

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(4/4)

Investigation of Important Active Faults, the Characteristics of Fault Structure.

The Analyze and Estimate of Fault Active (4/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所

陳文山 1

游能悌 2

楊小青 3

Chen, Wen-Shan1

Yu, Neng-Ti2

Yang, Hsiao-Ching3

1 國立臺灣大學地質系

2 國立新竹教育大學應用科學系

3 國立臺東史前文化博物館

摘要

本年度(103年度)研究主題針對利吉斷層與屯子腳斷層的「斷層活動特性分析與評估」,以及利吉斷層與恆春斷層的「活動斷層的精確位置」調查。

「活動斷層的精確位置」已完成利吉斷層與恆春斷層的 e-GPS 量測;其中恆春斷層斷層跡最明確的位置介於四重溪至海口之間區域,位於階地前緣處,誤差範圍在 20 公尺以內,此區之外的斷層跡則位於山麓與恆春谷地平原的交匯處。利吉斷層的斷層跡大多位在卑南大溪的河床中,所以無法準確的確定其位置;僅能由數處斷層露頭以及在岩灣階地的鑽井來確定斷層跡位置,這些地點的量測誤差約在 50 公尺。

「斷層活動特性分析與評估」針對屯子腳斷層進行的調查,完成一處古地震槽溝挖掘,由於只發現 1935 年的古地震,所以無法估算屯子腳斷層的活動週期與長期活動速率。此外,本研究利用鑽井以及海階年代來估算恆春斷層與利吉斷層的抬升速率,分別為 5.0 ± 1.2 mm/yr 與 13.1 ± 1.4 mm/yr。同時利用鑽井岩芯的剪切面傾角,以及地震震源分布與震源機制,推測恆春斷層與利吉斷層的斷層面傾角分別為 55° 與 50° ;再依據斷層面傾角估算斷層的滑移速率分別為 6.1 ± 1.5 mm/yr 與 17.1 ± 1.8 mm/yr。

關鍵詞：活動斷層、斷層跡、古地震、利吉斷層、恆春斷層、屯子腳斷層

Abstract

The goal of our project is to investigate the precise measurement (Real Time Kinematic measurement) for fault trace of Lichi fault and Hengchun fault and to understand fault behavior for considering in deformation characteristics of the Hengchun fault and Lichi fault. The study drilled well of 3 sites and the whole borehole length of 497.6 m along the Lichi fault which focus on the investigation of fault trace, and a paleoseismic trenched site excavated along the Tuntzuchiaio fault. The paleoseismic study of the Tuntzuchiaio fault shows the 1935 Taichung earthquake deformation.

According to the results from seismicity distribution, focal mechanism solutions or the shearing zones dip within the boreholes, it shows that the dip of Hengchun fault is about 55° and Lichi fault is about 50° , respectively. The results from the ^{14}C dating data and the uplifted marine terraces reveal the uplifted rate of 5.0 ± 1.2 mm/yr and 13.1 ± 1.4 mm/yr on the hanging wall of the Hengchun fault and Lichi fault. Based on the fault plane dip, we estimate the Holocene slip rate of the Hengchun fault and Lichi fault to be 6.1 ± 1.5 mm/yr and 17.1 ± 1.8 mm/yr, respectively.

Keywords : active fault, fault trace, paleoseismic, Lichi fault, Hengchun fault, Tuntzuchiaio fault,

一、前言

本年度(103年度)「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(4/4)」,研究目標針對利吉斷層與屯子腳斷層的「斷層活動特性分析與評估」,以及利吉斷層與恆春斷層的「活動斷層的精確位置」調查。

利吉斷層與屯子腳斷層的調查目的是「斷層活動特性分析與評估」,為獲得斷層活動參數,因而利用地質剖面、槽溝挖掘,或淺層鑽探等方式進行調查。調查進行地質剖面或槽溝挖掘剖面長度至少 20 公尺,或以總深 80 公尺之排鑽取代,而淺層鑽探則需 5-10 孔鑽井,總井深度 450 公尺。

另外,「活動斷層的精確位置」以調查利吉斷層與恆春斷層為目標,進行斷層精確位置的調查與測繪,考量本研究成果將應用於地質敏感區劃設,故工作內容係斷層跡精確位置調查與收集既有資料,於缺乏資料處補充地下調查,並將斷層精確位置繪於五千分之一比例尺的地形底圖,並依調查資料分段評估斷層跡的可能範圍。計畫內容已完成恆春斷層野外調查與量測,利吉斷層也已完成野外調查與斷層跡量測,並選取三處鑽探剖面位置,分別為 LZ1:臺東車站, LZ2:岩灣國小及臺東車站機廠,及 LZ3:臺東監獄岩灣技能訓練所(岩灣技訓所),共已完成 10 孔鑽井,總計 497.6 公尺的鑽探與紀錄,並收集利吉斷層沿線之鑽井資料。

一、斷層活動特性分析與評估

2.1 屯子腳斷層

屯子腳斷層於 1935 年 4 月 21 日新竹—台中烈震(規模為 7.1 級,震央位於台中市北北東 30 公里大安溪中游;120°49'E, 24°21'N)時形成的地震斷層,為一右向平移斷層,走向 N67°E。依據不同資料來源,認為當日有兩個地震發生(表 2-1;青木元,1935)。從許小官(1935)與青木元(1935;表 2-1)收集資料的分析,屯子腳斷層應是第一次地震產生的地表破裂,地震規模 M 7.1,震央在鯉魚潭;獅潭斷層(紙湖地震斷層)是第二次地震產生的地震斷層,地震規模 M 6.1,

震央在紙湖附近。

表 2-1 新竹—台中烈震系列地震（許小官，1935；青木元，1935）。

	第一震	第二震
時間	1935 年 4 月 21 日早上 6 點 02 分	1935 年 4 月 21 日早上 6 點 26 分
震央(許小官, 1935)	120°49'E, 24°21'N (鯉魚潭)	根據第一震震源位置往北東約 35 公里 (紙湖附近)
震央(中央氣象局)	120°8'E, 24°3'N	
地震規模	M 7.1	M 6.1
斷層性質	右移斷層，呈 N67°E 走向	逆斷層，呈 N23°E 走向

屯子腳斷層的斷層跡北自后里台地泰安車站附近起始，向西南西方向延伸，經后里、內埔（屯子腳），越過大甲溪至大肚台地北段清泉崗結束，長達 12 公里。斷層跡破裂形態以后里為界，東北側地震斷層區段為西北側為上升側（長約 1 公里）；西南側斷層區段為東南側為上升，最大垂直位移量 1-0.6 公尺，最大右移水平量 1.5-2 公尺，沿此斷層帶出現略呈東西走向的雁行排列裂隙或小斷層，斷層所經過岩層均為晚更新世紅土台地礫石層或現代沖積層（大塚彌之助，1936；大江二郎，1936；顏滄波，1985；圖 2-1）。

石再添等（1983）認為此斷層於后里台地的長度約 7 公里，由於變位量較小，經數十年的侵蝕和耕作後，大部分難覓其痕跡，唯在后里車站東北方 1 公里處的屯子腳沖積扇頂部份發現 500 公尺長的反斜斷層崖，沖積扇下游的地勢較上游高約 1 公尺，據民眾表示為 1935 年地震所形成。

潘國樑等（1983）在斷層沿線的枕頭山及十分兩地發現疑似斷層露頭：枕頭山在地形上呈現兩階的台地，第一階海拔 300-338 公尺與第二階海拔 385-405 公尺，高差約 55-60 公尺，呈 N50°E 走向。依據航照判釋，推測此台地崖為屯子腳斷層出露的斷層崖；十分附近有一南北長約 400 公尺，東西寬約 200 公尺崩塌地，係 1935 年發生地震時所形成。目前在十分產業道路南側山坡，仍遺留當時因岩層滑動造成的殘岩斷塊，突立於緩斜坡上，形成小山丘。潘國樑等（1983）依航照判釋，認為屯子腳地震斷層經過枕頭山，似沿著關刀山主峰西南向支稜的東南側山腰，切過十分古崩塌地冠部附近，並越過十分北邊呈西北走向山稜，向東北方向延展，最後或可與獅潭地震斷層連接。

潘國樑（1985）利用水平電探，於神岡地區測得呈 N60°-70°E 的線性低電

阻異常分布現象，研判為屯子腳斷層通過處。藉由地球物理調查，無論是淺層反射震測或地電阻測量結果（董倫道等，2005），皆顯示屯子腳為一平移斷層，斷層帶寬達數百公尺，具開花狀構造。

綜合以上所述，此斷層主要為水平橫移活動，具小分量的垂直錯移。為求取斷層水平位移參數，需有可追蹤的地形或指準層於水平方向形成錯移，及配合定年資料，才能求得水平滑移速率。由於斷層主要位於后里及大肚台地，淺層地層廣泛分布的厚層晚更新世紅土台地礫石層（張憲卿，1994；陳文山，2013），缺乏良好地表地形及指準層以量取水平錯移量，亦難以獲得定年材料，因此斷層活動參數取得極為困難。

