經濟部中央地質調查所報告第 97-9 號
計畫編號:97-5226902000-03-01

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 (2/4)－

期末報告書

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行機關：國立台灣大學地質科學系
中華民國九十七年十二月

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(2/4)

九十七年度報告

計畫主持人：陳文山

協同主持人：游能悌

研 究 員：松多信尚、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

中華民國九十七年十二月

摘要

本研究以鑽井岩芯、地質剖面以及階地定年資料，探討池上斷層、小岡山斷層、木屐寮－六甲斷層、潮州斷層，以及旗山斷層的斷層活動特性。池上斷層由鑽井調查顯示近地表斷層面傾角為 65º，另由河階定年估算斷層的抬升速率為 23.5-27.0 mm/yr，沿斷層面的淨滑移速率為 26-30 mm/yr。

由於鑽井未能鑽穿小岡山斷層帶，由淺層震測剖面資料推估斷層面傾角約 45º。由沉積環境與 ^{14}C 定年資料推估，小岡山斷層抬升速率為 4.4±0.6 mm/yr，沿斷層面的淨滑移速率為 6.2±0.8 mm/yr。

由於全新世沉積層分布於木屐寮－六甲斷層兩側，初步估算斷層下盤的抬升速率為 3.4±1.0 mm/yr，上盤為 9.0±1.0 mm/yr；木屐寮－六甲斷層抬升速率約 5.6±2.0 mm/yr；由斷層面 30^{o} 傾角估算，淨滑移速率約 11.2±4.0 mm/yr。

潮州與旗山斷層的現階段研究，由於沒有斷層上下盤兩側河階年代資料來估算垂直變動速率，以及古地震資料，因此尚無法確定斷層的淨滑移速率與地震週期。

關鍵字：池上斷層、小岡山斷層、木屐寮－六甲斷層、潮州斷層、旗山斷層、抬升速率、淨滑移速率。

Abstract

Integrating with this study and previous borehole data, we will estimate the deformation rate of the Chihshang, Shiaokangshan, and Muchiliao-Liuchia faults. Utilizing borehole logging with ^{14}C dating data on both sides of the Muchiliao-Liuchia fault, we estimate that the maximum uplift rate on the hanging wall is about 9.0±1.0 mm/yr, and the footwall is 5.6±2.0 mm/yr. Therefore, the vertical slip rate of the Muchiliao-Liuchia fault is estimated the vertical slip rate of 5.6±2.0 mm/yr and the net slip rate of 11.2±4.0 mm/yr, based on the fault dip of 30º. Based on the borehole logging with ^{14}C dating data for the Shiaokangshan fault, we estimate the vertical slip rate of 4.4±0.6 mm/yr and the net slip rate of 6.2±0.8 mm/yr, based on the fault dip of 45º. Based on the dating of river terrace on the hanging wall of the Chihshang fault, we estimate the vertical slip rate of 23.5-27.0 mm/yr and the net slip rate of 26-30 mm/yr, based on the fault dip of 65º.

The study can't estimate the uplift rate and paleoseismologic data, so we can't confirm the net slip rate and recurrence time of the Chaochou and Chishan faults.

Key words: Chihshang, Shiaokangshan, Muchiliao-Liuchia, Chaochou, Chishan, net slip rate, uplift rate

第一章、前言

本年度（97 年度）「斷層長期滑移速率與再現週期研究（2/4）」計畫的研究主題乃針對木屐寮－六甲斷層、小岡山斷層、旗山斷層與池上斷層，以下將分別描述各斷層的構造與地形、鑽探、階地挖掘與定年、以及槽溝等研究，並探討至少三條斷層的長期滑移速率與再現週期研究。（1）淺層鑽探，（2）階地定年，（3）地質剖面挖掘。以下先就此三種研究方法的程序以及其必要性作深入討論。

1-1 淺層鑽探

除了確定斷層跡位置與淺層斷層傾角外，本計畫欲探討斷層長期滑移速率之目的，因而規劃在鑽探場址的斷層兩側各進行一孔鑽井，並且選擇的上盤鑽井必須位於晚更新世-全新世階地之上，預期鑽取階地沉積物中可採取 ^{14}C 定年的材料，如此才能達到此研究預期目的。假如上盤地層屬於岩盤，或是鑽取岩芯中沒有可定年材料時，就無法達到估算斷層長期滑移速率與再現週期。因此，場址的選擇條件必須非常慎重評估，研判是否具備上述地質條件。下盤鑽探場址同樣必須慎重評估，預估鑽遇的沉積層序可以與上盤沉積層對比；除了 ^{14}C 定年對比之外，亦可由層序作對比，如此才能夠在斷層兩側的鑽井岩芯中獲得同時期的沉積層（時間面），如此即可以估算斷層垂直抬升速率，若鑽井可以鑽穿斷層，則可獲得斷層近地表的位態，亦即可估算斷層淨滑移速率。

場址的選擇評估首先由航照與野外調查判斷斷層跡（fault trace）位置，以及是否具備上述之地質條件，之後再於野外尋找鑽探與挖掘地質剖面的地點。由於本研究計畫預估每口鑽探深度約 30-100 公尺，所以事先必須預估斷層面可能傾角。通常選擇鑽探位置距離斷層跡約在 50 公尺以內，此距離才可能鑽穿斷層帶，並且在下盤可以鑽取晚更新世－全新世沉積層，以供對比與採取 ^{14}C 定年標本。

本年度鑽探工作如下，潮州斷層有一處鑽探場址（青葉場址），進行青葉 4 號井與青葉 5 號井；小岡山斷層有一處鑽探場址（小岡山場址），進行小岡山 1 號井、小岡山 2 號井與小岡山 3 號井；池上斷層有一處鑽探場址（萬安場址），進行萬安 1 號井、萬安 2 號井與萬安 3 號井，以及一處地質剖面（富池橋）；木屐寮－六甲斷層有兩處鑽探場址（白河場址，六重溪場址），以及一處地質剖面；

旗山斷層有兩處地質剖面（深水坑溪）（表 1-1，1-2）。

表 1-1、工作計量表。

調查項目	單位與數量
淺層鑽探	13 口井，井深共 1140 公尺。
階地掘坑	10 坑。
地質剖面	地質剖面 4 處，長度共 135 公尺。
^{14}C 定年	51 個。

表 1-2、鑽井位置表。

井號	井名	經度	緯度	井深	井位高程	單位	備註
	布袋	164519	2586883	250	3.97	地調所地下水	92
	永安	186530	2587137	250	36.4	地調所地下水	88
	白河	189138	2583678	250	35.5	地調所地下水	88
	岸內	173556	2581219	250	2.2	地調所地下水	88
BH1	白河 1 號井	193240	2583286	100	61	台大地質系	97
BH2	白河 2 號井	193200	2583406	100	56	台大地質系	97
BH3	白河 3 號井	192040	2580566	100	57	台大地質系	97
BH4	白河 4 號井	192000	2580606	120	55	台大地質系	97
BH5	白河 5 號井	191680	2581126	100	42	台大地質系	97
	花梨坑溪 1 號井	191166	2579406	40	33	台大地質系	95
	花梨坑溪 2 號井	191173	2579375	20.4	35	台大地質系	95
	花梨坑溪 3 號井	191192	2579361	40.6	34.2	台大地質系	95
GS-01	小岡山 1 號井	180240	2527406	100	16	台大地質系	97
GS-02	小岡山 2 號井	180200	2527446	70	15	台大地質系	97
GS-03	小岡山 3 號井	180120	2527446	70	14	台大地質系	97
SKS	山腳下	180320	2527326	200	19	地調所構地組	96
GL-04	青葉 4 號井	210824	2527849	70	111	台大地質系	96
GL-05	青葉 5 號井	210720	2527846	70	112	台大地質系	96
CB-01	池上萬安 1 號井	271804	2555462	70	286	台大地質系	97
CB-02	池上萬安 2 號井	271830	2555455	70	287	台大地質系	97
CB-03	池上萬安 3 號井	271879	2555416	100	306	台大地質系	97

	白河地質剖面	193280	2583286			台大地質系	97
	莿桐崎地質剖面	191644	2579565			台大地質系	95
SSK-01	深水坑 1 號地質剖面	186640	2519926			台大地質系	97
SSK-02	深水坑 2 號地質剖面	186600	2519846			台大地質系	97
	富池橋地質剖面	274400	2563126			台大地質系	97

1-2 階地定年

通常以未紅土化或微紅土化階地進行探坑挖掘(推估沉積年代在 ^{14}C 定年範圍之內），深度約 2 公尺，長度約 5-10 公尺，進行 ^{14}C 標本採樣。由階地年代以及與現今河床比高計算該處地殼的抬升速率。

本研究於池上地區與白河地區共進行 10 處掘坑（圖 1-1，表 1-1），並尋得 3 處人為開挖掘坑，以及 2 處地質剖面。由於這些區域都屬於未紅土化階地地形，僅一處掘坑在河流砂泥層中採得 1 個標本（富池橋階地，標本採樣深度為 1.6 公尺），經 ^{14}C 定年獲得年代為 1180-940 yr BP（附錄一）。



圖 1-1、富池橋階地。

1-3 槽溝與地質剖面挖掘

古地震研究是藉由挖掘淺層地質剖面，從受構造擾動沈積層來分析斷層的活動（古地震）事件，以及每次大地震事件造成的變形量。之後再由沉積層年代（^{14}C 定年法）來確定斷層活動（大地震）時間；由古地震時間與變形量（估算

長期滑移速率）探討斷層的活動性，並估算下次大地震發生時間或機率。地質剖面是針對具有受斷層作用形成的構造剖面，而地質構造出露狀況是因地而異，台灣山麓前緣經常堆積大量崖錐崩積層，造成斷層跡被厚層沉積物覆蓋；此外台灣河流的侵蝕速率快，經常在河岸岩壁出露良好的地質剖面。所以本研究依據野外的自然與人為條件選擇恰當的地質剖面進行研究。若野外出露清晰的斷層剖面時，將以人工或機械清理露頭剖面，並詳細描繪與紀錄。假如有適當的挖掘場址將進行地下地質剖面挖掘。本年度共於三處地點進行四個地質剖面，白河剖面(木屐寮斷層）、富池橋剖面（池上斷層），與深水坑溪剖面（旗山斷層）；總長度共 135 公尺（表 1-1，1-2）。

1-4 長期滑移速率與再現週期參數求取方法

地震再現週期有賴於地質剖面挖掘調查，才能獲得完整的古地震資料。長期滑移速率除了地質剖面挖掘研究之外，亦可藉由地形定年（海階與河階）的估算。

古地震研究是藉由挖掘淺層剖面，分析剖面中受構造擾動的沈積層分析斷層活動（古地震）事件，以及每次大地震事件造成的垂直變形量。之後，再由沉積層年代（^{14}C 定年法）確定斷層活動（大地震）時間；並由古地震時間與變形量（長期滑移速率）探討斷層的活動特性，估算下次大地震發生時間或機率。

1-5 ^{14}C 定年

本年度針對階地堀坑以及鑽井岩芯的研究共有 51 標本進行 ^{14}C 定年（附錄一，表 1-1）。

1-6 修改意見

回覆期中與期末報告修改意見，請見附錄二與附錄三。

第二章、木屐寮斷層－六甲斷層長期滑移速率

2-1、地質構造

木屐寮斷層－六甲斷層位於西南部麓山帶的前緣斷層，由八掌溪向南延伸至曾文溪。之前以線型崖地形研判存在一斷層（Sun, 1970, 1971；石再添等，1986），但震測剖面與地表構造的研究則認為屬於褶皺崖地形（Suppe, 1980；Hung *et al.*, 1999；黃旭燦等人，2004）。本研究經野外調查，木屐寮斷層可能由數條斷層構成一寬約數百公尺的變形帶，或斷層前端近地表淺層沉積層形成三角剪切帶的變形構造（trishear zone）。鑽井研究（蔦桐崎）也顯示上盤六雙層沿主要剪切面產生較大的錯移，逆衝至晚更新世沉積層之上，而於主斷層前緣形成一些小型剪切帶（岩芯中經常具有剪切帶構造），並且產生隆起地形（圖2-1；Yang *et al.*, 2007；楊志成等，2005）。

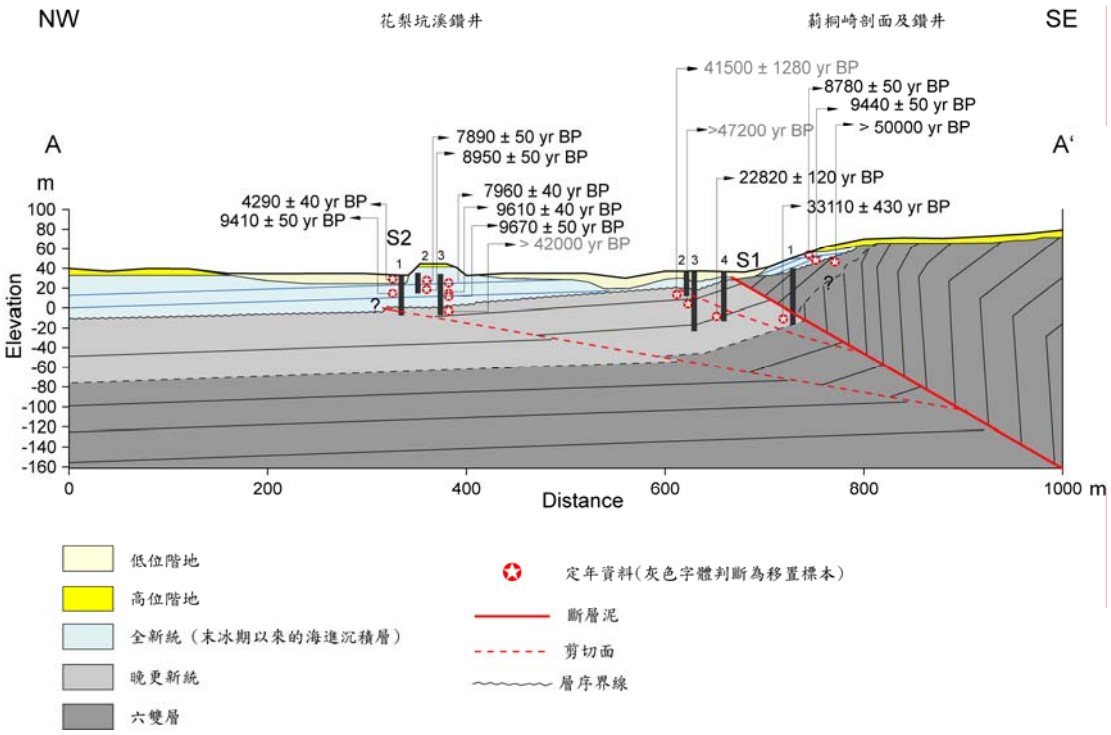


圖2-1、蔦桐崎剖面，包含蔦桐崎與花梨坑溪鑽井（陳文山等，2006）。

木屐寮斷層南側的六甲斷層，地形同樣形成一呈北東走向的線型崖，線型崖西側出露六雙層，六甲斷層線型崖東側六雙層向西傾斜呈現陡直傾角約70º。

構造平衡剖面解釋木屐寮－六甲斷層的構造型態是發育於向斜軸部的低角度滑離斷層，並向西延伸至平原區之下（Suppe, 1980；Hung *et al*., 1999；黃旭燦等，2004），另以斷坪－斷坡構造解釋六甲斷層（Hu and Sheen, 1989；Hickman *et al*., 2002），楊志成等（Yang *et al*., 2007；楊志成等，2005）認為屬於牛山背斜褶皺前翼產生的斷層（fold-accommodation fault，Mitra, 2002）。然而就地形觀點而言，木屐寮－六甲斷層兩側地形有極大差異，斷層沿線呈現明顯的線型崖，兩側的階地變位與河流流向成直交的現象來看，顯示斷層尖端已經擴展至地表；假若尚未擴展至地表，地形特徵應呈現一寬廣的緩曲面，而非一陡直的線型崖。

西南部麓山帶是由一系列逆衝斷層由東向西方向依序發展（in sequence）構成的褶皺-逆衝斷層帶。木屐寮斷層位於西南部麓山帶的最前緣，地形屬於西部麓山帶與隆起台地的交界。此斷層過去被視為褶皺－逆衝斷層變形帶的前緣斷層，然近年來透過平原區大量鑽井資料研究，顯示全新世以來平原區東側已呈現抬升(隆起台地)，推測一斷層滑脫面構造向西延伸於平原之下(陳文山等，2004；楊志成等，2005)。木屐寮斷層位在線型崖北段，由六重溪向北延伸至八掌溪(圖2-2）。六甲斷層構造特性與木屐寮斷層類似，在麓山帶前緣形成一北東走向的斷層線型崖（圖2-2），由六重溪向南延伸至烏山頭水庫南側，於曾文溪被左鎮斷層截切。

嘉南地區麓山帶至平原區之間發育兩條逆衝斷層，木屐寮－六甲斷層與新營斷層，劃分三個不同的地形構造區，為麓山帶、隆起台地與海岸平原（陳文山等，2004）。從階地地形（海階與河階）則非常明顯表示此三個區域的相異性（圖2-3），麓山帶區域具有多重晚更新世－全新世海階與河階（H2、H3、M1、M2、L1－L7）；隆起台地區域地表主要分布全新世海階（L1－L2），以及沿河流分布較低位河階（L3－L7），而未分布晚更新世河階（H2、H3、M1、M2）；海岸平原區域則堆積現生河流沉積物，未呈現河階地形（圖2-3）。

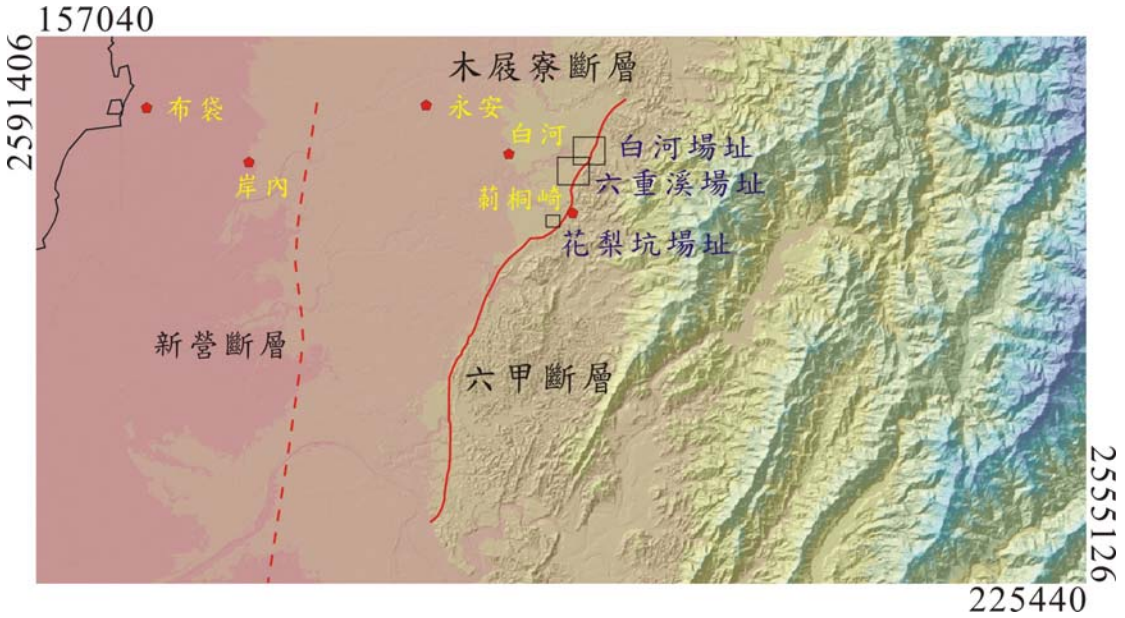


圖2-2、木屐寮斷層與六甲斷層位置圖。

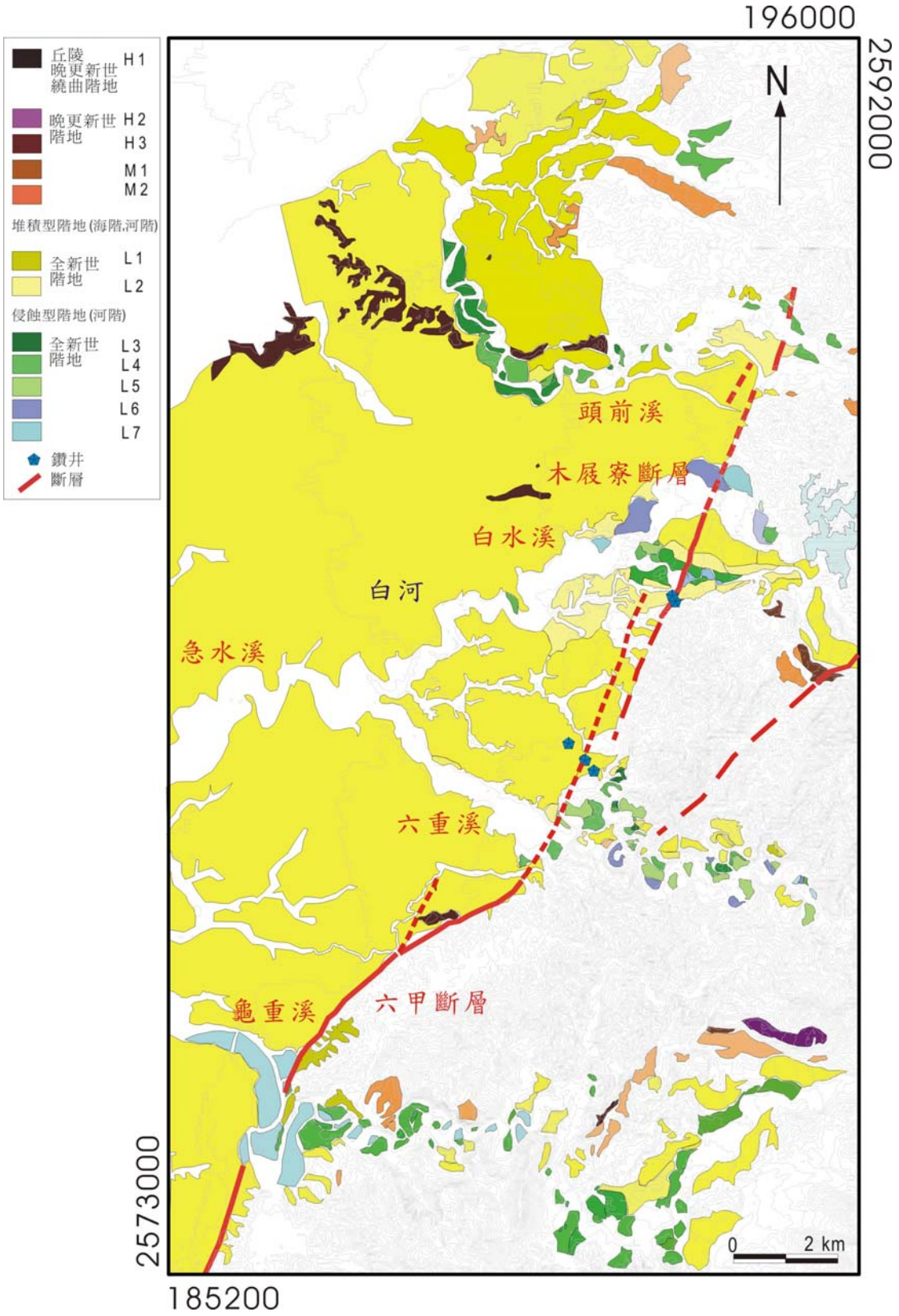


圖2-3、木屐寮－六甲斷層兩側階地分布。

2-2、白河場址淺層鑽探

本研究經野外重新勘查木屐寮－六甲斷層沿線地質構造，選擇兩處場址（白

河場址與六重溪場址）進行淺層鑽探。第一處鑽探場址（白河場址）位於木屐寮斷層北側，沿 172 縣道的虎子墓，此處木屐寮斷層截切河階，形成高約 6 公尺地形崖。於上下盤各進行一孔鑽井，上盤為白河 1 號井（BH1），下盤為白河 2 號井（BH2），兩孔井各鑽取 100 公尺深岩芯（圖 2-4）。

白河1號井位於木屐寮斷層上盤，深度為100公尺，井位海拔高度為62公尺；岩芯的沉積層層序如下（圖2-5）。

（1）0-11.2公尺：表層沉積物於0-3.1公尺與7.7-9.0公尺呈現土壤化，0-11.2公尺沉積層以泥為主，泥層具強烈生物擾動構造，夾薄層淘選良好具波痕構造的薄砂層，屬於河口灣環境，沉積層傾斜角度約42º。

（2）11.2-13.0公尺：淘選良好砂層，沉積層傾斜角度約38º。

（3）13.0-16.4公尺：主要為淘選良好礫石層，15.25-15.7公尺為淘選良好砂層，屬於河口灣河道堆積的砂礫層。

（4）16.4-17.8公尺：具強烈生物擾動構造的青灰色砂質泥層或泥質砂層，屬於河口灣環境。

（5）17.8-20.3公尺：微有生物擾動構造的砂層，具平行紋理，沉積層傾斜角度約38º。

（6）20.3-22.7公尺：強烈生物擾動構造的青灰色砂質泥層或泥質砂層，屬於河口灣環境，^{14}C年代為35310±560 yr BP（附錄一）。

（7）22.7-27.4公尺：粉砂夾薄層泥，具平行紋理，與碳質泥層，屬於河口灣環境，沉積層傾斜角度約26º。

（8）27.4-57.0公尺：砂層與粉砂層，具平行紋理，偶具生物擾動的泥層，屬於河口灣環境。沉積層傾斜角度約15-35º，35公尺以下具剪切面構造，剪切面傾斜角度約35-50º。

