經 濟 部

經濟部中央地質調查所報告

計畫編號: 103-5226904000-01-03

重要活動斷層構造特性調查研究計畫

斷層活動特性分析與評估

總報告書

委託機關：經濟部中央地質調查所

執行機關：國立台灣大學

中華民國103年12月

重要活動斷層構造特性調查研究計畫

斷層活動特性分析與評估

總報告書

計畫主持人：陳文山

協同主持人：游能悌

研　究　員：楊小青

委託機關：經濟部中央地質調查所

執行機關：國立台灣大學地質科學系

中華民國103年12月

重要活動斷層構造特性調查研究計畫—斷層活動特性分析與評估

總報告

目錄

目錄……i

圖目錄……vii

表目錄……xiv

摘要……1

英文摘要……1

第一章、 緒言 ……2

1.1 前言 ……2

1.2 工作內容概述 ……4

1.3 計畫執行方法及進行步驟 ……5

1.3.1 野外地質調查 …… 5

1.3.2 地質剖面挖掘 …… 5

1.3.3 淺層地質鑽探 ……6

第二章、新城斷層……18

2.1 前言……18

2.2 前人研究 ……19

2.2.1 地質地形 ……19

2.2.2 地球物理探勘 ……20

2.2.3古地震與地質剖面 ……21

2.3 斷層跡調查與 e-GPS 測量……23

2.4 結論……28

第三章、新化斷層……29

3.1 前言……29

3.2 地質地形……...29
3.3 地球物理探勘……...30
3.4 古地震槽溝……...30
3.5 斷層跡調查與 e-GPS 測量…….....32
3.6 鑽井岩芯紀錄……....35
3.6.1 畜產所 1 區……37
3.6.2 畜產所 2 區……39
3.6.3 畜產所 3 區……41
3.6.4 農田 1 區……43
3.6.5 農田 2 區……45
3.6.6 紡織廠……....46
3.6.7 農改所……....47
3.7 討論…….....48
3.7.1 液化構造……....48
3.7.2 剪切構造……....52
3.7.3 變動速率……....55
3.8 結論…….....55
第四章、米崙斷層…….....57
4.1 前言…….....57
4.2 地質地形…….....57
4.3 斷層跡調查與 e-GPS 測量……...61
4.4 鑽井與古地震槽溝…….....62
4.4.1 古地震槽溝……64
4.4.2 鑽井岩芯紀錄……....66
4.5 討論…….....68

4.5.1 米崙斷層跡位置……68
4.5.2 古地震研究……69
4.6 結論……69
第五章、新竹斷層……70
5.1 前言……70
5.2 前人研究……71
5.3 斷層跡調查與 e-GPS 測量……75
5.4 鑽井岩芯紀錄……77
5.4.1 東光場址……78
5.4.2 十六張場址……79
5.5 討論與結論……80
第六章、旗山斷層……84
6.1 前言……84
6.2 鑽井岩芯紀錄……86
6.2.1 保安宮剖面……88
6.2.2 嘉誠剖面……88
6.2.3 大社 A 剖面 ……89
6.2.4 大社 B 剖面 ……89
6.2.5 仁雄剖面……90
6.2.6 澄清湖剖面……90
6.3 討論與結論……91
第七章、龍船斷層……94
7.1 前言……94
7.2 地質地形……98
7.3 結論……99
第八章、大甲斷層……100

8.1 前言……100
8.2 斷層跡調查與 e-GPS 測量……102
8.2.1 大甲段……102
8.2.2 清水段……105
8.2.3 沙鹿段……106
8.2.4 龍井段……108
8.2.5 大肚段……109
8.3 結論……111
第九章、山腳斷層（北段）……112
9.1 前言……112
9.2 斷層跡調查與 e-GPS 測量……114
9.2.1 金山平原……114
9.2.2 北磺溪段……118
9.2.3 新北投至擎天崗段……119
9.3 結論 ……121
第十章、三義斷層……122
10.1 前言……122
10.2 古地震槽溝……125
10.3 鑽井岩芯紀錄……127
10.3.1 A-A’剖面 (1 號槽溝) ……127
10.3.2 B-B’剖面（2 號槽溝）……128
10.3.3 C-C’剖面……128
10.3.4 D-D’剖面……129
10.3.5 E-E’剖面……130
10.4 結論……130

第十一章、梅山斷層……131
11.1 前言……131
11.2 鑽井岩芯紀錄……133
11.2.1 好收場址（中正大學）……134
11.2.2 中坑場址（南華大學西側）……135
11.3 震測探勘……136
11.4 結論……137
第十二章、屯子腳斷層……138
12.1 前言……138
12.2 地質地形……138
12.3 古地震槽溝……140
第十三章、恆春斷層……143
13.1 前言……143
13.2 地質地形……143
13.3 階地與沉積層定年……145
13.3.1 楓港地區……145
13.3.2 海口地區……146
13.3.3 統埔地區……148
13.3.4 南灣地區……149
13.4 長期抬升速率……151
13.4.1 楓港地區……151
13.4.2 海口地區……152
13.4.3 統埔地區……153
13.4.4 南灣地區……153
13.5 結論……154

13.5.1 長期變動速率……..154
13.5.2 斷層跡調查與 e-GPS 量測……..155
第十四章、利吉斷層……..159
14.1 前言……..159
14.2 地質地形……..159
14.2 鑽井岩芯紀錄……161
14.3.1 臺東火車站（LZ1）……....163
14.3.2 岩灣國小（LZ2）……....164
14.3.3 臺東監獄岩灣技能訓練所（LZ3）……....165
14.4 斷層跡調查與 e-GPS 量測……....166
14.5 討論與結論…….....167
第十五章、結論與討論……..159
15.1 活動斷層的精確位置調查……..172
15.1.1 山腳斷層（北段）…….....172
15.1.2 新竹斷層…….....172
15.1.3 新城斷層…….....172
15.1.4 大甲斷層…….....173
15.1.5 新化斷層…….....173
15.1.6 恆春斷層…….....174
15.1.7 米崙斷層…….....174
15.1.8 利吉斷層…….....175
15.2 斷層活動特性分析與評估……...178
參考文獻……...181

