

經濟部中央地質調查所報告第103-5號

計畫編號: 103-5226904000-01-03

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)

期末報告書

委託機關：經濟部中央地質調查所

執行機關：國立台灣大學

中華民國103年12月



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)

103年度報告書

計畫主持人：陳文山

協同主持人：游能悌

研 究 員：楊小青

委託機關：經濟部中央地質調查所

執行機關：國立台灣大學地質科學系

中華民國103年12月

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)

目錄

目錄.....	i
圖目錄.....	iii
表目錄.....	v
摘要.....	1
英文摘要.....	2
第一章、前言.....	3
1-1 槽溝挖掘(古地震)、淺層鑽探與活動斷層的確切位置調查.....	4
第二章、屯子腳斷層.....	6
2-1 前言.....	6
2-2 古地震槽溝.....	10
2-3 結論.....	14
第三章、恆春斷層.....	17
3-1 前言.....	17
3-2 前人研究.....	18
3-2-1 楓港地區.....	20
3-2-2 海口地區.....	21
3-2-3 統埔地區.....	22
3-2-4 南灣地區.....	24
3-3 長期垂直變動速率研究.....	26
3-3-1 楓港地區.....	27
3-3-2 海口地區.....	27
3-3-3 統埔地區.....	28
3-3-4 南灣地區.....	29

3-4 長期變動速率.....	30
3-5 斷層跡調查與 e-GPS 量測.....	31
第四章、利吉斷層.....	35
4-1 前言.....	35
4-2 利吉斷層野外產狀.....	37
4-3 鑽探.....	39
4-3-1 臺東火車站	42
4-3-2 岩灣國小	45
4-3-3 臺東監獄岩灣技能訓練所	45
4-4 斷層跡調查與 E-GPS 量測.....	48
4-5 討論	50
4-5-1 瑞源－鸞山地區.....	51
4-5-2 龍田－山里地區.....	53
4-5-3 利吉－岩灣－臺東市地區.....	54
4-6 結論	58
第五章、結論.....	60
5-1 屯子腳斷層	60
5-2 恆春斷層	60
5-2-1 活動斷層的精確位置.....	60
5-2-2 斷層活動特性分析與評估.....	61
5-3 利吉斷層.....	61
5-3-1 活動斷層的精確位置.....	61
5-3-2 斷層活動特性分析與評估.....	62
參考文獻	63
附錄一、鑽井岩芯紀錄.....	65
附錄二、期中審查意見與改進.....	74

附錄三、期末審查意見與改進.....	77
--------------------	----

圖目錄

圖 1-1、舊后里國中校址內屯子腳斷層的古地震槽溝.....	4
圖 2-1、台灣中部地震(1935)崖崩、地震裂隙、屯子腳地震斷層分布圖.....	8
圖 2-2、五千分之一地形圖(TWD97)上之屯子腳斷層位置圖.....	9
圖 2-3、屯子腳斷層條帶地質圖，綠線為地球物理調查測線.....	10
圖 2-4、屯子腳斷層條帶地質圖上相鄰的兩地球物理測線，顯示屯子腳斷層呈 現開花狀構造.....	10
圖 2-5、舊后里國中(后里公學校)於1935年地震時，圓形花園遭地表破裂水 平錯移.....	11
圖 2-6、舊后里國中槽溝，位於校址西側圍牆.....	12
圖 2-7、舊后里國中槽溝位置圖及數化地形圖.....	12
圖 2-8、舊后里國中槽溝西牆，SG層與G1層傾動變形.....	13
圖 2-8、舊后里國中槽溝東牆剖面.....	15
圖 2-9、舊后里國中槽溝西牆剖面.....	16
圖 3-1、恆春半島地質圖.....	18
圖 3-2、恆春半島鑽井岩芯與海階研究區域圖.....	19
圖 3-2、楓港南側地區隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代.....	20
圖 3-3、海口地區隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代.....	22
圖 3-4、海口地區斷層崖西側(斷層下盤)岩芯剖面.....	22
圖 3-5、四重溪區域的岩芯剖面.....	23
圖 3-6、南灣區域的岩芯剖面.....	25
圖 3-7、石牛溪階地隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代.....	26
圖 3-8、楓港地區恆春斷層上盤的長期垂直抬升速率.....	27
圖 3-9、海口地區恆春斷層上、下盤的長期垂直抬升速率.....	28

圖 3-10、統埔地區恆春斷層上、下盤的長期垂直抬升速率.....	29
圖 3-11、南灣地區恆春斷層上、下盤的長期垂直抬升速率.....	29
圖 3-12、恆春斷層 e-GPS 量測點.....	32
圖 4-1、利吉斷層與鹿野斷層條帶地質圖.....	35
圖 4-2、利吉斷層與鹿野斷層分布圖.....	36
圖 4-3、鸞山附近溪谷中利吉斷層露頭.....	37
圖 4-4、卑南大溪東岸利吉斷層露頭.....	37
圖 4-5、山里扇階北側利吉斷層露頭.....	38
圖 4-6、岩灣河階北側利吉斷層露頭.....	38
圖 4-7、本計畫鑽井與前期鑽井位置圖，以及斷層位置圖.....	41
圖 4-8、臺東火車站鑽井剖面(1)	43
圖 4-9、臺東火車站鑽井剖面(2)	44
圖 4-10、岩灣國小鑽井剖面.....	46
圖 4-11、臺東監獄岩灣技能訓練所鑽井剖面.....	47
圖 4-12、利吉斷層斷層跡量測依野外露頭及鑽井位置所定.....	49
圖 4-13、利吉斷層與鹿野斷層兩側 GPS 測量結果.....	51
圖 4-14、瑞源－鸞山地區 GPS 量測結果，重繪利吉斷層與全新世斷層活動位置.....	52
圖 4-15、龍田－山里地區 GPS 量測結果.....	53
圖 4-16、利吉－岩灣－臺東市地區的 GPS 量測結果	55
圖 4-17、利吉斷層與全新世斷層活動位置.....	56
圖 4-18、利吉地區地震震源分布圖.....	58
圖 4-19、利吉地區池上斷層與利吉斷層地震震源分布圖與 P 波的速度剖面.....	59
圖 4-20、左圖為黑髮橋海階沉積層，右圖為富岡的珊瑚礁海階.....	59

表目錄

表 1-1、交付項目對照表.....	3
表 1-2、本計畫標的斷層分年分組一覽表.....	4
表 1-3、鑽井位置表(TWD97)	5
表 2-1、新竹－台中烈震系列地震.....	6
表 3-1、恆春斷層區域碳十四年代，以及估算各採樣地點的抬升速率.....	33
表 4-1、超微化石相對豐度表	42

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利吉斷層與恆春斷層的抬升速率，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，推測利吉斷層與恆春斷層的斷層面傾角分別為 50° 與 55° ；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。

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.

第一章、 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(表 1-1)。

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，考量本研究結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。

表 1-1、交付項目對照表。

103 年度本計畫交付項目		
	交付項目(契約書規定)	期末完成數
1	槽溝 1-2 處或鑽探 2-8 孔(每孔 40-10 公尺深)	完成屯子腳斷層槽溝 1 處，長 30 公尺。
2	活動斷層精確位置調查	完成恆春斷層與利吉斷層的斷層位置精查，將於期末審查會議修正後，繳交定稿版。
3	地質鑽探(5-10 孔、450 公尺深)	完成鑽探 10 孔、497.6 公尺深
4	^{14}C 定年 10 件	未有定年樣本(定年經費彈性調整為地質鑽探經費)
5	恆春斷層與利吉斷層的斷層位置數化檔	將於期末審查會議修正後，繳交。
6	利吉斷層與屯子腳斷層(或大尖山斷層)的斷層活動性分析與評估年度報告書	已完成報告書初稿，將於期末審查會議修正後，繳交定稿版。
7	提供地質照片與素描的電子檔	將於期末審查會議修正後，繳交。
8	地質剖面挖掘影片至少 30 分鐘	已繳交
9	地質剖面公開野外勘查討論會	已於本年度 3 月 18 日辦理。

表 1-2、本計畫標的斷層分年分組一覽表。

年度	工作內容	
	斷層位置精查	斷層參數求取
100	新城斷層、新化斷層	新化斷層
101	新竹斷層、米崙斷層	旗山斷層、米崙斷層
102	大甲斷層、山腳斷層北段	三義斷層、梅山斷層
103	利吉斷層、恆春斷層	利吉斷層、屯子腳斷層

1-1 槽溝挖掘（古地震）、淺層鑽探與活動斷層的確切位置調查

本計畫基於探討斷層長期滑移速率之目的，因此規劃利吉斷層、屯子腳斷層為目標，本年度已進行屯子腳斷層古地震槽溝研究，槽溝位於舊后里國中校址（圖 1-1）。



圖 1-1、舊后里國中校址內屯子腳斷層的古地震槽溝。

另外，本年度「活動斷層的精確位置」調查乃針對利吉斷層與恆春斷層，目前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（表 1-3）。

表 1-3、鑽井位置表(TWD97)。

103 年度本計畫鑽井							
井名 (淺層鑽探)	井號	X(E)	Y(N)	井深	高程	執行單位* ¹	年度
臺東車站 1 號	LZ1-1	262620.000	2521122.000	52	39.5	臺大地質系	103
臺東車站 2 號	LZ1-2	262572.000	2521162.000	103	42	臺大地質系	103
臺東車站 3 號	LZ1-3	262470.000	2521216.000	50	48	臺大地質系	103
臺東車站 4 號	LZ1-4	262710.000	2521534.000	50	44	臺大地質系	103
臺東車站 5 號	LZ1-5	262652.000	2521549.000	50.3	44	臺大地質系	103
岩灣國小	LZ2-1	262756.300	2522669.900	50	54	臺大地質系	103
臺東車站機廠	LZ2-2	262862.000	2522671.000	48	50	臺大地質系	103
岩灣技訓所 1 號	LZ3-1	262929.000	2523147.000	11	56	臺大地質系	103
岩灣技訓所 2 號	LZ3-2	263033.700	2523141.300	36	58	臺大地質系	103
岩灣技訓所 3 號	LZ3-3	263176.000	2523121.000	47.3	63	臺大地質系	103
合計				497.6			
95 年度地調所構地組鑽井							
井名	井號	X(E)	Y(N)	井深	高程	執行單位	年度
卑南 1 號	PN-01	263573.840	2522935.708	10	52	臺大地質系	95
卑南 2 號	PN-02	263466.841	2522742.709	12	56	臺大地質系	95
卑南 3 號	PN-03	262993.843	2522604.710	16	53	臺大地質系	95
103 年度臺灣鐵路公司鑽井							
井名	井號	X(E)	Y(N)	井深	高程	執行單位	年度
臺東機廠 2 號	DBA-154-02	262800.000	2522630.000	30	50	中興	103
臺東機廠 4 號	DBA-154-04	262837.000	2522415.000	15	50	中興	103
臺東機廠 5 號	DBA-154-05	262767.000	2522174.000	15	49	中興	103
103 年度本計畫槽溝剖面							
槽溝名稱	槽溝代號	X(E)	Y(N)	長度	高程	執行單位	年度
舊后里國中槽溝		221364	2688927	30	219	臺大地質系	103

*¹ 本表中之執行單位，中興為中興工程顧問股份有限公司的簡稱。

第二章、屯子腳斷層

2-1 前言

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； $120^{\circ}49'E, 24^{\circ}21'N$ ）時形成的地震斷層，為一右向平移斷層，走向 $N67^{\circ}E$ 。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)	$120^{\circ}49'E, 24^{\circ}21'N$ （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)	$120^{\circ}8'E, 24^{\circ}3'N$	
地震規模	M 7.1	M 6.1
斷層性質	右移斷層，呈 $N67^{\circ}E$ 走向	逆斷層，呈 $N23^{\circ}E$ 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、圖 2-2）。

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（圖 2-3）。

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（圖 2-4）。

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 2-2、五千分之一地形圖 (TWD97) 上之屯子腳斷層位置圖，依據大塚彌之助 (1936) 繪製之斷層線套繪。

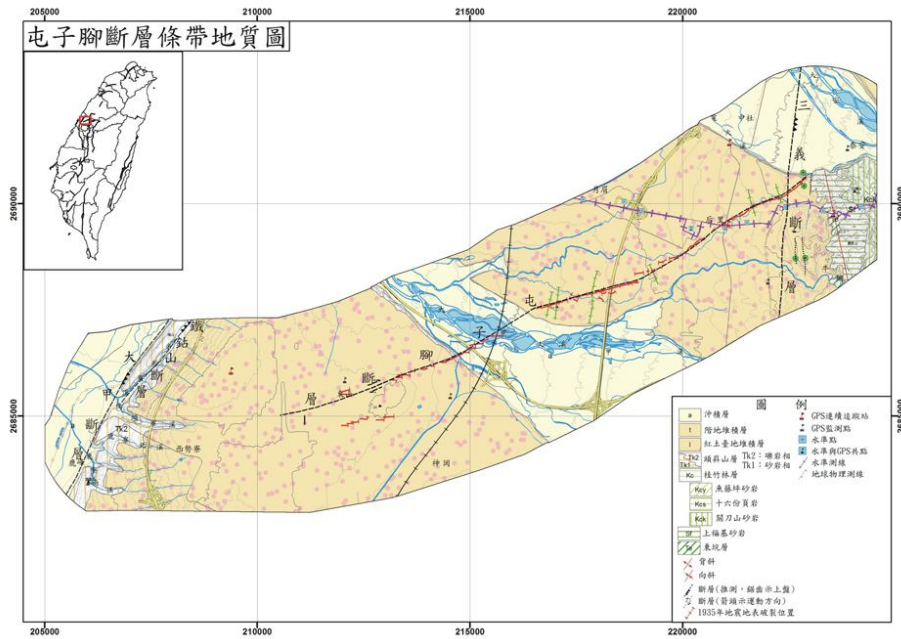


圖 2-3、屯子腳斷層條帶地質圖，綠線為地球物理調查測線（中央地質調查所，2010）。（TWD67）

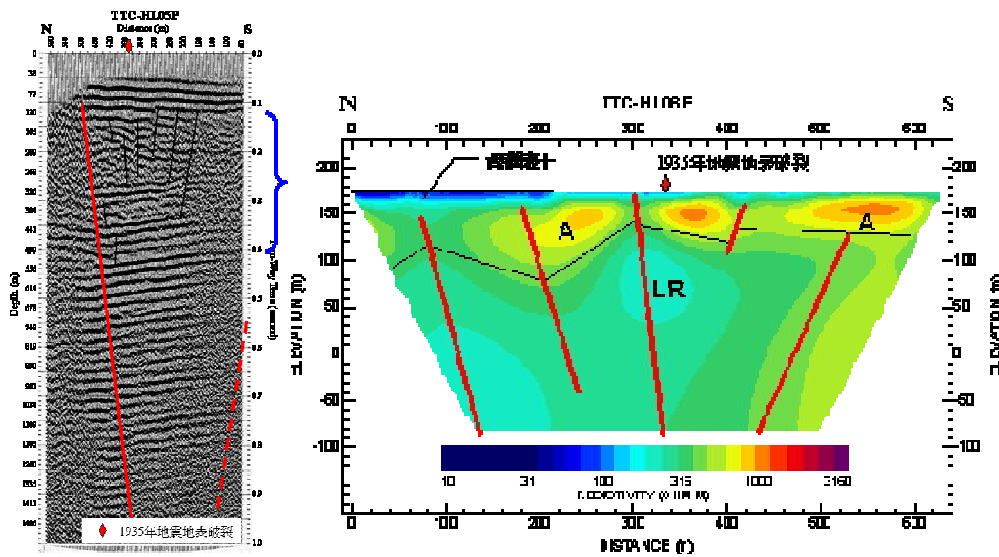
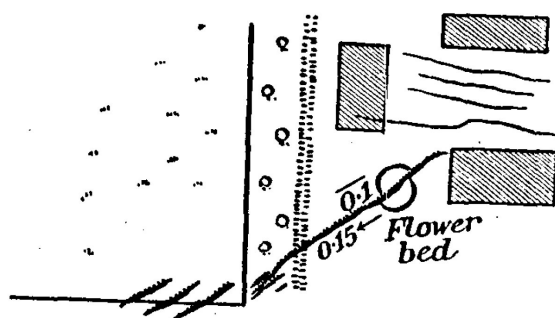


圖 2-4、屯子腳斷層條帶地質圖上相鄰的兩地球物理測線（左側 HL05P 為淺層反射震測解釋剖面；右側 HL06E 為地電阻影像解釋剖面），顯示屯子腳斷層呈現開花狀構造（董倫道，2005）。

2-2 古地震槽溝

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 2-5）。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古地震槽溝挖掘（舊后里國中槽溝；圖 2-6），槽溝走向 N10°W，挖掘 2 階，深度 3.5-4.5 公尺（圖 2-7）。



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 2-5、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 2-6、舊后里國中槽溝，位於校址西側圍牆。斷層跡在照片上側，朝北拍攝。

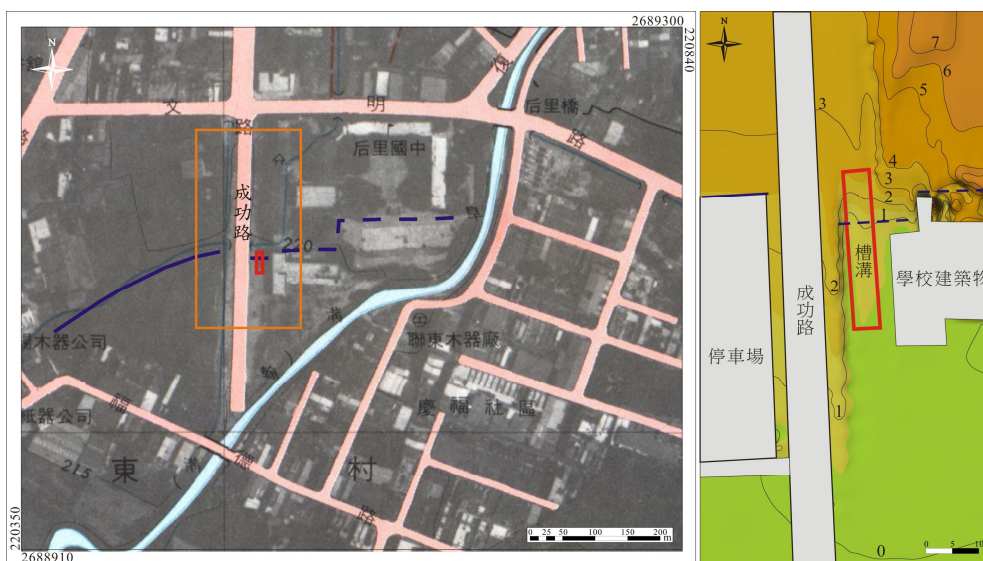


圖 2-7、舊后里國中槽溝位置圖及數化地形圖，左圖為槽溝位置圖（TWD97），橘框為數化地形圖範圍；右圖為槽溝數化地形圖。紅框為槽溝範圍，藍色實線與虛線為崖坡位置。

槽溝剖面出露沉積層層序可分辨出五層沉積層，分別為 B 層（B1、B2 與 B3）、G1 層、SG 層、G2 層、G3 層，各層敘述如下。

B 層：回填土層，又分三層 B1、B2 與 B3 層，含散亂紅土礫石、各種人造物品與建物及級配砂土層。

G1 層：基質支持結構的紅褐色礫石層，礫石為小礫至中礫，表層受 B 層堆

積時的人為擾動的影響，厚度約 30 公分，僅分布於槽溝的西牆北端，上覆 B 層回填土層，下伏 SG 層及 G3 層。

SG 層：黃褐色泥質砂層，北側為夾礫砂層，厚度約 1 公尺，呈現輕微土壤化，礫砂層朝南傾斜約 25-30°。砂中含碳質碎屑並有多處脫水構造，上覆 G1 層及 B 層，部分層位遭上覆 B 層回填土的影響，下伏 G2 層及 G3 層。

G2 層：顆粒支持結構的黃褐色礫石層，厚度不明，剖面出露厚度約 1 公尺，北側僅剩約 30-50 公分，上覆 SG 層，侵蝕沉積於 G3 層上。G2 礫石層中發現有紅磚碎塊，顯示為近代沉積層，其上覆 SG 層及更上層的 G1 層亦為近代沉積層。

G3 層：顆粒支持結構的紅褐色礫石層，厚度不明，剖面出露厚度約 3-4 公尺，分布於槽溝北側，呈現朝南傾斜，G3 礫石層紅土化現象明顯，應屬於后里臺地紅土礫石層，年代應大於 5 萬年。

舊后里國中槽溝全長約 29 公尺，深度 3.5-4.5 公尺（圖 2-8，圖 2-9）。槽溝中的地層結構，G3 層呈現朝南傾狀態，上方堆積 G2 層，由於北側出露厚度不厚，無法判斷狀態，但 G2 層之上的 SG 層及 G1 層皆朝南傾，與 G3 層狀態一致。由於 SG 層夾礫砂層，傾角 25°-30°，大於砂層堆積安定角度，顯示砂層堆積後受構造影響而產生傾動。由於 SG 層為近代沉積層（下伏 G2 層為近代沉積層，故 G2 層之上皆為近代沉積物）。造成本層變形的構造活動應為近代發生，應是最近一次的斷層活動所造成。G1 層覆蓋於 G2 層其上，夾大量基質，可能是震後堆積的崖錐崩積層。從舊后里國槽溝的沉積層結構分析，研判 SG 層與 G1 層的變形，應是 1935 年臺中地震造成屯子腳斷層錯移而產生的變形。



圖 2-8、舊后里國中槽溝西牆，SG 層與 G1 層傾動變形，朝西拍攝。

2-3 結論

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 2-8）。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。