（9）57.0-100.0公尺：砂層與粉砂層，具平行紋理，偶具生物擾動的泥層，含有貝殼碎屑，屬於潮間帶環境。沉積層傾斜角度約15-35º，剪切面傾斜角度約25-40º。

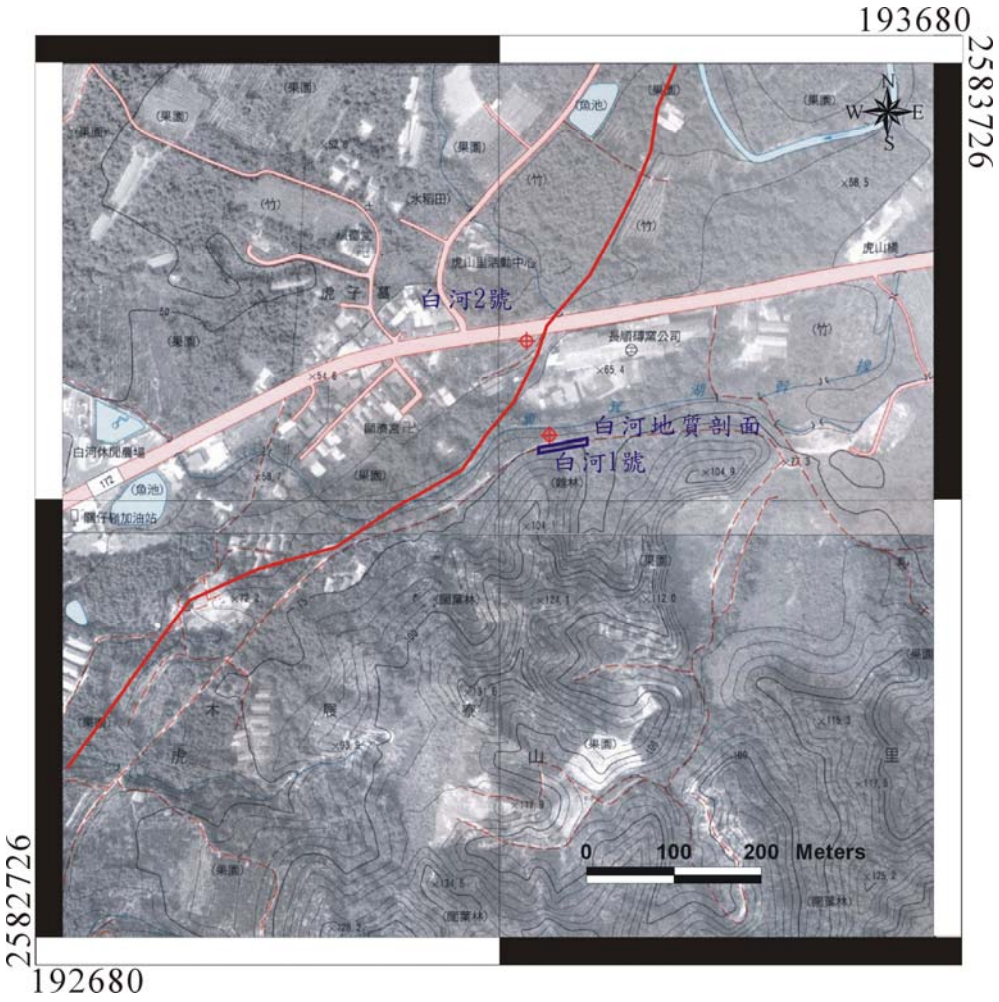


圖 2-4、木屐寮斷層北側，沿 172 縣道虎子墓的白河 1 號與 2 號井位置，與地質剖面位置圖。

白河2號井岩芯的沉積層層序為如下圖2-6，鑽取深度100公尺。

（1）0-6.4公尺：具強烈風化紋的土壤層。

（2）6.4-9.4公尺：河流相礫石層，礫石為變質砂岩。

（3）9.4-18.7公尺：具生物擾動的砂質泥層，偶夾薄砂層，屬於河口灣環境，沉積層傾斜角度約10º。

（4）18.7-21.1公尺：具強烈風化紋的土壤層（砂質泥層），屬於河口灣環境。

（5）21.1-31.7公尺：具平行紋理，偶夾具泥層，屬於河口灣環境，沉積層傾斜角度約10º，^{14}C年代為9910-9550 yr BP（BH2-07，31公尺）（附錄一）。

（6）31.7-38.5公尺：薄層礫石夾淘選良好砂層，屬於河口灣河道環境。

（7）38.5-42.0公尺：具生物擾動的風化泥層，屬於河口灣環境。

（8）42.0-56.0公尺：具平行紋理淘選良好砂層，屬於河口灣河道環境，沉積層傾斜角度約10º。

（9）56.0-60.1 公尺：砂頁互層，砂層具波痕構造，泥層含貝殼碎屑，屬於潮間帶環境；^{14}C 年代為 28000±200 yr BP（BH2-14，58 公尺）。

（10）60.1-70.4 公尺：含碳質與貝殼碎屑的泥層，偶夾薄砂層，屬於潮間帶環境，沉積層傾斜角度約 10º。

（11）70.4-80.0 公尺：含少量碳質與貝殼碎屑砂層，偶夾薄泥層，屬於潮間帶環境。

（12）80.0-88.5 公尺：含貝殼碎屑泥層，偶夾薄砂層，屬於潮間帶環境。

（13）88.5-100 公尺：砂層夾薄泥層，98-99 公尺具風化紋泥層，屬於河口灣環境，沉積層傾斜角度約 20º。



圖 2-5、白河 1 號井岩芯紀錄。

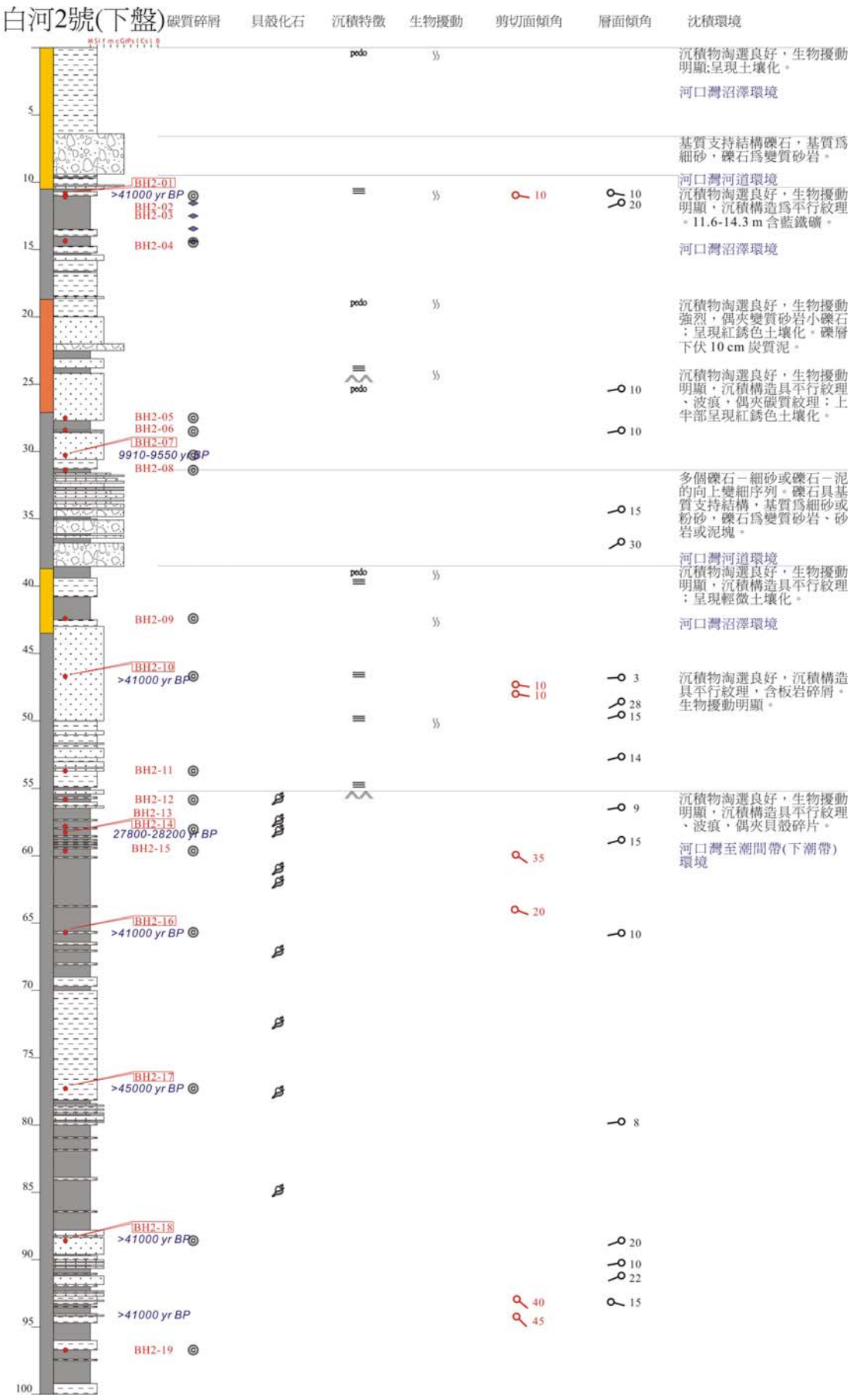


圖 2-6、白河 2 號井岩芯紀錄。

2-3、白河場址構造解釋

除了，地表與井下沉積層受傾動之外，上盤白河 1 號井大約在 35 公尺以下沉積層中形成許多剪切構造，剪切面傾角約 30-55º；大都剪切面與層面呈高角度相交，顯示傾角方向不同。假若井下沉積層層面與地表露頭傾面相似皆朝西傾斜，則剪切面應朝東傾斜，與主斷層傾向相同。2 號井岩芯中則具較少的剪切面構造，50 公尺以上的剪切面角度較緩約 10º，之下剪切面角度約 20-45º（圖 2-5，2-6）。

斷層兩側岩芯對比（圖 2-7），首先由 ^{14}C 年代來看，下盤白河 2 號井的上部屬於全新世河口灣環境的沉積層，井深 30 公尺的 ^{14}C 年代為 9910-9550 yr BP（6.2±0.4 mm/yr），下部屬於晚更新世的河口灣至潮間帶－下潮帶環境，井深 68 公尺為 28000±200 yr BP（5.0±0.1 mm/yr）。上盤白河 1 號井的上部屬於晚更新世的河口灣環境，井深 21 公尺的 ^{14}C 年代為 35310±560 yr BP。顯然，上盤白河 1 號井上部岩芯老於下盤白河 2 號井，推測木屐寮斷層應位於兩井之間。從白河 1 號井密集的剪切面構造推測，主要的錯移面可能位於井深 35-55 公尺之間。此外，兩井的下部沉積層岩性似乎可以對比，白河 2 號井於 56 公尺以下沉積層中含有密集海相貝殼化石，白河 1 號井於 58 公尺以下沉積層亦含密集海相貝殼化石。另外，兩井白河 2 號井於 69-78 公尺有一厚層粉砂層，白河 1 號井於 73-83 公尺亦有一厚層砂層，兩井沉積層似乎可以對比。假若將此對比，顯然下部沉積層沒有受到明顯錯移（圖 2-7）。

由下盤 2 號井的年代與古環境估算抬升速率，全新世以來的速率為 6.2±0.4 mm/yr，由於上盤還沒有定年資料，還無法計算抬升速率。

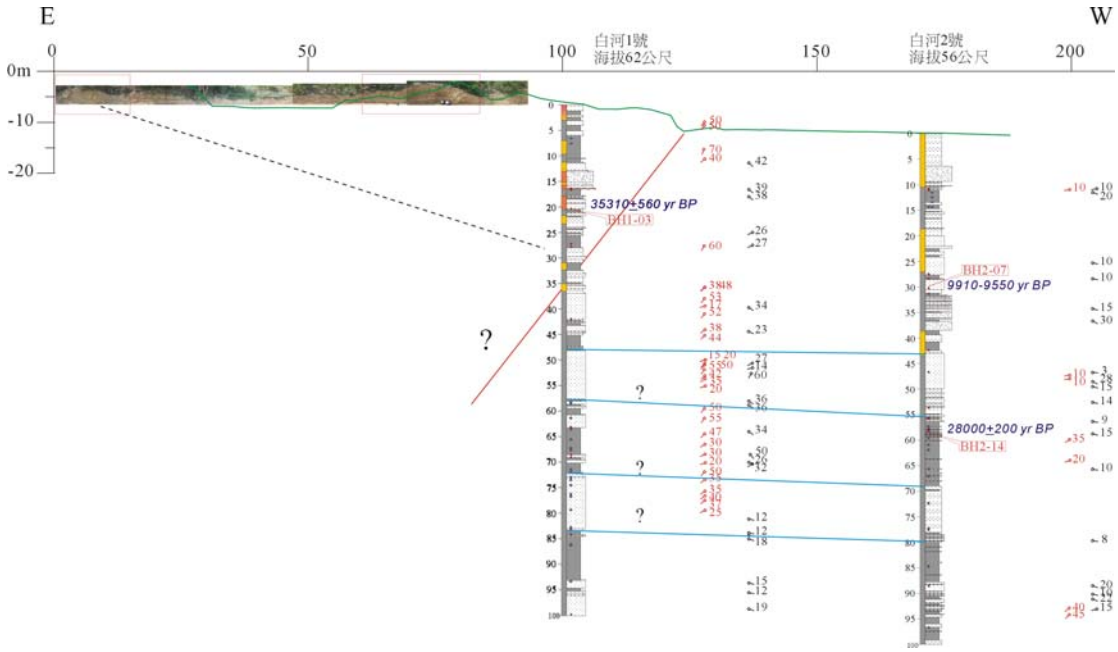


圖 2-7、白河場址鑽井柵狀剖面圖。

2-4、六重溪場址淺層鑽探

六重溪場址位於白河場址南側約 2 公里，為六重溪由山麓區流入平原區位置（圖 2-2，2-8）。此區域的地形特徵，顯示於山麓前緣形成一隆起緩丘，可能受到木屐寮斷層的影響。緩丘地形可能受到另一分支斷層造成隆起地形（楊志成等，2005）；淺層反射震測推測在隆起緩丘坡腳下可能有一斷層構造（圖 2-9a，2-9b）。緩丘東側的麓山帶前緣（嘉宏橋），出露六雙層，其上被一水平全新世海相砂層以交角不整合覆蓋在傾角 45° 的六雙層之上（圖 2-9a）；不整合面之上堆積一薄層礫石層與牡蠣層，顯示全新世海水面已經覆蓋至麓山帶前緣。之後，由於木屐寮斷層上盤抬升，導致全新世海岸線逐漸朝平原區（海側）退卻。

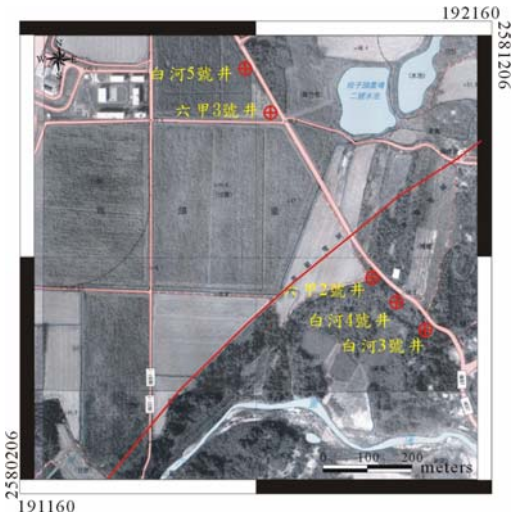


圖 2-8、六重溪場址，與鑽井位置圖。



圖 2-9、Fig. a 為嘉宏橋露頭，全新世砂層不整合於六雙層之上。Fig. b 隆起緩丘（朝西看）。

白河3號井岩芯的沉積層層序如下，鑽取深度100公尺（圖2-10）。

（1）0-1.4 公尺：風化土壤層。

（2）1.4-5.0 公尺：含碳質泥層，夾薄砂層。

（3）5.0-22.0 公尺：砂層夾碳質泥層，屬於河口灣河道環境；7.1 公尺深 ^{14}C 年代為 9000-9270 yr BP（BH3-13）；14.65 公尺深 ^{14}C 年代為 9920-10230 yr BP（BH3-01）（附錄一）。

（4）22.0-32.8 公尺：細砂偶夾薄層粉砂，沉積構造具交錯紋理，28.5-29.0m 含漂木；河口灣河道環境；28.3 公尺深 ^{14}C 年代為 9190-9440 yr BP（BH3-08）；29.3 公尺深 ^{14}C 年代為 8930-9650 yr BP（BH3-09）（附錄一）。

（5）32.8-34.4 公尺：32.8-34.4 公尺處為顆粒支持結構礫石層，礫石為變質砂岩；河口灣河道環境；36.9 公尺深 ^{14}C 年代為 8840-10690 yr BP（BH3-10）。

（6）34.4-52.2 公尺：細砂偶夾粉砂，沉積構造具平行紋理、交錯紋理，含貝殼碎屑；河口灣潮間帶環境。

（7）52.2-78 公尺：泥、粉砂、細砂互層，含貝殼碎屑，偶夾漂木。沉積構造具有交錯紋理、波痕；河口灣潮間帶環境；71.75 公尺深 ^{14}C 年代為＞50000 yr BP（BH3-12）；73.4 公尺深 ^{14}C 年代為＞50000 yr BP（BH3-15）；75.3 公尺深 ^{14}C 年代為＞50000 yr BP（BH3-16）（附錄一）。

（8）78-100 公尺：泥層夾粉砂、細砂，部份泥層具輕微土壤化，砂中偶夾泥塊。沉積構造具交錯紋理、波痕，屬於河口灣河道與沼澤環境。

白河 4 號井岩芯的沉積層層序如下圖 2-11，鑽取深度 120 公尺：

（1）0-4.2 公尺：黃棕色粉砂、中砂層，土壤化，中砂具平行紋理。

（2）4.2-7.7 公尺：細砂偶夾粉砂，偶含碳屑，沉積構造具波痕、交錯紋理。

（3）7.7-8.2 公尺：富含有機質泥層；7.8 公尺深 ^{14}C 年代為 8610-9000 yr BP（BH4-19）。

（4）8.2-28.4 公尺：粉砂與細砂互層，偶含碳屑和植根，沉積構造具波痕、交錯紋理。10.5-11.1 公尺與 21.8-22.0 公尺富含有機質；屬於河口灣沼澤環境；9.8 公尺深 ^{14}C 年代為 9590-10120 yr BP(BH4-18)；22.7 公尺深 ^{14}C 年代為 10790-11200 yr BP（BH4-17）；27.2 公尺深 ^{14}C 年代為 10870-11220 yr BP（BH4-16）（附錄一）。

（5）28.4-29.4 公尺：礫石層具顆粒支持結構，礫石成分為變質砂岩；屬於河口灣河道環境。

（6）29.4-37.4 公尺：泥層夾粉砂、細砂，泥層有土壤化現象，膠結良好；沉積構造具波痕、平行紋理、崩移構造，34.7-35.1 公尺與 36.4-37.4 公尺具風化層；河口灣沼澤環境。

（7）37.4-65 公尺：粉砂與細砂互層，偶含碳屑和貝殼碎屑，沉積構造具平行紋理、交錯紋理、波痕；河口灣下潮帶環境。

（8）65-98.2 公尺：泥層夾粉砂、細砂，偶含碳屑、貝殼碎屑，粉砂、細砂層中偶有泥塊，沉積構造具平行紋理、交錯紋理、波痕，河口灣潮間帶環境；82.7 公尺深 ^{14}C 年代為＞44000 yr BP（BH4-12）。

（9）98.2-109.6 公尺：粉砂、細砂互層，偶夾碳屑，沉積構造具平行紋理；河口灣河道環境。

（10）109.6-120 公尺：泥層夾粉砂、細砂，泥層有土壤化現象，細砂偶夾泥塊，沉積構造具波痕、平行紋理；河口灣沼澤環境。

白河 5 號井岩芯的沉積層層序如下，鑽取深度 100 公尺（圖 2-12）。

（1）0-4.7 公尺：風化土壤層。

（2）4.7-12.1 公尺：泥層夾薄層粉砂、細砂，偶含碳屑，沉積構造具波痕、平行紋理，河口灣沼澤環境；11.9 公尺深 ^{14}C 年代為 4910-5290 yr BP（BH5-07）。

（3）12.1-12.8 公尺：砂礫石層，礫石為泥塊，河口灣河道環境。

（4）12.8-20.8 公尺：粉砂、細砂夾薄泥，偶含碳屑，沉積構造具水平紋理、波痕，河口灣河道環境。

（5）20.8-68 公尺：泥、粉砂互層，含貝殼碎屑，沉積構造具波痕、水平紋理；河口灣潮間帶環境；30.9 公尺深 ^{14}C 年代為 41970±640 yr BP（BH5-14）。

（6）68-100 公尺：細砂、中砂互層，偶夾泥，沉積構造具平行紋理，72-73.1 公尺、73.6-74 公尺、83.5-84.3 公尺、85.4-86.7 公尺、87.6-88 公尺含有泥球砂層，屬於河口灣河道環境。91.9-92.2 公尺與 93.9-96.1 公尺為微風化土壤層；75.1 公尺深 ^{14}C 年代為 37500±410 yr BP（BH5-19）（附錄一）。

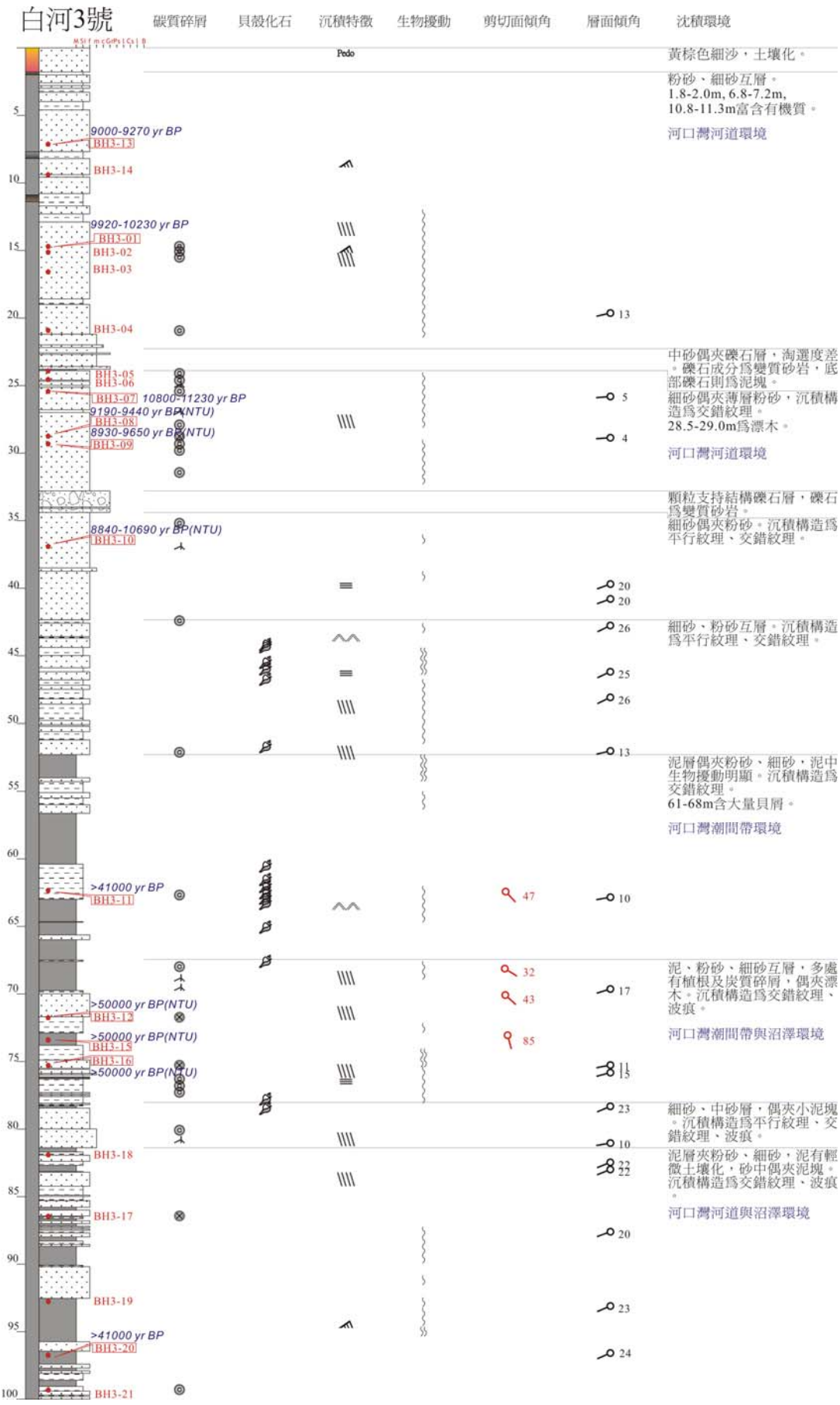


圖 2-10、白河 3 號井岩芯紀錄。



圖 2-11、白河 4 號井岩芯紀錄。



圖 2-12、白河 5 號井岩芯紀錄。

2-5、六重溪場址構造解釋

六重溪場址共有 5 孔鑽井，本計畫進行白河 3、4、5 號鑽井，地質調查所進行六甲 1、2 號鑽井，鑽井分布於山麓前緣的撓曲崖（圖 2-2，2-13）。本研究亦針對白河 3、4、5 號井岩芯進行 ^{14}C 定年與岩層對比，崖坡上的白河 3、4 號井與六甲 1 號井岩性大略可對比，崖坡下的白河 5 號井與六甲 2 號井岩性亦可對比；但兩側的岩性則無法對比（圖 2-13）。六重溪場址的 5 孔鑽井岩芯中皆存在有剪切面構造，顯然此撓曲崖是受到構造作用的變形地形，由岩芯岩性尚無法做全區地層的對比。本研究將由 ^{14}C 年代估算各井位置的抬升速率，來了解此區域的變形型態。