圖目錄

圖 1-1、臺灣 33 條活動斷層、百年以來大地震與都會區相關位置圖。……....3

圖 1-2、聯合國全球地震災害評估計畫(GSHAP)的地震災害評估圖。……....4

圖 2-1、竹苗地區晚更新世構造圖。……....19

圖 2-2、竹東丘陵南側反射震測剖面圖。……..20

圖 2-3、篤行營區槽溝剖面。……....21

圖 2-4、頭前溪南岸新城斷層露頭。……....22

圖 2-5、飛鳳山丘陵區域的新城斷層位置圖。……....24

圖 2-6、頭前溪階地區域的新城斷層位置圖。……....25

圖 2-7、A－A`剖面地下構造剖面圖。……...25

圖 2-8、B－B`剖面地下構造剖面圖。……...26

圖 2-9、竹東丘陵區域(寶山路南側)的新城斷層位置圖。……...26

圖 2-10、竹東丘陵區域(中港溪北側)的新城斷層位置圖。……..27

圖 2-11、頭份階地 1 區鑽井剖面。……..28

圖3-1、1946年12月5日台南大地震地變圖。……30

圖 3-2、新化斷層 3 號槽溝東西牆剖面。……31

圖 3-3、新化斷層 2 號槽溝東西牆剖面。……31

圖 3-4、新化斷層沿線鑽井場址位置圖。……32

圖 3-5、接天寺至深坑橋沿線的 e-GPS 量測點與鑽區域位置圖。……33

圖 3-6、新化斷層東段，接天寺旁斷層凹谷（鞍部西側）。……33

圖 3-7、新化斷層中段，位於農改場的線形谷中水塘。……34

圖 3-8、深坑橋至中央橋區域斷層跡與鑽井區域分布圖。……35

圖 3-9、畜產所 1 區剖面圖。……36

圖 3-10、畜產所 1 區剖面恢復圖。……38

圖 3-11、畜產所 2 區剖面圖。……40

圖 3-12、畜產所 2 區剖面恢復圖，恢復 1946 年台南地震同震變形高差。.....41
圖 3-13、畜產所 2 區剖面恢復圖，恢復 C/B 界限呈水平面。.....41
圖 3-14、畜產所 3 區剖面圖。.....42
圖 3-15、畜產所 3 區剖面恢復圖。.....42
圖 3-16、農田 1 區剖面圖。.....43
圖 3-17、農田 1 區剖面恢復圖，恢復 C/B 界限呈水平面。.....44
圖 3-18、農田 1 區剖面恢復圖，恢復 C1 的變形呈水平面。.....44
圖 3-19、農田 2 區剖面圖。.....45
圖 3-20、農田 2 區剖面恢復圖，恢復 C/B 界限呈水平面。.....46
圖 3-21、紡織廠剖面圖。.....47
圖 3-22、農田 2 區剖面恢復圖，恢復 C/B 界限呈水平面。.....47
圖 3-23、農改所剖面圖。.....48
圖 3-24、畜產所 1BH2 岩芯中的剪切構造。.....49
圖 3-25、畜產所 1 區岩芯剖面中的液化、剪切構造。.....50
圖 3-26、畜產所 2 區岩芯剖面中的液化、剪切構造。.....50
圖 3-27、畜產所 3 區岩芯剖面中的液化、剪切構造。.....51
圖 3-28、農田 1 區岩芯剖面中的液化、剪切構造。.....51
圖 3-29、農田 2 區岩芯剖面中的液化、剪切構造。.....52
圖 3-30、紡織廠岩芯剖面中的液化、剪切構造。.....52
圖 3-31、農改場岩芯中的剪切構造分布。.....53
圖 3-32、畜產所 1 區岩芯中的剪切構造分布。.....53
圖 3-33、畜產所 2 區岩芯中的剪切構造分布。.....54
圖 3-34、畜產所 3 區岩芯中的剪切構造分布。.....54
圖 4-1、1951 年花蓮地震地表變形帶位置。.....59
圖 4-2、花崗山區域放大圖。.....60

圖 4-3、地電阻施測成果，明禮路兩側呈現明顯差異。……60
圖 4-4、米崙山西側坡崖(台九線公路)為斷層跡位置。……62
圖 4-5、花崗國中大門，公園路與明禮路路口。……62
圖 4-6、斷層跡通過花崗山西側崖坡。……63
圖 4-7、花岡山場址槽溝與鑽井位置圖。……63
圖 4-8、花崗山一號槽溝南牆。……65
圖 4-9、花崗山一號槽溝北牆。……65
圖 4-10、花崗山二號槽溝南牆。……66
圖 4-11、花崗山二號槽溝北牆。……66
圖 4-12、花崗山 A-A`鑽井剖面，橘框為槽溝範圍。……67
圖 4-13、花崗山 B-B`鑽井剖面，橘框為槽溝範圍。……68
圖 5-1、新竹地區地質圖。……70
圖 5-2、Namson(1984)解釋新竹市東西向的構造平衡剖面。……71
圖 5-3、桃竹苗地區相對於澎湖 S01R 監測站的 GPS 速度場分析結果。……74
圖 5-4、新竹地區地質構造剖面。……74
圖 5-5、e-GPS 量測位置與鑽井位置圖。……76
圖 5-6、頭前溪場址，鑽井剖面圖。……76
圖 5-7、三姓公溪河口沖積扇被新竹斷層截切形成的斷層崖。……77
圖 5-8、新竹斷層跡位置與鑽井場址位置。……77
圖 5-9、東光與十六張鑽井區域地質圖。……78
圖 5-10、東光場址鑽井剖面圖。……79
圖 5-11、十六張場址鑽井剖面圖。……80
圖 5-12、赤土崎區域 e-GPS 量測點。……81
圖 5-13、新竹教育大學區域 e-GPS 量測點。……81
圖 5-14、中華路區域 e-GPS 量測點。……82

圖 5-15、中華路區域 e-GPS 量測點。……82
圖 6-1、旗山斷層位置圖。……85
圖 6-2、旗山斷層鑽井位置圖。……86
圖 6-3、旗山斷層鑽井剖面位置圖。……87
圖 6-4、保安宮剖面岩芯柵狀圖。……88
圖 6-5、嘉誠剖面岩芯柵狀圖。……88
圖 6-6、大社 A 剖面岩芯柵狀圖。……89
圖 6-7、大社 B 剖面岩芯柵狀圖。……90
圖 6-8、仁雄剖面岩芯柵狀圖。……90
圖 6-9、澄清湖剖面岩芯柵狀圖。……91
圖 6-10、高雄都會區鄰近區域鑽井地點的地殼長期抬升速率。……93
圖 7-1、台南地質圖，涵蓋龍船斷層區域的局部地質圖。……95
圖 7-2、鄰近龍船斷層與旗山斷層區域的構造地質圖。……96
圖 7-3、本研究測繪的龍船區域構造分布圖。……97
圖 7-4、古亭坑地區地質剖面示意圖。……99
圖 8-1、大甲圖幅與臺中圖幅。……101
圖 8-2、臺灣中部地質剖面。……101
圖 8-3、臺中地區數值模擬地形與大甲斷層位置。……102
圖 8-4、大甲斷層 e-GPS 量測的斷層跡與各鑽井位置。……103
圖 8-5、鐵砧山西側的線型崖為大甲斷層位置。……104
圖 8-6、大甲斷層兩側地層位態與岩性明顯差異，斷層跡位於大甲 1 號井與 2 號井之間。……104
圖 8-7、大甲段 e-GPS 量測位置。……105
圖 8-8、五福圳沿線的線型崖，斷層跡沿著崖坡與稻田交匯處。……106
圖 8-9、清水段 e-GPS 量測位置。……106
圖 8-10、沙鹿鎮內的緩起伏崖崖坡地形。……107

