經濟部中央地質調查所報告第 98-9 號
計畫編號: 98-5226904000-01-01

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（3/4） －

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
中華民國九十八年十二月

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（3/4）

九十八年度報告

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

中華民國九十八年十二月

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 （3/4）

目錄

目錄……i

圖目錄……iv

表目錄……vi

中英文摘要……vii

第一章、前言……1

1-1、淺層鑽探……1

1-2、階地定年……4

1-3、槽溝與地質剖面挖掘……6

1-4、^{14}C 定年……6

1-5、長期滑移速率與再現週期參數求取方法……9

第二章、潮州斷層長期滑移速率……14

2-1、地質與地形……14

2-2、古地震槽溝研究……16

參考文獻……25

第三章、新竹斷層長期滑移速率……28

3-1、地質與地形……28

3-2、岩芯記錄……30

3-3、斷層活動性……39

參考文獻……40

第四章、山腳斷層（北段）長期滑移速率……42

4-1、地質與地形……42

4-2、岩芯紀錄……43

4-3、斷層活動性……45

4-4、結論……46

參考文獻……52
第五章、鹿野斷層長期滑移速率……53
5-1、地質與地形……53
5-2、槽溝地層……56
5-3、槽溝構造……61
5-4、岩芯紀錄……63
5-5、結論……73
參考文獻……73
第六章、瑞穗斷層長期滑移速率……74
6-1、地質與地形……74
6-2、古地震槽溝研究……76
6-3、討論與結論……82
參考文獻……87
第七章、總論……88
附錄一……89
附錄1-1、大庄國小岩芯紀錄。……89
附錄1-2、港南國小岩芯紀錄。……90
附錄1-3、三姓橋1號岩芯紀錄。……91
附錄1-4、三姓橋2號岩芯紀錄。……91
附錄1-5、三姓橋3號岩芯紀錄。……92
附錄1-6、三姓橋4號岩芯紀錄。……92
附錄1-7、三姓橋5-1號岩芯紀錄。……93
附錄1-8、三姓橋5-2號岩芯紀錄。……94
附錄1-9、新竹高商岩芯紀錄。……95
附錄1-10、建華國中岩芯紀錄。……96
附錄1-11、竹蓮國小岩芯紀錄。……96

附錄1-12、新竹國小岩芯紀錄。……97
附錄1-13、西門國小岩芯紀錄。……97
附錄1-14、民富岩芯紀錄。……99
附錄1-15、載熙國小岩芯紀錄。……100
附錄1-16、南寮岩芯紀錄。……101
附錄1-17、南華國中岩芯紀錄。……102
附錄1-18、關東國小岩芯紀錄。……103
附錄1-19、龍山國小岩芯紀錄。……103
附錄1-20、水利路1號岩芯紀錄。……104
附錄1-21、建功國小上盤岩芯紀錄。……105
附錄1-22、建功國小下盤岩芯紀錄。……106
附錄1-23、三民國中岩芯紀錄。……107
附錄1-24、新竹1號之一岩芯紀錄。……108
附錄1-25、新竹1號之二岩芯紀錄。……109
附錄1-26、新竹高鐵車站岩芯紀錄。……110
附錄1-27、經國大橋岩芯紀錄。……111
附錄1-28、六家國中岩芯紀錄。……112
附錄1-29、光明國小岩芯紀錄。……113
附錄1-30、麻園國小岩芯紀錄。……114
附錄1-31、鳳岡之一岩芯紀錄。……115
附錄1-32、鳳岡之二岩芯紀錄。……116
附錄1-33、頭前溪1號岩芯紀錄。……117
附錄1-34、頭前溪2號岩芯紀錄。……118
附錄1-35、頭前溪3號岩芯紀錄。……118
附錄1-36、頭前溪4號岩芯紀錄。……119
附錄1-37、頭前溪5號岩芯紀錄。……119

附錄二、期中報告審查意見改進表……120
附錄三、期末報告審查意見改進表……123

圖目錄

圖 1-1、龍田 A-2 河階掘坑。……5
圖 2-1、潮州斷層位於扇階的最西側的崖腳。……15
圖 2-2、力力溪槽溝開挖前的露頭概況（劉彥求等，2009）。……17
圖 2-3、力力溪槽溝鄰近地質圖，槽溝座標爲 TWD_97（210264, 2482883）。..18
圖 2-4、力力溪槽溝鄰近階地分布，槽溝位置之上存在一西傾的高位紅土化階地礫石層（LT），以及一低位階地（t）。……18
圖 2-5、槽溝位置處岩盤及高低位階地分布圖。紅化礫石層在高位階地及河床均出露。……20
圖 2-6、槽溝剖面圖。……23
圖 2-7、槽溝開挖顯示岩盤上覆 LT-a 及 LT-b 層序。……24
圖 2-8、F1 斷層可往下延伸至岩盤中，斷層面位態爲 N8°E、40°E。……25
圖 3-1、新竹地區鑽井位置圖。……29
圖 3-2、Namson（1984）解釋新竹市東西向的構造平衡剖面，新竹斷層屬於斷層轉折褶皺型態，新城斷層屬於斷層擴展褶皺型態。……29
圖 3-3、楊耿明等（Yang *et al*., 1994）解釋新竹市東西向的構造剖面，新竹斷層與新城斷層屬於斷層擴展褶皺型態。……30
圖 3-4、大庄剖面，鑽井柵狀圖。……32
圖 3-5、三姓橋場址，鑽井柵狀剖面。……33
圖 3-6、新竹高商剖面，鑽井柵狀圖。……35
圖 3-7、建功國小剖面，鑽井柵狀圖。……36
圖 3-8、頭前溪剖面，鑽井柵狀圖。……38
圖 3-9、頭前溪場址，鑽井柵狀剖面。……39

圖 4-1、金山平原鑽井位置圖（圖引自 Google Earth 網站）。……43
圖 4-2、金山 1 號井岩芯紀錄。……48
圖 4-3、金山 2 號井岩芯紀錄。……49
圖 4-4、金山 3 號井岩芯紀錄。……50
圖 4-5、金山平原鑽井柵狀剖面。……51
圖 5-1、鹿野溪以北的鹿野斷層位置，以及龍田與永安地區的褶皺變形階地。.54
圖 5-2、永安地區扇階受到鹿野斷層作用形成反斜崖地形。……55
圖 5-3、永安地區 Terrace 5 的褶皺崖地形。……56
圖 5-4、高台至馬背的東西向地質剖面示意圖，剖面位置、LY1 與 LY2 斷層跡位置見圖 5-2。……56
圖 5-5、永安槽溝。……58
圖 5-6、永安槽溝北牆剖面。……59
圖 5-7、永安槽溝南牆剖面。……60
圖 5-8、古地震恢復圖。……63
圖 5-9、馬背 1 號井岩芯紀錄。……65
（續）圖 5-9、馬背 1 號井岩芯紀錄。……66
圖 5-10、鹿野 1 號井岩芯紀錄。……68
圖 5-11、鹿野 2 號井岩芯紀錄。……69
圖 5-12、鹿野 1-1 號井岩芯紀錄。……70
圖 5-13、鹿野 1-2 號井岩芯紀錄。……70
圖 5-14、鹿野 1-3 號井岩芯紀錄。……71
圖 5-15、鹿野鑽井岩芯柵狀圖。……72
圖 6-1、安定橋一、二、三號槽溝位置圖。……75
圖6-2、安定橋三號槽溝北牆。……78
圖6-3、安定橋三號槽溝北牆剖面。……79
圖6-4、安定橋三號槽溝南牆。……81

圖6-5、安定橋三號槽溝南牆剖面。……84
圖6-6、安定橋三號槽溝南牆剖面古地震事件變形恢復圖。……85
圖6-7、安定橋三號槽溝北牆剖面古地震事件變形恢復圖。……86

表目錄

表1-1、工作計量表。……2
表1-2、鑽井位置表。……2
表1-3、掘坑位置與座標。……5
表1-4、14C定年標本。……6
表1-5、台灣活動斷層長期滑移速率與再現週期資料表……10
表 4-1、岩芯 ^{14}C 定年年代與抬升速率。……51
表 7-1、98 年度計畫成果……88

摘要

本研究以鑽井岩芯、地質剖面以及階地定年資料，探討山腳斷層（北段）、新竹斷層、鹿野斷層、潮州斷層，以及瑞穗斷層的斷層活動特性。潮洲斷層的支斷層截切紅土階地礫石層，顯示晚期更新世有活動的跡象。新竹斷層截切紅土階地礫石層（^{14}C 年代＞50000 年），由河階定年估算斷層的抬升速率爲＜1.2 mm/yr。由於鑽井未能鑽穿山腳斷層（北段），斷層上盤金山 3 號井的平均抬升速率約爲-0.4±0.6 mm/yr，呈現略爲下陷的環境。鹿野斷層（LY2）的長期抬升速率約爲 1.85 mm/yr，淨滑移速率爲 5.4 mm/yr。古地震研究表示鹿野斷層（LY2）共發現三次古地震事件，時間爲 4240-4430 yr BP（N1）、2120-2340 yr BP（N2）與＜1890-2110 yr BP（N3），古地震時間間距約 2100 年。安定橋三號槽溝的研究表示，瑞穗斷層 550-630 年前以來，共有三次古地震事件，包括 1951 年地震事件；總垂直變動量爲 175 公分。

關鍵字：新竹斷層、山腳斷層、潮州斷層、鹿野斷層、瑞穗斷層。

Abstract

Utilizing borehole logging with ^{14}C dating data on both sides of the Hsinchu, Shanchiao, and Luyeh faults, we can estimate that the vertical deformation rate of these faults is about < 1.2 mm/yr, -0.4±0.6 mm/yr and 1.85 mm/yr, respectively. Branch fault of Chaochou fault which cut through lateritic gravel bed presents its activity in late Pleistocene.

Result from the paleoseismologic study, we can identify three paleoearthquake events of the Juisui fault since 550-630 yr BP. The paleoseismological work on the Luyeh fault has shown that the fault occurred intensive seismicity of three paleoearthquakes of 4240-4430 yr BP （N1）, 2120-2340 yr BP （N2）, and <1890-2110 yr BP （N3） during the past 4335 years. It indicates a relatively short recurrence interval of about 2100 years.

Key words: Hsinchu fault, Shanchiao fault, Luyeh fault, Chaochou fault, Juisui fault

第一章、前言

本年度（98 年度）「斷層長期滑移速率與再現週期研究（3/4）」計畫的研究主題乃針對新竹斷層、山腳斷層北段（金山地區）、九芎坑斷層、利吉斷層與鹿野斷層爲優先調查對象，另外米崙斷層及嘉義斷層爲輔助，共 7 條斷層進行斷層長期滑移速率與再現週期研究。由於上述對象斷層無適合進行槽溝開挖之位置，而經野外調查於潮州斷層與瑞穗斷層尋獲合適開挖的地點，因此在本年度補充前期調查之潮州斷層並新增瑞穗斷層。

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、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進行鑽井，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，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（net slip rate）。

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，新竹斷層有兩處鑽探場址（頭前溪場址與水利路場址），進行頭前溪 1 號井、頭前溪 2 號井、頭前溪 3 號井、頭前溪 4 號井、頭前溪 5 號井與水利路 1 號井；山腳斷層北段（金山地區），進行金山 1 號井、金山 2 號井、金山 2 號井；鹿野斷層進行鹿野 1 號井、鹿野 2 號井、鹿野 1-1 號井、鹿野 1-2 號井、鹿野 1-3 號井。全年度共完成 14 口井（井深共 832 公尺），同時紀錄新竹地區的岩芯，共 29 口井，紀錄岩芯總共長度 2620 公尺。

古地震槽溝研究，目前已針對潮州斷層、鹿野斷層及瑞穗斷層完成三處槽溝挖掘（屏東縣力力溪）（表 1-1，表 1-2）。另外，目前正評估在利吉斷層與山腳斷層北段選擇槽溝場址。

表 1-1、工作計量表。

調查項目	單位與數量
淺層鑽探	14 口井，井深共 832 公尺。
階地掘坑	12 處。
地質剖面	地質剖面 3 處，長度共 107 公尺。
^{14}C 定年	31 個。

表 1-2、鑽井位置表（座標 TWD97）。

井號	井名	X	Y	井深	井位高程	單位	備註
SH94-G09	大庄國小	243305	2742149	80	38	地調所環工組	94
SH94-G03	港南國小	242177	2745126	100	2	地調所環工組	94
SH94-G07	新竹高商	248330	2743214	70	39	地調所環工組	94
SH94-E14	建華國中	247514	2742790	30	40	地調所環工組	94
SH94-E15	竹蓮國小	247427	2743216	25	33	地調所環工組	94
SH94-E03	新竹國小	246562	2743130	35	24	地調所環工組	94
SH94-E09	西門國小	245802	2744036	45	17	地調所環工組	94
SH94-G04	載熙國小	246159	2745800	70	13	地調所環工組	94
SH94-E10	南華國中	242806	2748457	75	3	地調所環工組	94
SH94-E11	竹中國小	253015	2741477	15	76	地調所環工組	94
SH94-E12	關東國小	252243	2741819	25	69	地調所環工組	94

SH94-E13	龍山國小	250672	2742425	25	64	地調所環工組	94
SH94-E05	建功國小(上盤)	250004	2743561	60	46	地調所環工組	94
SH94-G08	建功國小(下盤)	249885	2743702	70	38	地調所環工組	94
SH94-E06	三民國中	247988	2744947	50	18	地調所環工組	94
SH94-G01	高鐵車站	253808	2743864	70	48	地調所環工組	94
SH94-G05	經國大橋	252334	2743891	70	36	地調所環工組	94
SH94-G02	六家國中	253343	2745897	65	37	地調所環工組	94
SH94-E02	光明國小	251098	2746309	30	28	地調所環工組	94
SH94-G06	麻園國小	247656	2748726	50	10	地調所環工組	94
	鳳岡	246299	2750520	150	5	地調所資源組	90
	民富	245848	2744413	150	16	地調所資源組	92
	南寮	243988	2748191	150	3	地調所資源組	90
	水源	250384	2745311	250	23	地調所資源組	90
	三姓橋 1 號	242901	2742246	30	12	地調所構地組	92
	三姓橋 2 號	242907	2742195	50	16	地調所構地組	92
	三姓橋 3 號	242900	2742238	30	14	地調所構地組	92
	三姓橋 4 號	242903	2742203	30	16	地調所構地組	92
	三姓橋 5 號	242887	2742207	200	16	地調所構地組	92
	頭前溪 1 號	252772	2743717	100	35	台大地質系	98
	頭前溪 2 號	252727	743735	30	37	台大地質系	98
	頭前溪 3 號	252757	2743727	30	35	台大地質系	98
	頭前溪 4 號	252614	2743789	30	36	台大地質系	98
	頭前溪 5 號	252621	2743811	30	35	台大地質系	98
	水利路 1 號	250443	2743783	50	30	台大地質系	98
	新竹 1 號	252604	2743817	150	36	中正大學	98
	鹿野 1 號井	262570	2536831	120	279	台大地質系	98
	鹿野 1-1 號井	262561	2536845	20	278	台大地質系	98
	鹿野 1-2 號井	262546	2536842	30	278	台大地質系	98
	鹿野 1-3 號井	262535	2536839	30	277	台大地質系	98
	鹿野 2 號井	262365	2536876	122	281	台大地質系	98
	金山 1 號井	314198	2791291	40	4	台大地質系	98
	金山 2 號井	313555	2792051	100	3	台大地質系	98

	金山 3 號井	314060	2791356	100	4	台大地質系	98
	安定橋三號槽溝	290007	2607542	33		台大地質系	98
	力力溪槽溝	210264	2482883	46		台大地質系	98
	永安槽溝	262561	2536845	28		台大地質系	98

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。

本研究於台東地區河階進行掘坑，由於新竹地區河階都屬於紅土化階地，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，本研究評估較低位階地的挖掘，但由於頭前溪南岸的低位階地大都屬於稻田所以無進行挖掘。因此本研究則針對縱谷斷層的池上、利吉斷層與鹿野斷層的上盤區域進行 12 處的河階挖掘。利吉斷層上盤共有 4 個掘坑，鹿野斷層共有 4 個掘坑(圖 1-1)，池上斷層共有 4 個掘坑（表 1-3）。



圖 1-1、龍田 A-2 河階掘坑。

表 1-3、掘坑位置與座標。

代號	位置	座標	
		X	Y
A-1	龍田村	260885	2533596
A-2	龍田村	260864	2533598
A-3	龍田村	260835	2533600
A-4	龍田村	260837	2533587
B-1	利吉村	264131	2527726
B-2	利吉村	264097	2527760
C	利吉村	263132	2526295
D	利吉村	262786	2525571
萬安村 1 號	WAT-01	272720	2555166
萬安村 2 號	WAT-02	272800	2555566
錦園村 1 號	CYT-01	272240	2556126
錦園村 2 號	CYT-02	272080	2555606

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。本年度共有三處進行槽溝挖掘（表 1-3），潮州斷層（力力溪），縱谷斷層（瑞穗斷層，安定橋），鹿野斷層（永安）。

1-4 ^{14}C 定年

本計劃針對鑽井岩芯研究共有 31 標本完成 ^{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，Cal BP）	資料來源
SH94-G01	高鐵車站	22.3	>43000	Beta Analytic Inc.（本研究）
		56.9	>43000	Beta Analytic Inc.（本研究）
SH94-G02	六家國中	38.4	>43000	Beta Analytic Inc.（本研究）
SH94-G03	港南國小	47.35	>43000	Beta Analytic Inc.（本研究）
		50.2	>50000	Beta Analytic Inc.（本研究）
		68.8	>43000	Beta Analytic Inc.（本研究）
SH94-G04	載熙國小	19.6	>43000	Beta Analytic Inc.

				（本研究）
		24-24.1	>50000	Beta Analytic Inc. （本研究）
SH94-G07	新竹高商	48.4	>43000	Beta Analytic Inc. （本研究）
SH94-E02	光明國小	18.7	>43000	Beta Analytic Inc. （本研究）
		28.7	>43000	Beta Analytic Inc. （本研究）
SH94-E05	建功國小（上盤）	29.6	>50000	Beta Analytic Inc. （本研究）
SH94-E06	三民國中	49.6	>43000	Beta Analytic Inc. （本研究）
SH94-E09	西門國小	33.1-33.3	>50000	Beta Analytic Inc. （本研究）
		43.5	>43000	Beta Analytic Inc. （本研究）
FK	鳳岡	44.4	>43000	Beta Analytic Inc. （本研究）
MF	民富	86.5	>43000	Beta Analytic Inc. （本研究）
NL	南寮	62.4	>43000	Beta Analytic Inc. （本研究）
SL-1	水利路 1 號	40.85	>50000	Beta Analytic Inc. （本研究）
MB	馬背	10.2	13060-12840	Beta Analytic Inc. （本研究）
		69.6	18510-17690	Beta Analytic Inc. （本研究）
CS-1	金山 1 號	3.2	＜50	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室
		18.9	8990-8600	Beta Analytic Inc.
		31.1	9560-9450	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室
		33.6	9890-9540	Beta Analytic Inc. （本研究）

CS-2	金山 2 號	3.2	700-570	Beta Analytic Inc.（地調所）
		7.45	7250-6970	Beta Analytic Inc.（本研究）
		16.65	8390-8180	Beta Analytic Inc.（本研究）
		20.05	>41000	Beta Analytic Inc.（地調所）
		32.1	9540-9640	Beta Analytic Inc.（地調所）
		40.1	10150-9610	台灣大學地質科學系 ^{14}C 定年試驗室
		80.45	>42000	Beta Analytic Inc.（本研究）
		91.85	>42000	Beta Analytic Inc.（本研究）
CS-3	金山 3 號	0.8	280-0	Beta Analytic Inc.（本研究）
	CS3（03）	7.6	6980-6780	Beta Analytic Inc.（地調所）
	CS3（04）	22.7	8600-8420	Beta Analytic Inc.（地調所）
		26.12	8990-8600	Beta Analytic Inc.（地調所）
		32.3	9460-9260	Beta Analytic Inc.（地調所）
		87.7	>42000	Beta Analytic Inc.（地調所）
YATC	鹿野槽溝	YATC001	2110-1890	Beta Analytic Inc.（地調所）
		YATC007	2320-2060	Beta Analytic Inc.（地調所）
		YATC011	4430-4240	Beta Analytic Inc.（地調所）
		YATC012	2330-2120	Beta Analytic Inc.（地調所）
		YATC016	3700-3480	Beta Analytic Inc.

				（地調所）
		YATC018	2340-2120	Beta Analytic Inc.（地調所）
		YATC025	2290-1990	Beta Analytic Inc.（地調所）
		YATC032	2320-2060	Beta Analytic Inc.（地調所）
		YATC034	2140-1940	Beta Analytic Inc.（地調所）
ADB	安定橋槽溝	ADB007	670-550	Beta Analytic Inc.（地調所）
		ADB012	660-530	Beta Analytic Inc.（地調所）
		ADB019	660-520	Beta Analytic Inc.（地調所）

1-5 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）來估算。

古地震研究是藉由挖掘淺層剖面，由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。

本研究於過去數年來利用古地震槽溝、階地，以及鑽探岩芯的研究來估算斷層的變動速率以與斷層活動再現週期，已經有數條斷層在本計劃執行下獲得成果（表 1-5）

表 1-5、台灣活動斷層長期滑移速率與再現週期資料表

20090806 草擬

斷層名稱	滑移特性	斷層傾角（度/方向）	跨斷層抬升（下降）速度變化（mm/yr）			長期滑移速率（mm/yr）	再現週期（yr）	最近一次活動時間（yr）	綜合評估或建議
			階地定年	鑽探對比	槽溝開挖				
山腳斷層（北）	正移	>60/東							
山腳斷層（南）				-1.2*e					
南崁斷層	正移	-							
湖口斷層	逆移	~40/南							
大平地斷層	逆移	-							建議鑽探於高種山北側產業道路，應可鑽遇大平地。
新竹斷層	逆移兼右移	~50/南	<1.2*d						
新城斷層	逆移	~30/南			~1*a				
竹東斷層	逆移	-							
斗煥坪斷層	右移	-						A.D.1935	
獅潭斷層	逆移	>60/西							
三義斷層	逆移	40-60/東							
大甲斷層（北）	逆移	40-50/東		1.7-5.5*b					
大甲斷層（南）		/東							
鐵砧山斷層	逆移	/西							
屯子腳斷層	右移	高角度						A.D.1935	

彰化斷層	逆移	/東		4.3-10.3*b					
車籠埔斷層	逆移	~40/東			3.47*a	~6.94*a	200-700*a 平均 300-400*a	A.D.1999	
大茅埔-雙冬斷層	逆移	~45/東						A.D.1999	
九芎坑斷層	逆移	20-30/東							可能於近百年內有地震事件*a 斷層應位於古坑2號井東側*b
梅山斷層	右移	>60						A.D.1906	平移斷層，每處槽溝中所見的地震事件，不足以代表全新世以來完整的古地震時序。*a
大尖山斷層	逆移兼右移	>60/東						A.D.1999	
木屐寮斷層	逆移	N30E/28E		6.33±0.06*a	5.6±2.0*c	12.7*a 11.2±4.0*c			
六甲斷層	逆移兼左移								
觸口斷層	逆移	50-60/東							
新化斷層	右移	>60						A.D.1946	平移斷層，每處槽溝中所見的地震事件，不足以代表全新世以來完整的古地震時序。*a
後甲里斷層	逆移	>35/西		5.6-5.7*a					以台南台地抬生速率估算*a
左鎮斷層	左移	>60/北							
小崗山斷層	逆移	N10E/45E		≥3.3±1.1					

旗山斷層	左移兼逆移	N25E50E							缺乏定年資料，難以估計相關數據*c
六龜斷層	左移								一條不整合面之間產生的層間斷層，不具發震潛力
潮州斷層	逆移兼左移	N5E/70-80E							斷層位置仍位於青葉 5 號井以西*c
鳳山斷層	逆移								
恆春斷層	逆移			7.5±0.14*a					
米崙斷層	逆移兼左移							A.D.1951	斷層崖之崖腳應位於槽溝更西側，故槽溝中未發現斷層跡。
嶺頂斷層	逆移兼左移								
瑞穗斷層	逆移兼左移				12.5-16.0*a	21.6-27.7*a	170-210*a	A.D.1951	
玉里斷層	逆移兼左移							A.D.1951	
池上斷層	逆移兼左移	N20E/65E	23.5-27*b		>8.3*a	26-30	50-125*c	A.D.2003	
奇美斷層	逆移								應先檢討其於晚更新世以來是否曾有活動。
鹿野斷層	逆移			5.5（LY1）	1.85*（LY2）	5.4（LY2）	2100（LY2）	＜1890-2110 yr BP	
利吉斷層	逆移	6-70/東*a							
中洲斷層	逆移			5.8-6.4		6.7-7.4			

*紅框示本（98）年度計畫標的斷層。

*黃框示前期計畫已收集相關數據之斷層。

*灰框示前期計畫已進行調查，並提供相關建議或評估之斷層。

*空白框示尚未取得研究資料之斷層。

*a. 陳文山（2006）地震地質調查與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）：一、「新期構造、古地震與槽溝開挖研究」。經濟部中央地質調查所研究報告 95-08 總號，共 133 頁。

*b. 陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2008）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。經濟部中央地質調查所研究報告 96-10 號，共 86 頁。

*c. 陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2008）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）。經濟部中央地質調查所研究報告 97-9 號，共 75 頁。

*d. 陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2009）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（3/4）。經濟部中央地質調查所研究期中報告書，共 32 頁。

*e. 陳文山、林朝宗、楊志成、費立沅、謝凱旋、龔慧敏、林佩儀、楊小青（2008）晚期更新世以來台北盆地沉積環境與構造演化的時空演變。經濟部中央地質調查所彙刊，第 21 號，61-106 頁。

第二章、潮州斷層長期滑移速率

2-1、地質與地形

潮州斷層斷層跡出露位置，由屏東縣枋寮鄉向北延伸至高雄縣寶來，是台灣南部劃分中央山脈與西部麓山帶地質構造區主要構造線，南北延伸約100公里。潮州斷層首先由鳥居敬造（1933）在北段六龜紅水坑溪命名爲土壟灣斷層，南段區域由Tomita （1955）命名爲潮州斷層。由於斷層露頭出露不佳，沿線還出露一些主構造產生的附屬構造（背衝斷層），因此對於潮州斷層位置有不同的看法。

先前調查工作大都以濁口溪爲界，將潮州斷層分爲南北兩段來探討，北段稱爲土壟灣斷層（鳥居敬造，1933；中國石油公司地質圖，1992，1989），斷層上盤屬於輕度變質岩層，稱爲盧山層(或樟山層)，下盤爲中新統沈積岩(Meng, 1967; Tsan and Keng, 1968；Hsu *et al*., 1985；Yen and Tien, 1986；張慧中，1986；陳勇全，2004；陳文山等，2004，2005，2006）。南段稱爲潮州斷層，下盤的中新統未出露地表，所以斷層位置都以地形爲依據，推測位於中央山脈與屏東平原或晚更新世的扇階交界處（Tomita, 1955；Bonilla, 1975；Wang, 1976；Hsu and Chang, 1979；石再添與鄧國雄，1983；林朝棨，1957；楊貴三，1986）。顏滄波與田沛霖（Yen and Tien, 1986）推測潮州斷層往南延伸可能連接恆春斷層（Ho, 1986）；劉家瑄等（Liu *et al*, 1997）根據西南海域震測資料與海底地形則認爲潮州斷層向南延伸至枋寮後進入台灣西南海域內（Shyu *et al*., 2005）。此外，重力異常資料認爲潮州斷層爲一高角度向東傾斜的逆斷層（Hsieh, 1970；Chiang, 1971）。許中民（1986）利用槽溝挖掘進行古地震研究，認爲潮州斷層在更新世後期確實有活動的證據。中央地調查所台灣活動斷層概論（林啓文等，2000）認爲潮州斷層爲左向的逆斷層，列爲存疑性活動斷層。

作者於前期活動斷層研究計畫中重新針對潮州斷層位置以及活動性進行調

查研究，認爲北段潮州斷層（土壟灣斷層）的位置較沒有爭議，而南段潮州斷層由於地形特徵不明顯，位置不明確；以下針對潮州斷層南延伸進入屏東平原的區段作地形描述。

潮州斷層沿著荖濃溪向南延伸進入屏東平原時，斷層前緣被大量的沖積層覆蓋，由青葉向南至萬安（老埤農場南側，東港溪）的地形特徵呈現一明顯的線形崖地形，線形崖東側出露紅土階地（沖積扇扇階）地形，扇階前緣呈現近南北走向的線形崖。陳文山等（2006）認爲由於斷層崖受到河流的侵蝕作用呈現後退現象（朝東），因此斷層應位於沖積扇階崖的西側。

扇階地形分布最南是老碑農場扇階（圖 2-1），以南地形即以中央山脈與屏東平原相接攘，沒有扇階地形。陳文山等（2004，2006）認爲南側區域的中央山脈河谷地形與北側截然不同。南側中央山脈的下游河谷呈現寬廣的 U 型剖面，由於屏東平原沖積物向源堆積至潮州斷層上盤，因而沒有呈現如同老碑農場扇階以北的線形地形。因此，南側區段在訂定潮州斷層跡的位置就無法像北側區段明確。南側區域地形可以在中央山脈前緣的岩盤上還殘留區部的紅土階地，屬於晚更新世河階。



圖 2-1、潮州斷層位於扇階的最西側的崖腳。（相片向南拍攝）

中央山脈與西部麓山帶以潮州斷層爲界，從斷層兩側地層來看，潮州斷層應屬於逆斷層構造。但現今潮州斷層是否持續活動，構造活動特性是否與先前相同，或已轉變成另一種構造作用形式，此問題可以藉由地形、GPS 觀測資料或地震震源機制來探討。

張慧中（1986）於北段區域進行槽溝挖掘，敘述於槽溝剖面中的扇階沖積層不整合在一傾斜的礫岩層之上（紅水坑礫岩），此礫岩層屬於較老且已受構造作用傾動的沖積扇礫石層，後期再被紅土扇階礫石層覆蓋。北段區域的紅土扇階面的傾斜角度遠大於現今河床坡度，且東側紅土扇階面受到背衝逆斷層作用，形成向西撓曲的紅土階面；顯然潮州斷層在晚更新世尚有活動。

另由山麓前緣的彎曲度分析，南段區域（老埤農場以南）顯示潮州斷層下盤的沉積速率快於上盤的抬升速率，造成沖積扇沉積層向源堆積至上盤河谷中，導致山麓前緣線的彎曲度較大，沒有呈現線形崖地形，以及上盤河谷呈現溺谷型地形（陳文山等，2004）。北段區域（老埤農場以北）的山麓前緣線的彎曲度較小，且上盤河谷呈現 V 型的侵蝕型河谷。顯示近期南側斷層的活動性似乎不快。GPS 觀測資料而言，斷層兩側的相對水平位移速度沒有變化，顯然斷層於近期中呈現鎖住狀態。

2-2、古地震槽溝研究

經濟部中央地質調查所日前於潮州斷層南段的力力溪北岸發現一斷層露頭剖面（圖 2-2），剖面中的 F1 斷層顯示板岩層逆衝至紅化階地堆積物之上，為潮州斷層南段新期構造活動的明確證據（劉彥求等，2009）。根據在該剖面西側力力橋 1 號井的鑽井結果，顯示在井深 42.75-150 公尺為板岩層，因此槽溝剖面中的斷層應屬於潮州斷層的分支斷層，並非主要斷層。然就新期構造研究研究而言，斷層的活動時距的調查與斷層的位置同等重要，如能從潮州分支斷層與近期沉積層的接觸關係來探討潮州斷層的活動時距，可進一步探討潮州斷層的地震災害潛勢。特別於力力溪剖面除了前述 F1 斷層外，尚有數條疑似斷層，如圖 2-2 中的 F2、F3 及 F4 等斷層。釐清該疑似斷層是否存在？及斷層是否截切近期的階地？為本次力力溪槽溝開挖的重點。

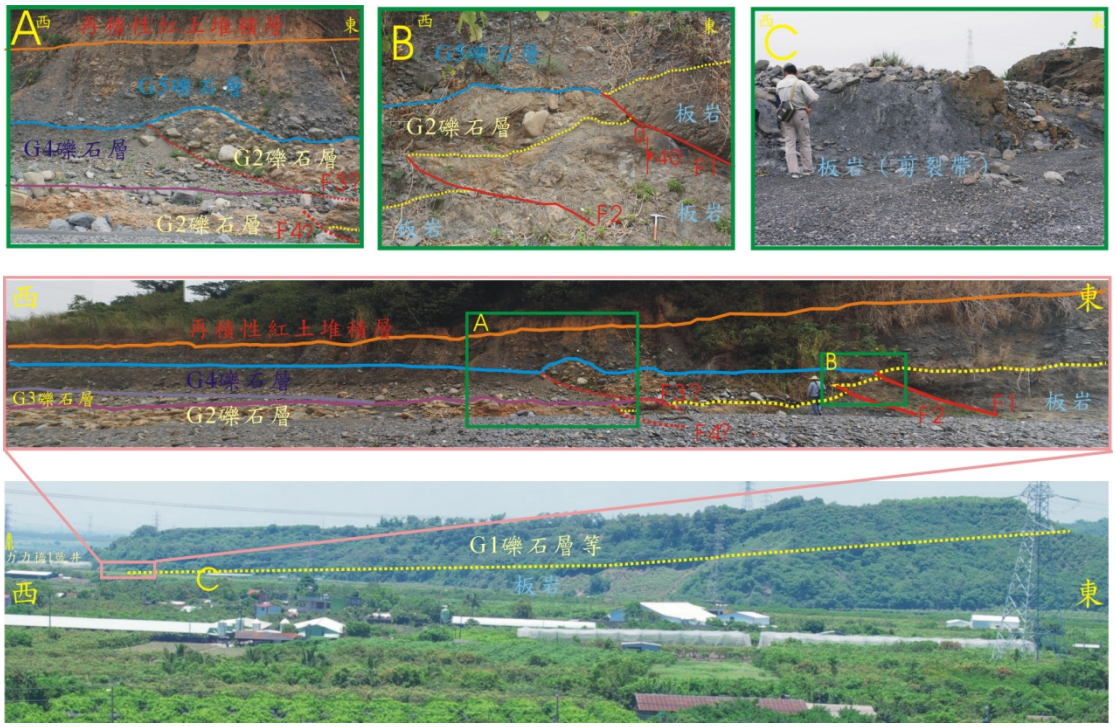


圖 2-2、力力溪槽溝開挖前的露頭概況（劉彥求等，2009）。

2-2-1 力力溪槽溝地質地形概述

力力溪槽溝位於中央山脈南段山麓西緣與屏東平原的交界處，地處餉潭村南方約 4 公里處的力力溪北岸（圖 2-3）。根據當地居民描述，近年來該處河流側蝕嚴重，約有數十公尺的低位階地受侵蝕流失，致使露頭出露連續，可觀察到板岩層在山麓西緣與沉積層的接觸關係，亦爲一般推論潮州斷層通過之處。潮州斷層上盤爲牡丹層，岩性爲輕度變質的硬頁岩與薄砂頁互層爲主，岩層中常見大規模的崩移構造（宋國城與林偉雄，1993；林啓文與林偉雄，1991）。此外在力力溪南北兩側，山麓前緣牡丹層之上不整合沉積一紅土化階地礫石層，爲晚期更新世的沖積扇階。透過數值地形分析，紅土化階地礫石層呈現一向西傾斜階面（LT），河拔最高約 70 公尺。此外存在一低位河階（t），河拔約 6 公尺（圖 2-4），此低位河階亦爲本次槽溝開挖的主要位置。

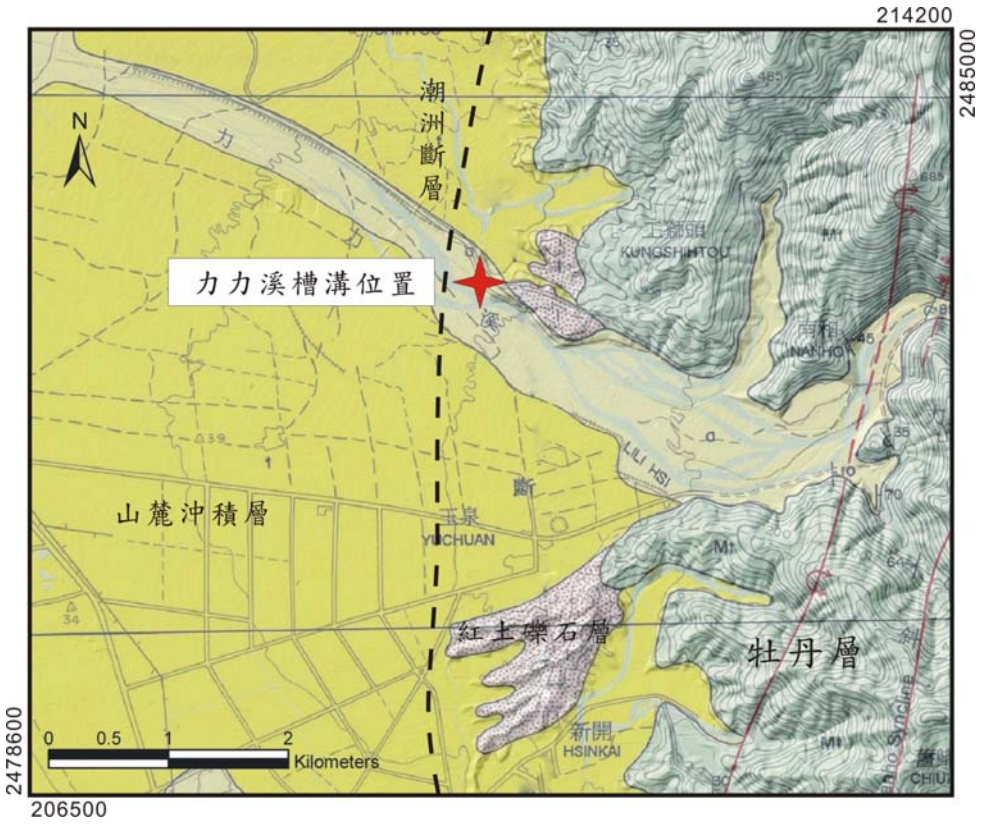


圖 2-3、力力溪槽溝鄰近地質圖，槽溝座標爲 TWD_97（210264, 2482883）。

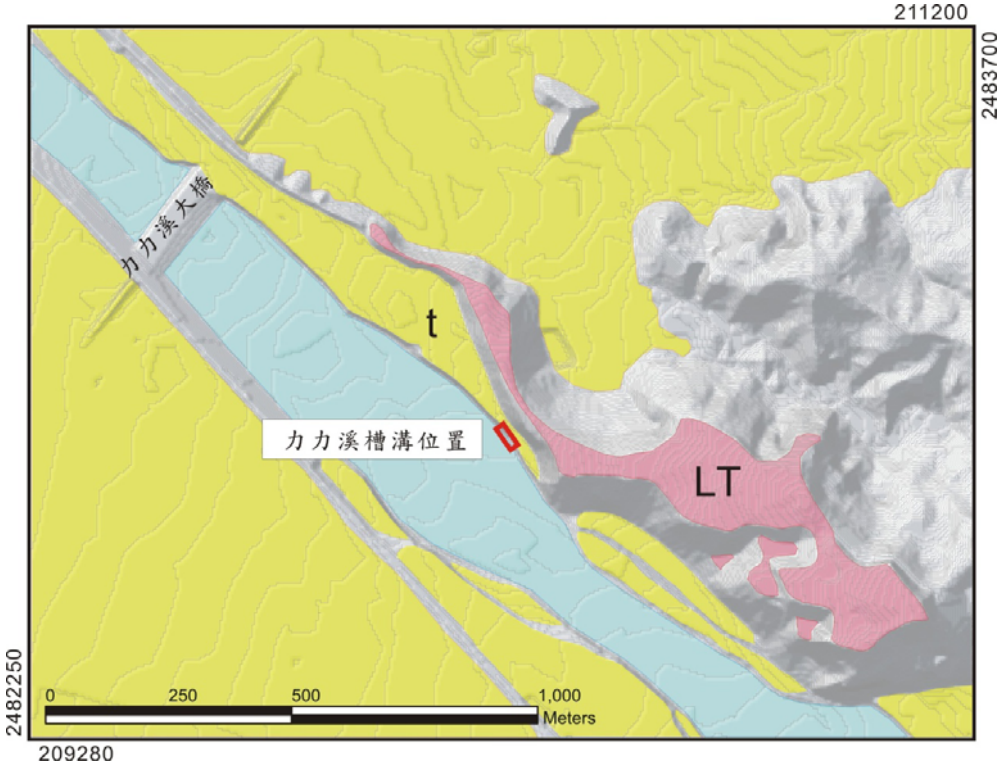


圖 2-4、力力溪槽溝鄰近階地分布，槽溝位置之上存在一西傾的高位紅土化階地礫石層（LT），以及一低位階地（t）。

由野外露頭顯示該紅化礫石層厚約 20-40 公尺，產狀分別有淘選良好的顆粒支持爲主的礫石層及淘選差並以基質支持爲主的礫石層互層，爲沖積扇的沉積環境（圖 2-5）。該紅化礫石層除了出露在高位階地外，隨著河流的下切作用，亦出露在主河道北岸，上覆低位階地礫石層（t）。低位階地的產狀爲淘選佳、膠結差並以顆粒支持爲主的礫石層，常具有疊瓦狀構造，指示水流方向與現今河道相同。由這兩個階地的接觸關係可推論河流的演化至少具有二次的堆積及下切循環。早期爲沖積扇堆積，之後河流下切並側蝕形成沖積扇階（LT）。後期有一河道堆積事件，河道礫石層侵蝕不整合沉積於岩盤（牡丹層）之上，亦侵蝕不整合於早期受河流下切的紅化礫石層（LT）之凹側，之後河流又下切而形成今日的形貌（圖 2-4，2-5）。整體來看，在槽溝開挖處，低位階地（t）狹窄且緊鄰於高位階地紅化礫石層（LT）之側，因此除了觀察此兩個階地的不整合關係外，亦須注意二階地在側向不整合的接觸關係。



圖 2-5、槽溝位置處岩盤及高低位階地分布圖。紅化礫石層在高位階地及河床均出露。

2-2-2 力力溪槽溝

力力溪槽溝總長 46 公尺，高約 9 公尺。共辨識出 5 個岩性單位及 1 個斷層（圖 2-6）。岩性單位由老而新分別爲岩盤（Mt，牡丹層）、LT-a 層、LT-b 層、t-a 層及 t-b 層。其中 LT-a 及 LT-b 屬於前述高位紅土礫石層（LT）的下部岩層，t-a 及 t-b 屬於低位階地礫石層（t），產狀分述如下：

（1） Mt（岩盤）：爲輕度變質的硬頁岩，層面爲 N8^{o}E、45^{o}E。岩盤沿河床出露良好，往下游在槽溝剖面的 19 公尺處已無出露，上覆 LT-a 岩層（圖 2-6，2-7）。本研究亦嘗試在剖面的 18 公尺處往深部挖掘近 1.5 公尺，並無岩盤出露，顯示岩盤在此位置有一落差，然由上覆 LT-a 岩層的側向延伸良好，並無錯移的現象，推論此位置主要爲侵蝕不整合的接觸，若有構造亦長期不再活動（圖 2-7）。

（2） LT-a 層：爲淘選良好具顆粒支持構造的礫石層。平均粒徑小於 5 公分，部分已有風化現象。本層在剖面 19-22 公尺處不整合沉積於岩盤之上，且在剖面 4-14 公尺及 17-20 處可明顯觀察到其上覆岩層爲 LT-b（圖 2-6，2-7）。

（3） LT-b 層：爲淘選度差具基質支持構造的礫石層且膠結良好。其最大粒徑可達約 80 公分，基質已有土壤化，常爲褐色。本層如前述部分區域可明顯觀察到其上覆於 LT-a 之上外，此外在剖面 28-36 公尺處侵蝕不整合於岩盤之上（圖 2-6）。本層在側向的延伸不易觀察，在槽溝剖面的表徵上，似乎與 t-a 層呈現犬牙交錯的假象，然而此二層在膠結度及風化程度均有極大的差異，且經由本次剖面的清理，常可發現將表面的膠結鬆散的 t-a 層剝除後，內側則明顯出露 LT-b 層，顯然隸屬低位階地的 t-a 層側向不整合在 LT-b 層上。此結果亦呼應前述階地地形的觀察，在槽溝開挖處低位階地緊鄰紅土化的高位階地（圖 2-4）。