白河 3 號井的定年年代由井深 7.1 公尺（BH3-13）至 36.9 公尺（BH3-10）的 6 個年代資料，顯示上部的資料所訂定的年代可能屬於再堆積的焦炭（BH3-13、01、07），都較下部的 BH3-08、09 標本年代還老，所以本研究僅採用 BH3-08、09、10 標本的年代資料；總合此三個標本所估算的抬升速率為 6.1±2.5 mm/yr。白河 4 號井的定年年代資料從層序來看，沒有任何不合理的結果，但是與白河 3 號井對比層位後的年代，顯示白河 4 號井的年代都較老，總合此四個標本估算的抬升速率為 7.8±1.1 mm/yr。白河 5 號井僅有一個定年資料，估算的抬升速率為 5.7±0.4 mm/yr。木屐寮斷層下盤區域除了六重溪場址的研究之外，尚有本年度的白河場址，以及 95 年度的花梨坑場址（圖 2-14）。白河場址下盤的白河 2 號井估算的抬升速率為 6.2±0.4 mm/yr；花梨坑場址的三孔鑽井估算的抬升速率為 6.0±1.0 mm/yr、5.9±0.9 mm/yr、5.8±1.0 mm/yr，平均為 5.9±1.0 mm/yr（圖 2-14）。因此由三個下盤場址的變動速率而言，大致呈現相同的抬升速率；本研究認為白河 4 號井的年代資料可能屬於再堆積焦炭的年代，所以暫時不予討論（圖 2-15）。由上述三個區域抬升速率分析資料，顯示大致平均為 6.1±1.3 mm/yr。之前，本研究於莿桐崎地區（六重溪場址南側約 1 公里）的斷層上盤所估算抬升速率為 9.0±1.0 mm/yr；顯然麓山帶前緣的隆起地形是與木屐寮斷層作用有關，尤其位於隆起區的鑽井岩芯中都呈現許多剪切帶構造，本研究於 95 年度的研究報告（陳文山等，2006）中認為隆起區是受到另一分支斷層造成的變形，另一解釋是木屐寮斷層的活動造成斷層尖端上覆晚更新世以來沉積層產生一寬約數百公尺的變形帶（三角剪動帶變形）。

嘉南地區構造除了木屐寮斷層之外，西側尚存在一盲斷層構造，陳文山等

（2004）稱為新營斷層，其造成嘉南平原東側的抬升，因而木屐寮斷層上盤的抬升也可能受其影響。首先，本研究彙整全區域的鑽井資料來估算並比較各區域的長期地殼垂直變動速率（圖 2-16、2-17）。由圖 2-16 顯示新營斷層上盤（東側）的最大抬升速率為 3.4±1.0 mm/yr，木屐寮斷層上盤為 9.0±1.0 mm/yr；至於木屐寮斷層上盤的變動受到新營斷層的影響有多大，尚無法評估，關係於新營斷層的斷層幾何型態以及變形行為。本研究僅初步假設木屐寮斷層上盤的垂直變動亦受到新營斷層東側地殼抬升（3.4±1.0 mm/yr）作用的影響，因此僅由木屐寮斷層造成的抬升速率約 5.6±2.0 mm/yr；由斷層面 30^{o} 傾角計算，滑移速率約 11.2±4.0 mm/yr。

本研究認為木屐寮斷層的尖端已截穿地表（全新世沉積層具有密集的剪切面構造），此結果與石瑞銓等（2008）解釋不同，其認為木屐寮－六甲斷層的尖端未截穿地表。由石瑞銓等（2008）研究中橫跨線型崖的震測剖面來看，可以發現 A－A`、B－B`、E－E`三條剖面的震測訊號至線型崖以東都呈現混亂訊號（chaotic），目前以此解釋為褶皺構造似乎稍嫌資料不足，況且測線 08P-LCAF-LY-1 在斷層東側地層（虛線）的解釋稍牽強。

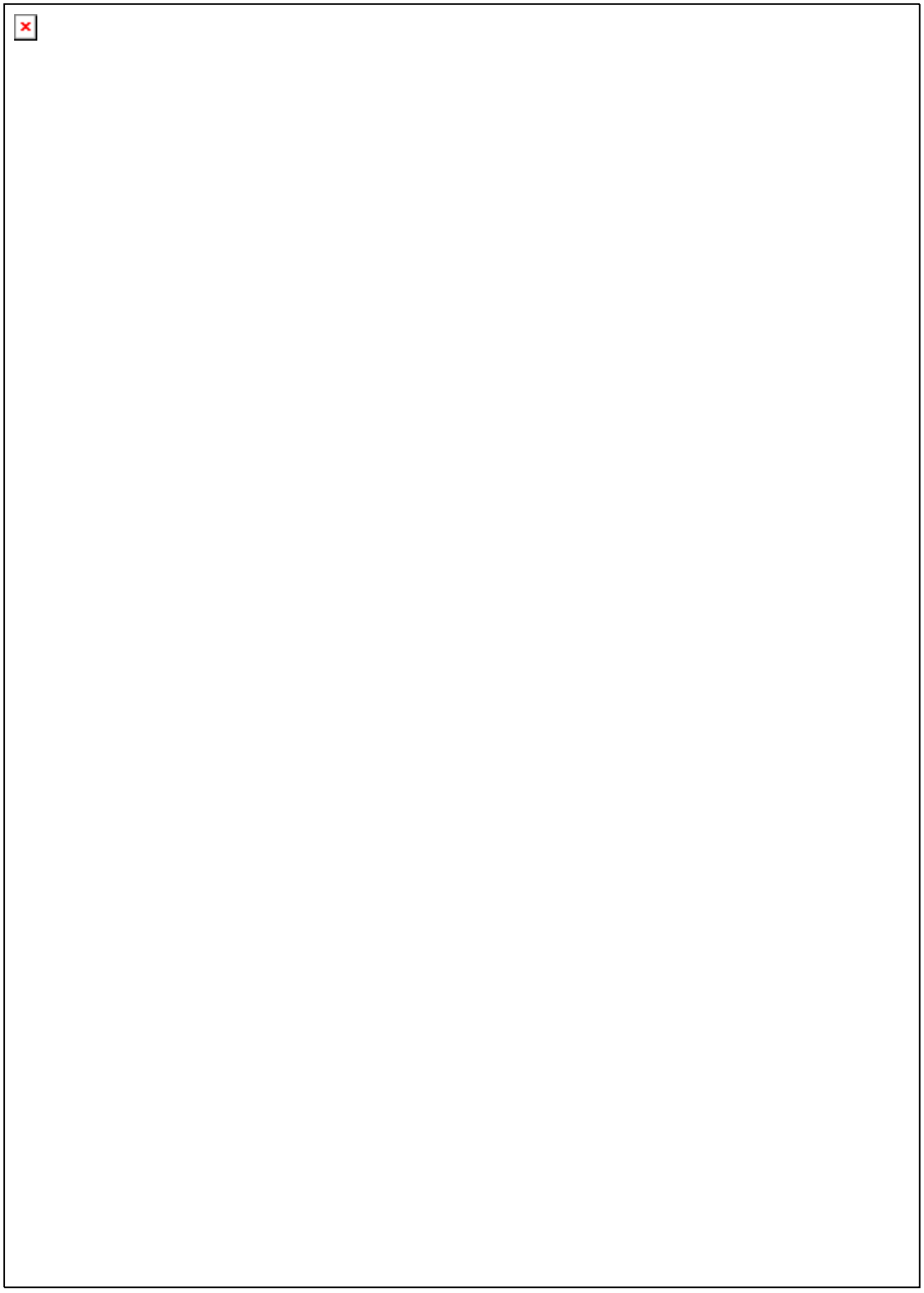


圖 2-13、六重溪場址鑽井柵狀剖面圖，藍色線為可對比的地層面。

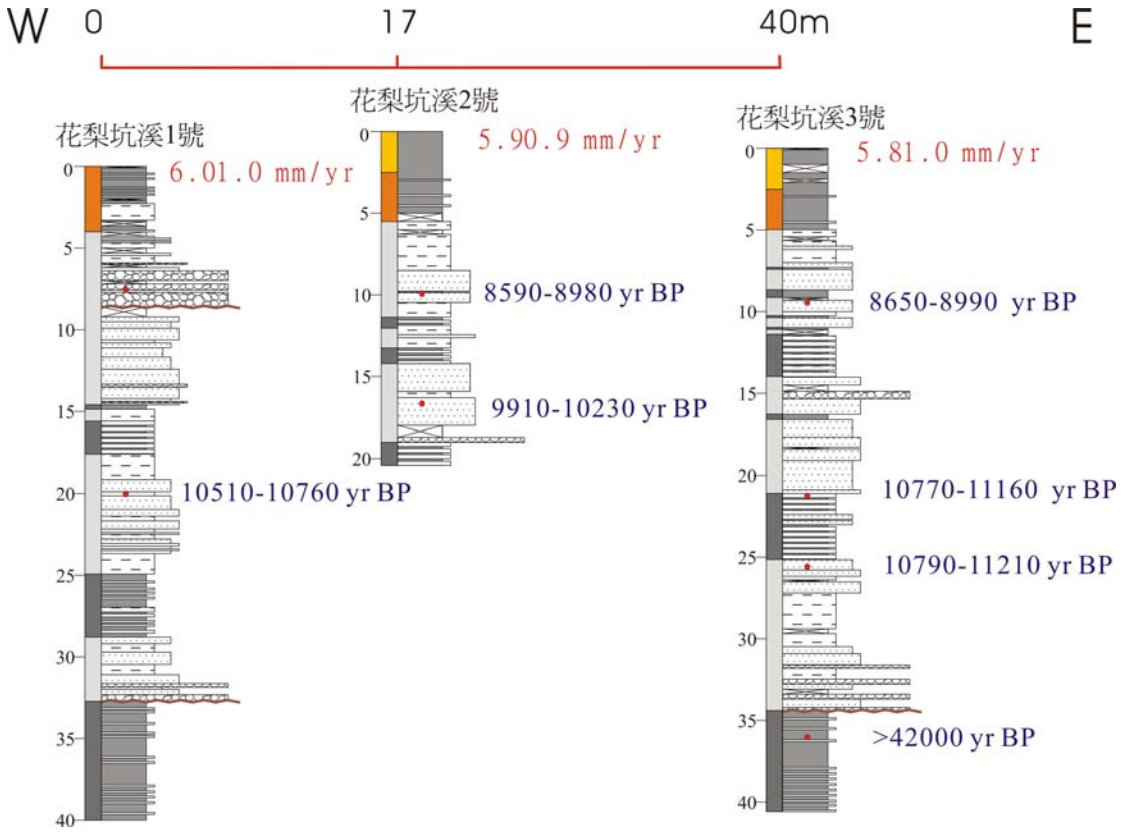


圖 2-14、花梨坑溪鑽井柵狀剖面圖。

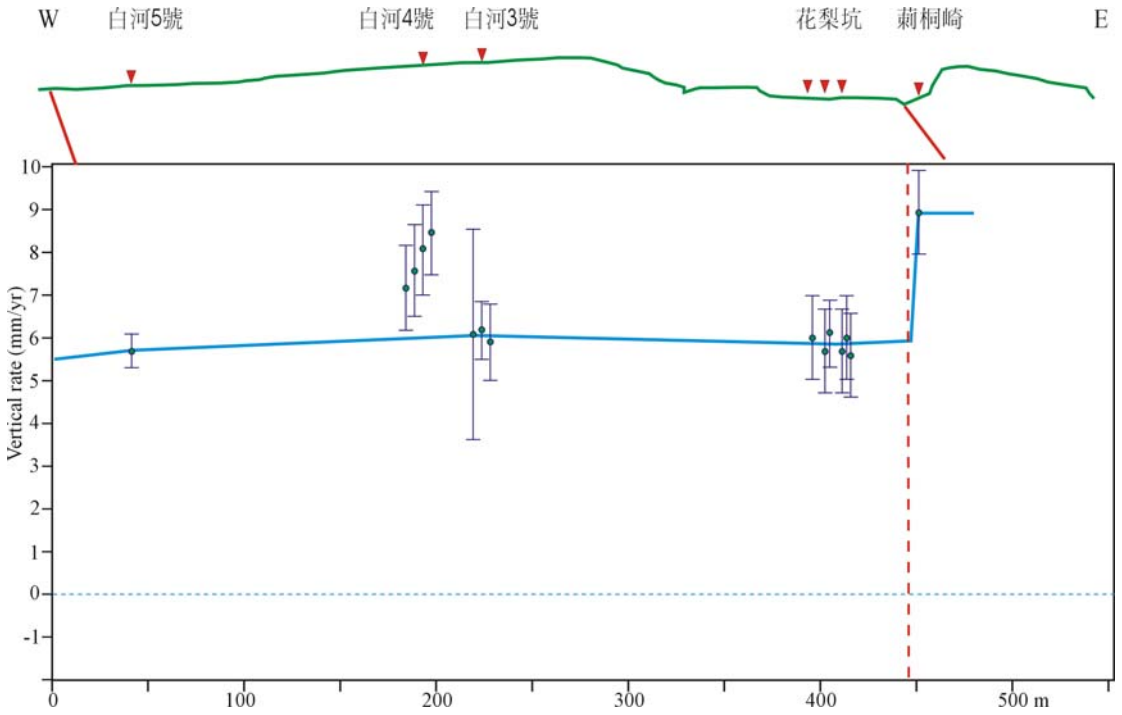


圖 2-15、六重溪與花梨坑溪鑽井岩芯以及薊桐崎露頭的 ^{14}C 年代來估算地殼抬升速率。

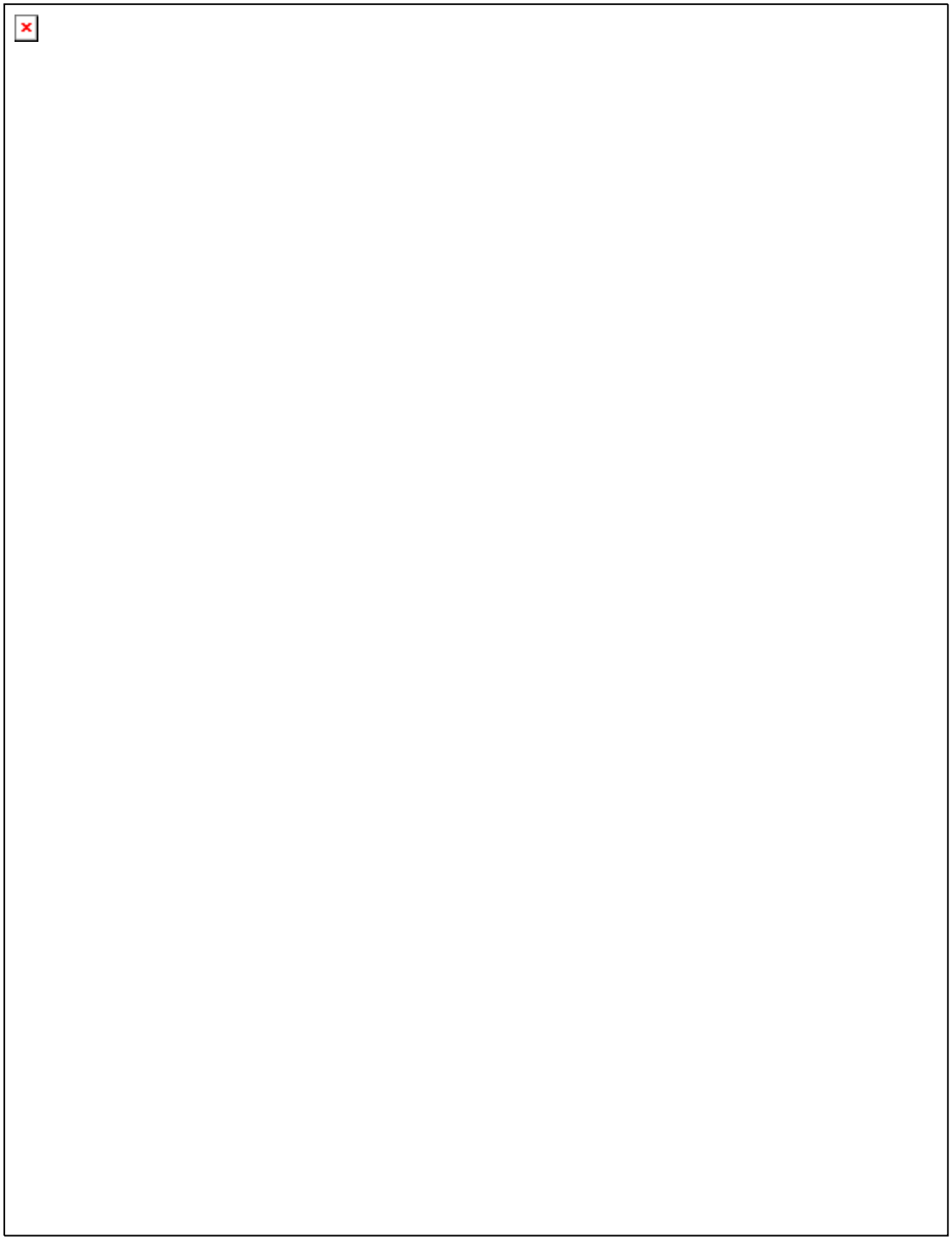


圖 2-16、由海岸平原區至麓山帶前緣的鑽井柵狀剖面圖，以及估算各井的平均抬升速率。

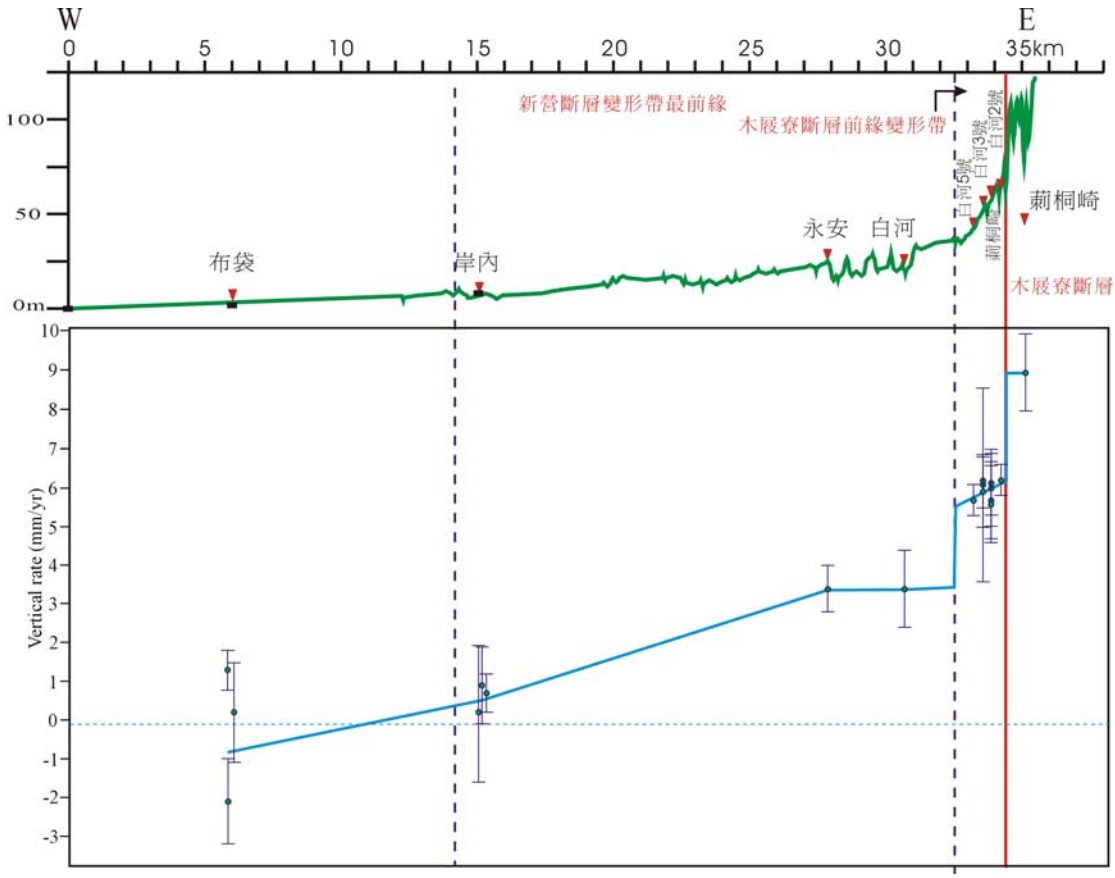


圖 2-17、由海岸平原區至麓山帶前緣的鑽井岩芯估算抬升速率。

2-6、地質剖面

白河地質剖面與白河 1 號井位置同一處(圖 2-4),1 號井位於地質剖面西端。此地質剖面位於斷層上盤，地表出露地層分為幾個單元，表層為近代崖錐礫石崩積層，崖錐崩積層不整合在傾動的礫石層、砂層以及六雙層之上。傾動地層皆朝西傾斜，最上部（西側）礫石沉積層呈背斜構造（圖 2-18），礫石層下部為一砂層與含礫砂層（圖 2-19），此剖面最東側出露傾角為 60º 的六雙層（相距約 100 公尺，圖 2-9a 照片位置）。

圖 2-19 的砂層與砂礫層呈現生長構造（growth structures）的沉積關係，下伏砂層傾角為 35º 朝西，上覆砂礫層傾角為 26º 朝西，與下伏砂層的沉積面呈交角不整合關係，顯然上覆砂礫層沉積後持續受到構造傾動。下伏砂層具有大型交錯層與平行紋理，並具有 *Ophiomorpha* sp.生痕化石，沉積環境屬於河口灣的河道環境。圖 2-18 河流相礫石層屬於此剖面出露最年輕沉積層，也已受到新期構造作用呈現褶皺。配合上盤的白河 1 號井岩性，地表出露的河口灣相砂層（圖 2-19）可能位在井深約 30 公尺處（圖 2-7）。此地層位於推估的主要斷層帶之上，

似乎可以合理解釋地層與構造的關係。

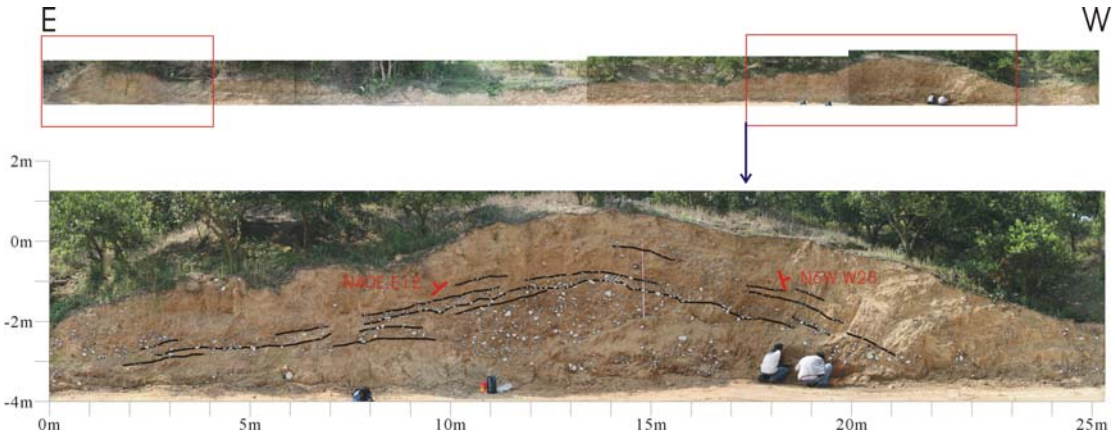


圖 2-18、白河地質剖面，呈背斜構造的河相礫石層（座標 193376、2583450）。

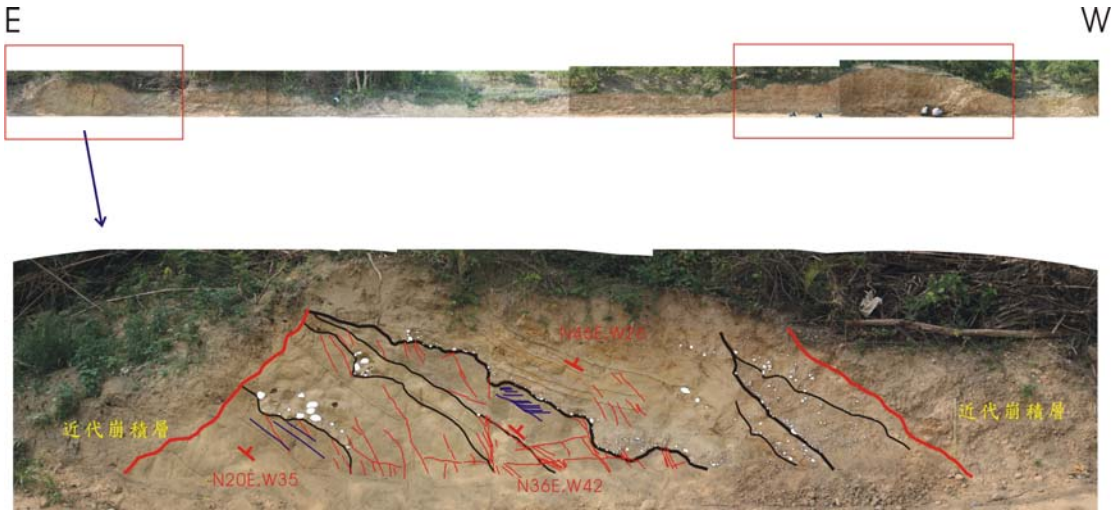


圖 2-19、白河地質剖面，朝西傾斜的河口灣相砂層與砂礫層（座標 193205、2583311）。

第三章、池上斷層長期滑移速率

3-1、地質構造

池上斷層屬於縱谷斷層其中之一的斷層區段，斷層上盤岩層出露利吉層，下盤屬於全新世河流沖積層（Hsu, 1962；王源與陳文山，1993；陳文山等，2008）。斷層位置北從花蓮縣瑞穗鄉春日，南至台東縣瑞源（圖 3-1），沿線除富里的富池橋南岸露頭顯示利吉層逆衝在晚期更新世－全新世河流礫石層之上（陳文山與王源，1996），其他區域未見明顯的斷層露頭。