圖 8-11、沙鹿段 e-GPS 量測位置。……107
圖 8-12、沙鹿區域鑽井剖面。……108
圖 8-13、沙鹿區域鑽井抬升速率。……108
圖 8-14、龍井地區的連續緩起伏坡崖地形。……109
圖 8-15、龍井段 e-GPS 量測位置。……109
圖 8-16、大肚段南側渡船頭的反向河階崖。……110
圖 8-17、大肚段 e-GPS 量測位置。……110
圖 8-18、大甲斷層跡位置的 e-GPS 量測，大肚以南為褶皺軸位置。……111
圖 9-1、金山區域山腳斷層條帶地質圖。……113
圖 9-2、山腳斷層北段位置與鑽井位置圖。……113
圖 9-3、A-A’剖面岩芯柵狀圖，山腳斷層位在 LNB-1 與 LNB-2 井之間。……116
圖 9-4、B-B’剖面岩芯柵狀圖，山腳斷層位在三界橋 2 號井與坡崖之間。……117
圖 9-5、C-C’剖面岩芯柵狀圖，山腳斷層位在崖坡與金山 5 號井與坡崖之間。…117
圖 9-6、e-GPS 量測點與斷層跡位置。……118
圖 9-7、藍線為地滑區上方崩崖的稜脊，紅色粗略線與虛線為山腳斷層位置，紅色細線為火山裂隙，橘線為岩盤裂隙。……119
圖 9-8、竹子湖地區的地滑裂隙與火山伸張裂隙。……120
圖 9-9、七星山至新北投地區的 e-GPS 量測點與斷層跡位置。……121
圖 10-1、重繪三義斷層分布圖。……123
圖 10-2、三義斷層—大甲溪剖面。……124
圖 10-3、三義斷層與后里斷層位置圖。……124
圖 10-4、大甲溪北岸露頭剖面。……125
圖 10-5、三義斷層與支斷層（后里斷層）、鑽井、槽溝與柵狀剖面位置。……125

圖 10-6、三義斷層 1 號槽構北牆。……126

圖 10-7、三義斷層 1 號槽構南牆。……126

圖 10-8、A-A’岩芯柵狀剖面。……127

圖 10-9、B-B’岩芯柵狀剖面。……128

圖 10-10、C-C’岩芯柵狀剖面。……129

圖 10-11、D-D’岩芯柵狀剖面。……129

圖 10-12、E-E’岩芯柵狀剖面。……130

圖 11-1、大森房吉調查 1906 年梅山地震描繪地表變動圖。……132

圖 11-2、1906 年梅山地震斷層與噴砂帶，以及鑽井場址位置。……132

圖 11-3、好收場址與中坑場址的鑽井位置圖。……133

圖 11-4、好收場址 A-A’岩芯柵狀剖面。……135

圖 11-5、中坑場址 B-B’岩芯柵狀剖面。……136

圖 11-6、中坑場址 B-B’岩芯柵狀剖面與 S 波速度模型剖面。……136

圖 11-7、好收場址 A-A’岩芯柵狀剖面與 S 波速度模型剖面。……137

圖 12-1、臺灣中部地震崖崩、地震裂隙、屯子腳地震斷層分布圖。……139

圖 12-2、五千分之一地形圖(TWD97)上之屯子腳斷層位置圖。……140

圖 12-3、舊后里國中（后里公學校）於 1935 年地震時，圓形花圃遭地表破裂水平錯移。……140

圖 12-4、舊后里國中槽溝，位於校址西側圍牆。……141

圖 12-5、舊后里國中槽溝場址圖。左圖為槽溝位置圖（TWD97）；右圖為槽溝數化地形圖。……141

圖 12-6、舊后里國中槽溝東牆。……142

圖 12-7、舊后里國中槽溝西牆。……142
圖 13-1、恆春半島地質圖。……144
圖 13-2、恆春半島鑽井岩芯與海階研究區域圖。……144
圖 13-3、楓港南側地區隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代。……146
圖 13-4、海口地區隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代。……147
圖 13-5、海口區域斷層崖西側（斷層下盤）岩芯剖面。……147
圖 13-6、四重溪區域的岩芯剖面。……148
圖 13-7、南灣區域的岩芯剖面。……150
圖 13-8、石牛溪階地隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代。……151
圖 13-9、楓港地區恆春斷層上盤的長期抬升速率。……152
圖 13-10、海口地區恆春斷層上、下盤的長期抬升速率。……152
圖 13-11、統埔地區恆春斷層上、下盤的長期抬升速率。……153
圖 13-12、南灣地區恆春斷層上、下盤的長期抬升速率。……154
圖 3-13、恆春斷層 e-GPS 量測點。……156
圖 14-1、利吉斷層與鹿野斷層分布圖。……160
圖 14-2、鸞山附近溪谷中利吉斷層露頭。……161
圖 14-3、本計畫鑽井與前期鑽井位置，以及斷層位置圖。……162
圖 14-4、臺東火車站鑽井剖面(1)。……163
圖 14-5、臺東火車站鑽井剖面(2)。……164
圖 14-6、岩灣國小鑽井剖面。……165
圖 14-7、臺東監獄岩灣技能訓練所鑽井剖面。……166
圖 14-8、利吉斷層與鹿野斷層兩側 GPS 測量結果。……168
圖 14-9、利吉斷層與全新世斷層活動位置。……169
圖 14-10、利吉地區地震震源分布圖。……171
圖 14-11、利吉地區池上斷層與利吉斷層地震震源分布圖與 P 波速度剖面。…171
圖 14-12、左圖為黑髮橋海階沉積層，右圖為富岡的珊瑚礁海階。……171