（4） t-a 層：爲膠結鬆散、淘選佳具顆粒支持構造的礫石層。常具有疊瓦狀構造，其所指示的水流方向與現今河道同向，本層除了在槽溝位置出露外，其側向延伸良好，本層在上游處不整合沉積在岩盤上，往下游可觀察到不

整合於 LT-b 層上（圖 2-5，2-6）。而在槽溝位置處如前述主要爲側向不整合於 LT-b 層，造成犬牙交錯的假象。

（5） t-b 層：爲略具紅化、淘選度差的基質支持礫石層。本層上覆於 t-a 層之上，位於低位階地的頂部。其側向延伸差，在低位階地頂部厚薄不等的出露，推論應爲高位紅土化階地受雨水沖刷，堆積於低位階地的頂面，爲一再積性的紅化礫石層（圖 2-6）。

劉彥求等（2009）的野外調查顯示 F1 斷層逆衝至紅土礫石層（本槽溝的 LT-b 層）之上。經由開挖 F1 斷層可往下延伸至岩盤中，往上並無錯動低位階地的 t-a 層（圖 2-6，2-8）。斷層面位態爲 N8^{o}E、40^{o}E，剪切面量測的結果顯示，爲一逆衝兼具右移的滑動的斜滑逆衝斷層。斷層錯距在剖面的量測上約 35 公分，然而上盤岩盤上覆後期侵蝕不整合的 t-b 層，實際錯距應大於 35 公分。整體來看，力力溪槽溝開挖顯示除了 F1 斷層外，其餘沉積層的層序及接觸關係如前所述都爲沉積作用造成，並無構造作用的產狀。

2-2-3 結論與建議

由力力溪槽溝 F1 斷層的上下盤均爲岩盤，配合西側力力橋 1 號井亦鑽遇岩盤來看，F1 斷層爲潮洲斷層的分支斷層。F1 斷層錯移高位紅土礫石層的下部岩層（LT-b）且無錯移低位階地的 t-a 層，推論其活動的時期爲更新世晚期。由階地地形配合鑽井（力力橋 1 號井）資料顯示，潮洲斷層的位置還在力力橋 1 號井位的西側。

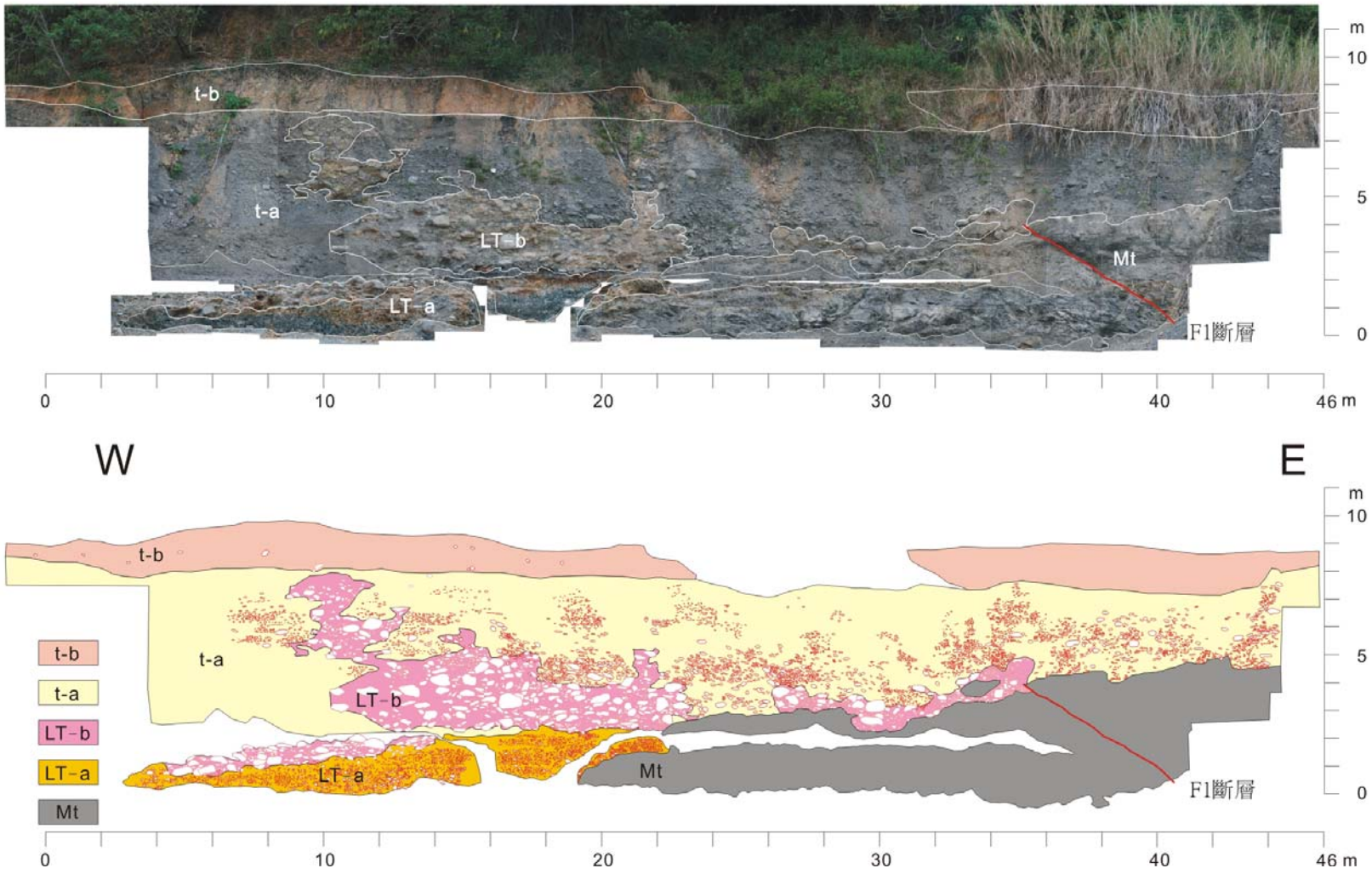
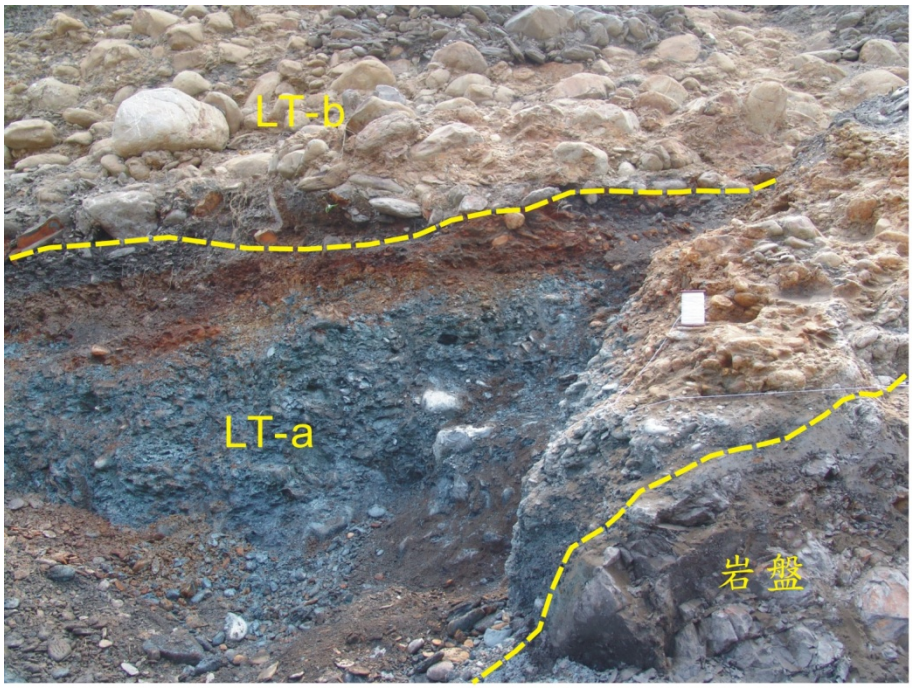

t-b
t-a
LT-b
LT-a
Mt
F1斷層
m
10
5
0
0
10
20
30
40
46 m
W
E
t-b
t-a
LT-b
LT-a
Mt
F1斷層

圖 2-6、槽溝剖面圖。



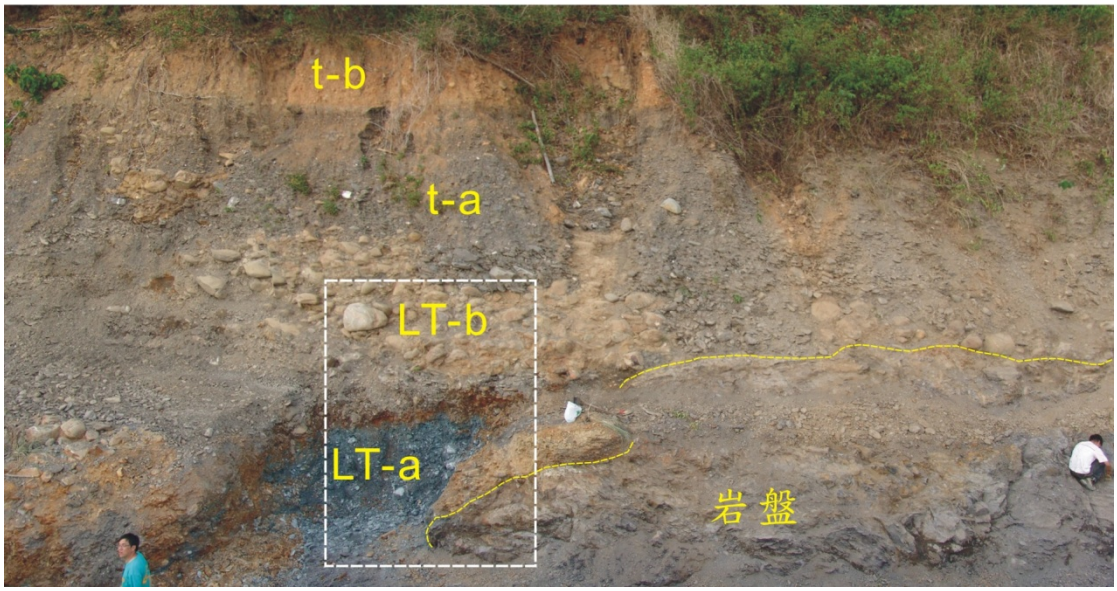


圖 2-7、槽溝開挖顯示岩盤上覆 LT-a 及 LT-b 層序。（相片左側爲西邊）

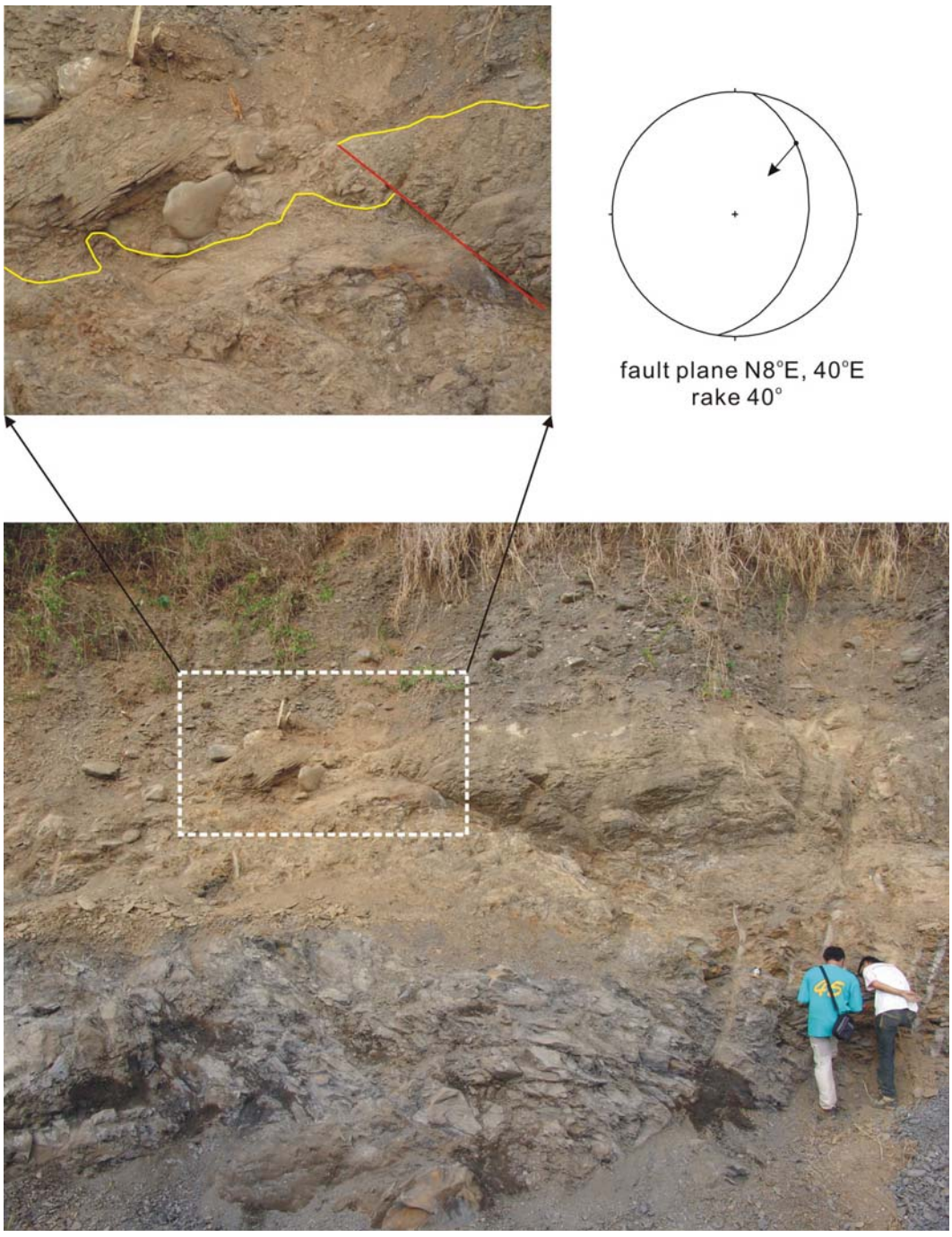


圖 2-8、F1 斷層可往下延伸至岩盤中，斷層面位態爲 N8°E、40°E。（相片左側爲西邊）

參考文獻

中國石油公司（1989）台南十萬分之一地質圖。

中國石油公司（1992）高雄-屏東十萬分之一地質圖。

石再添、鄧國雄（1983）潮州斷層帶的活斷層與地形。國立台灣師範大學地理學研究，第 7 號，17-34 頁。

宋國城、林偉雄（1993）枋寮圖幅。經濟部中央地質調查所五萬分之一台灣地質圖幅說明書，第67號。

宋國城、林慶偉、林偉雄、林文正（2000）臺灣地質圖說明書－甲仙地質圖幅。經濟部中央地質調查所，圖幅第 51 號。

林朝棨（1957）地形，台灣省通志稿卷一，台灣省文獻委員會，共 424 頁。

林啓文、林偉雄（1991）中央山脈南部力里溪地區之崩移構造。經濟部中央地質調查所彙刊，第七號，43-60頁。

林啓文、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，74-77頁。

許中民（1986）台灣南端恆春半島第四紀後期構造運動之研究。國立台灣大學地質研究所博士論文，共135頁。

鳥居敬造（1933）高雄洲旗山油田調查報告。台灣總督府殖產局出版。第633號，共36頁。

陳文山、楊志成、吳樂群、楊小青、陳勇全、顏一勤、劉立豪、黃能偉、林啓文、張徽正、石瑞銓、林偉雄（2004）沉降環境的山麓河谷地形特性－探討台北盆地、蘭陽平原與屏東平原鄰近山麓地形與構造的關係。經濟部中央地質調查所彙刊經濟部中央地質調查所彙刊，第 17 期，79-106 頁。

陳文山、陳勇全、游能悌、顏一勤、楊志成、石同生 （2005）潮州斷層沿線的地層與地形特性－重新檢討斷層的構造特性與位置，經濟部中央地質調查所特刊，第 16 期，75-90 頁。

陳文山、陳于高、楊小青（2006）潮州斷層條帶地質圖說明，「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 28 頁。

陳勇全（2004）六龜地區礫岩沉積環境與潮州斷層之研究。國立台灣範大學地質科學系研究所，碩士論文，共 96 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。

張慧中（1986）台灣南部潮州斷層北段之新期構造研究，國立台灣大學地質學研究所碩士論文，共111頁。

劉彥求、黃鐘、陳柏村、盧詩丁、顏一勤（2009）潮洲斷層中南段新近調

查成果。2009中華民國地質學會年會摘要。

Bonilla, M.G. （1975） A review of recently active fault in Taiwan: *U. S. Geological Survey Open- File Report*, 75-41, 58p.

Chiang, S.C.（1971）Seismic study of Chaochou structure, Pingtung, Tiawan: *Petrol. Geol. Taiwan*, 8, 281-294.

Ho（1986）A synthesis of the geologic evolution of Taiwan: *Proc. Geol. Soc. China*, 7, 15-29.

Hsieh, S.H. （1970） Geology and gravity anomalies of the Pingtung plain, Taiwan: *Proc. Geol. Soc. China*. 13, 76-89.

Hsu, C.M., Chang, F.C., and Wang, Y. （1985） Fault-induced fissures at the Tulungwan fault zone, southern Taiwan, and its neo-tectonic implications: *Acta Geologica Taiwanica*, 23, 197-207.

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

Liu, C.S., Huang, I.L., and Teng, L.S. （1997） Structural features off southwestern Taiwan, *Mar. Geol.*, 137, 305-319.

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

Shyu, B.J.H., Sieh K., Chen Y.G., and Liu, C.S. （2005） Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes. *J. Geophys. Res*., 110, 33.

Tomita, Y. （1955） Some geomorphological considerations to the Chaochou fault in south Taiwan （Formosa）, China, Science Reports, Tohoku University, Series 3: *Mineralogy, Petrology, and Economic Geology*, 4, 59-66.

Tsan, S.F. and Keng, W.P. （1968） The Neogene rocks and major structural features of southwestern Taiwan: *Proc. Geol. Soc. China*, 11, 45-59.

Wang, S. （1976） ERTS-1satellite imagery and its application in regional geologic study of southwestern Taiwan: *Petrol .Geol. Taiwan*, 13, 37-57.

Yen, T.P. and Tien, P.L. （1986） Chaochou Fault in southern Taiwan: *Proc. Geol. Soc. China*, 29, 9-22.

第三章、新竹斷層長期滑移速率

3-1、地質與地形

新竹斷層斷層跡出露位置，由新竹市西側大庄里海岸向東北沿著階地崖延伸（向西南延伸入海），經三姓公、客雅、新竹市（新竹教育大學，學府路，建功）進入頭前溪河床，由於被現代沖積層覆蓋，斷層跡位置不明顯。洪瑛鈞等（2006）利用地電阻探勘，顯示在線形階地崖之下呈現明顯的地電阻不連續面結構，認爲是新竹斷層所造成（三姓公溪、經國橋、竹北六家）。新竹斷層向東延伸時，大部分研究認爲新竹斷層與新城斷層會合成爲一條斷層，之後朝東延伸至關西。新竹斷層出露於陸上的長度約爲 16 公里（未包括延伸至西側海域中的區段）（圖 3-1）。

斷層兩側岩層，下盤淺層數百公尺以上都屬於晚更新世以來的沖積層，上盤則出露頭嵙山層香山相砂岩，晚期更新世的紅土階地礫石層以交角不整合覆蓋香山相砂岩之上。新竹斷層屬於逆斷層，並在斷層前緣形成背斜褶皺（青草湖背斜），而對於造成褶皺構造的新竹斷層構造型態則有兩種不同的解釋，一爲斷層轉折褶皺（圖 3-2；fault-bend fold；Namson, 1984；Lee *et al*., 1993；黃旭燦等，2004），另一爲斷層擴展褶皺（圖 3-3；fault-propagation fault；Chung, 1963；Tang and Hsu, 1970；Yang *et al*., 1994）。但無論屬於哪種斷層型態，都認爲新竹斷層的垂直錯移量似乎不大。

新竹地區地形大致可以依據新竹斷層爲界，劃分爲兩個地形單元，斷層上盤（南側）屬於丘陵地形以及河階地形，下盤（北側）受到全新世海進，堆積成爲海岸沖積平原。長期以來，由於新竹斷層的逆移活動造成晚更新世的紅土河階產生錯移。目前就上盤區域河階的比高（與現生河床面的高度差），可以分爲五階（石再添等，1985；楊貴三與蔡怡真，2003；Chen *et al*., 2004）。

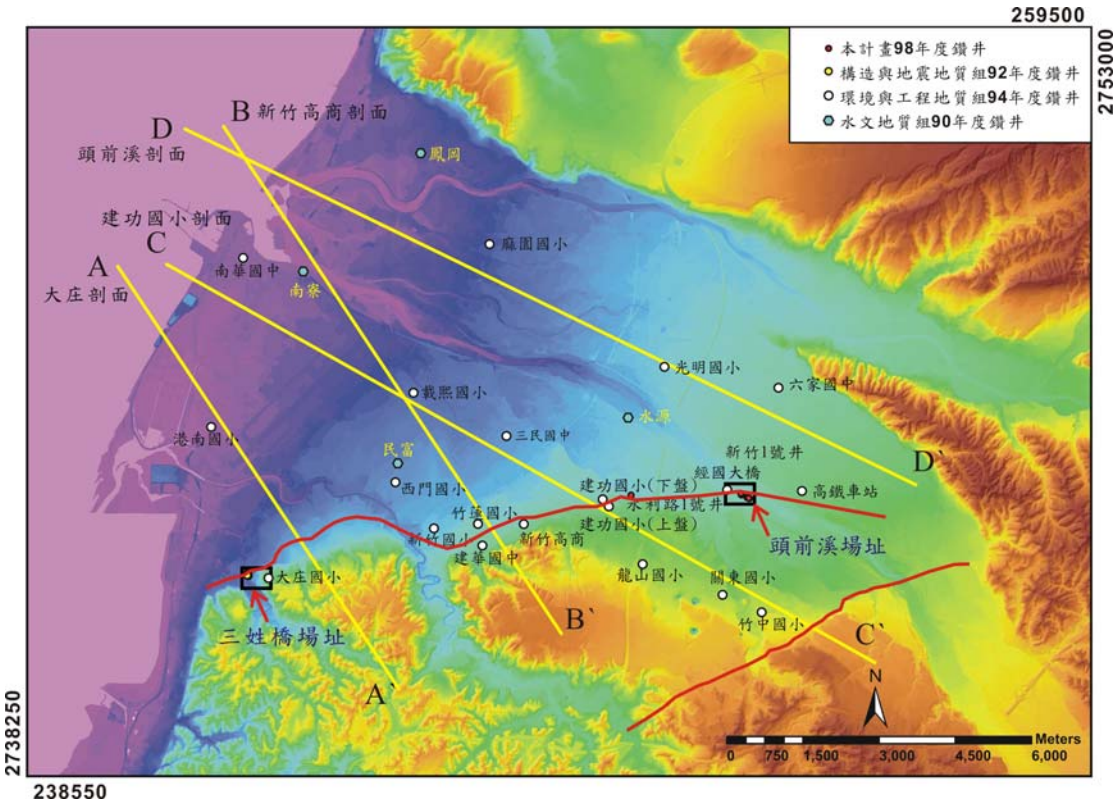


圖 3-1、新竹地區鑽井位置圖。

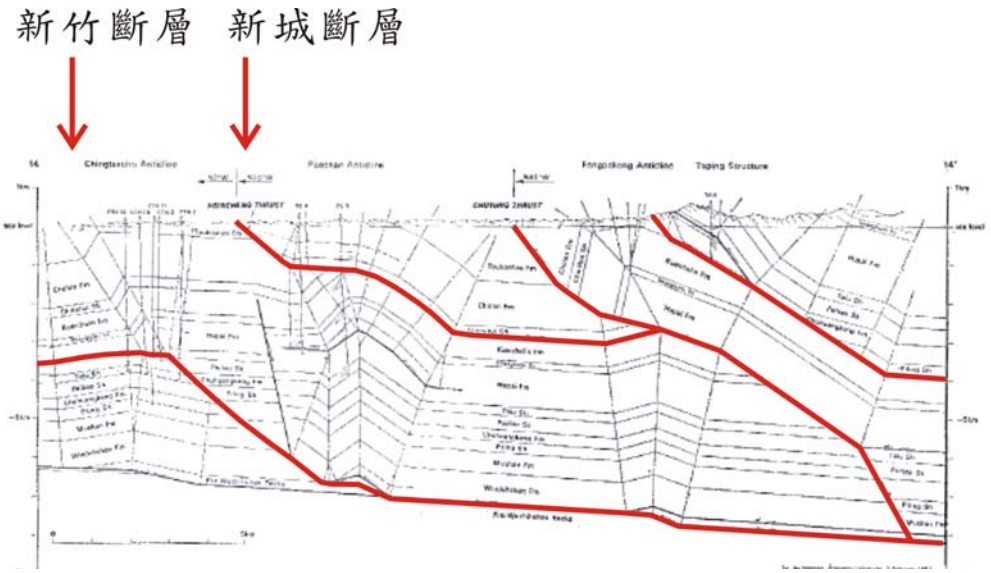


圖 3-2、Namson（1984）解釋新竹市東西向的構造平衡剖面，新竹斷層屬於斷層轉折褶皺型態，新城斷層屬於斷層擴展褶皺型態。

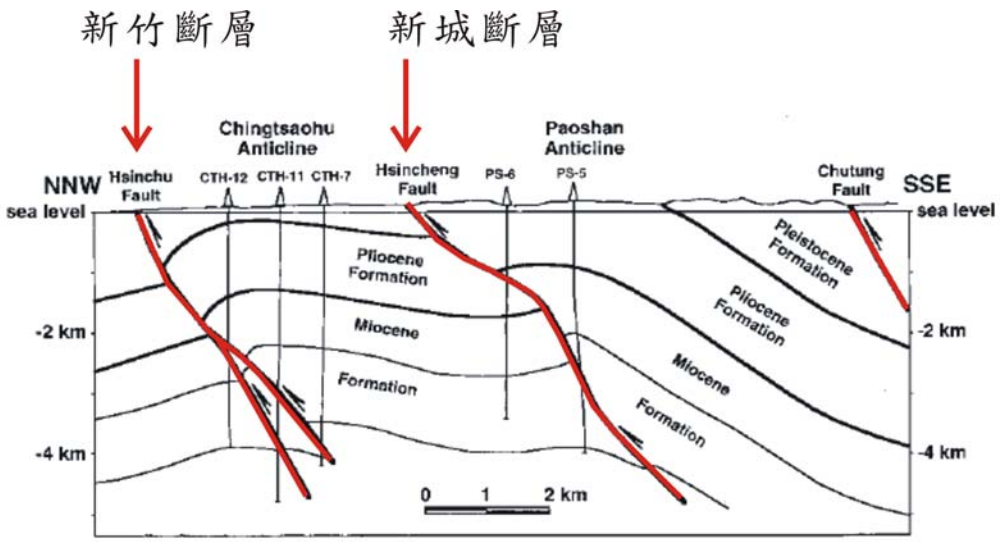


圖 3-3、楊耿明等（Yang *et al*., 1994）解釋新竹市東西向的構造剖面，新竹斷層與新城斷層屬於斷層擴展褶皺型態。

3-2、岩芯紀錄

本研究於新竹斷層兩側進行鑽探研究，試圖由鑽井調查斷層跡位置，以及淺層的斷層幾何型態；若有鑽取可供 ^{14}C 定年的材料時，亦估算新竹斷層的活動速率。除本計畫所進行的鑽探之外，先前地質調查所於此區域中已有許多的鑽探調查，本研究亦將針對這些岩芯進行紀錄與定年，配合新竹斷層的活動性研究。

本研究先期地表調查由頭前溪河床出露香山相砂岩與晚更新世礫石層的位態與位置，以及西側鑽井資料（經國大橋井）研判可能斷層跡的位置。因此，在頭前溪河床南岸安排了五口鑽井（頭前溪 1-5 號井；圖 3-1）。

除了利用本研究在頭前溪五口鑽井岩芯之外，亦針對中央地質調查所在新竹地區的鑽井岩芯（圖 3-1），這些鑽井主要分布在新竹市地區，鑽井調查計有地下水調查共九口（進行 4 口研究紀錄），都會區基礎鑽探共 24 口（本研究進行 20 口研究紀錄），以及活動斷層調查共 6 口（本研究進行 5 口研究紀錄）。新竹斷層跡位於紅土階地北側階地崖與海岸平原的交會處，鑽井分布於斷層跡兩側，其中鄰近斷層的鑽井有，活動斷層調查的三姓橋井（5 口；圖 3-1），都會區基礎鑽探的建功國小井（2 口），本研究的頭前溪井（5 口），水利路 1 號井，

以及中正大學的新竹 1 號井（此地震與活動斷層整合計畫）。

以下針對利用鑽井岩芯所建立的剖面來討論斷層上下盤的地層對比，以及斷層的構造特性。討論岩層對比之前，綜合上述各時期的鑽井岩芯，本計畫 6 口岩芯，以及中正大學的新竹 1 號井，共 36 口岩芯（附錄一），就本研究的地層分層進行描述。下盤岩芯主要呈現的岩相（地層）由下而上層序計有，D 層爲頭嵙山層香山相，出露於上盤區域，由於上盤的野外露頭以經確定爲頭嵙山層香山相。C 層：晚更新世（^{14}C 定年年代＞50000 年）潮汐環境的泥夾薄層砂層（膠結不良），都呈現水平狀態，鄰近斷層處的岩層呈傾斜；主要位於下盤，由於無法確知年代，不能確定是否爲頭嵙山層香山相，所以暫以 C 層稱之。B 層：風化礫石層，偶夾厚層砂層，晚更新世河流沖積層，^{14}C 定年年代＞50000 年。A 層：全新世－現代河流沖積層或崩積層，海側爲潮汐環境的砂泥層。

上盤岩芯主要呈現的岩相（地層）由下而上層序爲，D：頭嵙山層香山相，潮汐環境的泥夾薄層砂層，偶夾數公尺砂岩與礫岩層。鄰近斷層的地層大都呈現傾斜，以及受到強烈的剪切作用，岩層傾角約 30-60º，遠離斷層帶的岩層傾角都呈現水平狀態，此構造與頭前溪出露的頭嵙山層的構造相似。B 層：風化礫石層，偶夾厚層砂層（晚更新世河流環境）。A 層：全新世至近代河流沖積層或崩積層。

3-2-1 大庄剖面（A－A`剖面，圖 3-4）

大庄剖面位於最西側，此剖面計有 7 口鑽井，北側爲港南國小井（下盤），南側爲大庄國小井（上盤），中間爲三姓橋 1-5 號井（三姓橋場址，圖 3-5）。下盤的港南國小井呈現的地層爲 A 層、B 層與 C 層，C 層之上未見 B 層的風化礫石層；上盤的大庄國小井呈現的地層爲 B 層風化礫石層不整合在 D 層的頭嵙山層之上。三姓橋 1-5 號井鄰近斷層帶，94 年地質調查所構地組所鑽取岩芯，三姓橋 1 號與三姓橋 3 號位於下盤，地層屬於 A 層的近代沖積層，下部是否出露屬於 B 層的風化礫石層則無法判斷。三姓橋 4 號、三姓橋 5 號與三姓橋 2 號位於上盤，地層層序爲 A 層的近代沖積層不整合在 D 層的頭嵙山層之上，岩層傾

角 30-44º，剪切面傾角 50-72º，顯然此 3 口井位於斷層剪切帶（圖 3-5）。位於三姓橋 5 號與三姓橋 3 號之間呈現一與河流（三姓公溪）流向垂直的階地崖，與三姓橋 5 號相距約 5 公尺；之前的研究亦認爲此崖是由新竹斷層活動產生的斷層崖（楊貴三與蔡怡真，2003；Chen *et al.*, 2004）。由此剖面的地層結構而言，顯然新竹斷層在此形成寬約數十公尺的剪切帶，遠離斷層跡的大庄國小井底部的頭嵙山層顯然沒有受到斷層擾動，地層呈現水平狀態。

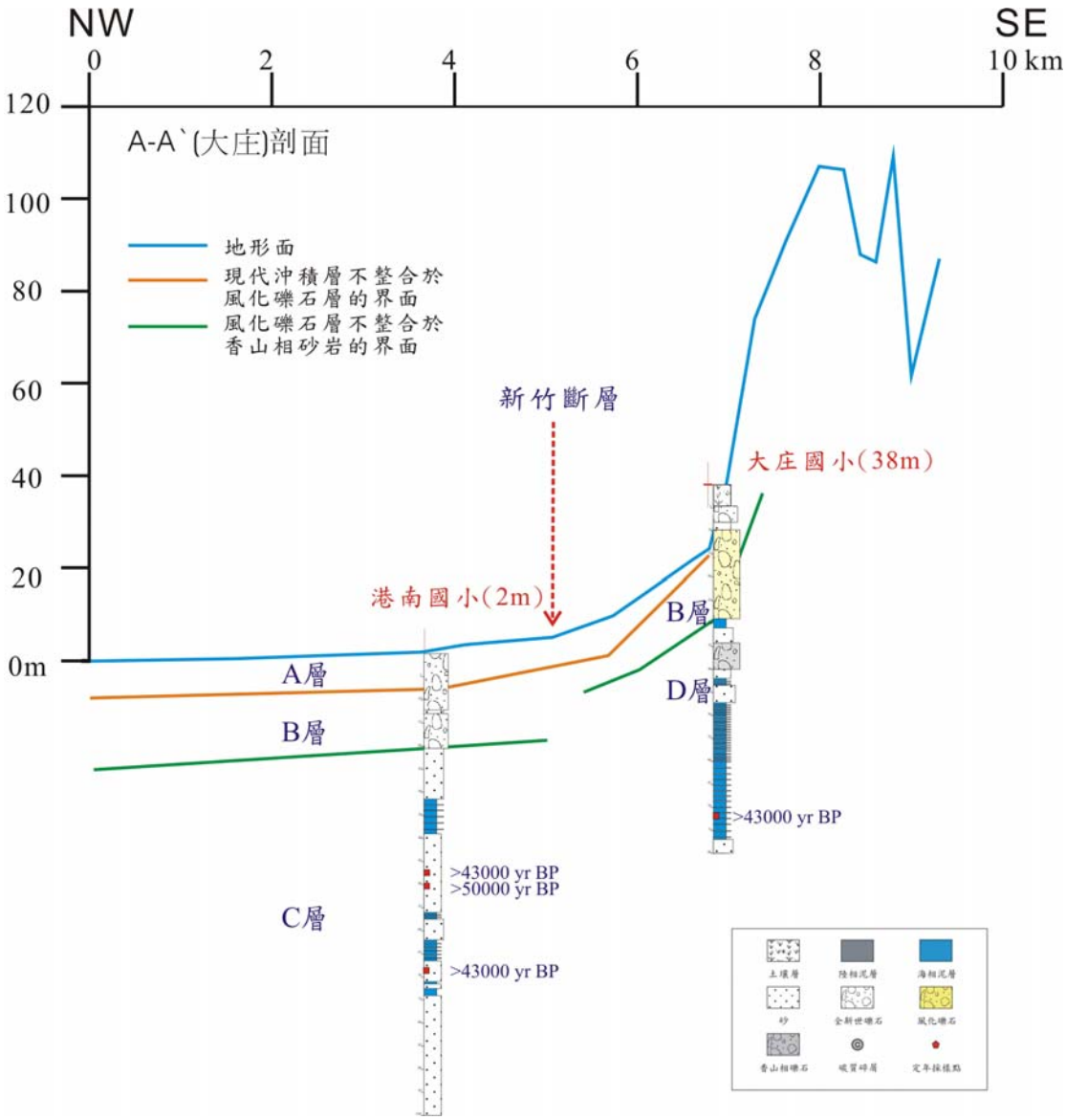


圖 3-4、大庄剖面，鑽井柵狀圖。

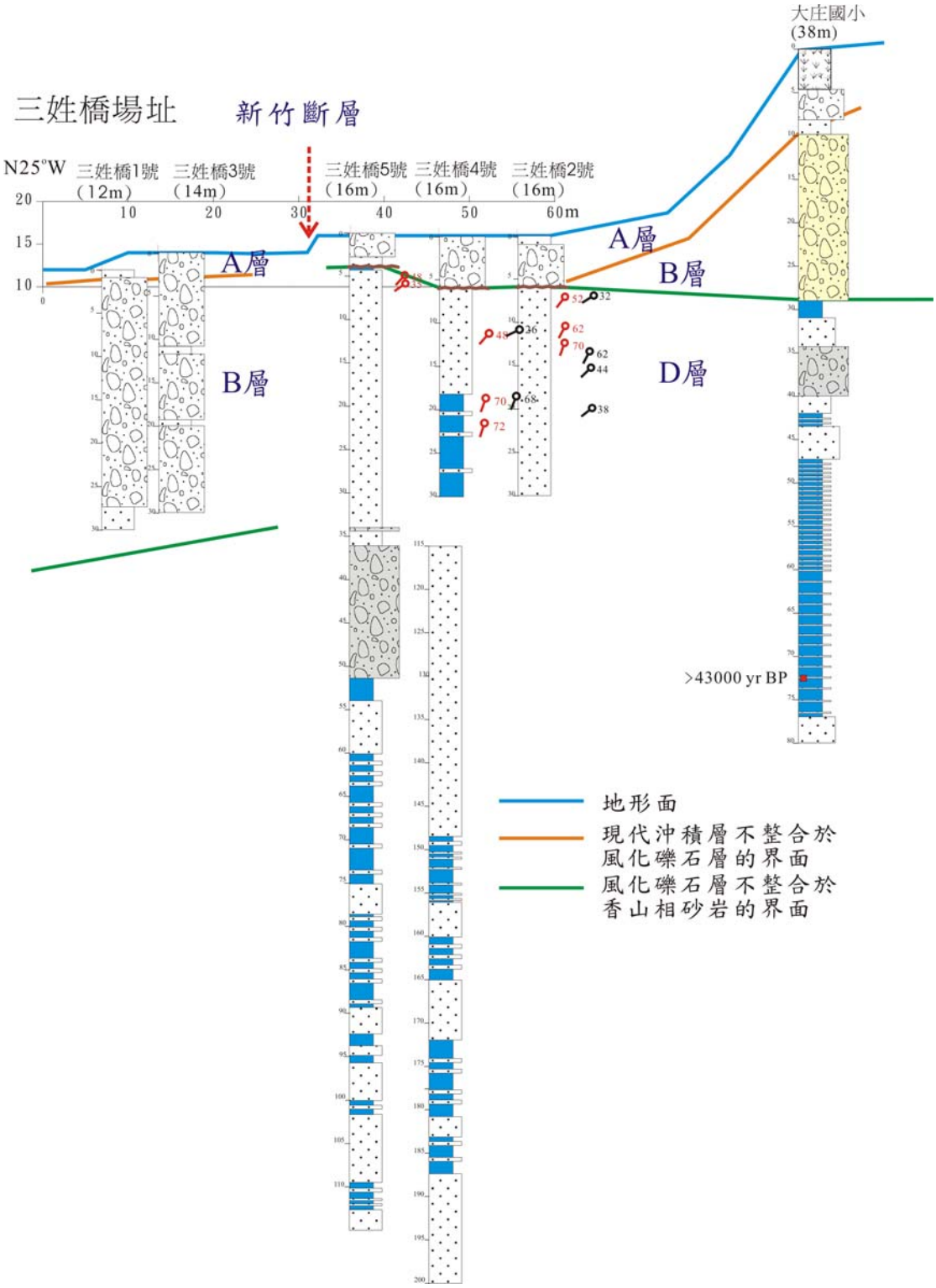


圖 3-5、三姓橋場址，鑽井柵狀剖面。（圖例見圖 3-4）

3-2-2 新竹高商剖面（B－B`剖面，圖 3-6）

新竹高商剖面位於大庄剖面北側約 3 公里，此剖面沿線共有 9 口井，建華

國中井、新竹高商井、竹蓮國小井、新竹國小井、西門國小井、民富井、載熙國小井、南寮井、南華國中井。由地形來看，東側的建華國中井與新竹高商井應位於新竹斷層上盤，其餘位於下盤。

下盤地層大致可以分爲兩種層序，北側接近海岸區域的岩芯層序出露 A 層、B 層與 C 層（南華國中與南寮），僅南華國中井有 B 層的風化礫石層的堆積，沉積於 C 層的海相沉積層之上，最上層的 A 層屬於全新世至近代的沖積層。A 層在民富與南寮井有 ^{14}C 定年，南寮井上層的潮汐環境海相沉積層年代屬於全新世（8850-9230 yr BP），民富井上層的河相砂層年代爲 2180-2650 yr BP。B 層風化礫石層在載熙國小、民富、西門國小、與新竹高商井都有 ^{14}C 定年，年代都老於 50000 年。B 層礫石層位於下盤區域呈現楔型堆積，近斷層下盤厚度較厚，遠離斷層則逐漸變薄。C 層的海相地層僅有南寮與西門國小有 ^{14}C 定年，年代亦都老於 50000 年，顯然 B 層的陸相河流礫石層與 C 層的海相砂泥層是屬於晚更新世地層。

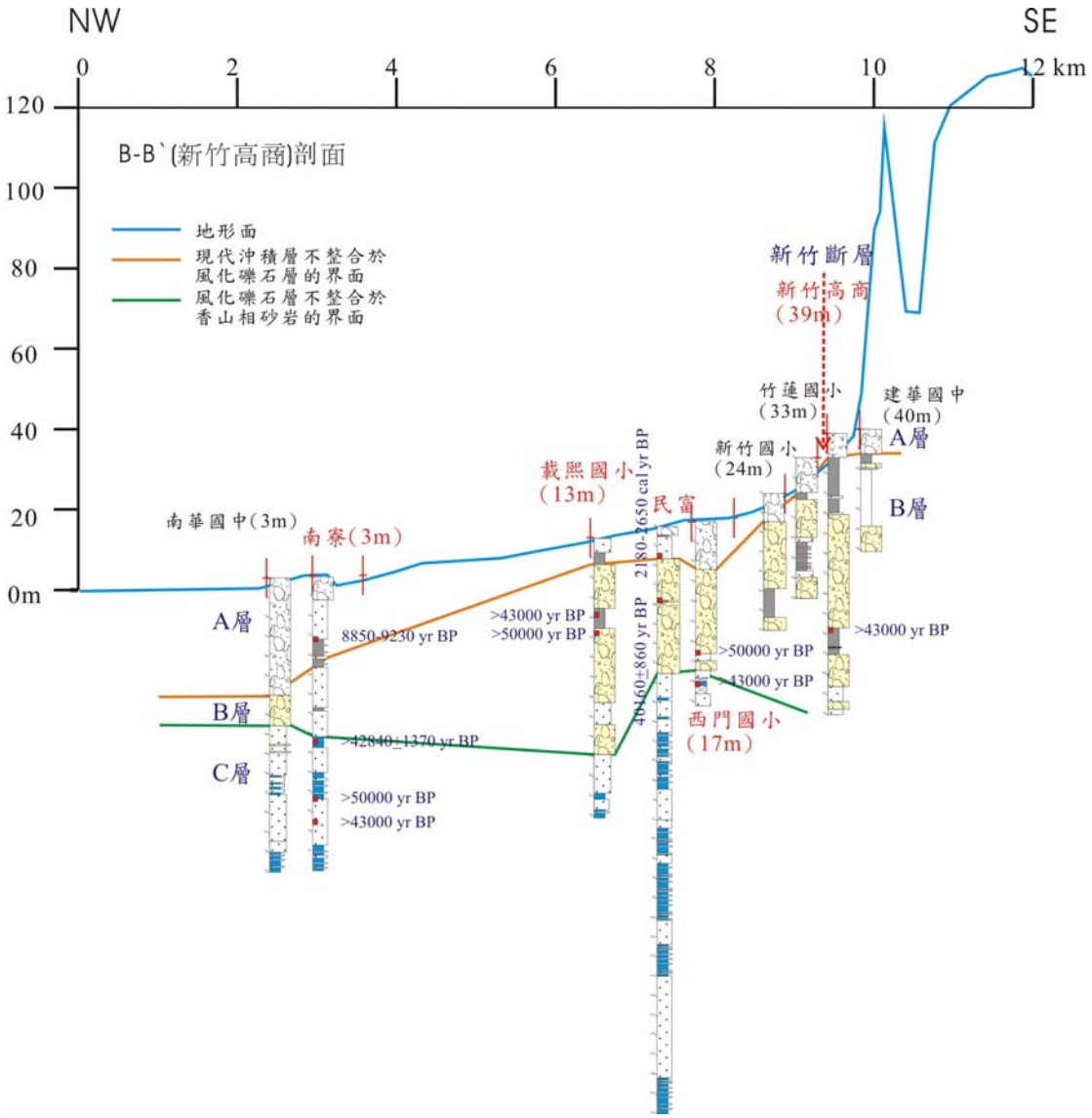


圖 3-6、新竹高商剖面，鑽井柵狀圖。（圖例見圖 3-4）

3-2-3 建功國小剖面（C－C`剖面，圖 3-7）

建功國小剖面位於新竹高商剖面北側約 2.5 公里，剖面沿線共有 10 口井，竹中國小井、關東國小井、龍山國小井、建功國小井（上盤）、水利路 1 號、建功國小井（下盤）、三民國中井、載熙國小井、南寮井、南華國中井。此剖面的斷層崖位於建功國小之中，因此上盤有竹中國小井、關東國小井、龍山國小井、建功國小井（上盤）與水利路 1 號井等 5 口井，下盤有建功國小井（下盤）、三民國中井、載熙國小井、南寮井、南華國中井等 5 口井。