1951 年 11 月台東地震的第二個主震（M_S 6.8）震央位於池上東側，依據徐鐵良（Hsu, 1962）野外調查的照片紀錄，顯示池上斷層沿線似乎沒有明顯且大規模的地表變形，僅呈現地表龜裂現象，推斷這些地表變形可能是地滑或液化作用所造成，或則地表僅呈現數十公分的垂直變動。2003 年成功地震（M_W 6.8），斷層尖端的地表變形僅有 13 公分的水平壓縮與 26 公分的垂直隆起（Hu *et al*., 2006；Wu *et al*., 2006）。2003 年成功地震產生的地表變形範圍，最北側可達玉里大橋附近，南側至瑞源地區。另外，由系列地震或長期微震資料也可以清楚勾畫出池上斷層的幾何型態，淺層 10 公里以上斷層面朝東傾 60^o，10-30 公里深的斷層面朝東傾約 45^o（Kuochen *et al*., 2004；Hu *et al*., 2006；Wu *et al*., 2006）。陳文山等（2008）進行池上斷層的古地震研究，初步結果顯示一千年以來發現至少有八次古地震事件。

3-2、池上鄉萬安場址淺層鑽探

本計畫針對池上斷層進行三孔鑽井，鑽井位置規劃在池上鄉萬安村，位於錦園溪南側斷層崖上盤，本研究曾在此處針對池上斷層進行兩處槽溝挖掘（圖 3-2）。由於槽溝剖面中出露沉積層皆屬於錦園溪河流沉積物，僅見沉積層變形（斷層尖端擾動帶），未發現利吉層逆衝至沖積層上。萬安槽溝研究，1 號槽溝中僅出露全新世河流礫石沉積層，槽溝中共有 7 個斷層剪切面構造，2 號槽溝剖面僅呈現礫石沉積層受到褶皺傾動，沒有斷層剪切構造。顯然池上斷層在近地表變形呈現一寬廣的變形帶。為了能夠更明確了解池上斷層近地表位態，以及斷層兩側岩層關係，所以本研究選擇在 1 號槽溝東側斷層上盤進行鑽探。

萬安 1 號井：鑽井深度為 70 公尺，於 29.2 公尺處鑽穿利吉層至全新世礫石沖積層（圖 3-3）。

（1）0-29.2 公尺：岩性屬於利吉層，具密集的剪切面構造，剪切面傾角大致呈35-55º。

（2）29.2-31.0 公尺：風化的含礫石泥層，沉積構造呈基質支持結構，大部份礫石屬於角礫狀砂岩，主要來自利吉層的砂岩岩塊，屬於土石流堆積的河流沖積層或崖錐崩積層。

（3）31.0-39.0 公尺：含角礫狀砂岩與次圓形安山岩質礫石，沉積構造呈基質支持結構，屬於土石流堆積的河流沉積層。

（4）39.0-39.5 公尺：砂層，河流沉積層。

（5）39.5-43.8 公尺：含角礫狀砂岩與次圓形安山岩質礫石，沉積構造呈基質支持結構，屬於土石流堆積的河流沉積層。

（6）43.8-45.5 公尺：顆粒支持結構礫石層，屬於河道沉積層；44.1 公尺處 ^{14}C 年代為 4090-4390 yr BP（CB1-01）（附錄一）。

（7）45.5-46.0 公尺：砂層，河流沉積層。

（8）46.0-47.1 公尺：顆粒支持結構礫石層，屬於河道沉積層。

（9）47.1-48.6 公尺：砂層，47.3-47.5 公尺含碳質的細砂泥層，屬於河道沉積層。

（10）48.6-51.3 公尺：含次圓形砂岩與安山岩質礫石，沉積構造呈基質支持結構，屬於土石流堆積的河流沉積層。

（11）51.3-51.7 公尺：含大量碳質泥層，屬於河間的溼地環境。

（12）51.7-52.4 公尺：含小礫石砂層，屬於河道沉積層。

（13）52.4-54.9 公尺：含次圓形砂岩與安山岩質礫石，沉積構造呈基質支持結構，屬於土石流堆積的河流沉積層。

（14）54.9-56.0 公尺：含薄層礫石的砂層，屬於河道沉積層。

（15）56.0-57.1 公尺：顆粒支持結構的大顆粒礫石層，屬於河道沉積層。

（16）57.1-58.1 公尺；砂層，57.3-57.45 公尺含大量碳質泥層，屬於河間的溼地環境。

（17）58.1-60.1 公尺：顆粒支持結構的大顆粒礫石層，屬於河道沉積層。

（18）60.1-60.5 公尺：含小礫石砂層，屬於河道沉積層。

（19）60.5-63.8 公尺：基質支持結構礫石層，屬於河道沉積層。

（20）63.8-64.1 公尺：砂層。

（21）64.1-66.1 公尺：含礫石泥層。

（22）66.1-68.0 公尺：含薄層礫石砂層，屬於河道沉積層。

（23）68.0-70.0 公尺：含少量小礫石泥層；68 公尺處 ^{14}C 年代為 5600-5990 yr BP（CB1-04）（附錄一）。

萬安 2 號井：鑽井深度為 70 公尺，於 46.4 公尺鑽穿利吉層至全新世礫石沖積層（圖 3-4）。

（1）0-46.4 公尺：利吉層，具密集剪切面構造，剪切面傾角大致呈 35-70º，斷層面傾角為 67º。

（2）46.4-47.8 公尺：風化的含礫石泥層，沉積構造呈基質支持結構，屬於土石流堆積的河流或崖錐崩積層。

（3）47.8-50.3 公尺：含小礫石砂質礫石層，屬於基質支持結構礫石層，屬於河道沉積層。

（4）50.3-52.1 公尺：風化泥質砂層，51.9-52.1 公尺含大量碳質泥層。

（5）52.1-54.9 公尺：含小礫石砂質礫石層，屬於基質支持結構礫石層，屬於河道沉積層，54.6-54.9 公尺含大量碳質泥層。

（6）54.9-60.5 公尺：顆粒支持結構的大顆粒礫石層，屬於河道沉積層。

（7）60.5-61.1 公尺：含大量碳質泥層。

（8）61.1-62.1 公尺：泥層，屬於河間溼地或湖泊環境。

（9）62.1-62.8 公尺：顆粒支持結構礫石層，屬於河道沉積層。

（10）62.8-63.95 公尺：含少量碳質泥層，屬於河間溼地或湖泊環境。

（11）63.95-64.5 公尺：基質支持結構的礫石層。

（12）64.5-67.4 公尺：砂層。

（13）67.4-69.1 公尺：泥層，67.7-68.0 公尺含大量碳質泥層。

（14）69.1-70.0 公尺：基質支持結構的礫石層。

萬安 3 號井：鑽井深度為 100 公尺皆屬於利吉層，未鑽穿至全新世沖積層，利吉層具密集剪切面構造，傾角大致呈 20-60º（圖 3-5）。

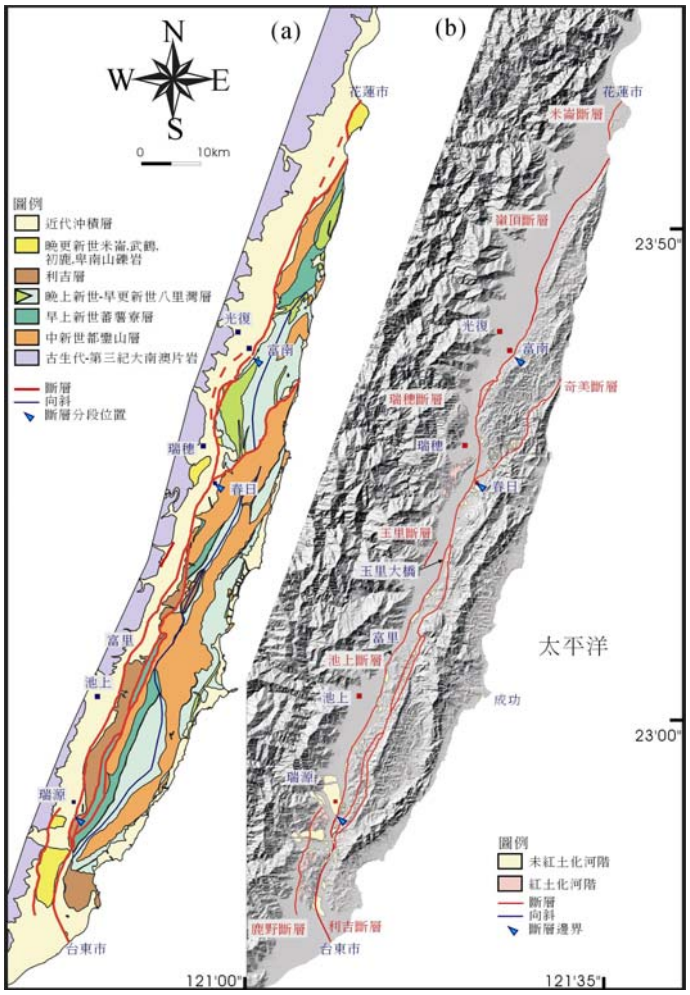


圖 3-1、池上斷層位置圖（王源與陳文山，1993）。

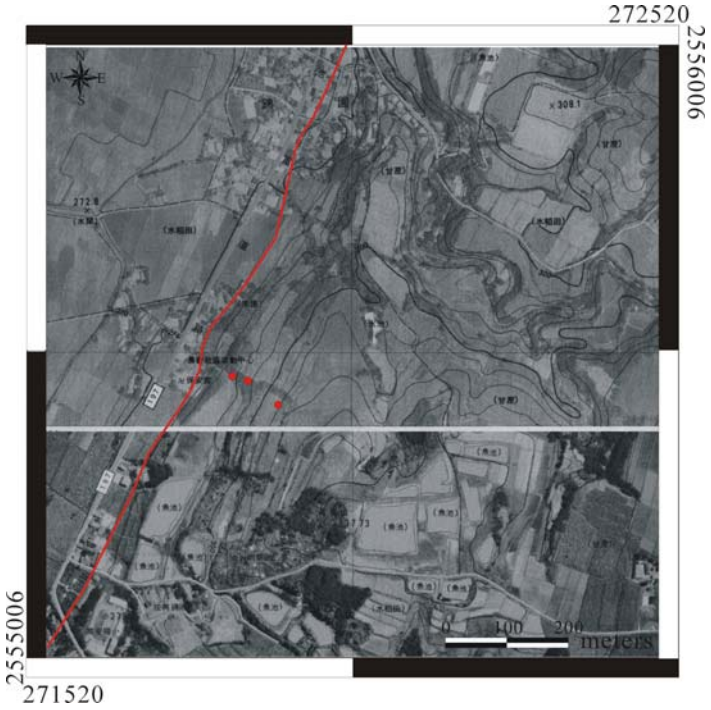


圖 3-2、萬安場址鑽井位置圖。

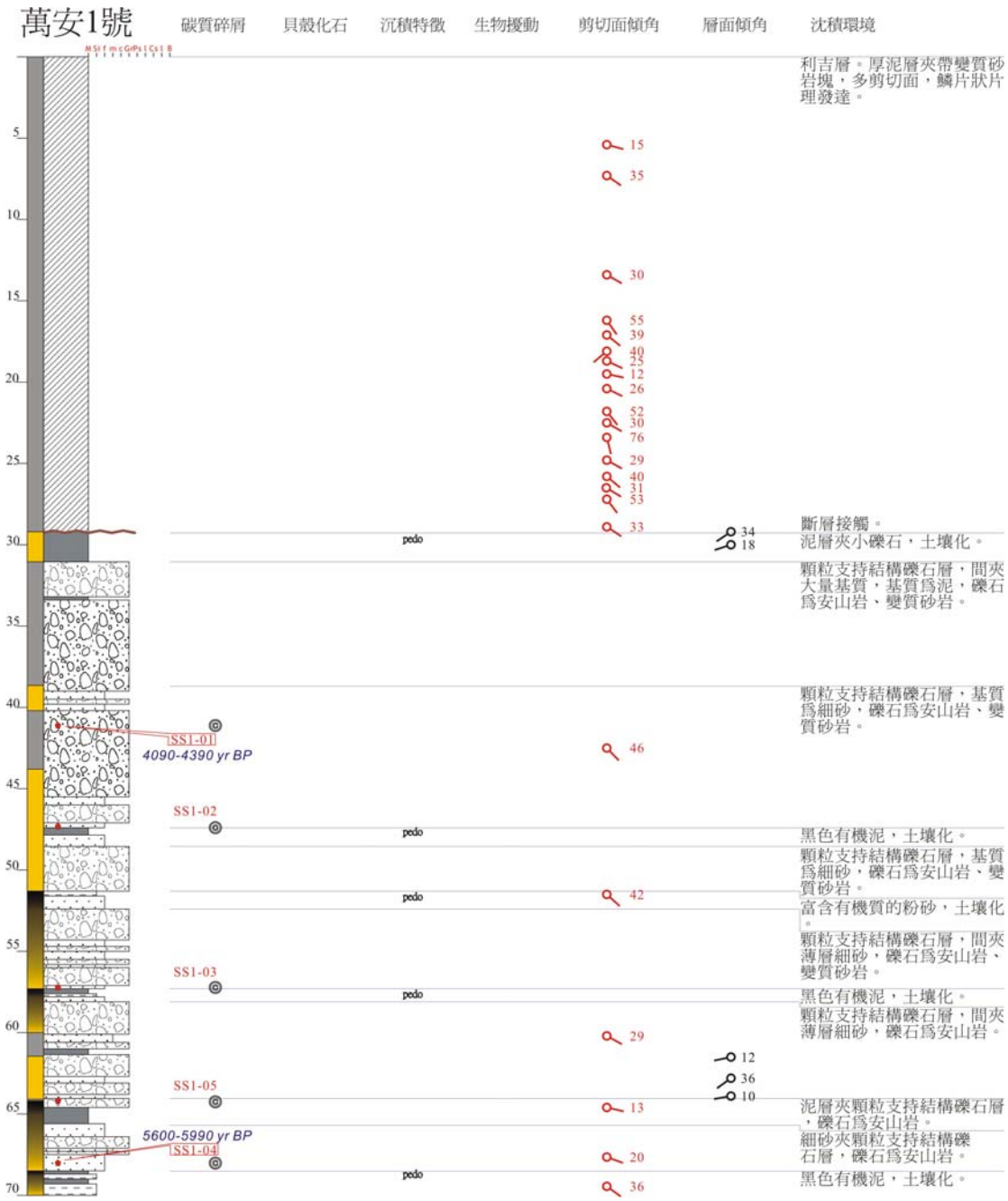


圖 3-3、池上斷層位於 29.2 公尺深，利吉層逆衝覆蓋與全新世礫石層之上。



圖 3-4、池上斷層位於 46.4 公尺深，利吉層逆衝至全新世礫石層之上。

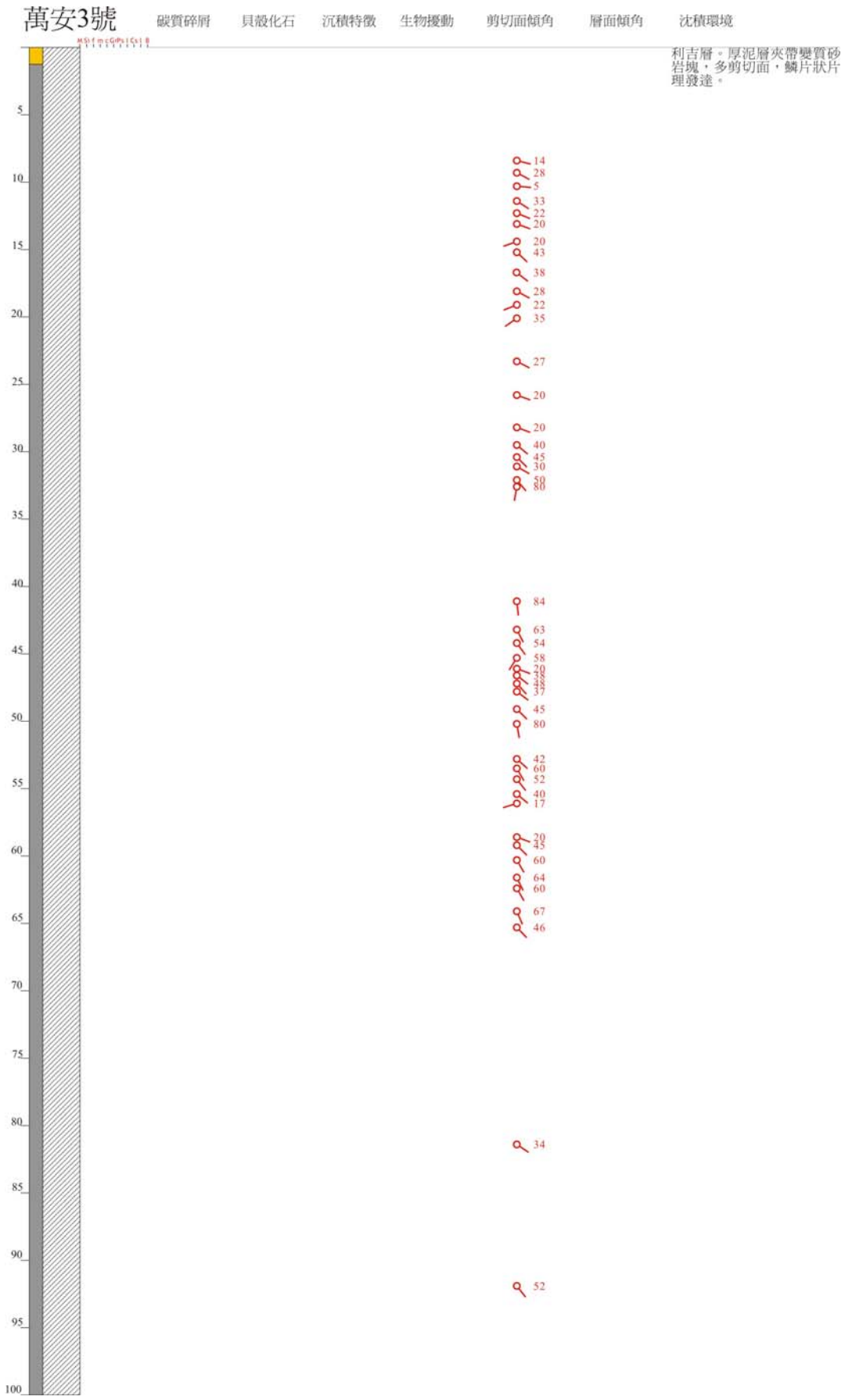


圖 3-5、岩芯皆屬於利吉層。

3-3、構造解釋

池上斷層於池上鄉錦園村－萬安村地區形成明顯的線性崖地形，地表調查、淺層鑽探或槽溝挖掘都未曾發現利吉層與沖積層接觸的斷層露頭。錦園村的槽溝剖面呈現的結構是在斷層尖端造成沖積層褶皺變形，萬安村槽溝則在沖積層中形成數條錯移量數十公分的剪切帶構造，或褶皺變形構造。由於錦園溪沖積層厚度至少百餘公尺，所以本研究選擇在萬安村保安宮的斷層崖之上進行鑽探，預期可以鑽至利吉層與沖積層的斷層界面。

萬安 1 號井與 2 號井相距約 10 公尺，萬安 1 號井於 29.2 公尺鑽至斷層界面，萬安 2 號井於 46.4 公尺鑽至斷層界面，且斷層界面傾角為 67º（圖 3-4）。將兩井的斷層位置連接所估算的斷層傾角為 65º（圖 3-6、3-7），與量測岩芯的斷層面角度相當。因此可以確定在萬安村地區近地表池上斷層的傾角約 65º，但此斷層傾角與萬安 1 號槽溝中量測的剪切面角度有很大差異；萬安 1 號槽溝剪切面呈低角度的逆斷層，約 20-30º。

由井下以及地表利吉層出露位置，池上斷層跡位於坡崖上部，而萬安 1 號與 2 號槽溝位於坡腳處，槽溝剖面的地層呈現兩種構造型態，萬安 1 號具有 7 個剪切面構造，萬安 2 號槽溝則呈現褶皺（向斜）。由地形來看，近期變形（斷層或褶皺構造）可能位於坡腳處，如此才造成明顯的線型崖地形。

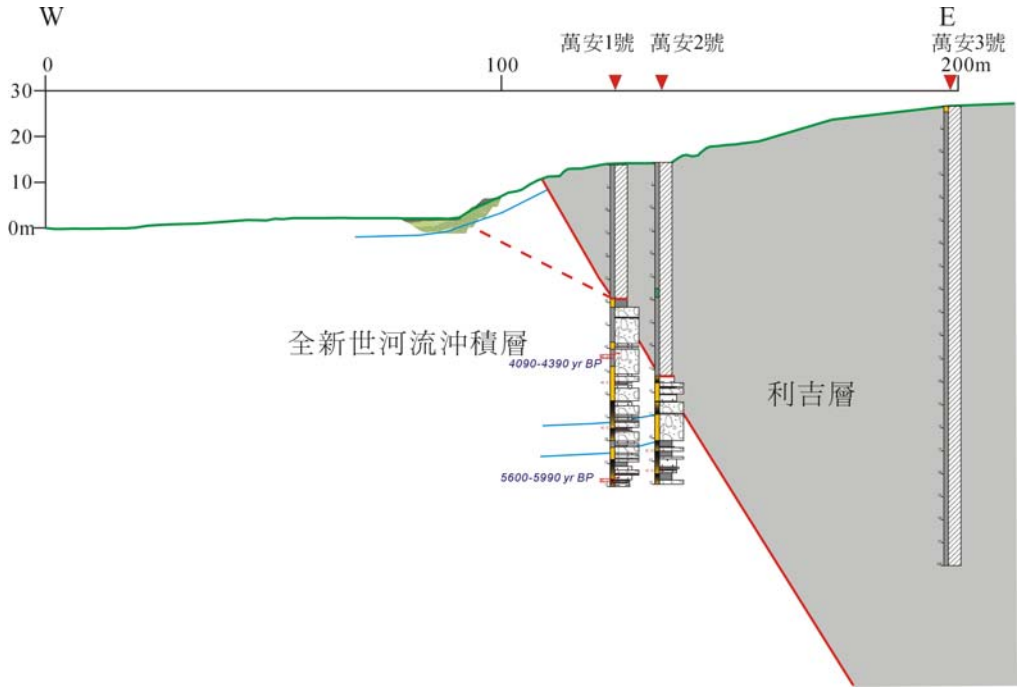


圖 3-6、池上鄉萬安村場址鑽井柵狀剖面。

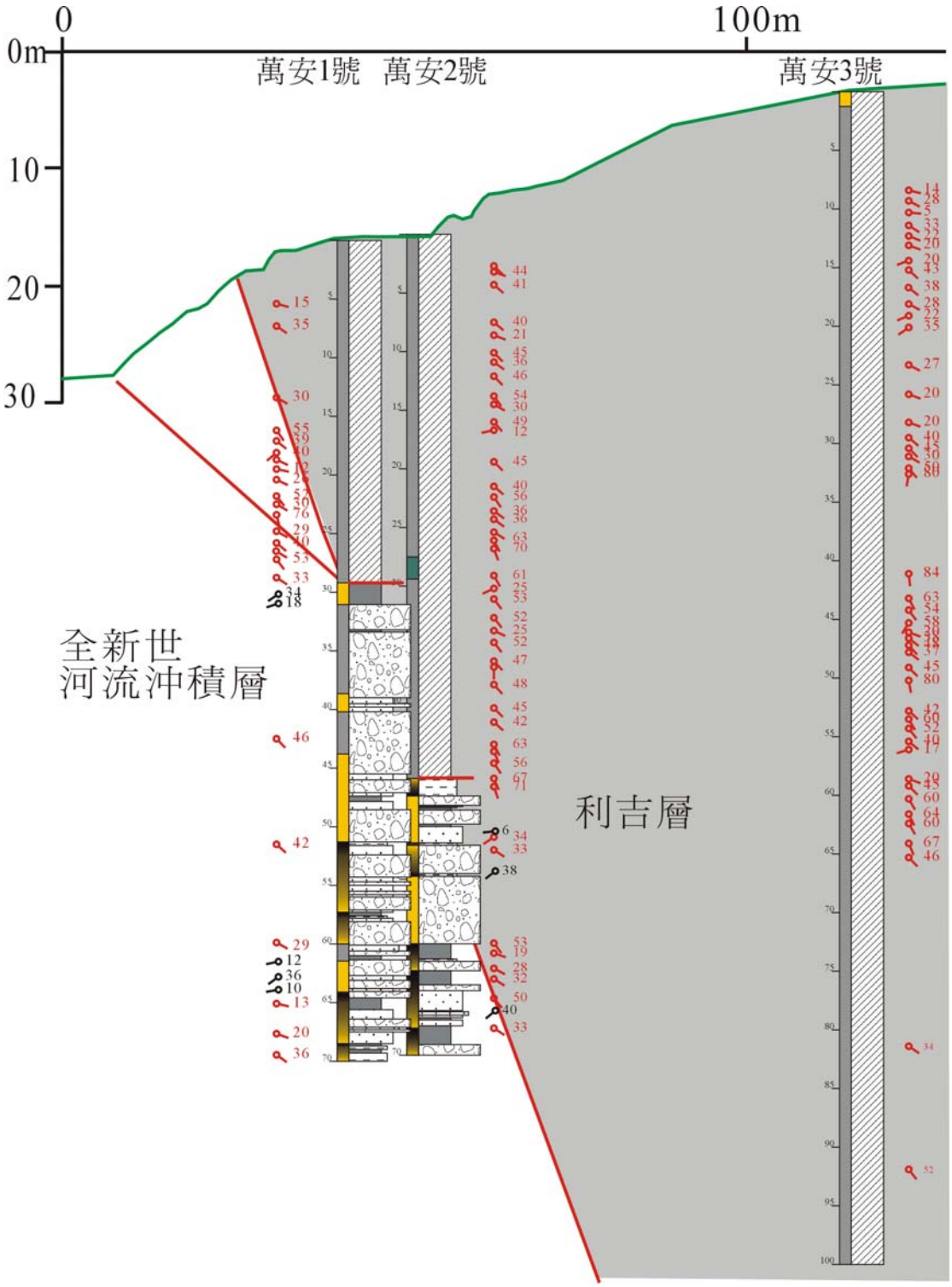


圖 3-7、池上鄉萬安村場址鑽井岩芯對比，與利吉層剪切帶構造。

3-4、地質剖面

本研究於富里南側鱉溪富池橋南岸進行地質剖面開挖，露頭是目前發現出露最完整的池上斷層剖面。出露地層顯示池上斷層上盤（東側）的利吉層逆衝至河流相礫岩（屬於秀姑巒溪沉積物，沉積年代不明）之上。利吉層與礫岩之上不