表目錄

表 1-1、四年調查的標的斷層……4

表 1-2、四年調查的鑽井、槽溝、地物量測表……7

表 1-3、四年調查的碳十四定年表……13

表 12-1、新竹－台中烈震系列地震……138

表 13-1、恆春斷層區域碳十四年代，以及估算各採樣地點的抬升速率(E)。……157

表 15-1、活動斷層的精確位置調查表……176

表 15-2、斷層活動特性分析與評估表……179

摘要

本計劃執行年時間從 100 年度至 103 年度，研究主題乃針對臺灣的活動斷層的長期抬升速率、長期滑移速率與再現週期的「斷層參數求取」，以及「斷層位置精查」。「斷層參數求取」乃針對新化斷層、三義斷層、米崙斷層、旗山斷層、梅山斷層、利吉斷層、屯子腳斷層。「斷層位置精查」乃針對新城斷層、新化斷層、新竹斷層、米崙斷層、大甲斷層、山腳斷層北段、利吉斷層、恆春斷層。

除了「斷層位置精查」已完成各斷層的 e-GPS 量測之外，對於各斷層的「斷層參數求取」結果如下，新城斷層（南端）的長期抬升速率為 0.46 mm/yr，斷層面滑移速率為 1.1 mm/yr；新化斷層的長期抬升速率為 3.0-4.5 mm/yr；米崙斷層南端長期抬升速率為＞2.45 mm/yr，米崙斷層北端長期抬升速率為 5 mm/yr；新竹斷層的長期抬升速率為 1 mm/yr；旗山斷層的長期抬升速率為 0.5-1 mm/yr；梅山斷層的長期抬升速率約 2.5 mm/yr；恆春斷層的長期抬升速率為 5.2±1.2 mm/yr，滑移速率約 6.3±1.5 mm/yr（斷層傾角 55°）；利吉斷層的長期抬升速率為 13.5±0.5 mm/yr，滑移速率約 17.1±1.8 mm/yr（斷層傾角 50°）。

Abstract

The goal of our project is to investigate the precise measurement (Real Time Kinematic measurement) for fault trace of the Hsincheng, Hsinhua, Hsinchu, Miluan, Tachia, northern segment of Shanchiao, Lichi, and Hengchun faults and to understand fault behavior for considering in deformation characteristics of Hsinhua, Shanyi, Miluan, Chishan, Meishan, Lichi, and Tuntzchiao faults. Based on the ^{14}C dating data and the Holocene deformation strata (uplifted terraces), we estimate the Holocene uplifted rate of the Hsincheng, Hsinhua, Miluan, Hsinchu, Chishan, Meishan, Hengchun, and Lichi faults to be 0.46 mm/yr (slip rate of 1.1 mm/yr), 3.0-4.5 mm/yr, 5 mm/yr, 1 mm/yr, 0.5-1 mm/yr, 2.5 mm/yr, 5.2±1.2 mm/yr (slip rate of 6.3±1.5 mm/yr), and 13.5±0.5 mm/yr (slip rate of 17.1±1.8 mm/yr), respectively.

第一章、緒言

1.1 前言

晚新近紀以來，臺灣地處板塊撞的地體構造環境，斷層多且地震頻繁，西元 1896 年以來的紀錄，顯示規模 M_L>6.3 災害性地震的震央發生在島上的次數共 12 次，顯示台灣屬於大地震頻繁的地區。而台灣人口密度約 645 人/平方公里，為全球第二高。至少有 2/3 以上人口居住在花東縱谷、西部平原與麓山帶前緣區域，這些地區正是台灣 33 條活動斷層主要分布區域，因此鄰近各都會區約 5 公里範圍之內都有活動斷層存在（圖 1-1）而臺灣人口已趨向都市化，因此未來因斷層活動引發的災損可能非常嚴重。聯合國全球地震災害評估計畫（GSHAP）對於全世界地震災害評估當中，台灣被列為最危險地區（very high seismic hazard）（圖 1-2）。所以針對「重要活動斷層帶的精確位置」與「斷層活動特性分析與評估」的調查研究顯得迫在眉睫的工作。尤其，地質法公布之後，活動斷層位置以及地質敏感區的劃設與施行成為活動斷層新一階段調查的主要重點，特別針對斷層位置的精確調查與評估斷層位置的精準度，是做為劃設活動斷層地質敏感區的重要參考。此外在反映斷層活動特性的重要參數調查上，過去仍受限於調查條件與社會環境等主客觀因素，使得斷層的基本參數的建立並不完備，因此用來評估臺灣各斷層的「大地震發生機率」以及「地震危害度」的基本參數尚有欠缺。

因此，本計劃主要目的，一、「斷層活動特性分析與評估」。本計畫求取「重要活動斷層」與其他尚無資料或未明的活動斷層之「長期抬升速率」、「長期滑移速率」與「再現週期」等斷層參數。二、「活動斷層的精確位置」。為活動斷層位置進行高精度、大比例尺的斷層位置調查，完成 1/5,000 比例尺之精度，依斷層位置可能分布範圍之程度分級，以期能確切掌握斷層位置的分布情況。