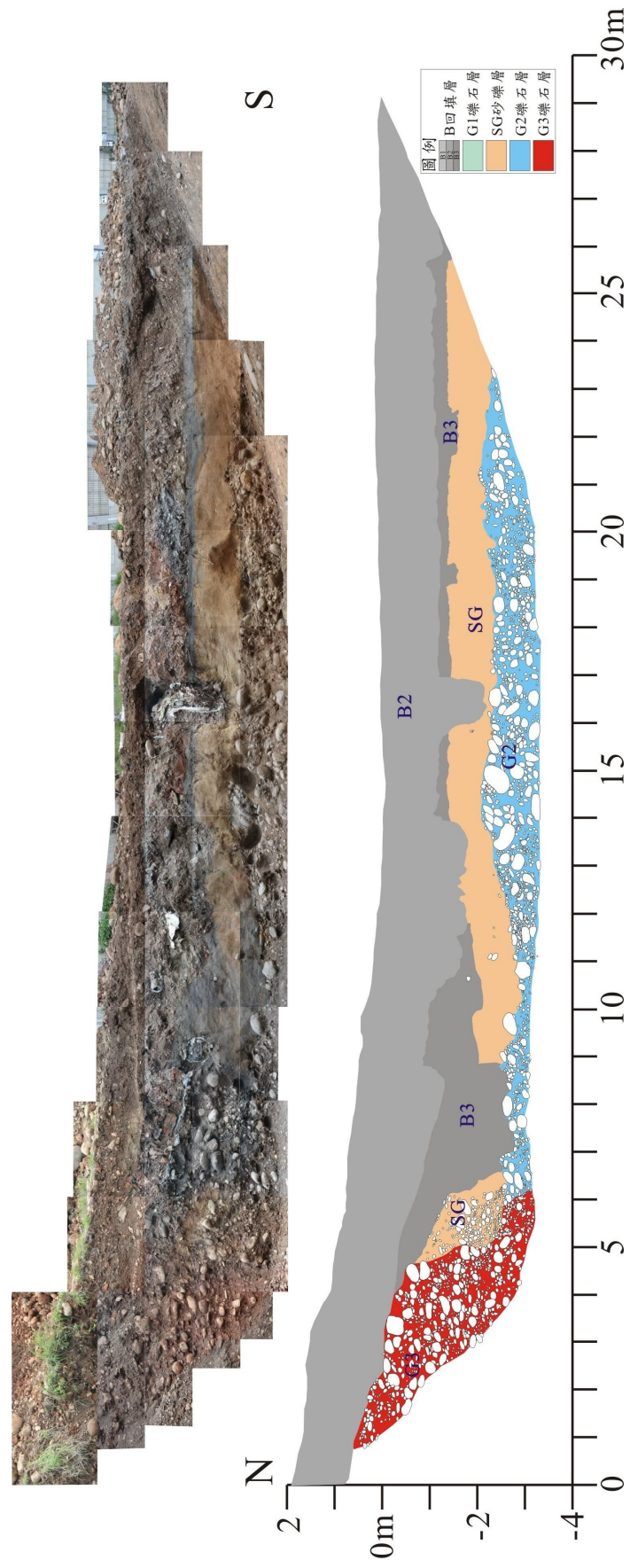


圖 2-9、舊后里國中槽溝東牆剖面。

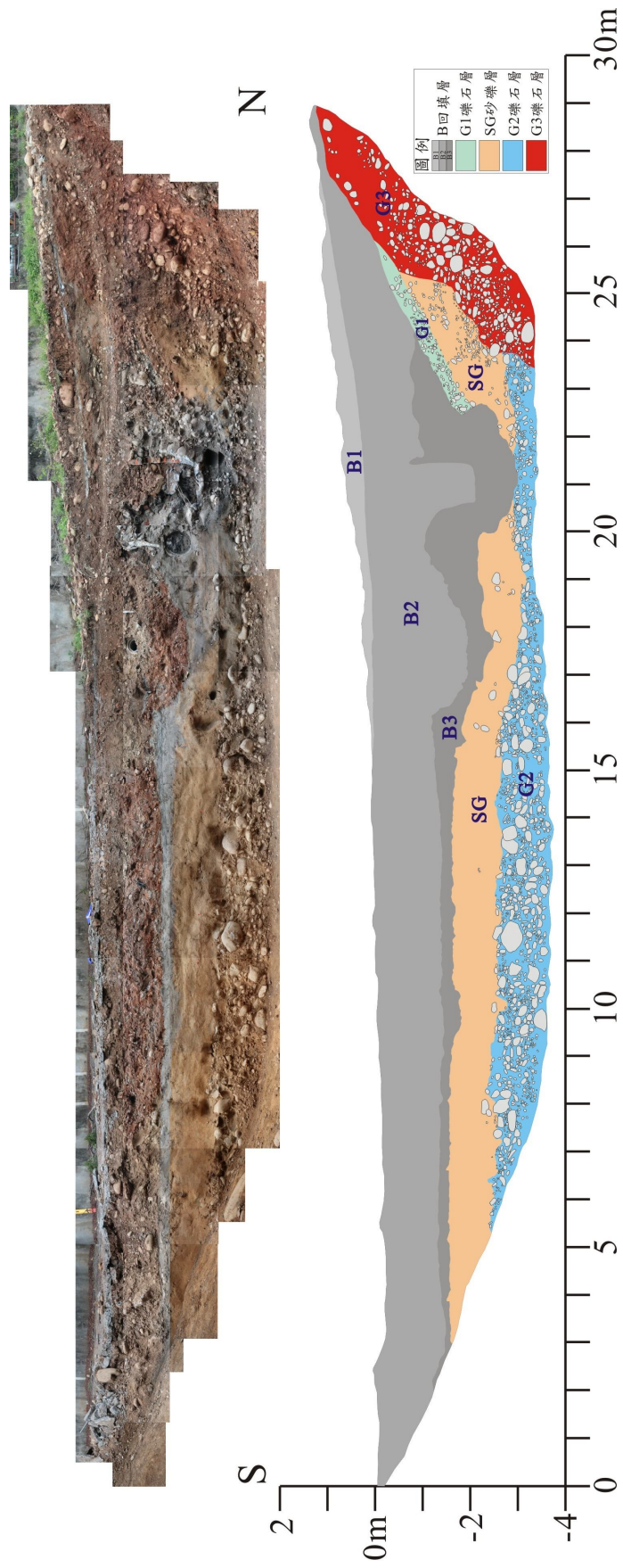


圖 2-10、舊后里國中槽溝西牆剖面。

第三章、恆春斷層

3-1 前言

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 3-1）。

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。

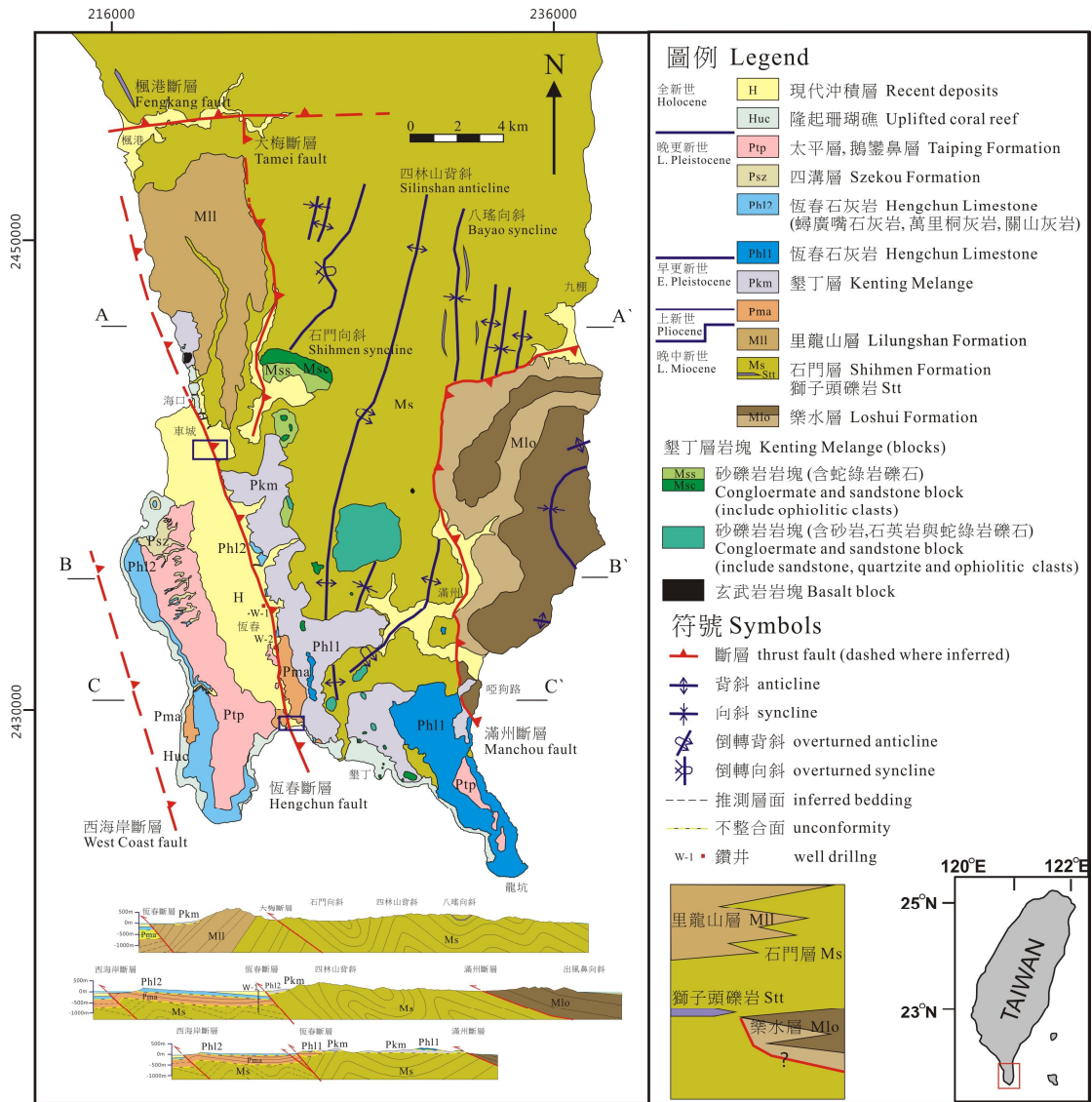


圖 3-1、恆春半島地質圖（陳文山等，2005a）。

3-2 前人研究

本研究利用楓港、海口、統埔與南灣地區之鑽井岩芯與海階的研究（圖 3-2）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。以下就此四個地區的海階與鑽井岩芯，進行地形、地層岩性與碳十四年代的描述。

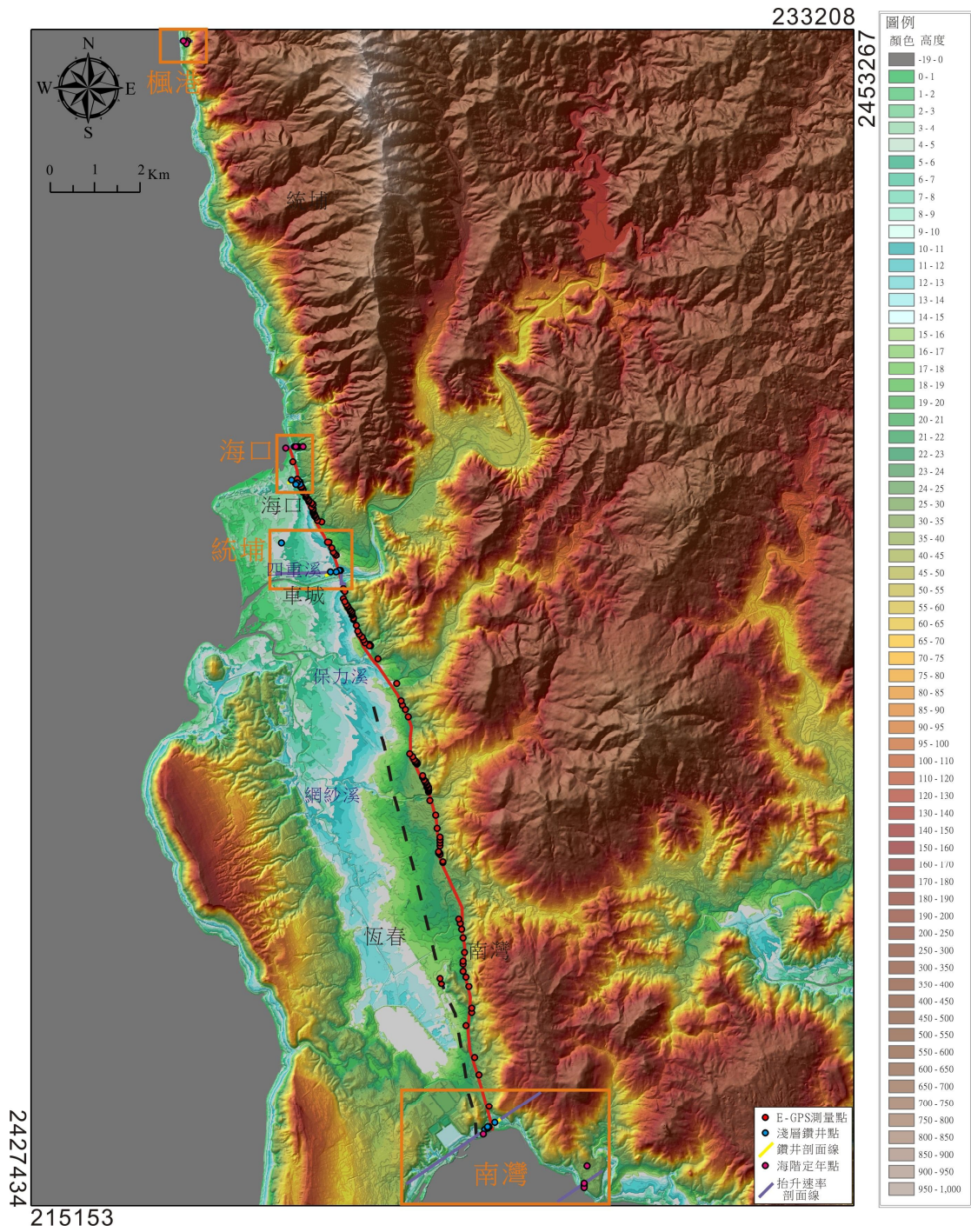


圖 3-2、恆春半島鑽井岩芯與海階研究區域圖，橘框為鑽井與海階研究區域。

3-2-1 楓港地區

楓港溪出海口南側海岸地區，出露全新世隆起珊瑚礁，不整合堆積或生長在晚中新世里龍山層之上，珊瑚礁位在海拔約 17 公尺以下，海拔 17-17.8 公尺出露此區海拔最高的海灘相生物碎屑層，代表最早期的灘相沉積物，推測沉積當時高潮線（相當於灘角位置或灘面頂端）位於海拔約 17.8 公尺（圖 3-1）。

Konishi 等 (Konishi *et al.*, 1968) 於海拔 16 公尺處採集兩個珊瑚樣本進行碳十四定年，年代為 5,860-5,280 cal BP 與 5,910-5,310 cal BP (圖 3-2, 表 3-1)，以及為 7,310-7,070 cal BP (海拔 8.6 公尺；Chen and Liu, 1993；圖 3-2, 表 3-1) 及本研究在海拔 16 公尺採集的珊瑚年代為 6,300-6,060 cal BP。從珊瑚碳十四年代分析，顯示 8.6 公尺至 16 公尺的珊瑚礁約形成於 7,300-6,000 年前，現今此時期海灘已被抬升至海拔 17-17.8 公尺 (圖 3-2)。

恆春斷層由海口北側進入海域之後，朝北延伸是否與潮州斷層連接，將於討論一節中探討此問題以及此地點的抬升速率。

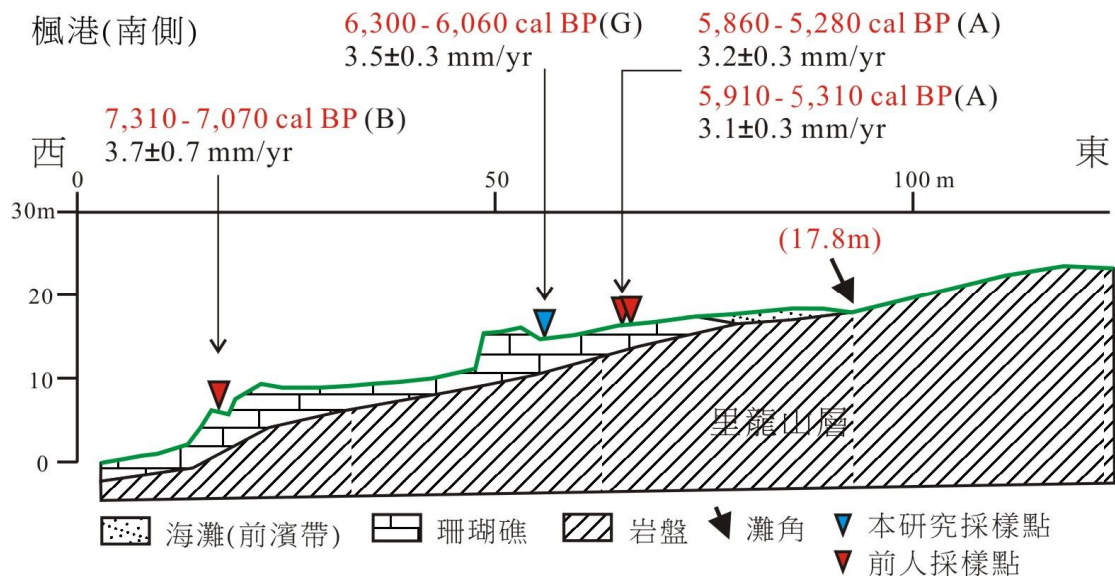


圖 3-3、楓港南側地區隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代(位置參照圖 3-2)；年代後括號代表定年資料來源，見表 3-1。

3-2-2 海口地區 (圖 3-1)

恆春斷層北側區段從統埔朝北沿著山麓前緣的一北西走向 30°的筆直斷層崖至海口，之後進入海域，在海口的斷層上盤（東側）形成隆起珊瑚礁海階，接近山麓的海階沉積層被後期的沖積扇覆蓋，海階沉積層（含隆起珊瑚礁）不整合在晚中新世石門層與更新世墾丁層之上（圖 3-3）。海階共形成三個不同高度的階面，各階面灘角的海拔約 4.8 公尺、19 公尺與 23 公尺，灘角前緣都堆積了海灘相的生物碎屑層，但大部份階面的剖面都出露原地生長珊瑚礁不整合在岩盤之上的產狀。

海階範圍分布相當廣泛，多處河谷兩側都出露良好的剖面，前人於此海階上有相當多的碳十四定年分析；年代為 1,250-800 cal BP、6,060-5,480 cal BP、4,640-3,950 cal BP (Hashimoto *et al.*, 1972)，4,780-4,500 Cal BP、5,290-5,040 cal BP、6,880-6,630 cal BP (Chen and Liu, 1993)，5,570-4,050 cal BP、7,310-7,070 cal BP (Ma, 1967)，及 4,450-4,310 cal BP (陳文山等, 2005a) (表 3-1；圖 3-3)。

另外，前期研究曾在斷層崖西側的下盤進行 4 孔鑽井（海口 1 號井至海口 4 號井），岩芯岩性分四層，底層是受強烈剪切的墾丁層（或斷層帶），僅出露在東側的海口 1 號井與 3 號井。墾丁層之上不整合堆積河流或崖錐礫石層或泥質砂層，之上整合堆積一層水塘或半淡水濕地環境的砂層與泥質砂層。碳十四年代為 9,270-8,630 cal BP（海口 4 號井）至 2,770-2,490 cal BP（海口 2 號井）；泥質砂層之上再被陸相崖錐礫石層覆蓋（圖 3-4；表 3-1）。

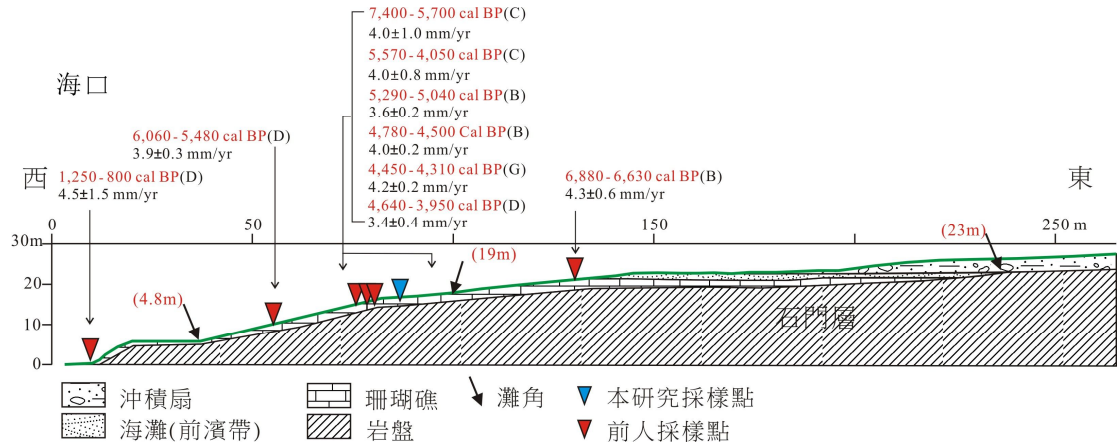


圖 3-4、海口地區隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代（位置參照圖 3-2）；海口海階不整合在石門層或墾丁層之上，可分為三階，階地灘角的海拔分別為 4.8 公尺、19 公尺與 23 公尺。年代後括號代表定年資料來源，見表 3-1。

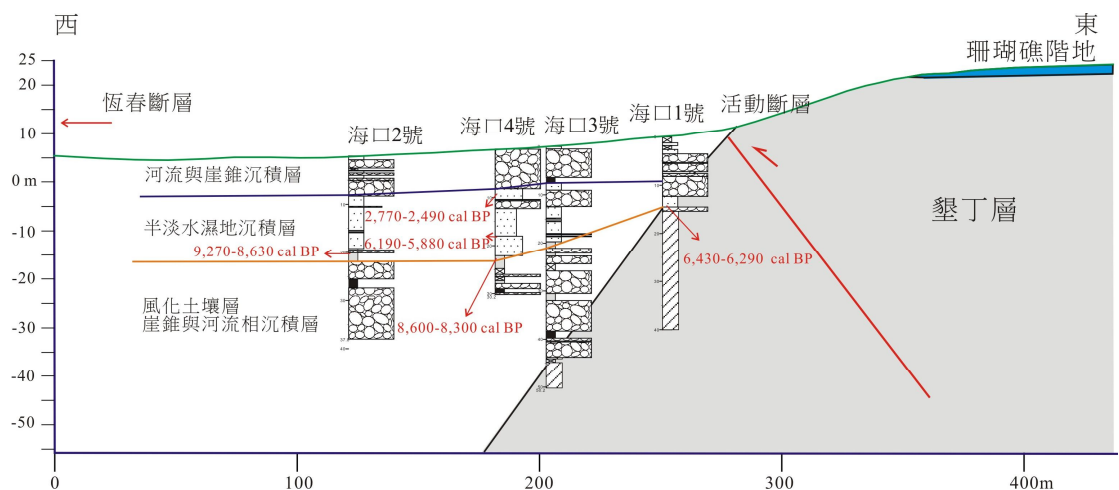


圖 3-5、海口區域斷層崖西側（斷層下盤）岩芯剖面（位置參照圖 3-2）。年代資料見表 3-1。

3-2-3 統埔地區（圖 3-1）

統埔以南區域由於斷層上盤的岩性轉變為厚層泥岩的墾丁層，因易被侵蝕，以致於斷層崖地形不明顯，山麓前緣僅約略呈線狀；上盤沒有形成全新世海階與扇階地形。下盤的恆春谷地可能具構造沉陷作用，鄰近斷層跡區域堆積大量來自中央山脈的河流沖積層。