整合沉積另一薄層屬於鱉溪河階礫石層，河階與鱉溪河床的比高為 27 公尺（圖 3-8）。鱉溪河階礫石也被池上斷層錯移，造成斷層兩側階地面高差為 6.5 公尺，顯示河階礫石層沉積之後池上斷層產生 6.5 公尺垂直錯移。河階礫石層的 ^{14}C 年代為 1180-940 yr BP（標本採樣深度為 1.6 公尺）。以河階比高計算，此處河流的下切速率為 23.5-27.0 mm/yr。若估算此處斷層的垂直變動速率為 5.5-6.9 mm/yr，此變動速率顯然低於目前池上斷層震間的垂直變動速率，約 20-22 mm/yr（Angelier *et al.*, 1997, 2000; Lee *et al.*, 2001, 2003）。本研究認為鱉溪南岸的斷層應屬於池上斷層上盤中的分支斷層，池上斷層應還位於河階西側。由鱉溪河流下切速率而言，下游河段流經利吉層的鬆軟泥岩區，河床下切速率可以快速達到均衡狀態（動態平衡），因此下切速率應大致與構造的長期抬升速率相當，所以池上斷層長期抬升速率可視為 23.5-27.0 mm/yr。此速率略大於震間垂直變動速率是非常合理結果，因為長期滑移量相當於震間滑移量與同震變形量的總合。另外，若以池上斷層近地表斷層傾角約 65° 估算沿斷層面的淨滑移速率，為 26-30 mm/yr。至於池上斷層的再現週期為何？由 1951 年與 2003 年地震規模約為 6.8 而言，可能最短週期約為 50 年，另外由萬安槽溝的古地震研究顯示一千年以來至少有八次，表示最長週期約＜125 年。

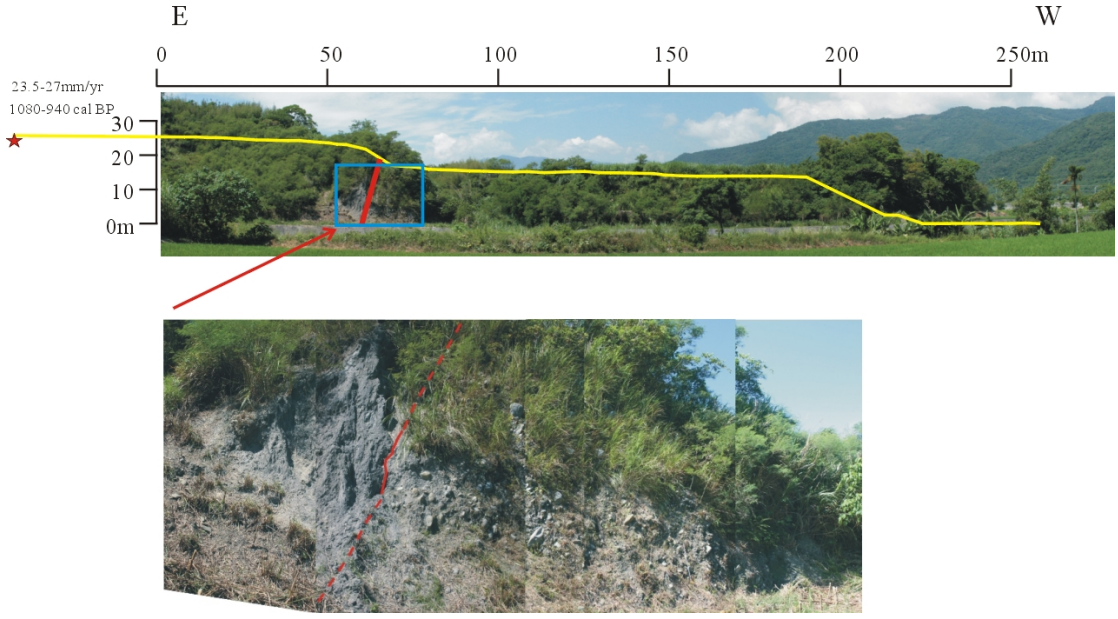


圖 3-8、富池橋南岸池上斷層地質剖面。

第四章、小岡山斷層長期滑移速率

4-1、地質構造

小岡山斷層跡位於大岡山、小岡山、半屏山與壽山的西側，呈北東走向。孫習之（Sun, 1964）由航照判識發現一呈線型的坡崖，推測一向西的逆衝斷層（Hsu and Chang, 1979）。由於，現今地形受到人為破壞，許多線形崖地形大都已不明顯，僅有幾處殘留突起的階崖地形。由於斷層跡位置與斷層的各種特性都不明確，林啟文等（2000）將其列為存疑性活動斷層。小岡山斷層向北延伸經過二仁溪，以北區段稱為梅嶺斷層（圖 4-1）。梅嶺斷層位於中洲台地與西部麓山帶的交接處（Meng, 1967; Mouthereau *et al*., 2001），斷層兩側地形明顯不同，地形特徵與南側的小岡山斷層兩側地形有些微差異，小岡山斷層兩側皆為海階台地，為全新世海進時期堆積的淺海沉積層，僅表層數公尺有近代河相沉積層。二仁溪河谷兩側亦堆積早全新世淺海沉積層，晚全新世之後海退，以堆積河流相沉積層為主（河階）（Hsieh and Knuepfer, 2001）。小岡山斷層的線型崖地形主要分布在二仁溪與阿公店溪之間，以及半屏山與壽山西側（圖 4-2）。

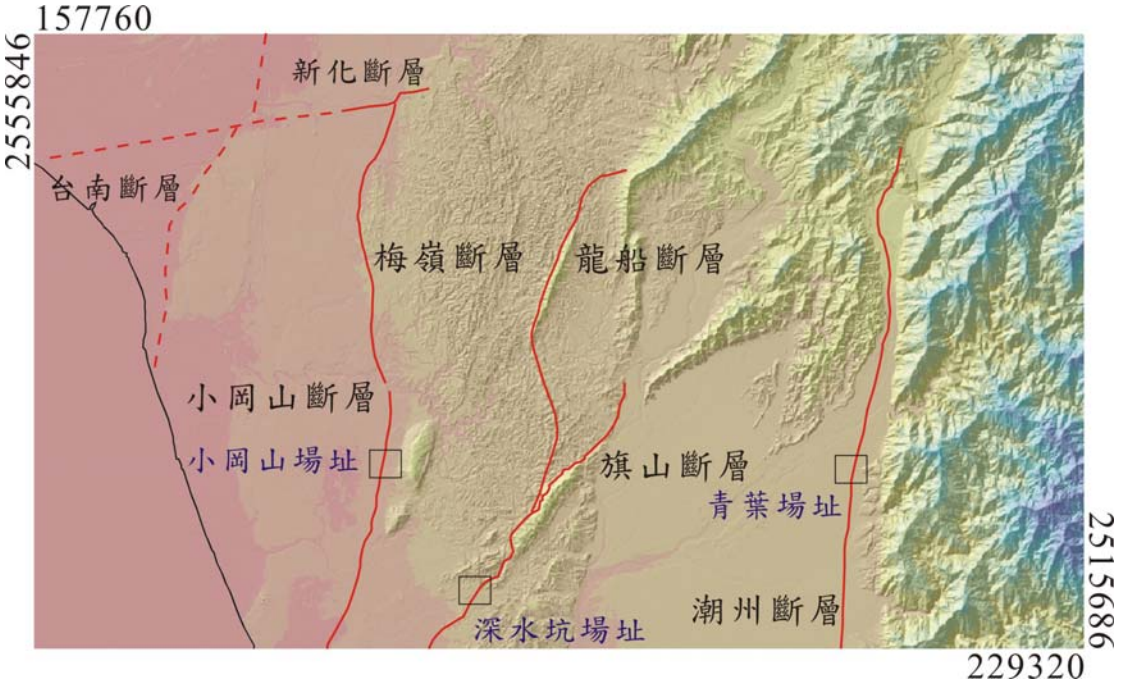


圖 4-1、梅嶺斷層與小岡山斷層位置，與小岡山場址位置圖。

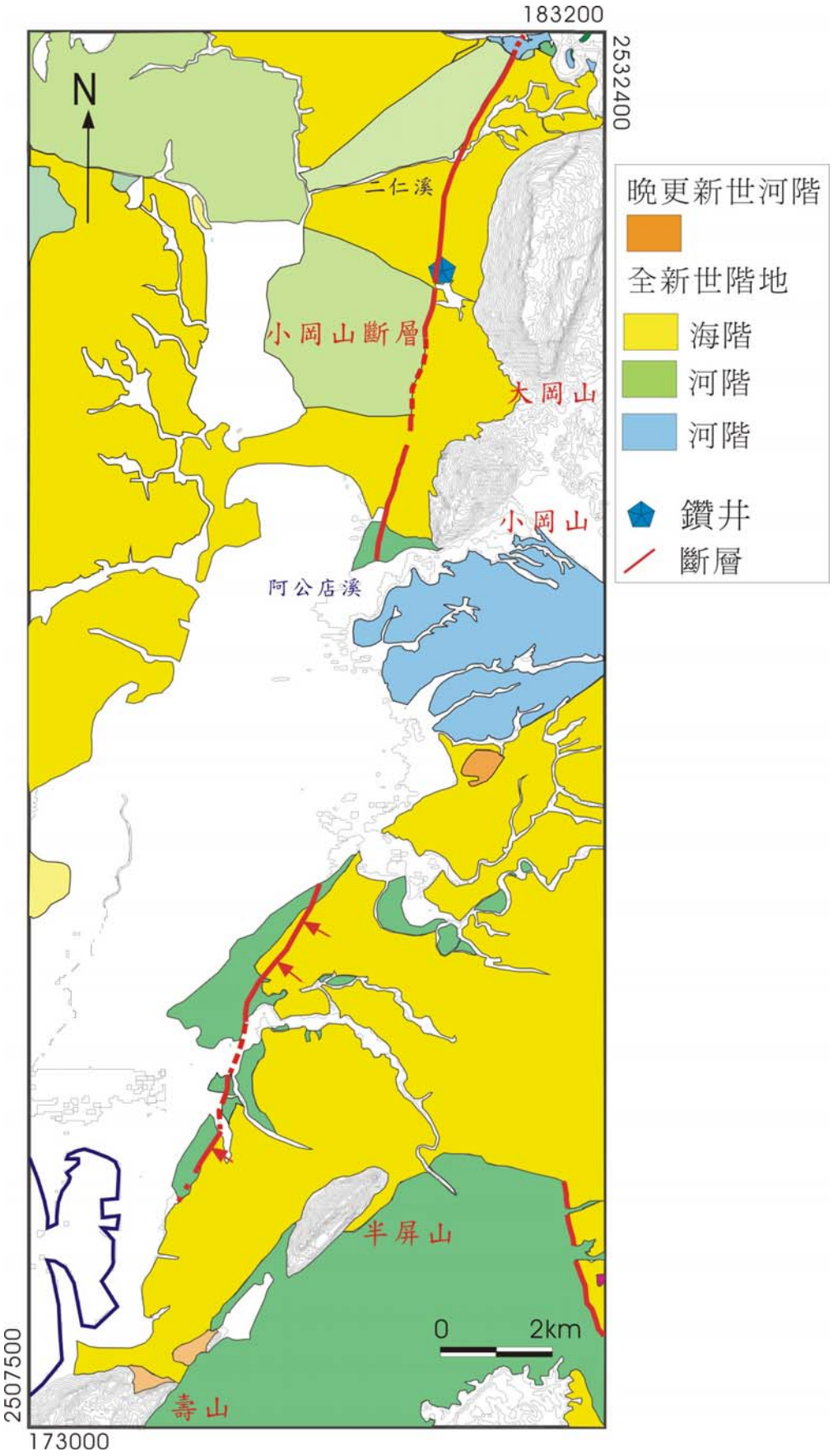


圖 4-2、小岡山斷層沿線海階與河階地形。

4-2、小岡山場址淺層鑽探

本研究於大岡山西側高 14-1 縣道的階崖，選擇一處鑽探場址（小岡山場址），進行三孔淺層鑽探（圖 4-3）。地質調查所於階崖東側（上盤）已完成一孔深 200 公尺鑽井（山腳下 1 號井；圖 4-4）。因此，本研究於山腳下 1 號井西側階崖之上繼續進行兩孔鑽井小岡山 1、2 號井，以及階崖西側（下盤）進行一孔鑽井小岡山 3 號井，目的為探究小岡山斷層位置與位態，鑽井深度 1 號井為 100 公尺，2 號井與 3 號井各為 70 公尺。



圖 4-3、小岡山鑽井場址位置圖。

山腳下 1 號井：鑽井深度為 200 公尺，於 33.6 公尺處鑽至更新世古亭坑層，岩盤之上屬於全新世海相沉積層（圖 4-4）。

（1）0-20 公尺：為淘選良好砂層，沉積構造具有平行紋理和波痕，部份具生物擾動構造，偶含貝殼碎片和石灰岩礫石(珊瑚)。井深 5 公尺屬於近代河流沉積層，

不含貝殼碎屑，^{14}C 年代小於 50 年（SKS-02）。

（2）20-30 公尺：含碳質與貝殼碎屑厚層泥層，屬於全新世潮間帶至潮下帶環境，井深 21 公尺 ^{14}C 年代為 7920-7680 yr BP，26.4 公尺處年代為 11270-11620 yr BP，27.95 公尺處年代為 11230-11700 yr BP（附錄一）。

（3）30-33.6 公尺：砂層，33.6 公尺處為全新世潮間帶泥層與古亭坑層泥岩的不整合面。

（4）33.6-200 公尺：古亭坑層泥岩具有強烈剪切構造，剪切面傾角大都為 50-60º。

小岡山 1 號井鑽取深度為 100 公尺（圖 4-5）。

（1）0-12 公尺：中至細粒厚砂層，偶夾厚泥層，含碳質與貝殼碎屑。砂層淘選度良好，具平行與波狀紋理，向上變細、侵蝕底面層序。泥層具波狀紋理與生物擾動構造。

（2）12-21.2 公尺：厚泥層與厚細砂層互層，含貝殼碎屑與少量碳質碎屑。泥層具波狀紋理與輕微生物擾動構造。砂層淘選良好，具波狀與平行紋理。

（3）21.2-32.6 公尺：厚泥層夾薄細砂層，含貝殼碎屑與少量碳質碎屑。泥層具強烈生物擾動構造，偶具波狀紋理，底部（29.3-32.6 公尺）為含碳質泥岩。砂層淘選良好，具波狀與平行紋理；28.4 公尺處年代為 11210-11400 yr BP（GS01-1）；29.8 公尺處年代為 11120-11260 yr BP（GS01-2）（附錄一）。

（4）32.6-49.5 公尺：厚泥質細粒砂層偶夾厚泥層，含豐富碳質碎屑。頂部具古土壤層或風化現象，偶含藍鐵礦（33.8 公尺）；底部含少量貝殼碎屑。砂層淘選不佳並受生物擾動，偶有交錯層理與波狀紋理，底部砂層具侵蝕底面與向上變細層序，泥層具平行紋理。38.8 公尺處年代為 13380-13700 yr BP（GS01-3）；44.2 公尺處年代為 14080-14870 yr BP（GS01-4）；47.3 公尺處年代為>47000 yr BP（GS01-5）（附錄一）。49.5 公尺處為晚更新世潮間帶砂層與古亭坑層泥岩的不整合面。

（5）49.5-100 公尺（古亭坑層）：厚層傾斜塊狀泥岩，偶夾薄粉砂岩層。

小岡山 2 號井鑽取深度為 70 公尺（圖 4-6）。

（1）1.1-17 公尺（0-1.1 公尺為回填土）：中至細粒厚砂層，夾厚泥層，含碳質與貝殼碎屑。砂層淘選度良好，具平行與波狀紋理，向上變細、侵蝕底面層序，泥層具波狀紋理與生物擾動構造。

（2）17-29.1 公尺：厚細砂層與厚泥層互層，含碳質與貝殼碎屑。泥層具波狀紋

理與輕微生物擾動構造。砂層淘選良好，具波狀與平行紋理，偶夾交錯層理。

（3）29.1-58.9 公尺：厚泥層夾薄細砂層，偶有砂泥薄互層，含貝殼碎屑與少量碳質碎屑。泥層具強烈生物擾動構造，偶具波狀紋理，頂部與底部具古土壤層，底部（55.7-58.9 公尺）為碳質泥岩。砂層淘選良好，具波狀與平行紋理；31.6 公尺處年代為 7980-8170 yr BP（GS02-1）；53.2 公尺處年代為 11860-12390 yr BP（GS02-3）（附錄一）。

（4）58.9-70.0 公尺：厚泥質細粒砂層偶夾泥層，含豐富碳質碎屑。具古土壤層或風化現象；底部含少量貝殼碎屑。砂層淘選不佳並受生物擾動，偶有交錯層理與波狀紋理，泥層局部受生物擾動；64.3 公尺處年代為 11240-11400 yr BP（GS02-3）（附錄一）。

小岡山 3 號井鑽取深度為 70 公尺（圖 4-7）。

（1）0 -15.6 公尺：中至細粒厚砂層夾泥層之互層，含碳質與貝殼碎屑，上部（0-10 公尺）含有草根構造。砂層淘選度良好，具平行與波狀紋理，向上變細、侵蝕底面層序；泥層具波狀紋理與生物擾動構造。4.6 公尺處年代為 3570-3820 yr BP（GS03-1）；7.6 公尺處年代為 5050-5320 yr BP（GS03-2）；11.7 公尺處年代為 6450-6680 yr BP（GS03-3）（附錄一）。

（2）15.6-34.9 公尺：厚細砂層與厚泥層互層，含貝殼碎屑與少量碳質碎屑。砂層淘選良好，具波狀與平行紋理，偶夾交錯層理。泥層具波狀紋理與輕微生物擾動構造。28.9 公尺處年代為 16000-16660 yr BP（GS03-5），此標本年代老於下覆 GS03-8、GS03-10 與 GS03-13 年代，顯然屬於二次搬運後再堆積標本；33.4 公尺處年代為 7690-7930 yr BP（GS03-8）（附錄一）。

（3）34.9-70.0 公尺：厚泥層夾薄細砂層，含貝殼碎屑與少量碳質碎屑。泥層具強烈生物擾動構造，偶具波狀紋理，底部（63-70 公尺）為碳質泥岩，具古土壤層與草根構造，偶有藍鐵礦（60-60.3 公尺）。砂層淘選良好，具波狀與平行紋理。46.3 公尺處年代為 9550-9910 yr BP（GS03-10）；64.7 公尺處年代為 11620-12030 yr BP（GS03-13）（附錄一）。



圖 4-4、山腳下 1 號井岩芯紀錄。

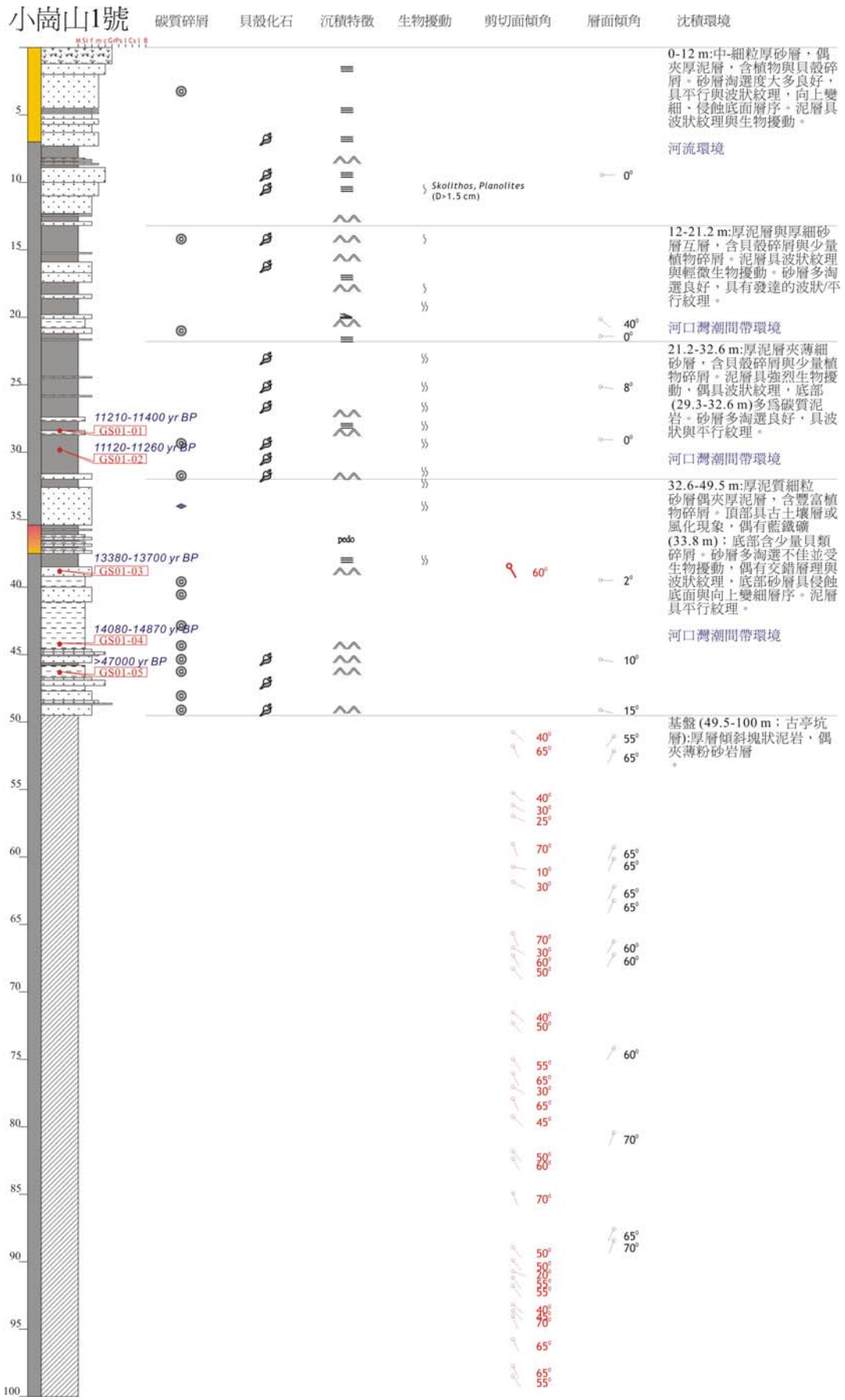

小崗山1號
碳質碎屑
貝殼化石
沉積特徵
生物擾動
剪切面傾角
層面傾角
沈積環境
0-12 m:中-細粒厚砂層，偶夾厚泥層，含植物與貝殼碎屑。砂層淘選度大多良好，具平行與波狀紋理，向上變細、侵蝕底面層序。泥層具波狀紋理與生物擾動。
河流環境
Skolithos, Planolites (D>1.5 cm)
12-21.2 m:厚泥層與厚細砂層互層，含貝殼碎屑與少量植物碎屑。泥層具波狀紋理與輕微生物擾動。砂層多淘選良好，具有發達的波狀/平行紋理。
河口灣潮間帶環境
21.2-32.6 m:厚泥層夾薄細砂層，含貝殼碎屑與少量植物碎屑。泥層具強烈生物擾動，偶具波狀紋理，底部(29.3-32.6 m)多為碳質泥岩。砂層多淘選良好，具波狀與平行紋理。
11210-11400 yr BP
GS01-01
11120-11260 yr BP
GS01-02
河口灣潮間帶環境
32.6-49.5 m:厚泥質細粒砂層偶夾厚泥層，含豐富植物碎屑。頂部具古土壤層或風化現象，偶有藍鐵礦(33.8 m)；底部含少量貝類碎屑。砂層多淘選不佳並受生物擾動，偶有交錯層理與波狀紋理，底部砂層具侵蝕底面與向上變細層序。泥層具平行紋理。
pedo
13380-13700 yr BP
GS01-03
14080-14870 yr BP
GS01-04
>47000 yr BP
GS01-05
河口灣潮間帶環境
基盤 (49.5-100 m；古亭坑層):厚層傾斜塊狀泥岩，偶夾薄粉砂岩層

