

國立臺灣大學理學院地質科學系

碩士論文

Department of Geosciences

College of Science

National Taiwan University

Master Thesis

新竹地區活動斷層特性研究

Characteristics of Active Faults in Hsinchu Area,

Northwestern Taiwan



丁權

Chuan Ding

指導教授：陳文山 博士

Advisor: Wen-Shan Chen, Ph.D.

中華民國 101 年 7 月

July, 2012

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

新竹地區活動斷層特性研究

Characteristics of Active Faults in Hsinchu Area,
Northwestern Taiwan

本論文係丁權君（學號 R97224111）在國立臺灣大學地質科學研究所完成之碩士學位論文，於民國 101 年 7 月 27 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

陳文山

（指導教授簽名）

林怡文

符川海

致謝

本作品終於在今年（2012）結束長達四年的連載，感謝大家的支持。四年的研究生生活挺長，但趕論文的日子竟感覺如此短暫，時光不等人，不過決定時間長短的卻是人，這段日子使我成長茁壯，從學術研究到生活態度，從邏輯思考乃至於人生禪理，地質學其實是門哲學，告訴我這世界上存在這般多搞不清楚與不能搞清楚的事情。承蒙陳文山教授的指導，實在地培養我「獨立思考」的觀念，在碩士班或許無法發現問題，但至少要能夠解決問題，當解決不了問題的時候至少要知道哪有問題，連哪有問題都不知道，只有兩種可能，一個是沒問題，另一個是問題大了。四年之間遇到許多貴人，你們的鼓勵支持、鞭策刺激與唬爛鬼扯淡，都使我心存感謝，謝謝你們，若沒有你們，論文一定無法完成、更不能夠順利地通過口試。碩士人生贊助名單：感謝阿山老師的指導與斧正，感謝林啟文組長與布魯斯老師擔任口試委員、批改論文，感謝楊志成學長、黃能偉學長、朱耀國學長、陳志壕學長、紀權宵學長、周賢元學長、劉丞浩學弟與李雱雯學妹誠摯熱心的針對論文給予各種寶貴的意見，其中特別感謝蠻牛學長願意在百忙之中，還願意抽空幫忙。感謝許醫師、豪哥、表哥與饅頭、瑞清、小亭、清全、屹君、190、小班、小杰、阿彰與阿凱生活上的相伴，其中特別感謝表哥，不只精神與我同在，幾乎每晚都在研究室與我相伴，另外表哥跟饅頭的甜蜜互動也令我一輩子也忘不了。感謝親愛的家人們，每天燒香拜拜為我祈福的阿嬤、幫我包粽子中的外婆、每天操心操勞的爸爸與媽媽、默默祝福我的表哥表姐們、正在人生道路奮鬥的弟弟，讓你們久等了。最後感謝我的寶貝蛋小肥杰，五年光景日夜相伴，有你真好，往後的人生道路還要牽著手一起走。對於那些已畢業卻不務正業，整天來打擾寫論文的人，送你們一個凸字，謝謝。

中文摘要

新竹地區為台灣高科技重鎮，人口密集、產業林立，為有效預防及降低天然災害，調查本區的活動斷層，有著迫切之必要性。本研究利用新竹平原地區由中央地質調查所提供的鑽井岩芯，進行岩相分析與地層對比，建立地質剖面配合碳十四定年探討新竹區域的長期地殼變動速率，同時配合數值模型地形圖 (DTM) 進行階地對比與野外調查瞭解新竹斷層於近地表的構造變形型態；最後，由長期垂直滑移速率、短期地殼水平變動速率與短期地殼垂直變動速率配和地下構造討論新城斷層、新竹斷層與湖口斷層的構造模式。由海相沉積物求得的地殼變動速率在斷層兩側的差值顯示新竹斷層平均長期垂直錯移速率為 1.0 ± 2.4 mm/yr、而湖口斷層為 0.3 ± 3.0 mm/yr。另根據螢光定年及頭前溪南岸各時期階地的錯距，新城斷層晚更新世以來的平均長期垂直錯移速率為 1.1 ± 0.3 mm/yr。

ABSTRACT

In order to prevent and reduce the geo-hazard damages caused by earthquakes in the high-tech center in Hsinchu area, it is necessary to study the behavior and activity of active faults in the area, including the Hsincheng Fault, Hsinchu Fault and Hukou Fault from south to north. Major tectonic geomorphological features were mapped using 5m resolution digital terrain models (DTM) and were checked in the field. 57 bore-holes provided by Central Geological Survey are re-analyzed in order to decide the location position of the faults in areas where the fault traces are ambiguous or covered by thick Holocene deposits. For estimating long-term crustal vertical deformation rates, boreholes containing Holocene marine deposits are analyzed and C^{14} dating samples are collected as much as possible. Combining the dating results with the eustatic water depth, sample depth and paleo-environmental water depth, the long-term crustal vertical deformation rates since the last glacial maximum (LGM, 18 ka) can be calculated. Long-term vertical offset rate of the Hsinchu fault is 1.0 ± 2.4 mm/yr, and long-term vertical offset rate of the Hukou Fault is 0.3 ± 3.0 mm/yr. From the ages and offsets of river terraces, the long-term average vertical offset rate of the Hsincheng fault can be calculated to be 1.1 ± 0.3 mm/yr.

目錄

口試委員會審定書	I	
致謝	II	
中文摘要	III	
ABSTRACT	IV	
目錄	V	
圖目	IX	
附錄圖目	XIII	
表目	XVI	
第一章	緒論	1
1.1	前言	1
1.2	前人研究	3
1.2.1	地質與地形特性	4
1.2.2	地球物理探勘	8
1.2.3	斷層活動特性	12
1.3	研究目的與方法	13
第二章	區域概況	16
2.1	地層	16
2.1.1	卓蘭層 (Cl)	17
2.1.2	楊梅層 (Ym)	18
2.1.3	大茅埔礫岩 (Tm)	20
2.1.4	紅土臺地堆積層 (Lt)	21

2.1.5	臺地堆積層 (t)	22
2.1.6	沖積層 (a)	22
2.2	地質構造	24
2.2.1	寶山背斜	24
2.2.2	柑子崎向斜	24
2.2.3	青草湖背斜	24
2.2.4	新埔向斜	25
2.2.5	湖口背斜	25
2.2.6	平鎮背斜	25
2.2.7	大平地斷層	25
2.2.8	竹東斷層	25
2.2.9	斗煥坪斷層	26
2.2.10	新城斷層	26
2.2.11	新竹斷層	26
2.2.12	湖口斷層	26
2.2.13	雙連坡斷層	27
第三章	斷層調查	28
3.1	新城斷層	30
3.1.1	GG'剖面	33
3.1.2	HH'剖面	33
3.2	新竹斷層	35
3.2.1	美山－客雅	38
3.2.2	美山－客雅淺層鑽井	42
3.2.2.1	AA'剖面	42
3.2.2.2	BB'剖面	43

3.2.2.3	CC'剖面	43
3.2.3	新竹市區	51
3.2.4	新竹市區鑽井剖面	55
3.2.4.1	DD'剖面	55
3.2.4.2	EE'剖面	56
3.2.5	頭前溪河床	57
3.2.6	頭前溪河床淺層鑽井	57
3.2.7	飛鳳山丘陵地區	61
3.3	湖口斷層	64
3.3.1	坑子口地區淺層鑽井	65
3.3.2	大金山下地區淺層鑽井	67
3.4	小結	68
第四章	長期地殼垂直變動速率	70
4.1	長期地殼垂直變動速率估算法	70
4.2	新竹斷層兩側地殼垂直變動速率	74
4.3	湖口斷層兩側地殼垂直變動速率	75
4.4	新城斷層長期垂直錯移速率	77
第五章	討論	79
5.1	飛鳳山丘陵的活動斷層	79
5.2	頭前溪階地地形與地下構造的關係	81
5.3	GPS 速度場	87
5.4	經密水準測量	95
5.5	斷層錯移速率與地下構造的關係	98
5.6	由地殼變動速率驗證各條斷層的構造模式	101
5.6.1	新城斷層	101

5.6.2	新竹斷層	103
5.6.3	湖口斷層	105
第六章	結論	107
參考文獻		109
附錄一	鑽井岩芯記錄	117



圖目

圖 1.1	(a) 臺灣主要活動構造分布圖 (b) 臺灣西北部之構造應力圖	2
圖 1.2	研究區域活動構造分布圖	2
圖 1.3	(a) 日據時代地質圖 (b) 苗栗圖幅與桃園—新竹圖幅	3
圖 1.4	陳于高等認為新竹地區存在一組西北西走向的右移斷層	4
圖 1.5	(a) 頭前溪南岸中正大橋下可見新城斷層切至低位河階礫石層之上 (b) 新城 1 號槽溝北牆照片	5
圖 1.6	林啟文等由岩性差異及線形追蹤飛鳳山丘陵的新城斷層跡	6
圖 1.7	桃園階地群主要活動斷層分布與地形面關係	7
圖 1.8	西北部活動構造分布圖	7
圖 1.9	正斷層系統反轉為走向滑移斷層或帶有橫移分量的逆斷層	9
圖 1.10	(a) Namson (1984) 11-11' 平衡剖面 (b) 楊耿明等 (1994) 平衡剖面	9
圖 1.11	新城與新竹斷層之三維地體構造示意圖	10
圖 1.12	湖口—楊梅背斜平衡剖面	10
圖 1.13	平鎮—湖口背斜平衡剖面	11
圖 1.14	桃竹苗地區相對於澎湖 S01R 監測站的 GPS 速度場 (2001—2008 年)	13
圖 1.15	研究流程圖	15
圖 2.1	研究區域地質圖	17
圖 2.2	卓蘭層露頭	18
圖 2.3	照鏡段露頭	19
圖 2.4	照門段露頭	20
圖 2.5	大茅埔礫岩露頭	21

圖 2.6	紅土臺地堆積層 Lt3	22
圖 2.7	全新世海相沖積層	22
圖 2.8	全新世海相沖積層於新竹地區之分布情形	23
圖 3.1	竹東丘陵斷層與河階分布圖	31
圖 3.2	竹東丘陵地區地質圖	31
圖 3.3	頭前溪河床區域地質圖	32
圖 3.4	頭前溪河床內中正大橋西側新城斷層露頭	32
圖 3.5	(a) 頭城區域河階分布圖 (b) 地形剖面	33
圖 3.6	頭份地區鑽井與剖面位置	34
圖 3.7	頭份地區 GG'剖面	35
圖 3.8	頭份地區 HH'剖面	35
圖 3.9	(a) 新竹區域數值地形模形 (b) 新竹區域地質圖	37
圖 3.10	(a) 美山—客雅區域河階分佈圖 (b) 地形剖面	39
圖 3.11	美山—客雅區域地質圖	40
圖 3.12	(a) 美山—客雅地區立體地形圖 (b) 牛埔山北側沖積扇構造崖 (c) 三姓公溪東岸低位河階相片	41
圖 3.13	三姓公溪東岸低位河階圖與新竹斷層分布圖	41
圖 3.14	新竹斷層 AA'鑽井剖面	45
圖 3.15	修改自 AA'鑽井剖面	46
圖 3.16	新竹斷層 BB'剖面	47
圖 3.17	CC'鑽井剖面位置	48
圖 3.18	新竹斷層 CC'剖面	49
圖 3.19	新竹斷層 CC'剖面解釋	50
圖 3.20	中正大學新竹四號井相片	51
圖 3.21	新竹市區內構造線形崖	52
圖 3.22	(a) 新竹市區階地分布圖 (b) 地形剖面	53

圖 3.23	新竹市區地質圖	54
圖 3.24	新竹斷層 DD'剖面	55
圖 3.25	新竹斷層 EE'剖面	56
圖 3.26	頭前溪河床區域構造地形特徵	58
圖 3.27	頭前溪河床地質圖	59
圖 3.28	頭前溪河床 FF'剖面	60
圖 3.29	倪明倫 (2004) HCU02-7 淺層震測剖面	61
圖 3.30	飛鳳山丘陵地區斷層位置圖	62
圖 3.31	飛鳳山丘陵區域地質圖及地質剖面	63
圖 3.32	中壢—湖口臺地區域河階與構造線形分佈圖	64
圖 3.33	中壢—湖口臺地區域地質圖	65
圖 3.34	坑子口地區鑽井與剖面位置	66
圖 3.35	坑子口地區 II'剖面	66
圖 3.36	大金山下地區鑽井與剖面位置	67
圖 3.37	JJ'剖面	68
圖 4.1	地殼長期垂直變動速率	71
圖 4.2	全球各地與澎湖地區自從 18,000 年以來海水面的變動曲線	72
圖 4.3	AA'地殼垂直變動速率剖面圖	74
圖 4.4	新竹斷層兩側地殼垂直變動速率圖	75
圖 4.5	II'地殼垂直變動速率剖面圖	76
圖 4.6	觀音至大園地區地殼變動速率圖	76
圖 4.7	湖口斷層兩側地殼平均垂直變動速率圖	77
圖 4.8	GG'剖面滑移速率解釋圖	78
圖 5.1	新竹地區平衡剖面圖	80
圖 5.2	(a) 頭前溪階地對比與光螢光年代位置圖 (b) 頭前溪階地剖面投影至 KK'剖面 (c) 頭前溪階地剖面投影至 YY'剖面	83

圖 5.3	(a) 研究區域內鑽井位置與 LL'、MM'剖面位置圖 (b) 新竹外海 LL'震測剖面	84
圖 5.4	研究區域內地殼長期垂直變動速率圖	86
圖 5.5	桃竹苗地區 2001—2008 年 GPS 速度場，速度向量相對於澎湖白沙站 (S01R)	88
圖 5.6	桃竹苗地區 2001—2008 年 GPS 速度場，速度向量相對於 G210 測站並投影至方位角 335 度	89
圖 5.7	竹東丘陵地區 2001—2008 年 GPS 速度場	90
圖 5.8	垂直於構造線的 GPS 速度向量 NN'剖面	91
圖 5.9	(a) OO'剖面測站位置。(b) 垂直於構造線的 GPS 速度向量 OO'剖面	92
圖 5.10	PP'剖面與新竹至峨眉水準測線、新竹至五峰水準測線位置圖	96
圖 5.11	短期垂直變動速率 PP'剖面	96
圖 5.12	QQ'剖面與新屋至關西童話世界 2004—2008 年水準測線位置	97
圖 5.13	短期垂直變動速率 QQ'剖面	97
圖 5.14	(a) 長期地殼變形即為同震變形與間震變形之總和 (b) 間震變形則為震後變形與沉積荷重之總和	98
圖 5.15	2D elastic half-space dislocation model 模擬地下構造與地殼變動速率的結果	100
圖 5.16	新城斷層兩側地殼錯移速率趨勢對比圖	102
圖 5.17	新竹斷層兩側地殼錯移速率趨勢對比圖	104
圖 5.18	湖口斷層兩側地殼錯移速率趨勢對比圖	106

附錄圖目

附錄 1. 1	岩芯記錄圖例	117
附錄 1. 2	頭份 1 區 BH-1 岩芯記錄。	118
附錄 1. 3	頭份 1 區 BH-2 岩芯記錄。	119
附錄 1. 4	頭份 1 區 BH-3 岩芯記錄。	120
附錄 1. 5	頭份 2 區 BH-1 岩芯記錄。	121
附錄 1. 6	頭份 2 區 BH-2 岩芯記錄。	122
附錄 1. 7	頭份 2 區 BH-3 岩芯記錄。	123
附錄 1. 8	HSH1 岩芯記錄。	124
附錄 1. 9	HSH2 岩芯記錄。	125
附錄 1. 10	HSH3 岩芯記錄。	125
附錄 1. 11	HSH4 岩芯記錄。	126
附錄 1. 12	HSH5 岩芯記錄。	126
附錄 1. 13	HSH6 岩芯記錄。	127
附錄 1. 14	HSH7 岩芯記錄。	128
附錄 1. 15	HSH8 岩芯記錄。	128
附錄 1. 16	TY03 岩芯記錄。	129
附錄 1. 17	TY04 岩芯記錄。	130
附錄 1. 18	TY05 岩芯記錄。	131
附錄 1. 19	三民國中岩芯記錄。	132
附錄 1. 20	三姓橋 1 號岩芯記錄。	133
附錄 1. 21	三姓橋 2 號岩芯記錄。	133
附錄 1. 22	三姓橋 3 號岩芯記錄。	134

附錄 1. 23	三姓橋 4 號岩芯記錄。	134
附錄 1. 24	三姓橋 5 號岩芯記錄。	135
附錄 1. 25	大金山下 1 號岩芯記錄。	137
附錄 1. 26	大金山下 2 號岩芯記錄。	140
附錄 1. 27	水利路 1 號岩芯記錄。	142
附錄 1. 28	水源井岩芯記錄。	143
附錄 1. 29	民富井岩芯記錄。	147
附錄 1. 30	竹中國小岩芯記錄。	149
附錄 1. 31	竹蓮國小岩芯記錄。	150
附錄 1. 32	西門國小岩芯記錄。	151
附錄 1. 33	南寮井岩芯記錄。	152
附錄 1. 34	建功國小（上盤）岩芯記錄。	153
附錄 1. 35	建功國小（下盤）岩芯記錄。	154
附錄 1. 36	建華國中岩芯記錄。	156
附錄 1. 37	高鐵車站岩芯記錄。	157
附錄 1. 38	湖口 1 號岩芯記錄。	158
附錄 1. 39	湖口 2 號岩芯記錄。	159
附錄 1. 40	湖口 3 號岩芯記錄。	160
附錄 1. 41	湖口 4 號岩芯記錄。	161
附錄 1. 42	湖口 5 號岩芯記錄。	162
附錄 1. 43	新竹一號（中正）岩芯記錄。	163
附錄 1. 44	新竹二號（中正）岩芯記錄。	166
附錄 1. 45	新竹三號（中正）岩芯記錄。	169
附錄 1. 46	新竹四號（中正）岩芯記錄。	172
附錄 1. 47	新竹高商岩芯記錄。	175

附錄 1. 48	新竹國小岩芯記錄。	176
附錄 1. 49	經國大橋岩芯記錄。	177
附錄 1. 50	頭前溪一號岩芯記錄。	178
附錄 1. 51	頭前溪 2 號岩芯記錄。	179
附錄 1. 52	頭前溪 3 號岩芯記錄。	180
附錄 1. 53	頭前溪 4 號岩芯記錄。	180
附錄 1. 54	頭前溪 5 號岩芯記錄。	181
附錄 1. 55	龍山國小岩芯記錄。	181
附錄 1. 56	關東國小岩芯記錄。	182



表目

表 2.1	地層對比表	16
表 2.2	全新世海相沖積層鑽井定年資料	23
表 3.1	研究區域內之鑽井岩芯	28
表 4.1	本研究所使用岩芯定年標本估算之垂直變動速率表	73
表 5.1	桃竹苗地區 GPS 站位資料	93



第一章、緒論

1.1 前言

新竹地區為台灣高科技重鎮，人口密集、產業林立，為有效預防及降低天然災害，調查本區的活動斷層，有著迫切之必要性。

晚期中新世以來，歐亞板塊受到菲律賓海板塊的持續推擠，產生劇烈的造山運動，造成地殼受壓縮而變形，在台灣西部麓山帶形成疊瓦狀排列的褶皺—逆衝斷層帶。台灣各區域處於不同的碰撞時期（圖 1.1a，Shyu *et al.*, 2005），以壓縮應力為主的中部地區仍持續碰撞造山（full collision），北部區域則已停止碰撞造山，並轉變為以張裂應力為主的後碰撞（postcollision）時期，西北部的桃竹苗地區恰位於碰撞擠壓至伸張環境的過渡帶，亦即活動碰撞變形之北界（Teng, 1996），最大主應力方向為西北—東南向（圖 1.1b，Chiu, 1971）。外麓山帶的新期構造由走向可分為兩個系統：東北走向的逆衝斷層、與近東西走向的橫移斷層或帶有橫移分量的逆衝斷層，在部分地區後者截切前者，表示東北走向的逆衝斷層屬於較早期的構造，如斗煥坪斷層截切竹東斷層與大平地斷層。根據中央地質調查所出版的臺灣活動斷層分布圖（林啟文等，2000；圖 1.2），可見本區域主要有三條活動斷層：新城斷層、新竹斷層以及湖口斷層。由本區域發達的河階地形，包含高位紅土化階地和低位未紅土化階地，這些河階面皆受抬升或傾動，顯示本區域自晚更新世以來構造運動十分活躍。

本研究將利用 1/5000 立體航空照片圖配合數值地形模型（Digital Terrain Model）進行地形分析，透過野外調查與中央地質調查所鑽井資料，釐清斷層兩側之地層單位與地表可能分布的位置，同時選取平原中沉積層與階地中可提供定年的材料進行 ^{14}C 定年分析，以計算本區域的斷層長期錯移速率，並配合已發表的大地測量資料計算的短期滑移速率，進一步探討本區域內新城斷層、新竹斷層以及湖口斷層的活動特性與地下構造模式。

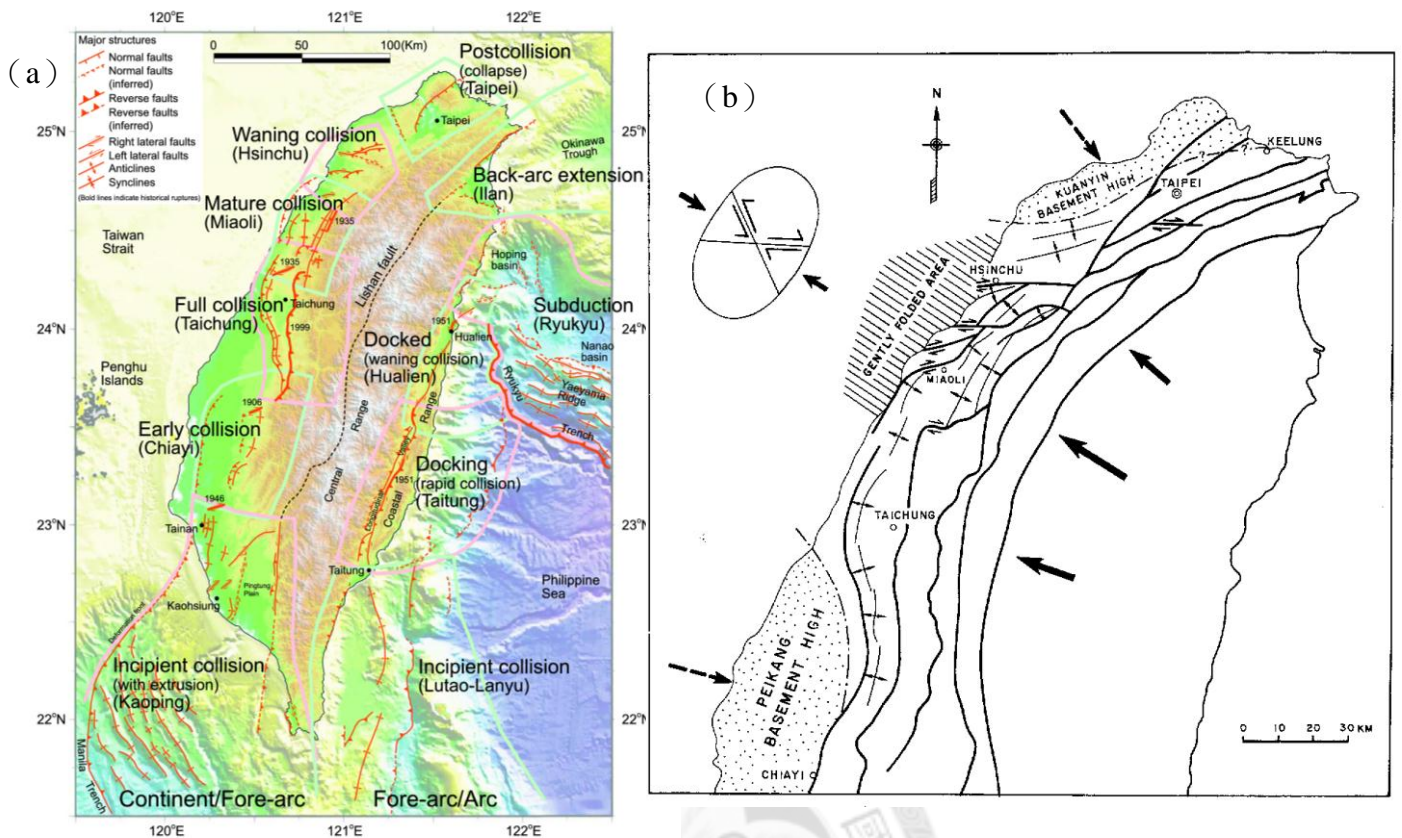


圖 1.1 (a) 臺灣主要活動構造分布圖 (Shyu *et al.*, 2005)。顯示桃竹苗區域已進入 碰撞造山末期。(b) 臺灣西北部之構造應力圖 (Chiu, 1971)，由應變橢圓顯示桃竹苗地區最大主應力方向為西北—東南向。

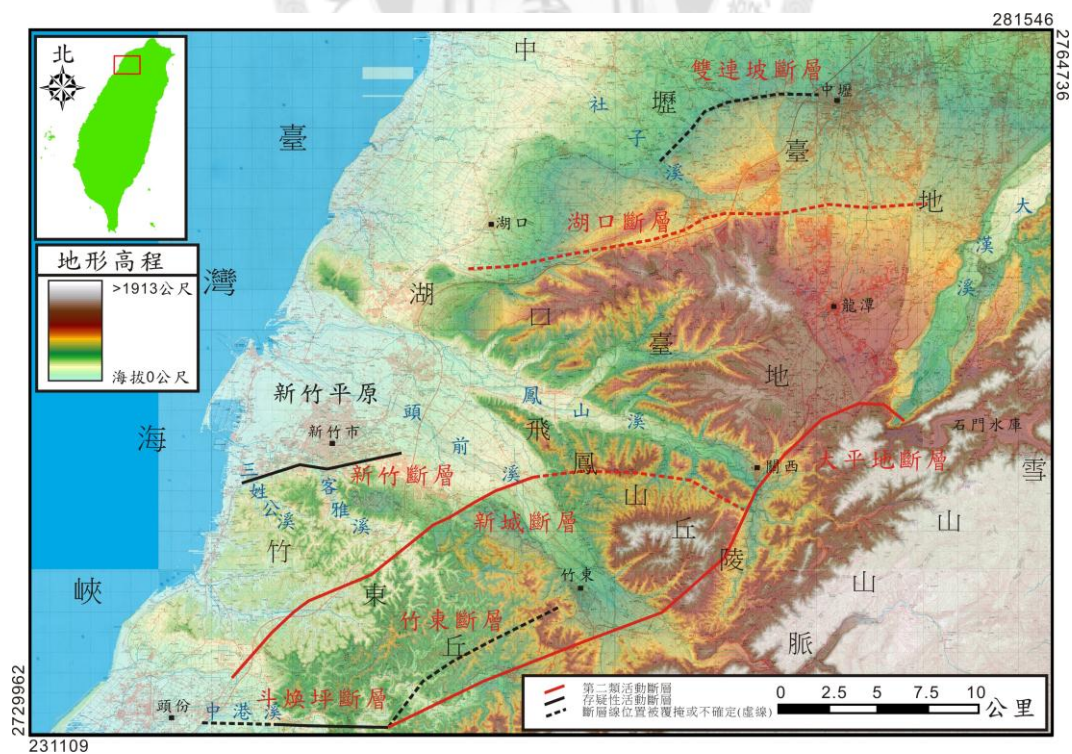


圖 1.2 研究區域活動構造分布圖。斷層線修改自林啟文等 (2000)。

1.2 前人研究

桃竹苗為重要產油氣地區，經過市川雄一（1930）、牧山鶴彥（1933，1934）與臺灣中油公司（圖 1.3 a, b）及爾後進行的各項地質調查，各領域皆累積有豐富的文獻。本文彙整前人研究資料，依地質與地形特性、地球物理探勘與斷層活動性分項描述之。

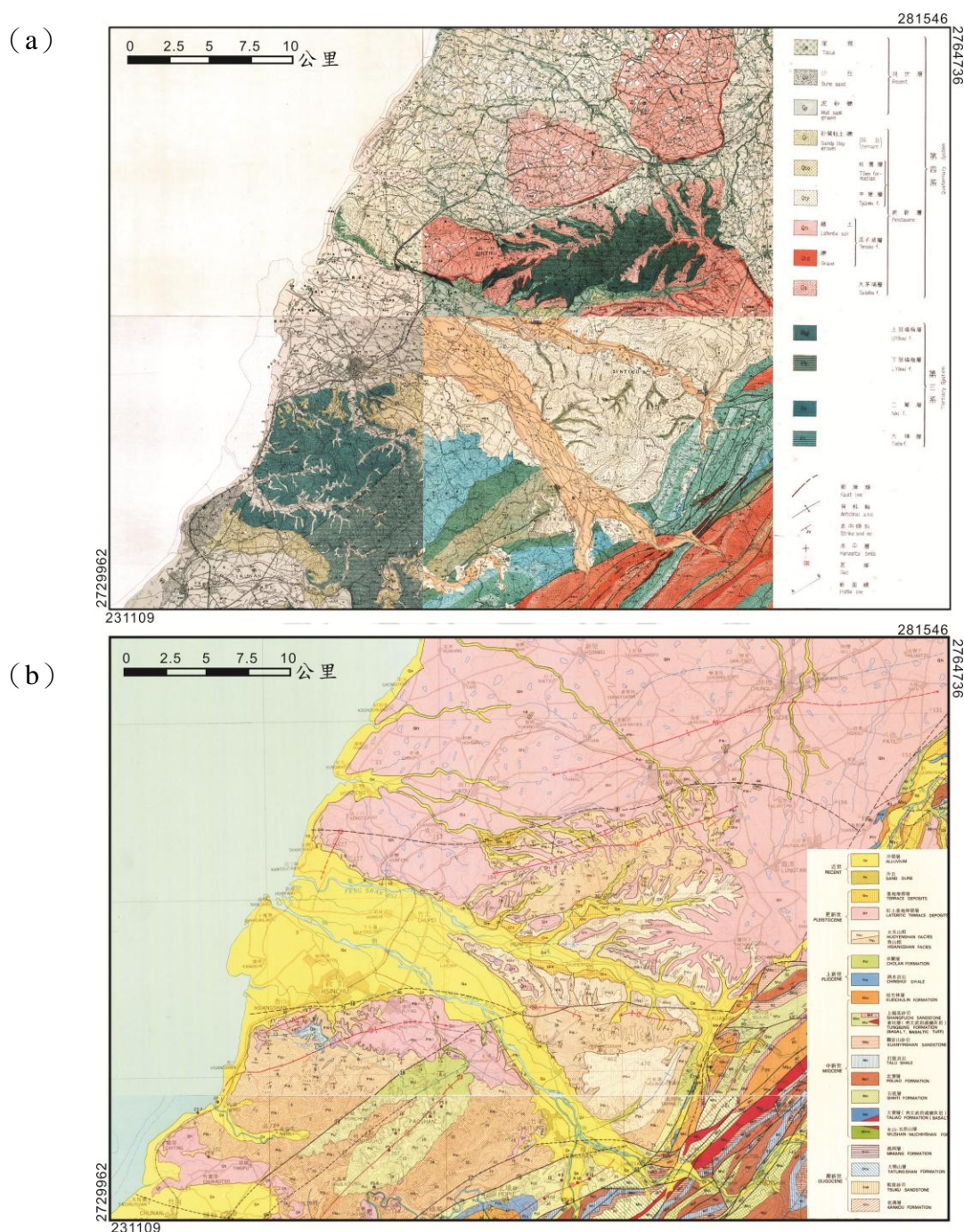


圖 1.3 (a) 日據時代地質圖。包括舊港圖幅（牧山鶴彥，1933）、中壢圖幅（牧山鶴彥，1934a）、竹東圖幅（市川雄一，1930）與新竹圖幅（牧山鶴彥，1934b）。(b) 苗栗圖幅與桃園—新竹圖幅（臺灣中油公司，1974，1978）。

1.2.1 地質與地形特性

前人對於新竹斷層的看法相當分歧，丹桂之助（1933）由地形觀察，認為竹東丘陵西緣有一長約 4.5 公里、呈北北東走向的線形崖為斷層崖。林朝榮（1957）則認為此地形崖部分是海蝕崖。湯振輝與徐兆祥（Tang, 1968；Tang and Hsu, 1970）依航照判釋則認為是後退的斷層崖，並發現光復中學西北方 500 公尺處頭嵙山層傾角近垂直。邱華燈（Chiu, 1970）由鑽井資料認為新竹斷層截切青草湖北翼，斷層面向南傾 50 度，層位落差約 600 公尺。石再添等（1985）則認為新竹斷層由光復中學附近延伸至新竹市西南方的美山村；並依航照判釋頭前溪、客雅溪及三姓公溪的階地，認為其上有斷層小崖、斷層上盤之十八尖山為壓力脊。楊貴三與蔡怡真（2004）認為三姓公溪谷口 Ft1 及 Ft2 階地面受斷層截切，高差分別為 3.7 公尺與 0.7 公尺。陳于高等（Chen *et al.*, 2004；圖 1.4）由航照判釋及數值地形模型認為新竹斷層由數條分支斷層所組成，另提出一組沿著河階崖錯動的扭轉斷層（wrench fault），為西北西走向的右移斷層，走向斜交於新竹斷層與新城斷層。林啟文等（2007）由野外調查結果在頭前溪河床發現一系列小規模褶皺位於新城斷層下盤，研判受到新城斷層壓縮所致，並認為河床特徵顯示新竹斷層並未通過頭前溪。江婉綺與劉桓吉（2011）依據 Namson（1984）平衡剖面中基底滑脫面深度在客雅溪兩側有明顯的落差，認為客雅溪河床中存在一撕裂斷層（tear fault），以右移方式截切新竹斷層為東西兩段。

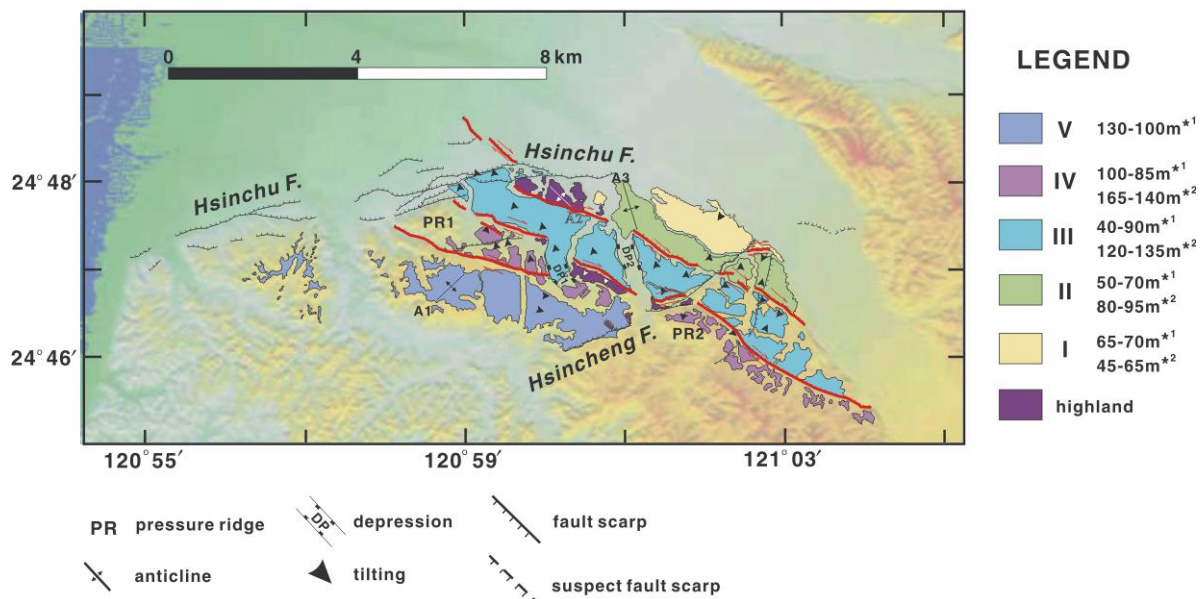


圖 1.4 陳于高等（Chen *et al.*, 2004）認為新竹地區存在一組西北西走向的右移斷層，以紅色實線標示。

對於新城斷層南段的看法則較為一致，均認為新城斷層切過頭前溪南岸一系列紅土化與未紅土化階地，且崖高變位具有累積性，顯示新城斷層持續活動（Ku, 1963；Tang, 1968；石再添等，1985；張瑞津等，1999；Chen *et al.*, 2004）。迄今已報導若干斷層露頭（Huang *et al.*, 1984；石再添等，1985；李元希等，2002；陳文山等，2003；林啟文等，2007），以及槽溝剖面（陳文山等，2003；圖 1.5b），顯示頭前溪以南的區域上盤為卓蘭層，下盤為頭嵙山層香山相，斷層位態約為北東 38—60 度，向東南傾斜 25—35 度。新城斷層於頭前溪中正大橋西側約 300 公尺處有良好出露，斷層垂直抬升約 3.4 公尺，且河相礫石層受斷層拖曳作用造成礫石長軸方向與斷層面平行排列（李元希等，2002；圖 1.5a）。在上盤區域常發育出傾向與主斷層相反的背衝斷層（陳文山等，2003；Chen *et al.*, 2004）。劉力豪（2004）由水系異常折彎處判斷新城斷層可能跨越下坪至上埔之間的河階地，而上坪與頂大埔間的中港溪 Ltc3 階地在新城斷層兩側有 20 公尺的落差。至於新城斷層北段相關露頭報導則相當稀少，多以線形以及岩性差異來追蹤斷層跡位置（塗明寬與陳文政，1990，1991；臺灣中油公司，1978，1994；林啟文等，2007；圖 1.6）。

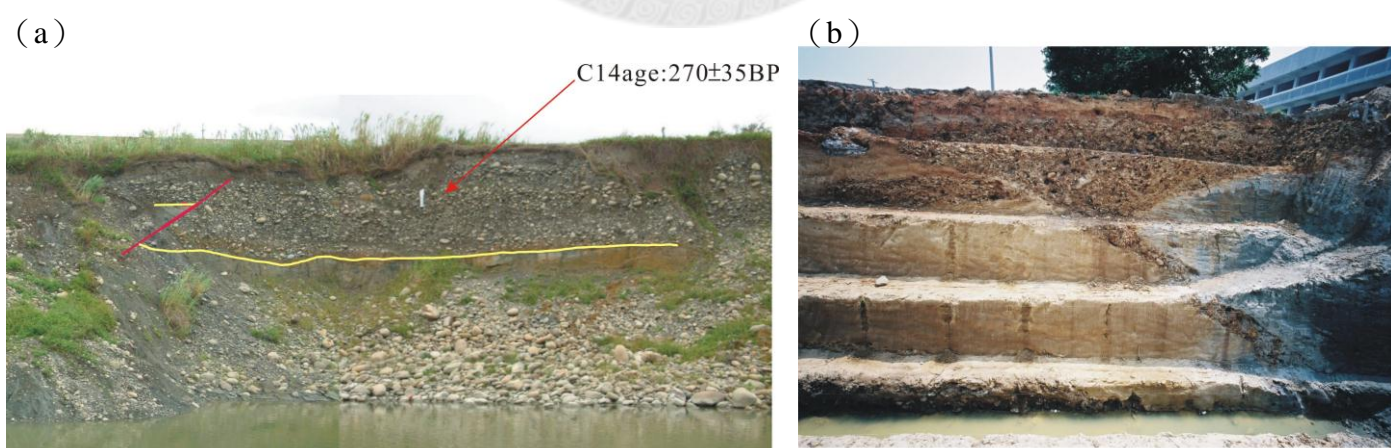


圖 1.5 (a) 頭前溪南岸中正大橋下可見新城斷層切至低位河階礫石層之上，礫石層年代約為 300 年（陳文山等，2003）。(b) 新城 1 號槽溝北牆照片（陳文山等，2003）。顯示卓蘭層逆衝至晚更新世河流相砂礫層之上，斷層位態為 N88°E/30°S，垂直抬升量 1.8 公尺，最小滑移量 4 公尺。

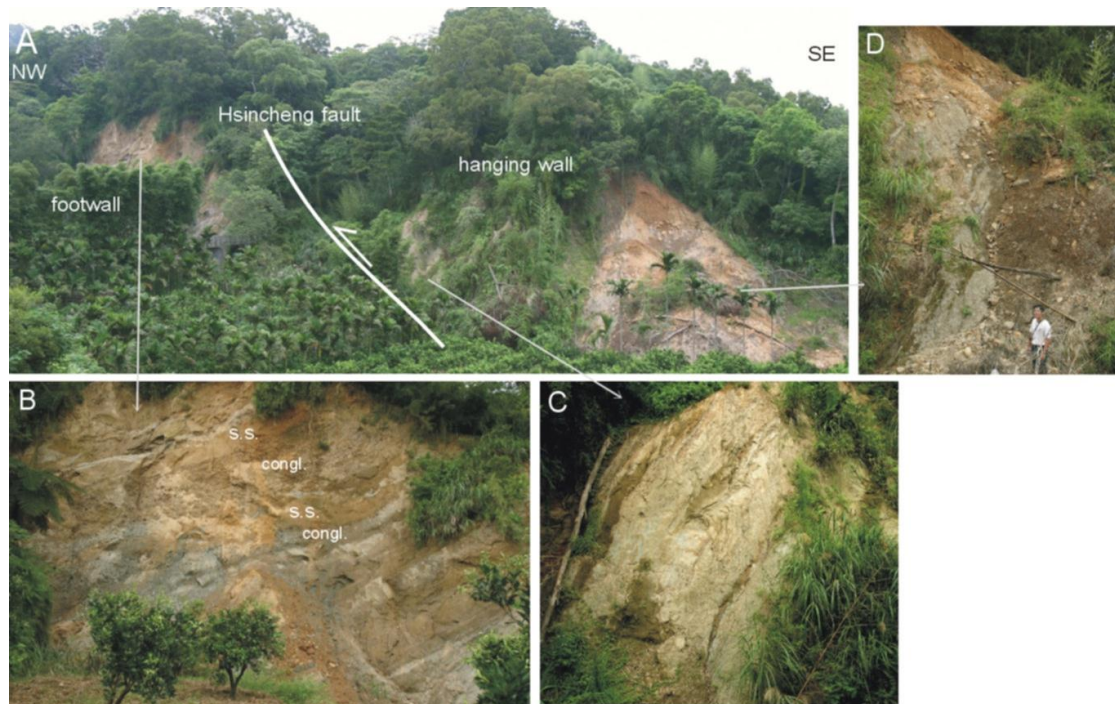


圖1.6 林啟文等（2005）由岩性差異及線形追蹤飛鳳山丘陵的新城斷層跡（a）流民窩山南側下橫坑國道三號西側一斷層露頭。（b）下盤為照門段厚層砂岩夾礫岩層，向北緩傾斜並構成向斜；（c）上盤為照鏡段厚層砂岩夾薄頁岩，向北呈高角度傾斜。（d）厚層砂岩夾薄頁岩的擾動帶。

湖口斷層的地表地質研究多針對紅土階地面的劃分與變形（花井重次，1929；林朝榮，1957；Ku, 1963；石再添等，1983；沈淑敏等，2005）。古兆禎（Ku, 1963, 1965）依航照判釋在楊梅至湖口台地辨識出 A—E 五條斷層，通稱為楊梅斷層，其中 A 斷層帶有右移分量。石再添等（1983）認為桃園至湖口台地上共有 18 段活動斷層（圖 1.7），並依照確實度分為三級，認為楊梅南斷層始於老湖口西南方至平鎮東方克勤橋共 21.6 公里，斷層具有累積性，越老的地形面上斷層變位量越大。王昱（2003）利用數值高程模型及航照判釋地形，提出一組東北東走向的褶皺—斷層系統、另一組西北西走向的右移斷層系統（圖 1.8），並認為西北西走向右移斷層西段截切楊梅南線形崖產生 1600 公尺的錯移量，右移斷層之東段為大平地—新店斷層系統之側斷坡向西延伸所造成的撕裂斷層。林啟文等（2007）根據鑽井資料繪製的地質剖面，認為湖口斷層為一盲斷層，近地表以層間滑動及褶皺作用為主，褶皺軸面傾角約 55 度，地表線形屬於撓曲崖而非斷層崖。目前主斷層未出露地表，僅有零星報導的副斷層露頭（石再添等，1983；王昱，2003；林啟文，2007；Chu *et al.*, 2012）。

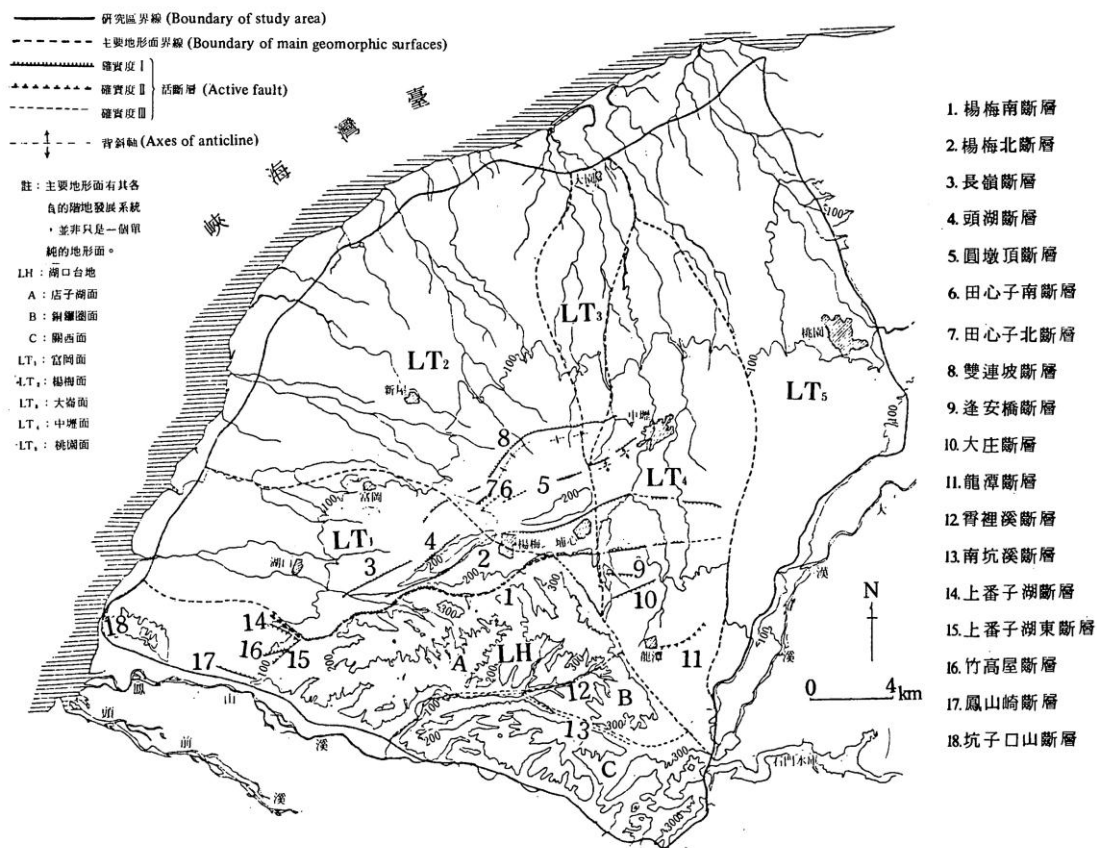


圖 1.7 桃園階地群主要活動斷層分布與地形面關係 (石再添等, 1983)。

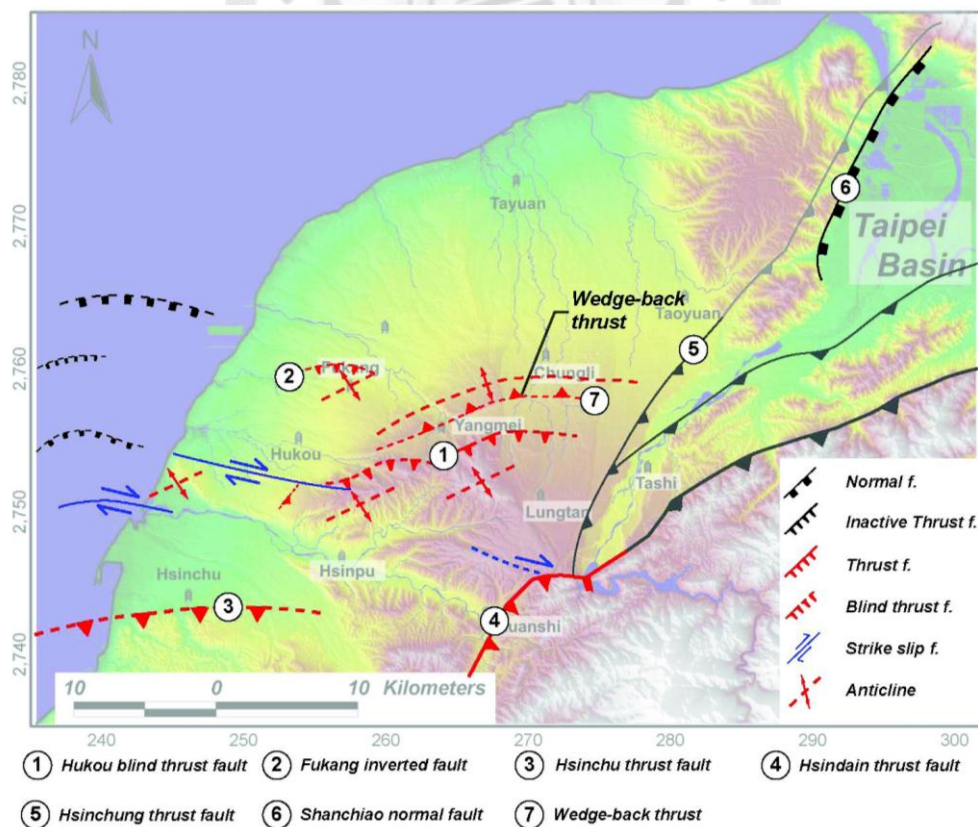


圖 1.8 西北部活動構造分布圖 (王昱, 2003)。

1.2.2 地球物理探勘

在新竹外海區域具有一系列近東西向地壘與地塹（horst and graben）的構造，為始新世至漸新世以前開裂的老正斷層，後來在中新世晚期經歷構造反轉、重新復活為走向滑移斷層或高角度逆斷層，原先的正斷層對於新期構造的發育影響甚鉅，許多學者認為這些反轉的構造或可連至陸上諸如湖口斷層及新竹斷層等（Huang *et al.*, 1993；Lee *et al.*, 1993；Chen *et al.*, 1994；楊耿明，1994；徐兆祥等，1997；圖1.9）。

對於活動構造模式各研究的看法不一：Namson（1984）的平衡剖面解釋青草湖背斜為斷層彎曲褶皺（fault-bend fold），新竹斷層並未穿至地表而在地底下轉緩往北延伸、寶山背斜則為斷層擴展褶皺（fault-propagation fold），新城斷層在地下呈低角度（圖1.10a）；楊耿明等（Yang *et al.*, 1994；1996）根據震測剖面解釋青草湖與寶山背斜皆為斷層擴展褶皺（圖1.10b），且認為新竹斷層在地下分為三條高角度的逆衝斷層，其中一條是沿著古正斷層面反轉而成；新城斷層則是由兩條低角度的層間滑移斷層匯而為一，且新竹斷層淺部的斷層面為新城斷層北端的側斜坡面（圖1.11）。Suppe and Namson（1979）解釋湖口—楊梅背斜為斷層彎曲褶皺，而楊梅斷層（湖口斷層）在3500公尺深處往北延伸（圖1.12）。王昱（2003）認為平鎮—湖口背斜的構造型態為兩個對衝的褶皺—盲斷層系統，而平鎮背斜存在一楔形構造（wedge structure），形成南翼的軸面背衝斷層—楊梅北線形（圖1.13），並指出湖口斷層並非震源斷層（seismo genic fault）而是次生軸面破壞斷層；林啟文等（2007）配合鑽井資料以及地表露頭繪製地質剖面，認為湖口背斜為斷層擴展褶皺，湖口斷層屬於尚未切穿至地表的盲斷層，傾角約為40度，斷層跡為向斜軸部破裂所致。

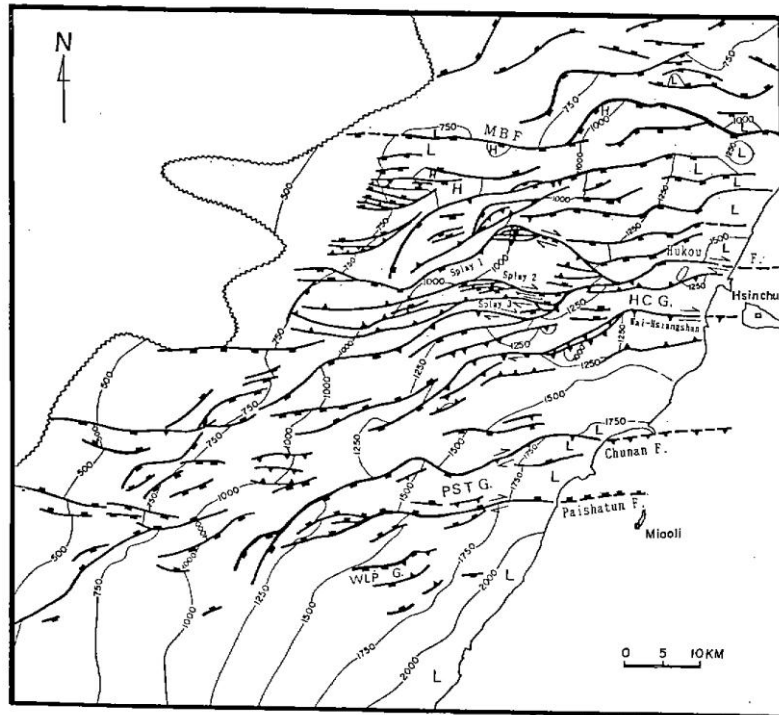


圖 1.9 西台地北緣南庄層頂部，一系列近東西走向的正斷層系統在近岸區域已反轉為走向滑移斷層或帶有橫移分量的逆斷層 (Huang *et al.*, 1993)。

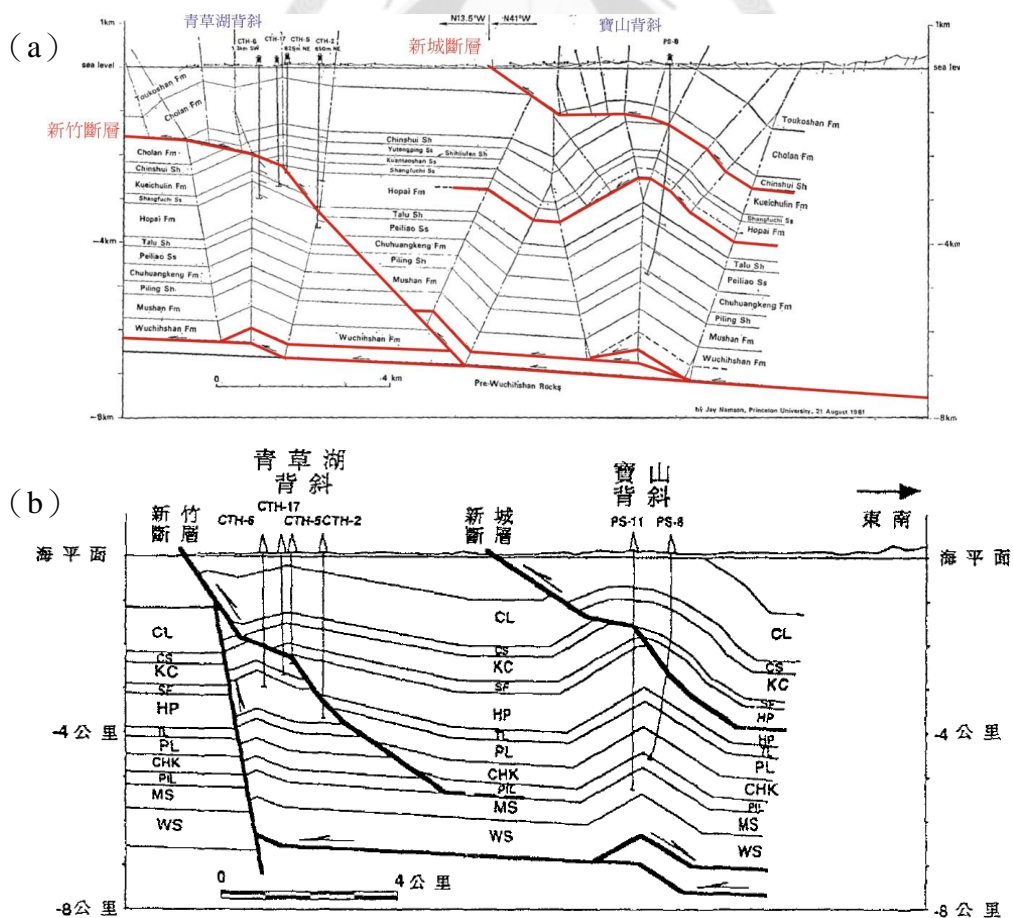


圖 1.10 (a) 青草湖背斜為斷層彎曲褶皺；寶山背斜為斷層擴展褶皺 (Namson, 1984)。(b) 楊耿明等 (1994) 則認為兩個背斜皆為斷層擴展褶皺模式。

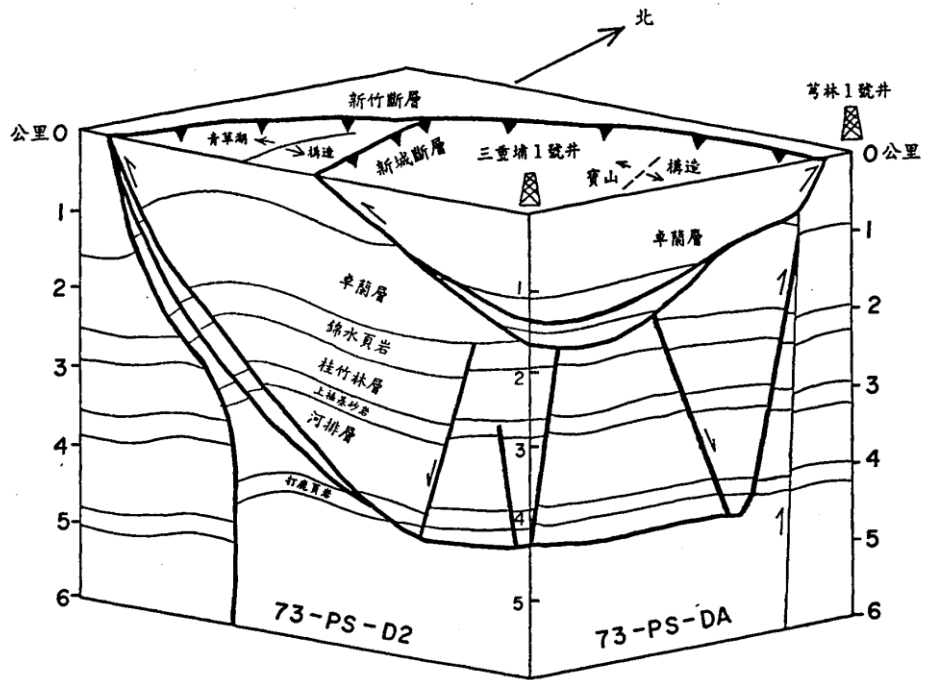


圖 1.11 新城與新竹斷層之三維地體構造示意圖 (Yang, 1996)。

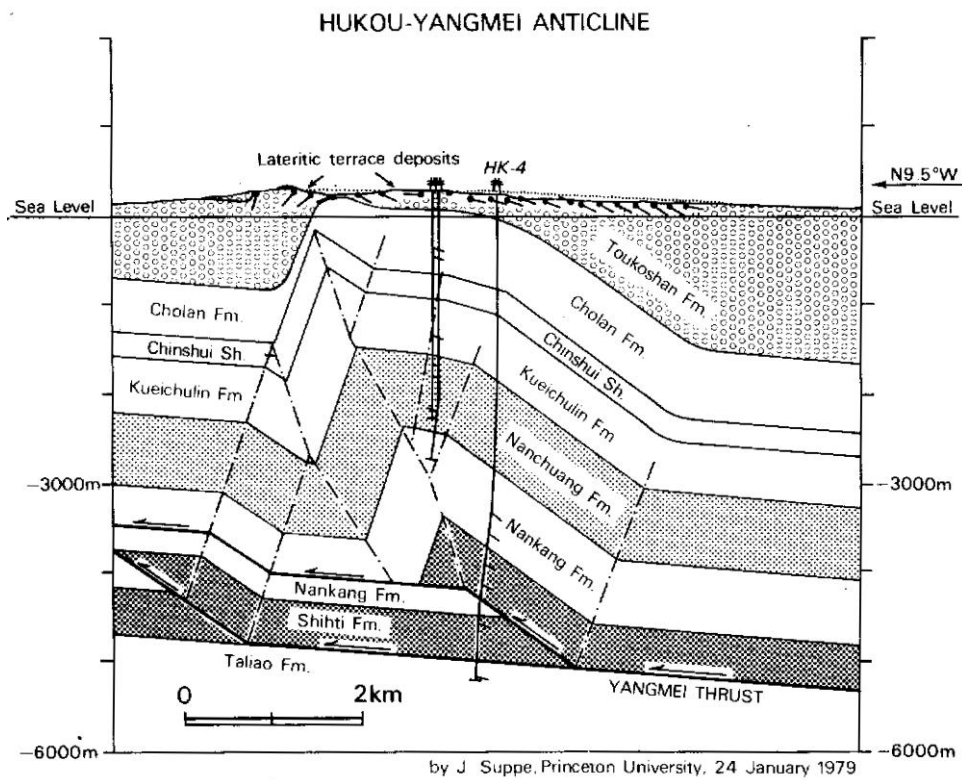


圖 1.12 湖口—楊梅背斜為斷層彎曲褶皺 (Suppe and Namson, 1979)，楊梅斷層 (湖口斷層) 在地下 3500 公尺深往北延伸。

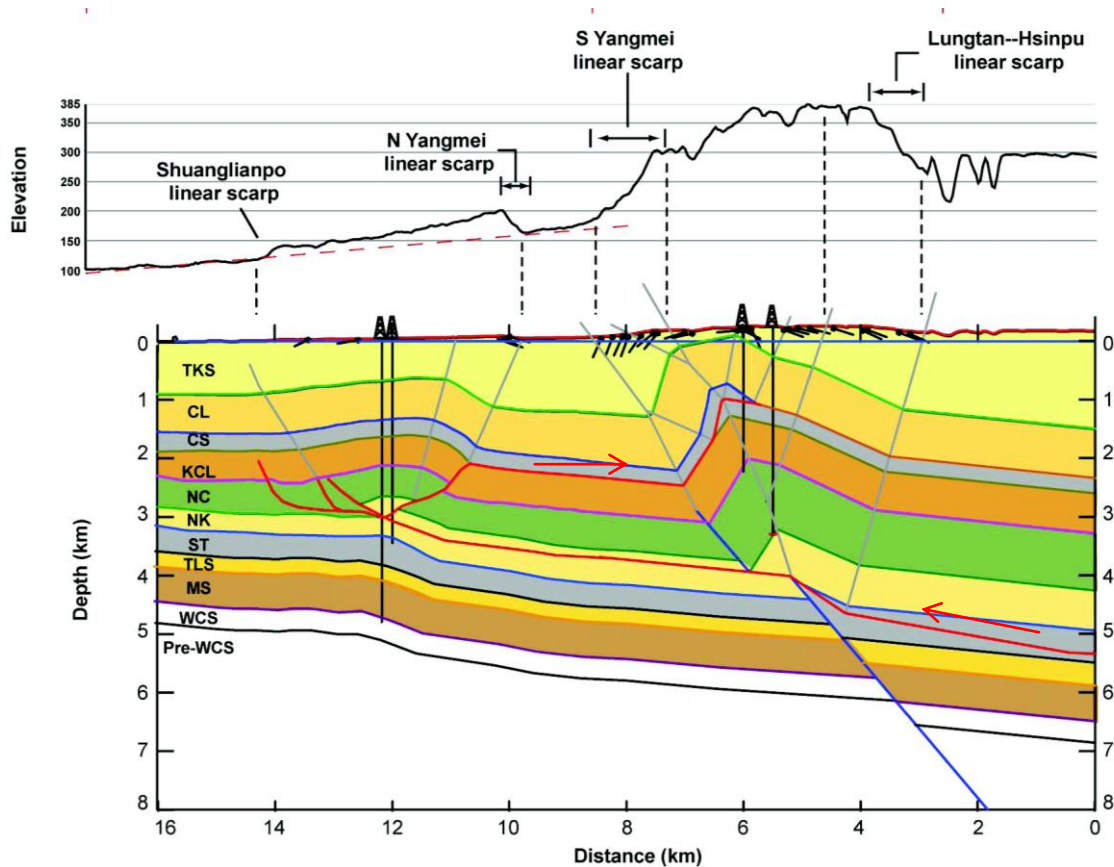


圖1.13 平鎮—湖口背斜平衡剖面（王昱，2003）。由於湖口斷層往北逆衝使湖口背斜以斷層擴展褶皺形式隆起，北翼急折處延伸至地表形成楊梅南線形崖；湖口斷層在平鎮背斜南翼卻突然轉向，以楔形體（wedge thrust）形態往南逆衝，在地表形成楊梅北線形崖。

淺層震測的研究可釐清地下構造型態並提示地表斷層跡可能的出露位置，林良安（1999）從震測剖面認為湖口斷層並無錯動現象，淺部構造的湖口斷層僅代表地層彎曲的邊界，在深部可能存在一盲斷層，造成上覆地層形成斷層彎曲褶皺。倪明倫（2004）由13條淺層震測測線認為新竹斷層從西邊美山村的位置沿著竹東丘陵北緣向東略呈一弧型，經清華大學後向南進入頭前溪河床內，向東和新城斷層相交並通過飛鳳山丘陵，最東緣通過東安國小，可能直接和大坪地斷層相接。而最西緣並未出海；鄭永森（2004）解釋新城斷層南端啟寶高爾夫球場南側與下坪的震測剖面，顯示新城斷層可能受斗煥坪右移斷層的撕裂作用，在最南端斷層向南轉向，並止於頭份下坪南側。石瑞銓等（2009）進行淺層反射震測，認為新竹斷層與湖口斷層變形均受古正斷層形貌影響，在東西兩段有迥異的構造形態：新竹與湖口斷層東段皆以褶皺作用為主，斷層呈高角度向南傾斜，並未出露地表；西段則出現另一組傾向相反的逆斷層，在湖口斷層西段此反向斷層甚至截切向南傾的逆斷層，故研判新竹與湖口斷層並沒有延伸至外海。

1.2.3 斷層活動特性

前人對於新城斷層的長期斷層活動速率較為了解，由槽溝資料可知至少有 2 次古地震事件，另由定年資料已知新城斷層截切距今 270 年前的低位階地礫石層（圖 1.5a；陳文山等，2003），表示自全新世以來仍有活動，被歸類為第一類活動斷層（林啟文等，2007）。陳文山等（2003）與劉力豪（2004）由 Lt1 階地受斷層錯移 85 公尺與定年年代 66.9ka 與 63.4ka 推算新城斷層上盤的抬升速率為 1.27mm/yr。並利用此抬升速率與各槽溝觀察得到的單次古地震事件垂直位移量 1.8—1.85 公尺相除，推估新城斷層的地震再現週期約為 1000—1500 年。至於新竹斷層與湖口斷層的研究，僅有地形特徵、缺乏出露地表的證據，亦缺少代表最年輕的低位階地面的定年資料。根據頭前溪南岸、湖口臺地上受傾動之高位階地面年代（陳于高等，2003），顯示新竹斷層與湖口斷層在十萬年內皆有活動；王昱（2003）根據桃園臺地面上地形測量結果研判湖口背斜近 30,000 年內仍持續活動。

短期斷層活動速率的研究，由 GPS 速度場觀測資料顯示桃竹苗地區處於全島較小的區域，約在 5mm/yr 以內（Yu *et al.*, 1997）；且位移場具有由北往南逆時針旋轉的趨勢，表示斷層之間的地殼均以滑移、旋轉來調適應力的變化（陳建良等，2008；林燕慧等，2010；圖 1.15）。目前研究多認為新竹斷層、新城斷層與湖口斷層近期呈鎖定狀態（饒瑞鈞等，2006；林燕慧等，2010）。林啟文等（2005）由 2001—2004 年 GPS 資料顯示新城斷層上盤向西北方移動，位移量在 10 mm/yr 以內，下盤則向東南方以 5—15 mm/yr 移動，另由垂直斷層分量顯示 3 年間新城斷層兩側為壓縮作用。鍾瑋等（2005）由 GPS 資料認為新竹斷層近期兼具右移與逆移特性。饒瑞鈞等（2006）以 2002—2006 年間跨越斷層的 GPS 速度場變化量顯示平行湖口、新竹、新城斷層的分量依序為：-1.2mm/yr、-2.3mm/yr 與 -0.7mm/yr；垂直於斷層的分量依序為：5.2mm/yr、3.1mm/yr 與 1.5mm/yr，顯示三條斷層均呈右移與壓縮的形式。陳建良等（2008）由精密水準測量結果顯示湖口背斜於 2 年之間最高區域抬升 12 mm，比對當地的地下地質構造，反應的結果很有可能為湖口背斜持續發育的行為。張育仁（2008）利用雷達差分干涉研究桃園南部臺地群之長期變形率，發現雙連坡—平鎮地區抬升率為 5—10mm/yr。林燕慧等（2010）由橫跨新竹斷層與新城斷層的兩條水準測線發現上盤的抬升量均在近斷層處減小，顯示斷層屬於閉鎖的狀態。

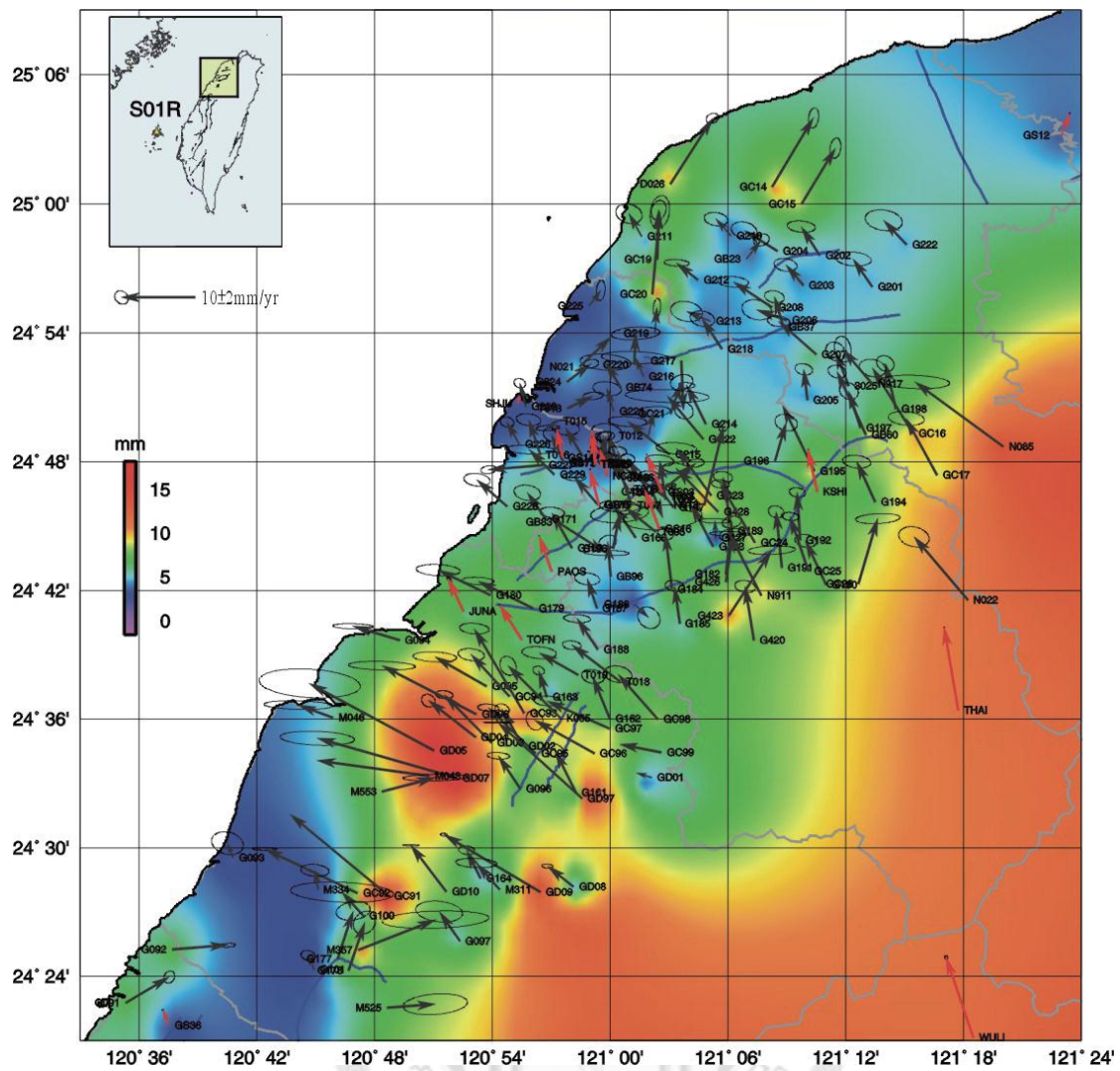


圖 1.14 桃竹苗地區相對於澎湖 S01R 監測站的 GPS 速度場（2001－2008 年）分析結果（林燕慧等，2010）。底圖顏色代表年平均速度場，紅色箭頭代表連續站點位解算結果，灰色箭頭代表定期重測點點位解算結果。

1.3 研究目的與方法

本區域為台灣高科技暨工業重鎮，人口密集、產業林立，為有效預防及降低地震潛勢災害，調查本區的活動斷層，有著迫切之必要性。綜觀前人研究，本區域尚存在幾項未解的問題：

（1）斷層跡位置與構造型態

受到全新世沉積層的覆蓋，許多地區的斷層跡並沒有明顯的地形證據，無法判斷斷層跡確切的位置，其構造型態亦不明確。目前在已知的活動構造中僅對於新城斷層在竹東丘陵中、北段出露的位置與構造特性較為確定，而新城斷層其他區域、新竹斷層與湖口斷層的地表出露位置與構造型態則仍有爭議。

(2) 新竹斷層兩側的地層錯距

位於新竹平原與竹東丘陵接壤處的新竹斷層，其地質結構為頭嵙山層下段逆衝至頭嵙山層上段或紅土臺地堆積層之上（江婉綺與劉桓吉，2011），然而飛鳳山丘陵的活動構造是採用楊梅層照鏡段、照門段、大茅埔礫岩與晚更新世紅土礫石層的地層分層來定義斷層的錯距（塗明寬與邵屏華，2001），故頭嵙山層內僅分為兩岩段的分層方法並不適用於研究區域內。根據中壢圖幅的地層對比表（塗明寬與邵屏華，2001），大茅埔礫岩、楊梅層的照鏡段與照門段可對比至頭嵙山層，而頭前溪南岸並未出露大茅埔礫岩，因此新竹斷層兩側的地層錯距將決定於楊梅層內的照鏡段是否逆衝至照門段之上。