前期研究曾於車城鄉統埔村四重溪南岸進行鑽探調查，鑽取四重溪 1 號至 4 號井，鑽井剖面垂直恆春斷層走向（圖 3-5）。地表下 60 公尺以上的岩芯岩性可

分為三層，底層為受強烈剪切作用的墾丁層（或斷層帶），最西側的四重溪 4 號井的墾丁層頂面深度為地表下 36.8 公尺（海拔-28.9 公尺），最東側的四重溪 1 號井的墾丁層出露深度僅 2.6 公尺（海拔 9.4 公尺）。墾丁層頂面呈現朝西傾斜的斜面，可能全新世海進時期受河流侵蝕產生的。墾丁層之上不整合堆積一厚約 1-2 公尺的河流相砂礫層。其上岩性轉變為厚泥層，屬於河口灣溼地環境，厚度由西向東逐漸變薄，僅堆積在四重溪 4 號井（厚度 24.1 公尺）與四重溪 3 號井（厚度 8.6 公尺）。此泥層上部的碳十四年代如下，四重溪 4 號井為 7,420-7,250 cal BP（海拔-3.5 公尺）、8,390-8,200 cal BP（海拔-5.1 公尺）；四重溪 3 號井為 7,590-7,410 cal BP（海拔 4.4 公尺）、7,970-7,790 cal BP（海拔 3.8 公尺）、8,050-7,950 cal BP（海拔 2.8 公尺）（圖 3-5；表 3-1）。四重溪 4 與 3 號井的岩性變化，由底部礫石層不整合於墾丁層之上，之上再堆積一河口灣濕地泥層，最上層堆積河相礫石層。從不整合面上的沉積層序變化，顯示環境呈現由淺變深再變淺的海進再海退變化，吻合末次冰期以來氣候變遷造成海面的變動趨勢。

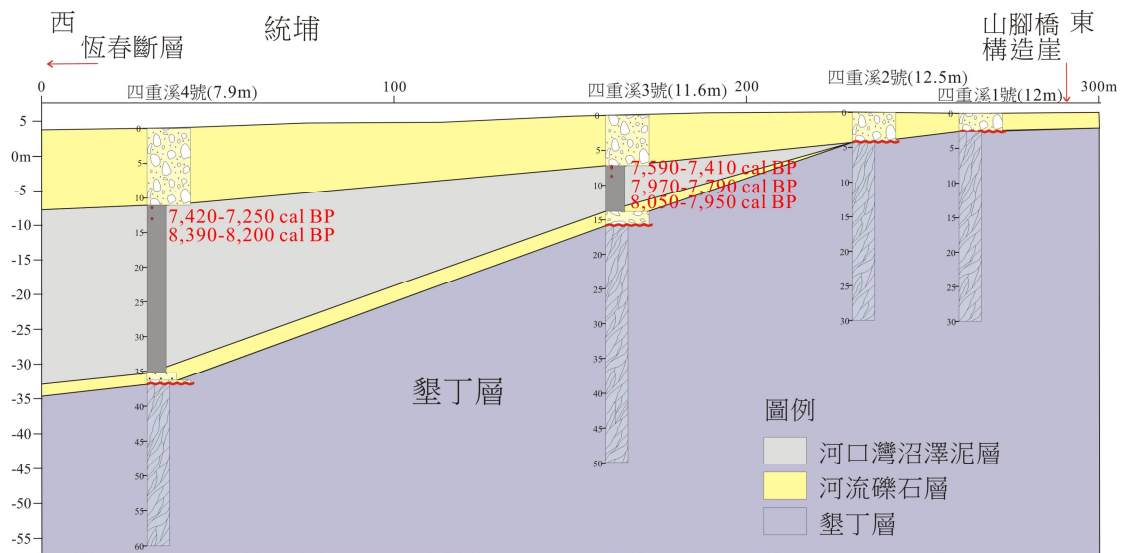


圖 3-6、四重溪區域的岩芯剖面（位置參照圖 3-2）；岩芯下層皆為墾丁層，之上的沖積層屬於河流與濕地環境。山腳橋東側地形屬於中央山脈，本剖面沿四重溪河床，無法於圖中顯示山腳橋東側已高起的地形。所有年代資料來源屬本研究，見表 3-1。

3-2-4 南灣地區（圖 3-1）

恆春斷層的斷層跡分布在恆春鎮以南並不明顯，可能沿著赤牛嶺台地西側山丘與平原之間分布。地層特性上，東側上盤出露的地層有晚中新世石門層，更新世馬鞍山層與墾丁層，以及晚更新世恆春石灰岩；西側下盤的地層為上新世馬鞍山層，與晚更新世恆春石灰岩。推測斷層跡應鄰近屏鵝公路，向南延伸進入南灣海域。核三廠內馬鞍山南側區域同樣以鑽井進行調查，共鑽取南灣 1 號至 6 號井（圖 3-6）。各井深度為 30 公尺，僅 5 號井為 40 公尺。

6 口鑽井的岩性可分為四層，以南灣 5 號井為分界，2、4、6 號井位在 5 號井的西側，1 號與 3 號井位在 5 號井東側，兩側岩性於部分有所差異。

西側 2、4、6 號井，最下層為礫石層夾沙層與泥質沙層，礫石組成有砂岩與大量生物碎屑，淘選度普通，屬於海底河道堆積物；地層傾角約 20° - 50° ，具剪切構造，角度為 50° - 70° 。礫石層之上為貝殼砂礫與珊瑚礫石，屬於晚全新世海灘相沉積層，與其下礫石層呈交角不整合。砂礫層之上則為晚全新世陸相沙丘沉積層。最上層為人為整地回填層（圖 3-6）。

5 號井於最下層又可細分為上、下兩部分，最下層下部為具強烈剪切構造的墾丁層；最下層上部為泥質砂岩夾薄層礫石（井深 8.3-21 公尺），具強烈剪切構造，剪切面角度 55° - 77° 。泥質砂層之上為貝殼砂礫與珊瑚礫石，屬於晚全新世海灘相沉積層，與其下泥質砂層呈交角不整合。砂礫層之上則為晚全新世陸相沙丘沉積層。最上層為人為整地回填層（圖 3-6）。

東側 1 號與 3 號井，最下層屬於上一更新世馬鞍山層，為含海相生物碎屑的泥質砂岩層，地層角度較平緩，傾角約 10° - 30° ，3 號井中本層具強烈剪切構造。馬鞍山層之上為以珊瑚礫石為主的海灘相礫石層，礫石層厚約 2.4-1.5 公尺，最厚的 1 號井為 4.8 公尺，交角不整合在馬鞍山層之上，不整合面約略呈水平狀態，位於海拔約-1.6 至-4.5 公尺處。灘相礫石層之上為沙丘環境的生物碎屑沙層。最上層屬於人為整地回填土層（圖 3-6）。

依據海灘相礫石層下部的珊瑚礫石層的碳十四定年顯示，剖面東側年代較

老，1 號井為 4960-4880 yr BP，3 號井為 4140-3850 yr BP，5 號井為 3060-2750 yr BP，西側的 6 號井為 2590-2280 yr BP（陳文山等，2010）（圖 3-6）。灘相礫石層之上的沙丘沉積層，碳十四年代則大致相同，5 號井為 1330-1130 yr BP，2 號井為 2110-1820 yr BP，4 號井為 1870-1580 yr BP，6 號井為 1890-1610 yr BP（陳文山等，2010）（圖 3-6）。

依據不整合面下的岩芯岩性分析，5 號井為主要分界，西側為上新世泥質砂岩為主與局部礫石層的馬鞍山層，東側為晚更世海相泥質砂岩層，5 號井在井深 21 公尺以下為墾丁層或受強烈剪切的石門層，顯示恆春斷層應通過 5 號與 6 號井之間。

此外，南灣地區位在恆春斷層上盤出露大範圍的全新世隆起珊瑚礁，交角不整合堆積在晚中新世石門層或更新世馬鞍山層之上。此區域以石牛溪北側海階研究資料最多。本研究就以此海階的碳十四年代與地形來探討南灣地區斷層上盤的長期抬升速率。石牛溪海階地形呈現出三階明顯的珊瑚礁平台地形，灘角的海拔各約 15 公尺、25 公尺與 32 公尺（圖 3-7）。

最高兩處珊瑚礁平台的碳十四年代如下，第二階珊瑚礁平台的年代約 6,700 至 5,800 年前，第三階約 7,200 至 8,200 年前（圖 3-7；表 3-1）。

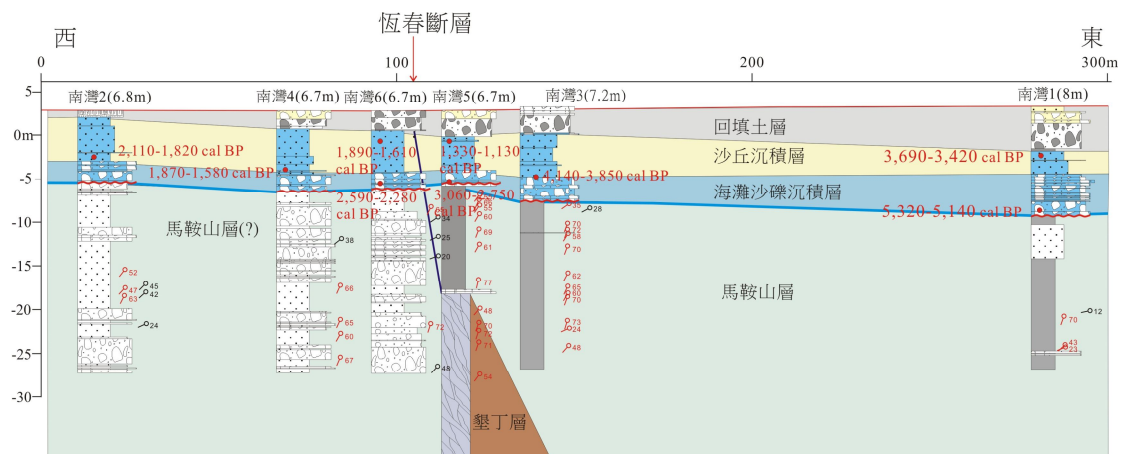


圖 3-7、南灣區域的岩芯剖面（位置參照圖 3-2）；鑽井位於核三廠海岸，恆春斷層界於南灣 5 號與 6 號井之間。所有年代資料來源屬本研究，見表 3-1。紅色具線段圓形符號是剪切面的傾角，黑色指層面傾角。

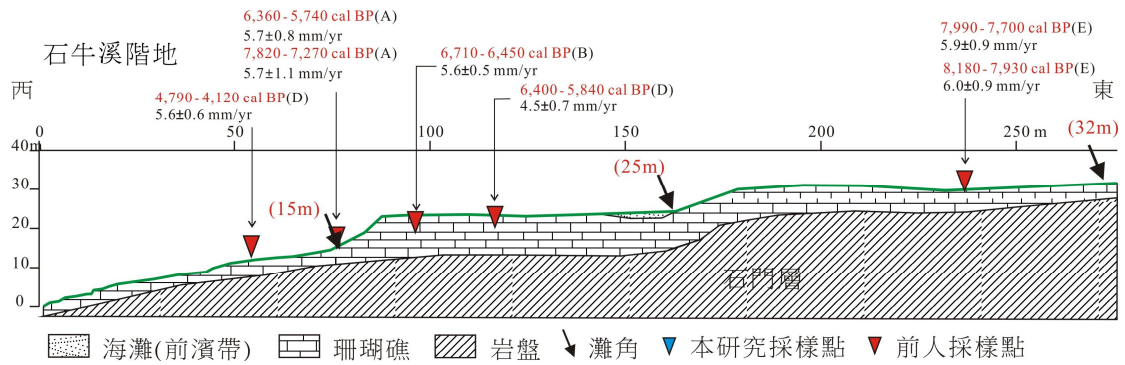


圖 3-8、石牛溪階地隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代（位置參照圖 3-2）；石牛溪北側珊瑚礁不整合在石門層之上，平台的灘角位於海拔約 15 公尺、25 公尺與 32 公尺。年代後括號代表定年資料來源，見表 3-1。

3-3 長期垂直變動速率研究

2004 年至 2010 年期間，海口與南灣地區多次利用鑽井調查斷層跡位置，以及利用海相地層中化石與焦炭的碳十四年代，估算恆春斷層下盤的長期抬升速率。本研究也利用斷層上盤（東側）海階的珊瑚或貝殼口蓋進行碳十四定年，以及由沉積後至今的高度變化，估算上盤的長期抬升速率；而斷層的垂直滑移速率是由斷層兩側上下盤的抬升速率差來估算。

岩盤的抬升速率（E）計算是沉積之後至今的高度變化（B-C+D），再除以沉積至今的時間（A）； $E = (B - C + D) / A$ 。B:標本採樣海拔；C:沉積時的古水深（C 為正值）；D:沉積時古海面距進的高度差。

海階古水深的估算不易，但本研究會在每一海階剖面中訂定出海階形成時的海岸線位置，亦是最上部海灘位置，其經常產生侵蝕崖與灘角地形（shoreline angle），或以海灘（foreshore）沉積物分布的內側（陸側）位置；此位置的海拔作為海階變動之後的古海岸線高度。

各環境的海拔深度與高度是依據鄰近地區的現生環境，海灘（灘角）水深為 0-1 公尺，河口灣溼地水深為 -2—0 公尺，砂丘高度為 1-4 公尺，近岸河流高度為 3-5 公尺（表 3-1）。以下將討論各地區斷層的長期抬升速率。

3-3-1 楓港地區

此剖面位於楓港溪出海口南側西海岸的坡地上，珊瑚礁生長在中新世岩盤上，分布最高的海灘沉積物的海拔 17.8 公尺。此剖面共有四個珊瑚碳十四定年年代資料，估算抬升速率各為 3.7 ± 0.7 mm/yr、 3.5 ± 0.3 mm/yr、 3.1 ± 0.3 mm/yr 與 3.2 ± 0.3 mm/yr（表 3-1；圖 3-8），平均 3.4 ± 0.4 mm/yr。

從抬升速率分析，恆春斷層應位在西側的海域，而陸域屬於上盤的抬升地塊，由於下盤區域無法獲得抬升速率，所以此區域無法估算斷層的長期垂直滑移速率。

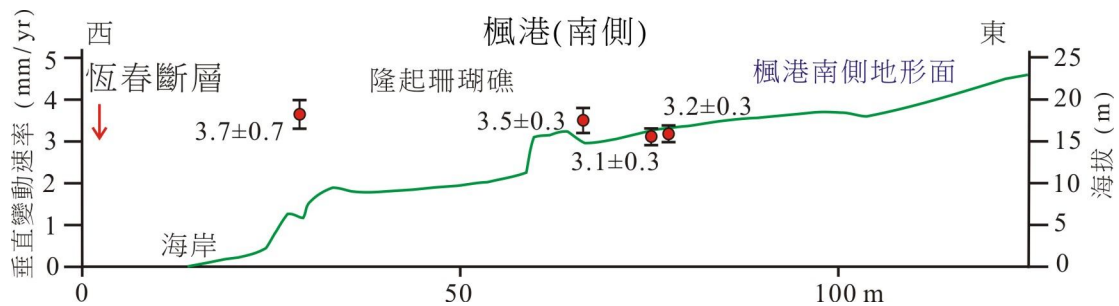


圖 3-9、楓港地區恆春斷層上盤的長期垂直抬升速率（位置參照圖 3-2）。綠線為地表。

3-3-2 海口地區

海口至統埔地區在中央山脈前緣形成一條筆直的斷層崖，崖坡上有一朝西微傾斜的海階與扇階。前人與本研究在海階上共採取九個珊瑚標本進行碳十四定年分析，年代分別如表 3-1。從海階地形與珊瑚礁產狀，將珊瑚礁階地分為三期不同高度的階面，海拔各為 4 公尺、19 公尺與 23 公尺。從珊瑚碳十四年代推測各階面形成年代，第一階約 2,000-1,000 年前，第二階約 5,500-4,000 年前，第三階約 7,300-6,100 年前（圖 3-3）。依據階面年代與高度，估算海口區域在斷層上盤的長期抬升速率，平均約 4.1 ± 0.7 mm/yr（圖 3-9）。

另外，斷層下盤海口村的岩芯年代與沉積環境估算長期抬升速率，平均為 -0.1 ± 0.6 mm/yr，約略呈現沉降（圖 3-9）。從斷層上下盤的長期抬升速率差，獲得斷層長期垂直滑移速率為 4.2 ± 1.3 mm/yr。

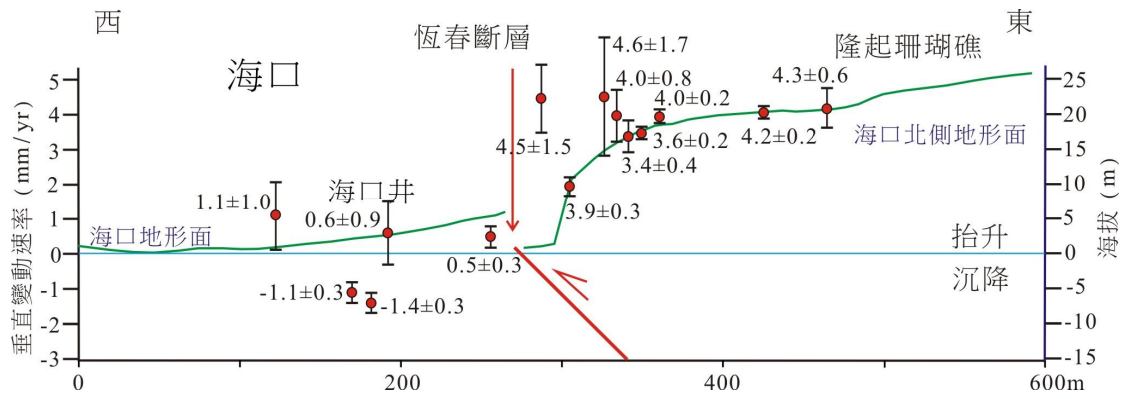


圖 3-10、海口地區恆春斷層上、下盤的長期垂直抬升速率（位置參照圖 3-2）。綠線為地表。

3-3-3 統埔地區

本研究在山麓前的沖積平原進行四孔鑽井，岩芯中第三層的厚泥層屬於河口灣濕地環境，依現今四重溪河口環境的深度約-2~0 公尺，泥層上部的碳十四年代為 8,400 至 7,200 年前，估算的抬升速率為 1.5 ± 0.7 mm/yr、 1.9 ± 0.7 mm/yr、 1.8 ± 0.7 mm/yr、 0.4 ± 0.7 mm/yr、 1.1 ± 0.8 mm/yr（表 3-1，圖 3-10）；平均長期抬升速率約 1.3 ± 0.7 mm/yr，此區仍屬斷層上盤。

另外，本研究亦利用位在西側約 1 公里處的車城井（200 公尺深），由碳十四定年年代與沉積環境估算抬升速率，結果為 -0.9 ± 0.2 mm/yr、 -1.4 ± 0.6 mm/yr、 0.2 ± 0.8 mm/yr、 1.0 ± 0.9 mm/yr、 0.8 ± 0.6 mm/yr；平均長期抬升速率約 -0.1 ± 0.6 mm/yr，此處當屬斷層下盤。從斷層上下盤的長期抬升速率差，獲得斷層長期垂直滑移速率為 1.4 ± 1.3 mm/yr；此結果似乎遠小於北側海口地區的滑移速率。

從統埔以南地形來看，北側斷層崖地形朝南延伸經過本鑽井區域東側的山腳橋（圖 3-10）。推測鑽井區域應位在全新世主要活動斷層的下盤（西側），以致由統埔鑽井岩芯所估算的斷層抬升速率較小。

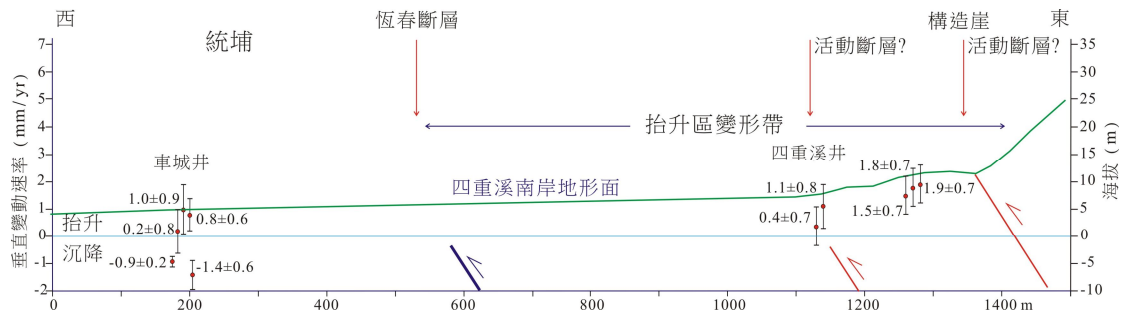


圖 3-11、統埔地區恆春斷層上、下盤的長期垂直抬升速率（位置參照圖 3-2）。綠線為地表。

3-3-4 南灣地區

此地區包括南灣核三廠及南側石牛溪旁的海階（墾丁國家公園管理處），恆春斷層大致通過核三廠門口後進入南灣海域，因此石牛溪海階位於斷層上盤（東側）。

根據前人在石牛溪海階的珊瑚碳十四定年資料如表 3-1，從海階地形與珊瑚礁產狀分析，可將珊瑚礁階地分為三期不同高度的階面，海拔各為 15 公尺、25 公尺與 32 公尺（圖 3-7）。碳十四定年的珊瑚採樣地點在較高的第二與第三階，依據珊瑚定年年代與階面高度（灘角）估算石牛溪地區上盤的長期抬升速率，平均約 5.6 ± 0.8 mm/yr（圖 3-11）。南灣核三廠位於斷層下盤區域，由南灣鑽井岩芯標本共分析 9 個珊瑚年代，估算抬升速率為 -0.1 ± 0.4 mm/yr，約略呈現沉降環境（圖 3-11）；從石牛溪海階與核三廠，各位在斷層上下盤的長期抬升速率差，獲得斷層長期垂直滑移速率為 5.7 ± 1.2 mm/yr。