圖 4-5、小岡山 1 號井。

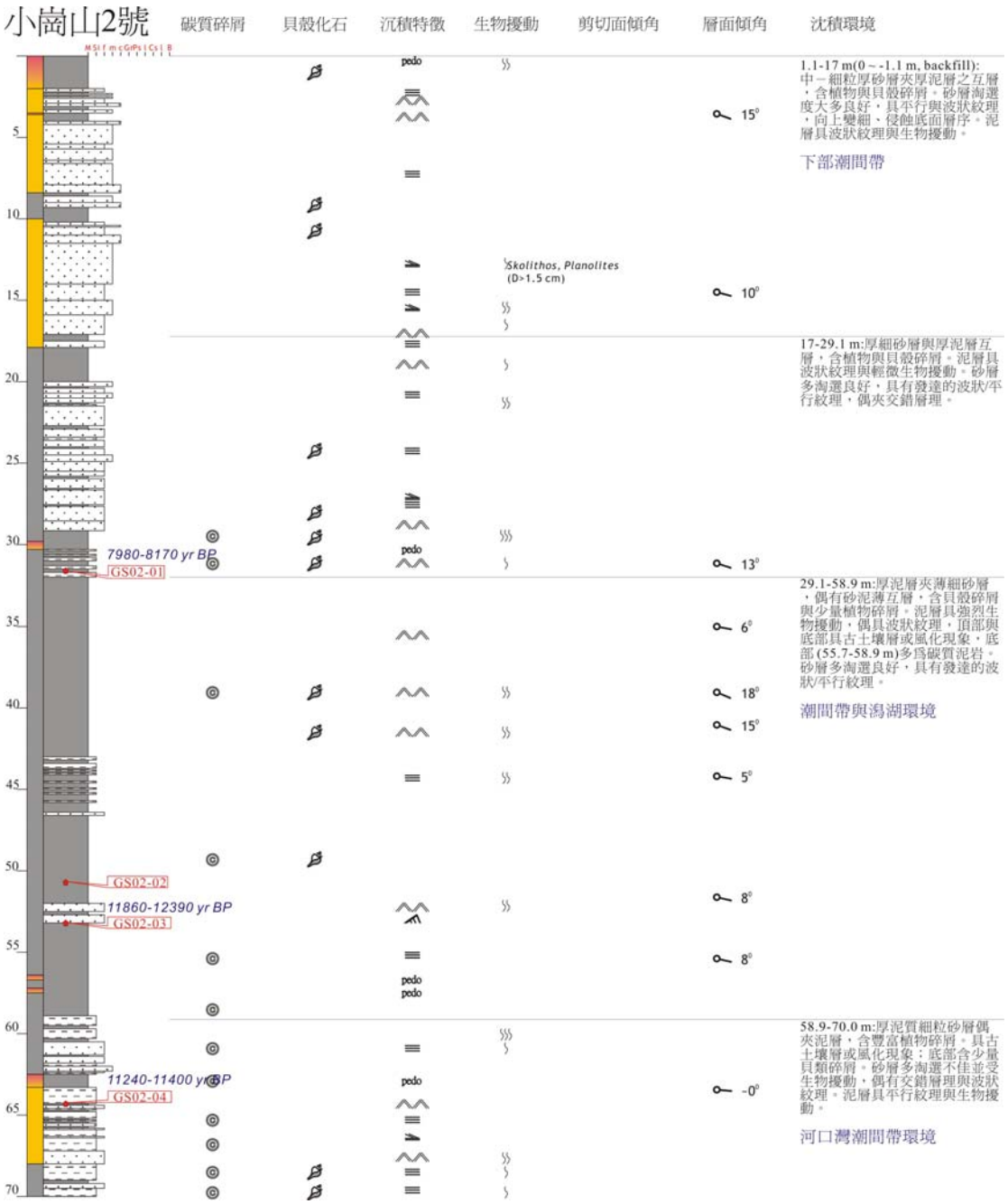

小崗山2號
碳質碎屑
貝殼化石
沉積特徵
生物擾動
剪切面傾角
層面傾角
沈積環境
pedo
Skolithos, Planolites
(D>1.5 cm)
15°
10°
13°
6°
18°
15°
5°
8°
8°
-0°
7980-8170 yr BP
GS02-01
11860-12390 yr BP
GS02-02
GS02-03
11240-11400 yr BP
GS02-04
1.1-17 m(0～-1.1 m, backfill):中－細粒厚砂層夾厚泥層之互層，含植物與貝殼碎屑。砂層淘選度大多良好，具平行與波狀紋理，向上變細、侵蝕底面層序。泥層具波狀紋理與生物擾動。
下部潮間帶
17-29.1 m:厚細砂層與厚泥層互層，含植物與貝殼碎屑。泥層具波狀紋理與輕微生物擾動。砂層多淘選良好，具有發達的波狀/平行紋理，偶夾交錯層理。
29.1-58.9 m:厚泥層夾薄細砂層，偶有砂泥薄互層，含貝殼碎屑與少量植物碎屑。泥層具強烈生物擾動，偶具波狀紋理，頂部與底部具古土壤層或風化現象，底部(55.7-58.9 m)多炭質泥岩。砂層多淘選良好，具有發達的波狀/平行紋理。
潮間帶與潟湖環境
58.9-70.0 m:厚泥質細粒砂層偶夾泥層，含豐富植物碎屑。具古土壤層或風化現象；底部含少量貝類碎屑。砂層多淘選不佳並受生物擾動，偶有交錯層理與波狀紋理。泥層具平行紋理與生物擾動。
河口灣潮間帶環境

圖 4-6、小岡山 2 號井。



圖 4-7、小岡山 3 號井。

4-3、小岡山場址構造解釋

小岡山場址共鑽取四孔鑽井，山腳下 1 號井於最東側，位於階崖之上的海階平台，小岡山 1 號井與 2 號井位於崖坡之上，小岡山 3 號井位於崖坡下的平原區（稍有坡度地形）；鑽井初期由地形研判小岡山 3 號井應位於斷層下盤（屬於斷層尖端變形帶）(圖 4-8)。鑽井岩性分析，山腳下 1 號井於 33.6 公尺處鑽至更新世岩盤（古亭坑層），小岡山 1 號井於 49.5 公尺處鑽至更新世岩盤，顯然此兩口井都應位於小岡山斷層上盤。由於山腳下 1 號井與小岡山 1 號井都未鑽穿斷層

帶，無法研判此兩鑽井地點的斷層深度，以及斷層角度。小岡山 2 號井與小岡山 3 號井位於較西側，岩芯中未發現剪切面構造，綜合四孔鑽井的岩芯岩性與產狀尚無法研判斷層位置。本研究另由沉積層年代與古環境深度估算各井的垂直變動速率，再研判各井所處的構造環境，配合淺層震測剖面推估小岡山斷層的構造活動型態、斷層活動速率，以及斷層位置。

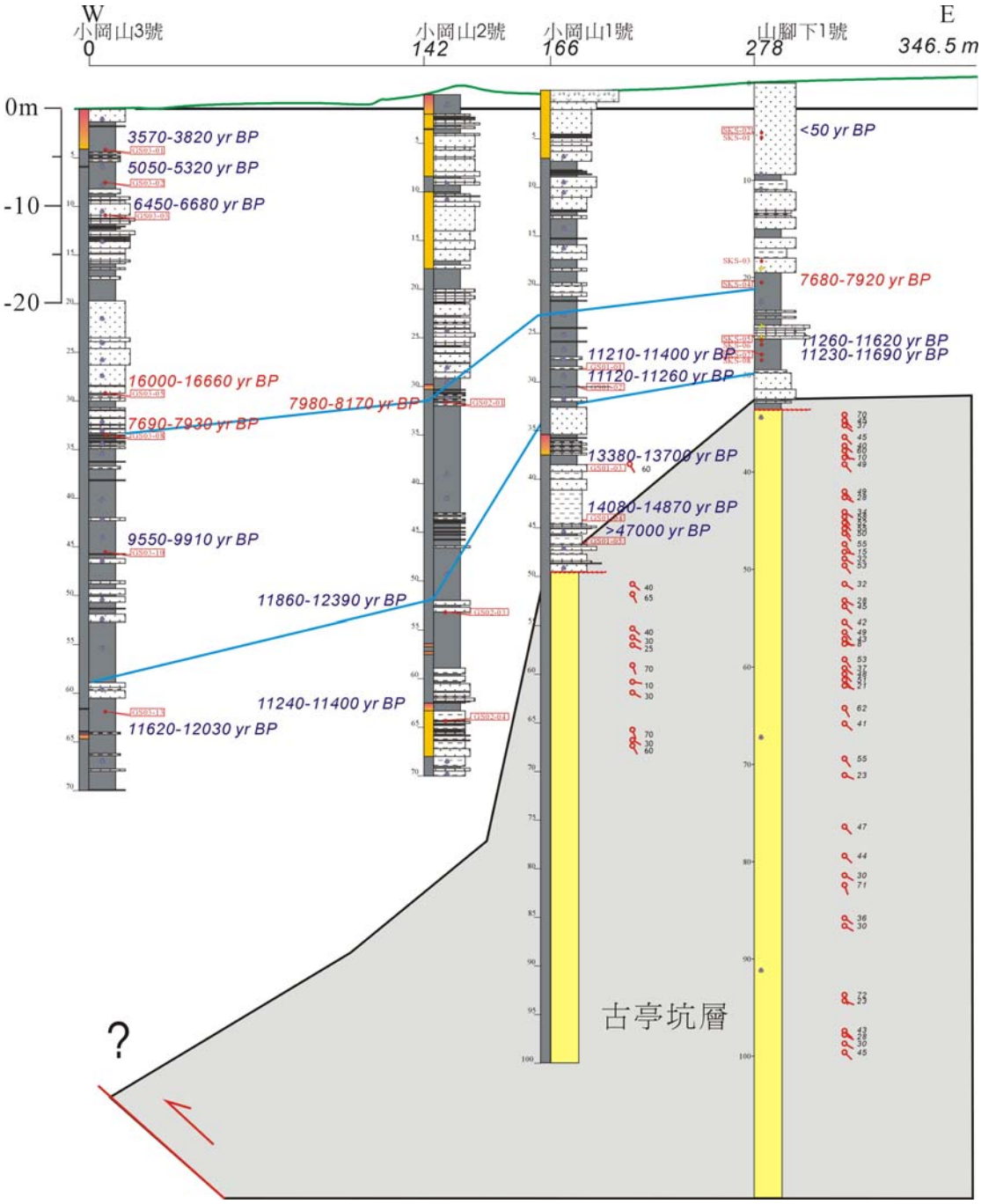


圖 4-8、小岡山場址鑽井柵狀剖面，地層對比與地下構造解釋。

以沉積層年代與古環境深度估算（圖 4-9，附錄一），山腳下 1 號井三處的 ^{14}C 年代估算的垂直抬升速率為 1.7±0.8 mm/yr（？）、4.5±0.5 mm/yr、4.3±0.7

mm/yr，平均抬升速率為 4.4±0.6 mm/yr（抬升速率異常者暫時不作為考慮）。小岡山 1 號井四處的 ^{14}C 年代估算的垂直抬升速率為 4.0±0.6 mm/yr、3.8±0.6 mm/yr、3.9±0.4 mm/yr、4.8±0.9 mm/yr，平均抬升速率為 4.1±0.6 mm/yr。小岡山 2 號井三處的 ^{14}C 年代估算的垂直抬升速率為 0.1±0.8 mm/yr（？）、2.1±0.7 mm/yr、0.6±0.5 mm/yr，平均抬升速率為 1.35±0.6 mm/yr。小岡山 3 號井六處的 ^{14}C 年代估算的垂直抬升速率為 3.0±0.5 mm/yr（？）、1.7±0.3 mm/yr、1.3±0.5 mm/yr、-0.6±0.8 mm/yr（？）、0.6±0.7 mm/yr、0.8±0.5 mm/yr，平均抬升速率為 1.1±0.5 mm/yr（附錄一）。由各井計算的抬升速率顯示由東向西逐漸減小，東側山腳下 1 號井的抬升速率最大，西側小岡山 2 號與 3 號井最小，但是都處於地殼抬升環境，顯然位於小岡山斷層上盤的構造環境。淺層震測剖面(石瑞銓等，2008)亦顯示位於小岡山 2 號井之下約百餘公尺深的東側岩層可能屬於古亭坑層，且山腳下 1 號井與小岡山 1 號井都已鑽至古亭坑層（圖 4-10）。震測剖面顯示小岡山 2 號與 3 號井之間，深度約百餘公尺的古亭坑層亦已經產生錯移，至於小岡山斷層尖端是否截穿晚更新世至全新世沉積層，且延伸至地表，目前由地形以及鑽井岩芯資料，還沒有明確證據；此問題將於下面討論。

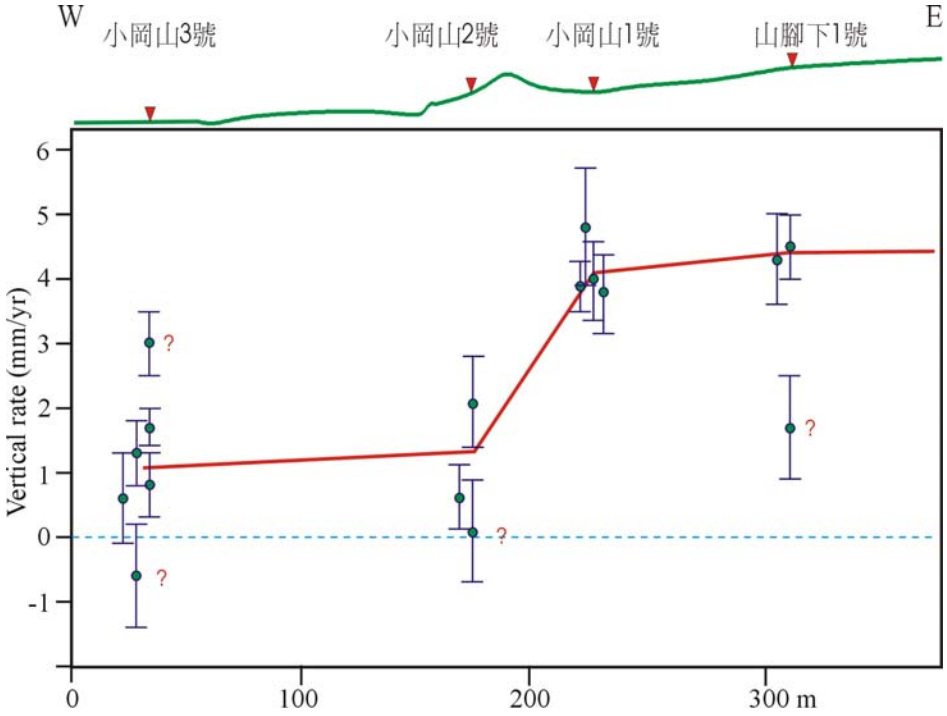


圖 4-9、各井位置的抬升速率與地形。

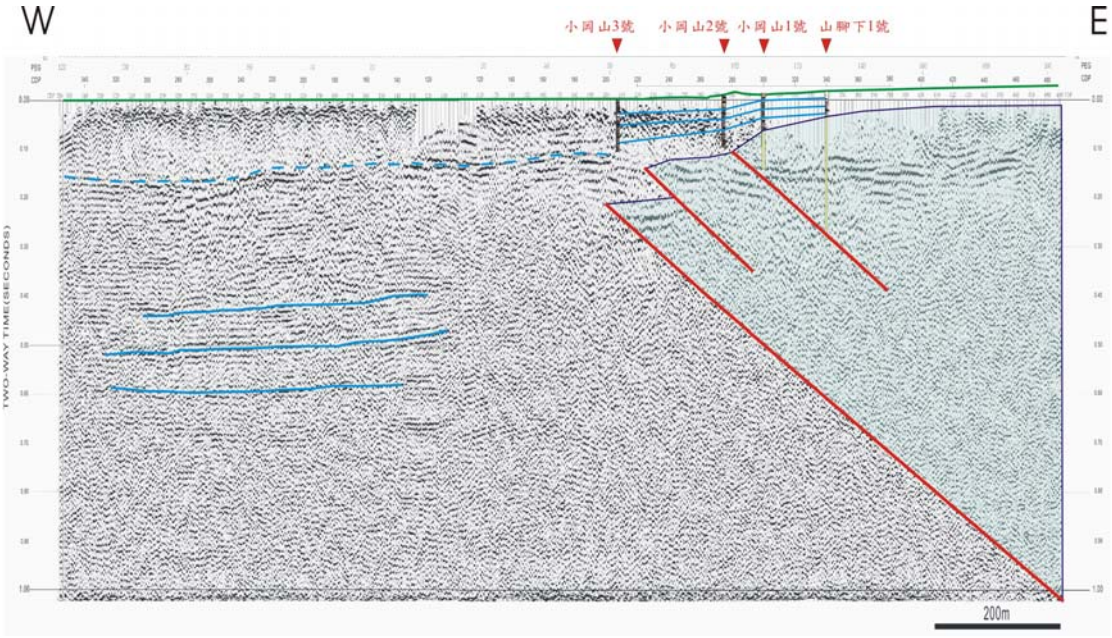


圖 4-10、小岡山場址震測剖面與構造解釋。

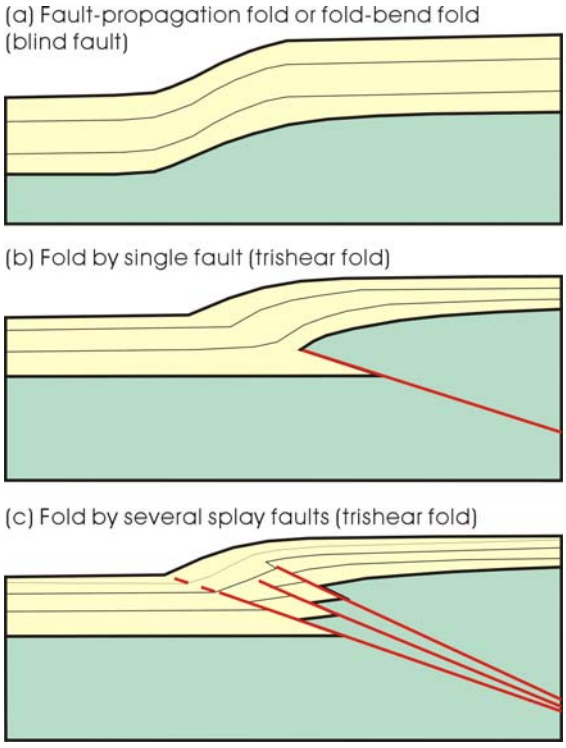


圖 4-11、褶皺崖的構造變形模式，黃色表示未固結沉積層，綠色表示固結岩層。

(a)褶皺崖構造（盲斷層），(b)斷層尖端截穿岩盤，但還被上覆沉積層覆蓋，造成上覆沉積層產生三角剪動變形的褶皺崖，(c)多條分支斷層或密集剪切帶產生的褶皺崖。

由各井估算的抬升速率，以及全新世沉積層對比來看，山腳下 1 號井至小

岡山 3 號井之間的全新世沉積層，岩盤面，以及地形面似乎呈現撓曲變形。全新世的長期變形呈現愈接近斷層尖端的變動量愈小，明顯呈現不等量的變形，為解釋淺層地下構造特性，可由有以下幾種構造模式來討論（圖 4-11）。一，斷層尖端未截切至地表，淺層地層受到斷層轉折褶皺（fault-bend fold）或斷層擴展褶皺（fault-propagation fold）的影響產生褶皺變形。其二，淺處岩盤形成單一斷層，斷層尖端截切至淺層岩層，但未截穿沉積層至地表，造成斷層尖端上覆的疏鬆沉積層產生三角剪動帶變形（trishear zone）。其三，淺處岩盤中由數條斷層或密集剪切帶構成寬大斷層帶，斷層尖端未截穿至地表，同時造成上覆疏鬆沉積層產生不等量變形。

小岡山場址地下構造由山腳下 1 號井與小岡山 1 號井的岩芯紀錄，表示相距約 112 公尺的兩口井中岩盤（古亭坑層）具有密集的剪切構造，顯然地下岩盤至少存在寬百餘公尺的剪切帶，以此構造型態而言應屬於第三類型的構造型態。無論屬於第二或第三型態的構造型態，斷層尖端都已經截切至地表淺處，從區域的地質構造而言，遠離斷層帶上盤的變形應呈現斷層轉折褶皺型態（fault-bend fold）。由於寬大剪切帶中具有無數剪切面構造，斷層活動時可能造成數條剪切面的錯動，剪切帶中任何斷層剪動時都會造成上盤抬升，因而位於愈遠離剪切帶（上盤）受到抬升量愈大。因此，剪切帶上覆沉積層的垂直變形（抬升速率），會形成不等量變形。以此看來，遠離剪切帶的變形速率（變形量）是代表上盤真正的變形速率。從山腳下 1 號井所在地形而言，位於斜坡崖之上，鑽井以西地表呈現平坦地形面，推測山腳下 1 號井已經接近斷層剪切帶的東緣，其估算的垂直變動速率（4.4±0.6 mm/yr）應接近上盤真正的抬升速率（圖 4-9）。由於小岡山場址的鑽井皆未鑽穿斷層帶，無法推估小岡山斷層傾角，但由淺層震測剖面解釋，推估主斷層面的傾角約 45º（圖 4-10）；以此估算小岡山斷層的滑移速率（net slip rate）約 6.2±0.8 mm/yr。

至於本計畫對於小岡山斷層位置解釋與石瑞銓等（2008）的結果有所差異，主要是在兩個不同解釋的斷層之間的震測資料不佳，無法確定斷層真正的位置與位態。本研究建議地質調查所可以在小岡山 3 號井的西側繼續進行鑽探，來確定淺層地表是否有斷層（剪切面構造），另外再由鑽井位置的垂直變動速率來研判，與小岡山 3 號井比較，應可以推估斷層尖端可能延伸至地表的位置。

第五章、潮州斷層長期滑移速率

5-1、地質構造

潮州斷層研究區域位於青葉階地西側階崖的前端，先期研究（陳文山等，2007）共有 3 孔鑽井（圖 5-1），青葉 1、2、3 號井，青葉 1、2 號井為地質調查所 96 年度的鑽井，青葉 3 號井是本計畫規劃調查井。青葉 1 號井位於階崖東側（斷層上盤），青葉 2 號井位於青葉 1 號井北側約 500 公尺；青葉 3 號井位於青葉 1 號井西側約 50 公尺，位於階崖西側約 15 公尺。

青葉 1、2、3 號鑽井岩性分析，交角不整合沉積在泥岩（相當於紅水坑礫岩）之上的礫石層還持續向西延伸至青葉 3 號井西側，顯示潮州斷層跡位置還需向西延伸，線型崖地形應是被荖濃溪沖蝕產生的侵蝕崖。因此，本研究在青葉 3 號井西側繼續進行青葉 4 號與 5 號井鑽探確定潮州斷層跡位置（圖 5-1、5-2）。

