

利吉斷層

梁勝雄、林啓文

(資料收集截止日期112年12月31日)

利吉斷層，為逆移斷層，北北東走向轉南南東走向，由臺東縣新良一帶，向南延伸經鸞山西側河床至岩灣後，轉向東南隱伏於臺東市沖積層下方（圖1與圖2），長約23.1公里（Hsu, 1956；Hsu, 1976；Bonilla, 1975；林啓文等，2004；紀權宥，2007；陳文山等，2008）。

一、地形地質特性

本區位於花東縱谷南端，縱谷西側為中央山脈，東側為海岸山脈。

海岸山脈西斜坡為山地與低矮丘陵，丘陵顯現惡地形貌，有許多孤立巨型岩塊突出於低矮丘陵上，如虎頭山與石頭山。發源於中央山脈東側的卑南溪，為本區主要河川，於關山附近轉向南流，主要支流包括鹿寮溪及鹿野溪。中央山脈與縱谷交界處存在一系列階地（river terraces）和沖積扇，其中鹿寮溪沖積扇末端發育有一新良階地；鹿野溪北岸的鹿野高台是高位階地面（lateritic terrace，LT面），海拔350-400公尺；鹿野溪南岸的初鹿台地，海拔300-400公尺，為紅土緩起伏面（lateritic highland，LH面），台地東側有沖積扇分布（林朝榮，1957）。鹿野溪與卑南溪交會於鸞山附近，發育四階河階，階地最高海拔超過河床40公尺以上（紀權宥，2007）。

利吉斷層兩側出露地層包括都鑾山層、蕃薯寮層、八里灣層、利吉層、卑南山礫岩、階地堆積和沖積層。都鑾山層，以安山岩質集塊岩為主，夾有熔岩流，為構成海岸山脈主要山嶺（大江二郎，1939；Hsu, 1956）。蕃薯寮層為砂頁岩互層，其砂頁岩比率為1:1（陳文山，1988）。八里灣層，以砂頁岩互層和砂岩為主，夾有礫質泥岩和凝灰岩（陳文山，1988）。利吉層，以高度剪裂的泥岩為主，夾有大小不一的岩塊，岩塊組成以砂岩、基性和超基性火成岩體為主，利吉層的形成時間由從中新世晚期持續至更新世，形成過程中，岩層受強烈剪動呈具鱗片狀葉理（陳文山與王源，1996），阿幫安北方榕山與鸞山村的利吉層，上覆蓋著由火成岩崩積物堆積構成的階地。

礫岩為主的卑南山礫岩，偶夾薄層砂岩和泥岩，礫石來自中央山脈的片岩與板岩等變質岩，少部份為來自海岸山脈的石灰岩、火成岩，本層在卑南溪兩岸均有出露，

但兩者間已被利吉斷層錯移。階地堆積與沖積層分為晚期更新世的紅土礫石層與全新世礫石層，均以礫、砂和泥的堆積為主。

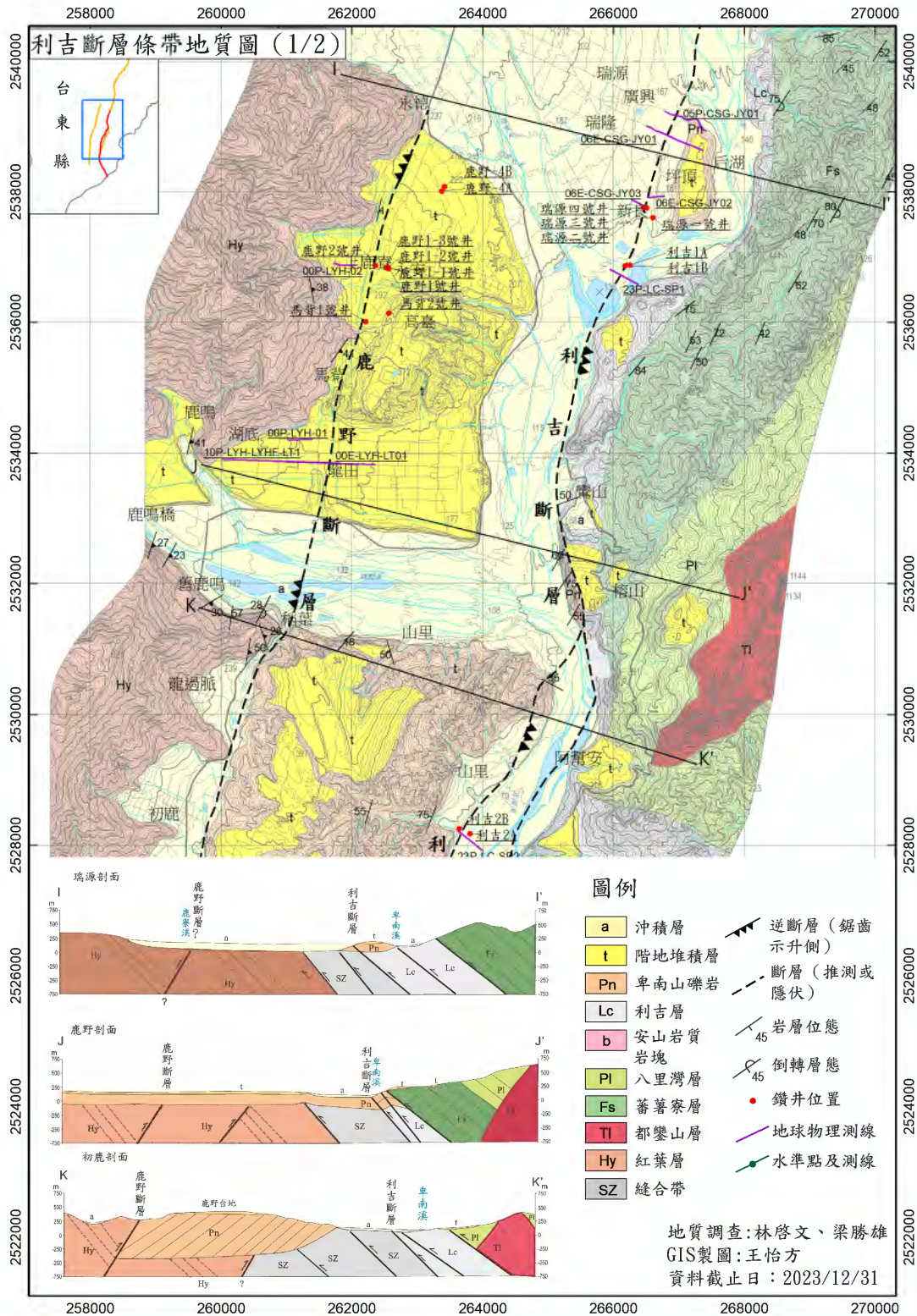


圖1 利吉斷層條帶地質圖 (1/2)。

野外調查顯示，榕山西方卑南溪東岸有一斷層露頭（圖3A），分支斷層西側卑南山礫岩向西北傾斜（圖3B），東側礫岩向東南傾斜（圖3C），兩者之間以分支斷層接觸而非呈背斜構造，主要原因在於分支斷層東側礫岩層中夾有約10公尺厚的砂質泥岩（圖3D），利吉層以低角度逆衝於礫岩層之上（圖3E），與西側礫岩層在岩層層序、岩性組合明顯不同（林啓文等，2004）。富山國小利吉分校，利吉層逆衝於河階礫石層之上，斷面向東傾斜 65° ，斷層在該階地形成後沒有活動之跡象，卑南山礫岩的岩層位態 $N25^\circ E/51^\circ E$ ，但被全新世河階礫石層覆蓋。

