經濟部

經濟部中央地質調查所報告第 99-　號

計畫編號:99-

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

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

中華民國九十九年十一月

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(4/4)

九十九年度報告

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

中華民國九十九年十一月

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(4/4)

目錄

目錄……i

圖目錄……ii

表目錄……iv

第一章、前言……1

1-1、淺層鑽探……1

1-2、階地定年……3

1-3、槽溝與地質剖面挖掘……3

1-4、長期滑移速率與再現週期參數求取方法……4

1-5、^{14}C 定年……4

第二章、湖口斷層長期滑移速率與再現週期……7

2-1、前言……7

2-2、鑽井岩芯……7

2-3、岩芯對比……15

2-4、斷層活動性……17

2-5、結論……18

第三章、新竹斷層長期滑移速率與再現週期……20

3-1、前言……20

3-2、鑽井岩芯……20

3-3、岩芯對比……30

3-4、斷層活動性……31

3-5、結論……32

第四章、大尖山斷層之長期滑移速率與再現週期……35

4-1、前言……35

4-2、地質剖面……35

4-3、桶頭橋露頭剖面……36
4-4、槽溝剖面……38
第五章、恆春斷層之長期滑移速率與再現週期……42
5-1、前言……42
5-2、四重溪場址鑽井岩芯……43
5-3、核三廠場址鑽井岩芯……48
5-4、結論……55
第六章、梅山斷層之長期滑移速率與再現週期……60
6-1、前言……60
6-2、鑽井岩芯……61
6-3、結論……63

圖目錄

圖 2-1、湖口斷層的 5 處鑽井場址。……8
圖 2-2、竹北－新豐海岸場址地質圖。……8
圖 2-3、湖口 5 號井岩芯地層柱。……10
圖 2-4、湖口 1 號井岩芯地層柱。……11
圖 2-5、湖口 2 號井岩芯地層柱。……12
圖 2-6、湖口 3 號井岩芯地層柱。……14
圖 2-7、湖口 4 號井岩芯地層柱。……16
圖 2-8、鑽井岩芯對比，高度與長度比率為 1:30。……17
圖 2-9、湖口斷層上盤鑽井地點平均垂直變動速率，以及新屋－觀音地區全新世藻礁估算的平均垂直變動速率。……18
圖 2-10、湖口斷層與湖口背斜構造剖面，與長期垂直變動速率。……19

圖 3-1、新竹斷層探井位置圖。……21
圖 3-2、新竹 1 號井岩芯地層柱。……23
圖 3-3、新竹 2 號井岩芯地層柱。……24
圖 3-4、新竹 3 號井岩芯地層柱。……25
圖 3-5、新竹 4 號井岩芯地層柱。……26
圖 3-6、新竹 5 號井岩芯地層柱。……27
圖 3-7、新竹 6 號井岩芯地層柱。……28
圖 3-8、新竹 7 號井岩芯地層柱。……29
圖 3-9、新竹 8 號井岩芯地層柱。……29
圖 3-10、新竹縣香山海岸鑽井剖面圖。……31
圖 3-11、新竹斷層兩側各鑽井地點平均垂直變動速率。……32
圖 3-12、新竹地區地質構造剖面，引用 Namson (1984)平衡剖面與石瑞銓等（2009）。……33
圖 3-13、鑽井地點與新屋－觀音全新世藻礁估算的平均垂直變動速率。……34
圖 3-14、新竹地區地下構造剖面與各構造區的地殼垂直變動速率。……34
圖 4-1、南投竹山鎮瑞竹－桶頭地區地質圖。……35
圖 4-2、桶頭橋剖面：（A）2010 年 5 月照片剖面；（B）剖面素描（李彥良，2001）；（C）地質剖面（鑽井資料修改自盧詩丁等，2003）。……37
圖 4-3、大尖山斷層槽溝挖掘位置圖。……39
圖 4-4、桶頭橋槽溝北牆剖面。……40
圖 4-5、桶頭橋槽溝南牆剖面。……41
圖 5-1、四重溪與核三廠場址位置圖。……43
圖 5-2、四重溪的統埔鑽井場址。……43
圖 5-3、四重溪 1 號井岩芯地層柱。……44
圖 5-4、四重溪 2 號井岩芯地層柱。……45
圖 5-5、四重溪 3 號井岩芯地層柱。……46

圖 5-6、四重溪 4 號井岩芯地層柱。……47
圖 5-7、四重溪場址鑽井剖面圖。……48
圖 5-8、核三廠場址鑽井位置圖。……48
圖 5-9、核三 1 號井岩芯地層柱。……49
圖 5-10、核三 2 號井岩芯地層柱。……50
圖 5-11、核三 3 號井岩芯地層柱。……51
圖 5-12、核三 4 號井岩芯地層柱。……52
圖 5-13、核三 5 號井岩芯地層柱。……53
圖 5-14、核三 6 號井岩芯地層柱。……54
圖 5-15、核三場址鑽井剖面圖。……55
圖 5-16、恆春半島地質圖，四重溪場址與核三廠場址位置圖。……57
圖 5-17、核三廠鑽井與海階定年標本位置圖。……58
圖 5-18、恆春斷層兩側鑽井與海階估算的垂直變動速率。……58
圖 6-1、梅山斷層位置圖，以及梅北國小場址位置圖。……61
圖 6-2、梅山斷層鑽井位置圖。……62
圖 6-3、梅北國小 1 號井岩芯地層柱。……62
圖 6-4、梅北國小 2 號井岩芯地層柱。……63
圖 6-5、梅北國小場址鑽井剖面圖。……63

表目錄

表 1-1、工作計量表……2
表 1-2、鑽井位置表……2
表 1-4、階地掘坑表……3
表 1-4、^{14}C 定年標本表……4

第一章、前言

本年度（99 年度）「斷層長期滑移速率與再現週期研究（4/4）」計畫的研究主題乃針對湖口斷層、大尖山斷層、九芎坑斷層、梅山斷層與恆春斷層，共 5 條斷層進行斷層長期滑移速率與再現週期研究。以下將分別描述本研究所調查斷層的構造與地形、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。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的目的外，本計畫另有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進行鑽井，並且選擇的上盤鑽井必須位於晚期更新世－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，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變動速率，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，以及是否具備上述的地質條件，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期更新世－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，湖口斷層有五處鑽探場址，進行湖口 1 號井、湖口 2 號井、湖口 3 號井、湖口 4 號井、湖口 5 號井（總長度共 270 公尺），同時紀錄舊有湖口斷層的三口岩芯（地調所），共 7 口井（表 1-1，1-2）。恆春斷層則有四重溪場址，進行有四重溪 1 號、四重溪 2 號、四重溪 3 號、四重溪 4 號（總長度共 170 公尺）等四口井。梅山斷層正評估進行 2 口井，梅山 1 號、梅山 2 號（總

長度共 60 公尺）。

古地震槽溝研究，目前已針對大尖山斷層的桶頭橋剖面進行描繪及古地震槽溝挖掘（全長 33 公尺）。另外，新竹斷層採取排鑽方式進行研究，完成 8 口鑽井，新竹 1 號至新竹 8 號（總長度共 306 公尺，表 1-2）；恆春斷層層採取排鑽方式進行研究，完成 6 口鑽井，核三 1 號至核三 6 號（總長度共 190 公尺，表 1-2）。

表 1-1、工作計量表。

調查項目	單位與數量
淺層鑽探	11 口井，井深共 500.2 公尺，排鑽共 14 口井，井深共 496 公尺；鑽井深度共 996.2。
階地掘坑	10 個。
地質剖面	地質剖面 2 剖面（大尖山斷層）。
^{14}C 定年	已送 30 個標本。

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
	湖口 1 號井	245471	2754666	50	4	本計劃	99
	湖口 2 號井	244393	2752869	50	1	本計劃	99
	湖口 3 號井	243899	2751703	50	2	本計劃	99
	湖口 4 號井	243564	2751248	50	2	本計劃	99
	湖口 5 號井	245469	2754775	70	2	本計劃	99
	新竹 1 號井	240874	2742186	70.2	4	本計劃	99
	新竹 2 號井	240816	2742031	42	4	本計劃	99
	新竹 3 號井	240638	2741487	20	4	本計劃	99
	新竹 4 號井	240543	2741213	20	2	本計劃	99
	新竹 5 號井	240549	2740984	50	2	本計劃	99
	新竹 6 號井	240874	2742566	35	4	本計劃	99
	新竹 7 號井	240962	2743070	50	2	本計劃	99
	新竹 8 號井	240629	2741879	19	2	本計劃	99
	核三 1 號井	224544.7	2429382	30	8	本計劃	99

	核三 2 號井	224319.6	2429227	30	6.8	本計劃	99
	核三 3 號井	224433.5	2429303	30	7.2	本計劃	99
	核三 4 號井	224375.6	2429266	30	6.7	本計劃	99
	核三 5 號井	224406.5	2429287	40	6.8	本計劃	99
	核三 6 號井	224393.4	2429279	30	6.7	本計劃	99
	四重溪 1 號井	221136	2441557	30	12	本計劃	99
	四重溪 2 號井	221113	2441545	30	12.5	本計劃	99
	四重溪 3 號井	221054	2441509	50	11.6	本計劃	99
	四重溪 4 號井	220922	2441506	60	7.9	本計劃	99
	梅北國小 1 號井	203577.9	2609630	30	136	本計劃	99
	梅北國小 2 號井	203582.9	2609620	30	139	本計劃	99
共計				996.2			
	羊喜窩 BH-1	256699	2752945	200	125	地調所構地組	93
	大金山下 BH-1	266406	2755441	300	199	地調所構地組	93
	大金山下 BH-2	266392	2755513	200	187	地調所構地組	93

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垂直變動速率。

本研究將於西部地區針對河階與海階進行掘坑。由於新竹地區河階都屬於紅土化階地，並於之前研究顯示部分紅土化階地的 ^{14}C 年代都＞50000 yr BP。因此改為於較低位階地進行探坑挖掘（表 1-3）。

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，從受構造擾動的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的時間或機率。地質剖面是針對具有受斷層作用形成的地質構造剖面，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。本年度於大尖山斷層進行一處地質剖面與槽溝挖掘，其餘新竹斷層與恆春斷層將進行排鑽。

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的時間或機率。

1-5 ^{14}C 定年

目前針對鑽井岩芯研究共計 30 標本已完成 ^{14}C 定年（表 1-4）。

表 1-4、^{14}C 定年標本

井號	井名	深度	年代（2 Sigma Calibration，yr BP）	資料來源
新竹 BH1	聖公宮	-36.8 m	>43500	Beta Analytic Inc.
		-39.6 m	>43500	Beta Analytic Inc.
		-61.6 m	>43500	Beta Analytic Inc.
新竹 BH2	聖公宮 2	-14.2 m	>43500	Beta Analytic Inc.
新竹 BH3	美山路	-1.4 m	X	Beta Analytic Inc.
新竹 BH4	頂寮	-2.5 m	4780-4410	Beta Analytic Inc.
		-2.5 m	6450-6230	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室
新竹 BH5	頂寮靈德宮	-2.4 m	520-330	Beta Analytic Inc.
新竹 BH6	萬厝	-5.3 m	5290-4480	Beta Analytic Inc.
		-14.2 m	>50000	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室

新竹 BH7	吳先生廟	-12.3 m	>43500	Beta Analytic Inc.
新竹 BH8	草蚋南	-8.3 m	>43500	Beta Analytic Inc.
		-2.1m	1210-1010	Beta Analytic Inc.
民富	民富國小	-12.9 m	6740-7000	Beta Analytic Inc.
湖口 BH1	聖賢祠	-4.9 m	>43500	Beta Analytic Inc.
湖口 BH2	下鳳鼻	-3.6 m	4980-4770	Beta Analytic Inc.
湖口 BH3	田心子	-8.2 m	6300-6020	Beta Analytic Inc.
		-25.4 m	11190-10760	Beta Analytic Inc.
湖口 BH4	新月沙灘	-11.8 m	6640-6420	Beta Analytic Inc.
湖口 BH5	聖賢祠 2	-6.11m	>43500	Beta Analytic Inc.
		-44.7 m	>50000	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室
核三 1 號	核三廠	-4.8 m	230（＜300）	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室
核三 1 號	核三廠	-8.4 m	3690-3420	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室
核三 1 號	核三廠	-12.35 m	4960-4880	Beta Analytic Inc.
核三 3 號	核三廠	-7.7 m	4140-3850	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室
南灣	225122, 2428939	0 m	2700-2380（0 mm/yr）	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室
南灣	225175, 2428954	0 m	7150-6870（0 mm/yr）	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室
後壁湖海岸	224228, 2428295	2 m	1950-1770（1±0.1 mm/yr）	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室
後壁湖海岸	223450, 2427694	5 m	1600-1380（3.4±0.3 mm/yr）	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室

石牛橋	227390, 2428217	28 m	7260-7140 （＞4.3±0.1 mm/yr）	林久芳, 1989
石牛橋	227344, 2427846	22 m	5440-5180 （＞4.0±0.1 mm/yr）	Hashimoto *et al*., 1972
石牛橋	227344, 2427816	21 m	5800-5700 （＞3.6±0.1 mm/yr）	陳于高, 1993
石牛橋	227344, 2427760	17 m	4030-3790 （＞4.2±0.2 mm/yr）	Hashimoto *et al*., 1972

參考文獻

陳于高（1993）晚更新世以來南台灣地區海水面變化與新構造運動研究。國立台灣大學地質學研究所博士論文，158 頁。

林久芳（1989）台灣恆春半島及東部海岸全新世隆起珊瑚之鈾系定年研究。國立台灣大學地質研究所碩士論文，共 119 頁。

Hashimoto, W., Taira, K., Kurihara, K., Imai, T., and 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. Southeastern Asia* X, 265-303.

第二章、湖口斷層長期滑移速率與再現週期

2-1、前言

本計畫在湖口斷層西端（西北西走向）沿東北走向海岸線，選取 5 處鑽井場址（圖 2-1），5 口鑽井排列走向大致與湖口斷層走向略呈垂直。本計畫選擇沿海岸進行鑽井的目的，預期全新世海進時期，海相沉積物可以覆蓋堆積在湖口斷層兩側上、下盤之上。如此可以由年代（^{14}C 定年）、古環境深度，以及古海水面高度，估算構造變動速率。

2-2、鑽井岩芯

本計畫在湖口斷層西端沿海岸線，選取 5 處鑽井場址，計有湖口一號井（聖賢祠）、湖口二號井（下鳳鼻尾）、湖口三號井（田心子）、湖口四號井（新月沙灘）與湖口五號井（聖賢祠 2）。另外，本計畫也重新紀錄地調所於 93 年進行的湖口斷層東段鑽探場址的三口鑽井：羊喜窩 BH-1（湖口鄉羊喜窩）與大金山下 BH-1、大金山下 BH-2（楊梅鎮大金山下）。

本場址於飛鳳丘陵最西北端，北起新豐鄉坑子口（台 17 線公路鳳鼻隧道北端），南迄竹北市拔子窟新月沙灘遊客中心（圖 2-1）。5 口鑽井深度僅湖口五號井為 70 公尺深，其餘為 50 公尺深，近代地表環境都屬於近濱或沙丘環境，但是這些地區都已被人為改造成為魚池。

此剖面正交西北西走向的鳳岡丘陵，該區域可能屬於湖口斷層下盤或湖口背斜的西北翼（圖 2-2：塗明寬與陳文政，2001；衣德成等，2004；劉桓吉，1989）。另外，本計畫也將重新紀錄 2004 年地質調查所於湖口斷層東段二處鑽探場址（湖口鄉羊喜窩與楊梅鎮大金山下）的三口岩芯（衣德成等，2004）。



圖 2-1、湖口斷層的 5 處鑽井場址。

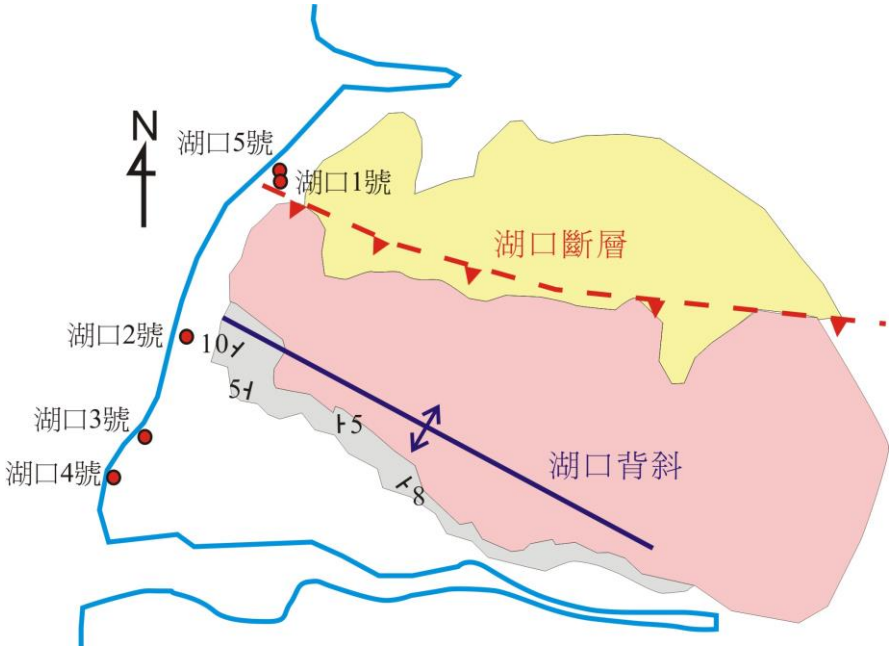


圖 2-2、竹北－新豐海岸場址地質圖（位置圖請看圖 2-1）。

2-2-1、湖口 5 號（聖賢祠-2）

本井位於新豐溪河口平原的西南一角，總深度 70 公尺，分為楊梅層、中壢層與全新世海侵堆積層（圖 2-3）。楊梅層始於深度 51 公尺處，地層傾斜約 5-10°，岩性屬於砂泥岩互層，層理發達，含有波紋，夾有薄層顆粒支持細礫礫石層。中壢層深度位於 51-6.3 公尺，屬於厚層礫石層夾薄砂泥層，可分成 4 段顆粒度向上變細之層序。這些向上變細層序以顆粒支持、淘選度中等以下的礫石層為主，岩礫多為石英岩與風化砂岩，基質為黃棕色淘選度不良的泥質砂。砂泥層常有斑駁狀風化外觀，或呈現黃棕色土壤化。表層 0.2 公尺屬於回填土，全新世海侵堆積層深度位於 6.3-0.2 公尺。最底部約 1 公尺厚屬於含碳質物泥層夾砂層，之上為顆粒度向上變細的層序，從含碳質物的基質支持礫石層，到含貝殼碎屑之泥質中粒砂層。

2-2-2、湖口 1 號（聖賢祠）

本井位於湖口 5 號井南側約 100 公尺處，緊鄰鳳岡丘陵山腳，總深度 50.3 公尺（圖 2-4）。本岩芯的岩相特徵與湖口 5 號相近，分為楊梅層、中壢層與全新世海侵堆積層。楊梅層深度位於 49.4 公尺之下，由水平的砂泥岩互層組成，層理發達，含有波紋。中壢層位於深度 49.4-4.8 公尺，為厚層礫石層夾薄砂泥層，並可分成 3 段顆粒度向上變細之層序。這些層序以顆粒支持、淘選度中等以下的礫石層為主，岩礫多為石英岩與風化砂岩，基質為黃棕色淘選度不良的泥質砂，含有紅土碎屑。砂泥層常有斑駁狀風化外觀，或呈現黃棕色土壤化。全新世海侵堆積層位於深度 4.8 公尺至地表。最底部約 0.5 公尺為含碳質物塊狀泥層。4.3 公尺之上為顆粒度向上變細的層序，從淘選度不佳、基質支持的礫石層，到淘選度良好的中粒砂層，常有紅土碎屑與風化礫石。

2-2-3、湖口 2 號（下鳳鼻）

本井位於鳳岡丘陵西側沿海的狹長海岸濱後帶，距離湖口 1 號井約 2 公里，總深度 50 公尺，分為楊梅層與全新世海侵沉積層（圖 2-5）。楊梅層位於深度 50-3.7 公尺，由傾角 16° 的厚層砂岩與厚層泥岩互層所組成，層理發達，含有波紋、植物碎屑與貝殼化石。全新世海侵堆積層位於深度 3.7-0.6 公尺，之上為回填土，由含有貝殼碎屑之砂層組成，有 0.3 公尺厚的底礫層，淘選度良好，富含石英或石英岩礫，具有平行紋理、波紋與漣紋。