下盤井的地層層序亦可以分爲主要爲 A 層、B 層與 C 層，A 層的全新世海相沖積層之上（南寮井）與近斷層的礫石層，上盤則屬於紅土礫石層（B 層）。B 層的風化礫石層除了在斷層上盤堆積有厚約十數公尺的紅土礫石層之外，在下盤堆積的礫石層呈楔型，斷層崖下側的厚度較厚約四十幾公尺，向海側逐漸變薄。鄰近斷層帶的 B 層受到斷層作用產生許多的剪切面構造，地層也已傾斜（50 度），礫石層的 ^{14}C 年代爲老於 50000 年（建功國小上盤井）。上盤岩芯層序可以發現 B 層風化礫石層不整合在 D 層的頭嵙山層之上。建功國小的上盤井中可以發現兩個主要的斷層剪切帶，顯示 D 層頭嵙山層香山相砂泥岩逆衝覆蓋在 B 層風化礫石層之上。B 層風化礫石層的 ^{14}C 年代爲>50000 yr BP（兩個定年年代）。另外本研究在水利路 1 號井的 B 層風化礫石層 ^{14}C 年代亦爲>50000 yr BP。由此剖面地形與岩芯特徵，顯示階地表層的礫石層（>50000 yr BP）可能對比至下盤的 B 層風化礫石層。

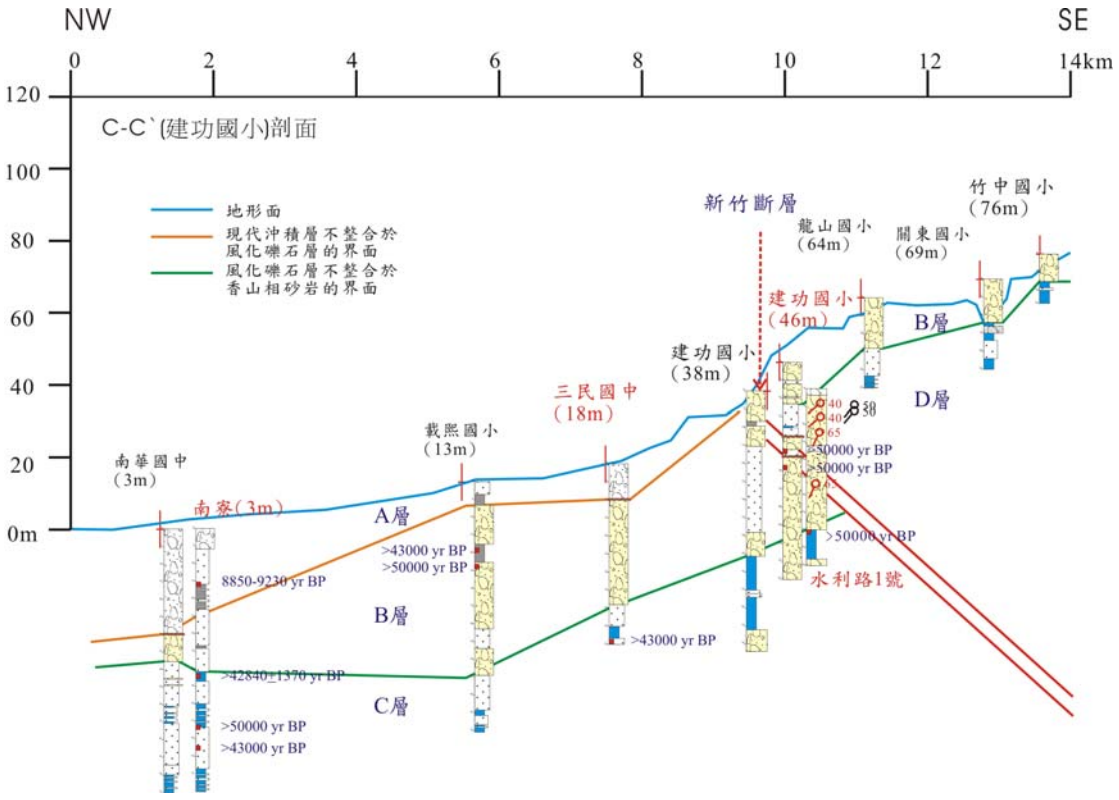


圖 3-7、建功國小剖面，鑽井柵狀圖。（圖例見圖 3-4）

3-2-4 頭前溪剖面（D－D`剖面，圖 3-8）

頭前溪剖面位於建功國小剖面北側約 3 公里，剖面沿線共有 8 口井，頭前溪 1 號井、新竹 1 號井、高鐵車站井、經國大橋井、六家國中井、光明國小井、麻園國小井、鳳岡井。由高鐵車站井至鳳岡井都屬於斷層下盤，其中麻園國小井與鳳岡井的層序是 A 層的近代沖積層堆積在 B 層風化礫石層之上，B 層風化礫石層沉積在海相潮汐環境的 C 層之上。六家國中井與光明國小井僅見近代沖積層堆積在海相潮汐環境的 C 層之上。鄰近斷層的高鐵車站井與經國大橋井僅出露厚層的 B 層風化礫石層，未鑽至 C 層，顯然此處 B 層風化礫石層非常的厚。從現地的環境來看，高鐵車站井與經國大橋井是位於現今頭前溪的河道流域之內，本研究認爲在堆積 B 層礫石層時就位於頭前溪的河道，所以堆積厚層的河流礫石層（下切河谷）。

頭前溪 1 號井位於上盤，B 層風化礫石層不整合堆積在傾斜的 D 層頭嵙山層香山相砂岩之上，傾斜角度約 30-50º，岩層中具有密集的剪切構造，傾角約 44-70º。本研究的頭前溪鑽探場址，位於頭前溪河床南岸，河床已出露傾斜的頭嵙山層香山相砂岩，B 層風化礫石層不整合在頭嵙山層香山相砂岩之上，因此新竹斷層跡位置應位於頭前溪 1 號井與高鐵車站井或經國大橋井之間。

本研究於河床出露頭嵙山層香山相砂岩的最北側進行鑽探，共有 5 口鑽井（圖 3-9），頭前溪 1、2、3 號井的層序是 B 層風化礫石層不整合堆積在傾斜的 D 層頭嵙山層香山相砂岩之上。頭前溪 4、5 號井位於北側，由於鑽井深度僅有 30 公尺，因此僅發現傾斜的 B 層風化礫石層。上述頭前溪 5 口岩芯的地層都已呈現高角度傾斜（30-50º），同時岩芯中也呈現豐富的剪切構造，傾角約 50-70º，推測此 5 口井應都位於新竹斷層的上盤。

中正大學於頭前溪 5 號井的北側約 10 公尺，進行一口 150 公尺深的鑽井（新竹 1 號井）。此井的層序與南側 5 口井的層序相同，B 層風化礫石層堆積在 D 層海相砂泥層之上。下部的 D 層海相砂泥層（可能屬於頭嵙山層香山相砂岩）具有些微的傾動，傾斜角度約 0-8º，具有局部的剪切構造，傾斜角度較緩約

22-34º，上部的 B 層風化礫石層的地層傾斜角度較大約 34-44º，但不具有剪切構造。由頭前溪場址的 6 口鑽井岩芯分析（圖 3-9），新竹斷層應位於新竹 1 號井的西側。從圖 3-9 的鑽井柵狀剖面圖分析，新竹 1 號井與頭前溪 2 號井之間的頭嵙山層香山相地層的深度有很大差異，其上 B 層礫石層也遭受構造作用，地層產生很大的傾角。所以研判應受到斷層的錯移造成地下岩盤（D 層）的錯移，而斷層尖端可能在新竹 1 號井的西側出露（或接近）地表。

另外，下盤底部 C 層海相地層（鳳岡、麻園、光明國小與六家國中井）的 ^{14}C 年代都老於 50000 年，顯然屬於晚更新世地層，但是否可以與上盤的頭嵙山層香山相砂岩對比？從鑽井位置來看，鳳岡、麻園、光明國小與六家國中井都位於頭前溪北岸，尤其鳳岡與六家國中井距離鄰近的頭嵙山層香山相砂岩露頭僅數百公尺，因此本研究認爲下盤區域底部 C 層的海相地層應該屬於頭嵙山層香山相砂岩，與上盤河床出露的香山相砂岩屬於同一地層。

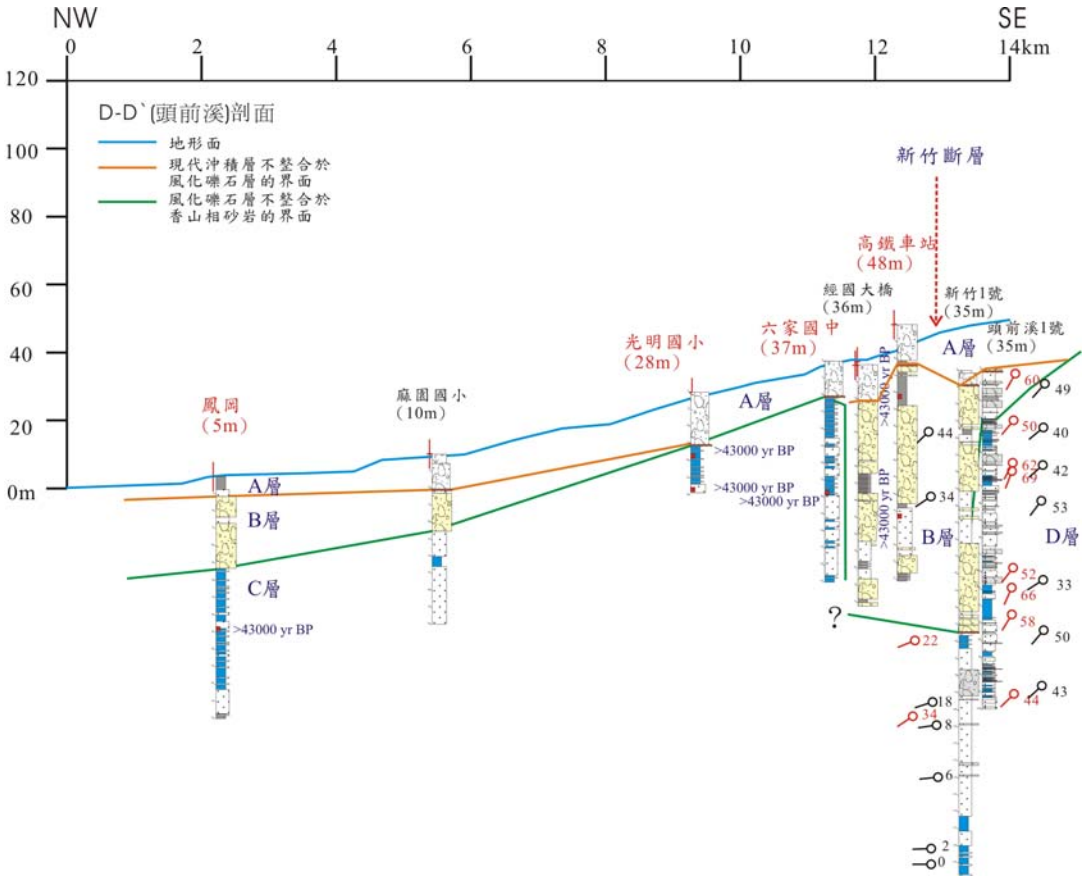


圖 3-8、頭前溪剖面，鑽井柵狀圖。（圖例見圖 3-4）

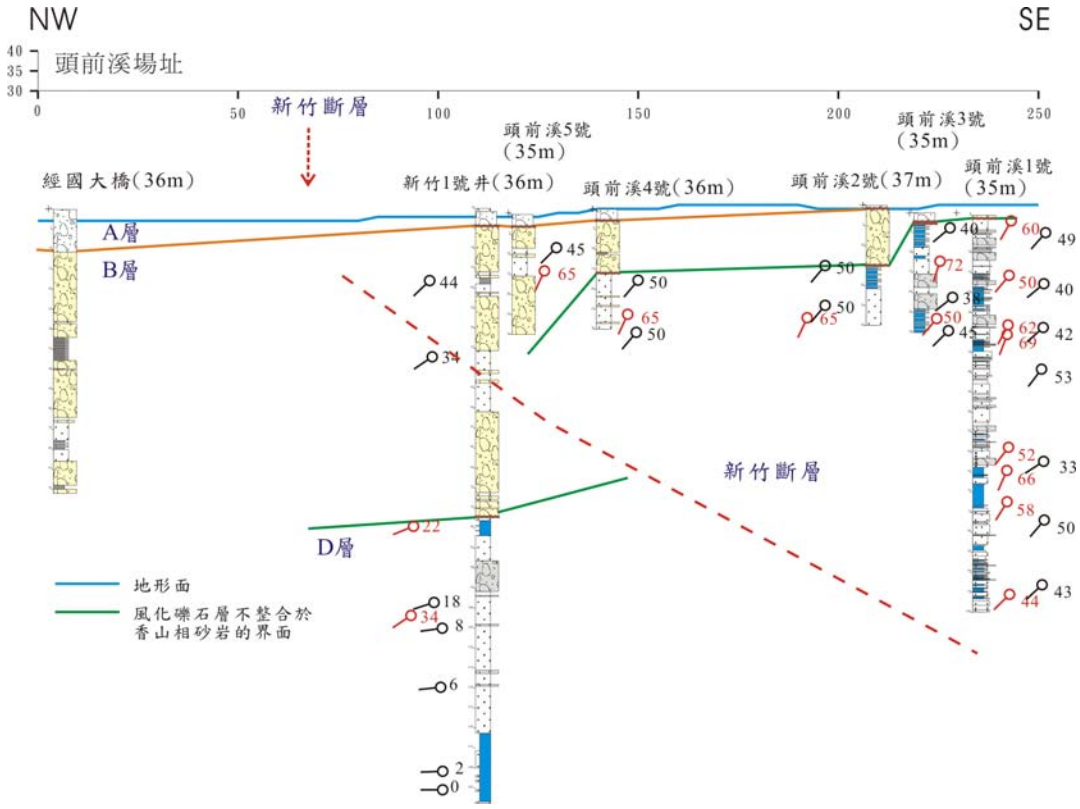


圖 3-9、頭前溪場址，鑽井柵狀剖面。（圖例見圖 3-4）

3-3、斷層活動性

本研究於規劃初期欲利用末次冰期以來（18000 yr BP）海進事件時，海水面淹沒現今海岸平原以及局部麓山帶區域時，可以利用鑽井岩芯所解析的古環境、^{14}C 定年年代與古海水面高度等資料來探討斷層兩側的變動速率。因此本研究共分析 36 口岩芯，但由岩芯紀錄結果發現末次冰期以來海進事件堆積的海相沉積層僅分布於新竹斷層下盤區域，顯然此時期的海岸線僅到達新竹斷層的北側，而海水面未曾深入上盤區域。因此，預期由上盤岩芯的古環境與年代來推估構造變動速率的方法，似乎在此區域是不可行。從各鑽井岩芯紀錄的分析結果，顯示晚期更新世以來的海相沉積層僅分布至鳳岡井、南寮井與載熙井。

截至目前，本研究的 ^{14}C 定年資料，大都位於下盤，上盤的年代資料僅有建功國小井（上盤）的 B 層風化礫石層，年代爲＞50000 yr BP。建功國小下盤井位於一海拔高度約 30 公尺的紅土階地，建功國小上盤井位於斷層崖坡之上，

可能屬於斷層前緣產生的褶皺崖之上，遠離斷層崖南側的紅土階地則呈現平坦的階地面地形，海拔高度約 60 公尺。假如斷層崖兩側的紅土階地屬於同一階地，則顯示已被垂直錯移 30 公尺，此階地的堆積時間爲＞50000 yr BP，若以此估算，則新竹斷層的垂直錯移速率爲＜0.6 mm/yr。

另外，由上下盤兩側地層岩性特性，A 層與 B 層似乎可以對比，從 C－C`（建功國小）剖面的斷層兩側，顯示 B 層的礫石層被斷層錯移約 32 公尺（建功國小井）。此外，下盤的 C 層與上盤的 D 層，同屬於香山相砂岩？以下就針對此問題作詳細討論。下盤 C 層岩性爲潮汐作用沉積的砂泥互層，偶夾薄層礫石層，地層位態都呈水平，^{14}C 定年年代都老於 50000 年。斷層上盤 D 層的岩性亦屬於潮汐作用沉積的砂泥互層，地層屬於頭嵙山層香山相砂岩，地層位態都呈水平，近斷層帶時地層才呈現傾斜。因此，斷層兩側 C 層與 D 層的岩性來看，似乎非常相似，無法依岩性來區別；本研究認爲 C 層與 D 層都屬於頭嵙山層香山相砂岩。因此，但若以兩側紅土階地礫石層（B 層）與不整合面以下的頭嵙山層（C 或 D 層）作對比，可以兩側岩盤的垂直錯距約爲 60 公尺，以此估算斷層兩側的垂直變動速率，爲＜1.2 mm/yr。

另外，下盤南寮井上層 16.5 公尺的潮汐環境海相沉積層年代爲 8850-9230 yr BP，以此估算新竹斷層下盤（湖口斷層上盤）在南寮井位置的垂直抬升速率爲 2.8±0.6mm/yr。

參考文獻

石再添、鄧國雄、張瑞津、楊貴三（1985） 竹東臺地的活斷層與地形面，地理學研究，國立臺灣師範大學地理學系，第九期，1-16 頁。

洪瑛鈞 、尤仁弘、林志平、廖志中、胡賢能、張振成（2006）地電阻剖面影像探測在新竹斷層調查之應用。岩盤工程研討會論文集。559-568 頁。

黃旭燦、楊耿明、吳榮章、丁信修、李長之、梅文威、徐祥宏（2004）台灣陸上斷層帶地質構造與地殼變形調查研究（5/5）─新城斷層及其附近地區，

經濟部中央地質調查所報告第 93-13 號，共 72 頁。

楊貴三、蔡怡真（2003） 臺灣北部新竹與新城斷層之地形學研究，經濟部中央地質調查所特刊，第十四號，25-33 頁。

Chen, Y.G., Shyu, J.B.H., Ota, Y., Chen, W.S., Hu, J.C., Tsai, B.W., and Wang, Y.（2004） Active structures as deduced from geomorphic features a case in Hsinchu area, northwestern Taiwan, *Quaternary International,* 115-116, 189-199.

Chung, C.T.（1963） A study of the geology and petroleum potentialities of the Paoshan and Chingtsaohu area, Hsinchu, *Petrol. Geol. Taiwan*, 2, 221-140.

Lee, C.I., Chang, Y.L., Mao, E.W., and Tseng, C.S.（1993） Fault reactivation and structural inversion in the Hsinchu-Miaole area of northern Taiwan, 28, 47-58.

Namson, J.（1984） Structure of the western foothills belt, Miaoli-Hsinchu area, Taiwan:（III） Northern Part, *Petrol. Geol. Taiwan*, 20, 35-52.

Tang, C.H. and Hsu, C.H.（1970）Subsurface geology and petroleum deposits in the Hsinchu Area, *Petrol. Geol. Taiwan*, 7, 89-101.

Yang, K. M., Wu, J. C., Ting, H. H., Wang, J. B., Chi, W., R. and Kuo, C. L.（1994） Sequential deformation in foothills belt, Hsinchu and Miaoli areas: Implications in hydrocarbon accumulation, *Petrol. Geol. Taiwan*, 29, 47-74.

第四章、山腳斷層（北段）長期滑移速率

4-1、地質與地形

山腳斷層跡主要出露位置，由台北盆地西側的三峽朝東北延伸，經新莊、五股、關渡，之後進入大屯山火山區。大屯山區段由於被大規模的崩積層與植被覆蓋，因此地表斷層的地形特性不明顯，導致對於斷層跡位置有不同的解讀。但斷層延伸至金山平原時，地形特性就較爲清楚，如同台北盆地西側地形，形成一明顯的線形崖地形；目前都認爲金山平原北緣線形崖就是山腳斷層造成的斷層崖。之前，地質調查所在斷層崖南側進行兩口鑽井，其中之一鑽井有鑽至上盤的基盤爲五指山層，岩盤之上屬於晚更新世以來的河流相礫石層，大都侵蝕來自大屯火山的安山岩質沉積物（林啓文等，2007）。

本研究在金山平原地區進行 3 口鑽井，鑽井位於接近海岸地區，大致位於沙丘後方的溼地環境。金山 1 號井位於東南側位於磺溪的南岸，金山 3 號井位於北岸，相距約 200 公尺，金山 2 號井位位於平原最北側，距離崖線約 80 公尺（圖 4-1）。這些鑽井位置大約距離現今海岸線約 100-200 公尺，現今環境都已經遭受人爲破壞，但由地形分析，金山 1 號與 3 號井位於磺溪兩側，但位於沙丘後側，可能有時呈現溼地環境（潟湖），金山 2 號位於現今沙丘後側，原來環境亦可能處於溼地環境（潟湖）。



圖 4-1、金山平原鑽井位置圖（圖引自 Google Earth 網站）。

4-2、岩芯紀錄

4-2-1 金山 1 號井（圖 4-2）

金山 1 號井由於鑽至 40 公尺處鑽遇高壓水層，無法繼續進行鑽探，所以僅採取 39.5 公尺岩芯。39.5-31.2 公尺爲基質支持結構礫石層，基質爲安山岩質中砂，礫石爲安山岩，屬於河流沉積物。33.6 公尺處的 ^{14}C 定年年代爲 9890-9540 yr BP。31.2-29.4 公尺屬於泥與粉砂互層，沉積構造呈現水平紋理，散佈大量碳質碎屑，推測屬於溼地環境。31.1 公尺處的 ^{14}C 定年年代爲 9560-9450 yr BP。29.4-6.7 公尺爲厚層泥、粉砂與細砂互層，偶夾厚層砂，沉積構造不明顯，生物擾動輕微，散佈大量貝殼碎屑，偶含碳質碎屑，砂層淘選度不佳，推測屬於沙丘內側的潟湖與溼地環境。8-6.7 公尺爲厚層砂，可能屬於沙丘環境。18.9 公尺的 ^{14}C 定年年

代爲 8990-8600 yr BP。6.7-3.6 公尺爲基質支持結構礫石層，基質爲安山岩質粗砂，礫石爲安山岩，屬於河流環境。3.6-3.1 公尺爲安山岩質細砂層，沉積構造爲低角度交錯紋理，有碳質物。3.2 公尺的 ^{14}C 定年年代爲<50 yr BP，屬於近代堆積的沉積物；3.1 公尺以上爲耕作土層。

4-2-2 金山 2 號井（圖 4-3）

金山 2 號井由於鑽取深度爲 100 公尺。100-90.4 公尺爲淘選良好的砂層，具有大量的剪切面構造，剪切帶中形成角礫岩，從角礫的岩性來看，可能是砂岩被斷層剪裂的角礫，是否屬於岩盤受斷層作用形成，由於沒有繼續鑽取以下的地層，目前無法研判是否已經鑽至山腳斷層的斷層帶，此岩段的地層傾角約 44º，斷層剪切面傾角約 50-72º。90.4-63.5 公尺爲基質支持結構礫石層，偶夾薄砂泥層，礫石爲安山岩，87.0-86.3 公尺具有輕微紅土化現象，屬於河流環境。63.5-49.5 公尺屬於淘選不佳的砂層，偶夾青灰色薄泥層，74.4 公尺具有剪切構造，屬於河流環境。49.5-39.4 公尺爲基質支持結構礫石層，偶夾薄砂層，礫石爲安山岩，56.7 公尺具有液化現象。40.1 公尺砂層的 ^{14}C 定年年代爲 10150-9610 yr BP。39.4-29.0 公尺爲淘選良好的砂層與顆粒支持結構的礫石層，屬於河流沉積層。29.0-24.0 公尺爲夾小礫石的粗砂與基質支持結構的礫石層，砂中輕微生物擾動，屬於碎屑流沉積層。上述沉積層呈現厚層礫石層與厚層砂層交互堆積現象，此沉積型態屬於辮狀河的河流環境，厚層砂層屬於河道的砂洲環境。

24.0-5.4 公尺以泥層爲主，偶夾砂泥互層，輕微生物擾動，泥中含貝殼碎屑，屬於潟湖沉積層，17.1-17.0 公尺具有液化現象。16.65 公尺的 ^{14}C 定年年代爲 8390-8180 yr BP，7.45 公尺的 ^{14}C 定年年代爲 7250-6970 yr BP。5.4-3.1 公尺爲安山岩質礫石，屬於河流環境的礫石層。3.5-0 公尺爲淘選良好的細砂層，屬於砂丘沉積物。

4-2-3 金山 3 號井（圖 4-4）

100-41.0 公尺皆爲顆粒支持結構的礫石層，屬於河流環境沉積層。41-35.1 公尺爲泥質砂層，受到生物擾動，沉積構造不明顯，淘選度不佳，散佈貝殼碎屑，屬於瀉湖沉積層。35.1-23.5 公尺爲淘選良好的砂泥互層爲主，底部夾有淘選不佳的砂層及基質支持結構礫石層，沉積構造爲平行紋理，散佈大量碳質碎屑，屬於沼澤環境。23.5-18.7 公尺爲淘選不佳的砂層與基質支持結構的礫石層，屬於河流環境。18.7-6.4 公尺爲厚泥層夾薄層粉砂，沉積構造爲平行紋理，輕微生物擾動，含有貝殼碎屑，屬於瀉湖環境。6.4-0 公尺爲淘選良好的砂層與礫石層，屬於河流環境沉積層。

從金山三口井岩芯的對比分析，顯示金山 2 號井在 8390-8180 年之前都處於陸相的河流環境，之後才受到海水入侵（全新世海水面上升）形成半淡水的瀉湖環境。但是位於平原中央位置的金山 1 號與 3 號井，約在 9560-9450 年前海水沿著河口入侵至盆地中。由於 2 號井鄰近斷層崖，而崖側產生許多的崖錐沖積扇，地形較高所以全新世海水面淹沒的時間較晚。全新世晚期全球海水面不再變動之後（6000 年前），河流沉積物逐漸堆積造成海岸線朝向海側遷移。

4-3、斷層活動性

山腳斷層由三峽經關渡之後進入大屯火山地區，由於大屯火山活動與斷層發展同時進行，雖然約二十萬年之後火山不再活動，而山腳斷層持續活動會造成火山地形的破壞，是可以由大屯火山地區的地形來研判斷層跡的位置。作者（陳文山等，2007）利用 LiDAR 影像研判山腳斷層在大屯火山地區的位置，大致上認爲經過竹子湖、鞍部（後山崎）再延著鹿角坑溪（磺溪上游）、之後延著金山沖積平原北側的斷層崖。由於大屯山區鄰近斷層跡兩側的地表產生大規模的地滑現象（可能與斷層活動有關），造成斷層地形不明確，所以不易精準地劃定斷層跡位置。沖積平原北側的斷層崖地形非常的明確，因此斷層位置沒有太大的爭議。北段山腳斷層進入北海岸地區，由於斷層上盤陷落，使得大屯火山被侵蝕後的碎屑沉積物大量堆積在此陷落的盆地中，之前地質調查所的鑽井可以明確顯示

盆地中的火山碎屑物至少可達將近 500 公尺厚。

作者從台北盆地中海相地層的演化估算南段山腳斷層的垂直變動速率約爲 1.2 mm/yr（陳文山等，2008）。因此，本研究亦想藉由全新世海進時期可能會在金山平原中堆積海相沉積層，再利用海相地層埋藏深度與古環境深度的比較來估算山腳斷層北段的變動速率。目前，金山 1 號井有兩個半淡水潟湖相沉積層的 ^{14}C 年代爲＜50 yr BP（3.2 公尺深）、8990-8600 yr BP（18.9 公尺深）、9560-9450 yr BP（31.1 公尺深）與 9890-9540 yr BP（33.6 公尺深）。金山 2 號井有兩個半淡水潟湖相沉積層的 ^{14}C 年代爲 700-570 yr BP（3.2 公尺深）、7250-6970 yr BP（7.45 公尺深），8390-8180 yr BP（16.65 公尺深）、＞42000 yr BP（20.05 公尺深）、9640-9540 yr BP（32.1 公尺深）與 10150-9610 yr BP（40.1 公尺深）。金山 3 號井有兩個半淡水潟湖相沉積層的 ^{14}C 年代爲＜280 yr BP（0.8 公尺深）、6980-6780 yr BP（7.6 公尺深），8600-8420 yr BP（22.7 公尺深）、8990-8600 yr BP（26.12 公尺深）與 9460-9260 yr BP（32.3 公尺深）（圖 4-5）。

由這三口井的 ^{14}C 年代資料，以及古海水面與古環境深度預估來估算早期全新世金山平原的垂直變動速率（表 4-1）， 金山 1 號井的垂直變動速率爲 1.0±0.8 mm/yr、0.7±0.4 mm/yr 與 0.3±0.3 mm/yr；金山 2 號井的垂直變動速率爲-1.0±0.7 mm/yr、0.9±0.6 mm/yr、1.0±0.7 mm/yr、0.5±0.4 mm/yr 與 0.2±0.8 mm/yr；金山 3 號井的垂直變動速率爲-1.0±0.4 mm/yr、-0.3±0.6 mm/yr、-0.2±0.8 mm/yr 與-0.2±0.5 mm/yr。

4-4、結論

從上述三口鑽井岩芯的年代以及古環境的估算所穫得的垂直變動速率如下，金山 1 號井的平均抬升速率約爲 0.7±0.5 mm/yr，呈現略爲抬升的環境；金山 2 號井的平均抬升速率約爲 0.3±0.6 mm/yr（0.6±0.6 mm/yr，不含-1.0±0.7 mm/yr 的估算），呈現略爲下陷或沒有變動的環境；金山 3 號井的平均抬升速率約爲 -0.4±0.6 mm/yr，呈現略爲下陷的環境。由此三個地點的平均抬升速率分析顯示

沒有太大的垂直變化，僅金山 3 號井呈現略爲下陷的環境。

金山平原與台北盆地都位於山腳斷層的上盤，山腳斷層南段於台北盆地區域，呈現半地塹構造，近斷層跡上盤的沉陷速率大於東側遠離斷層跡上盤區域；例如台北盆地在近斷層跡上盤的沉陷速率約 1.2 mm/yr，遠離斷層跡上盤的東側區域的沉陷速率約 0 mm/yr 或略爲抬升（陳文山等，2008）；顯然山腳斷層上盤呈現半地塹的構造盆地。由金山平原三口鑽井所穫得垂直變動速率而言，金山 1 號與 3 號井位於遠離斷層跡的上盤，金山 2 號井位於近斷層位置。金山 3 號井約略呈現構造沉降現象，顯然位於半地塹的沉降盆地，而金山 1 號井約略呈現構造抬升或沒有變動，可能位於較遠離斷層跡的環境（如同台北盆地的東側）。但是，金山 2 號井位置卻呈現略爲下陷或沒有變動的環境，本研究認爲金山 2 號井位置可能位於斷層的下盤區域，假如處於上盤的近斷層區域，其垂直變動速率應該較大且明顯。由現今的地表地質亦明顯表示山腳斷層近斷層上盤的晚更新世沖積層厚度爲 551.6 公尺（岩盤位於地下 551.6 公尺）（林啓文等，2007），但是金山平原南側的岩盤都已經出露地表，顯然近斷層上盤區域長期的沉陷量遠大於南側區域。所以，由目前三口井的資料研判，斷層應還位於金山 2 號井的南側，推測應該會呈現更大的沉陷速率。本研究將於明年在金山 2 號井的南側進行另一口鑽井，來確定山腳斷層的近斷層上盤的沉降速率。

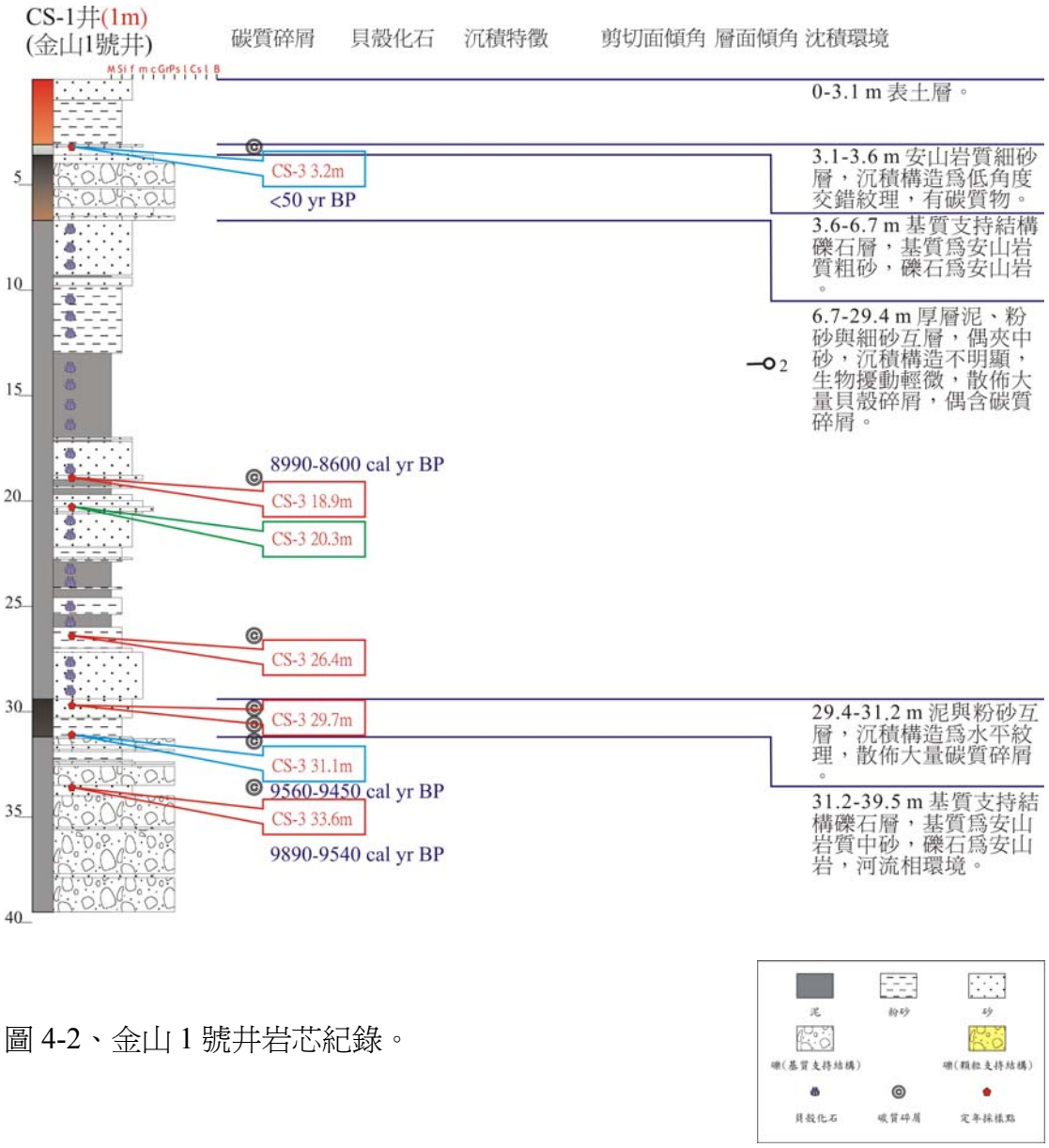


圖 4-2、金山 1 號井岩芯紀錄。

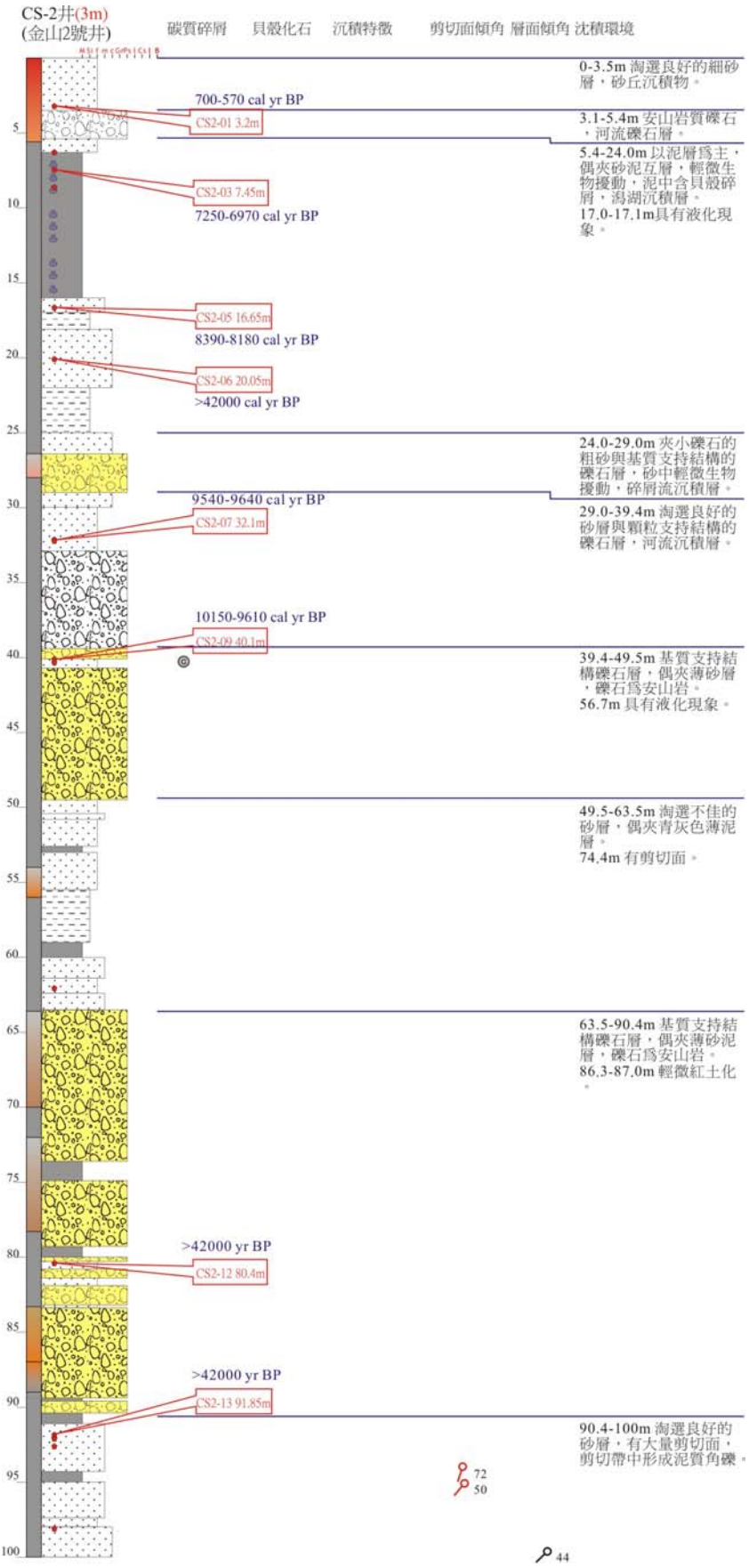


圖 4-3、金山 2 號井岩芯紀錄。（圖例見圖 4-2）

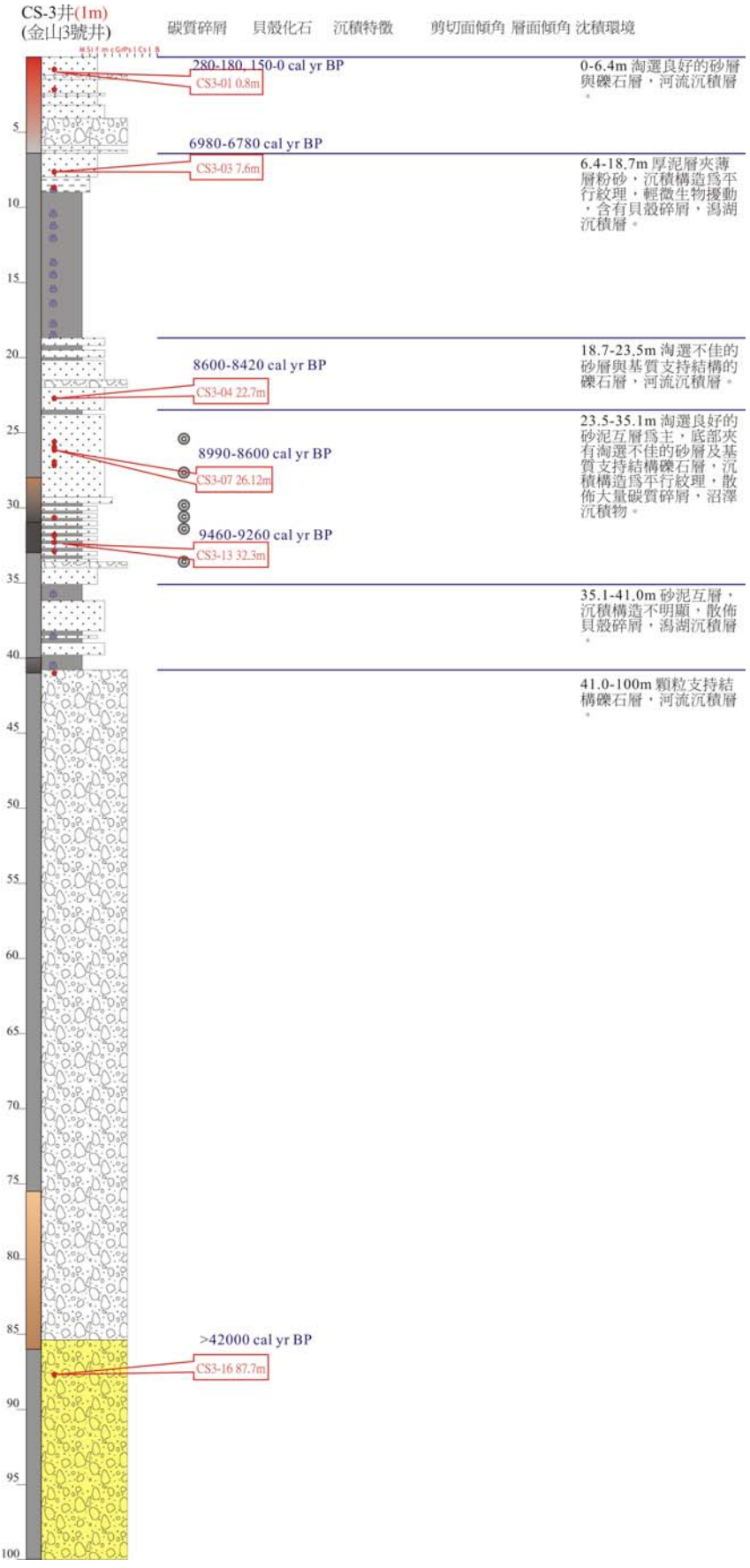


圖 4-4、金山 3 號井岩芯紀錄。（圖例見圖 4-2）

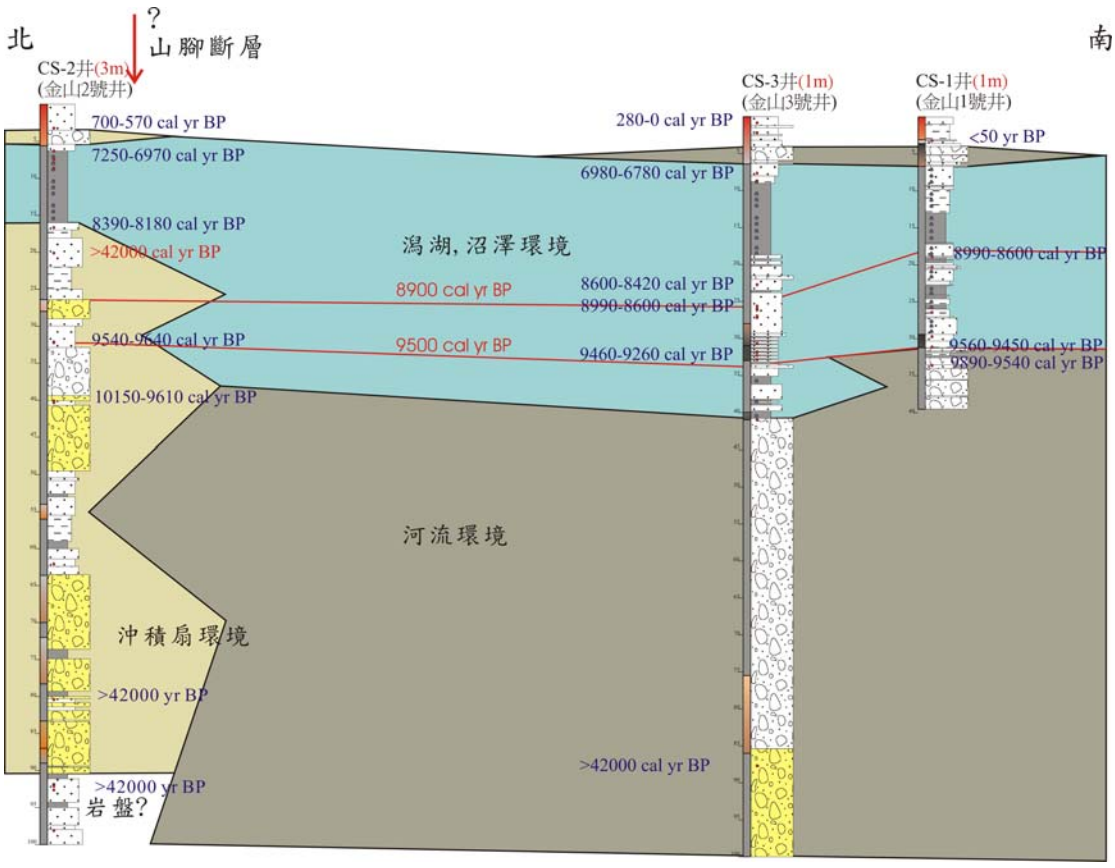


圖 4-5、金山平原鑽井柵狀剖面。

表 4-1、岩芯 ^{14}C 定年年代與抬升速率。

Well location （in Figure ）	Sampling depth （m）	Calibrated age （cal yr BP）	Depositional depth （m）	* Ancient sea-level	Uplift rate （mm/yr）	Materials
CS-1 金山 1 號	-3.2（-2.2）	<50	-3	0		charcoal
	-18.9 （-17.9）	8600-8990	-3	-17－-30	1.0±0.8	charcoal
	-31.3 （-32.3）	9450-9560	-3	-30－-37	0.7±0.4	charcoal
	-33.6 （-33.6）	9540-9890	+1	-31－-42	0.3±0.6	charcoal
CS-2 金山 2 號	-3.2（-0.2）	570-700	+1	0	-1.0±0.7	charcoal
	-7.45 （-4.45）	6970-7250	-3	-4－-12	0.9±0.6	charcoal
	-16.65（-13.65）	8180-8390	-3	-13－-24	1.0±0.7	charcoal
	-20.05（-17.05）	>41000	+1			charcoal
	-32.1 （-29.1）	9640-9540	+1	-31－-38	0.5±0.4	charcoal
	-40.1 （-37.1）	9610-10150	+1	-32－-47	0.2±0.8	charcoal
	-80.45（-77.45）	>42000				charcoal
	-91.85（-88.85）	>42000				charcoal