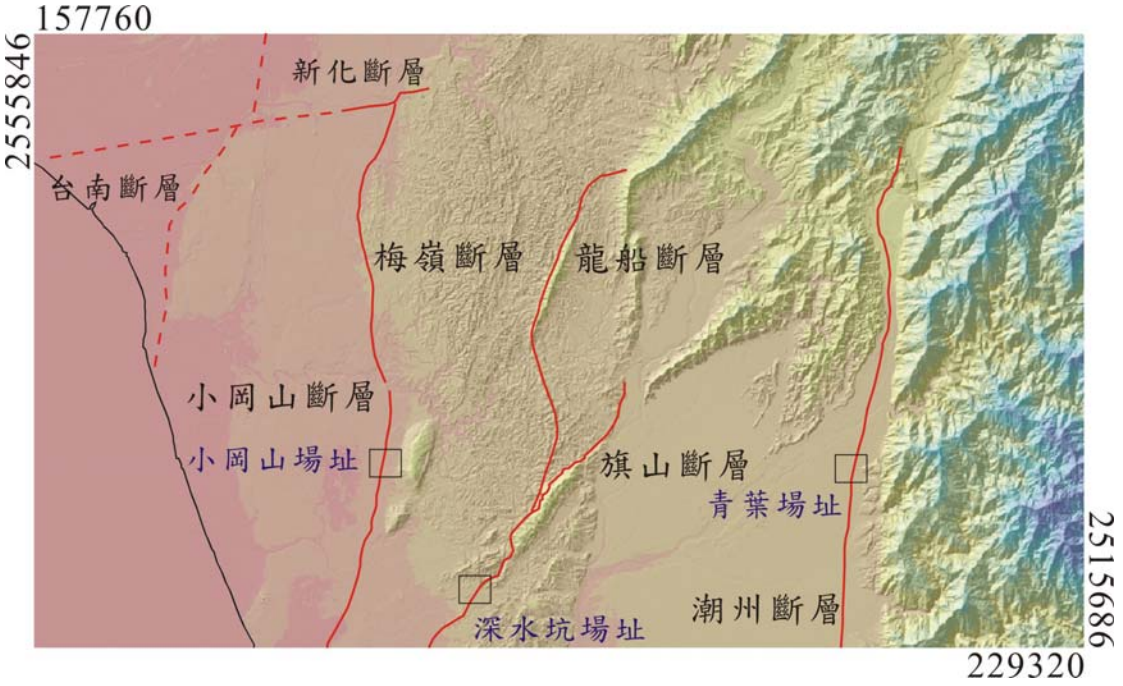


圖 5-1、青葉場址位置圖。

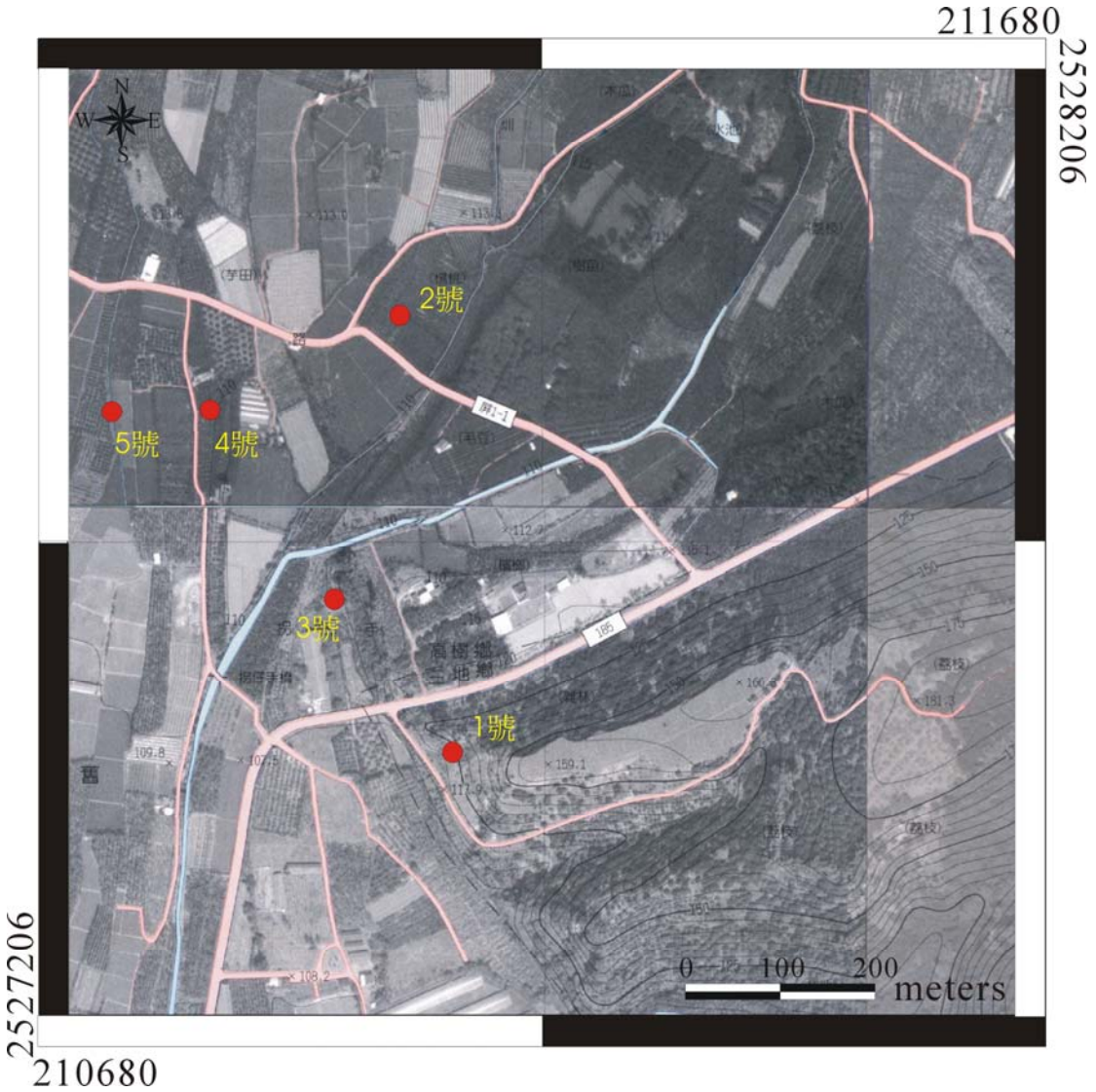


圖 5-2、潮州斷層青葉鑽探場址位置圖。

5-2、青葉場址淺層鑽探

青葉 4 號位於 3 號井西側約 250 公尺處，青葉 5 號位於 4 號井西側約 150 公尺，沿著屏 1-1 縣道南側。

青葉 4 號鑽井的岩性與 3 號井相似，上部 40 公尺岩性皆為礫石層，岩性為顆粒支持結構礫石層，偶夾薄層粗砂；礫石層主要為變質砂岩礫石，粗砂含有大量板岩碎屑。40-70 公尺的岩層已經傾斜，且呈膠結的礫岩，地層傾斜角度約 30º，可以與青葉 3 號井以及地表露頭對比（圖 5-3）。

青葉 5 號鑽井岩性與 4 號以及 3 號井岩性相似，井深 59 公尺以上為近代河流礫石沉積物，59-70 公尺為傾斜且膠結的礫岩，地層傾斜角度約 30º（圖 5-4）。青葉 4、5 號井岩芯與青葉 3 號井岩芯的岩性相似，只是下層礫岩層的深度逐漸變深，岩層傾斜角度大致沒有太大變化，皆處於 30º 左右；因此由岩性研判潮州

斷層還位於青葉 5 號井西側（圖 5-5）。建議未來預確定潮州斷層位置時，鑽井位置應設置於西側。

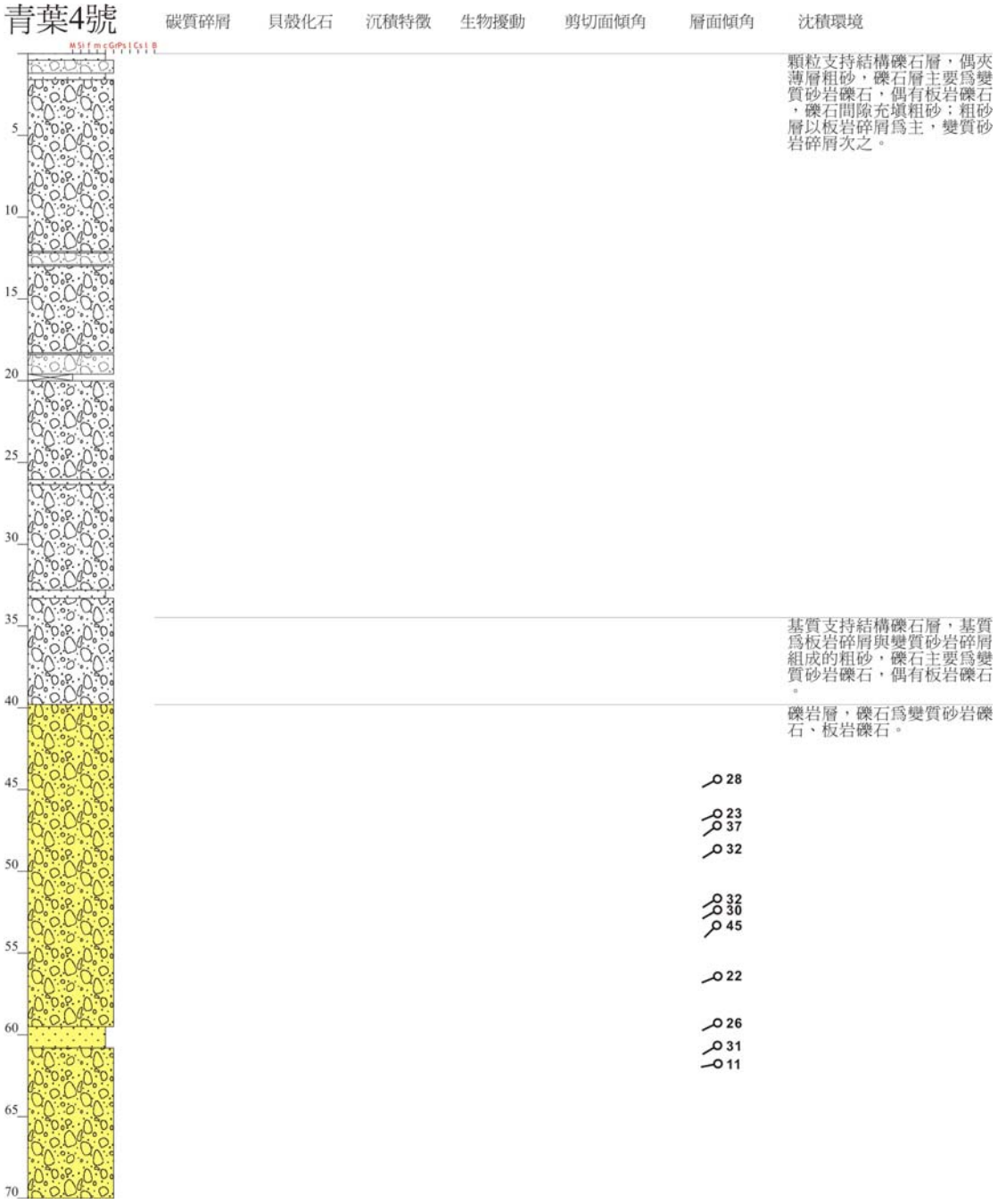


圖 5-3、青葉 4 號井岩芯。

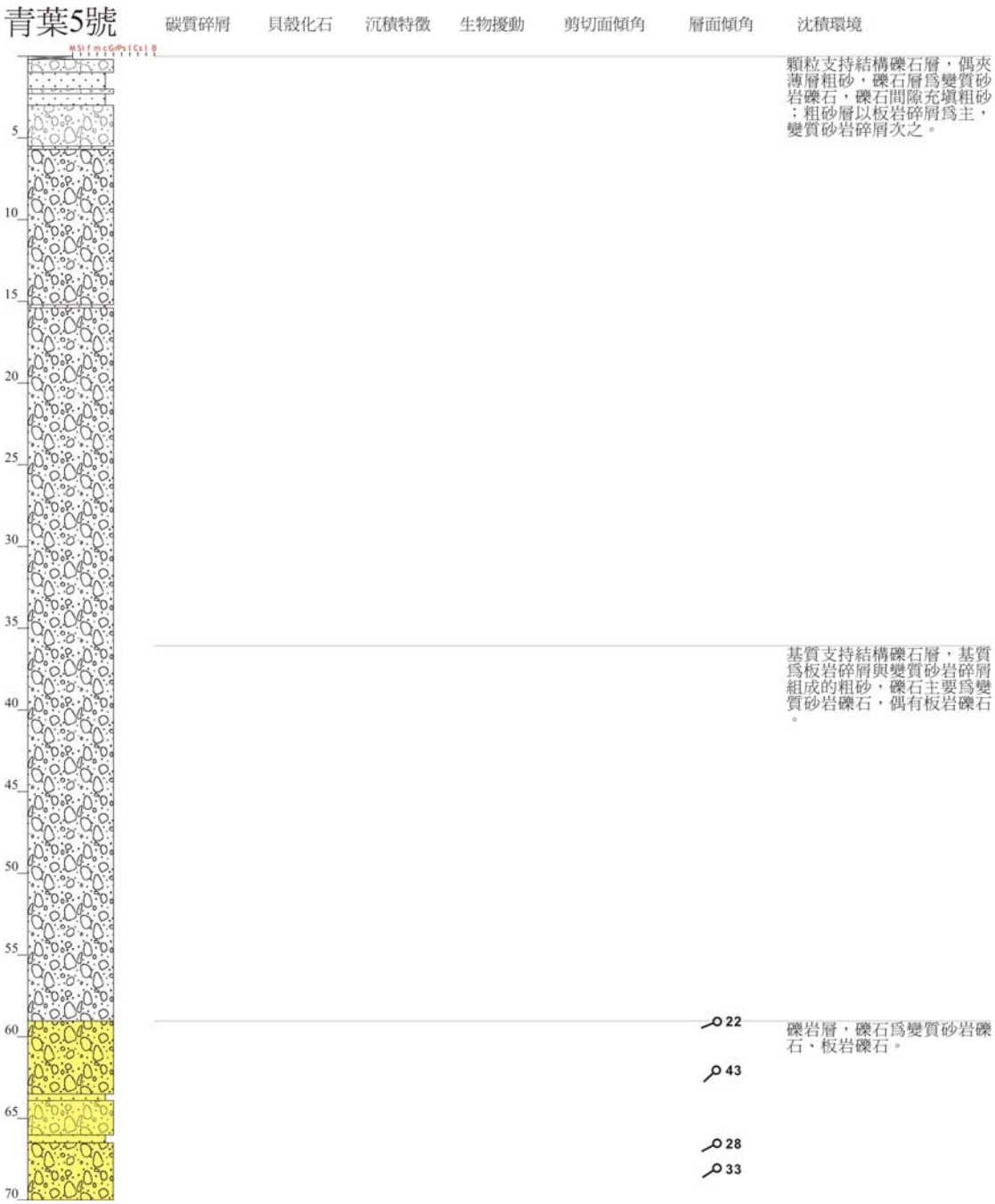

青葉5號
碳質碎屑
貝殼化石
沉積特徵
生物擾動
剪切面傾角
層面傾角
沈積環境
顆粒支持結構礫石層，偶夾薄層粗砂，礫石層爲變質砂岩礫石，礫石間隙充填粗砂；粗砂層以板岩碎屑爲主，變質砂岩碎屑次之。
基質支持結構礫石層，基質爲板岩碎屑與變質砂岩碎屑組成的粗砂，礫石主要爲變質砂岩礫石，偶有板岩礫石。
礫岩層，礫石爲變質砂岩礫石、板岩礫石。
22
43
28
33
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70

圖 5-4、青葉 5 號井岩芯。

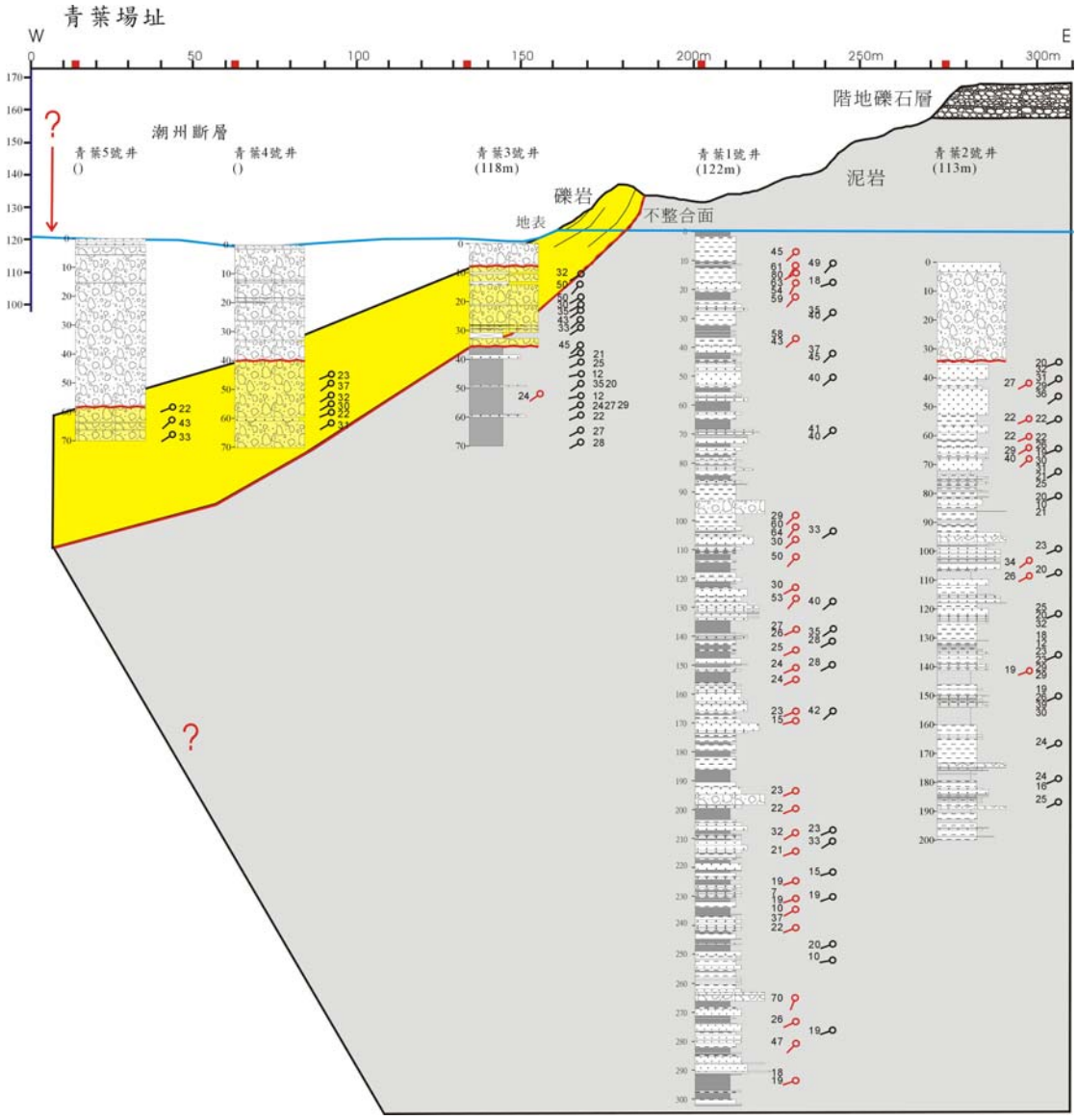


圖 5-5、青葉場址鑽井柵狀剖面。

第六章、旗山斷層長期滑移速率

6-1、地質構造

旗山斷層是西南部麓山帶中位於最東側的逆衝斷層，可能屬於西南部麓山帶中最先形成的逆衝斷層，形成於早期更新世。新期構造特性，目前僅有以 GPS 量測資料，認為旗山斷層的近期活動具有右移特性，但對於其它構造特性還沒有深入的探討。

陳文山等（2005）認為旗山斷層南段（旗山鎮以南）位在楠梓仙溪西側，由地形構造顯示較北段斷層活躍，建議北段旗山斷層應回歸原始命名為內英斷層（飯塚保五郎，1928），南段則稱為旗山斷層（吉田要，1932）。南段區域的斷層上盤地層主要為烏山層，逆衝在古亭坑層之上；斷層北端（旗山鎮南側）亦見嶺口礫岩逆衝在古亭坑層之上。由於斷層下盤為古亭坑層泥岩，較易侵蝕，所以斷層露頭出露較佳。南段區域的地層關係，斷層兩側地層的垂直錯距至少有 2000 公尺。

6-2、地質剖面

陳文山等（2005）報導深水坑露頭，斷層上盤屬於早期上新世烏山層，下盤為更新世古亭坑層，出露約數公尺寬的斷層剪切帶，並截切全新世崩積層，顯示南段旗山斷層在全新世尚有活動（圖 6-1，6-2）。本研究清理深水坑溪兩個剖面（深水坑溪 1 號與 2 號剖面），為了解旗山斷層與近代沉積層的接觸關係。深水坑溪 1 號與 2 號剖面都出露一近代堆積的河階礫石層覆蓋在斷層之上，斷層東側為烏山層的厚層砂岩，西側為古亭坑層泥岩；深水坑溪 1 號剖面在兩個地層之間還堆積全新世的崩積層。

6-2-1、深水坑溪 1 號剖面（圖 6-3）

斷層露頭位於深水坑溪主流南岸，出露有四個地層，烏山層、古亭坑層、全新世崩積層，以及近代河階礫石層。剖面產狀顯示一厚約 3 公尺的砂礫石層不整合沉積在烏山層、古亭坑層與全新世崩積層之上。旗山斷層未截切至河階礫石層，顯示河階堆積之後，旗山斷層未曾有活動。全新世崩積層的 ^{14}C 年代為 7700-8330 yr BP，沉積不整合在烏山層之上。之後，烏山層逆衝至全新世崩積層之上，斷層位態為 N72ºE，S76º。全新世崩積層的西側亦以斷層與古亭坑層泥岩接觸，斷層位態為 N38ºE，N48º。

由野外地層與定年資料分析，顯示旗山斷層在全新世尚有活動，由於河階礫石層未有定年資料，因而無法確定近期未活動的時間。

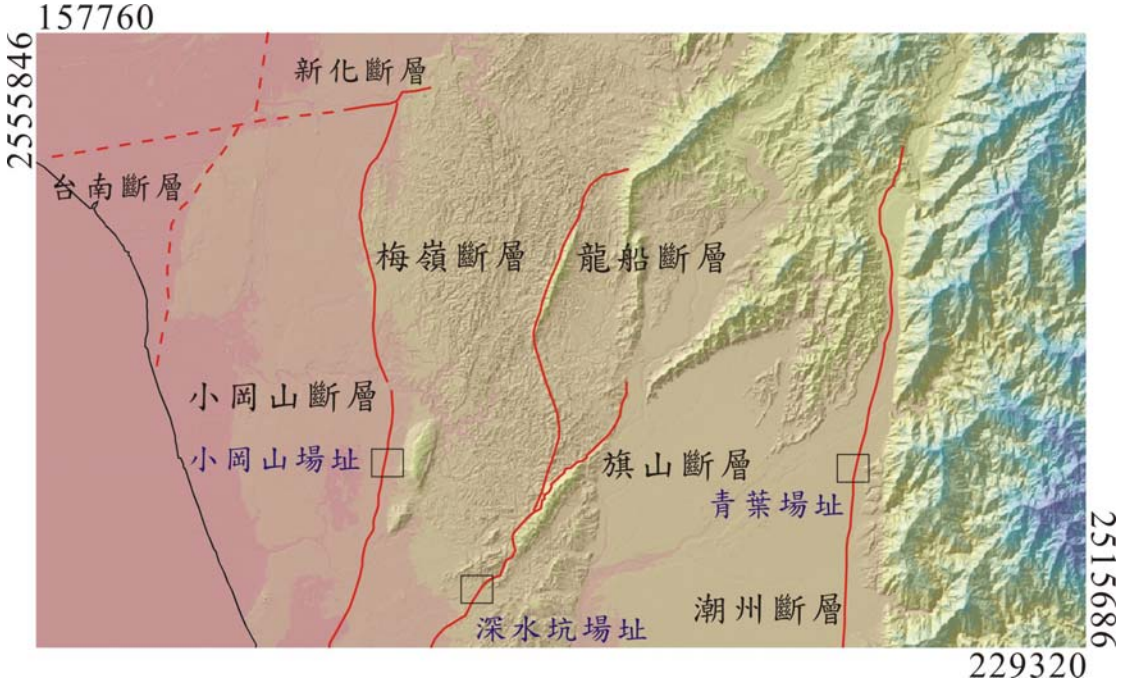


圖 6-1、旗山斷層與深水坑場址位置圖。



圖 6-2、深水坑 1 號與 2 號剖面位置圖。

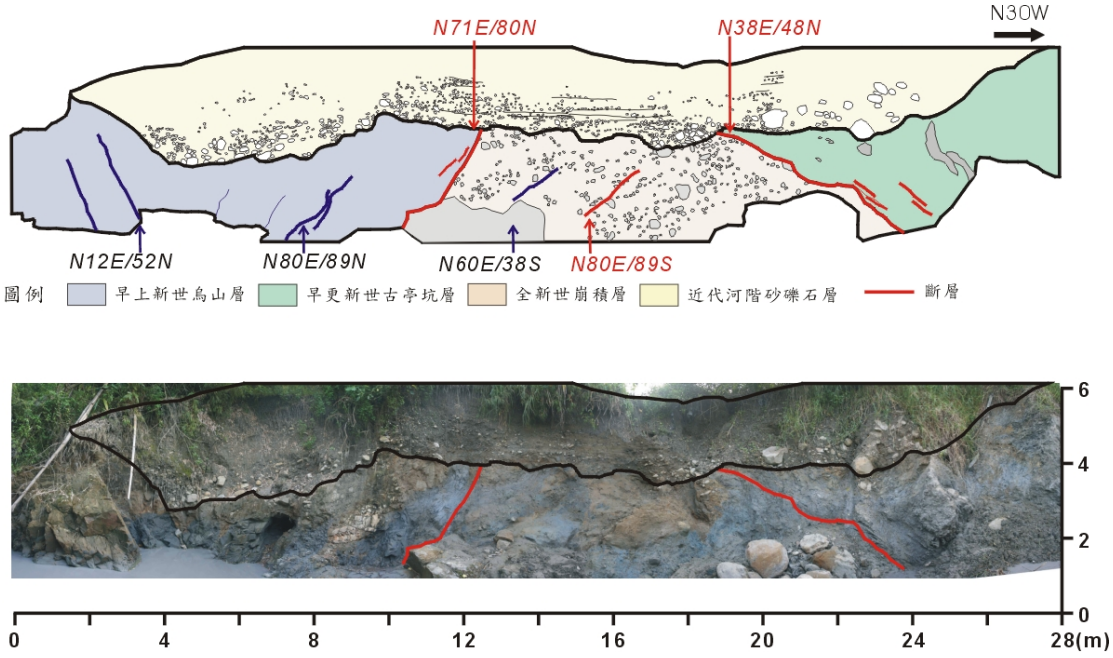


圖 6-3、深水坑溪 1 號剖面。

6-2-2、深水坑溪 2 號剖面（圖 6-4）

深水坑溪 2 號剖面位於深水坑溪支流，深水坑溪 1 號剖面南側約 80 公尺。2 號剖面出露地層只有烏山層、古亭坑層，以及河階砂礫石層，未發現 1 號剖面的全新世崩積層。河階砂礫石層亦沉積不整合在烏山層與古亭坑層之上，斷層未截切河階砂礫石層。古亭坑層逆衝覆蓋在烏山層之上，斷層傾角約為 N80ºE，50ºN。河階沉積層不整合沉積在烏山層之上，位態雖然具有 12º 傾角，但未顯現與斷層有關，因此無法判斷此傾動是否受斷層擾動，還是受邊坡潛移的影響。為確實了解古地震週期以及長期滑移速率，建議未來有適當地點時進行槽溝挖掘。