卑南溪西岸山里東北方，層態向東北傾斜的石灰岩塊與層態向西北傾斜的卑南山礫岩亦以利吉斷層接觸；山里與岩灣等區都可見到利吉層向西逆衝至卑南山礫岩之上（林啓文等，2004；紀權宥，2007；陳文山等，2014）。岩灣以南，斷層跡可能為沖積層所掩覆，而卑南溪西岸貓山出現獨立石灰岩塊，臺東市鯉魚山出露礫岩層則與卑南山礫岩有相同岩性，推測斷層的南延位置在兩者之間。

利吉層的形成年代由從中新世晚期持續至更新世，形成過程中岩層受強烈剪動而具鱗片狀葉理（陳文山與王源，1996；林啓文等，2004），因此屬於斷層帶的特性，可視為一構造單位而不是沉積層（林啓文等，2004）。

過去所謂之卑南山斷層，則為利吉斷層的主要斷層，大部分斷層跡位於卑南溪西岸河床中，僅在山里沖積扇階地形成線狀崖，斷層分隔利吉層與卑南山礫岩，並造成卑南山礫岩東側呈鉛直（圖4），甚至倒轉，並截切全新世地層，是利吉層中近期活動性較高的主要斷層。

最早所稱之利吉斷層（Hsu, 1976）位於卑南溪東岸利吉村附近的露頭，但該處僅僅是分布於利吉層中的一條斷層，而未截切上覆以火成岩崩積所構成的階地堆積層（陳文山，2014），故能視為利吉斷層帶中的分支斷層。此外，利吉斷層向北延伸至木坑溪剖面，南溪橋以東斷層上盤1,000公尺內均出露利吉層，呈北北東走向帶狀延伸，利吉層東側蕃薯寮層未受剪動（紀權宥，2007）。

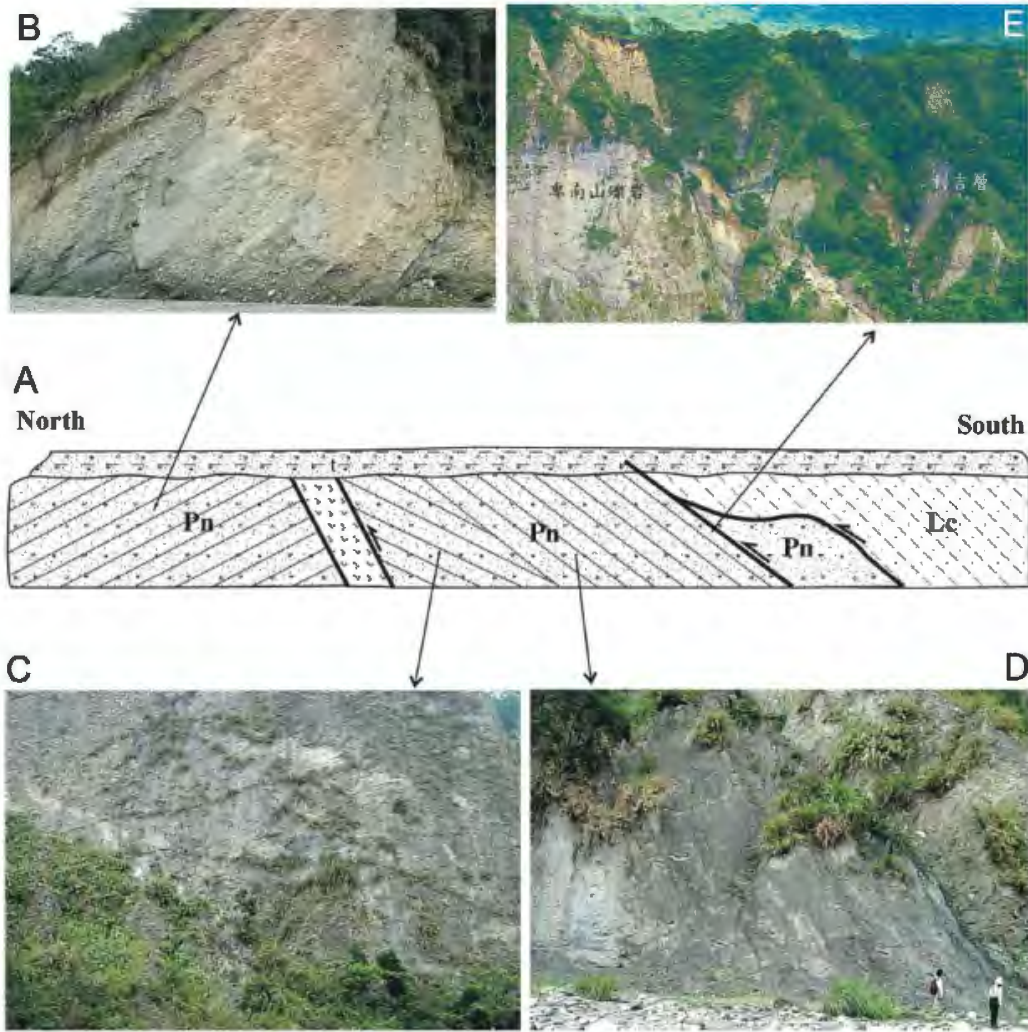


圖3 利吉斷層與分支斷層露頭（榕山西方卑南溪東岸）。A：露頭全景示意圖。B：分支斷層下盤的卑南山礫岩。C：分支斷層上盤的卑南山礫岩。D：上盤的卑南山礫岩夾有一層厚約10公尺砂質泥岩。E：利吉層泥岩逆衝於卑南山礫岩之上（摘自林啓文等，2009）。



圖4 卑南山礫岩，因受斷層作用影響，造成礫石呈鉛直，(A)往南拍攝；(B)往北拍攝。

二、地下構造特性

1.地質鑽探

利吉斷層位處卑南溪河道，斷層與河流走向相近而不易分辨河蝕崖或斷層崖，同時多處為沖積層覆蓋，也未發現斷層露頭，為了解其地下構造特性，新良、山里、岩灣與卑南等地區均有地質井鑽探與地球物理探測工作。