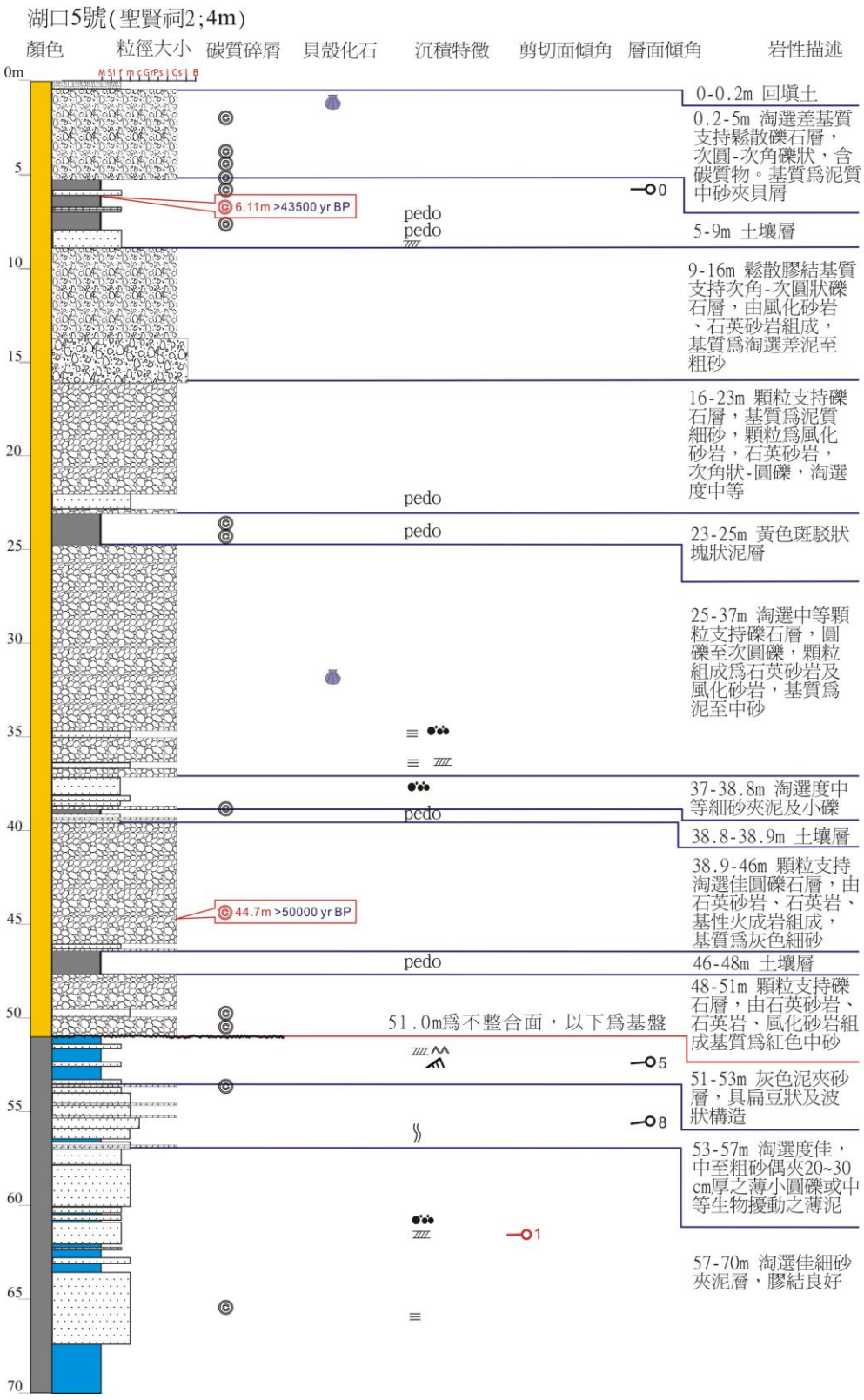


圖 2-3、湖口 5 號井岩芯地層柱。

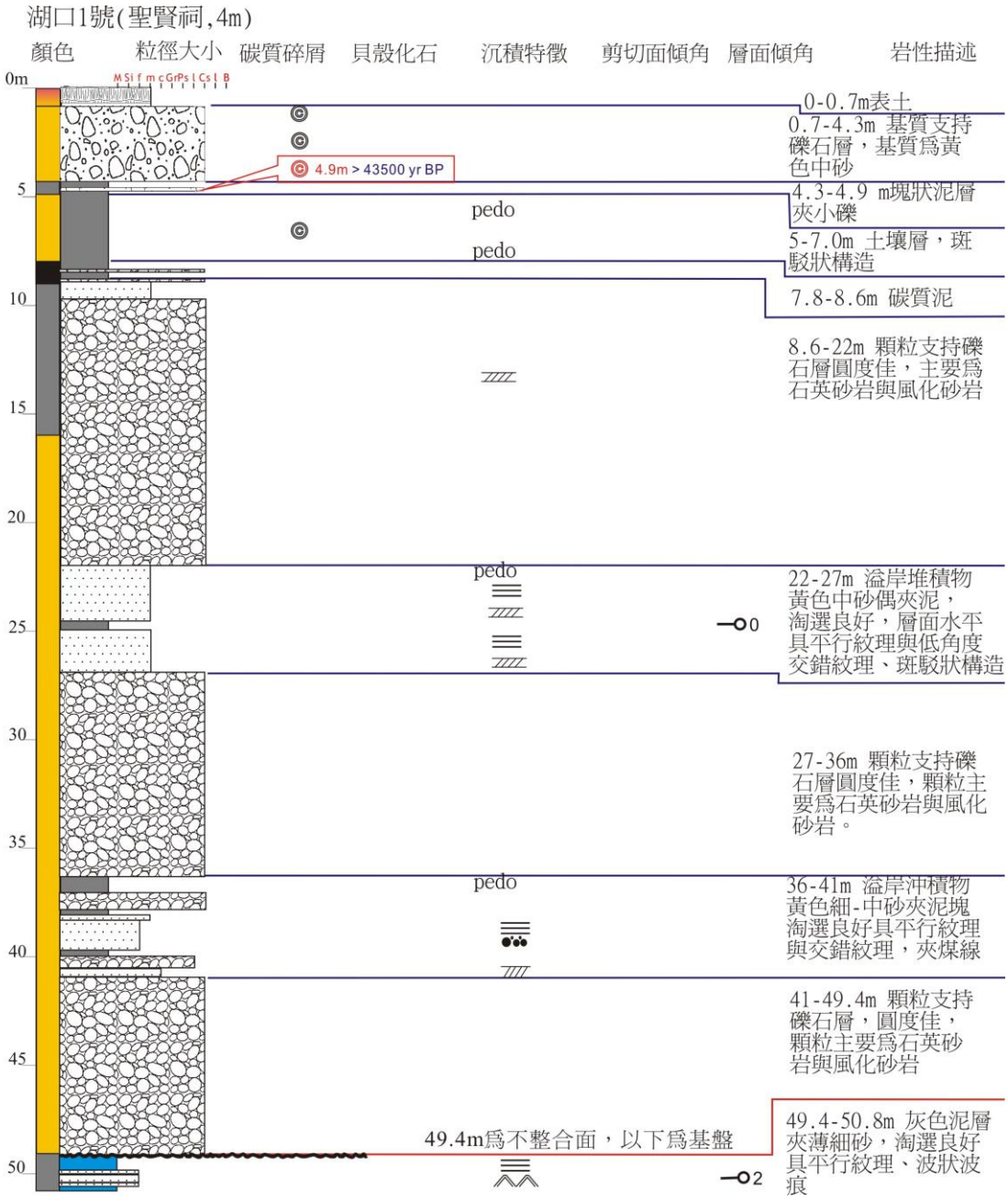


圖 2-4、湖口 1 號井岩芯地層柱。

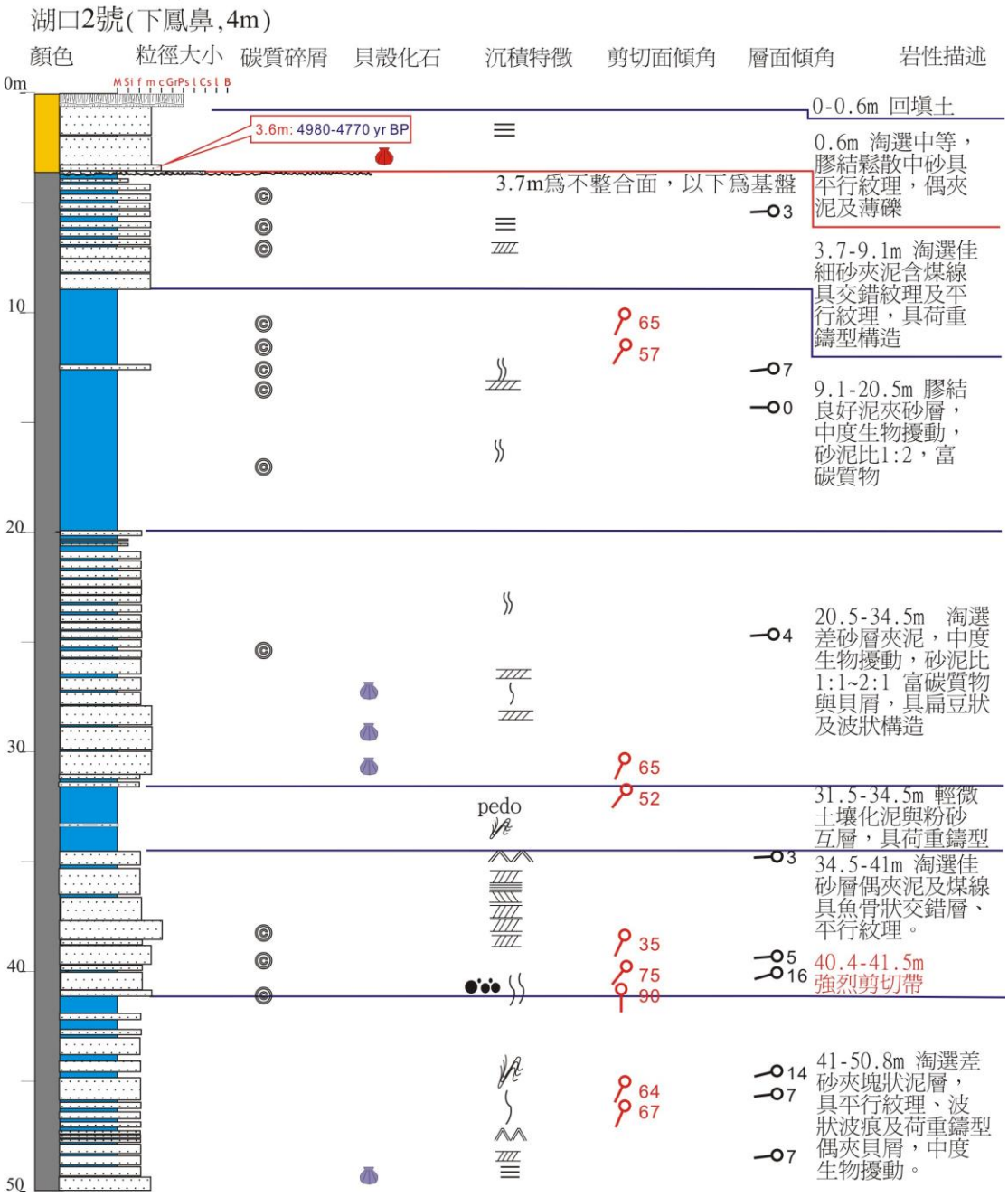


圖 2-5、湖口 2 號井岩芯地層柱。

2-2-4、湖口 3 號（田心子）

本井位於鳳山溪河口三角洲北角，鄰近鳳岡丘陵南緣，距離湖口 2 號井約 1.25 公里，總深度 50.1 公尺，分為楊梅層、更新世河相礫石層與全新世海相沉積層（圖 2-6）。楊梅層位於深度 50.1-29.8 公尺，傾角約 15° 的厚砂岩與厚泥岩互層組成。砂岩層理發達，含有波紋、漣紋、貝殼與植物碎屑。泥岩多呈塊狀，質地緻密堅硬，生物擾動發達。

從晚期更新世至全新世的層序呈現向上變細的層序，晚期更新世河相礫石層，位於深度 29.8 公尺至 16.5 公尺，以石英砂岩為主，屬於陸相辮狀河的沉積物，16.5 公尺至 10 公尺為河相砂層，25.4 公尺的 ^{14}C 定年為 11190-10760 yr BP。全新世海侵時期的海相沉積層位於深度 10 公尺至 5.8 公尺，5.8 公尺以上為含貝殼碎屑的砂層夾礫層。中粗礫礫石層底部為近 1 公尺厚的基質支持礫岩，岩礫有石英岩、砂岩與硬頁岩；上部夾有含炭屑、紅土粒的石英砂層。含貝殼碎屑之砂層夾礫層大多淘選度良好，富含石英或石英岩礫，偶有植物碎屑，常有平行紋理、波紋與漣紋，大致屬於潮間帶環境；8.2 公尺焦炭的 ^{14}C 定年為 6300-6020 yr BP。井中深度 0.8 公尺以上為回填土。

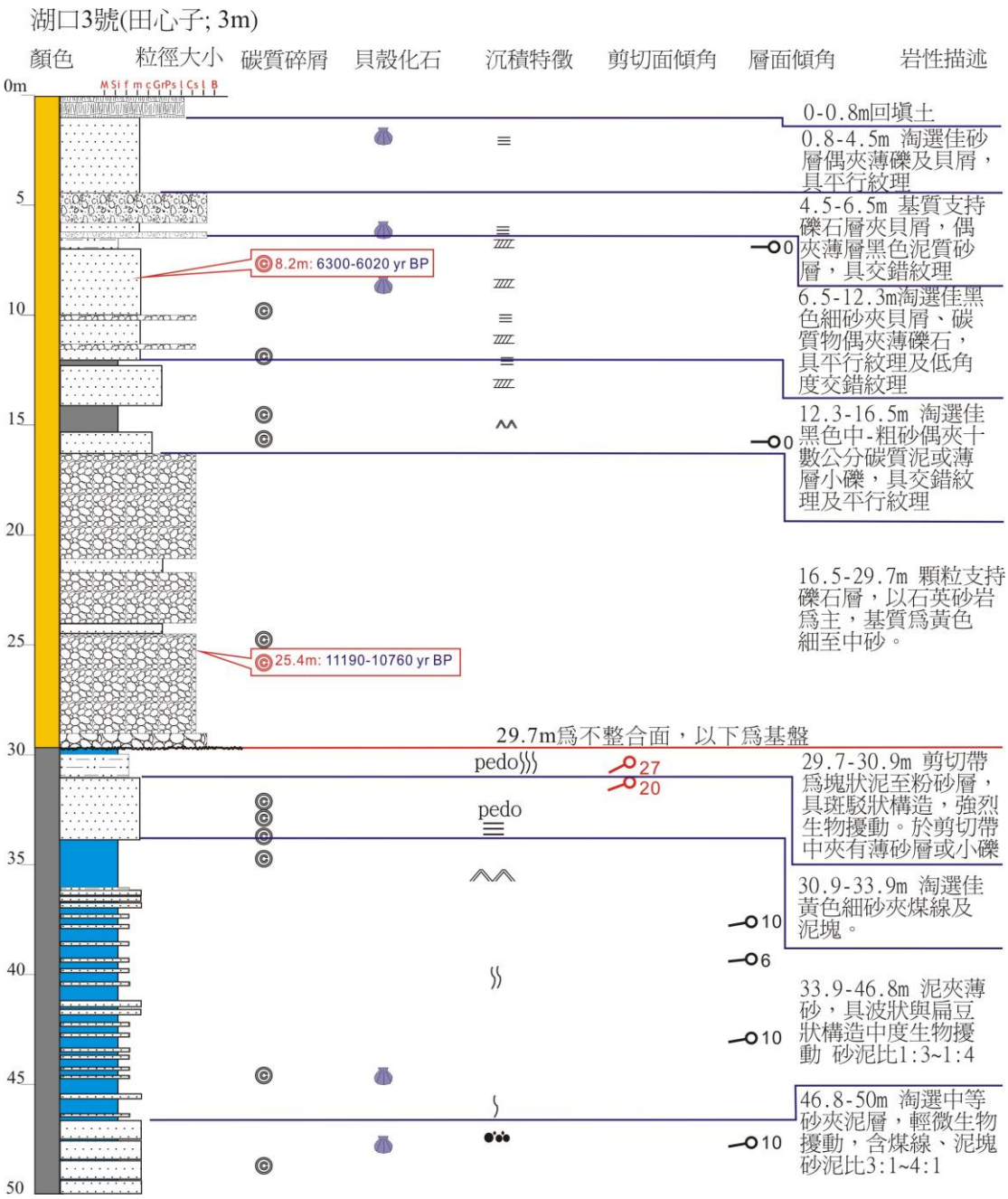


圖 2-6、湖口 3 號井岩芯地層柱。

2-2-5、湖口 4 號（新月沙灘）

本井位於鳳山溪河口三角洲北側的新月沙灘遊客中心旁，距離湖口 3 號井約 0.6 公里，總深度 50 公尺，分為楊梅層、晚期更新世河流相礫石層與全新世海相沉積層（圖 2-7）。楊梅層位於深度 50 公尺至 31.2 公尺，由近乎水平的厚砂岩與厚泥岩互層組成，在 46 公尺至 47 公尺之間出現 3 處剪切面，具共軛現象，傾角約 50-60° 之間。砂岩層理發達，含有交錯層理、波紋、漣紋、貝殼與植物碎

屑。泥岩多呈塊狀，質地緻密堅硬，生物擾動發達。晚期更新世河流相礫石層位於深度 31.2 公尺至 13 公尺，從顆粒支持、中粗礫石層，到紋理發達之砂層夾礫層，屬於辮狀河沈積環境。全新世海相沉積層深度從 13 公尺至 0.3 公尺，夾薄層礫石，6.5 公尺以上為含貝殼碎屑砂層，砂層淘選度良好，屬於潮間帶環境；11.8 公尺焦炭的 ^{14}C 定年為 6640-6420 yr BP。井中深度 0.3 公尺以上為回填土。

2-3、岩芯對比

由於各井之距離不遠，在考慮各井高程之下，首先利用岩性地層作為對比依據（圖 2-8）。湖口 1 號井與湖口 5 號井位於鳳岡丘陵北側，地表出露地層屬於崖前崩積層，鑽井位置位於鳳岡丘陵與中壢台地交匯處崖線最西端的海岸平原，位在中壢台地區域（湖口 2 號井位於鳳岡丘陵區域；圖 2-1）。本計畫最初選擇井位的想法，認為鳳岡丘陵與中壢台地交匯的線型崖可能是湖口斷層跡位置，與前人所繪位置有很大差異。從湖口 1 號井與湖口 5 號井以及湖口 2 號井的岩芯比較，顯然兩處的楊梅層出露深度有很大差異，高差至少 110 公尺。本計畫推測湖口斷層可能通過鳳岡丘陵與中壢台地的線型崖，介於湖口 1 號井與湖口 2 號井之間，較接近湖口 1 號井，湖口 1 號井與湖口 5 號井位於湖口斷層下盤，湖口 2 號井位於上盤。湖口 3 號井與湖口 4 號井位於鳳岡丘陵的南側，亦即位於湖口斷層上盤。由於此區域在晚期更新世以來受到頭前溪的侵蝕，而晚期更新世以來的海進形成海岸平原，堆積陸相與海相沉積層。

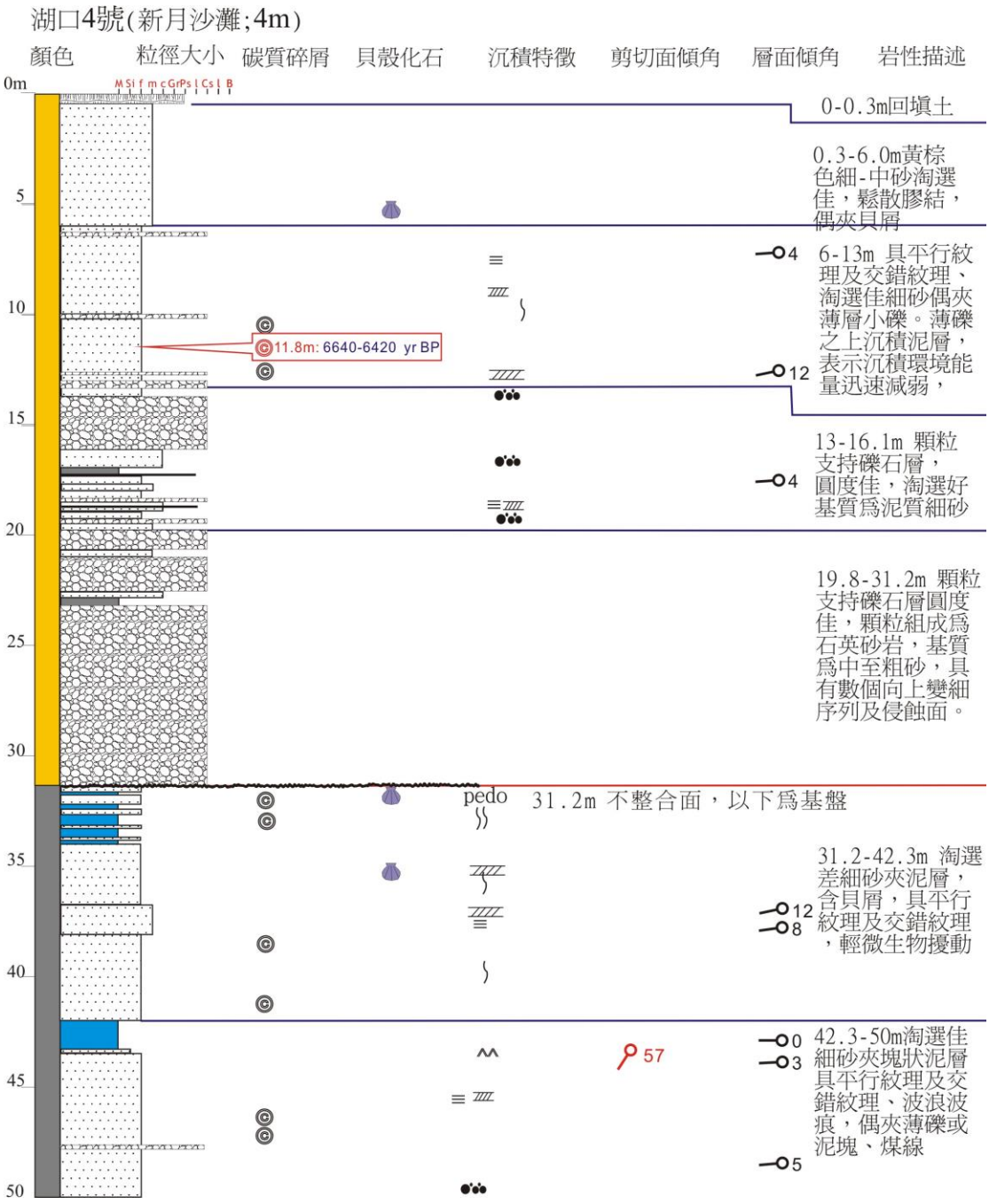


圖 2-7、湖口 4 號井岩芯地層柱。

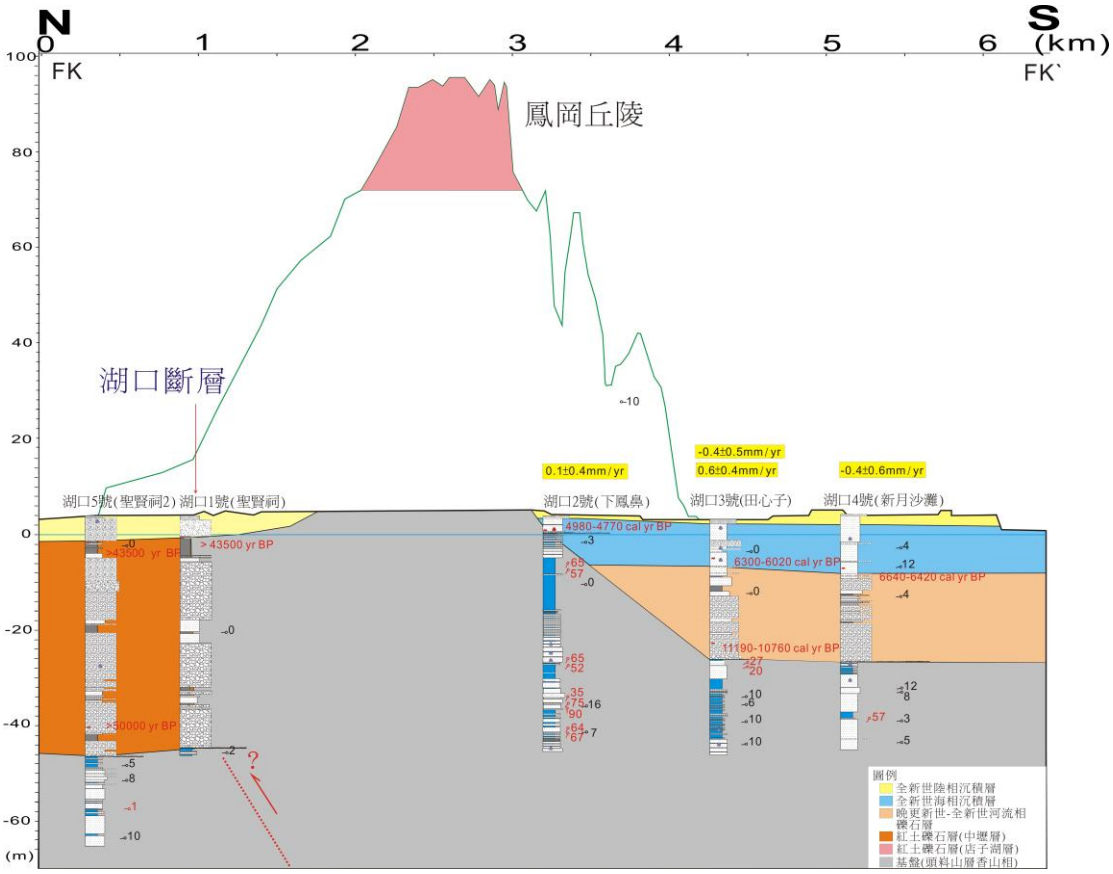


圖 2-8、鑽井岩芯對比，高度與長度比率為 1:30。

2-4、斷層活動性

本研究藉由海相沉積層的年代、古海水面高度，以及沉積環境古水深估算這些井位地區的地殼垂直變動速率。湖口 1 號與 5 號井位於湖口斷層的下盤區域，由於沈積層大都老於 50000 年，以致無法估算變動速率。湖口 2 號、3 號與 4 號位於上盤，且都獲得全新世海相地層的 ^{14}C 年代，提供估算地殼的變動速率。上盤的湖口 2 號井估算的變動速率為 0.1±0.4 mm/yr；3 號井估算的變動速率為 -0.4±0.5 mm/yr 與 0.6±0.5 mm/yr；湖口 4 號井估算的變動速率為-0.4±0.6 mm/yr（圖 2-9）。

從斷層上盤的變動速率分析，顯示地殼的垂直變動速率不大，似乎無法明顯表示是否屬於抬升或沉降的構造環境；若由湖口 3 號與 4 號井來看，即便有抬升現象則抬升速率約僅有 0.1 mm/yr。