(3) 飛鳳山丘陵的活動斷層

許多研究均認為新竹斷層與新城斷層往東通過頭前溪之後匯而為一，繼續往東延伸並切過飛鳳山丘陵（臺灣中油公司，1978；塗明寬與邵屏華，2001；李元希等，2002；陳文山等，2003；林啟文等，2007）。但是飛鳳山丘陵區域的活動斷層究竟屬於新城斷層（塗明寬與邵屏華，2001；林啟文等，2007）亦或新竹斷層（Meng, 1965；楊耿明等，1994），甚至其存在與否，目前亦尚未定論。因為斷層長度將直接影響地震潛勢的評估結果，故確立飛鳳山丘陵地區的活動斷層如何接到西邊的兩條斷層，亦是重點研究目標。

(4) 斷層長期錯移速率

對於地震災害潛勢分析，斷層長期滑移速率與地震周期是最重要的項目，雖然前人對構造地形研究的範疇著墨最深，但是各時期地形面的定年資料卻最為匱乏，尤其是新竹斷層與湖口斷層的斷層長期滑移速率與地震周期，目前尚不清楚。目前滑移速率的相關研究多為大地觀測結果，僅代表間震期的地殼變形，仍無法探討一個完整的地震周期，有待進一步的調查。

針對以上問題，本研究將進行地形分析、野外地質調查與淺層鑽井以調查斷層跡位置與斷層的構造特性；並進行河流階地的製圖與對比工作，特別採集平原區沉積層中的定年樣本以計算地殼長期抬升速率。最後以長期錯移速率、前人發表的大地測量資料，討論滑移速率與地下構造的關聯與斷層活動性。

以下為研究流程：首先在室內蒐集地質相關文獻資料，以地球物理探勘與地表地質資料為主，並根據 1/5000 航照圖配合數值地形模型，判釋新期構造地形與河階地形；接著透過野外調查配合地質鑽探、 ^{14}C 樣本定年年代與已發表的淺層震測及排鑽剖面，建立地質剖面圖；由本研究建立的地質、地形資料與 ^{14}C 年代計算斷層長期錯移速率、並依據已報導的大地測量結果計算斷層短期錯移速率，評估斷層活動特性與構造模式（圖 1.15）。

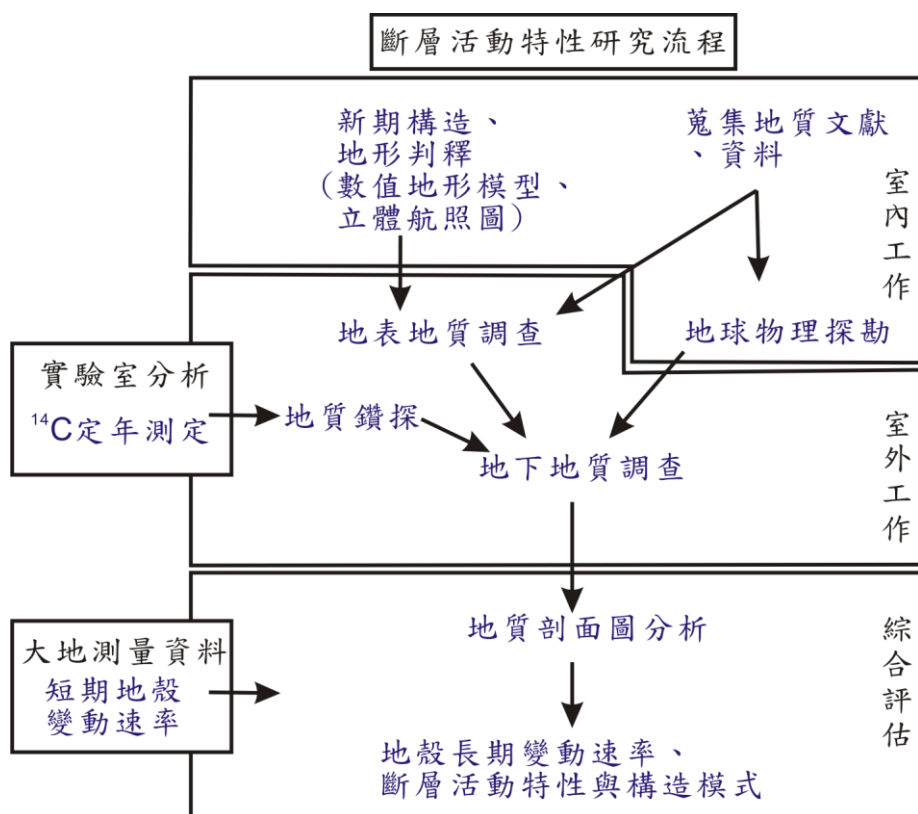


圖 1.15 研究流程圖。

第二章、區域概況

研究區域位處外麓山帶西北隅，橫跨湖口台地、新竹平原、竹東丘陵、以及飛鳳山丘陵（圖 1.2），本章將概述地層以及地質構造。

2.1 地層

本研究針對新城斷層、新竹斷層以及湖口斷層鄰近區域進行地質調查，依據前人繪製之地質圖為基礎，重新調查河流階地分布與斷層跡位置（圖 2.1）。區域內出露地層由老至新依序為：卓蘭層、楊梅層照鏡段、楊梅層照門段、大茅埔礫岩、紅土臺地堆積層、臺地堆積層以及現代沖積層（表 2.1）。主要地層名稱沿用中壢圖幅（塗明寬與邵屏華，2001），惟店子湖層、中壢層及桃園層由於岩性沒有區別，難以作為分層依據，故以紅土臺地堆積層（何春蓀，1986）總稱之。

表 2.1 地層對比表。

	湖口背斜 石油地質 (Tang, 1963)	台灣地質概論 (何, 1986)	新竹圖幅 (劉, 1989)	中壢圖幅 (塗, 2001)	本研究
全新世	沖積層	沖積層	沖積層	沖積層	沖積層
	臺地堆積層	臺地堆積層	臺地堆積層	臺地堆積層	臺地堆積層
更新世	店子湖層	紅土臺地堆積層	(未出露)	桃園層	紅土臺地堆積層
			中壢層	中壢層	
			店子湖層	店子湖層	
	大茅埔礫岩	頭嵙山層 (觀音山層)	頭嵙山層	大茅埔礫岩	大茅埔礫岩
	楊梅層			楊梅層	楊梅層
	照門段			照門段	照門段
	汶水坑段			照鏡段	照鏡段
	卓蘭層	卓蘭層	卓蘭層	卓蘭層	卓蘭層

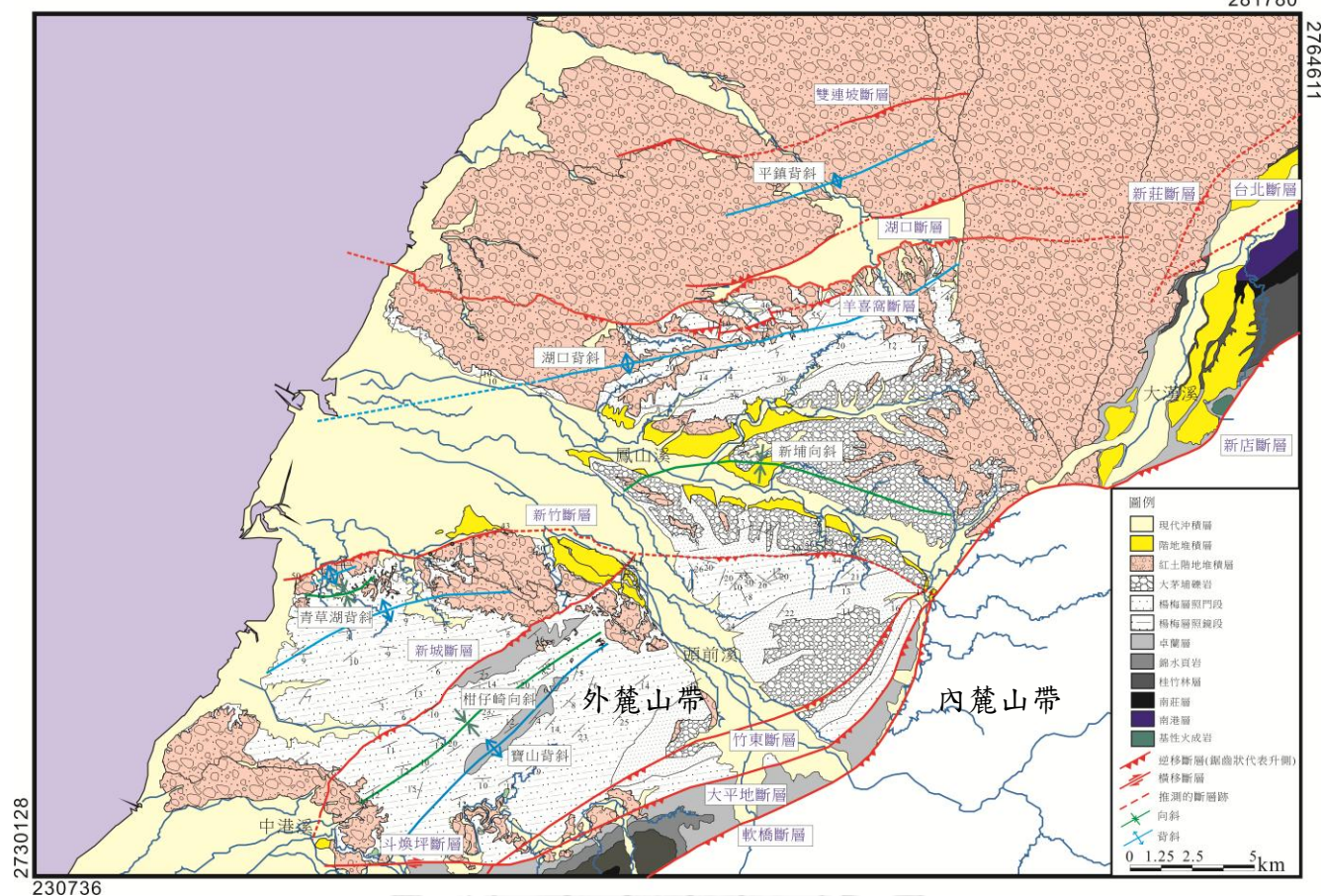


圖 2.1 研究區域地質圖。修改自劉桓吉（1989）、塗明寬與陳文政（1991）、塗明寬與邵屏華（2001）與何信昌（1995）。

2.1.1 卓蘭層 (CI)

卓蘭層（鳥居敬造，1935）標準剖面位於苗栗縣卓蘭鎮大安溪畔。本層在新竹地區分布於新城斷層上盤，出露厚度約 500 公尺，主要於頭前溪河床、以及寶山背斜軸部有較完整的剖面（圖 2.1）。卓蘭層岩性以厚層砂泥互層為主（圖 2.2），砂岩厚度較薄，單層砂岩小於 1 公尺，呈青灰色，常見波痕、交錯紋理及平行紋理、亦見荷重鑄型及崩移構造，富含碎屑貝殼化石及碳質物，貝殼多為移置化石。泥岩質地緻密多呈塊狀。本研究判斷卓蘭層之沉積環境為遠濱過渡帶，年代屬於更新世（Huang，1978）。卓蘭層整合覆蓋於錦水頁岩之上，與上覆地層楊梅層亦呈整合接觸。



圖 2.2 卓蘭層露頭。厚層砂泥岩互層，可見紅土臺地堆積層不整合在卓蘭層之上，卓蘭層位態 $N50^{\circ}W/26^{\circ}N$ ，中正大橋下河床南岸（254853，2742304；TWD67）。

2.1.2 楊梅層（Ym）

由牧山鶴彥（1934a）命名，標準剖面位於桃園縣楊梅鎮南方；廣泛分布於湖口斷層上盤、飛鳳山丘陵以及竹東丘陵區域，為研究區域內紅土臺地堆積層主要之基盤岩層。楊梅層的岩性由礫岩、砂岩及泥岩互層所組成，砂岩占大部分比例。根據化石研究，楊梅層與頭嵙山層下至中段對比（大炊御門經輝與黃敦友，1957）。湯振輝（Tang, 1963）曾將楊梅層分為下、中、上段，分別為照鏡段、汶水坑段和照門段。塗明寬等（2001）則認為下段與中段於野外無明顯界限，故將汶水坑段及照鏡段合併為照鏡段，為楊梅層之下段。由於楊梅層的年代已超過碳十四定年之上限，故由新竹沖積平原之地下鑽井岩芯取得的碳十四年代皆顯示基盤楊梅層為 $>50,000$ yr BP。茲將兩岩段詳述如下：

2.1.2.1 照鏡段（Ymc）

湯振輝（Tang, 1963）命名，標準剖面位於楊梅鎮南方照鏡村。岩性以砂泥岩互層夾厚層砂岩為主（圖 2.3），砂岩淘選差，膠結鬆散，多呈黃色或青灰色，常見交錯層理、平行層理，部分砂岩呈塊狀。泥岩互層常見荷重鑄型、波狀構造（wavy）以及經絡狀構造（flaser），常見貝殼碎屑，多為移置化石，生物擾動強烈。本研究判斷沉積環境為潮間帶。照鏡段與下伏的卓蘭層、上覆的照門段皆為整合關係。由於底部岩層並未出露，野外厚度大於 800 公尺。

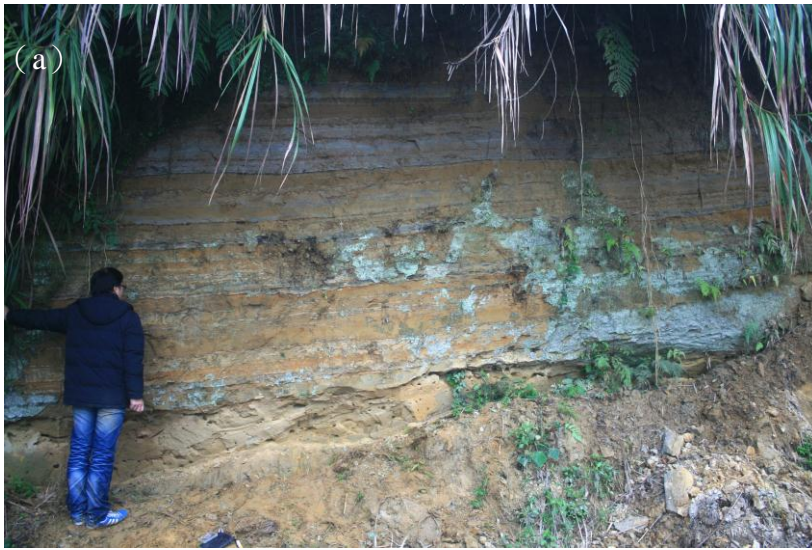


圖 2.3 照鏡段露頭。由厚砂岩與砂泥岩互層組成，砂岩呈黃棕色，泥岩則為青灰色。(a) 靠近湖口背斜軸部，位態 $N65^{\circ}W/12^{\circ}S$ ，小楊梅南方北埔第十三公墓南側，(264413, 2752804; TWD 67)。(b) 新竹斷層上盤近斷層處，地層以高角度向北傾斜，位態 $EW/50^{\circ}N$ ，竹東鎮北緣埔頂柴梳山腳 (251112, 2743027; TWD 67)。

2.1.2.2 照門段 (Ymm)

由湯振輝 (Tang, 1963) 命名，標準剖面為楊梅鎮南方照門村。岩性以礫岩、砂岩及泥岩互層組成 (圖 2.4)，呈向上變粗序列。礫岩直徑小於 20 公分，圓礫至次圓礫，以顆粒支持為主，基質以細砂或泥為主，礫岩比例與厚度皆向上漸增。砂岩淘選佳、膠結鬆散，常見平板狀交錯層、槽狀交錯層、平行紋理及球枕構造，亦有崩移構造。本研究判斷照門段沉積環境為潮間帶至河口灣與沼澤相，其環境深度較照鏡段淺，且有完整剖面出露，厚度約為 350 公尺。照門段與上覆地層大茅埔礫岩與下伏照鏡段皆呈整合關係。林啟文等 (2005) 認為飛鳳山丘陵出露照鏡段與照門段的層序界限並不易區分，只能由礫岩層的出露情形來加以界定，因此楊梅層的下段與上段也可能是漸變或犬牙交錯的關係。

(a)



(b)



圖 2.4 照門段露頭。(a)由厚層砂礫岩互層偶夾泥岩組成，砂岩中常見崩移構造，本剖面岩層約 10 公尺厚，位態 $N10^{\circ}E/10^{\circ}E$ (253169, 2746411; TWD67)，飛鳳山丘陵犁頭山南側。(b)照片下部厚層砂岩偶夾礫岩為照門段，與上部厚層礫石夾透鏡狀砂體的大茅埔礫岩呈整合接觸，其中礫石具有覆瓦狀構造以及大型礫石質交錯層可判斷古水流方向為由東往西，飛鳳山丘陵旭岡。

2.1.3 大茅埔礫岩 (Tm)

由牧山鶴彥 (1935a) 命名，標準剖面位於新竹縣新埔鎮大茅埔。主要分布於新埔向斜兩翼與飛鳳山山區。岩性為厚層礫岩偶夾砂岩透鏡體 (圖 2.5)。礫岩淘選差，直徑自數公分至 1 公尺之間，以次圓礫為主，常見覆瓦狀排列。大茅埔礫岩之沉積環境為礫石質辮狀河。目前尚無化石發現，年代為更新世；厚度約 80 公尺。大茅埔礫岩整合覆於楊梅層照門段之上，而與上覆之紅土階地礫石層為不整合關係。



圖 2.5 大茅埔礫岩露頭，厚層礫石層偶夾透鏡狀砂層，關西南山里南和橋（265522，2743279；TWD 67）。

2.1.4 紅土臺地堆積層（Lt）

本層在前人研究中各有不同命名：店子湖層、中壢層以及桃園層（牧山鶴彥，1934；1935；塗明寬與邵屏華，2001）。前人研究分層主要依據為河拔高度之差異、以及紅土化程度等，但紅土階地缺乏決定性的年代證據、以及上述三層之岩性在野外並無太大差異，故沿用何春蓀（1986）的「紅土臺地堆積層」。本層廣泛分布於本研究區各主要臺地面（圖 2.1），年代為晚更新世；標準剖面位於桃園縣楊梅東南隅之小村落。紅土臺地堆積層由一層厚約 1—2 公尺之薄層紅土層與下伏之厚層礫石層夾透鏡狀砂層所組成（圖 2.6）。此外，礫石層紅土化程度普遍不一致，紅土化輕微的地區，基質呈淡紅色，顆粒並未受到顯著的風化作用；有些紅土化強烈的區域，顆粒與基質皆呈暗紅色，而顆粒的中心呈現明顯的風化環。頭前溪以南，普遍來說紅土化並不強烈，然而頭前溪的高位紅土臺地（Lt1、Lt2）還能夠發現風化強烈的紅土層；頭前溪以北，湖口臺地、中壢臺地紅土化尤其強烈，多呈鮮紅色，紅土化所影響的深度亦隨之加劇。

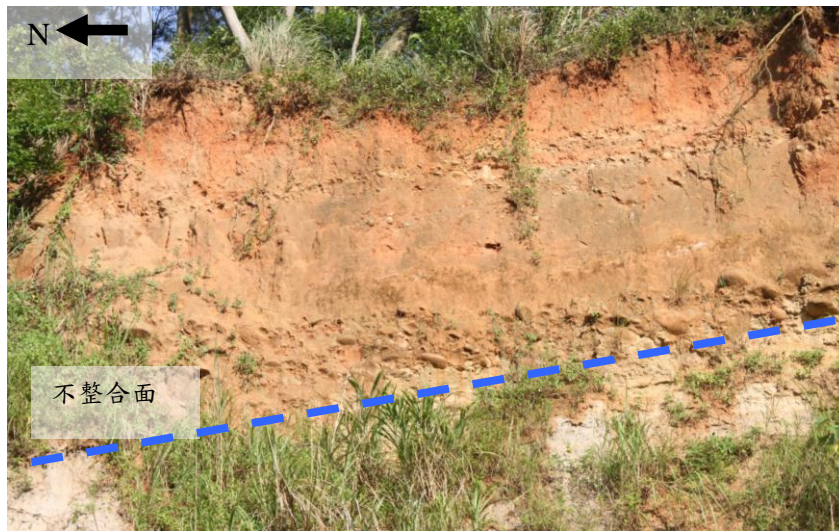


圖 2.6 紅土臺地堆積層 Lt3。由 1—2 公尺厚的紅土層與下伏厚礫石層所組成，礫石層中常見透鏡狀砂層。拍攝地點同圖 2.3b。

2.1.5 臺地堆積層 (t)

即未紅土化的階地礫石層，顆粒以石英質砂岩為主、淘選差且膠結不良，以基質支持為主。主要分布於各大流域兩岸，平均高於河床 20 公尺。

2.1.6 沖積層 (a)

本研究企圖利用鑽井岩芯進行岩相分析，解析全新世海階沉積層並採集定年樣本，以計算全新世以來活動構造的變動速率，特將沖積層分為全新世海相沖積層與陸相沖積層。海相沖積層為未膠結的砂泥互層為主偶夾薄礫石層（圖 2.7），僅數公尺厚，礫石底部或砂層內常見完整海相貝類化石，碳十四年代顯示均為全新世（表 2.2），主要分布於新竹沿海地區（圖 2.8），根據鑽井岩芯解析出之海相沉積層，得知新竹地區自末次冰期最盛期以來（LGM），其最大海侵範圍最遠可至內陸約 5 公里（載熙國小井）。陸相沖積層則以鬆散未膠結之黃色砂層夾厚層礫石層為主，廣布於區域內各溪流之河床。



圖 2.7 全新世海相沖積層（湖口 3 號井 4—8 公尺）。以鬆散膠結之砂層夾泥或基質支持礫石為主，富含海相貝殼化石及碳質物。

表 2.2 全新世海相沖積層鑽井定年資料。

井名	樣本編號	年代 (2 Sigma Calibration, Cal BP)	深度(m)	沉積環境	定年物質
南寮	NL-1	9,303-9,528	16.5	潮間帶	
湖口二號 (下鳳鼻)	HK2-1	4,980-4,770	3.6	潮間帶	shell
湖口三號 (田心子)	HK3-1	6,300-6,020	8.2	潮間帶	plant material
湖口四號 (新月沙灘)	HK4-1	6,640-6,420	11.8	潮間帶	wood
新竹四號 (頂寮)	CC04-1	4,780- 4,410	2.5	潮間帶	Shell
新竹五號 (靈德宮)	HSH5-1	520-330	2.4	潮間帶	plant material
新竹六號 (萬厝)	HSH6-1	5,290-4,480	5.3	潮間帶	wood
新竹八號 (草蚶南)	HCU8-1	1,210-1,010	2.1	潮間帶	Shell

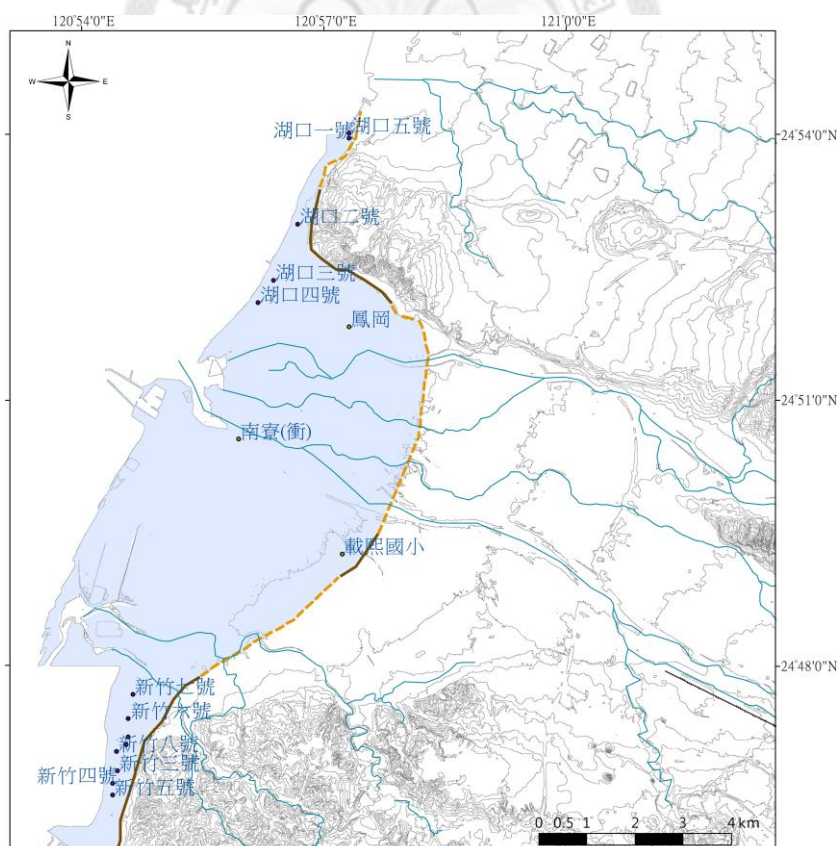


圖 2.8 全新世海相沖積層於新竹地區之分布情形。等高線間距 10 公尺；藍色區域代表末次冰期最盛期以降的海侵範圍；由鑽井資料確定的海侵邊界標示褐色實線；推測的海侵邊界標示褐色虛線；其中載熙國小高程為 13 公尺。

2.2 地質構造

桃竹苗地區西部麓山帶的地質構造可以大平地—新店斷層為界，劃分為內麓山帶與外麓山帶（圖 2.1）。位於斷層東側的內麓山帶構造線呈東北走向，截切中新統；斷層以西為外麓山帶，構造線呈東北與東北東兩組走向，截切上新統至更新統以及晚更新世以來的階地面。東北東走向的斷層帶有右移分量，如斗煥坪斷層、新竹斷層與湖口斷層，且截切前期東北走向的構造如大平地斷層、竹東斷層與新城斷層。在外麓山帶斷層上盤區域都發育一系列斷層相關褶皺（fault-related fold），北翼較窄陡且受斷層截切，而南翼較寬廣平緩。

2.2.1 寶山背斜

呈東北走向、兩翼稍不對稱的形貌，背斜軸部出露卓蘭層、翼部為楊梅層，竹東地區則出露大茅埔礫岩，地層傾角大致相同，介於 5 至 30 度之間。西北翼與柑子崎向斜相鄰、東南翼為竹東斷層所截。本背斜向兩端傾沒，最北端於二重埔西南方被階地堆積物所覆，未跨過頭前溪東岸，飛鳳山丘陵地區未見出露；最南端於三灣地區被階地堆積物所覆。

2.2.2 柑子崎向斜

位於寶山背斜西北方，平行於寶山背斜，同為東北走向，由二重埔西南方往西南延伸至頭份東北方，兩翼地層傾角差異不大，介於 10—30 度之間，本向斜東南翼與寶山背斜西北翼相鄰，西北翼則被新城斷層所截。

2.2.3 青草湖背斜

由新竹科技園區向西延伸至鹽水港，走向呈圓弧形約略為東北東方向，南北翼不對稱，北翼地層傾角呈高角度傾斜約 30 度，鄰近新竹斷層區域可達 50 度；南翼地層平緩，均在 10 度以內，出露地層為皆為楊梅層。另外在背斜西北翼的三姓橋具有規模較小的向斜及背斜各一，係為伴隨新竹斷層前端的拖曳褶皺（劉桓吉，1989）。在頭前溪南岸堆積的紅土、未紅土化階地面皆受到青草湖背斜傾動，顯示晚更新世以來此區域構造運動仍然活躍。

2.2.4 新埔向斜

根據走向以霄裡溪為界大略可分為東西兩段：東段位於關西地區鳳山溪谷之北緣，呈西北西走向；西段位於新埔地區，則呈東北東走向切過鳳山溪谷。由於此向斜主要通過大茅埔礫岩以及部分臺地堆積物，層理不明顯、野外追蹤不易，僅能從背斜兩翼外側的楊梅層位態判斷此構造、以及從礫岩所夾砂岩透鏡體推測向斜軸大略位置（塗明寬與邵屏華，2001）。

2.2.5 湖口背斜

位於湖口臺地上，南翼較平緩，地層傾角介於 15-35 度，往南與新埔向斜北翼相鄰；北翼較陡，傾角 10-50 度，鄰近湖口斷層可達 70 度。背斜軸部覆蓋店子湖層的紅土礫石層，兩翼則出露楊梅層。另外在背斜東段有小規模的向斜、背斜各一，應為伴隨此背斜產生的拖曳褶皺（塗明寬與邵屏華，2001）。

2.2.6 平鎮背斜

位於平鎮臺地，為雙連坡斷層上盤區域，出露楊梅層。軸線為店子湖層之堆積物所掩覆。

2.2.7 大平地斷層

大平地斷層，為逆移斷層，可以分為南北兩段：北段約呈北北東走向，由桃園縣石門向南延伸至新竹縣橫山鄉（耿文溥，1957），長約 16 公里；南段呈東北東走向，由新竹縣橫山鄉附近向南延伸至峨眉鄉，長約 9 公里。南段又稱為北埔斷層（中國石油公司，1978）。塗明寬與陳文政（1990，1991）認為大平地斷層可連接北埔斷層。

2.2.8 竹東斷層

逆移斷層，呈東北走向，從竹東鎮往南延伸至峨眉鄉小北埔，長 9 公里（Tang, 1968；塗明寬與陳文政，1991）。斷層兩側皆出露大茅埔礫岩與楊梅層，上盤地層高角度傾斜約 75 度，下盤平緩傾角界於 10—20 度之間。目前尚未發現晚更新世以來的活動證據，為存疑性活動斷層（林啟文等，2007）。

2.2.9 斗煥坪斷層

為兼具右移分量的逆移斷層，東西走向（林啟文等，2007）。由頭份鎮斗煥坪向東延伸至北埔的社寮坑，總長約 10 公里，以右移截切中港溪河階（Tang, 1968；石再添等，1985；Ota *et al.*, 2009），往東亦以右移方向截切竹東斷層。

2.2.10 新城斷層

逆移斷層，共分為兩段：南段切過竹東丘陵，呈東北走向，由竹東鎮頭前溪往南延伸至頭份東北方，長約 16 公里（鳥居敬造與吉田要，1931），為上新世卓蘭層逆衝至更新世頭嵙山層之上（Tang and Hsu, 1970），斷層沿線受截切階地及河谷特徵十分明顯；北段則切過飛鳳山丘陵，呈東北東走向，由芎林鄉頭前溪往東延伸至關西附近，長約 12 公里（牧山鶴彥，1934），出露地層為楊梅層下段照鏡段逆衝至上段照門段或大茅埔礫岩（塗明寬與陳文政，1990，1991；林啟文，2005）。

2.2.11 新竹斷層

逆移斷層，呈東北東走向（Chung, 1963），由新竹市西南方美山村往東延伸至頭前溪南岸，總長約 9 公里（Pan, 1965；石再添等，1985）。目前尚缺乏出露地表的證據，由地質鑽探結果顯示，斷層截切更新世晚期沖積層，並造成淺部岩層高角度傾斜，因此可能為盲斷層或斷層被全新世沖積層所覆（林啟文等，2007）。

2.2.12 湖口斷層

為逆移斷層，呈東北東走向，由新竹縣湖口向東延伸至桃園縣平鎮，總長約 21 公里（花井重次，1930；中國石油公司，1978；石再添等，1983）。目前尚未發現斷層出露地表的證據，因此被歸類為盲斷層或被全新世沖積層所覆（林啟文等，2007）。線形崖沿著湖口台地北緣延伸，向東西兩端則漸趨不明顯。由鑽井資料顯示斷層跡為向斜軸部破裂延伸至地表的結果（林啟文等，2007）。

2.2.13 雙連坡斷層

線形崖由伯公岡台地陰影窩南方，往東經過平鎮台地雙連坡，最後至中壢西北方，長約 10 公里（石再添等，1983）。由於缺乏岩層錯動的地質證據，且地下岩層連續分布於斷層兩側，林啟文等（2007）建議改為「雙連坡線形」。



第三章、斷層調查

研究區域內主要的活動斷層有新城斷層、新竹斷層與湖口斷層，本章將以地形特徵、野外露頭討論這三條活動斷層的位置與構造特性，並特別針對斷層跡不明確的區域，以地質調查所提供的淺層鑽井共 57 口（表 3.1），搭配地表地質資料建立 A—J 共 10 條與斷層走向垂直的地質剖面，更進一步探討活動構造的形態。

表 3.1 研究區域內之鑽井岩芯。

編號	井名	E 值(TWD_67)	N 值(TWD_67)	高程(m)	井深(m)	鑽井單位
SH94-G01	高鐵車站	252979	2744071	29	70	地調所環工組
SH94-G02	六家國中	252514	2746104	29	65	地調所環工組
SH94-G03	港南國小	241348	2745333	14	100	地調所環工組
SH94-G04	載熙國小	245330	2746007	23	70	地調所環工組
SH94-G05	經國大橋	251505	2744098	55	70	地調所環工組
SH94-G06	麻園國小	246827	2748933	2	50	地調所環工組
SH94-G07	新竹高商	247501	2743421	48	70	地調所環工組
SH94-G08	建功國小(下盤)	249056	2743909	39	70	地調所環工組
SH94-E03	新竹國小	245733	2743337	18	35	地調所環工組
SH94-E05	建功國小(上盤)	249175	2743768	53	60	地調所環工組
SH94-E06	三民國中	247159	2745154	24	50	地調所環工組
SH94-E09	西門國小	244973	2744243	39	45	地調所環工組
SH94-E11	竹中國小	252186	2741684	53	15	地調所環工組
SH94-E12	關東國小	251414	2742026	57	25	地調所環工組
SH94-E13	龍山國小	249843	2742632	51	25	地調所環工組
SH94-E14	建華國中	246685	2742997	49	30	地調所環工組
SH94-E15	竹蓮國小	246598	2743423	39	35	地調所環工組
040101G1	鳳岡	245470	2750726	7	150.3	地調所水文組
180102G1	水源	249554	2745518	23	250	地調所水文組
180201G1	南寮(衝)	243158	2748398	4	150	地調所水文組
180202G1	民富	245018	2744619	17	150	地調所水文組
HK1	湖口一號	245471	2754666	4	50	地調所構地組
HK2	湖口二號	244393	2752869	1	50	地調所構地組

HK3	湖口三號	243899	2751703	2	50	地調所構地組
HK4	湖口四號	243564	2751248	2	50	地調所構地組
HK5	湖口五號	245469	2754775	2	70	地調所構地組
HSH1	新竹一號	240874	2742186	4	70	地調所構地組
HSH2	新竹二號	240816	2742031	4	42	地調所構地組
HSH3	新竹三號	240638	2741487	4	20	地調所構地組
HSH4	新竹四號	240543	2741213	2	20	地調所構地組
HSH5	新竹五號	240549	2740984	2	50	地調所構地組
HSH6	新竹六號	240874	2742566	4	35	地調所構地組
HSH7	新竹七號	240962	2743070	2	50	地調所構地組
HSH8	新竹八號	240629	2741879	2	19	地調所構地組
BH-11	大金山下 BH-1	266406	2755441	205	300	地調所構地組
BH-12	大金山下 BH-2	266392	2755513	192	200	地調所構地組
TF1BH1	頭份 BH1-1	242588	2733605	88	20	地調所構地組
TF1BH2	頭份 BH1-2	242599	2733599	89	25	地調所構地組
TF1BH3	頭份 BH1-3	242558	2733622	88	25	地調所構地組
TF2BH1	頭份 BH2-1	242543	2733338	88	40	地調所構地組
TF2BH2	頭份 BH2-2	242570	2733335	93	25	地調所構地組
TF2BH3	頭份 BH2-3	242568	2733339	89	25	地調所構地組
	新竹一號(中正)	251776	2743610	36	150	中正大學
	新竹二號(中正)	245298	2742958	34	150	中正大學
	新竹三號(中正)	244072	2742523	43	150	中正大學
	新竹四號(中正)	244085	2742474	51	200	中正大學
	三姓橋一號	242073	2742453	12	30	地調所構地組
	三姓橋二號	242079	2742402	16	50	地調所構地組
	三姓橋三號	242072	2742445	14	30	地調所構地組
	三姓橋四號	242075	2742410	16	30	地調所構地組
	三姓橋五號	242059	2742414	16	200	地調所構地組
	頭前溪一號	251944	2743924	35	100	台大地質系
	頭前溪二號	251899	2743942	37	30	台大地質系
	頭前溪三號	251929	2743934	35	30	台大地質系
	頭前溪四號	251786	2743996	36	30	台大地質系
	頭前溪五號	251793	2744018	35	30	台大地質系
	水利路一號	249615	2743990	30	50	台大地質系

3.1 新城斷層

研究區域內，前人對於新城斷層位置與構造型態最為瞭解（Chen *et al.*, 2004；Huang *et al.*, 1984；石再添等，1985；李元希等，2002；陳文山等，2003；林啟文等，2007），不過最北端如何與新竹斷層相接、以及最南段如何與鬥煥坪斷層相接，目前尚未有定論。新城斷層以東北走向切過竹東丘陵，在麻園肚至金山面具有明顯線形，切過頭前溪所有階地（Lt3、Lt2、Lt1、Ft2 與 Ft1；圖 3.1），造成崖高依序為 91、38、36、22 和 18 公尺。新城斷層的地質結構為卓蘭層或楊梅層逆衝至楊梅層、紅土臺地堆積層或臺地堆積層之上，上盤地層受到寶山背斜影響，以 10~20 度向南北傾斜，靠近斷層處以 10~20 度向南傾斜；下盤地層傾角則小於 10 度向南傾斜（圖 3.2）。

新城斷層在頭前溪河床內有良好出露（圖 3.3，圖 3.4），本研究在頭前溪河床另外發現一組走向為西北西的小型背斜構造，且斷層帶內的位態混亂，傾角自 20 至 48 度不等。依據斷層走向，本研究認為新城斷層可能在頭前溪北岸與新竹斷層相交，遂往東匯為一條斷層。另外在麻園肚南方低位階地上有一條東西向的線形（圖 3.3），與主要的線形相交，應為一侵蝕崖。針對竹東丘陵中部區域，本研究根據黃鑑水（Huang, 1984）自雙溪至南坑重新調查 10 個斷層露頭的位置（圖 3.1，圖 3.2），發現大部分斷層露頭都受植被掩蓋已不復見，不過依照岩性差異、線形特徵與上下盤傾角變化，仍能夠判釋斷層跡位置。

新城斷層最南段出露於頭份地區，依據林啟文等（2007）所繪的斷層線通過竹東丘陵地區之後以東北東走向切過國道一號往西南進入頭前溪河床（圖 3.1，圖 3.5）。然而由剖面 7（圖 3.5）可見中港溪階地 Lt2 東側抬升至至少 18 公尺，西側並無抬升，因此本研究認為新城斷層應自啟寶高爾夫球場轉向南切過中港溪紅土階地群 Lt2 與 Lt1，其中 Lt1 崖高至少為 10 公尺（剖面 7 與 9；圖 3.5），接著進入中港溪河床受厚層沖積層覆蓋而未見斷層跡，最後往南為斗煥坪斷層所截。本研究為確定上述線形崖是否為斷層崖並釐清新城斷層在此段的變形形態，以頭份地區的淺層鑽井共建立 GG'與 HH'兩條剖面（圖 3.6）。

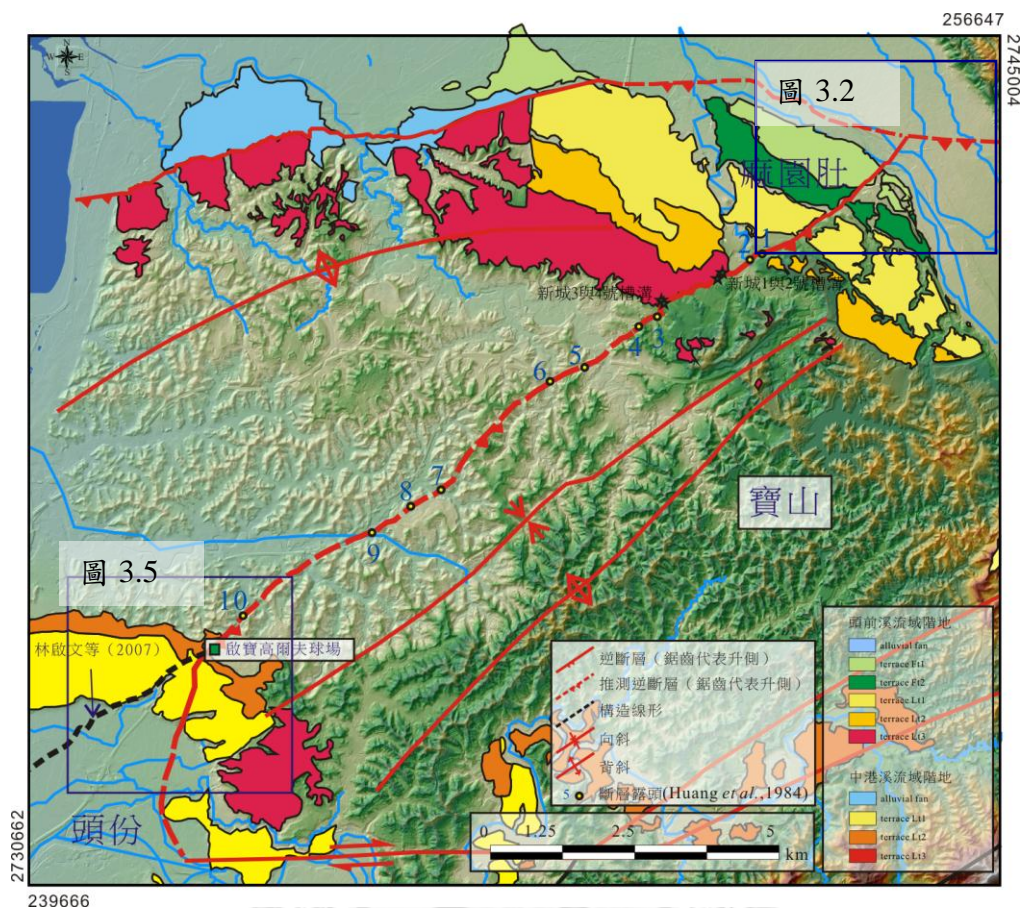


圖 3.1 竹東丘陵斷層與河階分佈圖。

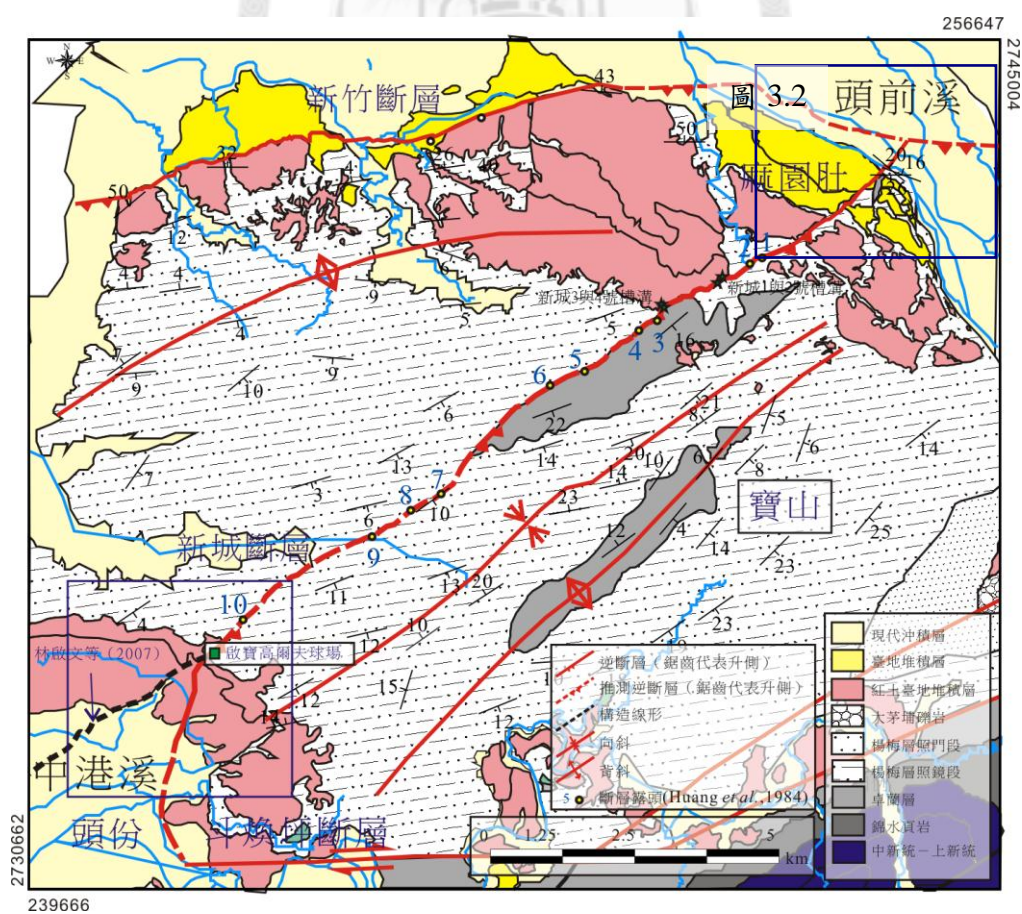


圖 3.2 竹東丘陵地區地質圖。

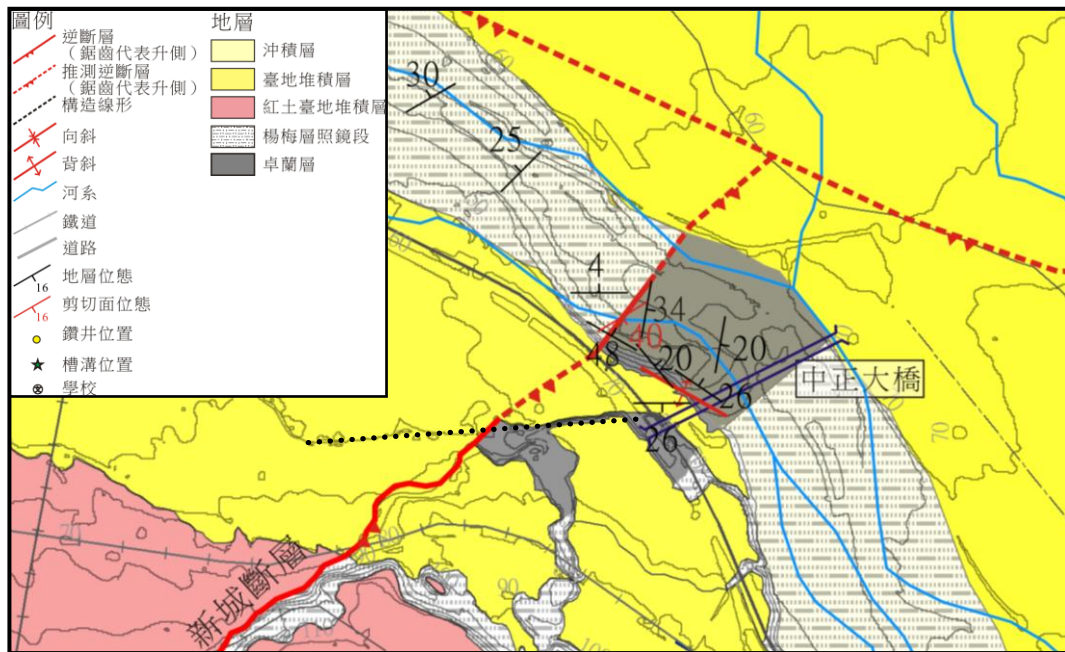


圖 3.3 頭前溪河床區域地質圖。



圖 3.4 頭前溪河床內中正大橋西側新城斷層露頭。本相片攝於 2010 年，受中正大橋防洪工程的影響使下游加速差異侵蝕，現在此露頭已不復見。

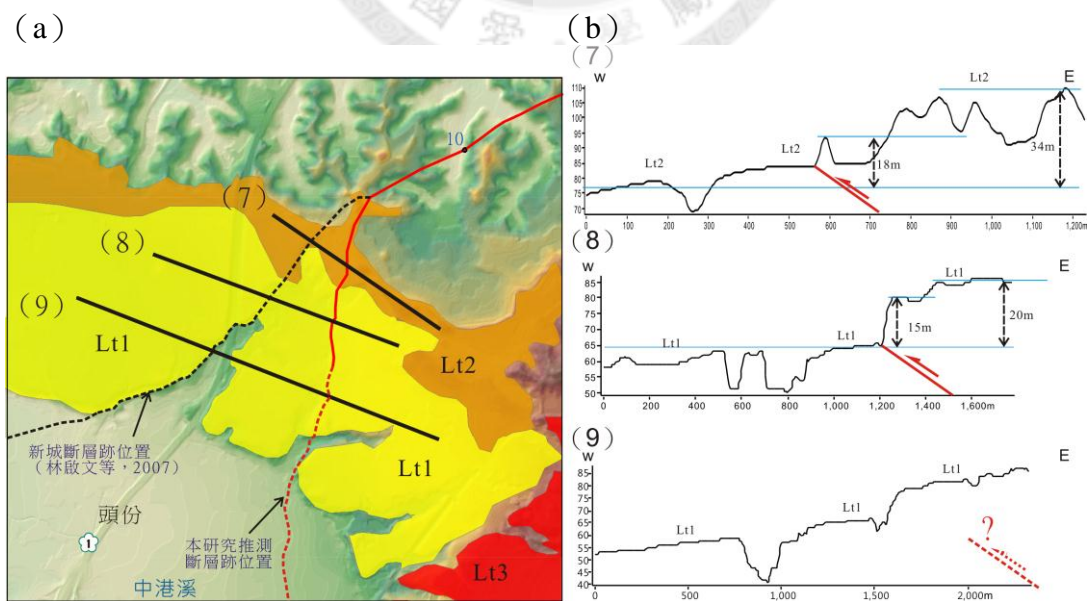


圖 3.5 (a) 頭份區域河階分佈圖。黑線為林啟文等 (2007) 所繪的新城斷層跡位置；紅線為本研究所認為的斷層跡位置 (b) 地形剖面 7~9。

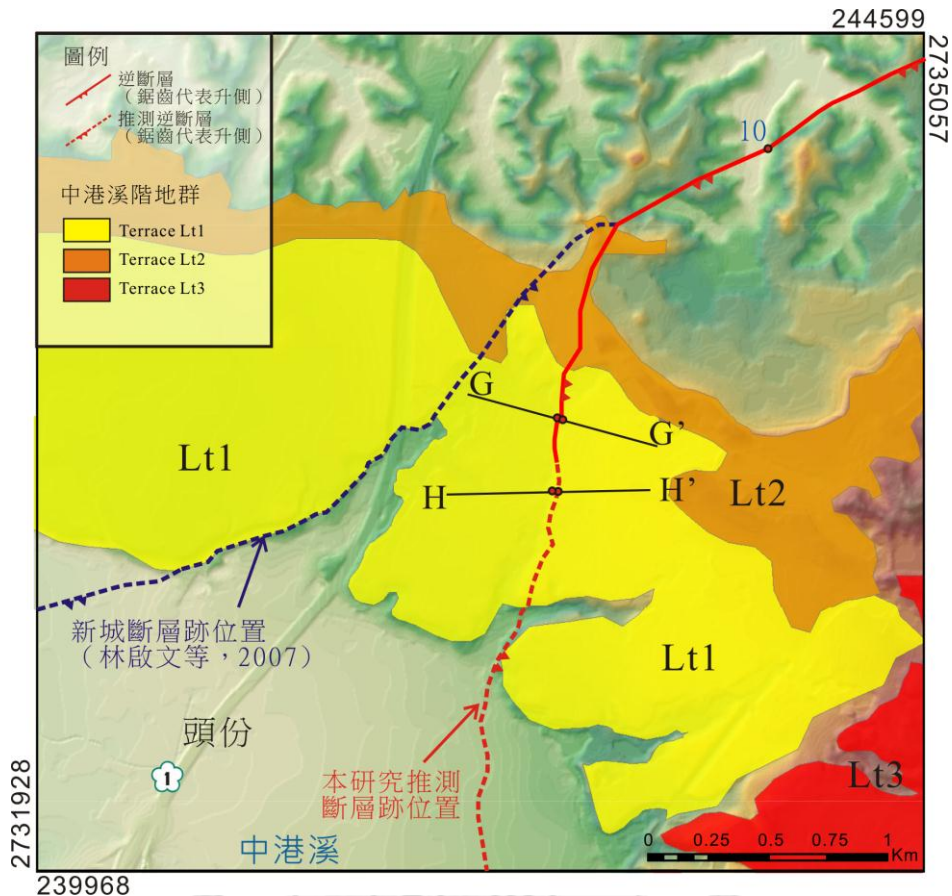


圖 3.6 頭份地區鑽井與剖面位置。

3.1.1 GG'剖面

GG'剖面共計有三口鑽井，由西自東依序為頭份一區 BH3、BH1 與 BH2 井（圖 3.7）。地層為楊梅層照鏡段、紅土臺地堆積層與現代沖積層，紅土臺地堆積層之中可另分出兩層階地礫石層與一層階地砂泥層。在 BH2 中可見基盤楊梅層 0.9~8.3 公尺與 15.3~25 公尺處重覆出現，且在 0.9~8.3 公尺處的基盤地層傾角傾斜 27~55 度，且具有密集剪切帶，故判斷在此井位置基盤至少抬升 14.4 公尺，若連接 BH1 的於 1.5 公尺處的剪切帶，則斷層跡可能出露於頭份一區 BH1 井西側數公尺處並穿出地表，另可得斷層角度 25 度。

3.1.2 HH'剖面

HH'剖面共計有三口鑽井：頭份 2 區 BH1、BH3 與 BH2（圖 3.8）。地層為楊梅層照鏡段與紅土臺地堆積層，紅土臺地堆積層可再分出兩層階地礫石層與一層階地砂泥層，由碳十四年代顯示第一層礫石層為 44630-43710yr BP，本剖面的紅土臺地堆積層的產狀與 GG'剖面相似，階地礫石層皆以基質

由於本剖面未鑽遇斷層帶，地層呈水平狀態且連續性良好，僅見基盤零星的剪切帶，又基盤高度與 GG' 剖面下盤區域相似，故推測本剖面均處於下盤，而新城斷層應出露於更東緣的線形崖。本研究認為新城斷層並未在此終止 (die out)，雖然本剖面並無觀察到斷層現象，代表此地形崖為一崩積崖，然而在本剖面以南，此垂直於中港溪的地形崖仍可延續至中港溪河床，且東側較西側高 15 公尺以上，故本研究認為新城斷層應沿著更東緣的線形崖繼續延伸至中港溪河床內。

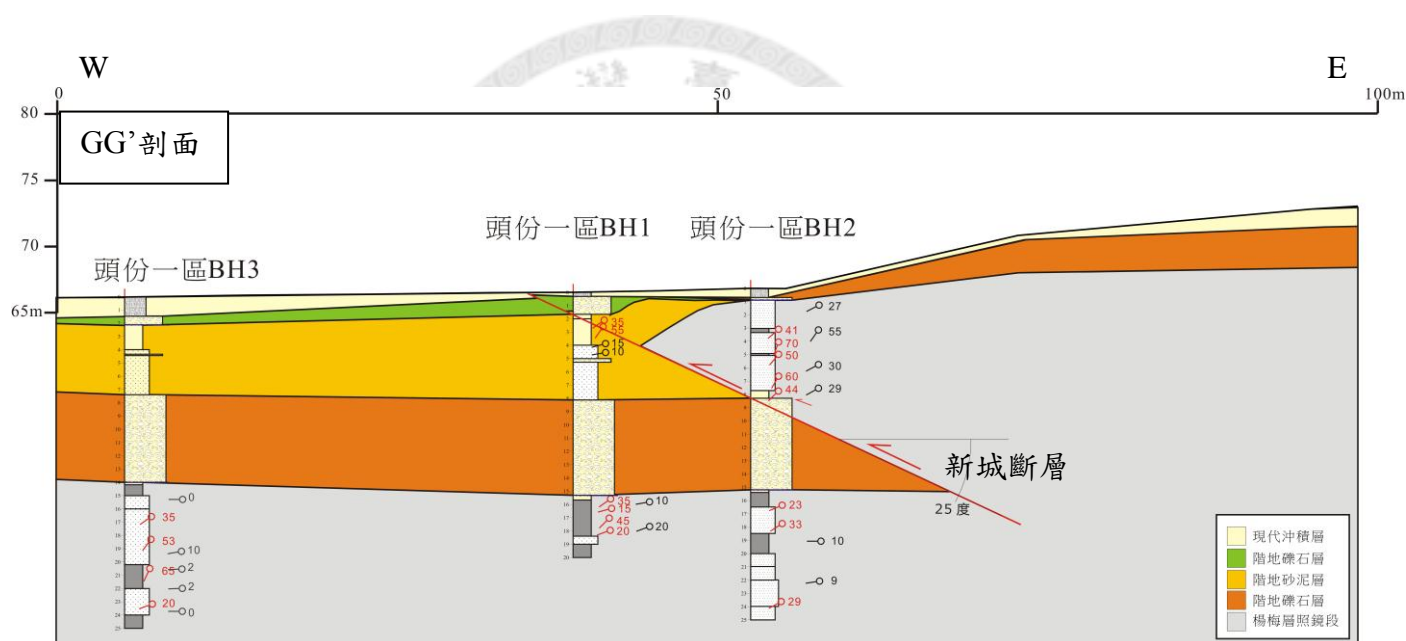


圖 3.7 頭份地區 GG'剖面。剖面位置見圖 3.6。

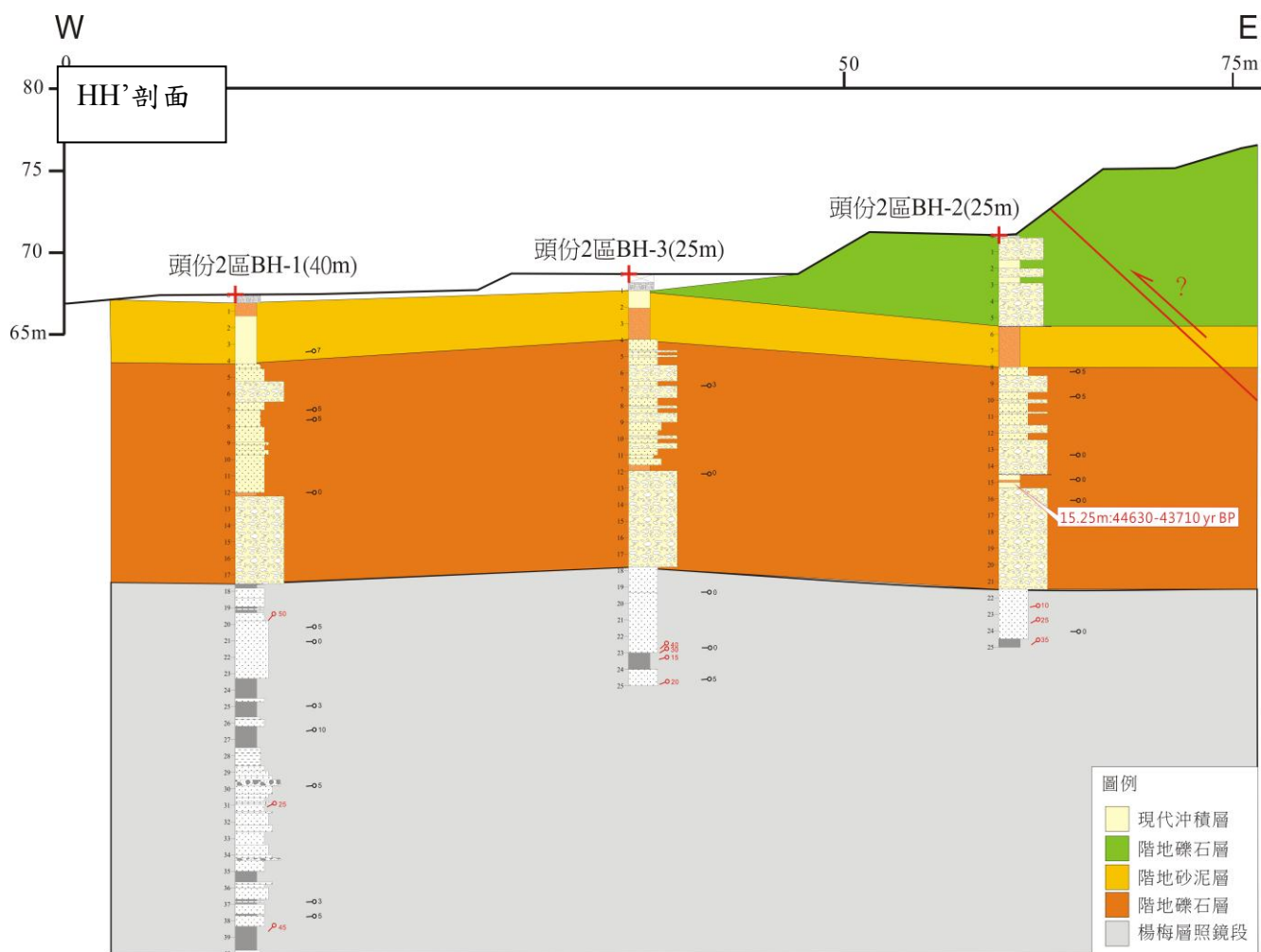


圖 3.8 頭份地區 HH'剖面。剖面位置見圖 3.6。

3.2 新竹斷層

彙整前人的地形研究 (Tang, 1968; Tang and Hsu, 1970; 石再添等, 1985; Chen *et al.*, 2004), 新竹斷層在頭前溪以西切過竹東丘陵北緣, 呈現一東北東走向的明顯線形崖, 高差約 70 公尺, 由西自濱海的美山—客雅、經新竹市區後進入頭前溪河床, 全長超過 13 公里 (圖 3.9a)。由地質資料 (臺灣中油公司, 1978; 林啟文等, 2007; 江婉綺與劉桓吉, 2011) 顯示斷層上盤區域出露頭嵙山層 (楊梅層) 與紅土臺地堆積層, 下盤則覆蓋厚層全新世沖積層。通過頭前溪之後往東與新城斷層匯成一條斷層通過飛鳳山丘陵, 全長約 13 公里, 最後終止於太平地斷層。飛鳳山丘陵地區新竹斷層上盤由老至新依序出露楊梅層照鏡段、照門段以及大茅埔礫岩, 下盤由老至新出露照門段、大茅埔礫岩以及紅土臺地堆積層 (圖 3.9b)。

新竹斷層仍存在以下問題：斷層的位置與延伸長度尚不確定，往西是否延伸至新竹外海、往東是否延伸至飛鳳山丘陵或在頭前溪河床被新城斷層所截，再者，目前的研究在頭前溪兩側地區各使用不同且不對等的地層名稱，將導致新竹斷層上下盤的地層關係混亂。本章將針對以上問題深入討論。



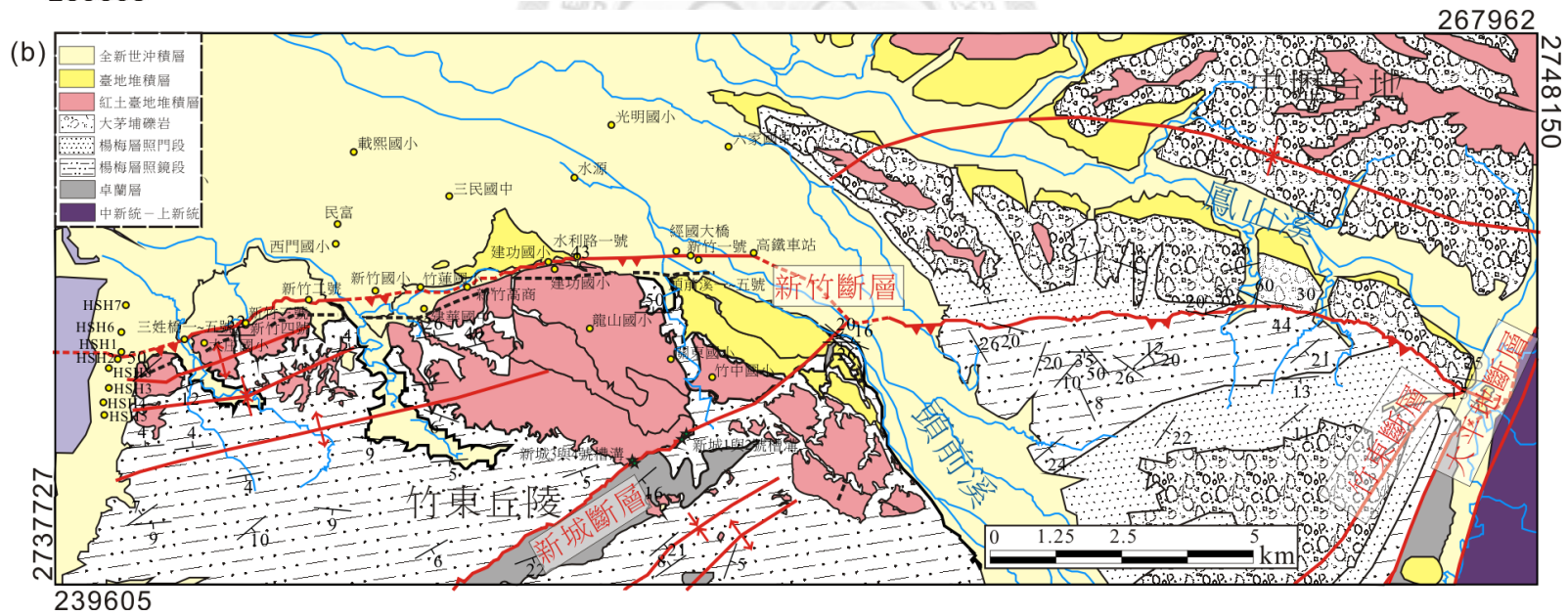
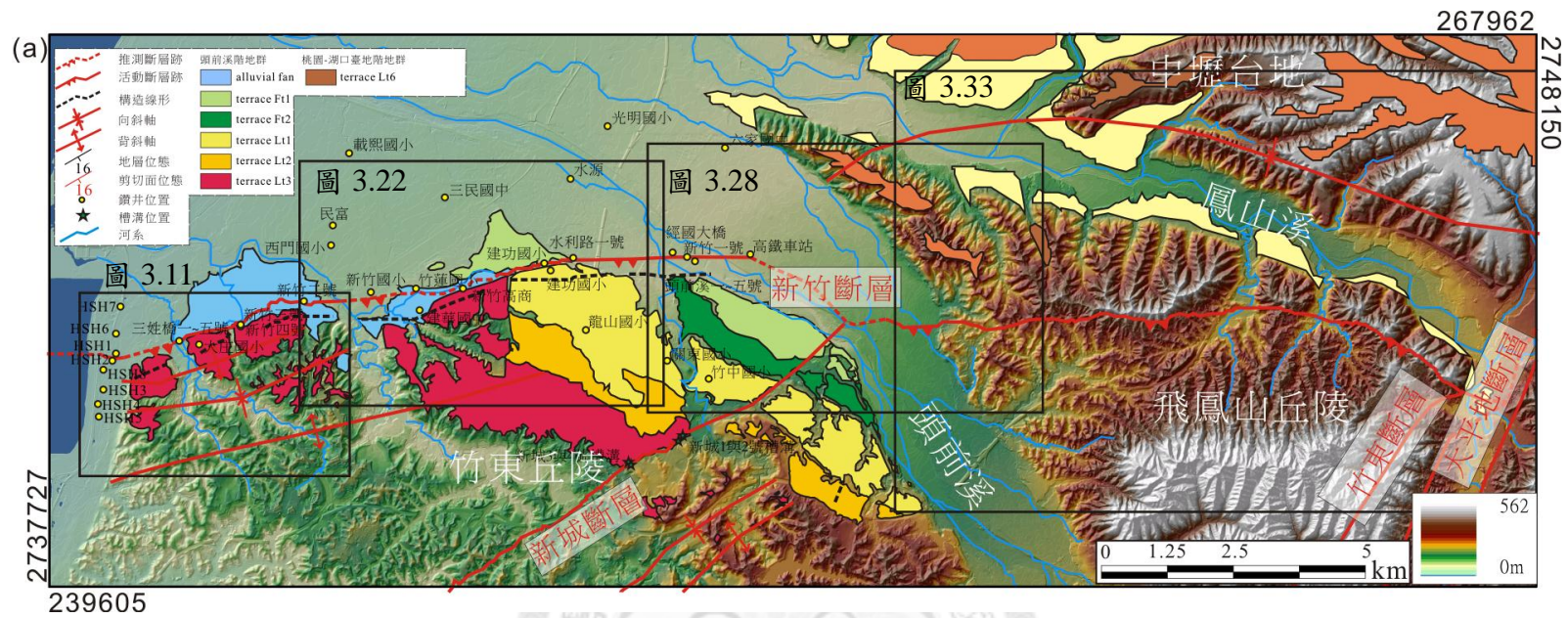


圖 3.9 (a) 新竹區域數值地形模型。(b) 新竹區域地質圖。修改自劉桓吉 (1989)、塗明寬與邵屏華 (2001)。

3.2.1 美山－客雅

新竹斷層在本區域主要呈現南北兩條約略平行的線形，走向呈東北東（圖 3.10a）。北側的線形連續性較佳，位於鐵路南側，自三姓公溪東岸延伸至客雅地區，崖高約 1—4 公尺（剖面 1，圖 3.10b），總長約 2 公里，由階地對比可將三姓公溪階地分為 Ft1 至 Ft4 共四階，北側的線形在三姓公溪東岸切過 Ft1 與 Ft2 河階面，崖高分別為 0.7 與 3.7 公尺（圖 3.12；圖 3.13）；不過依照走向的連續性往西延伸，在三姓公溪西岸此地形崖已不復見；南側的線形分佈較不連續，由數段長度 300 至 600 公尺不等的線形所組成，崖高平均 30 公尺（剖面 2，圖 3.10b），自美山延伸至客雅，總長超過 4 公里。兩條線形均往東延伸經過客雅溪。

野外調查的結果顯示（圖 3.11），本區域地層為基盤楊梅層照鏡段、紅土臺地堆積層、臺地堆積層與全新世沖積層。照鏡段廣泛分佈於竹東丘陵北緣，為厚砂泥岩互層夾砂岩或泥岩，砂泥岩互層多具平行紋理、波狀構造與經絡狀構造（wavy and flaser），偶夾數公分厚的薄層礫岩，圓礫，直徑多小於 20 公分且常見貝屑富集；砂岩多呈黃棕色，具有平行層理、平板狀交錯層，常見貝殼碎屑；泥岩則多呈青灰色塊狀泥岩（massive mud）。不整合於基盤之上的紅土臺地堆積層，屬於頭前溪階地群的高位紅土階地 Lt3，由數公尺厚的礫石層與一薄層紅土所組成，然而部分區域僅見礫石層而未見紅土。

上盤基盤岩層受到青草湖背斜以及兩個小規模褶皺（A1 背斜、S1 向斜）所影響，以 4—15 度向南或北呈緩傾斜，不過靠近斷層處地層突然變陡，以 15—50 度向北傾斜，不整合面之上的紅土臺地堆積層在近斷層處亦呈高角度往北傾斜，顯示上盤區域的變形以褶皺變形為主。綜合地形判釋與野外調查的結果，南側的線形截切高位紅土階地 Lt3，且線形崖高達 30 公尺，代表新竹斷層曾沿著此線形多次活動；北側的線形已截切或擾動全新世沖積層與低位河階，代表新竹斷層的變形帶最前緣的位置則顯示新竹斷層的高活動性。