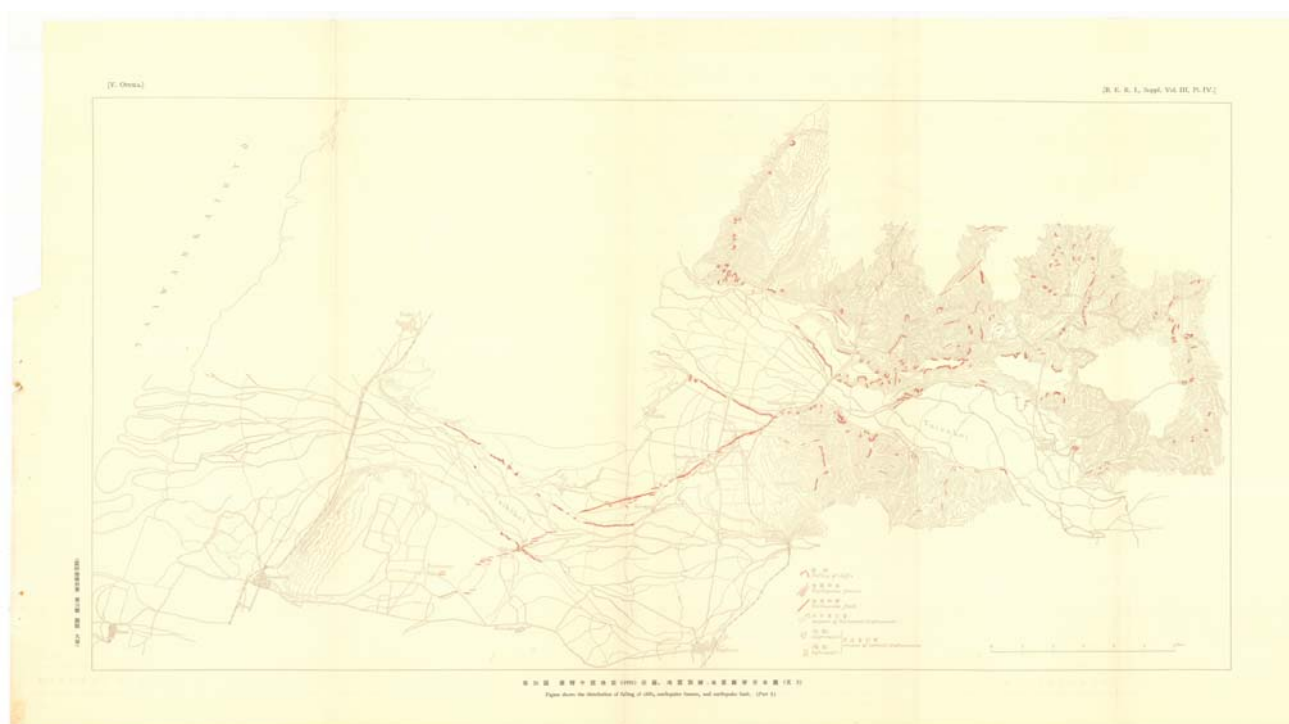
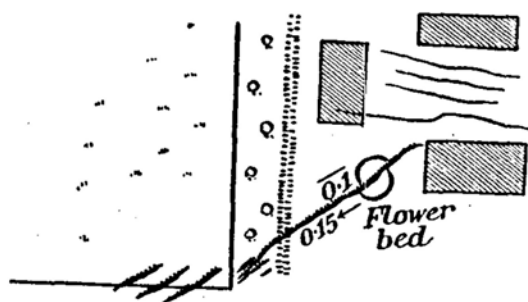


圖 2-1、臺灣中部地震（1935）崖崩、地震裂隙、屯子腳地震斷層分布圖（大塚彌之助，1936）。

依大塚彌之助（1936）調查紀錄，地震當時在后里公學校（舊后里國中）內產生地表破裂，並造成圓形花圃受水平錯移，水平右移 15 公分，北側上升 10 公分（圖 2-2）。本研究於現地調查發現舊后里國中校區及西側區域有一明顯的崖坡地形，此崖坡呈東北東—西南西走向，崖高約 7 公尺，但此校區已經人為修整形成東西向崖坡。經現地勘察認為在校區內西側圍牆旁的空地，可能受人為擾

動較不明顯，還保存崖坡的地形，此崖亦可以沿伸至校外的私人停車場，但停車場也已經人為開挖而擾動。因此在西側圍牆的崖坡前緣進行一處長約 29 公尺之古地震槽溝挖掘，槽溝走向 N10°W，挖掘 2 階，深度 3.5-4.5 公尺（舊后里國中槽溝；圖 2-3）。



第 19 圖 屯子脚地震斷層（屯子脚公學校）

Tonsikyaku earthquake cut the ground of Tonsikyaku public school. Numeral under a line shows amount of depression. Numeral with arrows shows amount of horizontal displacement.

圖 2-2、舊后里國中（后里公學校）於 1935 年地震時，圓形花圃遭地表破裂水平錯移（大塚彌之助，1936）。



圖 2-3、舊后里國中槽溝位置圖及數化地形圖，左圖為槽溝位置圖（TWD97），橘框為數化地形圖範圍；右圖為槽溝數化地形圖。紅框為槽溝範圍，藍色實線與虛線為崖坡位置。

調查結果顯示，舊后里國中的古地震槽溝，於最下層的 SG 層夾礫砂層在崖坡下形成 25°-30°的傾斜，顯示砂層堆積後受構造影響而產生傾動(圖 2-4, 2-5)。由於 SG 層屬於近代沉積層，所以研判此變形應是 1935 年臺中地震所造成。本次槽溝調查僅發現 1935 年之地震，並未發現之前的地震活動，無法得知屯子腳斷層長期的變動量，因此現階段尚無法評估屯子腳斷層的長期滑移速率。

另外，之前對於 1935 年 4 月 21 日新竹－台中烈震的認知有兩種，一者認為僅一個主震(M7.1)，震央位於關刀山地區，另一者認為還有另一餘震(M6.1)，位於紙湖附近。本研究從 1935 年地震斷層性質與震源分布分析，認為應為兩個地震各產生屯子腳與獅潭斷層（紙湖地震斷層）的地表破裂（表 2-1），並非一個地震產生兩處地震斷層。

1935 年地震規模 M7.1 造成地表斷層的長度僅有 12 公里，從地震規模與斷層長度來看似乎不太吻合。從屯子腳斷層的斷層跡位置，其東側端點止於后里斷層（三義斷層支斷層），地表斷層未截切后里斷層。

本研究認為后里斷層是現今還活動的逆斷層，而 1935 年地震造成屯子腳斷層活動的震源（深度約 13 公里）位於后里斷層東側。因此，推測屯子腳斷層於地表斷層跡東側的端點可再朝東北延伸至震源區（甚至繼續朝東北延展），斷層破裂帶應位在后里斷層脫滑面之下，沒有截切上方的后里斷層，以致於后里斷層以東區域的地表在 1935 年地震時沒有發現地震斷層跡。



圖 2-4、舊后里國中槽溝西牆，SG 層與 G1 層傾動變形，朝西拍攝。

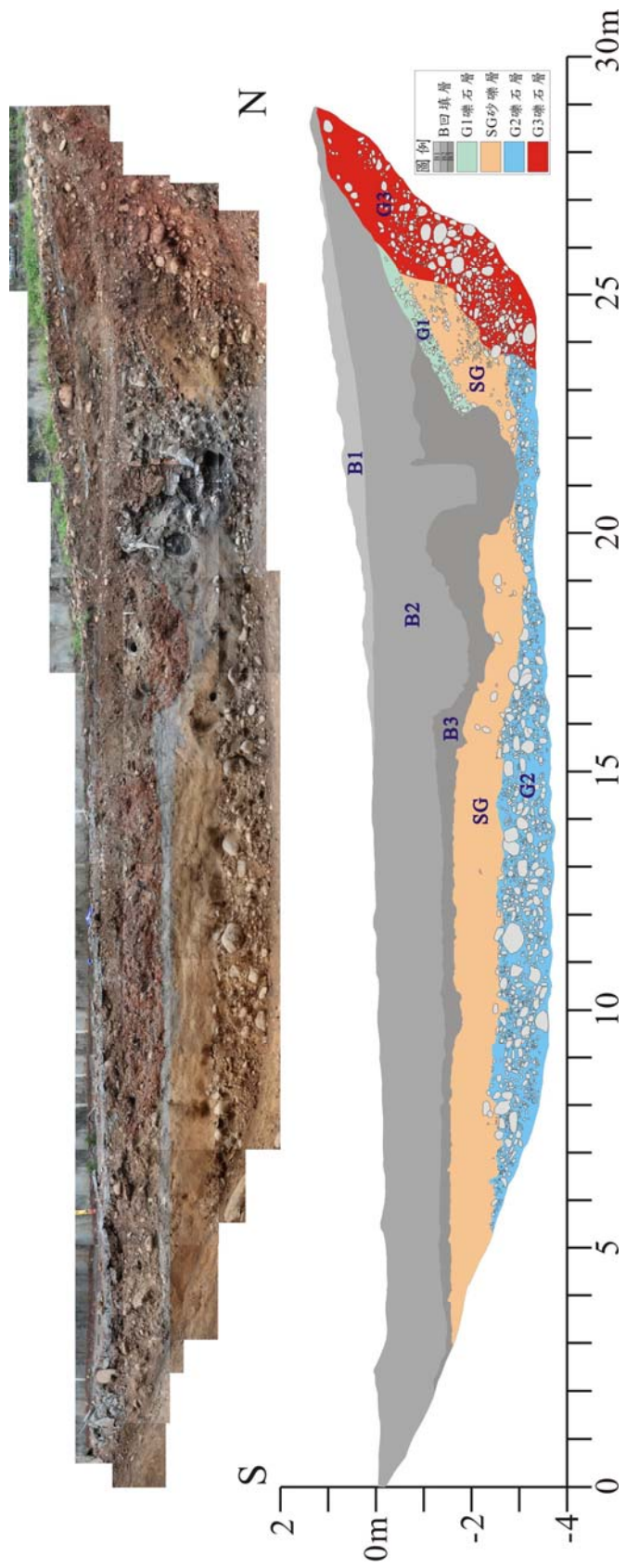


圖 2-5、舊后里國中槽溝西牆剖面。

2.2 恆春斷層

恆春半島位在中央山脈最南端，大地構造環境視為中央山脈的雛型，被認為是南中國海海板塊向東隱沒至菲律賓海板塊形成的增積岩體（陳文山等，1985；Lundberg *et al.*, 1992）。從南側海域的反射震測顯示恆春半島向南延伸至巴士海峽，形成一道南北走向的海脊，其西側為一系列斷層面朝東傾、向西逆衝的逆斷層；其東側為斷層面朝西傾、向東逆衝的逆斷層。這一系列疊瓦狀向東與向西的逆斷層構成了隱沒帶前緣的增積岩體，此海域的地體構造環境位於臺灣造山帶最南端，代表西部褶皺－逆衝斷層帶的大地構造雛型（Yu and Lu, 1995）。