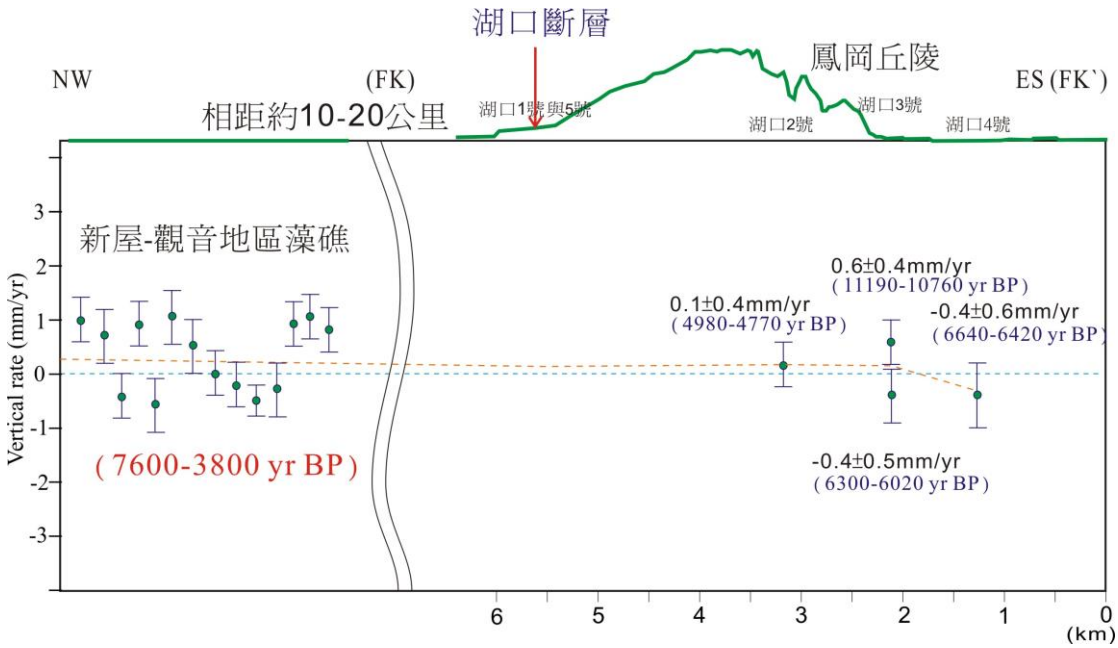


圖 2-9、湖口斷層上盤鑽井地點平均垂直變動速率，以及新屋－觀音地區全新世藻礁估算的平均垂直變動速率。

2-5、結論

由新竹縣湖口海岸 5 口鑽井岩心以及定年資料分析，湖口斷層下盤（鳳岡丘陵北側）的紅土礫石層（中壢層）在湖口 1 號與 5 號井與鳳岡丘陵頂部紅土礫石層（店子湖層）約有 110 公尺的高差。但目前尚無法了解湖口 1 號與 5 號井中厚約 40 公尺的紅土礫石層是屬於中壢層或店子湖層；若屬於店子湖層，則湖口斷層兩側的店子湖層則有 110 公尺的高差。

斷層上盤湖口 2 號至 4 號井估算的垂直變動大約在 1mm/yr 至-1mm/yr 之間。此外，斷層下盤的湖口 1 號與 5 號井因沒有確切的年代資料，而無法估算變動速率。但是，在距離湖口斷層 10 至 20 公里的桃園縣新屋以北至桃園縣大園的海岸出露有全新世的藻礁（7600-3800 yr BP），以此估算垂直變動速率，也大致介於 1mm/yr 至-1mm/yr 之間。

湖口斷層與湖口背斜是台灣西北部地區屬於褶皺－逆衝斷層帶最前緣的逆衝斷層，本研究採用藍生傑（Namson, 1984）的平衡剖面來解釋，以及利用震測剖面（石瑞銓等，2009）分析湖口斷層與湖口背斜的位置（圖 2-10）。從地質資

料結合中油震測剖面，認為湖口背斜應從鳳岡丘陵地區朝西南延伸至頭前溪沖積平原，乃至海域，背斜軸部大致位在頭前溪北岸（圖 2-10）。由本計畫進行海岸平原的鑽井研究，頭前溪河口附近的南寮國小井呈現較大的抬升速率（1.7±0.8 mm/yr），此井正位於湖口背斜軸部附近（圖 2-10）。從長期變動速率的變化而言，顯示湖口構造變形呈現背斜的脫底斷層（detachment fault）的褶皺變形，除了湖口斷層之外，亦可能形成背衝斷層（盲斷層），而產生不對稱背斜構造，最大的垂直變形速率為 1.7±0.8 mm/yr。

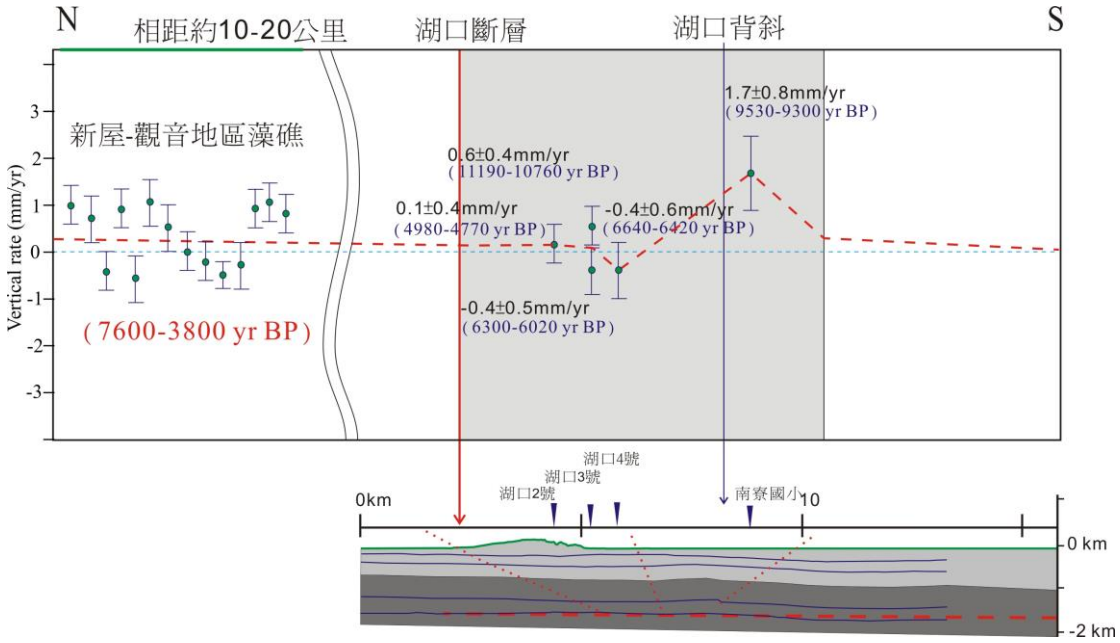


圖 2-10、湖口斷層與湖口背斜構造剖面，與長期垂直變動速率。

參考文獻

石瑞銓、王維豪、李元希（2009）地震地質與地變動潛勢分析－斷層帶地下構造調查研究（3/4）。經濟部中央地質調查所報告第 98-11 號，共 137 頁。

Namson, J. (1984) Structure of the Western Foothills Belt, Miaoli-Hsinchu area, Taiwan, (III) Northern Part, *Petrol. Geol. Taiwan*, 20, 35-52.

第三章、新竹斷層長期滑移速率與再現週期

3-1、前言

本計畫於 98 年度亦進行新竹斷層調查，由於新竹斷層跡所經之處，都屬於全新世陸相環境，無法藉由海相沉積層年代、古海水面高度，以及沉積環境古水深來估算斷層的構造變動速率。因此，本年度想藉由新竹斷層唯一可能有海相堆積的新竹市大庄到頂寮海岸平原的鑽井，來解決新竹斷層的構造變動速率，所以利用排鑽方式取代地質剖面來進行研究。

3-2、鑽井岩芯

本計畫沿著新竹市香山區大庄到頂寮的海岸平原，選取台 61 線西濱公路沿線的海岸與溼地作為鑽井場址，共鑽取 8 口岩芯建立地下地質剖面，此鑽井剖面走向與新竹斷層走向呈斜交（圖 3-1）。另外，本計畫將配合 98 年紀錄 1998 年地質調查所於南寮國小的鑽井（圖 3-1）。

本場址於香山丘陵最西北端台 61 線西部濱海公路沿線，北起大庄部子，經草蚋，南迄頂寮（圖 3-1），屬於青草湖背斜西北翼。8 口鑽井的深度各由 20 至 50 公尺深，鑽井位置於濱後海岸平原，岩性有全新世沈積層與更新世楊梅層。由北至南為新竹 7 號（吳先生廟）、新竹 6 號（萬厝）、新竹 1 號（聖公宮）、新竹 2 號（聖公宮 2）、新竹 8 號（草蚋南）、新竹 3 號（美山路）、新竹 4 號（頂寮）、新竹 5 號（靈德宮）。

3-2-1、新竹 1 號（聖公宮）

本井位於三姓公溪河口平原的西南側（新竹市中華路五段 208 巷），緊鄰香山丘陵山腳，接近新竹斷層的斷層崖（圖 3-1）。總深度 70.2 公尺，地層分為楊梅層與晚期更新世－全新世海侵堆積層（圖 3-2）。

楊梅層位於深度 34.6 公尺以下，由近乎水平的厚砂岩與厚泥岩互層組成。砂岩層理發達，具有交錯層理、波紋、漣紋、貝殼與植物碎屑。泥岩多呈塊狀，質地緻密堅硬，生物擾動發達。36.8 公尺、39.6 公尺、61.6 公尺的 ^{14}C 定年都老於 43500 年。

晚期更新世－全新世海侵堆積層的深度位於 34.6 公尺至 0.8 公尺，屬於陸相

礫石層，主要為厚層中粗礫黃棕色礫石層，夾厚層礫質砂層，可分成 2 段顆粒度向上變細的層序。這些向上變細層序以基質與顆粒支持礫石層為主，礫石多為石英岩與風化砂岩，基質為黃棕色淘選度差的泥質砂。綜合以上岩相特徵，沈積物可能來自香山丘陵紅土台地礫石層（店子湖層）或楊梅層的礫岩再侵蝕堆積的辮狀河沉積物。

全新世海相沉積層深度位於 6.8 公尺至 0.8 公尺，由淘選良好的黃棕色砂層組成，夾有石英岩與硬頁岩小礫，頂部含有再積性紅土，底部 0.6 公尺為基質支持砂質小礫礫石層，含有豐富碳質，屬於潮間帶環境。

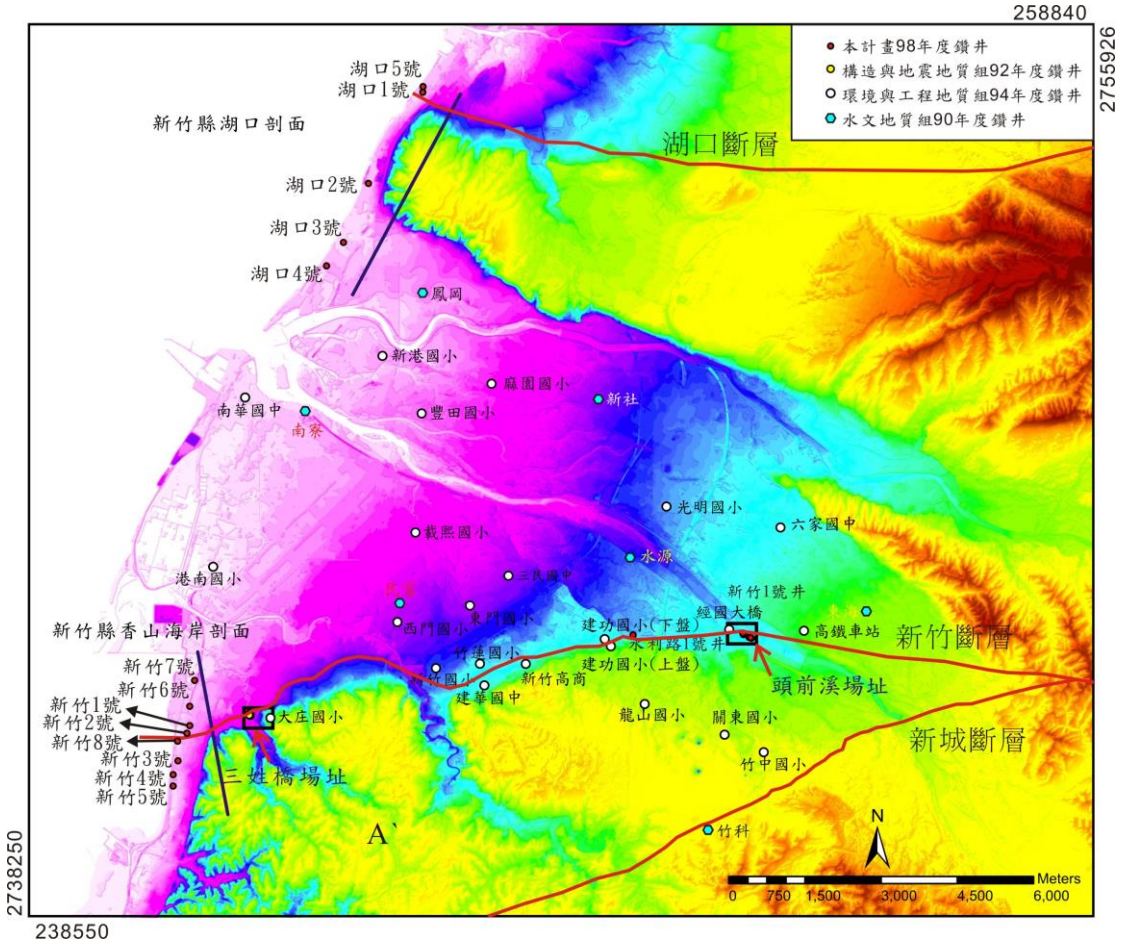


圖 3-1、新竹斷層鑽井位置圖。

3-2-2、新竹 2 號（聖公宮 2）

本井位於新竹 1 號正西南方約 100 公尺處（圖 3-1），鑽井深度 42 公尺，地層分為楊梅層與晚期更新世－全新世海侵堆積層（圖 3-3）。楊梅層深度位於 32.5 公尺以下，由傾斜約 15° 的厚泥岩夾薄砂岩。砂岩層理發達，具有交錯層理、波紋、貝殼與植物碎屑。泥岩呈塊狀，具生物擾動。

晚期更新世－全新世海侵堆積層深度位於 32.5 公尺以上，32.5 公尺至 4.1 公尺屬於陸相礫石層，此沉積層已受到傾動，傾角 6-19° 的厚層中粗礫黃棕色礫石層，也有厚層礫質砂層，可分成兩段顆粒度向上變細之層序。這些向上變細層序以基質與顆粒支持礫石層為主，礫石多為石英岩與風化砂岩，基質為黃棕色淘選度不良的泥質砂。綜合以上岩相特徵，這些沈積物可能來自香山丘陵紅土台地礫石層（店子湖層）或楊梅層的礫岩再堆積的產物，14.2 m 處的 ^{14}C 定年老於 43500 年。全新世海侵堆積層的海相沉積層深度位於 4.1 公尺至 0.8 公尺，由淘選度良好的灰色砂層組成，夾有基質支持的薄層礫石，砂層偶有再積性紅土粒，屬於潮間帶環境。井中深度 0.8 公尺之上屬於回填土層。

3-2-3、新竹 3 號（美山路）

本井位於台 1 線公路與台 61 線公路的美山路聯絡道北側，於新竹 8 號井南西南方約 200 公尺處（圖 3-1）。總深度 20 公尺，分為楊梅層與全新世海侵堆積層（圖 3-4）。

楊梅層深度位於 4.4 公尺以下，由傾斜 11-16° 的砂岩與泥岩互層組成，層理發達，具有交錯層理、波紋、漣紋、貝殼與植物碎屑，局部具有生物擾動。剪切面普遍而發達，傾角從 0-60° 不等，以 24-44° 為主，多與層面同傾向，也有與層面逆向傾斜，傾角 20°。

地表回填土深度達 1.4 公尺，回填土以下至基盤楊梅層之間的全新世海侵堆積層為灰色中砂層，含有中粗礫與底部礫石層，淘選度良好，頂部含有豐富的再積性紅土粒，部分礫石有牡蠣表覆其上。

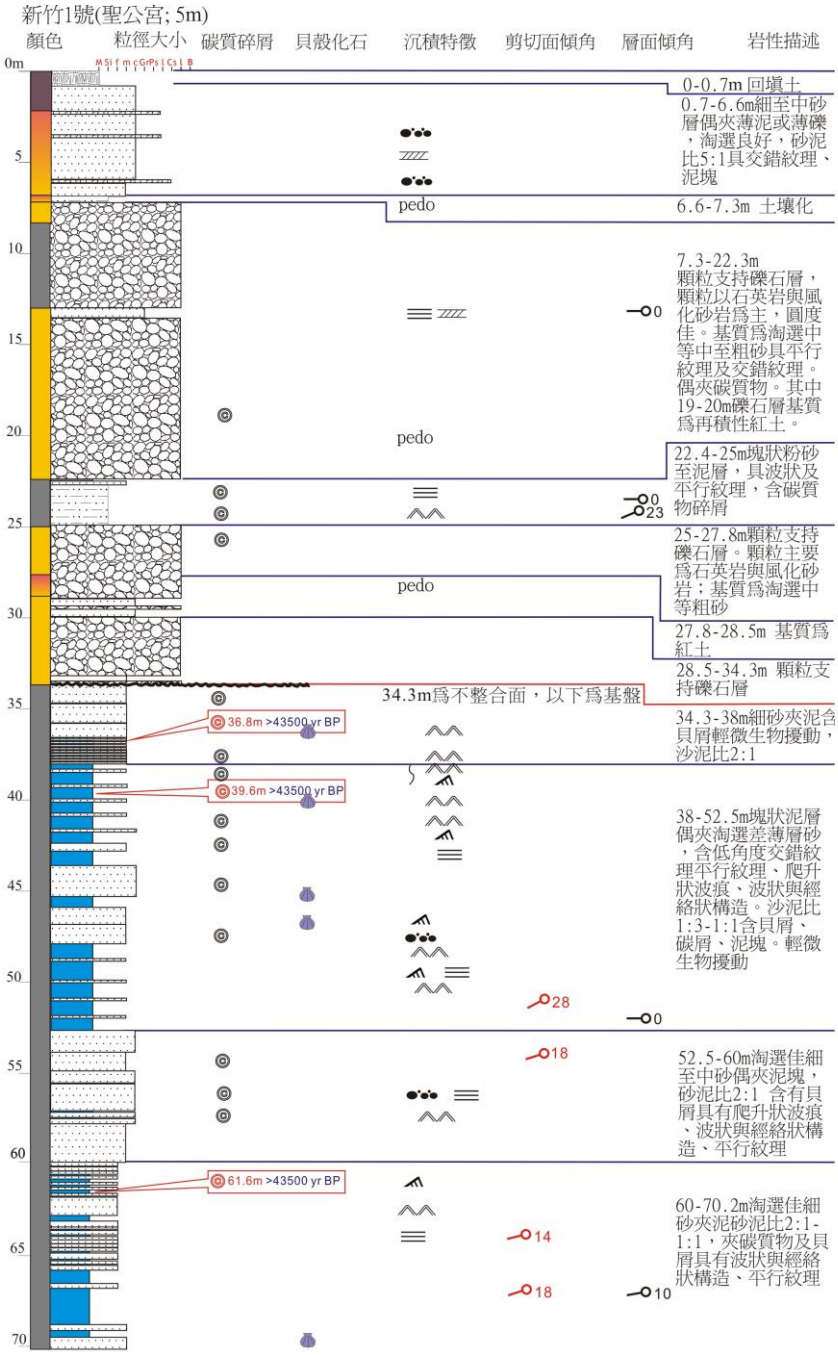


圖 3-2、新竹 1 號井岩芯地層柱。

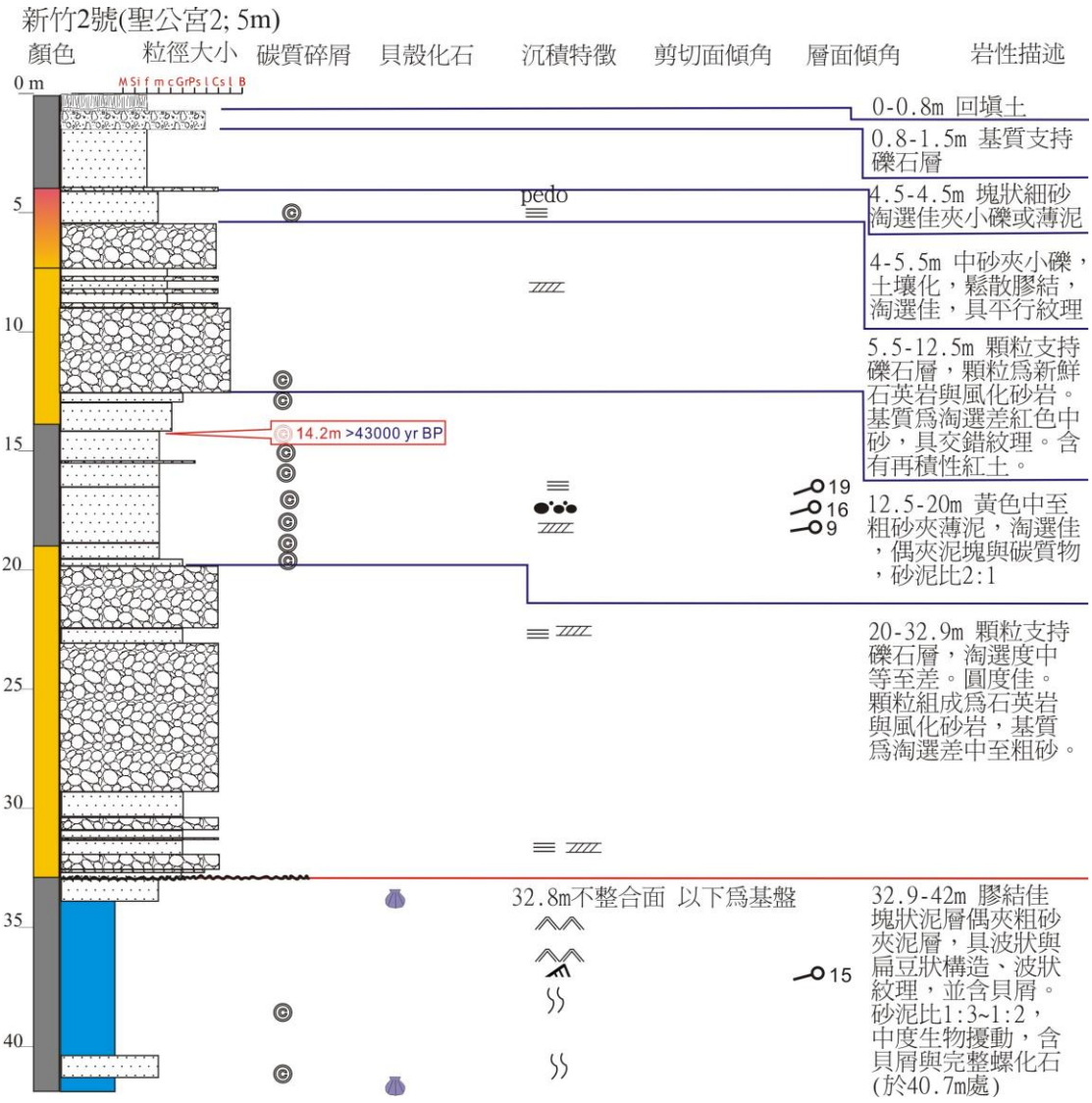


圖 3-3、新竹 2 號井岩芯地層柱。

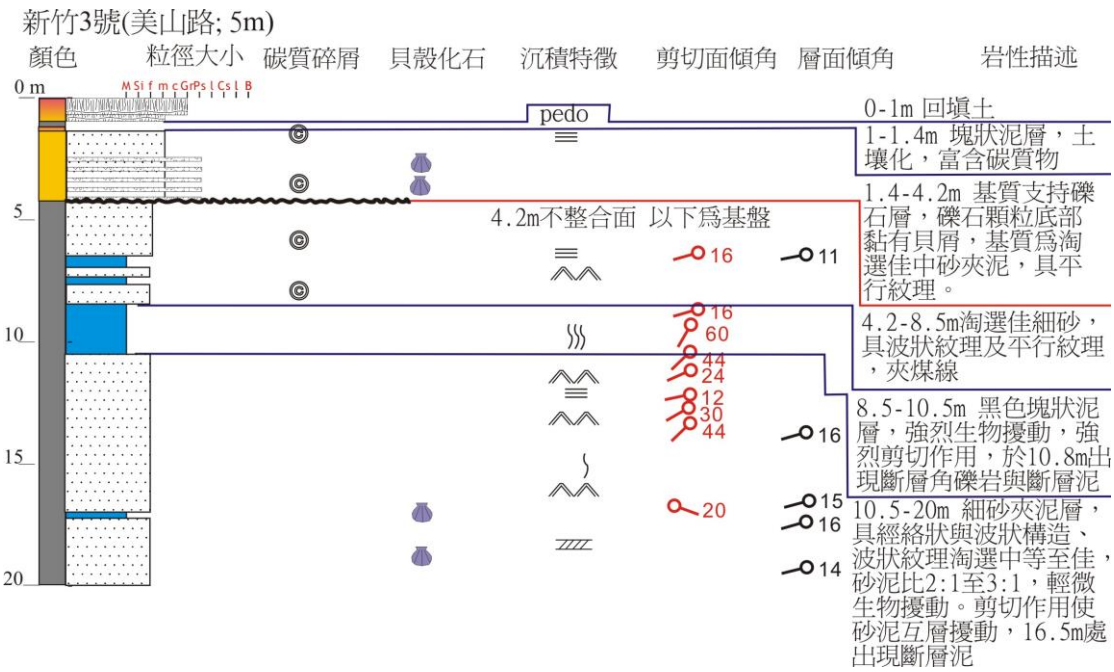


圖 3-4、新竹 3 號井岩芯地層柱。

3-2-4、新竹 4 號（頂寮）

本井位於頂寮聚落北側、台 61 線濱海公路北側路邊，約於美山聯絡道南側 250 公尺處（圖 3-1）。深度 20 公尺，分為楊梅層與全新世海侵堆積層（圖 3-5）。楊梅層深度位於 2.6 公尺以下，由傾斜 7-24° 的砂岩與泥岩互層組成，層理發達，具有交錯層理、波紋、漣紋、貝殼與植物碎屑，局部具有生物擾動。有 4 處剪切面，傾角 15-56°，以 25-36° 為主，也有水平剪切面（圖 3-5）。