新良地區的利吉1A與1B等兩口鑽井及500公尺地電阻測線（23P-LC-SP1），成果顯示剖面西側有顯著電阻差異，推測為卑南山礫岩與利吉層交界（圖5），推測斷層面呈高角度向東傾斜（黎明工程顧問有限公司，2023）。另外，山里車站南方地電阻（23P-LC-SP2）測線與利吉2A及2B兩口地質井鑽探結果，岩心以礫石層為主，偶夾砂層，且有剪裂帶，利吉2B岩心中炭屑經碳十四定年（年代經樹輪校正），剪裂帶截切最年輕的地層年代為距今10,234至10,120年前，指示利吉斷層在全新世有活動現象；利吉2B於47.8公尺處（圖6），鑽穿利吉層進入卑南山礫岩（黎明工程顧問有限公司，2023）。

臺東監獄岩灣技能訓練所，岩灣國小與臺東火車站，各有2-5孔鑽井（陳文山等，2014）。其中，LZ3-2 井於31.2公尺處鑽穿利吉層泥岩進入卑南山礫岩層，顯示鑽穿利吉斷層（圖7）。岩灣國小剖面兩口相距100公尺鑽井，西側在8公尺以下鑽遇卑南山礫岩，東側在16公尺以下鑽遇遍佈剪切面的利吉層，推測利吉斷層在兩井之間。臺東車站南側至卑南一帶，有四口100公尺鑽井卑南4號、卑南5號及卑南6號皆為全新世沖積層；卑南7號在78.9公尺處由全新世沖積層進入到海相沉積層（黎明工程顧問有限公司，2022）。由上述鑽井資料，卑南地區以南平原區淺部由沖積層覆蓋，難以推得利吉斷層地下淺部位置。

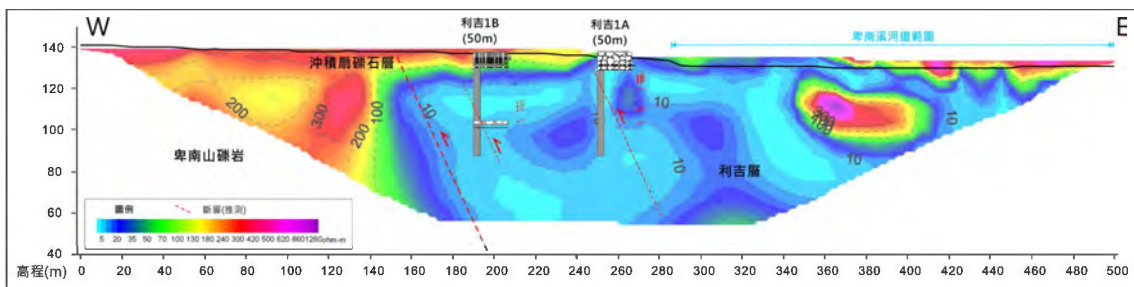


圖5 新良地區地下構造綜合解釋（修改自黎明工程顧問有限公司，2023）。

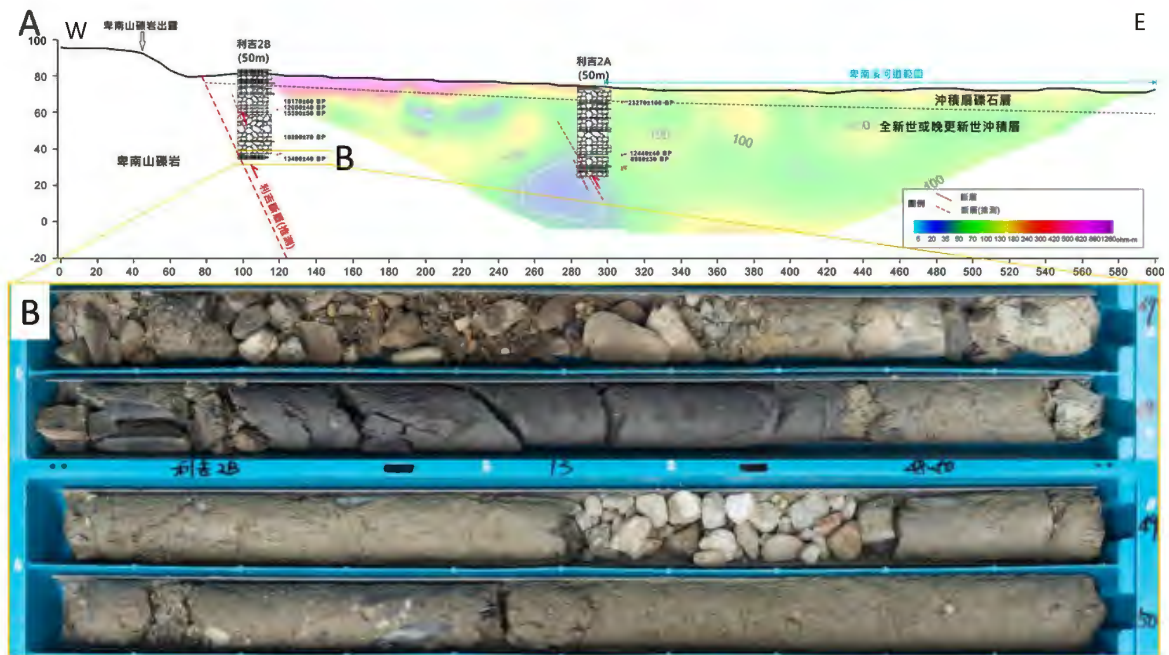


圖6 (A)山里車站南方地質剖面；(B)利吉2B井46至50公尺岩心，於47.8公尺處鑽穿利吉層進入卑南山礫岩（修改自黎明工程顧問有限公司，2023）。

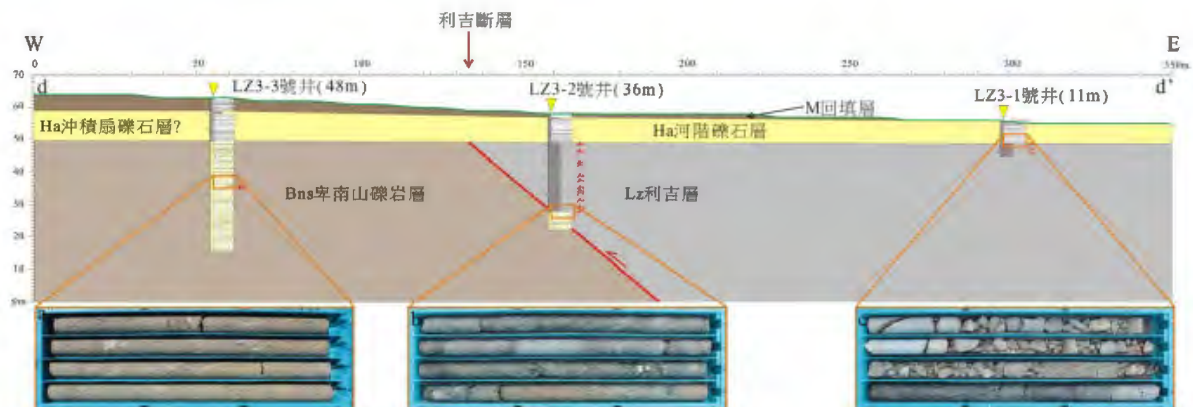


圖7 臺東監獄岩灣技能訓練所鑽井dd剖面，其中，LZ3-2井於30.1公尺深鑽穿利吉斷層，圖中照片a為LZ3-3井24-28公尺鑽井岩芯，卑南山礫岩層，礫石傾斜排列；照片b為LZ3-2井28-32公尺鑽井岩芯，鑽井穿透利吉泥岩層於31.2公尺進入卑南山礫岩層；照片c為LZ3-1井4-8公尺鑽井岩芯，顯示河階礫石與利吉層接觸（摘自陳文山等，2014）。