陸域上，恆春半島中同樣存在一系列向西逆衝的疊瓦狀逆斷層，與高屏地區西側海域中的逆斷層構造型態可相比對，由東向西的主要逆斷層有滿洲斷層、大梅斷層與恆春斷層，其中以恆春斷層錯距最大，為脊樑山脈（中新世）與西部麓山帶（上－更新世）的界限斷層（圖 2-6）。

地形顯示恆春斷層西側屬於平坦的恆春谷地，谷地西側為向東傾斜的恆春西台地；斷層東側屬於脊樑山脈。過去數十年來的地質調查，從未有文獻記載恆春斷層的地表露頭，以往都藉由地形以及兩側岩層差異作為斷層界定的依據，推測斷層跡分布應鄰近於山麓與平原的交匯處，而近年來的鑽井調查，亦顯示恆春斷層近地表位置確實位在山麓前緣。依照地形特徵及地層分布，研判斷層走向約 N20°W。

本研究利用楓港、海口、統埔與南灣地區的鑽井岩芯與海階的研究（圖 2-7）討論以下二項目標；一、全新世以來，恆春斷層的長期垂直變動速率。二、恆春斷層朝北的延伸範圍。

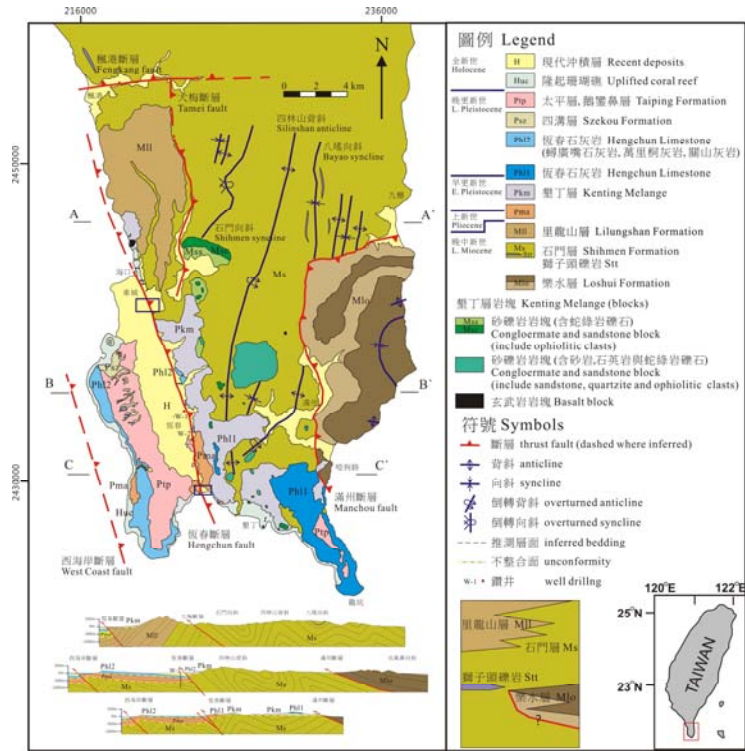


圖 2-6、恆春半島地質圖（陳文山等，2005a）

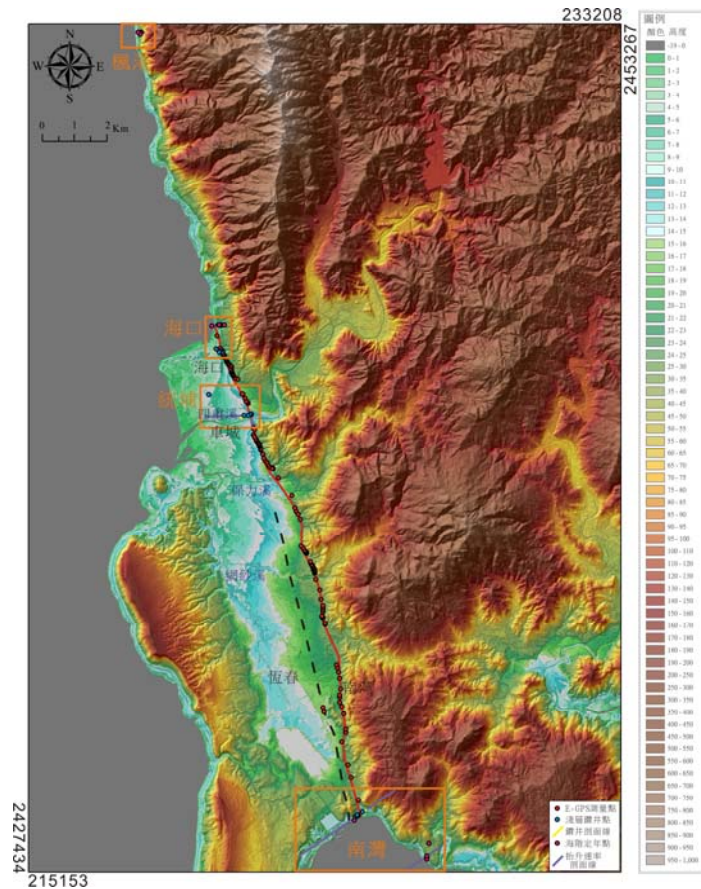


圖 2-7、恆春半島鑽井岩芯與海階研究區域圖，橘框為鑽井與海階研究區域。

本研究從海口與南灣區域，恆春斷層兩側鑽井與海階地形、碳十四定年與沉積環境研究，獲得兩區域斷層上下盤地塊的抬升速率，由相鄰地塊的速率差可表示斷層的垂直滑移速率，抬升速率各為 4.1 ± 1.2 mm/yr 與 5.7 ± 1.2 mm/yr，平均抬升速率為 5.0 ± 1.2 mm/yr。

至於沿斷層面滑移速率 (slip rate) 為何，還必須依據斷層角度來估算，但目前尚未有任何研究表示恆春斷層朝東傾斜面的角度。若依據淺層鑽井的墾丁層中密集剪切面傾角分析，可能是目前唯一可以獲得斷層近地表的滑移面傾角。

本研究在海口、統埔與南灣地區有諸多鄰近恆春斷層的鑽井曾鑽至墾丁層 (或斷層帶) 或其它更新世岩層中的剪切帶都，岩芯中的剪切構造大都具有一致的傾向，與墾丁層中零亂不一致的剪切面 (黃奇瑜等, 1985) 有很大的差異。本研究認為鄰近斷層的墾丁層與更新世岩層應受到後期斷層作用所影響，形成與淺層斷層面傾向與傾角相似的剪切面，所以利用這些構造應可代表淺部恆春斷層或近期活動斷層的斷層面傾角，並可依此估算斷層滑移速率。

從海口 1 號與 2 號井，四重溪 1 號至 4 號井及南灣 1 號至 6 號井的剪切面傾角分析，主要角度在 $45-65^\circ$ 之間，本研究以 55° 作為估算恆春斷層的滑移速率，約 6.1 ± 1.5 mm/yr (圖 2-8)。

本研究在統埔剖面獲得上盤的抬升速率僅 1.3 ± 0.7 mm/yr，遠小於楓港 (3.4 ± 0.4 mm/yr)、海口 (4.1 ± 0.7 mm/yr) 與南灣 (5.6 ± 0.8 mm/yr) 等地區。從鑽井場址東側斷層崖 (山腳橋) 地形研判，此崖線可能是近期斷層活動較活躍位置，只是上盤區域沒有形成階地，其活動速率應與南北兩側的南灣與海口區域相近。(圖 2-9 ~圖 2-10)

近年來，作者針對屬於泥岩地區的活動斷層調查，發現許多全新世最活躍的活動斷層，並不位在主斷層帶，而是在上盤當中的支斷層；主斷層帶常呈現不活動狀態，被全新世沖積層覆蓋。恆春斷層同樣呈現這種現象，從海口、統埔與南灣地區的鑽井岩芯都可以發現斷層崖下盤的岩芯中無論在數十公尺或至數百

公尺的深度都還有墾丁層或石門層（陳柏村與紀權睿，2010）；晚更新世以來最活躍的斷層位置已後退至主斷層東側上盤中，如統埔、恆春鎮南側柴榔山或南灣核三廠的全新世活動斷層（支斷層）下盤都呈現寬大的剪切帶，而恆春斷層（主斷層）位在其西側。

恆春斷層是南中國海海洋地殼隱沒產生的增積岩體中最東側的朝西逆衝斷層，除了出露在恆春半島上，於海域斷層跡的延伸位置為何？尤其朝北延伸時是否與同樣位於中央山脈前緣的潮州斷層連接，這是長久以來討論的問題，但仍未有確切證據可以說明兩者的關係。

本研究利用隆起珊瑚礁的定年，分析恆春斷層在全新世的活動性，從上述幾個區域的研究結果，顯示全新世隆起珊瑚礁的最北地點僅分布至楓港，往北區域不再出露珊瑚礁階地或海相沉積層，據此證明恆春斷層應該僅延展至楓港外海。此外，從屏東平原東側中央山脈山麓前緣地形，似乎沒有形成任何全新世的海階或河階地形，河流剖面呈現 U 型河谷，呈現堆積型河谷特徵，顯示全新世以來潮州斷層的活動性不高（陳文山等，2005b）。