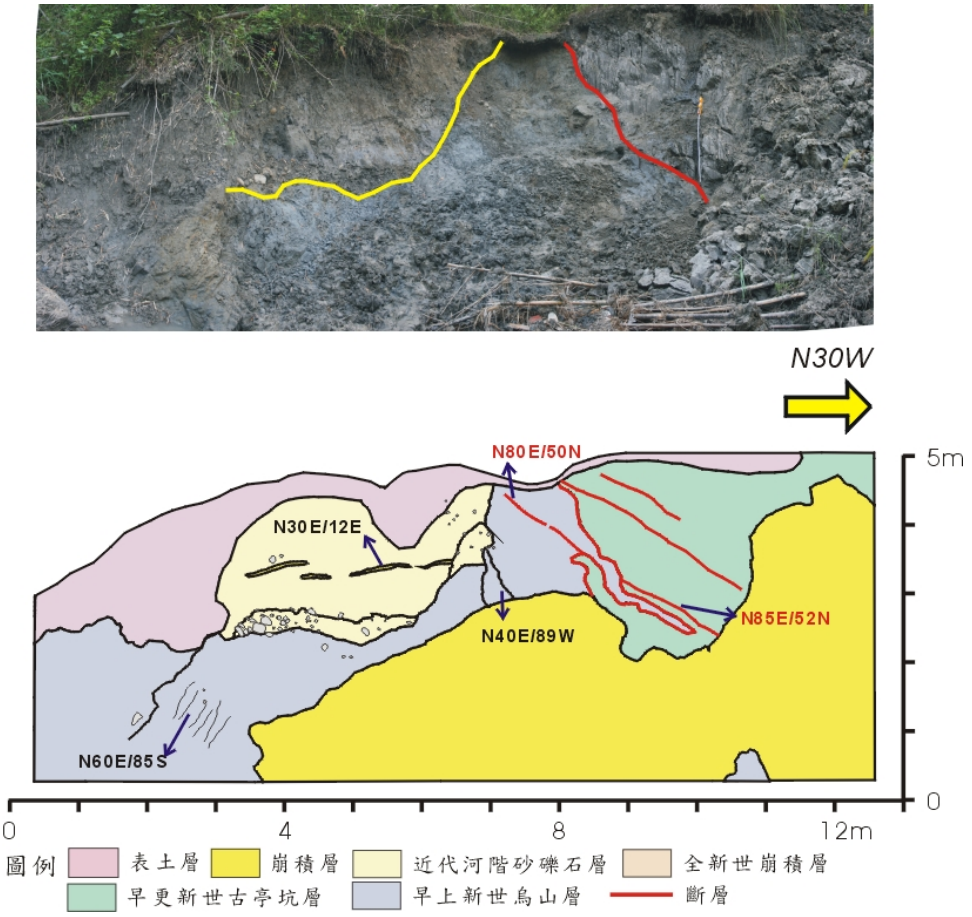


圖 6-4、深水坑溪 2 號剖面。

第七章、總論

7-1、初步成果

97 年度「斷層長期滑移速率與再現週期研究（2/4）」計畫的研究主題乃針對木屐寮－六甲斷層、小岡山斷層、潮州斷層、旗山斷層與池上斷層。本研究主要以鑽井岩芯的沉積環境分析、槽溝與階地挖掘，以及 ^{14}C 定年的分析來探討上述斷層的斷層長期滑移速率與再現週期研究。

今年度研究成果主要有木屐寮－六甲斷層、小岡山斷層與池上斷層的長期滑移速率。池上斷層由鑽井調查顯示近地表斷層面傾角為 65º，另由河階定年推估斷層的抬升速率為 23.5-27.0 mm/yr，因此沿斷層面的淨滑移速率為 26-30 mm/yr。

由於鑽井未能鑽穿小岡山斷層帶，目前僅由淺層震測剖面資料推估斷層面傾角約 45º。由鑽井岩芯與 ^{14}C 定年資料推估小岡山斷層上盤的抬升速率為 4.4±0.6 mm/yr，因此沿斷層面的淨滑移速率為 6.2±0.8 mm/yr。

由於全新世沉積層分布於木屐寮斷層兩側，經初步估算斷層下盤的抬升速率為 3.4±1.0 mm/yr，上盤為 9.0±1.0 mm/yr；因此木屐寮斷層抬升速率約 5.6±2.0 mm/yr；由斷層面 30^{o} 傾角計算，滑移速率約 11.2±4.0 mm/yr。

表 7-1、斷層特性量表。

斷層名稱	斷層長度 (km)	斷層位態	抬升速率 (mm/yr)	淨滑移速率 (mm/yr)	再現週期 (yr)
池上斷層	65	65°E,N20°E	23.5-27.0	26-30	50-＜125
木屐寮－六甲斷層	33	30°E, N28°E	5.6±2.0	11.2±4.0	※
小岡山斷層	27	45°E, N10°E	4.4±0.6	6.2±0.8	※
旗山斷層	47	50°E, N25°E	※	※	※
潮州斷層	90	70°-80°E, N5°E	※	※	※

※為資料不足，目前尚無法求得。

7-2、後續研究方向

目前研究已經針對各斷層的抬升速率與淨滑移速率有初步成果，但淨滑移

速率利用淺層鑽探以及淺層震測資料推估斷層面角度，因此對於較深部（深度約10 公里以內）的斷層角度還必須有較深部的震測資料才能有較確切的資料來估算淨滑移速率。另外，對於斷層的再現週期必須長時間由古地震槽溝的研究才能獲得較完整資料，由於現階段大部份土地都已利用無法進行槽溝開挖工作，以及斷層跡都被全新世沖積層覆蓋，或斷層尖端分岔為數條支斷層，此等因素都造成短期之內無法尋找適當地點進行槽溝開挖。本研究認為以古地震槽溝研究探討古地震週期是必須歷經長時間以及眾多的槽溝研究調查才能有效獲得斷層的地震週期。

參考文獻

王源、陳文山（1993）十萬分之一海岸山脈地質圖幅。經濟部中央地質調查所。

石再添、鄧國雄、張瑞津、石慶得、楊貴三（1986）臺灣活斷層的地形學研究。國立臺灣師範大學地理研究所研究報告，第 12 期，第 1-44 頁。

石瑞銓、王維豪、李元希（2008）地震地質與地變動潛勢分析－斷層帶地下構造調查研究（2/4），期末報告書，共 127 頁

吉田要（1932）高雄州旗山南西部油田調查報告及旗山南西部油田地質圖（三萬分之一）。台灣總督府殖產局，第 610 號，共 162 頁。

林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正（2000）臺灣活動斷層概論（第二版）－五十萬分之一臺灣活動斷層分佈圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第 13 號，共 122 頁。

楊志成、顏一勤、宋時驊、黃能偉、陳勇全、陳文山、陳于高、吳樂群、張徽正、侯進雄、林啟文（2005）六甲斷層近萬年來滑移速率之探討。經濟部中央地質調查所特刊，第 16 期，第 1-16 頁。

陳文山、王源（1996）十萬分之一海岸山脈地質圖說明書。經濟部中央地質調查所。

陳文山、楊志成、楊小青、吳樂群、林啟文、張徽正、石瑞銓、林偉雄、李元希、石同生、盧詩丁（2004）從構造地形探討嘉南地區活動構造及構造分區。經濟部中央地質調查所彙刊，第 17 號，第 53-77 頁。

陳文山、黃能偉、楊志成、游能悌、周飛宏、顏一勤、宋時驊、楊小青（2005）旗山與龍船斷層條帶地質圖說明書，「地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫—槽溝開挖與古地震研究計畫（4/5）」，中央地質調查所報告，共 48 頁。

陳文山、陳于高、楊小青（2006）「槽溝開挖與古地震研究」與「光螢光定年」，「地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫—槽溝開挖與古地震研究計畫（5/5）」，中央地質調查所報告，共 146 頁。

陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2007）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 (1/4)，期末報告書，共 78 頁。

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特刊，第 20 期，第 165-191 頁。

飯塚保五郎（1928）台灣油田地質概查報告-第六區油田。日本海軍省編，第 115-146 頁。

黃旭燦、楊耿明、吳榮章、丁信修、李長之、梅文威、徐祥宏（2004）斷層活動性觀測與地震潛勢評估調查研究－台灣陸上斷層帶地質構造與地殼變動調查研究（5/5）。經濟部中央地質調查所報告，第 93-13 號，共 59 頁。

楊志成、顏一勤、宋時驊、黃能偉、陳勇全、陳文山、陳于高、吳樂群、張徽正、侯進雄、林啟文（2005）六甲斷層近萬年來滑移速率之探討。經濟部中央地質調查所特刊，第 16 號，第 1-16 頁。

Angelier, J., Chu, H.T., and Lee, J.C. (1997) Shear concentration in a collision zone: kinematics of

the Chihshang Fault as revealed by outcrop-scale quantification of active faulting, Longitudinal Valley, eastern Taiwan: *Tectonophysics*, 274, 117-143.

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, 151-185.

Hickman, J.B., Wiltschko, D.V., Hung, J.-H., Fang P., and Bock, Y. (2002) Structure and evolution of the active fold-and-thrust belt of southwestern Taiwan from Global Positioning System analysis. In: T.B. Byrne and C.S. Liu (Eds.), *Geology and Geophysics of an Arc-Continent Collision, Taiwan*, 75–95.

Hsieh, M.L., and Knuepfer, P.L.K. (2001) Middle-late Holocene river terraces in the Erhjen river basin, southwestern Taiwan-implications of river response to climate change and active tectonic uplift, *Geomorphology*, 38, 337-372.

Hsu, T.L. and Chang, H.C. (1979) Quaternary faulting in Taiwan, *Mem. Geol. Soc. China*, 3, 155-165.

Hung, J.H., Wiltschko, D.V., Lin, H.C., Hickman, J.B., Fang, P., Bock, Y. (1999) Structure and motion of the southwestern Taiwan fold and thrust belt, *Terr. Atmos. Oceanic.*, 10, 543-568.

Hsu, T.L. (1962) Recent faulting in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China*, 1, 95-102.

Hu, C.C., Sheen, H.C. (1989) An evaluation on the hydrocarbon potential of the Niushan and Lungtien structures in the Tainan area, *Petrol. Geol. Taiwan*, 25, 11-34.

Hu, J.C., Cheng, L.W., Chen, H.Y., Wu, Y.M., Lee, J.C., Chen, Y.G., Lin, K.C., Rau, R.J., Kuochen, H., Chen, H.H., Yu, S.B., Angelier, J. (2006) Coseismic deformation revealed by inversion of strong motion and GPS data: the 2003 Chengkung earthquake in eastern Taiwan, submitted to *Geophysical Journal International*.

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.*, 15, 647-666.

Lee, J.C., Angelier, J., Chu, H.T., Hu, J.C. and Jeng, F.S. (2001) Continuous momtioring of an active fault in a plate-suture zone: A creepmeter study of the Chihshang active fault, eastern Taiwan, *Tectonophysics*, 333, 219-240.

Lee, J.C., Angelier, J., Chu, H.T., Hu, J.C., Jeng, F.S., and Rau, R.J. (2003) Active fault creep variations at Chihshang, Taiwan, revealed by creep meter monitoring, 1998-2001, *J. Geophy. Res.*, 108, B11, 2528.

Meng, C.Y. (1967) The structural development of the southern half of western Taiwan, *Proc. Geol. Soc. China*, 10, 77-82.

Mitra, S. (2002) Fold-accommodation faults, *AAPG Bulletin*, 86, 4, 671–693.

Mouthereau, F., Lacombe, O., Deffontaines, B., Angelier, J., Brusset, S. (2001) Deformation history of the southwestern Taiwan foreland thrust belt: insight from tectono-sedimentary analyses and balanced cross-sections, *Tectonophysics*, 333, 293-322.

Sun S.C. (1964) Photogeologic study of the Tainan-Kaohsiung coastal plain area, Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 3, 39-51.

Sun, S.C. (1970) Photogeologic study of the Tainan-Hsinying coastal plain area, Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan,* 7, 133-144.

Sun, S.C. (1971) Photogeologic study of the Hsinying-Chiayi coastal plain area, Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan,* 8, 65-75.

Suppe, J. (1980) Imbricated structure of western foothills belt south-central Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 17, 1-16.

Wu, Y.M., Chen, Y.G., Shin, T.C., Huochen, H., Hou, C.S., Hu, J.C., Chang, C.H., Wu, C.F., Teng, T.L. (2006) Coseismic versus interseismic ground deformations, fault rupture inversion and segmentation revealed by 2003 Mw 6.8 Chengkung earthquake in eastern Taiwan, *Geophy. Res. Lett*., 33, L02312.

Yang, C.C.B., Chen W.S., Wu, L.C., Lin, C.W. (2007) Active deformation front delineated by drainage pattern analysis and vertical movement rates, southwestern coastal plain of Taiwan, *J. Asian Ear. Sci.*, doi: 10.1016/j.jseaes.2006.07.026

附錄一、^{14}C 定年年代資料。

井號 (井位高程)	樣本編號	採樣深度 (海拔高程)	Calibrated age (cal yr BP)	沉積深度 (m)	古海水面 高度(m)	抬升速率 (mm/yr)	定年材料
SKS 山腳下 (19m)	SKS-02	5.14 (13.86m)	0-50	-2－0	0		charcoal
	SKS-04	20.52 (-1.52m)	7685-7920	-2－0	-9－-19	1.7±0.8	charcoal
	SKS-05	26.4 (-7.4m)	11265-11619	-2－0	-53－-62	4.5±0.5	charcoal
	SKS-07	27.95 (-8.95m)	11234-11697	-2－0	-52－-63	4.3±0.7	charcoal
GS-01 小岡山 1 號 (16m)	GS01-1	28.4 (-12.4m)	11210-11400	-2－0	-52－-62	4.0±0.6	charcoal
	GS01-2	29.8 (-13.8m)	11120-11260	-2－0	-49－-61	3.8±0.6	charcoal
	GS01-3	38.8 (-22.8m)	13380-13700	0－2	-73－-81	3.9±0.4	charcoal
	GS01-4	44.2 (-28.2m)	14080-14870	0－2	-88－-109	4.8±0.9	charcoal
GS-02 小岡山 2 號 (15m)	GS02-1	31.6 (-16.6m)	7980-8170	-2－0	-11－-22	0.1±0.8	charcoal
	GS02-3	53.2 (-38.2m)	11860-12390	-2－0	-56－-69	2.1±0.7	charcoal
	GS02-4	64.3 (-49.3m)	11240-11400	0－2	-52－-62	0.6±0.5	charcoal
GS-03 小岡山 3 號 (14m)	SGS03-1	4.6 (9.4m)	3570-3820	-2－0	0－-1	3.0±0.5	charcoal
	SGS03-2	7.6 (6.4m)	5050-5320	-2－0	-1－-2	1.7±0.3	charcoal
	SGS03-3	11.7 (2.3m)	6450-6680	-2－0	-3－-7	1.3±0.5	charcoal
	SGS03-5	28.9 (-14.9m)	16000-16660	-2－0	-105－-116	5.9±0.5	charcoal (rework)
	SGS03-8	33.4 (-19.4m)	7690-7930	-2－0	-9－-19	-0.6±0.8	charcoal
	SGS03-10	46.3 (-32.3m)	9550-9910	-2－0	-32－-43	0.6±0.7	charcoal

	SGS03-13	64.7 (-50.7m)	11620-12030	-2－0	-55－-64	0.8±0.5	charcoal
BH1 白河 1 號 (61m)	BH1-01	16.6 (44.4m)	> 45000				charcoal (rework)
	BH1-03	20.6 (40.4m)	34750-35870				charcoal
	BH1-04	27.4 (33.6m)	> 41000				charcoal
	NTU-4906	42.3 (18.7m)	> 50000				wood
	BH1-06	68.7 (-7.7m)	> 41000				charcoal
	BH1-10	100 (-39m)	> 41000				charcoal
BH2 白河 2 號 (56m)	BH2-07	30.3 (25.7m)	9501-9556	0－2	-31－-37	6.2±0.4	charcoal
	BH2-10	46.72 (9.28m)	> 41000				charcoal (rework)
	BH2-14	58.25 (-2.25m)	28200-27800	-2－0	-140	5.0±0.1	charcoal
	BH2-16	65.7 (-9.7m)	> 41000				charcoal (rework?)
	BH2-17	77.3 (-21.3m)	> 45000				charcoal (rework?)
	BH2-18	88.6 (-32.6m)	> 41000				charcoal (rework?)
BH3 白河 3 號 (57m)	BH3-13	7.1 (49.9m)	9000-9270	0－2	-24－-34	8.5±0.8	charcoal (rework)
	BH3-01	14.65 (42.35m)	9920-10230	0－2	-35－-48	8.2±0.9	charcoal (rework)
	BH3-07	25.4 (31.6m)	10800-11230	0－2	-43－-61	7.5±1.1	charcoal (rework)
	BH3-08	28.7 (28.3m)	9190-9440	0－2	-26－-35	6.2±0.7	wood
	BH3-09	29.3 (27.7m)	8930-9650	0－2	-22－-33	5.9±0.9	wood
	BH3-10	36.9	8840-10690	0－2	-21－-56	6.1±2.5	wood

		(20.1m)					
	BH3-12	71.75 (-14.75m)	> 50000				wood
	BH3-15	73.4 (-16.4m)	> 50000				wood
	BH3-16	75.3 (-18.3m)	> 50000				wood
BH4 白河 4 號 (55m)	BH4-19	7.8 (47.2m)	8610-9000	0－2	-17－-31	8.0±1.1	charcoal
	BH4-18	9.8 (45.2m)	9590-10120	0－2	-32－-46	8.5±1.0	charcoal
	BH4-17	22.7 (32.3m)	10790-11200	0－2	-43－-61	7.6±1.1	charcoal
	BH4-16	27.2 (27.8m)	10870-11220	0－2	-44－-61	7.2±1.0	charcoal
	BH4-12	82.7 (-27.7m)	> 44000				charcoal
BH5 白河 5 號 (42m)	BH5-07	11.9 (30.1m)	4910-5290	0－2	0	5.7±0.4	charcoal
	BH5-14	30.9 (11.1m)	41330-42610	-2－0			charcoal (rework)
	BH5-19	75.1 (-33.1m)	37090-37910	0－2			charcoal
BSS 白水溪	BSS-02	38 (38m)	> 50000				wood
CB-01 池上保安 宮 1 號 (286m)	CB1-01	41.4 (244.6m)	4090-4390				charcoal
	CB1-04	68.0 (218m)	5600-5990				charcoal
FC1 富池橋階 地(255m)	FC1-02	1.61 (253.39m)	940-1080				charcoal
布袋 (4m)		20.8 (-16.8m)	4850-5040	-10－0	-1－-2	-2.1±1.1	wood
		66.6 (-62.6m)	13490-13780	-2－0	-74－-84	1.3±0.5	charcoal
		77.65	22720-23570	0－2	-128－-127	2.3±0.1	charcoal

		(-73.65m)					(rework)
		92.8 (-88.8m)	14260-15070	0－2	-73－-110	0.2±1.3	wood
白河 (35.5m)		25.5 (10m)	7870-8320	-2－0	-10－-23	3.4±1.0	charcoal
		158.7 (-123.2m)	> 50000				shell
永安 (36.4m)		35.8 (0.6m)	9300-9530	0－2	-28－-36	3.4±0.6	charcoal
		46.4 (-10m)	> 40000				shell (rework)
		59.9 (-23.5m)	22560-22800				charcoal
		78.7 (-42.3m)	36910-37850				charcoal
		172.8 (-136.4m)	40100-43300				charcoal
岸內 (8.5m)		36.8 (-28.3m)	8170-9350	-10－0	-13－-35	0.2±1.8	shell
		49.1 (-40.6m)	10520-11170	0－2	-41－-61	0.9±1.0	charcoal
		71.8 (-63.3m)	12830-13170	0－2	-68－-78	0.7±0.5	charcoal
		109.6 (-101.1m)	> 50000				charcoal
薊桐崎		45	10550-10790	-2－0	-41－-58	9.0±1.0	charcoal
花梨坑溪 1 號 (33m)		20.05 (12.95m)	10510-10760	-2－0	-41－-58	6.0±1.0	charcoal
花梨坑溪 2 號 (35m)		10.0 (25m)	8590-8980	-2－0	-17－-31	5.7±1.0	charcoal
		16.65 (18.35m)	9910-10230	-2－0	-35－-48	6.1±0.8	charcoal
花梨坑溪 3 號 (34.2m)		9.47 (24.73m)	8650-8990	-2－0	-18－-31	5.7±1.0	charcoal
		21.3 (12.9m)	10770-11160	-2－0	-43－-61	6.0±1.0	charcoal

		25.8 (8.4m)	10790-11210	-2－0	-43－-61	5.6±1.0	charcoal
		36.2 (-2m)	> 42000				charcoal

附錄二、期中報告審查意見改進表。

審查意見	處理情形
（一）報告書部份 1、本計畫研究主題為「斷層長期滑移速率」與「再現週期」應在期末報告書中詳細交代。	1、修改如第二、四、五、七章。
2、建議列一總表說明本年度研究之標的之基本性質，並將斷層位置標示於一總圖之上。	2、表列於第七章。
3、建議在內容部份加入本年度計畫之工作目標以及整體架構的說明。	3、如第一章。
4、淺層鑽探報告除岩心紀錄柱狀圖外，應提供現地調查資料、鑽探點位座標與重點岩心照片。	4、已依建議提供現地資料。鑽探位置的標示於大圖上。
5、部份參考文獻錯漏，請再確認之。	5、已進行確認。

（二）圖資部份 1、圖資應力求清楚，字體亦應放大，必要時得橫置，或使用 A3 紙張摺頁，方便閱讀。 2、部分圖資缺乏方位、座標、比例尺、地名、圖例、索引圖與說明，以致不易閱讀比對，請補充之。 3、請將文中提到之地名、鑽井位置與剖面位置，在地圖中標示，並建議將重要溪流名稱及地名標記，以利瞭解其空間關係。 4、圖中文字時用中文，時用英文，宜擇中文或二者均用之。 5、岩芯柱狀圖中之文字說明若重要請清楚標明，若否可將之去除以利圖文閱讀。	1、已依建議修正(如圖 2-13、2-16) 。 2、已依建議修正。 3、已依建議修正。 4、已依建議修正。 5、已依建議修正。
（三）其它部份 1、有關六甲斷層-木屐寮斷層，池上斷層，小岡山斷層，斷層位置是否需西移，請再詳查，並作一些未來調查之建議。 2、逆移斷層向前緣擴展，正移斷層跡受侵蝕後退，建議選址要特別注意。 3、關於抬升量，斷層滑移量、錯距等地質專業敘述，建議加上其敘述主體之名詞，以免誤解。 4、潮洲斷層前緣的變形帶，在期末報告書中建議可考慮三角剪切帶的想法。	1、依意見進行調查。 2、依照意見考慮鑽探位置。 3、已依建議修正。 4、已考慮。

附錄三、期末報告審查意見改進表

審查意見	處理情形
（一）報告書部份	
1、期末報告書架構方面應加強，建議在摘要中說明工作目標、方法以及研究之整體架構。	1、架構部份已進行加強。
2、中文及英文摘要內容建議統一，並加上本研究之關鍵字。	2、已補上關鍵字。
3、摘要中除敘述主要調查成果之三條斷層外，建議亦應提及進行調查之「潮州斷層」與「旗山斷層」。	3、已補上「潮州斷層」與「旗山斷層」。
4、建議將本研究之主要成果：「木屐寮-六甲斷層」、「小崗山斷層」及「池上斷層」之章節，移至於報告書前面的章節敘述。	4、已依委員意見修正。
5、建議在專論標的斷層的章節中，最後補充一小節說明初步成果或後續研究方向。	5、已依委員意見補充。
6、建議在第一章或新增章節中，說明本計畫研究主題「斷層長期滑移速率」與「再現週期」參數求取的工作方法，以及相關專業術語與參數之說明。	6、已依委員意見補充。
7、斷層參數總表中，空白欄位應補充說明，並建議加入斷層傾角、走向等參數。	7、已依委員意見補充。
8、結論中建議加強斷層的特性、位置，以及斷層是否存在之論述。	8、已於結論中說明。
9、部份參考文獻錯漏，請再確認。	9、已改進。

（二）圖表部份 1、部分圖資缺乏方位、座標、比例尺、地名、圖例、索引圖與說明，以致不易閱讀比對，請補充。	1、已補上。
2、鑽井位置與文中描述及剖面上的標示位置請再確認。	2、已進行確認。
3、岩芯柱狀圖中剪切面欄位名稱缺列，請補上。	3、已補上。
4、表 1-2 中，缺列青葉 1、2 號井，池上斷層之井名請再確認。	4、池上井名已修正，青葉 4,5 號井資料已補上。
（三）其它 1、白河三號、四號井的年代以及化石是否移置(rework)等問題，建議解釋清楚。	1、已將原始資料附於附表一，文中已進行解釋。
2、小崗山一號、二號的上升速率、震測解釋及定年問題請再考慮。	2、已考慮。
3、小崗山斷層附近地形崖若是地層撓曲所造成，此構造是否可稱為斷層？文中所提及的長期滑移速率是否僅代表相對抬升速率，而非斷層滑移速率？請考慮。	3、已考慮。