2. 地球物理探勘

臺東地區曾進行大地電磁（圖 8A）與地電測線，電阻剖面顯示測點 13 以東地區，岩層具低電阻特徵，與其西側高電阻層間的界面，呈向東傾斜（董倫道等，2006）。

卑南地電測線（06E-LCI-TD02；圖 8B）影像剖面中，均未發現如 A 層顯著的低

電阻層，顯示測線均位於 B 層內；貓山地電測線（06E-LCI-TD01；圖 8C）依據地層電阻高低分為 A 層與 B 層，A 層具低電阻率特徵，研判對應利吉層，B 層具高電阻率特徵，研判對應沖積層。綜合結果顯示利吉斷層位於此兩測線之間，約位於大地電磁測點 13 附近。近期在貓山與卑南地電測線之間，完成四段地電阻測線共長 1,100 公尺（黎明工程顧問有限公司，2022），測線深部有高電阻訊號，但已達最大測深（圖 9），難以藉此推得利吉斷層位置。

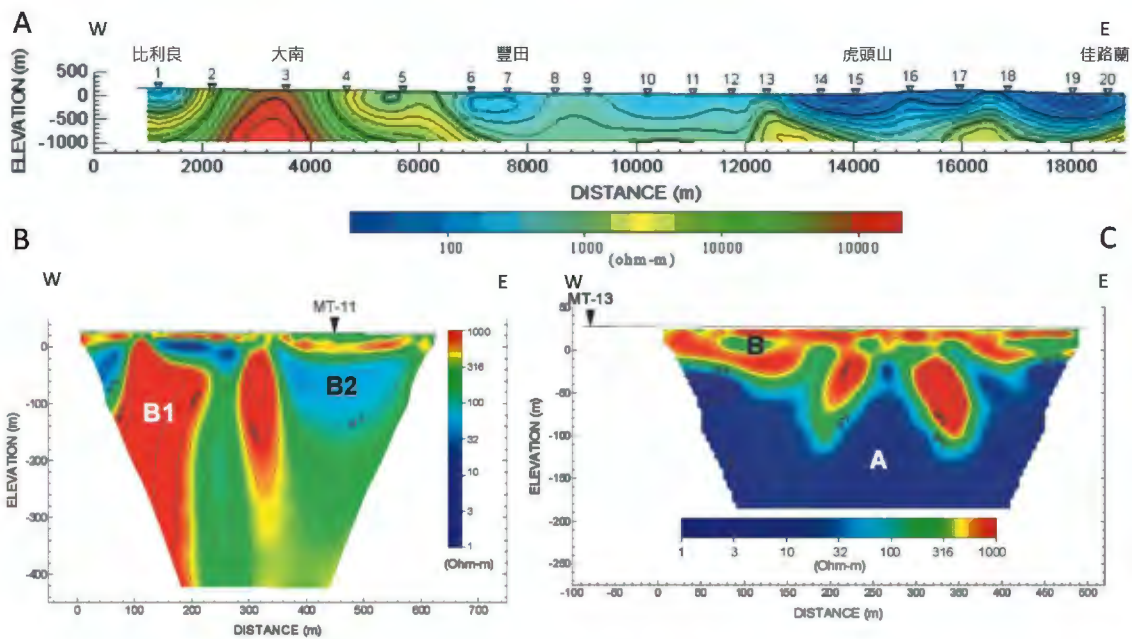


圖8 臺東地區地球物理測線剖面（修改自董倫道等，2006；林啓文等，2009）；(A)大地電磁測勘剖面；(B) 卑南地電測線（06E-LCI-TD02）；(C) 貓山地電測線（06E-LCI-TD01）。

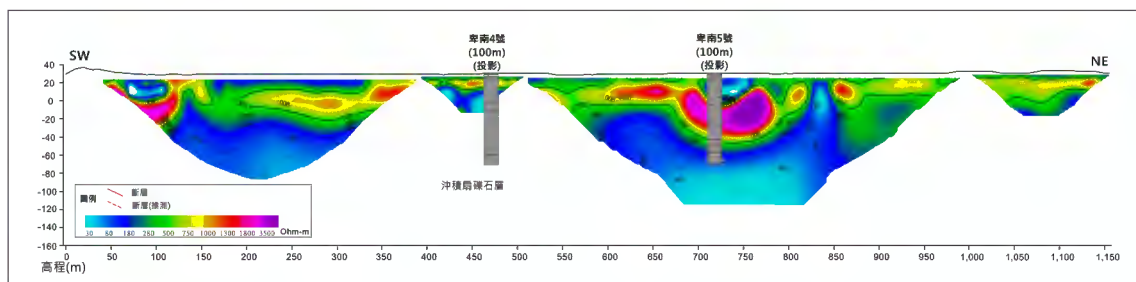


圖9 卑南地區地電阻測線（22P-LC-SP1）與卑南4號與5號井投影剖面（修改自黎明工程顧問有限公司，2022）。

三、斷層活動特性

1. 古地震、歷史地震與長期滑移速率

利吉斷層造成新良階地人工結構物有變形現象，顯示斷層潛移速率非常快，其中一處 1998 年建造圍牆其縮短量約 8 公分，推估水平縮短速率 10 公厘/年（紀權宥，2007）。新良槽溝剖面顯示（圖 10），河階礫石層與利吉層被一位態為 $N15^{\circ}E/63^{\circ}E$ 與 $N40^{\circ}W/60^{\circ}E$ 的斷層面隔開，下盤河階礫石層不整合覆在利吉層之上，三層河階礫石層中的礫質砂層，碳十四定年為距今 $1,315 \pm 45$ 年前（陳文山等，2006）。

岩灣地區鑽井的剪切面傾角介於 35 度至 65 度間，而地震震源分布與震源機制（Kuochen *et al.*, 2004；2012）解算顯示利吉斷層在深度三十公里以上的傾角 50 多度朝東，以利吉斷層上盤之海階年代與階地高度估算長期抬升速率，平均為 13.1 ± 1.4 公厘/年，若以斷層面傾角 50 度估算，利吉斷層滑移速率是 17.1 ± 1.8 公厘/年（陳文山等，2014）。