本研究認為全新世以來具如此高活動性的恆春斷層應僅延伸至楓港外海，與潮州斷層應無法連接，不屬於同一條斷層。

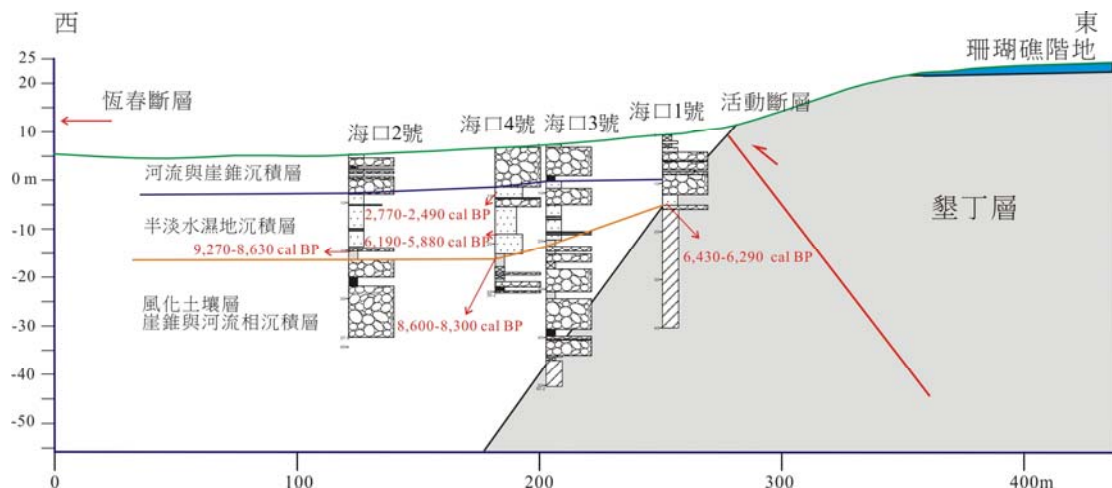


圖 2-8、海口區域斷層崖西側（斷層下盤）岩芯剖面。

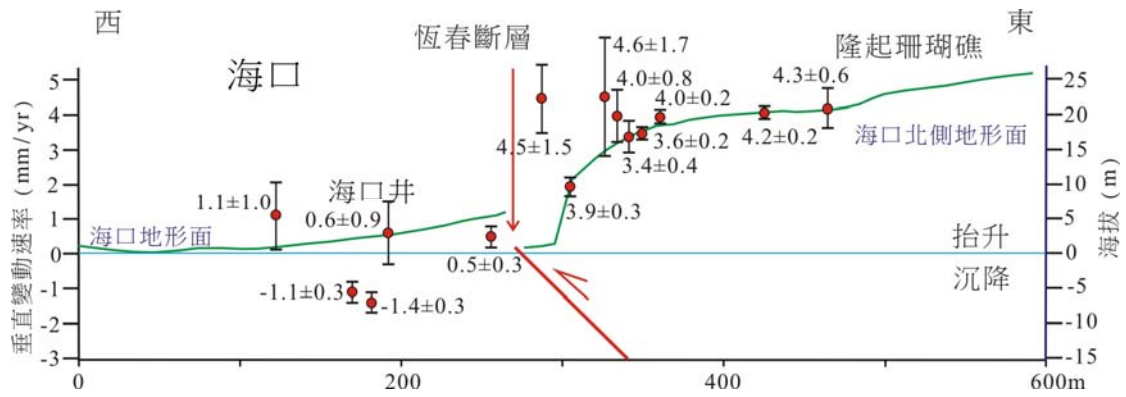


圖 2-9、海口地區恆春斷層上、下盤的長期垂直抬升速率。綠線為地表。

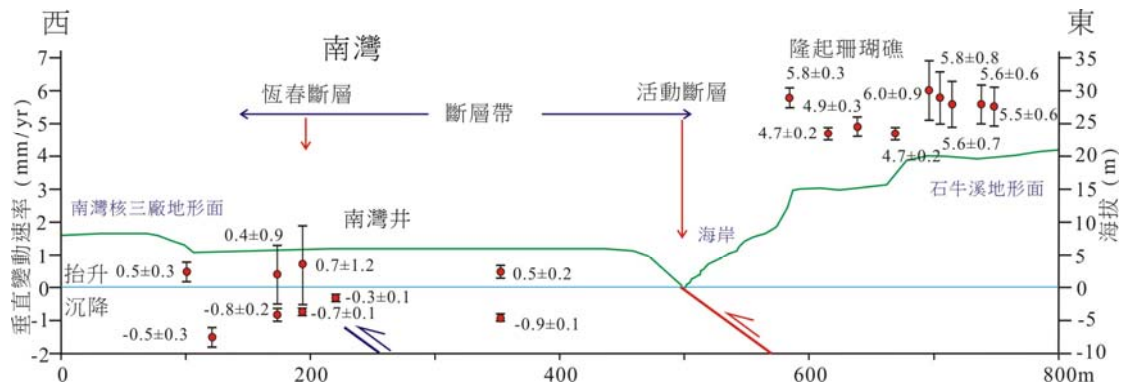


圖 2-10、南灣地區恆春斷層上、下盤的長期抬升速率。綠線為地表。

2.3 利吉斷層

縱谷斷層是中央山脈與海岸山脈的交界，也是歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的板塊邊界斷層。徐鐵良（1956）依據縱谷兩側地質特性差異及地形特徵，推測縱谷內存在一向西逆衝的「台東縱谷斷層」；畢慶昌（1965；Biq, 1965）稱為「海岸山脈斷層」，與西側的「中央山脈斷層」並稱。陳文山與王源（1996）則將海岸山脈西緣形成寬廣的逆衝斷層帶稱為「花東縱谷斷層帶」。之後，依據斷層活動特性，再將縱谷斷層分為四個區段，由北而南為嶺頂斷層、瑞穗斷層、池上斷層與利吉斷層（含鹿野斷層）。利吉斷層長約 20 公里，北起鸞山（瑞源河階南側）沿卑南大溪向南延伸，經山里至岩灣再轉為東南向，推測由太平溪出海（圖 2-11）。

本研究中利吉斷層的主要調查區域位於岩灣河階，原因為岩灣河階以北區域，利吉斷層的斷層跡大多位在卑南大溪河床中，而岩灣河階現已成為臺東市主

要開發區，且此區域斷層跡分布仍不清楚，為了地質敏感區的劃設，因此以此區域為調查對象。

從地形分析而言，岩灣河階上似乎沒有明顯的線型崖地形，且該地區於二十年前興建臺東新火車站，於車站與鐵道位置處都已遭擾動破壞。因此依據之前本團隊在此區域的鑽井岩芯（PN：卑南井）以及近期中興工程公司的鑽井岩芯（TT(RW)：臺東車站機廠井）來研判設定本計劃的預期井位。這些鑽井有鑽取利吉層的井有 PN01、PN02、PN03、TT(RW) 04、TT(RW) 05 等井。因此可判斷這些鑽井地點都位在利吉斷層上盤，所以本研究設定的井位都在上述井位的西側。

本研究在河階區域內共選取三個場址位，由北而南分別為；臺東監獄岩灣技能訓練所（LZ3-1、LZ3-2、LZ3-3），岩灣國小（LZ2-1、LZ2-2）以及臺東火車站（LZ1-1、LZ1-2、LZ1-3、LZ1-4、LZ1-5）。每處各有 2-5 孔鑽井，多數井深度為 50 公尺。

臺東火車站場址（LZ1）位於臺東鐵路車站南側，排鑽剖面橫跨鐵道，有三孔鑽井為 LZ1-1、LZ1-2、LZ1-3；以及另在車站前方空地設定兩孔鑽井為 LZ1-4、LZ1-5。岩灣國小場址（LZ2）位於岩灣國小及臺東火車站機廠，LZ2-1 井位在國小內，而 LZ2-2 井位在臺東火車站機廠內。臺東監獄岩灣技能訓練所場址（LZ3）位於岩灣階地西北端，排鑽剖面沿著岩灣技能訓練所北側圍牆旁道路布置（圖 4-7）。LZ1 與 LZ2 的鑽井場址西側 20-30 公尺為鐵道，而鐵道更西側即為卑南山礫岩所形成的臺地；LZ3 場址西側約 50 公尺處已有卑南山礫岩出露。

但，估算利吉斷層的滑移速率首先必須獲得長期抬升速率以及斷層面傾角，目前本研究利用利吉斷層上盤河階的年代以及河床面與階地面的比高來估算長期抬升速率。另外，本研究再利用此區域在近數十年以來的地震震源分布與震源機制，以及淺層鑽探岩芯的剪切面傾角推估利吉斷層在淺層斷層面傾角。

首先從前人研究本區域地震震源分布的結果 (Kuochen *et al.*, 2004, 2012 ; 圖 2-13) , 顯示利吉斷層在深度三十公里以上的傾角約五十多度朝東。另外, 本研究於岩灣地區進行 10 孔鑽井, 剪切面傾角於 Lz1-2、Lz1-4、Lz1-5、Lz3-1、Lz3-2 井都具 35°-45°及 55°-65°兩組剪切構造(圖 2-14, 2-15), LZ2-1 與 LZ2-2 井的剪切面傾角為 50°-60°, 顯示岩灣階地底下的剪切構造的主要傾角約 35°-65°。因此, 本研究由地震震源分布與淺層地層中的剪切面傾角, 認為近期活動的斷層面傾角約 50°。

本研究於利吉村河階取得一漂木, 碳十四年代為 1,050-760 cal BP, 河階岩盤面高度海拔 53 公尺, 相對現今河床比高為 15 公尺; 由此資料可獲得河流下切速率(比高/年代)為 17.0 ± 2.7 mm/yr。河流下切速率包括了河流的均夷作用與構造抬升作用共同產生的下蝕作用, 因此下切速率包含了均夷作用產生的下蝕速率與構造抬升速率, 只是愈下游河段的均夷作用產生的下蝕速率愈小, 但無論如何以河階比高與年代所估算的下切速率必大於構造抬升速率。因此, 本研究在利吉斷層上盤的利吉村河階所估算 17.0 ± 2.7 mm/yr 的下切速率必大於此地區利吉斷層造成的抬升速率。

另外, 位在利吉斷層上盤的富岡海岸形成了全新世隆起珊瑚礁, 之前本團隊在富岡與黑髮橋兩點, 分別在海階的珊瑚礁與沉積物中採集珊瑚與貝殼進行碳十四定年, 年代各為 4,820-3,320 cal BP 與 3,070-2,840 cal BP。富岡地區為珊瑚礁海階(碳十四定年 4,820-3,320 cal BP), 階地灘角(shoreline angle)高度為海拔 50 公尺, 估計長期抬升速率為 12.7 ± 2.3 mm/yr; 黑髮橋為海灘相砂層(碳十四定年 3,070-2,840 cal BP), 階地灘角高度為海拔 40 公尺, 估計長期抬升速率為 13.5 ± 0.5 mm/yr; 平均長期抬升速率為 13.1 ± 1.4 mm/yr。此區域位在利吉斷層上盤, 地下斷層面傾角約 50°, 斷層面的滑移速率各為 16.5 ± 3.0 mm/yr (富岡) 與 17.6 ± 0.6 mm/yr (黑髮橋), 平均滑移速率為 17.1 ± 1.8 mm/yr。