CS-3 金山 3 號	-0.8 （0.2）	0-280	+1	0		charcoal
	-7.6 （-6.6）	6780-6980	+1	-4－-10	-0.1±0.4	charcoal
	-22.7（-21.7）	8420-8600	+1	-15－-26	-0.3±0.6	charcoal
	-26.12（-25.12）	8600-8990	+1	-17－-31	-0.2±0.8	charcoal
	-32.3 （-32.3）	9260-9460	+1	-27－-36	-0.2±0.5	charcoal
	-87.7 （-86.7）	>42000				charcoal

＊ ancient sea-level （relatively the height of present sea-level）

參考文獻

林啓文、盧詩丁、石同生、陳致言、林燕慧（2007）臺灣北部的活動斷層。活動斷層條帶圖說明書。

陳文山、楊志成、楊小青、劉進金、詹瑜璋、謝凱旋、謝有忠（2007）從 LiDAR 的 2 公尺×2 公尺數值模擬地形分析大屯火山群的火山地形。經濟部中央地質調查所彙刊，第 20 號，101-128 頁。

陳文山、林朝宗、楊志成、費立沅、謝凱旋、龔慧敏、林佩儀、楊小青（2008）晚期更新世以來台北盆地沉積環境與構造演化的時空演變。經濟部中央地質調查所彙刊，第 21 號，61-106 頁。

第五章、鹿野斷層長期滑移速率

5-1、地質與地形

作者由 GPS 的速度場變化認爲鹿野斷層與利吉斷層同屬於縱谷斷層系統，鹿野斷層深部的斷坡（ramp）應該與利吉斷層連接成爲一條斷層（陳文山等，2008）。鹿野斷層的斷層跡由南側檳榔（台東市西北方約 5 公里）朝北經初鹿至鹿野溪北側的龍田階地，再經馬背至永安。馬背至永安形成兩道明顯的褶皺崖，東側的 LY1 褶皺崖造成高台紅土階地的褶皺隆起（Terrace 12 與 Terrace 14），西側的 LY2 則使較年輕沖積扇產生褶皺隆起（Terrace 7、Terrace 9 與 Terrace 10；圖 5-1）；本研究進行的槽溝挖掘就沿著 Terrace 7 的褶皺崖（LY2）（圖 5-2）。鹿野斷層於地表的斷層跡並不明顯，地形都是呈現在截切河階或扇階時呈現褶皺崖地形，明顯受到變形的河階與扇階有 Terrace 6、7、9、10、12（圖 5-1）；如永安 Terrace 7 階地的褶皺崖（圖 5-3）；而 Terrace 4、3、2、1 似乎沒有明顯的變形地形。此地區沖積扇受到鹿野斷層作用，將下游沖積扇隆起形成扇階，因而造成上游沖積扇區域被封閉在中央山脈與隆起扇階之間，因而形成偃塞湖地形（圖 5-4）。

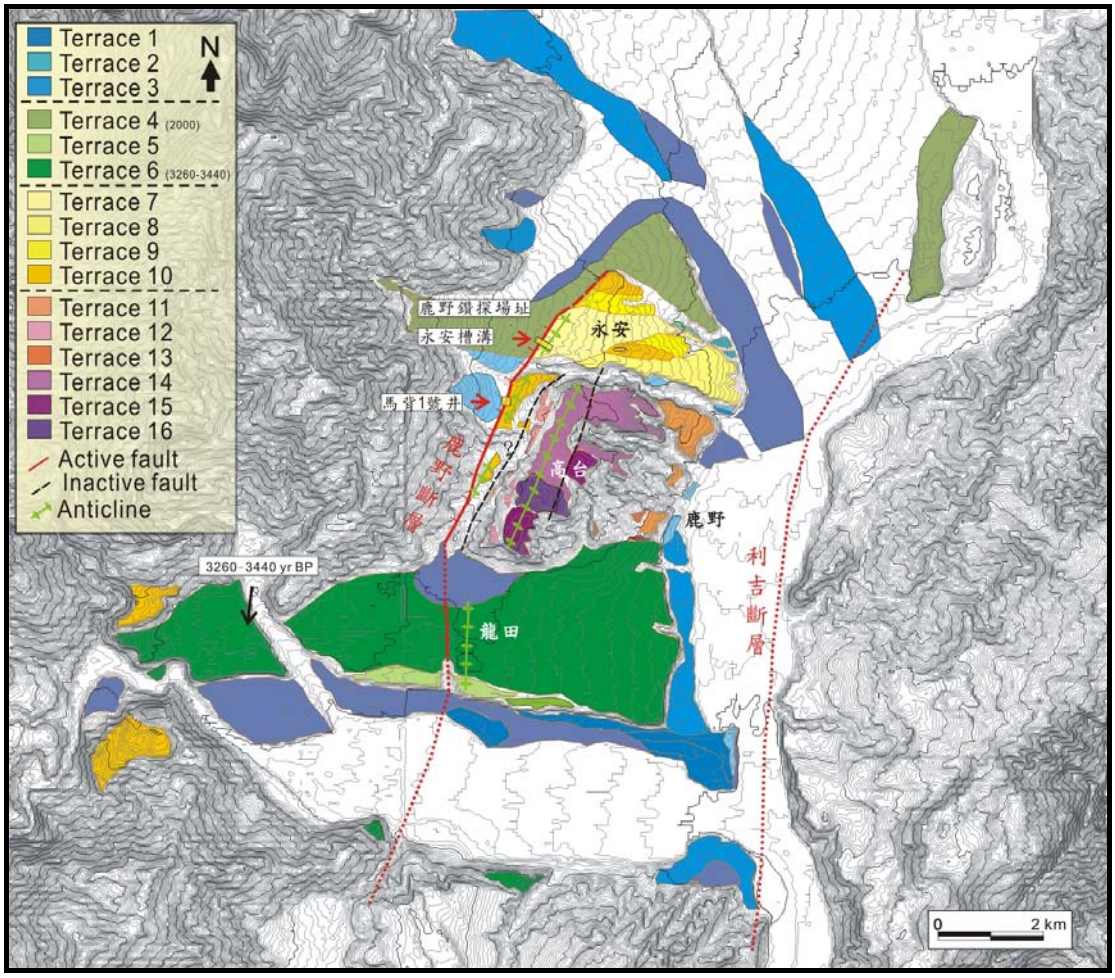


圖 5-1、鹿野溪以北的鹿野斷層位置，以及龍田與永安地區的褶皺變形階地。

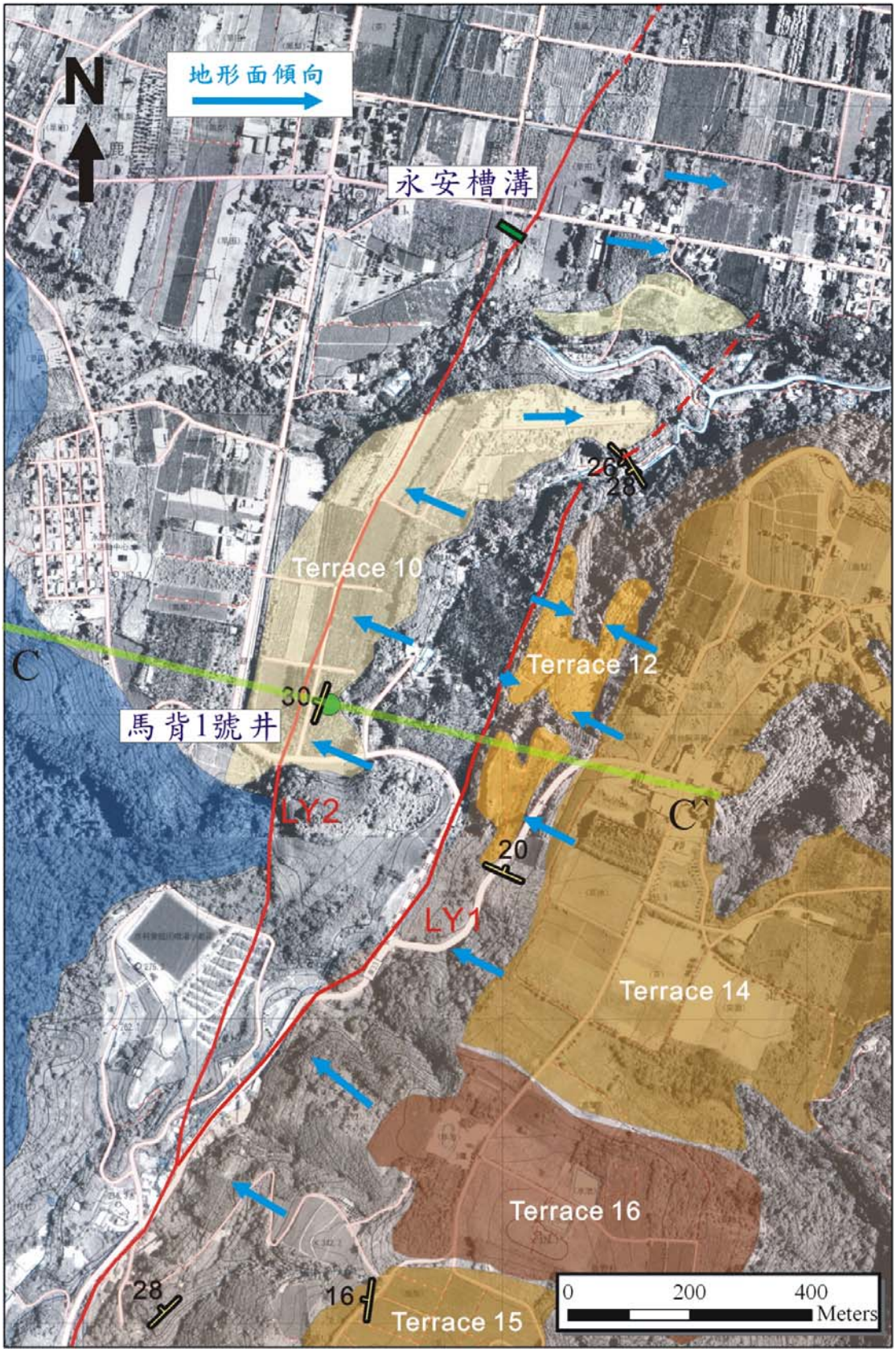


圖 5-2、永安地區扇階受到鹿野斷層作用形成反斜崖地形。



圖 5-3、永安地區 Terrace 10 的褶皺崖地形。

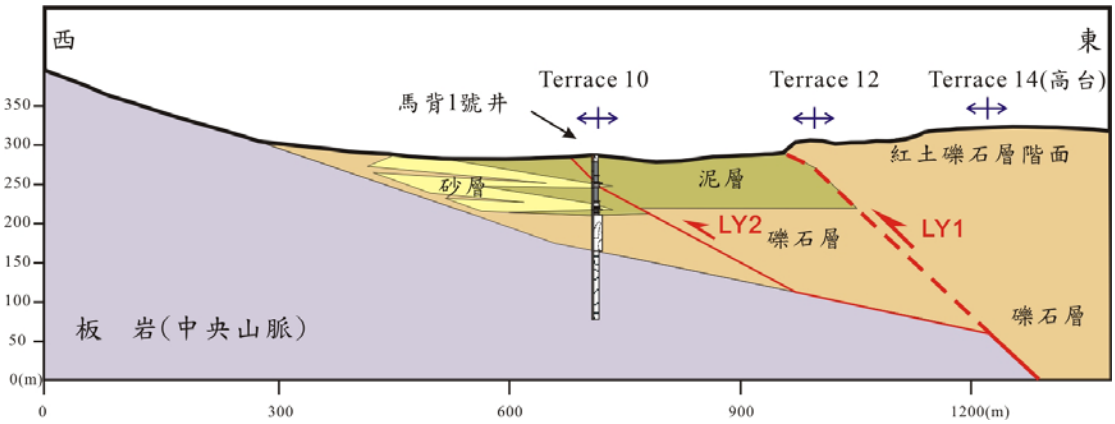


圖 5-4、高台至馬背的東西向地質剖面示意圖，剖面位置、LY1 與 LY2 斷層跡位置見圖 5-2。

5-2、槽溝地層（圖 5-5，5-6，5-7）

M 耕作土層：略呈黑色的有機土層。坡坎之上土層含礫石，厚度約 40 公分；坡坎之下因底部爲厚層砂泥層，有機土層發育較厚，厚度可達約 1 公尺。

S1 砂層：顏色深淺相間的砂層，粒度爲細砂到粉砂，略見層面，推測經多次沉積與輕微土壤化作用所造成。厚度約 1-1.3 公尺。地層向西緩傾，整合沉積於 O1 土壤層之上，東側超覆於 S3 砂泥層與 G1 礫石層之上。本層於南牆有一 ^{14}C 定年年代爲 1890-2110 yr BP，北牆另一 ^{14}C 定年年代爲 2060-2320 yr BP。

O1 土壤層：黃棕色砂泥質沉積層，輕微土壤化，厚度達 60 公分。地層略朝西傾

並向東尖滅，整合沉積於 S2 砂層之上，東側超覆於 S3 砂泥層之上。本層於南牆有兩個 ^{14}C 定年年代爲 1940-2140 yr BP 與 2060-2320 yr BP。

S2 砂層：深褐色砂層，粒度爲中砂，膠結鬆散，厚度於西側約 75 公分，向東尖滅。具有液化構造，應爲地震所造成。地層向西緩傾，整合沉積於 O2 土壤層之上，東側超覆於 S3 砂泥層。西側受 F1 與 F2 剪切構造截切，未有明顯錯移。

O2 土壤層：呈黃棕色砂泥質沉積層，厚度可達 30 公分，向東逐漸尖滅。地層向西緩傾並增厚，整合沉積於 S3 砂泥層之上。受 F1 與 F2 剪切構造截切，南牆錯移量分別爲 14 公分與 4.5 公分，北牆錯移量分別爲 6.5 公分與 3 公分。本層於南牆有兩個 ^{14}C 定年年代爲 2120-2340 yr BP 與 1990-2290 yr BP。

S3 砂泥層：暗紅色砂泥層，粒徑爲細砂至泥，淘選不佳，厚度可達 40 公分，東側超覆於 S5 礫質砂層與 G1 礫石層之上。頂部可見斷層錯移的現象，往下漸不明顯。本層於北牆有一 ^{14}C 定年年代爲 2120-2330 yr BP。

S4 砂層：黃棕色砂層，淘選中等，厚度可達 1 公尺，整合沉積於 S5 礫質砂層之上。未受斷層切穿，但可見地層輕微褶曲現象。

S5 礫質砂層：暗紅色礫質砂層，厚度約 20-40 公分，礫石以板岩爲主，多呈角狀到次角狀，礫徑多小於 5 公分。整合沉積於 S6 砂層之上，東側超覆於 G1 礫石層。推測爲泥石流所堆積。並未受斷層切穿，但可見明顯的褶曲。本層於北牆有一 ^{14}C 定年年代爲 3480-3700 yr BP。

S6 砂層：黃棕色砂層，淘選中等，厚度約 20-50 公分，整合沉積於 S7 礫質砂層之上，東側超覆於 G1 礫石層。並未受斷層切穿，但可見明顯的褶曲。

S7 礫質砂層：暗紅色礫質砂層，厚度 30-80 公分，礫石以板岩爲主，礫徑多小於 10 公分，多呈角狀到次角狀。超覆於 G1 礫石層之上。礫石多集中於底部，推測爲泥石流堆積物。未受斷層切穿，可見地層略爲褶曲。本層於北牆有一 ^{14}C 定年年代爲 4240-4430 yr BP。

G1 礫石層：顆粒支持結構礫石層，淘選良好，以板岩爲主，礫徑可達 50 公分，

大多爲 10 公分以下之小礫。具有許多透鏡體，根據礫石排列方向可觀察到地層有兩處劇烈的褶曲。頂部礫石排列較爲雜亂，粒徑較小淘選度也較差。底部未完全出露，因此無法估計其厚度。



圖 5-5、永安槽溝。

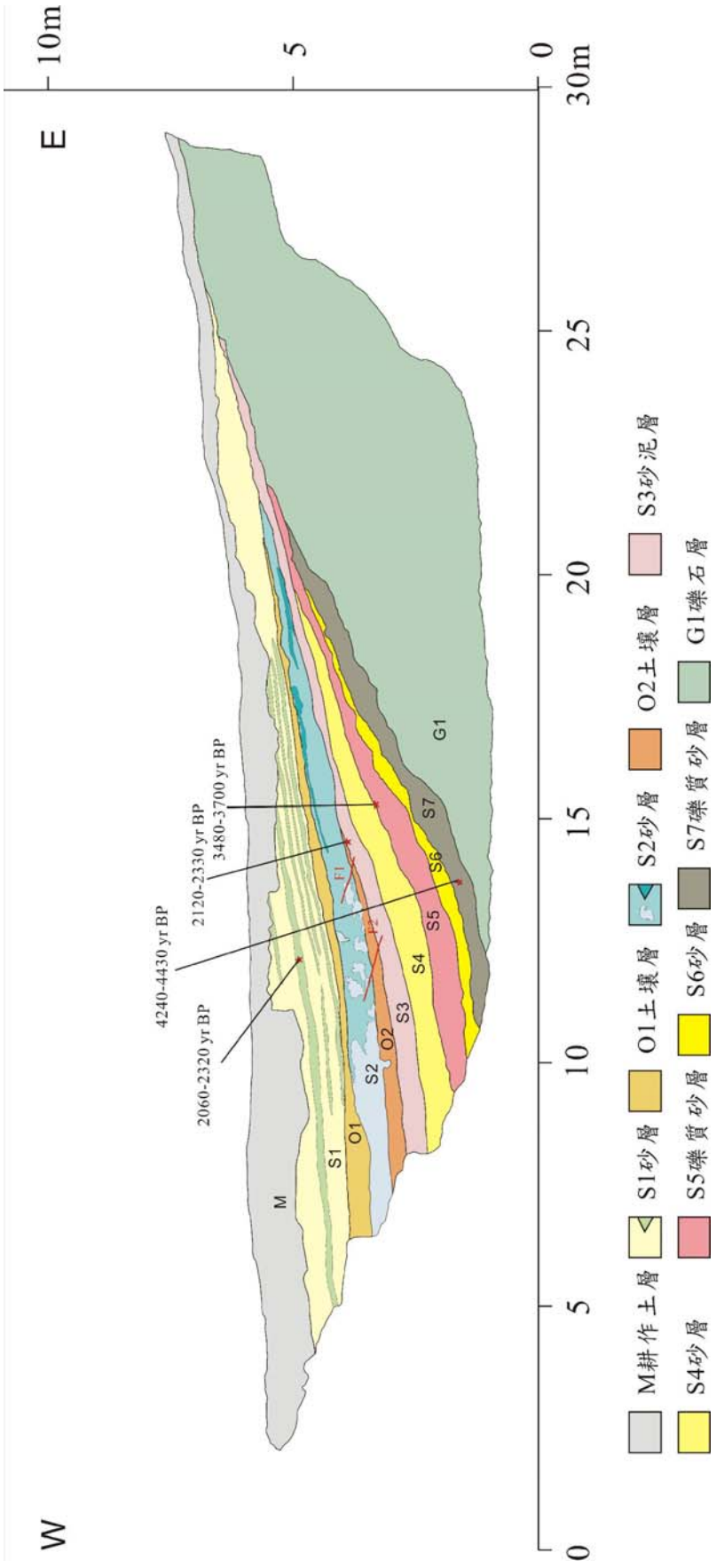


圖 5-6、永安槽溝北牆剖面。

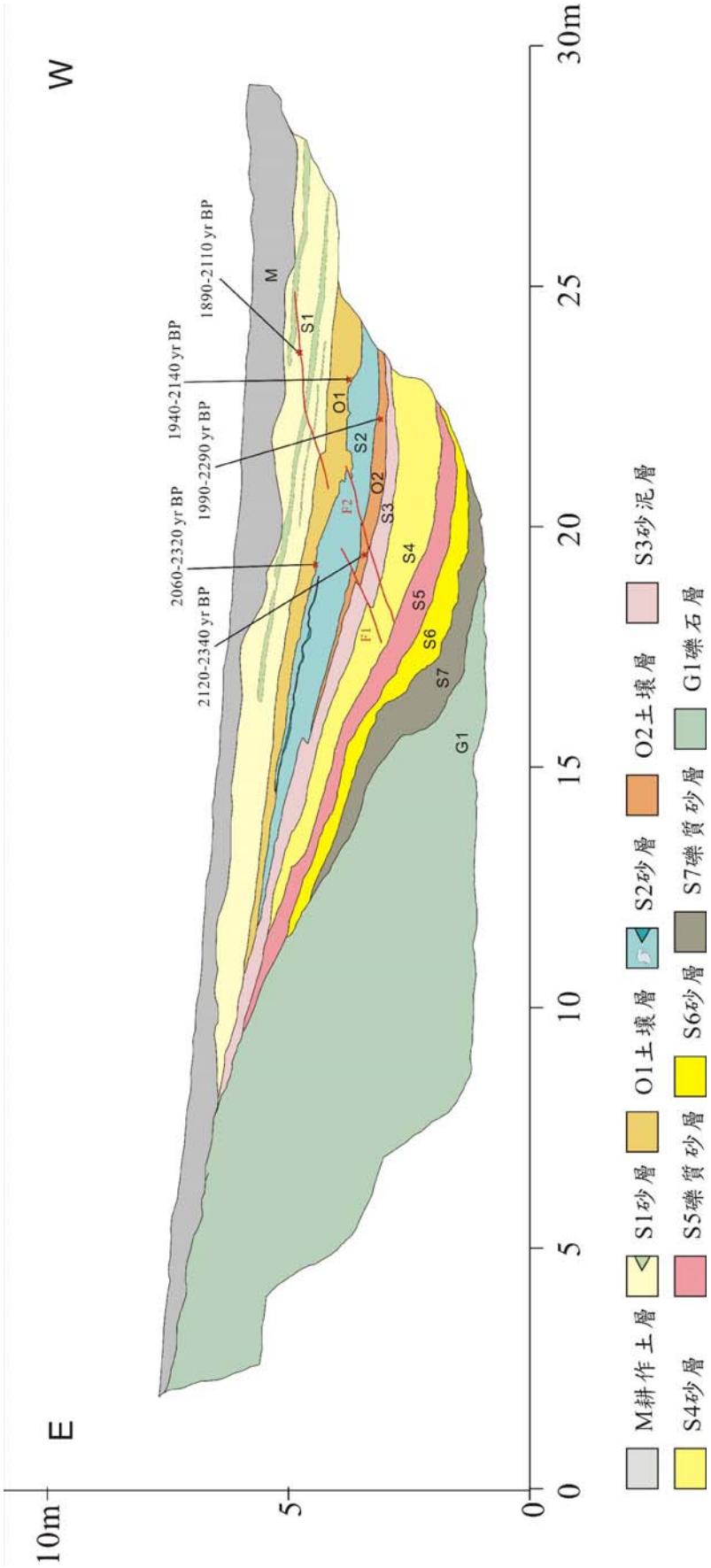


圖 5-7、永安槽溝南牆剖面。

5-3、槽溝構造

槽溝剖面中地層呈現向西傾斜的單斜構造，南北牆中僅略見兩條剪切構造，北牆的 F1 剪切面的錯移量爲 6.5 公分，F2 剪切面爲 3 公分（圖 5-6）；南牆的 F1 剪切面的錯移量爲 14 公分，F2 剪切面爲 4.5 公分（圖 5-7）。南牆的 F1 剪切面可以截切至最上層的 S1 砂層，顯然發生時間在 1890-2110 yr BP 之後。

G1 礫石層是槽溝剖面出露沉積層當中最下部的地層，由鑽井岩芯分析 Terrace 5 階地的最上部沉積層。從槽溝剖面的沉積結構分析，S1 砂層至 S7 砂層是超覆堆積在 G1 礫石層之上的沉積層，這些超覆沉積層是 G1 礫石層（沖積扇）沉積之後受到鹿野斷層作用產生褶皺崖的崖前堆積層。G1 礫石層是未變形之前的沖積扇沉積層。從超覆沉積結構來看，褶皺構造可能經歷多次的古地震事件，呈現生長褶皺變形（fault-propagation growth-fold）。之前，作者利用褶皺崖前堆積層的超覆沉積關係，來推測生長褶皺變形構造的古地震事件（Chen *et al*., 2007）。生長褶皺變形構造會呈現幾個變形特徵，超覆沉積（onlapped structure）、楔形堆積（wedged deposits），以及向下層面變陡（downward-steepening bed-dips within the forelimb；fanning bed-dips，扇形層態）。每一個楔形堆積層都屬於一次古地震變形之後的崖前堆積層。

從槽溝南北剖面的結構分析（圖 5-6，5-7），可以分兩個楔形堆積層，S3 砂層是兩個楔形堆積層的分界，一爲 S3 砂層以下的 S3 砂層－S6 砂層，另一爲 S3 砂層之上的 S1 砂層－O2 土壤層。上層楔形堆積層的地層傾角變化 6-7º（南牆），7-8º（北牆），下層楔形堆積層的地層傾角變化 12-16º（南牆），13-22º（北牆）。從以上地層傾角變化來看，S3 砂層的上下地層大約有 6º 以上的變化，顯然在 S3 砂層沉積的前後各有一次的地震事件。

從永安槽溝地層結構的分析，表示在 G1 礫石層沉積之後發生一次地震事件形成褶皺構造，之後堆積 S6－S3 超覆沉積，所以此次地震事件發生時間應接近 S6 砂層的沉積時間，約爲 4240-4430 yr BP（N1）。另一次地震事件約在 S3 砂層沉積之後，O2 土壤層沉積之前，時間約爲 2120-2330 yr BP 至 2120-2340 yr BP

之間，所以地震時間爲 2120-2340 yr BP（N2）。最後一次是發生在 S1 砂層沉積之後，S1 砂層被剪切構造截切，時間＜1890-2110 yr BP（N3）。前兩次古地震事件（N1/N2）的時間間距約爲 2100 年，假如後兩次古地震事件的時間間距與之前的間距相似，則可能在近期中已經發生。

本研究由超覆沉積層變形來估算變形前後的垂直高差，可以穫得 N1 古地震的垂直變動量爲 2.24/2.47 公尺（北牆/南牆）、N2 古地震的垂直變動量爲 1.36/1.02 公尺、N3 古地震的垂直變動量爲 3.07/2.92 公尺；北牆與南牆的總垂直變動量各爲 6.67 公尺與 6.41 公尺（圖 5-8）。以此總抬升高度估算，從 N1 地震事件（4240-4430 yr BP）以來的長期抬升速率約爲 1.5 mm/yr（北牆/南牆：1.54/1.48 mm/yr）。槽溝的南北牆呈現有兩個剪切面構造，斷層傾角爲朝東 20º，因而以此估算斷層淨滑移速率（net slip rate）爲 4.4 mm/yr（北牆/南牆：4.5/4.3 mm/yr）（圖 5-8）。

上述變形高度的估算是假設斷層作用形成褶皺崖，崖前堆積的沉積層會超覆沉積且覆蓋褶皺崖地形，因此最後一層（最上層）沉積層會覆蓋至褶皺崖的崖頂，所以每一楔形堆積層的最上層沉積層（如 S1 與 S3 砂層）的變形可以作爲估算下次古地震事件的變形量。但有時崖前沉積層未必完全超覆堆積至褶皺崖頂面，如此所估算的垂直抬升高度必會小於實際的變動量。本研究另外由 G1 礫石層的高差來看總垂直抬升量，由鑽井岩芯以及槽溝中 G1 礫石層的深度與褶皺崖頂的高差來看，高差共 8 公尺，顯然此高差大於槽溝剖面沉積層的總變動量（6.67/6.41 公尺）。假設本研究在槽溝中所發現的 N1 地震事件是最早的變形事件，則所估算的長期抬升速率約爲 1.85 mm/yr，斷層淨滑移速率爲 5.4 mm/yr（圖 5-8）。

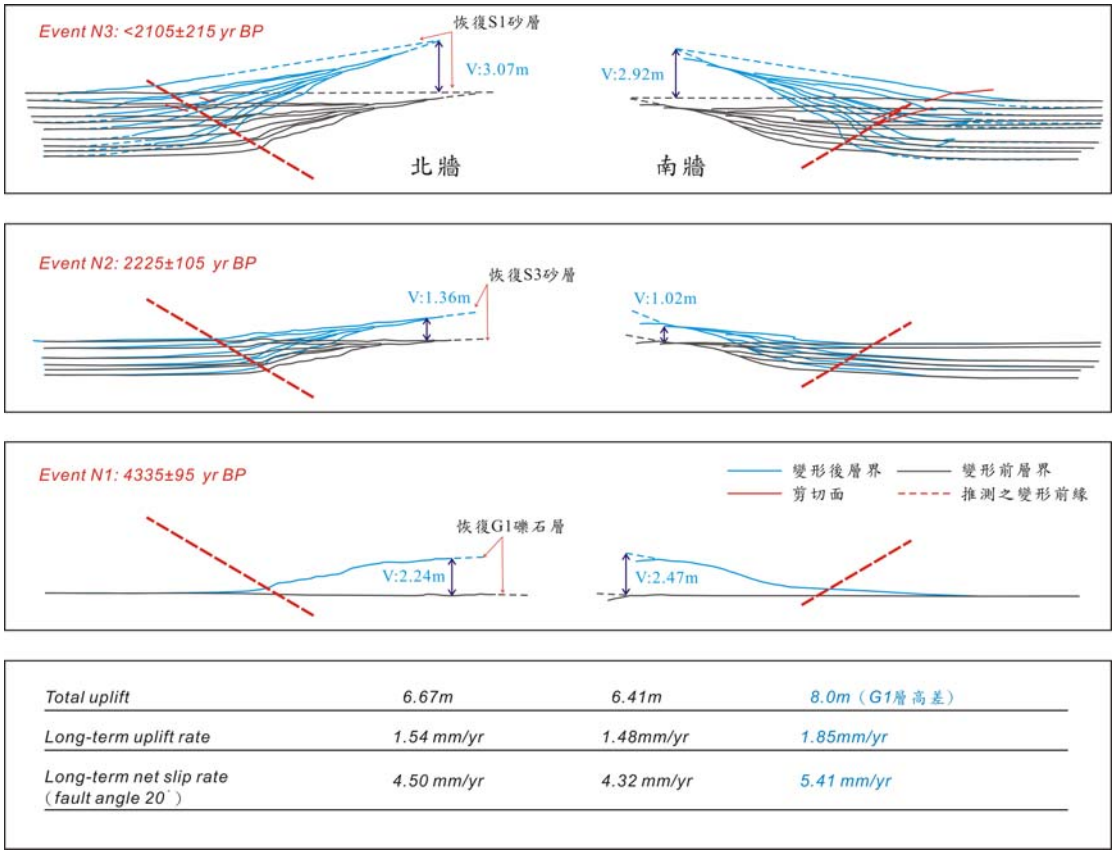


圖 5-8、古地震恢復圖。

5-4、岩芯紀錄

5-4-1、馬背 1 號井（圖 5-9）

馬背 1 號井位於 Terrace 10 的前緣（西側），鑽井深度共 211.1 公尺。岩芯岩性如下，211.1-123.1 公尺爲板岩岩層，板劈理傾角約 50-65º。板岩岩層之上爲來自板岩組成的沖積扇礫石層，不整合沉積在板岩岩層之上，厚度 46 公尺（123.1-77.1 公尺）。礫石層之上堆積厚層泥層，偶夾薄層粉砂層與礫石層，屬於湖泊環境，泥層之上爲風化土壤層。泥層上部的 ^{14}C 定年年代爲 13060-12940 yr BP（10.2 公尺），下部的 ^{14}C 定年年代爲 18510-17690 yr BP（69.6 公尺）。從岩芯所呈現的環境變遷，表示初期由沖積扇環境轉變爲湖泊環境（偃塞湖），此環境變化應該受到鹿野斷層（LY1 fault）的活動所造成，從上覆泥層的沉積速率推估底部泥層的年代，偃塞湖形成時代約爲 18870 年，也大約是 LY1 鹿野斷層開始活動的時間。馬背 1 號井所在的位置是位於 Terrace 10 階地之上，且馬背 1

號井中具有許多的剪切面構造，推測 Terrace 10 階地也是受到斷層（LY2 fault）作用形成的隆起階地，此階地崖向北延伸即連接永安槽溝挖掘的斷層褶皺崖（圖 5-1，5-2）。因此，造成馬背 1 號井中剪切帶的斷層應屬於鹿野斷層（LY1 fault）的支斷層，此是後期產生的斷層，時代可以對應至 N1 地震事件（4240-4430 yr BP）。由於馬背 1 號井的年代資料較少，斷層上下未有可對應的年代，因此尚無法估算斷層的淨滑移速率。本研究以馬背 1 號井以及地表地質調查資料作一地質構造剖面（圖 5-4），推測馬背 1 號井底部的礫石層與 Terrace 12 與 Terrace 14 階地礫石層可能可以對比，並以此來估算鹿野斷層的長期抬升速率。

馬背 1 號井井位高程爲 287 公尺，Terrace 12 階地高程爲 302 公尺，Terrace 14 階地高程爲 326 公尺，馬背 1 號井井下 123-77 公尺深爲礫石層。井下礫石層與 Terrace 6 階地礫石層的高差爲 92 公尺，估算抬升速率約爲 4.9mm/yr；井下礫石層與 Terrace 7 階地礫石層的高差爲 116 公尺，估算抬升速率約爲 6.1mm/yr。由於目前無法確定鹿野斷層（LY1）的傾角，所以尚無法估算淨滑移速率。但以目前估算的抬升速率來看，似乎 LY1 鹿野斷層的長期淨滑移速率應遠大於 LY2 鹿野斷層。下年度總報告中將參考今年度 貴所的馬背 2 號井岩芯紀資料，再作深入的討論。

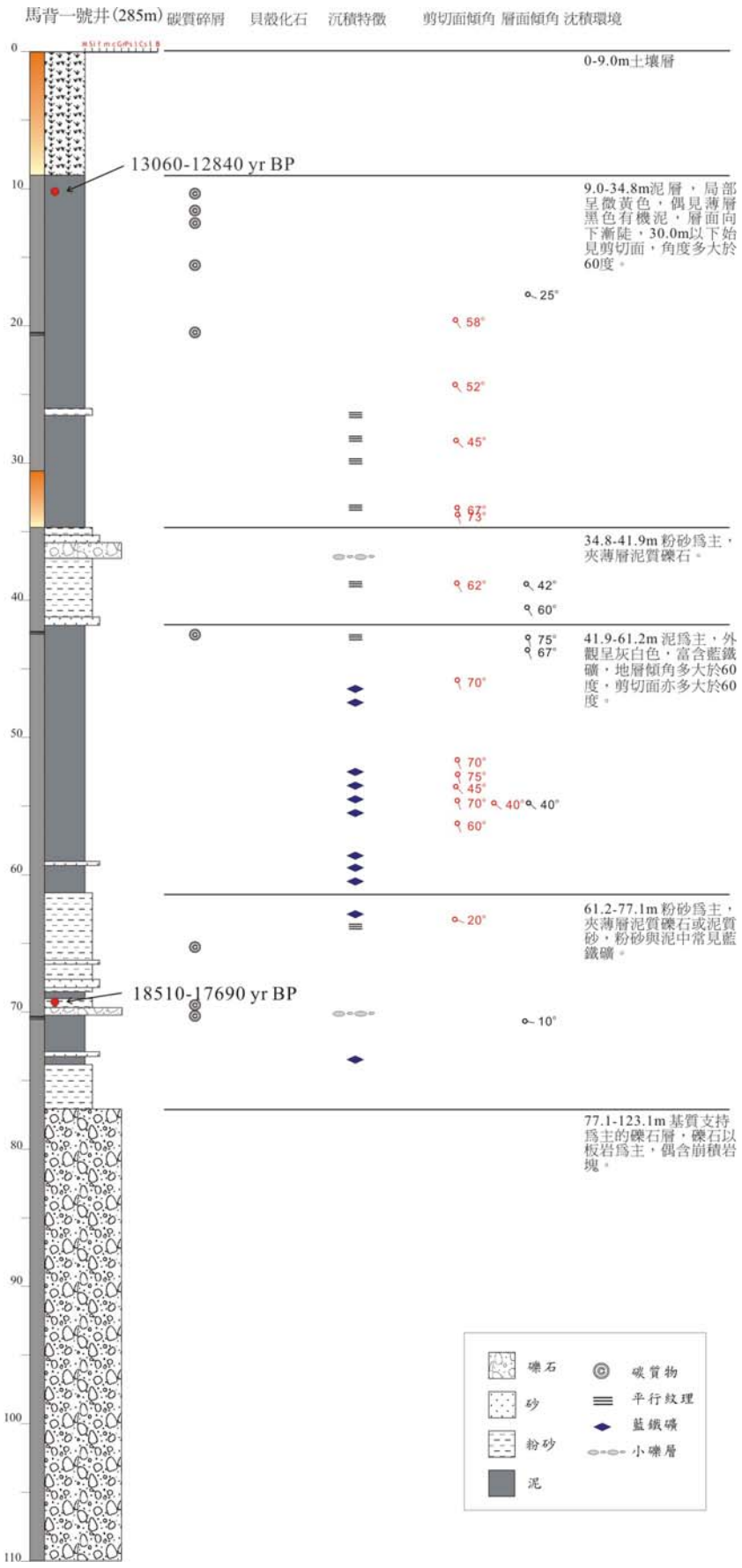
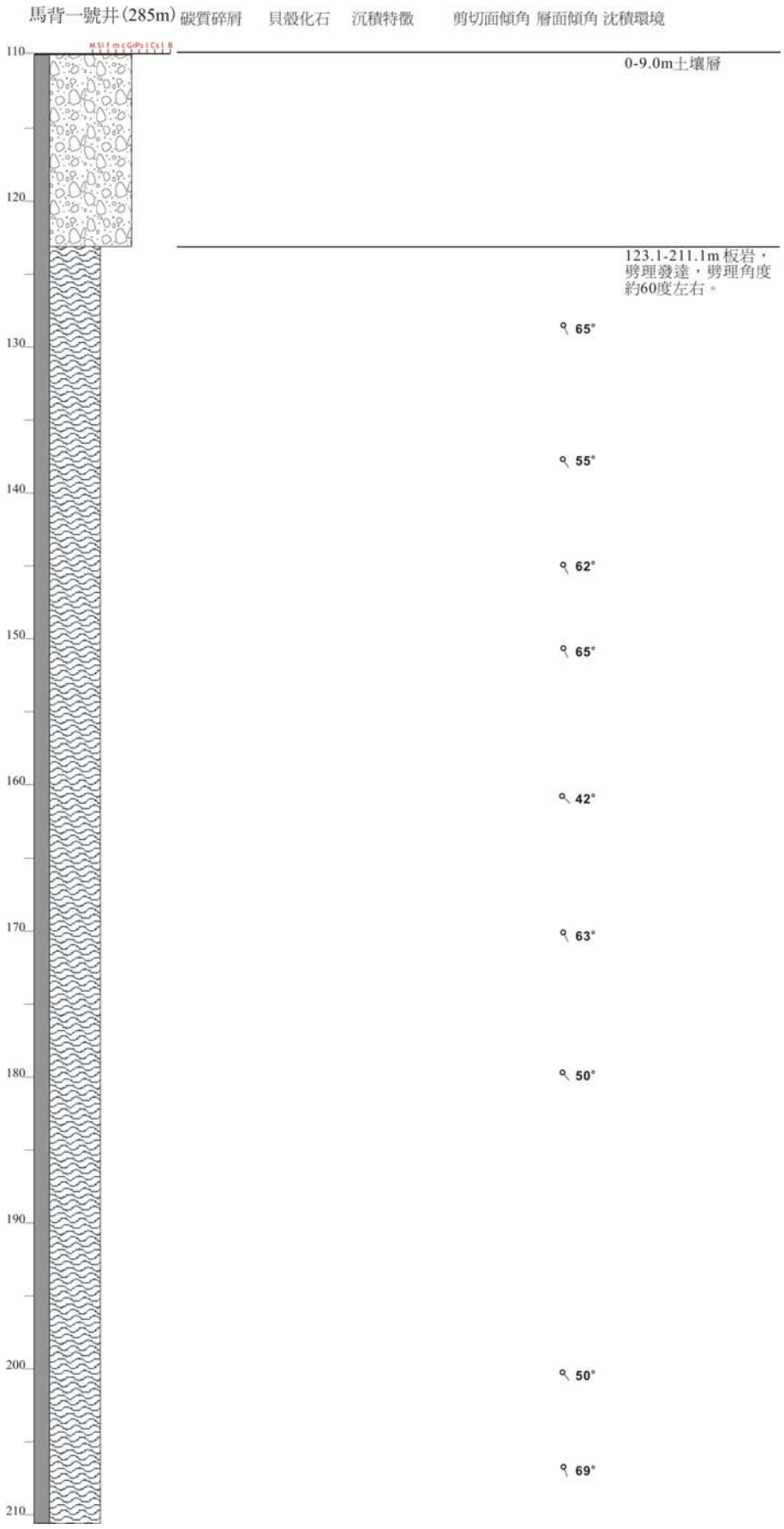