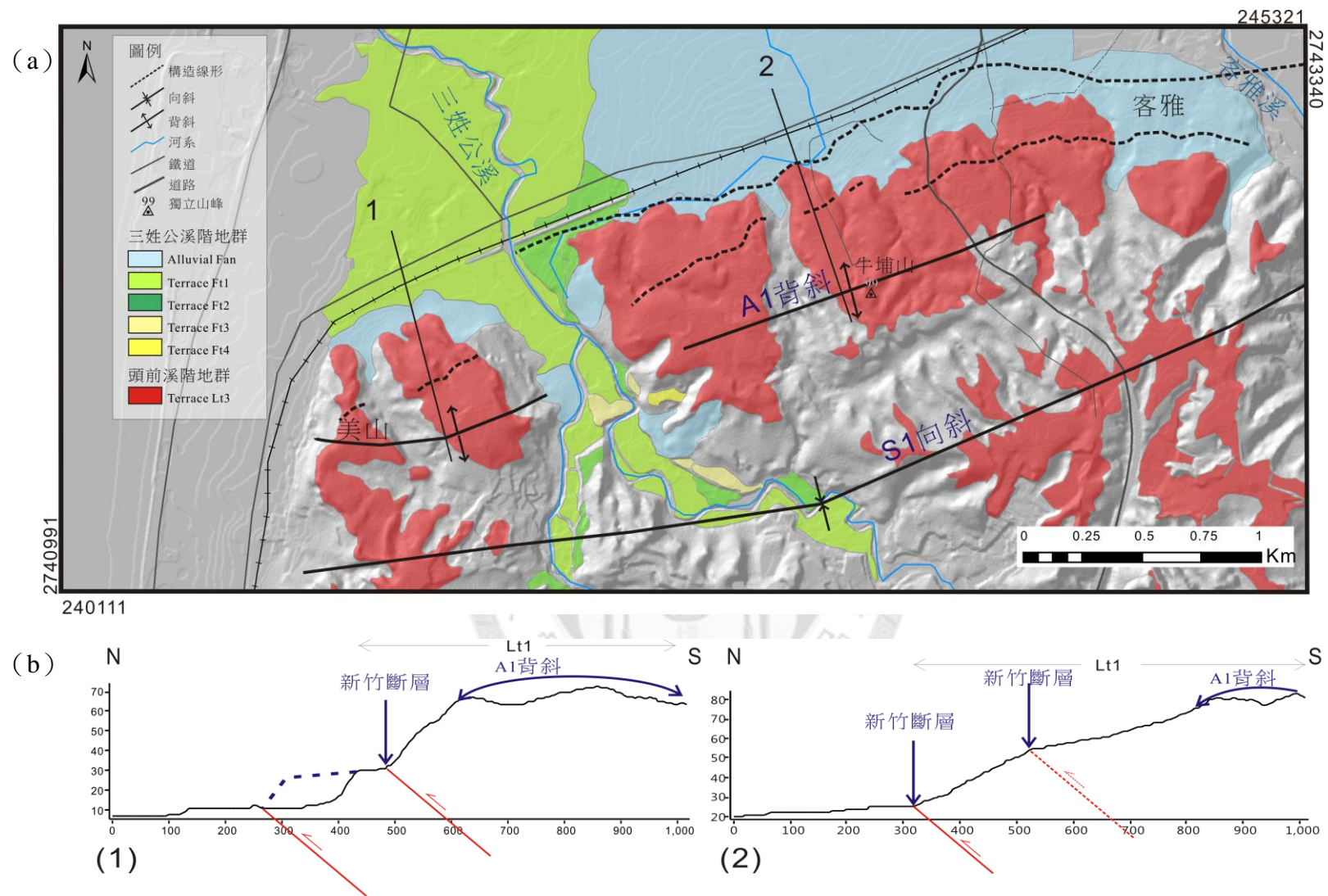


圖 3.10 (a) 美山—客雅區域河階分布圖。(b) 地形剖面。

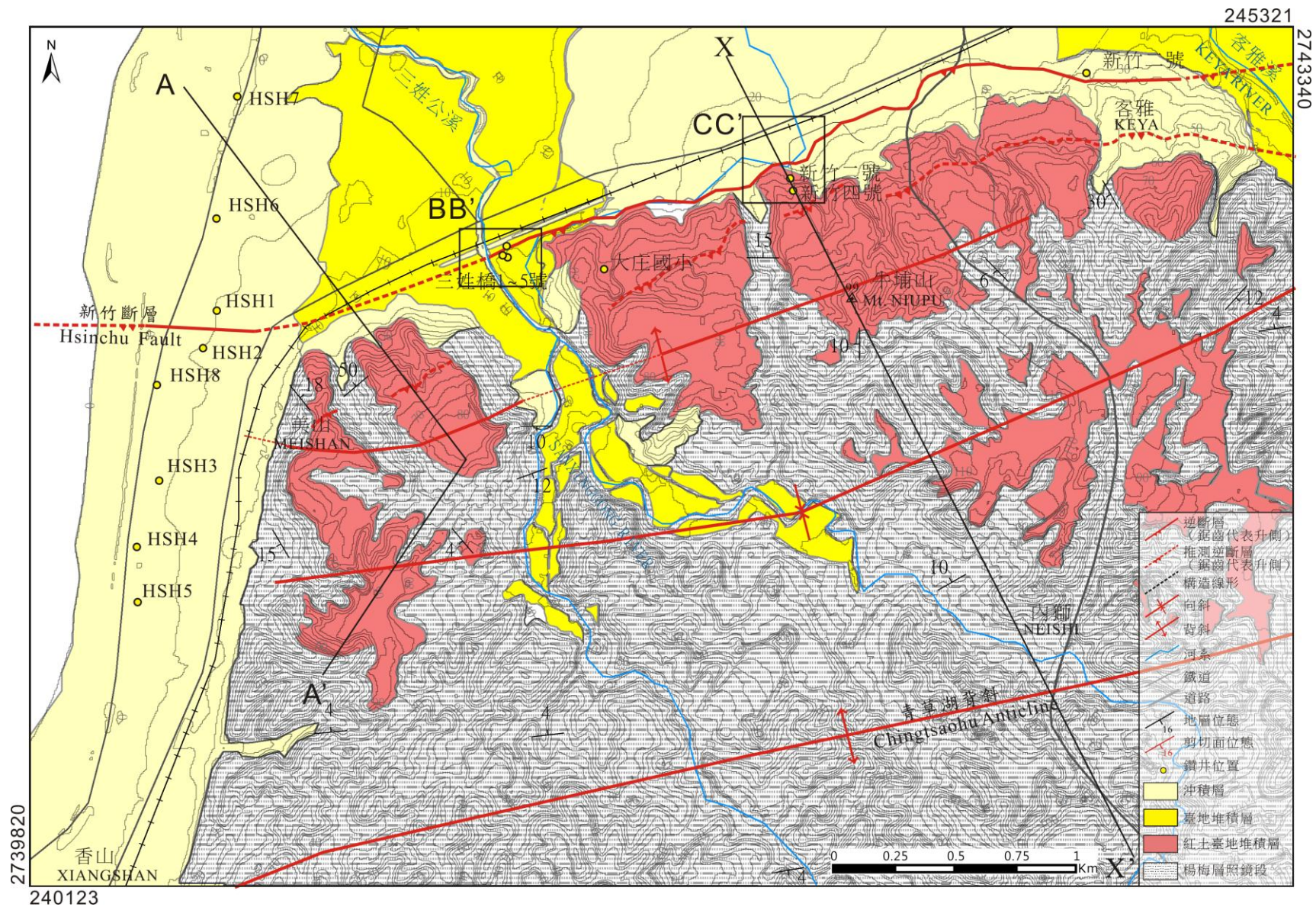


圖 3.11 美山—客雅區域地質圖，部分位態引自劉桓吉（1989）。等高線區間為 5 公尺，等高線高度以灰色數字標示。

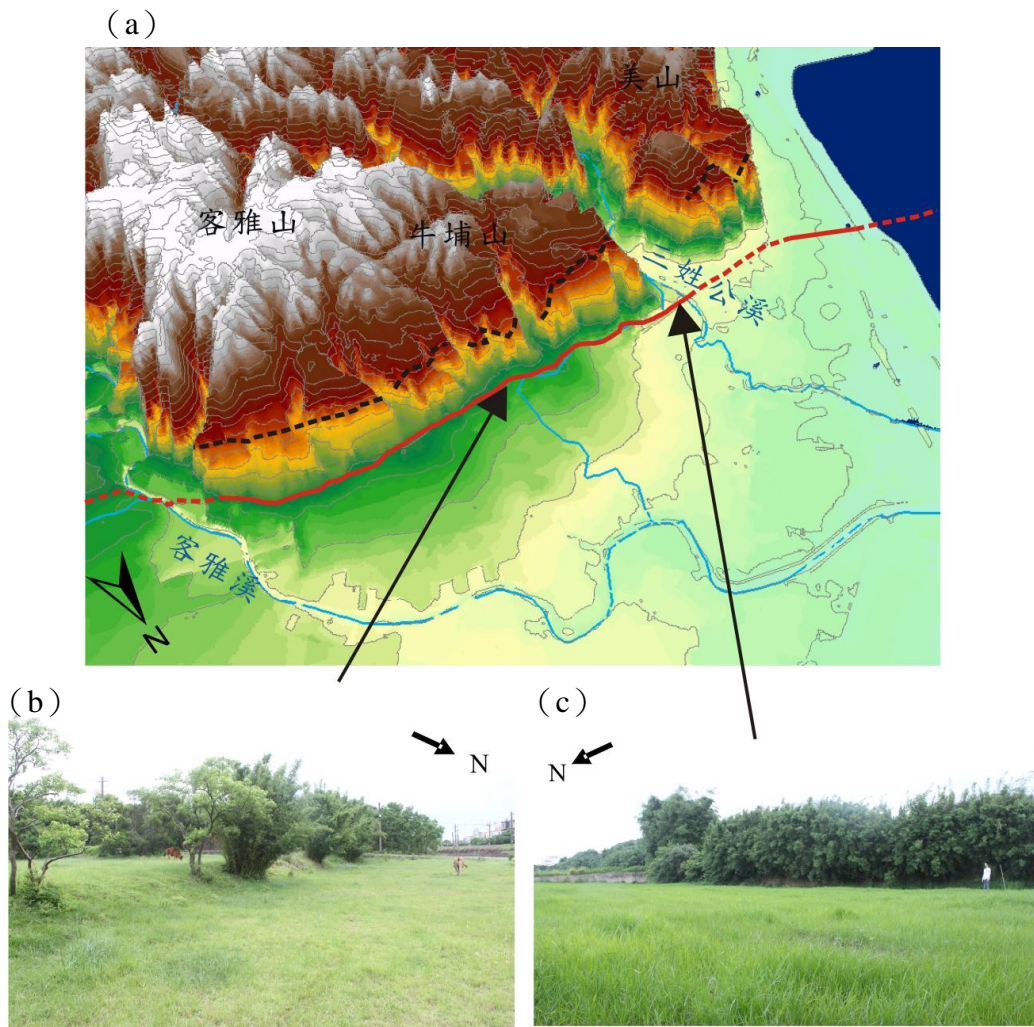


圖 3.12 (a) 美山—客雅地區立體地形圖，等高線間距 5 公尺，垂直放大 10 倍。(b) 牛埔山北側沖積扇北緣構造崖高 1.5 公尺。(c) 三姓公溪東岸低位河階 Ft2 面上構造崖高約 4 公尺

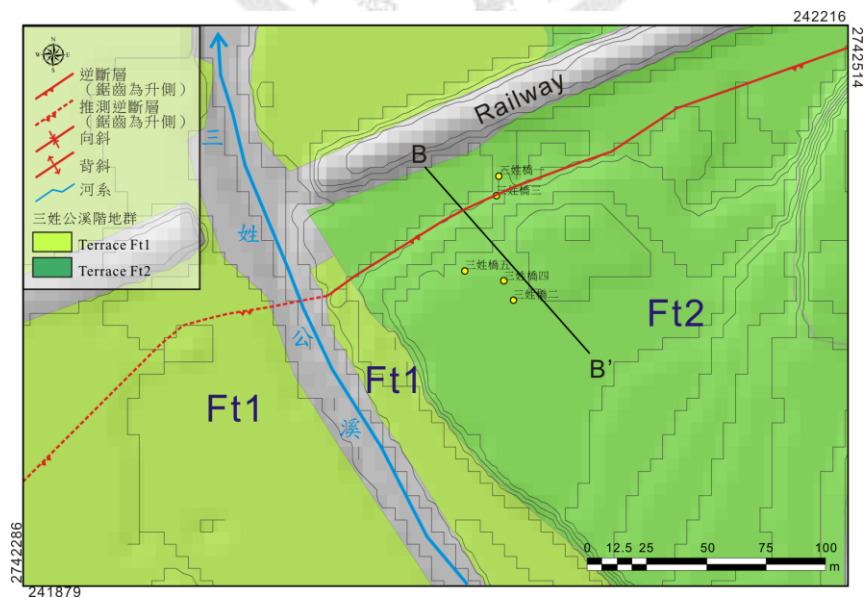


圖 3.13 三姓公溪東岸的低位河階與新竹斷層分布圖。Ft1 與 Ft2 上有一垂直於河流走向的線形，線形崖分別為 0.7 公尺與 3.7 公尺高（楊貴三與蔡怡真，2003）。位置示於圖 3.11。

3.2.2 美山－客雅區域淺層鑽井

為了確定新竹斷層在美山－客雅區域出露的切確位置，共建立三個淺層鑽井剖面（AA'、BB'與 CC'剖面）分別詳述於下。

3.2.2.1 AA'剖面

位於新竹濱海地區（圖 3.11），由北至南共計八口鑽井：依序為 HSH7、HSH6、HSH1、HSH 2、HSH8、HSH3、HSH4 與 HSH5（圖 3.14）。地層對比的結果由老至新共分為四層：一、楊梅層照鏡段，膠結良好厚層砂泥岩互層夾砂岩或泥岩，環境為潮間帶，碳十四年代均 $>43,500$ yr BP，為本研究主要出露的基盤岩層。二、紅土臺地堆積層，為 10~30 公尺厚的礫石層，以顆粒支持為主，常見土壤化構造且基質常見再積性紅土，沉積環境為瓣狀河系，碳十四年代均 $>43,500$ yr BP，由鑽井位置推測本剖面的紅土臺地堆積層屬於頭前溪紅土階地 L13 的沉積物。（3）全新世海相沖積層，由數公尺厚的鬆散砂層偶夾薄層礫石所組成，常見海相貝屑富集，環境為潮間帶，碳十四年代顯示均為全新世。（4）全新世陸相沖積層，鬆散膠結砂層，環境為潮上帶風成砂丘。

本研究之討論範疇為新期構造，主要探討 10,000 年或 100,000 年以來的地層是否受活動構造所錯動或變形，根據陳於高等（2006）對研究區域內所有紅土階地進行螢光定年，結果皆屬於 100,000 年以內，故本研究定義老於紅土臺地堆積層的地層為基盤岩層。不過，由於碳十四定年的下限約為四萬年，故無法由碳十四年代區分基盤岩層與較年老的紅土臺地堆積層。

楊梅層照鏡段在八口井內皆有記錄，在 HSH1 與 HSH8 之間的基盤落差達 21 公尺，HSH2 以南基盤傾角多為 10~20 度且具有密集剪切帶，而 HSH8 以北區域地層約略水準且無密集剪切帶，故推測 HSH2 以南區域為上盤。紅土臺地堆積層主要分佈在下盤區域，另外在 HSH2 與 HSH8 兩井之內亦有記錄，沒有發現剪切構造，且紅土臺地堆積層在靠近斷層處有增厚的趨勢，略呈一楔形體；海相與陸相沖積層則沒有明顯的變形，推測為濱海區域強盛的侵蝕作用使構造崖不復存在。由美山村北緣的線形，依走嚮往西側延伸可能出露斷層的位置與鑽井資料顯示，新竹斷層跡應出露於 HSH1 與 HSH2 兩井之間，並且繼續往海側延伸至新竹外海。

另外，假設紅土階地 Lt3 形成當時的環境與現生河道相同，可將階地面與現生河床高差當作構造抬升量(Iwate *et al.*, 1984; Molnar, 1987; Rockwell *et al.*, 1984; Burbank *et al.*, 1996)，若同時考量河流沉積與下切作用、侵蝕基準面變動與氣候變遷等因素，估算階地的抬升量則需要假設以下條件(Lave and Avouac, 2000)：假設氣候變化極小以致河流加積或下切形態並無改變；河流侵蝕基準面無顯著變化，未造成沉積空間的改變；河流沒有區域性的加積或下切作用。若以上假設均為成立，則基盤的下切量可約略相等於基盤抬升量，由於頭前溪階地群屬於岩石階地(strath terrace)，因此在野外調查基盤與紅土臺地堆積層之間的不整合面高度，即基盤面的高度，可以用來估算新竹斷層的抬升量。本研究修改 AA'剖面並配合地表地質資料進行地層對比，還原受海進事件所侵蝕之前的地層剖面(圖 3.15)。可見基盤面的高度越靠近斷層帶越低，且紅土臺地堆積層在近斷層處以高角度向北撓曲，形成單斜褶皺(monocline)，顯示上盤地層於近斷層處均以褶皺變形為主。根據野外調查的基盤面高度與鑽井資料所得的基盤深度，並選取盡量遠離斷層影響、及侵蝕作用的範圍，可知頭前溪高位紅土階地 Lt3 的基盤面受新竹斷層抬升至少 94 公尺。

3.2.2.2 BB'剖面

本剖面位於三姓公溪東岸的 Ft2 河階面上(圖 3.13)，共計有五口鑽井，位置緊鄰斷層崖兩側，由北至南依序為三姓橋 1、3、5、4 與 2 號(圖 3.16)。對比結果顯示地層由老至新共分為三層：楊梅層照鏡段、紅土臺地堆積層與全新世沖積層。本剖面照鏡段在三姓橋 5 號與 1 號之間落差 30 公尺，在三姓橋 5 號 25 公尺深處具有強烈剪切帶，應為主斷層經過。若將此點連接至地表的構造崖則可得斷層向南傾斜 40 度。

3.2.2.3 CC'剖面

CC'剖面由北至南共計有三口鑽井：新竹 2 號、新竹 3 號與新竹 4 號井(圖 3.18)。其中新竹 2 號位於剖面以東約 1 公里處，現依相對位置將其投影至 CC'剖面以進行上下盤的地層對比，自老至新共分為三層：楊梅層照鏡段、紅土臺地堆積層與沖積層。本剖面照鏡段分別在新竹 3 號井 70.4m 與新

竹 4 號 97.45m 具有強烈剪切作用 (圖 3.20)，淺於此深度的地層傾角均為 20~75 度並具有密集剪切帶，而深於此處的地層均呈水準且無密集剪切帶，故研判新竹斷層切穿新竹 3 號井與 4 號井的基盤岩層，並切進紅土臺地堆積層。連接兩井主要剪切帶可得斷層角度為向南傾斜 20~30 度，但斷層切進礫石層與沖積層之後很可能受岩性影響，斷層尖端線於近地表深 20 公尺內轉以高角度擴展至地表，而在新竹 2 號與 3 號井之間出露。另外，經野外調查結果，較遠離近斷層變形帶的基盤高度為 38 公尺，約略與紅土面平行，以 15 度向北傾斜，至近斷層處以高角度傾斜，在斷層上盤區域以褶皺作用為主，至少抬高 63 公尺 (圖 3.19)。



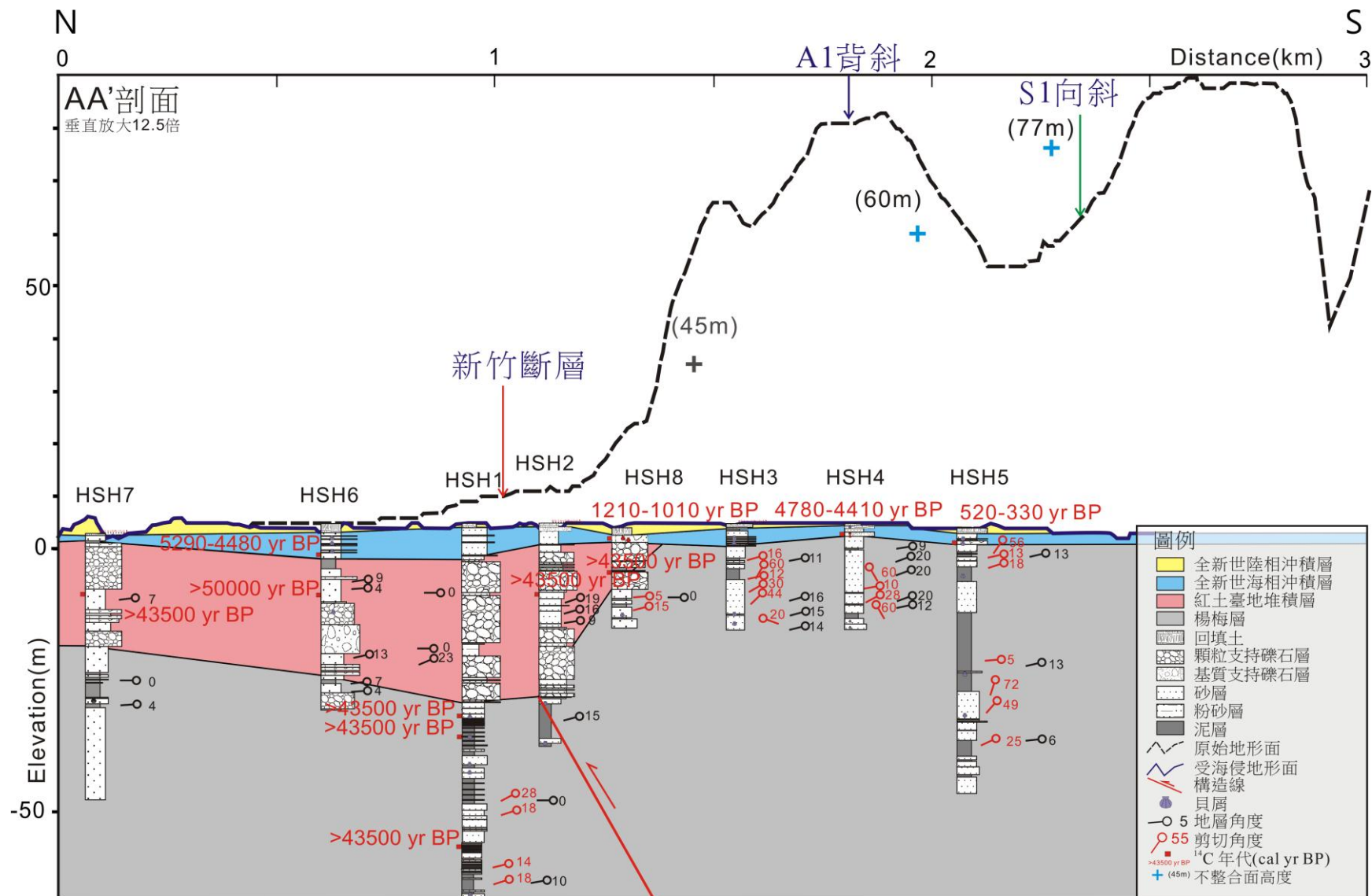


圖 3.14 新竹斷層 AA'鑽井剖面，垂直放大 12.5 倍。所有年代皆為碳十四定年校正過後年代 (^{14}C calibrated year before present, 2 sigma)，虛線代表尚未受到末次冰期以來海侵事件的原始地形面，深藍色實線則代表現生已受海侵的地形面。剖面位置見圖 3.11。

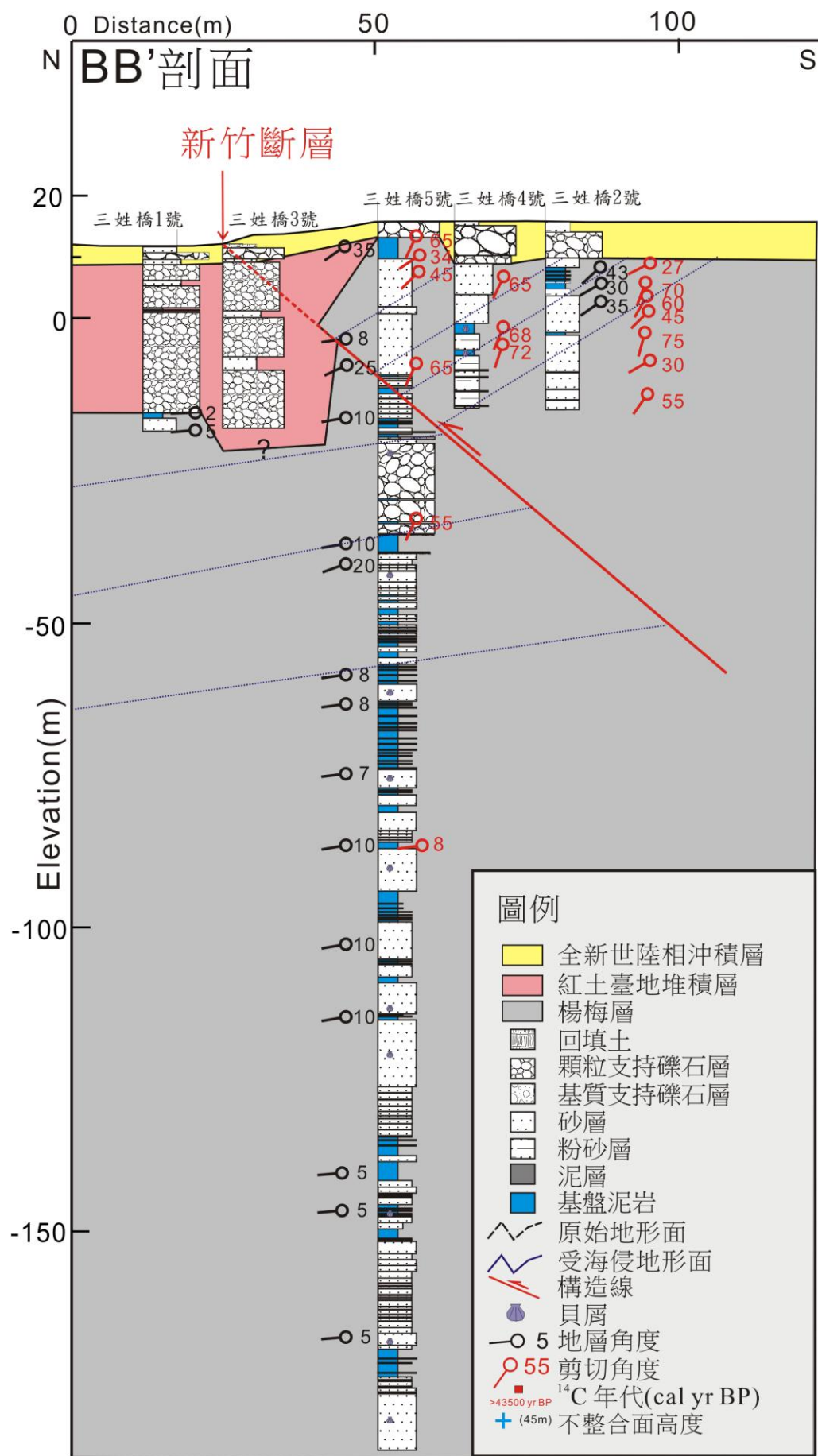


圖 3.16 新竹斷層 BB'剖面。斷層跡位於三姓橋 1 號與 5 號之間。本剖面位置見圖 3.11 與圖 3.13。

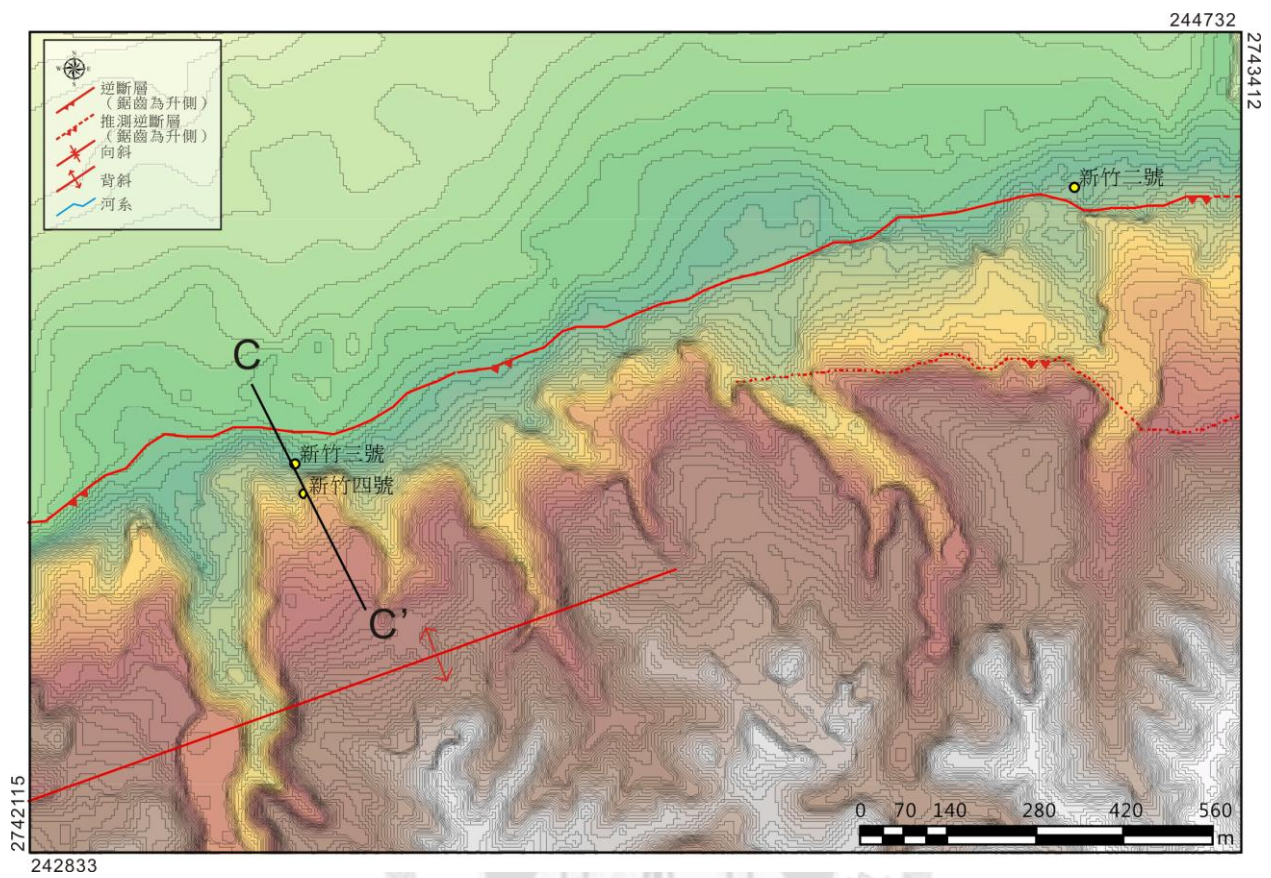


圖 3.17 CC'鑽井剖面位置。其中新竹 2 號位於本剖面東側約 1 公里處。

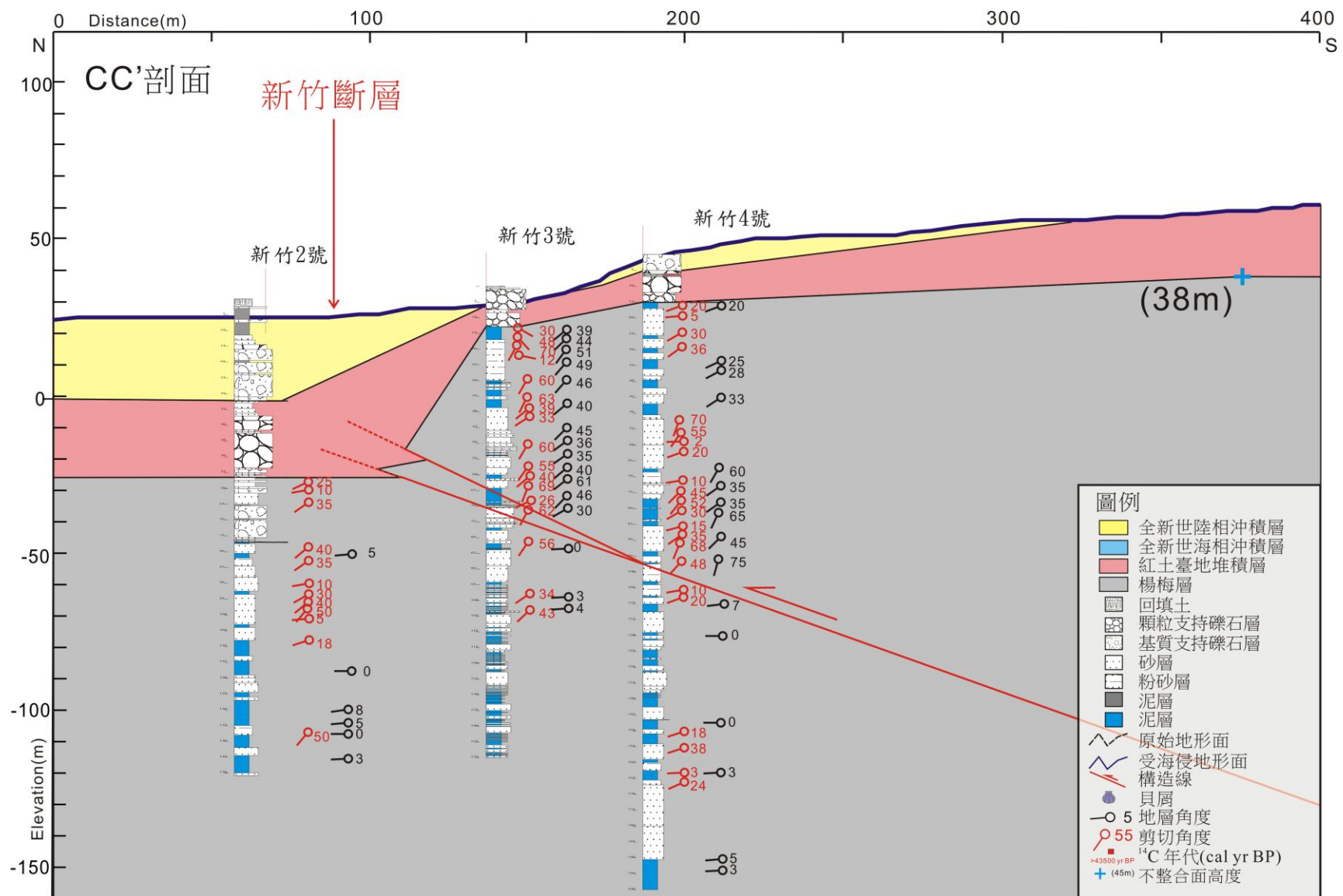


圖 3.18 新竹斷層 CC'剖面，剖面位置見圖 3.17。

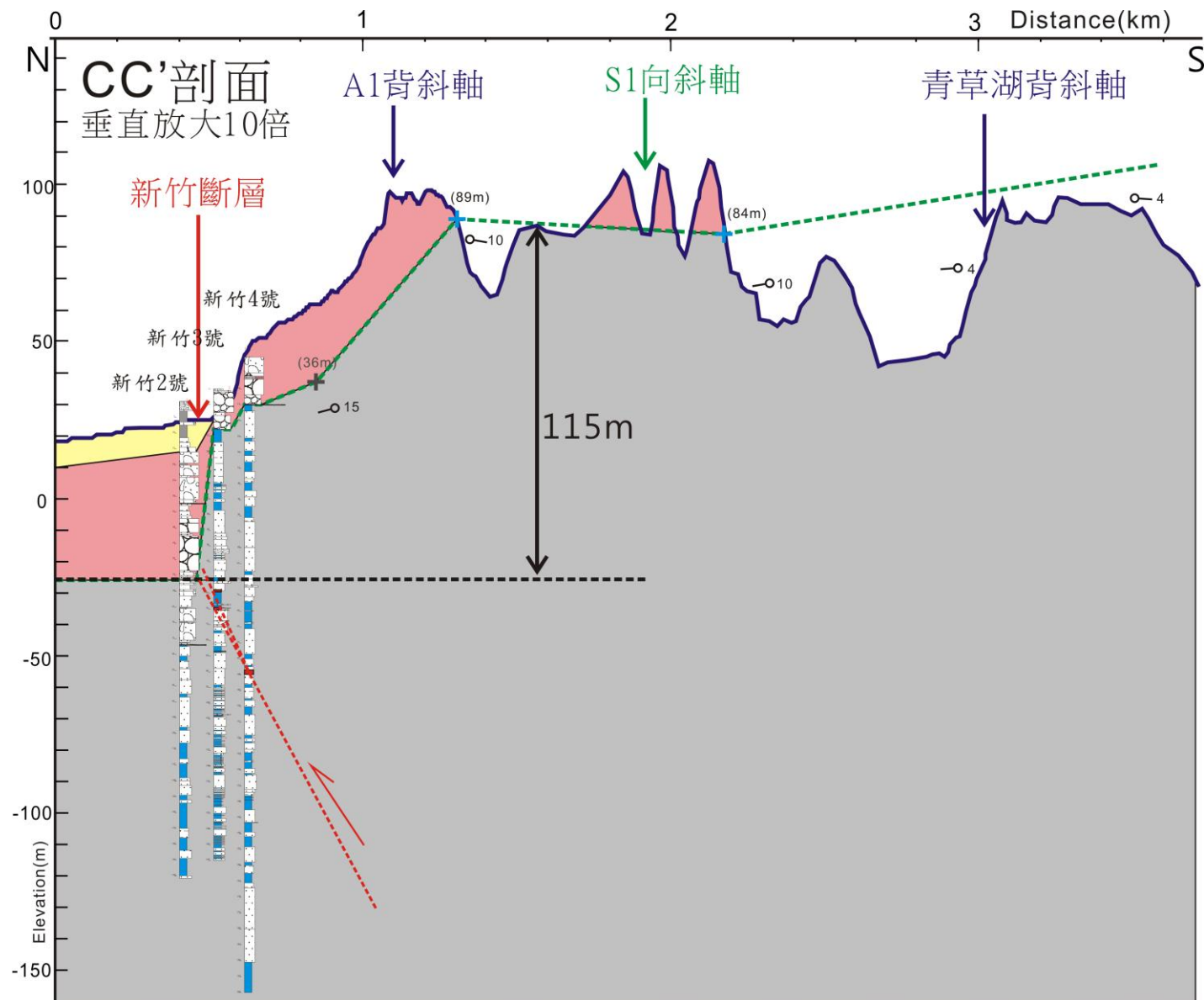


圖 3.19 新竹斷層 CC'剖面，長寬比 10:1，剖面位置見圖 3.17，圖例同圖 3.18。



圖 3.20 中正大學新竹四號井第 92—100 公尺。淺於 97.45 公尺的基盤楊梅層皆以高角度傾斜且具有密集剪切帶；深於此深度的楊梅層呈略略水準且無強烈剪切帶，故推測新竹斷層主斷層通過此深度。

3.2.3 新竹市區

新竹市南方具有兩組線形，北側的線形切過客雅溪扇階 Ft2、沖積扇與頭前溪紅土化階地 Lt3；南側的線形則切過客雅溪扇階 Ft2、紅土化階地 Lt3 與 Lt1（圖 3.22a）。北側的線形可依走向再分為兩段：西段自客雅溪經過新竹教育大學北門、竹蓮國小南側，崖高 6—8 公尺（剖面 3，圖 3.22b），走向近東西向，全長約 1.3 公里；東段沿著學府路、博愛街與赤土崎一街北側的排洪道至建功國小北門口，再往東經過公道五路後即告消失，崖高 13 公尺（剖面 4、5，圖 3.22b），走向為東北東，長度約 3 公里。

南側的線形則依走向可分為三段：最西段自客雅溪切過育賢國中北側，接著往東延伸至建華國中，崖高超過 75 公尺（剖面 3，圖 3.22b），走向為東西向，長度約 1.2 公里；中段以東北東走向緊鄰十八尖山北側山腳，依序經過建華國中、培英國中、新竹高中與新竹高商校區，崖高超過 80 公尺（剖面 4，圖 3.22b），長約 1.3 公里；最東段則切過清華大學校區、光復路與國道 1 號，之後往東地形無起伏，崖高約 10 公尺，（剖面 5，圖 3.22b），走向為東西向，長度約 2.4 公里。

綜合地形分析與野外調查結果，繪製出本區域地質圖（圖 3.23），可見上盤的基盤岩層受青草湖背斜的褶皺作用呈緩起伏，在美山－客雅地區的小規模褶皺並沒有連接至此。由十八尖山北緣基盤往北傾斜超過 50 度，且不整合面之上的紅土臺地堆積層亦往北傾斜，顯示靠近斷層處仍以褶皺作用為主。地表並無發現斷層露頭，僅在十八尖山北側發現磚牆破裂的現象（圖 3.21），代表近期之內新竹斷層上盤仍持續抬升。

南側的線形截切紅土階地 Lt1 與 Lt3，且線形崖高達 80 公尺以上，代表新竹斷層曾沿著此線形多次活動；北側的線形截切紅土階地 Lt3、臺地堆積層與全新世沖積層，顯示新竹斷層的變形前緣已往北移動至此。此外，由階地對比的結果，下盤區域的 Lt1 階地面可能廣受侵蝕且覆蓋較年輕的 Ft2 階面，而 Ft2 階面並無錯移變動，顯示 Ft2 階面形成之後新竹斷層並沒有活動跡象。

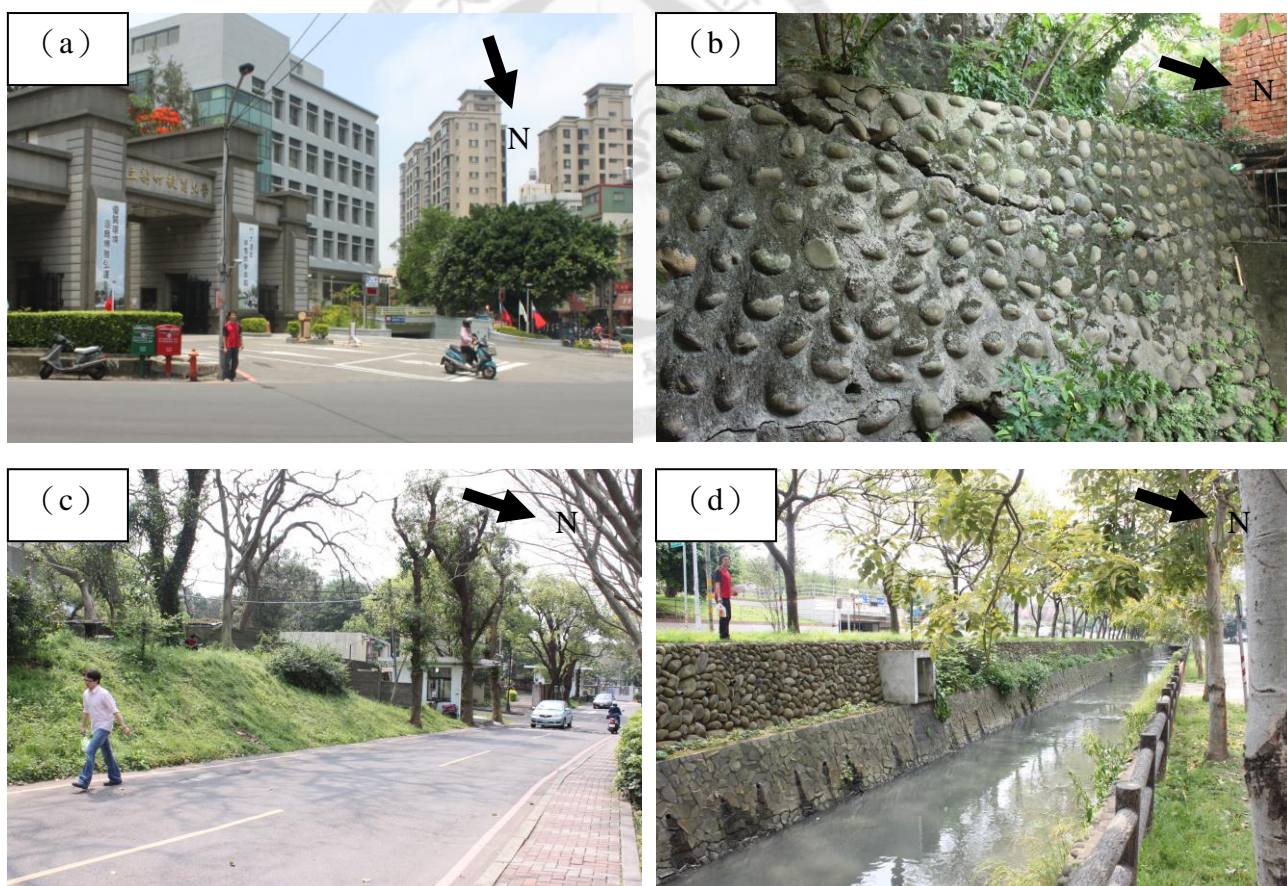
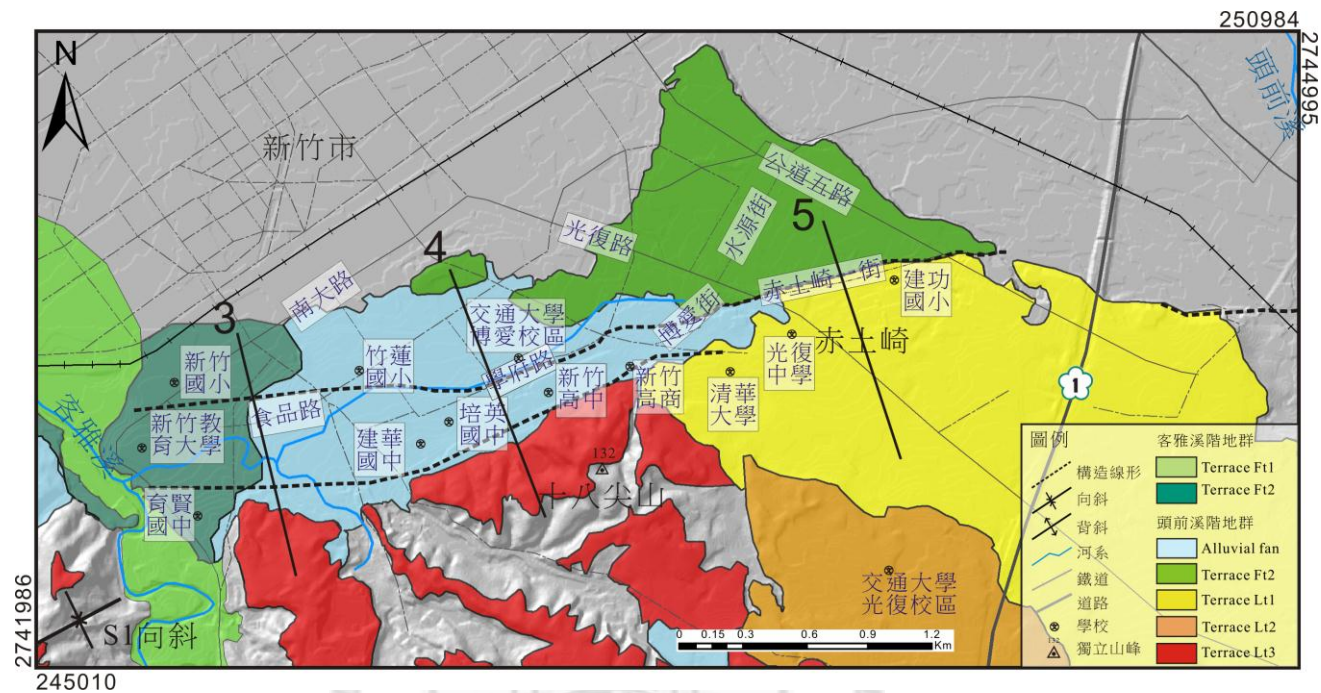


圖 3.21 新竹市區內構造線形崖。(a) 北側線形在客雅溪扇階 Ft2 上形成 1.5 高的崖，新竹教育大學正門。(b) 十八尖山北側學府路旁磚牆破裂。(c) 南側崖高 2.5 公尺，清華大學校區。(d) 北側崖高 3.2 公尺，赤土崎排洪道。

(a)



(b)

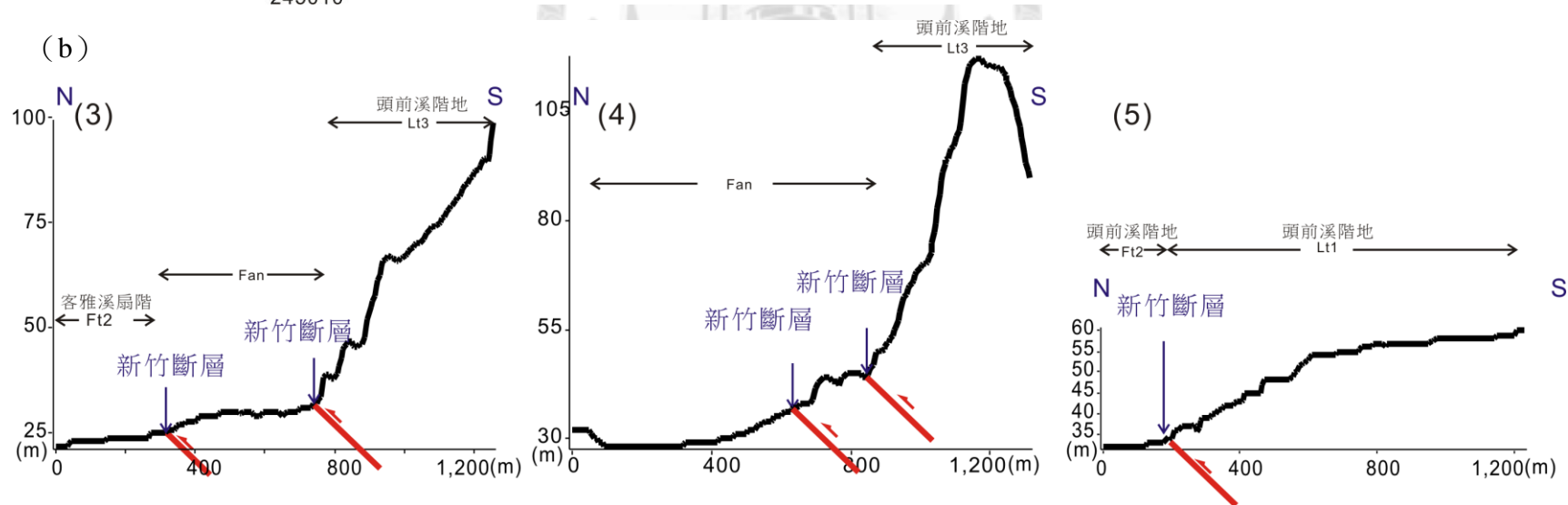


圖 3.22 (a) 新竹市區階地分佈圖。圖例見圖 3.2。(b) 地形剖面。

3.2.4 新竹市區鑽井剖面

本區域共有二個剖面（DD'與 EE'剖面），詳述如下：

3.2.4.1 DD'剖面

本剖面切過紅土階地面 L3，由北至南共計 7 口鑽井：民富、西門國小、三民國中、新竹國小、竹蓮國小、新竹高商與建華國中（圖 3.24）。本剖面的地層為基盤楊梅層、紅土臺地堆積層與臺地堆積層，由碳十四年代顯示基盤楊梅層均 $>43,000$ yr BP，紅土臺地堆積層則有兩層不同年代 $>43,000$ yr BP 與 40160 ± 860 yr BP，本剖面臺地堆積層應為頭前溪低位階地 Ft1，年代為 $2180 - 2650$ yr BP。

綜合野外調查以及鑽井岩相分析，基盤楊梅層僅記錄於北側三口井之中；而後四口井僅記錄厚層紅土臺地堆積層，未達基盤。由野外調查上盤區域基盤岩層與紅土臺地堆積層在近斷層處以平均 40° 度往北傾斜，顯示此區域以褶皺變形為主，另外由不整合面高度與下盤鑽井的基盤深度，可知本區基盤岩層至少抬升 130 公尺。由於近斷層處的鑽井未達基盤岩層，因此不能確定斷層跡位置，不過由地形來看，新竹高商與建華國中所在的地形面崖高已分別超過 10 公尺與 20 公尺，推測應位於新竹斷層上盤。

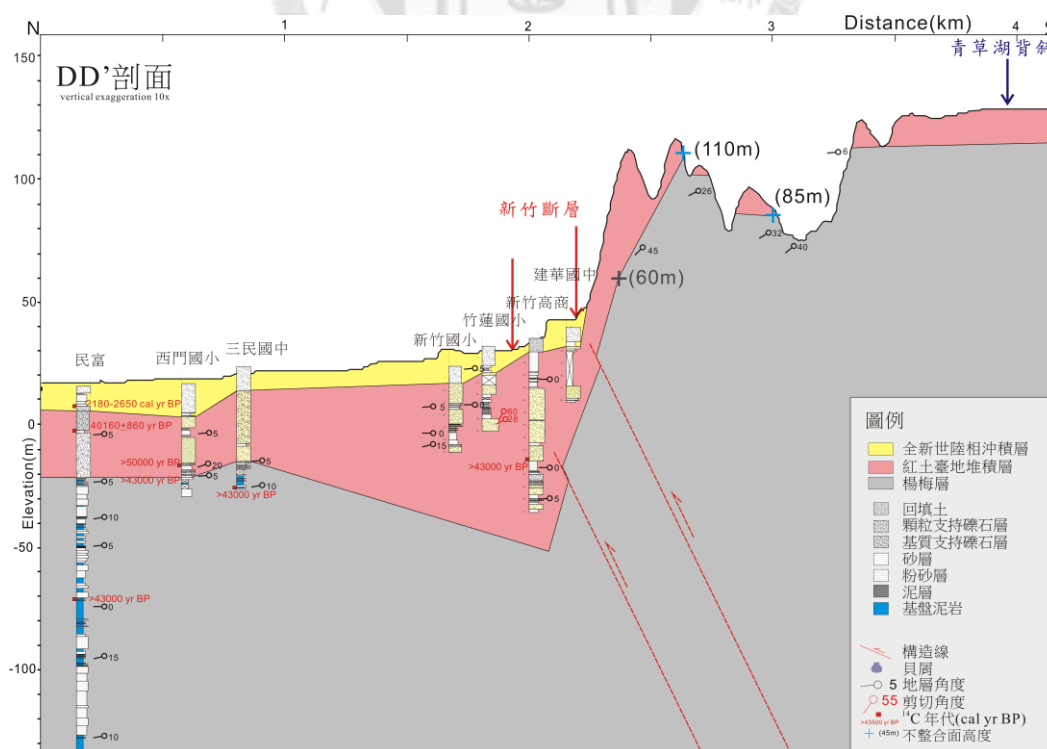


圖 3.24 新竹斷層 DD'剖面。剖面位置見圖 3.23。

3.2.4.2 EE'剖面

本剖面切過紅土階地面 Lt1，包含 5 口鑽井，由北至南為水源、水利路一號、建功國小（下）、建功國小（上）以及龍山國小（圖 3.25）。本剖面的地層為基盤楊梅層、紅土臺地堆積層及全新世沖積層，由碳十四年代顯示基盤年代均 $>50,000$ yr BP。楊梅層在本剖面的岩性以厚層砂泥岩互層為主偶夾砂岩、泥岩或薄礫，然而在靠近斷層的區域出現厚層礫岩夾薄砂泥岩互層，礫岩多為膠結良好、顆粒支持的圓礫，直徑多在 20 公分以內，不同於紅土臺地堆積層的產狀，應為基盤岩層，可能為照門段。在兩口建功國小井之間基盤落差達 45 公尺，故推斷建功國小（上）以南為上盤。上盤地層在近斷層帶呈 50 度向北傾斜且具有密集剪切帶；下盤地層則較為平緩。不過從地形上來看，建功國小（下）位於北側的線形崖坡之上，此井距離崖坡底的高差尚有 5 公尺，故推測新竹斷層以分支斷層的形態出露於地表，最北端的分支斷層應出露於水利路一號與建功國小（下）兩井之間，而主斷層位於建功國小兩井之間。

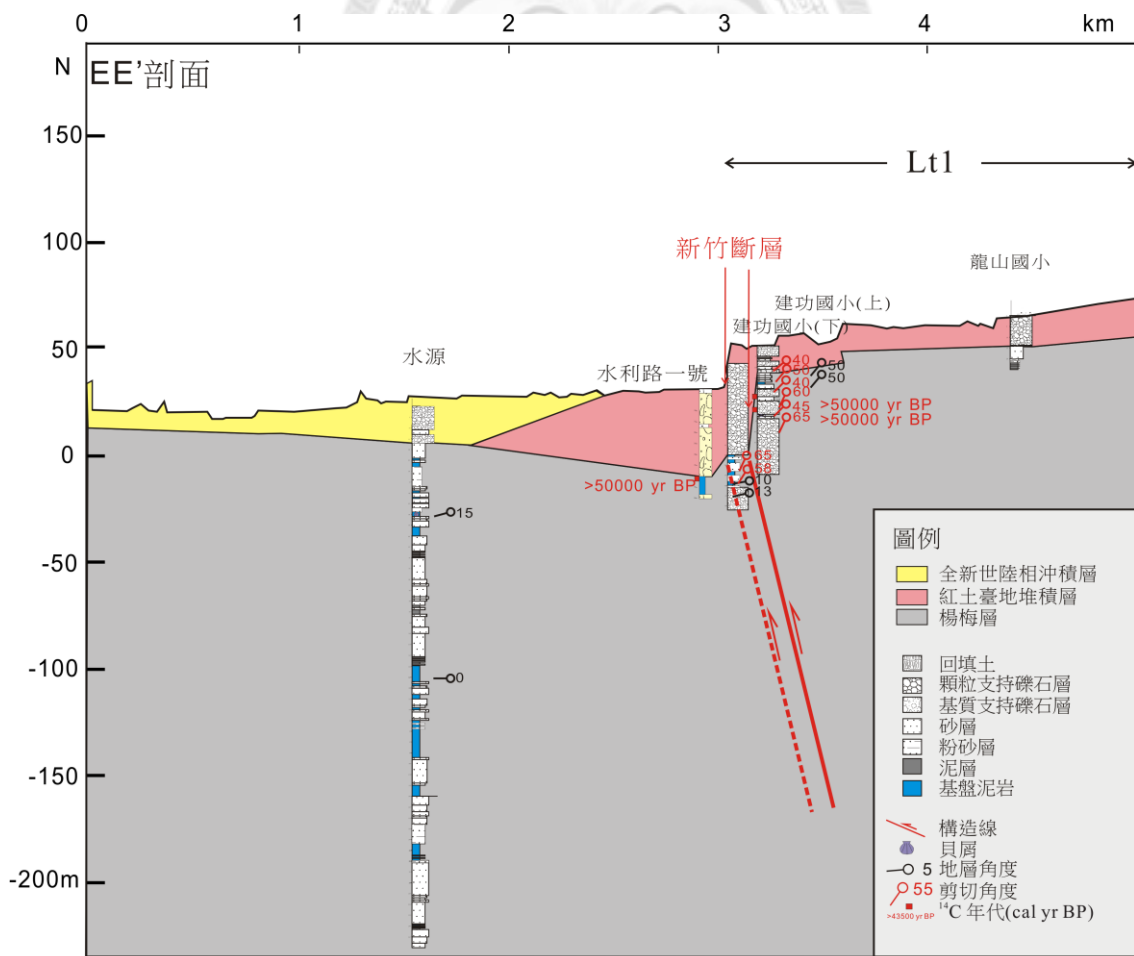


圖 3.25 新竹斷層 EE'剖面。剖面位置見圖 3.23。

3.2.5 頭前溪河床

在本區域線形特徵較不明顯，在柴梳山北方約 500 公尺處有一東西向線形切過頭前溪階地 Ft1 與 Ft2 (圖 3.26a)，長約 1.2 公里，向東消失於頭前溪河床，崖高 9 公尺；在芎林北緣北獅頭山西側有一東西向線形切過頭前溪北岸階地 Ft1 與沖積扇並往東延伸至飛鳳山丘陵 (圖 3.26c)，長約 1.5 公里，崖高 1—6 公尺。

綜合地形判釋以及野外調查，新竹斷層應以東西走向切過頭前溪河床，在北岸受厚層沖積層所覆，推測應以西北走向與東南側的線形相連接，並延伸至飛鳳山丘陵地區 (圖 3.27)。在頭前溪河床內可見楊梅層出露，在高鐵大橋西側地層以 25~40 度往北傾斜且具剪切構造 (圖 3.26d)，顯示此處為上盤區域，再往下游方向則未見基盤出露，推測應為下盤區域，堆積厚層全新世沖積層。

3.2.6 頭前溪河床淺層鑽井

為探究頭前溪河床中的斷層跡位置與構造形貌，本研究進行淺層鑽探並建立 FF' 剖面 (圖 3.28)，自北而南共計有 8 口鑽井：高鐵車站井、經國大橋井、新竹 1 號、頭前溪 5 號、頭前溪 4 號、頭前溪 2 號、頭前溪 3 號與頭前溪 1 號。其中高鐵車站井位於剖面東方約 1 公里處，依相對位置將其投影至 FF' 剖面以進行地層對比。

本剖面的地層由老至新為楊梅層照鏡段、紅土臺地堆積層與沖積層，照鏡段的年代與紅土臺地堆積層均為 >45,000 yr BP。綜合鑽井結果與頭前溪河床出露的地層資料顯示，新竹一號以南的區域基盤以 30~50 度北傾斜，具有密集剪切帶，且紅土臺地堆積層在頭前溪 4 號至新竹 1 號之間亦呈高角度往北傾斜，下盤地層則略呈水準，故推測新竹 1 號以南為上盤區域。新竹 1 號深 45 公尺處及深 110 公尺處具有強烈剪切作用，且地層傾角在深於此深度後急遽變緩，故推測新竹斷層主斷層應通過新竹一號井，並切入厚層紅土臺地堆積層，可能出露於高鐵車站與新竹一號之間。

位於下盤區域的經國大橋全井為厚層紅土臺地堆積層而未達基盤，推測古頭前溪河道即位於此處，因為新竹斷層持續抬升而加速下盤區域的下切速率，長期的差異侵蝕作用形成下切谷地。此外，根據倪明倫 (2004) 在河床

北岸河堤進行的淺層震測，可清楚看見新竹斷層以高角度在此往南傾斜，並且在南端起算第 800 公尺處可能出露地表（圖 3.29），由本剖面的斷層可能出露位置依走向往東延伸恰可連接至此，故本研究認為新竹斷層應在此通過頭前溪北岸。

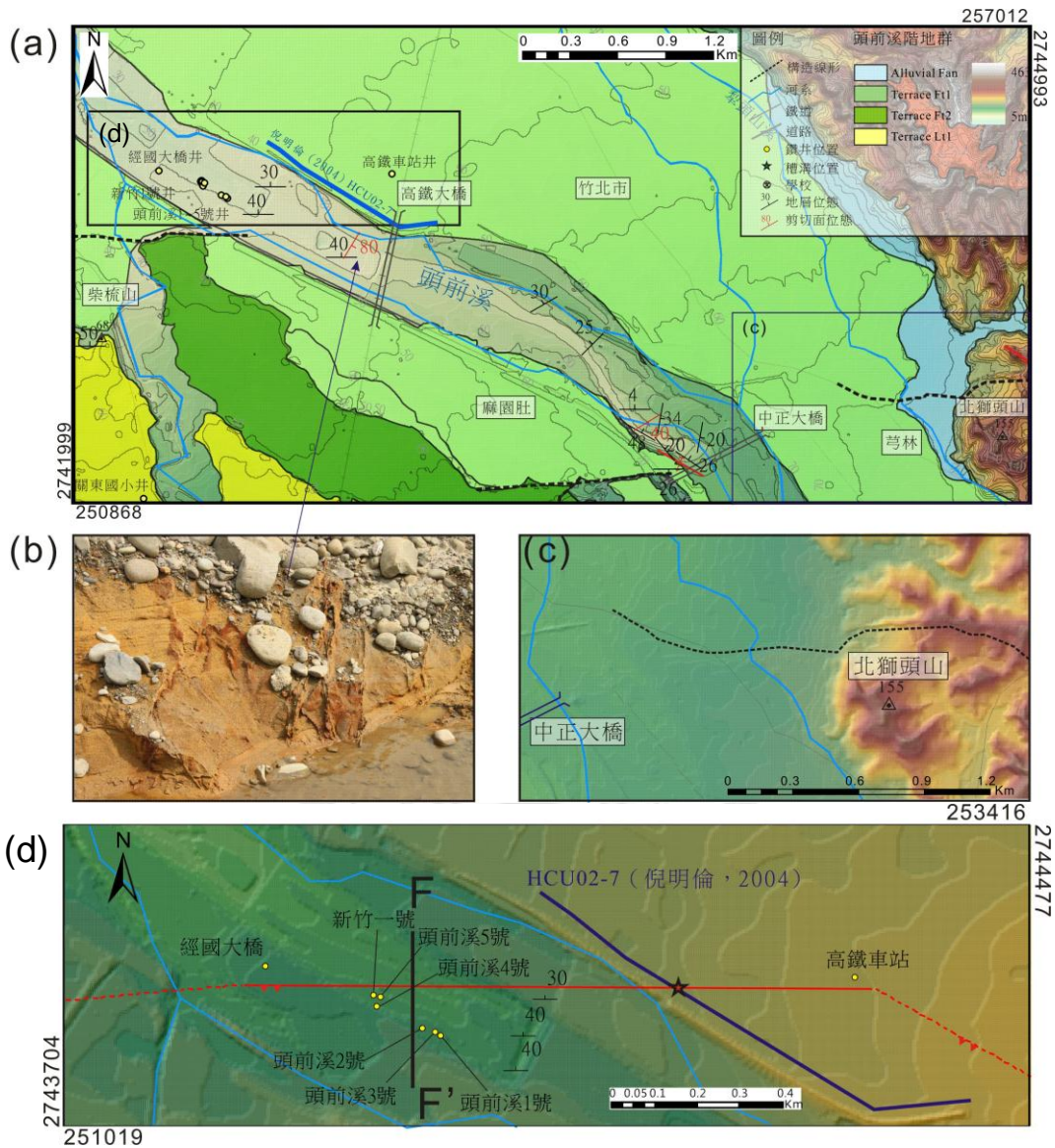


圖 3.26 頭前溪河床區域構造地形特徵。(a) 頭前溪河床區域階地分佈圖。(b) 楊梅層中的剪切構造，共兩組主要剪切方向， $N30^{\circ}W/84^{\circ}SW$ ， $N30^{\circ}E/80^{\circ}SE$ ，且後者截切前者。頭前溪河床內高鐵車站旁 (TWD67；252716，2743594)。(c) 芎林北側線型。(d) 頭前溪河床鑽井位置。

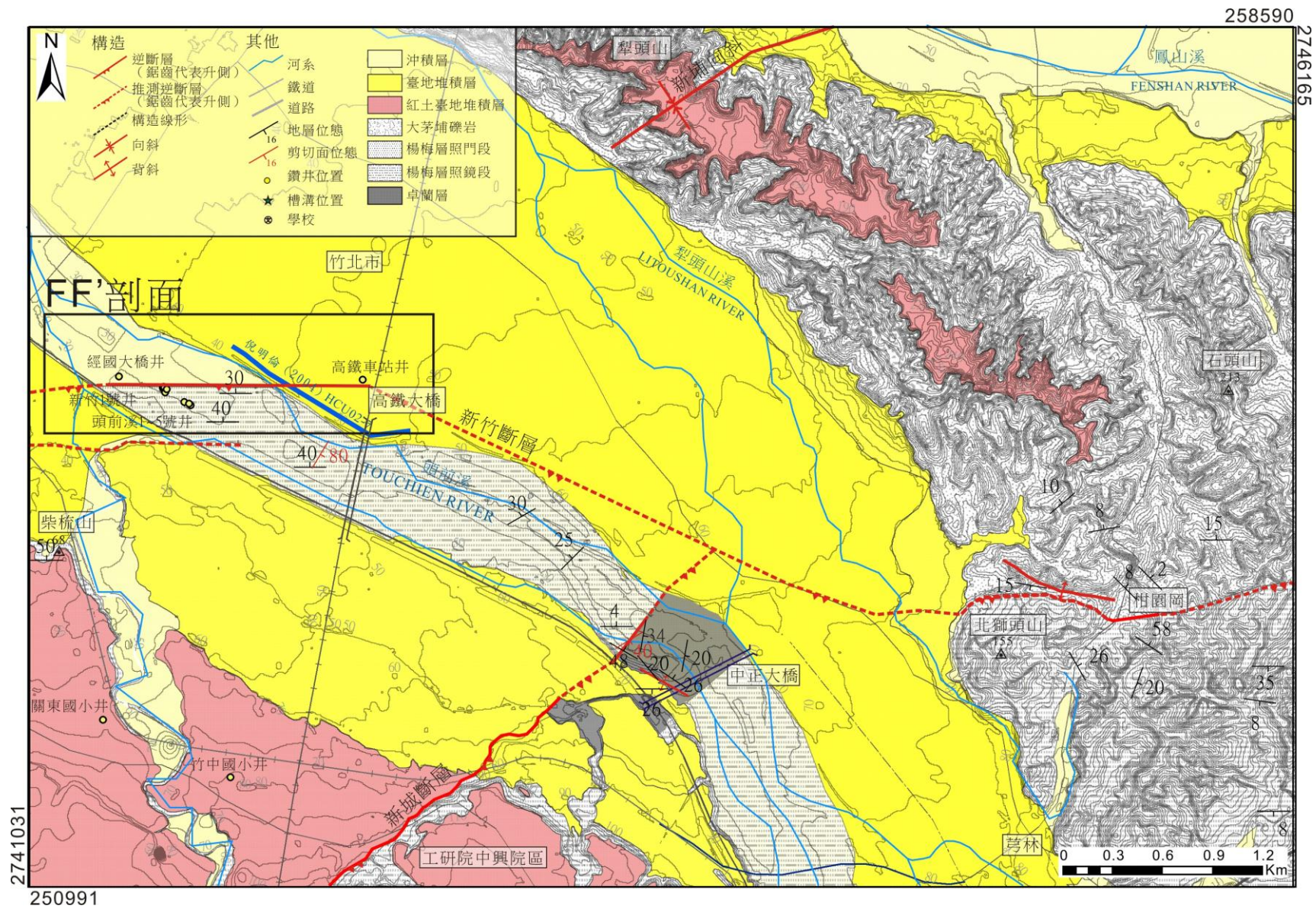
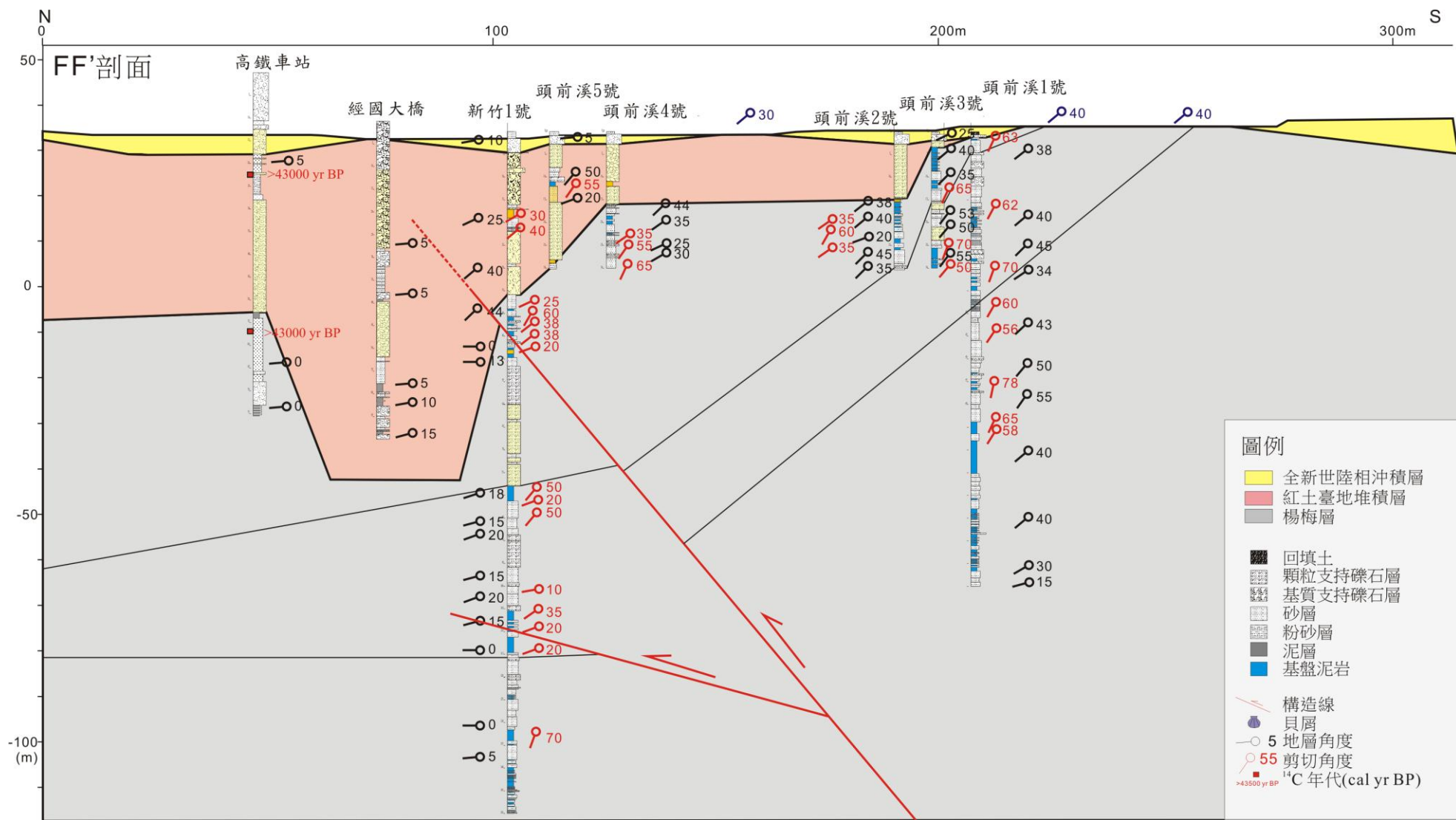


圖 3.27 頭前溪河床地質圖。等高線間距 5 公尺。



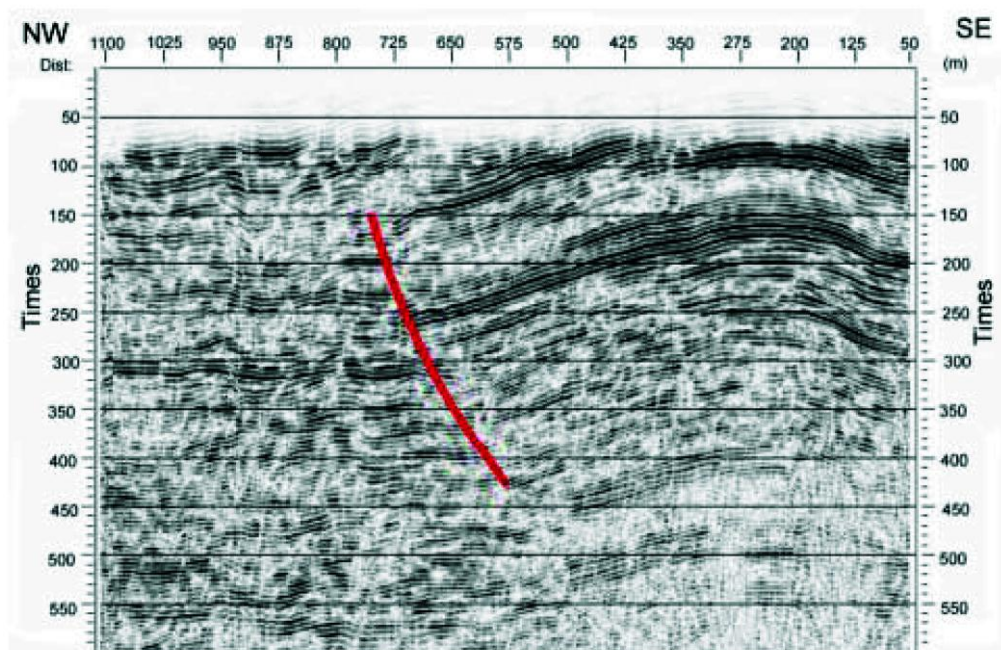


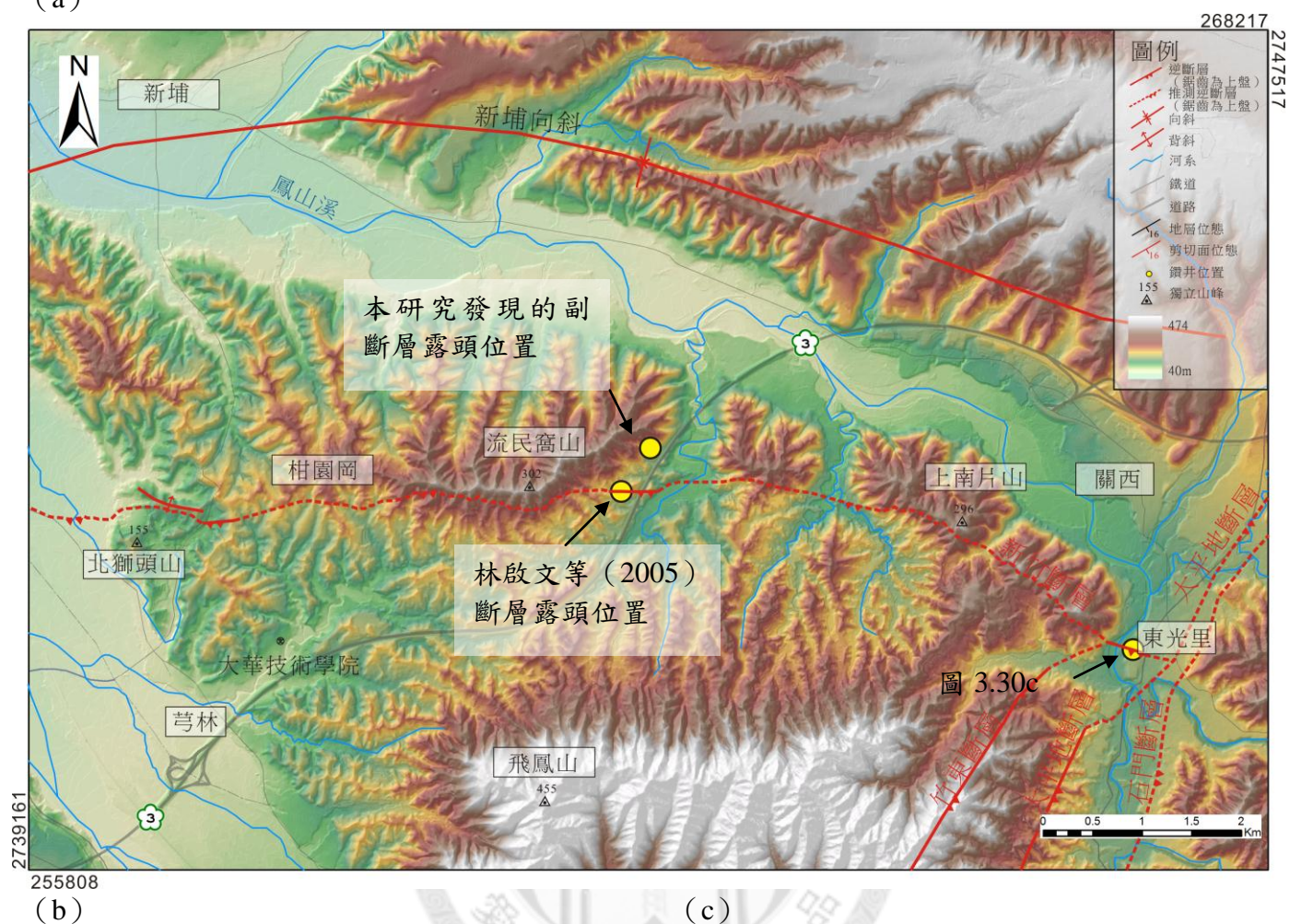
圖 3.29 倪明倫 (2004) HCU02-7 淺層震測剖面，顯示新竹斷層於南端起算第 800 公尺處出露地表。剖面位置見圖 3.26。