利吉斷層是利吉層逆衝至卑南山礫岩之上形成, 斷層跡從瑞源河階南側向

南延伸至鸞山，之後經卑南大溪至山里，再沿卑南大溪河床至岩灣河階，岩灣河階以南斷層跡不明。依據 GPS 量測結果以及全新世河階分布，其近期活動的位置與利吉斷層斷層跡不在同一位置，主要差異為從鸞山至山里，此區段斷層活動位置位在利吉斷層下盤，以及利吉以南區段，斷層活動位置沿卑南大溪經臺東大橋，之後轉向東南東沿卑南大溪進入太平洋，沒有經過岩灣河階，此區段斷層活動位置位在利吉斷層上盤中。

從地震震源分布與震源機制，以及淺層岩芯的剪切面傾角，推測斷層面傾角約 50°朝東。另由富岡至黑髮橋的海階年代與階地高度估算長期抬升速率，平均為 13.1±1.4 mm/yr；配合斷層面傾角而獲得斷層滑移速率約 17.1±1.8 mm/yr。

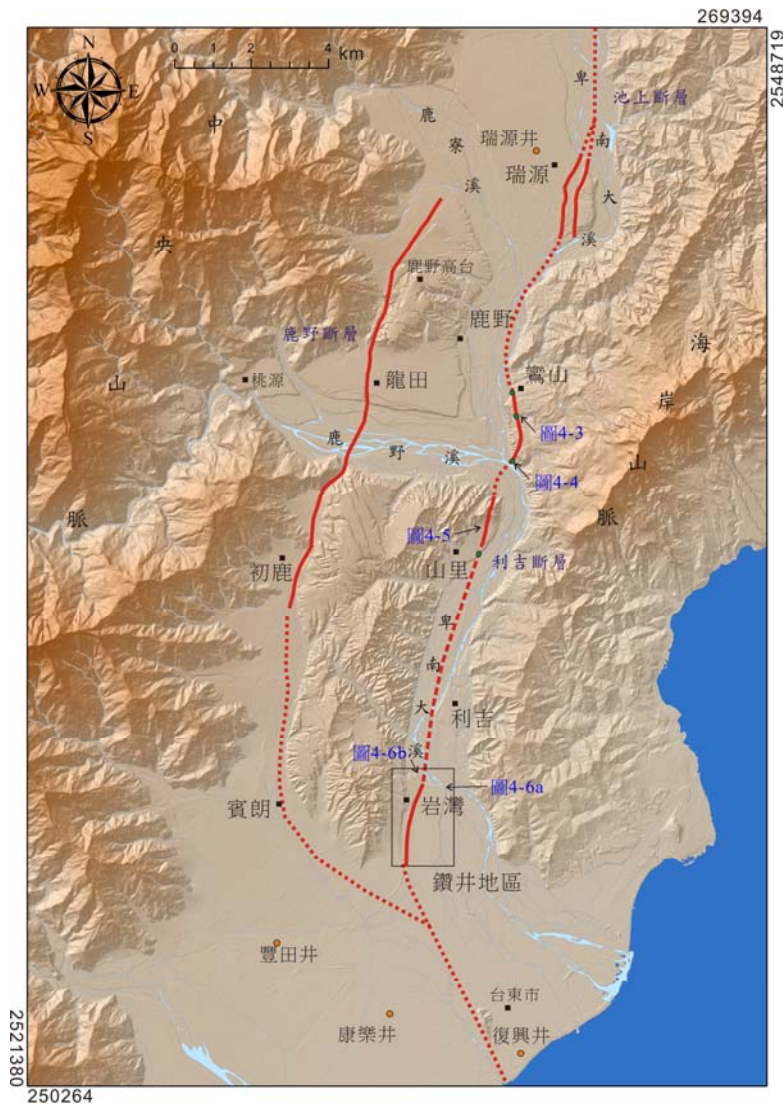


圖 2-11、利吉斷層與鹿野斷層分布圖。(TWD67)

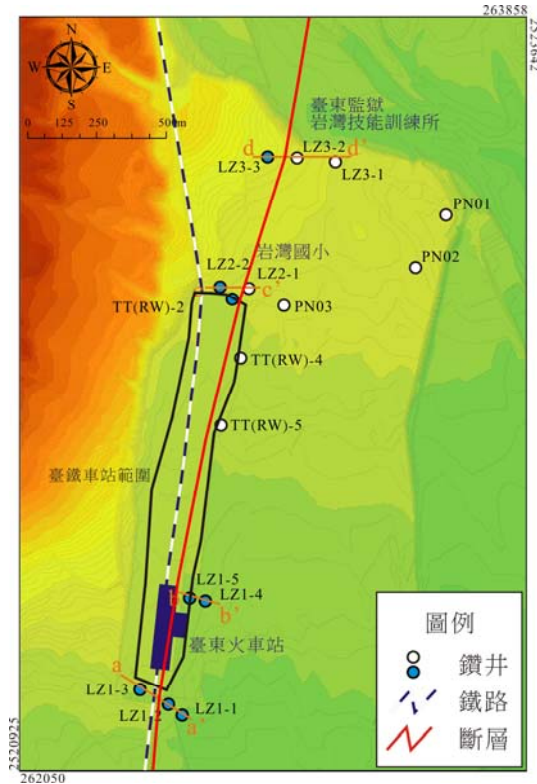


圖 2-12、本計畫鑽井與前期鑽井位置圖，以及斷層位置圖（紅線）。白色圈的鑽井的岩盤為利吉層，藍色圈的鑽井的岩盤未見利吉層。

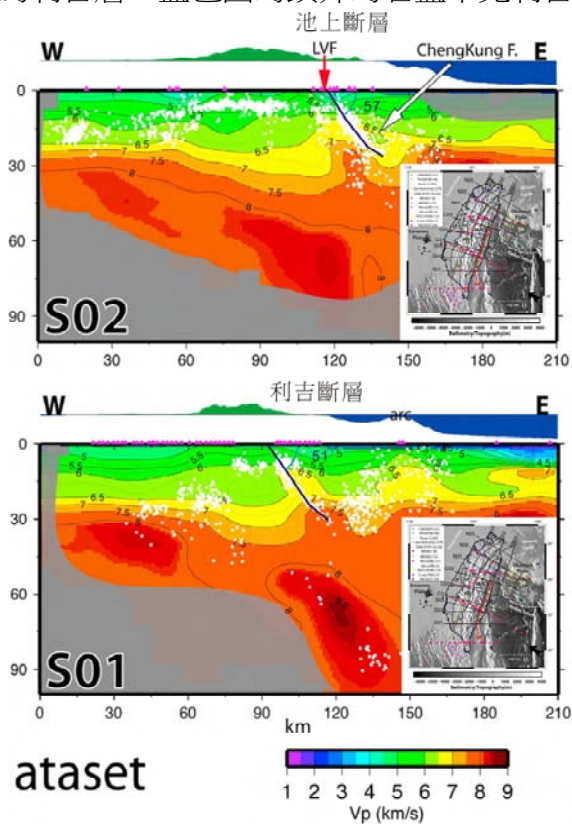


圖 2-13、利吉地區池上斷層（S02 剖面）與利吉斷層（S01 剖面）地震震源分布圖與 P 波的速度剖面（Kuochen *et al.*, 2012）。

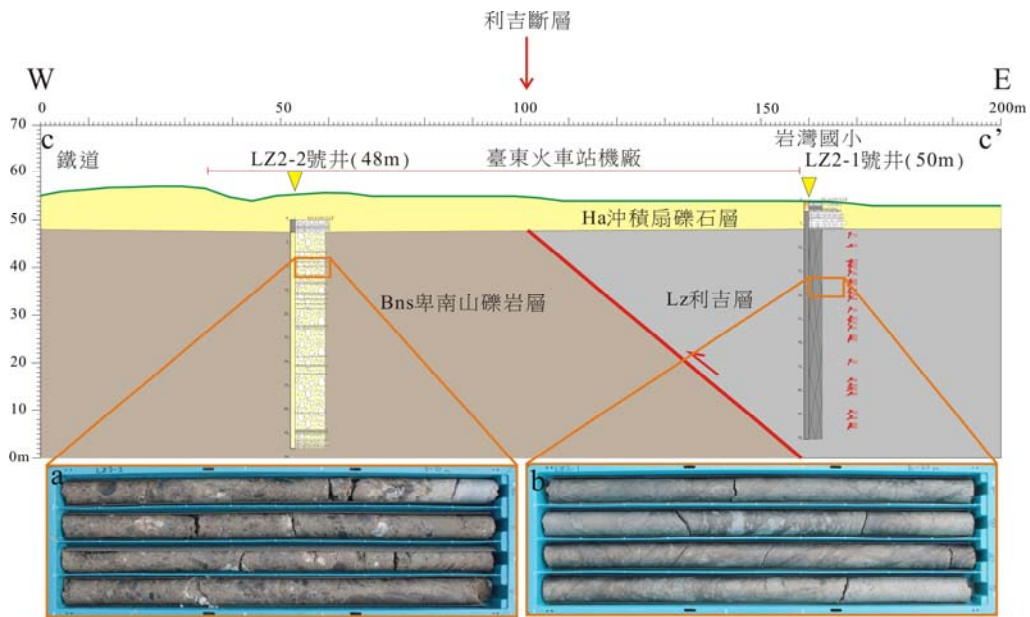


圖 2-14、岩灣國小鑽井剖面：LZ2-1 與 LZ2-2 井相距約 100 公尺，利吉斷層跡位於兩者之間。圖中照片 a 為 LZ2-2 井 8-12m 鑽井岩芯，卑南山礫岩層，礫石傾斜排列；照片 b 為 LZ2-1 井 16-20m 鑽井岩芯，利吉泥岩層，遍佈剪切面。