地表回填土深度達 1.4 公尺，回填土以下至基盤之間屬於全新世海侵堆積層，岩性為含有中粗礫之灰色細礫礫石層，礫石層為基質支持結構、淘選度中等，含有珊瑚礫石與貝殼碎屑，具有牡蠣表覆於部分礫石之上，屬於潮間帶河道的礫質堆積物。2.5 公尺處珊瑚塊的 ^{14}C 定年為 6450-6230 yr BP，而貝殼碎屑的 ^{14}C 定年為 4780-4410 yr BP；研判較老的珊瑚屬於再堆積的碎塊，估算變動速率時以貝殼碎屑年代為準。

3-2-5、新竹 5 號（靈德宮）

本井位於頂寮聚落中心，鄰近台 61 線濱海公路北側路邊，距離新竹 4 號約 200 公尺處（圖 3-1）。深度 50 公尺，分為楊梅層與全新世海侵堆積層（圖 3-6）。楊梅層深度位於 3.5 公尺以下，由傾斜約 20° 之中細砂岩與泥岩互層組成，層理

發達，具交錯層理、波紋、漣紋、貝殼與植物碎屑，局部具有生物擾動。基盤岩層於 24.2 公尺有一剪切面，傾角約 6°（圖 3-6）。

地表回填土深度達 1.8 公尺，回填土以下至基盤之間（3.5 公尺至 1.8 公尺）為全新世灰色沈積層，岩性從下到上為中礫礫石層與中粒砂層。礫石以變質砂岩與石英砂岩為主。砂層淘選度良好，含有細礫與貝殼碎屑，屬於潮間帶河道的礫質沉積物。2.4 公尺處焦碳的 ^{14}C 定年為 520-330 yr BP。

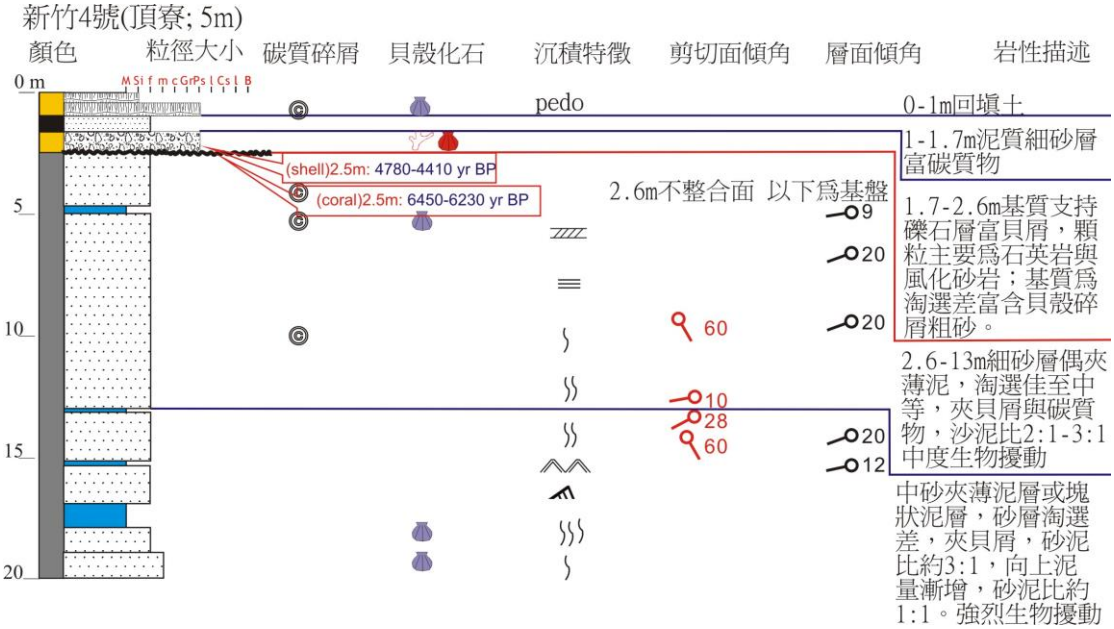


圖 3-5、新竹 4 號井岩芯地層柱。

3-2-6、新竹 6 號（萬厝）

本井位於萬厝聚落中心（圖 3-1），深度 35 公尺，地層分為楊梅層、晚期更新世河流相礫石層與全新世海侵堆積層（圖 3-7）。楊梅層深度位於 29.3 公尺以下，由層面傾斜約 7° 的中細砂岩與礫岩層組成，層理發達，具有平行層理、波紋。晚期更新世河流相礫石層，間夾厚層砂層，深度位於 29.3 至 7 公尺，8.5 公尺至 7 公尺為具有風化的斑駁狀構造；14.2 公尺砂層中焦炭的 ^{14}C 定年為老於 50000 年。全新世海侵堆積層深度位於 1.6 至 7 公尺之間，岩性為細粒砂層夾薄層礫石，含生物碎屑，屬於潮間帶環境；5.3 公尺處焦炭的 ^{14}C 定年為 5290-4480 yr BP。井中深度 1.6 公尺以上為回填土。

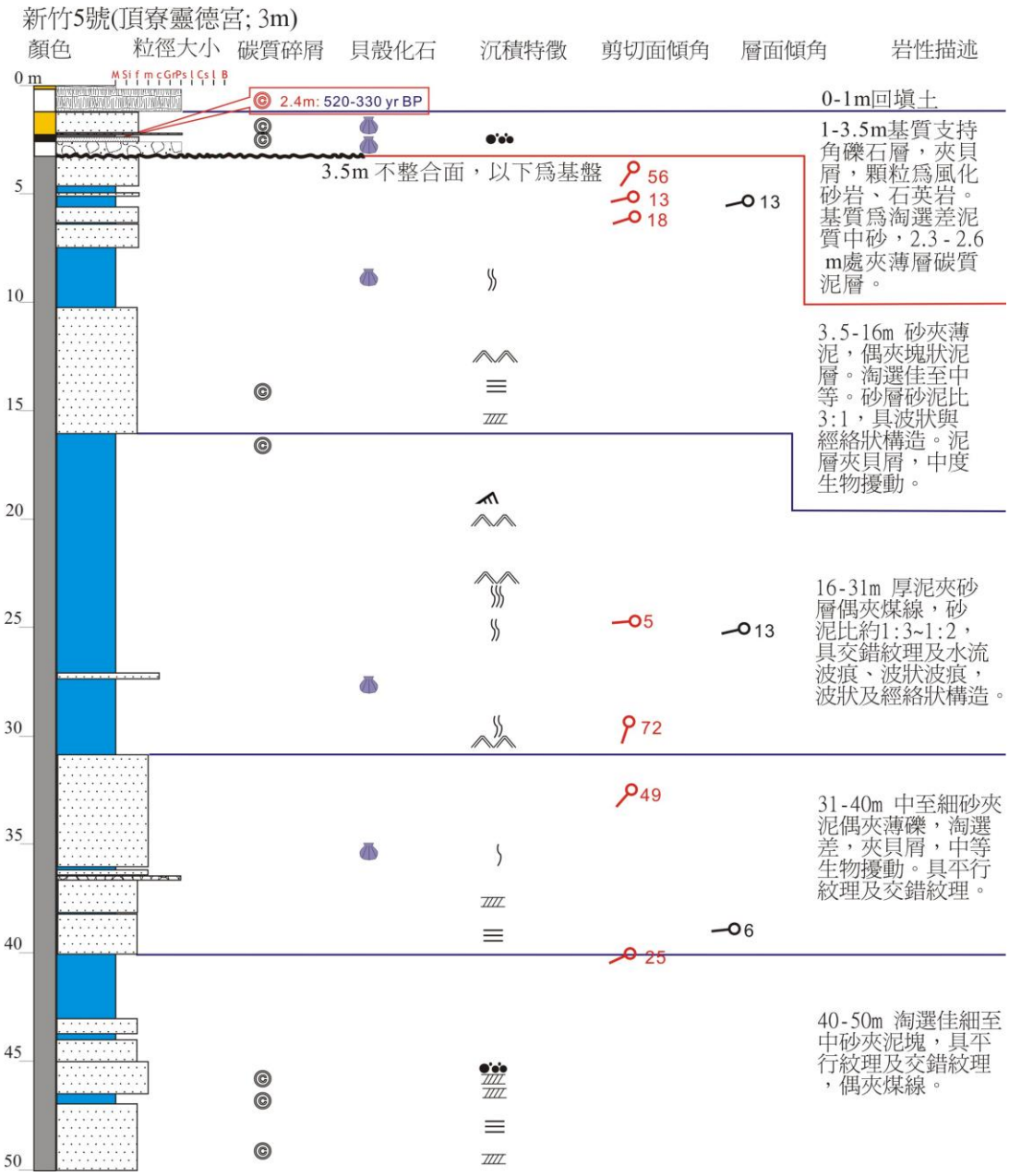


圖 3-6、新竹 5 號井岩芯地層柱。

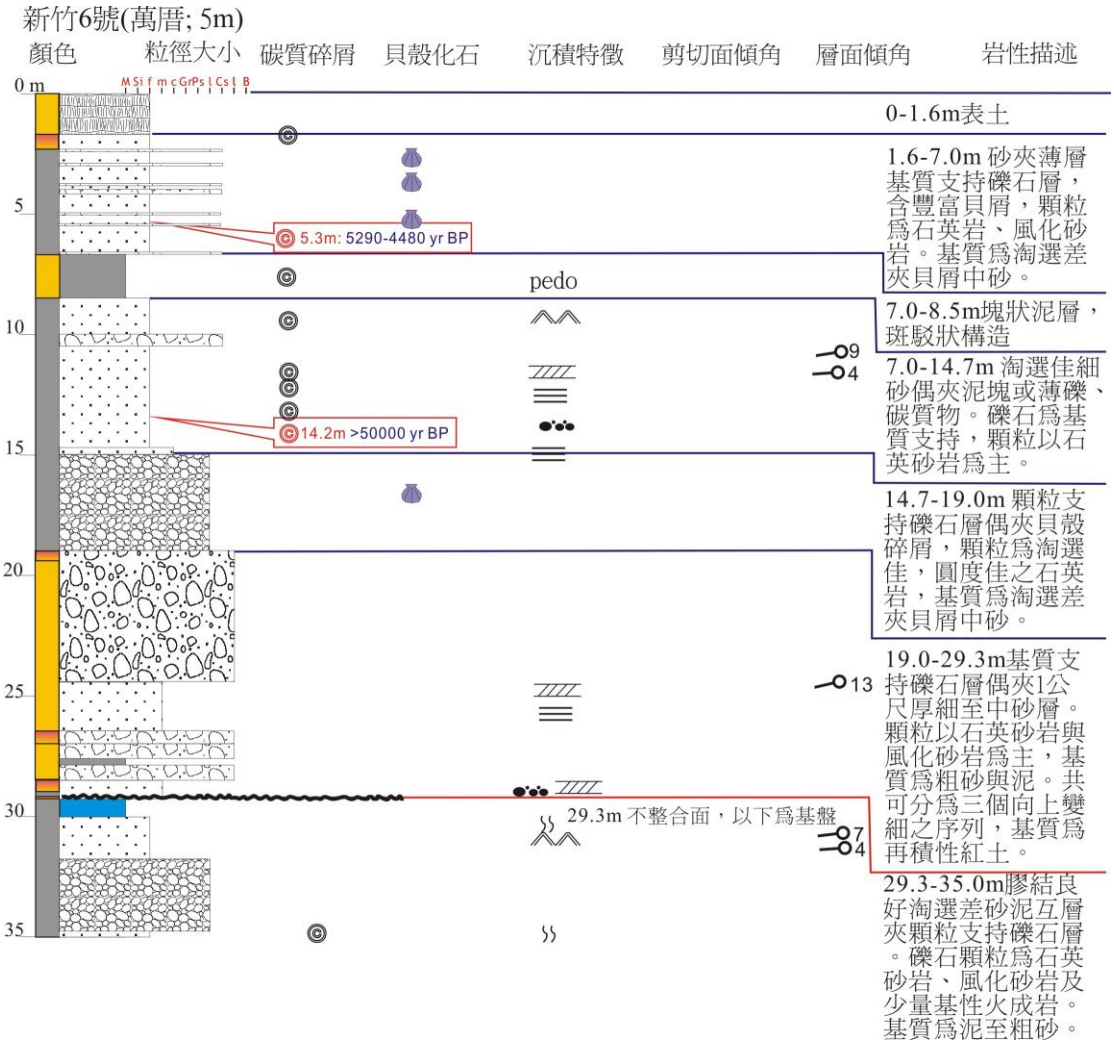


圖 3-7、新竹 6 號井岩芯地層柱。

3-2-7、新竹 7 號（吳先生廟）

本井位於吳先生廟旁（圖 3-1），鑽井深度 50 公尺，地層分為楊梅層、晚期更新世河流相礫石層與全新世海相礫石層（圖 3-8）。

楊梅層深度位於 21.2 公尺以下，層面呈水平，岩性以砂岩為主，具有平行紋理、交錯層理與波紋，間夾頁岩，屬於潮間帶環境。井中深度 21.2 公尺至 1.8 公尺屬於晚期更新世的河流相砂層與礫石層，12.3 公尺處焦炭的 ^{14}C 定年為老於 43500 年。井中深度 1.8 公尺至 0.4 公尺為厚層礫石，屬於全新世海相礫石層。井中深度 0.4 公尺以上為回填土。

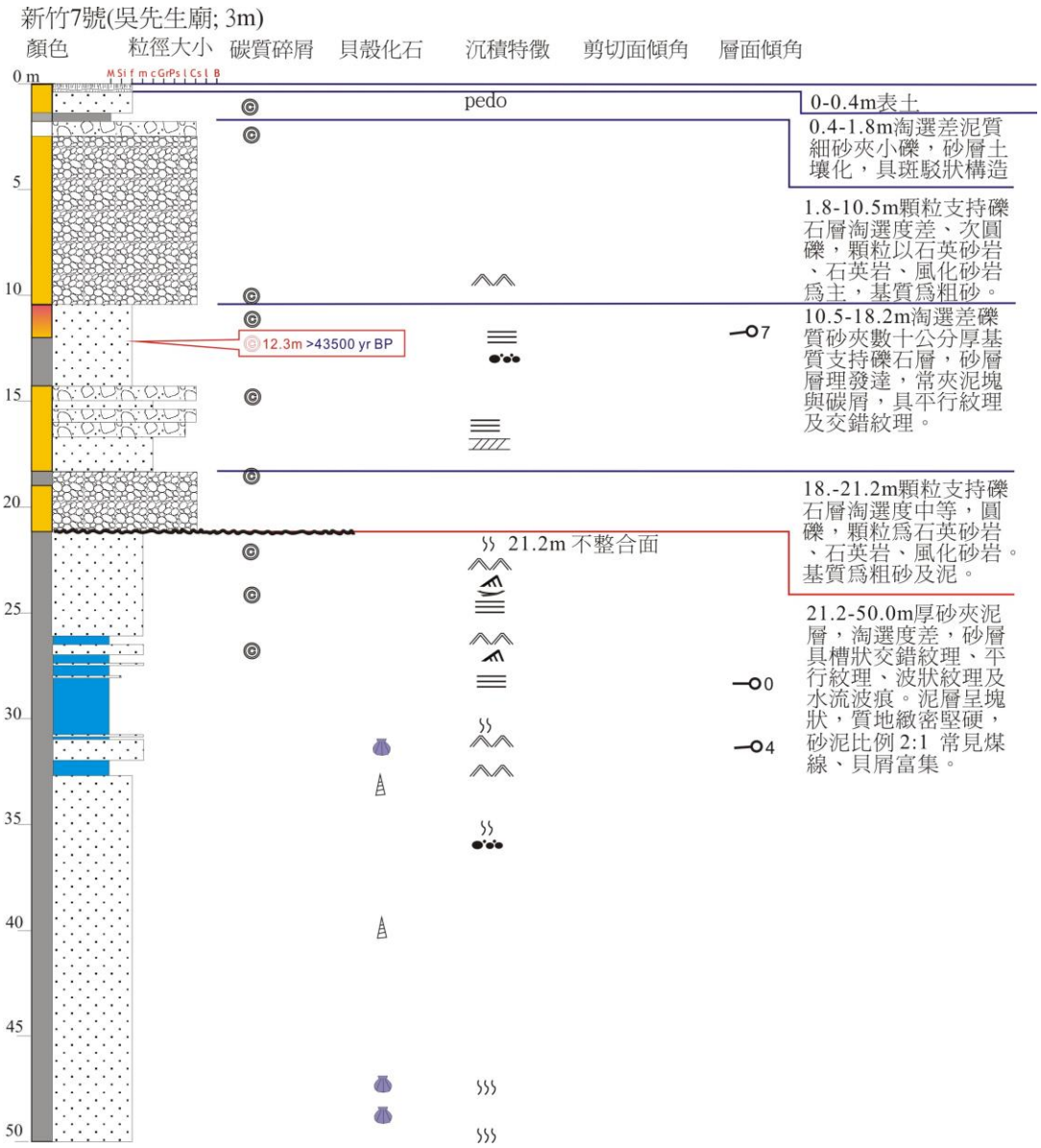


圖 3-8、新竹 7 號井岩芯地層柱。

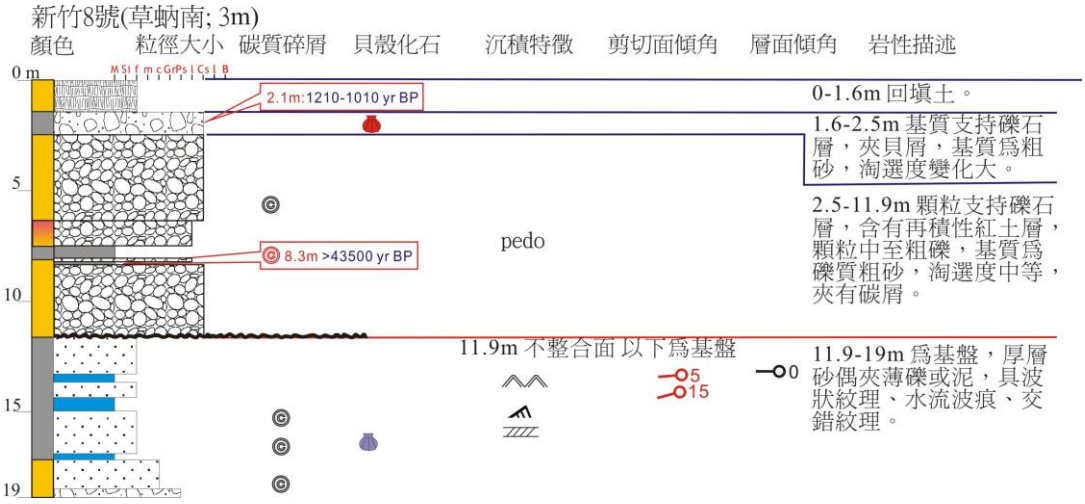


圖 3-9、新竹 8 號井岩芯地層柱。

3-2-8、新竹 8 號（草蚋南）

本井位於新竹 2 號正西南方約 250 公尺處（圖 3-1），總深度 19 公尺，可分為楊梅層與晚期更新世－全新世海侵堆積層（圖 3-9）。

楊梅層深度位於 11.9 公尺以下，由近乎水平之厚層細砂岩夾薄泥岩組成。砂岩層理發達，具有交錯層理、波紋、漣紋、貝殼與植物碎屑。泥岩呈塊狀，質地緻密堅硬，生物擾動發達。

晚期更新世－全新世海侵堆積層深度位於 11.9 公尺至 1.6 公尺，深度 11.9 公尺至 2.5 公尺屬於晚期更新世河流相礫石層，主要為厚層中粗礫黃棕色礫石層，也有厚層礫質砂層，夾有 10 公分厚的黃棕色土壤。礫石層礫石多為石英岩與風化砂岩，基質為黃棕色淘選度中等到不良的礫質粗砂或泥質砂。由礫石的岩性特徵，推測沈積物應來自香山丘陵紅土台地礫石層（店子湖層）或楊梅層的礫岩；8.3 公尺處焦炭的 ^{14}C 定年為老於 43500 年。深度 2.5-1.6 公尺屬於全新世海相沉積層，由淘選度不良，基質支持的灰色中粗礫礫石層組成，部分礫石有牡蠣表覆其上。頂部 20 公分為淘選不良的黑色含牡蠣泥質砂，屬於潮間帶環境；2.1 公尺處焦炭的 ^{14}C 定年為 1210-1010 yr BP。井中深度 1.6 公尺之上屬於回填土層。

3-3、岩芯對比

依據初步岩芯對比結果（圖 3-10），楊梅層於所有岩芯都有出露，只是在斷層兩側出露的深度有很大差異，斷層下盤（北側）的新竹 7 號、6 號、1 號與 2 號的出露深度各為 21.2 公尺（海拔-18.2 公尺）、29.3 公尺（海拔-24.3 公尺）、34.3 公尺（海拔-29.3 公尺）、32.9 公尺（海拔-27.9 公尺）；斷層上盤（南側）的新竹 8 號、3 號、4 號與 5 號的出露深度各為 11.9 公尺（海拔-8.9 公尺）、1.4 公尺（海拔-3.6 公尺）、1.7 公尺（海拔-3.3 公尺）、3.5 公尺（海拔 0.5 公尺）。岩盤（楊梅層）深度在斷層兩側新竹 8 號與新竹 2 號井的垂直落差為 19 公尺。

晚期更新世的河相礫石層於多處岩心都有出露，斷層下盤（北側）的新竹 7 號、6 號、1 號與 2 號的出露深度各為 1.8 公尺（海拔 1.2 公尺）、7 公尺（海拔 -2 公尺）、6.6 公尺（海拔-1.6 公尺）、4.5 公尺（海拔-0.5 公尺）；斷層上盤（南側）的新竹 8 號的出露深度為 2.5 公尺（海拔 0.5 公尺）。斷層兩側的晚期更新世河相礫石層頂面高差不大，但是斷層兩側厚度相差 18.1 公尺，上盤新竹 8 號

井厚度僅有 10.3 公尺。新竹 3 號、4 號與 5 號井則沒有晚期更新世的河相礫石層堆積，原因是晚期更新世河相礫石層分布在新竹丘陵的頂部，晚期更新世以來受到新竹斷層活動已被隆起形成紅土階地。雖然新竹丘陵頂部形成數階的紅土階地，堆積時代略有差異（都老於 50000 yr），而斷層下盤的全新世陸相與海相沖積層之下的晚期更新世的礫石層如何對比至斷層上盤的紅土階地，是有待這些地層年代確定之後，才能有效的對比。