圖 5-9、馬背 1 號井岩芯紀錄。



（續）圖 5-9、馬背 1 號井岩芯紀錄。

5-4-2、鹿野 1 號井（圖 5-10）

鹿野 1 號井（井深 120 公尺）位於斷層上盤，距離槽溝上端約 12 公尺，全段岩芯都屬於礫石層，頂部礫石層可以對比槽溝剖面的 G1 礫石層。井深約 20 公尺處的砂層中具有明顯的剪切構造，通常礫石層中較無法呈現剪切構造，但是由地層傾斜角度來看，大約在 20 公尺深的角度有很大變化，之上的地層傾角約爲 30-60º，之下爲小於 10º，推測地表淺部主要的剪切構造約位於 20 公尺處。

5-4-3、鹿野 2 號井（圖 5-11）

鹿野 2 號井（井深 120 公尺）位於槽溝下盤，距離鹿野 1 號井約 210 公尺，地層傾角都小於 10º，應是沖積扇扇面的坡度，井中未見剪切面構造。全段岩芯皆屬於礫石層。

5-4-4、鹿野 1-1 號井（圖 5-12）

鹿野 1-1 號井（井深 20 公尺）位於斷層上盤的槽溝頂端，距離鹿野 1 號井約 12 公尺。井深約 6-8 公尺處具有剪切構造，角度約 50-60º，地層傾角約 20º；以下地層傾角約 10º 以下，研判斷層位於 6-8 公尺之間。

5-4-5、鹿野 1-2 號井（圖 5-13）

鹿野 1-2 號井（井深 30 公尺）位於斷層上盤，位於槽溝剖面的中間，距離鹿野 1 號井約 27 公尺。沉積層未見明顯的剪切構造，地層傾角約 10º 以下。

5-4-6、鹿野 1-3 號井（圖 5-14）

鹿野 1-3 號井（井深 30 公尺）位於斷層下盤，位於槽溝剖面的末端，距離鹿野 1 號井約 38 公尺。沉積層未見明顯的剪切構造，地層傾角約 10º 以下。

各井與槽溝的相關位置，如圖 5-15。

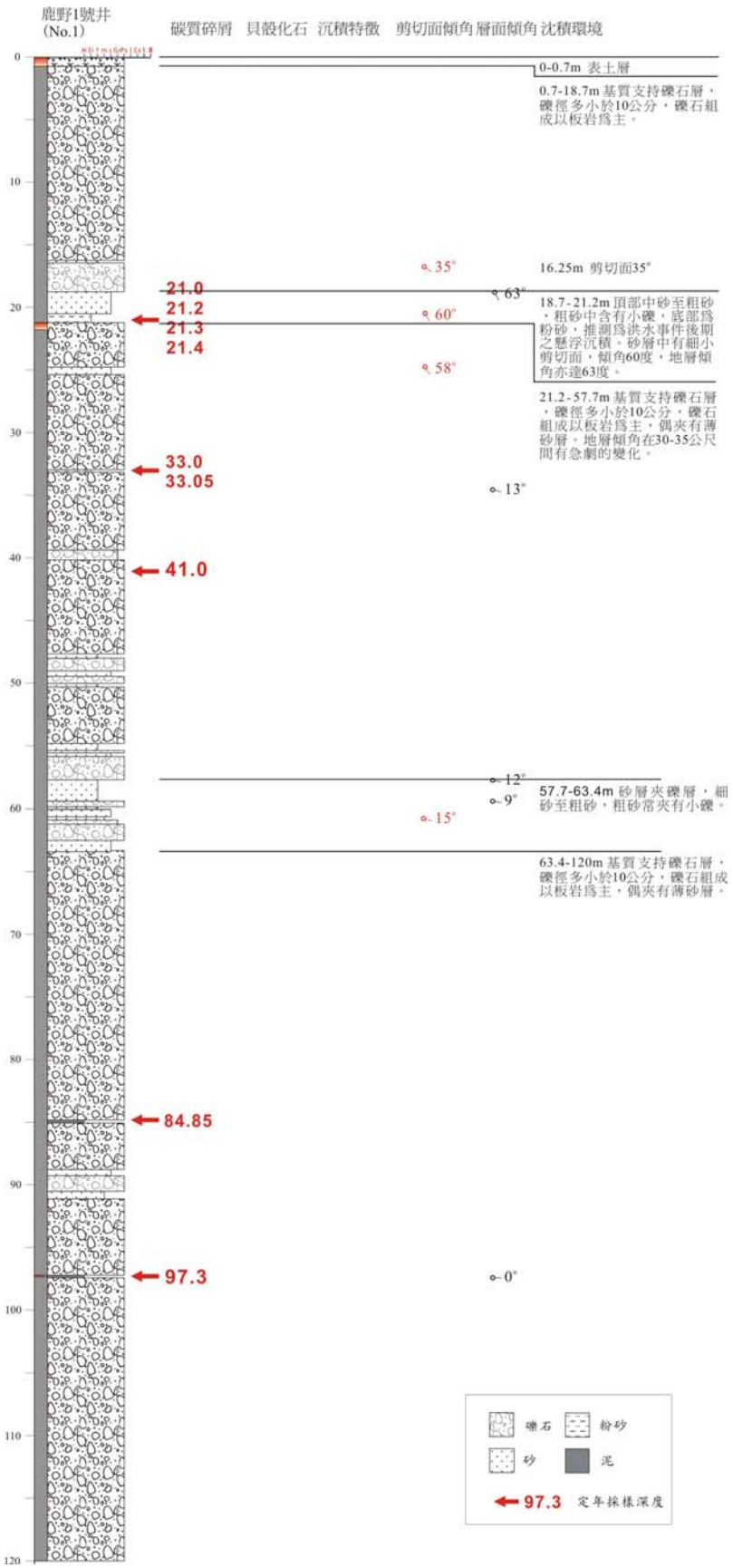


圖 5-10、鹿野 1 號井岩芯紀錄。

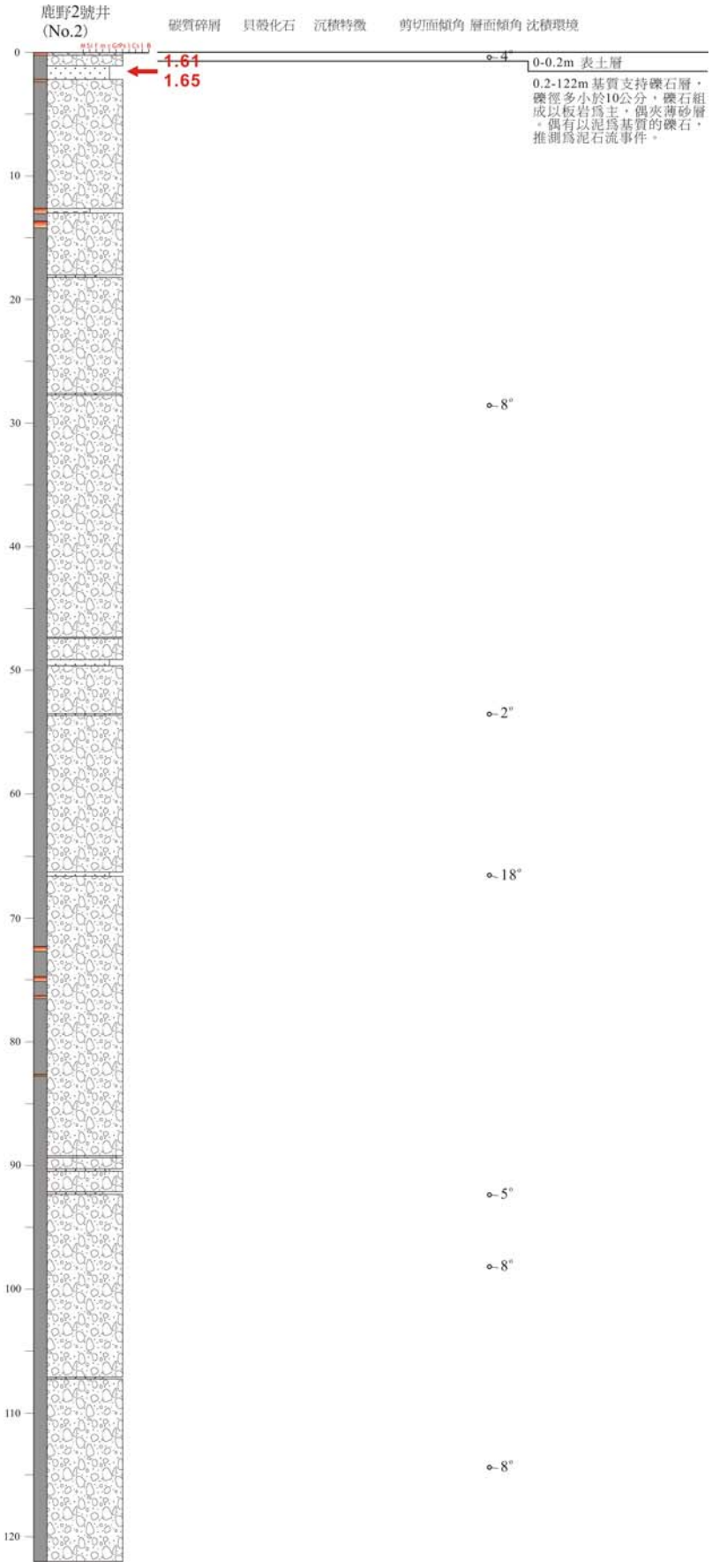


圖 5-11、鹿野 2 號井岩芯紀錄。（圖例見圖 5-10）

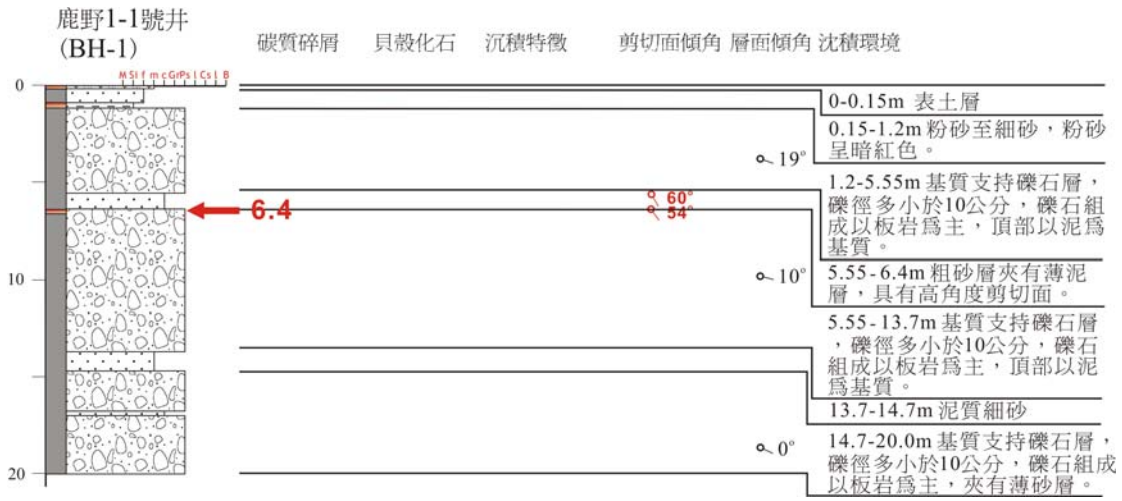


圖 5-12、鹿野 1-1 號井岩芯紀錄。（圖例見圖 5-10）

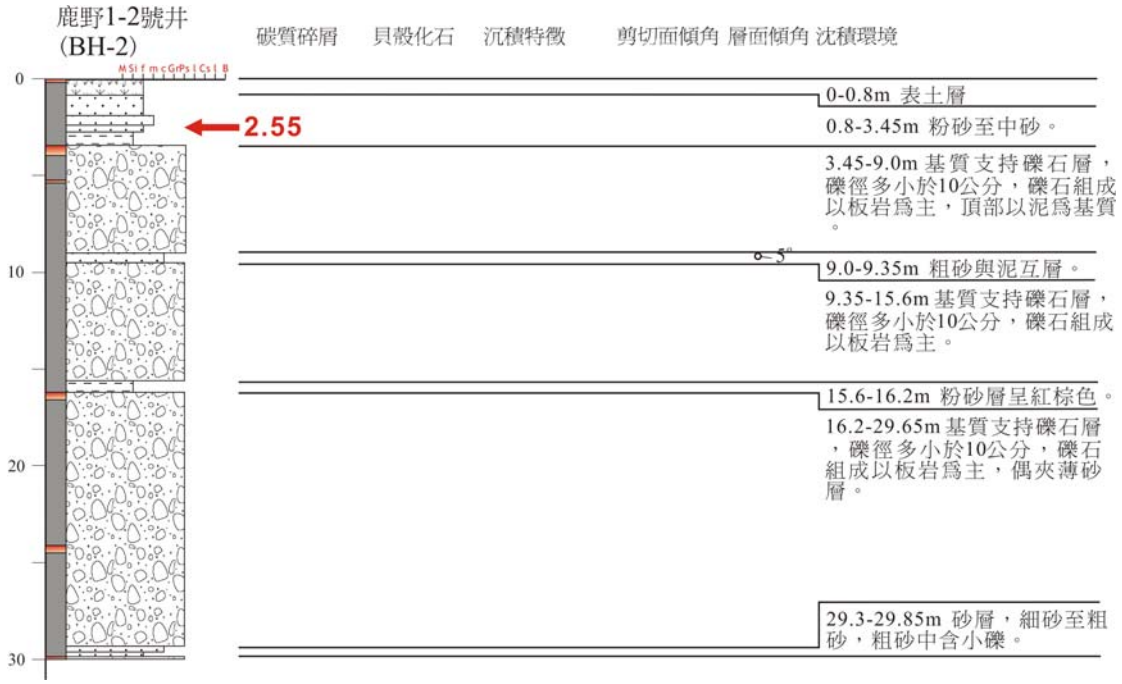


圖 5-13、鹿野 1-2 號井岩芯紀錄。（圖例見圖 5-10）

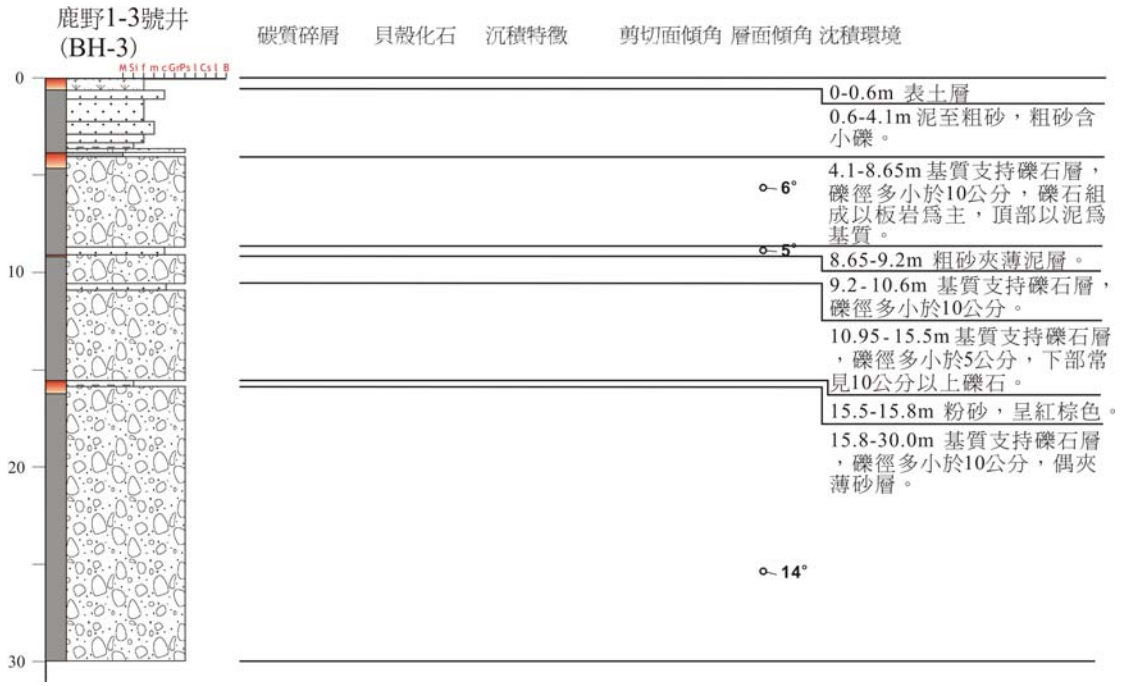


圖 5-14、鹿野 1-3 號井岩芯紀錄。（圖例見圖 5-10）

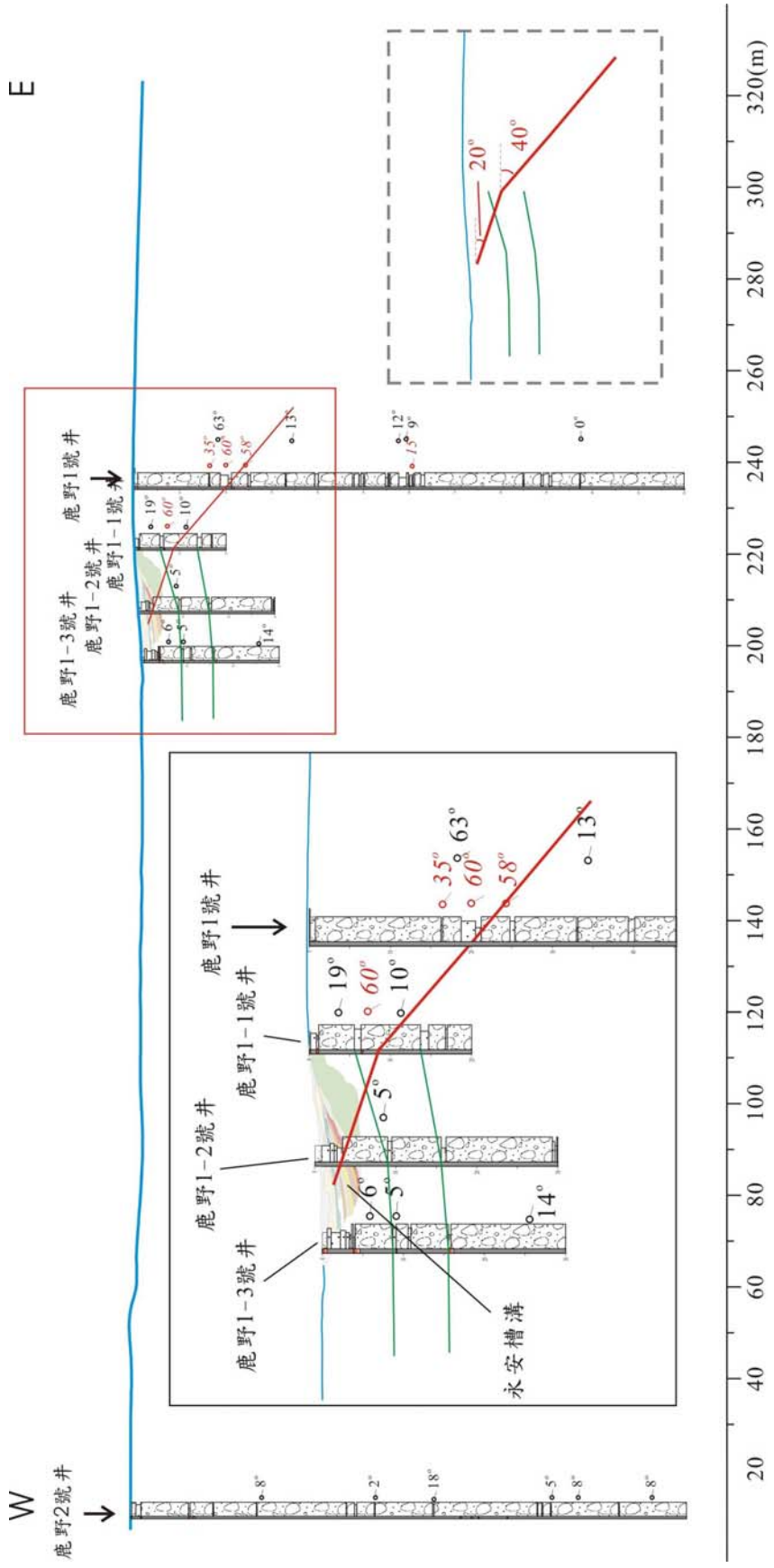


圖 5-15、鹿野鑽井岩芯柵狀圖。

5-5、結論

從目前資料分析（馬背 2 號井尚未完成），LY1 鹿野斷層的長期抬升速率約爲 4.9-6.1mm/yr。LY2 鹿野斷層的長期抬升速率約爲 1.85 mm/yr，淨滑移速率爲 5.4 mm/yr。永安槽溝的古地震研究，表示 LY2 鹿野斷層開始活動時間可能爲 4240-4430 yr BP，共發現有三次古地震事件，時間約爲 4240-4430 yr BP（N1）、2120-2340 yr BP（N2）與＜1890-2110 yr BP（N3），古地震時間間距約 2100 年。

參考文獻

陳文山、林益正、顏一勤、楊志成、紀權窅、黃能偉、林啓文、林偉雄、侯進雄、劉彥求、林燕慧、石同生、盧詩丁（2008）從古地震研究與GPS資料探討縱谷斷層的分段意義。經濟部中央地質調查所特刊，第20期，165-191頁。

Chen, W.S., Lee, K.J., Lee, L.S., Streig, A.R., Chang, H.C., Lin, C.W. （2007） Paleoseismic evidence for coseismic fault-propagation growth-fold, 1999 Chi-Chi earthquake rupture, central Taiwan, *J. Asian Ear. Sci*., 31, 204-213.

Shyu, J.B.H., Sieh, K., Chen,. Y.G., Chuan, R.Y., Wang, Y., and Chung, L.H. （2008） Geomorphology of the southernmost Longitudinal Valley fault: Implications for evolution of the active suture of eastern Taiwan. *Tectonics*, 27, TC1019, doi:10.1029/2006TC002060.

第六章、瑞穗斷層長期滑移速率

6-1、地質與地形

作者從古地震的同震變形行為以及 GPS 資料推估的震間（interseismic periods）變形特性，將長達 150 公里的縱谷斷層劃分為四個斷層區段，由北而南為嶺頂斷層、瑞穗斷層、池上斷層與利吉斷層（陳文山等，2008）。各區段斷層特性，嶺頂斷層為左向的走向滑移斷層，瑞穗斷層、池上斷層與利吉斷層則屬於朝西北西向的逆衝斷層。

徐鐵良（1962）將 1951 年 11 月地震當時在玉里至光復之間的地表破裂連接，由玉里鎮至富興村東側自強外役監獄稱為玉里斷層。陳文山等（2004）認為此地震斷層應該分屬兩條不同的斷層，位在縱谷西側玉里鎮的破裂帶，可能屬於中央山脈東側前緣斷層－中央山脈斷層，或是中央山脈當中的斷層；而位於縱谷東側的地震斷層則屬於海岸山脈西側的前緣斷層－縱谷斷層，因此將此區段斷層稱為瑞穗斷層。由於沒有詳細的 1951 年地震斷層位置圖，所以僅能彙整徐鐵良的照片資料（徐鐵良，1955；Hsu, 1962），再經野外調查與古地震槽溝挖掘，重新繪製瑞穗斷層的位置。由地質特性認為瑞穗斷層的南側端點應置於與奇美斷層的交會處，全段由富田至春日共約 33 公里。斷層分段理由如下，奇美斷層將海岸山脈截切為南北兩段，南側的中新世都巒山層逆衝在更新世八里灣層之上，此斷層是海岸山脈中最大錯距的斷層；以其作為縱谷斷層的區段分界是具有地質構造意義。此外，1951 年 11 月台東地震的第一個主震（M_S 7.1）屬於逆衝斷層特性，吻合當時地表破裂的斷層特徵（Cheng *et al*., 1996），以及古地震槽溝剖面所呈現的斷層構造（陳文山等，2004；顏一勤等，2005）。另外，春日以南劃分為池上斷層的另一原因是兩側斷層的震間活動行為有很大差異，雖然 GPS 觀測資料顯示瑞穗斷層上盤地塊的每年壓縮量為 23.6 公厘（方位角 294º），與池上斷層上盤壓縮量相同，但池上斷層是具潛移特性（creeping）的斷層，而瑞穗斷層則呈現鎖定狀態（Chen *et al*., 2007）。

本年度於花蓮縣光復鄉大富村自強外役監獄至瑞穗鄉鶴岡村之間，海岸山脈沿山 193 號縣道的安定橋旁（二度分帶座標：290007，2607542）（圖 6-1）。場址環境屬於富興溪與其支流形成的山麓沖積扇，槽溝位在支流堆積沖積扇的緩斜坡面。於開挖前訪查地主，表示 1951 年地震當時於緩坡上有地表隆起，地震之後地表整地耕作擾動的表土層深約數十公分，對地形影響不大，故此緩斜坡面可視爲 1951 年地震後的原始地形面。1951 年地震當時瑞穗斷層在安定橋區域形成約 75 公分的垂直位移（陳文山等，2004），另一次古地震造成的垂直位移約爲 1.75 公尺，時間爲年輕於 530-330 yr BP。此次的槽溝挖掘調查，位於之前槽溝的南側約 100 公尺，由於地形面較低，希望此次調查能挖掘較老的古地震事件。

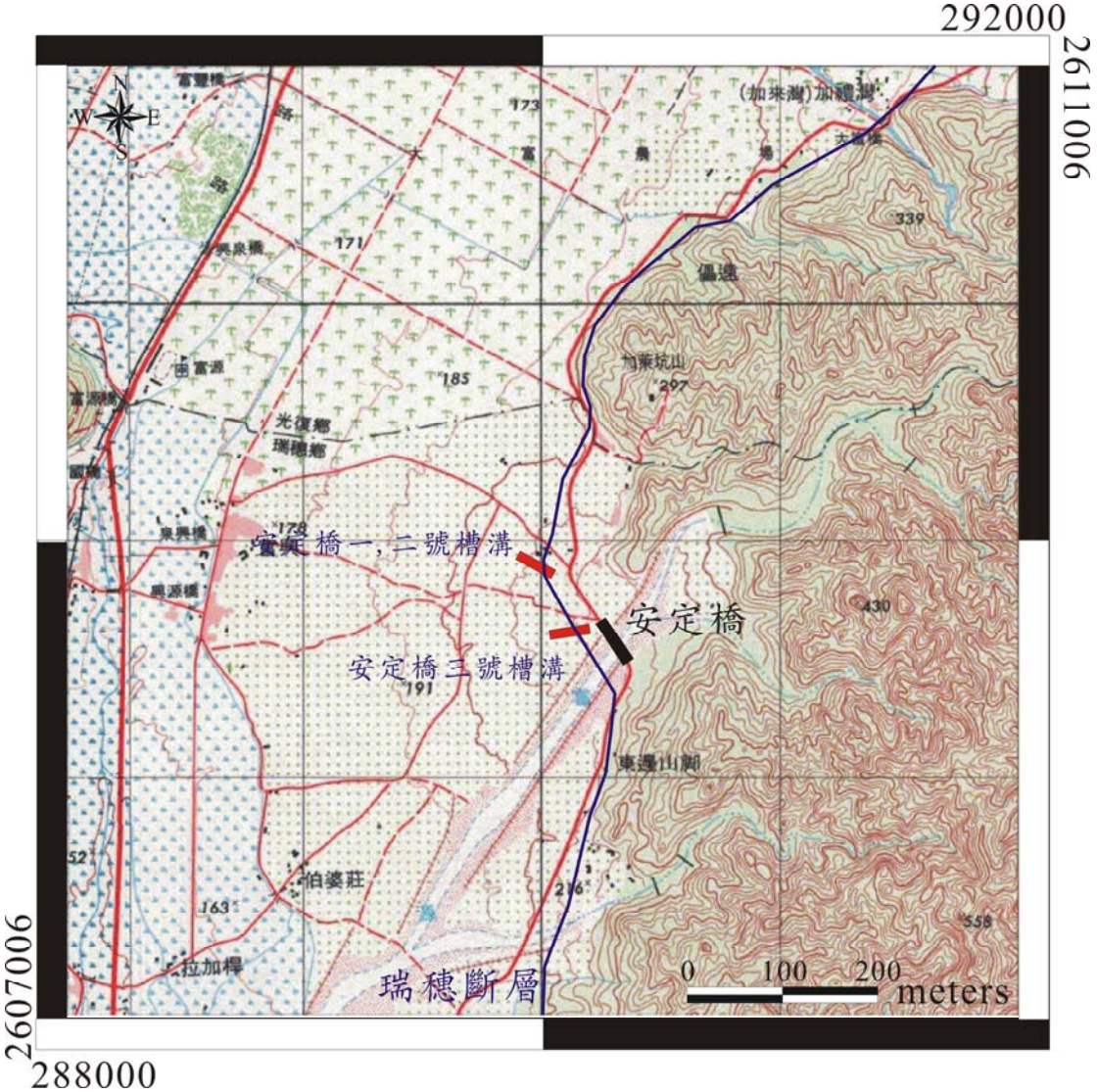


圖 6-1、安定橋一、二、三號槽溝位置圖。

6-2、古地震槽溝研究

槽溝剖面呈現三條逆斷層，以及受斷層作用形成的褶皺構造，本章節主要描述安定橋三號槽溝剖面的地層與構造特徵，描述如下:

6-2-1、槽溝剖面地層

安定橋三號槽溝北牆（圖6-2，6-3）、南牆（圖6-4，6-5）剖面出露地層分布相似，由上至下可分爲O耕作土層、G1礫石層、G2礫石層、SG1砂礫層、SG2砂礫層、SG3砂礫層、G3礫石層、SG4砂礫層、G4礫石層，地層描述如下：

O耕作土層：棕灰色至黑色現代土層，厚度約爲20-50公分，沉積物以細砂或泥爲主，夾有次圓形礫石，礫石粒徑約數公分至25公分，頂部約20公分厚度範圍遭人爲耕作的擾動，但未遭受斷層作用發生變形（1951年地震），顯然此擾動的耕作土層是1951年地震之後的耕作土。

G1礫石層：細砂夾泥及礫石所組成，沉積物具有基質支持結構，厚度約20-100公分，礫石直徑從數公分至20公分，礫石圓粒度次佳，淘選度次佳，上覆O耕作土層。本層被1951年地震斷層（Fa2與Fa3）擾動，而產生褶皺。

G2砂礫層：北、南兩牆組成上稍有不同，北牆以砂礫爲主，南牆除砂礫外，還夾有透鏡狀砂泥層。本層爲沖積扇河道堆積的沉積層，沉積物具有顆粒支持結構，礫石直徑從數公分至20公分，圓粒度佳，淘選度普通，砂中具有交錯紋理或平行紋理等沉積構造，所夾之透鏡狀砂泥層呈黃棕色，有輕微土壤化現象。本層遭1951年地震斷層剪動，但未切穿，明顯褶皺變形。

SG1砂礫層：以砂泥層爲主，夾有透鏡狀礫石層，厚度於兩牆不一，北牆厚度約20-50公分，南牆厚度約30-100公分。砂泥層呈現黑色至黃棕色變化，有輕微土壤化現象。礫石層礫石直徑從數公分至數十公分，礫石圓粒度次佳，淘選度佳，沉積構造屬於基質支持結構。本層遭F1、F2及F3斷層切穿，有明顯錯動變形發生。

SG2砂礫層：於槽溝東側以砂泥層爲主，槽溝西側則以礫石層爲主，厚度約20-50公分。砂泥層部分呈現黃棕色，具輕微土壤化現象。礫石層礫石直徑從數公分至20公分，礫石圓粒度次佳，淘選度佳，沉積構造屬於基質支持結構，部分粗砂中可見交錯紋理。本層遭F1、F2及F3斷層切穿，有明顯錯動變形。

SG3砂礫層：本層以礫石層爲主，夾有透鏡狀砂泥層，厚度約50-100公分。砂泥層部分呈現黑色或黃棕色，有輕微土壤化現象。礫石層礫石直徑從數公分至數十公分，礫石圓粒度次佳，淘選度佳，沉積構造屬於顆粒支持結構，部分粗砂中可見交錯紋理。本層遭F1、F2及F3斷層切穿，有明顯錯動變形發生。

G3礫石層：本層厚度約20-30公分，礫石層礫石直徑從數公分至數十公分，礫石圓粒度次佳，淘選度不佳，沉積構造屬於基質支持結構。本層遭F1、F2及F3斷層切穿。

G4礫石層：下部爲砂礫層、上部爲礫石層所組成，夾有透鏡狀砂泥層，主要出露於下盤，於上盤部份出露，厚度約100公分。礫石直徑從數公分至數十公分，礫石圓粒度佳，淘選度佳，沉積物爲顆粒支持結構。

SG4砂礫層：砂泥層與透鏡狀砂礫層交互組成，僅出露於北牆，主要分布於下盤，於上盤少部份出露，厚度約50公分。礫石直徑從數公分至數十公分，礫石圓粒度佳，淘選度佳，沉積物爲顆粒支持結構，部分砂礫層中可見交錯紋理或水平紋理。



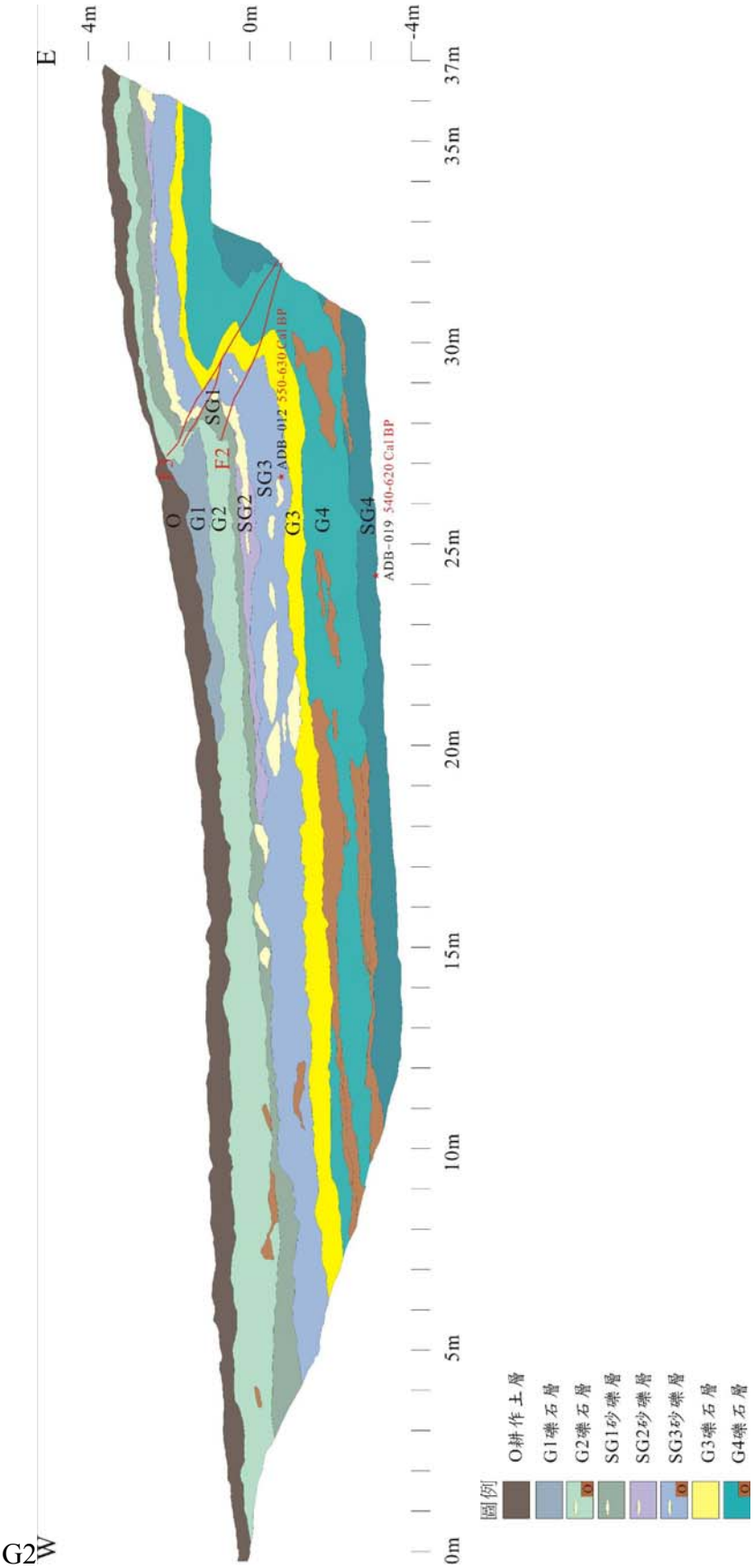
圖6-2、安定橋三號槽溝北牆。（照片朝西北方拍攝）

6-2-2、槽溝剖面構造

安定橋三號槽溝北牆剖面：（圖6-3）

安定橋三號槽溝北牆剖面上明顯可見二條朝東傾斜的逆斷層，F3斷層位於F2斷層上盤，F3斷層於槽溝第二階分岔爲兩個斷層面。斷層上盤地層受到斷層的拖曳作用形成背斜構造，下盤形成向斜構造。F2斷層位態爲N24°E、E30°，切穿SG1-SG4等地層，爲G2礫石層截切；F3斷層位態爲N24°E、E30°與N24°E、E35°，切穿G1-SG4等地層，被O耕作土層覆蓋。

F2和F3斷層向下延伸時在第二階連接爲同一斷層面，此斷層面向下延伸至第三階剖面時與F1斷層極爲接近，向下應可再連接爲同一斷層面，F1、F2和F3斷層應爲同一斷層面於不同時期活動所形成的分岔斷層。從SG2砂礫層在三斷層兩側的高差來看，剖面中三斷層兩側的總垂直錯移量約爲140公分，若由褶皺上、下盤的SG2砂礫層對比，則垂直錯移量約可達250公分。由於F1斷層切過SG1砂



G2

圖6-3、安定橋三號槽溝北牆剖面。

礫層，並造成G2砂礫層變形，但未影響G1礫石層，因此可以判斷F1斷層形成於SG1礫石層沉積之後、G2礫石層沉積之前。F2斷層切入G2礫石層，但未切穿礫石層，造成G2礫石層及上覆的G1礫石層變形，因此可以判斷F2斷層形成於G1礫石層沉積之後。F3斷層切穿G1礫石層，並切過F2斷層上盤所形成的背斜構造，為O耕作土層所截切。

F3斷層在第二階向上延伸時分岔為二斷層面，向下延伸至第三階應可再連接為同一斷層面， F2和F3斷層面應為同一斷層於不同時期活動所形成的分岔斷層。從SG2砂礫層在兩條斷層上下盤的高差來看，垂直錯移量約可達250公分。

由於F2斷層切過SG1砂礫層，但未影響G2礫石層，因此可以判斷F2斷層形成於SG1礫石層沉積之後、G2礫石層沉積之前。F3斷層切穿G1礫石層，為O耕作土層覆蓋，F3斷層應形成於G1礫石層沉積之後，O耕作土層沉積之前，推測為1951年地震斷層。

安定橋三號槽溝南牆剖面：（圖6-4，6-5）

南牆剖面，亦出露此三條逆斷層，F1、F2和F3斷層，但三斷層相關排列變為：F1斷層位於最底，F3斷層位於F1斷層上盤，而F2斷層再位於F3斷層上盤。其餘所擾動地層與造成的變形均與北牆剖面相似。F1斷層位態為N24°E、E25°，斷層切穿SG1砂礫層，斷層兩側SG3砂礫層的垂直錯距約為75公分；F3斷層於F1斷層上盤，位態為N24°E、E20°，斷層截切G1礫石層，而斷層遭O耕作土層截切，由斷層兩側SG3砂礫層的對比來看，垂直錯移量約為28公分；F2斷層位於F3斷層上盤，位態為N24°E、E25°，斷層切入SG1礫石層中，但未切穿SG3礫石層，由斷層兩側SG3砂礫層的對比來看，垂直錯移量約為40公分。從SG3砂礫層在三斷層兩側的高差來看，剖面中三斷層兩側的總垂直錯移量約為140公分，若由褶皺上、下盤的SG3砂礫層對比，則垂直錯移量約可達250公分。

安定橋三號槽溝南牆剖面，亦出露三條逆斷層，F1、F2與F3斷層，三條斷層排列為F2斷層位於最下側，F3斷層位於F2斷層上盤，F1斷層再位於F3斷層上

盤，於第三階處與三條斷層可能匯合。其餘擾動地層與變形均與北牆剖面相似。

F1斷層位於F3斷層上盤，位態爲N24°E、E25°，斷層切穿SG3砂礫層，爲SG2砂礫層截切；F2斷層位態爲N24°E、E25°，斷層切穿SG1砂礫層，爲G2礫石層覆蓋；F3斷層於F1斷層上盤，位態爲N24°E、E20°，斷層截切G1礫石層，而斷層遭O耕作土層覆蓋。從SG3砂礫層在三條斷層兩側的高差來看，剖面中三斷層兩側的總垂直錯移量約爲170公分。



圖6-4、安定橋三號槽溝南牆。（照片朝西南方拍攝）

由地層與斷層的截切關係，可知斷層發生先後次序爲：F1斷層早於F2斷層，而F2斷層早於F3斷層。故F3斷層爲最後一次活動之斷層，且爲最表層的O耕作土層所截切，故形成F3斷層的地震事件可能爲1951年地震事件，此處垂直錯距爲0.26公尺，而F2斷層地震事件爲1951年地震事件之前一次的地震事件，F1斷層事件爲比F2斷層地震事件再更早一次的地震事件。根據南、北牆剖面分析，F3斷層的垂直錯移量爲26-28公分，所以可以推測此處在1951年地震時的地表抬升量

約26-28公分，而1951年以前的地震事件所造成的地表抬升量分別爲40公分（F2）與75公分（F1）。

6-3、討論與結論

由槽溝地層與構造特徵分析，除了地表O耕作土層之外，位於斷層上盤最頂部的沉積層爲G2礫石層，其下依序爲SG1、SG2、SG3砂礫層及G3、G4礫石層與SG4砂礫層，而斷層下盤最頂部沉積層則爲G1礫石層，爲崖前堆積所以上盤沒有堆積，其下依序爲G2-SG4等地層。