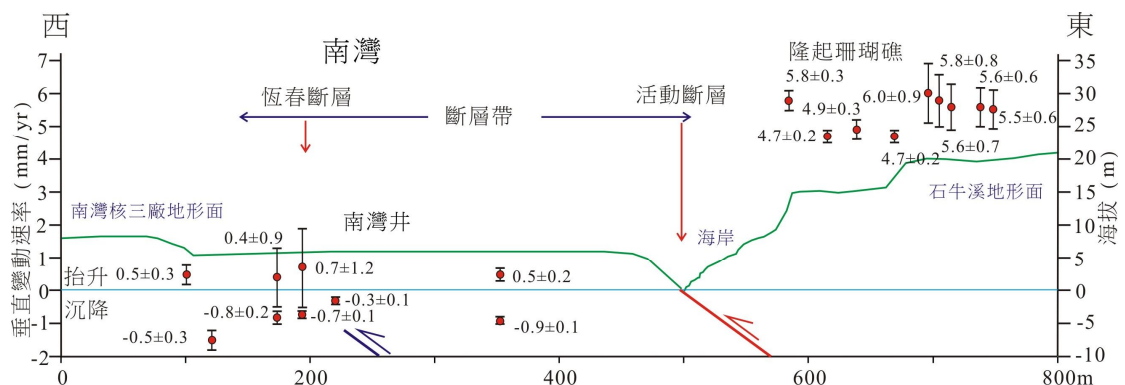


圖 3-12、南灣地區恆春斷層上、下盤的長期抬升速率（位置參照圖 3-2）。綠線為地表。

3-4 長期變動速率

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。

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。

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、恆春鎮南側柴櫛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。

3-5 斷層跡調查與 e-GPS 量測

本研究在恆春斷層沿線進行量測（圖 3-12），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（陳柏村與紀權睿，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 $N20^{\circ}W$ 。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(圖 3-12)。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(圖 3-12)。

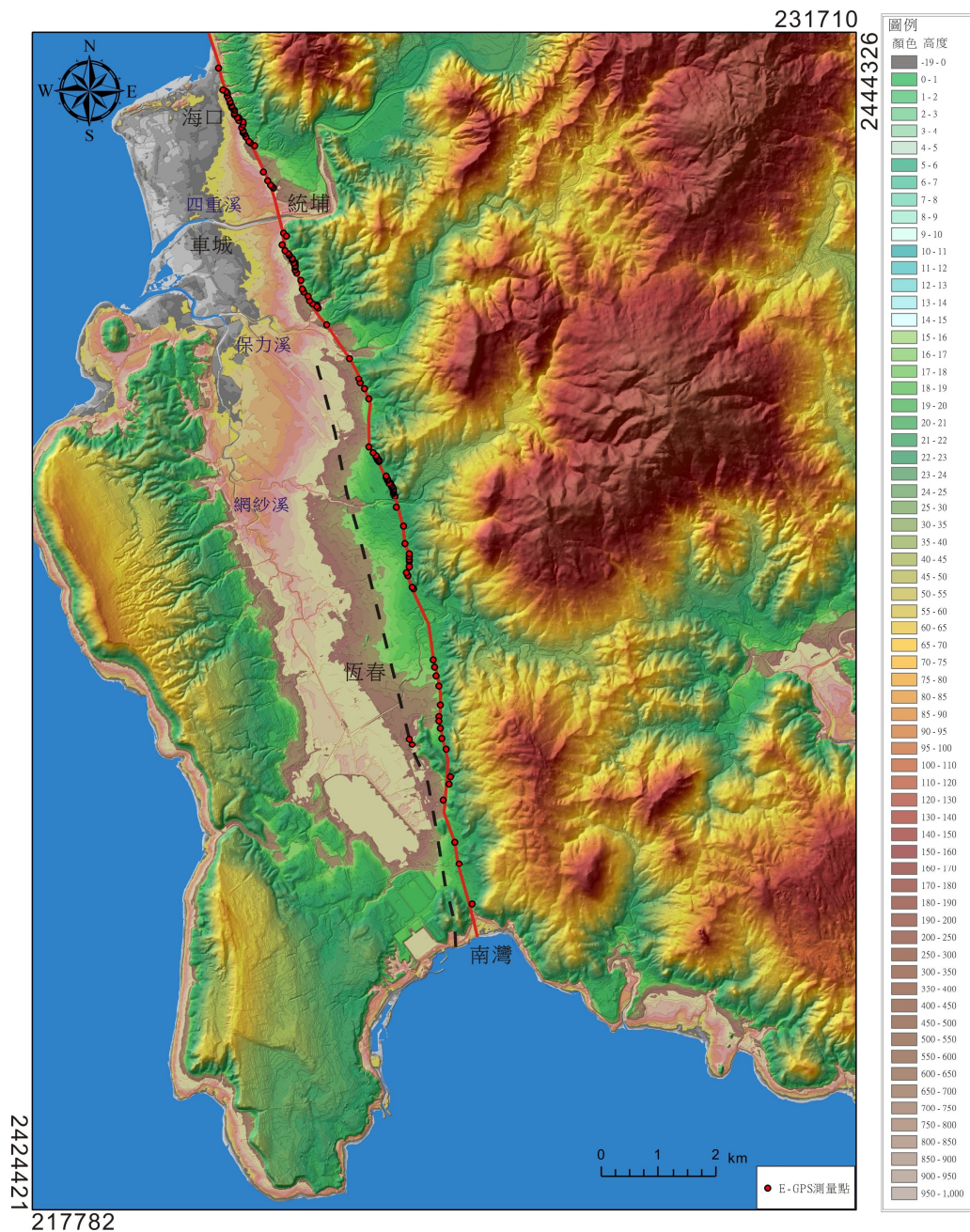


圖 3-12、恆春斷層 e-GPS 量測點。黑色虛線為恆春斷層主斷層，紅線為位於恆春谷地東側的斷層(支斷層)。

表 3-1、恆春斷層區域碳十四年代，以及估算各採樣地點的抬升速率(E)：

$$E = (B - C + D) \times 1000 / A。$$

井號、地名	B:採樣海拔(m)	D:沉積時 古海面與 現今海面 高度差(m)	未校正年代 (yr BP)	A:年代 (cal BP)	C:沉積水 深(m)	E:垂直速率 (mm/yr)	資料來源
楓港	16(SA:17.8)	0	5,190±130	5,860-5,280	0-1 (SA)	3.2±0.3	A 珊瑚
楓港	16(SA:17.8)	0	5,260±140	5,910-5,310	0-1 (SA)	3.1±0.3	A 珊瑚
楓港	16(SA:17.8)	5.0-3.0	5,780±50	6,300-6,060	0-1 (SA)	3.5±0.3	F (NTU)珊瑚
楓港	8.6(SA:17.8)	12.3-4.8	6,670±50	7,310-7,070	0-1 (SA)	3.7±0.7	B 珊瑚
海口	15(SA:23)	13.1-0	6,100±400	7,400-5,700	0-1 (SA)	4.0±1.0	C 貝
海口	15(SA:19)	0	4,600±300	5,570-4,050	0-1 (SA)	4.0±0.8	C 珊瑚
海口	1(SA:4.8)	0	1,470±105	1,250-800	0-1 (SA)	4.5±1.5	D 珊瑚
海口	10(SA:23)	0	5,390±130	6,060-5,480	0-1 (SA)	3.9±0.3	D 珊瑚
海口	15(SA:15?)	0	4,210±120	4,640-3,950	0-1 (SA)	3.4±0.4	D 珊瑚
海口	15.3(SA:19)	0	4,870±40	5,290-5,040	0-1 (SA)	3.6±0.2	B 珊瑚
海口	15.3(SA:19)	0	4,440±40	4,780-4,500	0-1 (SA)	4.0±0.2	B 珊瑚
海口	22(SA:23)	8.7-3.6	6,290±50	6,880-6,630	0-1 (SA)	4.3±0.6	B 珊瑚
海口	15(SA:19)	0		4,450-4,310	0-1 (SA)	4.2±0.2	F (NTU)珊瑚
四重溪 3 號	4.4	15.0-6.6	6,790±40	7,590-7,410	3-5 (F)	1.5±0.7	F (Beta)貝
四重溪 3 號	4	19.3-10.8	7,030±50	7,970-7,790	3-5 (F)	1.9±0.7	F (Beta)焦碳
四重溪 3 號	2.8	20.1-11.0	7,220±40	8,050-7,950	3-5 (F)	1.8±0.7	F (Beta)焦碳
四重溪 4 號	-2.8	13.3-5.7	6,400±40	7,420-7,250	3-5 (F)	0.4±0.7	F (Beta)焦碳
四重溪 4 號	-5.1	23.9-13.0	7,520±40	8,390-8,200	3-5 (F)	1.1±0.8	F (Beta)焦碳
南灣 1 號	2.2	0	3,650±50	3,690-3,420	0-1 (SA)	0.5±0.2	F (NTU)珊瑚
南灣 1 號	-4.35	0	4,540±40	5,320-5,140	0-1 (SA)	-0.9±0.1	F (Beta)珊瑚
南灣 2 號	1.45	0	2,070±40	2,110-1,820	0-1 (SA)	0.5±0.3	F (Beta)貝
南灣 3 號	-0.5	0	3,990±50	4,140-3,850	0-1 (SA)	-0.3±0.1	F (NTU)珊瑚
南灣 4 號	-0.35	0	1,800±40	1,870-1,580	0-1 (SA)	-0.5±0.3	F (Beta)貝
南灣 5 號	3.2	0	1,360±40	1,330-1,130	1-4 (D)	0.7±1.2	F (Beta)貝
南灣 5 號	-1.4	0	2,840±40	3,060-2,750	0-1 (SA)	-0.7±0.1	F (Beta)珊瑚
南灣 6 號	3.1	0	1,850±40	1,890-1,610	1-4 (D)	0.4±0.9	F (Beta)焦碳
南灣 6 號	-1.5	0	2,360±40	2,590-2,280	0-1 (SA)	-0.8±0.2	F (Beta)貝
南灣	0	0	2,810±50	2,700-2,380	0-1 (SA)	-0.2±0.2	F (NTU)珊瑚
石牛橋	15(SA:32)	5.3-0	5,670±140	6,360-5,740	0-1 (SA)	5.7±0.8	A 珊瑚
石牛橋	15(SA:32)	17.6-5.2	7,050±145	7,820-7,270	0-1 (SA)	5.7±1.1	A 珊瑚
石牛橋	15.8(SA:32)	7.3-3.4	6,150±50	6,710-6,450	0-1 (SA)	5.6±0.5	B 貝
石牛橋	12(SA:25)	0	4,310±120	4,790-4,120	0-1 (SA)	5.6±0.6	D 珊瑚
石牛橋	20(SA:25)	5.5-0	5,710±130	6,400-5,840	0-1 (SA)	4.5±0.7	D 貝

石牛橋	28(SA:32)	19.5-9.3	7,400±70	7,990-7,700	0-1 (SA)	5.9±0.9	E 珊瑚
石牛橋	28(SA:32)	21.6-10.8	7,600±60	8,180-7,930	0-1 (SA)	6.0±0.9	E 珊瑚
海口 1 號	-1.2	5.7-3.3	5,640±40	6,430-6,290	3-5 (F)	-0.1±0.3	F (Beta) 焦碳
海口 2 號	-15.5	33.7-17.7		9,270-8,630	3-5 (F)	0.7±1.0	F (Beta) 焦碳
海口 4 號	-2.2	0		2,760-2,490	3-5 (F)	-2.3±0.3	F (Beta) 焦碳
海口 4 號	-11.2	4.5-2.8		6,190-5,880	3-5 (F)	-1.9±0.3	F (Beta) 焦碳
海口 4 號	-16.2	26.3-13.8		8,600-8,300	3-5 (F)	0.0±0.9	F (Beta) 焦碳
車城井	-5.8	0	4,490±40	5,460-5,300	-2-0 (T)	-0.9±0.2	F (Beta) 焦碳
車城井	-11.6	4.5-0	5,340±40	6,190-5,930	-2-0 (T)	-1.4±0.6	F (Beta) 焦碳
車城井	-19.0	30.8-18	7,960±50	9,010-8,640	3-5 (F)	0.2±0.8	F (Beta) 焦碳
車城井	-32.3	54.4-38.4	,9290±60	10,580-10,250	3-5 (F)	1.0±0.9	F (Beta) 焦碳
車城井	-44.0	62.4-51.6	9,910±60	11,610-11,210	3-5 (F)	0.8±0.6	F (Beta) 焦碳

備註

資料來源

A : Konishi *et al.*, 1968

B : Chen and Liu, 1993

C : Ma, 1967

D : Hashimoto *et al.*, 1972

E : 林久芳, 1989

F : 本研究

沉積水深

(SA) : 灘角或海灘 (前濱帶)

(F) : 近岸河流

(T) : 河口灣溼地

(D) : 砂丘。

古海面高度依據

Fairbanks, 1989 ; Chappell and Polach, 1991 ; Bard *et al.*, 1996 。

第四章、利吉斷層

4-1 前言

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 4-1、圖 4-2）。

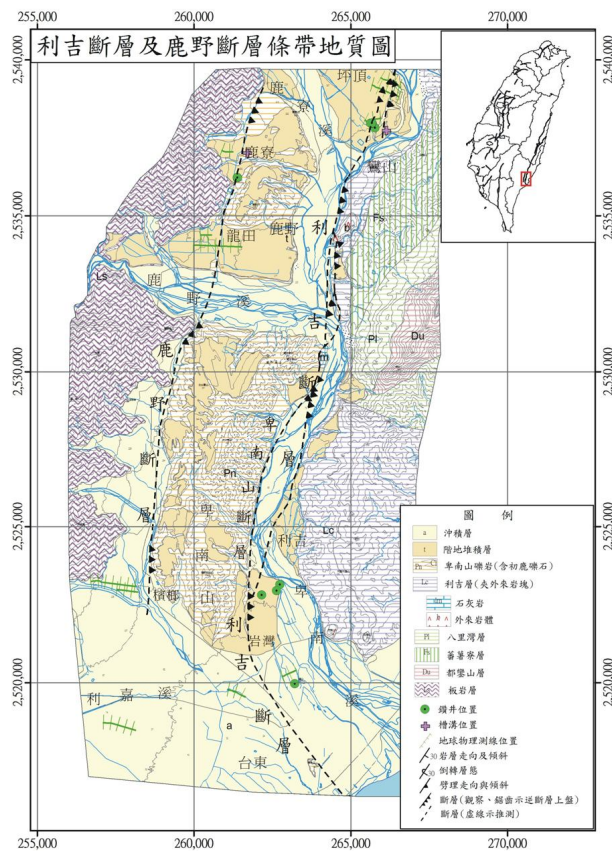


圖 4-1、利吉斷層與鹿野斷層條帶地質圖（經濟部中央地質調查所，2010）。
(TWD67)

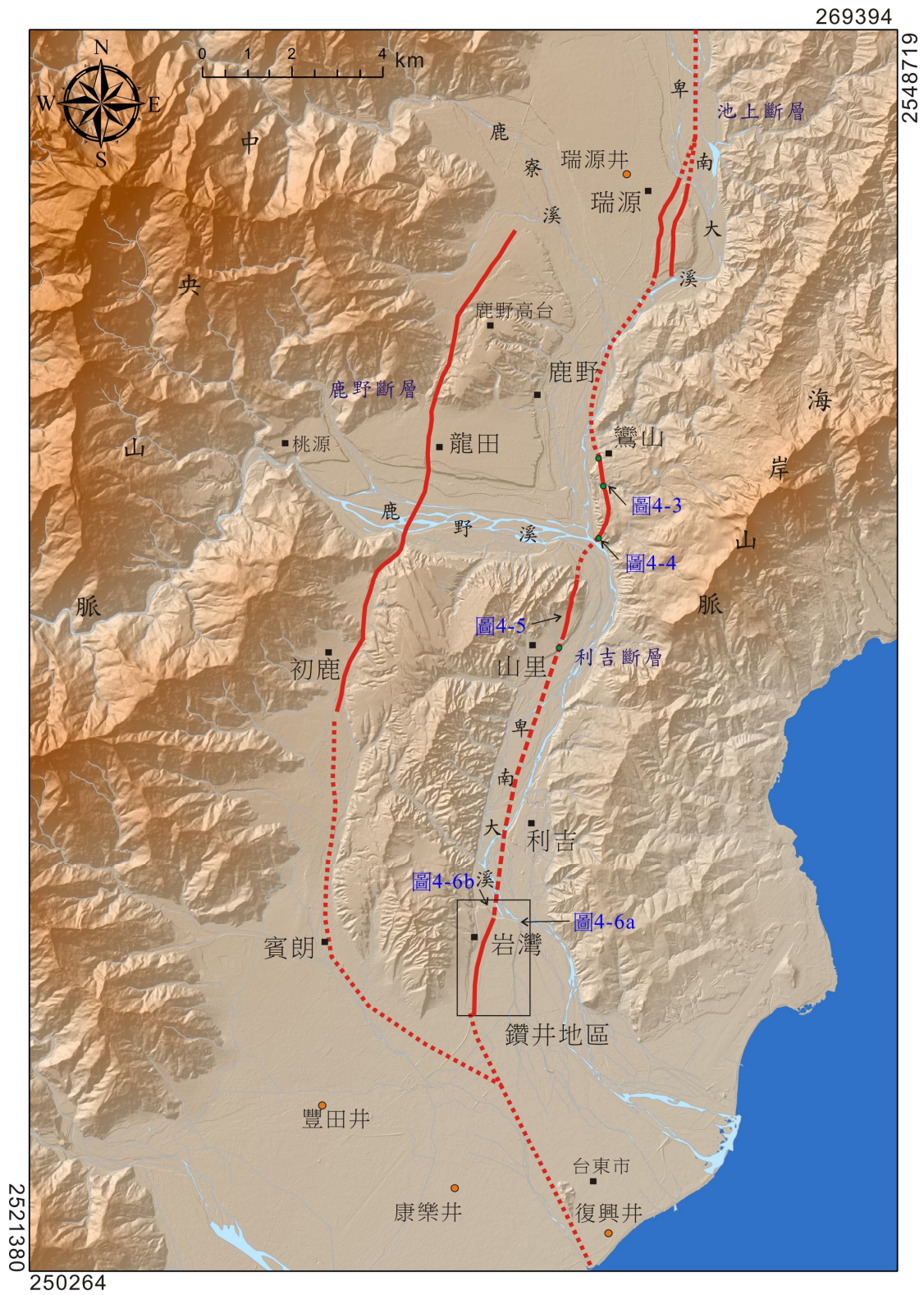


圖 4-2、利吉斷層與鹿野斷層分布圖。(TWD67)

4-2 利吉斷層野外產狀

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 4-1、圖 4-2）。在鸞山（圖 4-3、圖 4-4）、山里（圖 4-4）以及岩灣（圖 4-6；照片位置見圖 4-2）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（圖 4-3）（紀權宥，2006）。

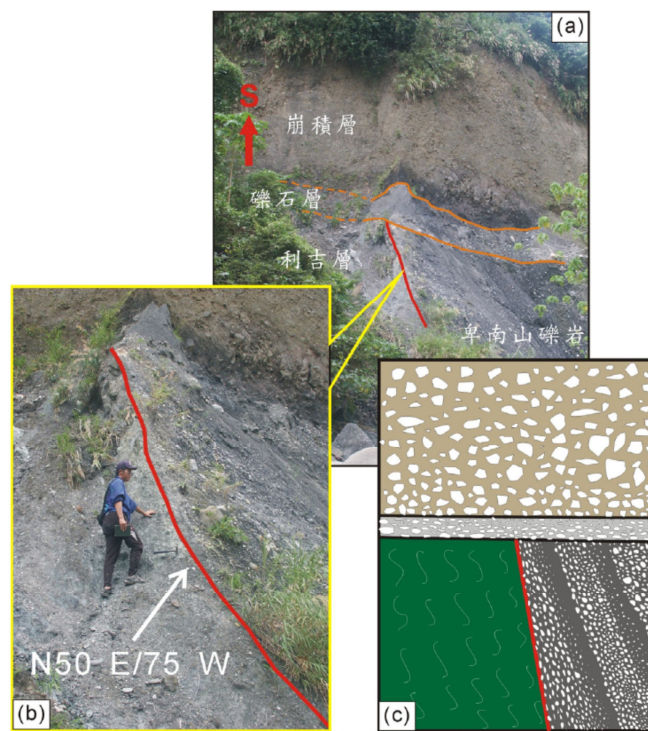


圖 4-3、鸞山附近溪谷中利吉斷層露頭。可見利吉層逆衝至卑南山礫岩之上，但未截切上伏扇階礫石層，顯示礫石沉積後斷層未有活動（位置見圖 4-2）。

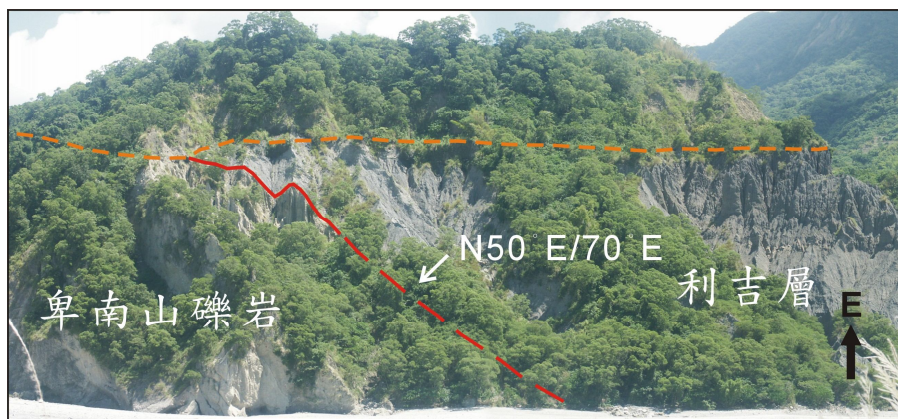


圖 4-4、卑南大溪東岸利吉斷層露頭（位置見圖 4-2）。

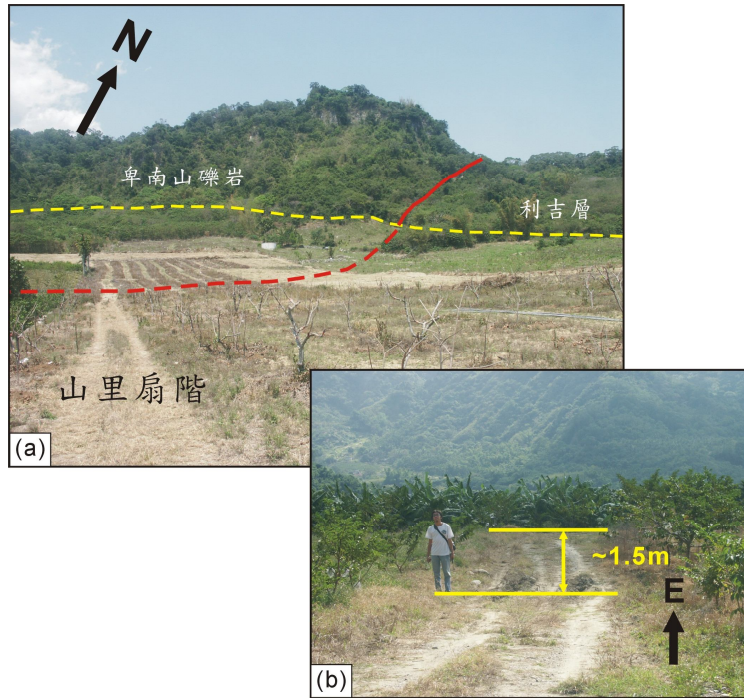


圖 4-5、山里扇階北側利吉斷層露頭。斷層由地形交界處往南延伸，在扇階上形成 1.5 公尺高的小崖（位置見圖 4-2）。

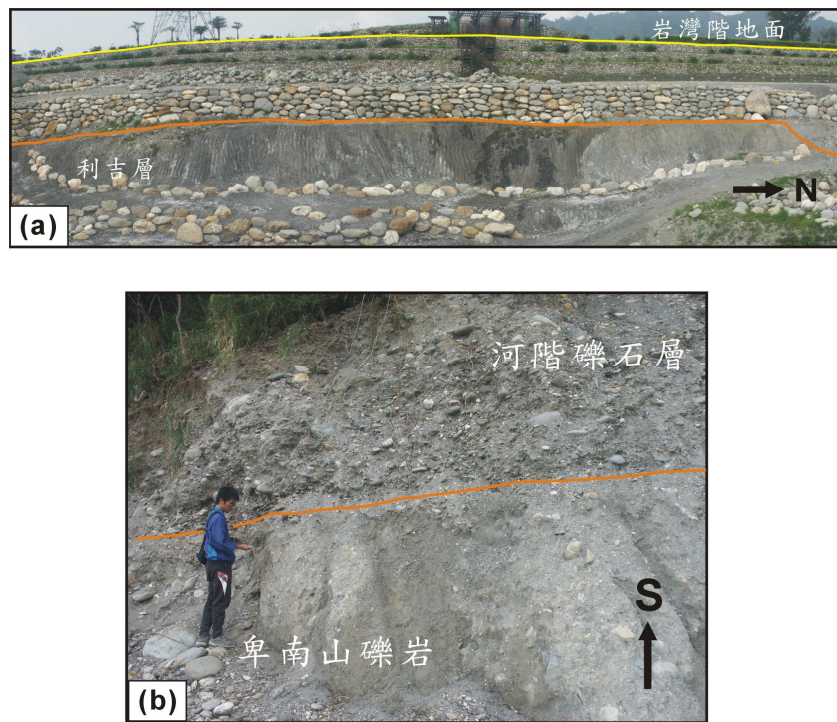


圖 4-6、岩灣河階北側利吉斷層露頭。河階礫石層分別不整合在利吉層與卑南山礫岩上。(a) 河階東北側的卑南大圳公園下的利吉層，(b) 河階西北側階崖出露卑南山礫岩。利吉層與卑南山礫岩之間的斷層被河堤覆蓋(位置見圖 4-2)。