3.2.7 飛鳳山丘陵地區

本區域線形較不發達，約略有一線形由西至東切過整個飛鳳山丘陵（圖 3.30），以東西向切過北獅頭山北側與流民窩山南側、以西北走向切過上南片山南側，長度約 10 公里，由野外調查顯示本區線形的成因應為岩性差異所致，位於北側的大茅埔礫石以厚層礫石層為主，而南側的照鏡段以厚層砂泥互層為主，抗侵蝕與風化的能力為北側較強，因此在地形上呈現北高南低的線形；此外在關西東光里區域，在鳳山溪階地上有一垂直於河流走向的線形，崖高 2 公尺（圖 3.30b,c），呈東西走向，長度約 400 公尺。

本區植被茂密，少見斷層露頭，故本研究主要依據林啟文等（2005）發表的斷層露頭的位置，沿著線形走向追蹤斷層跡（圖 3.31a）。上盤區域由北往南（由老至新）依序出露照鏡段、照門段與大茅埔礫岩，以 10~30 度向南傾斜，不過在靠近斷層處則以高角度往北傾斜；下盤區域由南往北（由老至新）地層位態以低角度往北傾斜（圖 3.31b）。此外本研究在下盤區域國道三號西側發現一副斷層露頭，斷層位態為 N36°W/42°SW。

(a)



(b)



(c)



圖 3.30 飛鳳山丘陵地區斷層位置圖。(a) 飛鳳山丘陵地區數值高程模型圖。(b) 自渡船頭往東遠眺構造崖，關西東光里。(c) 東光國小北側線形崖，崖高 2 公尺。

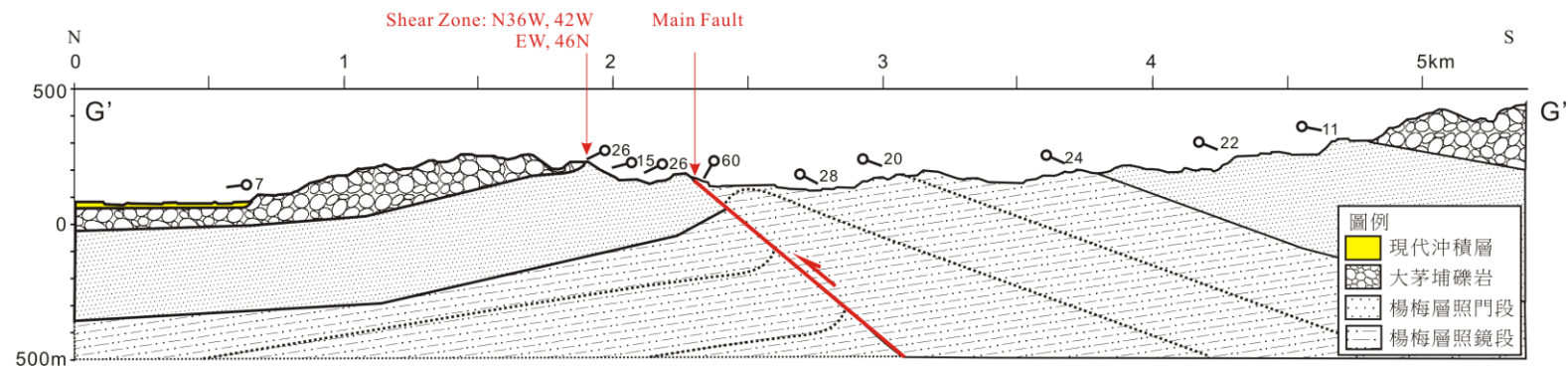
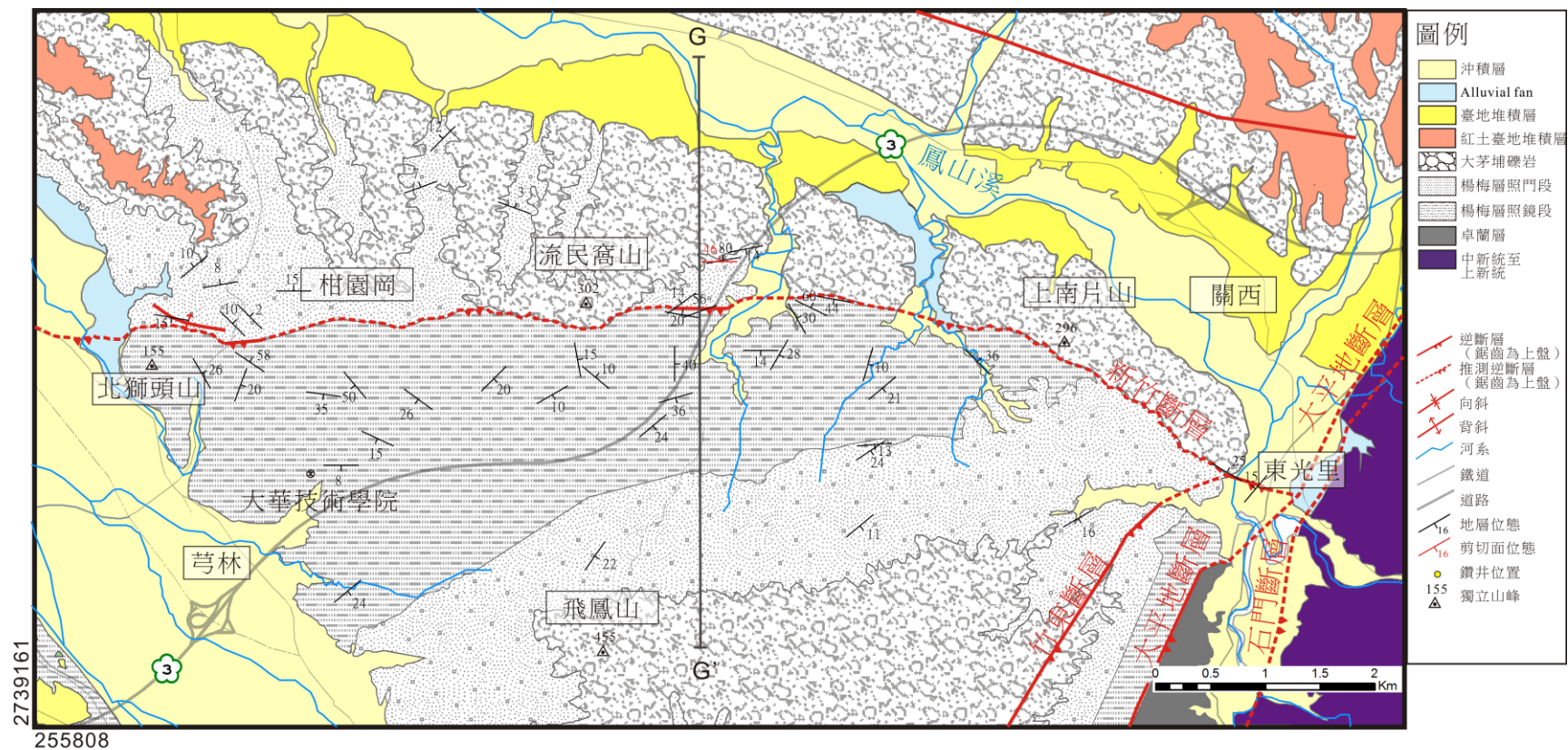


圖 3.31 飛鳳山丘陵區域地質圖及地質剖面。(a) 飛鳳山丘陵地質圖。(b) 飛鳳山丘陵地區 GG'剖面。

3.3 湖口斷層

中壢—湖口臺地之上共有三組主要的構造線形，由南而北依序為楊梅南線形、楊梅北線形與雙連坡線形。楊梅南線形即為湖口斷層在地表出露的位置（林啟文等，2007），依走向可分兩段：西段自湖口西南緣坑子口山北側以西北西走向往東連至羊喜窩，切過 Lt6 階面，崖高 13—27 公尺，長度約 10 公里；東段呈東北東走向自羊喜窩延伸至中壢南側，切過 Lt6、Lt4 與 Lt2 階面，崖高 20—90 公尺，長度約 18 公里（圖 3.32）。楊梅北線形與雙連坡線形約略平行，皆呈東北東走向，前者切過 Lt5、Lt4 與 Lt2 階面，崖高 10—30 公尺；後者則切過 Lt5、Lt4、Lt3 與 Lt2 階面，崖高 10—20 公尺。

湖口斷層上盤出露受到湖口背斜的影響，在背斜南翼以 12—28 度向南傾斜，北翼則呈急折狀以約 50 度向北傾斜，在靠近斷層處具有區域性的次要構造如羊喜窩斷層、坑子口背斜；下盤則為廣泛分佈的紅土臺地堆積層與沖積層。（圖 3.33）。

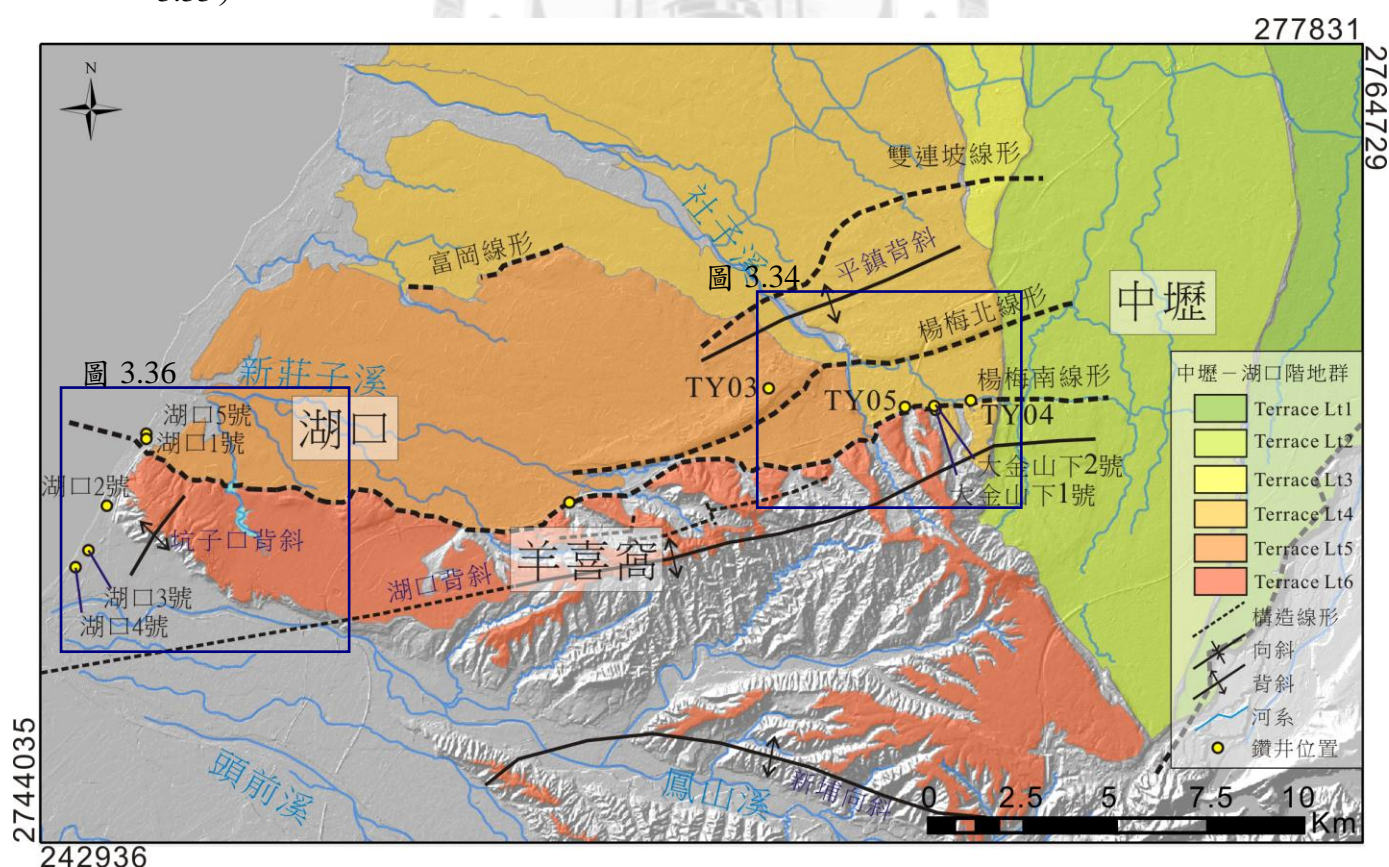


圖 3.32 中壢—湖口臺地區域河階與構造線形分佈圖。

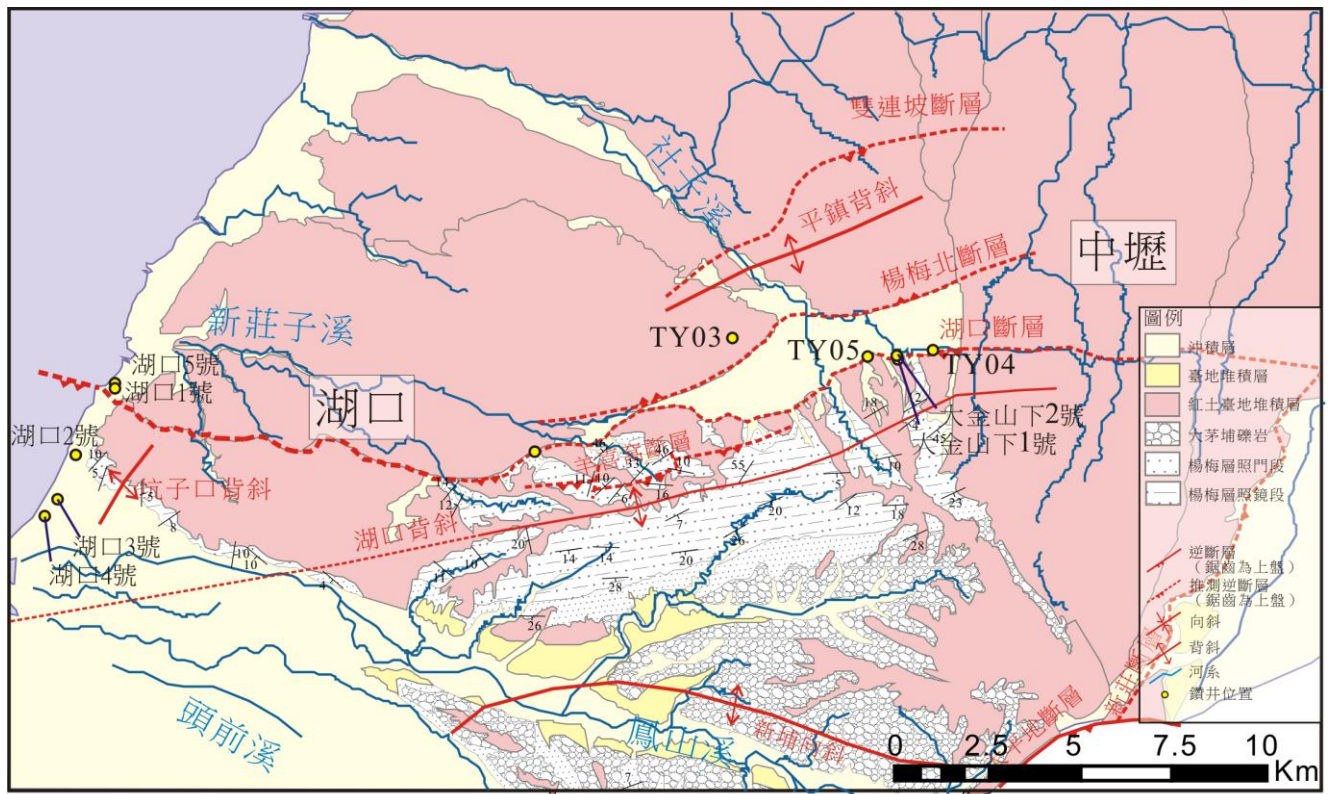


圖 3.33 中壢—湖口臺地區域地質圖（修改自劉桓吉，1989；塗明寬與邵屏華，2001）。

3.3.1 坑子口地區淺層鑽井

湖口斷層最西段在坑子口地區切過桃園—中壢紅土階地 Lt6，形成一西北西走向的線形（圖 3.34），本研究在線形兩側進行淺層鑽探，建立 II' 剖面以確定此線形崖是否為斷層崖，並釐清湖口斷層西段的變形形態。

本剖面位於坑子口山西側，位於沿岸沙洲之上，共計五口鑽井，由北往南依序為：湖口 5 號、湖口 1 號、湖口 2 號、湖口 3 號及湖口 4 號（圖 3.35）。本剖面的地層由老至新為楊梅層照鏡段、紅土臺地堆積層、沖積層與崩積層。在坑子口山南側的紅土臺地堆積層，其岩性與年代與北側皆不相同：北側為黃棕色膠結良好，顆粒支持礫石層，碳十四年代為 $>45,000$ yr BP；南側則為灰白色鬆散膠結，基質支持礫石層，碳十四年代為 11190-10760 cal yr BP，故將此層南側另區分出晚更新世陸相沉積層。沖積層另分為全新世海相沖積層（共有三個碳十四年代 6640-6420 cal yr BP、6300-6020 cal yr BP、與 4980-4770 cal yr BP）與陸相沖積層。由湖口 2 號與湖口 1 號之間基盤落差達到 45 公尺、湖口 2 號以南的地層

傾角平均約為 10 度且具有密集剪切帶、湖口 1 號以北地層水準且無密集剪切帶，故推斷湖口 1 號以南為上盤區域，斷層可能出露於湖口 2 號與湖口 1 號之間。

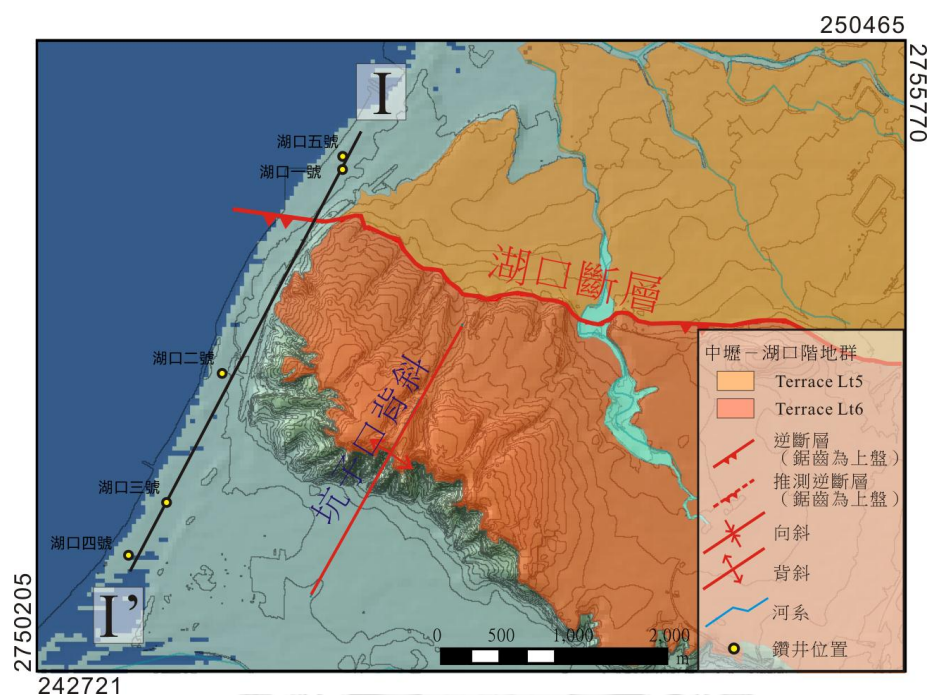


圖 3.34 坑子口地區鑽井與剖面位置。

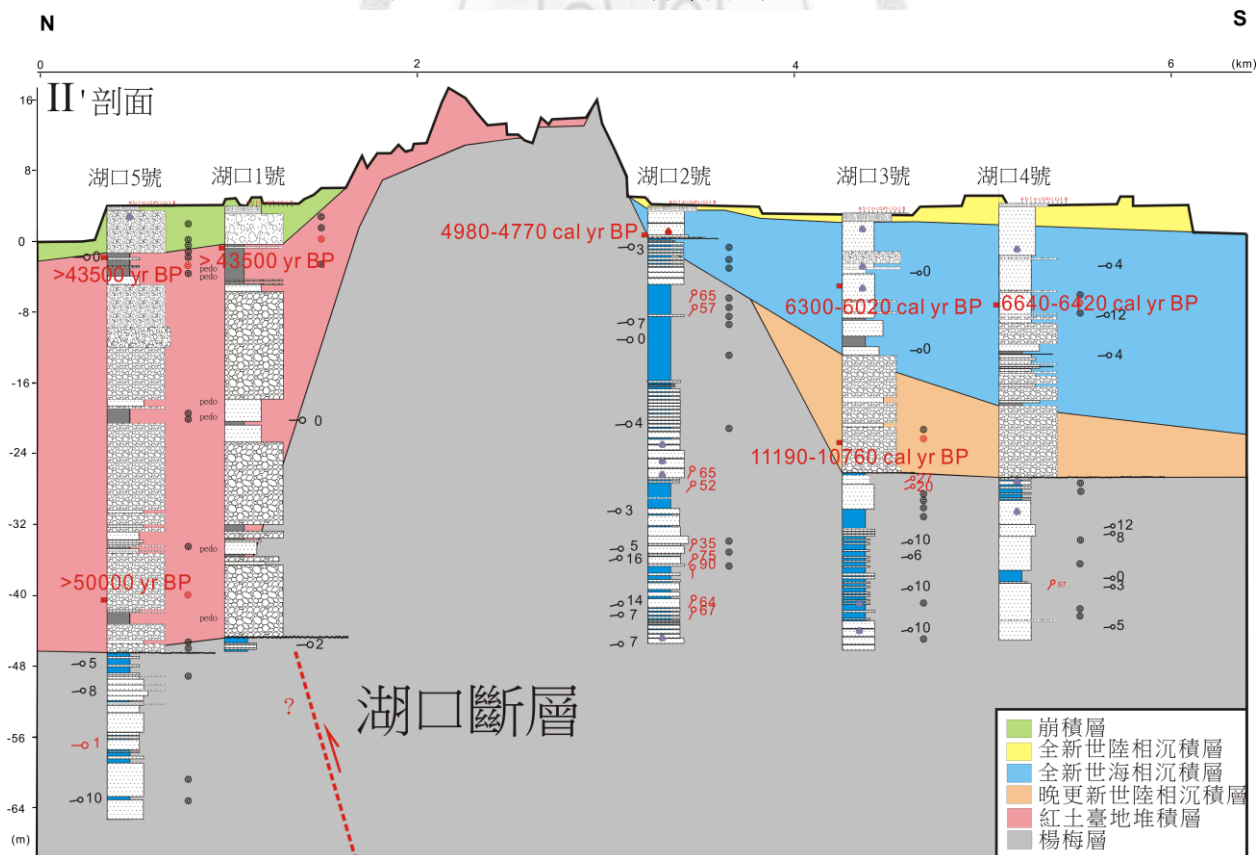


圖 3.35 坑子口地區 II' 剖面，剖面位置見圖 3.34。

3.3.2 大金山下地區淺層鑽井

湖口斷層東段切過一系列紅土階地面 (Lt6、Lt5 與 Lt4；圖 3.36)，本研究重新檢視地質調查所由北至南共五口鑽井：TY03、TY05、TY04、大金山下 2 號與大金山下 1 號，並建立 JJ'剖面以檢視湖口斷層東段地質構造 (圖 3.36)。本剖面的地層為基盤楊梅層與紅土臺地堆積層，楊梅層在 TY03、大金山下 2 號與大金山下 1 號均有記錄，而 TY05、TY04 僅出露厚層紅土臺地堆積層，故僅能推測大金山下 1 號以南地區為上盤。大金山下 2 號井與 1 號井分別在 115、65 公尺深處基盤地層傾角有明顯的變化，上盤地區傾角 50 至 30 度，而下盤地層 5 至 20 度，且傾角由南往北遞減，推測可能在大金山下 1 號已接近向斜軸部。

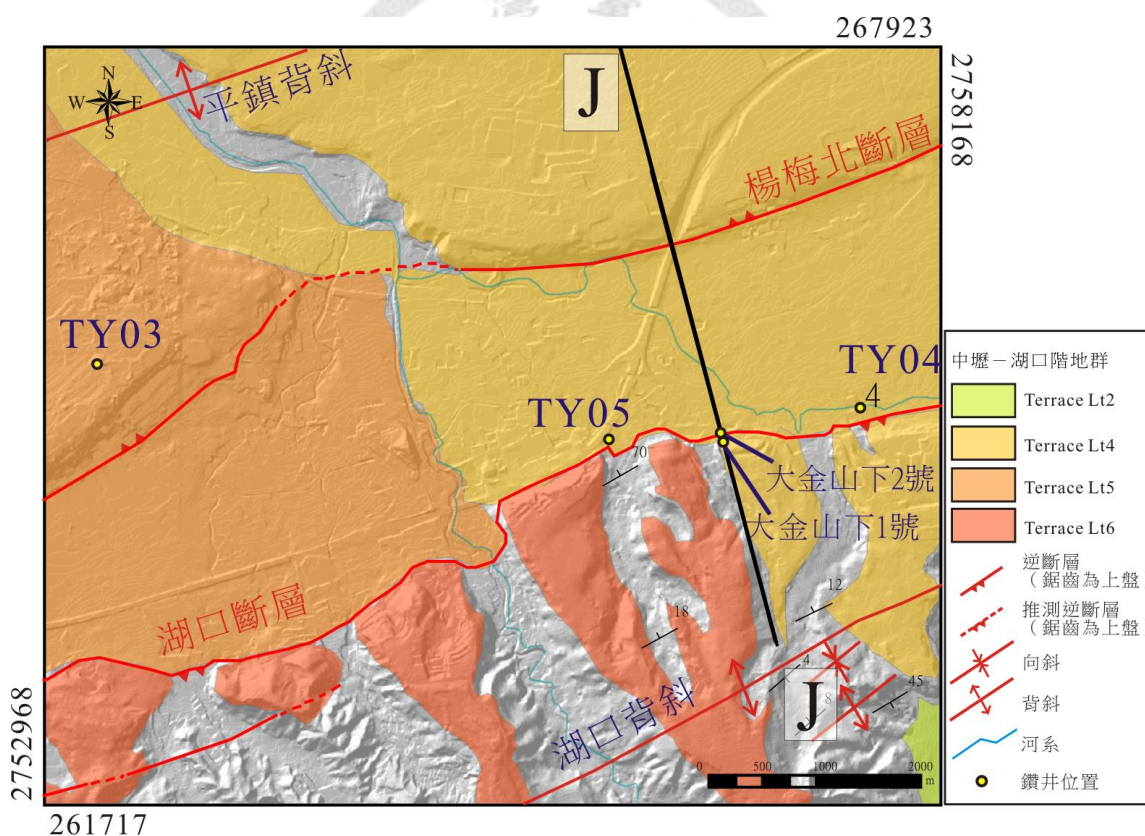


圖 3.36 大金山下地區鑽井與剖面位置。

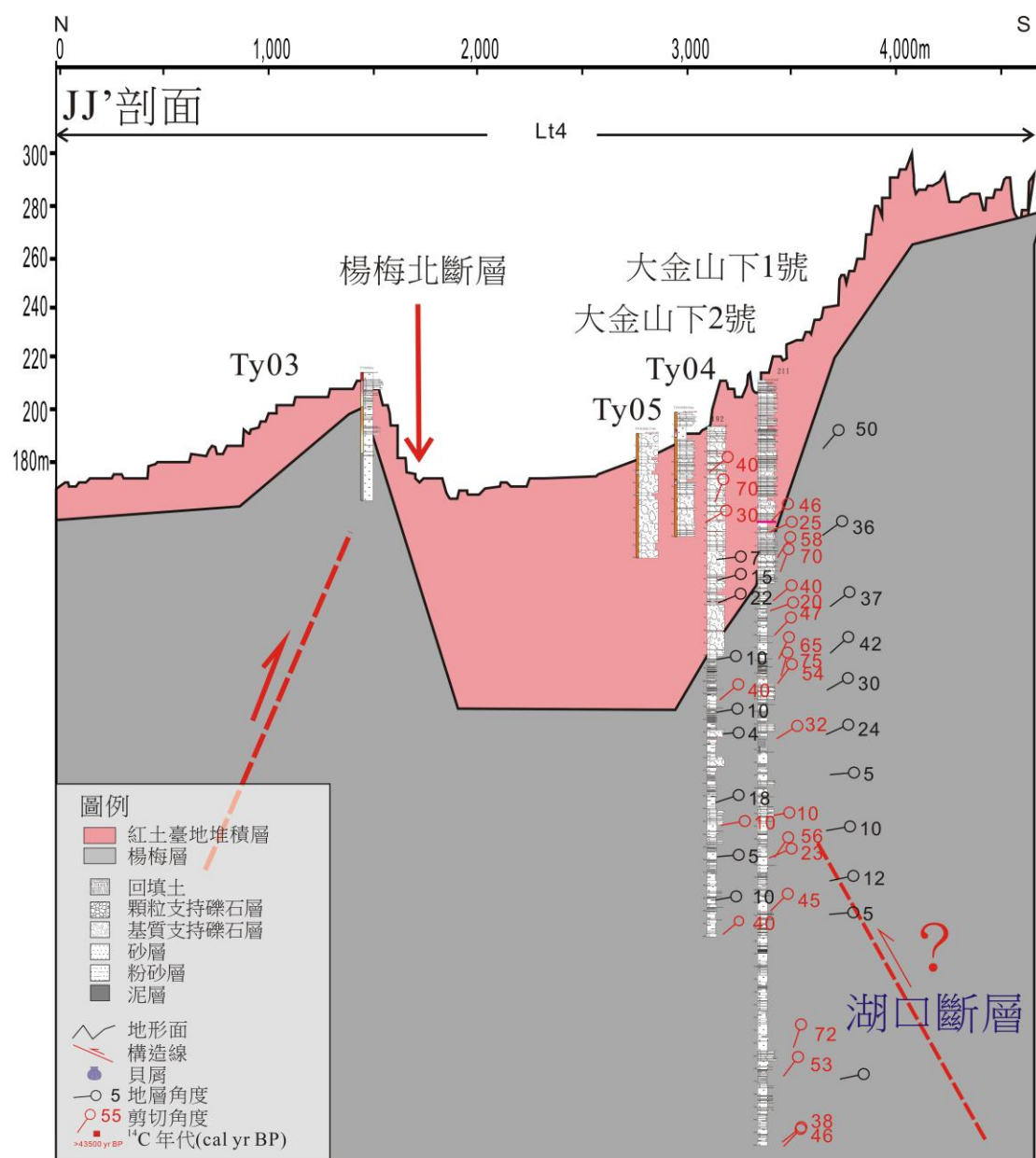


圖 3.37 JJ'剖面。剖面位置見圖 3.36。

3.4 小結

根據斷層走向，本研究認為新城斷層可能在頭前溪北岸一水泥廠與新竹斷層相交，遂往東匯為一條斷層。根據頭份地區的鑽井資料，GG'剖面顯示新城斷層為楊梅層照鏡段逆衝至紅土臺地堆積層與現代沖積層之上，斷層角度 25 度，且基盤至少抬升 14.4 公尺；而 HH'剖面則未鑽遇斷層，故新城斷層位於更東緣的線形崖。而新城斷層如何與斗煥坪斷層相交，確切位置仍有待進一步調查。

由地形分析與野外調查顯示，新竹斷層西段的構造型態以兩組相互平行的逆衝斷層所組成，位於南側的斷層崖高度多高於北側斷層崖，且南側斷層都錯動年代較老的地層，顯示新竹斷層過去曾沿著南側斷層崖活動，不過目前新竹斷層可能已移往北側線形崖。經由野外調查顯示，上盤地層在靠近斷層處以 30—50 度向北傾斜，且不整合面之上的紅土臺地堆積層亦以高角度向北傾斜，顯示新竹斷層以褶皺變形為主；不過由鑽井分析結果顯示，新竹斷層已截切基盤岩層、紅土臺地堆積層與臺地堆積層，顯示斷層尖端線已擴展至接近地表處，惟受厚層沖積層覆蓋，在地表僅出現構造線形故未能發現斷層露頭。另外，新竹斷層最西段通過 AA'剖面的 HSH1 與 HSH2 兩井之間，本研究認為應可往西連接至新竹外海一連串地壘與地塹的構造，許多研究亦認為這些老的正斷層結構已復活為逆斷層，或可與陸地上的構造相連（Huang *et al.*, 1993；Lee *et al.*, 1993；Chen *et al.*, 1994；楊耿明等，1994；徐兆祥等，1997）。

由淺層鑽井與野外調查皆未發現主斷層出露，本研究認為湖口斷層尖端線並未出露地表，以高角度盲斷層的形式在地下潛伏，即便發現剪切作用，仍屬於層間滑移或軸部破裂的結果。地形崖的成為褶皺作用而非斷層作用所主導，因此斷層跡確切位置仍有爭議。由 JJ'剖面，大金山下 2 號井與 1 號井分別在 115、65 公尺深處基盤地層傾角有明顯的變化，上盤地區傾角 50 至 30 度，而下盤地層 5 至 20 度，且傾角由南往北遞減，推測可能在大金山下 1 號已接近向斜軸部。

第四章 長期地殼垂直變動速率

本研究使用前一章節所建立的新竹斷層於美山－客雅區域的 AA'剖面與湖口斷層於坑子口地區的 II'剖面鑽井資料，以樣本高度、古海水面高度、古環境深度與碳十四年代來計算長期地殼垂直變動速率（long-term crustal vertical deformation rate），而斷層兩側速率的差值即為斷層的垂直錯移速率（vertical offset rate）。此外，在頭份地區 GG'剖面中新城斷層以 25 度向東傾斜截切紅土臺地堆積層，使基盤面抬升 14.4 公尺，配合 HH'剖面中的碳十四年代，可計算新城斷層的長期變動速率。

4.1 長期地殼垂直變動速率估算法

計算公式如下（圖 4.1）：由標本絕對高程 A、古海水面高度 B、標本的古環境水深 C，即可知道樣本的垂直變動量 D，再除以被埋藏的時間 Y（cal yr BP，2 sigma；碳十四年代）即可得知此地點的長期地殼變動速率。其中樣本高程 A 為鑽井高程與樣本深度之差。

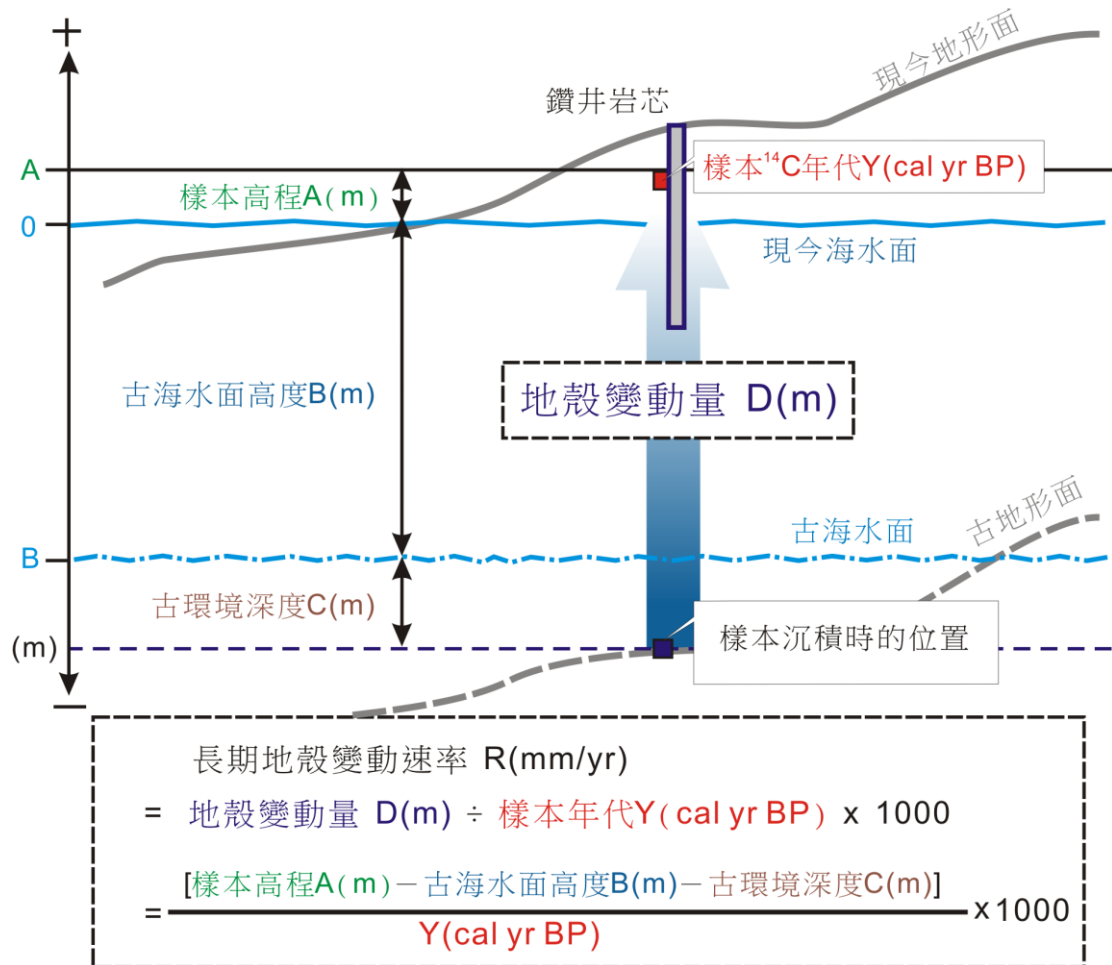


圖 4.1 地殼長期垂直變動速率

由於台灣地區自全新世以來的海水面與全球性變化趨勢大致相同（圖 4.2；陳于高，1993；Huang *et al.*, 1987；Fairbanks, 1989, 1990；Chappell and Polach, 1991；Edwards *et al.*, 1993；Bard *et al.*, 1996），因此古海水面高度 B 可由末次冰期最盛期（LGM）以來的全球海水面變動曲線所估算得知。受到全球氣候變遷的影響，距今約 18,000 年前的末次冰期最盛期，此時海水面低於現今約 120 公尺，之後氣候轉暖進入間冰期，從 18,000 年前至 15,000 年前，海水面約以每 1,000 年約 6 公尺的速度上升；自 15,000 年至 6,500 年前則上升速度較快，約每 1,000 年約 10 公尺；自 6,500 年前至今，海水面變動趨於穩定，變動幅度不超過 2 公尺。

古環境水深 C 則由鑽井岩芯所解析的古沉積環境求得，本研究觀察新竹地區的現生環境深度，可假設各古環境深度：(1) 河流相：現今新竹平原區河流的海拔高度為 0~10 公尺，故將河流相環境深度定為 0~10 公尺。(2) 潮間帶相：由現今新竹外海的平均潮差為 4 公尺，遂將 -2 公尺定為低潮線，2 公尺為高潮線，潮間帶環境深度為 2~-2 公尺。

綜合以上資料，本研究利用所採集的定年樣本，針對 18,000 yr BP 以來的沉積物樣本計算垂直變動速率（表 4.1），並以 AA'、II' 兩條剖面討論新竹斷層與湖口斷層兩側地殼垂直變動速率的變化。

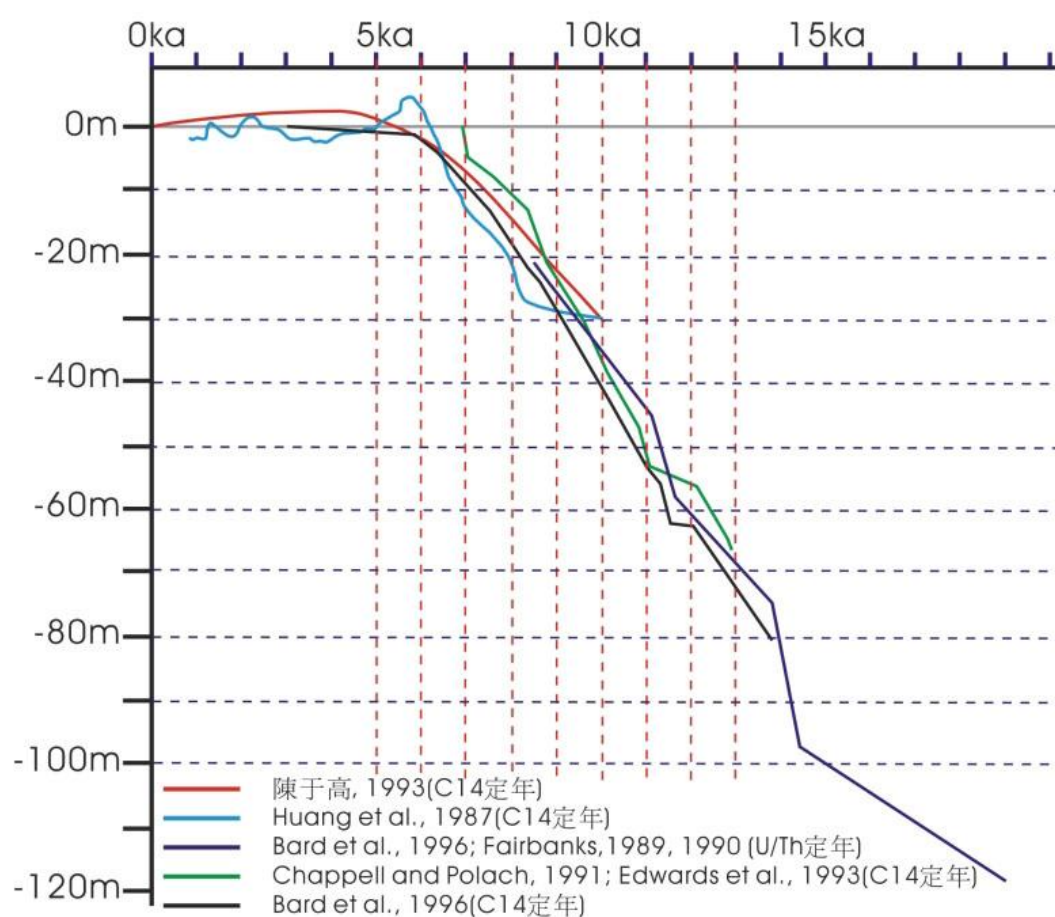


圖 4.2 全球各地與澎湖地區自從 18,000 年以來海水面的變動曲線。(陳于高，1993；Huang *et al.*, 1987；Fairbanks, 1989, 1990；Chappell and Polach, 1991；Edwards *et al.*, 1993；Bard *et al.*, 1996)

表 4.1 本研究所使用岩芯定年標本估算之垂直變動速率表。TY-02 至 TY-21 定年資料來源為戴昌鳳等(2009)。

井名	樣本名稱	樣本材料	樣本高程 (m)	古海水高度 (m)	古環境	古環境水深 (m)	定年年代 (cal yr BP, 2 σ)	地殼垂直變動速率 (mm/yr)	平均垂直變動速率 (mm/yr)
HSH4	CC_04_001#2	Shell	2.5	0	潮間帶	2~-2	4780~4410	(0.1) ~ (1.0)	0.6±0.5mm/yr
HSH5	HSH5_2.4m	Charcoal	0.6	0	潮間帶	2~-2	520~330	(-4.2) ~ (7.9)	1.8±6.1mm/yr
HSH6	HSH6_5.3m	wood	-0.3	0	潮間帶	2~-2	5290~4480	(-0.5) ~ (0.4)	-0.1±0.4mm/yr
HSH8	HC8_2.1m	Shell	0.9	0	潮間帶	2~-2	1210~1010	(-1.1) ~ (2.9)	0.9±2.0mm/yr
湖口 2 號	HK2_3.6m	Shell	0.4	0	潮間帶	2~-2	4980~4770	(-0.3) ~ (0.5)	0.1±0.4 mm/yr
湖口 3 號	HK3_8.2m	Charcoal	-5.2	-2~-4	潮間帶	2~-2	6300~6020	(-0.9) ~ (0.1)	-0.4±0.5mm/yr
湖口 3 號	HK3_25.4m	Charcoal	-22.4	-35~-43	瓣狀河系	0~10	11190~10760	(0.8) ~ (1.1)	1.1±0.8mm/yr
湖口 4 號	HK4_11.8m	Charcoal	-7.8	-3.5~-6.8	潮間帶	2~-2	6640~6420	(-1.0) ~ (0.2)	-0.4±0.6mm/yr
南寮	NL_16.5	Charcoal	-13.5	-23.5~-35	潮間帶	2~-2	9528~9303	(0.8) ~ (2.5)	1.7±0.8mm/yr
民富	MF1_7.85m	Charcoal	8.2	0	瓣狀河系	10	2650~2180	(-0.8) ~ (-0.7)	-0.8±0.1mm/yr
TY-02	TY-02-1	Coral	-3.5	-9.5~-12.0	潮間帶	2~-2	7480	(0.5) ~ (1.4)	1.0±0.4mm/yr
TY-03	TY-03-1	Coral	-3	0	潮間帶	2~-2	3790	(-1.3) ~ (-0.3)	-0.8±0.5mm/yr
TY-03	TY-03-2	Coral	-7	-10.8~-14.0	潮間帶	2~-2	7620	(0.2) ~ (1.2)	0.7±0.5mm/yr
TY-04	TY-04-1	Coral	-1.8	0	潮間帶	2~-2	4470	(-0.9) ~ (0)	-0.4±0.4mm/yr
TY-04	TY-04-2	Coral	-4.6	-10.0~-12.5	潮間帶	2~-2	7570	(0.4) ~ (1.3)	0.9±0.4mm/yr
TY-07	TY-07-1	Coral	-2.1	0	潮間帶	2~-2	3780	(-1.1) ~ (0)	-0.6±0.5mm/yr
TY-07	TY-07-2	Coral	-4	-10.8~-14.0	潮間帶	2~-2	7610	(0.6) ~ (1.6)	1.1±0.5mm/yr
TY-09	TY-09-1	Coral	-4	-6.5~-9.0	潮間帶	2~-2	6990	(0.1) ~ (1.0)	0.5±0.5mm/yr
TY-11	TY-11-1	Coral	-3.5	-3.0~-4.0	潮間帶	2~-2	6350	(-0.4) ~ (0.4)	0±0.4mm/yr
TY-13	TY-13-1	Coral	-5.4	-3.5~-4.8	潮間帶	2~-2	6490	(-0.6) ~ (0.2)	-0.2±0.4mm/yr
TY-15	TY-15-1	Coral	-3	0	潮間帶	2~-2	5810	(-0.9) ~ (-0.2)	-0.5±0.3mm/yr
TY-17	TY-17-1	Coral	-1.5	0	潮間帶	2~-2	4310	(-0.8) ~ (0.1)	-0.3±0.5mm/yr
TY-17	TY-17-2	Coral	-4.1	-9.5~-12.0	潮間帶	2~-2	7480	(0.5) ~ (1.3)	0.9±0.4mm/yr
TY-18	TY-18-1	Coral	-3.1	-10.0~-12.5	潮間帶	2~-2	7530	(0.7) ~ (1.5)	1.1±0.4mm/yr
TY-21	TY-21-1	Coral	-4.7	-9.5~-12.0	潮間帶	2~-2	7490	(0.4) ~ (1.2)	0.8±0.4mm/yr

4.2 新竹斷層兩側長期地殼垂直變動速率

由 AA'剖面，HSH6、HSH8、HSH4 與 HSH5 井所記錄的全新世海相沖積層之中共有 4 個碳十四年代（由北至南為 5290~4480 cal yr BP、1210~1010 cal yr BP、4780~4410 cal yr BP 與 520~330 cal yr BP）可供計算地殼變動速率，茲將計算結果與 AA'剖面彙整，詳述如下（圖 4.3；圖 4.4）：下盤區域僅有一個樣本，速率為 0.3~-0.5 mm/yr，平均 -0.1 ± 0.4 mm/yr；上盤區域的垂直變動速率為 2.9~-1.1 mm/yr，平均 0.9 ± 2.0 mm/yr，其中 HSH5 井的樣本速率誤差值過大，暫不列入。由於新竹斷層的變形模式以褶皺為主，大部分的變形量應消耗於褶皺作用，在斷層尖端位置的變形量反而最小，故本研究計算上下盤地殼變動速率的差為 1.0 ± 2.4 mm/yr（圖 4.4），僅代表新竹斷層尖端位置的垂直錯移速率。

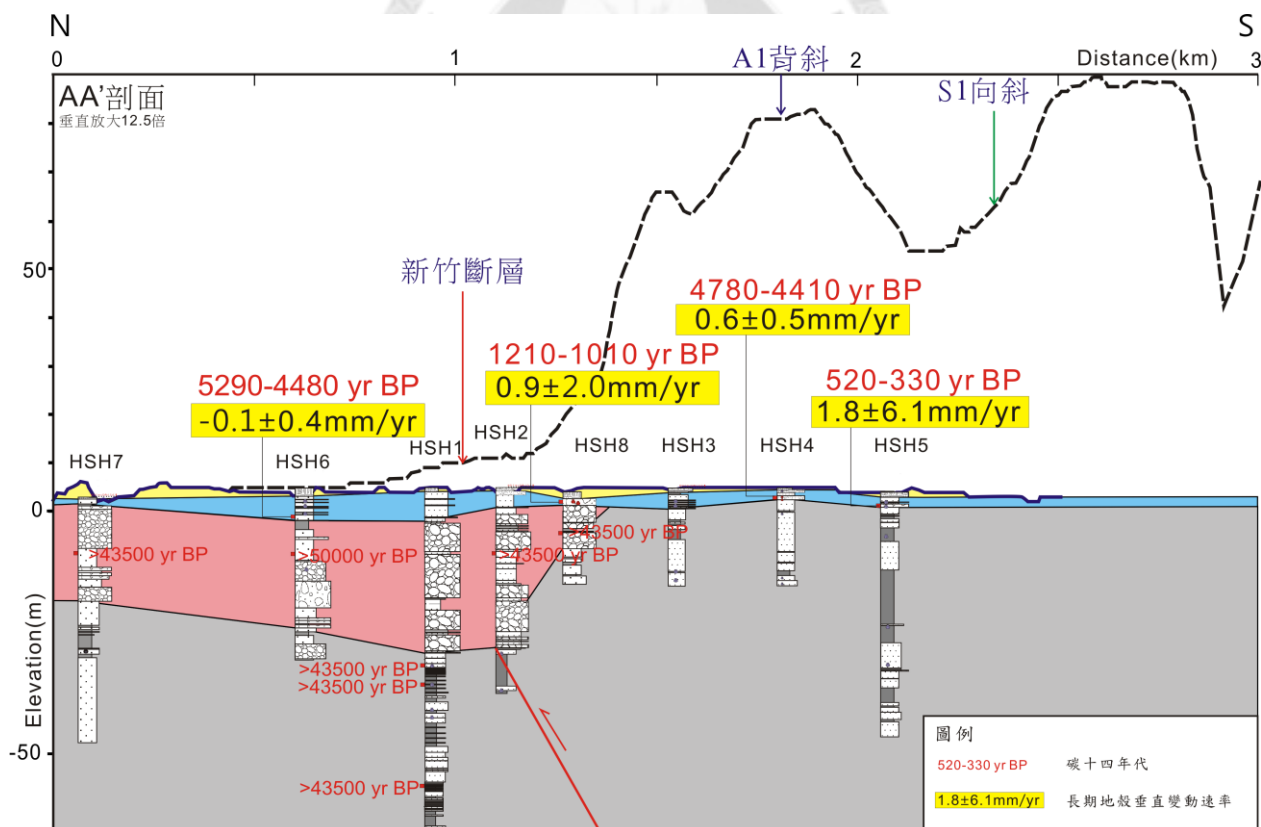


圖 4.3 AA'地殼垂直變動速率剖面圖。正值代表抬升，負值代表沉降。

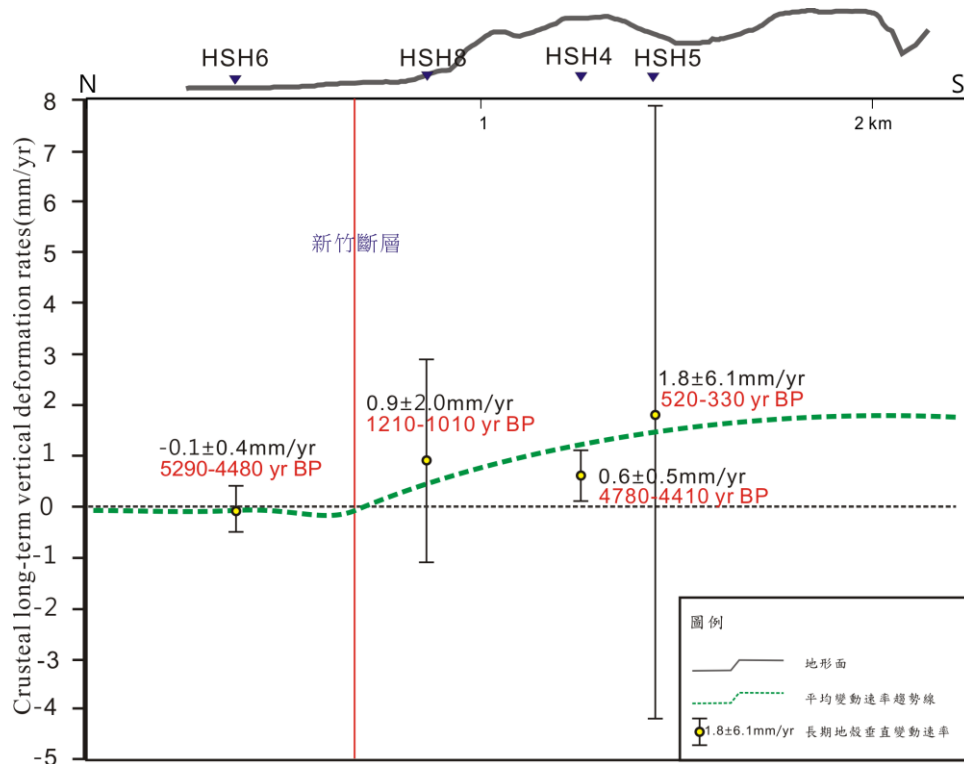


圖 4.4 新竹斷層兩側地殼垂直變動速率圖。上盤區域平均 0.9 ± 2.0 mm/yr；下盤平均 -0.1 ± 0.4 mm/yr，故新竹斷層的垂直錯移速率為 1.0 ± 2.4 mm/yr。

4.3 湖口斷層兩側長期地殼垂直變動速率

在 II' 剖面的全新世海相沖積層之中，湖口 2 號、湖口 3 號與湖口 4 號井計共有 3 個碳十四年代，依序為 4980~4770 cal yr BP、6300~6020 cal yr BP 與 6640~6420 cal yr BP，而在晚更新世陸相沉積層中，湖口 3 號井計有 1 個碳十四年代 11190~10760 cal yr BP 可供計算地殼變動速率（圖 4.5）。由於 II' 剖面下盤的鑽井缺乏 18,000 年以來的年代資料，故利用距離 II' 剖面北方約 10 公里的觀音至大園地區，一群生長於潮間帶之全新世藻礁（潮音石灰岩；戴昌鳳等，2009；圖 4.6）的鑽井資料與碳十四年代來計算地殼變動速率，代表湖口斷層下盤的地殼變動狀況。地殼變動速率的計算結果彙整於圖 4.7，可見下盤區域速率變化大，為 $1.6 \sim -1.3$ mm/yr，平均 0.2 ± 1.5 mm/yr；上盤區域速率為 $1.9 \sim -1.0$ mm/yr，平均 0.5 ± 1.5 mm/yr，由上下盤的差 0.3 ± 3.0 mm/yr，即為湖口斷層的垂直錯移速率。由於湖口斷層的變形模式以褶皺為主，大部分的變形量應消耗於褶皺作用，故此計算結果僅代表湖口斷層尖端位置的垂直錯移速率。

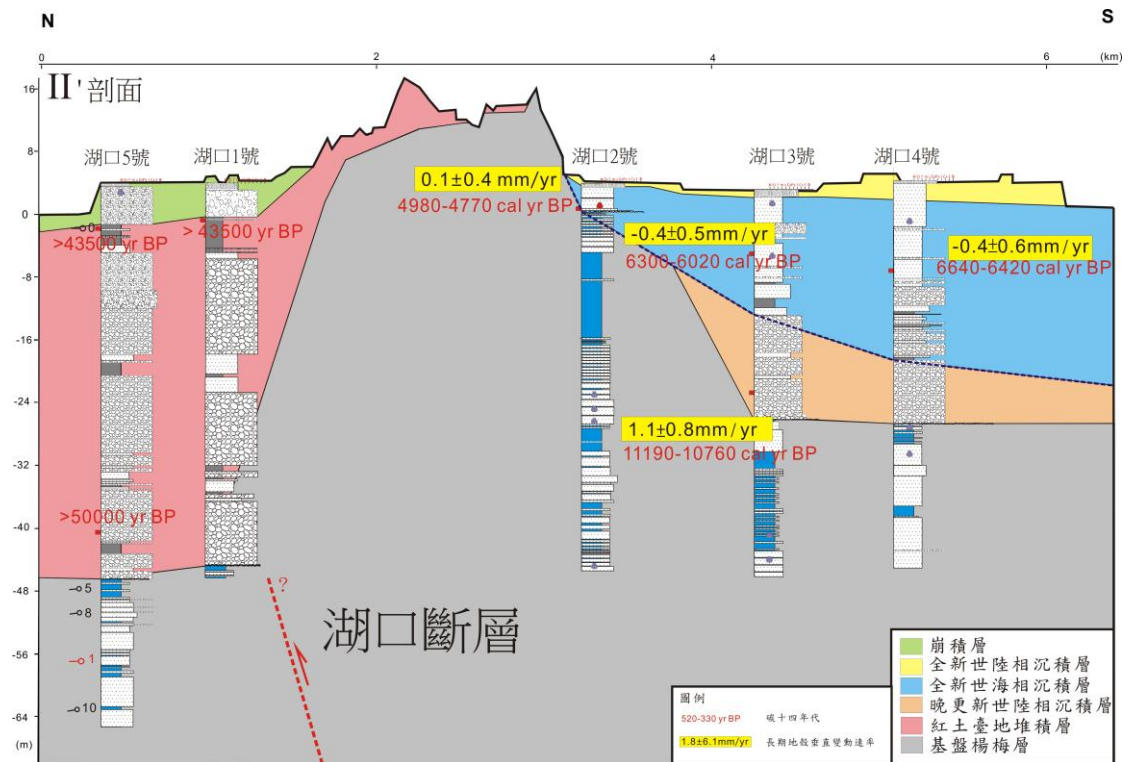


圖 4.5 II'地殼垂直變動速率剖面圖。垂直變動速率中，正值代表抬升，負值代表沉降。

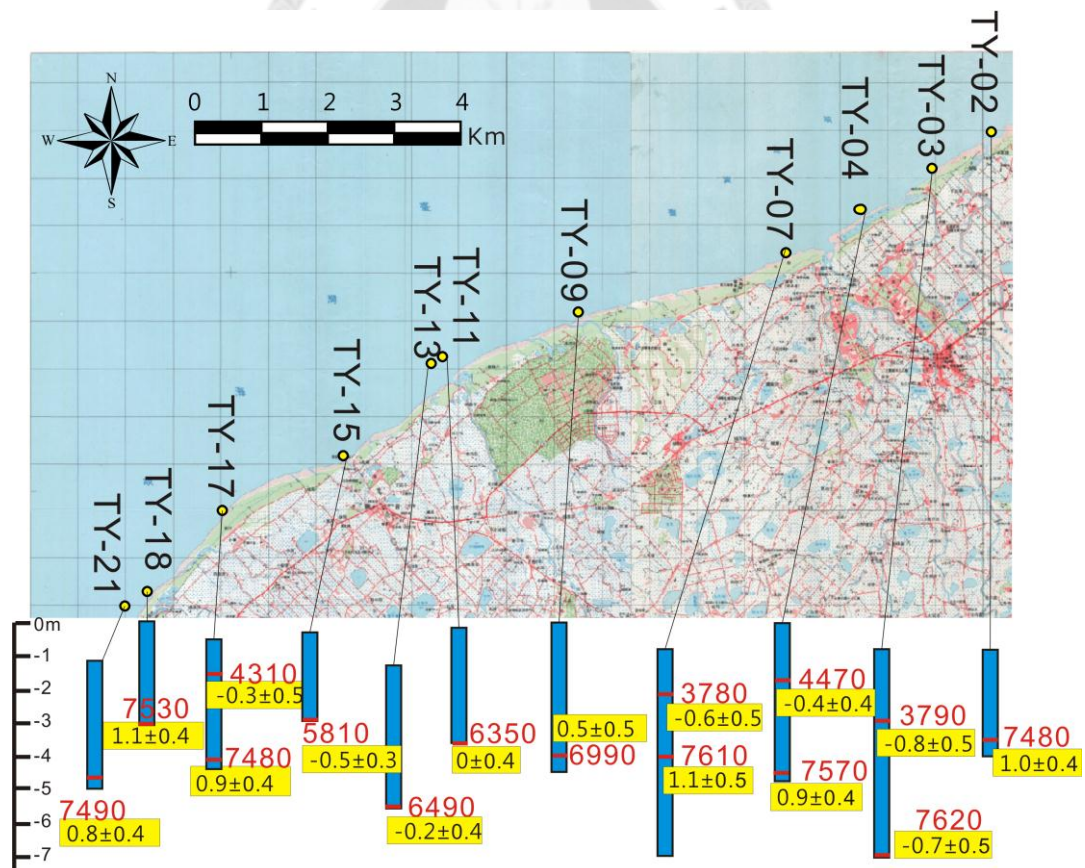


圖 4.6 觀音至大園地區地殼變動速率圖，修改自戴昌鳳等 (2009)。正值代表抬升，負值代表沉降。

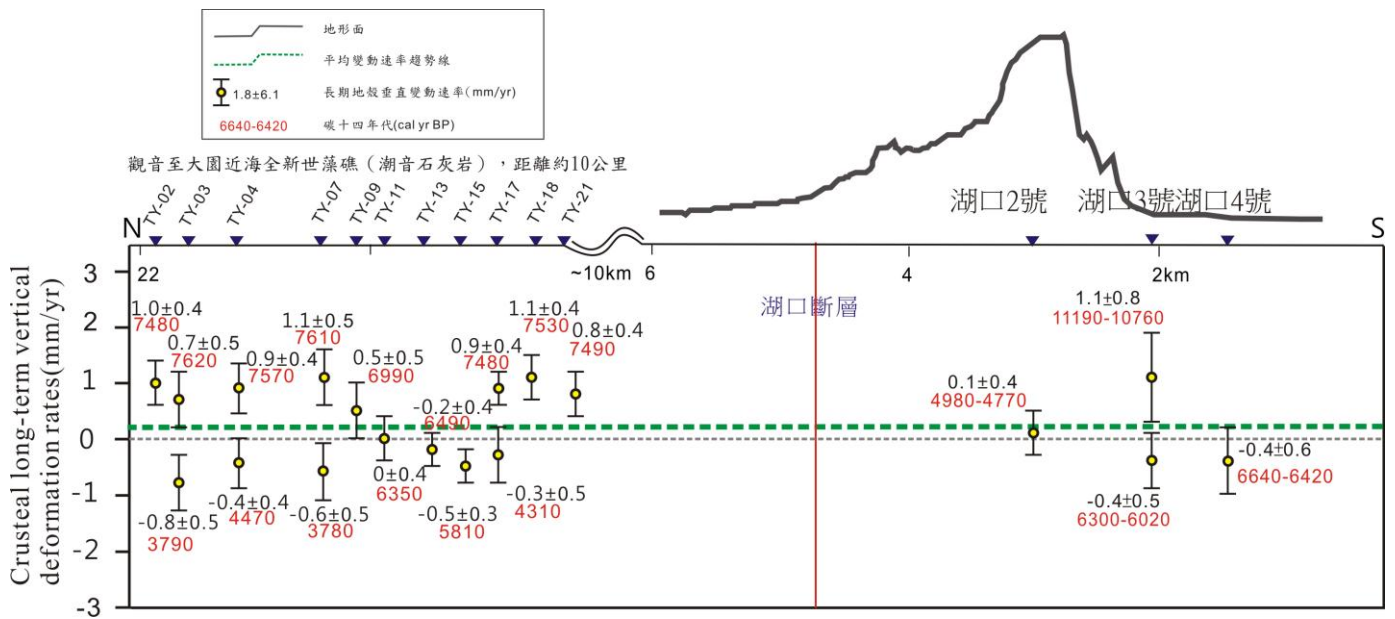


圖 4.7 湖口斷層兩側地殼平均垂直變動速率圖。湖口斷層下盤的鑽井資料來源為戴昌鳳等 (2009)，為生長於觀音至大園地區潮間帶之全新世藻礁。下盤的變動速率介於 1.6~1.3 mm/yr 之間，平均 0.2 ± 1.5 mm/yr；上盤則為 1.9~-1.0 mm/yr，平均 0.5 ± 1.5 mm/yr，故湖口斷層垂直錯移速率為 0.3 ± 3.0 mm/yr。

4.4 新城斷層長期垂直錯移速率

新城斷層南段位於頭份地區，由 GG' 剖面與 HH' 剖面 (圖 4.8) 可將紅土臺地堆積層再分為 2 期礫石層與 1 期砂泥層，其中第一期礫石層在兩個剖面中應可對比。由 GG' 剖面可見新城斷層使基盤面抬升約 14.3 公尺，並以斷層角度 25 度截切紅土臺地堆積層；而在 HH' 剖面中的第一期礫石層，其碳十四年代為 44630 ~ 43710 cal yr BP，若假設兩個剖面中的第一期礫石層為同一層，且基盤下切年代等同於第一期礫石層沉積的年代，則可計算新城斷層的抬升速率最小值 V ：

$$V1 = L \div \Delta T1 = 14.3 \text{ (m)} \div 44630 \text{ cal yr BP} \approx 0.32 \text{ (m/ka)} = 0.32 \text{ (mm/yr)};$$

$$V2 = L \div \Delta T2 = 14.3 \text{ (m)} \div 43710 \text{ cal yr BP} \approx 0.33 \text{ (m/ka)} = 0.33 \text{ (mm/yr)};$$

$$\text{故 } V = 0.32 \pm 0.01 \text{ mm/yr}。$$

其中 $V1,2$ = 抬升速率； L = 階地垂直落差； $\Delta T1,2$ = 階地年代。

又新城斷層傾角 25 度，則新城斷層的長期滑移速率最小值 R ：

$$R = 0.32 \text{ (mm/yr)} \div \sin 25^\circ = 0.76 \pm 0.01 \text{ (mm/yr)}$$

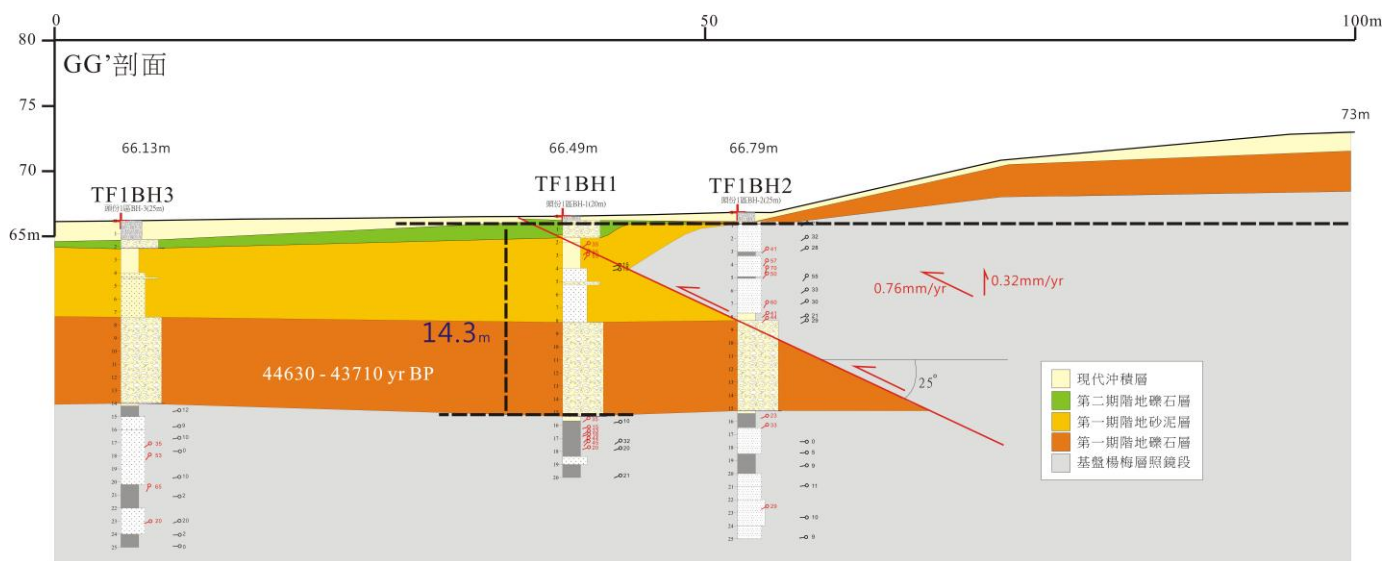


圖 4.8 GG' 剖面滑移速率解釋圖。



第五章 討論

5.1 飛鳳山丘陵的活動斷層

新竹斷層與新城斷層相交於頭前溪河床，往東與新城斷層合併為一條斷層，塗明寬與邵屏華（2001）、林啟文等（2007）認為飛鳳山丘陵地區出露的斷層屬於新城斷層，而孟昭彝（1965）與楊耿明等（1994，2002）則認為飛鳳山丘陵地區屬於新竹斷層，看法不一。若以芎林地區為界，出露於飛鳳山丘陵地區的斷層兩側地層年代差距、構造型態與斷層走向與竹東丘陵的新城斷層並不相同：東段飛鳳山丘陵的斷層其斷坪位置較深，超過 8.5 公里（line 4，圖 5.1），而竹東丘陵地區的斷坪位置僅約 3 公里；同為晚更新世的照鏡段逆衝至照門段或大茅埔礫岩之上，而竹東丘陵區域的新城斷層則為早更新世卓蘭層逆衝至晚更新世楊梅層之上；新城斷層上盤區域皆為向南傾斜，飛鳳山丘陵地區則在近斷層處呈高角度向北傾斜；新城斷層為東北走向，而飛鳳山丘陵則為近東西走向。

反觀飛鳳山丘陵的斷層與頭前溪南岸的新竹斷層，斷層兩側地層時代差距、構造形貌與斷層走向皆與竹東丘陵北緣的新竹斷層較為相似：新竹斷層的斷坪深度超過 6.5 公里深或至少深約 4 公里（line 5，圖 5.1），與飛鳳山丘陵地區相似；新竹斷層兩側的地質結構為照鏡段逆衝至沖積層與紅土臺地堆積層之上，與東段雖不相同，但若僅觀察不整合面之下的基盤岩層，其地質結構可能為照鏡段逆衝至照門段之上，與飛鳳山丘陵地區的斷層結構相似；新竹斷層與飛鳳山丘陵地區的上盤地層傾角均在靠近斷層處皆呈高角度朝北傾斜；新竹斷層與飛鳳山丘陵地區的斷層走向均為近東西向。故本研究將新竹斷層以頭前溪分為東西兩段，西段以東北東走向切過竹東丘陵北緣，在陸地上延伸超過 13 公里；東段則經過頭前溪河床北岸，往東切過在芎林北側進入飛鳳山丘陵，以東西走向延伸至關西東光里區域，最後受大平地斷層所截切，東段總長約 13 公里。