本研究將由斷層兩側沉積層的對比來恢復沉積層未變形前的地層狀態，並依此估算古地震變動的垂直高度。首先，回復南牆的F3斷層變形（圖6-6），F3斷層將SG3砂礫層中的泥層產生錯移，所以沿著F3斷層將泥層回復，並以此量測SG3砂礫層中泥層的垂直變動量爲40公分。北牆依照此方式，回復SG1砂礫層，垂直變動量爲50公分，平均F3斷層的垂直抬升量約45公分（圖6-7）。

南牆F2斷層造成SG1砂礫層以下沉積層的變形，同樣回復SG3砂礫層中的泥層，垂直變動量爲60公分（圖6-6）；北牆牆F2斷層明顯造成G3礫石層變形，回復後量測的垂直變動量爲44公分（圖6-7），平均F2斷層的垂直抬升量約52公分。

F1斷層在北牆剖面中不明顯，但是在回復F3與F2斷層的變形之後，沉積層還呈現明顯的變形，所以回復兩側地層的高差，其垂直變動量爲76公分。南牆剖面則還具有明顯的褶皺變形，同樣回復兩側地層的高差，其垂直變動量亦爲76公分，平均F1斷層的垂直抬升量約76公分。

從上述地層與構造關係的分析，本研究認爲1951年之前的F2斷層古地震事件應該在G1礫石層沉積之後發生，而F1斷層古地震事件則發生於SG2砂礫層沉積之後、SG1礫石層沉積之前。所以由定年資料來看，此兩次古地震事件發生時間應晚於550-630年前；F3斷層應是1951年地震事件所造成。

由安定橋三號槽溝的研究表示，550-630年前以來，共有三次古地震事件，此研究與先前安定一號與二號槽溝研究（Chen *et al*., 2007）的古地震事件次數還

多一次事件。主要原因是，安定橋一號與二號槽溝剖面構造只出現兩條斷層，一爲1951年地震事件造成的F3斷層，而在回復F3斷層（1951年地震事件）之後，斷層兩側沒有指準層可以顯示還有幾次的變形事件，也就是安定橋三號槽溝中的F2與F1斷層是沿著同一斷層面活動，所以無法區分幾次事件，因而當時的結論認爲僅有一次事件，且此事件的垂直變動量爲175公分，顯然相當於安定橋三號槽溝的F2與F1斷層的變動量的總合。另外，鄰近的富興槽溝與大富槽溝相同時間之間的古地震事件亦都爲3次，顯然安定橋三號槽溝的三次古地震事件是可以對應的。

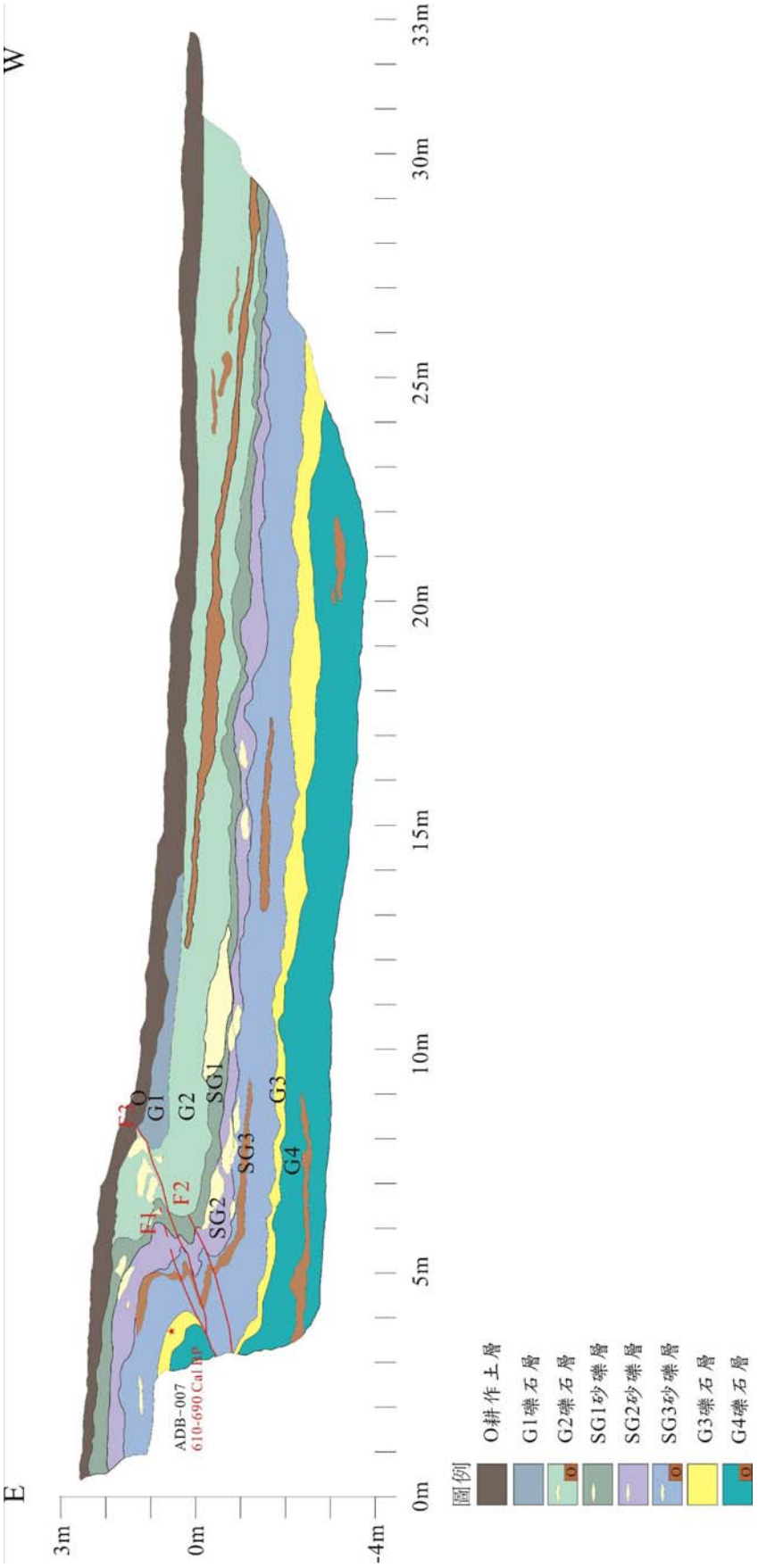


圖6-5、安定橋三號槽溝南牆剖面。

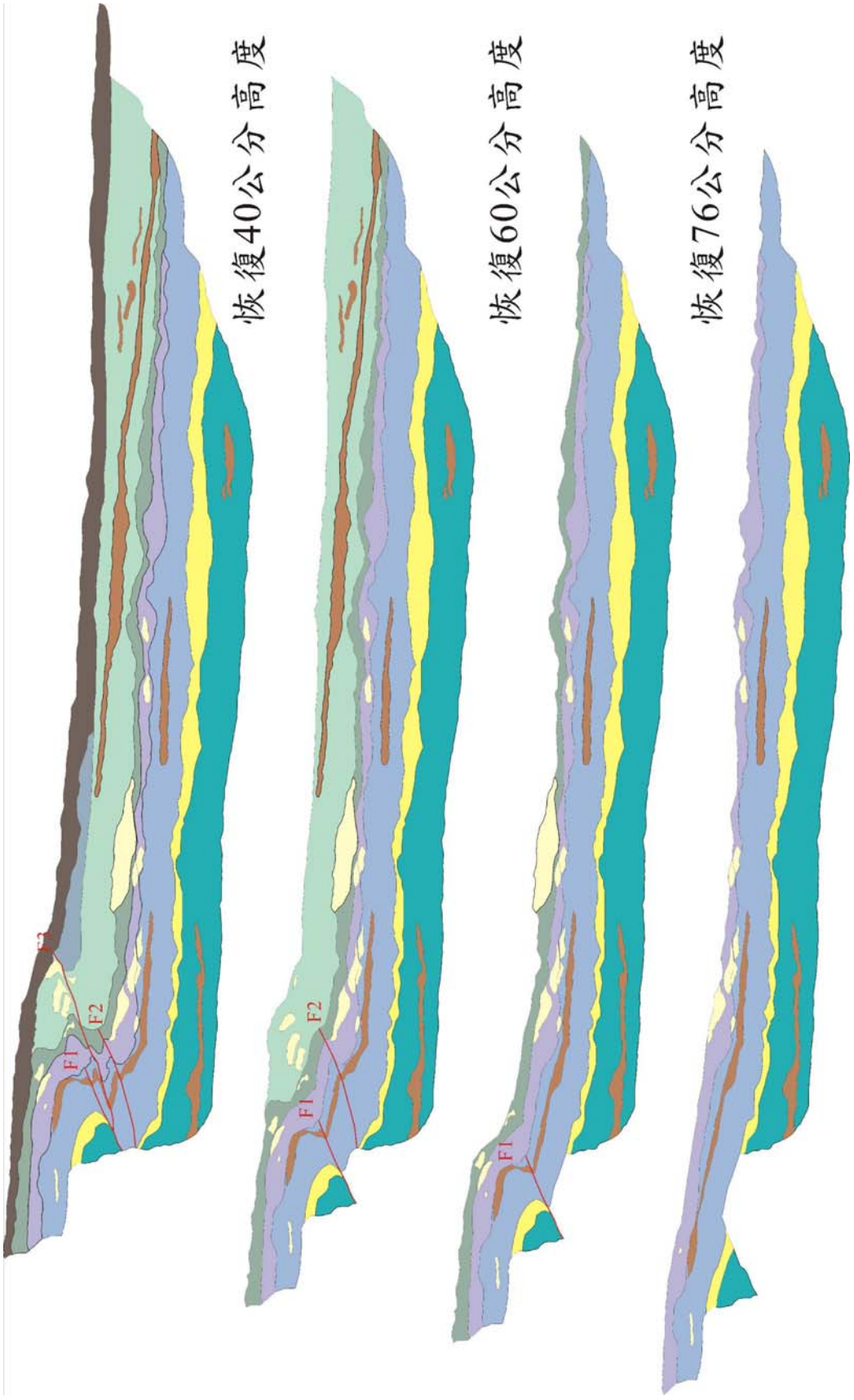


圖6-6、安定橋三號槽溝南牆剖面古地震事件變形恢復圖。

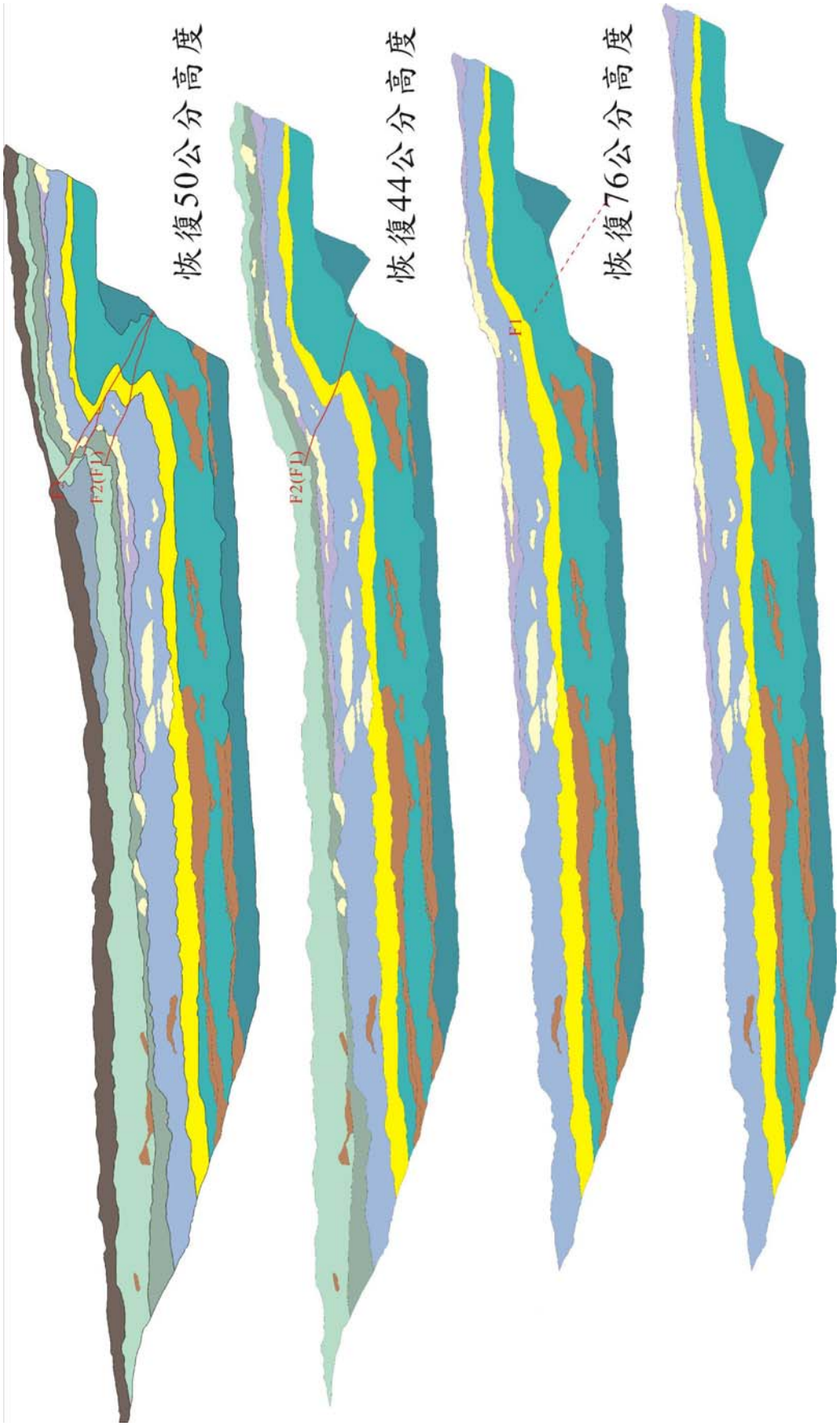


圖6-7、安定橋三號槽溝北牆剖面古地震事件變形恢復圖。

參考文獻

徐鐵良（1955）臺灣的地震。臺灣銀行季刊，第七期，第 39-63 頁。

陳文山、顏一勤、楊志成、楊小青、陳勇全、蔡坤志、朱曜國、黃能偉、張徽正、林啓文、林偉雄、劉彥求（2004）1951 年花蓮地震斷層的古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 15 期，第 137-145 頁。

陳文山、林益正、顏一勤、楊志成、紀權窅、黃能偉、林啓文、林偉雄、侯進雄、劉彥求、林燕慧、石同生、盧詩丁（2008）從古地震研究與 GPS 資料探討縱谷斷層的分段意義。經濟部中央地質調查所特刊，第 20 期，165-191 頁。

顏一勤、陳文山、蔡坤志、黃能偉、楊志成、陳勇全、朱曜國、宋時驊、劉彥求、林啓文、林偉雄、侯進雄、林燕慧（2005）縱谷斷層中段之古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 16 期，第 17-29 頁。

Chen, W.S., Yen, I.C., Fengler, K.P., Rubin, C.M., Yang, C.C., Yang, H.C., Chang, H.C., Lin, C.W., Lin, W.H., Liu, Y.C., Lin, Y.H. （2007） Late Holocene paleoearthquake activity in the middle part of the Longitudinal Valley fault, eastern Taiwan, *Earth Planet. Sci Lett*., 264（3/4）, 420-437, DOI: 10.1016/j.epsl.2007.09.043.

Cheng, S.N., Yeh, Y.T., and Yu, M.S. （1996） The 1951 Taitung earthquake in Taiwan, *Jour. Geol. Soc. China*, 39, 267-285.

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

第七章、總論

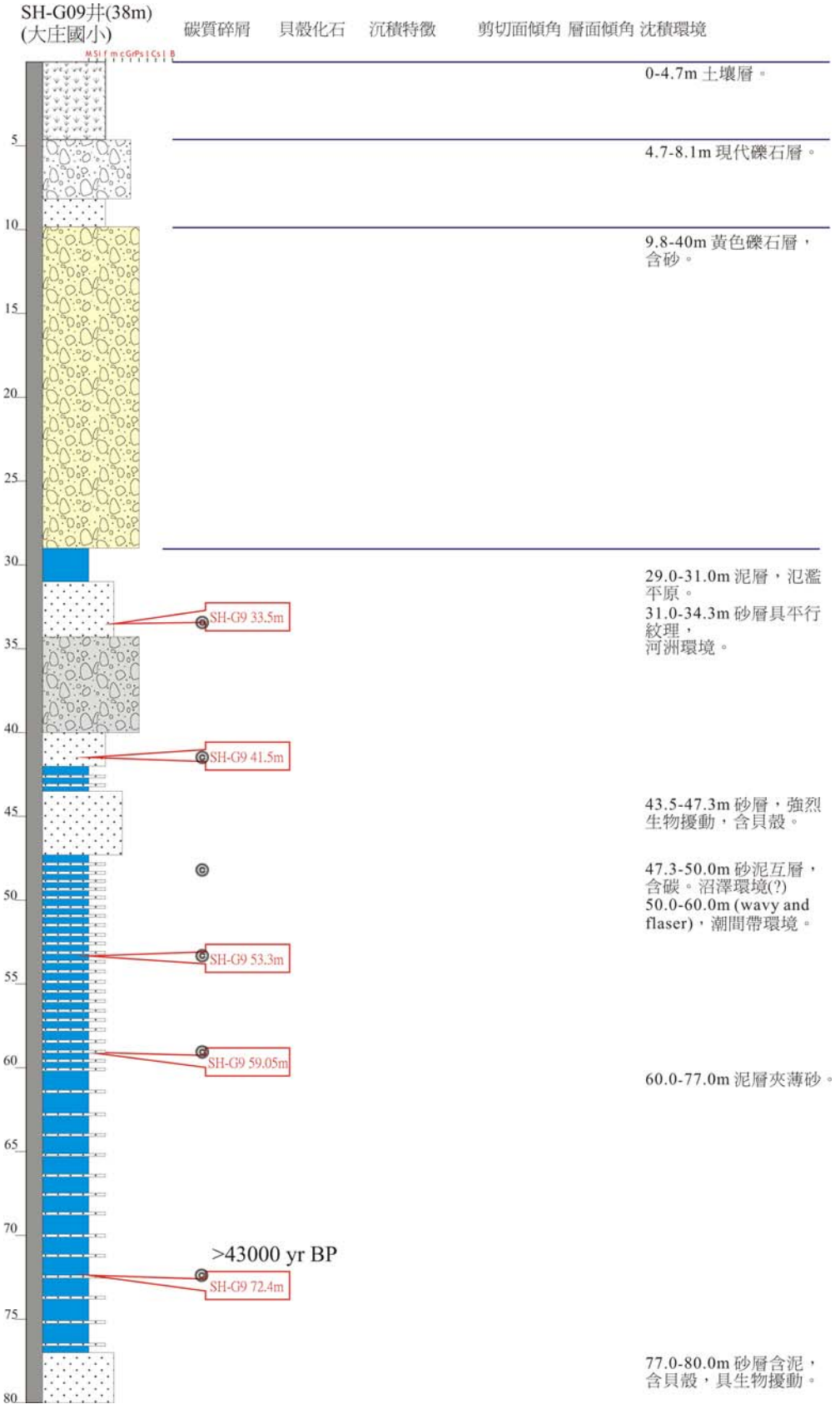
本年度（98 年度）「斷層長期滑移速率與再現週期研究（3/4）」計畫的研究主題乃針對新竹斷層、山腳斷層北段（金山地區）、鹿野斷層、潮州斷層以及瑞穗斷層等 5 條斷層，利用鑽井岩心沉積環境分析、槽溝與階地挖掘，配合 14C 定年的分析來探討上述斷層的斷層長期滑移速率與再現週期。

潮洲斷層的支斷層截切紅土階地礫石層，顯示晚期更新世有活動的跡象。新竹斷層截切紅土階地礫石層（^{14}C 年代＞50000 年），由河階定年估算斷層的抬升速率爲＜1.2 mm/yr。由於鑽井未能鑽穿山腳斷層（北段），斷層上盤金山 3 號井的平均抬升速率約爲-0.4±0.6 mm/yr，呈現略爲下陷的環境。鹿野斷層（LY2）的長期抬升速率約爲 1.85 mm/yr，淨滑移速率爲 5.4 mm/yr。古地震研究表示鹿野斷層（LY2）共發現三次古地震事件，時間爲 4240-4430 yr BP（N1）、2120-2340 yr BP（N2）與＜1890-2110 yr BP（N3），古地震時間間距約 2100 年。安定橋三號槽溝的研究表示，瑞穗斷層 550-630 年前以來，共有三次古地震事件，包括 1951 年地震事件；總垂直變動量爲 175 公分。

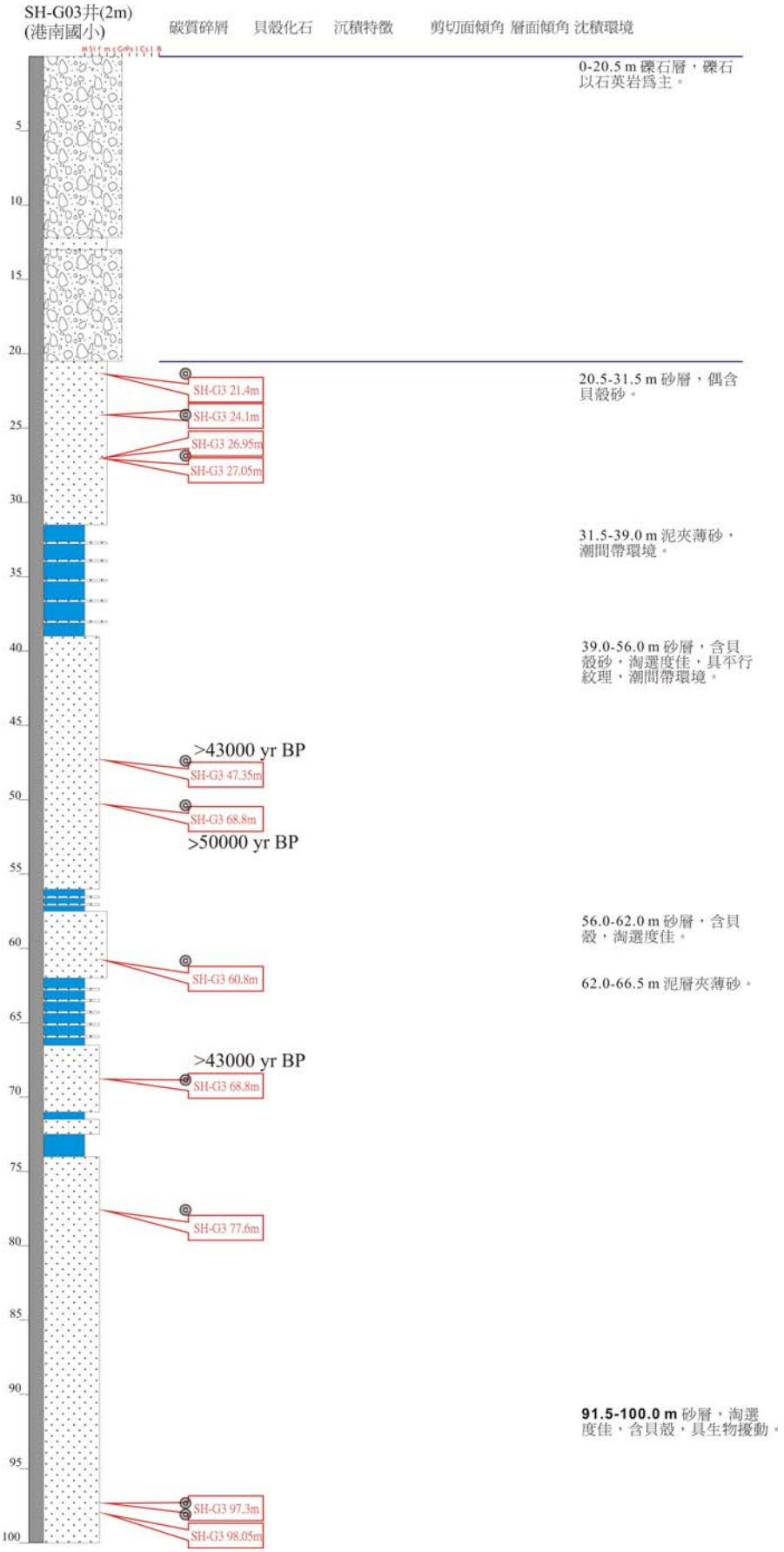
表7-1、98年度計畫成果

斷層名稱	滑移特性	斷層傾角	跨斷層抬升（下降）速度變化（mm/yr）			長期滑移速率（mm/yr）	再現週期（yr）	最近一次活動時間（yr）	綜合評估或建議
			階地定年	鑽探對比	槽溝開挖				
山腳斷層（北）	正移	>60°E							金山 2 號井應位於下盤
新竹斷層	逆移兼右移	~50°S	<1.2						錯動晚更新世紅土階地
瑞穗斷層	逆移兼左移				12.5-16.0 *a	21.6-27.7 *a	170-210*a	A.D.1951	550-630 年來 3 次古地震事件
鹿野斷層	逆移	~20°E		5.5（LY1）	1.85（LY2）	5.4（LY2）	2100（LY2）	＜1890-2110 yr BP	4400 年來 3 次古地震事件
潮州斷層(南)	逆移兼右移	N8°E/40°E							分支斷層錯動紅土礫石層

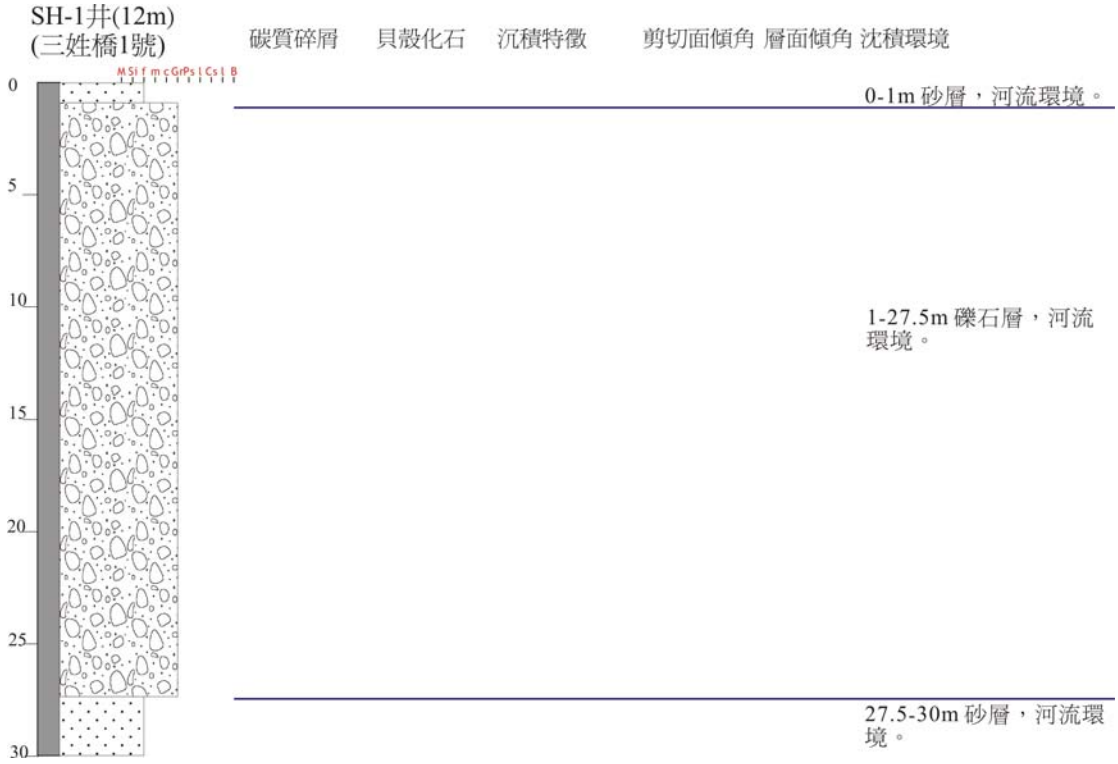
*a 資料來源見表1-5



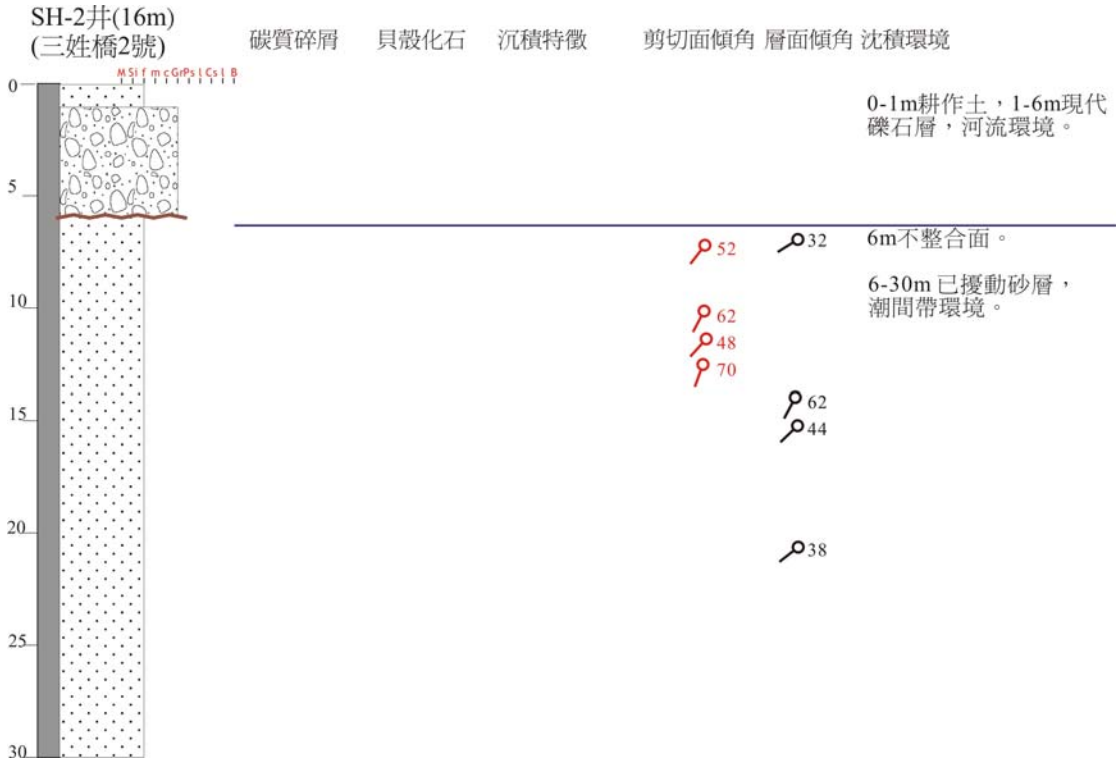
附錄1-1、大庄國小岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



附錄1-2、港南國小岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



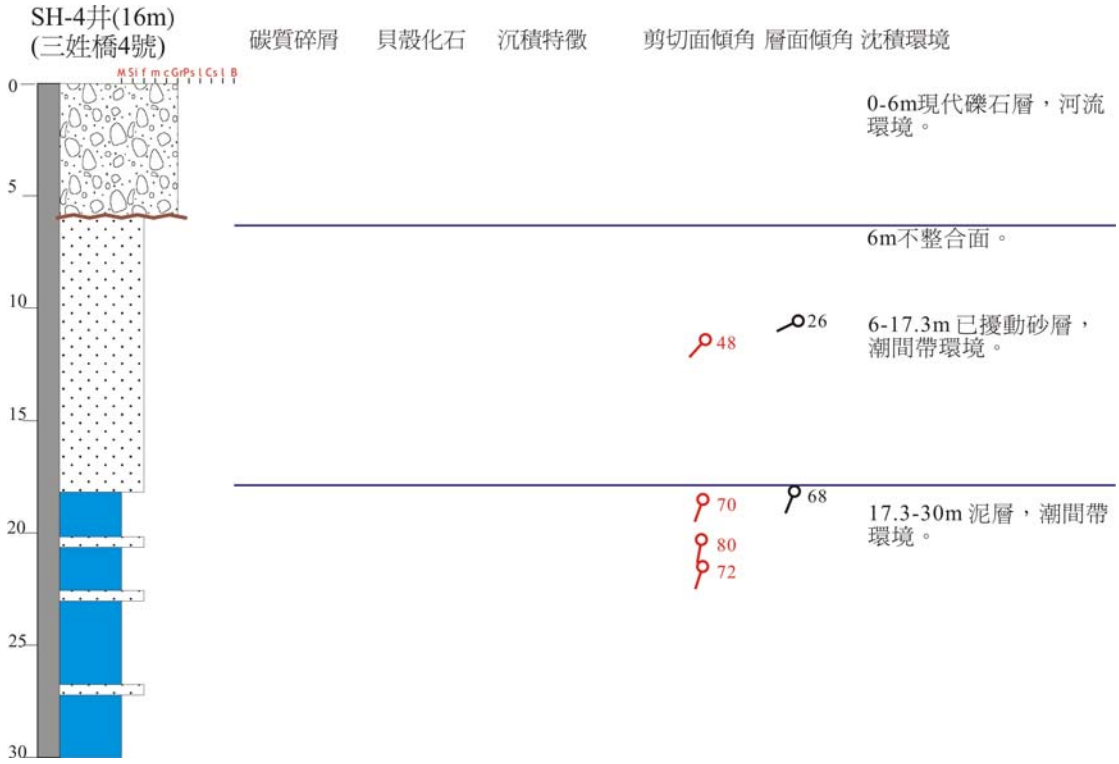
附錄1-3、三姓橋1號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



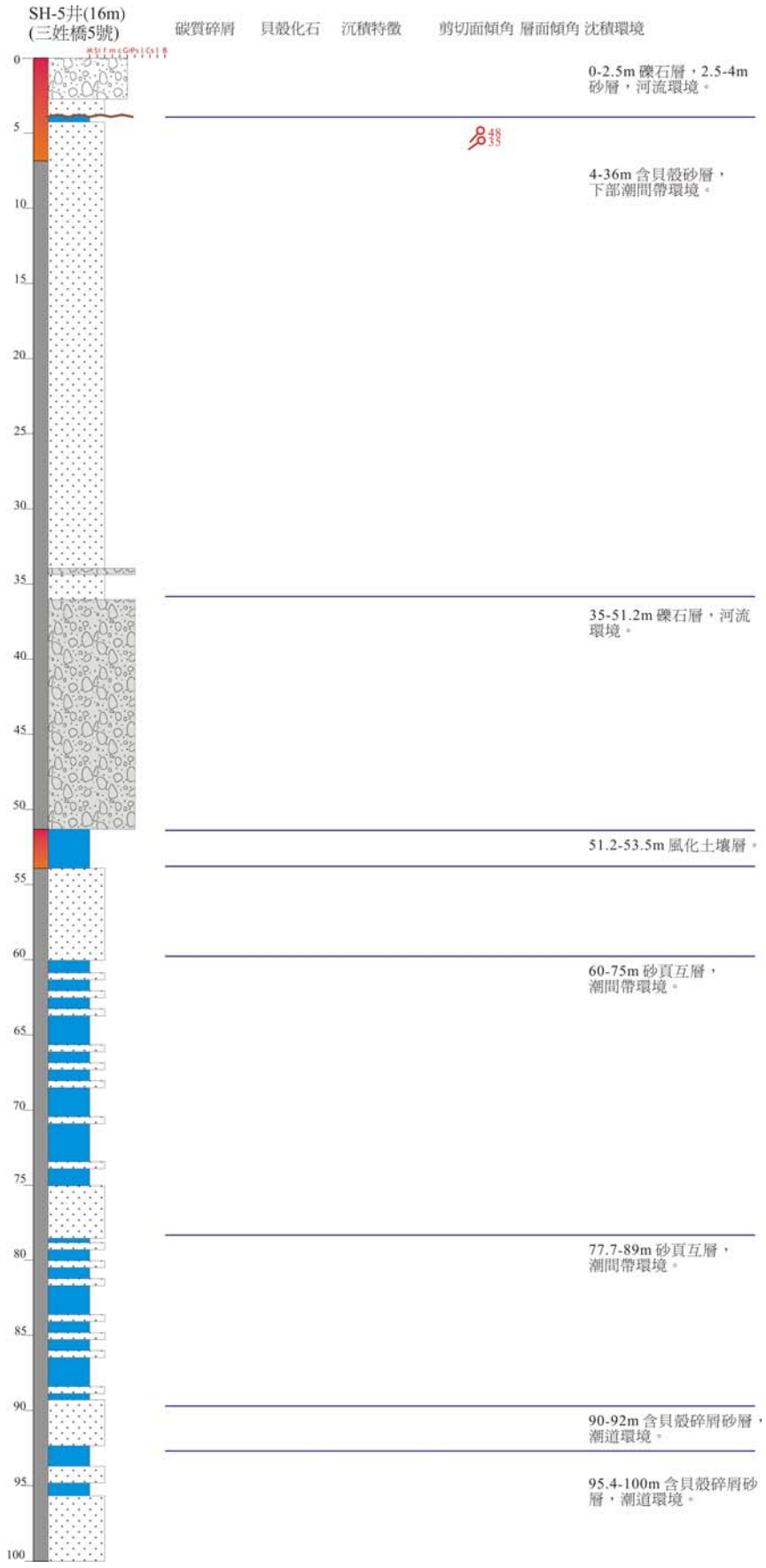
附錄1-4、三姓橋2號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



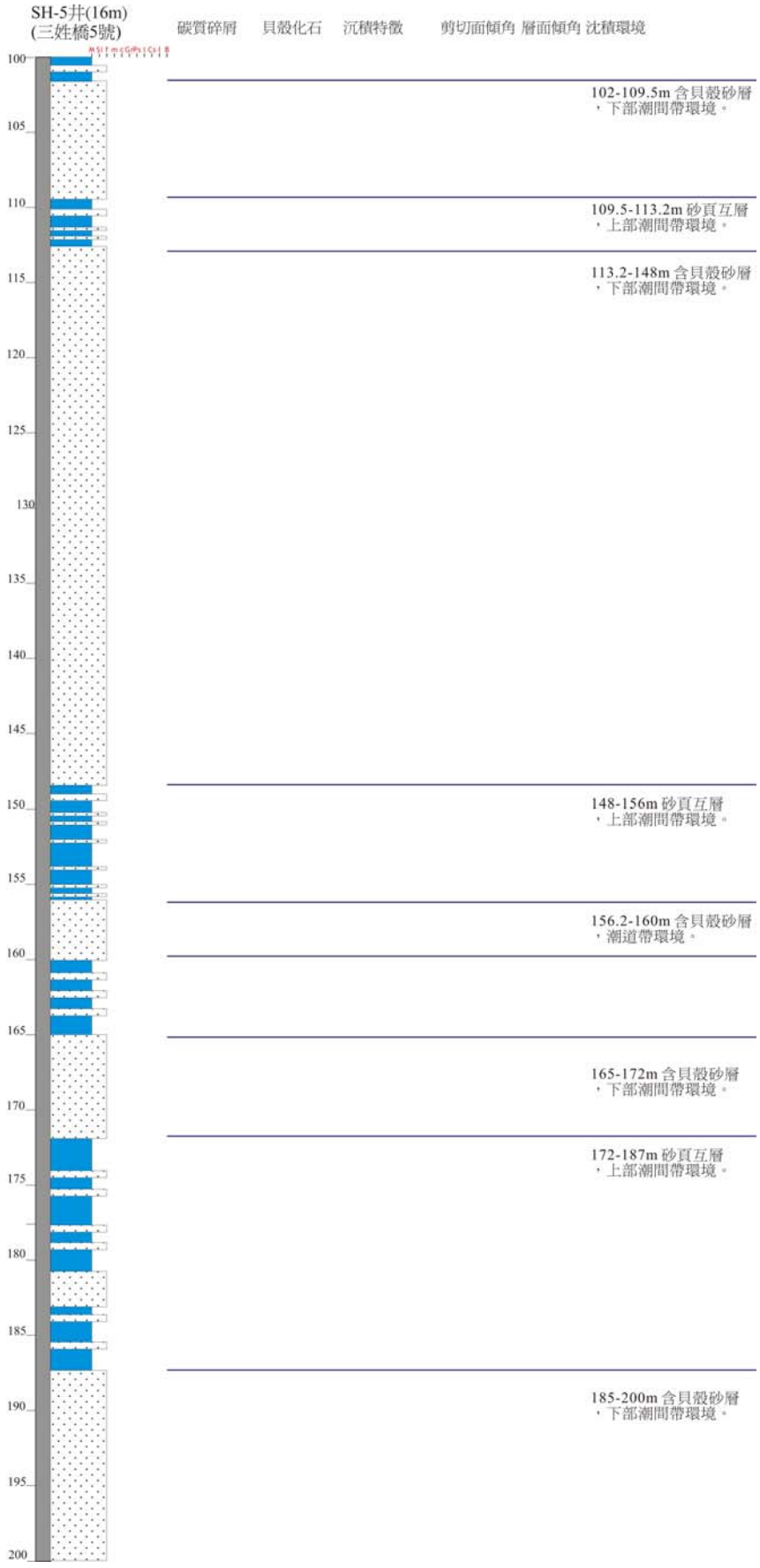
附錄1-5、三姓橋3號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



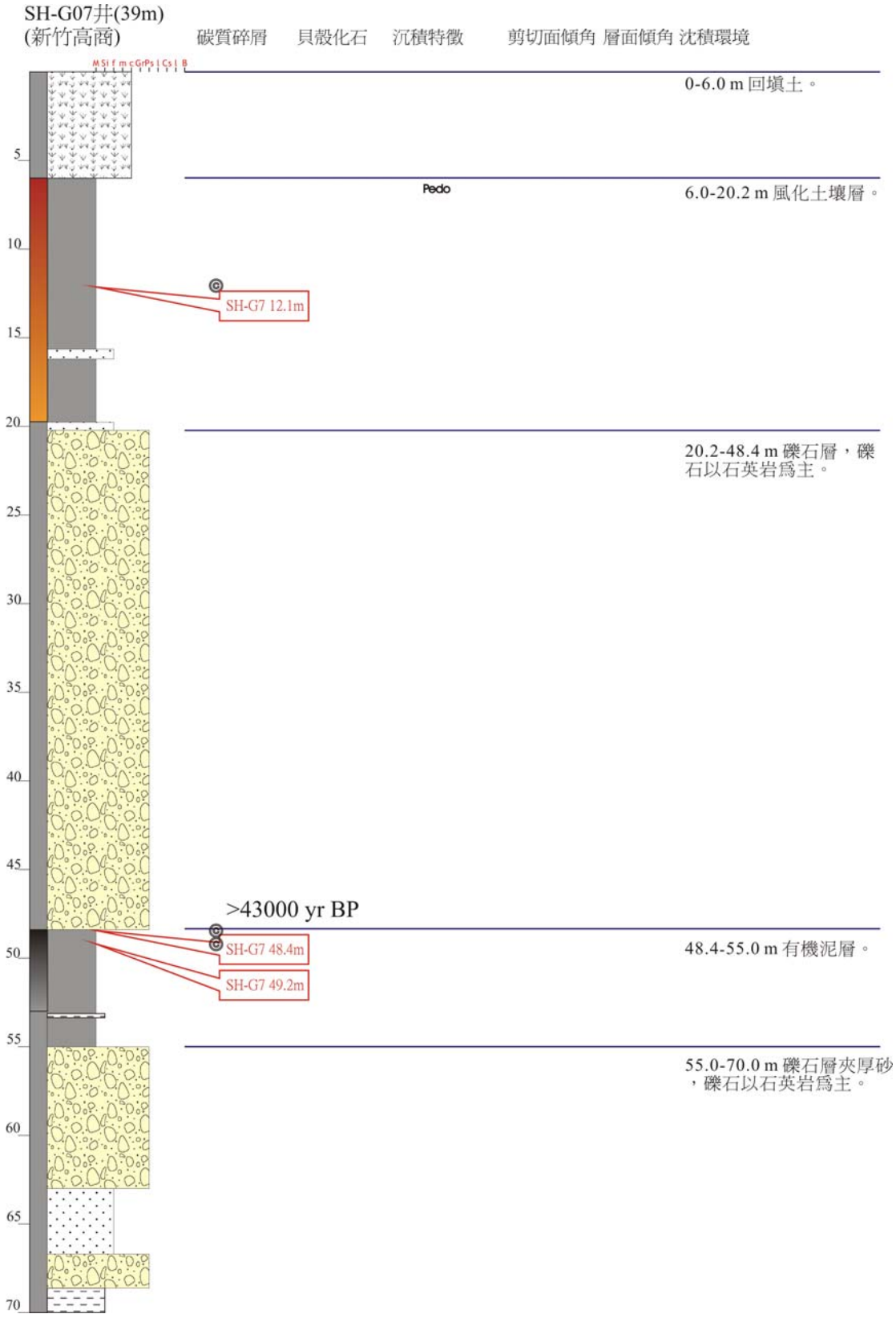
附錄1-6、三姓橋4號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