4-3 鑽探

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，圖 4-7）以及近期中興工程公司的鑽井岩芯（TT(RW)：臺東車站機廠井，圖 4-7）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）（圖 4-7）。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。

本研究於岩灣階地區域 3 處場址共鑽取 10 口淺層鑽井岩芯，依岩性及組成分為 5 層（附錄一），由年輕至老分別為回填土層（M）、沖積扇沉積層（Ha）、海相沉積層（Oc）、卑南山礫石層（Bns）、利吉層（Lz），其岩性及組成描述

如下。

回填土層 (M) :

淘選度極差的基質支持結構礫石層。基質為膠結鬆散的細砂或粉砂質泥，礫石為變質砂岩、板岩或大理岩，偶夾有紅磚碎塊，為人為整地的回填土。

沖積扇沉積層 (Ha) :

淘選度差至尚可的顆粒支持結構礫石層。礫石為變質砂岩、板岩或大理岩，偶有變質火成岩，礫石縫隙充填黃褐色 (Lz1-1~Lz1-5、Lz2-1~Lz2-2) 或青灰色 (Lz3-1~Lz3-3) 的中至粗砂。礫石層組成材料與卑南山礫岩相似，由於岩灣階地位於卑南山臺地東緣，發育自臺地的河流於岩灣階地西側形成沖積扇，組成礫石源自於卑南山。多處礫石層頂部有一粉砂質泥層 (Lz1-1、Lz1-3、Lz3-1、Lz3-2、Lz3-3)，泥中偶夾有小至中礫石，礫石為變質砂岩及板岩，風化發育為土壤層。

本層為卑南山的山麓沖積扇沉積物，遍佈於岩灣階地面上，侵蝕覆蓋於海相沉積層 (Oc)、卑南山礫岩層 (Bns) 或利吉層 (Lz) 之上。

海相沉積層 (Oc) :

淘選度良好的泥層及粉砂層，形成厚層粉砂夾厚薄不一的泥層 (1-4m)，分布於 Lz1-2、Lz1-4、Lz1-5 岩芯中。部份粉砂層中夾泥質紋層 (Lz1-4)，具平行紋理。粉砂層中生物擾動輕微至無，而泥層具明顯生物擾動。粉砂層中偶有貝屑。泥層及粉砂層中具多處剪切面，剪切面角度以 35-45° 及 60-70° 兩組剪切面為主，偶有角度小於 25° 的剪切面。

此海相地層經超微化石分析，指準化石有 *G. oceanica* 與 *P. lacunosa*，屬於更新世 NN19 帶 (表 4-1)，由於沉積物含有片岩等變質岩，與八里灣層不同，推測較八里灣層年輕，可能屬於 NN19c 帶，時代約 0.8-0.46 Ma 之間。

本層頂部有一淘選良好的基質支持結構小礫石層，僅分佈於 Lz1-5 井，基質為膠結良好的粉砂質泥含大量貝殼破片，礫石有變質砂岩、變質火成岩、石灰岩質小礫石，屬於海相沉積物，上覆不整合沖積扇沉積層 (Ha)，其與卑南山礫岩層 (Bns) 及利吉層 (Lz) 接觸關係不明。

卑南山礫岩層 (Bns) :

淘選度尚可的顆粒支持結構礫石層。礫石為變質砂岩、板岩或大理岩，礫石層充填淺黃色的細至中砂，礫石層已傾斜。部分層位夾有薄層中砂層(Lz3-3)，砂層偶有剪切構造。

卑南山礫岩屬於晚更新世的陸相河流礫石層，夾有透鏡狀砂體，上覆於板岩層之上，受利吉斷層與鹿野斷層構造作用影響，形成傾斜的礫石層。

利吉層 (Lz) :

利吉層岩性具強烈剪切的泥岩，夾大量外來岩塊，有砂岩、火成岩及蛇綠岩系岩石。岩芯的剪切泥岩中夾大量砂岩岩塊，出露於 Lz2-1、Lz3-1、Lz3-2 井中。剪切面角度以 35-45°及 55-65°兩組構造為主，偶有 20°以下或 70°以上的剪切面。

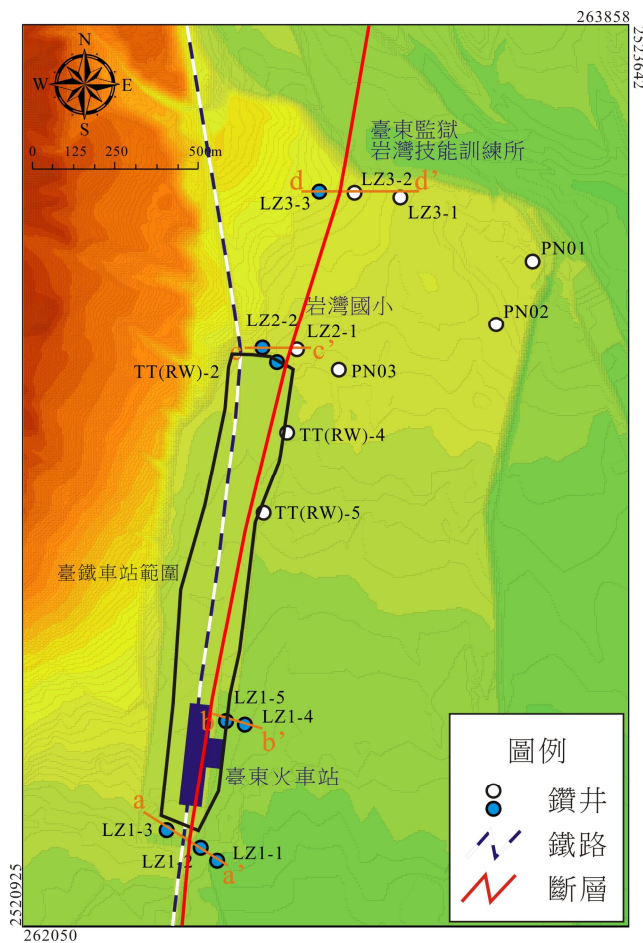


圖 4-7、本計畫鑽井與前期鑽井位置圖，以及斷層位置圖（紅線）。白色圈的鑽井的岩盤為利吉層，藍色圈的鑽井的岩盤未見利吉層。

表 4-1 超微化石相對豐度表

觀察者：林荷雅

樣本編號 種屬名	LZ1-2 65.0- 65.05m	LZ1-2 75.9m	LZ1-2 96.6m	LZ1-5 49m
<i>C. macintyreii</i>			F	F
<i>C. leptoporus</i>	R	R	F	R
<i>C. pelagicus</i>	F	R	F	
<i>D. productus</i>	C	C	C	R
<i>Discoaster spp.</i>				C
<i>G. oceanica</i>		F		
<i>H. kamptneri</i>		F	F	
<i>P. lacunosa</i>	F	C	C	F
<i>R. minutula</i>	C	A	A	A
<i>R. minuta</i>		F	R	
<i>R. gelida</i>	R*			
<i>S. abies</i>	R*			R*
<i>Small Gephyrocapsa</i>		F	F	
生物地層：NN19				

相對豐度記錄：

D：50%以上

A：10%–50%

C：1%–10%

F：0.1%–1%

R：0.1%以下

* 移置化石

4-3-1 臺東火車站 (LZ1)

此場址可再分兩處，第一處位在車站南側，地形崖位在鐵道西側，由於臺東鐵路車站已經大規模開挖整地，推斷原來的地形崖應位在鐵道附近，所以鑽井位在鐵道兩側（圖 4-7）。LZ1-3 井位在鐵道西側，LZ1-2 與 LZ1-3 井位在鐵道東側；LZ1-2 井鑽取深度至 103 公尺，在 64.9 公尺處鑽入海相地層 (Oc)，LZ1-1 與 LZ1-3 井位在 LZ1-2 井兩側，鑽取深度各為 50 公尺，未發現其它地層（圖 4-8；附錄一）。由於 LZ1-2 井的海相地層具有密集的剪切構造，本調查認為此剪切構造應與鄰近利吉斷層的活動有關，推測利吉斷層跡位於 LZ1-2 井西側。

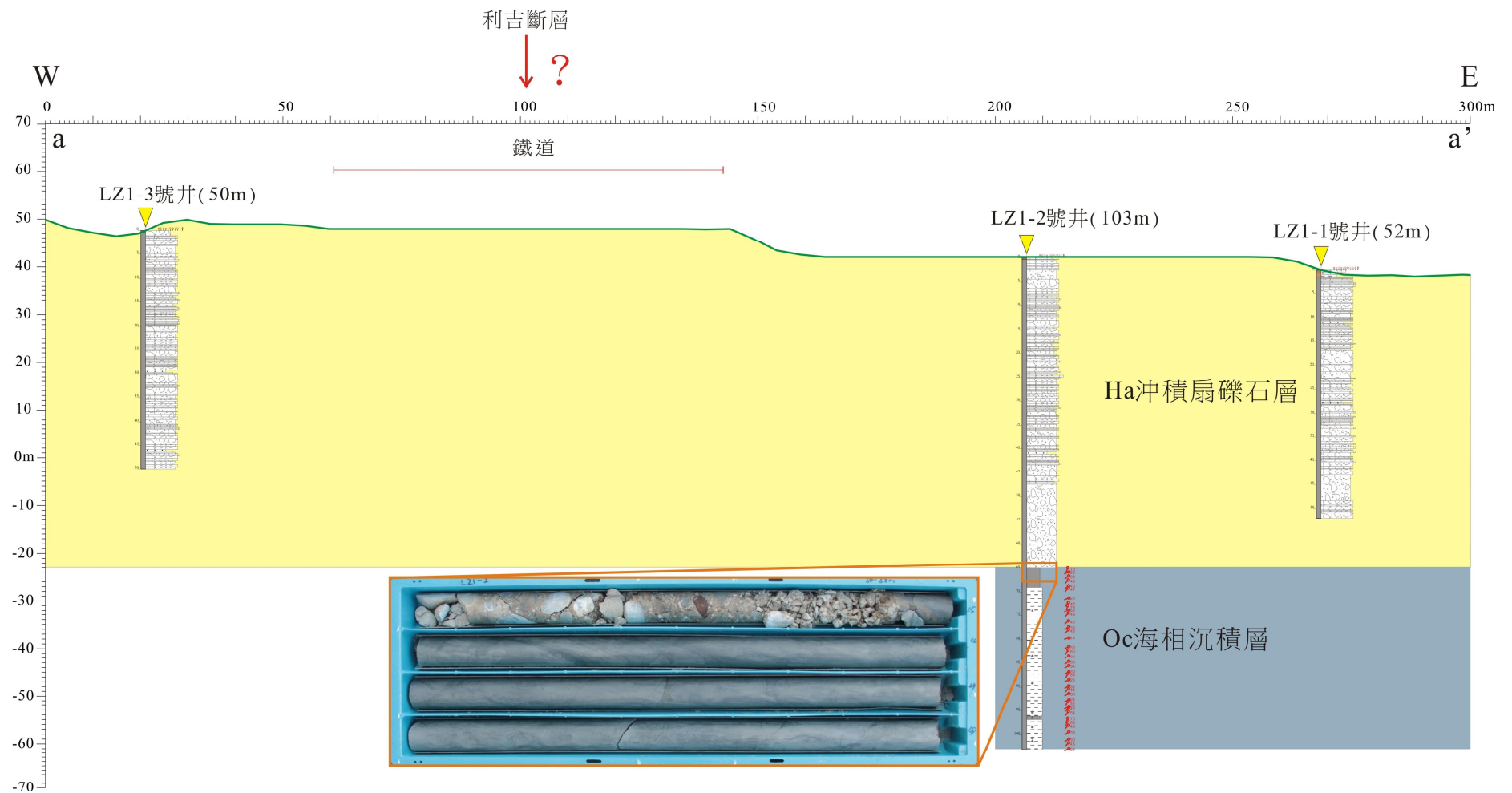


圖 4-8、臺東火車站鑽井剖面(1)：臺東新火車站南側 100 公尺處，LZ1-3 井位在博物館月型石遺址東側約 20 公尺的鐵道西側；LZ1-1 與 LZ1-2 井位於鐵道東側。圖中照片為 LZ1-2 井 44-48m 鑽井岩芯，顯示沖積扇礫石與海相砂泥沉積層接觸。

場址另一處位在臺東新火車站前方廣場與花圃，有 LZ1-4 與 LZ1-5 兩孔鑽井；此兩孔岩芯岩性與 LZ1-2 井相同，表層為 Ha 沖積扇礫石層，不整合在 Oc 海相沉積層之上。Oc 海相沉積層中具密集的剪切構造，地層傾角約 50°（圖 4-9；附錄一）。研判這些密集的剪切構造受利吉斷層作用，而利吉斷層跡應位在 LZ1-5 井西側，可能在鐵道附近（圖 4-7）。

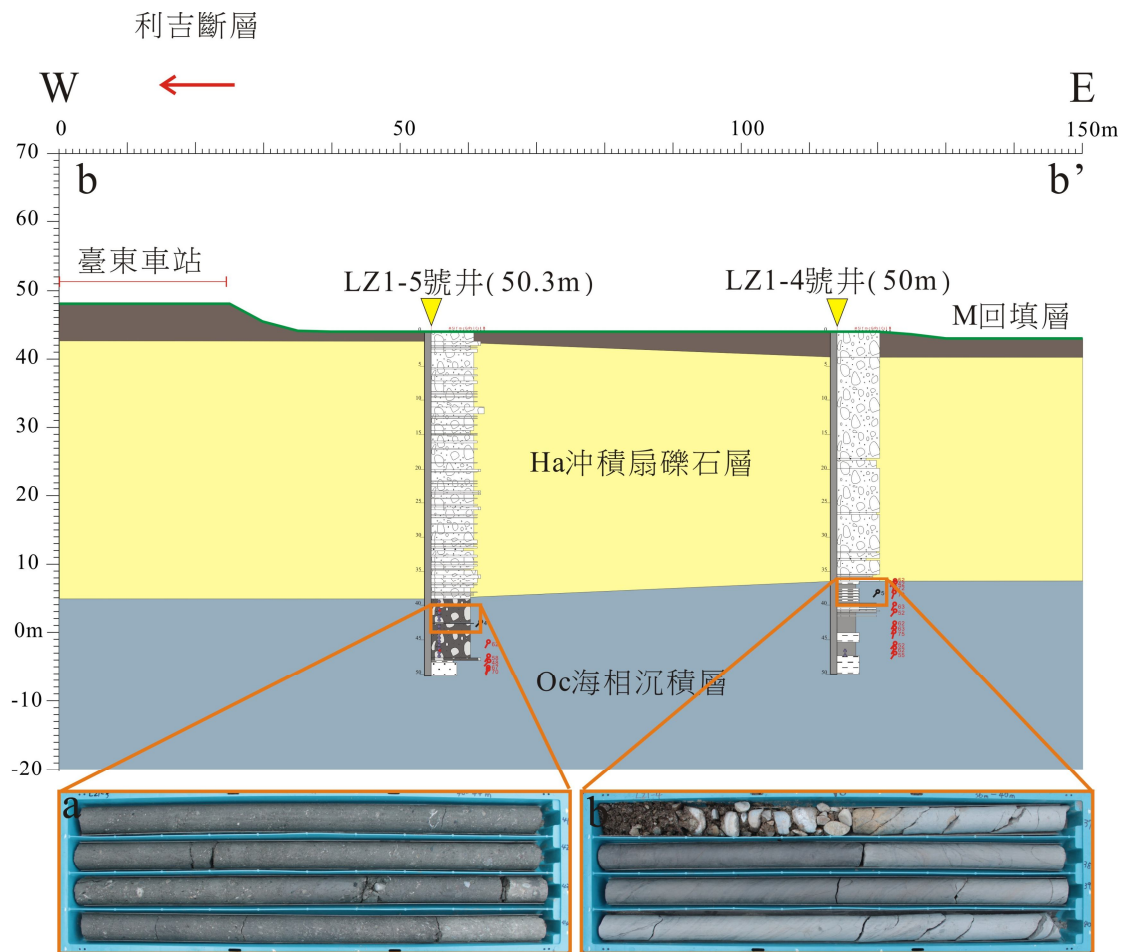


圖 4-9、臺東火車站鑽井剖面(2)：LZ1-4 與 LZ1-5 井位於火車站前方廣場與花圃，礫石層下為海相沉積層。

圖中照片 a 為 LZ1-5 井 40-44m 鑽井岩芯，海相砂礫(礫石為貝殼破片)沉積層；照片 b 為 LZ1-4 井 36-40m 鑽井岩芯，顯示沖積扇礫石與海相砂泥沉積層接觸。

4-3-2 岩灣國小 (LZ2)

本場址位於岩灣國小及臺東火車站範圍北端的機廠 (圖 4-7)，先前在此地區已有兩孔鑽井 PN03 與 TT(RW)-2，PN03 井鑽遇利吉層，而 TT(RW)-2 井則鑽遇卑南山礫岩層，因此本計劃在這兩孔井之間再進行鑽探。LZ2-1 井位於岩灣國小內，除地表數公尺厚的沖積層之外，其餘至 50 公尺深的岩芯皆為利吉層 (圖 4-10；附錄一)。LZ2-2 井位於臺東火車站機廠內，鑽取深度 50 公尺，除地表數公尺厚沖積層外，其餘皆為卑南山礫岩層 (附錄一)，研判利吉斷層跡位在 LZ2-1 與 LZ2-2 井之間 (圖 4-10；附錄一)。利吉層的剪切面傾角為 50° - 60° ，推測淺層斷層面傾角約 55° 。但此處地形似乎沒有明顯地形崖，地表呈朝東的緩斜面。

4-3-3 臺東監獄岩灣技能訓練所 (LZ3)

臺東監獄岩灣技能訓練所位於岩灣河階最北端 (圖 4-7)，北側河階崖出露的剖面，西側出露卑南山礫岩層，東側出露利吉層，之上為河階礫石層，接觸面已被河堤覆蓋。此場址有三孔鑽井沿技能訓練所北側道路分布，東側 LZ3-1 井於深度 7 公尺處即鑽入利吉層；西側 LZ3-3 井於 13.3 公尺至 50 公尺深皆為卑南山礫岩層。研判利吉斷層位在兩井之間，因此在兩井之間再進行 LZ3-2 井鑽探，於 8.9 公尺深進入利吉層，於 30.1 公尺深進入卑南山礫岩層，此剪切面即為利吉斷層通過。利吉層中的剪切面傾角約 40° - 55° ，推測斷層面傾角約 50° (圖 4-11)。

從上述三處場址的鑽井岩芯紀錄，顯示利吉斷層跡經過臺東監獄岩灣技能訓練所場址的 LZ3-2 與 LZ3-3 井之間，且接近 LZ3-2 井，以及岩灣國小場址的 LZ2-1 與 LZ2-2 井之間，以及臺東火車站場址的 LZ1-2 與 LZ1-5 西側。