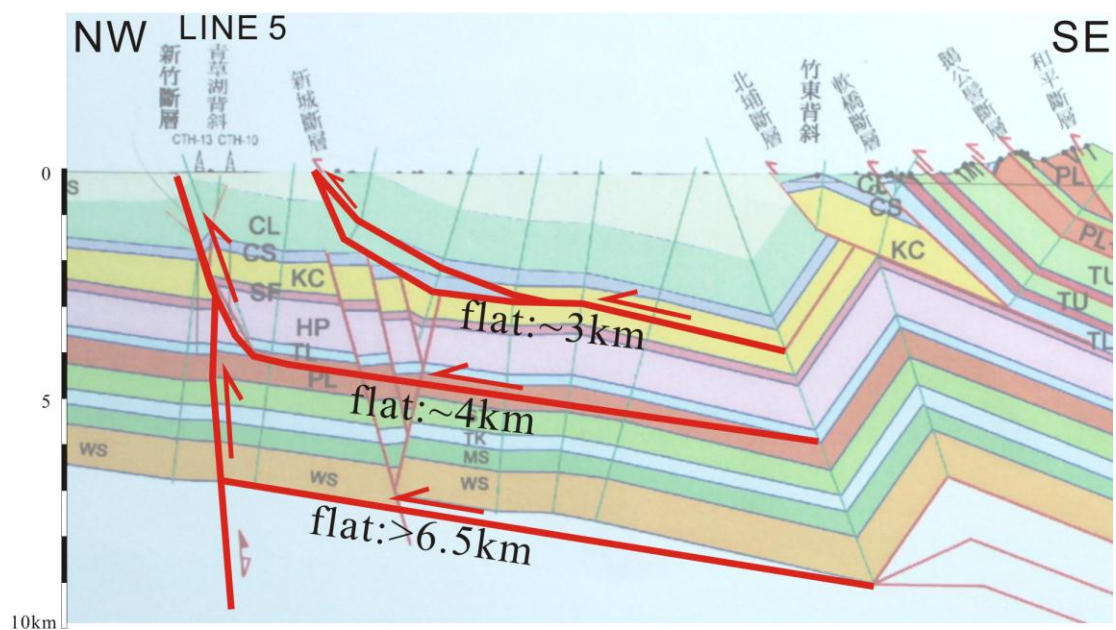
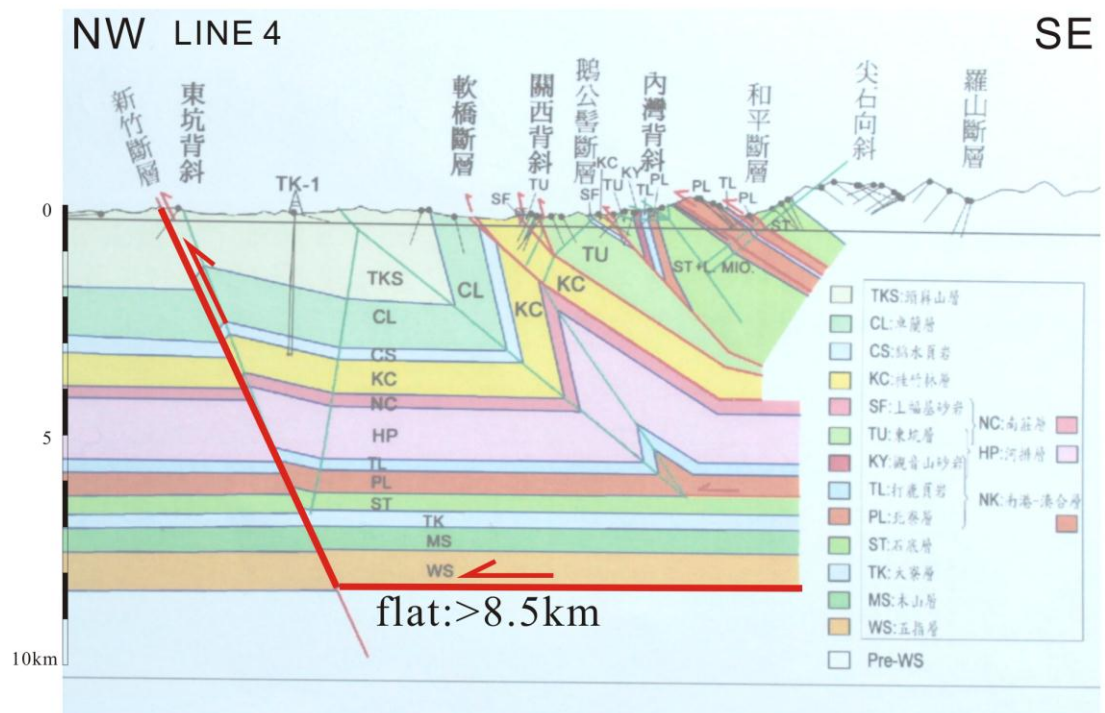
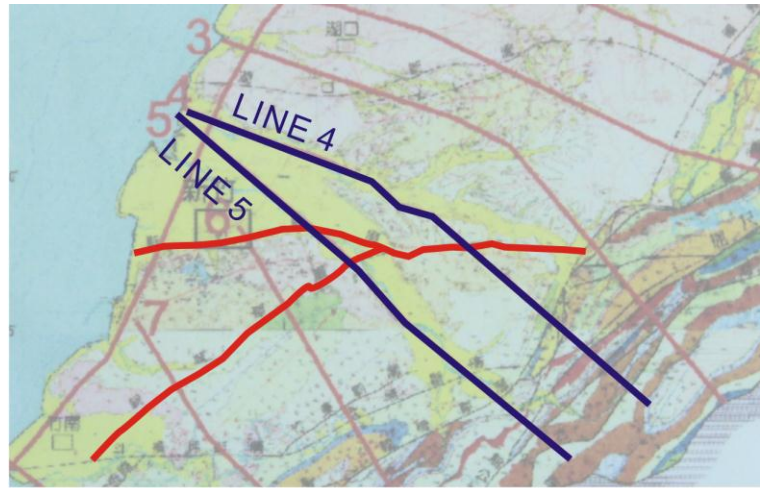


圖 5.1 新竹地區平衡剖面圖 (修改自楊耿明等, 2002)。

5.2 長期地殼變動速率變化趨勢與地下構造的關係

長期地殼變動速率深受地下構造形貌所影響，因此本研究欲從長期地殼垂直變動速率在新城斷層、新竹斷層與湖口斷層兩側的變化趨勢來討論此速率可能反映出的地下構造變形模式。頭前溪南岸具有發育完整的階地地形，根據各階面的高程變化可代表各時期的地殼變動速率變化趨勢。

頭前溪南岸階地共分為五階（圖 5.2a）：未紅土化階地 Ft1 與 Ft2、紅土化階地 Lt1、Lt2 與 Lt3。Lt3 紅土階地位於整個階地群最南側，由南向北階地高度遞減；頭前溪北岸則可能長期位於攻擊坡，階地地形並不發達。各時期河階皆受新城斷層所截切，在階地面上可觀察到明顯的斷層崖特徵與階地的變位情形，茲將階地資料與光螢光年代繪成階地剖面（圖 5.2b,c），可見各階面在新城斷層兩側皆呈現顯著的落差，分別為 91、38、36、22 與 18 公尺（Lt3 至 Ft1），新城斷層兩側的階地變化趨勢在上盤區域受寶山背斜所影響，Lt3 與 Lt2 階面皆受擾動而傾斜，不過褶皺作用似乎並不強烈，其他階面除了在近新城斷層處有小規模向北折彎的現象，主要都是穩定抬升的狀態，而下盤區域的階地面在新城斷層至青草湖背斜之間則無明顯的變形；從各時期河階面受新城斷層的截切關係，可見新城斷層已出露地表，而地表的階地變形受控於地下構造幾何形貌所影響，新城斷層應屬於斷層擴展褶皺型態，斷層尖端已截切出地表。

在新竹斷層上盤青草湖背斜區域則可見高位紅土階地面受到拱彎褶曲的現象，以高角度向兩翼傾斜，其餘較年輕的階地面則受褶皺作用較不明顯。表示新竹斷層上盤以褶皺作用為主，且由野外調查顯示紅土階地以及不整合面之下的基盤都在近新竹斷層處往北呈高角度傾斜，推測新竹斷層應屬於斷層彎曲褶皺形態，不過鑽井岩芯的結果顯示新竹斷層截切基盤岩層與紅土臺地堆積層，可能穿出地表，為沖積層所掩覆，此現象與階地變形型態並不相符，本研究認為已截切至地表的斷層應屬於較小規模的斷層，可能是軸部破裂形成的小斷層，其錯距較新城斷層小，且上盤變形形態仍受控於褶皺作用而形成青草湖背斜，真正的主斷層應沿著底脫斷層面往北繼續延伸，主斷層尖端未出露地表。

另外，由頭前溪階地群受新城斷層所錯移的高度與光螢光年代（陳于高等，2006）可計算新城斷層長期垂直錯移速率，各階地面的抬升量為：Ft1 為 18 公尺、Ft2 為 22 公尺、Lt1 為 36 公尺、Lt2 為 38 公尺、Lt3 為 91 公尺；共有三期階地的光螢光年代：Ft2 為 $23 \pm 2.6\text{ka}$ ，Lt1 為 $33.3 \pm 1.6\text{ka}$ ，Lt3 為 $66.9 \pm 2.4\text{ka}$ 。現將各階面的抬升量除以光螢光年代即為各時期的垂直錯移速率：Ft2 為 $1.0 \pm 0.1\text{ mm/yr}$ ，Lt1 為 $1.1 \pm 0.1\text{ mm/yr}$ ，Lt3 為 $1.4 \pm 0.1\text{ mm/yr}$ ，若取 Lt3、Lt1 與 Ft2 共三期階面垂直錯移速率之平均值，則新城斷層於約 7 萬年以來的長期垂直錯移速率為 $1.1 \pm 0.3\text{ mm/yr}$ 。



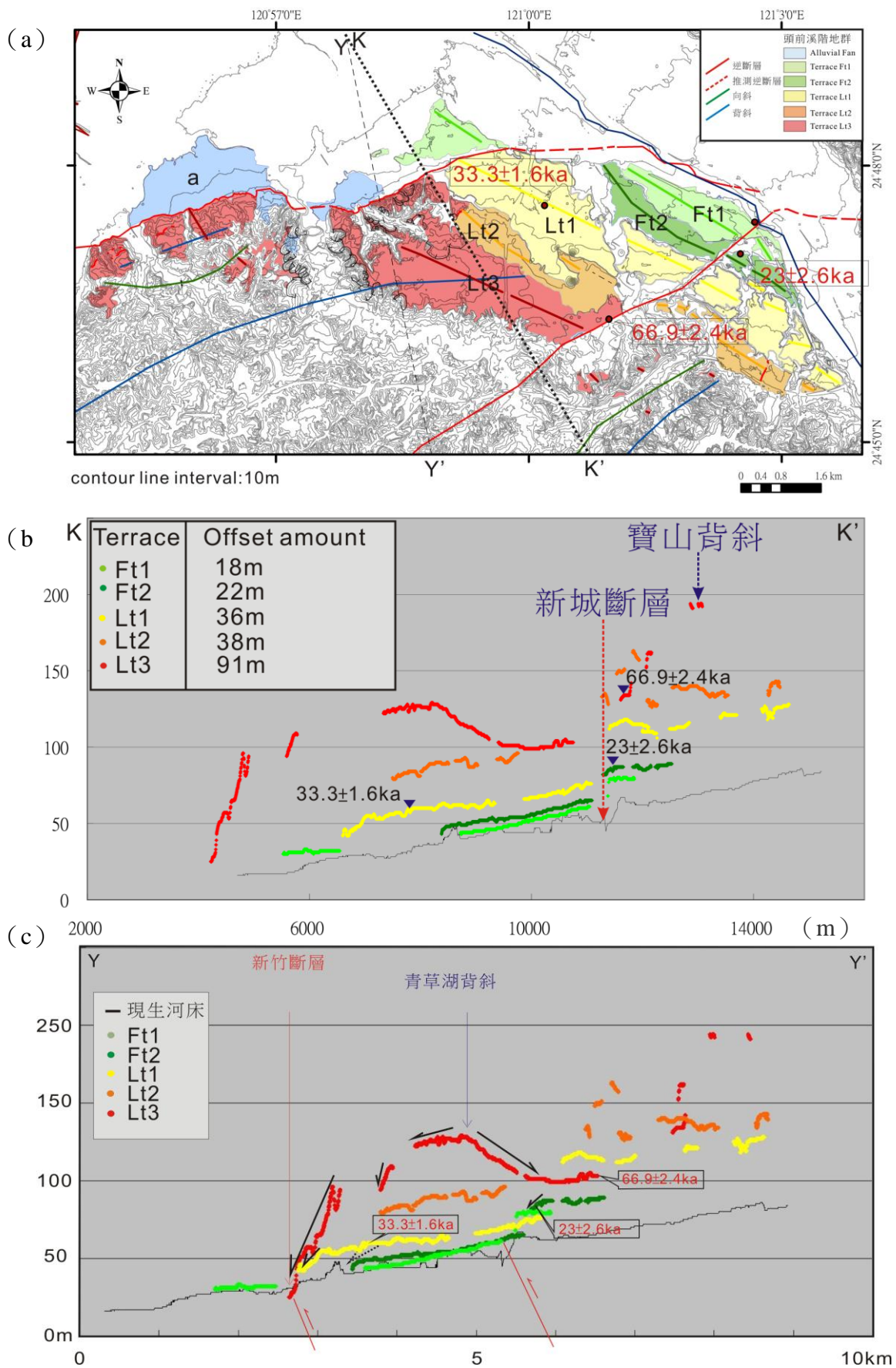


圖 5.2 (a) 頭前溪階地對比與光螢光年代位置圖 (b) 頭前溪階地剖面，投影至 KK'剖面 (c) 頭前溪階地剖面，投影至 YY'剖面。

根據第四章的計算結果以及上述的河階資料，本研究建立 UU'剖面（圖 5.4），討論新城斷層、新竹斷層與湖口斷層兩側的長期地殼垂直變動速率變化趨勢與地下構造模式的關係。承前所述，由頭前溪各時期河階面的高程變化可代表長期地殼垂直變動速率之趨勢，可見在新城斷層兩側的長期地殼垂直變動速率呈一顯著的落差，且新城斷層上盤區域長期垂直變動速率的變化趨勢較為穩定，因此由各階面的垂直錯移速率之平均應可代表新城斷層的長期垂直錯移速率，為 1.1 ± 0.3 mm/yr。由新竹斷層上盤區域的長期地殼垂直變動速率變化趨勢可見，速率由青草湖背斜軸部往兩翼緩慢變小，背斜北翼自近斷層處至跨越新竹斷層速率驟減，由斷層兩側垂直變動速率的差顯示新竹斷層在近斷層尖端的垂直錯移速率為 1.0 ± 2.4 mm/yr。湖口斷層上盤區域的地殼垂直變動速率在南寮井位置特別快，為 1.7 ± 0.8 mm/yr，由震測 ZZ'剖面（圖 5.3b）顯示此井位於背斜構造軸部。而由斷層兩側垂直錯移速率的差約 0.3 ± 3.0 mm/yr。

其中新竹斷層與湖口斷層的變形方式為褶皺作用，不能以斷層尖端的垂直錯移速率代表斷層上盤的速率，若要估算斷層錯移速率，則需要更進一步進行構造變形模擬方能得知。

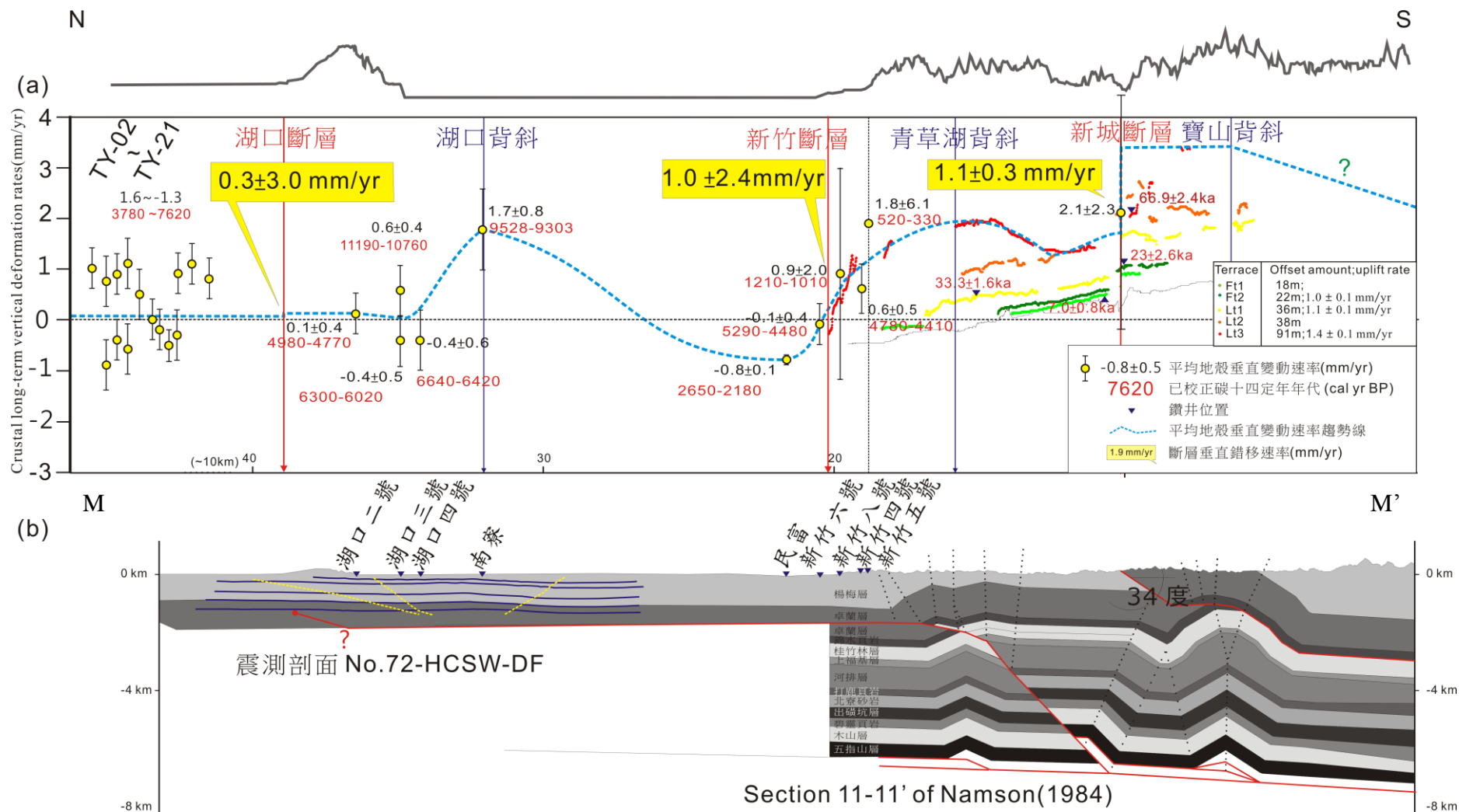


圖 5.4 (a) 研究區域內地殼長期垂直變動速率圖，引用 Namson (1984) 的平衡剖面 11-11'。(b) 新城斷層、新竹斷層與湖口斷層地下構造圖。位置見圖 5.3a 之 MM'剖面。

5.3 GPS 速度場

本研究利用林燕慧等 (2010) 在西北部地區於 2001—2008 年的 GPS 速度場解算結果來討論地殼短期的水平變化，共選取 67 個測站 (圖 5.5；表 5.1)，將所有測站的速度向量轉換成相對於湖口斷層下盤地區的 G210 測站，並將 GPS 速度向量投影至垂直斷層走向的方位角，角度為 335 度 (圖 5.6)，再將各速度向量投影至 NN' 剖面與 OO' 剖面。

結果顯示 NN' 剖面中 (圖 5.7；圖 5.8)，速度場由南往北呈緩慢降低，新城斷層上盤速率在寶山背斜軸部附近較高、在兩翼變低，且南翼降低的程度較北翼來得多。新竹斷層西段的上盤速率變化大，在近斷層尖端速率逐漸變小，至下盤區域則變動較大，但至遠端則趨於穩定，持續下降的趨勢跨過新竹斷層至下盤區域；湖口斷層上盤區域在湖口背斜速率變化略大，當跨過湖口斷層至下盤區域後則無明顯變化。OO' 剖面中 (圖 5.9)，可見速度場由南往北呈緩慢下降，且在跨過各條斷層至下盤區域後速率均有驟降趨勢；其中，介於湖口斷層與楊梅北斷層之間的速率最低，推測係受兩條斷層變形的影響，造成速度場在短距離內大幅降低。另外雙連坡斷層上盤近斷層端具有驟降後又驟升的趨勢，此變動型態似乎受到雙連坡斷層的背衝行為所影響。

綜合以上兩個速度剖面，由新城斷層、新竹斷層西段、湖口斷層東段、楊梅北斷層與雙連坡斷層在上盤近斷層端至跨越斷層線的速度場皆呈持續降低的趨勢，表示本區域內大多數的斷層活動行為在 2001—2008 年間均呈現鎖定狀態 (locking)。

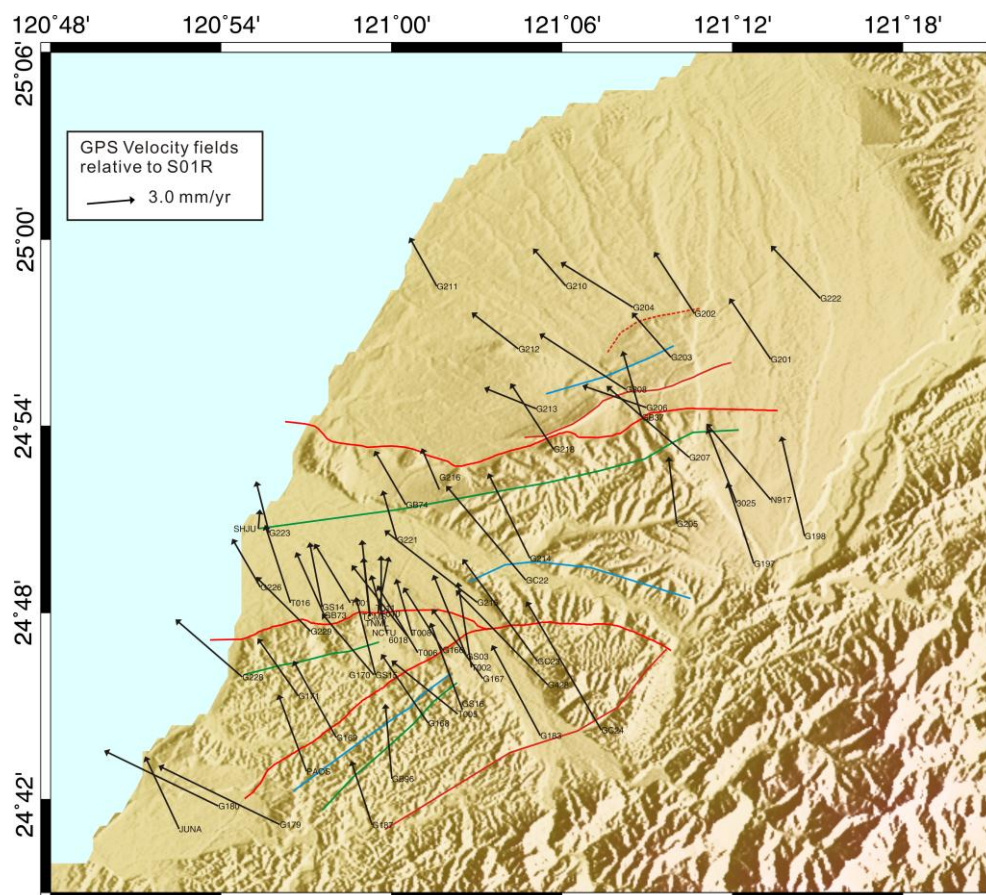


圖 5.5 桃竹苗地區 2001—2008 年 GPS 速度場，速度向量相對於澎湖白沙站 (S01R)。

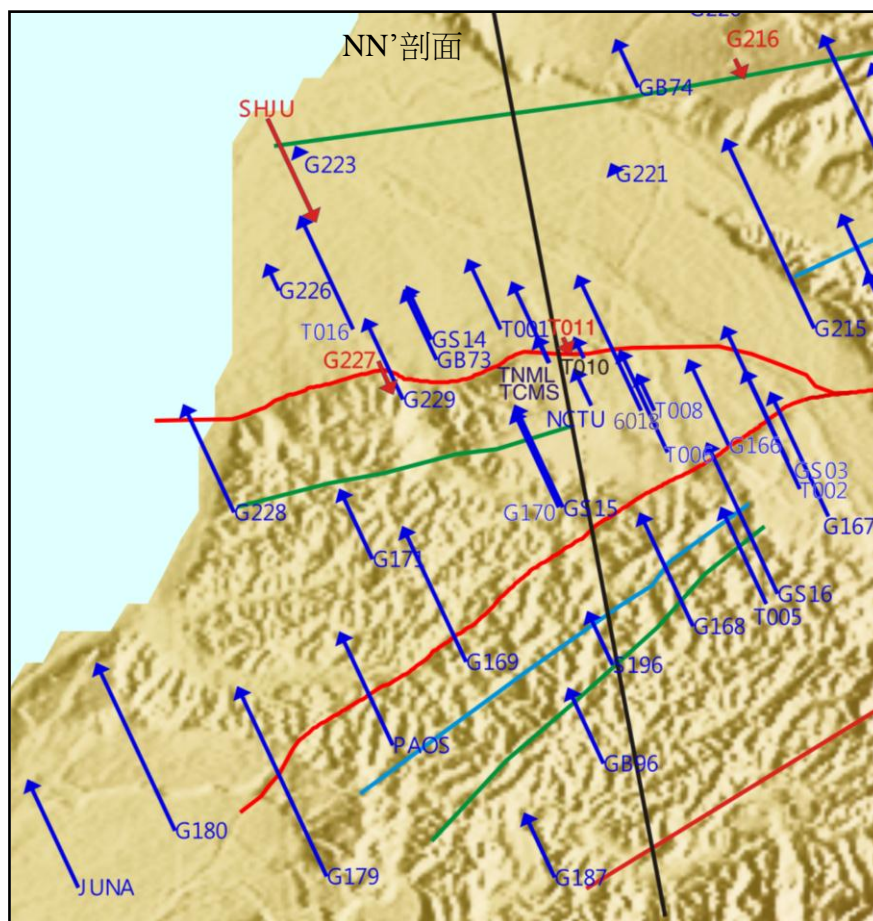


圖 5.7 竹東丘陵地區 2001—2008 年 GPS 速度場。速度向量相對於 G210 測站並投影至方位角 335 度。

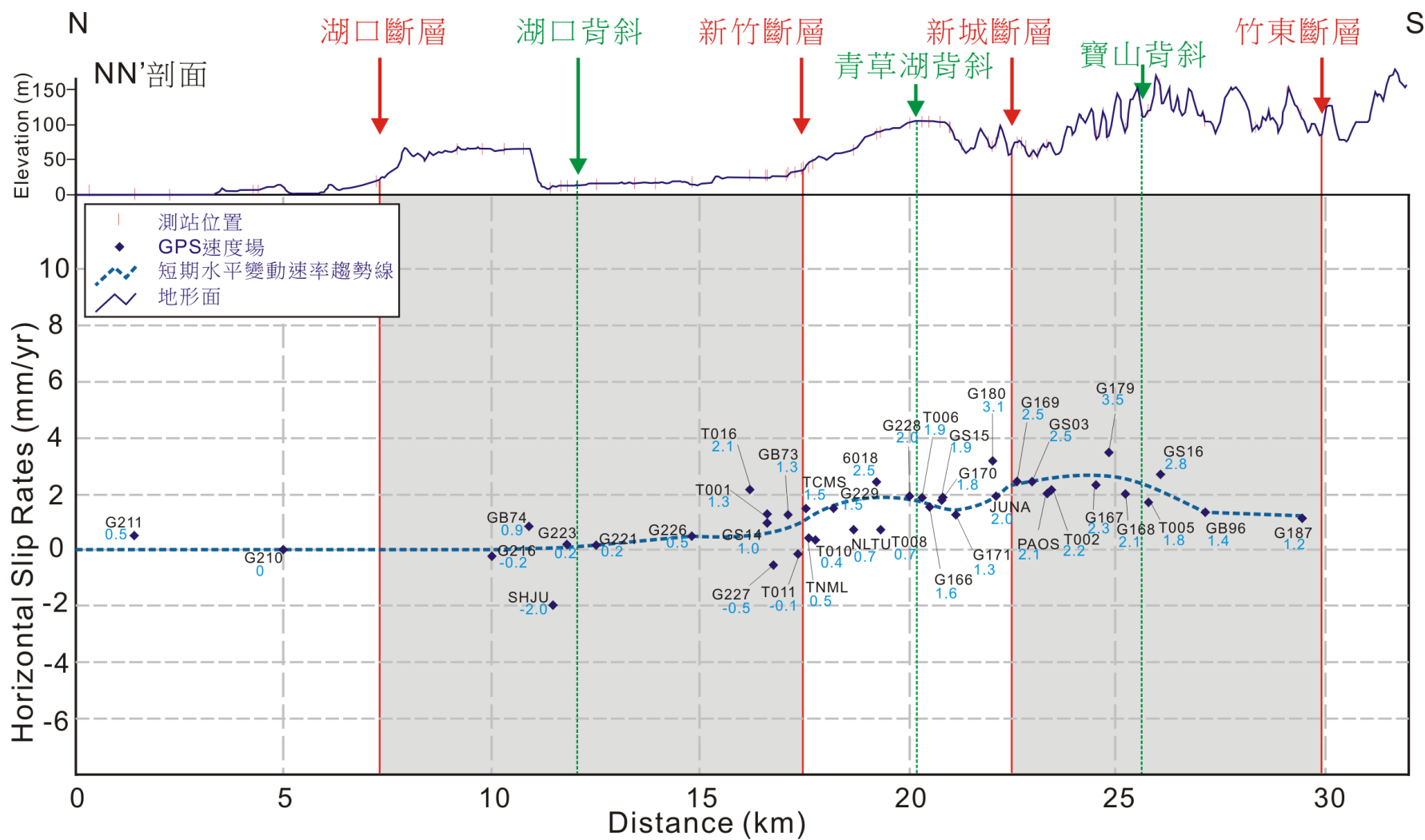


圖 5.8 垂直於構造線的 GPS 速度向量 NN'剖面。速度場由南往北呈緩慢降低，新城斷層與新竹斷層上盤區域近斷層處跨越斷層線後至斷層下盤區域，速度場皆有驟降的趨勢。速度向量相對於 G210 測站並投影至方位角 335 度。

表 5.1 桃竹苗地區 GPS 站位資料（林燕慧等，2010）。

V ：速度向量相對澎湖白沙 S01R；

V_p ：速度向量 V 投影至 335° ；

V_r ：速度向量相對於湖口斷層下盤 G210 測站，並投影至 335° 。

Station	Lon. ($^\circ$)	Lat. ($^\circ$)	V (mm/yr)	Azi. ($^\circ$)	V_p (mm/yr)	V_r (mm/yr)
A3025	121.2026	24.8588	5	339	5	2
A6018	121.0092	24.7876	5.6	322	5.5	2.5
G166	121.03	24.7801	4.6	328	4.6	1.6
G167	121.0537	24.7646	5.4	324	5.3	2.3
G168	121.0217	24.7409	5.2	326	5.1	2.1
G169	120.9677	24.7332	5.5	331	5.5	2.5
G170	120.9897	24.7666	5	320	4.8	1.8
G171	120.9453	24.7554	4.4	325	4.3	1.3
G179	120.9346	24.6864	8.4	296	6.5	3.5
G180	120.8984	24.6965	7.9	296	6.1	3.1
G183	121.0874	24.7341	6.4	332	6.4	3.4
G187	120.9886	24.6863	4.2	342	4.2	1.2
G197	121.2126	24.8264	5.3	342	5.3	2.3
G198	121.2424	24.841	6.4	347	6.3	3.3
G201	121.2227	24.9357	4.6	326	4.5	1.5
G202	121.1779	24.9602	4.6	327	4.6	1.6
G203	121.164	24.9368	3.7	319	3.6	0.6
G204	121.1419	24.9636	5.3	302	4.4	1.4
G205	121.1675	24.8478	4.2	353	4	1
G206	121.1495	24.9099	4.2	289	2.9	-0.1
G207	121.1748	24.8833	6.8	311	6.2	3.2
G208	121.1375	24.9196	6.4	303	5.4	2.4
G210	121.1024	24.9751	3.1	319	3	0
G211	121.0266	24.9747	3.5	331	3.5	0.5
G212	121.0746	24.9412	3.7	308	3.3	0.3
G213	121.0849	24.9092	3.5	292	2.6	-0.4
G214	121.0813	24.8292	5.9	334	5.9	2.9
G215	121.0504	24.8056	7.3	308	6.5	3.5
G216	121.0282	24.8661	2.8	337	2.8	-0.2
G218	121.0952	24.8876	4.9	327	4.9	1.9
G220	121.0205	24.8751	4.3	3	3.8	0.8
G221	121.0031	24.839	3.2	344	3.2	0.2

G222	121.2517	24.9685	4.5	317	4.3	1.3
G223	120.9283	24.8428	3.3	346	3.2	0.2
G226	120.9231	24.8137	3.5	330	3.5	0.5
G227	120.9431	24.7973	7.4	265	2.5	-0.5
G228	120.9125	24.7655	5.5	311	5	2
G229	120.9527	24.7901	4.8	315	4.5	1.5
G428	121.0917	24.7613	8.2	316	7.8	4.8
GB37	121.1469	24.9046	4.3	344	4.2	1.2
GB60	121.217	24.8209	9.4	336	9.4	6.4
GB73	120.9607	24.7988	4.3	336	4.3	1.3
GB74	121.0086	24.8579	3.9	330	3.9	0.9
GB96	121.0004	24.711	4.7	355	4.4	1.4
GC22	121.079	24.8174	7.7	320	7.4	4.4
GC23	121.0857	24.7739	7.9	324	7.8	4.8
GC24	121.1231	24.7371	9.3	330	9.3	6.3
N917	121.2226	24.8606	6.2	320	6	3
S196	121.0024	24.7325	4.9	11	4	1
T001	120.9758	24.8053	4.3	329	4.3	1.3
T002	121.0471	24.7707	5.4	351	5.2	2.2
T003	121.0458	24.7731	10.9	306	9.5	6.5
T005	121.0389	24.7456	5.3	309	4.8	1.8
T006	121.0156	24.7787	4.9	329	4.9	1.9
T007	121.0183	24.7662	10.3	341	10.2	7.2
T008	121.0125	24.7877	3.7	344	3.7	0.7
T010	120.994	24.7989	3.7	0	3.4	0.4
T011	120.992	24.7998	3.6	11	2.9	-0.1
T016	120.9407	24.8053	5.1	342	5.1	2.1
GS03	121.0441	24.7766	5.5	338	5.5	2.5
GS14	120.9594	24.8032	4.1	349	4	1
GS15	120.9905	24.7666	5	346	4.9	1.9
GS16	121.0416	24.7479	5.8	340	5.8	2.8
JUNA	120.8754	24.684	5	335	5	2
NCTU	120.9973	24.7888	3.8	345	3.7	0.7
PAOS	120.9503	24.7149	5.1	340	5.1	2.1
SHJU	120.922	24.8451	1.2	5	1	-2
TCMS	120.9874	24.798	4.8	354	4.5	1.5
TNML	120.9873	24.798	3.7	354	3.5	0.5

5.4 精密水準測量

本研究使用林燕慧等(2010)於2004—2008年間3條水準測量資料來討論地殼短期的高程變化，分別為新竹至峨眉測線、新竹至五峰測線與新屋至關西童話世界測線，現將新竹至峨眉測線、新竹至五峰測線的高程資料投影至PP'剖面(圖5.11)，而將新屋至關西童話世界測線投影至QQ'剖面(圖5.13)。由於每一條水準測線資料皆以其測線之最北側測站為基站，且無法以不同測線的高程資料相比較，因此僅能從各測站高程變化的趨勢來解釋地殼變動的情形。

由PP'剖面(圖5.11)，在新竹至五峰測線上，可見垂直速度場在跨過竹東斷層兩側的垂直變動速率似乎沒有變化，通過寶山背斜軸部之後逐漸變小，跨過新城斷層後又逐漸變大，在青草湖背斜軸部速度最大，自北翼至跨越新竹斷層後沒有太大變化。由新竹至峨眉測線，速度場在跨過竹東斷層後同樣沒有變化，自寶山背斜南翼至新城斷層也同樣呈現逐漸變小的趨勢，跨過新城斷層變大，接著又快速變小，至青草湖背斜軸部垂直變動速率最小，此趨勢與新竹至五峰測線的趨勢恰好相反，推測可能為局部地區有不同的變動狀態，也可能表示僅四年的水準測量資料並不足以反映地殼的變形，尚需要更為長期的觀測資料。在新竹斷層兩側則無明顯變化。

由QQ'剖面(圖5.13)，由南往北跨越大平地斷層後緩慢升高，至湖口背斜南翼約16公里處大幅度驟升，接著又大幅驟降至近湖口斷層處，值得注意的是，位於湖口背斜軸部速率並非最高，而是相對較低的。自湖口斷層上盤跨越湖口斷層、楊梅北斷層速率緩慢升高至平鎮背斜軸部，再緩慢降低跨過雙連坡斷層。

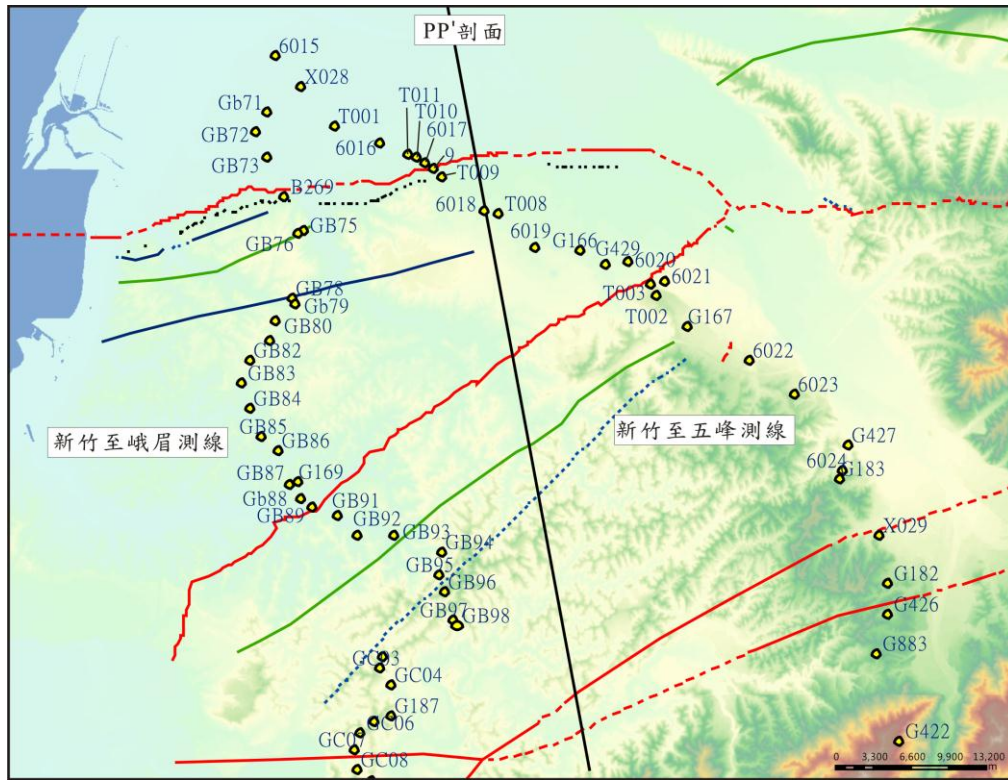


圖 5.10 PP'剖面與新竹至峨眉水準測線、新竹至五峰水準測線位置圖。

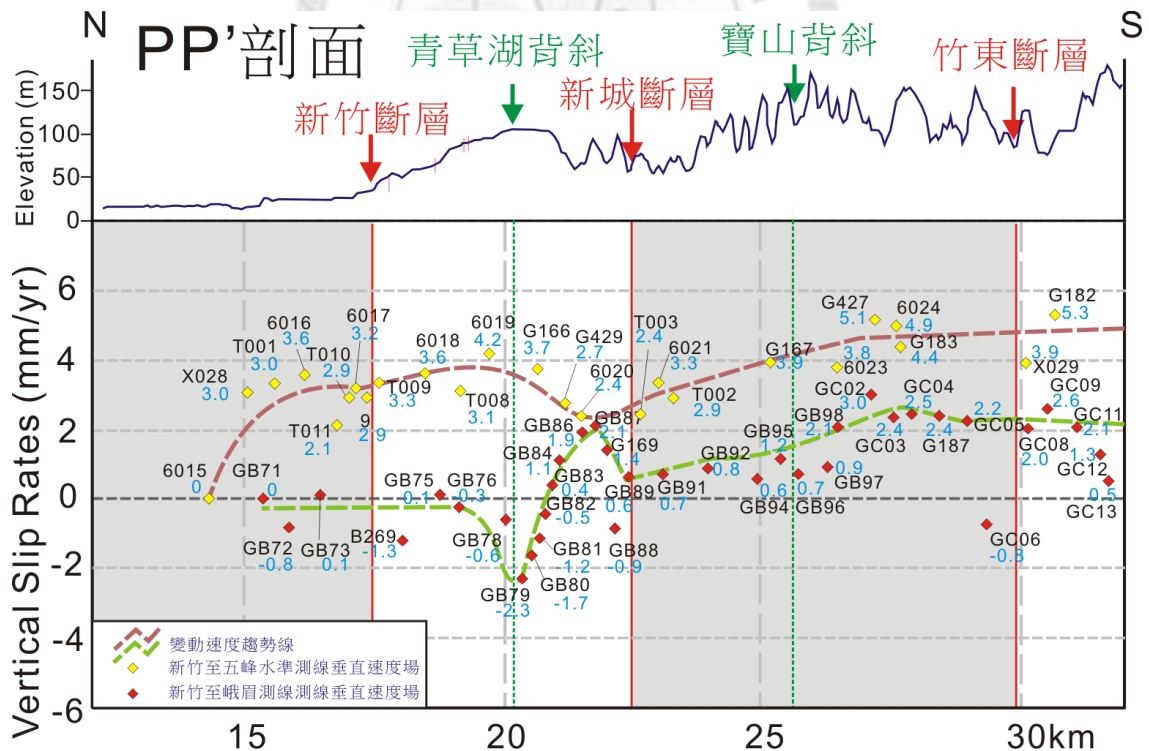


圖 5.11 短期垂直變動速率 PP'剖面。資料來源為竹東丘陵地區 2004—2008 年精密水準測量結果。新竹至五峰水準測線垂直速度場相對於 6015 測站；新竹至峨眉測線則相對於 GB71 測站。

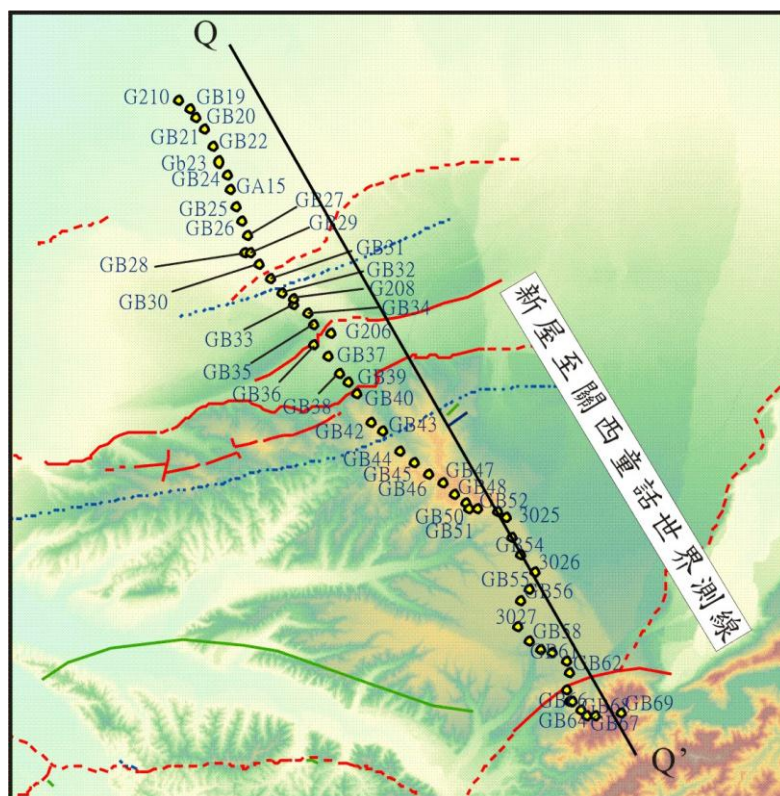


圖 5.12 QQ'剖面與新屋至關西童話世界 2004—2008 年水準測線位置。

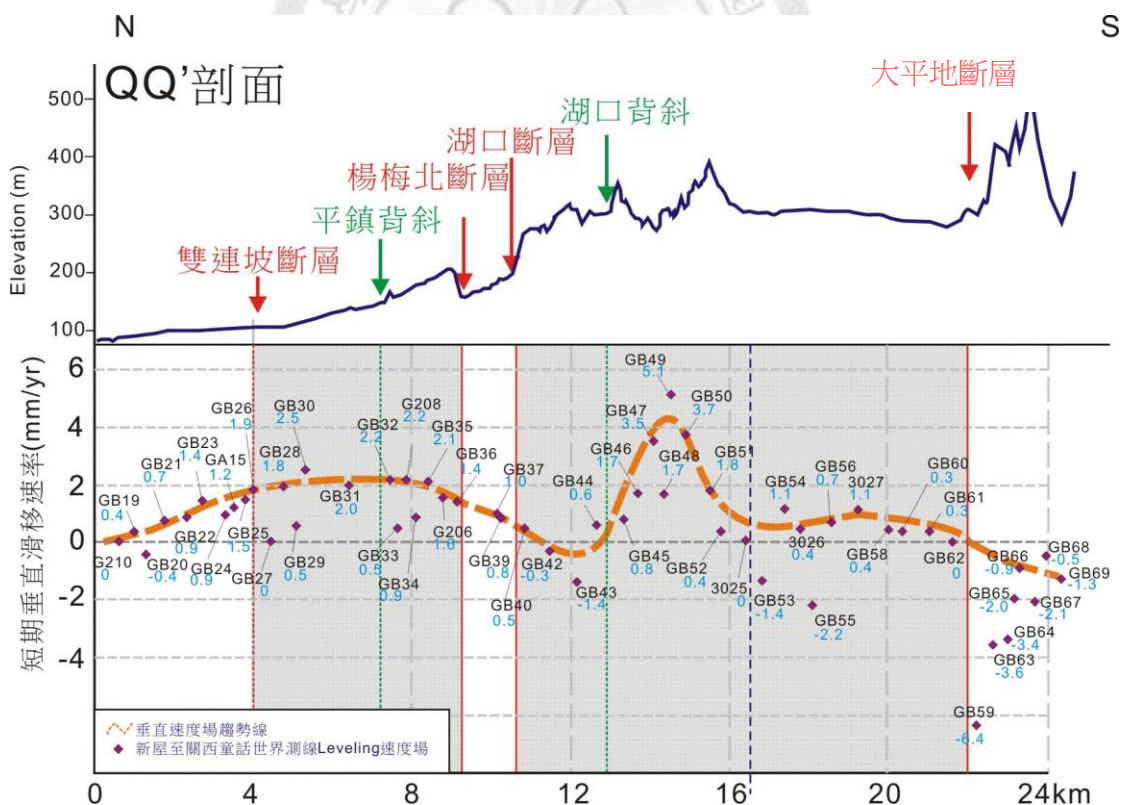


圖 5.13 短期垂直變動速率 QQ'剖面。資料來源為竹東丘陵地區 2004—2008 年精密水準測量結果，垂直速度場相對於 G210 測站。

5.5 斷層錯移速率與地下構造的關係

Stein *et al.* (1988) 提出長期地殼變形 (long-term crustal deformation)、間震期變形 (inter-seismic deformation) 以及同震期變形 (co-seismic deformation) 三者的關係 (圖 5.14)：長期變形量即為同震變形量與間震變形量之總和；而間震變形則為震後變形與沉積荷重之總和，由於震後變形以及沉積荷重造成的影響太小，可予省略。

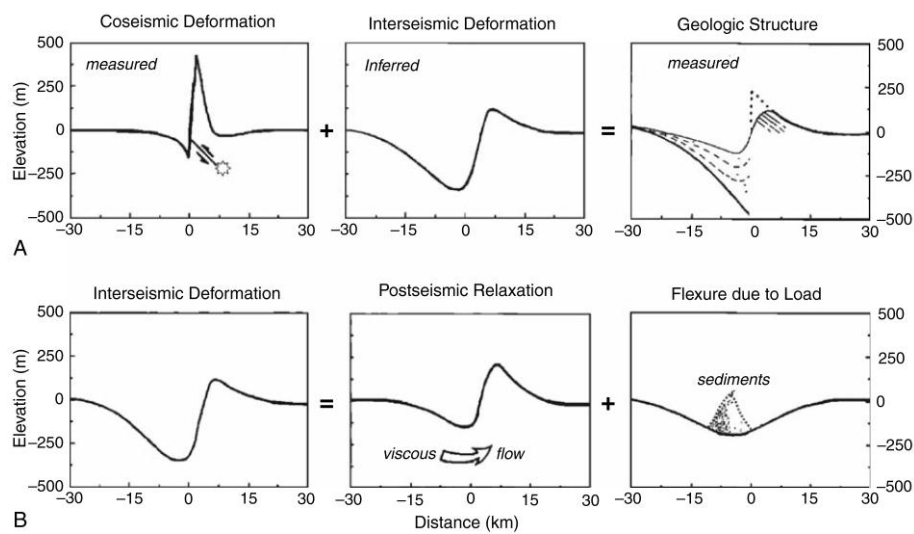


圖 5.14 (a) 長期地殼變形即為同震變形與間震變形之總和；(b) 間震變形則為震後變形與沉積荷重之總和 (Stein *et al.*, 1988)。

根據此關係式，本研究引用陳文山 (2011) 錯移速率與構造模式的模擬結果 (圖 5.15)，可見長期錯移速率、間震錯移速率與同震錯移速率三者變化趨勢深受斷層幾何形態與活動行為所影響，當逆衝斷層沿著滑脫面在斷坪 (flat) 上以一錯移速率 S 滑動，且呈一角度 θ 爬升至斷坡 (ramp) 之上，此處的錯移速率為 $S / \cos\theta$ ，由斷坡延伸位置與所夾的角度 θ 將決定地殼垂直與水平速度場的變化趨勢。現以四種構造模式的模擬結果來說明：

(1) 穿破地表的逆斷層模式 (breakthrough thrust fault; 圖 5.15a)，逆衝斷層自斷坪以一角度 θ 爬上斷坡，且斷坡上的斷層尖端已穿出地表；假設此構造模式在斷坪上的斷層錯移模式為潛變滑移 (creeping)，而斷坡上則為鎖定狀態 (locking)。

在地表反映出的同震錯移速率以及長期錯移速率在跨越斷層後急遽且大幅減少，在斷層兩側錯移速度呈現明顯的落差；而間震錯移速率在鎖定區域至跨越斷層線則為緩慢減少。

(2) 盲斷層模式 (blind thrust fault; 圖 5.15b)，逆衝斷層自斷坪以一角度 θ 爬上斷坡，但斷坡上的斷層尖端並未穿出地表；假設斷坪為潛變滑移，斷坡為鎖定狀態。在鎖定區域內，同震錯移速率與長期錯移速率快速增加，跨越斷層線後在短距離內則快速減少，在斷層兩側的落差為一漸變的形式；間震錯移速率呈緩慢減少的趨勢。

(3) 底滑斷層模式 (detachment fault; 圖 5.15c)，逆衝斷層沿著斷坪滑移，遠斷層端為潛變滑移，近斷層尖端處則為鎖定區域。其錯移速率變化趨勢類似於盲斷層模式，不過速率的變動幅度較小。

(4) 底滑斷層的背衝斷層模式 (detachment fault with back thrust; 圖 5.15d)，底滑斷層沿著斷坪滑移時，往反方向以高角度逆斷層爬上斷坡，而底滑斷層仍繼續往前滑移。在遠斷層端的斷坪以及背衝斷層的斷坡上為潛移滑動，底滑斷層的斷層尖端線則為鎖定狀態。此模式的特徵為間震期錯移速率在跨越背衝斷層時驟增，接著快速下降直到跨過底滑斷層線之後才趨於平緩；同震變形速率則與底滑斷層模式相同。

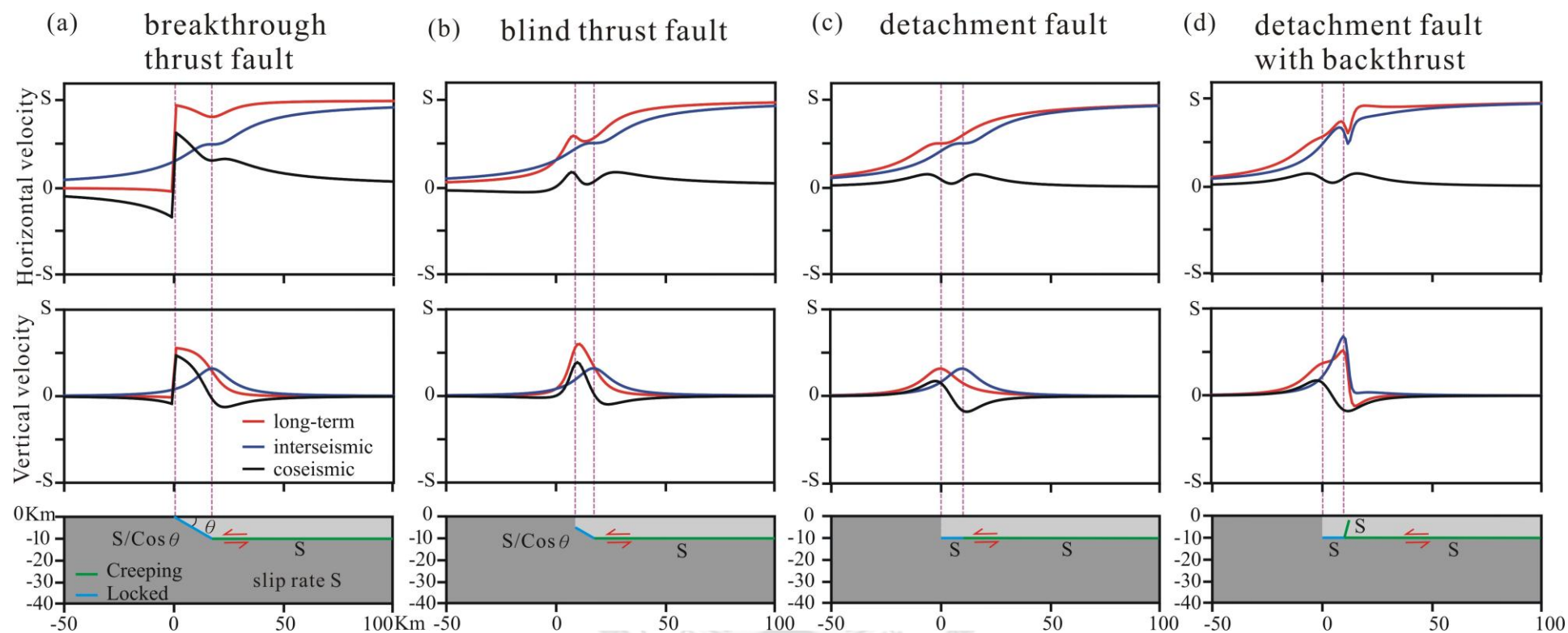


圖 5.15 2D elastic half-space dislocation model 模擬地下構造與地殼變動速率的結果（陳文山，2011）。紅色曲線為長期錯移速率，其為間震與同震之總和；藍色曲線為間震錯移速率；黑色曲線則為同震錯移速率；藍色線段代表斷層鎖住的區段；綠色線段則是斷層潛移的區段。可見逆衝斷層沿著滑脫面由斷坪（Flat）呈一角度 θ 爬升至斷坡（Ramp）之上，由斷坪延伸位置與角度 θ 將決定地殼變動速率的變化趨勢。

5.6 由地殼變動速率驗證各條斷層的構造模式

雖然研究區域內缺少同震變動速率與長期水平變動速率的資料，不過上述 GPS、精密水準測量 (leveling) 資料與前一章所估算的地殼長期垂直變動速率，分別代表水平、垂直間震變動速率與長期垂直變動速率，本研究彙整以上資料並嘗試以這些不同時間尺度的地殼變動速率變化趨勢，配合構造模擬的變形模式來驗證各條斷層的活動性模式。

5.6.1 新城斷層

新城斷層錯移頭前溪南岸各期階地面，在斷層上盤呈現顯著的抬升量，且斷層尖端已穿出地表，由此種變形形態所反映的地殼變動速率很可能與 (1) 穿破地表的逆斷層模式 (breakthrough thrust fault) 相符合，為驗證此假設，本研究選取新城斷層兩側的地殼變動速率資料，將前述 MM' 剖面的地殼長期變動速率、NN' 與 OO' 剖面的 GPS 資料、PP' 剖面的水準測量資料 (leveling) 重新投影至 Namson (1984) 的 11-11' 平衡剖面之上 (圖 5.16)，利用此平衡剖面中斷坪與斷坡的位置與長度，進行模擬速率趨勢與地殼變動速率的對比，由平衡剖面可知新城斷層沿著斷坪在 30 公里處爬上斷坡、在 22.5 公里處穿出地表。因此本研究依據 (1) 模式的假設，設定斷坡區域為鎖定狀態，即在 22.5—30 公里的區間內為鎖定範圍。

對比結果如下：由新城斷層兩側河階面的高程變化代表各個不同時期的長期地殼垂直變動速率趨勢，各期階面均在新城斷層兩側有很大的落差，上盤區域各階面除了在靠近斷層端小幅度地褶曲，主要的變化趨勢為緩慢的往北遞減；下盤的階面僅最高位的紅土階地面 Lt3 受青草湖背斜褶曲，其餘的階面亦為緩慢往北遞減，整體變化趨勢與模擬的長期地殼垂直變動速率趨勢相符合。GPS 測量結果代表短期地殼水平變動速率，斷層上盤區域速率變化大，並不符合模擬的短期地殼水平變動速率趨勢。水準測量資料代表短期地殼垂直變動速率，兩條測線皆具有往北遞減的趨勢；不過新竹至五峰水準測線在新城斷層下盤不減反增，推測應為局部的地殼變動所導致的結果，因此精密水準測量資料的整體變化趨勢略符合模擬速率趨勢。故新城斷層在長期垂直方向、短期垂直方向的地殼變動速率符合 (a) 穿破地表的逆斷層模式 (breakthrough thrust fault)，而短期地殼水平變動速率的變化趨勢則不符合。

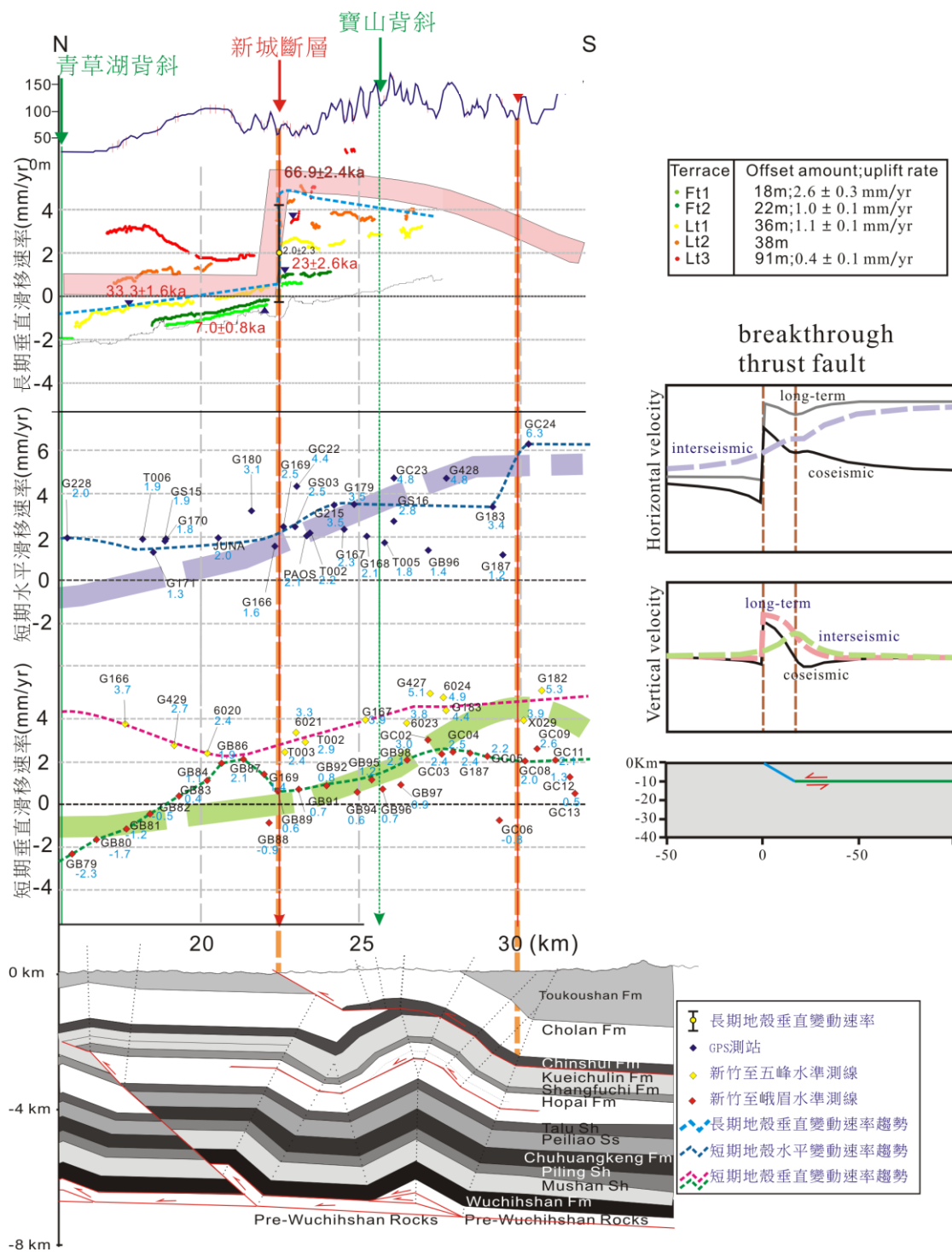


圖 5.16 新城斷層兩側地殼錯移速率趨勢對比圖。其中粉紅色、紫色與綠色粗虛線為模擬變形模式的地殼變動速率趨勢線。

5.6.2 新竹斷層

新竹斷層上盤以褶皺變形為主，斷層上盤地層以高角度往北傾斜，且斷層尖端未出露地表，推測由此種變形形態所反映的地殼變動速率與（2）盲斷層模式（blind thrust fault）相似，為了驗證此假設，本研究選取新竹斷層兩側的地殼變動速率資料，利用 Namson（1984）的 11-11' 平衡剖面斷坪與斷坡的位置與長度，對比地殼變動速率趨勢與模擬速率的趨勢（圖 5.17），由平衡剖面可知新竹斷層的斷坡位置位於 26 至 22 公里處，接著便爬升至較淺處的斷坪之上。根據模式（2）假設斷坪上為鎖定狀態，故設定 26—22 公里處為鎖定區域。

對比結果，由鑽井岩芯與碳十四定年所解析的地殼長期垂直變動速率在新竹斷層兩側往北大幅減少，呈現連續的遞減趨勢；由各期河階面所獲得長期垂直變動速率在上盤區域呈大幅度的褶皺變形，在青草湖背斜兩翼，與模擬的速率變化趨勢一致。由 GPS 資料所代表的短期地殼水平變動速率變化大，僅在近新竹斷層處呈緩緩減低的趨勢。由精密水準測量資料所代表的短期地殼垂直變動速率之中，新竹至峨眉測線在斷坡上的垂直速率呈遞減的趨勢，與模擬的變化相符，不過，新竹至五峰測線之中在斷坡上的變化則反而增加，推測應為局部構造的影響所致。由以上可知，新竹斷層上盤鎖定區域內的長期垂直變動速率、短期地殼垂直變動速率的變化趨勢符合盲斷層模式（blind thrust fault；圖 5.17），而短期地殼水平變動速率的變化趨勢則不符合。

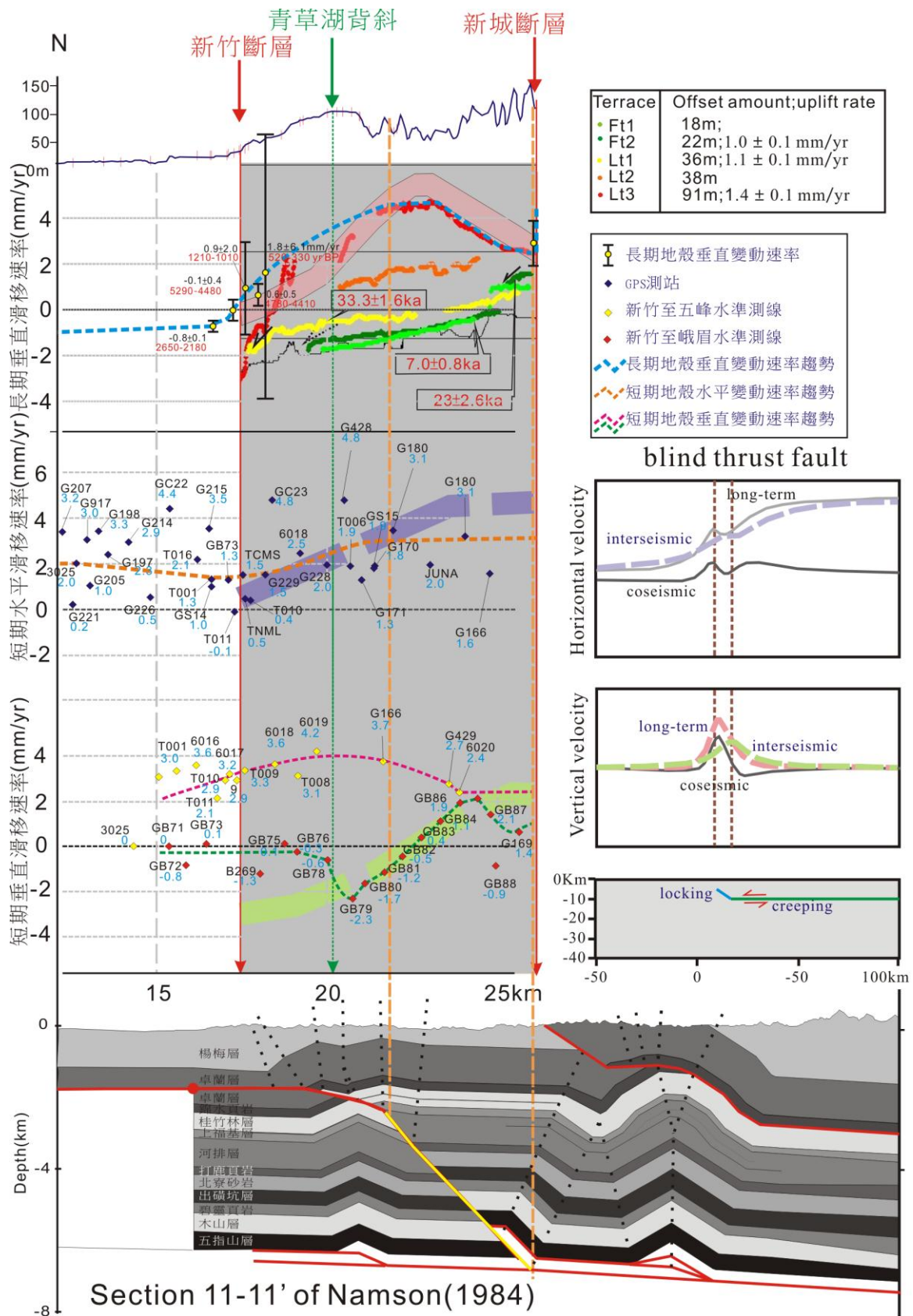


圖 5.17 新竹斷層兩側地殼錯移速率趨勢對比圖。其中粉紅色、紫色與綠色粗虛線為模擬變形模式的地殼變動速率趨勢線。

5.6.3 湖口斷層

湖口斷層上盤以褶皺變形為主，斷層上盤地層以高角度往北傾斜，且斷層尖端未出露地表，推測由此種變形形態所反映的地殼變動速率與（2）盲斷層模式（blind thrust fault）應相似，為了驗證此假設，本研究選取湖口斷層兩側的地殼變動速率資料，將前述 MM' 剖面的地殼長期變動速率、OO' 剖面的 GPS 資料、QQ' 剖面的水準測量資料（leveling）重新投影至 Suppe（1979）楊梅—湖口背斜平衡剖面（圖 5.18），並利用斷坪與斷坡的位置與長度，對比地殼變動速率趨勢與模擬速率的趨勢，由平衡剖面可知湖口斷層的斷坡位置位於 13—14.5 公里處。根據模式（2）假設斷坪上為鎖定狀態，故設定 13—14.5 公里處為鎖定區域。

由長期地殼垂直錯移速率自湖口背斜向兩翼遞減，符合模擬的速率變化趨勢。由 GPS 資料所代表的短期地殼水平變動速率自湖口斷層遠端往北呈現緩緩減少的趨勢，至湖口背斜軸部速率則增高，於近湖口斷層處又緩緩減少，在鎖定區域中水平速率不符合模擬速率變化趨勢。由水準測量資料代表的短期地殼垂直變動速率則在湖口背斜向兩翼遞減，其垂直錯移速率符合模擬速率變化的趨勢。由以上可知，湖口斷層上盤鎖定區域內的長期垂直變動速率、短期地殼垂直變動速率的變化趨勢符合（b）盲斷層模式而短期地殼水平變動速率的變化趨勢，而短期地殼水平變動速率的變化趨勢則不符合。

綜合以上比較的結果，本研究認為新城斷層、新竹斷層以及湖口斷層的短期地殼水平變動速率變化趨勢並不符合模擬結果的變化趨勢，可能是因為在斷坡上的鎖定的區域不同所致。

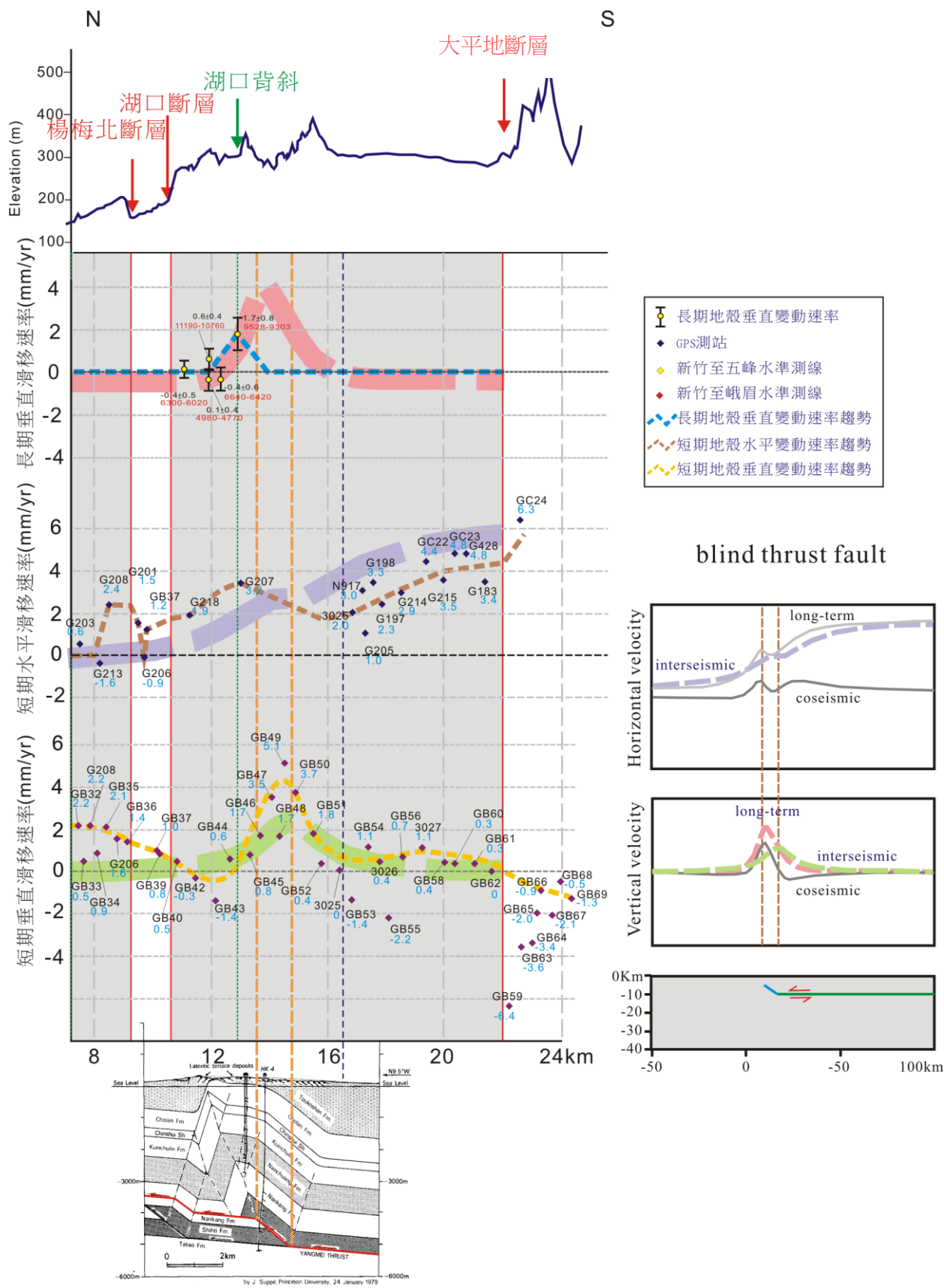


圖 5.18 湖口斷層兩側地殼錯移速率趨勢對比圖。其中粉紅色、紫色與綠色粗虛線為模擬變形模式的地殼變動速率趨勢線。

第六章、結論

1. 出露於飛鳳山丘陵地區呈東西走向的活動斷層其斷坪深度、斷層兩側地層時代差距、構造形貌與斷層走向皆與新竹斷層相似，故本研究認為新竹斷層與新城斷層相交於頭前溪河床北岸，之後往東切過芎林北側的年輕沖積層進入飛鳳山丘陵，以東西走向延伸至關西東光里區域，最後受大平地斷層所截。新竹斷層最西段則通過美山至客雅濱海地區的鑽井剖面 HSH1 與 HSH2 兩井之間，依照斷層連續性應可往西繼續連接至新竹外海，與一連串地壘與地塹的構造相連，在陸地上總長約 26 公里。

由地形分析顯示，新竹斷層西段的構造型態以兩組相互平行的線型所組成，位於南側的斷層崖高度都高於北側斷層崖，且南側斷層都錯動年代較老的地層。由野外調查顯示，上盤地層在靠近斷層處以 30—50 度向北傾斜，且不整合面之上的紅土臺地堆積層亦以高角度向北傾斜，顯示新竹斷層上盤以褶皺變形為主；由鑽井分析結果顯示，新竹斷層則已截切紅土臺地堆積層與臺地堆積層，顯示斷層尖端線已擴展至接近地表處，惟受厚層沖積層覆蓋，在地表僅出現構造線形故未能發現斷層露頭。

2. 新城斷層最南段出露於頭份地區，由 GG' 鑽井剖面可見為楊梅層照鏡段逆衝至紅土臺地堆積層與現代沖積層之上，斷層角度 25 度，且基盤至少抬升 14.4 公尺；而 HH' 剖面則未鑽遇斷層，故新城斷層位於更東緣的線形崖。湖口斷層兩側淺層鑽井與野外調查皆未發現主斷層出露，本研究認為湖口斷層尖端線並未出露地表，以高角度盲斷層的形式在地下潛伏，即便發現剪切作用，仍屬於層間滑移或軸部破裂的結果。地形崖的成因為褶皺作用而非斷層作用所主導，因此斷層跡確切位置仍有爭議。

3. 本研究以樣本高度、古海面高度、古環境深度與碳十四年代來計算斷層兩側的地殼長期垂直變動速率，由各條斷層兩側速率之差即為此斷層的長期垂

直錯移速率，新竹斷層為 1.0 ± 2.4 mm/yr、而湖口斷層為 0.3 ± 3.0 mm/yr，這兩條斷層變形方式屬於褶皺作用，上述的計算結果僅代表斷層尖端線的錯移速率。新城斷層另以頭前溪階地群的錯移高度與螢光定年年代計算長期垂直錯移速率，為 1.1 ± 0.3 mm/yr。此外，在頭份地區 GG' 剖面中新城斷層以 25 度向東傾斜截切紅土臺地堆積層，使基盤面抬升 14.4 公尺，配合 HH' 剖面中的碳十四年代，計算新城斷層南段的長期滑移速率為 0.32 ± 0.01 mm/yr；已知斷層傾角 25 度，則新城斷層的長期滑移速率最小值為 0.76 ± 0.01 mm/yr。

4. 將長期地殼變動速率與地下構造對比，可見南寮井的長期地殼垂直變動速率特別快，為 1.7 ± 0.8 mm/yr，且由震測 ZZ' 剖面顯示具有一背斜構造，其軸部的位置恰位於南寮井，故推論湖口背斜應可延伸至此井的位置。此外，區域內斷層發育具有由南往北擴展的趨勢，新城斷層屬於斷層擴展褶皺形態，斷層尖端線已截切出露地表；新竹斷層屬於斷層彎曲褶皺型態，斷層尖端可能已截切至地表，但上盤變形形態仍以褶皺變形為主，錯距較新城斷層小。湖口斷層則為底脫斷層或者斷坡較短的斷層彎曲褶皺形式，斷層並未出露於地表，以褶皺變形為主。

5. 由大地測量資料取得的水平與垂直速度場向量，可見新城斷層、新竹斷層西段、湖口斷層東段、楊梅北斷層與雙連坡斷層在上盤近斷層端至跨越斷層線的速度場皆呈持續降低的趨勢，表示本區域內多數活動構造均為鎖定狀態 (locking)。另外，由水平間震滑移速率、垂直間震滑移速率與長期垂直滑移速率的趨勢變化配合構造模擬變形模式來驗證各條斷層的活動性模式，結果顯示各時期的滑移速率大多符合模擬的變動趨勢，新城斷層符合穿破地表的逆斷層模式 (breakthrough thrust fault)；新竹斷層符合盲斷層模式 (blind thrust fault)；湖口斷層符合盲斷層模式 (blind thrust fault)，不過三條斷層兩側的短期地殼水平變動速率的變化趨勢與模擬趨勢並不符合，可能是因為在斷坡上的鎖定區域不同所致。

參考文獻

- Burbank, D. W., Leland, J. Fielding E., Anderson, R. S., Brozoic, N., Reid, M. R., Duncan, C. (1996) Bedrock incision, rock uplift and threshold hillslopes in the northwestern Himalayas, *Nature*, 379, 505-510.
- Chang, S.L. (1972) Subsurface geologic study of the Hsinchu basin, Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 10, 63-87.
- Chen, R.C., Huang, S.T., Shen, H.C., Chi, W.R. (1994) The Structural Geology Relating to Petroleum Habitats of the Kuanyin and Uplift and Its Neighboring Basins, *Petrol. Geol. Taiwan*, 29, 75-104.
- Chen, Y.G., Shyu, J.B.H., Ota, Y., Chen, W.S., Hu, J.C., Tsai, B.W., Wang, Y. (2004) active structures as deduced from geomorphic features a case in Hsinchu area, northwestern Taiwan, *Quat. Intl.*, 115-116, 189-199.
- Chiu, H.T. (1970) Structure features of the area between Hsinchu and Taoyuan, northern Taiwan, *Mem. Geol. Soc. China*, 13, 63-75.
- Chiu, H.T. (1971) Folds in the Northern half of Western Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 8, 7-19.
- Chu, H.T., Liang S.H., Lee, J.C., Chen, C.L. (2012) A new view on the Hukou Fault: Discovery of a branch fault in the hanging wall and its structural analyses, 2012 *Annu. Meet. Chinese. Geophys. Soc. Geol. Soc. Taiwan*, abstract, 2-3F-T1-121.
- Chung, C.T. (1963) A study of the geology and petroleum potentialities of the Paoshan and Chingtsaohu area, Hsinchu, *Petrol. Geol. Taiwan*, 2, 221-240.
- Elishewitz, B. (1963) A new interpretation of the structure of the Miaoli area in the light of the decollement tectonics of northwest Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 2, 21-45.