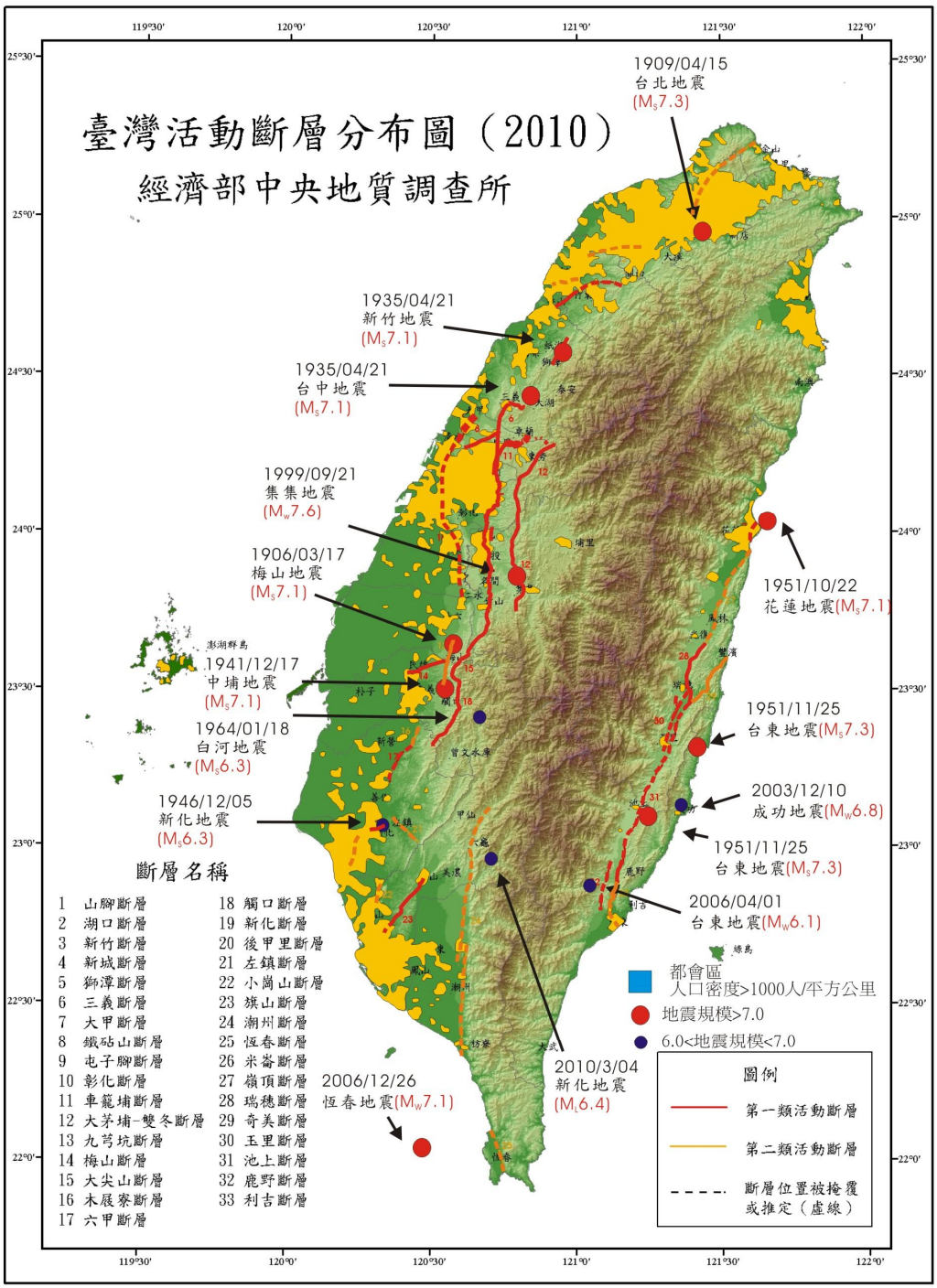


圖 1-1、臺灣 33 條活動斷層、百年以來大地震（M_L>6.1）與都會區相關位置圖。都會區（黃色區塊）定義為人口密度每平方公里大於 1,000 人。

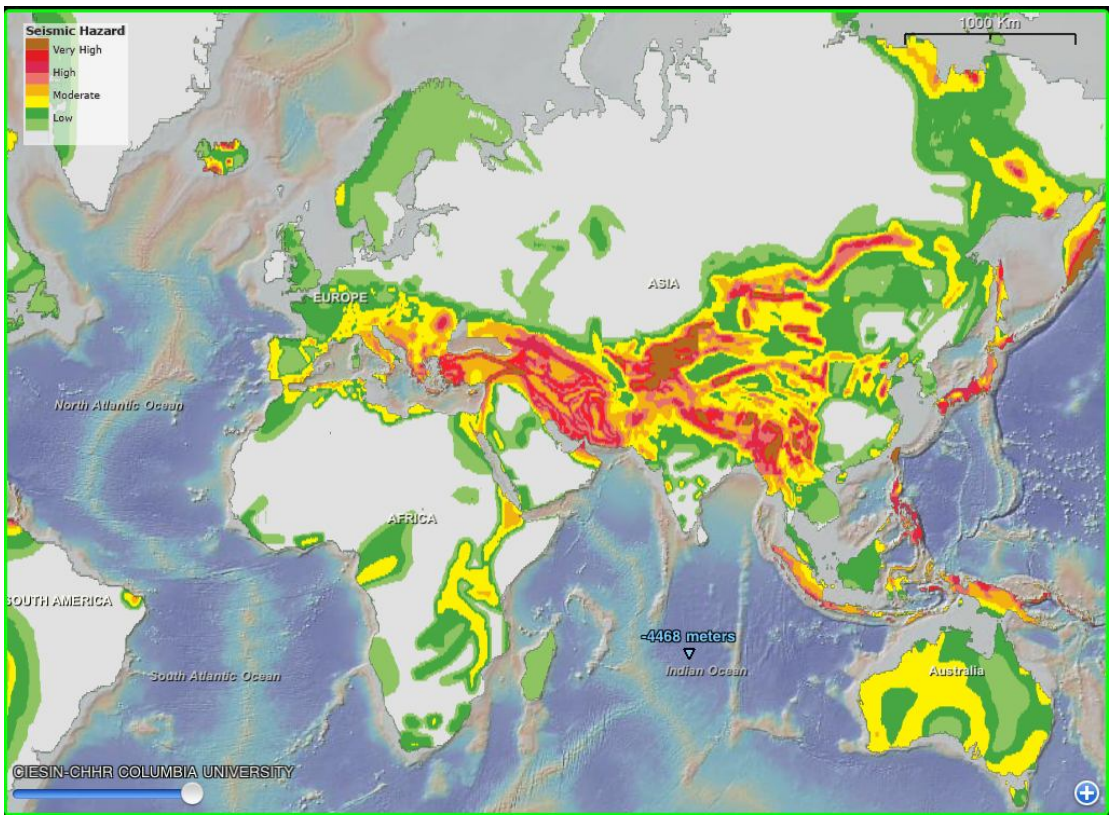


圖 1-2、聯合國全球地震災害評估計畫（GSHAP）的地震災害評估圖。

1.2 工作內容概述

調查內容為能夠確實達到「斷層活動特性分析與評估」，以及「活動斷層的精確位置」之目的，本計畫書規劃四年的調查對象如表 1-1。

表 1-1、四年調查的標的斷層表

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

每年年度工作內容如下。

(1) 「斷層活動特性分析與評估」：進行活動斷層之「長期抬升速率」、「長期滑移速率」與「再現週期」的參數求取。

(2) 「活動斷層的精確位置」：完成各活動斷層位置精查與測量。

(3) 方法及成效：調查內容包括目標斷層暨有資料收集。「活動斷層的精確位置」調查，先判斷斷層跡可能位置，進行微地形分類，若 3-5 公里範圍內無法掌握確實斷層位置，則進行鑽探（每個剖面至少一鑽孔）。「斷層活動特性分析與評估」以地質剖面挖掘為主或進行排鑽。

1.3 計畫執行方法及進行步驟

1.3.1 野外地質調查

由於斷層跡常被第四紀沖積層覆蓋，或因人為開發造成地形改變，出露的斷層露頭非常有限，且無法精確訂定斷層跡位置。因此，本計劃調查方式，先依據「斷層兩側地層差異」與「近期斷層活動地形」為依據，判斷斷層跡位置。在逼近範圍內，被第四紀沖積層或人造物覆蓋時，進行微地形分類，如崖錐堆積層、河流沖積層、土壤層、道路、鐵道、建築物等等，若在 3-5 公里範圍內無法掌握確實斷層位置時，進行鑽探（每個剖面至少一鑽孔）。最後依據野外勘察與鑽探結果說明研判斷層位置的精度，斷層精確位置測繪在五千分一比例尺地形圖。