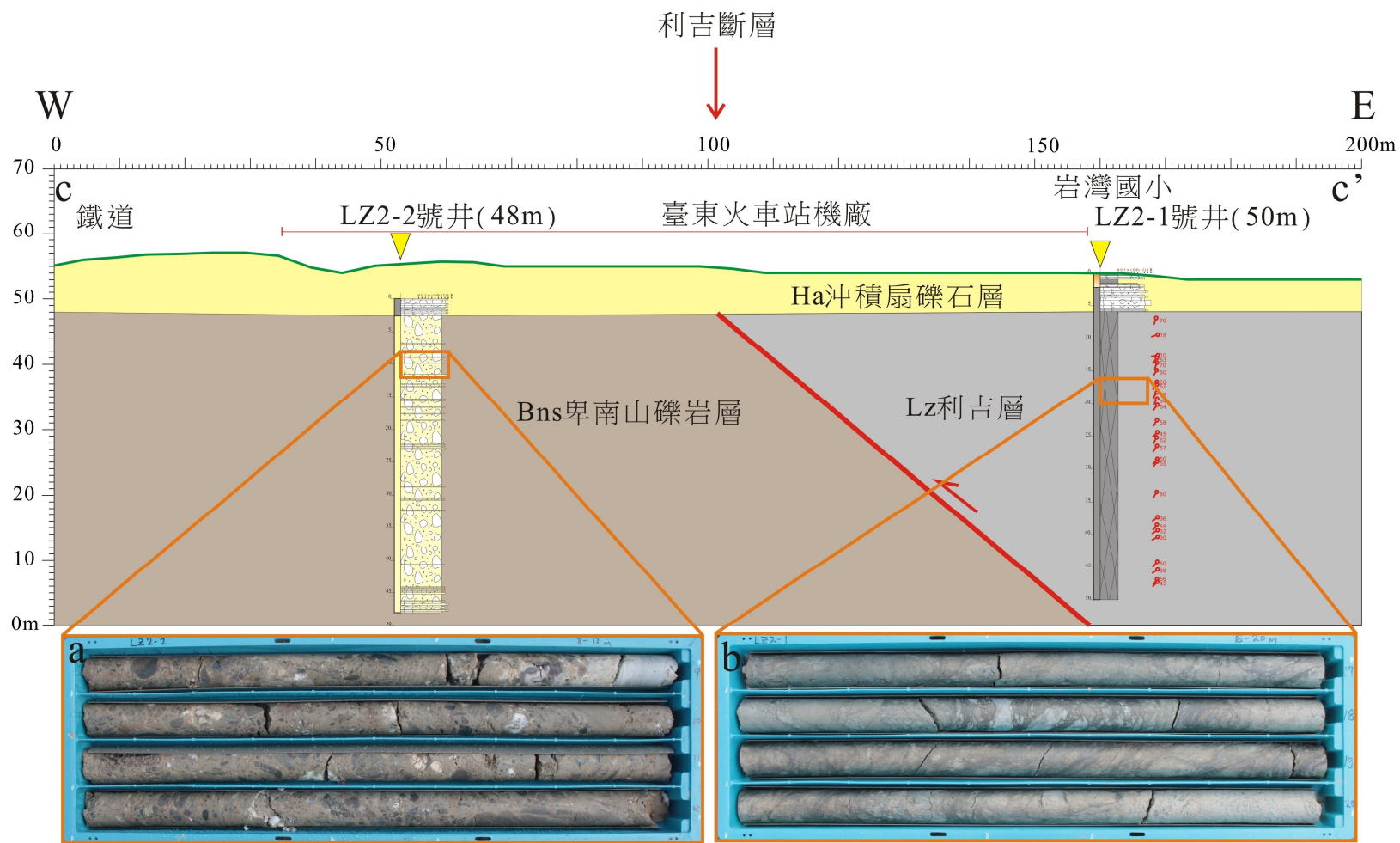


圖 4-10、岩灣國小鑽井剖面：LZ2-1 與 LZ2-2 井相距約 100 公尺，利吉斷層跡位於兩者之間。圖中照片 a 為 LZ2-2 井 8-12m 鑽井岩芯，卑南山礫岩層，礫石傾斜排列；照片 b 為 LZ2-1 井 16-20m 鑽井岩芯，利吉泥岩層，遍佈剪切面。

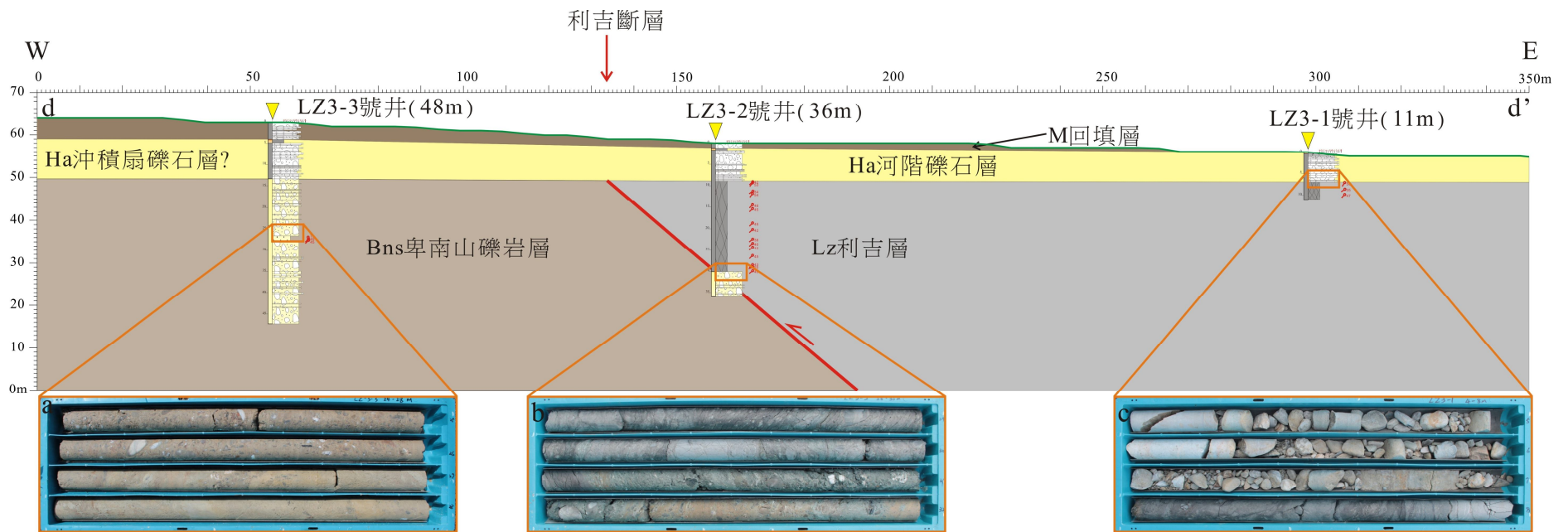


圖 4-11、臺東監獄岩灣技能訓練所鑽井剖面：LZ3-2 井於 30.1 公尺深鑽穿利吉斷層。圖中照片 a 為 LZ3-3 井 24-28m 鑽井岩芯，卑南山礫岩層，礫石傾斜排列；照片 b 為 LZ3-2 井 28-32m 鑽井岩芯，鑽井穿透利吉泥岩層於 31.2m 進入卑南山礫岩層；照片 c 為 LZ3-1 井 4-8m 鑽井岩芯，顯示河階礫石與利吉層接觸。

4-4 斷層跡調查與 e-GPS 量測

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 4-12），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。

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。

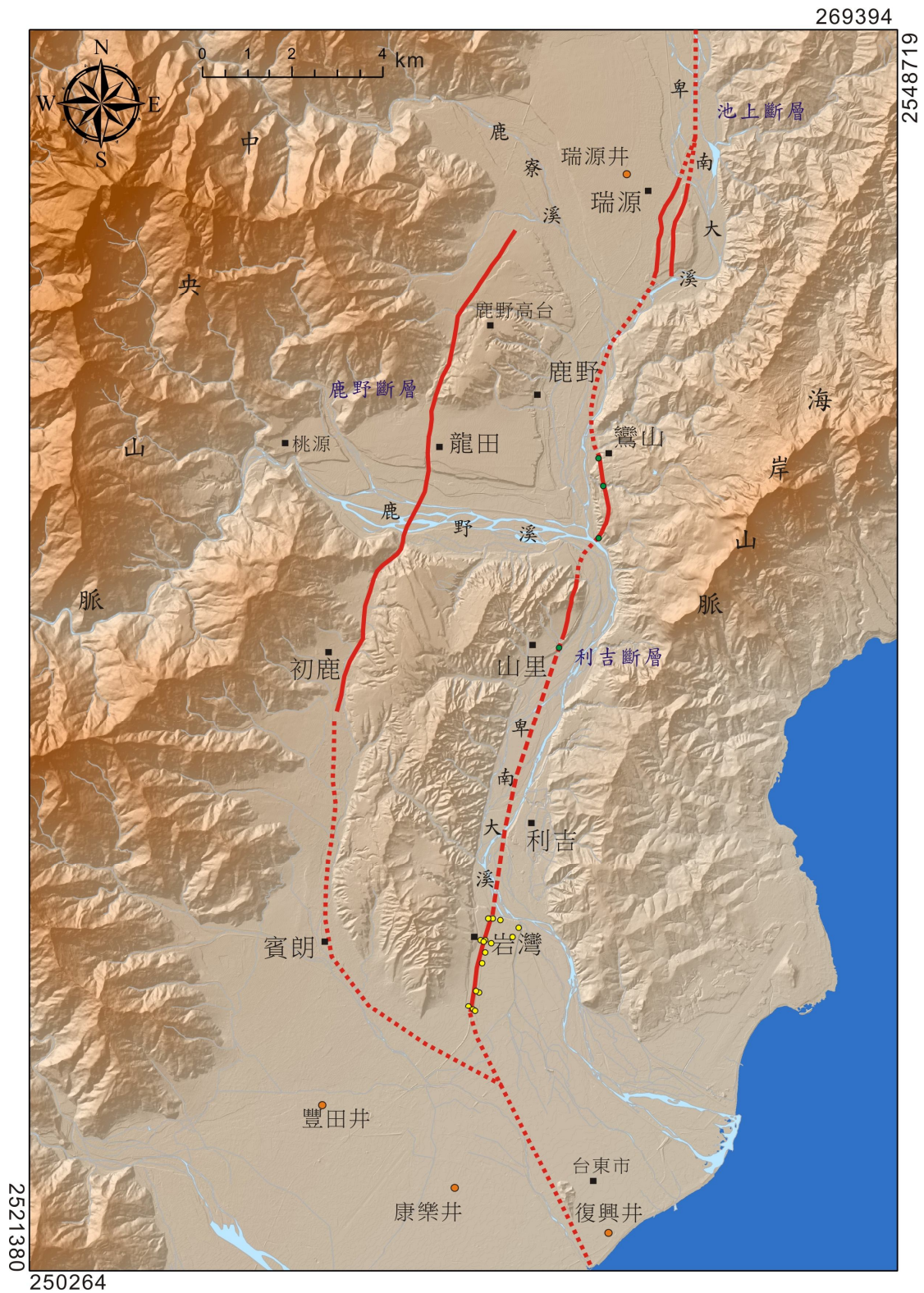


圖 4-12、利吉斷層斷層跡量測依野外露頭（綠色圓圈）及鑽井（黃色圓圈）位置所定。

4-5 討論

本研究目的乃針對利吉斷層進行 e-GPS 量測以及估算斷層滑移速率，e-GPS 量測是依據野外露頭以及鑽井位置來訂定斷層跡。利吉斷層特性是斷層上盤為利吉層，下盤為晚更新世卑南山礫岩層。因此斷層跡從北端瑞源階地以南開始，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，但本研究也察看地調所在臺東市區的三孔鑽井岩芯，於深度 200 公尺以上的岩芯都屬於晚更新世至全新世的沖積層，未發現利吉層或卑南山礫岩層。

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 4-13），測量分為三個區域，瑞源－鸞山地區、龍田－山里地區，及利吉－岩灣－臺東市地區；下面就依量測結果進行對於斷層跡位置的討論。

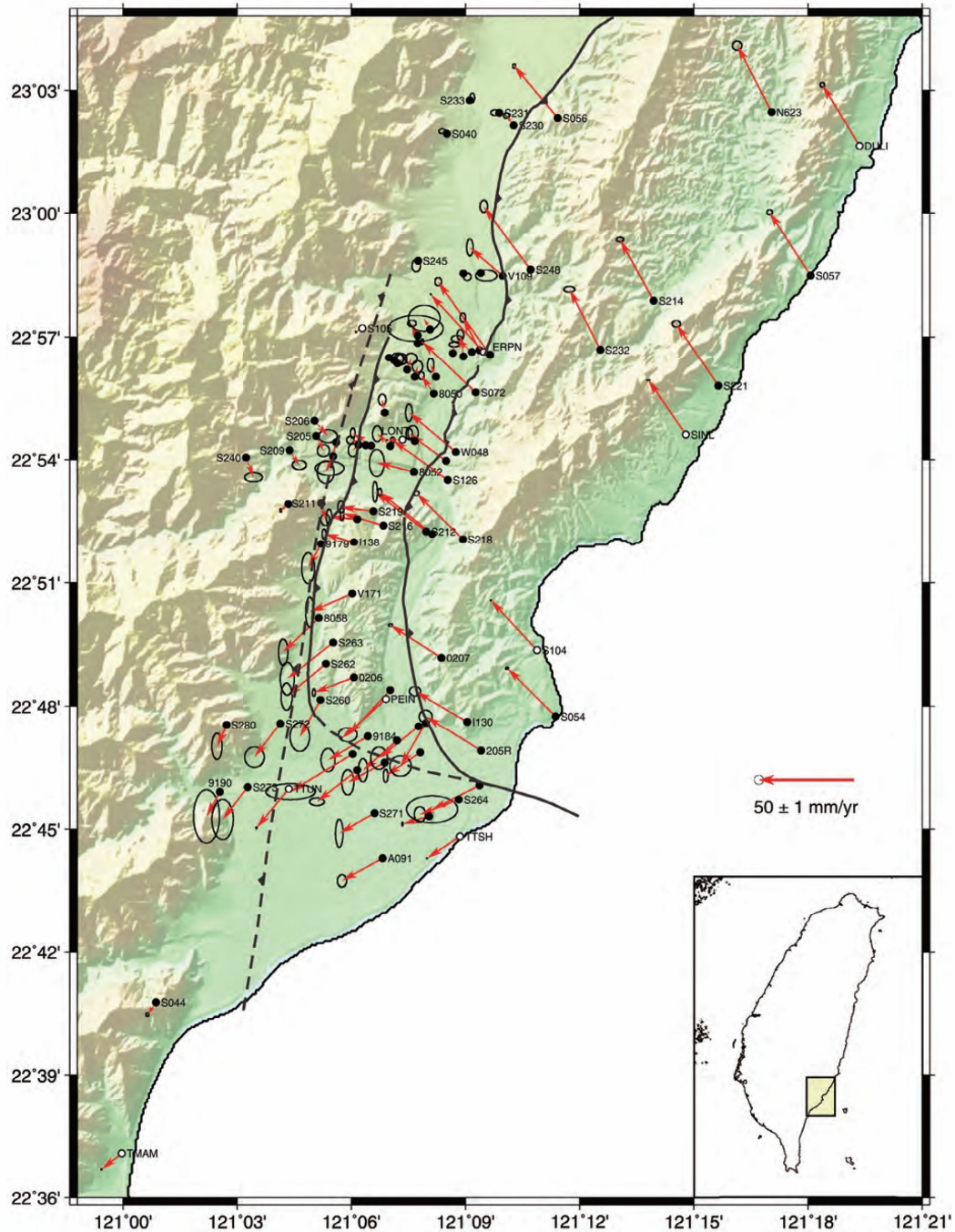


Fig. 9. Results of our revised velocity field from the dense GPS array in the southernmost Longitudinal Valley area, relative to the ITRF 2005 reference frame. See Table 1 for detailed station velocity and other relevant information.

圖 4-13、利吉斷層與鹿野斷層兩側 GPS 測量結果 (Chen *et al.*, 2013)。

4-5-1 瑞源－鸞山地區 (圖 4-14)：

本區的 GPS 速度場 (圖 4-14(c)) 為結合池上斷層與利吉斷層的分析結果，兩條斷層的分界位在瑞源河階南側 (圖 4-14 藍色虛線)，所以本研究將圖 4-14(c) 重新以紅色實線與虛線繪製，代表利吉斷層兩側 GPS 的水平變動量，可以發現近期的變動位置大致與利吉斷層位置相當。

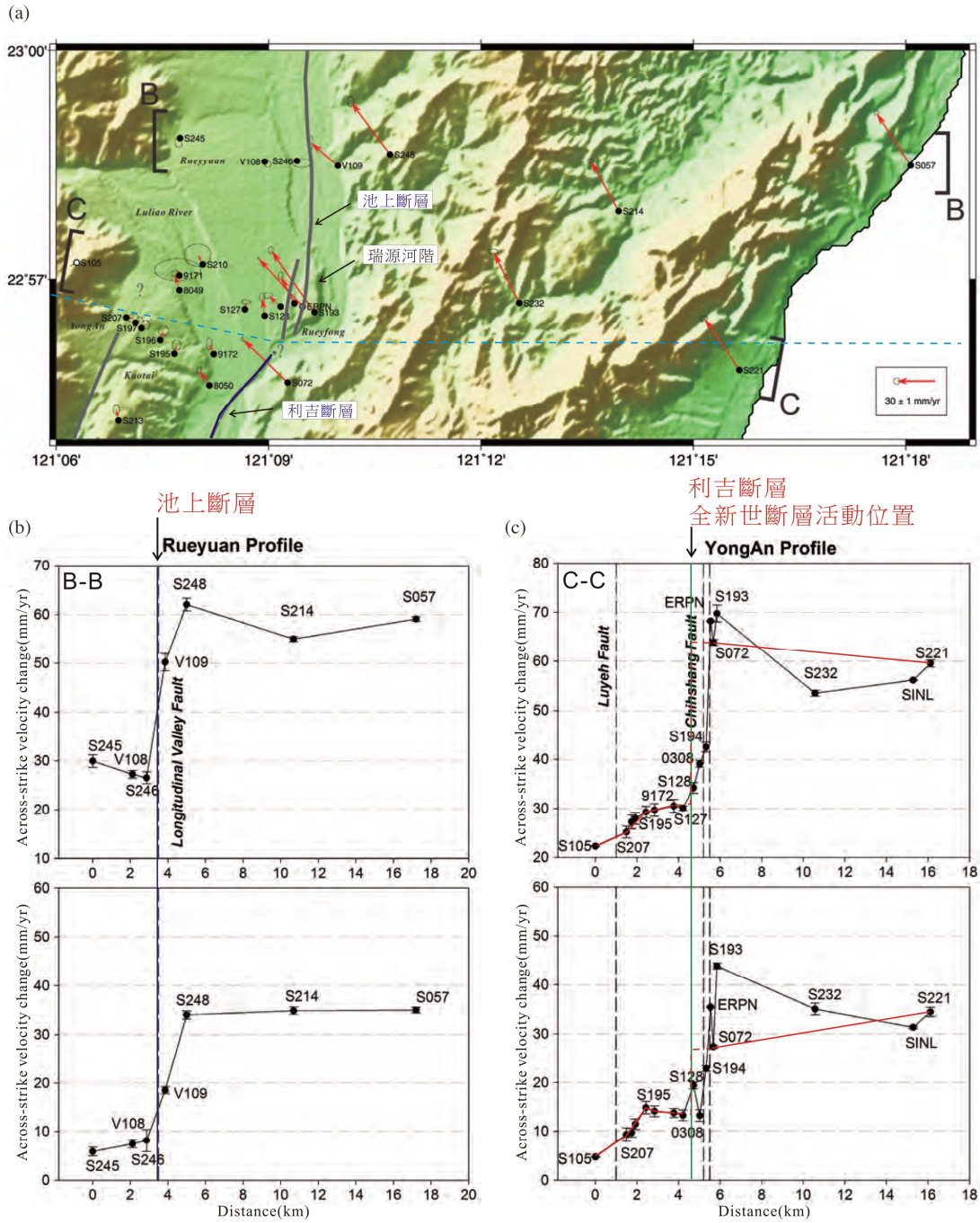


圖 4-14、瑞源—鸞山地區 GPS 量測結果 (Chen *et al.*, 2013)，重繪利吉斷層與全新世斷層活動位置。原圖(c)的 GPS 資料是函蓋池上斷層與利吉斷層兩側資料的結果。圖(c)的紅色實線與虛線是利吉斷層兩側的變動速率 (原圖中部份測量點函蓋了池上斷層)。藍色垂直實線為池上斷層位置 (圖(b))，綠色垂直虛線為近期斷層的活動位置。

4-5-2 龍田—山里地區（圖 4-15）：

龍田剖面（B-B）的利吉斷層兩側 GPS 速度場呈明顯變化，全新世斷層活動位置位在利吉斷層下盤（西）的卑南大溪河床。山里剖面（C-C）的 GPS 最大變動位置在 S212 站西側，而利吉斷層斷層跡位在 S217 與 S212 站之間，顯然全新世以來最大變動位置在利吉斷層下盤（西）的卑南山礫岩層中，與利吉斷層斷層跡不吻合。

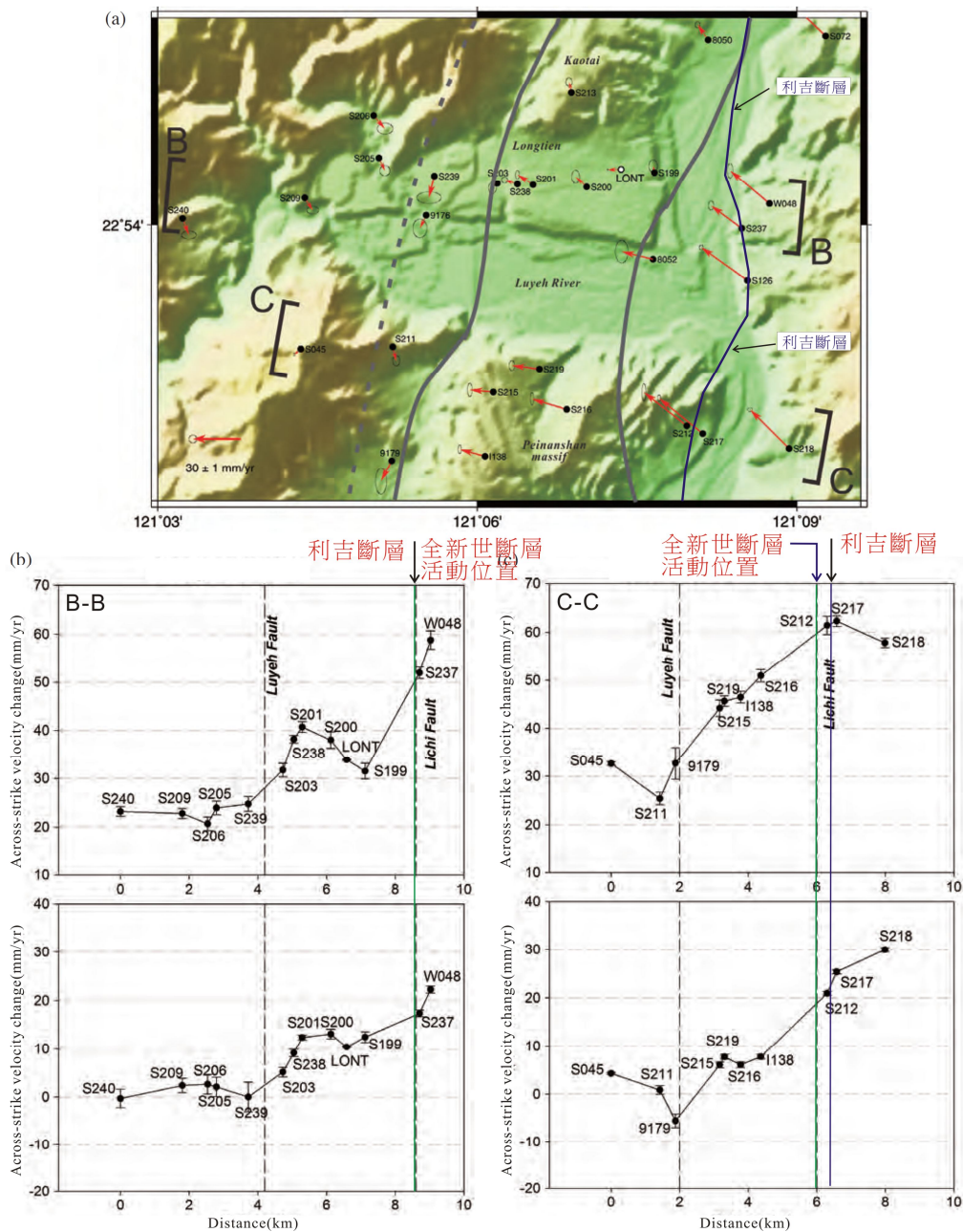


圖 4-15、龍田—山里地區 GPS 量測結果（Chen *et al.*, 2013）。

4-5-3 利吉－岩灣－臺東市地區（圖 4-16）：

利吉－岩灣剖面（B-B）的利吉斷層斷層跡位在岩灣階地中，接近 GPS 站的 S265 與 PEIN 站附近，從水平速度場與移動方位來看，在卑南大溪以東區域有很大變化，GPS 的變化點位於 I130 站與 38R2 站之間，位置大致在臺東大橋，顯然全新世斷層活動的位置不在利吉斷層斷層跡，而位於斷層上盤中。