- Huang, C.S. (1984) Quaternary faults in the coastal area between Hsinchu and Chunan, northwestern Taiwan, *Spec. Publ. Cent. Geol. Surv.*, 3, 103-126.
- Huang, S.T., Chen, R.C., Chi, W.R. (1993) Inversion Tectonics and Evolution of the Northern Taihsi Basin, Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 28, 15-46.
- Iwata, S., Sharma, T., Yamanka, H. (1984) A preliminary report on geomorphology of central Nepal and Himalayan uplift, *J. Nepal Geol. Soc.*, 4, 141-149.
- Ku, C. C. (1963) Photogeologic study of terraces in northwestern Taiwan, *Mem. Geol. Soc. China*, 6, 89-92.
- Lee, C.I., Chang, Y.L., Mao, E.W., Tseng, C.S. (1993) Fault reactivation and structural inversion in the Hsinchu-Miaoli area of northern Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 28, 47-58.
- Lim, Y.K. (1971) A petrographic study of the Miocene formations of the Hukou structure in northern Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 9, 67-78.
- Meng, C.Y. (1965) Lateral movement in the northern half of western Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 4, 89-92.
- Molnar, P. (1987) Inversion of profiles of uplift rates for the geometry of dip-slip faults at depth, with examples from the Alps and the Himalaya, *Ann. Geophys.*, 5, 663-670.
- Namson, J. (1984) Structure of the western foothills belt, Miaoli-Hsinchu area, Taiwan: (III) central part, *Petrol. Geol. Taiwan*, 20, 35-52.
- Ota, Y., Lin, N. Y.N., Chen, Y.G., Matsuta, N., Watanuki, T., Chen, Y.W. (2009) Touhuanping Fault, an active wrench fault within fold and thrust belt in northwestern Taiwan, documented by spatial analysis of fluvial terraces, *Tectonophysics*, 474, 559–570.
- Pan, Y.S. (1965) Interpretation and seismic coordination of the Bouguer gravity anomalies obtained in northwestern Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 4, 287-301.

- Rockwell, T. K., Keller, E. A., Clark, M.N., Johnson, D. L. (1984) Chronology and rates of faulting of Ventura River terraces, California, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 95, 1466-1474.
- Shyu, J. B.H., Sieh, K., Chen, Y.G., Liu, C.S. (2005) Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 110, B08402.
- Stein, R.S., King, G.C., Rundle, J.B. (1988) The growth of geological structures by repeated earthquakes: 2 field examples of continental dip-slip faults, *J. Geophys. Res.* 93, 13319-13331.
- Suppe, J. and Namson J. (1979) Fault-Bend Origin of Foreland of the Western Taiwan Fold-and-Thrust Belt, *Petrol. Geol. Taiwan*, 16, 1-18.
- Tang, C.H. (1963) Geology and oil potentialities of the Hukou Anticline, Hsinchu, *Petrol. Geol. Taiwan*, 2, 241-252.
- Tang, C.H. (1968) Photogeological observations on the low hilly terrain and coastal plain area of Hsinchu, Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 4, 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. (1994) Sequential deformation in foothills belt, Hsinchu and Miaoli areas: Implications in hydrocarbon accumulation, *Petrol. Geol. Taiwan*, 29, 47-74.
- Yang, K.M., Wu, J.C., Wickham, J.S., Ting, H.H., Wang, J.B., Chi, W.R. (1996) Transverse structures in Hsinchu and Miaoli areas: Structural model and evolution in the foothills belt, northwestern Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 30, 111-150.

Yang, K.M., Ting, H.H., Wu, J.C. and Chi, W.R. (1997) Geological model for complex structures and its implications for hydrocarbon exploration in northwestern Taiwan, *Petrol. Geol. Taiwan*, 31, 1-42.

Yeh, Y.H., Barrier, E., Lin, C.H. and Angelier, J. (1991) Stress tensor analysis in the Taiwan area from focal mechanisms of earthquakes, *Tectonophysics*, 200, 267-280.

Yu, S.B., Chen, H.Y., Kuo, L.C. (1997) Velocity field of GPS stations in the Taiwan area, *Tectonophysics*, 274, 41-59.

大炊御門經輝與黃敦友（1957）石門剖面及楊梅地區之湖口R-1號井之上部新生代生物地層。中國石油公司，古生物實驗室第19號報告（未刊行）。

中油公司台探總處（1978）十萬分之一台灣地質圖，桃園—新竹幅。

中油公司台探總處（1994）十萬分之一台灣地質圖，苗栗幅。

丹桂之助（1933）臺灣新竹州竹東台地之地形考察。地學雜誌，第 46 卷，536 期，35-43 頁。（日文）

王昱（2003）桃園—新竹臺地區構造活動與地形特徵。國立台灣大學地質科學所碩士論文，共 105 頁。

市川雄一（1930）竹東圖幅說明書。台灣總督府殖產局，第 582 號。

石再添、張瑞津、黃朝恩、石慶得、楊貴三、孫林耀明（1983）台灣北部與東部活動斷層的地形學研究。台灣師範大學地理研究所地理研究報告，第 9 期，20-72 頁。

石再添、鄧國雄、張瑞津、楊貴三（1985）竹東台地的活斷層與地形面。國立台灣師範大學地理研究所研究報告，第 12 期，1-44 頁。

石瑞銓、王維豪、李元希（2009）地震地質與地動潛變分析—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。

江婉綺與劉桓吉（2011）新竹圖幅及說明書。五萬分之一臺灣地質圖及說明書，第 6 號，第二版。經濟部中央地質調查所出版，共 47 頁。

- 何信昌（1995）苗栗圖幅及說明書。五萬分之一臺灣地質圖說明書，第 12 號，共 69 頁。
- 何春蓀（1986）臺灣地質概論，臺灣地質圖說明書。經濟部中央地質調查所，共 164 頁。
- 李元希、石同生、盧詩丁、林燕慧、林偉雄（2002）新城斷層與新竹斷層活動性研究。「台灣之第四紀」第九次研討會，第 12-15 頁。
- 沈淑敏、張瑞津、楊貴三（2005）地震地質調查及活動斷層資料庫建置－活動構造地形及資料庫建置分析(1/2)。經濟部中央地質調查所研究報告 94-6 號，共 80 頁。
- 林良安（1999）湖口斷層淺層反射震測之研究。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 109 頁。
- 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正（2000）臺灣活動斷層概論，五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖說明書，第二版。經濟部中央地質調查所特刊，第 13 號，共 122 頁。
- 林啟文（2005）臺灣北部新城斷層與新竹斷層的一些構造特性。經濟部中央地質調查所特刊，第 16 號，41-54 頁。
- 林啟文、盧詩丁、石同生、陳致言、林燕慧（2007）台灣北部的活動斷層。經濟部中央地質調查所特刊，第 19 號，共 130 頁。
- 林朝榮（1957）臺灣地形。台灣省文獻委員會出版，共 424 頁。
- 林燕慧、陳盈璇、侯進雄（2010）台灣西北部之地殼變形研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 24 號，171-188 頁。
- 牧山鶴彥（1933）舊港圖幅說明書。台灣總督府殖產局，第 657 號。
- 牧山鶴彥（1934a）中壢圖幅說明書，台灣總督府殖產局，第 692 號。
- 牧山鶴彥（1934b）新竹圖幅說明書，台灣總督府殖產局，第 693 號。
- 花井重次（1929）台灣桃園台地之活斷層。地理學評論，第 6 卷，778-789 頁。

- 張育仁 (2008) 桃園南部臺地群地表變形與地下構造之研究。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 204 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。
- 倪明倫 (2004) 新竹苗栗地區活動斷層地下構造震測調查研究。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共107頁。
- 耿文溥 (1957) 台灣新竹關西煤田地質。中央地質調查所彙刊，第 13 號，15-43 頁。
- 孫林耀明 (1982) 桃園臺地群活斷層的地形學研究，國立臺灣師範大學地理研究所碩士論文，共53 頁。
- 徐兆祥、李重毅、李錦發、張渝龍、毛爾威 (1997) 臺灣西北東南向平移斷層及其地體構造意義，中國地質學會八十六年年會大會手冊及論文摘要，第 309-312 頁。
- 鳥居敬造與吉田要 (1931) 新竹州苗栗及竹東油田調查報告。台總督府殖產局，第 585 號，共81頁。
- 鳥居敬造 (1935) 東勢圖幅及說明書。台灣總督府殖產局，第732號。
- 張瑞津、鄧國雄、劉明錡 (1999) 頭前溪階地之地形學研究。師大地理研究報告，第31期，81-82頁。
- 張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁 (1998) 台灣活動斷層概論—五十萬分之一台灣活動斷層分布圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第十號，共103頁。
- 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。國立台灣大學地質研究所博士論文，共158頁。
- 陳于高、陳文山、陳雅雯 (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)—熱螢光與光螢光定年。中央地質調查所，共56頁。

- 陳文山、劉力豪、顏一勤、楊小青、李龍昇、游能悌、張徽正、石瑞銓、陳于高、李元希、林偉雄、石同生、盧詩丁（2003）新城斷層的古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，第14號，11-23頁。
- 陳文山（2011）同震、間震與長期滑移速率的構造模擬。私人討論。
- 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，第20號，第223-251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。
- 黃敦友（1978）臺灣新第三系地層層序新義。台灣石油地質，第15號，167-179頁。
- 塗明寬與陳文政（1990）中壢圖幅及說明書。五萬分之一臺灣地質圖及說明書，第7號，第二版。經濟部中央地質調查所出版，共53頁。
- 塗明寬與陳文政（1991）竹東圖幅及說明書。五萬分之一臺灣地質圖及說明書，第13號。經濟部中央地質調查所，共87頁。
- 塗明寬與邵屏華（2001）中壢圖幅及說明書。五萬分之一臺灣地質圖及說明書，第7號。經濟部中央地質調查所，共53頁。
- 楊耿明、吳榮章、丁信修、王佳彬（1994）竹苗麓山帶地下地質構造與油氣儲集。中油探採研究彙報，第17期，42-53頁。
- 楊貴三（1986）台灣活斷層的地形學研究-特論活斷層與地面的關係。私立中國文化大地學研究所博士論文，共178頁。
- 楊貴三與蔡怡真（2004）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，25-35頁。
- 劉力豪（2004）竹東丘陵的活動斷層古地震及相關活動性研究。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，共90頁。

鄭永森（2004）利用淺層震測探討新城斷層南端之走向與構造形貌。經濟部中央地質調查所特刊 第15號，13-21頁。

鍾瑋（2005）桃園—新竹地區 GPS 衛星測量之初步研究。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，共 80 頁。

饒瑞鈞、余致義、洪日豪、胡植慶、李建成、詹瑜璋、許麗文（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置—活動斷層監測系統計畫（5/5）。經濟部中央地質調查所研究報告 95-10 號，共 241 頁。


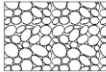






















劉桓吉（1979）新竹圖幅及說明書。五萬分之一臺灣地質圖及說明書，第 6 號。經濟部中央地質調查所，共 31 頁。

戴昌鳳、王士偉、張睿昇、鄭安怡（2009）桃園觀音藻礁生態解說手冊。台灣中油股份有限公司液化天然氣工程處，共 102 頁。

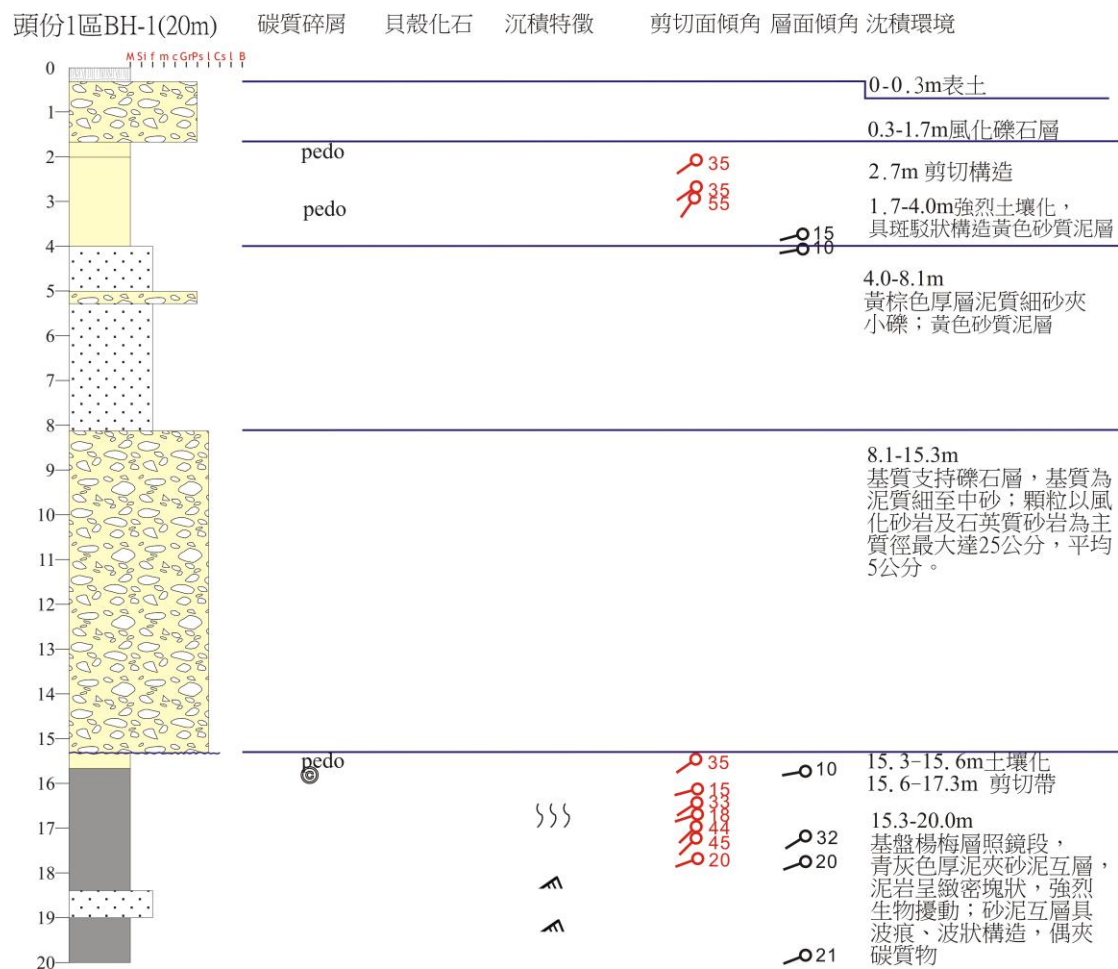


附錄一、鑽井岩芯記錄

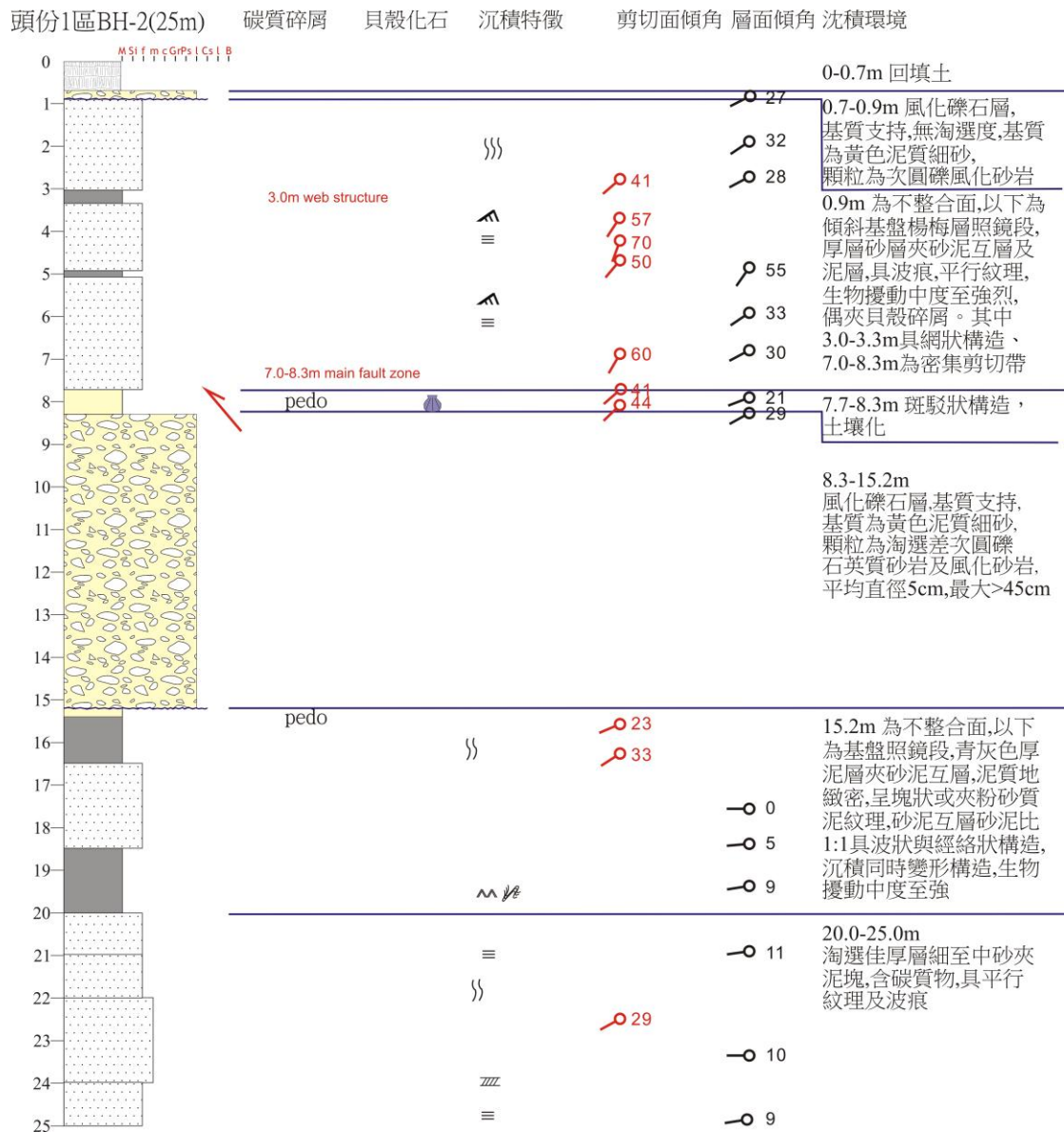
圖 例

				
回填土	顆粒支持礫	基質支持礫	砂	粉砂
				
泥	缺失	碳質物	貝殼碎屑	珊瑚
				
已進行定年之 碳質物樣本	已進行定年之 貝殼碎屑樣本	已進行定年之 珊瑚碎屑樣本	層面傾角	剪切面傾角
pedo 土壤化	 生物擾動	 泥塊	 藍鐵礦	 水流波痕 (current ripple)
 波浪波痕 (wave ripple)	 低角度或水平 平行紋理	 板狀交錯紋理	 槽狀交錯紋理	 荷重構造 (loading)

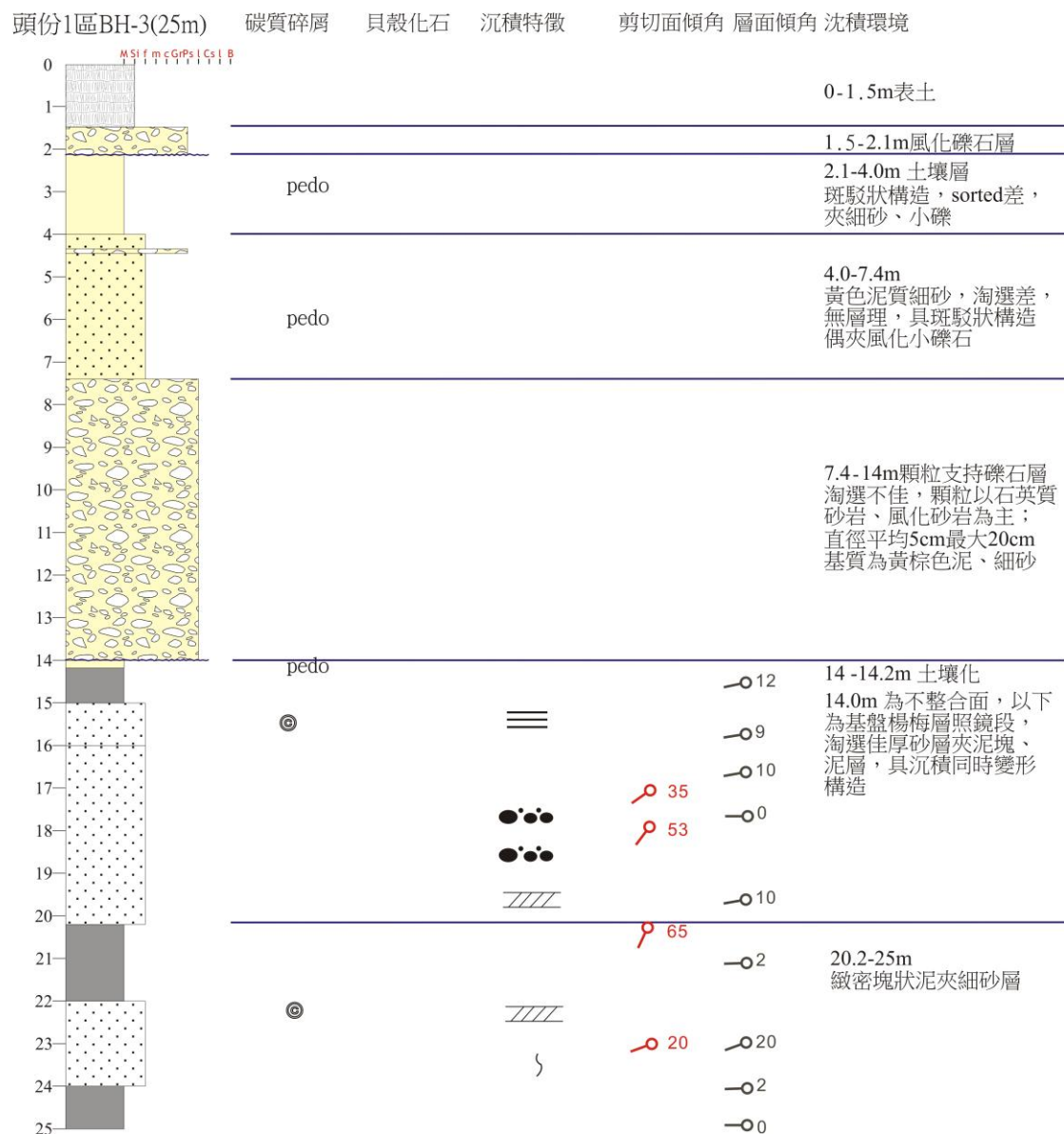
附錄 1.1 岩芯記錄圖例

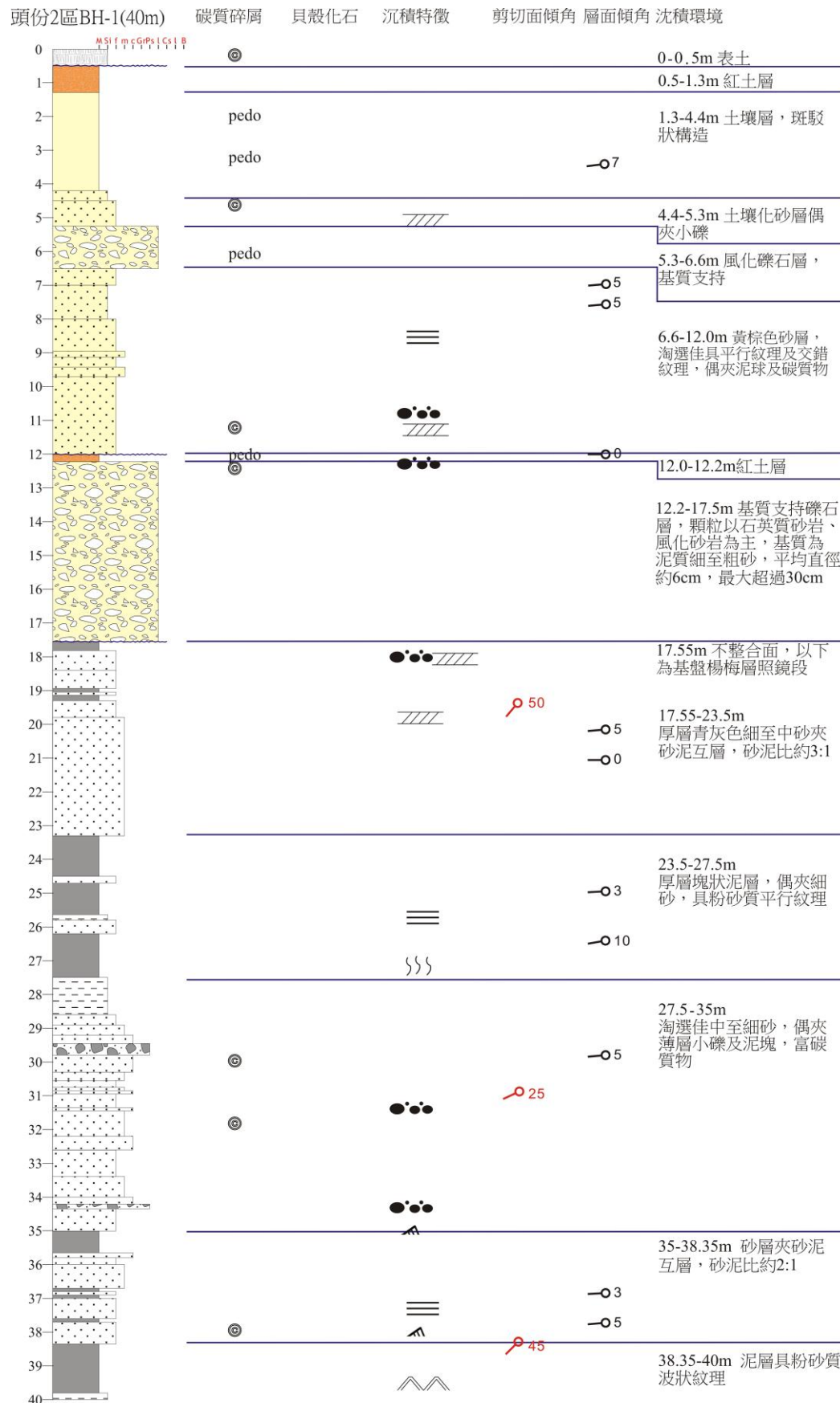


附錄 1.2 頭份 1 區 BH-1 岩芯記錄。

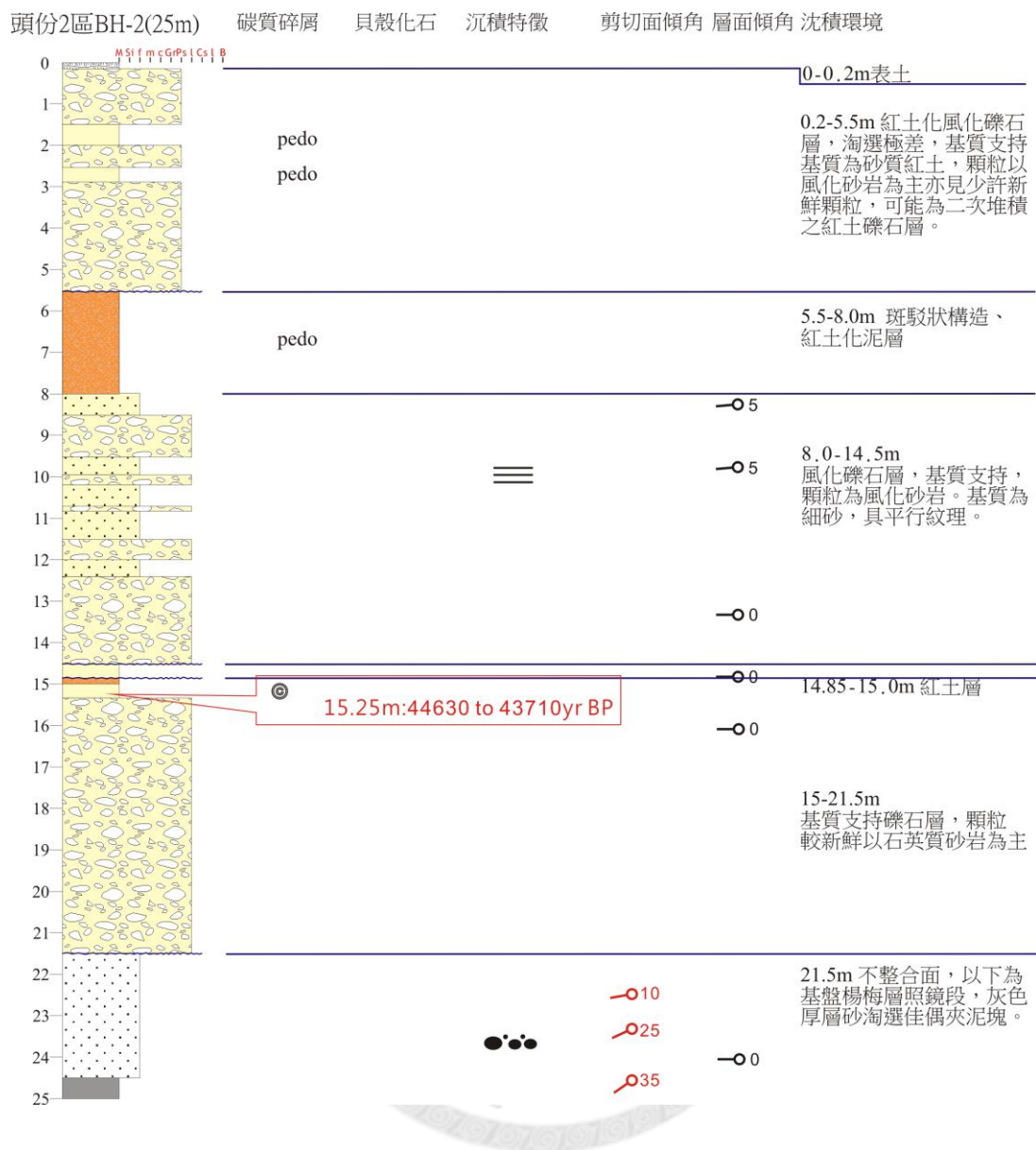


附錄 1.3 頭份 1 區 BH-2 岩芯記錄。

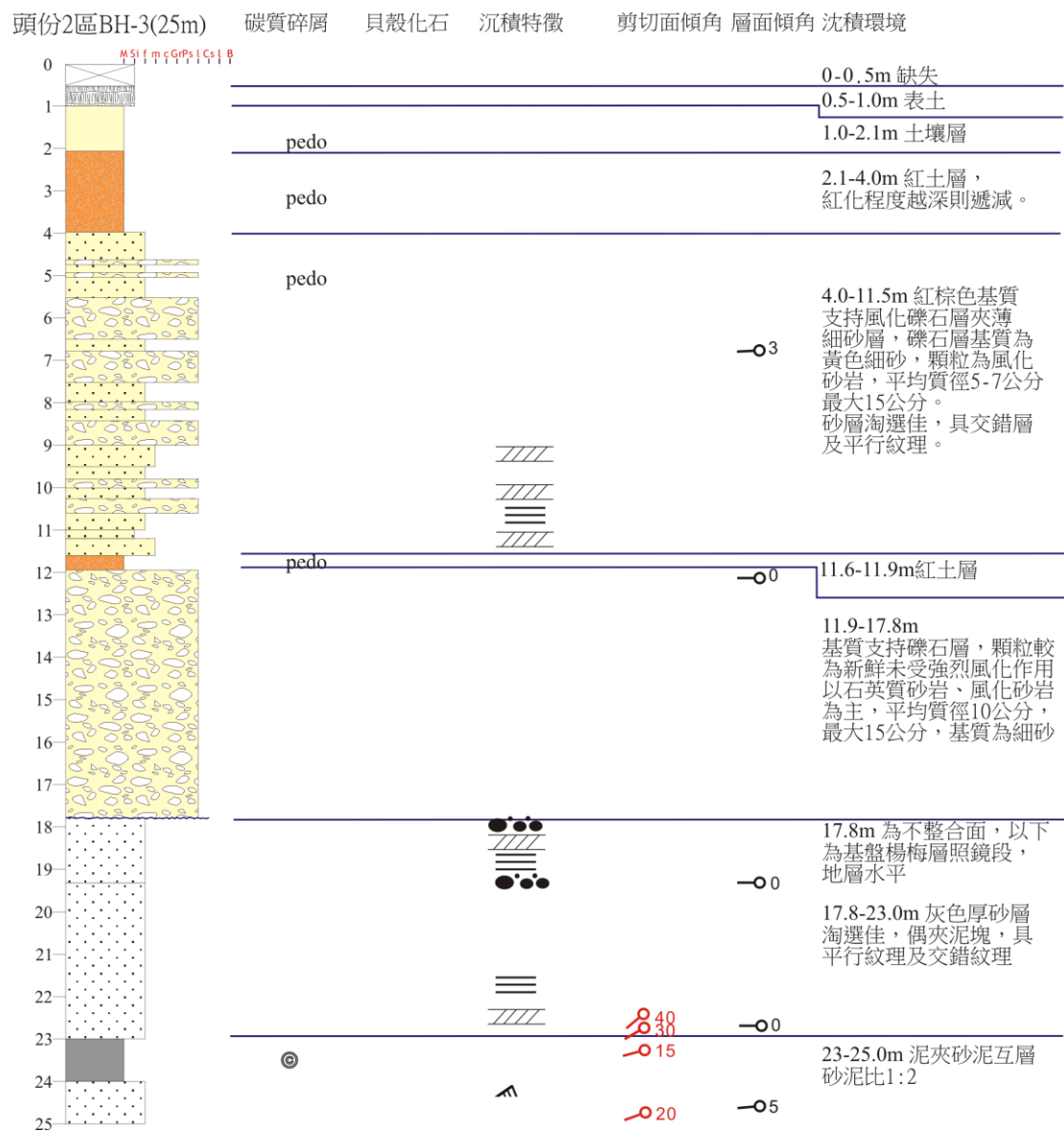




附錄 1.5 頭份 2 區 BH-1 岩芯記錄。



附錄 1.6 頭份 2 區 BH-2 岩芯記錄。

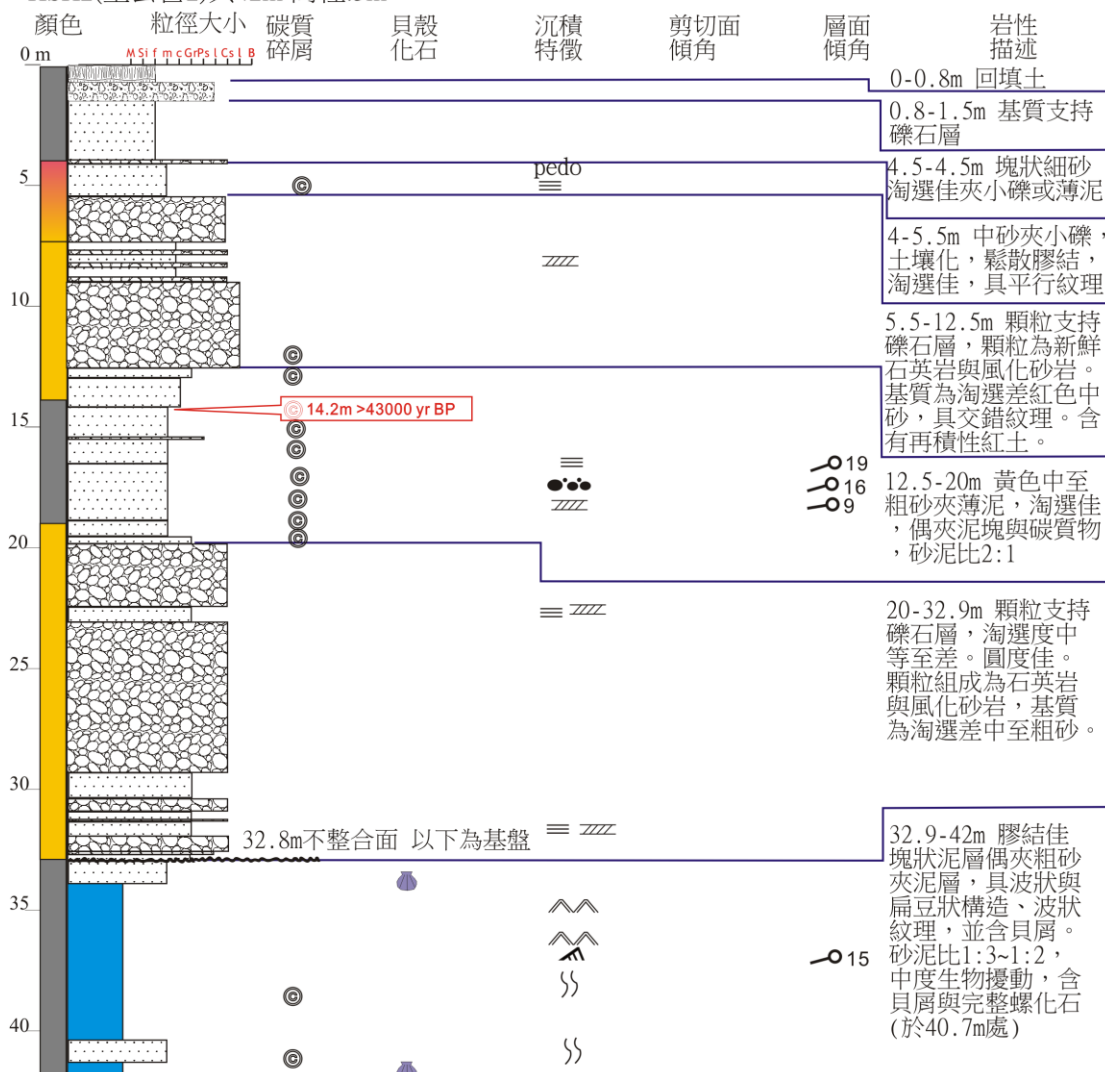


附錄 1.7 頭份 2 區 BH-3 岩芯記錄。

[illegible]

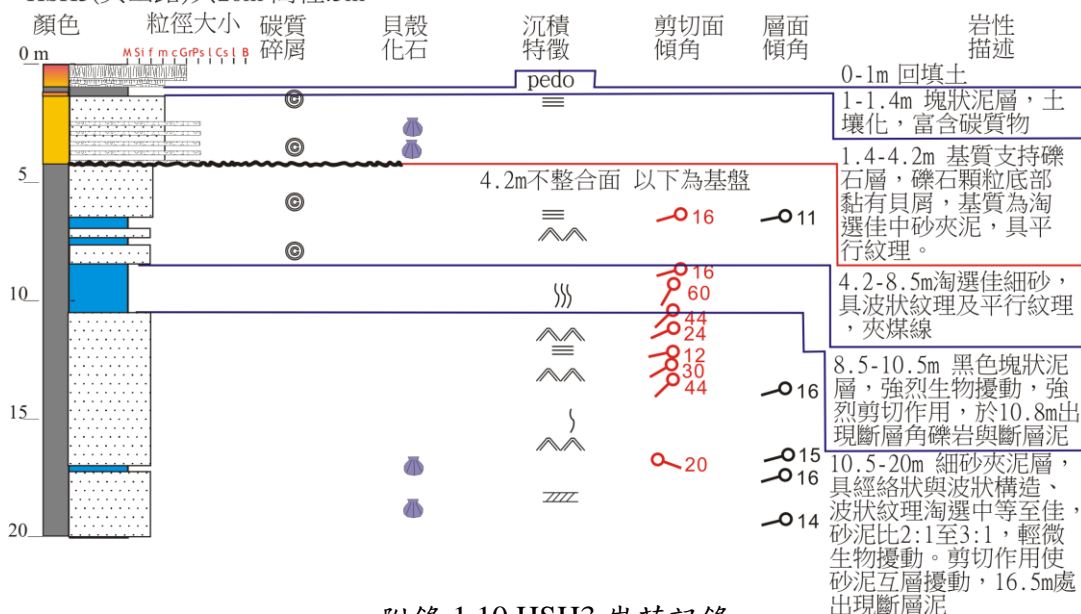
124

HSH2(聖公宮2)共42m 高程:5m

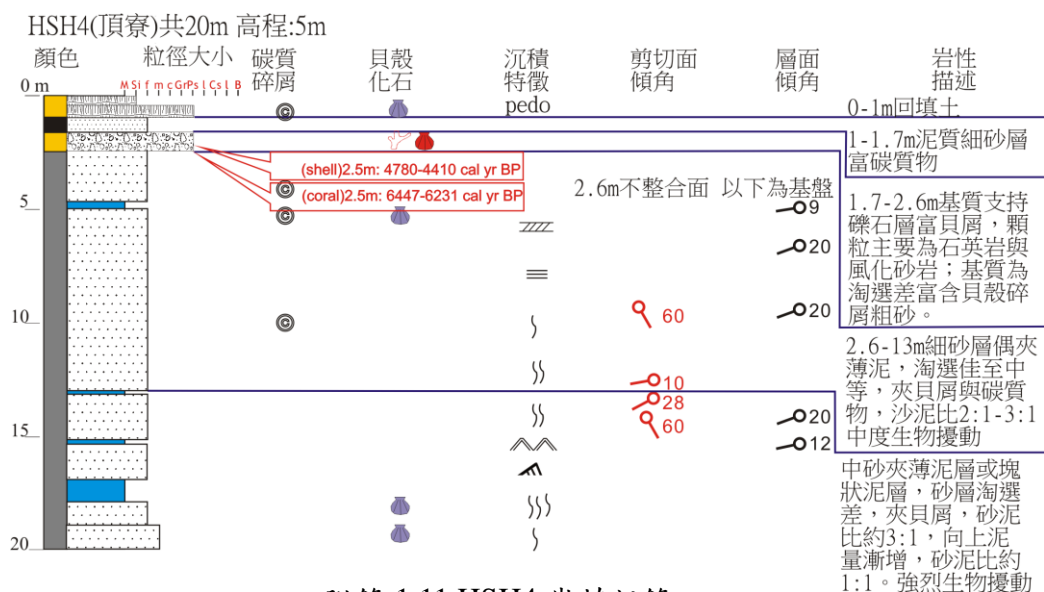


附錄 1.9 HSH2 岩芯記錄。

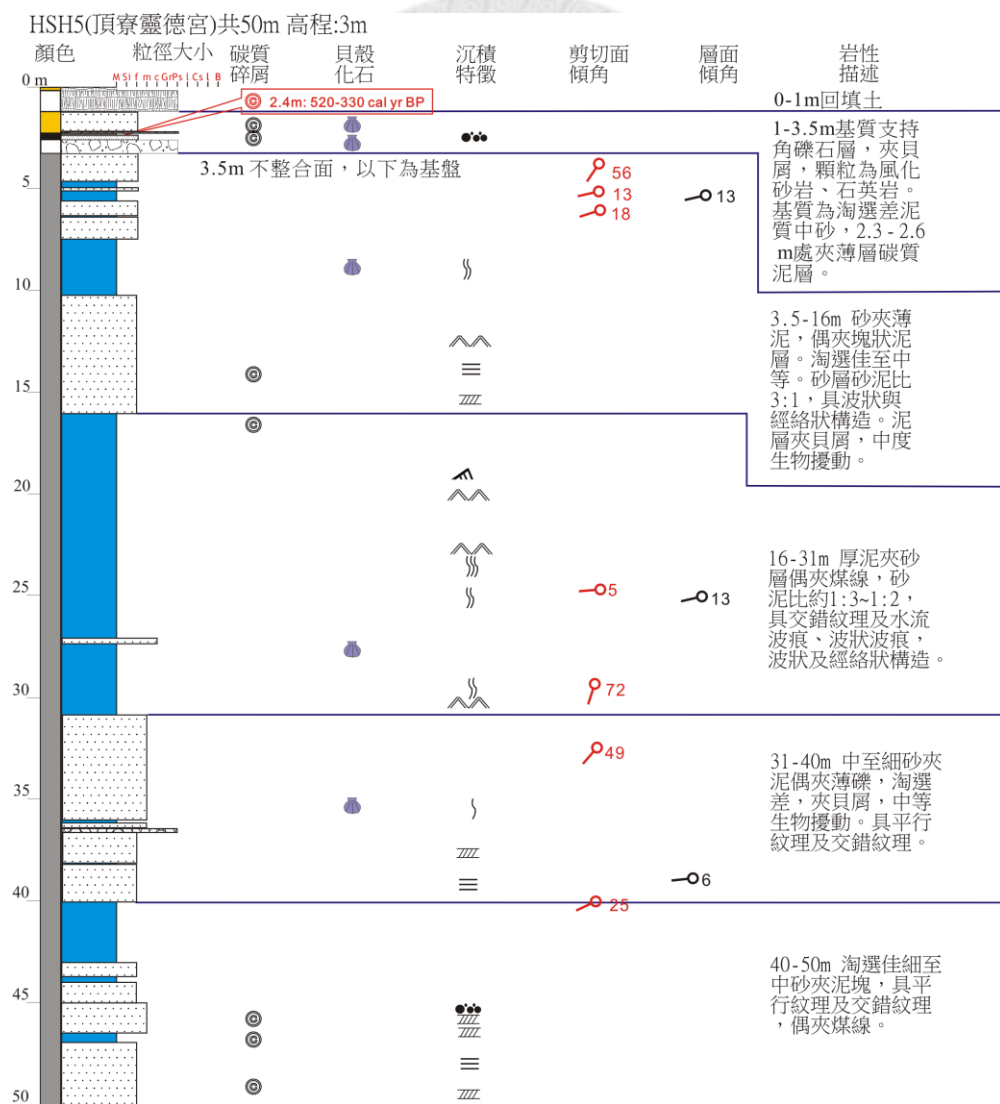
HSH3(美山路)共20m 高程:5m



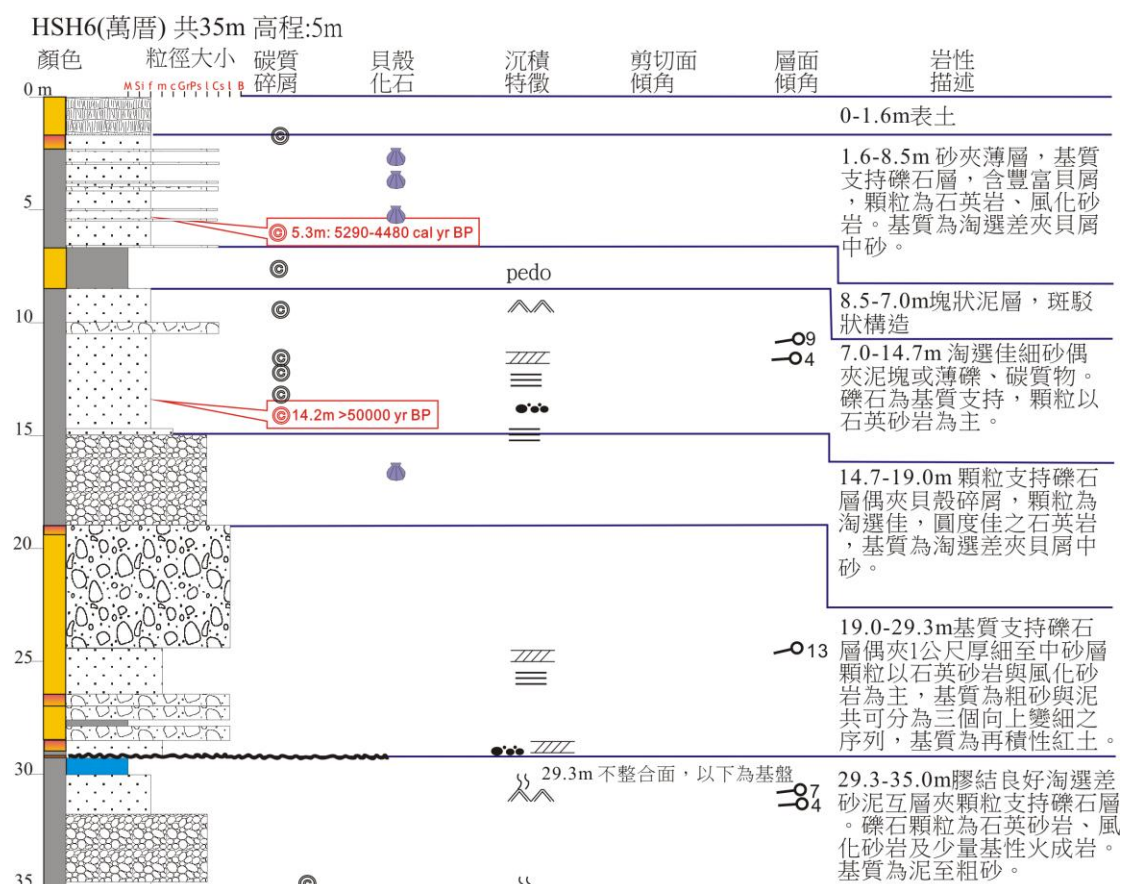
附錄 1.10 HSH3 岩芯記錄。



附錄 1.11 HSH4 岩芯記錄。

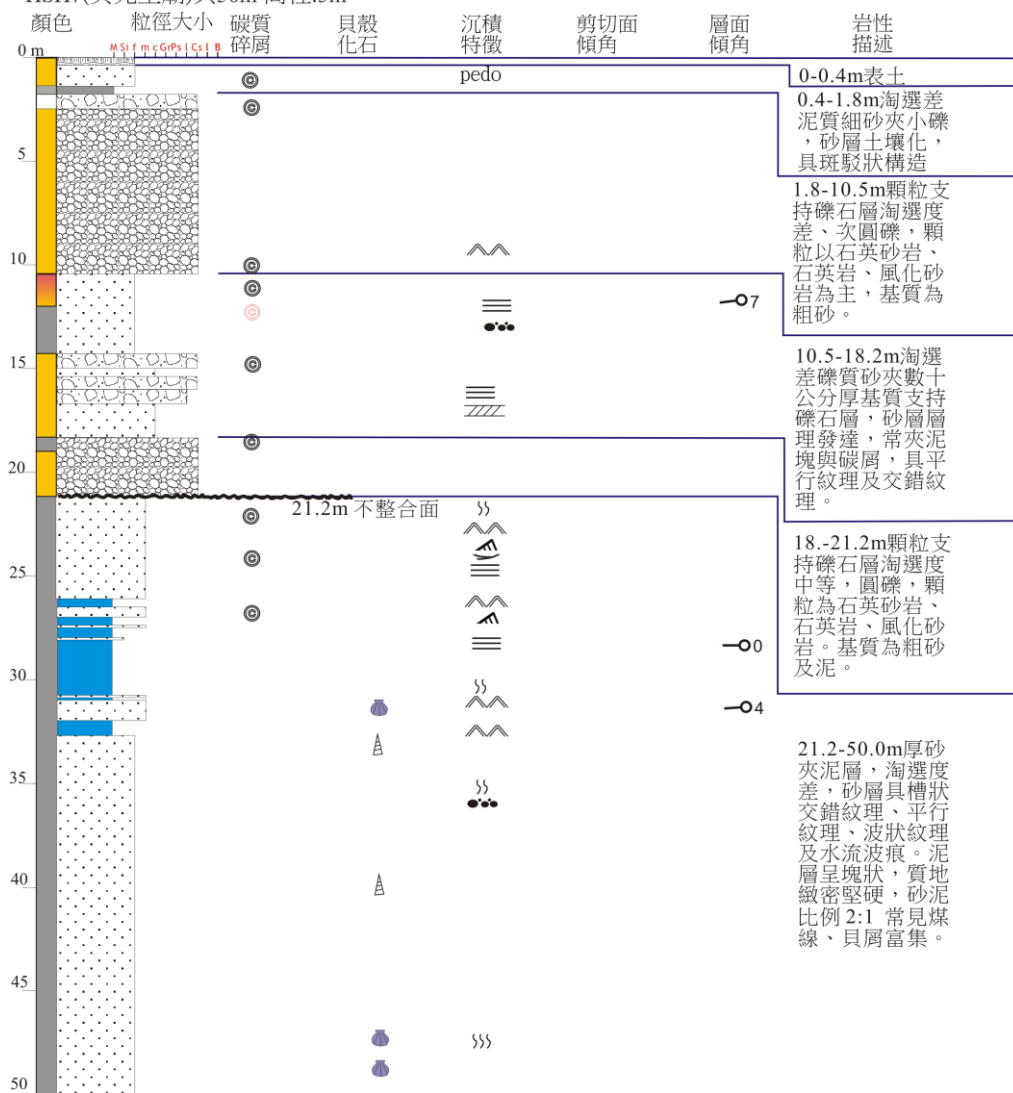


附錄 1.12 HSH5 岩芯記錄。



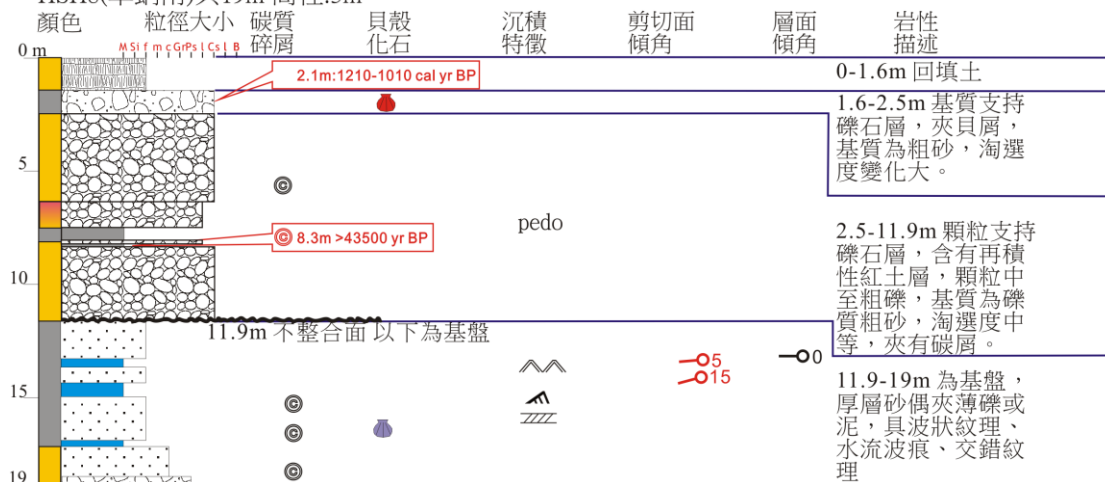
附錄 1.13 HSH6 岩芯記錄。

HSH7(吳先生廟)共50m 高程:3m



附錄 1.14 HSH7 岩芯記錄。

HSH8(草蚋南)共19m 高程:3m



附錄 1.15 HSH8 岩芯記錄。



附錄 1.16 TY03 岩芯記錄。



附錄 1.17 TY04 岩芯記錄。



附錄 1.18 TY05 岩芯記錄。

SH-E06井共50公尺(18m)

(三民國中)

碳質碎屑

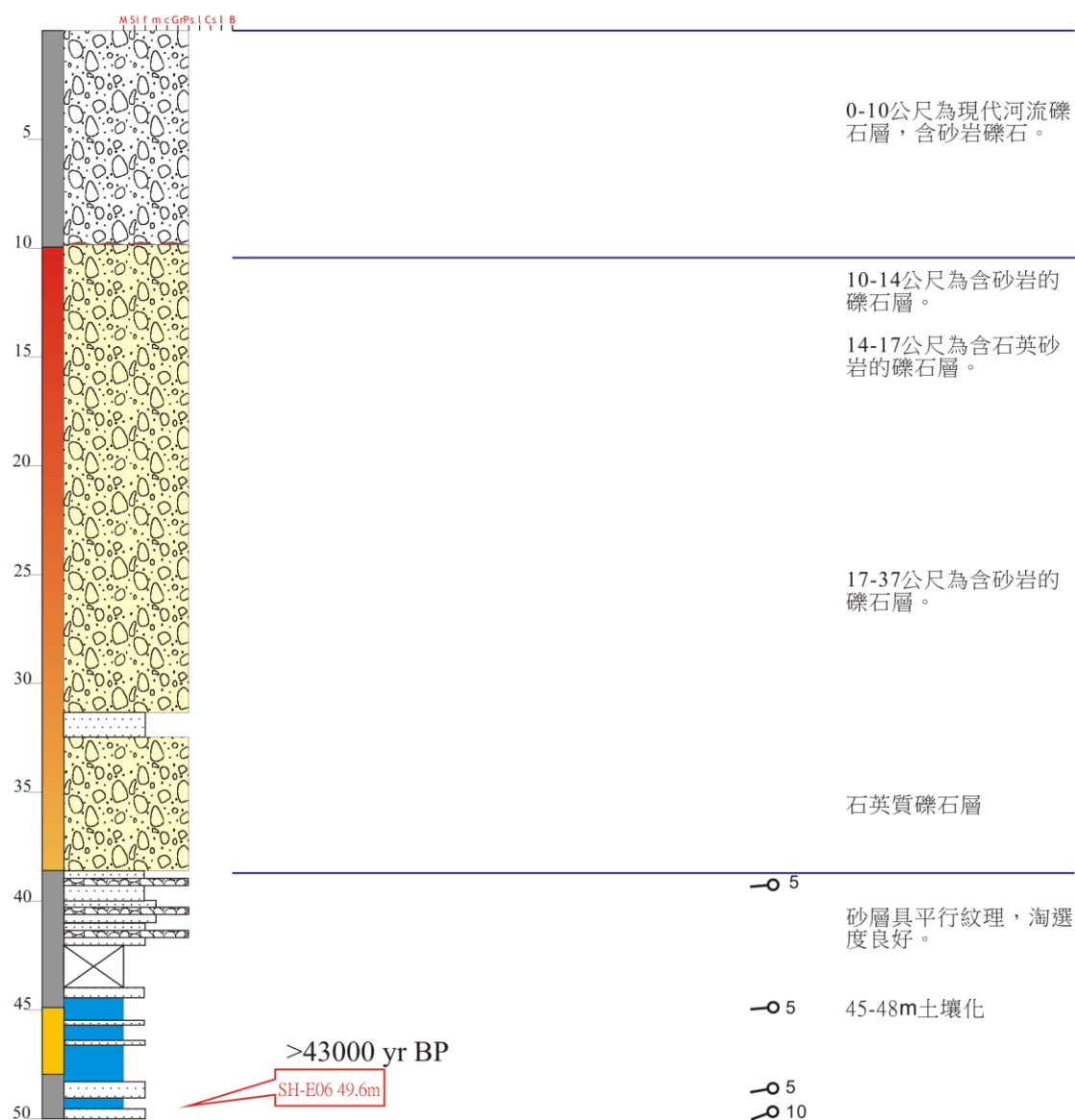
貝殼化石

沉積特徵

剪切面傾角

層面傾角

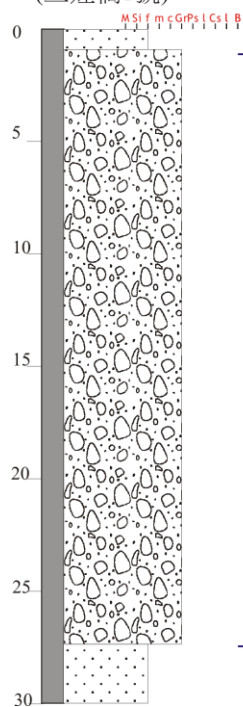
岩性描述



附錄 1.19 三民國中岩芯記錄。

SH-1井(12m)
(三姓橋1號)

礫質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境



0-1m 砂層，河流環境。

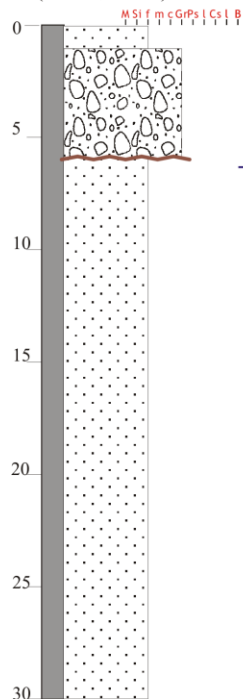
1-27.5m 礫石層，河流環境。

27.5-30m 砂層，河流環境。

附錄 1.20 三姓橋 1 號岩芯記錄。

SH-2井(16m)
(三姓橋2號)

礫質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境



0-1m耕作土，1-6m現代礫石層，河流環境。

52 32

6m不整合面。

62
48
70

6-30m 已擾動砂層，潮間帶環境。

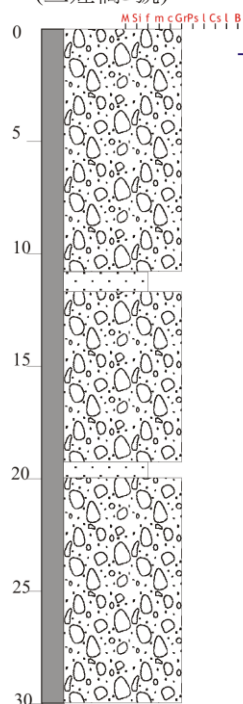
62
44

38

附錄 1.21 三姓橋 2 號岩芯記錄。

SH-3井(14m)
(三姓橋3號)

礫質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境



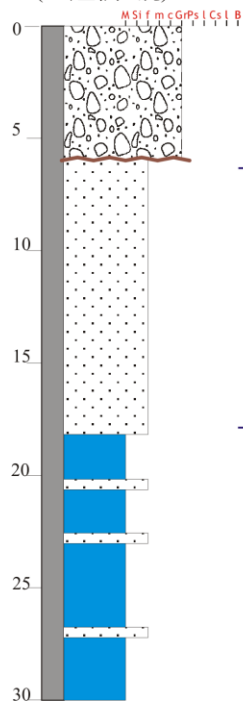
0-30m 砂層，河流環境。

19-20m 土壤層。

附錄 1.22 三姓橋 3 號岩芯記錄。

SH-4井(16m)
(三姓橋4號)