2022 年 0917 關山地震地表破裂地質調查結果也顯示臺東新良附近沿利吉斷層存在地表破裂現象（梁勝雄等，2022；劉彥求等，2022；Hsu *et al.*, 2024），同時分析此次地震在新良附近之坪頂山階地等處之地表破裂現象的雷式剪裂（Riedel shear），最大水平方向主應力方位存在差異（Hsu, *et al.*, 2024），而利吉斷層上盤相對下盤的水平位移速率約 13 公厘/年，利吉斷層水平變動速率僅約池上斷層一半（Chen *et al.*, 2013；陳文山等，2014），本文參考上述 2022 年 0917 關山地震野外調查資料與地表觀測水平速度場差異，將池上斷層與利吉斷層分段於臺東新良一帶（陳文山等，2014；Hsu, *et al.*, 2024）。

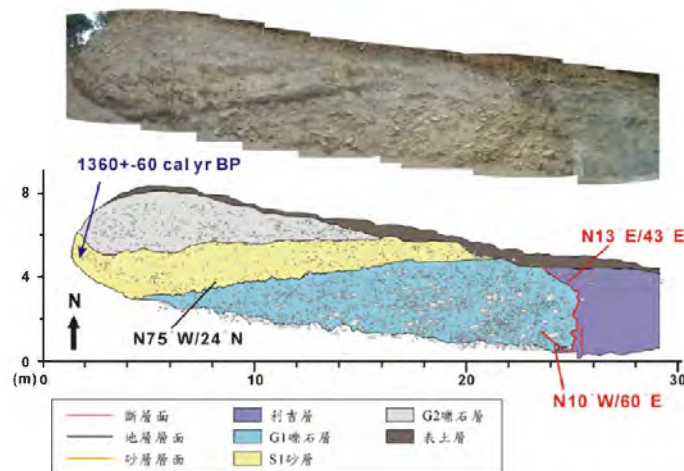


圖10 新良地區槽溝開挖剖面（陳文山等，2006）。

2. 地殼變形觀測

臺東地區水平三角網測量結果，海岸山脈相對卑南山為向北移動，因此利吉斷層具逆移兼具左移特性（Yu and Lee, 1986），由 1992~1999 年間全球定位系統（Global Positioning System, GPS）資料，分析斷層兩側的水平位移速率約 8.7 公厘/年（Yu and Kuo, 2001），山里地區變動較大的位置在卑南山礫岩層中。

解算 2015 年 4 月至 2020 年 10 月之歐洲哨兵一號（Sentinel-1）A 與 B 衛星之雷達影像（圖 11），其升軌與降軌視衛星方向（Line Of Sight, LOS）速度近乎反向，反應跨利吉斷層在間震期之地表變形以水平方向為主（景國恩等，2020）。因 2013 年瑞穗地震與 2018 年花蓮地震，將速度場區分為 2002~2013 年、2013~2018 年以及 2018~2021 年等 3 個時間段估算，2002~2013 年與 2013~2018 年相對於 S01R 測站，利吉斷層兩側約有 10-20 公厘/年水平速度差；垂直方向速度場利吉斷層兩側垂直速度差約 5 公厘/年。

東成至富岡水準測線在 2009 至 2023 年間，共進行 16 次施測（圖 12）。以 2013 年瑞穗地震為分界（圖 13），2009~2013 年利吉斷層兩側垂直速度變化量差異每年約 8 公厘；2013~2023 年利吉斷層兩側垂直速度變化量差異每年約為 6 公厘（景國恩等，2022；莊昀叡等，2023）。

2022 年 0917 關山地震與 0918 池上地震前後分析歐洲哨兵一號（Sentinel-1）同震衛星干涉影像，成果顯示利吉斷層沿線產生 2 圈相位差（陳建良等，2022；顏君毅等，2022）。衛星導航系統（Global Navigation Satellite System, GNSS）連續站觀測資料顯示（圖 14 與圖 15），0917 關山地震同震垂直位移量最大為關山測站（KUA2）往南南西水平位移約 17.1 公分，垂直抬升 10.2 公分，而最大水平位移為利吉斷層東側的二層坪站（ERP），往西北西水平位移 20 公分，垂直下降約 3 公分；西側的龍田測站（LONT），往西北西水平位移 3.2，垂直下降約 1 公分，同震位移資料顯示 0917 關山地震以左移地殼變形為主（陳建良等，2022；景國恩等，2022；莊昀叡等，2023）。最後，比較地震前後東成至富岡水準測線施測之結果顯示，利吉斷層兩側並無顯著地殼變形（陳建良等，2022），大地測量觀測資料與地震後野外地質調查相符（劉彥求等，2022）。