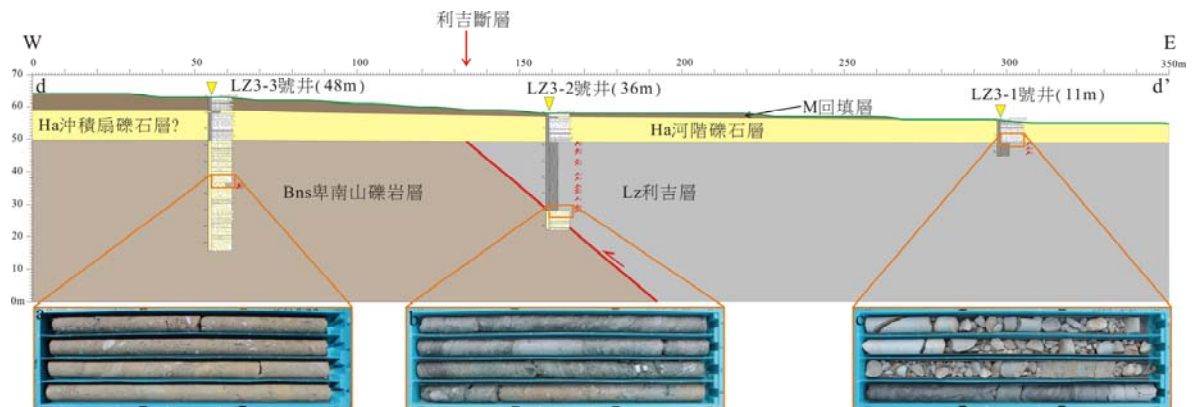


圖 2-15、臺東監獄岩灣技能訓練所鑽井剖面：LZ3-2 井於 30.1 公尺深鑽穿利吉斷層。圖中照片 a 為 LZ3-3 井 24-28m 鑽井岩芯，卑南山礫岩層，礫石傾斜排列；照片 b 為 LZ3-2 井 28-32m 鑽井岩芯，鑽井穿透利吉泥岩層於 31.2m 進入卑南山礫岩層；照片 c 為 LZ3-1 井 4-8m 鑽井岩芯，顯示河階礫石與利吉層接觸

三、 斷層跡調查

3.1 恆春斷層

本研究在恆春斷層沿線進行量測（圖 3-1），海口至保力的斷層崖地形較明顯，而保力至南灣的斷層則分為兩條，西側的斷層（主斷層）屬於較早期的活動斷層，是墾丁層逆衝至馬鞍山層與晚更新世沉積層的接觸帶，上覆未受擾動的厚層沖積層（陳柏村與紀權宥，2010）；位於恆春谷地東側的斷層（支斷層）屬於較近期活動的斷層，位於墾丁層之中，或石門層逆衝在墾丁層之上的界面，亦或位在馬鞍山層之中，並且在支斷層前緣形成一斷層崖地形，上覆有全新世的珊瑚礁。本調查乃針對全新世以來具有活動性的支斷層，而主斷層因不具活動性，地表也沒有顯現新期構造地形，故無法進行量測。

透過前述的地質鑽井與野外調查，恆春斷層之支斷層在保力溪以北至海口海岸區段的平原與山麓之間形成一筆直的斷層崖地形，斷層走向約 N20°W。由於斷層崖地形非常清楚，e-GPS 量測斷層跡位置的誤差範圍在 20 公尺。保力溪以南區段，山麓前緣堆積大量來自脊樑山脈的沉積物，所以斷層地形非常不明顯，本調查僅在山麓前緣進行量測，e-GPS 量測斷層跡位置的誤差範圍在 100 公尺。

3.2 利吉斷層

利吉斷層北從鸞山向南越過卑南大溪，至卑南山東側的山里（卑南大溪西岸）；由山里向南沿卑南大溪至南側的岩灣（圖 3-2、圖 3-3）。在鸞山以及岩灣（圖 3-4）都可見到利吉層朝西逆衝至卑南礫岩之上。鸞山與岩灣剖面顯示，利吉斷層之上堆積了河階或扇階礫石層，位於鸞山的溪谷剖面可見兩者間的關係，斷層並未截切河階或扇階礫石層（紀權宥，2006）。

從之前的調查表示岩灣河階以北區域，利吉斷層的斷層跡大多位在卑南大溪河床中，僅在鸞山與山里兩地出露，因此針對兩處露頭位置進行 e-GPS 量測

(圖 3-5)，此段斷層之位置較為確定，推測斷層跡位置的誤差約 20 公尺。除此兩處露頭之外，岩灣河階的斷層跡因有鑽井控制，依據井位的 GPS 定位推測斷層跡位置的誤差約 50 公尺。而其餘位於河床中的斷層跡都屬於推測，推測斷層跡位置的誤差約 200 公尺或以上。

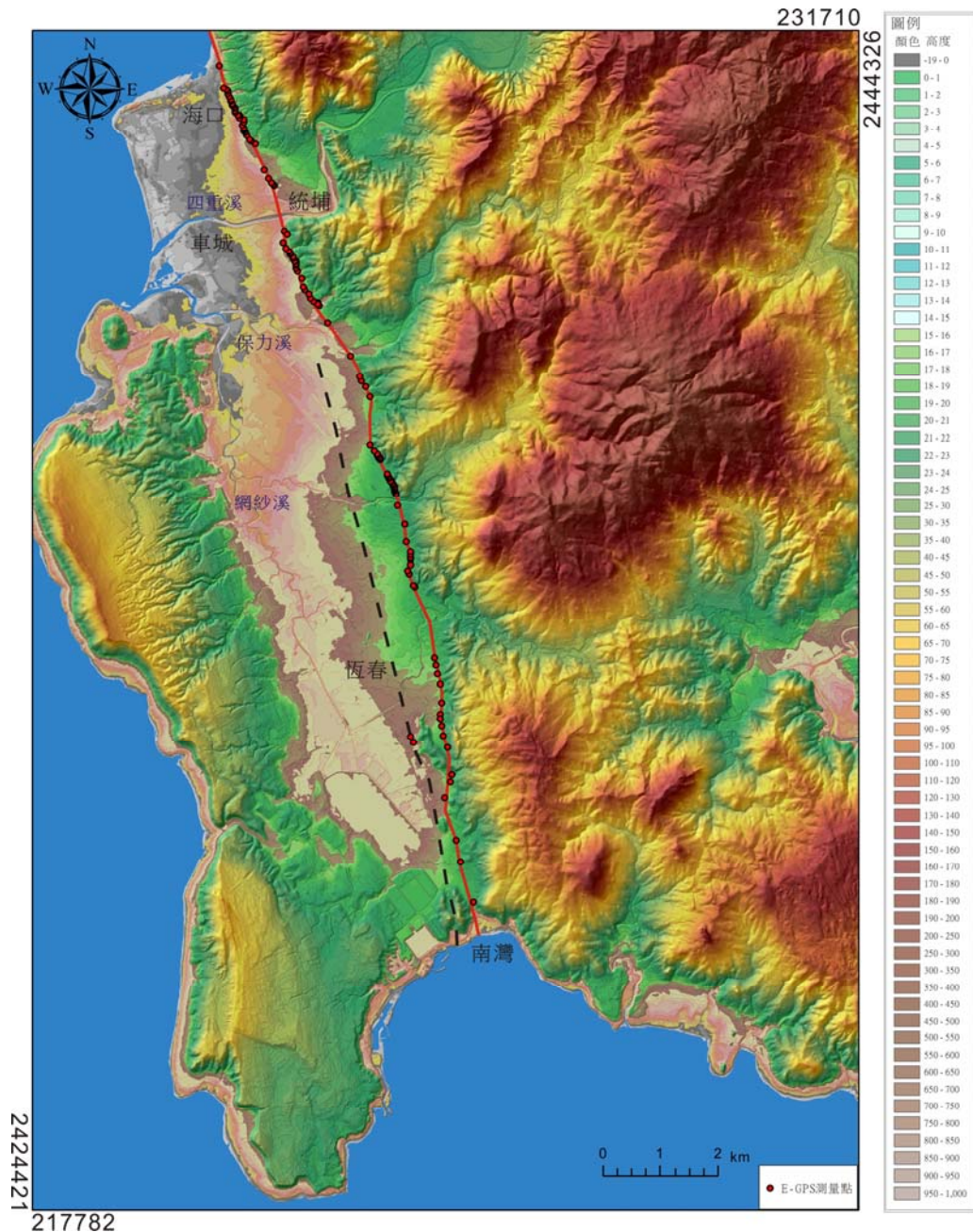


圖 3-1、恆春斷層 e-GPS 量測點。黑色虛線為恆春斷層主斷層，紅線為位於恆春谷地東側的斷層(支斷層)。

本調查結果對於利吉斷層位置有些微修正，主要在利吉村地區，之前將利吉斷層跡由山里延伸至利吉村附近，但經本次調查發現利吉村河階之下的岩盤皆為利吉層，可以延伸至卑南大溪河岸，並未發現卑南山礫岩層，因而認為利吉斷層跡應該位於卑南大溪河床中。因此斷層跡通過山里河階（卑南大溪右岸）後，沿著卑南大溪河床朝西南延伸穿過岩灣河階，之後進入臺東平原時的位置不明。

利吉斷層目前被列為第二類活動斷層，屬於晚更新世至全新世活動斷層。但是，本研究從野外地形調查，顯示斷層跡沿線都沒有明顯由新期構造形成的地形。例如山里與岩灣河階區域，由野外露頭與鑽井都顯示斷層通過河階，理論上在斷層跡附近應呈現明顯的線型崖地形，且斷層上盤（東側）的河階高度應較高；但這些應該呈現的新期構造地形在這兩處的階地上都沒有發現。

此現象如同本年度調查的恆春斷層有相似的特性，全新世以來恆春斷層在主斷層面的活動性不明顯，斷層跡之上被厚層全新世沖積層覆蓋，地表沒有明顯的新期構造地形，而全新世的活動斷層是位在主斷層上盤的斷層帶之中。利吉斷層可能也具有相同的特性，全新世的活動斷層可能不位於主斷層位置處。