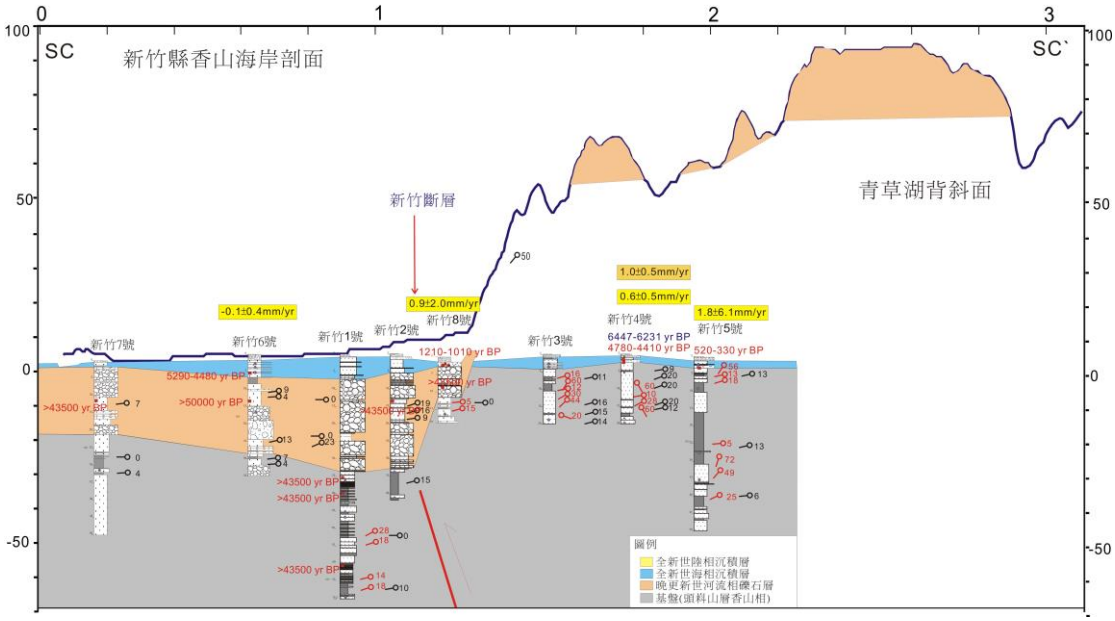


圖 3-10、新竹縣香山海岸鑽井剖面圖。

3-4、斷層活動性

由鑽井岩芯紀錄的岩層高度差異以及各地層的分布，可以確定新竹斷層應通過新竹 2 號井與 8 號井之間（圖 3-10）。從 8 口井的資料分析，只有下盤新竹 6 號井，以及上盤新竹 4 號、5 號、8 號井的全新世海相地層中具有焦炭、貝殼，與珊瑚碎屑作 ^{14}C 定年，提供估算地殼的變動速率。下盤新竹 6 號井估算的變動速率為-0.1±0.4 mm/yr；上盤新竹 4 號、5 號、8 號井的變動速率分別為 0.6±0.5 mm/yr（1.0±0.5 mm/yr）、1.8±6.1 mm/yr、0.9±2.0 mm/yr（圖 3-10，3-11）。新竹 4 號有兩個定年資料，這兩標本都採自同一深度，較老的珊瑚標本應代表再堆

積的標本，所以不採用此標本的年代資料。從斷層兩側的變動速率分析，顯示兩側地殼的垂直變動速率都不大，似乎無法明顯表示是否屬於抬升或沉降的構造環境；若欲由此資料作解釋，上盤區域的垂直變動速率為≒1 mm/yr，下盤大約沒有變動或略微沈降，斷層的垂直錯移速率推估為≒1 mm/yr 或略小。

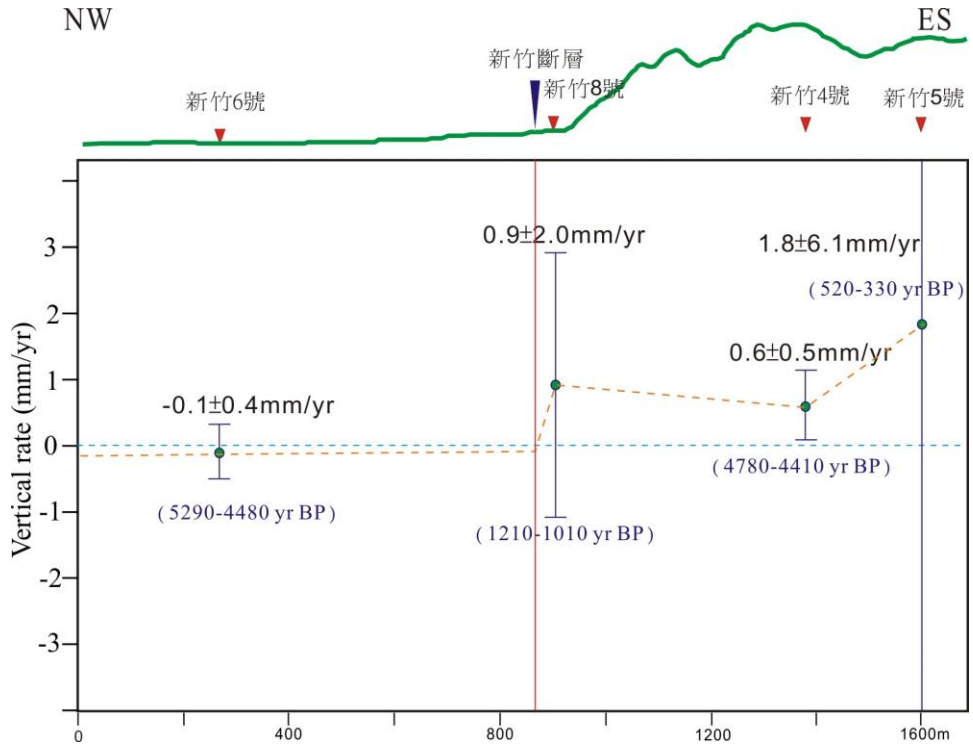


圖 3-11、新竹斷層兩側各鑽井地點平均垂直變動速率。

3-5、結論

由新竹縣香山海岸 8 口鑽井岩心以及定年資料分析，更新世楊梅層在新竹 2 號井與新竹 8 號井之間高程落差為 19 公尺，以及晚期更新世陸相礫石層的厚度變化，顯示新竹斷層應經過兩井之間。另外，斷層兩側估算的垂直變動有些微的差異，下盤略顯沈降作用為-0.1±0.4 mm/yr，上盤則略顯抬升作用，約為 1mm/yr；斷層兩側相對的垂直錯移速率為≒1 mm/yr（圖 3-11）。

本研究將利用涵蓋新竹斷層與湖口斷層上下盤區域，獲得的長期垂直變動速率資料，探討橫跨這兩條斷層區域的構造特性。首先，為了解這兩條斷層的特性，本研究採用藍生傑（Namson, 1984）利用平衡剖面方法解釋的構造剖面，其認為

青草湖背斜構造是受到新竹斷層彎曲造成的褶皺，變形型態屬於斷層轉曲褶皺（fault-bend fold）（圖 3-12）。湖口斷層的鑽井區域，本研究參考的震測剖面資料引用自石瑞銓等（2009），原始資料來源為中油公司之海域測線，湖口背斜構造特性也是受到湖口斷層活動造成的褶皺，屬於斷層脫底斷層褶皺（detachment-fault folding，圖 3-12）。本研究從地表地質資料結合中油震測剖面，認為湖口背斜應從鳳岡丘陵地區繼續朝西南延伸至頭前溪沖積平原，乃至海域，背斜軸部大致位在頭前溪北岸（圖 3-12）。由本計畫進行海岸平原的鑽井研究，表示在新竹斷層的近斷層上盤區域呈現些微的抬升現象，為≒1 mm/yr 或略小；湖口斷層近斷層上盤區域也似乎呈現微抬升現象，但是至頭前溪河口附近（南寮國小井）似乎呈現較大的垂直變動速率（1.7±0.8 mm/yr），此區域正位於湖口背斜軸部附近（圖 3-13）。

從岩芯的海相沉積層與定年研究，顯示新竹斷層與湖口斷層在全新世以來還持續有活動性，但是相較台灣其他褶皺－逆衝斷層帶最前緣構造的活動性而言，本區域的長期垂直變動速率呈現較緩慢的速率，此結果應該與現今台灣造山帶擠壓的主應力方向以及各區域的應變量大小有關。從 GPS 與水準測量資料亦顯示此區域的水平（可能小於 1 mm/yr）與垂直（1.3-1.8 mm/yr）應變量屬於較小的區域（陳建良等，2008）（圖 3-13，3-14）。假若新竹－苗栗屬於震間變形量較小的區域，則長期地殼變動速率可能亦呈現較小的特性。本研究結果顯示新竹斷層與湖口斷層在全新世都具有活動性，應屬於第一類活動斷層。

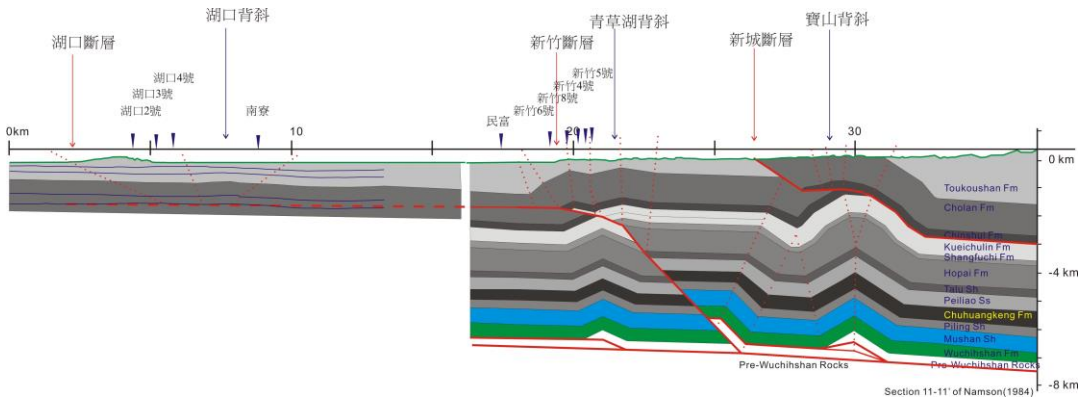


圖 3-12、新竹地區地質構造剖面，引用 Namson (1984)平衡剖面與石瑞銓等

（2009）。

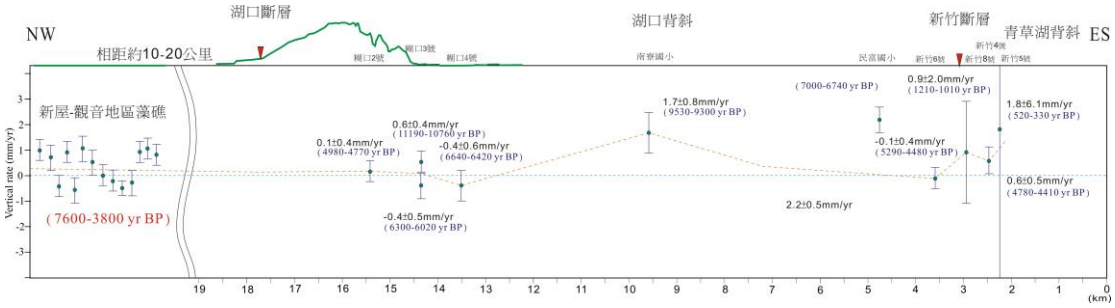


圖 3-13、鑽井地點與新屋－觀音全新世藻礁估算的平均垂直變動速率。

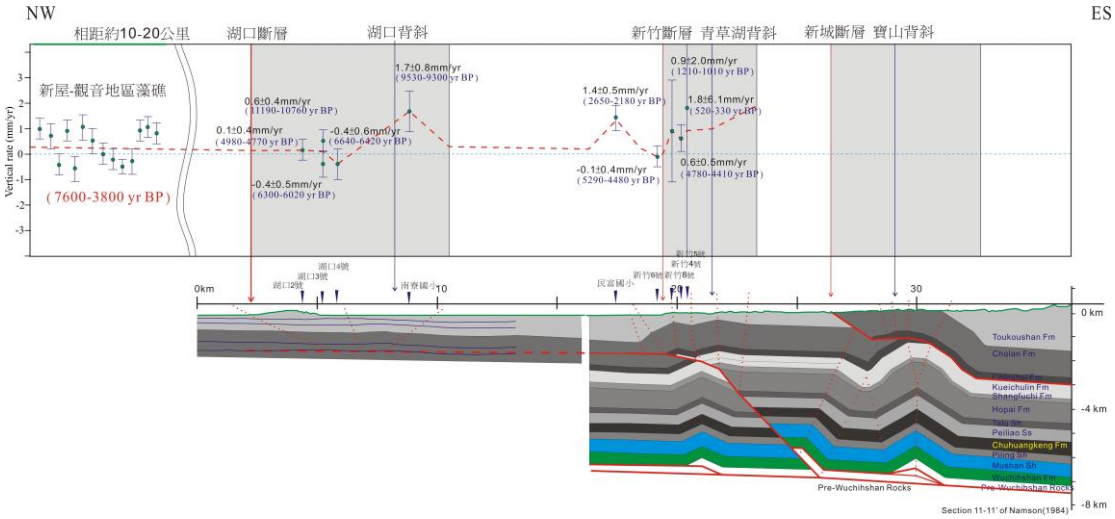


圖 3-14、新竹地區地下構造剖面與各構造區的地殼垂直變動速率。

參考文獻

石瑞銓、王維豪、李元希（2009）地震地質與地變動潛勢分析－斷層帶地下構造調查研究（3/4）。經濟部中央地質調查所報告第 98-11 號，共 137 頁。

陳建良、林啟文、侯進雄（2008）臺灣西北部桃竹苗地區地殼變形初步研究，經濟部中央地質調查所特刊。二十號，223-251 頁。

Namson, J. (1984) Structure of the Western Foothills Belt, Miaoli-Hsinchu area, Taiwan, (III) Northern Part, *Petrol. Geol. Taiwan*, 20, 35-52.

第四章、大尖山斷層之長期滑移速率與再現週期

4-1、前言

本計畫選取南投縣竹山鎮桶頭里桶頭橋清水溪北岸的河谷剖面進行量測，此剖面是大尖山斷層唯一出露最良好的地質剖面。此剖面的下盤岩層為頭嵙山層，上盤屬於桂竹林層，近斷層的桂竹林層上覆有全新世的河階礫石層，且部分河階受到斷層擾動，所以本計劃選取此剖面做地質調查。

4-2、地質剖面

本計畫選取南投縣竹山鎮桶頭里桶頭橋清水溪北岸的河谷剖面進行量測，此剖面主要包含林頂階地，西側則屬於現代沖積河流（圖 4-1），除了 921 集集地震斷層地表破裂帶切過林頂階地之階地崖之外，整個剖面揭露大尖山斷層的剪切帶（劉桓吉與李錦發，1998；李彥良，2001；盧詩丁等，2003）。

另外，本計畫也整理湖山水庫引水工程於桶頭橋鑽取之 DH-10 與 DH-20 地層柱（盧詩丁等，2003），以建立本剖面的地下地質構造（圖 4-1）。

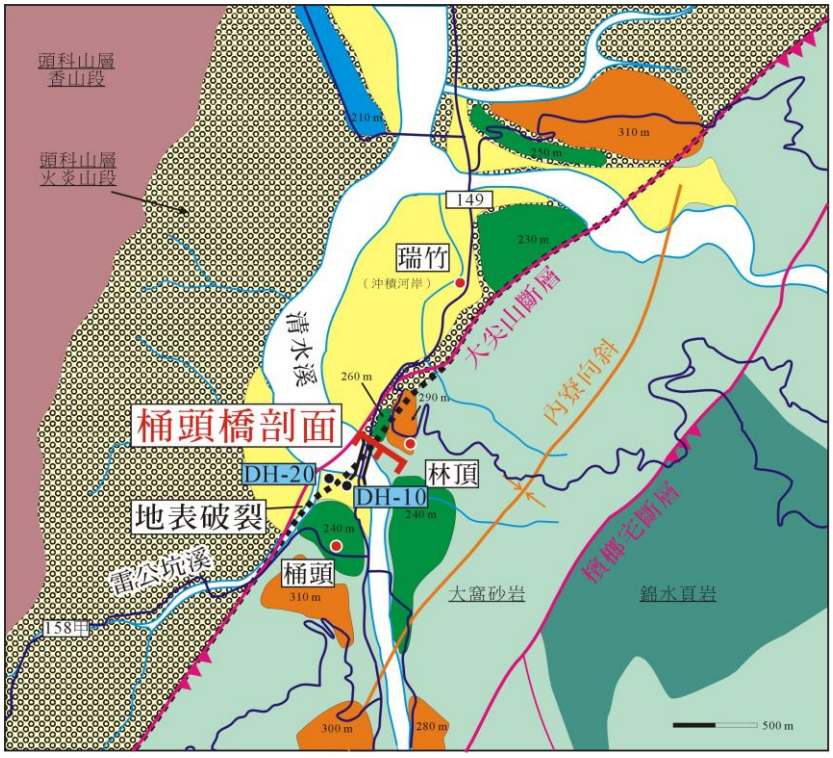


圖 4-1、南投竹山鎮瑞竹－桶頭地區地質圖。

4-3、桶頭橋露頭剖面

本剖面位於 149 號道路桶頭橋北端，約呈西北西－東南東走向，是由清水溪與其上游支流侵蝕形成的林頂階地與延伸至瑞竹的沖積河岸而成（圖 4-1）。林頂階地可再分為高位主階（第一階）與低位小階（第二階），高差約 30 公尺，第二階與河流高差亦約 30 公尺（圖 4-2A）。

儘管有斷層錯動，剖面頂部為近乎水平的階地礫石層與沖積層，不整合覆蓋在上新世大窩砂岩與更新世頭嵙山層火炎山段之上（圖 4-2B；李彥良，2001）。其中，屬於林頂階地的剖面是由大窩砂岩作為基盤，基盤向下延伸至剖面下方河中，屬於沖積河岸的剖面則是由頭嵙山層火炎山段作為基盤，因此從地層分層，大尖山斷層應通過沖積河岸東緣（桶頭橋）。

921 集集地震斷層的地表破裂帶切過桶頭橋北段基座，錯動大窩砂岩與林頂階地（張徽正，1999；林啟文等，2000；李錦發等，2000；盧詩丁等，2003），大約沿著大尖山斷層上盤的最西緣向北延伸（圖 4-1）。破裂帶向南切過清水溪南側沖積河岸與桶頭階地，沿著北東北－南西南走向的雷公坑溪延伸，溪谷西北與東南兩側分別是火炎山段與大窩砂岩，因此在桶頭橋以南，集集地震斷層仍沿著大尖山斷層延伸。

本剖面出露許多剪切帶，僅林頂階地部份即曾觀察到 9 處剪切帶（圖 4-2B；李彥良，2001）。雖然現今剖面受到侵蝕與植被影響，本研究仍可觀察到這些剪切帶，另外也記錄了 921 集集地震斷層的剪切帶，以及位於林頂台地東緣的小規模向斜（圖 4-2C，Syncline 01）。絕大多數剪切帶具有高角度的剪切面（傾角 60°-90°）、破裂面與逆斷層（剪切帶 6 與 8），走向為北東北至北西北。在階地之間，以及階地與河岸之間的二個斜坡中，都有伴隨的剪切帶與逆衝錯移現象，前者為剪切帶 6 與 7，後者則為剪切帶 1 與 2。

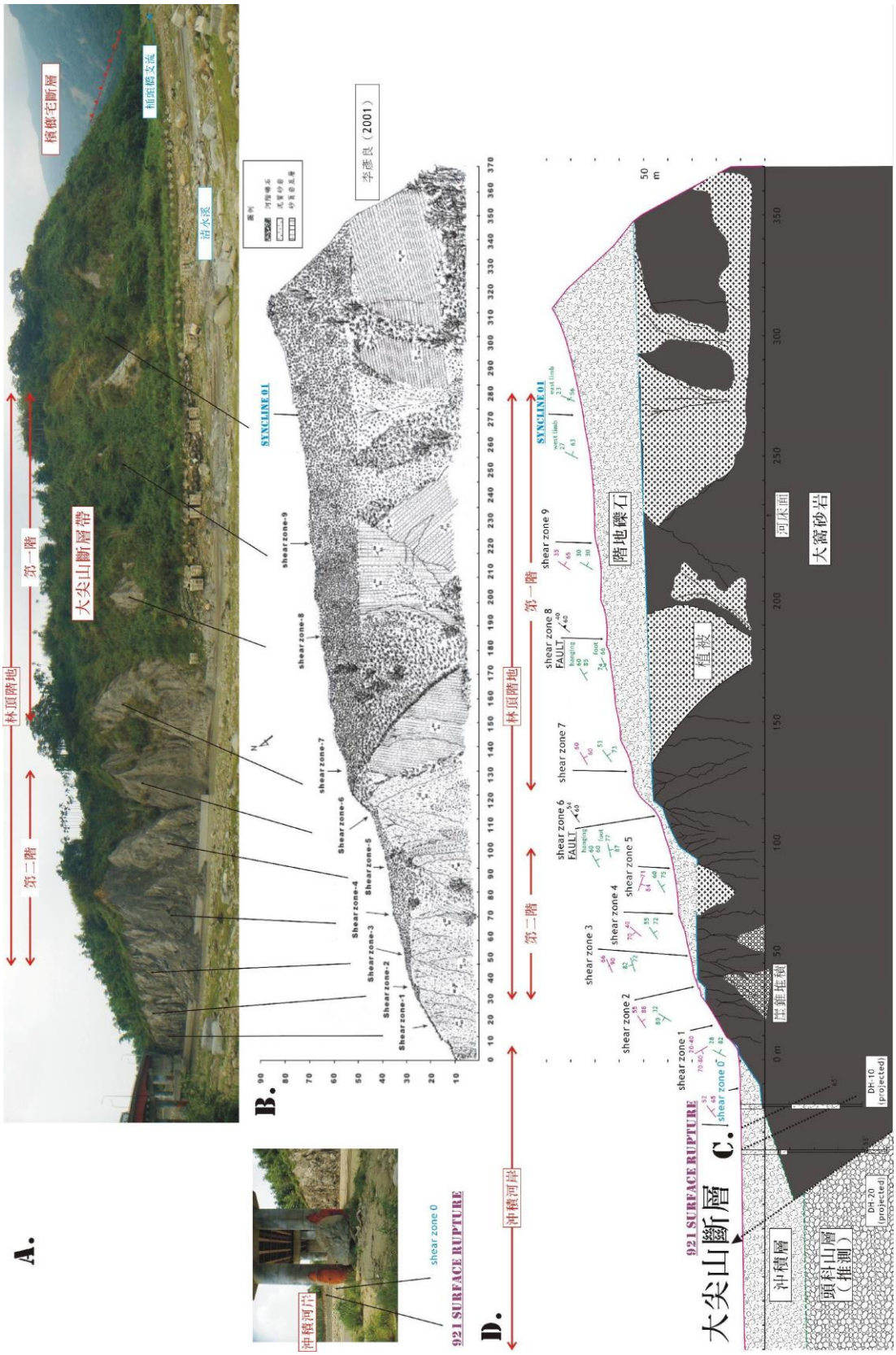


圖 4-2、桶頭橋剖面：（A）2010 年 5 月照片剖面；（B）剖面素描（李彥良，2001）；（C）地質剖面（鑽井資料修改自盧詩丁等，2003）。

4-3-1、桶頭橋地下地質資料

湖山水庫引水工程的 DH-10 與 DH-20 井位於桶頭橋南端西側河岸，分別鑽穿 921 集集地震斷層地表破裂帶上下盤，相距約 30 公尺，地表破裂位於二井之間，水平右移約 40 公分，垂直落差約 10 公分，走向北 44° 東（圖 4-2C；盧詩丁等，2003）。

DH-10 井總深度 50 公尺，礫石層自地表以下厚達 12.7 公尺，不整合覆蓋在大窩砂岩之上（盧詩丁等，2003）。在 24.55 公尺以下為礫岩（火炎山段或紅土礫石層？），其上大窩砂岩以斷層接觸，傾角約 60°，與露頭剖面剪切帶傾角相近（圖 4-2C，shear zone 0）。45.4 公尺位置，此一礫石再次與大窩砂岩呈斷層接觸，傾角約 65°。

DH-20 井總深度 60 公尺，礫石層自地表以下厚達 15.1 公尺，不整合覆蓋在大窩砂岩之上（盧詩丁等，2003）。大窩砂岩在 15.45 公尺處逆衝至近乎水平的沖積層之上，斷面傾角約 45°，此沖積層於 16 公尺深不整合在傾斜約 50° 的風化礫岩（火炎山段或紅土礫石層？）之上，不整合面上被傾斜約 60° 斷層切過。此一礫岩於 18.95 公尺深不整合於大窩砂岩之上，而後者於 50.7 公尺處逆衝至火炎山段礫岩之上，傾角約 55°，剪切帶從 51.3 公尺至 51.6 公尺。

4-3-2、桶頭橋地質剖面

基於地下地質剪切面與露頭 shear zone 0 具有相近的位態，將二口鑽井地層投影到露頭剖面，建立了桶頭橋地質剖面（圖 4-2C）。

首先，依據桶頭橋北端地表破裂位置，其東側沖積層厚度（已出露於河岸剖面），推斷 DH-10 井之投影位置，之後再以地表破裂帶西側對稱距離作為 DH-20 井的投影，最後依據 DH-20 井 51.6 公尺深為大尖山斷層。若沿著 55° 傾角向地表延伸，大尖山斷層在桶頭橋北岸的地表位置可能於 921 集集地震斷層地表破裂位置以西約 40 公尺處。

從剖面來看，林頂高低位階地的階地礫石與河岸沖積層都已經受到錯動，因此就研判長期滑動速率與再現週期來說，基盤不整合面之上的沈積物年代扮演關鍵角色。

4-4、槽溝剖面

4-4-1 槽溝附近地形

大尖山斷層槽溝挖掘研究地點位於南投縣竹山鎮桶頭里鯉南路的桶頭橋南岸西側的空地（二度分帶座標：290007，2607542），此地點為清水溪形成的河階地，槽溝位在主流舊行水區內的低位階地面上。921 地震時 921 地震斷層於此處造成桶頭橋斷裂、地表隆起變形約 30 公分，以及排水溝破裂，垂直錯移約 50 公分等破壞現象，然如今現地觀察僅餘排水溝破裂現象仍明顯可查，地表隆起現象位置已不可明確判識。因此，槽溝挖掘位置以 921 地震地表破壞分布圖（盧詩丁等人，2003 未發表）做為參考，選定於本處空地西側進行開挖（圖 4-3）。