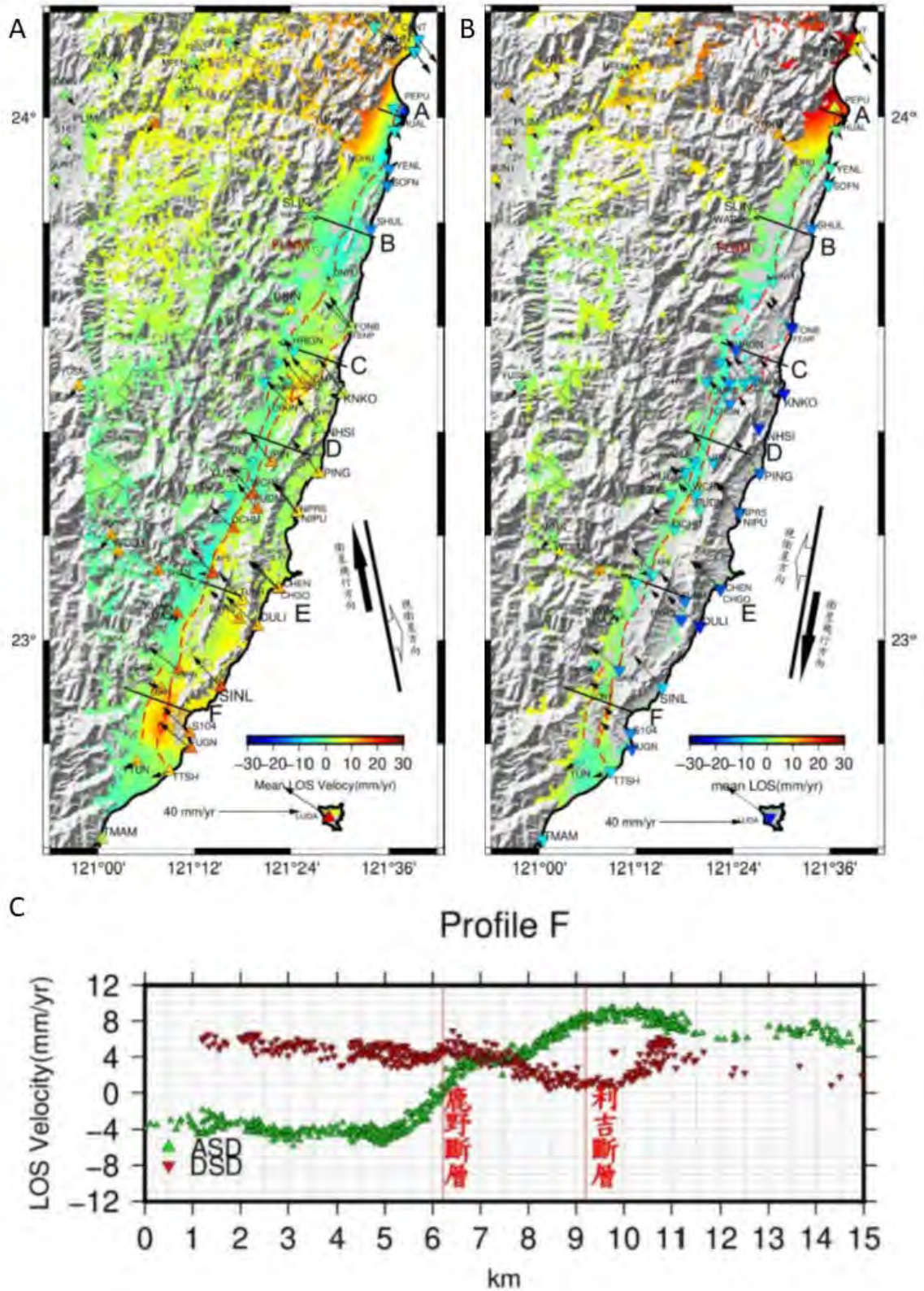


圖 11 2015 年 4 月至 2020 年 10 月歐洲哨兵一號雷達影像解算結果，視衛星方向上年平均變動量暖色系代表地表變形沿視衛星方向靠近，反之，代表遠離；參考點為 GNSS 連續站 FLNM（引用自景國恩等，2020）。（A）升軌影像；（B）降軌影像；（C）平均視衛星方向速度場剖面，綠色三角形為升軌，紅色三角形為降軌。

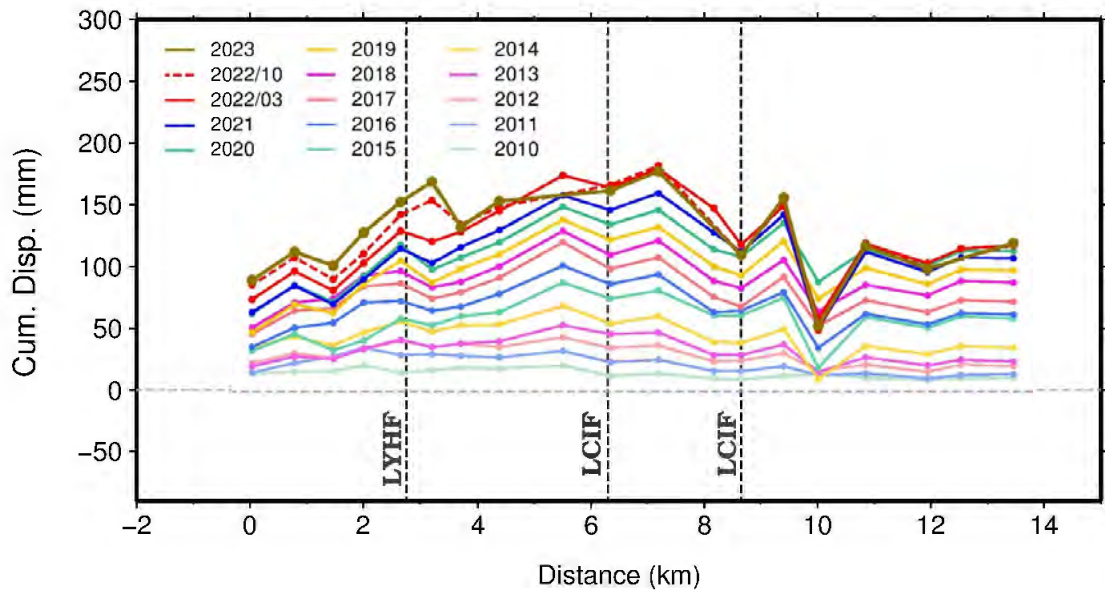


圖 12 東成至富岡測線累積高程差（引用自莊昀叡等，2023）。虛線為 2022 年關山地震與池上地震後量測之數據，橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離，垂直虛線標示位置：LYHF 為鹿野斷層、LCIF 為利吉斷層。