附錄1-7、三姓橋5-1號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



附錄1-8、三姓橋5-2號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



附錄1-9、新竹高商岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



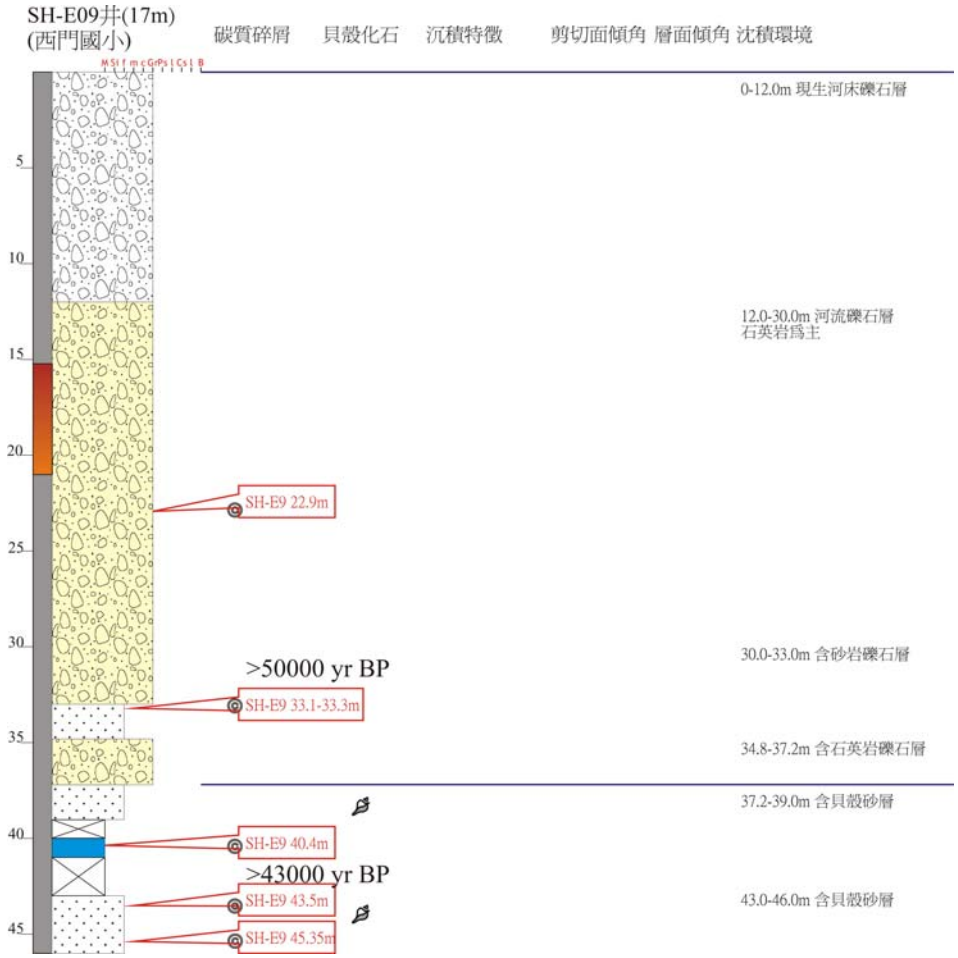
附錄1-10、建華國中岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



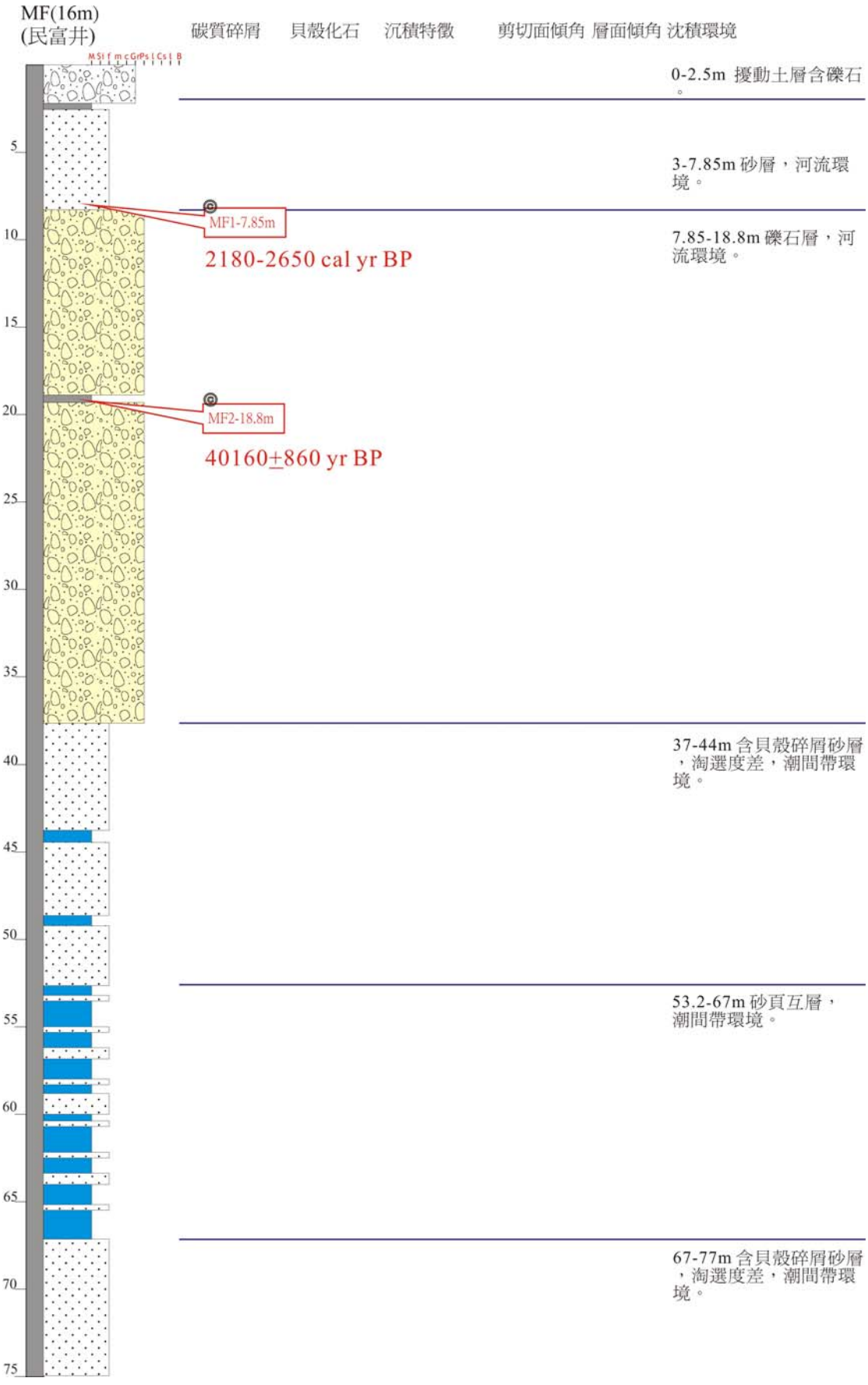
附錄1-11、竹蓮國小岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。

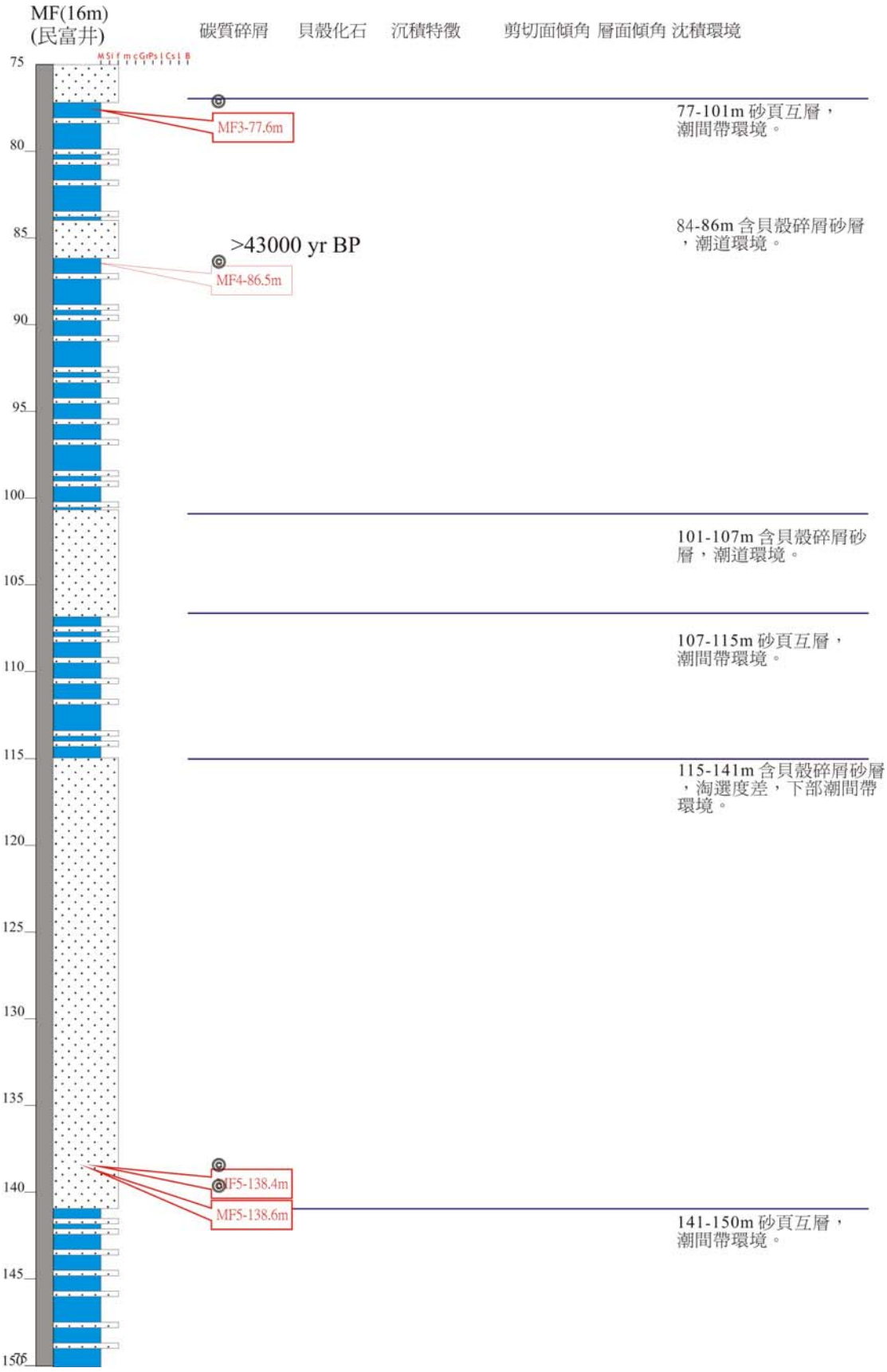


附錄1-12、新竹國小岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。

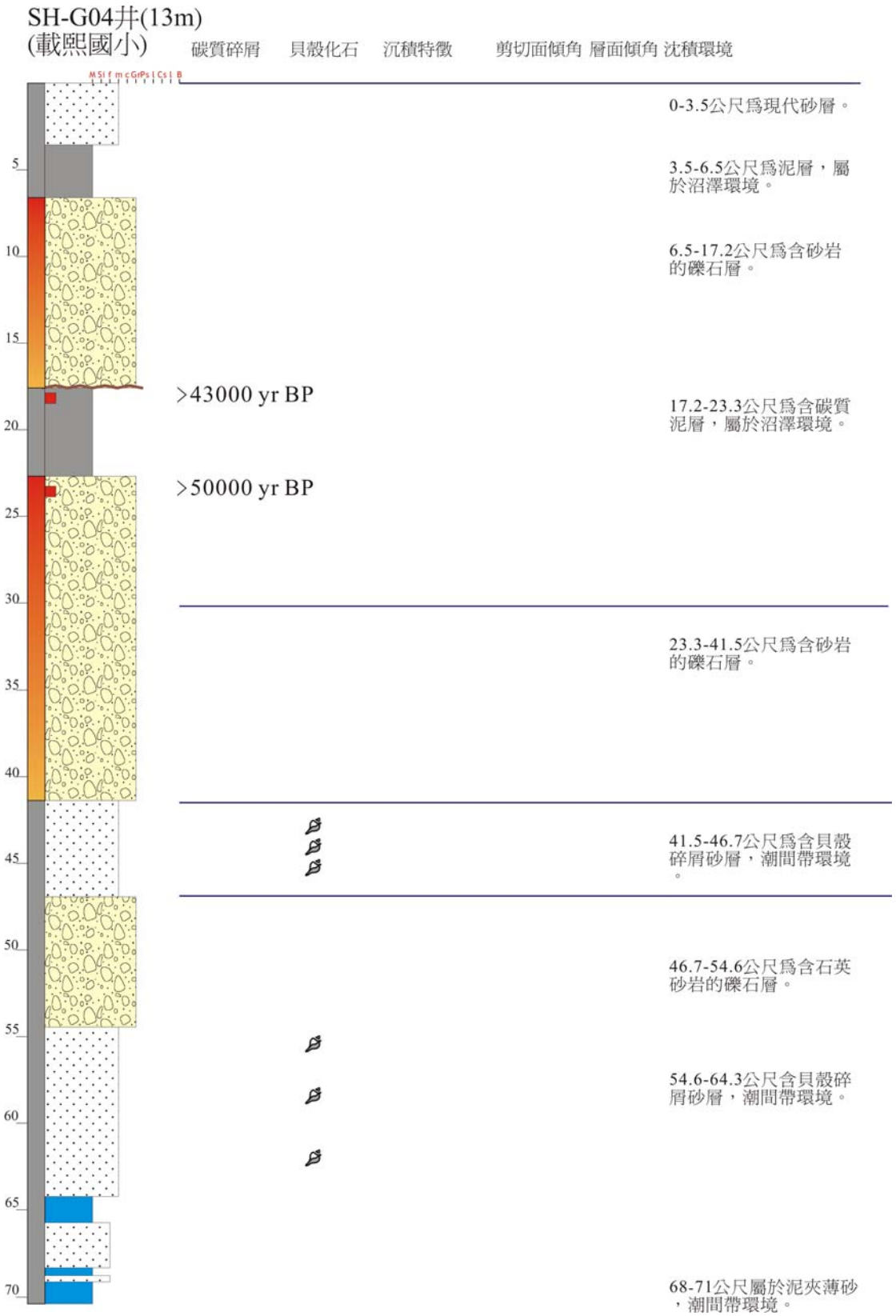


附錄1-13、西門國小岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。

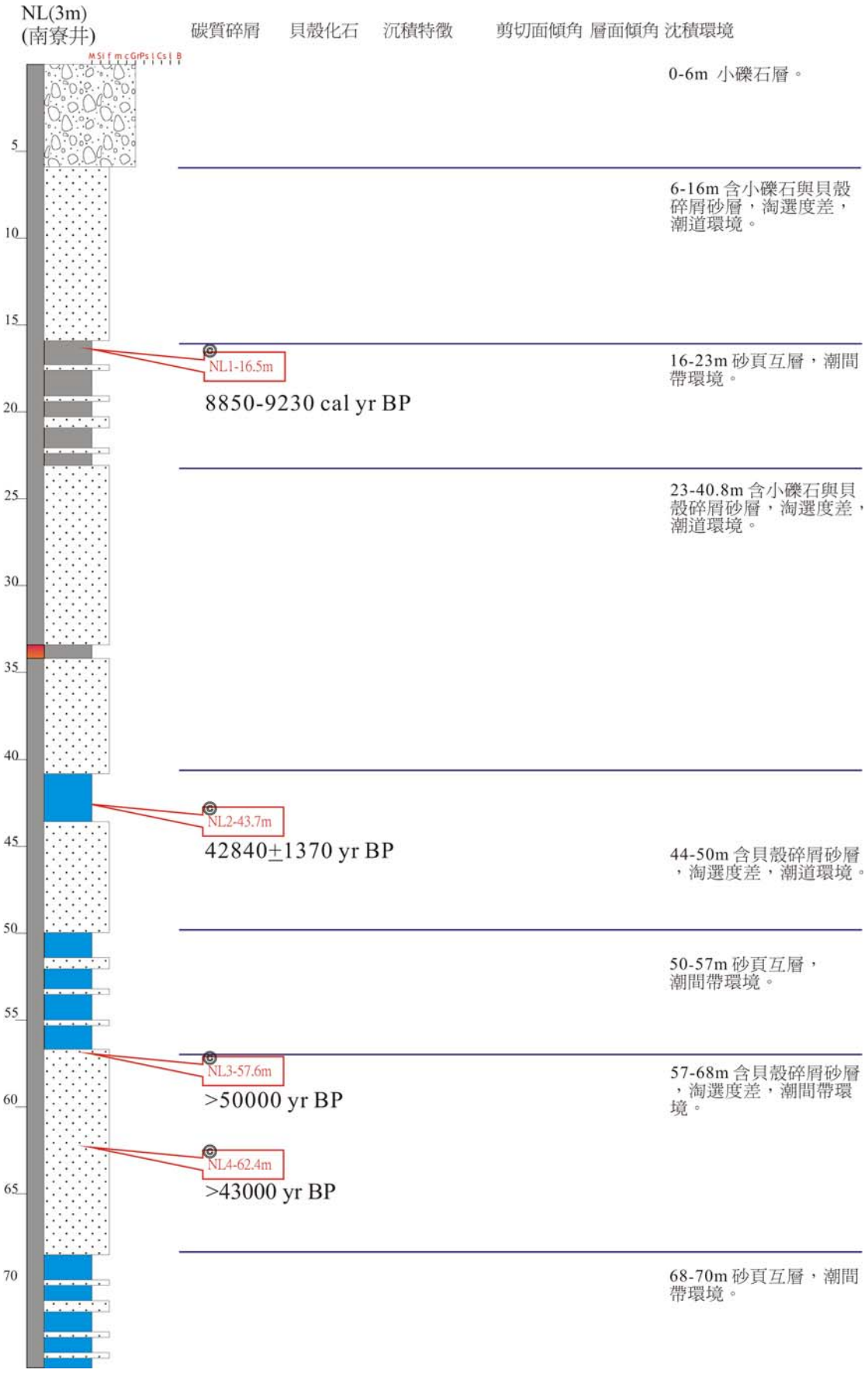

MF(16m)
(民富井)
碳質碎屑
貝殼化石
沉積特徵
剪切面傾角
層面傾角
沈積環境
M Si f m c G Ps l Cs l B
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
0-2.5m 擾動土層含礫石。
3-7.85m 砂層，河流環境。
MF1-7.85m
2180-2650 cal yr BP
7.85-18.8m 礫石層，河流環境。
MF2-18.8m
40160±860 yr BP
37-44m 含貝殼碎屑砂層，淘選度差，潮間帶環境。
53.2-67m 砂頁互層，潮間帶環境。
67-77m 含貝殼碎屑砂層，淘選度差，潮間帶環境。



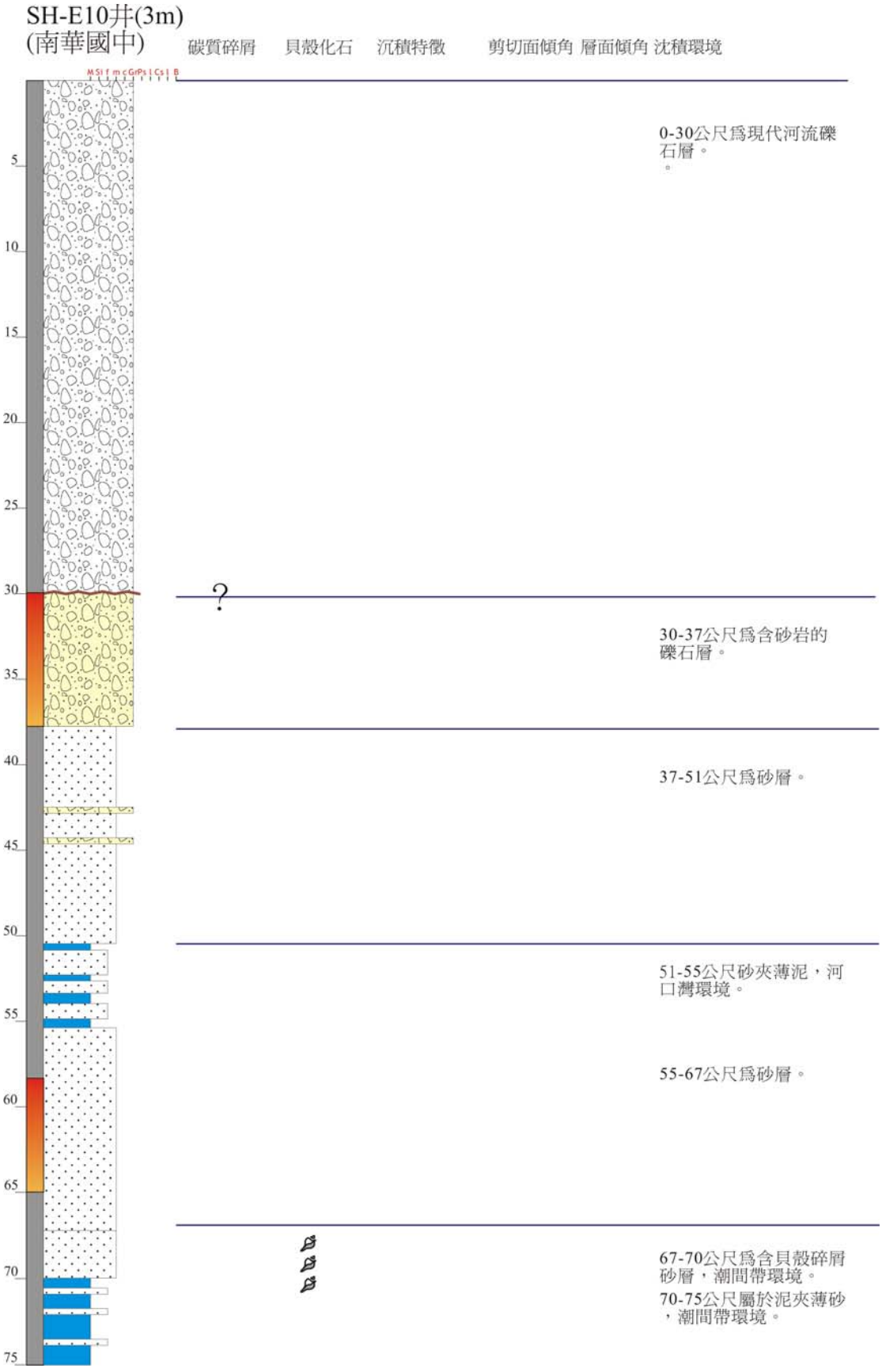
附錄1-14、民富岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



附錄1-15、載熙國小岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



附錄1-16、南寮岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



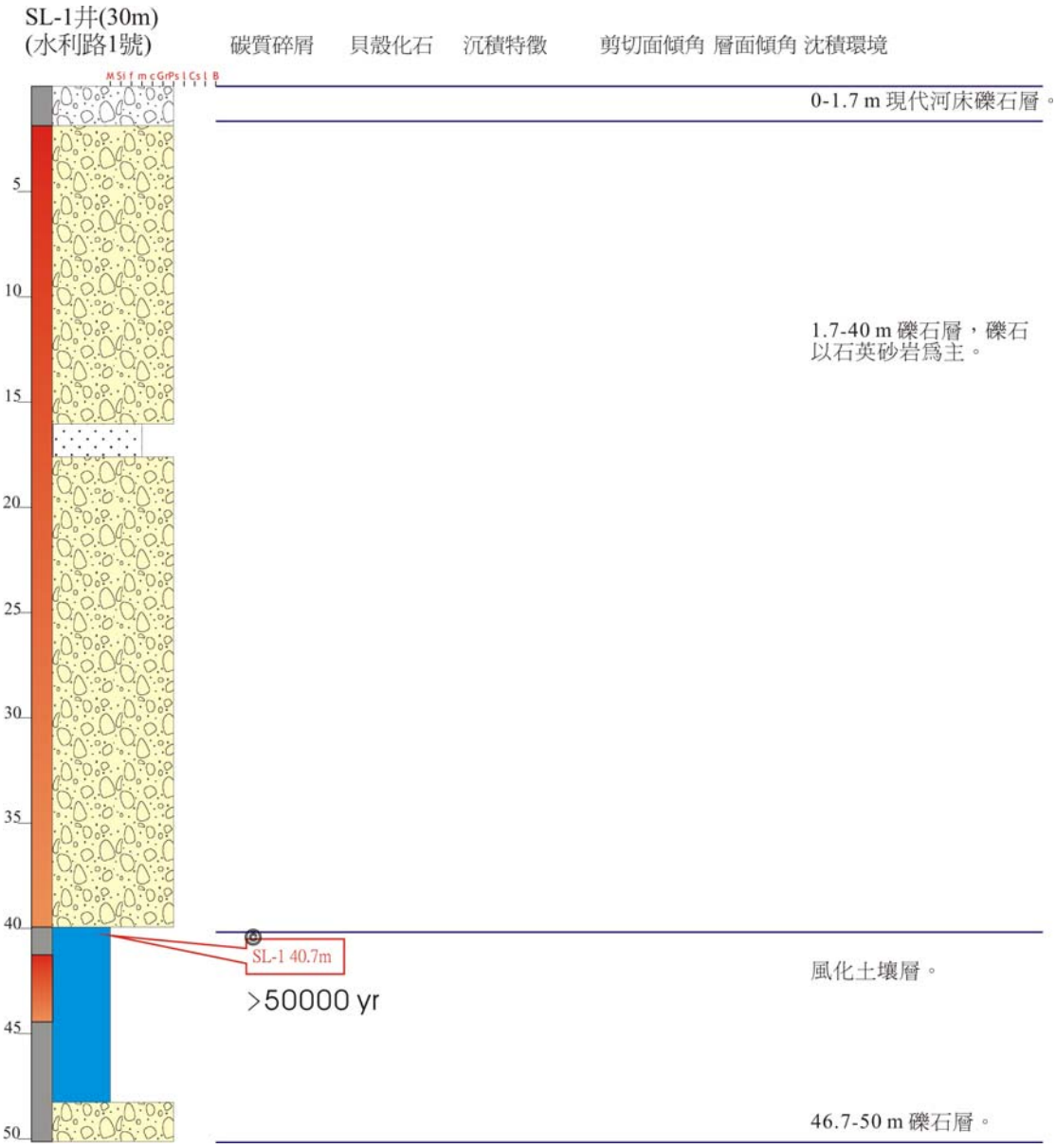
附錄1-17、南華國中岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



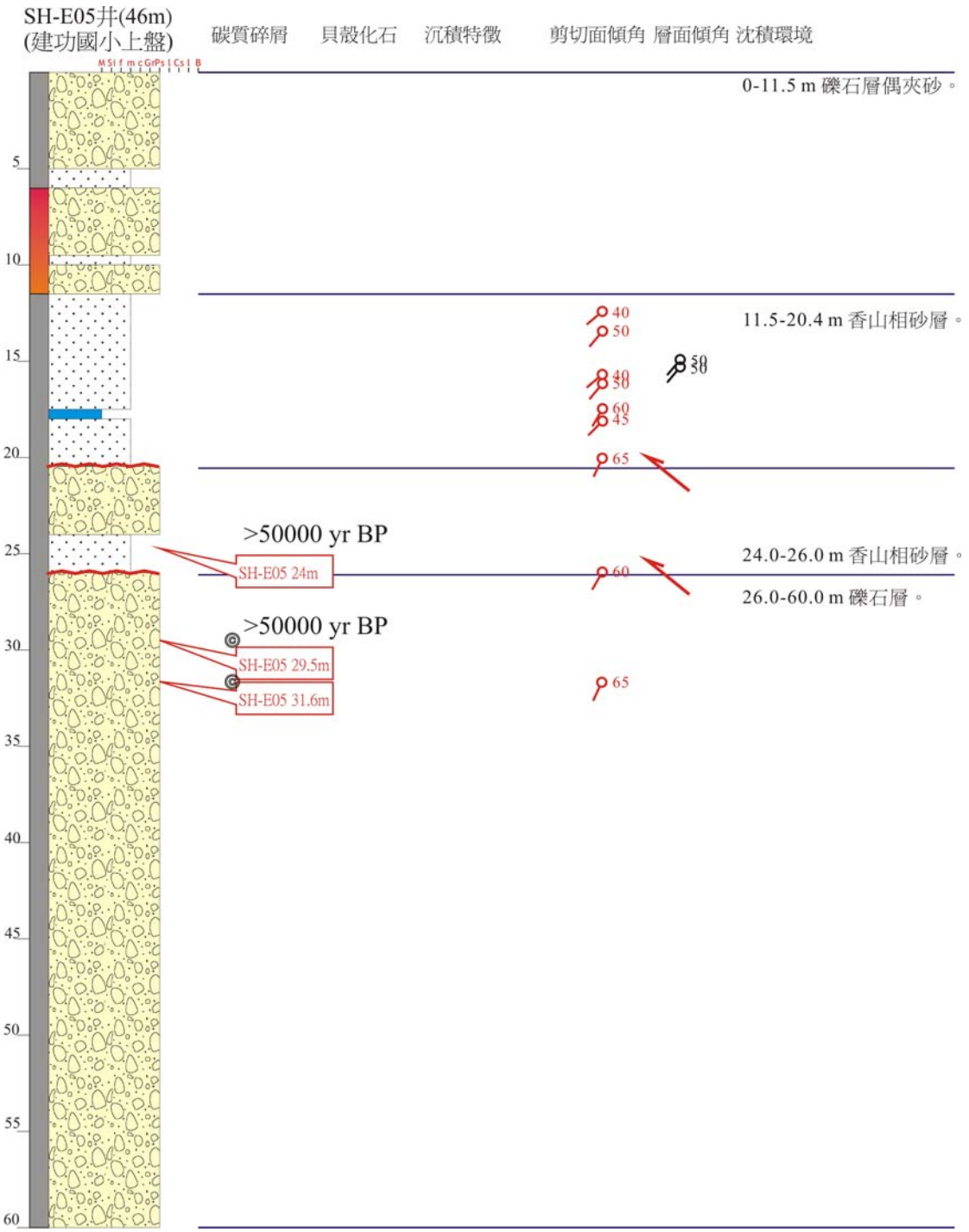
附錄1-18、關東國小岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



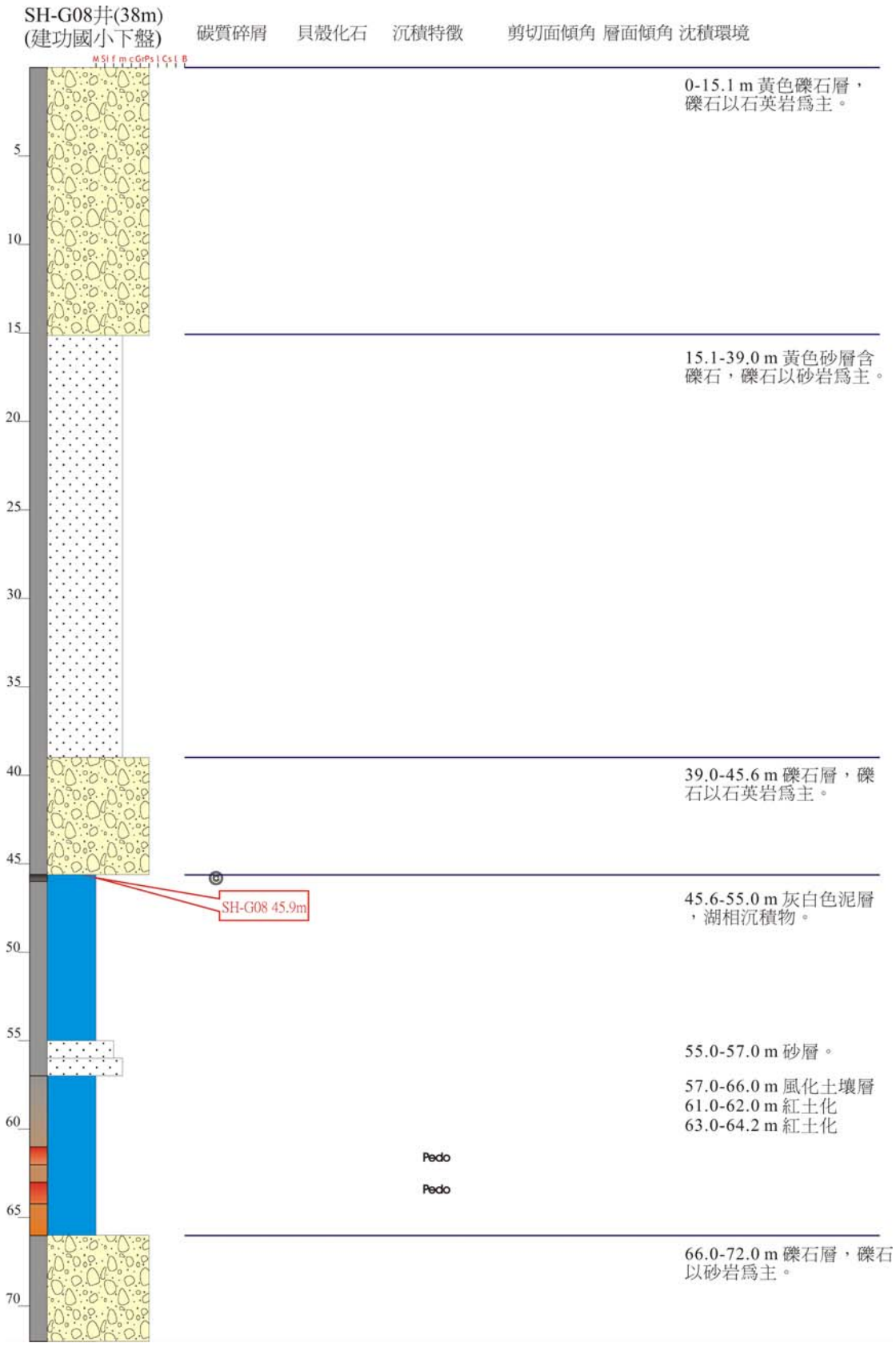
附錄1-19、龍山國小岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



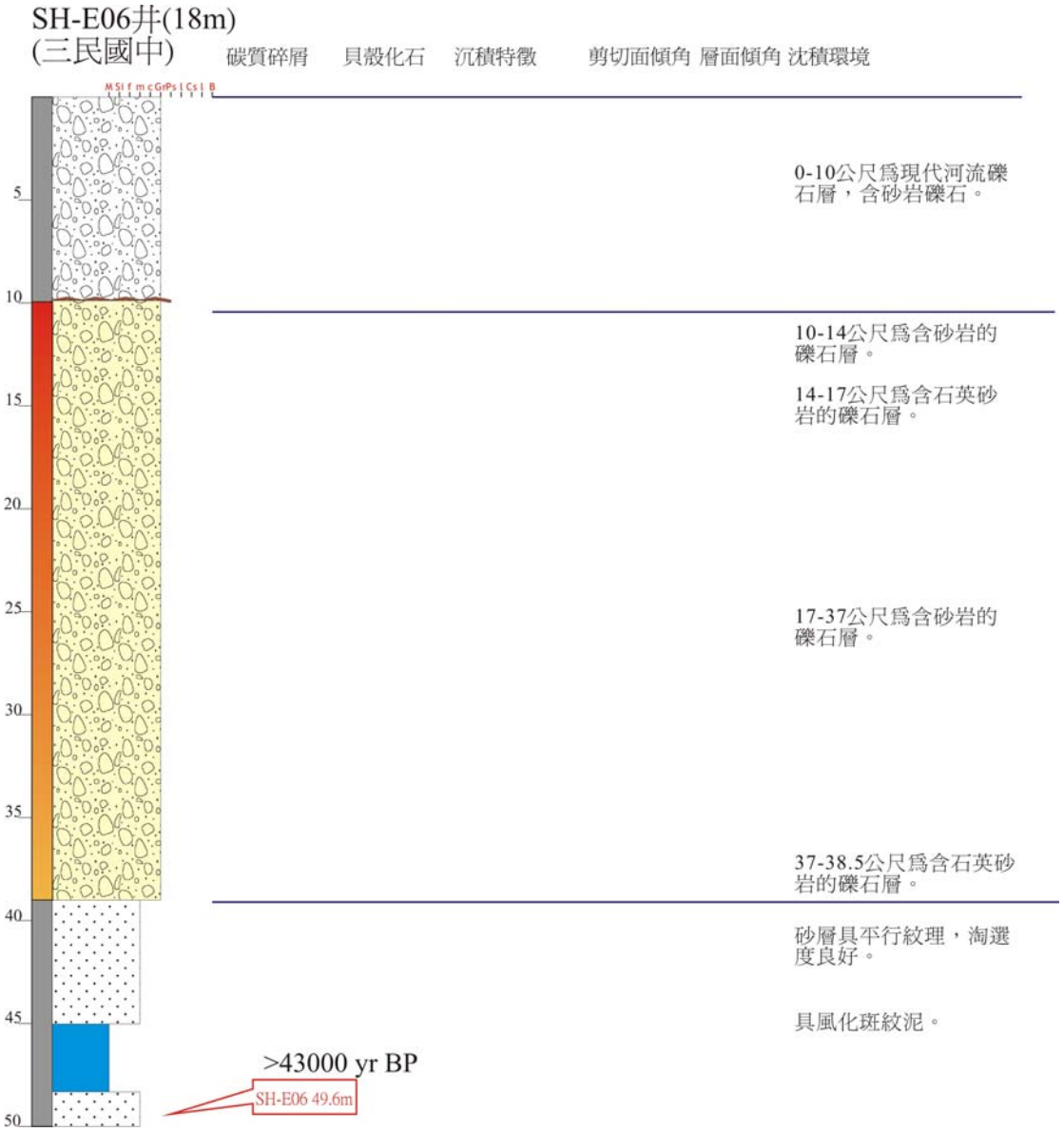
附錄1-20、水利路1號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



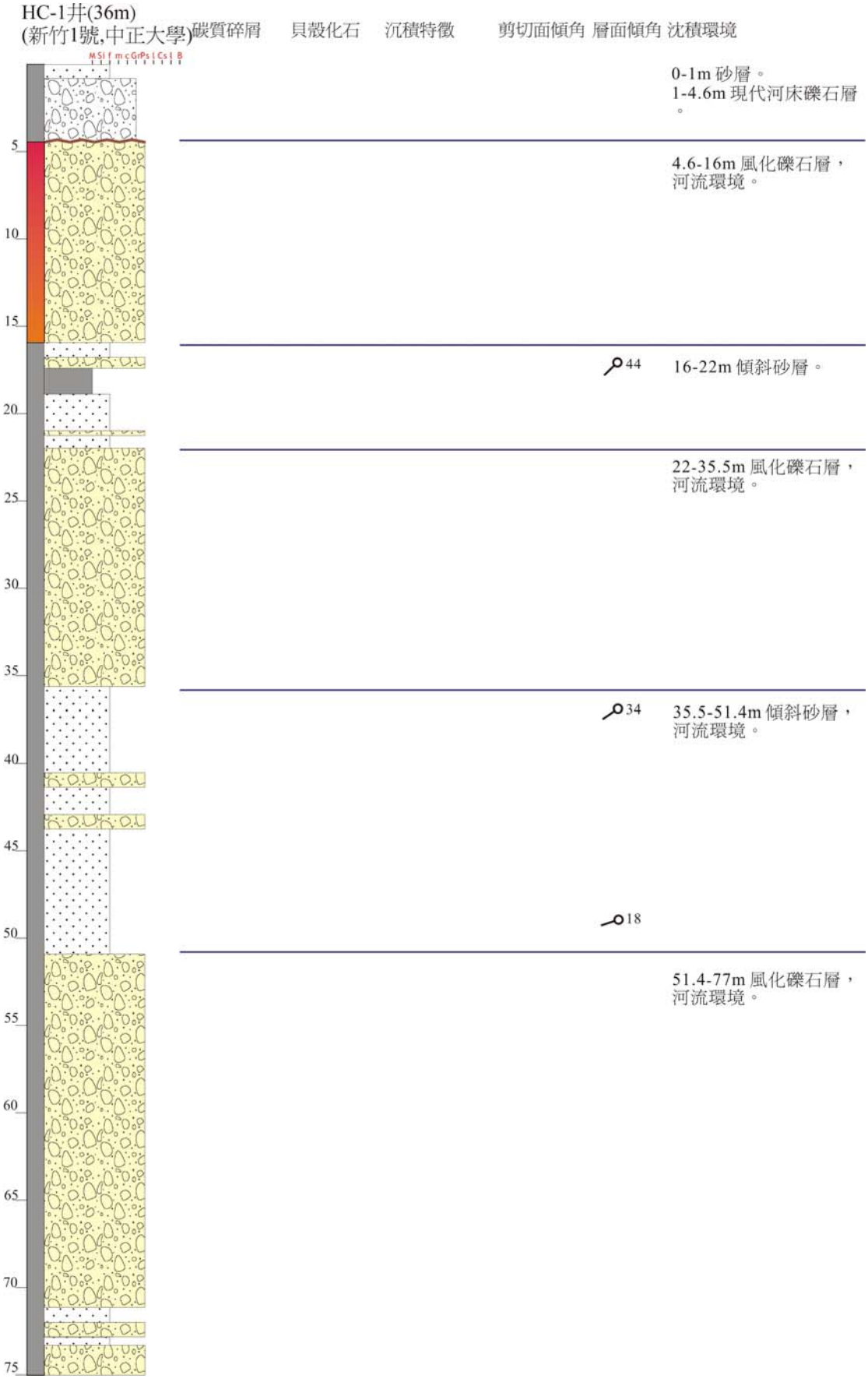
附錄1-21、建功國小上盤岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