臺東市剖面（C-C），從山麓至臺東平原區的 GPS 速度場與移動方位似乎沒有太大變化，其最大變化位在卑南大溪河床，在 A089 站與 205R 站之間，顯然全新世斷層活動的主要位置從縱谷進入臺東平原之後，轉向東南東方向進入太平洋。

陳宏宇等（Chen *et al.*, 2013）的 GPS 資料是利用 1992-2010 年之間量測的結果（圖 4-13），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 4-17）。

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。

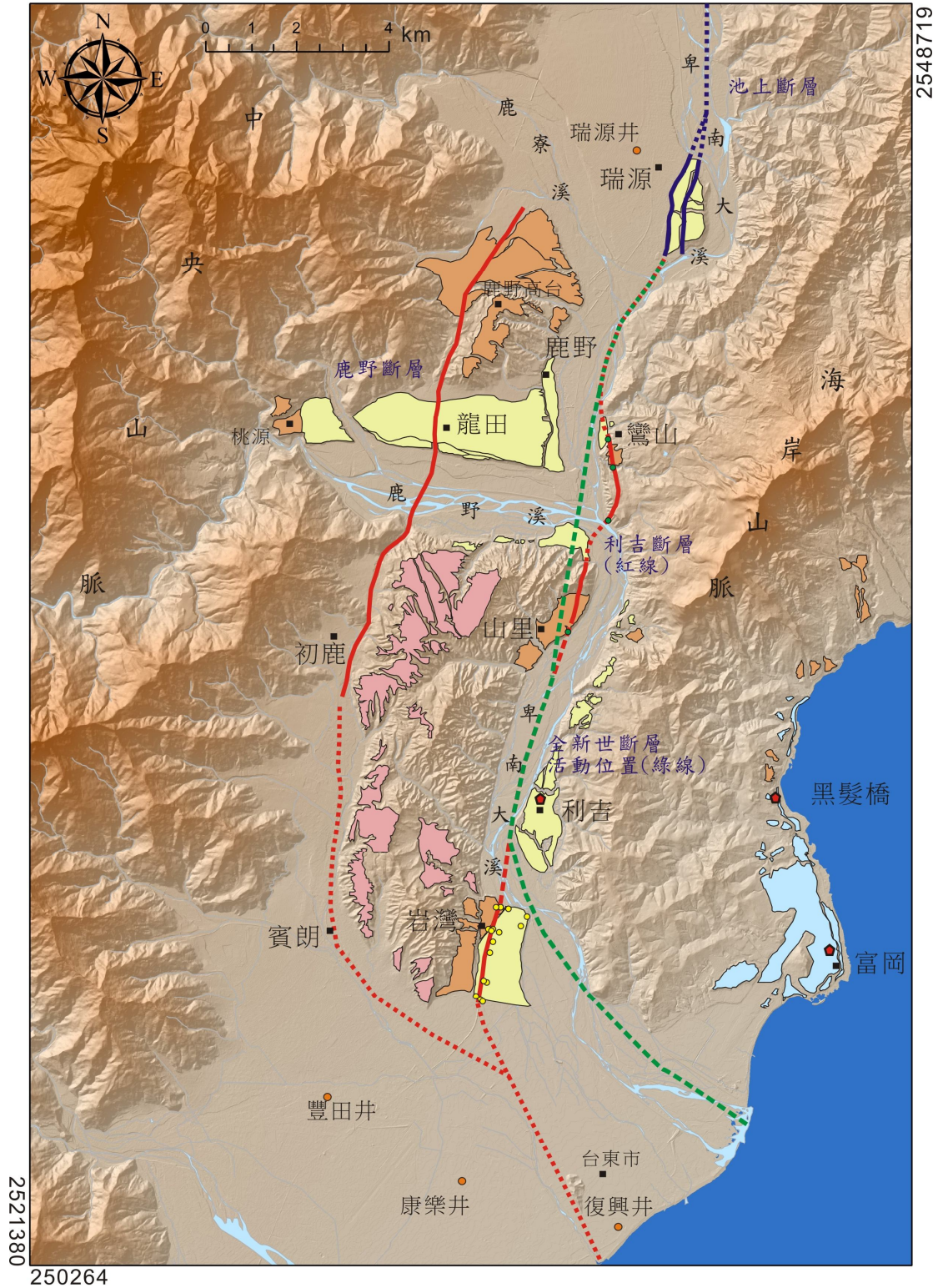


圖 4-17、利吉斷層(紅線)與全新世斷層(綠線)活動位置。紅色五邊型是碳十四採樣位置。淡藍色塊為海階，黃色塊為河階，棕色塊為扇階，粉紅色塊為紅土階地。

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（*Kuo Chen et al.*, 2004, 2012；圖 4-18，圖 4-19），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，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（圖 4-17），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（圖 4-17；圖 4-20）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（圖 4-20），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（圖 4-20），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。

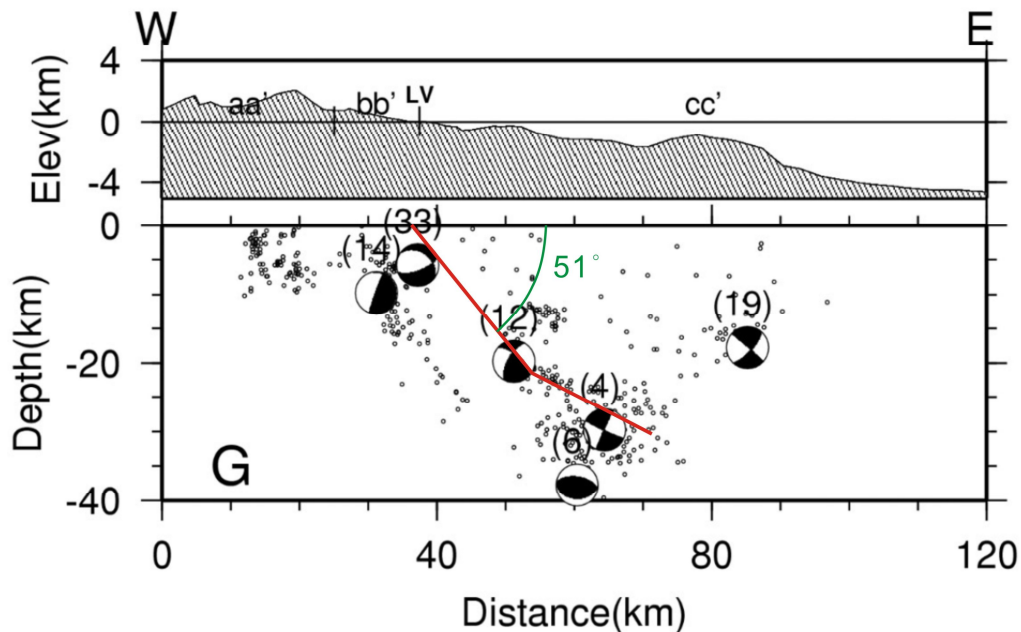


圖 4-18、利吉地區地震震源分布圖（Kuochen *et al.*, 2004）。

4-6 結論

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。

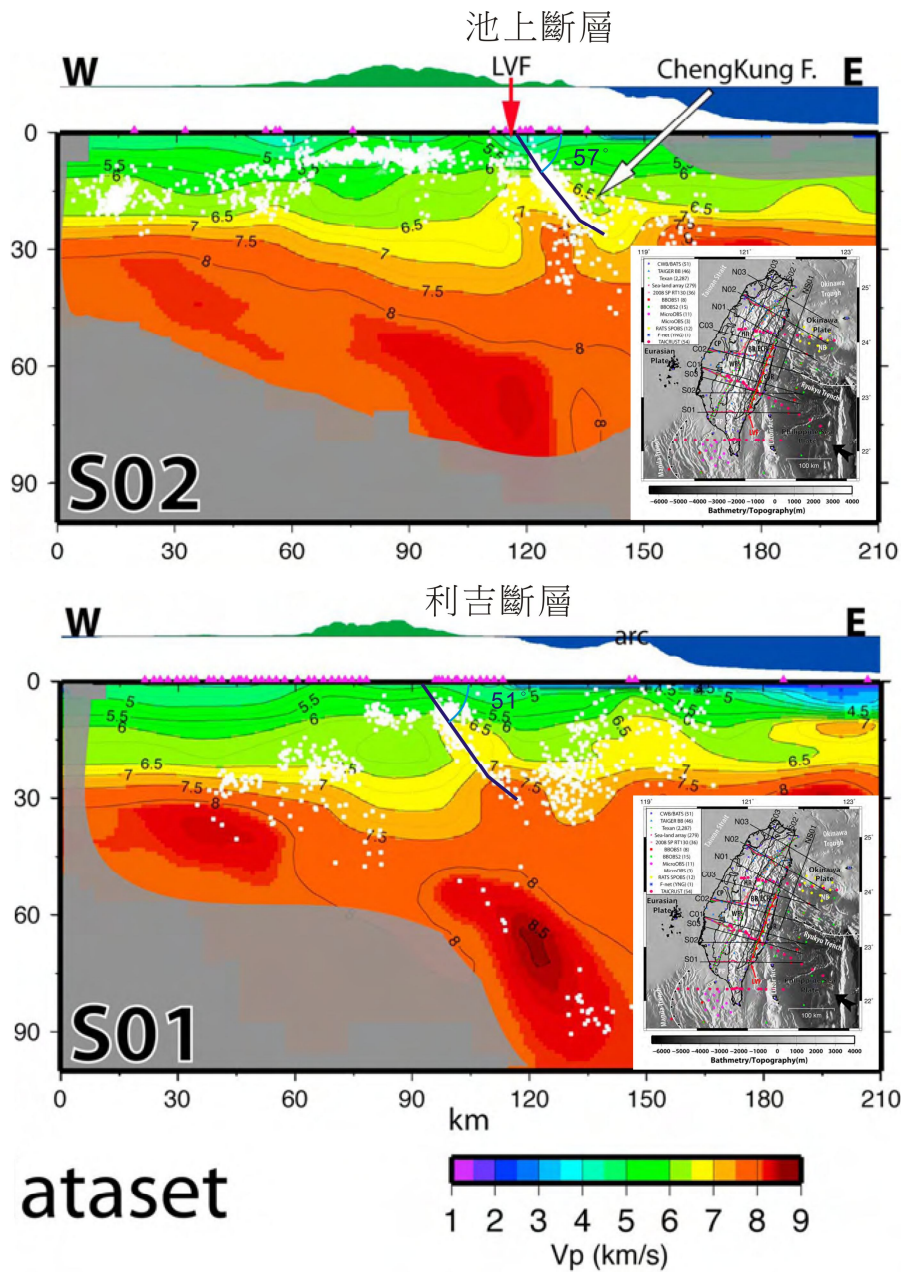


圖 4-19、利吉地區池上斷層（S02 剖面）與利吉斷層（S01 剖面）地震震源分布圖與 P 波的速度剖面（Kuochen *et al.*, 2012）。

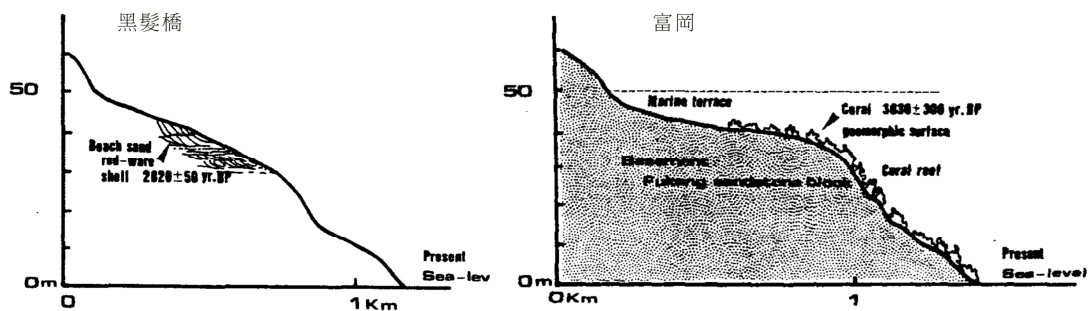


圖 4-20、左圖為黑髮橋海階沉積層，右圖為富岡的珊瑚礁海階（Chen *et al.*, 1991）。

第五章、結論

5-1 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（表 2-1），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。

5-2 恆春斷層

5-2-1 活動斷層的精確位置

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（圖 3-12）。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（圖 3-12）。

5-2-2 斷層活動特性分析與評估

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。

5-3 利吉斷層

5-3-1 活動斷層的精確位置

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（圖 4-12），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。

5-3-2 斷層活動特性分析與評估

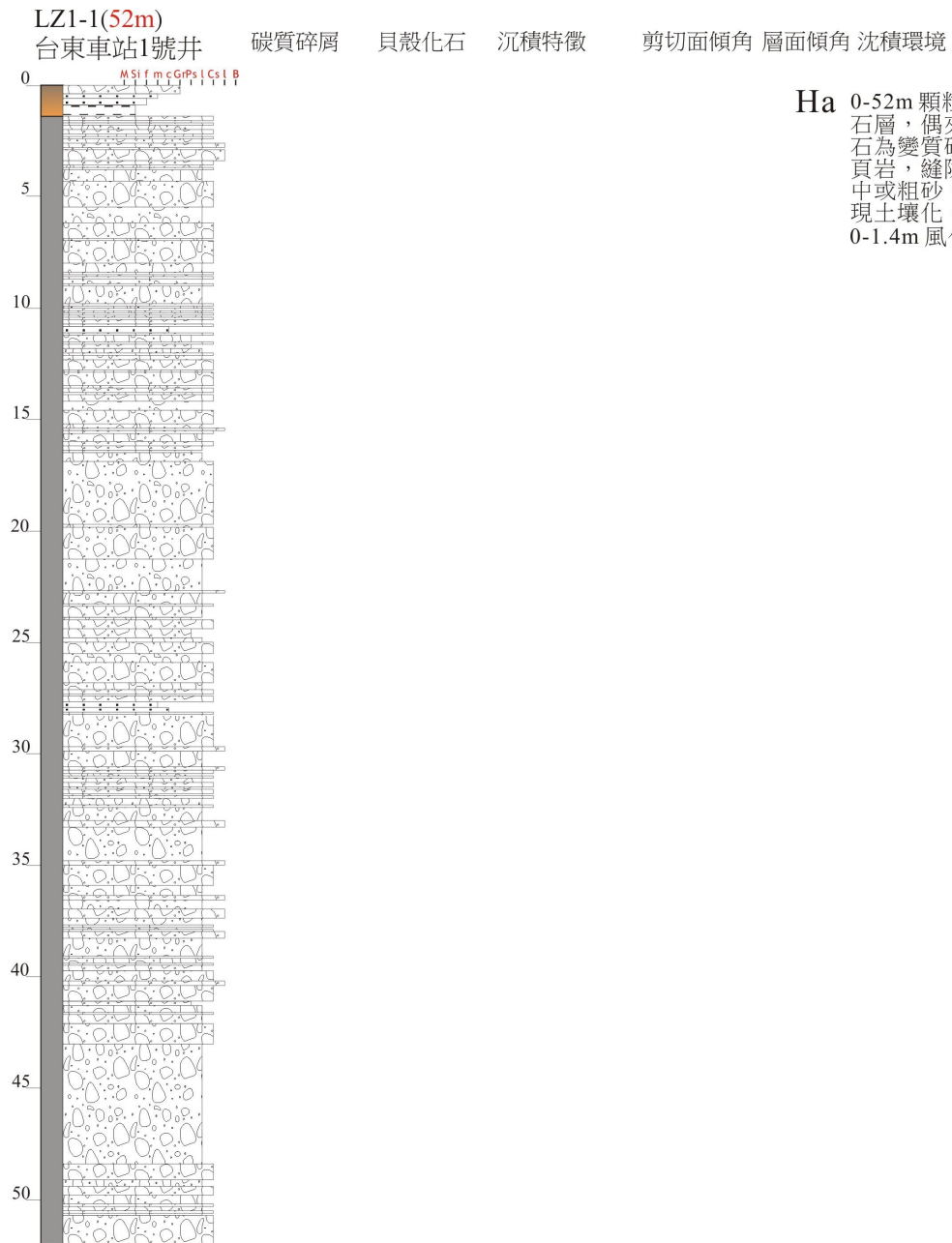
從地震震源分布與震源機制，以及淺層岩芯的剪切面傾角，推測斷層面傾角約 50°朝東。另由富岡至黑髮橋的海階年代與階地高度估算長期抬升速率，平均為 13.1 ± 1.4 mm/yr；配合斷層面傾角而獲得斷層滑移速率約 17.1 ± 1.8 mm/yr。

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.
- Kuoehen, 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.
- Kuoehen, 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) 昭和十年四月二一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。

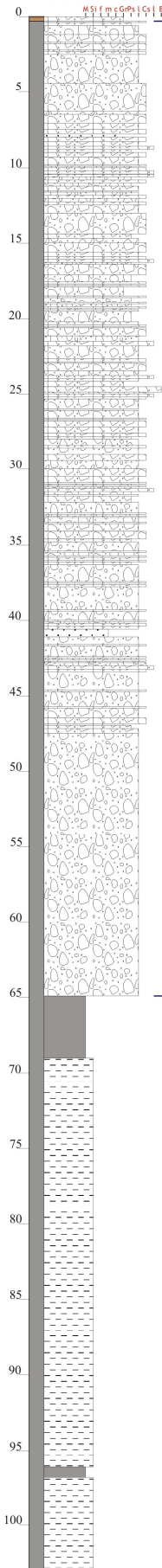
- 許小官(1935)新竹-台中(台灣)地震のメカニズムと断層モデル, Mechanism and Fault Model of the Hsinchu-Taichuang (Taiwan) Earthquake of 1935。地震第2輯, 第35卷, 567-574頁。
- 陳文山、鄭穎敏、黃奇瑜(1985)台灣南部恆春半島之地質。地質, 6卷, 2期, 21-38頁。
- 陳文山、王源(1996)台灣東部海岸山脈地質。經濟部中央地質調查所, 共101頁。
- 陳文山、李偉彰、黃能偉、顏一勤、楊志成、楊小青、陳勇全、宋時驊(2005a)恆春半島增積岩體的構造與地層特性: 全新世恆春斷層的活動性。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)—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。

附錄一



LZ1-2(103m)
台東車站2號井

碳質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境



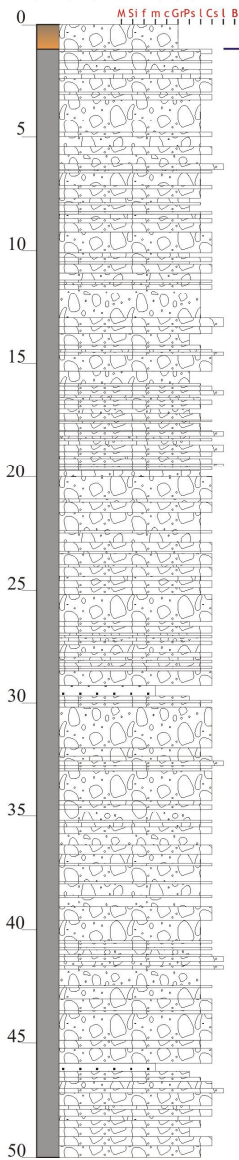
M 0-0.3m 回填土層。
Ha 0.3-64.9m 顆粒支持結構
礫石層，礫石為變質砂
岩，砂岩及頁岩，縫隙
填充黃褐色中或粗砂。

OC 64.9-103.0m 粉砂偶夾泥
層，生物擾動明顯至輕
微，偶有小貝屑，分佈
多處剪切面。

- 70
- 23
- 38
- 48
- 40
- 47
- 20
- 48
- 78
- 20
- 48
- 40
- 35
- 45
- 14
- 30
- 60
- 38
- 36
- 34
- 30
- 65
- 25
- 32
- 44
- 30
- 24
- 66
- 45
- 54
- 70
- 66
- 45
- 38
- 30
- 45
- 25

LZ1-3(50m)
台東車站3號井

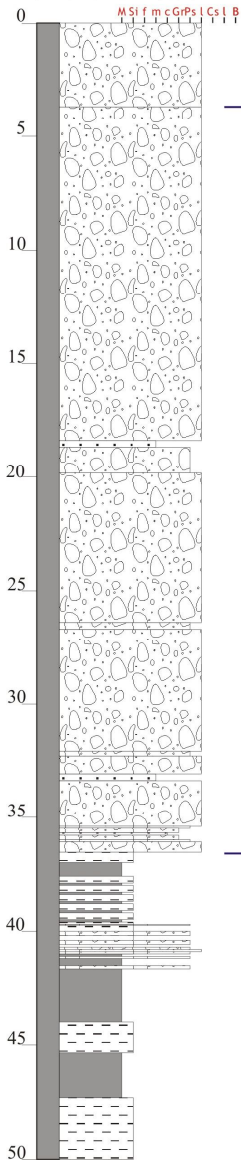
碳質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境