礫質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 沈積環境



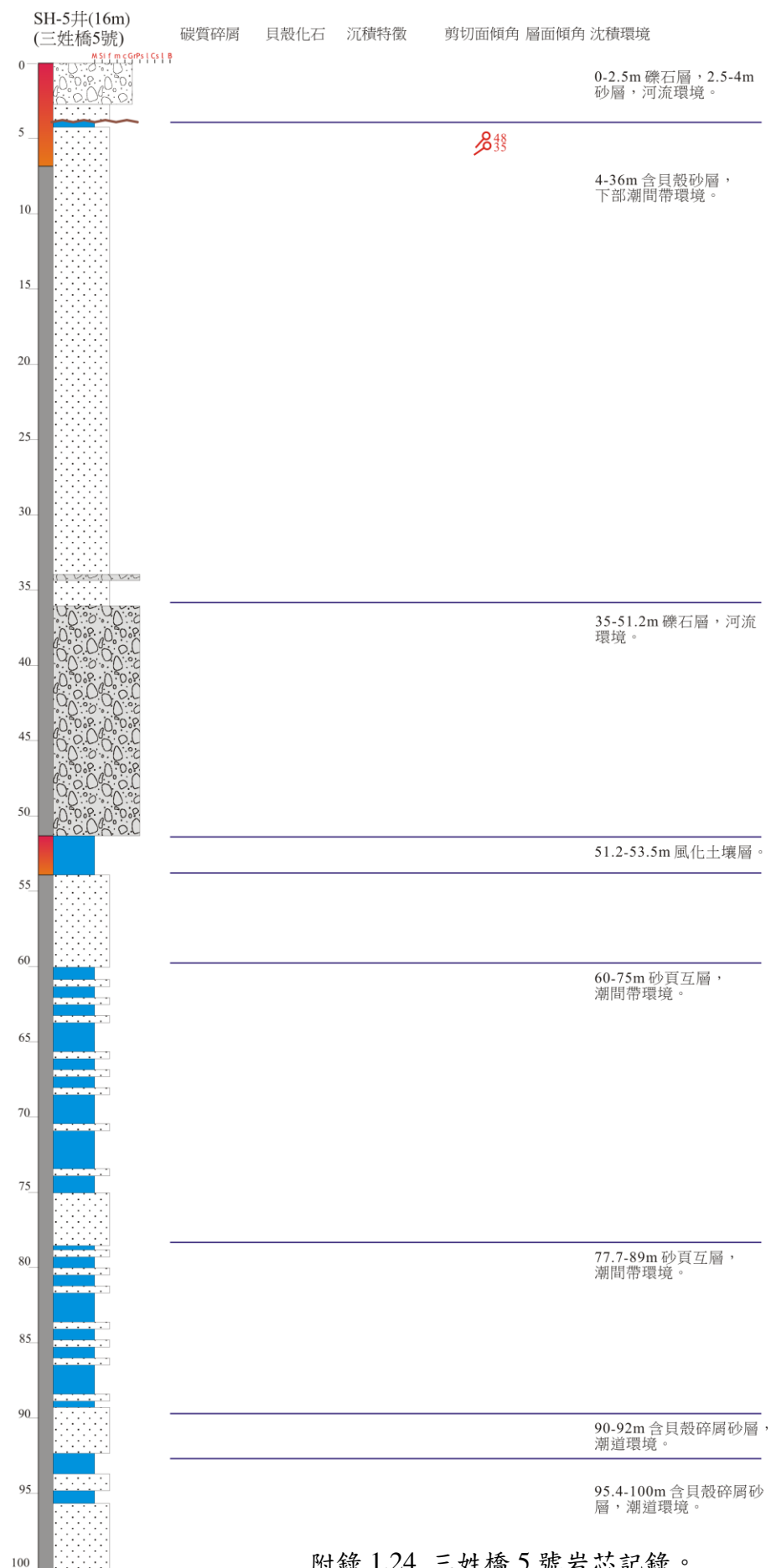
0-6m現代礫石層，河流環境。

6m不整合面。

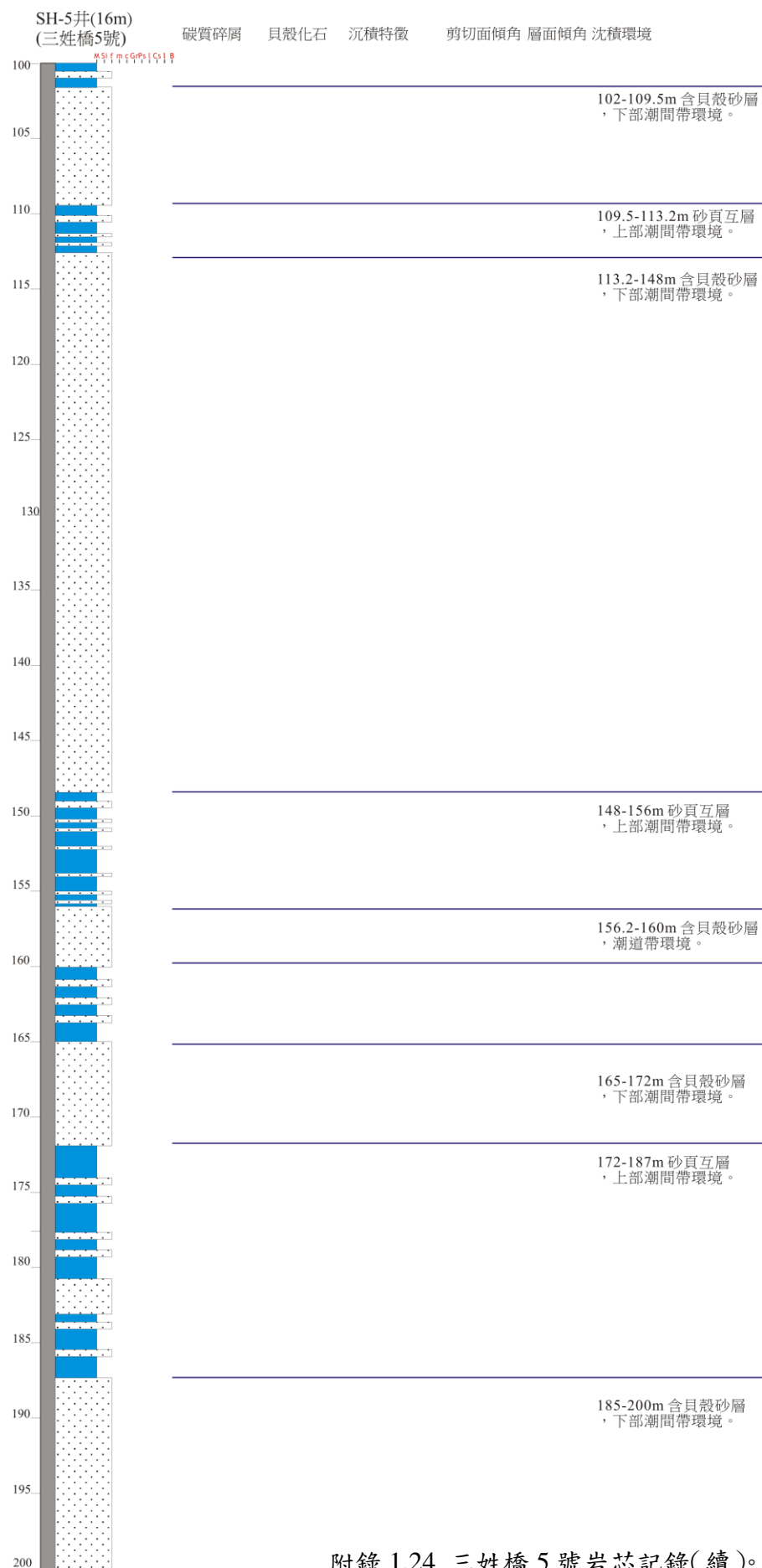
6-17.3m 已擾動砂層，潮間帶環境。

17.3-30m 泥層，潮間帶環境。

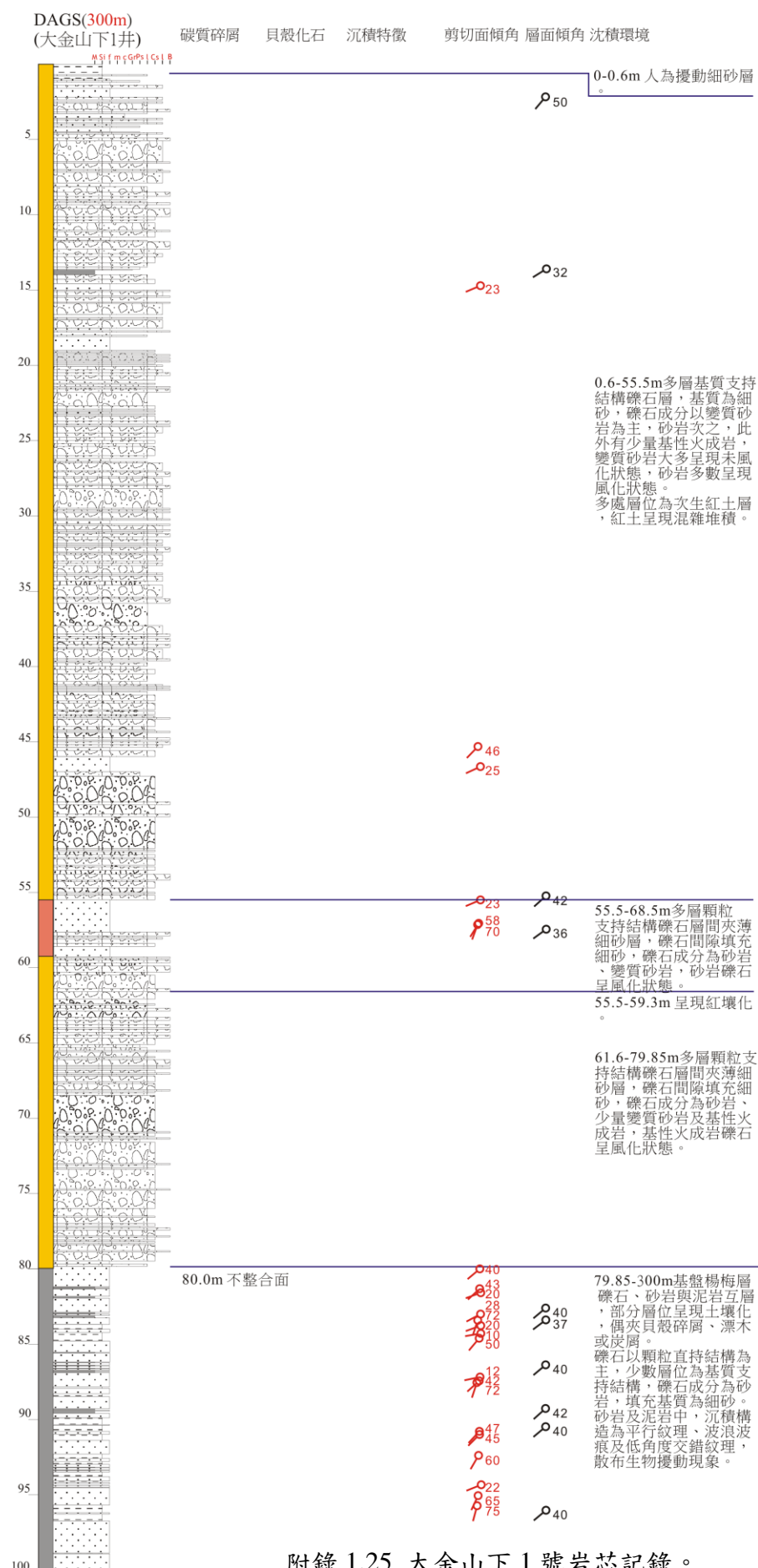
附錄 1.23 三姓橋 4 號岩芯記錄。



附錄 1.24 三姓橋 5 號岩芯記錄。



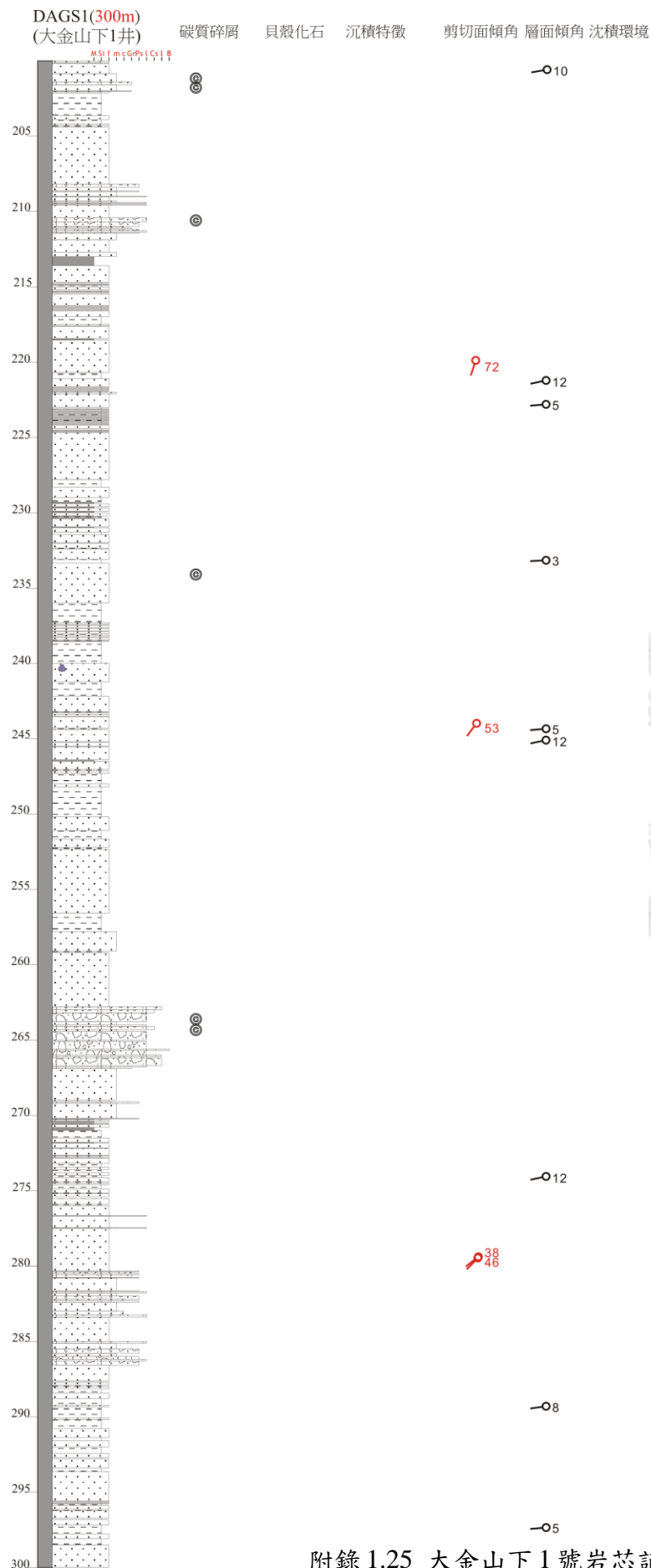
附錄 1.24 三姓橋 5 號岩芯記錄(續)。



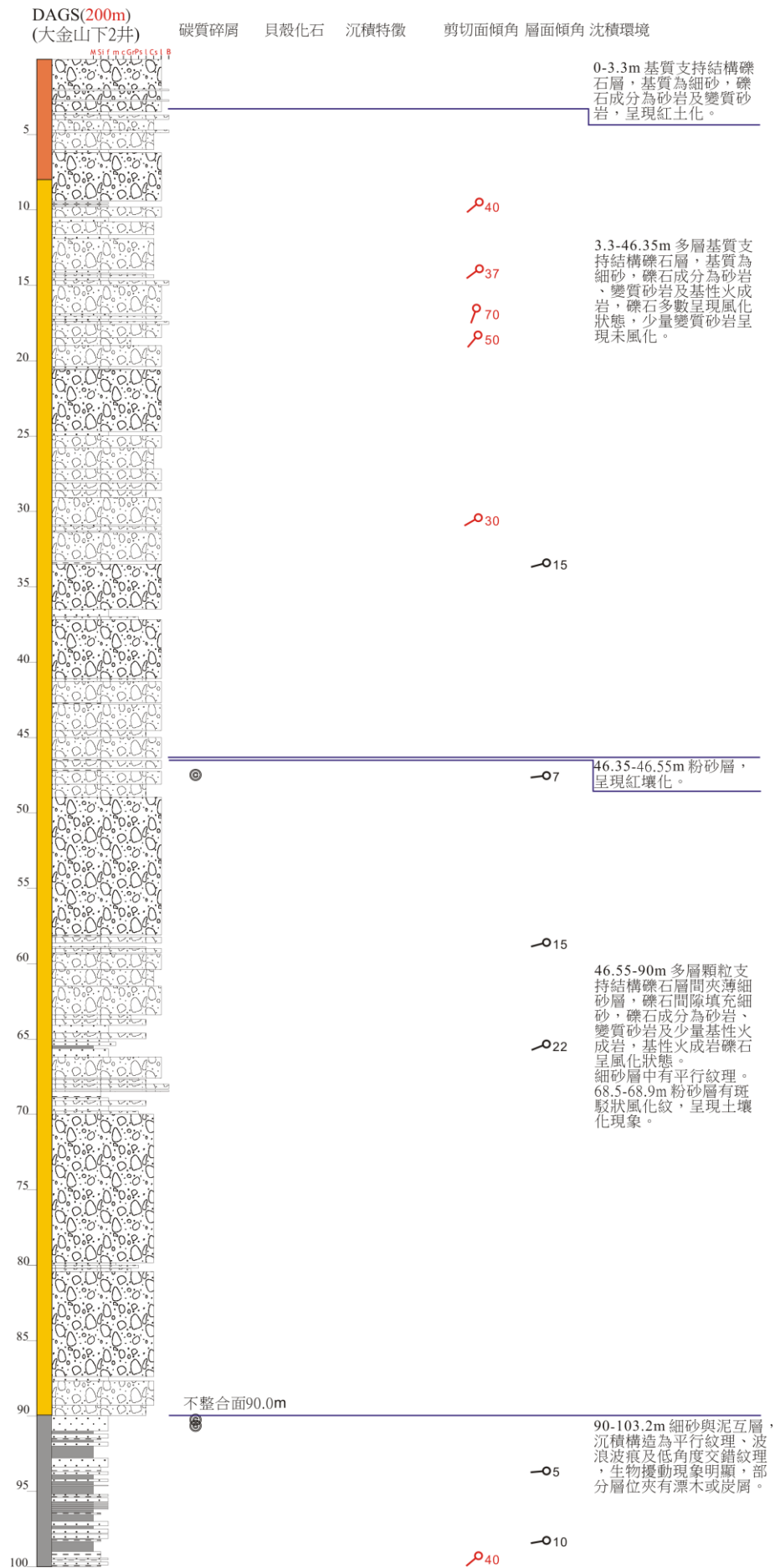
附錄 1.25 大金山下 1 號岩芯記錄。

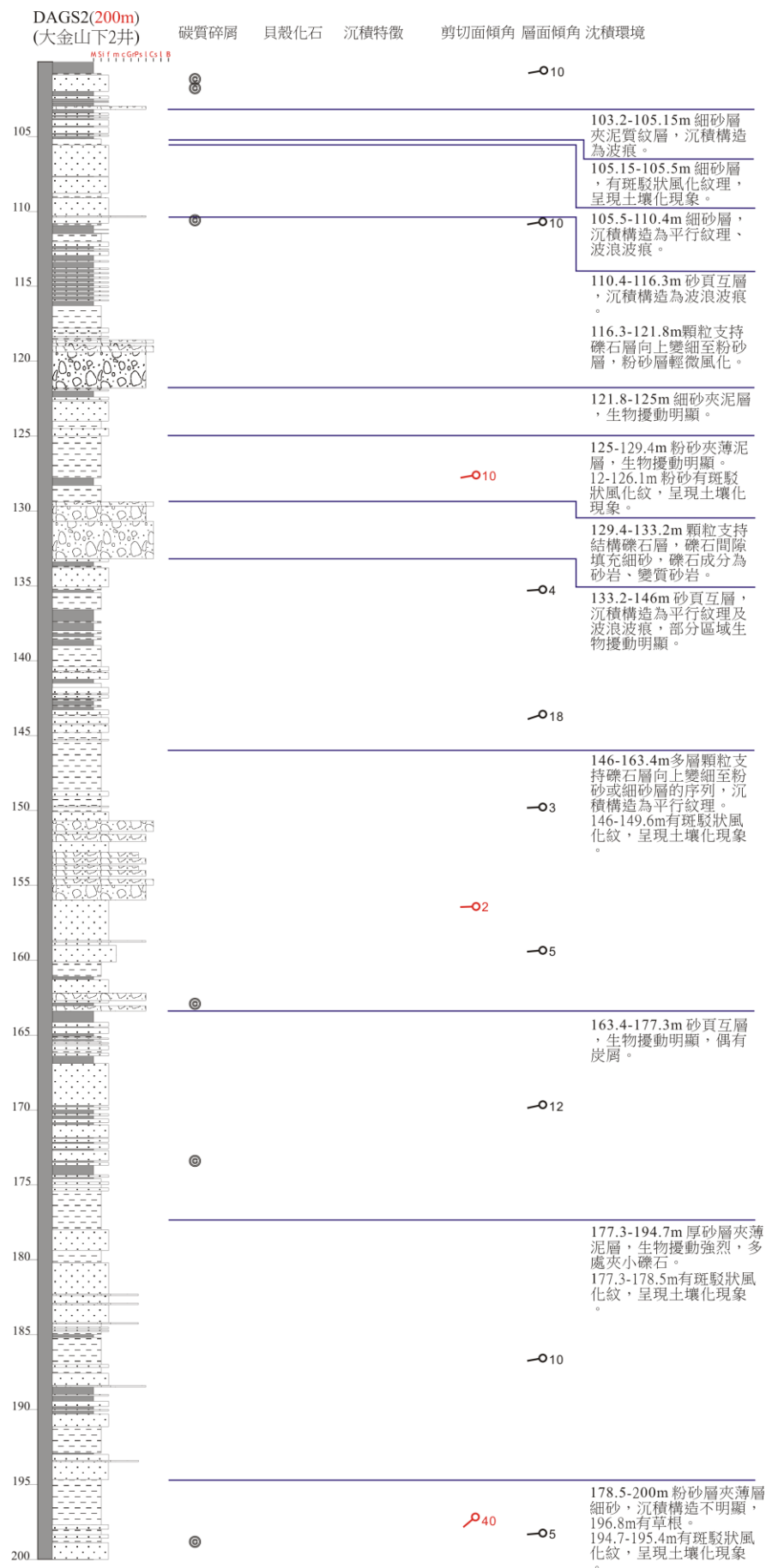


附錄 1.25 大金山下 1 號岩芯記錄(續)。



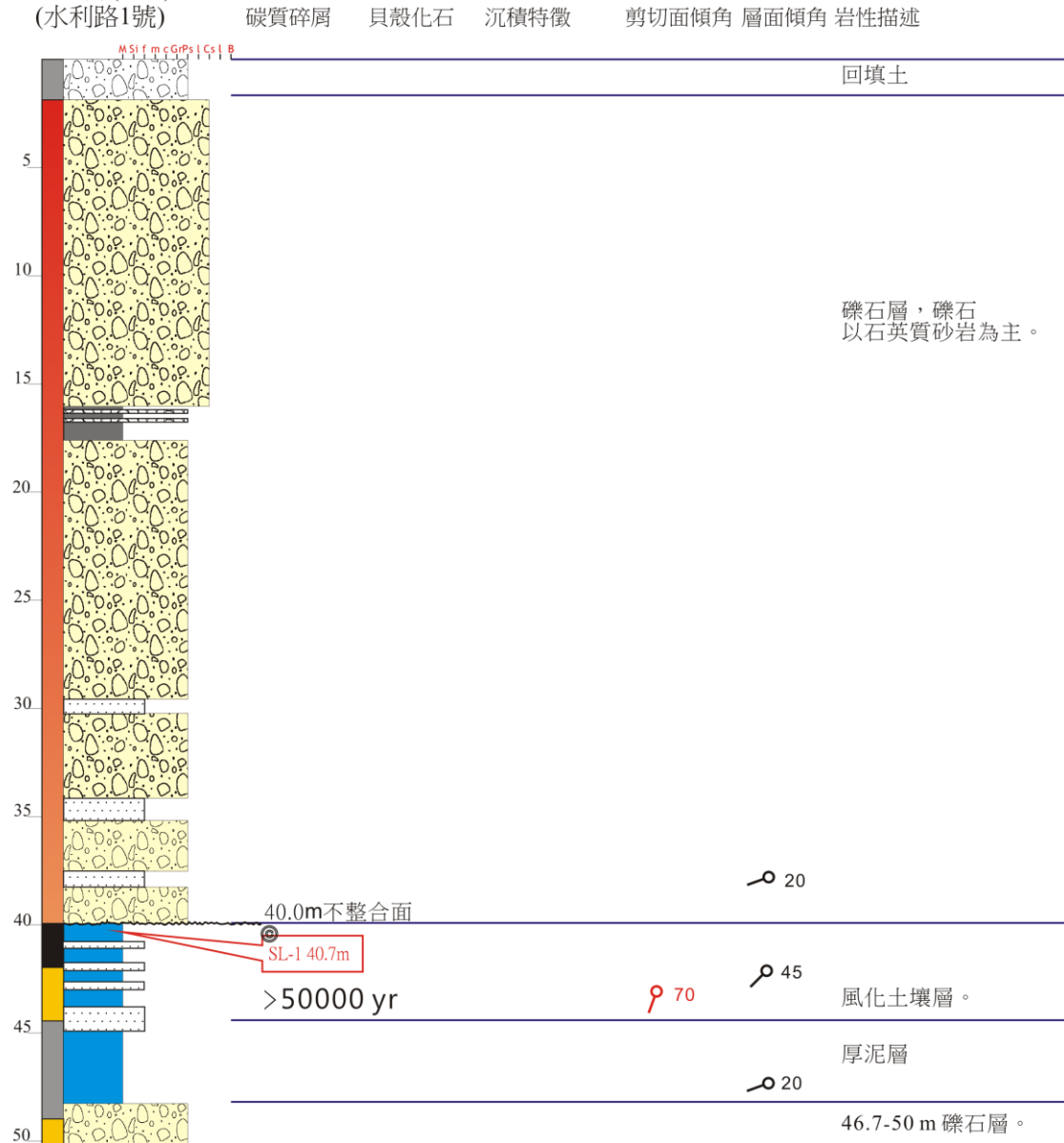
附錄 1.25 大金山下 1 號岩芯記錄(續)。





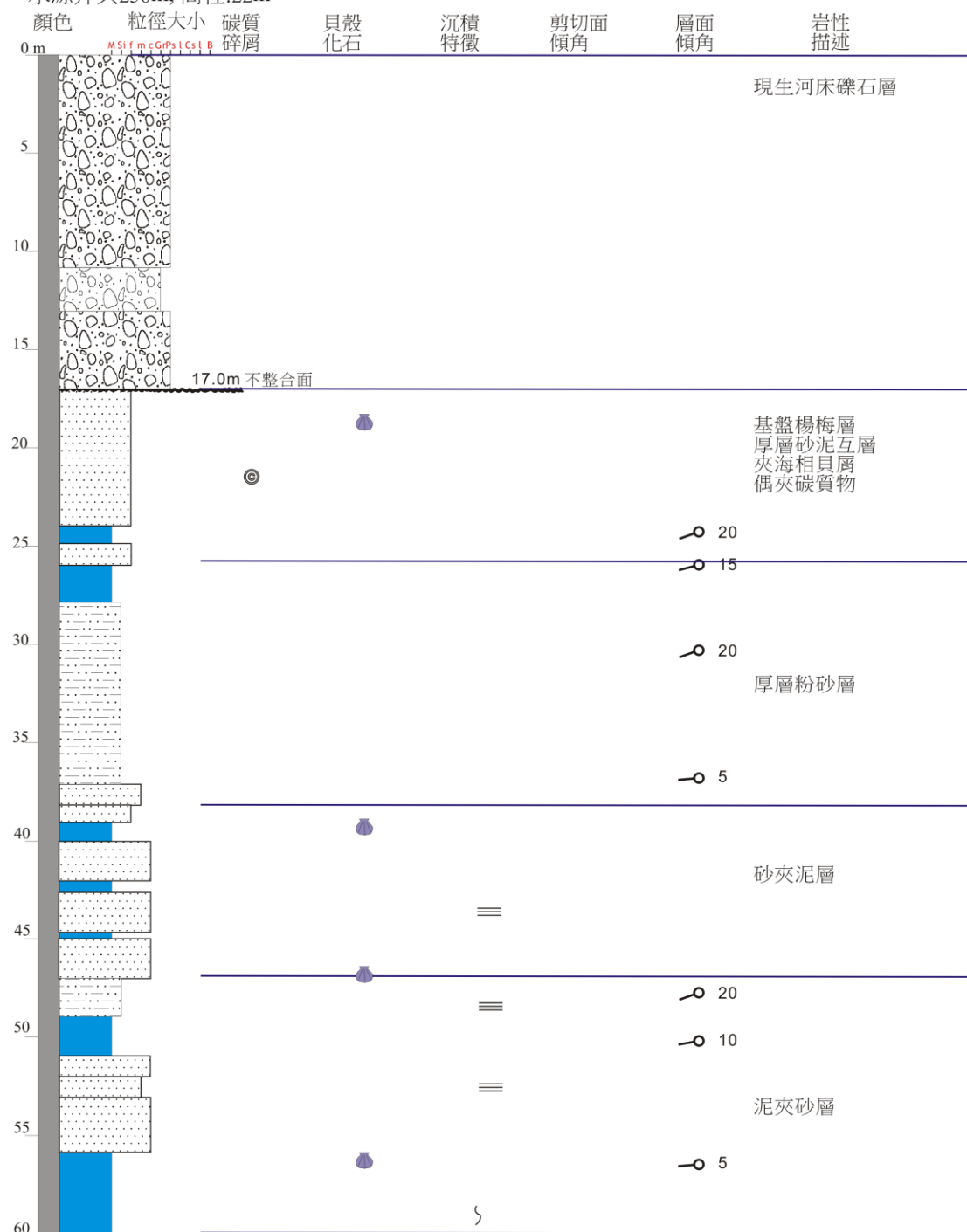
附錄 1.26 大金山下 2 號岩芯記錄(續)。

SL-1井(30m)
(水利路1號)

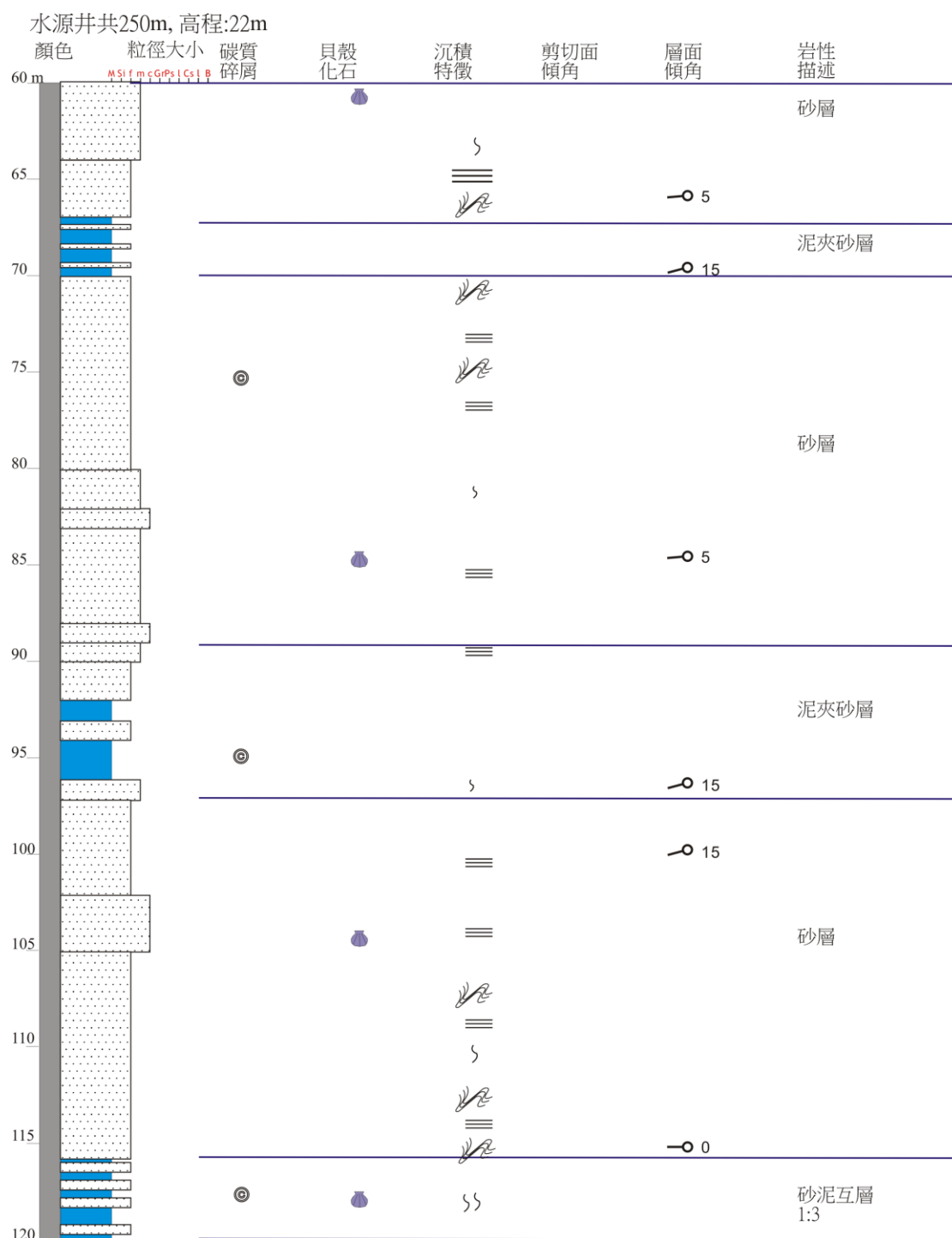


附錄 1.27 水利路 1 號岩芯記錄。

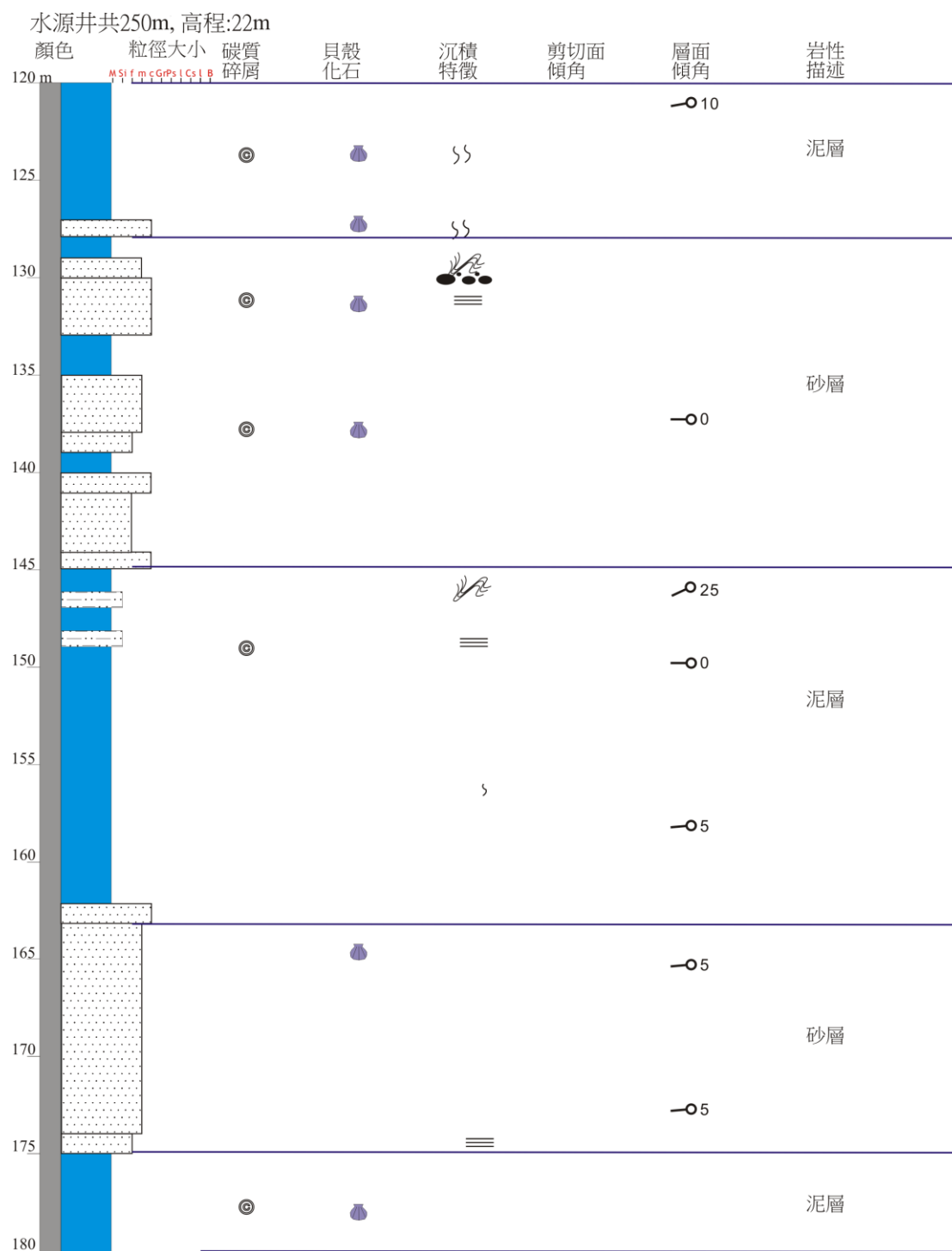
水源井共250m, 高程:22m



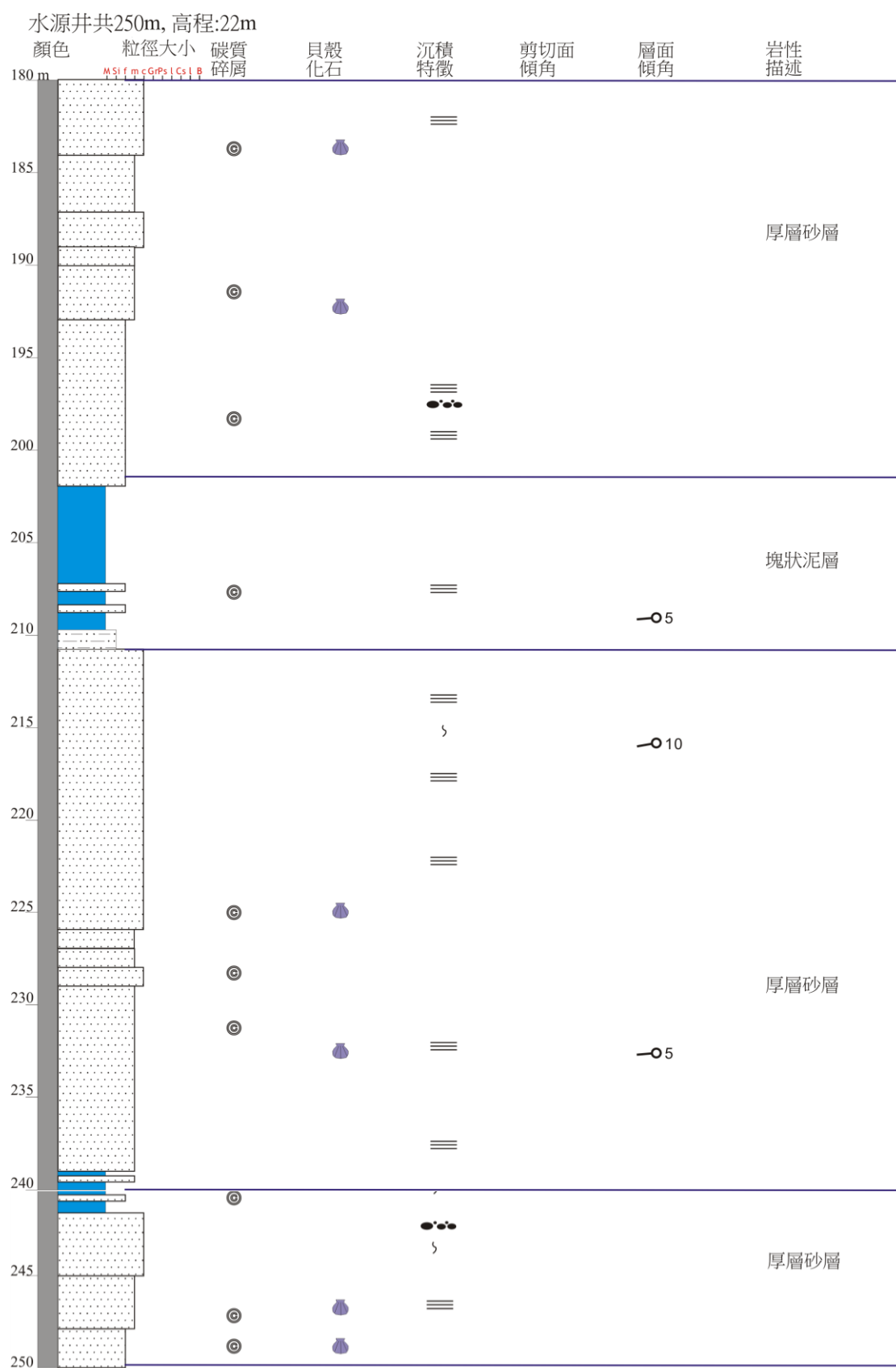
附錄 1.28 水源井岩芯記錄。



附錄 1.29 水源井岩芯記錄(續)。

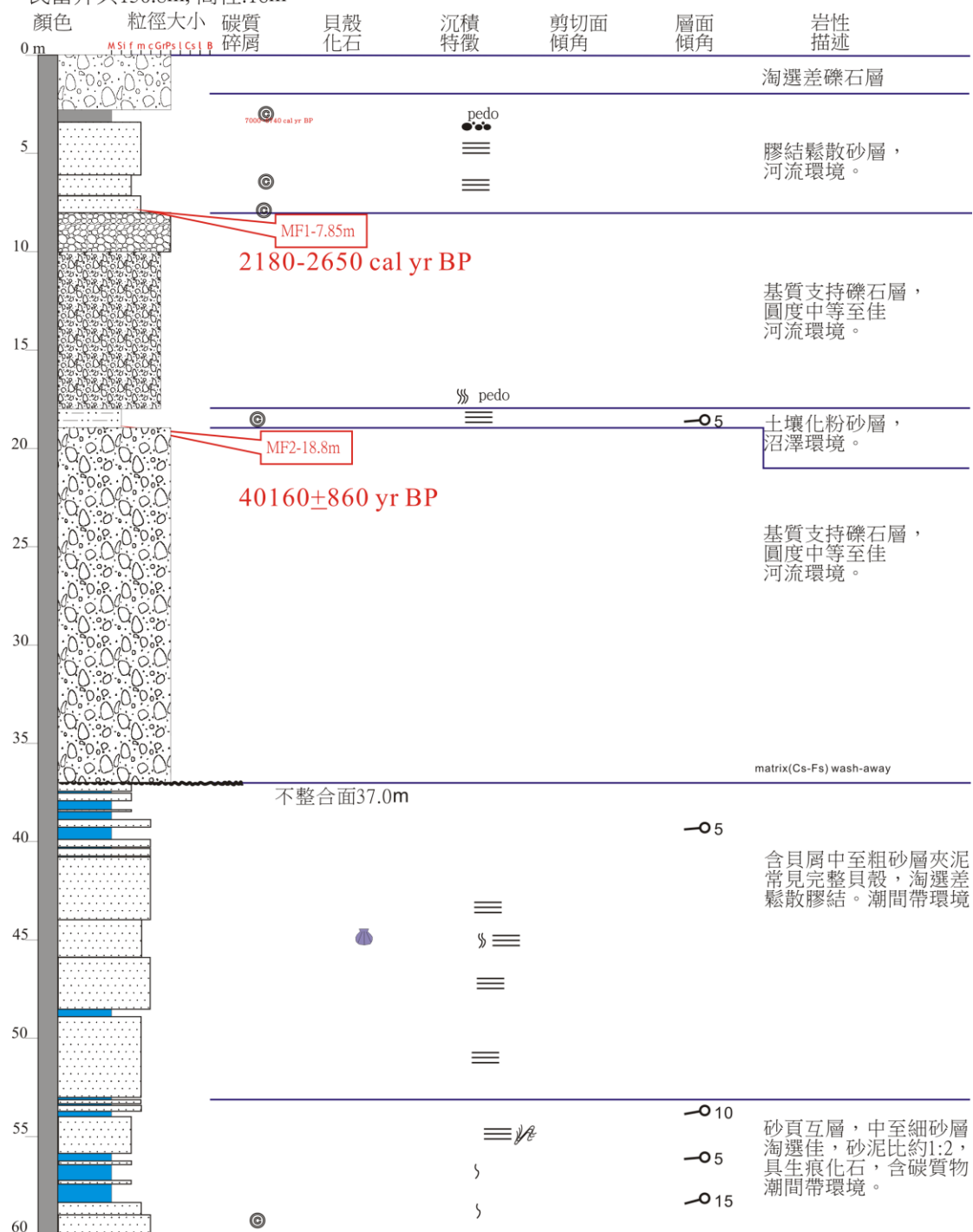


附錄 1.29 水源井岩芯記錄 (續)。



附錄 1.29 水源井岩芯記錄 (續)。

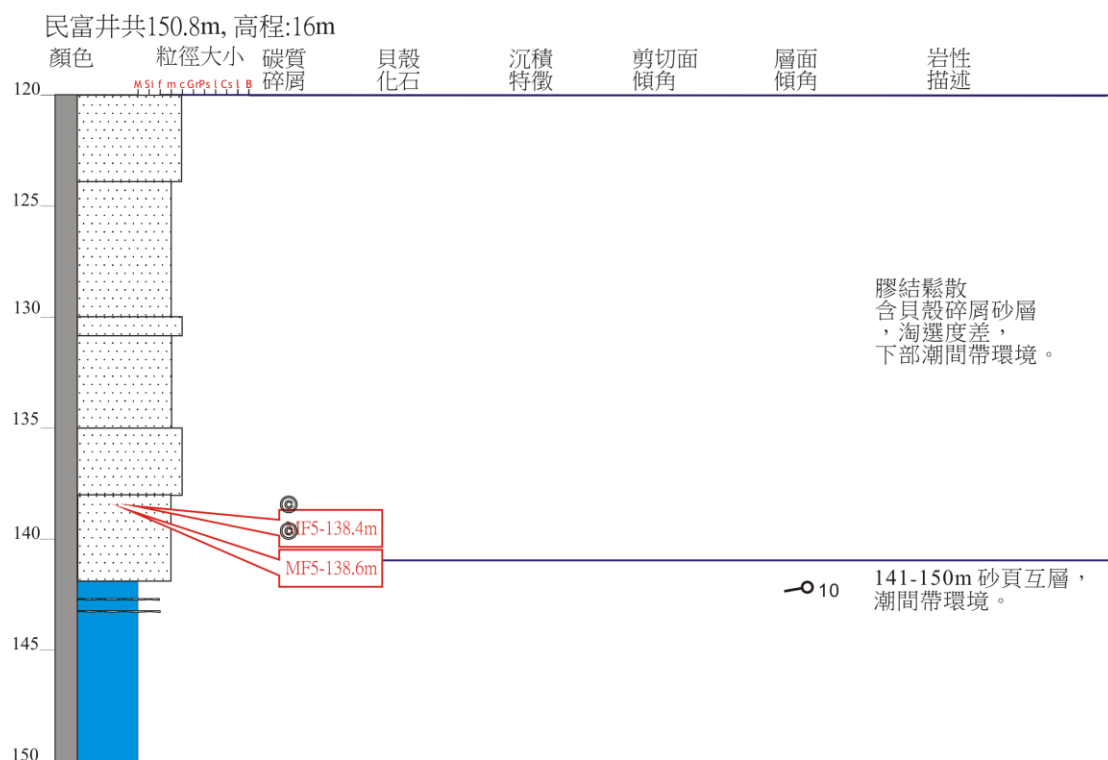
民富井共150.8m, 高程:16m



附錄 1.30 民富井岩芯記錄。



附錄 1.30 民富井岩芯記錄 (續)。

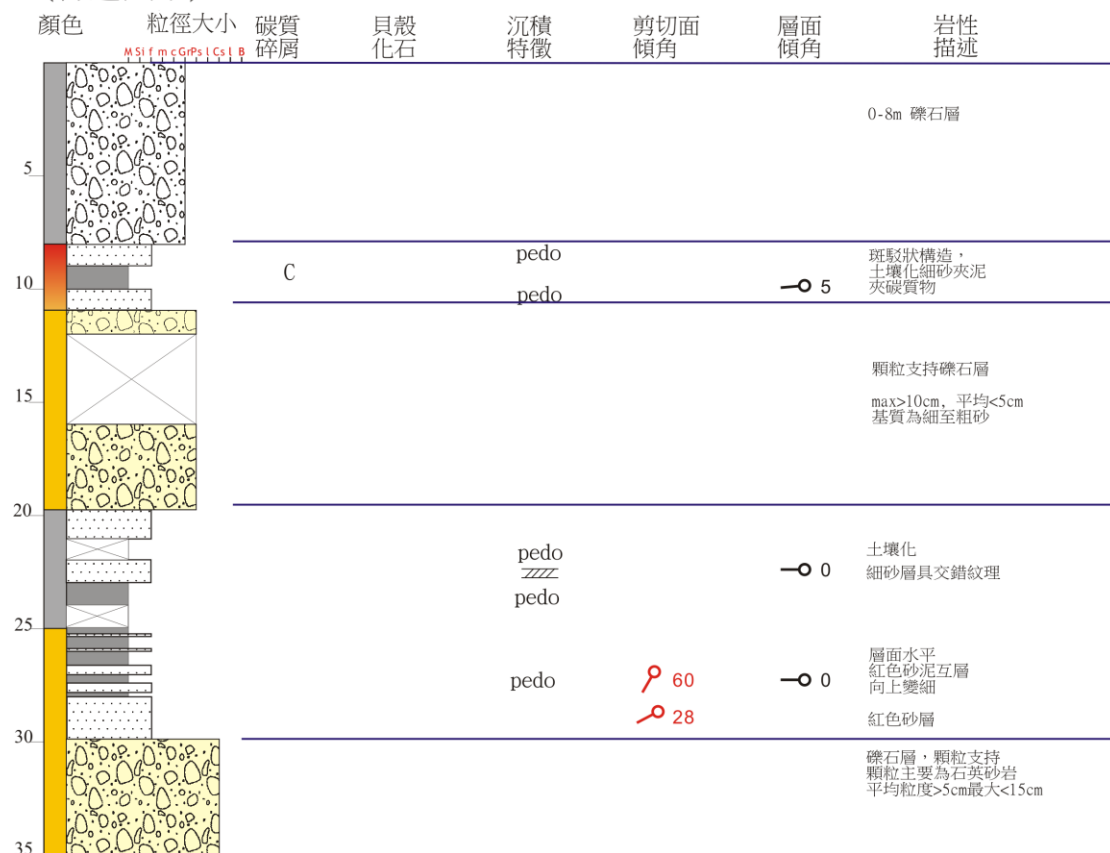


附錄 1.30 民富井岩芯記錄（續）。



附錄 1.31 竹中國小岩芯記錄。

SH-E03井共35m(32m) (竹蓮國小)



附錄 1.32 竹蓮國小岩芯記錄。

SH-E09井共46m,(17m)
(西門國小)

碳質碎屑

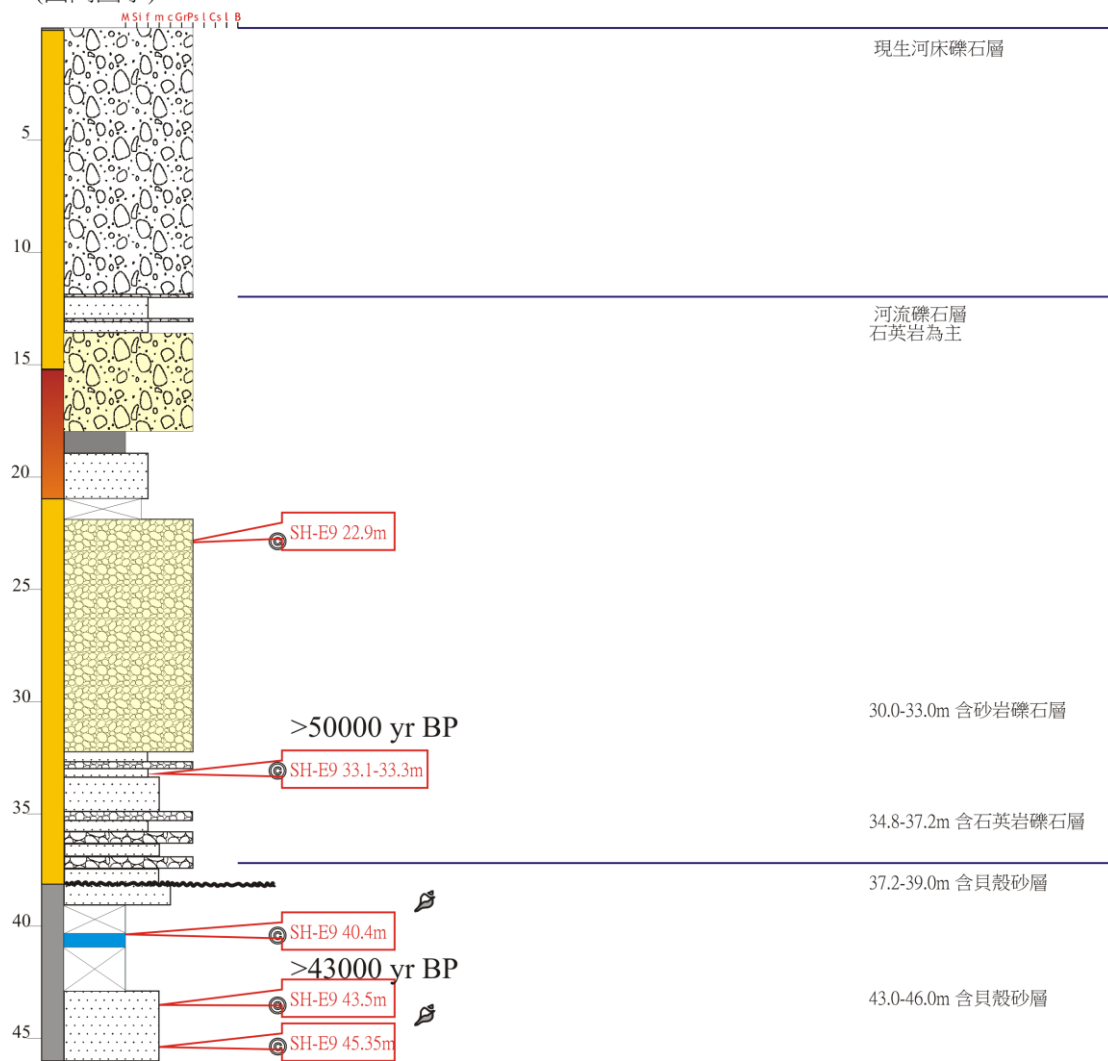
貝殼化石

沉積特徵

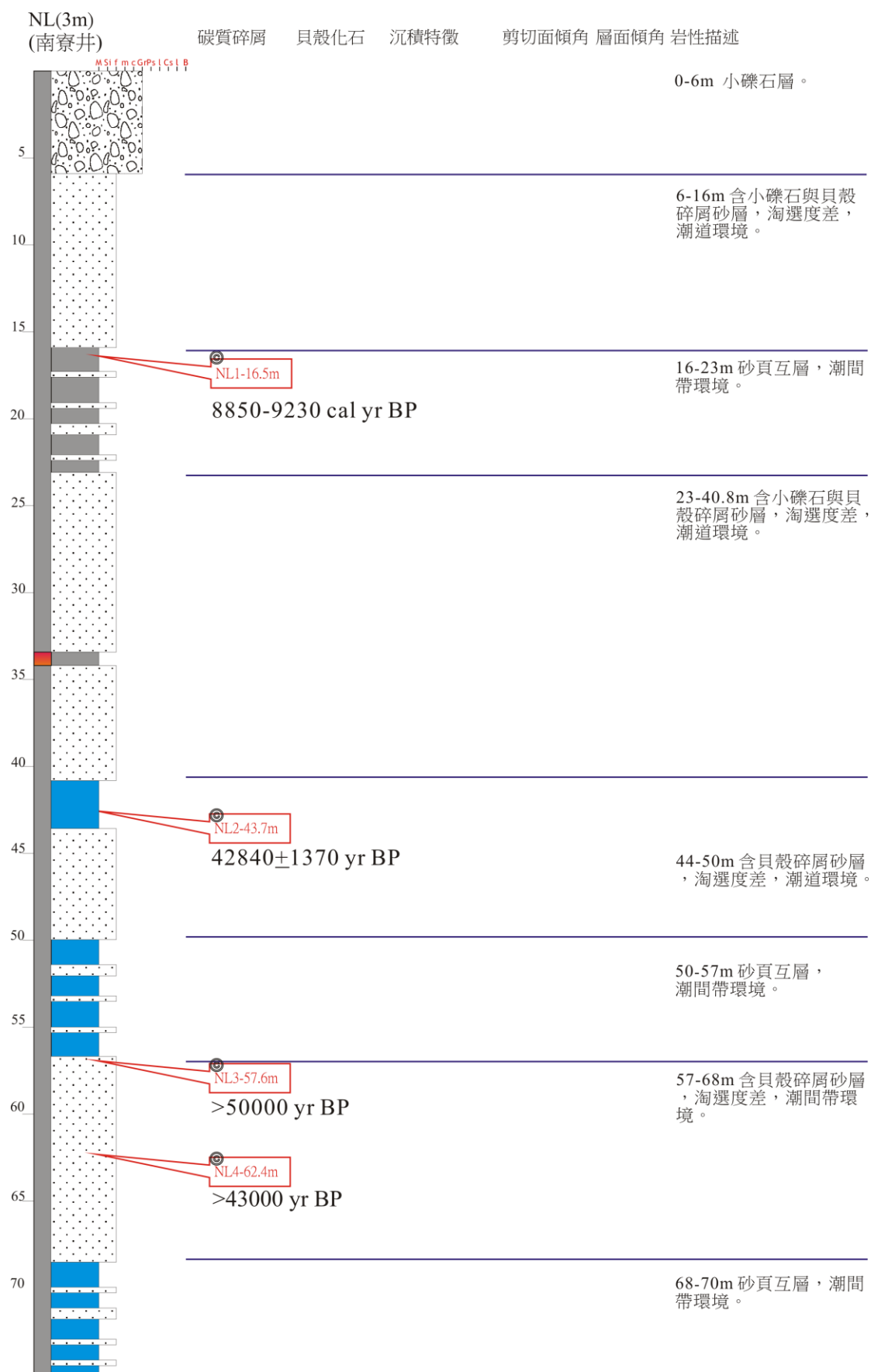
剪切面傾角

層面傾角

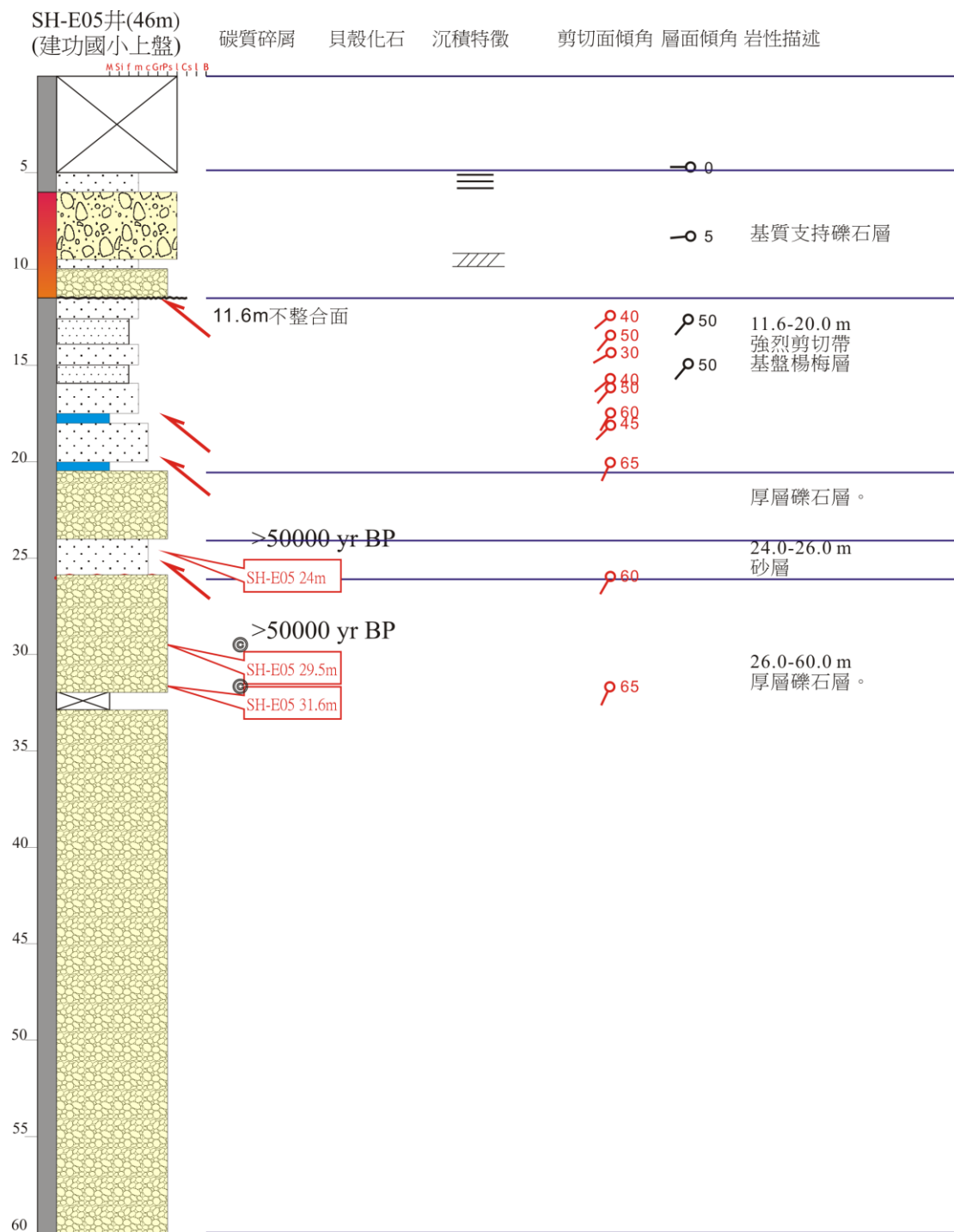
岩性描述



附錄 1.33 西門國小岩芯記錄。



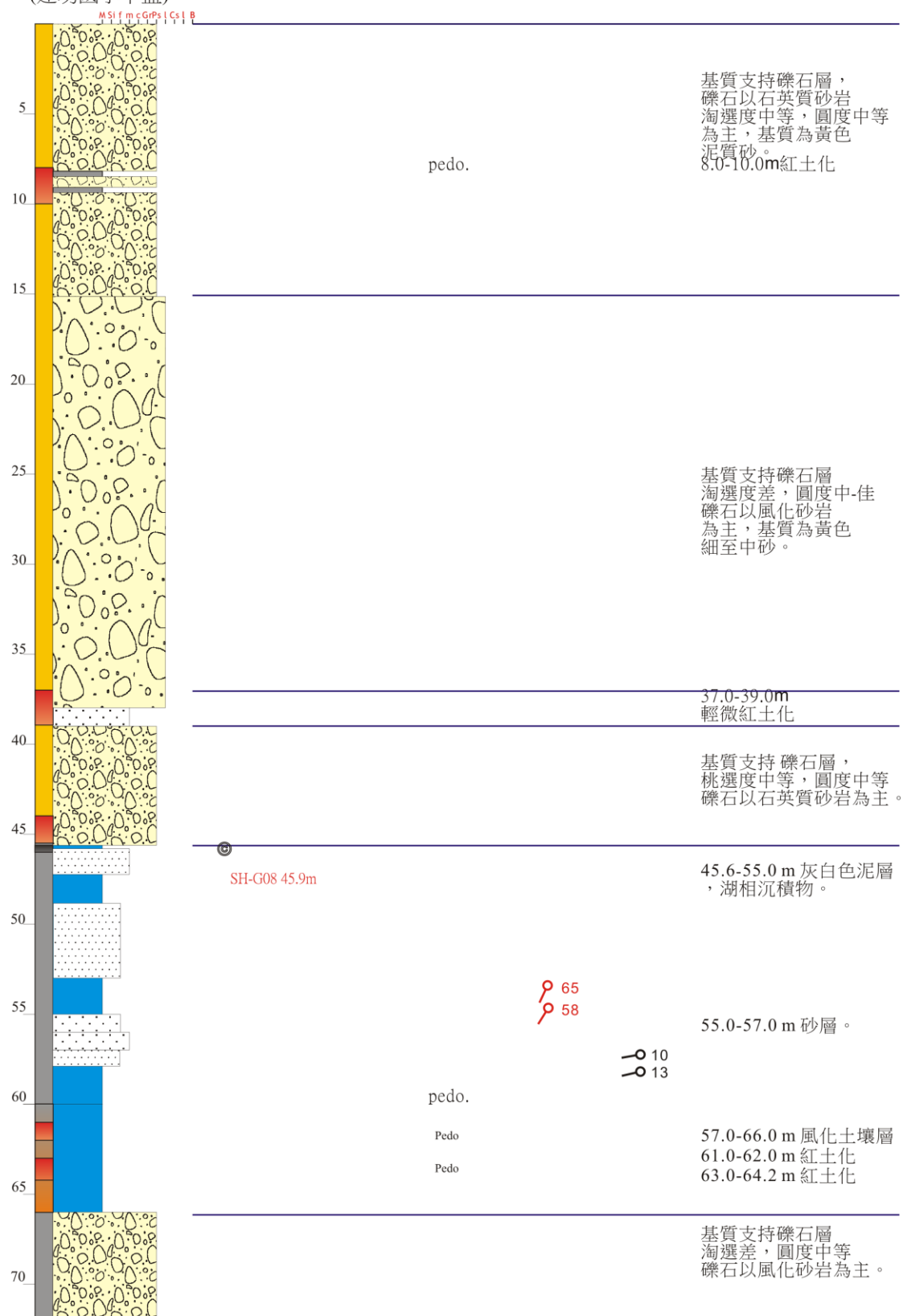
附錄 1.34 南寮井岩芯記錄。



附錄 1.35 建功國小(上盤)岩芯記錄。

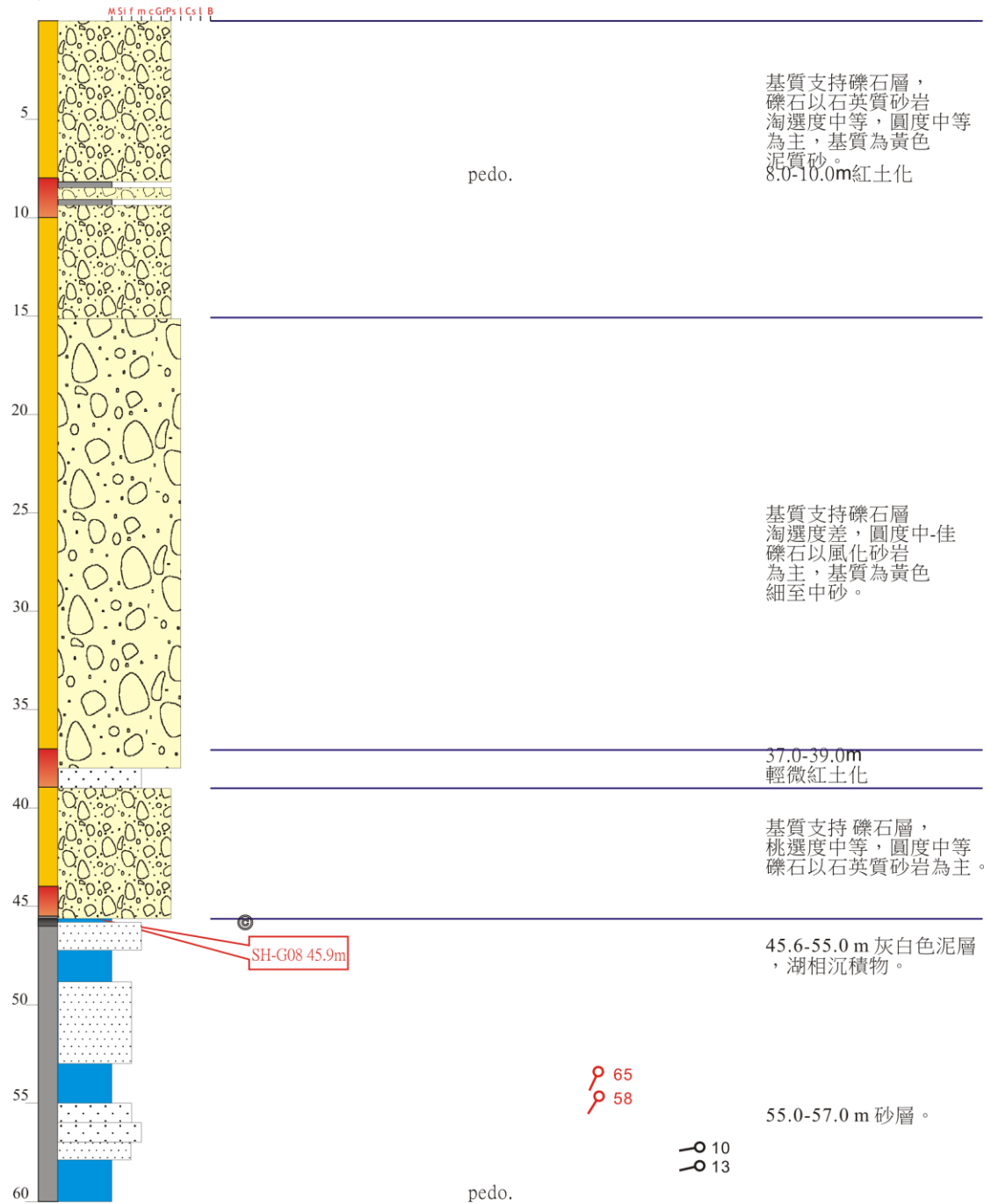
SH-G08井(38m)
(建功國小下盤)

碳質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 岩性描述



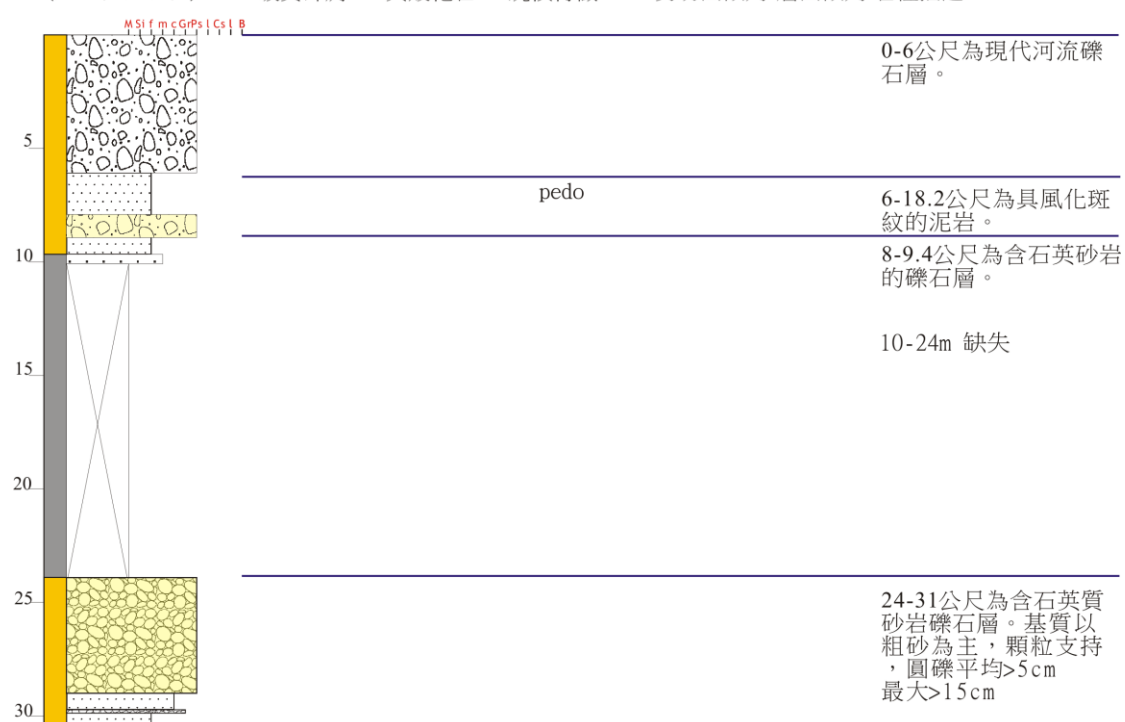
附錄 1.36 建功國小(下盤)岩芯記錄。

SH-G08井(38m)
(建功國小下盤)



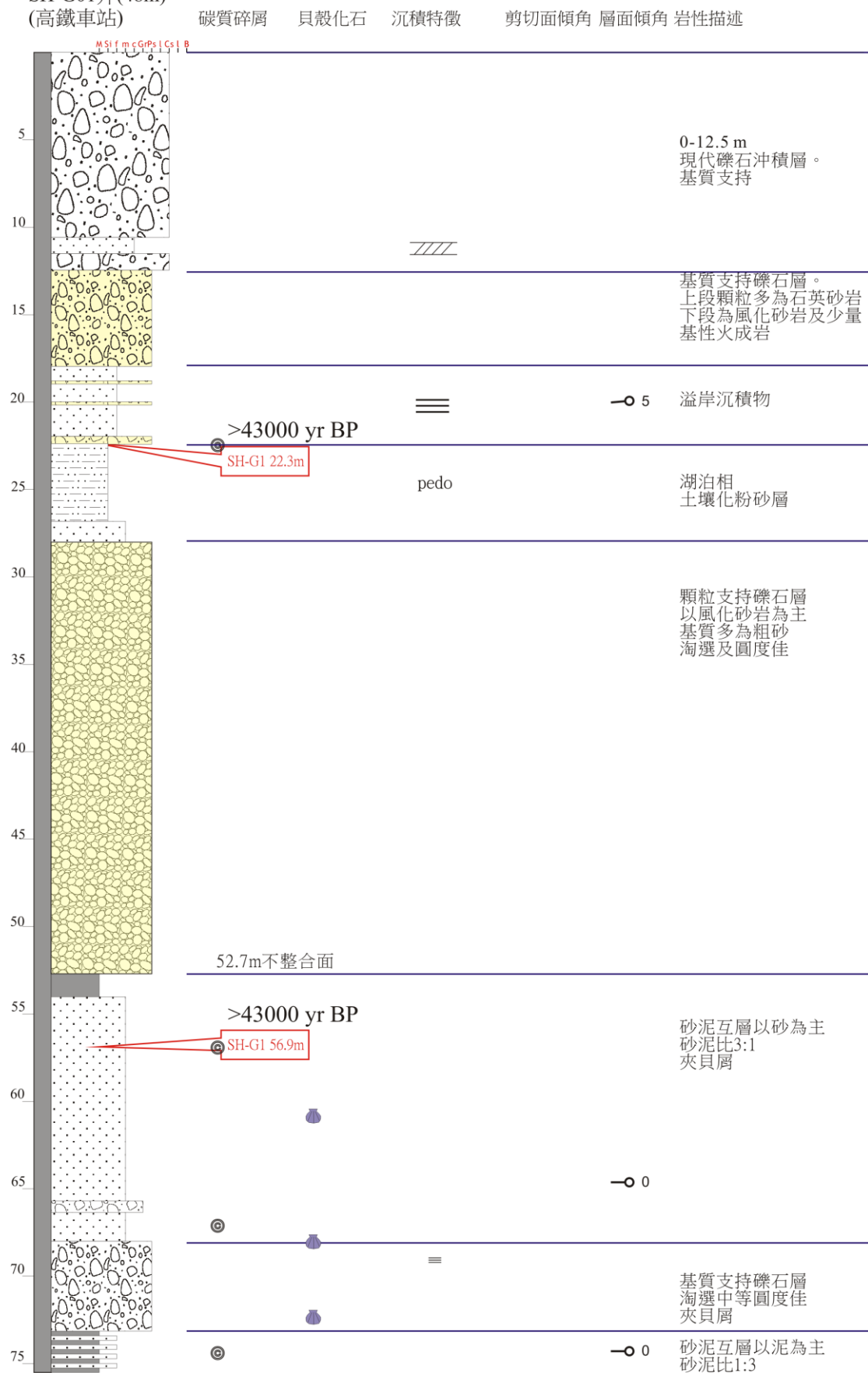
附錄 1.36 建功國小（下盤）岩芯記錄（續）。

SH-E14井(40m) (建華國中)

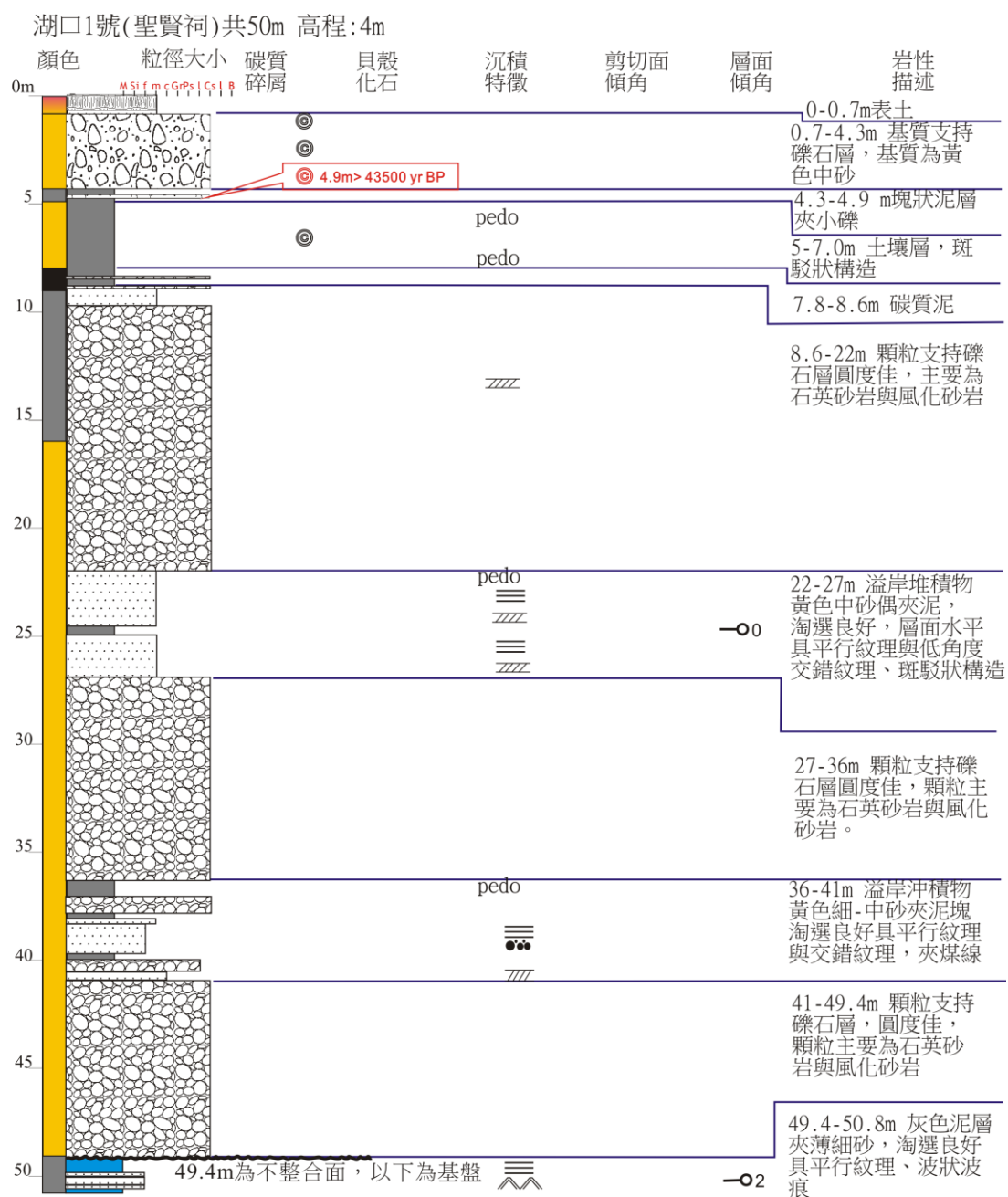


附錄 1.37 建華國中岩芯記錄。

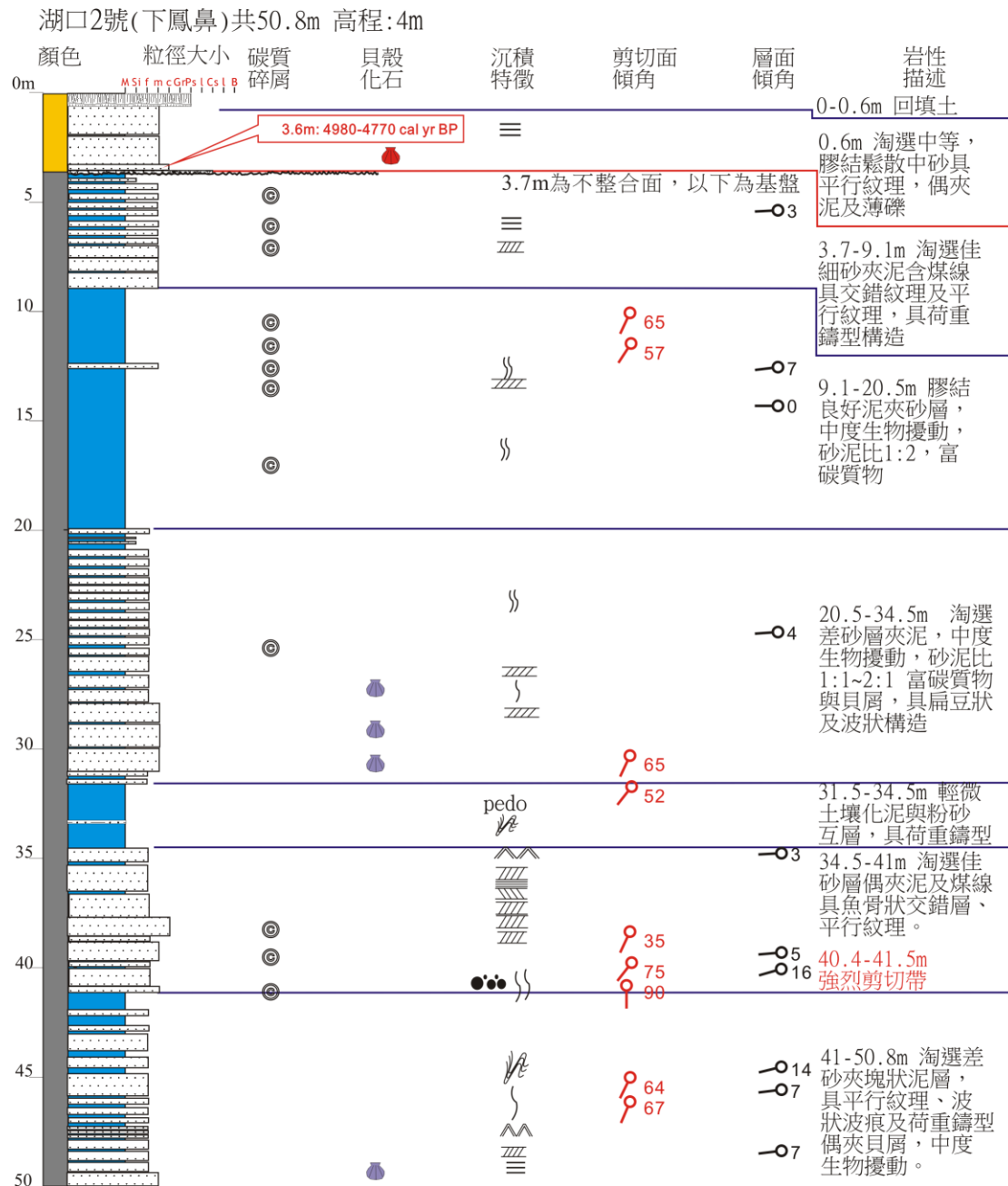
SH-G01井(48m)
(高鐵車站)