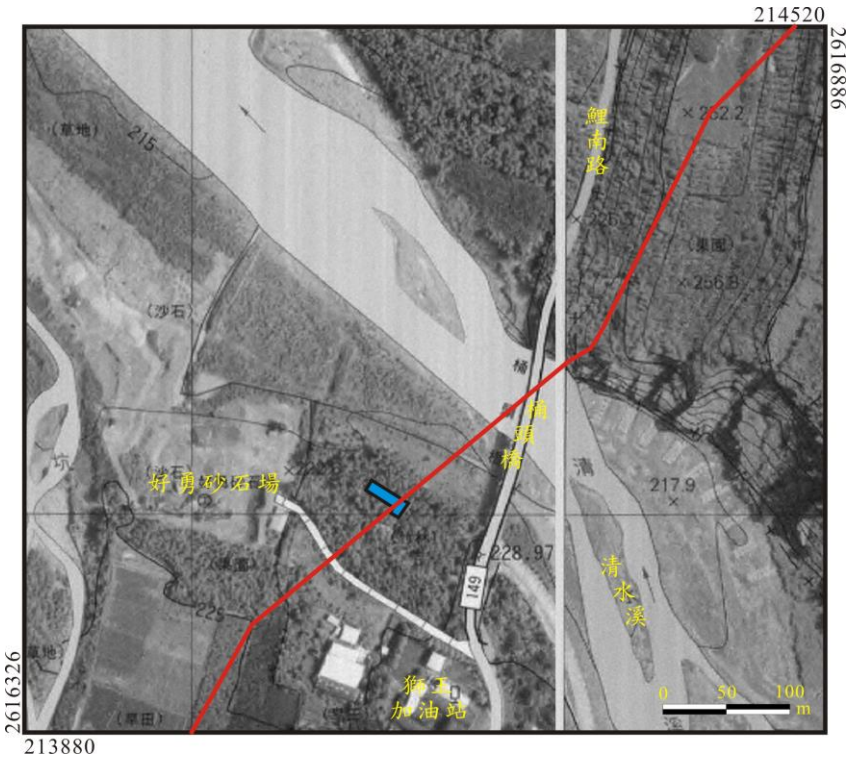


圖4-3、大尖山斷層槽溝挖掘位置圖。藍色塊為槽溝位置，紅線為921地震斷層跡。

4-4-2 槽溝剖面地層

桶頭橋槽溝北牆、南牆剖面出露地層分佈相似，由上至下可分為O耕作土層、G1礫石層、SG1砂礫層、G2礫石層，地層描述如下：

O耕作土層：棕灰色現代土層，平均厚度約為50公分，薄處約為20公分，最厚可達約90公分，沉積物以細砂與泥為主，偶夾有次圓形礫石，礫石粒徑約數公分到30公分，本層遭人為耕作翻動。

G1礫石層：細砂、泥及礫石所組成，礫石具有顆粒支持結構，厚度約30至100公分，礫石直徑從數公分至數十公分，礫石圓粒度次佳，淘選度次佳，上覆O耕作土層。於本層底部可見到有塑膠繩及輪胎內胎破片，本層應為921地震之前的現代沉積層。

SG1砂礫層：本層以礫石層為主，夾有幾處透鏡狀砂泥層，厚度約30-120公分，遭上覆G1截切。砂泥層部分呈現黃棕色，有輕微土壤化現象，砂中可見交錯紋理或平行紋理。礫石層屬於顆粒支持結構，礫石直徑以數公分至十數公分為主，偶有數十公分直徑的礫石，礫石圓粒度次佳，淘選度佳。

G2礫石層：細砂及礫石所組成，厚度約50-150公分，遭上覆SG1截切。礫石層屬於顆粒支持結構，礫石直徑以數公分至十數公分為主，夾有多量直徑數十公分的礫石(最大可達約100公分)，礫石圓粒度次佳，淘選度佳。

4-4-3 構造

槽溝的南北牆剖面（圖 4-4，4-5）並未發現地層有遭構造變動情形，仍維持水平沈積的形態，溝中並未發現有斷層出現。由於此槽溝場址是利用地質調查所 921 地震後現地以 GPS 定位的定位資料為基準選定，本研究並由野外調查也發現鄰近地點有局部人造物的破壞。本研究認為是否斷層跡在此有轉彎，造成選定槽溝的位置有誤。

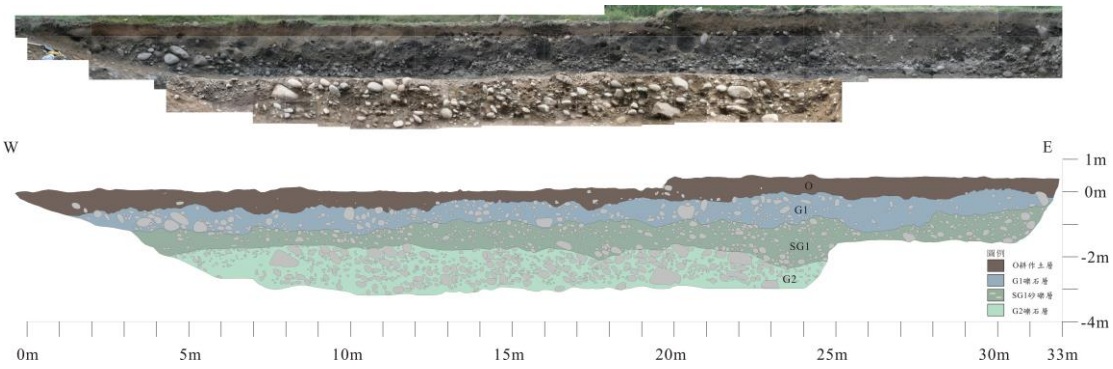


圖 4-4、桶頭橋槽溝北牆剖面。

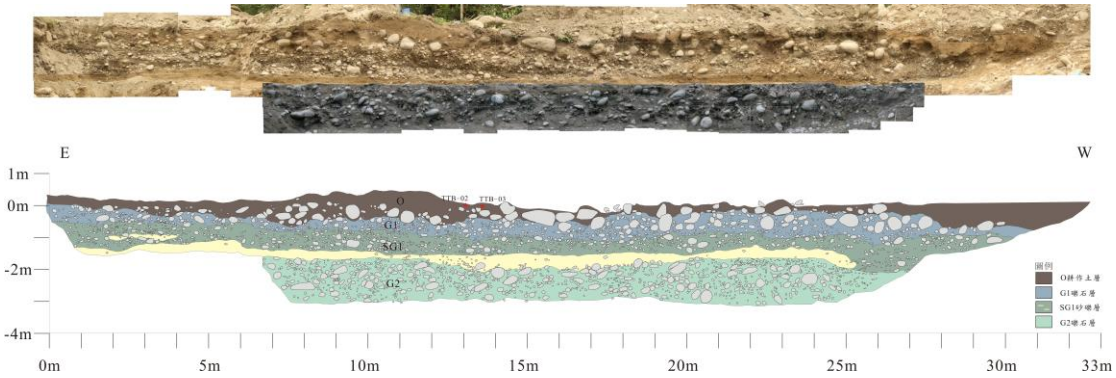


圖 4-5、桶頭橋槽溝南牆剖面。

參考文獻

塗明寬、陳文政（2001）五萬分之一臺灣地質圖及說明書－中壢。

衣德成、林慶偉（2004）斷層帶組構特性之研究─以大尖山斷層的桶頭及加走寮溪剖面，經濟部中央地質調查所特刊，15 號，53-67 頁。

劉桓吉（1989）五萬分之一臺灣地質圖及說明書－新竹。

衣德成、陳建良、林偉雄、林啟文，2004，湖口斷層，經濟部中央地質調查所施政計畫報告。

劉桓吉、李錦發（1998）五萬分之一臺灣地質圖及說明書－雲林。

李彥良，2001，921 集集地震地震斷層研究，國立成功大學碩士論文，共 101 頁。

盧詩丁、林啟文、劉彥求、石同生、林燕慧、林偉雄（2003）大尖山斷層，經濟部中央地質調查所施政計畫報告。

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

李錦發、林朝宗、賴典章、劉昭宏（2000）集集大地震地表破裂隙機制之探討，經濟部中央地質調查所特刊，12 號，155-169 頁。

張徽正（1999）九二一臺灣中部地震地質調查，鑛冶，43 卷，4 期，9-15 頁。

第五章、恆春斷層之長期滑移速率與再現週期

5-1、前言

恆春半島位在中央山脈最南端，地體構造環境可視為中央山脈的雛型，之前被認為是由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）。從恆春半島南側海域反射震測顯示恆春半島向南延伸至巴士海峽，海域中形成一條南北走向山脊，山脊西側為一系列斷層面朝東，向西逆衝的逆斷層，山脊東側為向東逆斷的斷層。這一系列疊瓦狀向東與向西的逆斷層構成的隱沒帶前緣的增積岩體，此地體構造呈現今日台灣造山帶最南端的結構，也可能代表西部褶皺-逆衝斷層帶的大地構造雛型（Yu and Lu, 1995）。

恆春半島構造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，其中以恆春斷層是最主要的斷層，為中央山脈（中新世）與西部麓山帶（上-更新世）的界線斷層（圖 5-1）。

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；恆春斷層東側屬於中央山脈。過去數十年來恆春地區的地質調查，從未有文獻記載恆春斷層的地表露頭，以往都由地形以及兩側岩層差異作為界定與劃分斷層的依據，並推測斷層位置鄰近於山麓與平原的交會處，因此至今斷層近地表位置尚屬推測。本計畫目的期望由地表地形以及鑽井調查，重新詳察來更確定恆春斷層的位置與特性。雖然恆春斷層位置尚屬推測，但依照地形特徵以及地層的分布，斷層走向約為北西 20°，與上盤中央山脈的構造線走向大致呈 50-60° 斜交。本調查區域範圍選擇四重溪的統埔與南灣的核三廠，進行地質鑽探以及利用排鑽方式，來確定斷層位置。

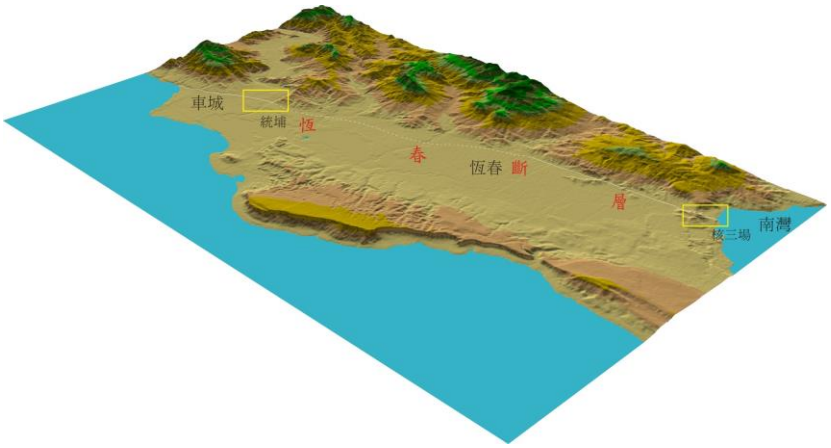


圖 5-1、四重溪與核三場址位置圖。



圖 5-2、四重溪的統埔鑽井場址。

5-2、四重溪場址鑽井岩芯

本計畫在車城鄉統埔地區沿四重溪河岸進行地質鑽探，共鑽取四重溪 1 號至 4 號等 4 口井，此鑽井剖面走向與恆春斷層走向垂直（圖 5-2）。由地形研判恆春斷層應經過於統埔的三腳橋附近，因為三腳橋東側階地下方出露中新世石門層，所以判斷斷層應位於三腳橋的西側，因此四重溪 1 號選擇於三腳橋北岸東側進行。

5-2-1、四重溪 1 號井

四重溪 1 號井鑽取深度為 30 公尺深，深度 30-2.6 公尺岩芯具有強烈的剪切面構造，為璽丁層的斷層剪切帶（亦受到近期恆春斷層作用）。深度 2.6-0 公尺為礫石淘選度佳的河流相沉積層（圖 5-3）。



圖 5-3、四重溪 1 號井岩芯地層柱。

5-2-2、四重溪 2 號井

四重溪 2 號井鑽取深度為 30 公尺深，深度 30-4.2 公尺岩芯具有強烈的剪切面構造，為璽丁層的斷層剪切帶。深度 4.2-0 公尺為礫石淘選度佳的河流相沉積層（圖 5-4）。



圖 5-4、四重溪 2 號井岩芯地層柱。

5-2-3、四重溪 3 號井

四重溪 3 號井鑽取深度為 50 公尺深（圖 5-5），深度 50-15.8 公尺岩芯具有強烈的剪切面構造，為墾丁層的斷層剪切帶。深度 15.8-13.8 公尺為風化崩積層，發育土壤層。深度 13.8-7.2 公尺為含碳質與漂木的泥層，7.6-7.2 公尺含有塔螺，沈積環境屬於河口灣。深度 7.2-0 公尺為淘選度佳的礫石層，屬於河流相沉積層（圖 5-5）。

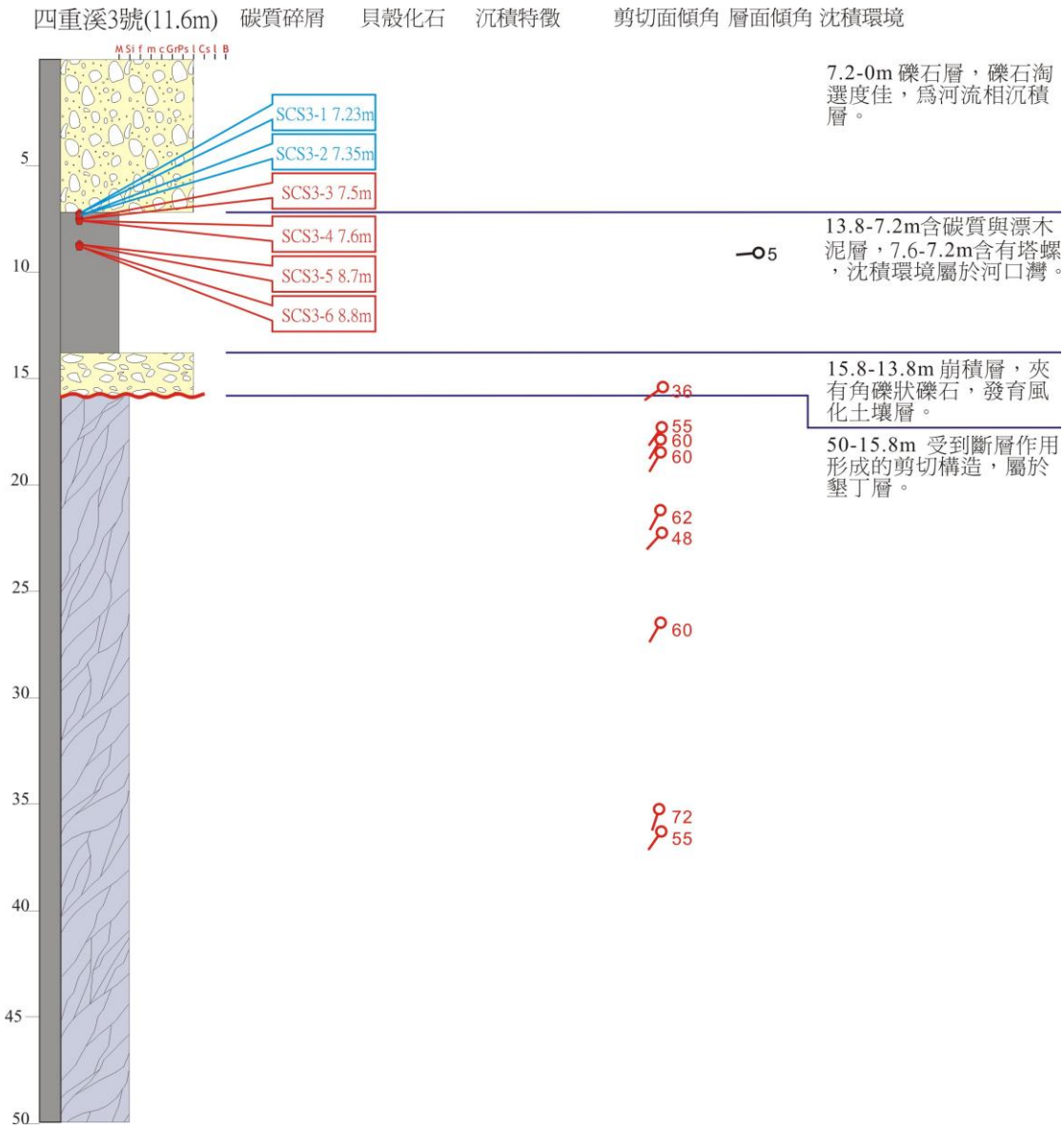


圖 5-5、四重溪 3 號井岩芯地層柱。

5-2-4、四重溪 4 號井

四重溪 4 號井鑽取深度為 60 公尺深（圖 5-6），深度 60-36.8 公尺岩芯具有強烈的剪切面構造，為墾丁層的斷層剪切帶。深度 36.8-36.3 公尺為風化崩積礫石層，深度 36.3-30.2 公尺為風化的土壤層。深度 30.2-11.1 公尺為含碳質與漂木的青灰色泥層，沈積環境屬於河口灣。深度 11.1-0 公尺為淘選度佳的礫石層，屬於河流相沉積層（圖 5-6）。

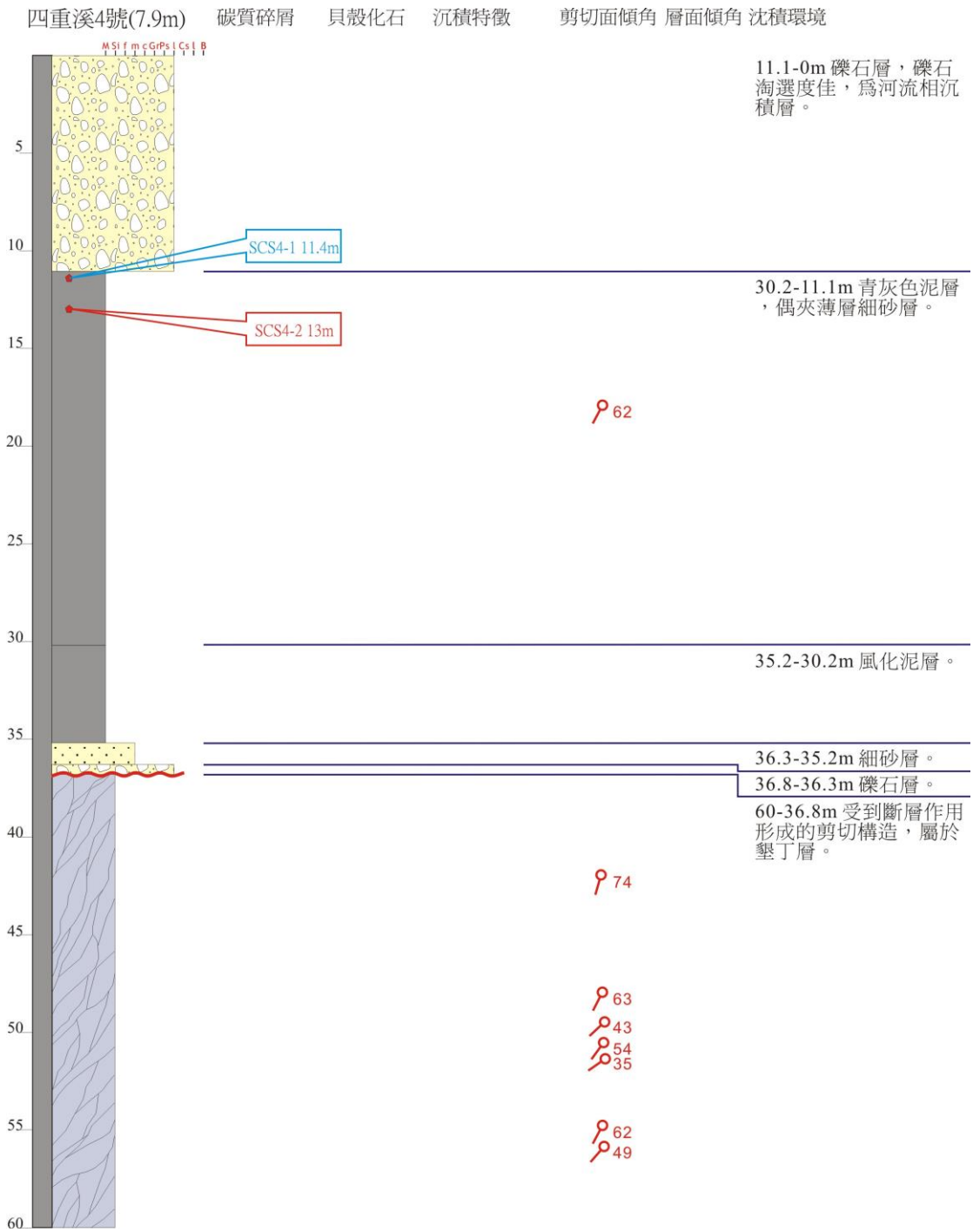


圖 5-6、四重溪 4 號井岩芯地層柱。

5-2-5、岩芯對比

四重溪統埔場址 4 口鑽井岩芯的地層可以分為四層，底部皆為墾丁層，墾丁層之上不整合沈積風化崩積層，之上再堆積泥層，風化崩積層與泥層僅出露在西側的四重溪 4 號與 3 號井，最上層為礫石層（圖 5-7）。目前尚無 ^{14}C 定年資料，

推測墾丁層以上的沉積層時代應屬於全新世。從 4 口鑽井的岩芯對比而言，於四重溪 2 號與 3 號井的岩性與地層深度皆有差異，風化崩積層與泥層僅分布於 3 號與 4 號井，而 3 號與 2 號井下墾丁層的落差有 11.5 公尺，2 號與 4 號井之間的落差有 36.7 公尺（圖 5-7）。本研究初期由線型崖的地形推測恆春斷層大致位於 2 號井附近，因此本研究推測斷層應位於 2 號與 3 號井之間。

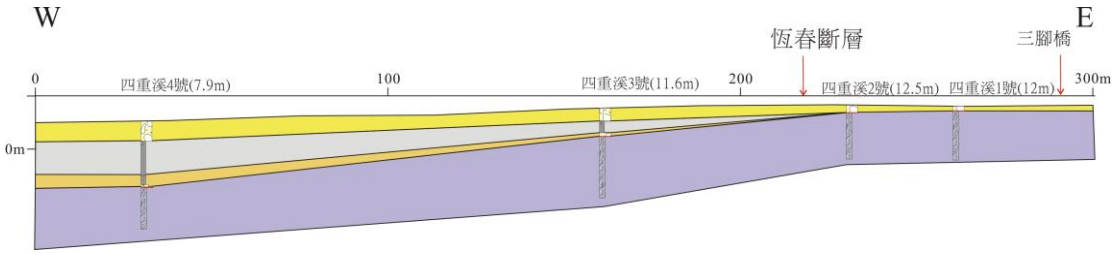


圖 5-7、四重溪場址鑽井剖面圖。

5-3、核三廠場址鑽井岩芯

核三廠場址共鑽取核三 1 號至 6 號等 6 口井，場址位於核三廠內馬鞍山南側的道路旁，接近南灣沿海的海階之上（圖 5-8）。



圖 5-8、核三場址鑽井位置圖。藍圈為鑽井位置，綠點為野外露頭點，藍線為恆春斷層。

5-3-1、核三 1 號井

核三 1 號井鑽取深度為 30 公尺，深度 30-12.5 公尺為馬鞍山層，生物擾動強烈的泥岩夾薄層細砂層，偶具有剪切構造。深度 12.5-7.7 公尺為生物碎屑砂層夾珊瑚礫石層，沉積構造為水平層理。深度 7.7-4.8 公尺為生物碎屑砂層。深度 4.8-1.95 公尺為崩積層，岩塊屬於馬鞍山層的泥岩；4.8 公尺採集的漂木進行 ^{14}C 定年為 230 yr BP（＜300 yr BP），表示為近代崩積層。深度 1.95-0m 砂礫層，為回填土層或受人為擾動（圖 5-9）。