1.3.2 地質剖面挖掘

地質剖面挖掘包含地下（槽溝）與野外露頭剖面，選定地質剖面挖掘場址後，依序進行以下的步驟。

1. 地形測量：精密的地形測量清楚顯示槽溝細微地形特徵，測量地形圖比例尺約 1/500，並測定地質剖面的二度分帶座標。
2. 地質剖面挖掘：槽溝規模通常寬 8-10 公尺，深 3-5 公尺，長 20-40 公尺。依照選定挖掘地點的環境或出露現況，必要時可以適度的改變寬度、長度與深度。野外露頭剖面的長度與高度則依據現地狀況清理剖面。
3. 安全維護：為維護調查的安全，須設圍籬、抽水、土方以防水布覆蓋，設立告示牌及警示標語。

4. 清理溝壁：以刮刀清理剖面，顯現細部的斷層與地層結構。
5. 設網線：溝壁設水平與垂直網線，垂直線間距為 1 公尺，水平線間距為 0.5 公尺。若為礫石沉積層，垂直線間距為 2 公尺，水平線間距為 1 公尺。
6. 照相與描繪：每一網格拍照，照片拼貼後至現場描繪沉積層與斷層結構。再將照片掃描為數位檔案，於電腦中拼接並描繪地質剖面包括地層、斷層、定年標本位置。剖面比例尺不得小於 1/100，完整顯示重要的地層及構造特徵。若為野外露頭地質剖面，剖面高處無法架設網線，將以照片定位方式預估長度與高度。
7. 討論會：招集相關人員共同勘查，舉辦野外勘查討論會，展示初步成果供各界參考與討論。
8. 古地震事件解析：建立地層的恢復模式，描述斷層演化過程。每處槽溝場址的研究時程至少一個月，預計挖掘可能面臨問題：活動斷層大都位在山麓與平原區交匯處，該區域土地使用率非常高，可提供大面積挖掘的場所非常有限，因此挖掘方法勢必考慮氣候與現地環境才能吻合作業要求與安全條件。

1.3.3 淺層地質鑽探

淺層地質鑽探以下兩項調查工作，一、斷層跡位置，二、古地震研究。斷層跡位置勘查在大面積沖積層覆蓋區域，可利用鑽探縮小研判斷層跡位置。古地震研究進行的排鑽可獲得淺部斷層面傾角與斷層跡位置，若由斷層上下盤地層對比，可估算斷層長期滑移速率；尤其斷層下盤大都被厚層全新世沖積層覆蓋。本研究將建立鑽探岩芯的地層柱狀圖，紀錄岩性、沉積構造、剪切構造、岩層位態，同時進行焦碳採樣。之後，判讀岩芯的地層層位與岩性，以及沉積環境。若有兩孔以上鑽井，定年資料完成後，須作地層對比，解讀斷層活動性。

表 1-2、四年調查的鑽井、槽溝、地物量測表

100-103 年度本計畫鑽井（淺層鑽探、排鑽）							
井名	井號	X(E)	Y(N)	井深	高程	執行單位	年度
農改所 1 號	NGBH1	182546.411	2551169.82	25	29	臺大地質系	100
農改所 2 號	NGBH2	182514.661	2551201.819	25	30.23	臺大地質系	100
農改所 3 號	NGBH3	182559.574	2551157.791	30	27.7	臺大地質系	100
畜產所 1 區 1 號	1BH1	181718.368	2550816.277	25.2	23	臺大地質系	100
畜產所 1 區 2 號	1BH2	181711.446	2550783.976	30.4	22.01	臺大地質系	100
畜產所 1 區 3 號	1BH3	181716.629	2550799.724	35.3	22.64	臺大地質系	100
畜產所 2 區 1 號	2BH1	181413.449	2550671.951	25	19.01	臺大地質系	100
畜產所 2 區 2 號	2BH2	181389.723	2550708.101	25.4	20	臺大地質系	100
畜產所 2 區 3 號	2BH3	181396.949	2550700.04	30.4	19.9	臺大地質系	100
畜產所 2 區加深 1 號	2AH1	181413.449	2550671.951	32	19.06	臺大地質系	100
畜產所 2 區加深 2 號	2AH2	181389.723	2550708.101	36	19.44	臺大地質系	100
畜產所 3 區 1 號	3BH1	181575.368	2550778.727	30.2	21	臺大地質系	100
畜產所 3 區 2 號	3BH2	181573.073	2550693.542	30	18.7	臺大地質系	100
畜產所 3 區 3 號	3BH3	181574.693	2550739.718	30	19.59	臺大地質系	100
農田 1 區 1 號	F1BH1	179480.595	2550268.637	25	11	臺大地質系	100
農田 1 區 2 號	F1BH2	179479.976	2550279.709	25	11	臺大地質系	100
農田 1 區 3 號	F1BH3	179477.981	2550290.076	30	11	臺大地質系	100
農田 2 區 1 號	F2BH1	179127.836	2550293.752	25	10	臺大地質系	100
農田 2 區 2 號	F2BH2	179141.637	2550276.752	25	9.24	臺大地質系	100
農田 2 區 3 號	F2BH3	179132.854	2550257.123	30	9	臺大地質系	100
紡織廠 1 號	FGBH1	178282.611	2550084.399	25	9	臺大地質系	100
紡織廠 2 號	FGBH2	178280.315	2550054.465	25	9.64	臺大地質系	100
紡織廠 3 號	FGBH3	178287.691	2550026.174	30	9.9	臺大地質系	100
畜產所 1 區排鑽 1 號	1AH1	181713.256	2550789.075	15	22.14	臺大地質系	100
畜產所 1 區排鑽 2 號	1AH2	181714.397	2550792.22	15	22.35	臺大地質系	100
畜產所 1 區排鑽 3 號	1AH3	181714.393	2550794.483	15	22.37	臺大地質系	100
畜產所 1 區排鑽 4 號	1AH4	181715.784	2550796.939	15	22.51	臺大地質系	100
畜產所 1 區排鑽 5 號	1AH5	181716.335	2550803.395	15.2	22.8	臺大地質系	100
畜產所 1 區排鑽 6 號	1AH6	181717.269	2550807.221	15	22.84	臺大地質系	100