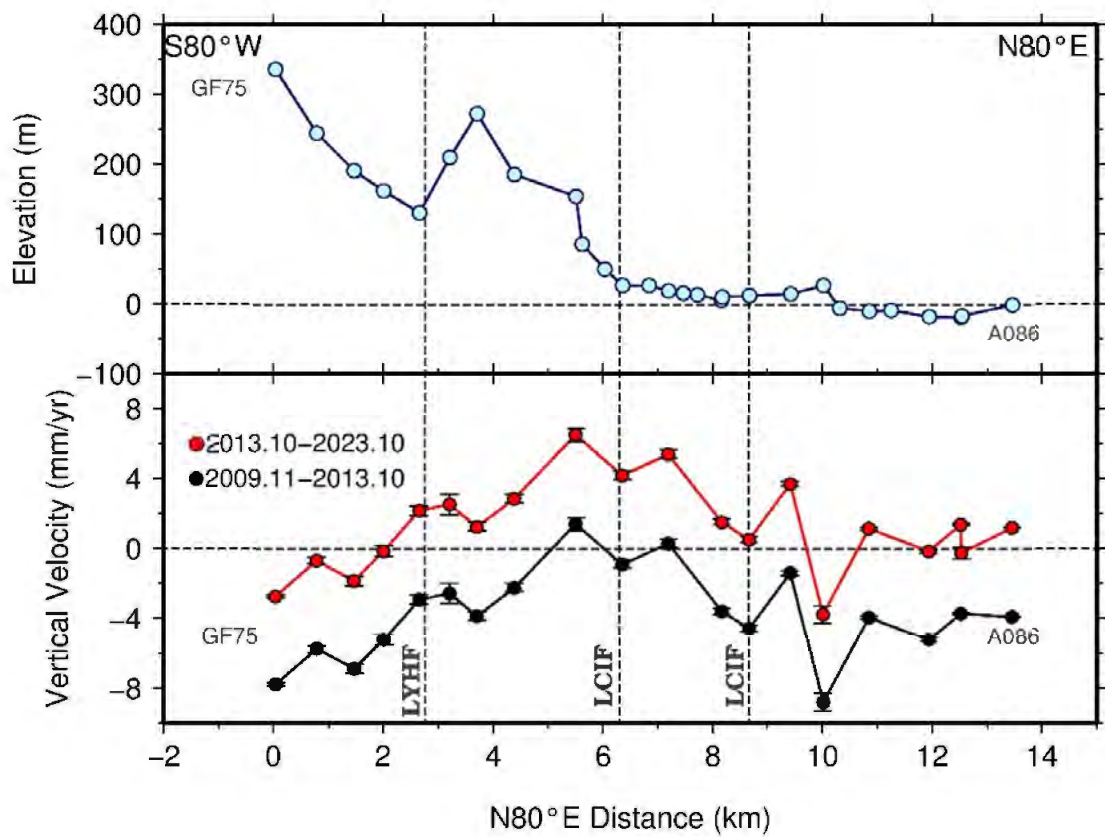


圖 13 東成至富岡測線高程變化與各時間分段之水準平均抬升速率圖（引用自莊昀叡等，2023）。

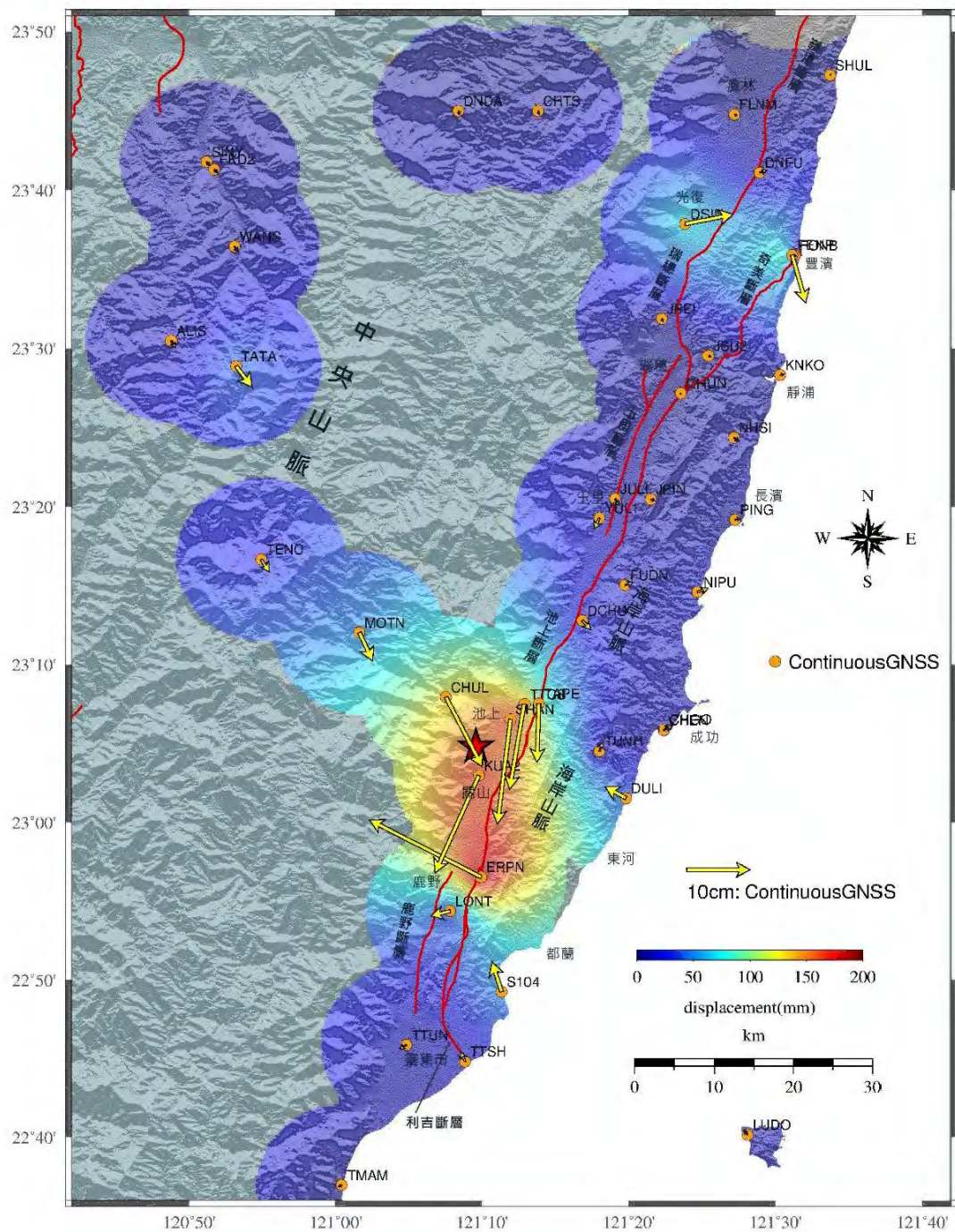


圖 14 2022 年 0917 關山地震衛星導航系統連續觀測站水平方向同震位移分布圖（引用自陳建良等，2022）。箭頭代表水平位移方向、長度為量值，彩色色階顯示等值化之成果，觀測時間為 2022 年 9 月 10 日至 9 月 18 日池上地震前。