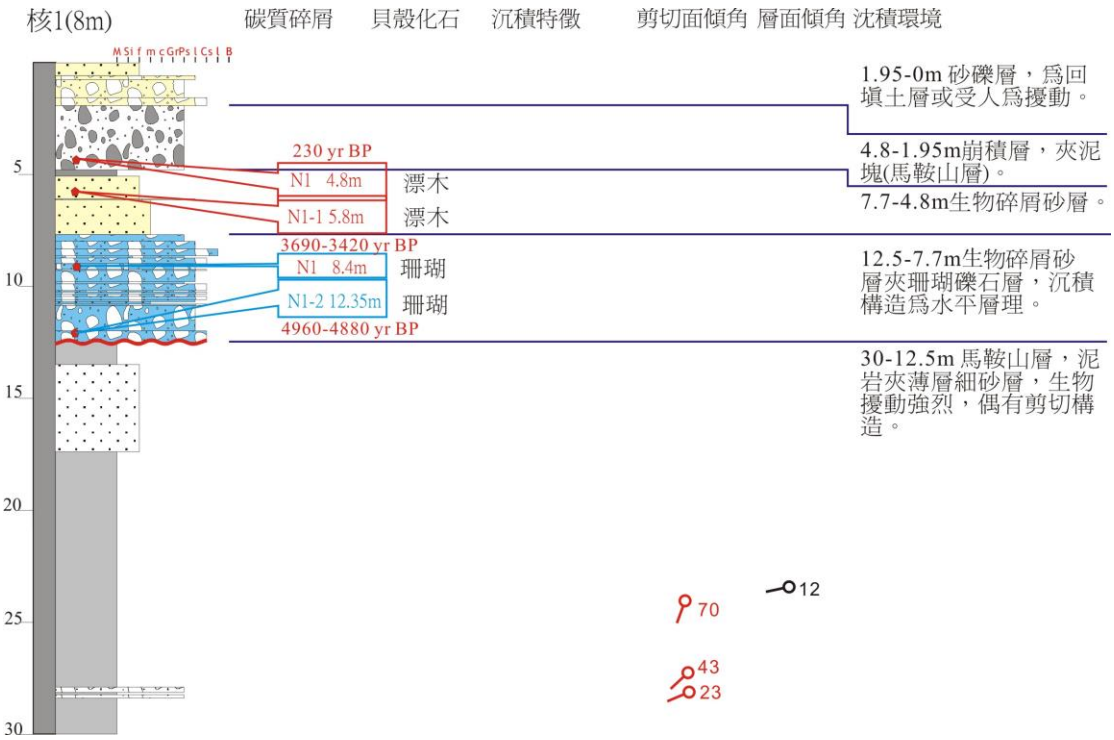


圖 5-9、核三 1 號井岩芯地層柱。

5-3-2、核三 2 號井

核三 2 號井鑽取深度為 30 公尺，深度 30-8.2 公尺為礫岩與砂岩互層，岩層傾角約 40-50°，此岩性僅見於南灣內側海岸的海岬（核三廠出水口北側），其他地區則未見於地表岩層，是否屬於馬鞍山層未來值得探討，岩性與核三 1 號井生物擾動強烈泥岩的馬鞍山層截然不同，層中偶有剪切構造。深度 8.2-5.8 公尺為生物碎屑砂層夾珊瑚礫石層，沉積構造為水平層理。深度 5.8-0.8 公尺為生物碎

屑砂層。深度 0.8 公尺以上為回填土層或受人為擾動（圖 5-10）。

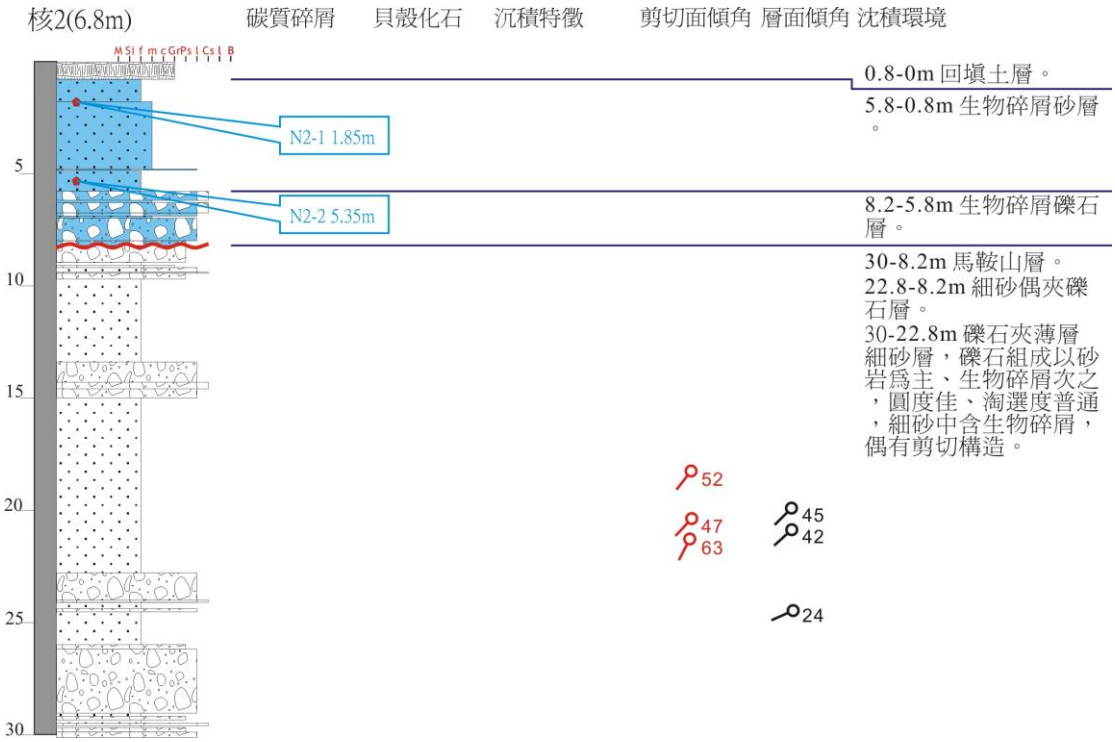


圖 5-10、核三 2 號井岩芯地層柱。

5-3-3、核三 3 號井

核三 3 號井鑽取深度為 30 公尺，核三 3 號井與核三 1 號井的岩性非常相似，深度 30-10.8 公尺為馬鞍山層，生物擾動強烈的泥岩夾薄層細砂層，具有強烈的剪切構造。深度 10.8-8.0 公尺為生物碎屑砂層夾珊瑚礫石層，沉積構造為水平層理。深度 8.0-3.0 公尺為生物碎屑砂層。深度 3.0-1.0 公尺為崩積層，岩塊屬於馬鞍山層的泥岩。深度 1.0-0m 砂礫層，為回填土層或受人為擾動（圖 5-11）。

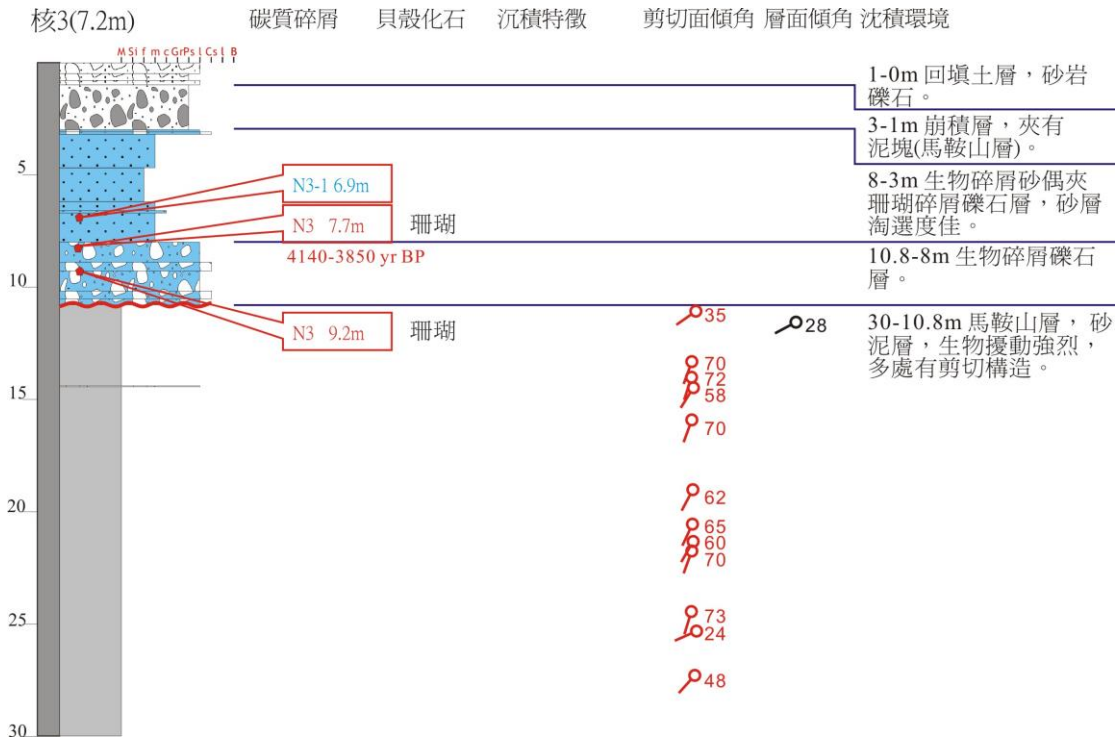


圖 5-11、核三 3 號井岩芯地層柱。

5-3-4、核三 4 號井

核三 4 號井鑽取深度為 30 公尺，核三 4 號井與核三 2 號井的岩性非常相似，深度 30-9.2 公尺為礫岩與砂岩互層，岩層傾角約 40°，層中偶有剪切構造，剪切面傾角 60-66°。深度 9.2-7.0 公尺為生物碎屑砂層夾珊瑚礫石層，沉積構造為水平層理。深度 7.0-2.1 公尺為生物碎屑砂層。深度 2.1-1.0 公尺為含泥塊的崩積層。深度 1.0 公尺以上為回填土層或受人為擾動（圖 5-12）。

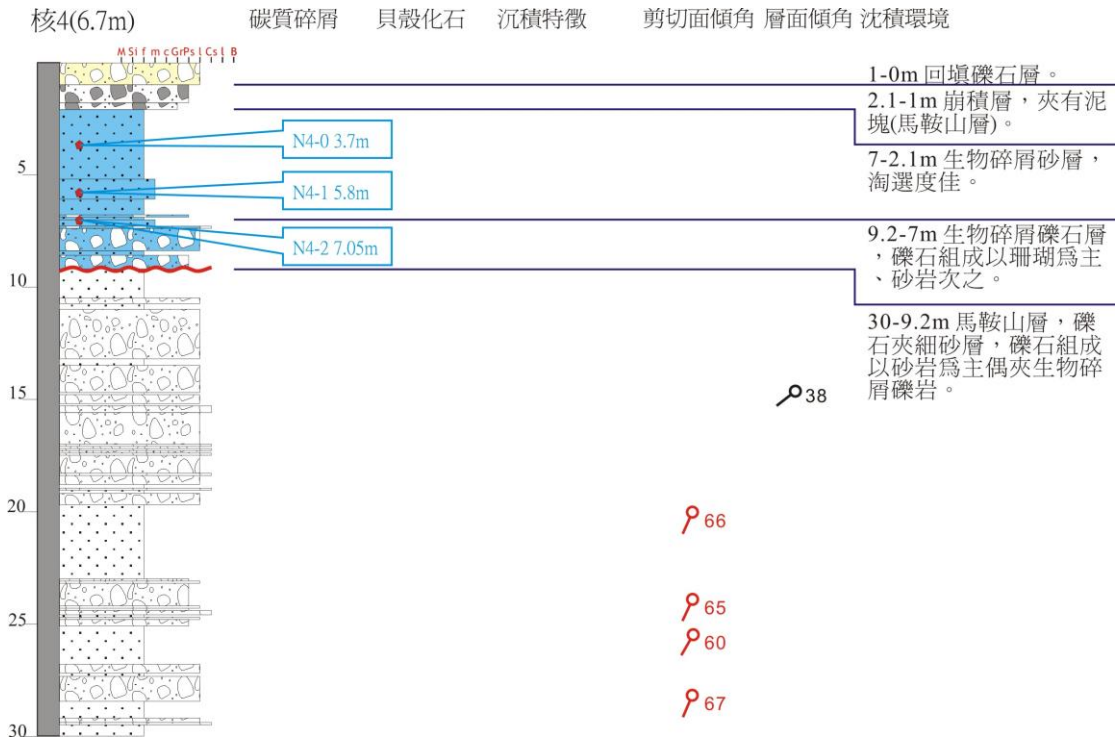


圖 5-12、核三 4 號井岩芯地層柱。

5-3-5、核三 5 號井

核三 4 號井鑽取深度為 40 公尺，核三 5 號井的岩性較為特殊，深度 40-21 公尺為具強烈剪切構造的泥岩，夾砂岩角礫岩，由岩性研判可能屬於墾丁層。深度 21-8.3 公尺為泥質砂岩層，但底部 21-20.5 公尺為一薄層礫石層，之上 20.5-8.3 公尺為具有剪切構造的生物擾動泥質砂岩層，此岩性似乎與馬鞍山層相似。深度 8.3-6.8 公尺為含珊瑚碎屑的礫石層。深度 6.8-3.0 公尺為淘選度佳的生物碎屑砂層。深度 3.0-1.0 公尺為夾有泥塊的崩積層。深度 1.0 公尺以上為回填土(圖 5-13)。

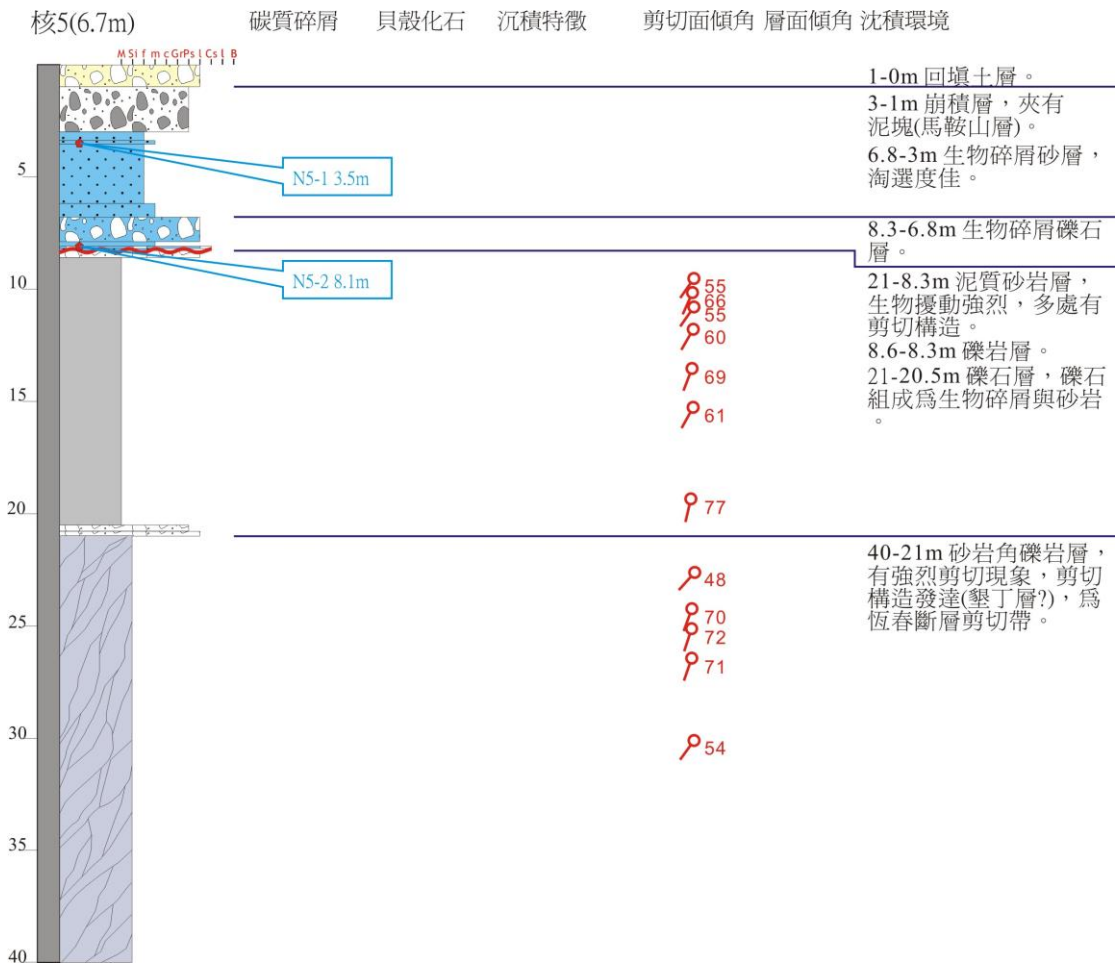


圖 5-13、核三 5 號井岩芯地層柱。

5-3-6、核三 6 號井

核三 4 號井鑽取深度為 30 公尺，核三 6 號井與核三 4 號井與核三 2 號井的岩性非常相似，深度 30-8.9 公尺為礫岩與砂岩互層，岩層傾角約 20-48°，層中偶有具有剪切構造，剪切面傾角 65-70°。深度 8.9-7.0 公尺為生物碎屑砂層夾珊瑚礫石層，沉積構造為水平層理。深度 7.0-2.3 公尺為生物碎屑砂層。深度 2.3 以上為回填土層或受人為擾動（圖 5-14）。

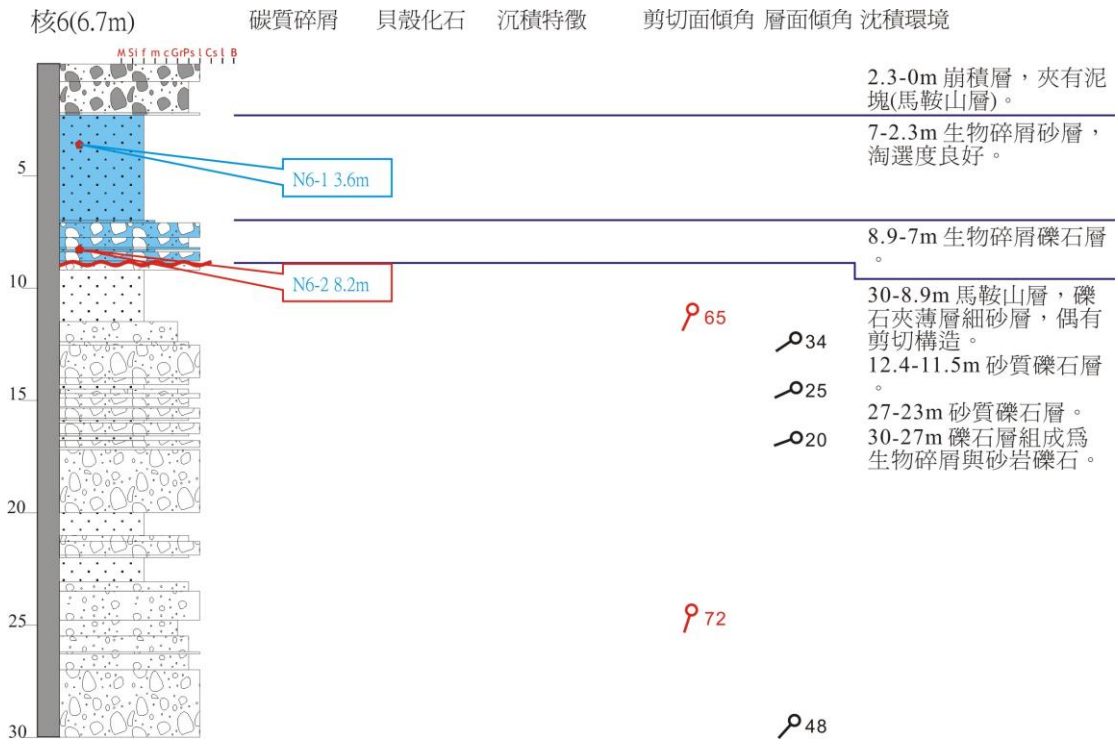


圖 5-14、核三 6 號井岩芯地層柱。

5-3-7、岩芯對比

核三廠場址鑽井岩芯的地層可以分為七層，最底部為墾丁層，其上為馬鞍山層，及另一層位於斷層西側的傾斜角度約 40-70° 的礫岩與砂岩互層的地層，此地層與地表的馬鞍山層的岩性截然不同。此兩層已傾斜地層之上為含大量珊瑚碎塊的石灰質砂層，石灰質砂層之上為淘選度良好的生物碎屑砂層，生物碎屑砂層之上屬於崩積層，最上層為回填土層。

鄰近場址的野外露頭有兩處，一者位於核三廠之內，岩層屬於馬鞍山層，岩性為生物擾動泥質砂岩，地層位態為走向東西向，傾角朝南傾斜 18°，另一位於南灣灣內的核三廠出水口，岩性為成層含生物碎屑的砂岩，地層位態為走向北東 15°，傾角朝西傾斜 60°。從地層位態與岩性推測，核三廠出水口的岩層可能對比至核三 2 號、4 號與 6 號井下的礫岩與砂岩互層（圖 5-15）。

由剖面圖（圖 5-15）來看，墾丁層於核三 5 號井與核三 6 號井之間逆衝至馬鞍山層之上，造成兩側馬鞍山層的層位落差，因此分析斷層應位在核三 5 號井與

核三 6 號井之間。

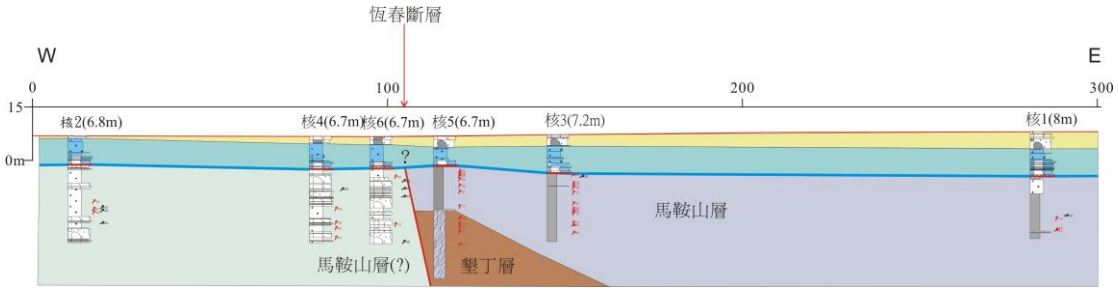


圖 5-15、核三場址鑽井剖面圖。

5-4、結論

四重溪場址鑽井岩芯分析，在預期的斷層兩側的岩盤都為墾丁層，此現象與本計劃前期研究（陳文山等，2006）相符，前期研究在海口的斷層崖兩側鑽井已顯示，兩側岩盤都為墾丁層的現象。另外，於恆春谷地的鑽探亦顯示在僑勇國小井井下 171 公尺處出露墾丁層，顯示斷層下盤的基盤亦為墾丁層（陳柏村與紀權窅，2010）。陳文山等（2005）依據晚期更新世石灰岩出露在恆春谷地以及鑽井資料，在恆春斷層南段的西側另畫一分支斷層；陳柏村與紀權窅（2010）再將此斷層向北延伸。但是由地形分析，顯然在分支斷層沿線（恆春谷地）並沒有明顯的活動斷層的地形特徵，依據陳文山等（2006）在海口的鑽井資料分析，顯示在現今恆春斷層的西側是呈現沉降現象，且沒有明顯活動斷層（逆斷層）的跡象。本研究認為依照目前地形資料分析，全新世以來活動的恆春斷層應位於現今明顯地形崖的位置處，如海口至四重溪，南段區域大致位在山麓前緣與恆春谷地的交匯處；至南灣地區則沿著馬鞍山附近或東側向南延伸至南灣灣內的核三廠出水口，之後進入南灣海域。

雖然由四重溪與核三廠的鑽井可以確定被全新世沖積層覆蓋下的斷層，但是根據之前研究顯示恆春斷層截切至墾丁層時，可能產生分支斷層，而全新世較為活躍的斷層是截切於墾丁層之中（陳文山等，2006；陳柏村與紀權窅，2010）。因此，核三廠場址中位於核三 5 號井與核三 6 號井之間的斷層帶是否屬於在全新世時期活動的斷層仍待探討。

本研究將利用核三廠場址井下取得的海階珊瑚碎塊的 ^{14}C 定年年代，與鄰近地區的珊瑚礁階地的 ^{14}C 定年年代來比較，即可以估算此處恆春斷層的垂直變動速率。