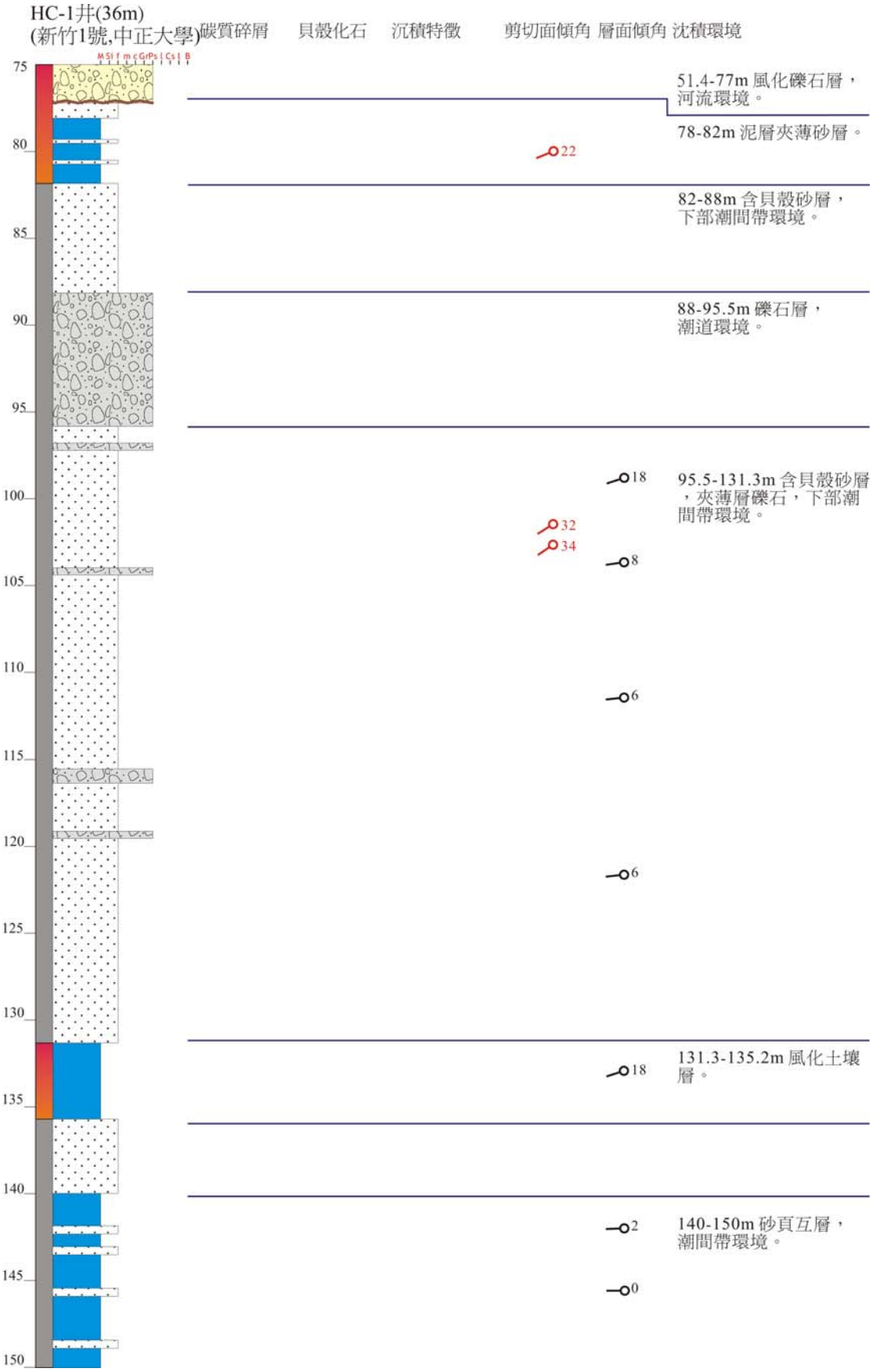
附錄1-22、建功國小下盤岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



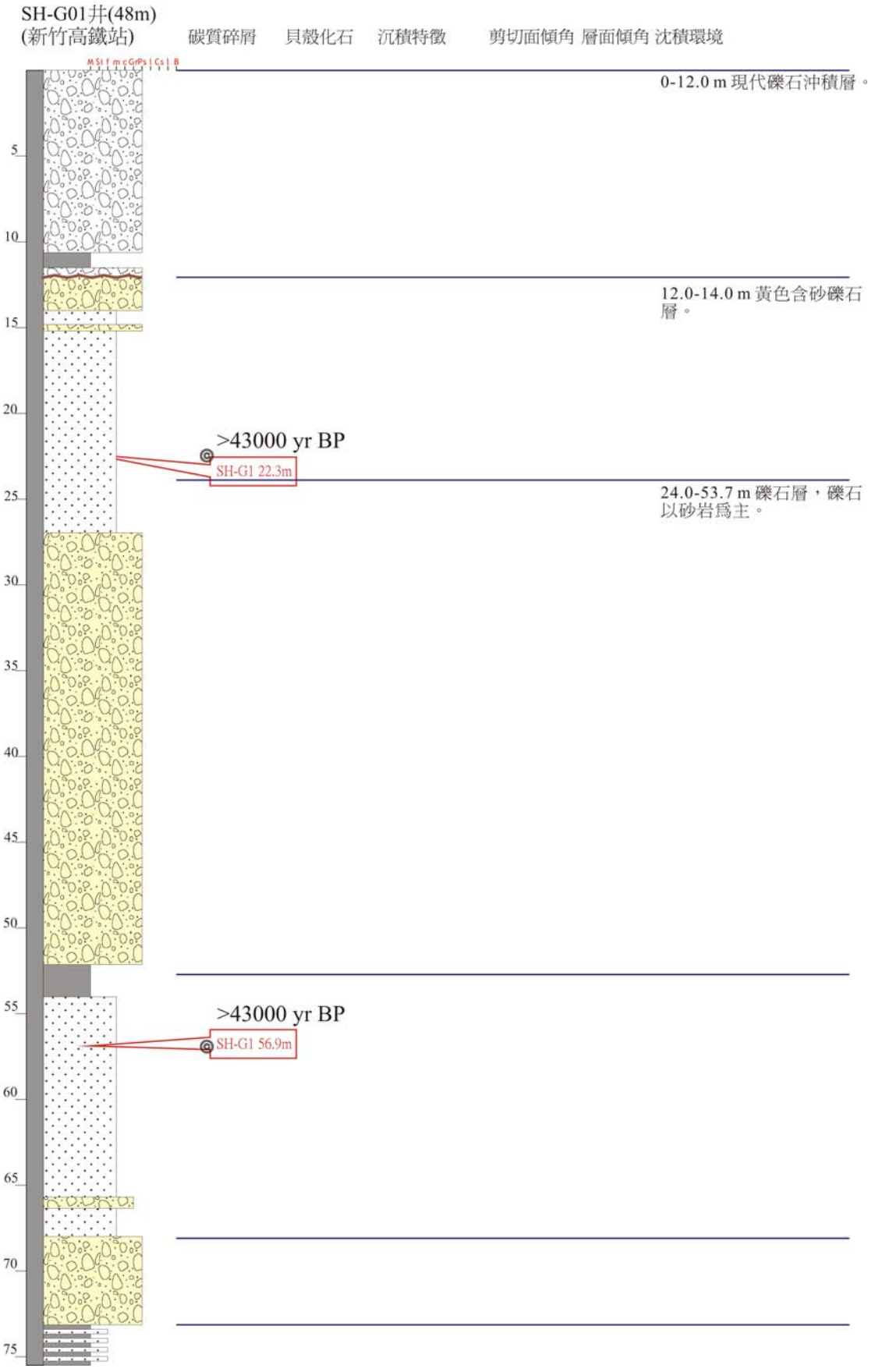
附錄1-23、三民國中岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



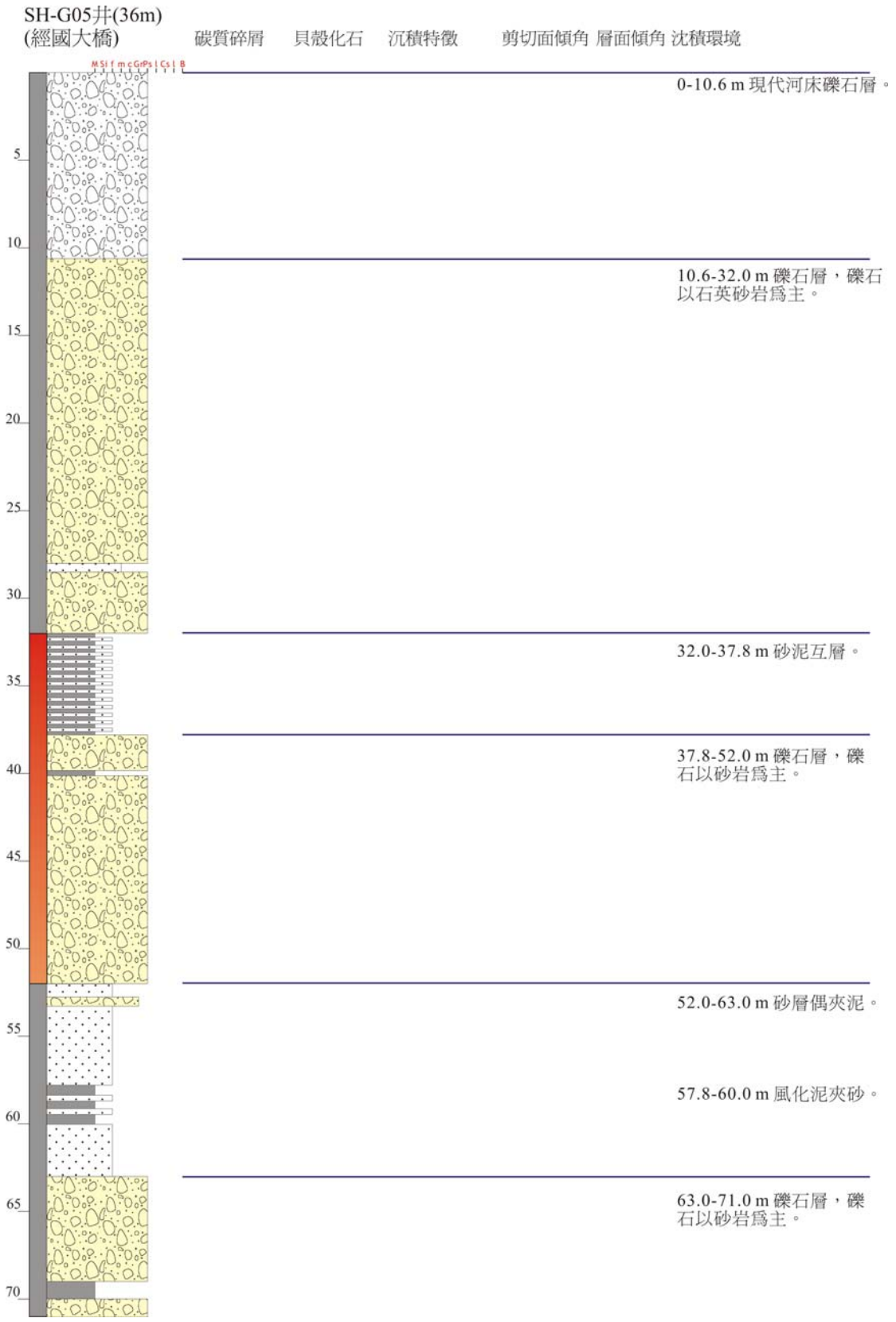
附錄1-24、新竹1號之一岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



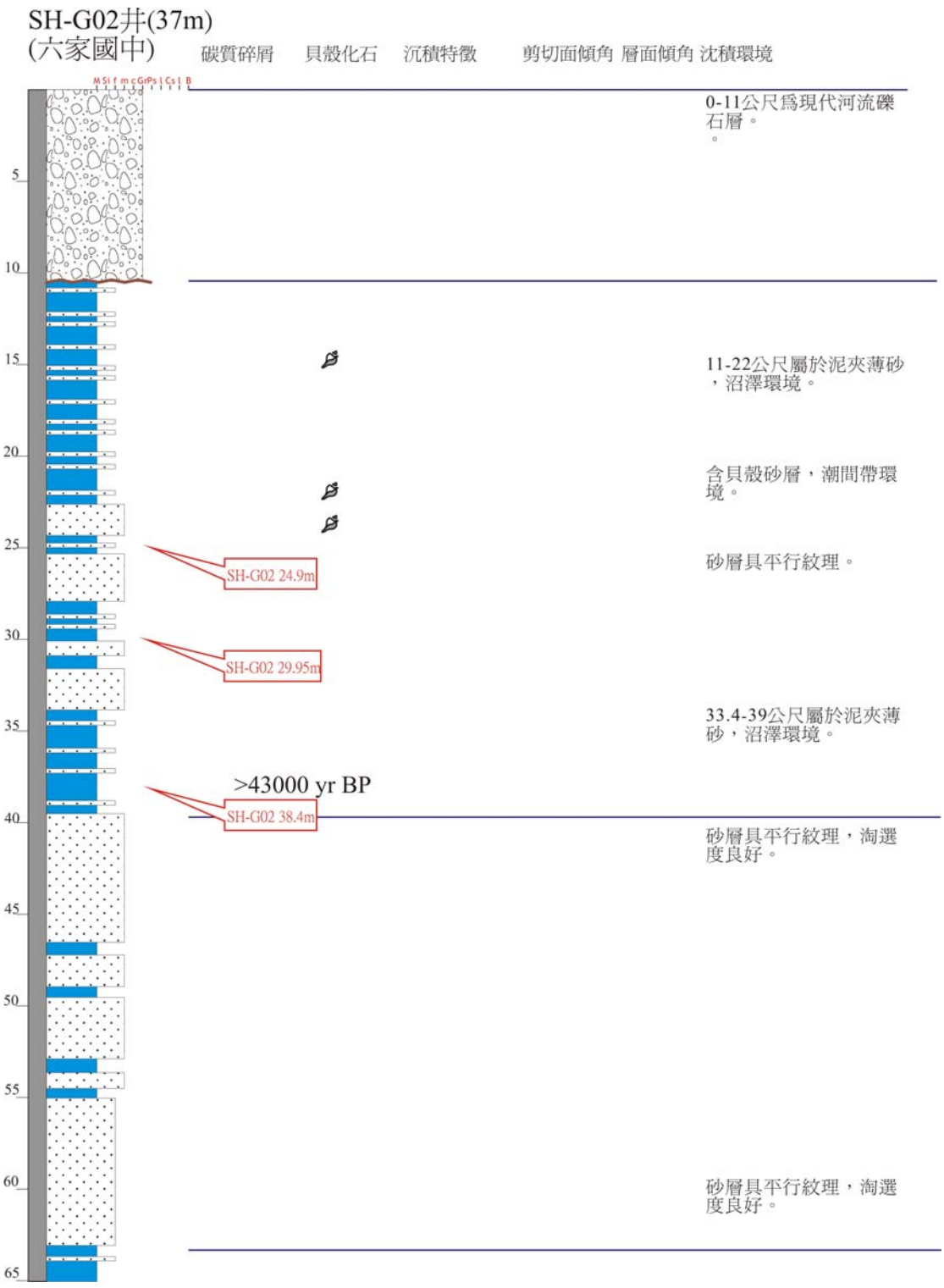
附錄1-25、新竹1號之二岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



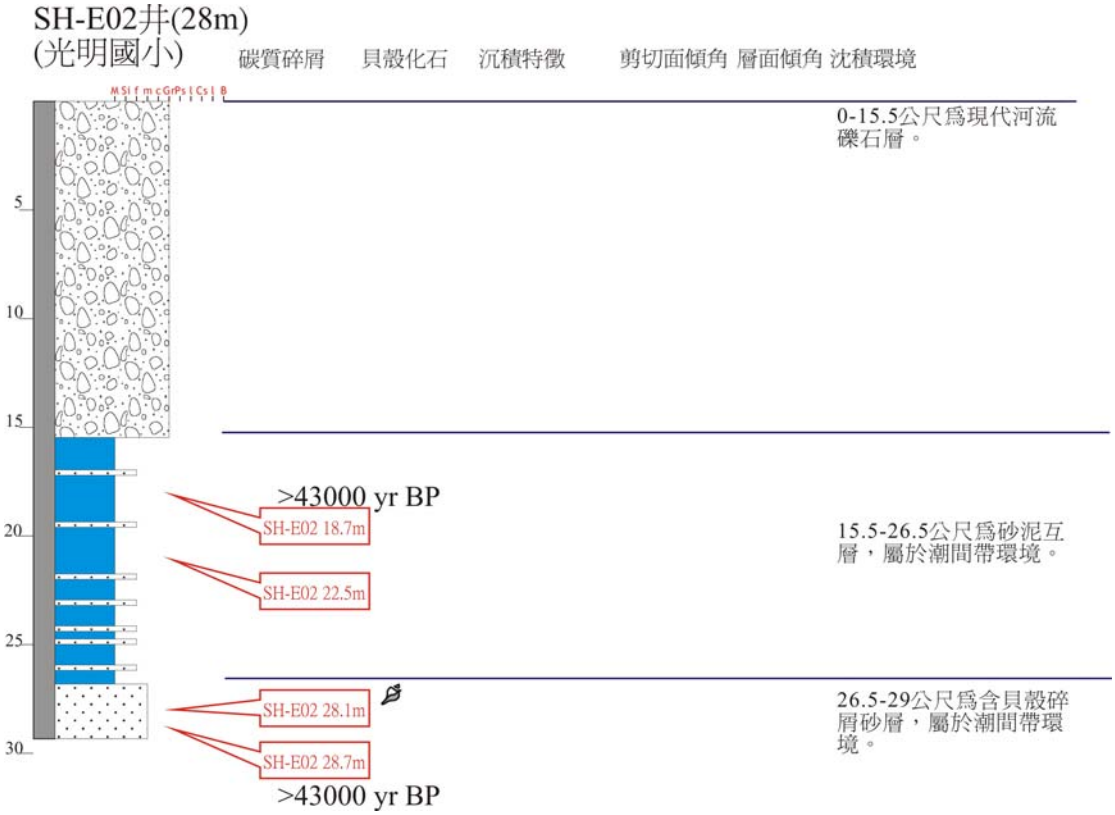
附錄1-26、新竹高鐵車站岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



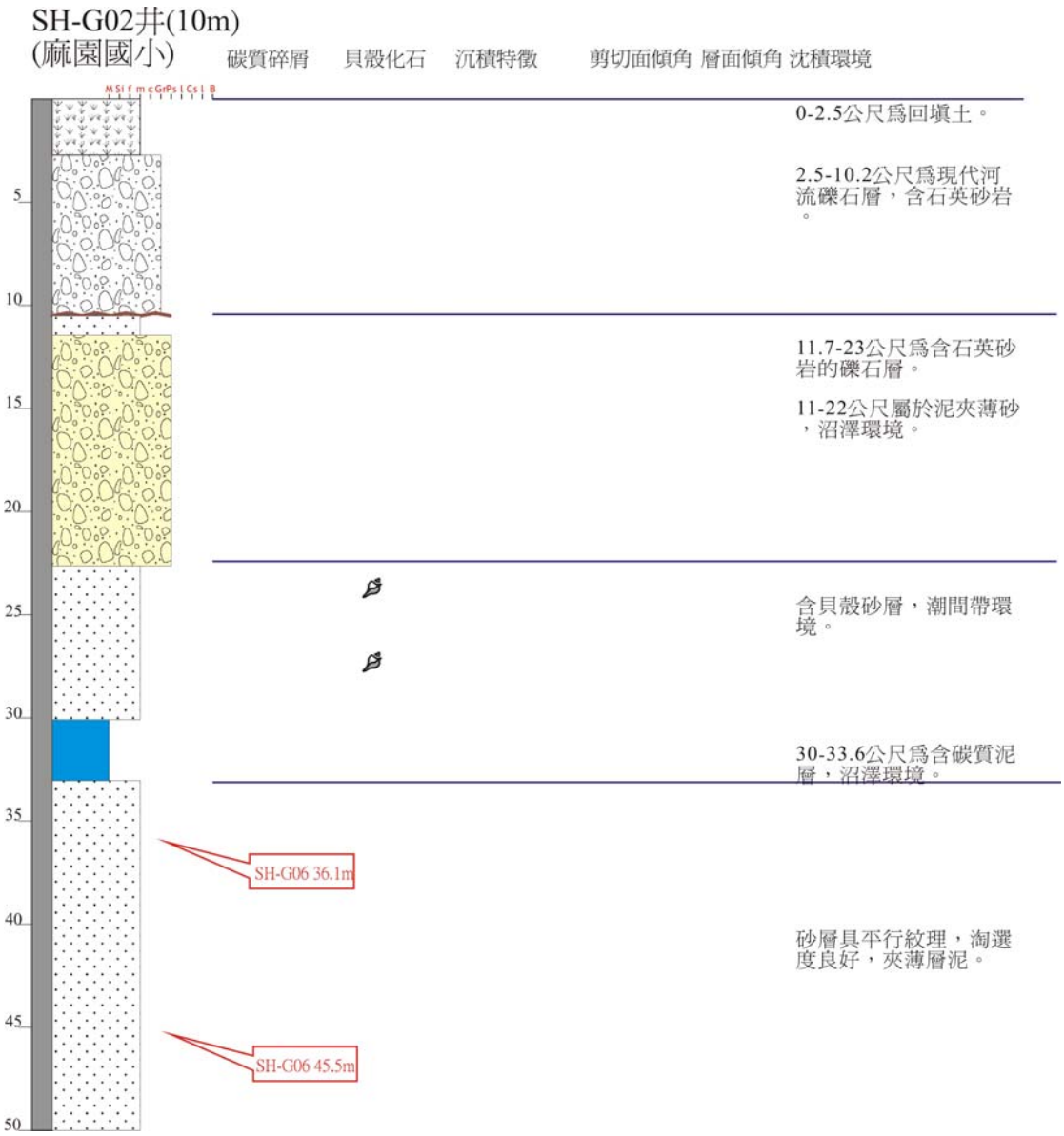
附錄1-27、經國大橋岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



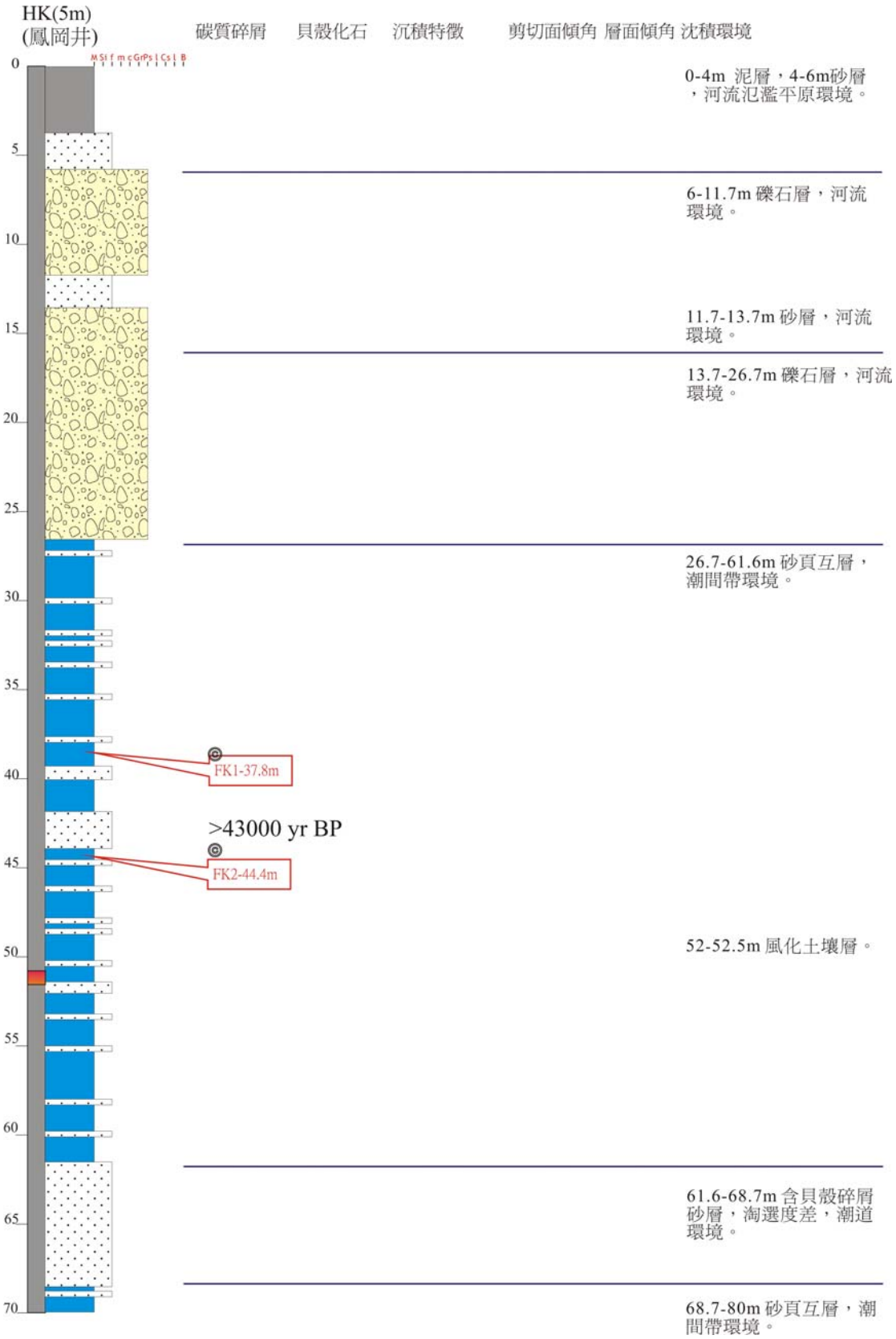
附錄1-28、六家國中岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



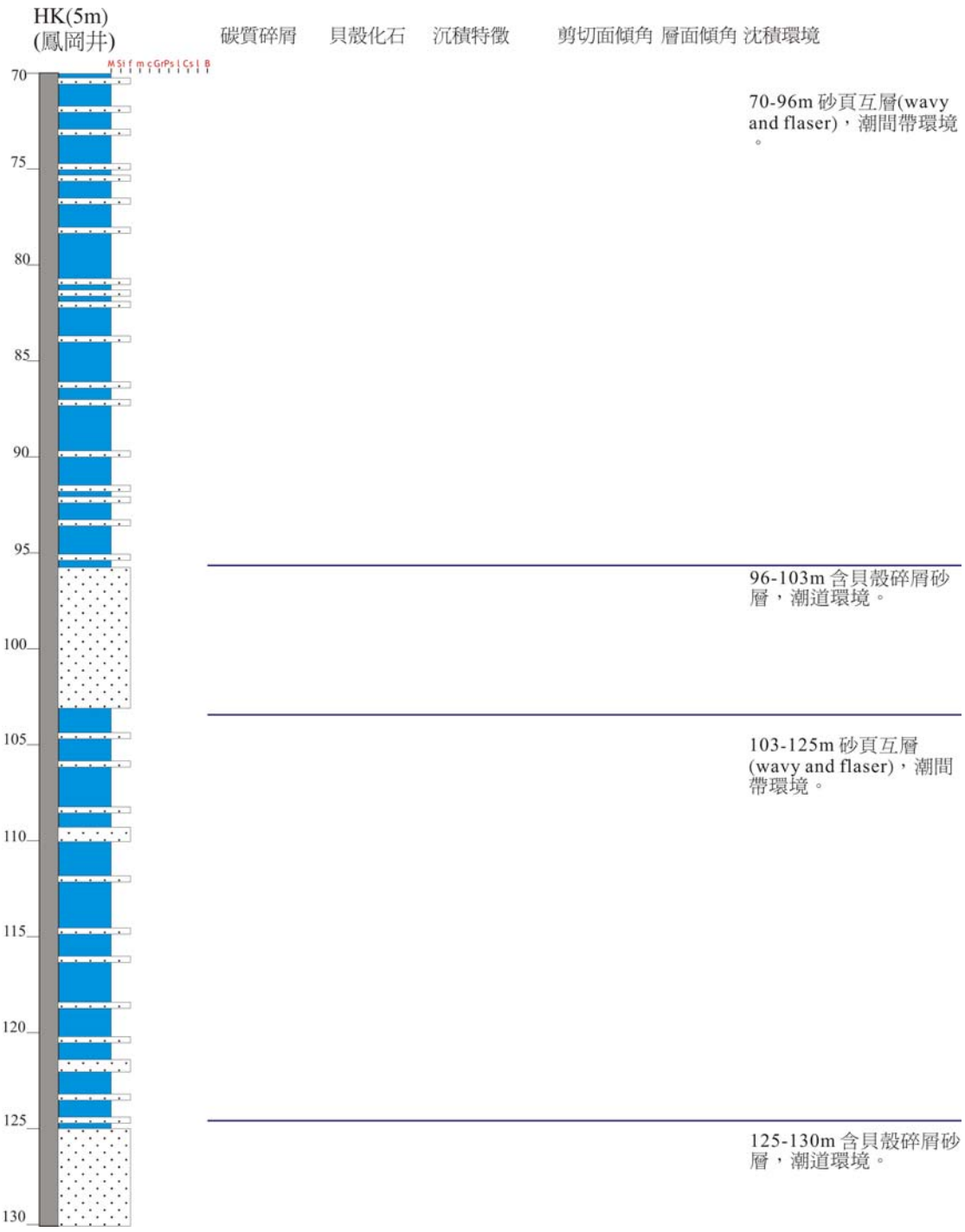
附錄1-29、光明國小岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



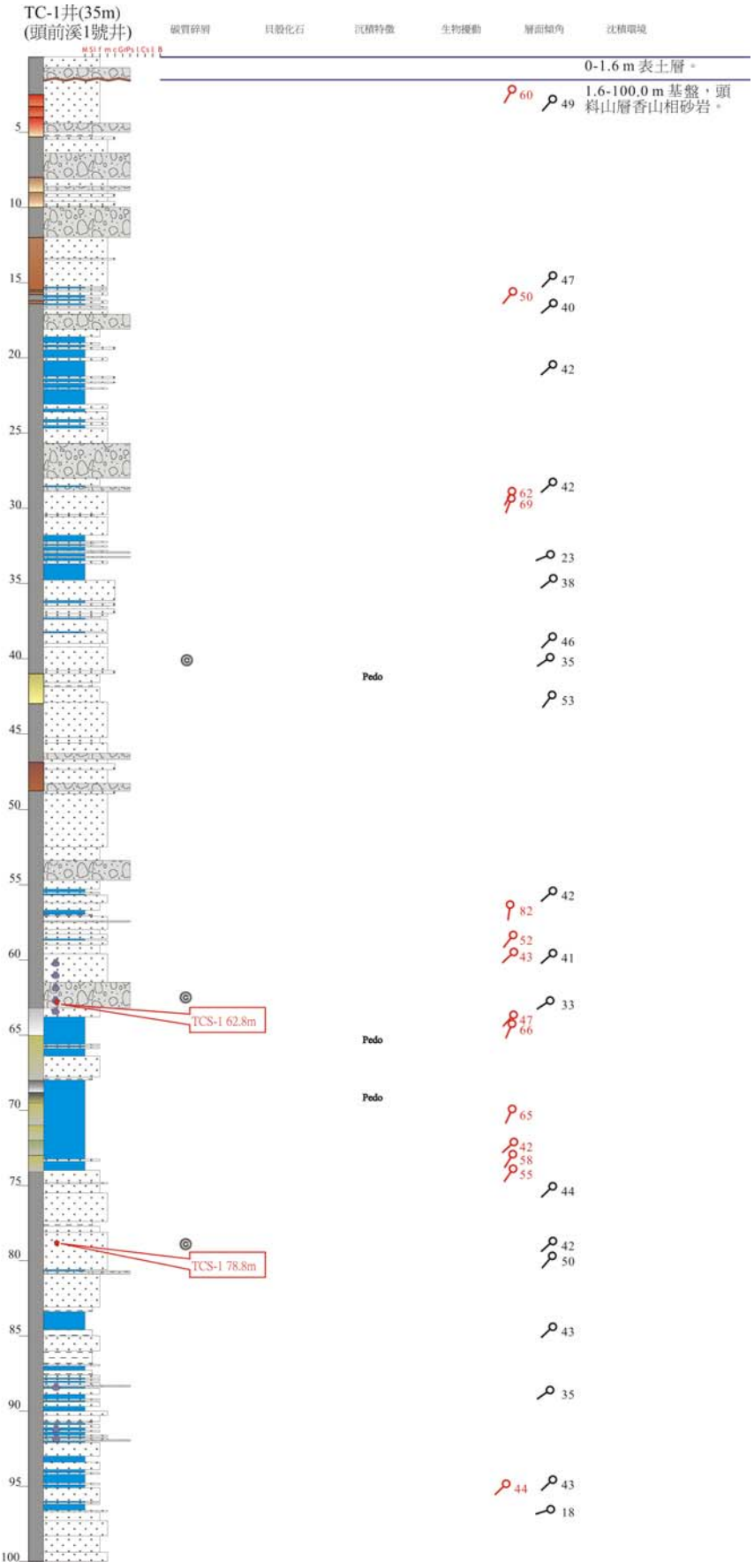
附錄1-30、麻園國小岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



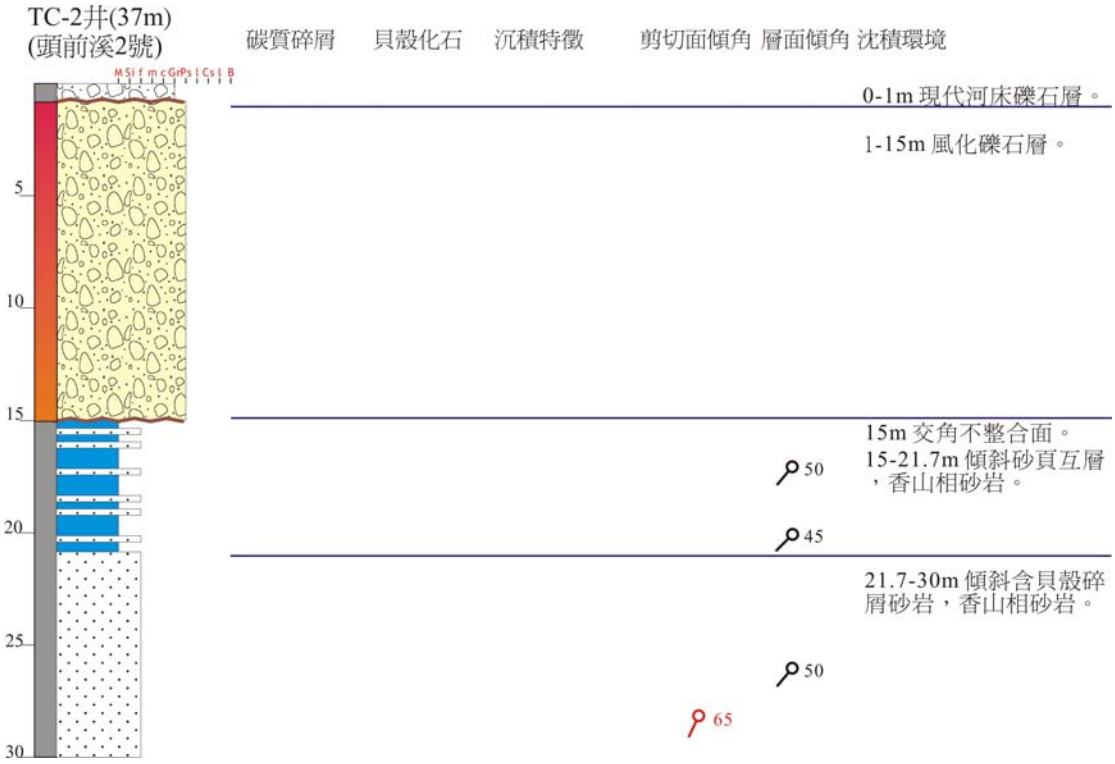
附錄1-31、鳳岡之一岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



附錄1-32、鳳岡之二岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



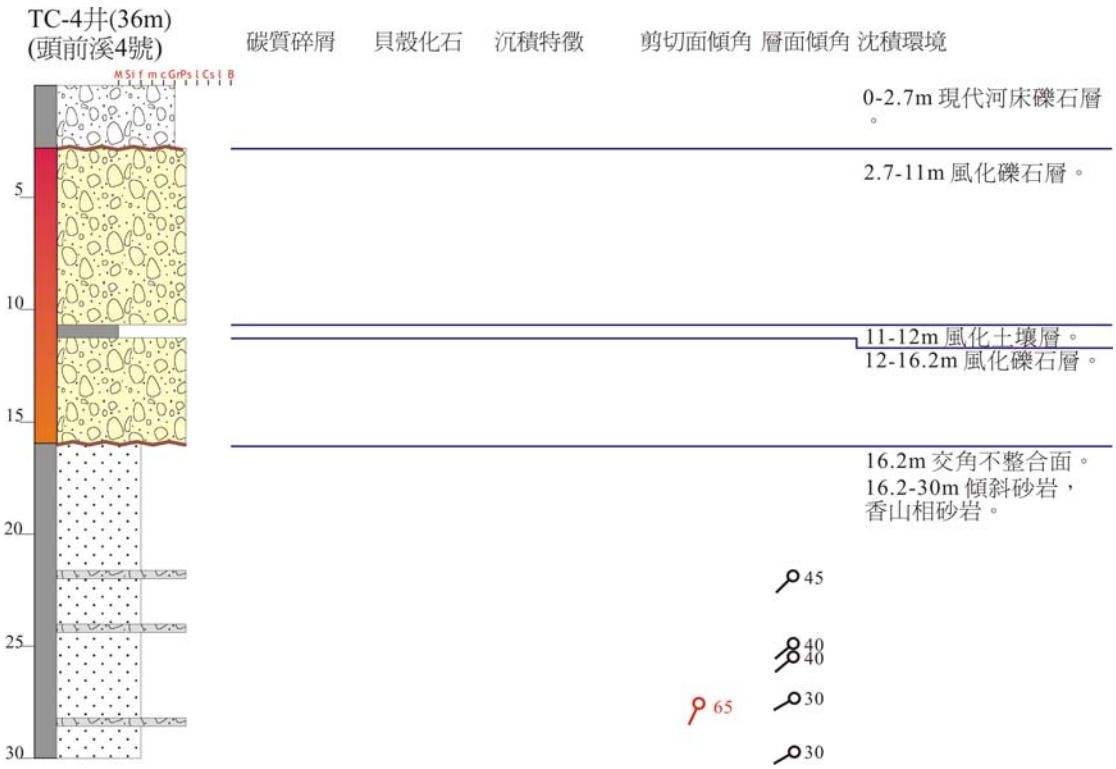
附錄1-33、頭前溪1號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



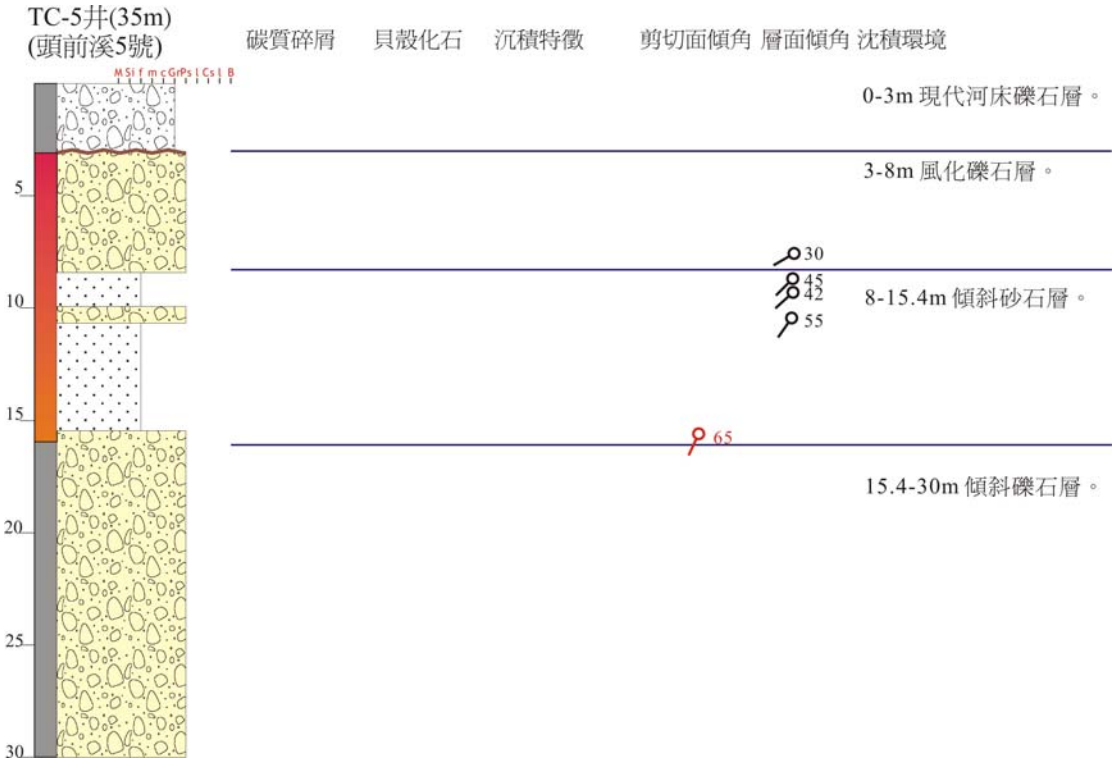
附錄1-34、頭前溪2號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



附錄1-35、頭前溪3號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



附錄1-36、頭前溪4號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。



附錄1-37、頭前溪5號岩芯紀錄（圖例見32頁的圖3-4）。

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、前言部份建議說明本年度列入調查對象的目標斷層，以及計畫的工作要求概述。	1. 修改如第一章，第 1-8 頁。
2、建議列一總表說明（1）全程計畫預定調查之斷層；（2）本年度調查之成果；（3）累積之調查成果。	2. 已表列。
3、報告書中各章節之格式、參考文獻與剖面圖之格式均應統一。	3. 分別依各章節內容，進行整理。
4、參考文獻中，缺列陳文山等（2006），Ho（1986）。另外許中民（1986）是否為 Hsu, et al., 1985，或缺列，請再確認。	4. 已依建議修正。

（二）圖、表部份	
1、圖資中字體應放大，必要時得使用 A3 紙張摺頁或橫置。	1.已依建議修正。
2、部分圖資（圖 3-4~3-9）缺乏方位、座標、比例尺、地名、圖例與索引，請補充之。同時建議加強圖說內容，使圖資易於瞭解。	2.已補充加強。
3、圖 3-1 應標示各剖面的正確位置與新竹斷層位置，以利於瞭解其空間關係。	3.已依建議修正。
4、剖面圖中部份鑽井之高程與表 1-2 不符，請再確認。	4.已依建議修正。
5、表 1-2 之表說，座標 TMD 應修改為 TWD；經度與緯度應修改為縱座標與橫座標。表 1-3 之表說建議修改為 14C 定年標本和測定結果。	5.已依建議修正。
6、圖 3-3 中，留有前人過去使用的英文圖說，請將之刪除；同時建議可另外使用該篇文章中的震測剖面圖以輔助說明新竹斷層的特性。	6.已依建議修正。
7、圖 2-3 中，潮州斷層的位置與文中說明不符，建議使用最新的資料。	7.已依建議修正。

（三）其它 1、主辦單位應準備目前活動斷層長期滑移速率與再現週期研究近況的總表，並說明當年度調查斷層的調查現況。	1. 為主辦單位處理意見。
2、頭前溪場址中新竹斷層之模式請再確認並補充說明。	2. 已依建議補充。
3、圖 2-8 中，潮州斷層的滑移方向與 rake 角方位，請再確認	3. 已依建議修正。
4、鹿野斷層之地下剖面請圖示該區地下地層的分布與交界關係。	4. 已進行考慮。
5、金山地區過去曾報導有海嘯發生，可另加注意是否有看到海嘯的相關證據。	5. 未發現。
6、碳十四定年結果超過 35ka 的年代應存疑，不宜直接作為結論考量。	6. 已進行考慮。
7、期末報告時建議簡介山腳斷層的北段（金山地區）附近的地震地質資料，如斷層跡、斷層長度...等。以及說明潮州斷層南延與恆春斷層之關係。	7. 山腳斷層之簡介見於報告書第 37 頁。潮州斷層南延與恆春斷層之關係，於明年度的恆春斷層調查再說明。

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、期末報告書中，中文及英文摘要內容請統一，英文摘要請補充本年度執行調查的斷層。	1. 已依委員建議補充
2、新竹斷層的井下地層分層建請補充描述。	2. 已依委員建議補充
3、部份文字錯漏，請修正。	3. 已修正
4、前言部份除原規畫斷層外，請補充本年度補充調查的前期斷層潮州斷層、池上斷層以及新增調查的瑞穗斷層	4. 已依委員建議補充

（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. 已依委員建議補充
2、表 1-5「台灣活動斷層長期滑移速率與再現週期資料表」建議均附於每年的期中、期末報告書中，並逐年更新以供使用者參考。	2. 依委員建議於未來報告中附上
3、表 1-5 建議增加地質調查所公布之活動斷層分類。	3. 本調查與地調所公布之活動斷層與活動性類別略有出入，為避免讀者混淆，在此不加註。
4、部份圖表與附錄柱狀圖，建議加註圖說與圖例說明，以利讀者了解。	4. 已依委員建議補登。

（三）其它 1、請考慮是否增加篇幅討論長期滑移速率與再現週期之關係。	1. 考慮於總報告中說明。
2、請評估是否能利用現有資料計算木屐寮-六甲斷層可能再現週期。	2. 考慮於總報告中說明。
3、建議增加新竹斷層沿線的抬升速率比較。	3. 考慮於總報告中說明。
4、建議在報告書中增加「討論與結論」章節，總結過去與本年度調查成果。	4. 考慮於明年度總報告中說明。