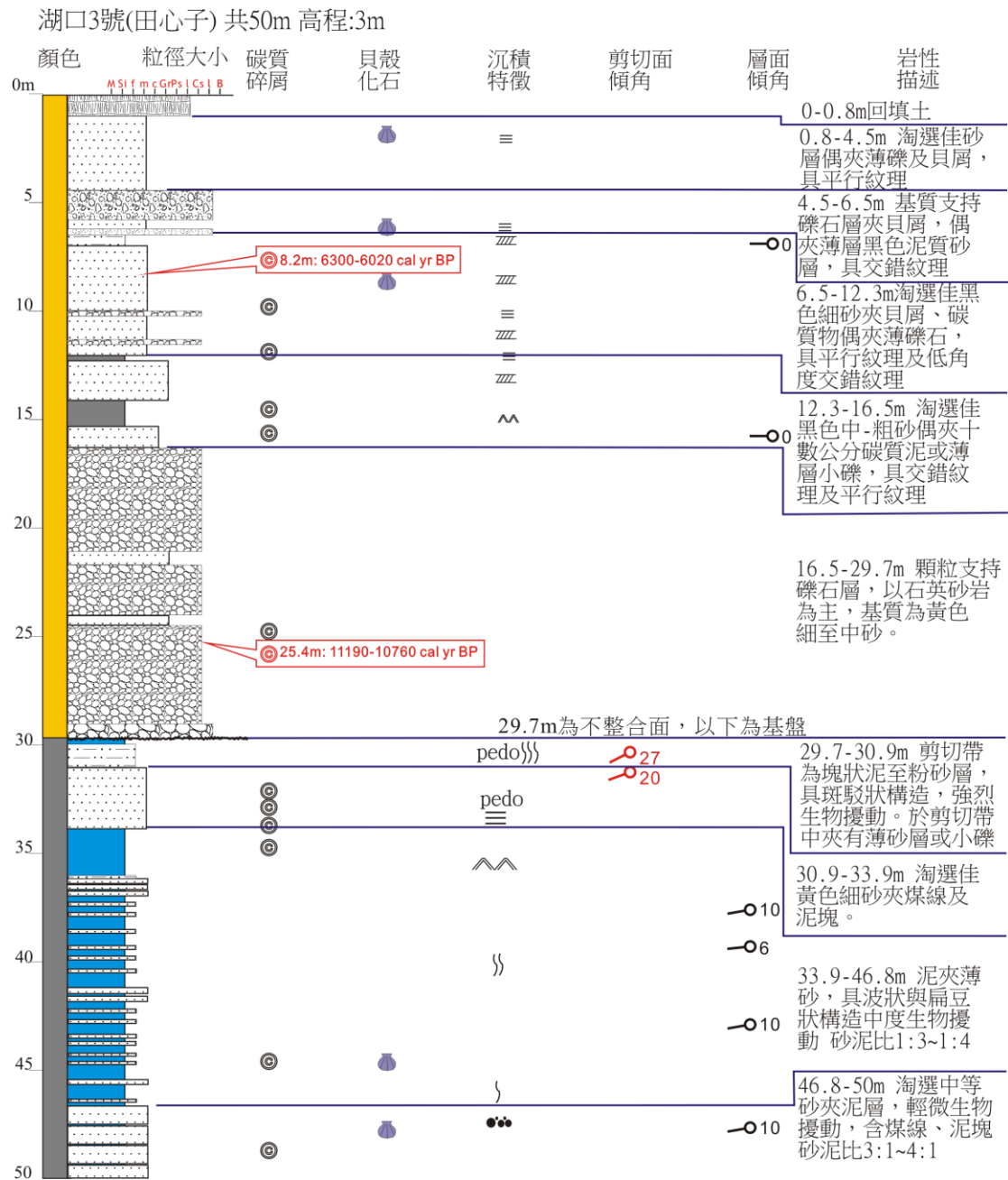
附錄 1.38 高鐵車站岩芯記錄。



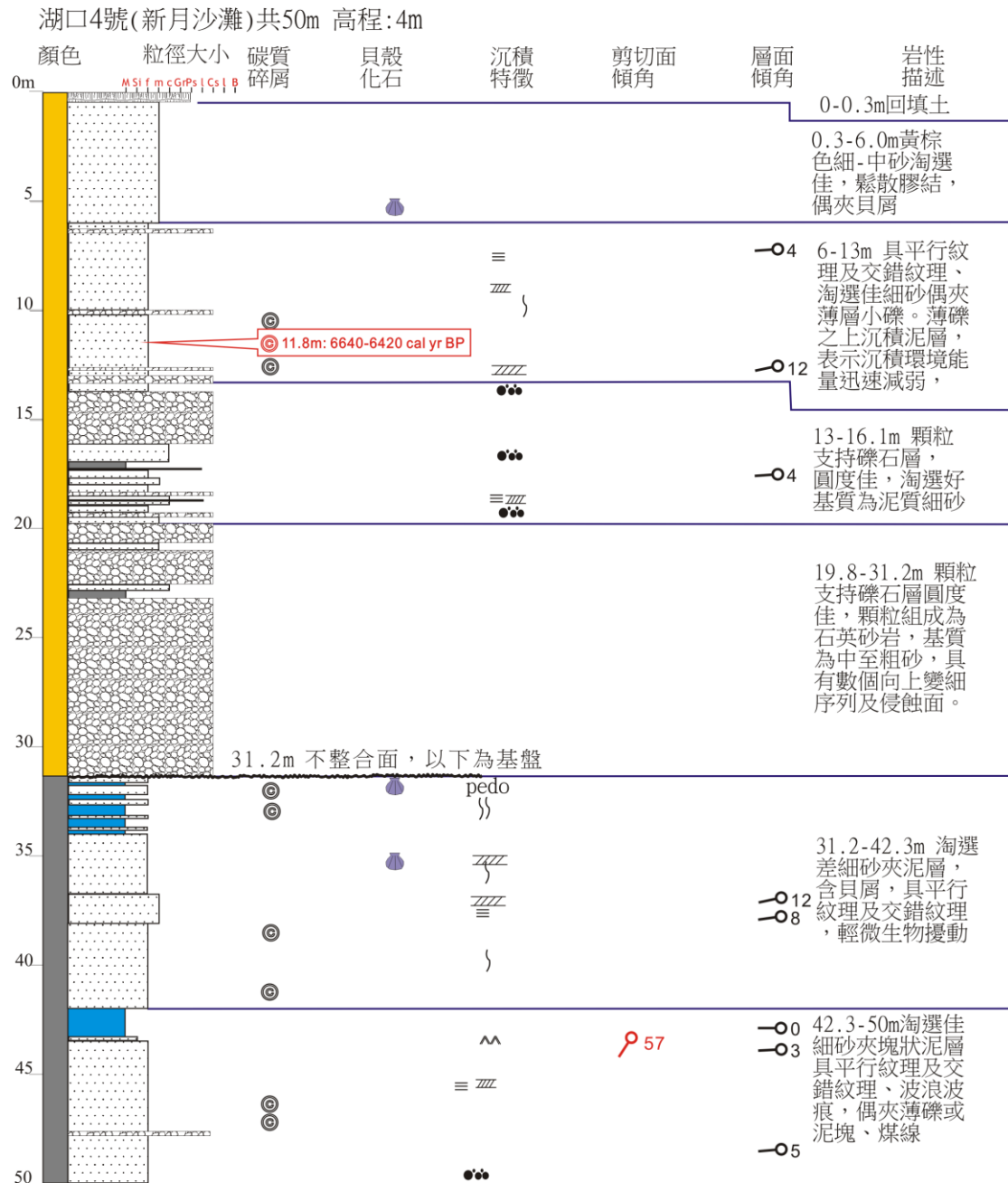
附錄 1.39 湖口 1 號岩芯記錄。



附錄 1.40 湖口 2 號岩芯記錄。

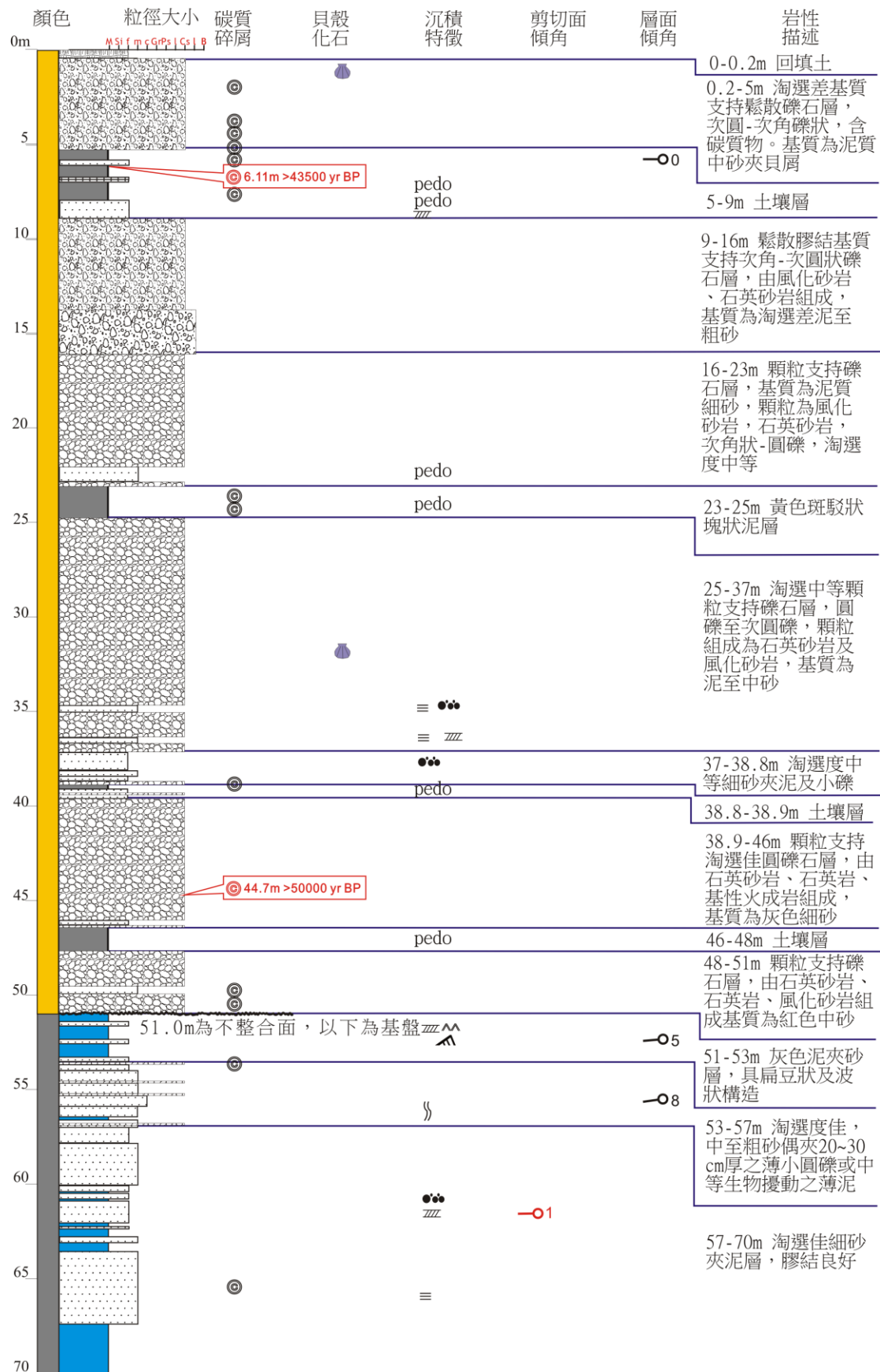


附錄 1.41 湖口 3 號岩芯記錄。



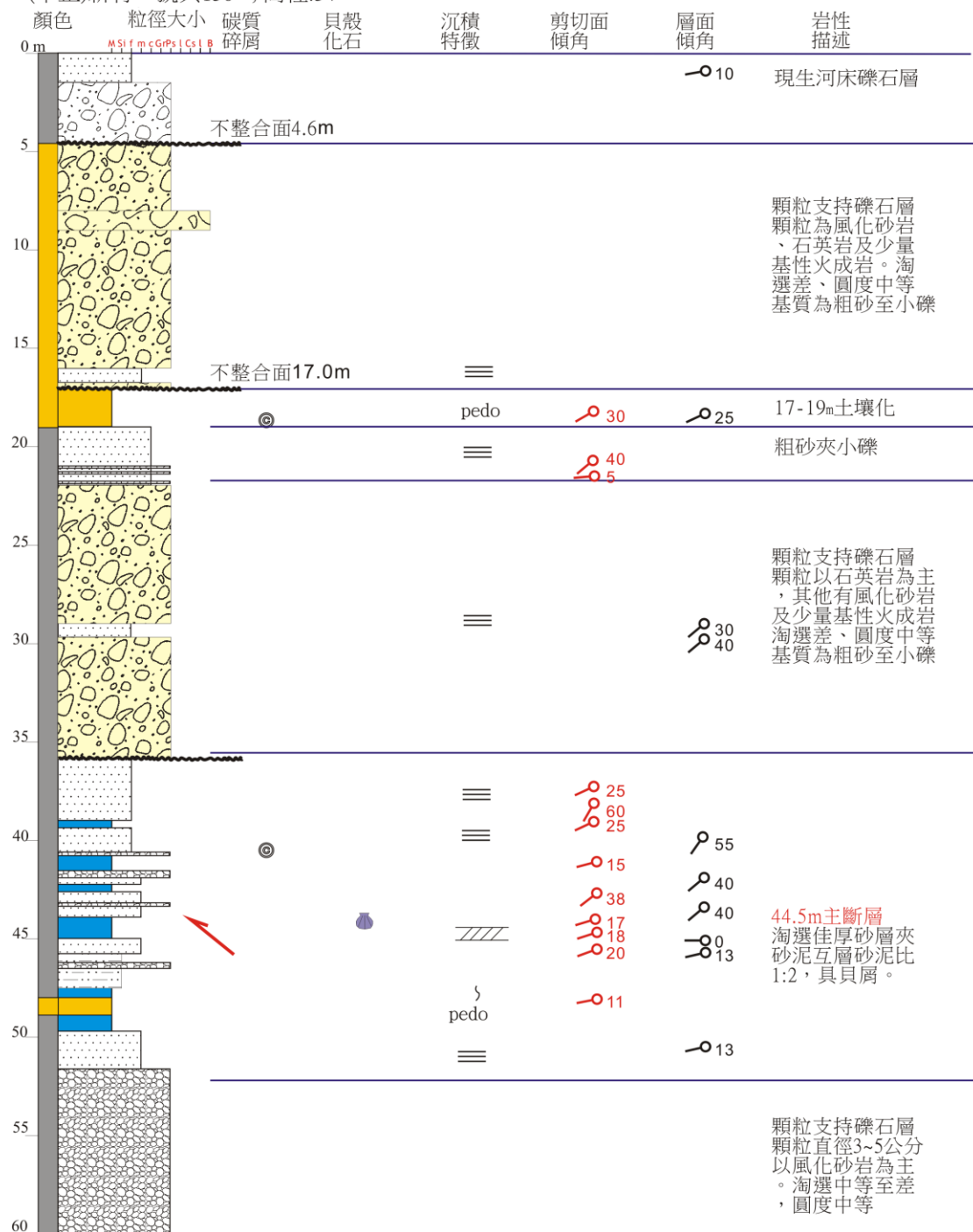
附錄 1.42 湖口 4 號岩芯記錄。

湖口BH5(聖賢祠2)共70m 高程:4m

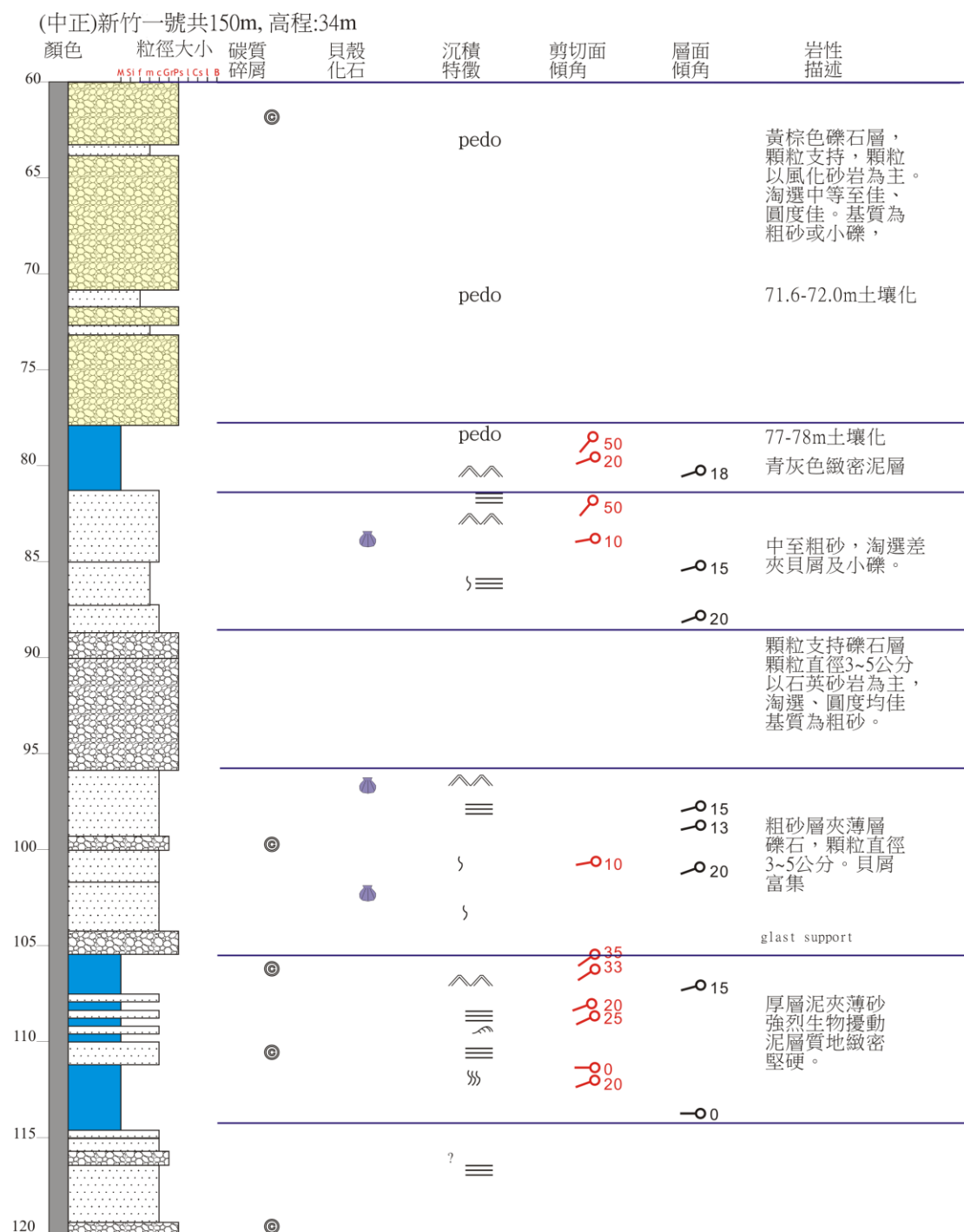


附錄 1.43 湖口 5 號岩芯記錄。

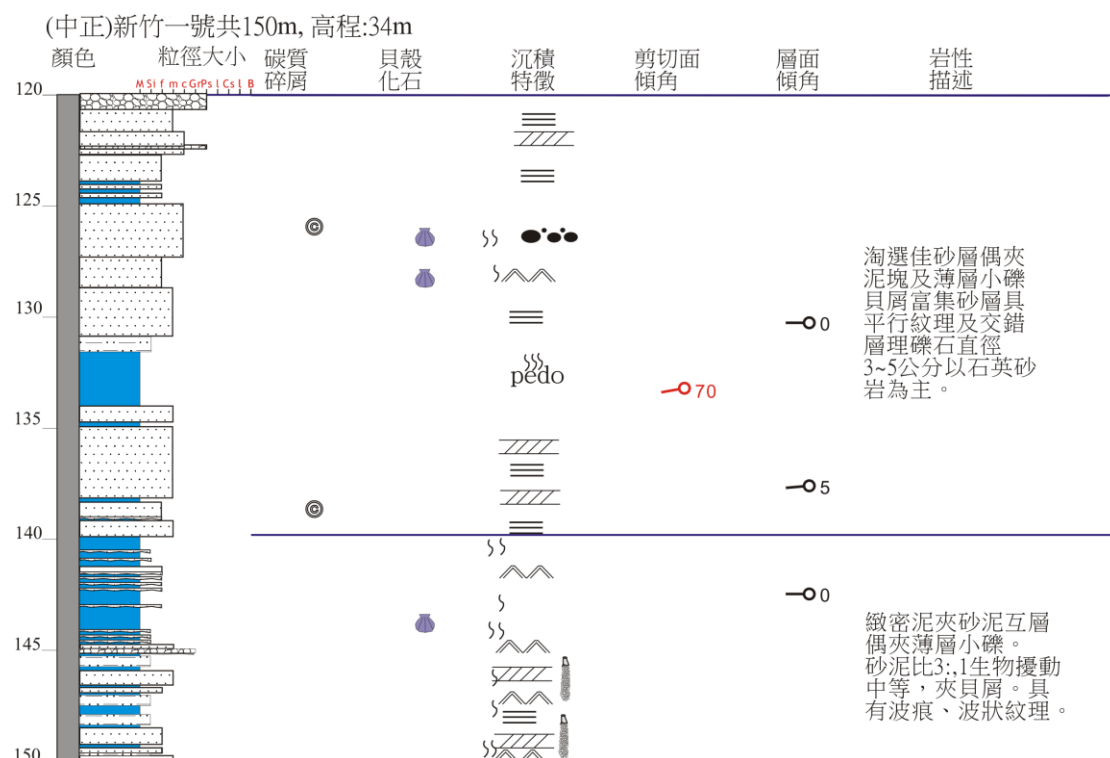
(中正)新竹一號共150m, 高程:34m



附錄 1.44 新竹一號（中正）岩芯記錄。



附錄 1.44 新竹一號(中正)岩芯記錄(續)。



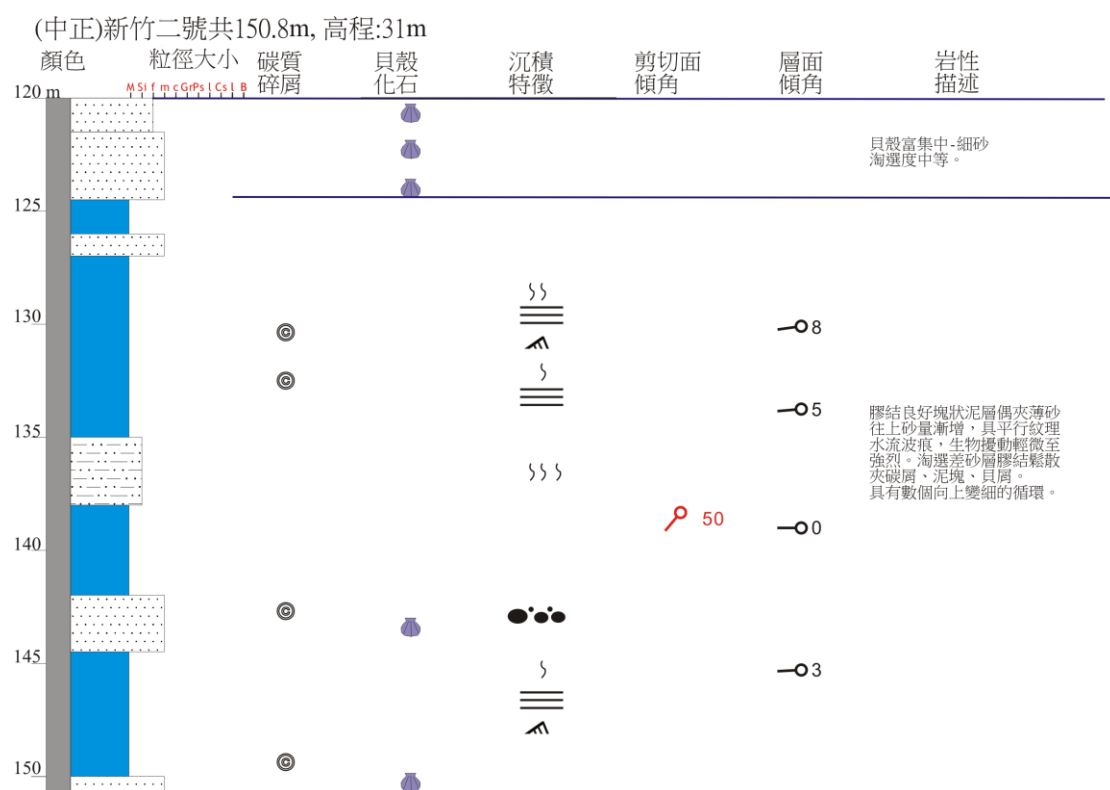
附錄 1.44 新竹一號(中正)岩芯記錄(續)。



附錄 1.45 新竹二號（中正）岩芯記錄。

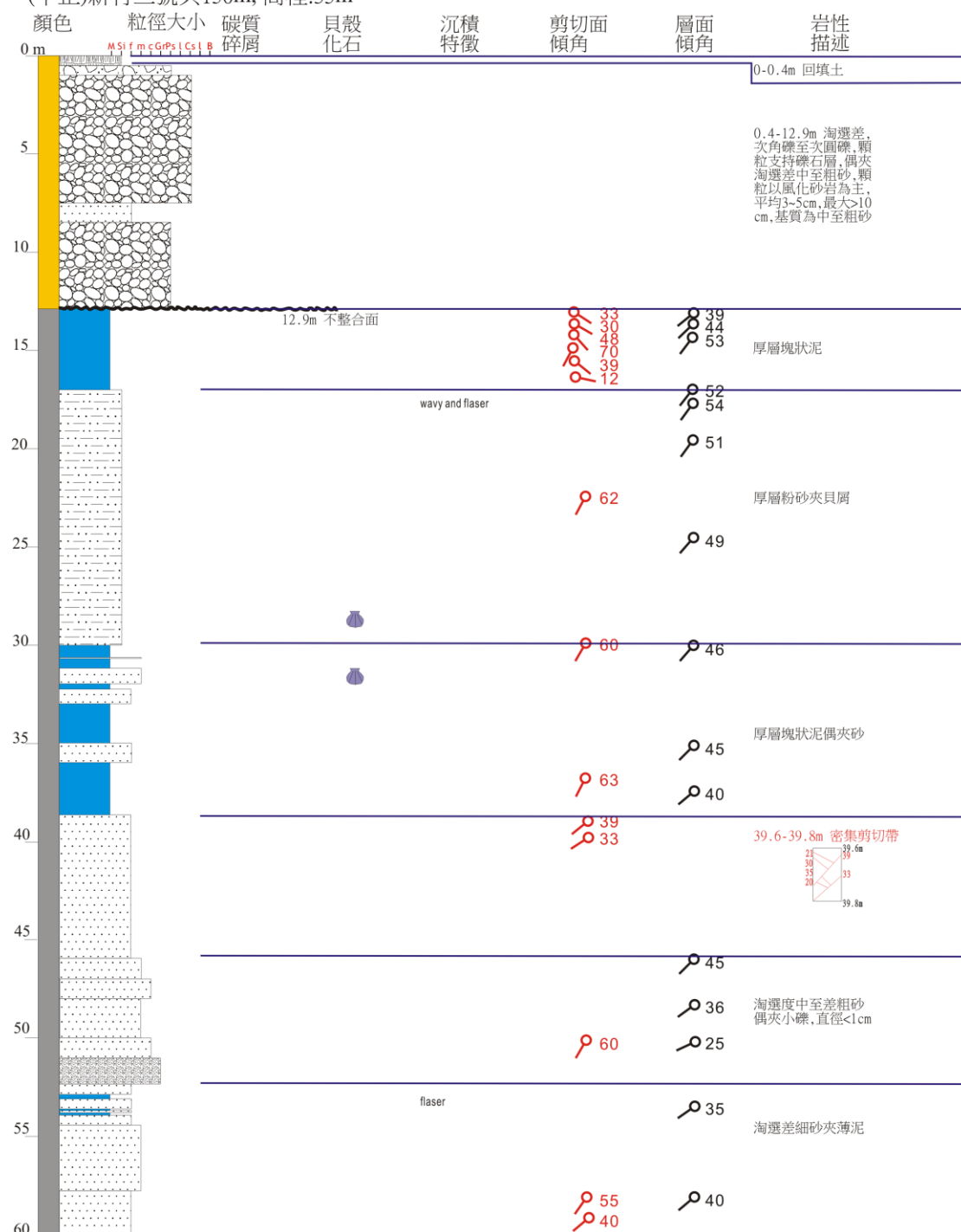
顏色	粒徑大小	碳質碎屑	貝殼化石	沉積特徵	剪切面傾角	層面傾角	岩性描述
60 m	M S l f m c G r P s l C s l B						
65					35		
70							
75							
80					40	5	
85					35		
90							
95					10		
100					30 40 50		
105					30 5		
110					18		厚層泥層偶夾粉砂及細砂具波痕紋理
115				wavy and flaser			112.9m 黑色泥層具鱗片狀構造
120						0	

167

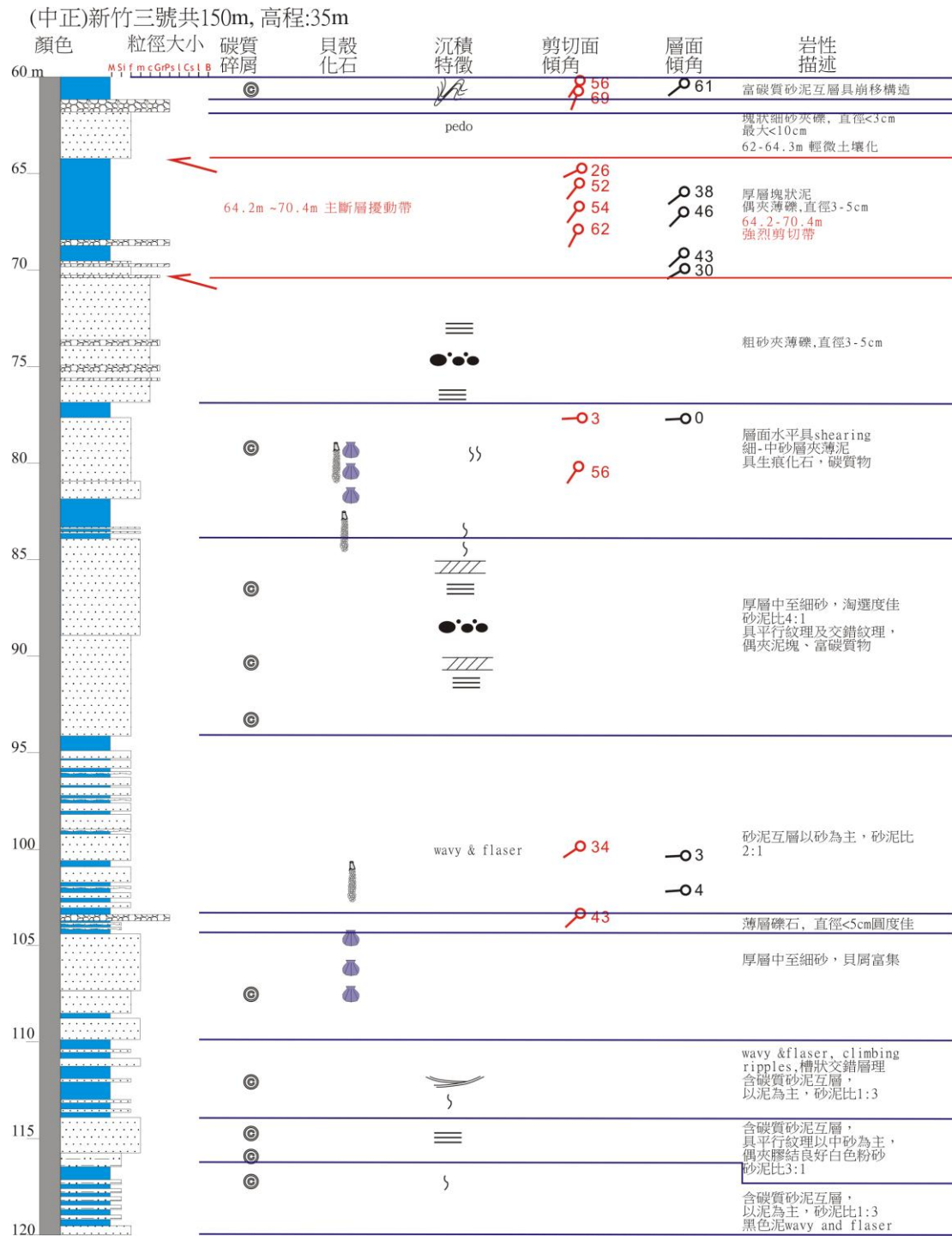


附錄 1.46 新竹二號(中正)岩芯記錄(續)。

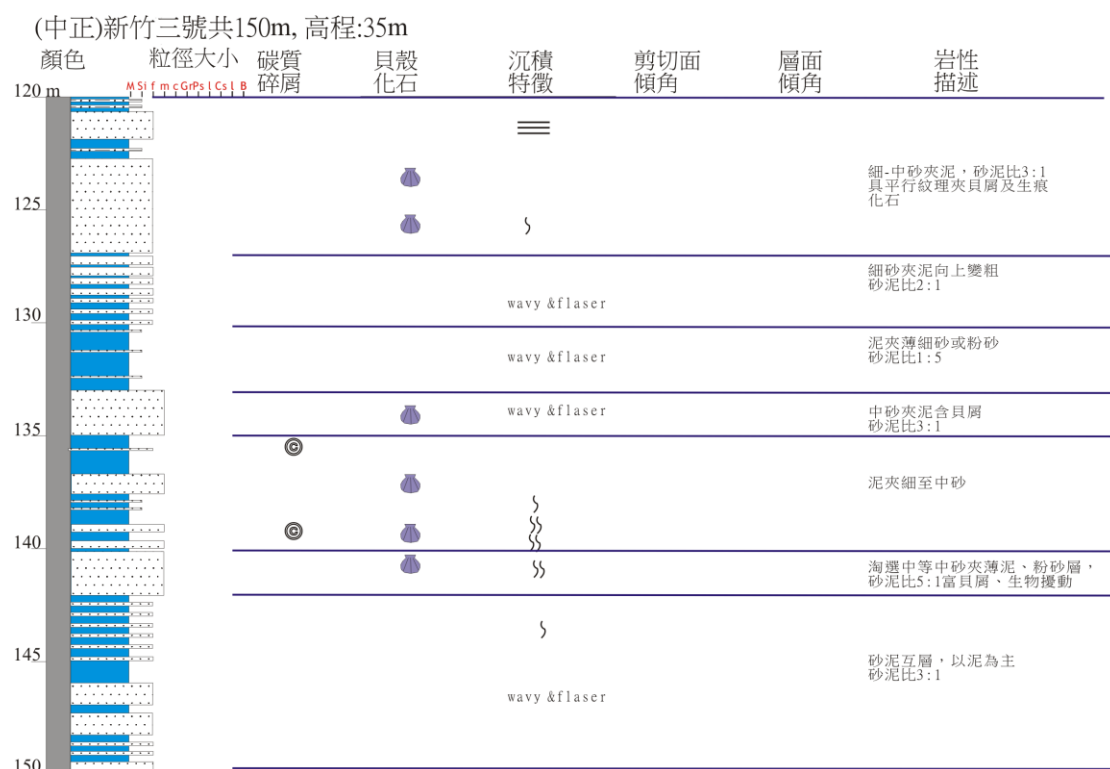
(中正)新竹三號共150m, 高程:35m



附錄 1.47 新竹三號（中正）岩芯記錄。



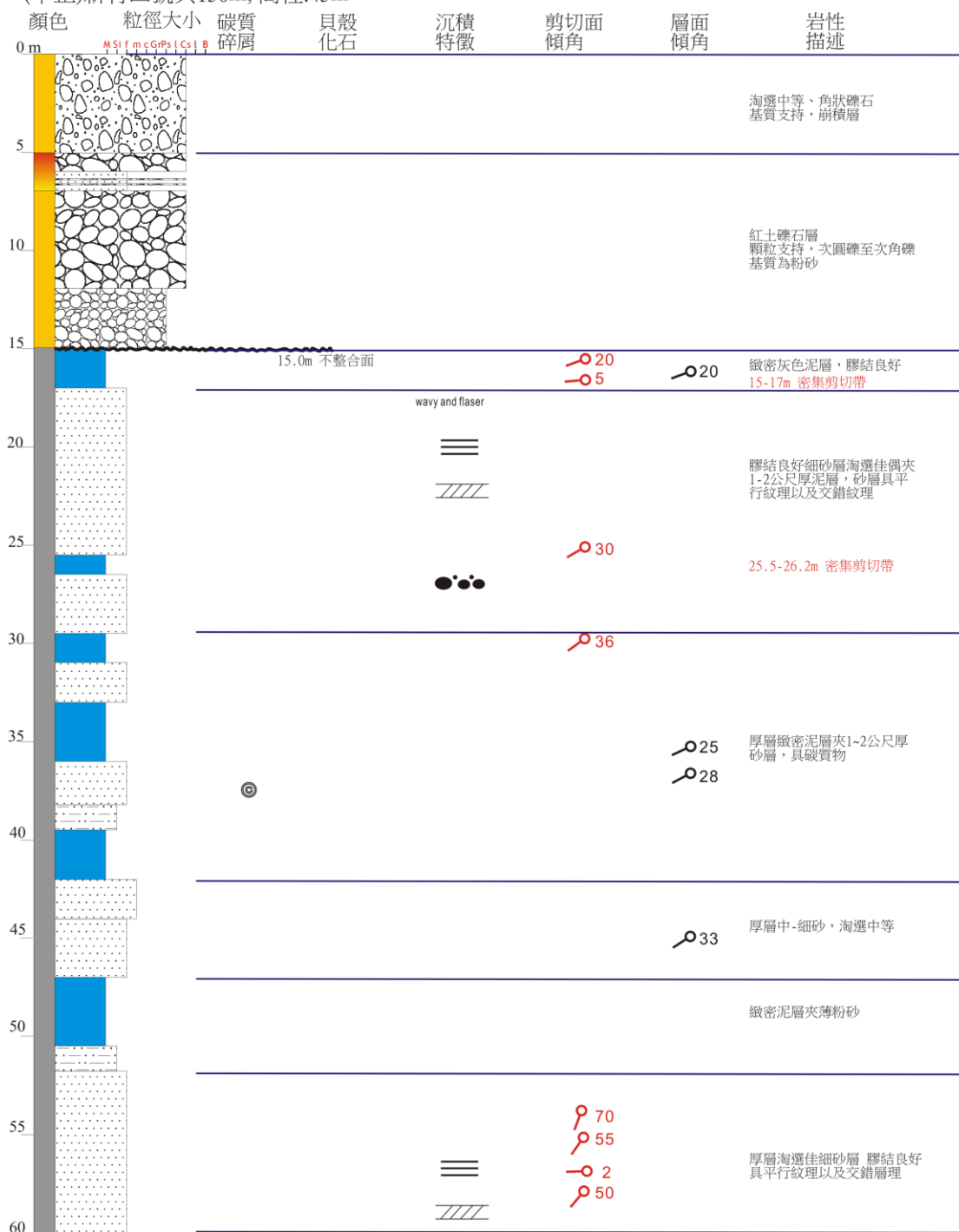
附錄 1.47 新竹三號(中正)岩芯記錄(續)。



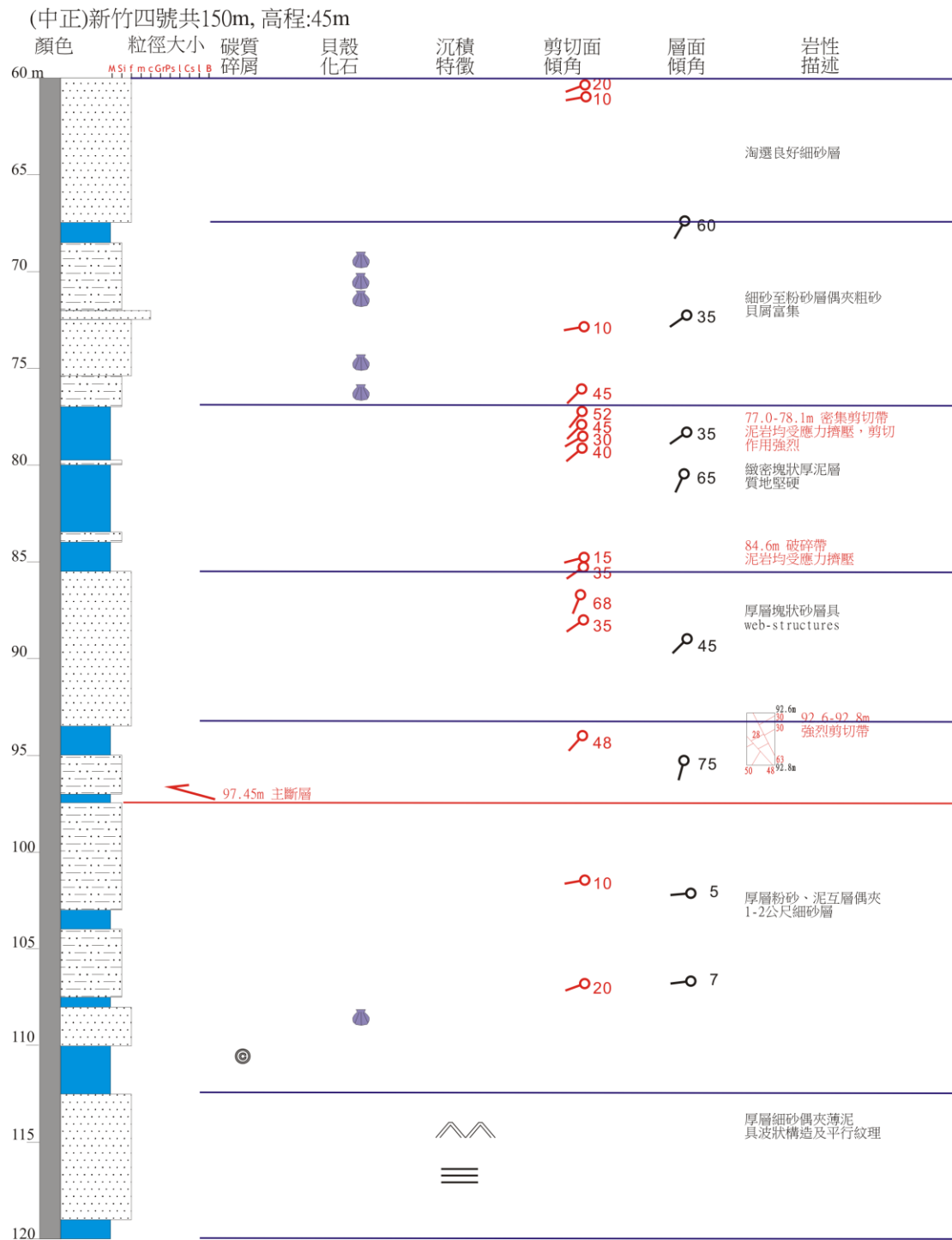
附錄 1.47 新竹三號(中正)岩芯記錄(續)。



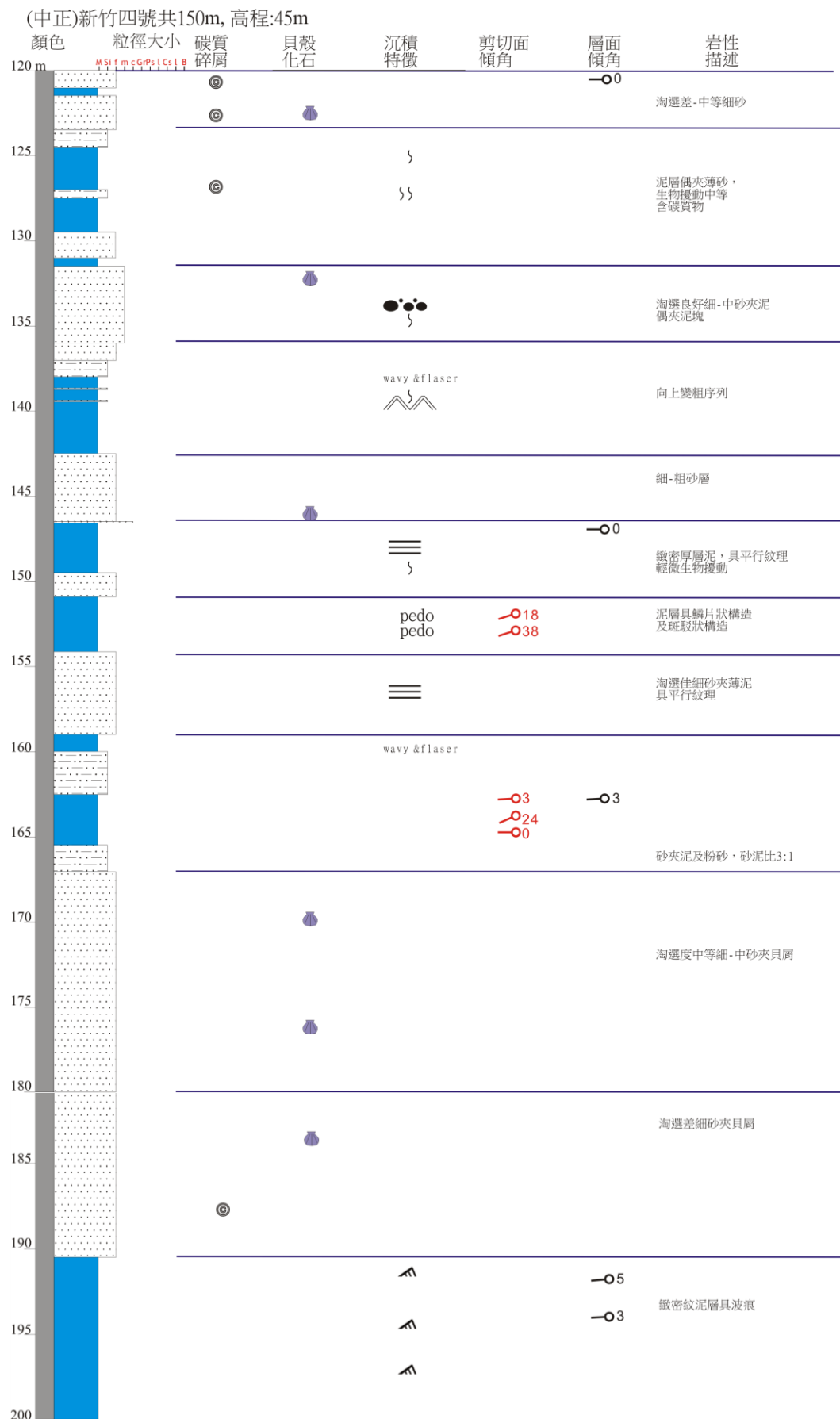
(中正)新竹四號共150m, 高程:45m



附錄 1.48 新竹四號（中正）岩芯記錄。

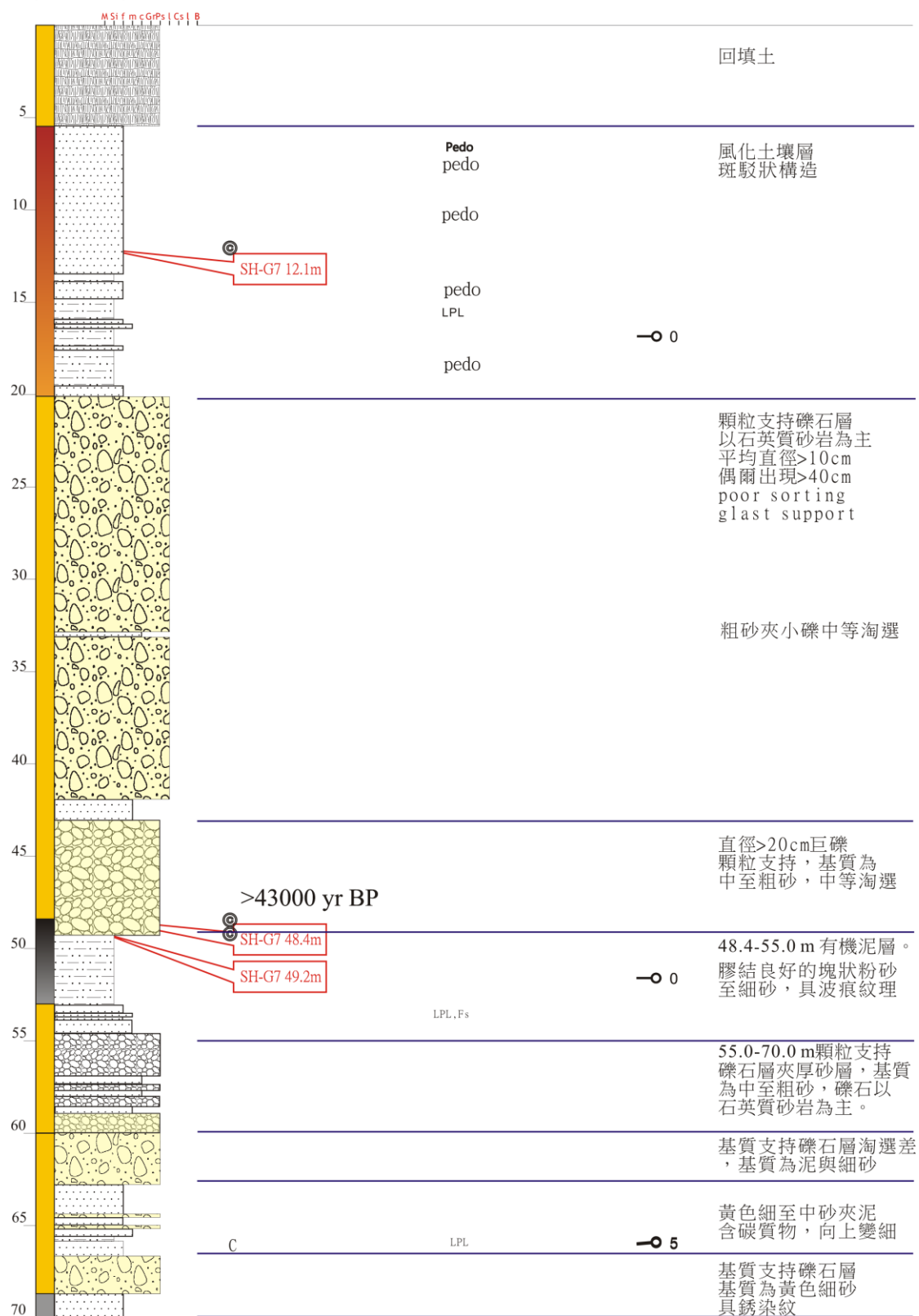


附錄 1.48 新竹四號(中正)岩芯記錄(續)。



附錄 1.48 新竹四號(中正)岩芯記錄(續)。

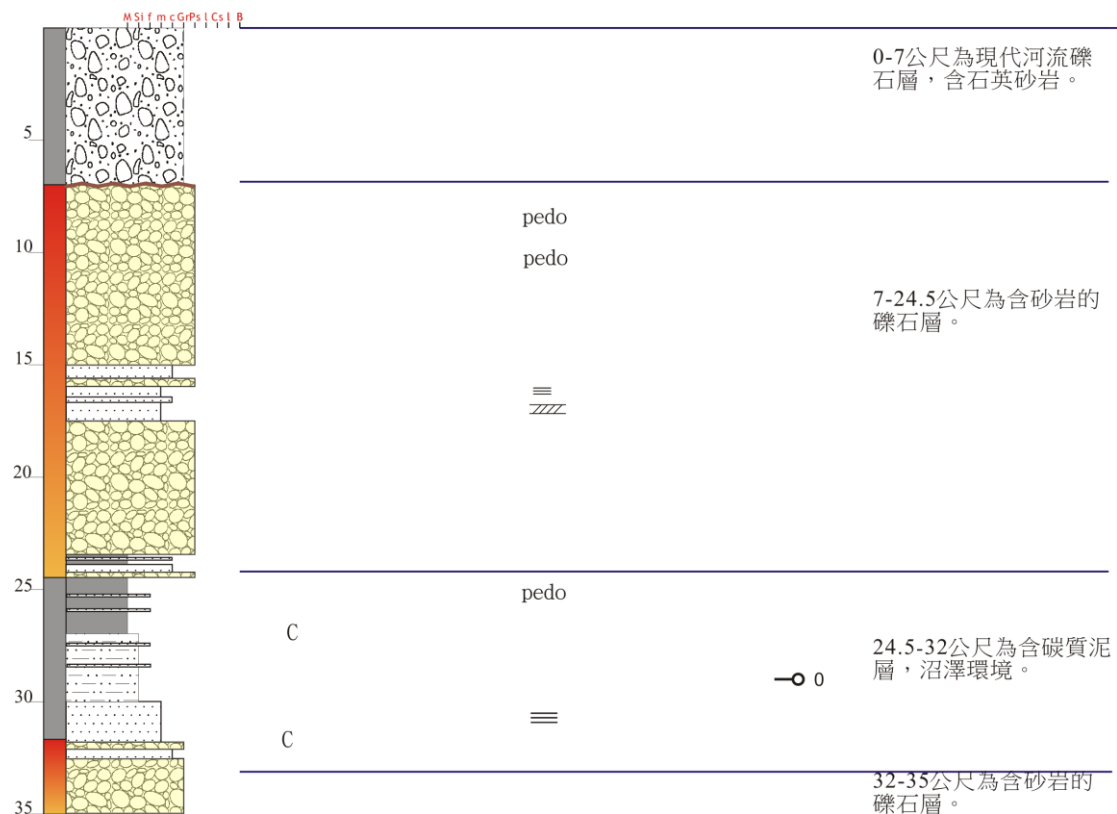
SH-G07井(43m)
(新竹高商)



附錄 1.49 新竹高商岩芯記錄。

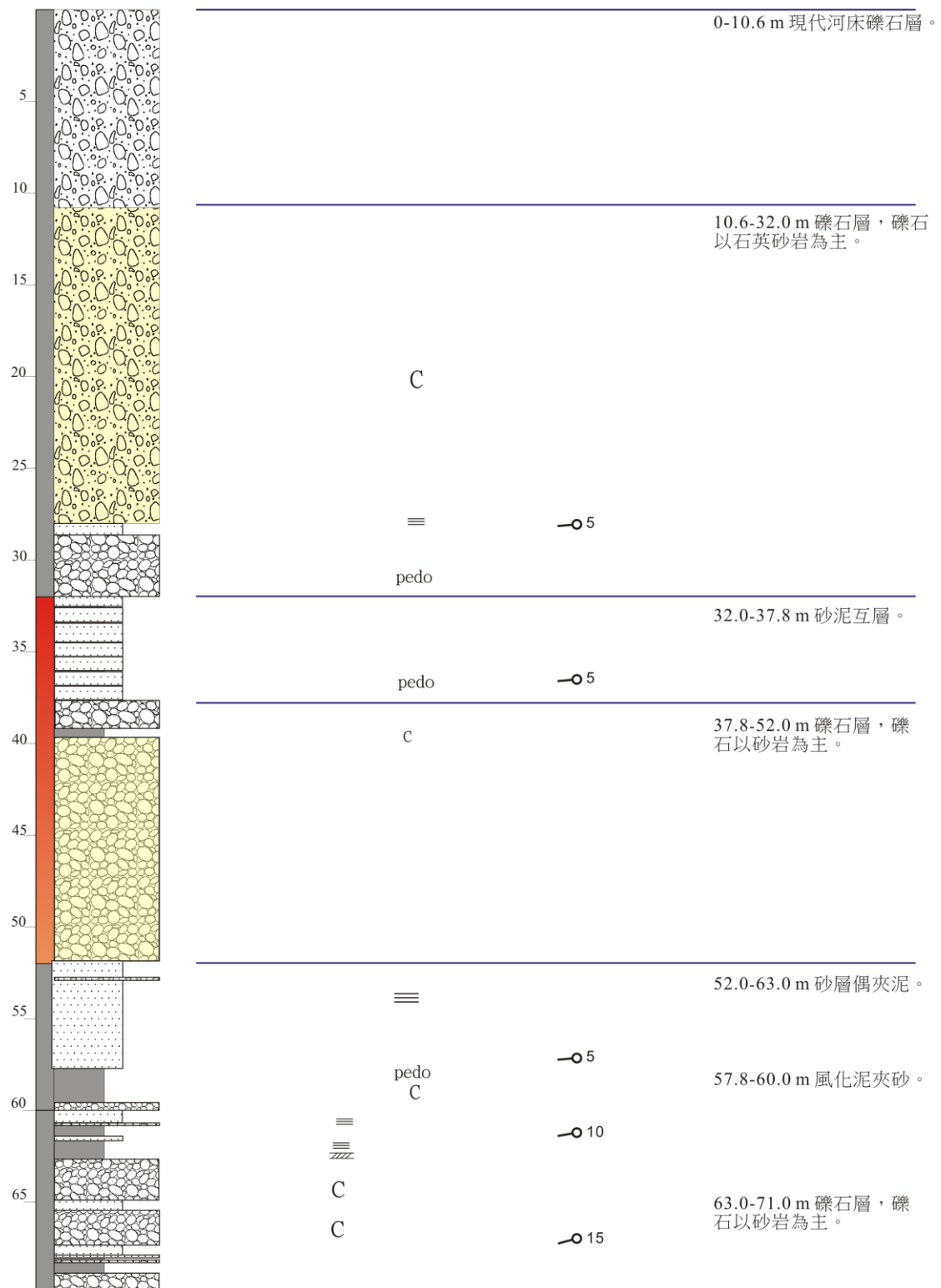
SH-E03井共35m(24m) (新竹國小)

碳質碎屑 貝殼化石 沉積特徵 剪切面傾角 層面傾角 岩性描述



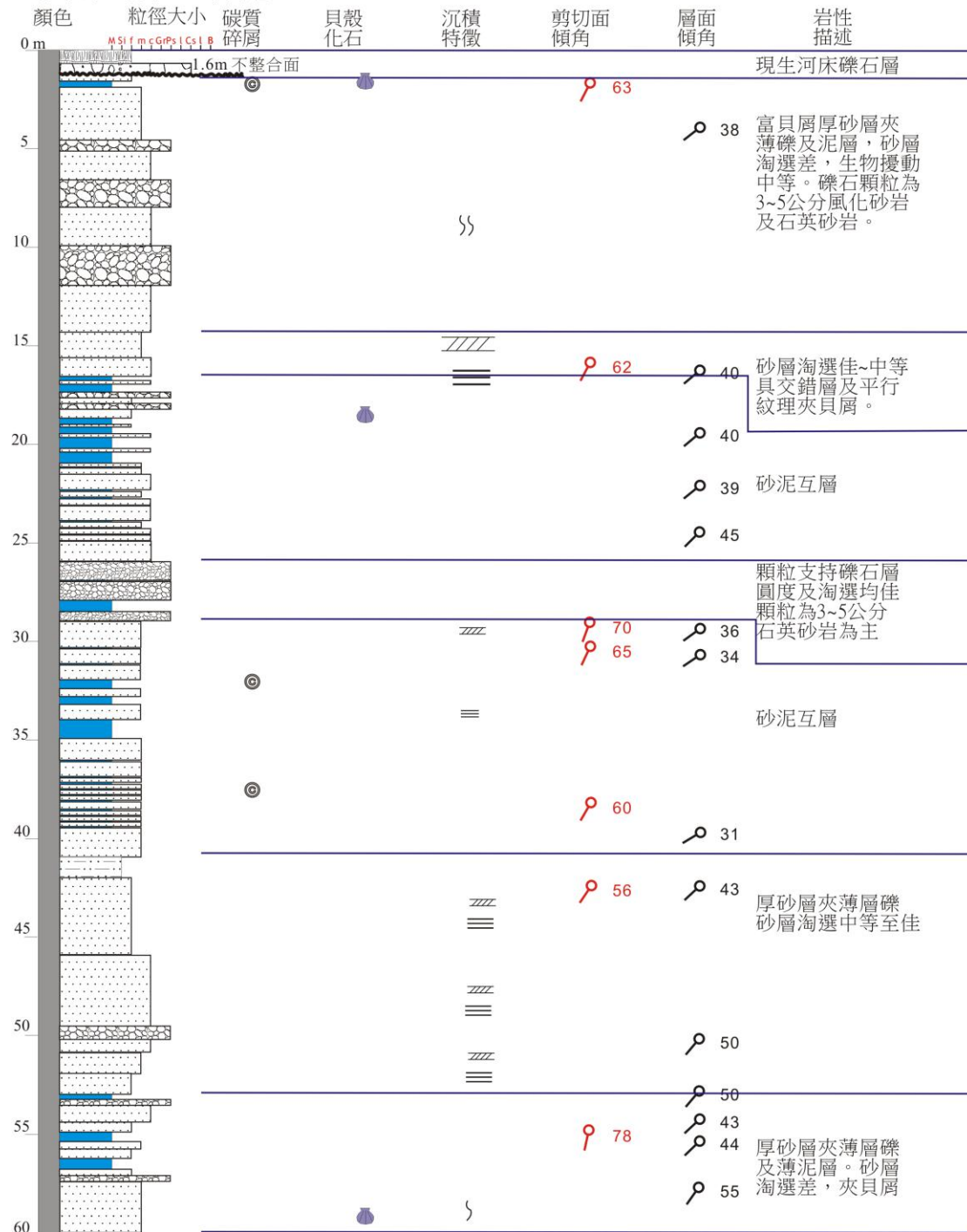
附錄 1.50 新竹國小岩芯記錄。

SH-G05井(36m)
(經國大橋)

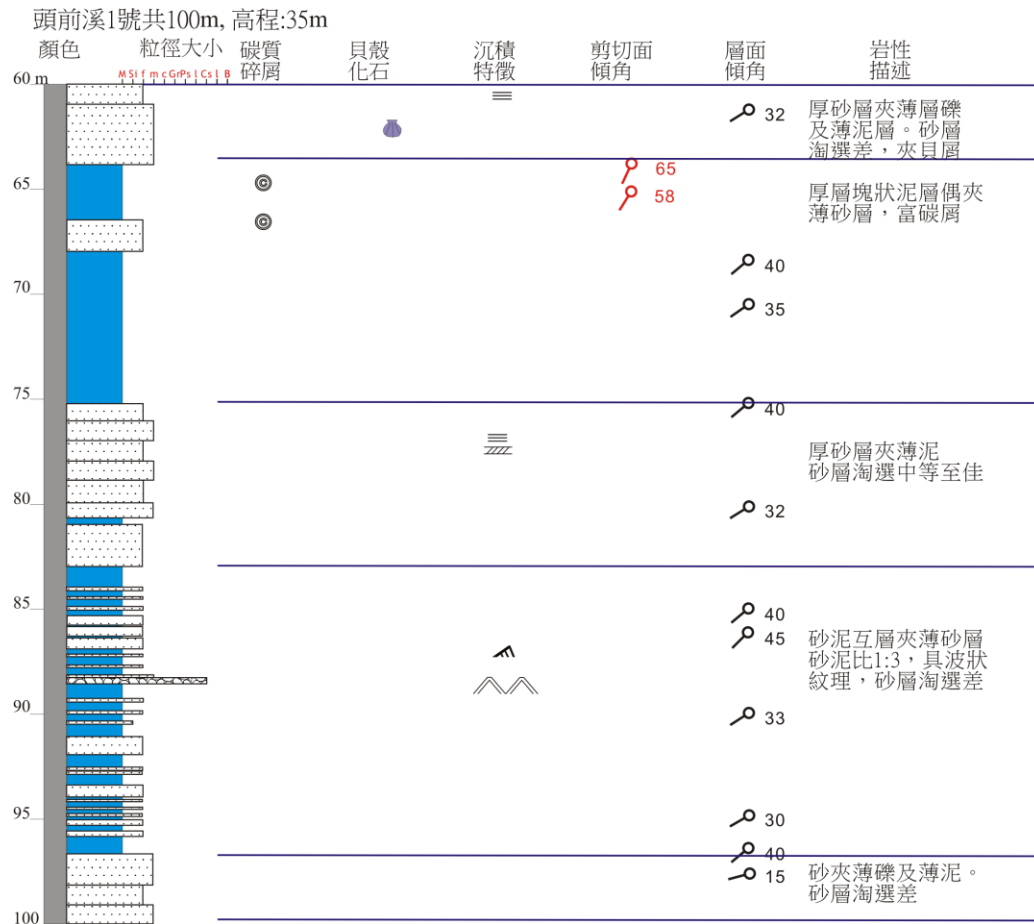


附錄 1.51 經國大橋岩芯記錄。

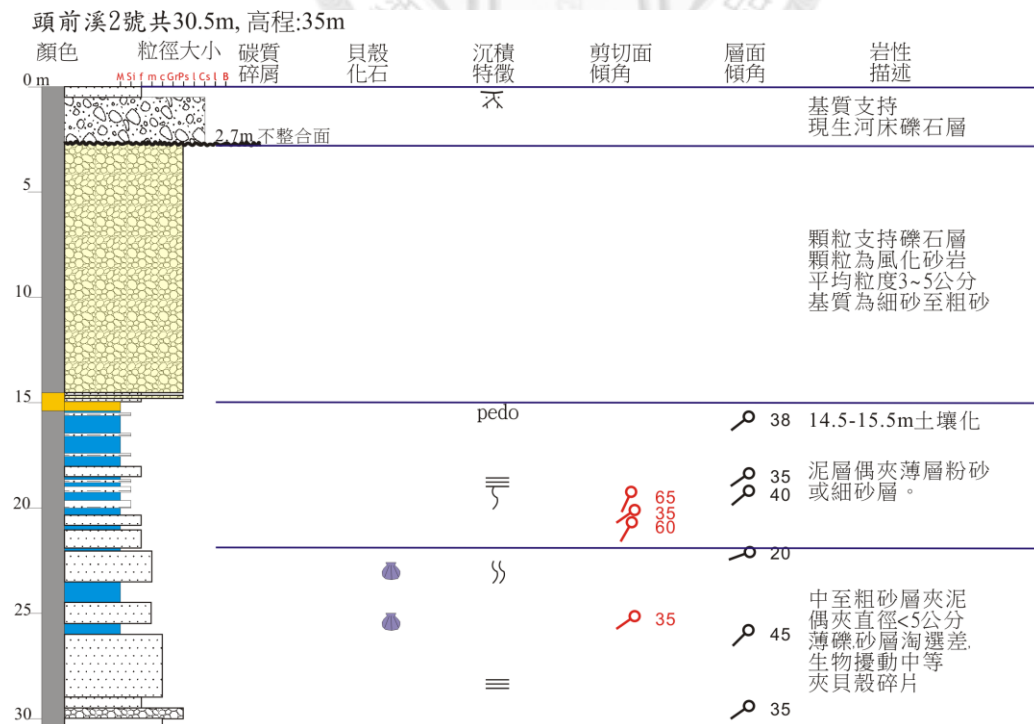
頭前溪1號共100m, 高程:35m



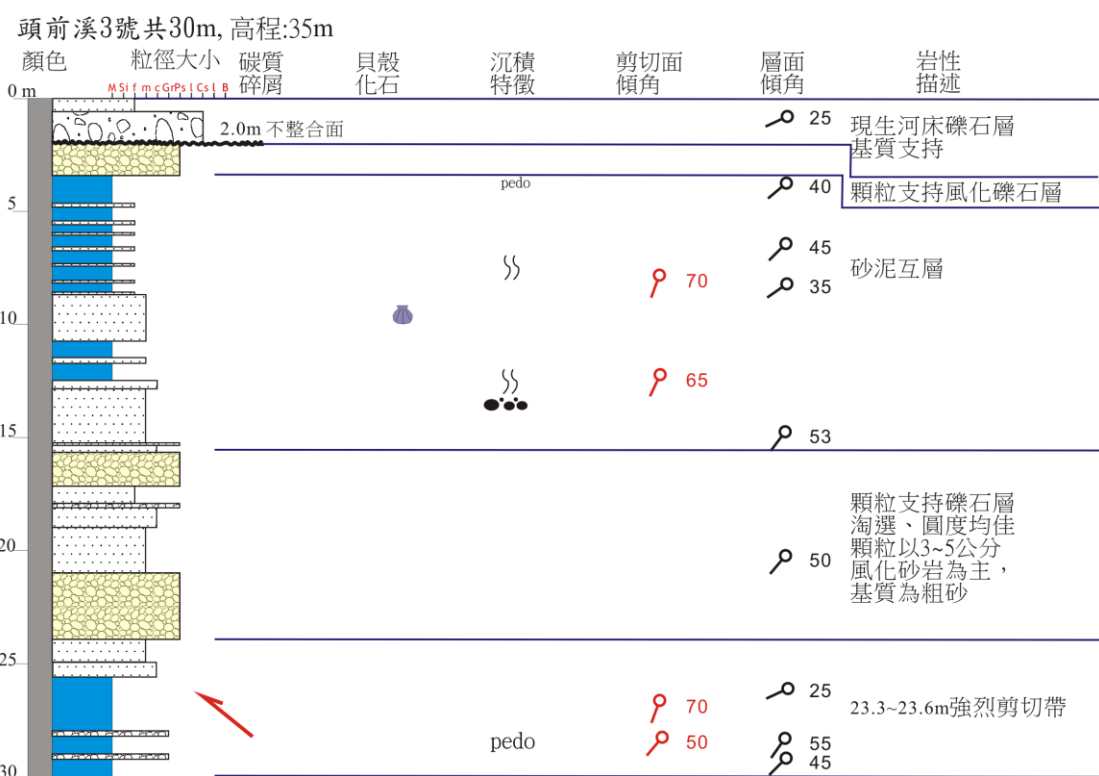
附錄 1.52 頭前溪一號岩芯記錄。



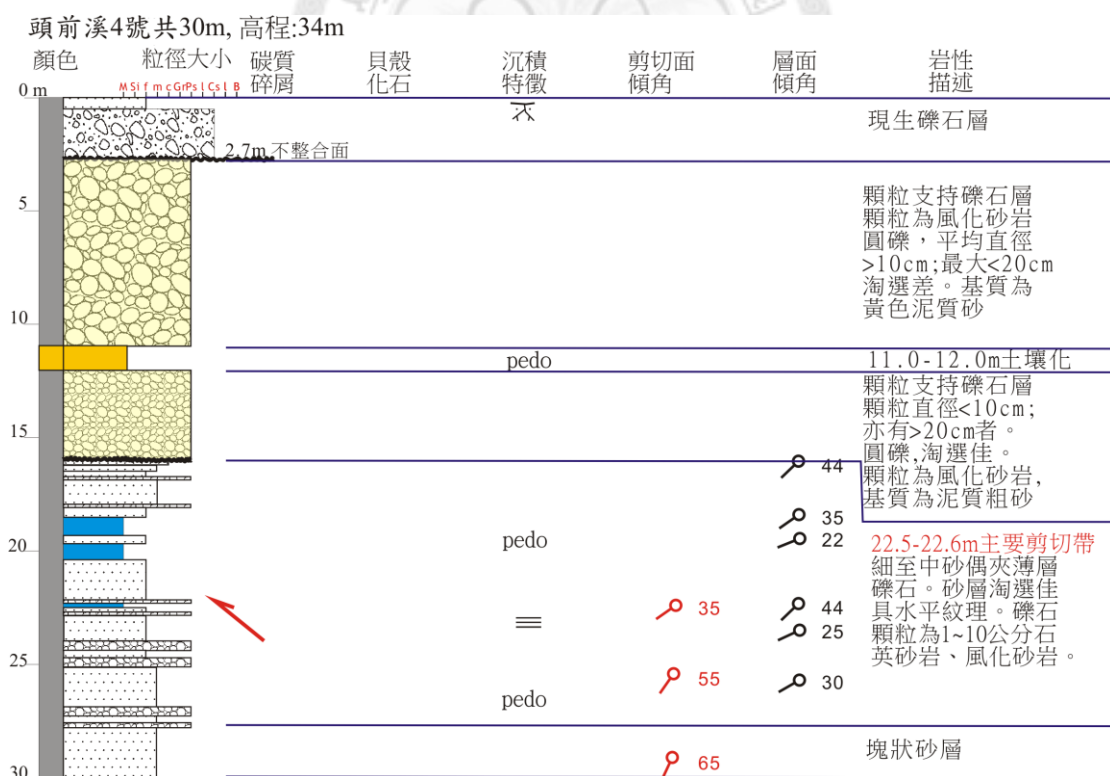
附錄 1.52 頭前溪 1 號岩芯記錄 (續)。



附錄 1.53 頭前溪 2 號岩芯記錄。

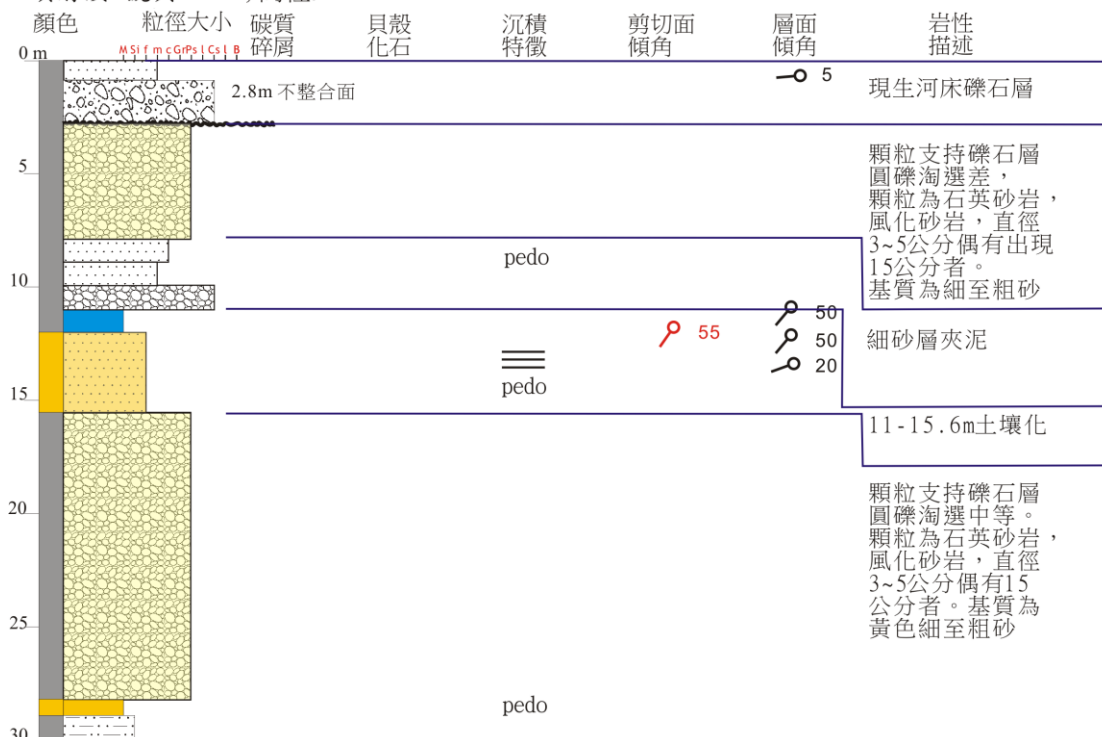


附錄 1.54 頭前溪 3 號岩芯記錄。



附錄 1.55 頭前溪 4 號岩芯記錄。

頭前溪5號共30.2m, 高程:34m



附錄 1.56 頭前溪 5 號岩芯記錄。

SH-E13井(64m) (龍山國小)



附錄 1.57 龍山國小岩芯記錄。

SH-E12井(69m)
(關東國小)



附錄 1.58 關東國小岩芯記錄。