核三 1 號井的海階珊瑚碎塊年代為 3690-3420 yr BP（海拔 0.4 公尺）、4960-4880 yr BP（海拔-4.35 公尺；-0.9±0.1 mm/yr），與核三 3 號井的海階珊瑚碎塊年代為 4140-3850 yr BP（海拔 0.5 公尺），顯示估算的垂直變動速率幾乎沒有變動或微有沉降。另外，本研究在南灣核三廠出水口海岸採得的珊瑚礁年代為 2700-2380 yr BP（海拔 0 公尺），7150-6870 yr BP（海拔 0 公尺），從南灣海階年代所估算的長期垂直變動速率，顯示沒有變動的跡象。後壁湖海岸採得的珊瑚礁年代為 1950-1770 yr BP（海拔 0 公尺，海階高度 2 公尺），估算的抬升速率為 1±0.1 mm/yr，後壁湖漁港的珊瑚碎塊年代為 1600-1380 yr BP（海拔 5 公尺），估算的抬升速率為 3.4±0.3 mm/yr（圖 5-17，5-18）。分析這些位於恆春斷層西側海階的垂直變動速率，靠近斷層的核三廠與南灣地區估算的長期垂直變動速率，顯示沒有變動的跡象，但是遠離斷層的西側海階的長期垂直變動速率則有上升，越西側海階的長期垂直變動速率越快，此與現今恆春西台地的地形面非常相似，顯然恆春斷層西側區域是受到另一位於海域的斷層影響。

另外，恆春斷層上盤（東側）區域海階年代（表 1-4）來估算，則顯示在墾管處海階的長期垂直變動速率為＞4.3±0.1 mm/yr（7260-7140 yr BP）、＞4.0±0.1 mm/yr（5440-5180 yr BP）、＞3.6±0.1 mm/yr（5800-5700 yr BP）、＞4.2±0.2 mm/yr（4030-3790），約為 4-5 mm/yr（圖 5-17，5-18）。顯然恆春斷層的長期垂直變動速率約 4.2±0.2 mm/yr。從核三剖面與墾管處剖面對比分析，活動的斷層帶可能位於核三 1 號井的東側。而核三 5 號與核三 6 號間的斷層應為恆春斷層之分支斷層，由核三 1 號、3 號估算的長期垂直變動速率來看，此分支斷層於全新世期間是否有活動仍待探討。

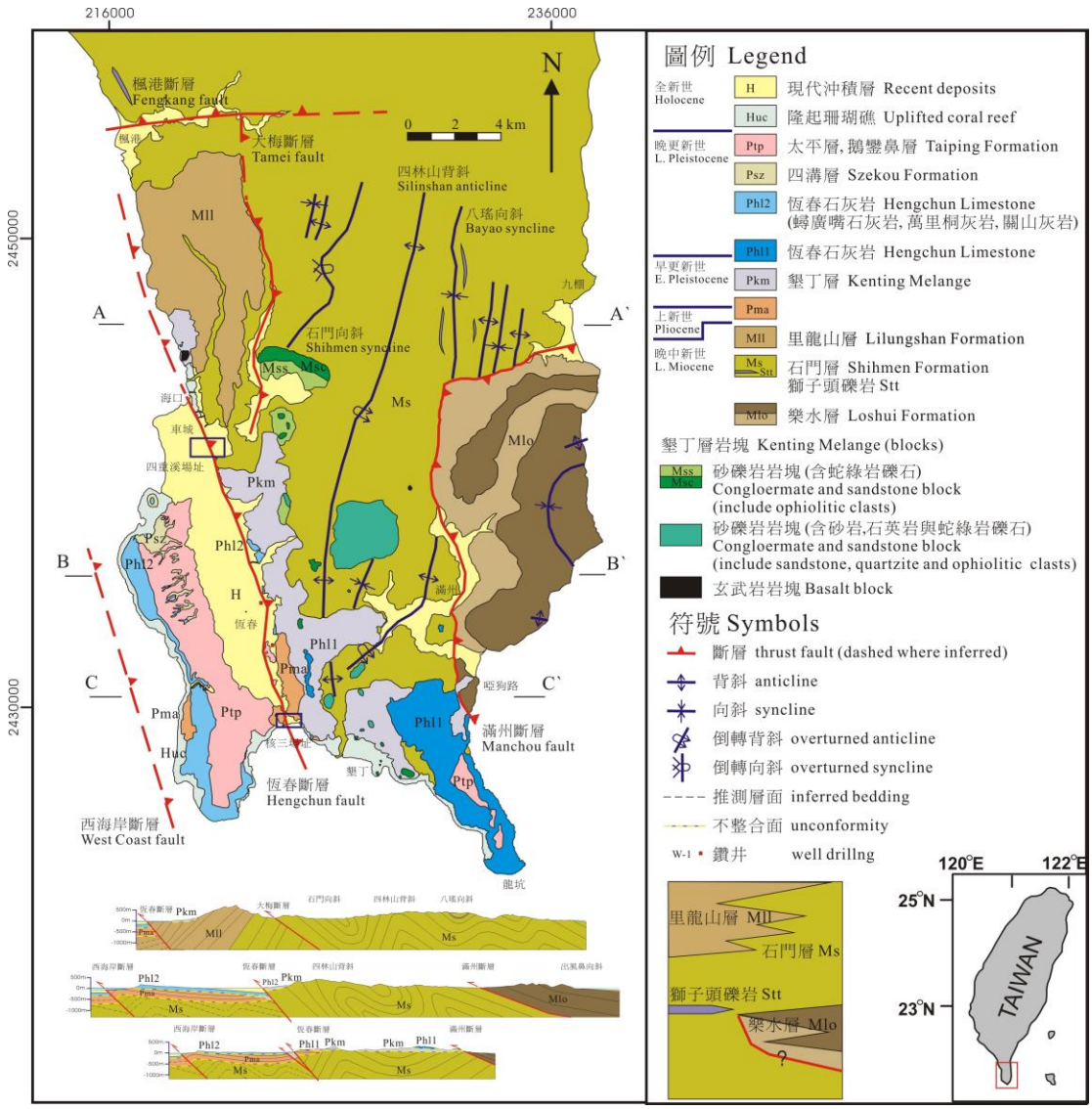


圖 5-16、恆春半島地質圖，四重溪場址與核三廠場址位置圖。

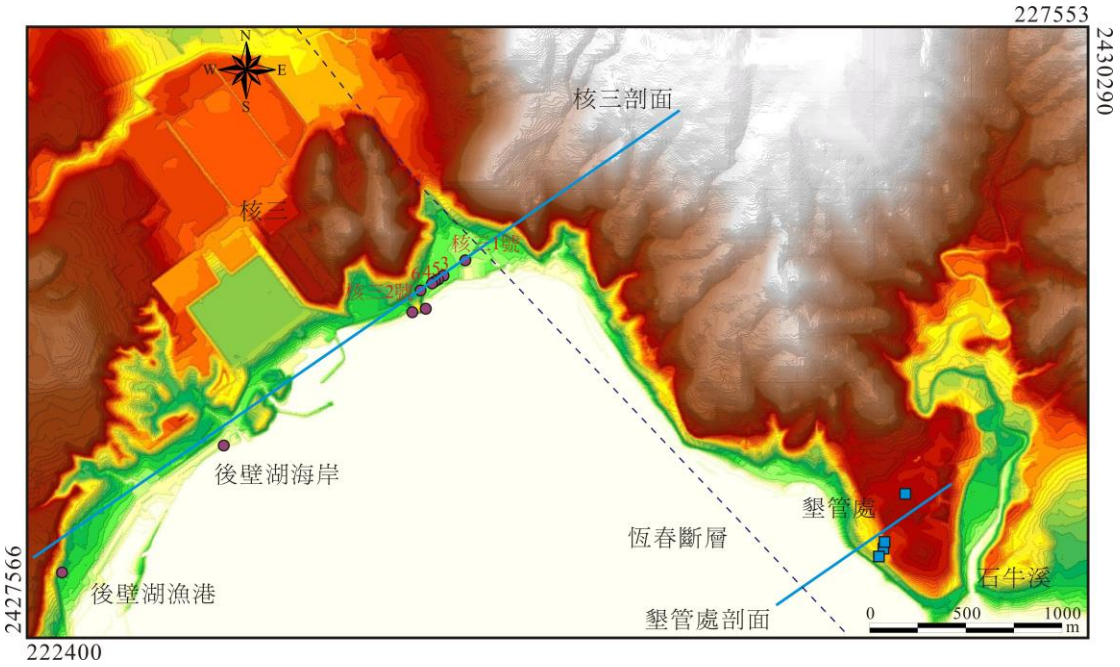


圖 5-17、核三廠鑽井與海階定年標本位置圖。

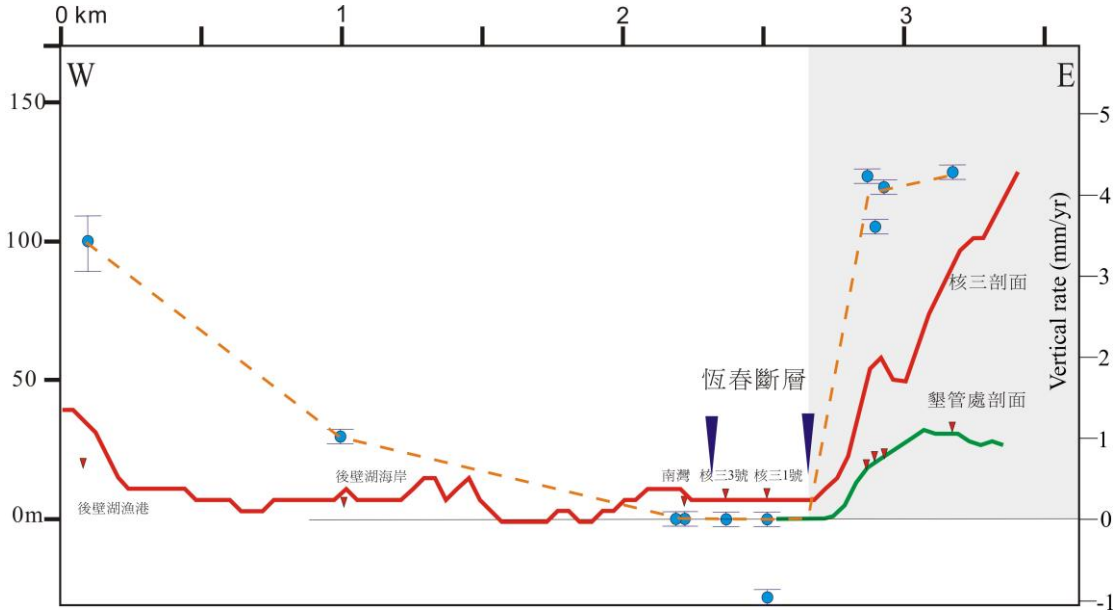


圖 5-18、恆春斷層兩側鑽井與海階估算的垂直變動速率。

參考文獻

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、李偉彰、黃能偉、顏一勤、楊志成、楊小青、陳勇全、宋時驊（2005）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（Western Pacific Earth Science），5 卷，129-154 頁。

陳文山、陳于高、楊小青（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫，槽溝開挖與古地震研究計畫(總報告)─「新期構造、古地震與槽溝開挖研究」，共 134 頁。

陳柏村、紀權窅（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、廿四號，17-38 頁。

Lundberg, N.D., Read, L., Lui, C.S. Lieske, J. (1992) Structural controls on orogenic sedimentation, submarine Taiwan accretionary collision: *ACTA Geologica Taiwanica*, 30, 131-140.

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.

第六章、梅山斷層之長期滑移速率與再現週期

6-1、前言

1906 年嘉義地震在梅山至民雄之間產生一條東北東走向的右向橫移斷層，由梅山向西經三美莊、開元后，轉向西南沿著中坑山與南華大學北側階崖延伸（Omori, 1907）（圖 6-1）。數十年以來對於梅山斷層的構造、地形與古地震已有諸多研究（Bonilla, 1975；Hsu and Chang, 1979；黃明哲等，1985；楊貴三，1986；董德輝，1987；石瑞銓等，1998，2002；盧詩丁與張徽正，1999；葉明官等，2000；石同生等，2002；陳文山等，2003，2004）。

本區域構造地形分區以九芎坑斷層為分界，東側屬於西部麓山帶地質區，西側為隆起台地與海岸平原區；隆起台地與海岸平原區則以嘉義斷層為界，上盤的紅土台地屬於隆起台地區（陳文山等，2004）。梅山斷層是一近東西走向的橫移斷層，這類型斷層另有 1946 年台南地震的新化斷層，以及 1935 年新竹－台中地震的屯子腳斷層。

梅山斷層於 1906 年嘉義地震時造成地表斷裂，調查顯示 1906 年地表斷裂屬於右向橫移斷層（Omori, 1907a, b）。前人研究大致依據大森房吉（Omori, 1907a, b）繪製的斷層位置圖，由於當時沒有準確地形圖，導致現今對於 1906 年地震斷層位置有許多爭議，尤其在開元后以西區段。石瑞銓等（1998）由淺層震測研究，首先描繪出梅山斷層的地下構造為壓縮型的開花構造，斷層在地下一公里之內分岔呈數條斷層截切至地表。由此可知，梅山斷層出露地表應是寬約數百公尺的斷層帶；此外斷層結構為壓縮型開花構造，所以斷層帶呈現隆起撓曲地形。本研究選擇地點位在梅山鎮市區，由於此區域地表變形較為單純僅產生單一條斷層崖地形。

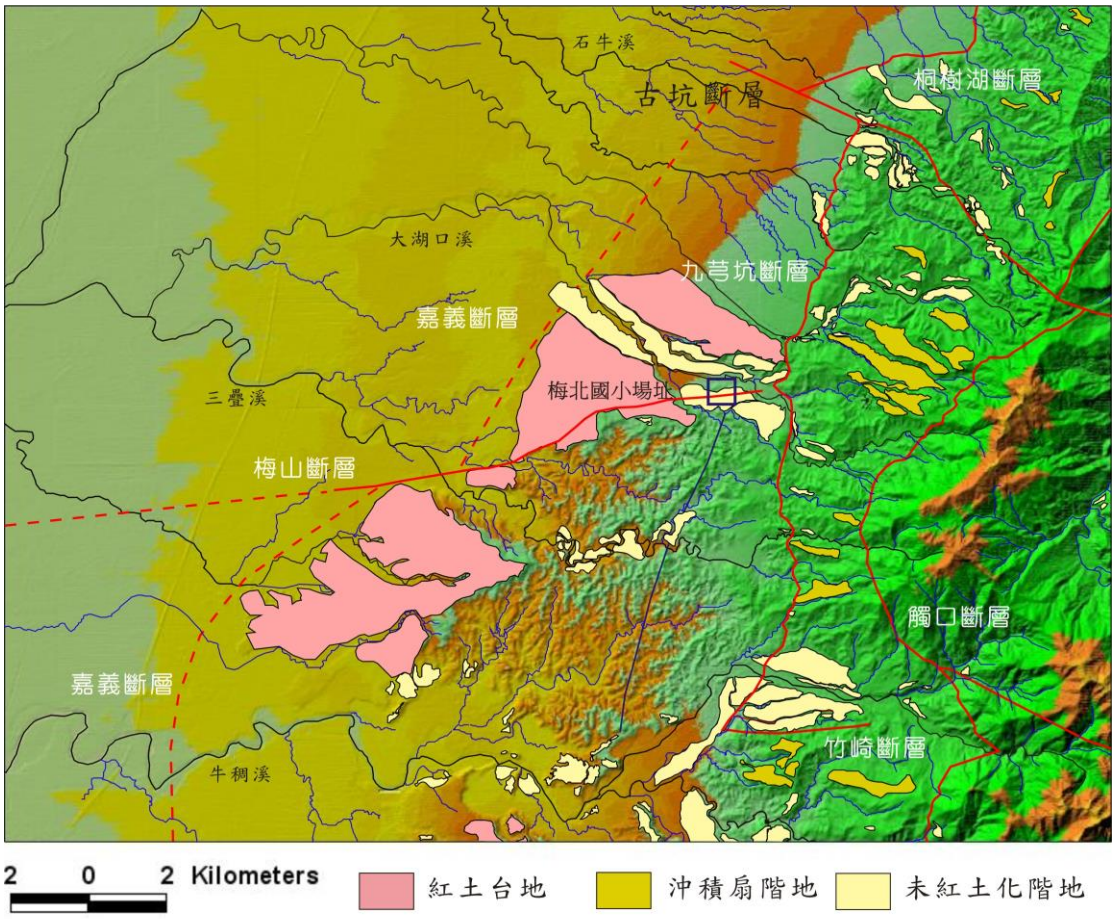


圖 6-1、梅山斷層位置圖，以及梅北國小場址位置圖。

6-2、鑽井岩芯

梅山鎮市區位於河階之上，此階地北側有一東北至西南走向的階地崖，與 1906 年梅山地震的地表破裂線平行，本研究懷疑可能是當時的地表破裂位置。因此，在階高約 4 公尺的線形崖兩側進行鑽探，梅北國小 1 號井位在斷層崖北側，梅北國小 2 號井位在斷層崖南側（圖 6-2）。

6-2-1 梅北國小 1 號井

梅北國小 1 號井井深 30 公尺，深度 30-13 公尺屬於香山相的砂頁互層，沉積構造為平行紋理或波痕，生物擾動輕微至明顯，偶夾碳質碎屑。香山相地層之上不整合堆積河階礫石層，深度 13-1.45 公尺為基質支持結構礫石層，基質為細砂，礫石成分為砂岩。深度 1.45-0 公尺為表土層。

6-2-2 梅北國小 2 號井

梅北國小 2 號井井深 30 公尺，深度 30-12.35 公尺屬於香山相的砂頁互層，

沉積構造為平行紋理或波痕，生物擾動輕微至明顯，偶夾碳質碎屑。香山相地層之上不整合堆積河階礫石層，深度 12.35-1.45 公尺為基質支持結構礫石層，基質為細砂，礫石成分為砂岩。深度 1.45-0 公尺為表土層。

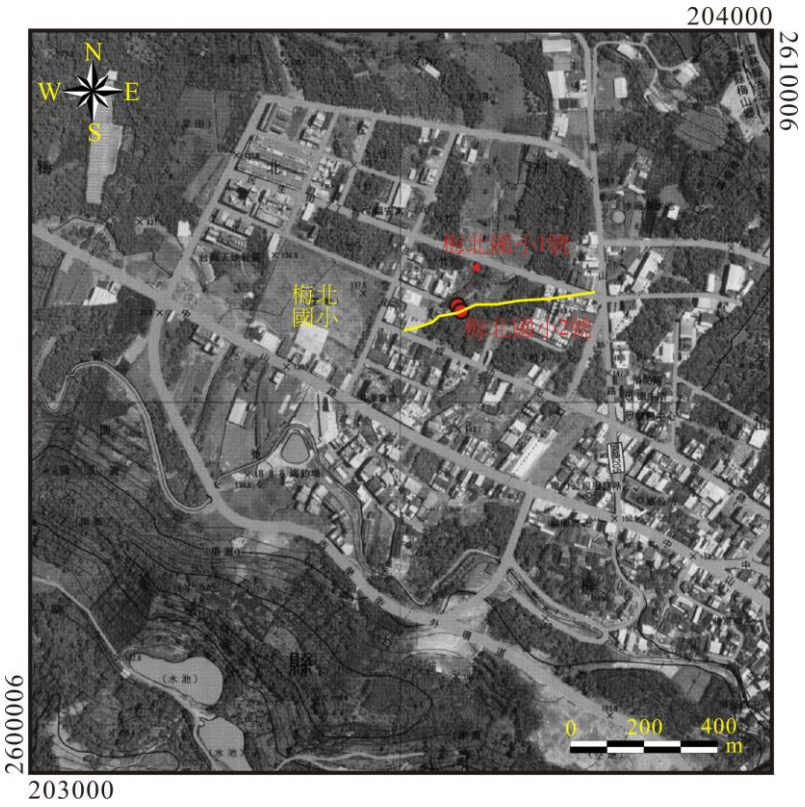


圖 6-2、梅山斷層鑽井位置圖。



圖 6-3、梅北國小 1 號井岩芯地層柱。



圖 6-4、梅北國小 2 號井岩芯地層柱。

6-3 結論

梅北國小 1 號井位於線形崖北側，梅北國小 2 號井位於南側，南側河階面較北側高約 4 公尺。2 號井位於崖坡之上，較 1 號井海拔還高 0.8 公尺。南側岩盤較北側岩盤還高約 1.2 公尺（圖 6-5）。由於此高差與階地面的高差不同，況且岩芯中的岩盤（香山相砂岩）不具有剪切構造，而兩側岩層層面的傾角都約 10º 的傾角，沒有差異。所以，尚無法研判此線形崖是否為梅山斷層造成的斷層崖。

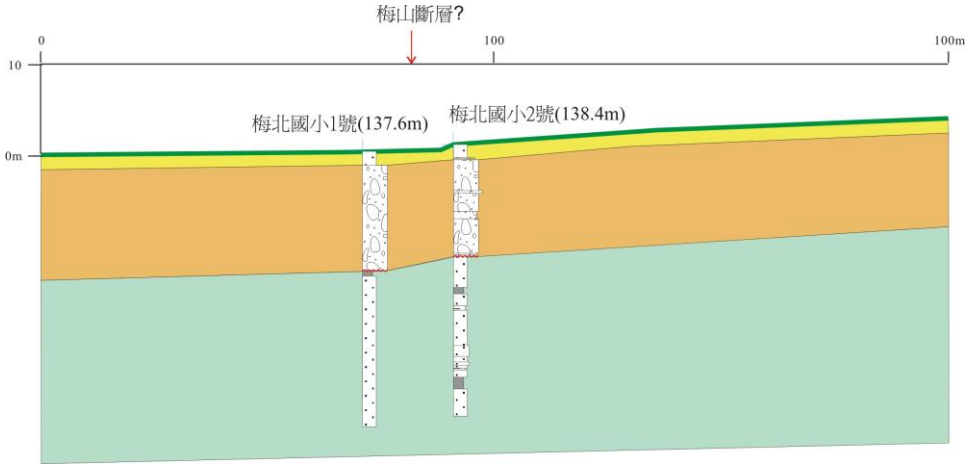


圖 6-5、梅北國小場址鑽井剖面圖。

參考文獻

石同生、盧詩丁、李元希、林燕慧、劉彥求、黃存慧、林偉雄、蕭力元、林啟文（2002）梅山斷層，經濟部中央地質調查所施政計畫報告－活動斷層調查報告。

石瑞銓、王乾盈、謝昭輝（1998）雲嘉南地區活動斷層震測調查，經濟部中央地質調查所活動斷層地球物理探勘計畫八十七年度報告，共 130 頁。

石瑞銓、陳平護、呂明達、陳文山（2002）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－淺層地球物理探勘（1/5），經濟部中央地質調查所九十一年度委辦計畫期末報告，共 166 頁。

黃明哲、王文能、潘國樑、顏滄波（1985）活動斷層之航照地質研究（II）嘉義梅山地震斷層研究。國科會防災科技研究報告 73-29 號，共 42 頁。

葉明官、陳文山、石文卿、陳若玲 (2000) 從震測剖面來看梅山斷層的特性，中國地質學會八十九年度年會，106-108 頁。

侯進雄、王菁穗、費立沅（2002）台灣西南地區地殼變形監測，第 21 屆測量學術及應用研討會論文集，687-694 頁。

陳文山、陳于高、劉聰桂、黃能偉、林清正、宋時驊、李昆杰（2000）921 集集大地震的地震斷層特性與構造意義。經濟部中央地質調查所特刊，12 期，139-154 頁。

陳文山、石瑞銓、楊小青、楊志成、葉明官、李龍昇、劉力豪、顏一勤、彭秋雯、張徽正、林啟文、陳于高、李元希、林偉雄、石同生、盧詩丁（2003）梅山斷層的構造特性與古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，14 期，137-146 頁。

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的活動構造。經濟部中央地質調查所彙刊。經濟部中央地質調查所彙刊，17 期，53-77 頁。

楊貴三（1986）台灣活斷層的地形學研究－特論活斷層與地形面的關係。私立中國文化大學地學研究所博士論文，共 178 頁。

董德輝（1987）台灣西南部梅山活動斷層的活動週期即機制。國立台灣大學地質學研究所碩士論文，共 65 頁。

盧詩丁、張徽正（1999）簡介地震與活動斷層調查案例－梅山斷層的調查與回顧。地質，18 卷，2 期，29-51 頁。

Bonilla, M.G. (1975) A review of recently active faults in Taiwan. *U.S. Geological Survey Open-File Repost*, no. 75-41, 58pp.

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

Omori, F. (1907a) Earthquake of the Chiayi area, Taiwan, 1906. *Introduction of Earthquake*, 103-147. (in Japanese)

Omori, F. (1907b) Preliminary note of the Formosa earthquake of March 17, 1906. *Bull. Imp. Earthquake Investigation Committee*, 1, 2, 53-69.