畜產所 1 區排鑽 7 號	1AH7	181717.779	2550811.692	15	22.88	臺大地質系	100
畜產所 3 區排鑽 1 號	3AH1	181572.944	2550708.296	35	18.74	臺大地質系	100
畜產所 3 區排鑽 2 號	3AH2	181574.177	2550722.911	40	19.07	臺大地質系	100
畜產所 3 區排鑽 3 號	3AH3	181573.432	2550754.651	30	20.21	臺大地質系	100
畜產所 3 區排鑽 4 號	3AH4	181574.911	2550764.534	30	20.78	臺大地質系	100
頭份 1 區 1 號	TF1BH1	243416.468	2733399.212	20	29	臺大地質系	100
頭份 1 區 2 號	TF1BH2	243428.398	2733393.393	25	30.23	臺大地質系	100
頭份 1 區 3 號	TF1BH3	243386.916	2733416.109	25	27.7	臺大地質系	100
頭份 2 區 1 號	TF2BH1	243344.253	2733137.409	40	23	臺大地質系	100
頭份 2 區 2 號	TF2BH2	243396.137	2733133.303	25	22.01	臺大地質系	100
頭份 2 區 3 號	TF2BH3	243372.28	2733132.131	25	22.64	臺大地質系	100
苳林 1 號	CL1	257411.178	2742483.342	50	78	臺大地質系	101
苳林 2 號	CL2	257453.990	2742532.353	30	80	臺大地質系	101
東光 1 號	TK1	267827.157	2741103.514	50	144	臺大地質系	101
東光 2 號	TK2	267815.998	2741141.901	30	143	臺大地質系	101
十六張 1 號	SLC1	268129.793	2741163.742	31	153	臺大地質系	101
十六張 2 號	SLC2	268132.248	2741274.085	51	148	臺大地質系	101
七星潭 1 號	CST1	314073.692	2657883.003	70	34	臺大地質系	101
東華 1 區 1 號	HS1-1	312820.478	2656174.845	53	10	臺大地質系	101
東華 1 區 2 號	HS1-2	312792.609	2656192.233	51	10	臺大地質系	101
東華 2 區 1 號	HS2-1	312923.498	2656326.216	42	11	臺大地質系	101
東華 2 區 3 號	HS2-2	312932.165	2656315.983	38	11	臺大地質系	101
大陳新村 1 號	DC1	312535.337	2655442.869	30	9	臺大地質系	101
大陳新村 2 號	DC2	312598.932	2655446.580	50	11	臺大地質系	101
花崗山 1 號	HKS1	312311.990	2652498.392	10	9.07	臺大地質系	101
花崗山 2 號	HKS2	312315.180	2652498.044	10	9.09	臺大地質系	101
花崗山 3 號	HKS3	312320.002	2652497.401	10	8.94	臺大地質系	101
花崗山 4 號	HKS4	312325.243	2652497.310	15	10.33	臺大地質系	101
花崗山 5 號	HKS5	312313.436	2652518.536	15	9.13	臺大地質系	101
花崗山 6 號	HKS6	312317.375	2652516.806	10	9.2	臺大地質系	101
花崗山 7 號	HKS7	312323.295	2652517.323	10	9.35	臺大地質系	101
花崗山 8 號	HKS8	312329.414	2652517.694	10	9.52	臺大地質系	101
花崗山 9 號	HKS9	312328.535	2652530.581	30	10.08	臺大地質系	101
花崗山 10 號	HKS10	312347.919	2652527.706	50	12.3	臺大地質系	101

好收 1 號	HS01	195866	2607428	50	42	臺大地質系	102
好收 2 號	HS02	195866	2607469	50	42	臺大地質系	102
好收 3 號	HS03	195894	2607502	80	42	臺大地質系	102
好收 4 號	HS04	195905	2607587	80	41	臺大地質系	102
好收 5 號	HS05	195908	2607635	80	40	臺大地質系	102
好收 6 號	HS06	196073	2607327	50	47	臺大地質系	102
好收 7 號	HS07	196053	2607015	25	56	臺大地質系	102
好收 8 號	HS08	196040	2607024	25	55	臺大地質系	102
中坑 1 號	NH01	197430	2607743	30	45	臺大地質系	102
中坑 2 號	NH02	197477	2607780	50	45	臺大地質系	102
中坑 3 號	NH03	197504	2607848	50	44	臺大地質系	102
后科 1 號	HL01	223398	2690189	30	265	臺大地質系	102
后科 2 號	HL02	223272	2690192	50	263	臺大地質系	102
后科 3 號	HL03	223141	2690082	20	256	臺大地質系	102
后科 4 號	HL04	222846	2689965	30	245	臺大地質系	102
臺東車站 1 號	LZ1-1	262620.000	2521122.000	52	39.5	臺大地質系	103
臺東車站 2 號	LZ1-2	262572.000	2521162.000	103	42	臺大地質系	103
臺東車站 3 號	LZ1-3	262470.000	2521216.000	50	48	臺大地質系	103
臺東車站 4 號	LZ1-4	262710.000	2521534.000	50	44	臺大地質系	103
臺東車站 5 號	LZ1-5	262652.000	2521549.000	50.3	44	臺大地質系	103
岩灣國小	LZ2-1	262756.300	2522669.900	50	54	臺大地質系	103
臺東車站機廠	LZ2-2	262862.000	2522671.000	48	50	臺大地質系	103
岩灣技訓所 1 號	LZ3-1	262929.000	2523147.000	11	56	臺大地質系	103
岩灣技訓所 2 號	LZ3-2	263033.700	2523141.300	36	58	臺大地質系	103
岩灣技訓所 3 號	LZ3-3	263176.000	2523121.000	47.3	63	臺大地質系	103

87-92 年度地調所鑽井（水文、工程）

井名	井號	X(E)	Y(N)	井深	高程	執行單位	年度
中正	120101G1	185655.236	2503315.405	250.0	14.2	地質調查所	87
鳳鳴	641101G1	183764.376	2490698.14	250.0	9.2	地質調查所	87
五甲特公園	KH88-G01	183189.198	2498137.808	72.0	9	地質調查所	88
中鋼廠	KH88-G03	183191.200	2494569.824	103.0	5	地質調查所	88
鳳林國小	KH88-G05	182285.205	2491904.835	126.4	4	地質調查所	88
港埔國小	KH88-G07	186028.188	2489668.847	80.0	4	地質調查所	88
大社	120501G1	182911.714	2514720.707	250.0	17.5	地質調查所	89