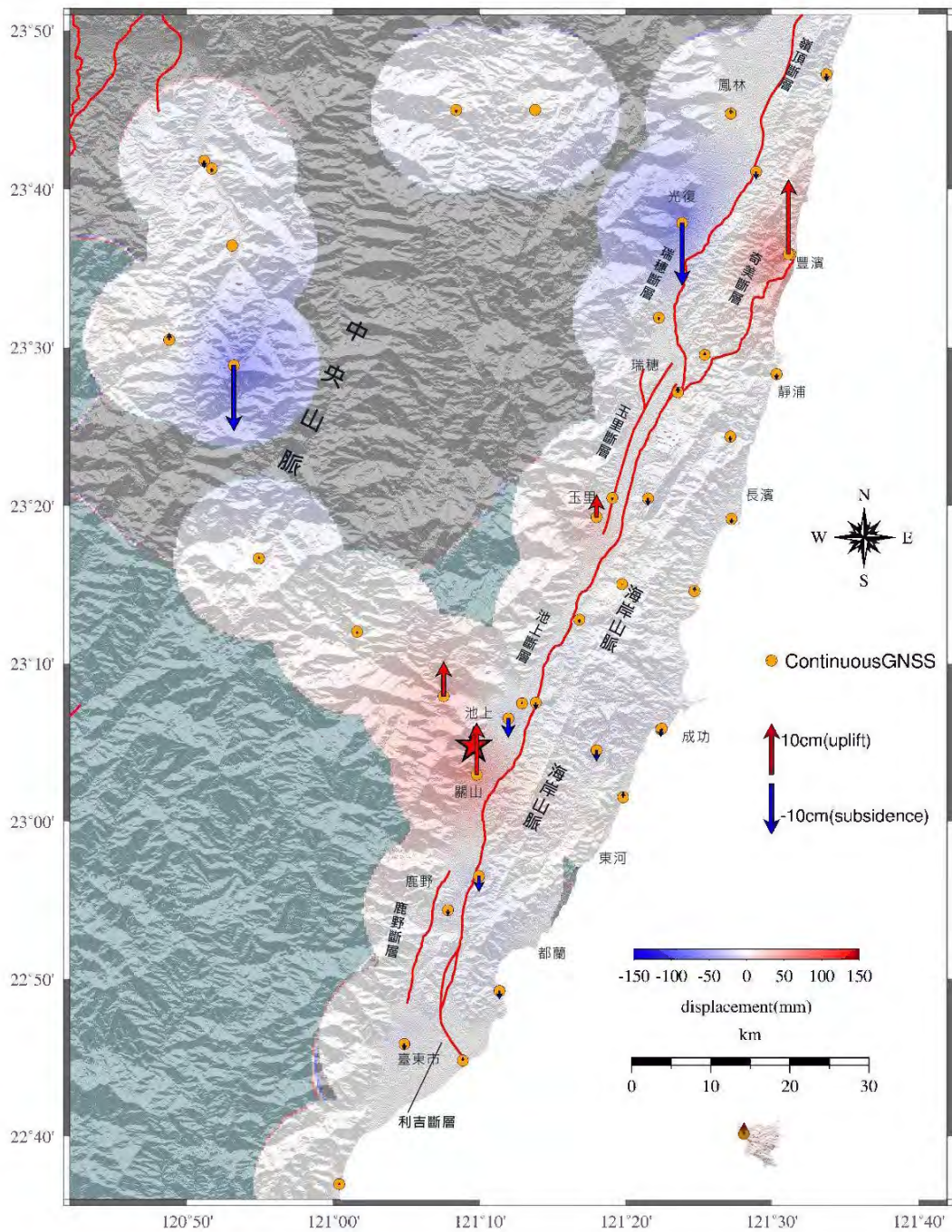


圖 15 2022 年 0917 關山地震衛星導航系統連續觀測站垂直方向同震位移分布圖（引用自陳建良等，2022）。箭頭代表垂直位移方向、長度為量值，觀測時間為 2022 年 9 月 10 日至 9 月 18 日池上地震前。

四、總結與評估

利吉斷層分隔東側（上盤）利吉層與西側卑南山礫岩，為兼具左移分量的逆移斷層。透過大地測量資料，震間地殼變形運動以水平為主，位移速率約 20 公厘/年，主要為利吉斷層造成的變形。由槽溝開挖與地質井資料顯示利吉斷層在全新世以後確實有活動現象，且在 2022 年關山地震沿利吉斷層也有地表破裂現象，改列為第一類活動斷層。

參考文獻

- 大江二郎（1939）臺東圖幅及說明書，比例尺十萬分之一。臺灣總督府殖產局出版，第 861 號。
- 林啓文、石瑞銓、林燕慧（2004）臺東縱谷南段的活動斷層特性研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 15 號，第 161-174。
- 林啓文、陳文山、劉彥求、陳柏村（2009）臺灣東部與南部的活動斷層。經濟部中央地質調查所特刊，第23號，共178頁。
- 林朝棨（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。
- 莊昀叡、景國恩、張午龍、陳宏宇、李易叡、莊怡蓉、邵國士（2023）重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估-第二階段（1/3），共 393 頁。
- 梁勝雄、劉彥求、陳盈璇、黃志遠（2022）池上斷層南段—因 0917 關山地震造成的地表破裂跡。地質，第 41 卷，第 3-4 期，第 41-45 頁。
- 景國恩、胡植慶、陳宏宇、張午龍、鄭凱謙、莊昀叡（2020）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計總報告。經濟部中央地質調查所研究報告，計畫編號：109-5226904000-05-01，共 365 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、王源（1996）臺灣東部海岸山脈地質。經濟部中央地質調查所出版，共101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，共 30 頁。
- 陳文山、林益正、顏一勤、楊志成、紀權宥、黃能偉、林啓文、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。
- 陳文山、游能梯、楊小青（2014）重要活動斷層構造特性調查研究計畫-斷層活動特性分析與評估總報告。經濟部中央地質調查所研究報告，計畫編號：103-5226904000-01-03，共 189 頁。
- 陳江鑫、景國恩、饒瑞鈞、胡植慶、鄭凱謙、張午龍、莊昀叡、陳建良、陳鶴欽（2018），利用 GNSS 與精密水準資料解析臺灣地區 2002 年至 2017 年之地表變形型態，經濟部中央地質調查所特刊，第 33 號，第 157-178 頁。
- 陳建良、梁勝雄、梁均合、陳盈璇（2022）20220917 關山地震、0918 池上地震 地質調查報告-第二部分：大地測量地表變形觀測結果，經濟部中央地質調查所調查報告，共 48 頁。
- 董倫道、陳文山、李奕亨（2006）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（5/5）。經濟部中央地質調查所報告第 95-09 號，共 221 頁。
- 劉彥求、林燕慧、梁勝雄、周稟珊、陳盈璇、李忠勳、陳建良、石同生、王怡方，2022。20220917 關山地震、0918 池上地震地質調查報告，經濟部中央地質調查所，共 78 頁。
- 黎明工程顧問有限公司（2022）110-111 年活動斷層地下地質探查（2/2）。經濟部中央地質調查所報告（計畫編號：B11128），共 130 頁。
- 黎明工程顧問有限公司（2023）112-113 年活動斷層地下地質探查（1/2）。經濟部地質調查及礦業管理中心（計畫編號：B11241），共 138 頁。
- Bonilla, M.G. (1975) A review of recently active faults in Taiwan. *Open File Report 75-41, U.S. Geol. Surv. Menlo park, California.* 58pp.
- Hsu, T.L. (1956) Geology of the Coastal Range, eastern Taiwan. *Bull. Geol. Surv. Taiwan* 8, p.39-64.
- Hsu, T.L. (1976) Neotectonics of the Longitudinal Valley, eastern Taiwan. *Bull. Geol. Surv. Taiwan* 25, p.53-62.
- Hsu, Y. C., Chang, C. P., Yen, I C., Huang, S. Y., Yen, J. Y. (2024) Investigating the

- structure under the Pingting Terrace from the co-seismic surface rupture of the 2022 Guanshan earthquake. *TAO*, 35(3). doi.org/10.1007/s44195-024-00061-x
- Kuo Chen, H., Wu, Y.M., Chang, C.H., Hu, J.C. and Chen, W.S. (2004) Relocation of eastern Taiwan earthquake and tectonic implications. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.* 15, p.647-666.
- Kuo Chen, H., F. T. Wu, and S. W. Roecker (2012) Three-Dimensional P Velocity Structures of the Lithosphere Beneath Taiwan from the Analysis of TAIGER and Related Seismic Data sets, *JGR*, doi:10.1029/2011JB009108
- Yu, S.B. and Lee, C.C. (1986) Geodetic measurement of horizontal crustal deformation in eastern Taiwan. *Tectonophysics* 125, p.73-85.