陳宏宇等（Chen *et al.*, 2013）在利吉斷層兩側進行 GPS 量測（1992-2010 年）（圖 3-6），本研究於上述的敘述中將 GPS 速度場發生最大變化的位置稱為全新世斷層活動位置，似乎在時間尺度上（GPS：短週期活動）無法與真實斷層活動（長週期活動）直接比對。但本研究重新繪置 GPS 的變化位置，並與全新世河階作比對，發現主要的全新世河階或扇階大都位在全新世斷層活動位置的東側，這些階地前緣（西側）當有活動構造存在，因此將 GPS 速度場的最大變動界限處稱為全新世斷層活動位置（圖 3-7）。

從上述三個區域 GPS 速度場變化的分析結果（Chen *et al.*, 2013），顯示利吉斷層與全新世斷層活動的位置略有差異。全新世斷層活動位置在龍田－山里地區是位在利吉斷層下盤（西），以南大致沿著卑南大溪，其關係不清楚；至岩灣－利吉區域的全新世斷層活動位置朝東南延伸經臺東大橋，位於斷層上盤中，之

後轉向東南東沿卑南大溪進入太平洋。全新世斷層活動位置並未經過岩灣階地，因此階地上未見明顯的新期構造地形。

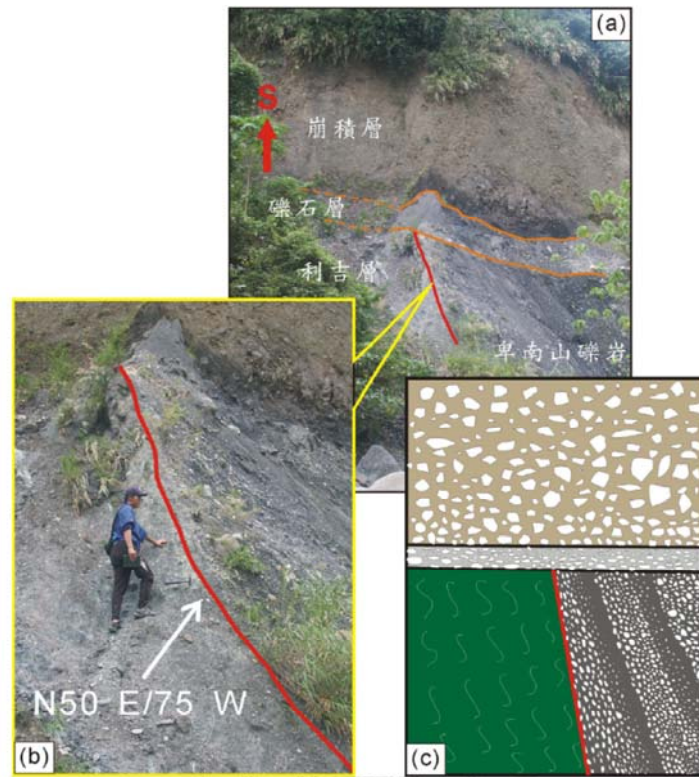


圖 3-2、鸞山附近溪谷中利吉斷層露頭。可見利吉層逆衝至卑南山礫岩之上，但未截切上伏扇階礫石層，顯示礫石沉積後斷層未有活動。

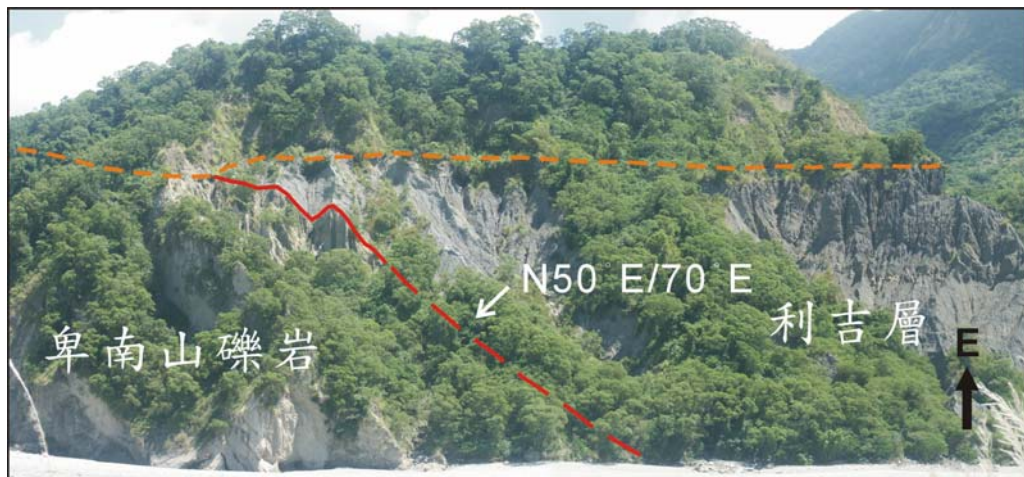


圖 3-3、卑南大溪東岸利吉斷層露頭。

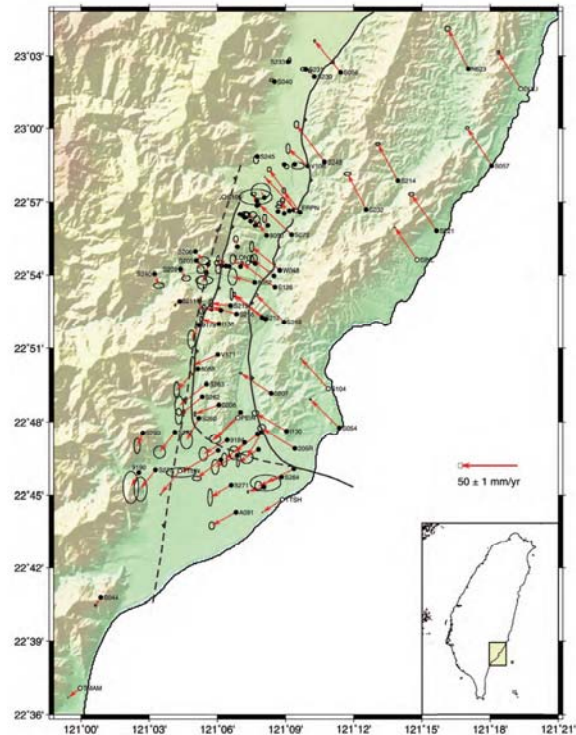


Fig. 3. Results of our revised velocity field from the dense GPS array in the southernmost Longitudinal Valley area, relative to the ITRF 2005 reference frame. See Table 1 for detailed station velocity and other relevant information.

圖 3-6、利吉斷層與鹿野斷層兩側 GPS 測量結果 (Chen *et al.*, 2013)。

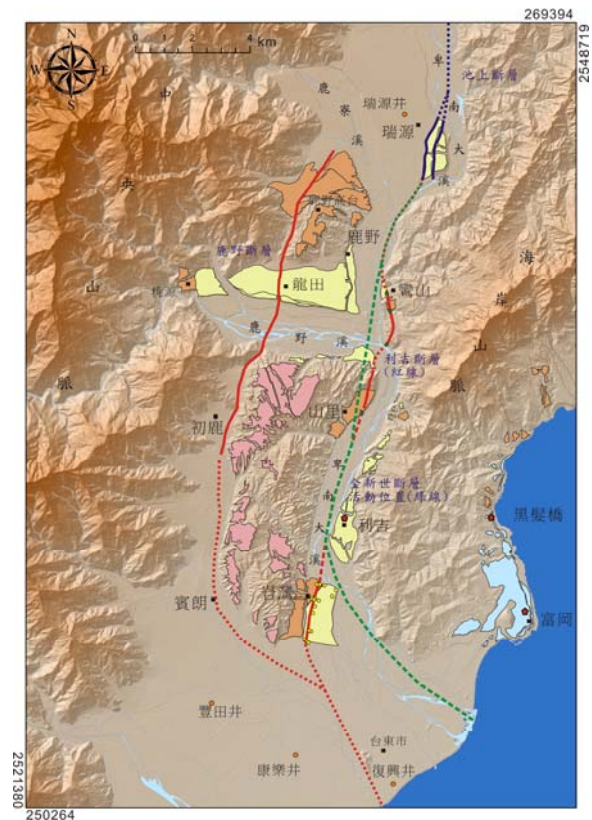


圖 3-7、利吉斷層(紅線)與全新世斷層(綠線)活動位置。紅色五邊型是碳十四採樣位置。淡藍色塊為海階，黃色塊為河階，棕色塊為扇階，粉紅色塊為紅土階地。

四、 結論

4.1 屯子腳斷層

舊后里國中槽溝僅見 1935 年臺中地震所造成的斷層變形，於槽溝剖面中未見屯子腳斷層出露，僅見近代沉積層受到傾動，斷層變形量無法確切判斷，但溝中紅土階地礫石層的垂直變形量有數公尺，因此紅土礫石層當不只一次斷層活動所形成。由於未能判斷斷層週期（槽溝中僅見一次斷層活動變形）及活動錯移量，屯子腳斷層的活動參數仍未能獲取，目前僅可參考大塚彌之助（1936）量測的同震地表變形。

本研究從 1935 年地震斷層性質與震源分布分析，認為 1935 年烈震應為兩個地震各產生屯子腳與獅潭斷層的地表破裂，並非一次地震產生兩處地震斷層。

1935 年地震規模 M7.1 造成地表斷層的長度僅有 12 公里，從地震規模與斷層長度來看似乎不太吻合。從屯子腳斷層的斷層跡位置，其東側端點止於后里斷層（三義斷層支斷層），地表斷層未截切后里斷層。本研究認為后里斷層是現今還活動的逆斷層，而 1935 年地震造成屯子腳斷層活動的震源（深度約 13 公里）位於后里斷層東側。因此，推測屯子腳斷層於地表斷層跡東側的端點可再朝東北延伸至震源區（甚至繼續朝東北延展），斷層破裂帶應位在后里斷層脫滑面之下，沒有截切上方的后里斷層，以致於后里斷層以東區域的地表在 1935 年地震時沒有發現地震斷層跡。

4.2 恆春斷層

恆春斷層於恆春至南灣區域分為兩條，西側的斷層（主斷層）屬於較早期的活動斷層，而東側的斷層（支斷層）屬於較近期活動的斷層。本調查針對全新世以來具有活動性的支斷層進行量測。