M 0-1.1m 回填土層。
Ha 1.1-50m 顆粒支持結構礫石層，礫石為變質砂岩，砂岩及頁岩，縫隙填充黃褐色中或粗砂。

LZ1-4(50m)
台東車站4號井

碳質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境



M 0-3.7m 回填層。

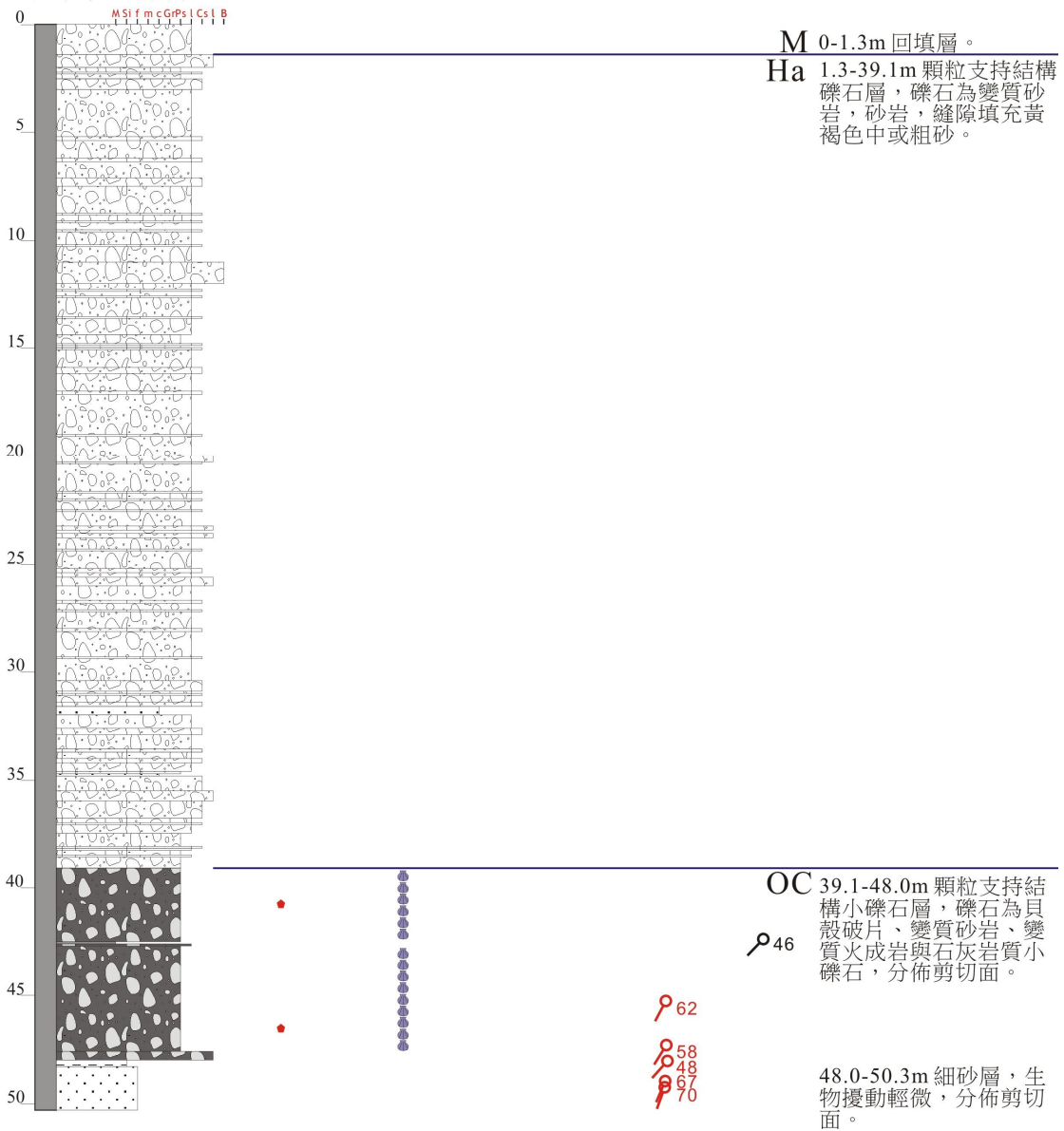
Ha 3.7-36.6m 顆粒支持結構
礫石層，礫石為變質砂
岩，砂岩及片岩，縫隙
填充黃褐色中或粗砂。

52
42
72
70
63
52
62
63
75
52
62
55

OC 36.55-50.0m 粉砂與泥互
層，部分層位有平行紋
層，生物擾動明顯至輕
微，偶有貝屑，分佈多
處剪切面。
39.7-41.65m 粉砂與泥層
，夾有小礫石，礫石為
變質砂岩與變質火成岩，
分佈剪切面。

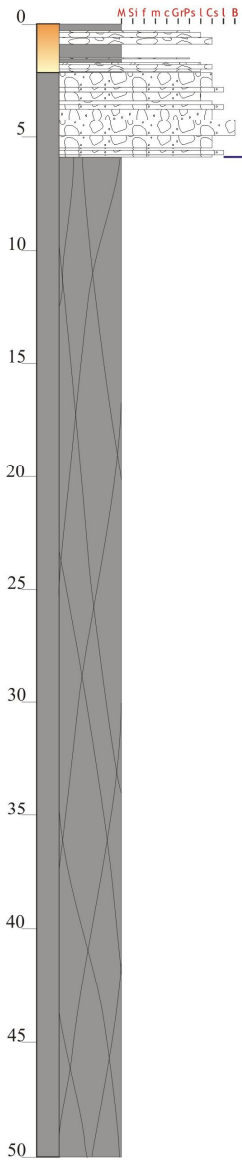
LZ1-5(50.3m)
台東車站5號井

碳質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境



LZ2-1(50m)
岩灣國小井

碳質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境



Ha 0-5.9m 顆粒支持結構礫石層夾粉砂泥層，礫石為變質砂岩、砂岩及大理岩，縫隙填充黃褐色中或粗砂，上部泥層呈現土壤化。

LZ 0-2.15m 風化土層夾礫石。

5.9-50.0m 利吉層，泥岩夾雜大量外來岩塊，分佈剪切面。

φ70

φ18

φ10
φ53
φ70
φ60

φ56
φ52
φ58
φ64
φ54

φ58

φ45
φ62
φ57

φ50
φ55

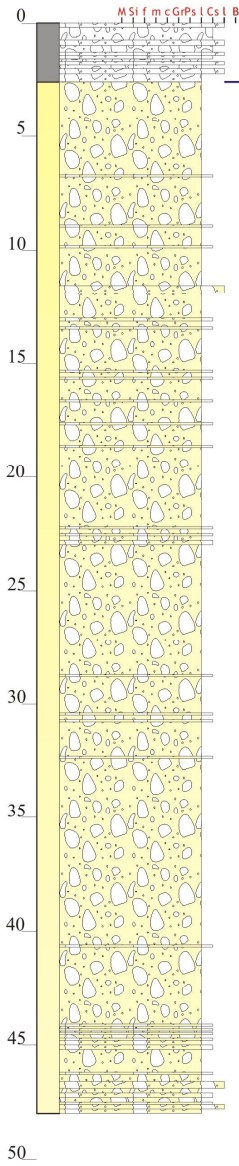
φ60

φ36
φ55
φ32
φ30

φ50
φ36
φ56
φ45

LZ2-2(48m)
台東機廠井

碳質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境

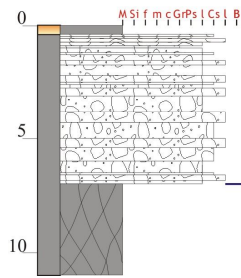


M 0-2.6m 回填層。
0-0.2m 水泥。

BNS 2.6-48.0m 卑南山礫岩層，
顆粒支持結構礫石層，
偶夾薄層中或細砂層，
礫石為變質砂岩、砂岩
及頁岩，縫隙填充淺黃
色中或細砂。礫石層呈
現傾斜。

LZ3-1(11m)

岩灣技訓所1號井 碳質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境



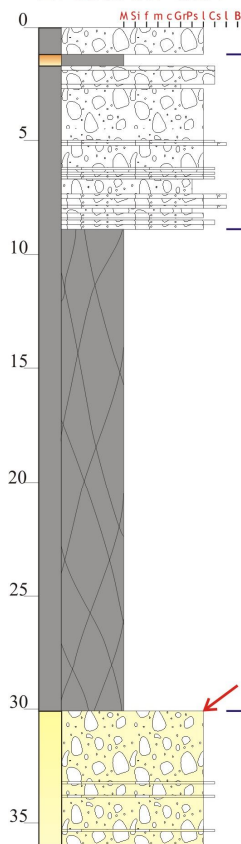
Ha 0-7.0m 顆粒支持結構礫石層偶夾薄砂礫層，礫石為變質砂岩、砂岩，縫隙填充青灰色中或粗砂。頂部呈現土壤化。
0-0.4m 風化土層夾小礫石。

Lz 7.0-11.0m 利吉層，泥岩夾雜大量外來岩塊，分佈剪切面。

58
35
47

LZ3-2(36m)

岩灣技訓所2號井 碳質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境



M 0-1.2m 回填層。

Ha 1.2-8.9m 顆粒支持結構礫石層，礫石為變質砂岩、砂岩，縫隙填充青灰色中或粗砂。頂部為土壤化粉砂泥層。
1.2-1.6m 風化土層。

LZ 8.9-30.1m 利吉層，泥岩夾雜大量外來岩塊，分佈剪切面。

53
34
54

46
45

45
42

38
40
40

45

43
20
40

利吉斷層

BNS 30.1-46.0m 卑南山礫岩層，顆粒支持結構礫石層，礫石為變質砂岩、砂岩及頁岩，縫隙填充淺黃色中或細砂。

LZ3-3(47.3m)

岩灣技訓所3號井

碳質碎屑

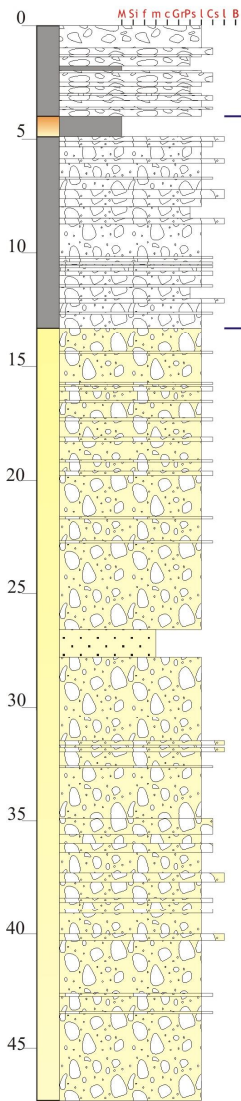
貝殼化石

沉積特徵

剪切面傾角

層面傾角

沈積環境



M 0-4.0m 回填層。

Ha 4.0-13.3m 顆粒支持結構礫石層，礫石為變質砂岩、砂岩，縫隙填充黃褐色中或粗砂。頂部為土壤化粉砂泥層。4.0-4.9m 風化土層。

BNS 13.3-47.3m 卑南山礫岩層，顆粒支持結構礫石層，礫石為變質砂岩、砂岩及頁岩，縫隙填充淺黃色中或細砂。

70
45
45

附錄二、期中審查意見與改進

審查意見	處理情形
<p>(一) 報告書文字、圖表及格式部分：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書表 1-1 中標題建議刪除「期中」二字，另於右方欄位建議改為「期中完成數」。 2. 依據報告書圖 3-8 及及表 3-1，圖 3-2 中，6,320-6,220 cal BP(B)之速率應為 $3.4 \pm 0.3 \text{ mm/yr}$。 3. 表 3-1 所引用之「F. Taira」，應改為「Taira, 1975」。 4. 有關結論的部分，應加入恆春斷層延伸至海域之討論。 5. 參考文獻列出過多位引用之文章，請修正。 6. 應說明本年度計畫中各斷層階段性之成果。 7. 圖 2-12 剖面圖之南北向標示錯誤，請修正。 8. 本工作成果係為中央地質調查所辦理活動斷層地質敏感區劃設之重要依據，請執行團隊於提交期末報告時，應說明各斷層線跡之誤差範圍為何。 <p>(二) 屯子腳斷層：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 有關屯子腳斷層錯動自 1935 年迄今已約 80 年，經現場勘查並挖掘槽溝後，建議執行團隊補充說明是否還有他處斷層遺跡或錯動現象可觀察，並建議說明爾後調查之重點與原因。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已於期末報告參照格式修改。 2. 年代經重新校正，修正為 7,310-7,070 cal BP(B)，速率應為 $3.7 \pm 0.7 \text{ mm/yr}$。 3. 表 3-1 修正後未引用此前人研究。 4. 已加以討論。 5. 已修正。 6. 已於表 1-1 說明。 7. 南北向標示已修正。 8. 於各斷層的「活動斷層的精確位置」章節已有說明。 <ol style="list-style-type: none"> 1. 現存地形僅有屯子腳沖積扇階崖及舊后里國中地形崖兩處明顯可見，餘者已難再見。

<p>2. 目前於后里國中舊校址所挖掘的槽溝尚無法取得 1935 年錯動時之明確證據與斷層參數，但就工程應用而言，本計畫仍應依既有的資料，評估合理的斷層參數，俟將來進一步之研究後，再依最新資料修正。</p> <p>3. 本案於屯子腳斷層開挖之槽溝，建議可再向北延伸 10 公尺或另選它處開挖，以期發現 1935 年之破裂面。</p> <p>4. 建議說明本案槽溝無發現明顯破裂跡象，但 1936 年大塚彌之助有記錄錯動位移量之原因。</p> <p>5. 建議可補充說明屯子腳斷層與紙湖斷層之關係</p>	<p>2.由於無定年及變形量資料，無法估算其活動參數。</p> <p>3.北側埋有地下水渠，槽溝無法向北延伸。另處地點地主不同意進行槽溝開挖調查。</p> <p>4.此處大塚彌之助所紀錄錯動位移量為剛體建物破壞物移量，槽溝中則顯示為沉積層塑性變形。</p> <p>5.已於 2-1 小節中說明。</p>
<p>(三)恆春斷層：</p>	
<p>1. 建議執行團隊補充說明恆春斷層之橫移特性。</p> <p>2. 恆春斷層參數已有具體數字，斷層位置亦已明確，其西側斷層跡不連續且活動性不高，應先確認其是否為獨立斷面或是東側主斷層之下盤處分支斷層，如僅為一分支斷層，抑或該虛線處無任何活動之證據而無法列為活動斷層時，建議移除該西側之斷層線。</p> <p>3. 恆春斷層滑移速率高而顯示為活動性高之斷層。</p> <p>4. 報告書中部份 e-GPS 量測點位未位於恆春主斷層上，應加以說明量測原</p>	<p>1.對於恆春斷層橫移特性仍不明瞭。</p> <p>2.依鑽探調查，西側為主斷層位置，但現今主要活動之斷層為東側位於上盤中的支斷層。</p> <p>3.恆春斷層支斷層為活動性斷層。</p> <p>4.已說明。</p>

<p>因。</p> <p>(四)利吉斷層：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 綜整前人研究，利吉斷層可能是以較寬的斷層帶方式呈現而非單一斷層線跡，另請考慮是否以露頭證據連線作為主斷層。 2. 以目前的技術及資料評估台東市區內的利吉斷層，尚無法研判其通過市區的位置，建議將現況及未來的研究方法說明清楚，以作為未來台東市區的發展規劃及防災之參考。 3. 利吉斷層未來進一步調查的重點在其東側崖下及西側可能的另一活動線，建議以開挖槽溝方式釐清。 <p>決議事項</p> <p>(一)本期中簡報內容及工作進度原則同意備查，請受託單位依各委員意見辦理以完成本計畫，並將處理情形條列說明，檢附於期末報告中。</p> <p>(二)請依契約第五條規定，來函檢具發票或收據、工作進度月報表及會計報表，辦理第二期款撥付事宜。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.利吉斷層主斷層跡依露頭證據連線畫定。由於現今斷層活動並不完全依照主斷層跡活動，於主斷層與斷層活動線間形成斷層活動帶。 2.參考前人 GPS 研究資料，利吉以南區段，斷層主要沿卑南大溪溪床活動。 3.活動線主要位於卑南大溪溪床與山區，未有適合槽溝開挖的場址。 <p>(一)遵照辦理。</p> <p>(二)遵照辦理。</p>
--	--

附錄三、期末審查意見與改進

審查意見	處理情形
<p>(一)報告書文字、圖表及格式部分：</p> <p>1.圖目錄中部份圖名與文中之圖名不同，請再確認。</p> <p>2.恆春斷層章節未附剖面位置的分布圖，請補充</p> <p>3.部分參考文獻錯漏或與文中描述不同，請修正。</p> <p>4.部分文字錯漏請參考主辦單位提供之紙本修改。</p> <p>5.部分圖資未標示指北、照片方位(或拍攝方向)、坐標系統、圖例、指北或主要地名。</p> <p>6.鑽井工作目前僅見鑽井柱狀圖，應將在報告書中附上較重要位置之岩心照片，並將完整岩芯照片標示日期後繳交地質調查所，以便後續研究使用。</p> <p>7.報告內部分圖件太小，不易閱讀請改以較大圖面印製。</p> <p>8.附錄之鑽井柱狀圖比例尺應加大，應填註各欄位之資料，如無資料請刪除。</p> <p>9.第 5 頁表 1-3，102 年度是學校的年度，非本計畫的執行年度。</p> <p>(二)屯子腳斷層：</p> <p>1.第 14 頁本研究如果認為后里斷層是活動斷層，建議將后里斷層的圖資放入報告中。</p>	<p>1.已修正。</p> <p>2.已附加補充。</p> <p>3.已修訂。</p> <p>4.已參考修正。</p> <p>5.已修正。</p> <p>6.已附上相關岩心照片，完整岩心照片以電子檔案格式繳交。</p> <p>7.已修正。</p> <p>8.維持與前 3 年柱狀圖比例尺一致，資料欄位資料已調整。</p> <p>9.年度已修正。</p> <p>1.參照 102 年度三義斷層報告。</p>

<p>2. 屯子腳斷層剖面(槽溝牆)應詳細說明及解釋。</p> <p>3. 屯子腳斷層之斷層參數宜有所評估。</p> <p>4. 屯子腳斷層至目前為止仍無可靠的參數，本計畫能在舊后里國中開挖槽溝仍未取得斷層參數，2-3 結論建議後續調查另覓適當用地開挖，是否可行，為何不在本計畫年度內執行，如不可行則不宜建議，徒增困擾。</p>	<p>2. 剖面說明請參照 2-2 章節。</p> <p>3. 目前所得資料不足已進行參數評估。</p> <p>4. 有可能適當用地，但已被劃為道路及工業用地，將於近年進行開發，此地點需與台中市與后里區政府相關機關進行協商確認是否有可能進行調查，於短期內仍無法執行。</p>
<p>(三)恆春斷層：</p>	
<p>1. 第 17 頁及第 19 頁，恆春斷層山麓前緣線型 N20°W 或 N30°W 請予以確定。</p> <p>2. 圖 3-6 圖中墾丁層呈三角形之意義為何，應補充文字說明。</p> <p>3. 第 22 頁及 29 頁，恆春斷層究竟是截切那些最年輕的地層，又核三廠位於全新世活動斷層的上盤，請再確認。</p> <p>4. 第 30 頁，e-GPS 量測斷層跡位置的誤差範圍在 20 公尺，應非 e-GPS 測量之誤差，應予以修正。</p> <p>5. 恆春斷層活動線不宜以恆春斷層支斷層稱之，它就是活動斷層研究中所指的恆春斷層。</p>	<p>1. N20°W 為參照前人研究，縱觀恆春斷層整體的走向；N30°W 為海口區域局部斷層崖的走向。</p> <p>2. 岩芯分析地層分布，剖面比例為 1:10。</p> <p>3. 截切上新世至更新世的年輕地層。核三廠位於全新世活動斷層之下盤。</p> <p>4. 此處所言為斷層跡位置的誤差範圍。</p> <p>5. 依原始恆春斷層定義(墾丁層或馬鞍山層與年輕地層之交界)而言，活動線非恆春斷層，當為其上盤之活動支斷層。</p>

<p>6.恆春斷層建議取消主斷層與支斷層之名稱，以免誤解，主斷層改為早期斷層或以老斷層稱之，事實上，西斷層較老、東斷層較新，但同為主斷層。如西斷層以主斷層稱之，斷層跡又不確定，未來劃定地質區時將造成困擾。</p>	<p>6.維持主斷層、支斷層不變；主斷層位置不明則建議再行調查。</p>
<p>(四)利吉斷層：</p>	
<p>1.利吉斷層的斷層位置與全新世或現今的位移變形位置差異甚大，如相信GPS測量的變形位置為斷層活動位置，則在台東市區的紅、綠兩線之調查結果是否全應劃為地質敏感區，請予以建議。</p>	<p>1.台東市區範圍，兩線之位置皆屬推測，如要釐清詳實，應再進行深井鑽探調查，以確定位置及活動性。</p>
<p>2.第 49 頁圖 4-14 及 4-15，GPS 量測結果橫坐標單位有誤，請確認。</p>	<p>2. 圖 4-14 及 4-15 單位已修正。</p>
<p>3.第 50 頁 GPS 速度場最大變化是指過去 22 年來，是否能代表全新世斷層活動位置有待商榷。</p>	<p>3.此為暫行以故有資料進行分析，若有更新資料可再行商榷修訂。</p>
<p>(五)總建議：</p>	
<p>1.每一條斷層的調查結果除了有結論外，對於尚有存疑的部分未來如何進一步調查亦應有所建議。</p>	<p>1.如有想法將進行補充。</p>
<p>2.報告在結論之後應有建議，尤其對於地質敏感區劃設位置究竟位於主斷層線亦或斷層活動線應有所建議。</p>	<p>2.斷層活動線如為實線(確定性高)，則建議劃為敏感區；如為虛線(推測性)，則當進行更有針對性之調查以確定。</p>
<p>3.應以本研究之成果討論各活動斷層地質敏感區的劃分建議。</p>	<p>3.實線之主斷層或斷層活動線可劃為敏感區，虛線或誤</p>

<p>4.總報告書建議增加一個章節(第 15 章)，將 4 年來的結果作摘要整理，並彙整成表說明。</p> <p>決議事項：</p> <p>(一) 期末簡報內容、工作進度及項目符合契約書規定，本所同意備查。請執行單位依據委員意見與建議事項參酌修正報告書內容，並將審查意見之回覆說明檢附於正式期末報告書附錄，以利查核。</p> <p>(二) 經本會議（4 位委員出席）決議期末報告書依審查意見需稍加修改後可被接受，請依委員意見修正報告書，俟修正完成後，請提送成果報告書及相關附件辦理驗收事宜，俟驗收完成後驗收完成後，請依據契約書相關規定來函申請撥付尾款及結案。</p>	<p>差高之主斷層或斷層活動線當再進行更多調查。</p> <p>4.將增修此一章節，附加成果表。</p> <p>(一)遵照辦理。</p> <p>(二)遵照辦理。</p>
---	--