石瑞銓、黃宏元、林啟文(2003b)池上斷層中南段之淺層反射震測調查。經濟部中央地質調查所特刊，第 14 號，第 193-201 頁。
- 朱曜國(2007)池上斷層的古地震研究。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 110 頁。
- 沈淑敏、張瑞津、楊貴三(2006)地震地質調查及活動斷層資料庫建置－活動構造地形及資料庫建置分析(2/2)。經濟部中央地質調查所研究報告 95-13 號。
- 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正(2000)臺灣活動斷層概論，五十萬分之一台灣活動斷層分布圖說明，第二版。經濟部中央地質調查所特刊，第 13 號，共 122 頁。
- 林啟文、陳文山、劉彥求、陳柏村(2009)台灣東部與南部的活動斷層，二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第23號，共178頁。
- 林啟文、劉彥求、周稟珊、林燕慧(2021)臺灣活動斷層調查的近期發展。經濟部中央地質調查所彙刊，第 34 號，第 1-40 頁。
- 林朝榮(1957)臺灣地形，臺灣省通志稿，第一卷，第一冊，臺灣文獻委員會，424頁。
- 紀權宥(2007)南段花東縱谷之新期構造研究－利吉斷層與鹿野斷層的活動特性。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 84 頁。
- 徐鐵良(1955)臺灣之地震。臺灣銀行季刊，第 7 卷，第 2 期，第 148-164 頁。
- 陳文山(1988)海岸山脈沉積盆地之演化及其在地體構造上之意義。台灣大學地質學研究所博士論文，共 304 頁。
- 陳文山、陳于高、楊小青(2006)地震地質調查及活動斷層資料庫建置－槽溝開挖與古地震研究計畫(5/5)。經濟部中央地質調查所研究報告 95-7 號。
- 陳文山、林益正、顏一勤、楊志成、紀權宥、黃能偉、林啟文、林偉雄、侯進雄、劉彥求、林燕慧、石同生、盧詩丁(2008)從古地震研究與 GPS 資料探討縱谷斷層的分段意義。經濟部中央地質調查所彙刊，第 20 號，第 165-191 頁。
- 景國恩、李易叡、張午龍、莊昀叡、莊怡蓉、邵國士(2022)重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估(2/2)經濟部中央地質調查所委託研究報告，共 440 頁。
- 張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁(1998)臺灣活動斷層概論，五十萬分之一台灣活動斷層圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第10號，共103頁。
- 游明聖(1997)台東縱谷活動斷層研究。國立臺灣大學地質學研究所博士論文，共 141 頁。
- 經濟部中央地質調查所(2022)20220917 關山地震、0918 池上地震地質調查報告。第一部份，地質調查。第二部分：大地測量地表變形觀測結果。
- 楊貴三(1986)台灣活斷層的地形學研究－特論活斷層與地形面的關係。私立中國文化大學地學研究所博士論文，共 173 頁。

- 楊蔭清 (1953) 41 年來之花蓮地震。花蓮文獻，創刊號，67-71 頁。
- 董倫道、陳文山、李奕亨 (2005) 地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫—地球物理探勘計畫 (4/5)。經濟部中央地質調查所報告第 94-09 號，共 176 頁。
- 劉政、黃明偉、蔡義本 (2007) 2003 年 12 月 10 日成功地震前後池上斷層錯動及水準測量結果。經濟部中央地質調查所彙刊，第 20 號，第 23-51 頁。
- 鍾令和 (2003) 1951 年池上—玉里地震地表破裂與其所指示之新構造意義。國立臺灣大學地質學研究所碩士論文，共 168 頁。
- Angelier, J., Chu, H.T. and Lee, J.C. (1997) Shear concentration in a collision zone: kinematics of the active Chihshang Fault, Longitudinal Valley, eastern Taiwan. *Tectonophysics* 274, p.117-144.
- Angelier, J., Chu, H.T., Lee, J.C. and Hu, J.C. (2000) Active faulting and earthquake hazard: The case study of the Chihshang Fault, Taiwan. *J. Geodynamics* 29, p.151-185.
- Cheng, S.N., Yeh, Y.T. and Yu, M.S. (1996) The 1951 Taitung Earthquake in Taiwan. *J. Geol. Soc. China* 39(3), p.267-285.
- Hsu, T.L. (1956) Geology of the Coastal Range, eastern Taiwan. *Bull. Geol. Surv. Taiwan* 8, p.39-64.
- Hsu, T.L. (1962) Recent faulting in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China* 1, p.95-102.
- Hu, J.C., Cheng, L.W. Chen, H.Y., Wu, Y.M., Lee, J.C., Chen, Y.G., Lin, K.C., Rau, R.J., Kuo Chen, H., Chen, H.H., Yu, S.B. and Angelier J. (2007) Coseismic deformation revealed by inversion of strong motion and GPS data: the 2003 Chengkung earthquake in eastern Taiwan. *Geophys. J. International* 169, p.667-674.
- Lee, J.C., Chu, H.T., Angelier, J., Hu, J.C., Chen, H.Y. and Yu, S.B. (2006) Quantitative analysis of surface coseismic faulting and postseismic creep accompanying the 2003, Mw=6.5, Chengkung earthquake in eastern Taiwan. *J. Geophys. Res* 111, B02405, doi:10.1029/2005JB003612.
- Teng, L.S. (1979) Petrographical study of the Neogene sandstones of the Fanshuliao Formation, northern Coastal Range, eastern Taiwan: I. Northern Part. *Acta Geol. Taiwanica* 20, p.129-155.
- Yu, S.B. and Kuo, L.C. (2001) Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan. *Tectonophysics* 333, p.199-217.