四重溪以北至海口海岸，支斷層在此區段的平原與山麓之間形成一筆直的斷層崖地形，斷層走向約 N20°W。由於斷層崖地形非常清楚，e-GPS 量測斷層跡位置的誤差範圍在 20 公尺。四重溪以南區段，山麓前緣堆積大量來自脊樑山脈

的沉積物，所以斷層地形非常不明顯，本調查僅能在山麓前緣進行量測，e-GPS 量測斷層跡位置的誤差範圍在 100 公尺。

從海口與南灣區域，恆春斷層兩側鑽井與海階地形、碳十四定年與沉積環境研究，獲得兩區域斷層上下盤地塊的抬升速率各為 4.1 ± 1.2 mm/yr 與 5.7 ± 1.2 mm/yr，平均抬升速率為 5.0 ± 1.2 mm/yr。再依據淺層鑽井中密集剪切面傾角分析，主要角度在 $45-65^\circ$ 之間，本研究以 55° 作為恆春斷層傾角估算斷層的滑移速率，約 6.1 ± 1.5 mm/yr。

近年來，作者針對屬於泥岩地區的活動斷層調查，發現許多全新世最活躍的活動斷層，並不位在主斷層帶，而是在上盤當中的支斷層；主斷層帶常呈現不活動狀態，被全新世沖積層覆蓋。恆春斷層同樣呈現這種現象，從各區的鑽井岩芯都可以發現斷層崖下盤的岩芯中，無論在數十公尺或至數百公尺的深度都還有墾丁層或石門層（陳柏村與紀權宥，2010）；晚更新世以來最活躍的斷層位置已後退至主斷層東側上盤中。

本研究利用隆起珊瑚礁的定年，分析恆春斷層在全新世的活動性，結果全新世隆起珊瑚礁的最北地點僅分布至楓港，往北區域不再出露珊瑚礁階地或海相沉積層，恆春斷層應該僅延展至楓港外海。

4.3 利吉斷層

利吉斷層斷層跡之北端從瑞源階地南緣開始，由卑南大溪轉至鸞山溪谷中，於卑南大溪與鹿野溪匯流處再轉向西南側，越過卑南大溪進入西側山里；從山里再往南進入卑南大溪河床中，斷層跡走向呈北東 10° ，由岩灣河階北端進入階地區域，經臺東新火車站之後進入臺東平原；在平原區因河流的侵蝕與堆積作用，沒有呈現明顯的新期構造地形，但由平原中隆起的鯉魚山（晚更新世砂礫岩）地形來看，可能通過其西側。由於斷層跡大多位在卑南大溪河床中，僅在鸞山與山里兩地出露，因此針對兩處露頭位置進行 e-GPS 量測，斷層之位置較為確定，推測斷層跡位置的誤差約 20 公尺。除此兩處露頭之外，岩灣河階的斷層跡因有

鑽井控制，依據井位的 GPS 定位推測斷層跡位置的誤差約 50 公尺。而其餘位於河床中的斷層跡都屬於推測，推測斷層跡位置的誤差約 200 公尺或以上。

依據 GPS 量測結果以及全新世河階分布，其近期活動的位置與利吉斷層斷層跡不在同一位置，主要差異為從鸞山至山里，此區段斷層活動位置位在利吉斷層下盤，以及利吉以南區段，斷層活動位置沿卑南大溪經臺東大橋，之後轉向東南東沿卑南大溪進入太平洋，沒有經過岩灣河階，此區段斷層活動位置位在利吉斷層上盤中。

從地震震源分布與震源機制，以及淺層岩芯的剪切面傾角，推測斷層面傾角約 50° 朝東。另由富岡至黑髮橋的海階年代與階地高度估算長期抬升速率，平均為 13.1 ± 1.4 mm/yr；配合斷層面傾角而獲得斷層滑移速率約 17.1 ± 1.8 mm/yr。

參考文獻

- Bard, E., B. Hamelin, M. Arnold, L. F. Montaggioni, G. Cabioch, C. Faure, and F. Rougerie (1996) Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge, *Nature* 382, 241-244.
- Biq, C. C. (1965) The eastern Taiwan rift. *Petrol. Geol. Taiwan*, 4, 93-106.
- Chappell, J., and H. Polach (1991) Post-glacial sea-level rise from a coral record at Houn Peninsula, Papua New Guinea, *Nature* 349, 147-149.
- Chen, H.Y., Lee, J.C., Tung, H., Yu, S.B., Hsu, Y.J., Lee, H.K. (2013) A New Velocity Field from a Dense GPS Array in the Southernmost Longitudinal Valley, Southeastern Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 24, 5, 837-862.
- Chen, Y.G., Liu, T.K. (1993) Holocene radiocarbon dates in Hengchun Peninsula and their neotectonic implications. *Jour. Geol. Soc. China*, 36, 4, 457-479.
- Fairbanks, R. G. (1989) A 17,000-years glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation, *Nature* 342, 637-642.
- Hashimoto, W., Taira, K., Kurihara, K., Imai, T., Makino, Y. (1972) Studies on the younger Cenozoic deposits in Taiwan (Formosa): part II. The younger Cenozoic deposits in South and East Taiwan: *Geol. and Paleont. of Southeastern Asia* X, 265-303.
- Konishi, K., Omura, A., Kimura, T. (1968) ^{234}U - ^{230}Th dating of some late Quaternary coralline limestones from southern Taiwan (Formosa): *Geol. and Paleont. Southeastern Asia*, 5, 211-224.
- Kuochen, H., Wu, Y.M., Chang, C.H., Hu, J.C., Chen, W.S. (2004) Relocation of the eastern Taiwan earthquakes and its tectonic implications, *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 15, 647-666.
- Kuochen, H., Wu, F.T., Roecker, S.W. (2012) Three-dimensional P velocity structures of the lithosphere beneath Taiwan from the analysis of TAIGER and related seismic data sets, *J. Geophys. Res.*, 117, B06306, doi:10.1029/2011JB009108
- Lundberg, N., Reed, D. L., Lieskes Jr., J. H. (1992) Structural controls on orogenic sedimentation, submarine Taiwan collision, *EOS Transactions, American Geophysical Union*, 73, 539.
- Ma, T.Y.H. (1967) The two fundamental laws of earth evolution derived from the formation of peneplains and deposition of sediments on sea and ocean bottom, *Oceanographia Sinica*, 9, 1-26.
- Yu, H.S., Lu, J.C. (1995) Development of the shale diaper-controlled Fangliao Canyon on the continental slope off southwestern Taiwan: *Jour. Southeast Asian Ear. Sci.*, 11, 4, 265-276.
- 大江二郎 (1936) 大安溪地震調查報告。台灣總督府殖產局，礦物及地質調查報告第四號。(日文)
- 大塚彌之助 (1936) 昭和十年四月二日台灣中部地方發生之地震所伴生之地震斷層，附地震斷層之諸特徵。東京大學地震研究所彙報別冊，第三號，第 22-74 頁。(日文)
- 林久芳 (1989) 臺灣恆春半島及東部海岸全新世隆起珊瑚之鈾系定年研究。國立臺灣大學地質研究所碩士論文，共 119 頁。
- 青木元 (1935) 苗栗地震 (台灣) の再検討 Review of the 1935 Miaoli Earthquake in Taiwan，歷史地震，第 16 號，206-215 頁。
- 紀權宥 (2006) 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。國立臺灣大學地質科學所碩士論文，共 84 頁。

- 徐鐵良 (1956) 台灣東部海岸山脈地質。台灣省地質調查所彙刊, 第八號, 第 15-41 頁。
- 許小官 (1935) 新竹-台中 (台灣) 地震のメカニズムと断層モデル, Mechanism and Fault Model of the Hsinchu-Taichung (Taiwan) Earthquake of 1935。地震第 2 輯, 第 35 卷, 567-574 頁。
- 陳文山、鄭穎敏、黃奇瑜 (1985) 台灣南部恆春半島之地質。地質, 6 卷, 2 期, 21-38 頁。
- 陳文山、王源 (1996) 台灣東部海岸山脈地質。經濟部中央地質調查所, 共 101 頁。
- 陳文山、李偉彰、黃能偉、顏一勤、楊志成、楊小青、陳勇全、宋時驊 (2005a) 恆春半島增積岩體的構造與地層特性: 全新世恆春斷層的活動性。西太平洋地質科學, 第 5 卷, 129-154 頁。
- 陳文山、陳勇全、游能悌、顏一勤、楊志成、石同生 (2005b) 潮州斷層沿線的地層與地形特性—重新檢討斷層的構造特性與位置, 經濟部中央地質調查所特刊, 第十六號, 75-90 頁。
- 陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青 (2010) 地震地質與地變動潛勢分析計畫斷層長期滑移速率與再現週期研究 (4/4) 一期末報告書。經濟部中央地質調查所研究報告第 99-9 號。
- 陳文山、游能悌、楊小青 (2013) 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 (3/4), 經濟部中地質查所報告第 102-9 號, 第 37-49 頁。
- 陳柏村、紀權宥 (2010) 台灣南部恆春谷地的地下構造型態探討。經濟部中央地質調查所特刊, 第 24 號, 17-38 頁。
- 畢慶昌 (1965) 東台灣裂谷。台灣石油地質, 第四號, 93-106 頁。
- 張憲卿 (1994) 大甲圖幅及說明書, 五萬分之一臺灣地質圖第 17 號。經濟部中央地質調查所, 共 63 頁。
- 黃奇瑜、鄭穎敏、葉家正 (1985) 論恆春半島上墾丁層之成因。地質, 第 6 卷, 1 期, 21-38 頁。
- 董倫道 (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研究報告 94-09 號, 共 187 頁。
- 潘國樑、王文能、胡國興、顏倉波 (1983) 台灣中部 1935 年地震斷層航照地質研究。工業技術研究院能源與礦業研究所, 共 47 頁。
- 潘國樑 (1985) 利用遙測、地質與地震資料分析一九三五年地震斷層。一九三五年新竹—台中大地震五十周年紀念研討會論文集, 第 83-92 頁。
- 顏倉波 (1985) 一九三五年新竹、台中地震調查之回顧。一九三五年新竹—台中大地震五十周年紀念研討會論文集, 第 11-17 頁。