灣內	120601G1	184087.666	2509365.396	250.0	18.4	地質調查所	89
莊敬	640501G1	180620.845	2506473.976	250.0	6.9	地質調查所	89
過埤	120102G1	184619.438	2499472.706	250.0	9.1	地質調查所	89
五權	640801G1	180439.209	2502530.787	250.0	5.2	地質調查所	89
民族國中	KH89-G02	181402.204	2504612.778	101.8	8	地質調查所	89
瑞豐國小	KH89-G07	181927.203	2500844.795	107.8	9	地質調查所	89
中鋼二	KH89-G11	184018.196	2492896.831	250.0	5	地質調查所	89
大華國小	KH90-G02	183066.196	2506036.772	100.0	26	地質調查所	90
鎮北國小	KH90-G03	185860.184	2504610.780	125.5	16	地質調查所	90
青年中學	KH90-G04	183816.194	2503400.784	300.0	13	地質調查所	90
鳳山國小	KH90-G05	184547.191	2502564.788	150.0	11	地質調查所	90
環保局綠地	KH90-G07	185054.189	2501160.795	100.0	12	地質調查所	90
兒童公園	KH90-G08	185151.189	2498999.804	153.0	23	地質調查所	90
過埤國小	KH90-G09	183430.197	2499721.801	100.0	9	地質調查所	90
楠陽國小	KH91-G09	182171.198	2513833.738	80.0	15	地質調查所	91
獅湖國小	KH91-G17	181254.204	2507865.764	80.0	10	地質調查所	91
橫山國小	KH92-G01	184121.188	2517028.724	80.0	27	地質調查所	92
大社國中	KH92-G02	183801.190	2514436.735	200.0	21	地質調查所	92
觀音國小	KH92-G03	183703.191	2513660.739	52.0	20	地質調查所	92
竹後國小	KH92-G04	181660.201	2512369.744	80.0	13	地質調查所	92
仁武國小	KH92-G05	183051.195	2511226.749	120.0	16	地質調查所	92
八卦國小	KH92-G06	181367.203	2510098.754	80.0	13	地質調查所	92
漢民國小	KH92-G12	184026.195	2496440.816	150.0	7	地質調查所	92
	KH92-G03-A-F				22-30	地質調查所	92

93-99 年度地調所構地組鑽井

井名	井號	X(E)	Y(N)	井深	高程	執行單位	年度
三界橋 1 號		312891	2791776	642	7	中央地調所	93
卑南 1 號	PN-01	263573.840	2522935.708	10	52	臺大地質系	95
卑南 2 號	PN-02	263466.841	2522742.709	12	56	臺大地質系	95
卑南 3 號	PN-03	262993.843	2522604.710	16	53	臺大地質系	95
三界橋 2 號		312608	2791238	364	10	中央地調所	96
大甲 3 號		211142	2691948	160	65	中正地環系	96
大甲 4 號		213182	2694545	65	67.7	中正地環系	96
保安宮 1 號井		185934.180	2517106.724	200.0	36	地質調查所	96
保安宮 1-1 號井		185924.180	2517114.724	100.0	36	地質調查所	96
保安宮 2 號井		185542.182	2516973.725	200.0	25	地質調查所	96

金山 4 號		313330	2792109	100	8.97	中央地調所	98
金山 5 號		312169	2791406	406	17.48	中央地調所	98
北勢 1 號井	BS1	195843.133	2530398.669	60.0	53.0	地質調查所	100
北勢 2 號井	BS2	195793.133	2530496.669	100.0	53.0	地質調查所	100
深水 1 號井	SS1	186861.176	2519077.716	50.0	57.0	地質調查所	100
深水 2 號井	SS2	187102.175	2519069.716	100.0	57.0	地質調查所	100
橫山 1 號井	HS1	186139.179	2517605.722	100.0	39.0	地質調查所	100
橫山 2 號井	HS2	186127.179	2517834.721	50.0	45.0	地質調查所	100
嘉誠 1 號井	CC1	184755.186	2516444.727	50.0	29.0	地質調查所	100
嘉誠 2 號井	CC2	184904.185	2516318.727	100.0	30.0	地質調查所	100
大社 1 號井	DS1	184032.190	2513611.739	100.0	21.0	地質調查所	100
大社 2 號井	DS2	183375.193	2513581.739	50.0	19.0	地質調查所	100
仁雄 1 號井	ZS1	181231.204	2507872.764	100.0	10.0	地質調查所	100
仁雄 2 號井	ZS2	181147.204	2508071.763	50.0	10.0	地質調查所	100
101 年度台灣電力公司鑽井							
井名	井號	X(E)	Y(N)	井深	高程	執行單位*[1]	年度
	LNB-01	313714	2792312	300	12.51	中興	101
	LNB-02	313793	2792205	300	11	中興	101
	LNB-03	313761	2792263	700	10.4	中興	101
96-102 年度中區水資源局工程鑽井							
井名	井號	X(E)	Y(N)	井深	高程	執行單位*[1]	年度
	96TC-09*[2]	223499	2688690	155	300.7	黎明	96
	96TA-09	223698	2690520	30	212.6	黎明	96
	96TA-10	223636	2690480	30	233.4	黎明	96
	96TA-11	223677	2690364	30	270	黎明	96
	97TD-06	223550	2688675	50	308.86	吉聯	97
	101TF-11	224171	2688480	50	288.4	聯合大地	101
	101TF-12	223341	2688815	150	282.2	聯合大地	101
	101TF-15	223593	2690291	50	267.4	聯合大地	101
103 年度臺灣鐵路公司鑽井							
井名	井號	X(E)	Y(N)	井深	高程	執行單位*[1]	年度
臺東機廠 2 號	DBA-154-02	262800.000	2522630.000	30	50	中興	103
臺東機廠 4 號	DBA-154-04	262837.000	2522415.000	15	50	中興	103

臺東機廠 5 號	DBA-154-05	262767.000	2522174.000	15	49	中興	103
101-103 年度本計畫槽溝剖面							
槽溝名稱	槽溝代號	X(E)	Y(N)	長度	高程	執行單位*[1]	年度
花崗山 1 號溝	HKS-T1	312314.363	2652495.303	19	10	臺大地質系	101
花崗山 2 號溝	HKS-T2	312313.645	2652509.757	19	10	臺大地質系	101
后里 1 號槽溝		223337	2688586	40	267	聯合大地	102
舊后里國中槽溝		221364	2688927	30	219	臺大地質系	103
101-102 年度本計畫地球物理探勘剖面							
地球物理探勘種類	施測位置	X(E)	Y(N)	長度	高程	執行單位*[1]	年度
地電阻探勘	米崙斷層明禮路	312293	2652688	300	10	嘉進	101
淺層反射震測	梅山斷層中坑場址	197477	2607780	162	45	中正地環系	102
淺層反射震測	梅山斷層好收場址	195894	2607502	240	42	中正地環系	102

*[1] 本表中之執行單位部分為簡稱，中興全名為中興工程顧問股份有限公司，黎明全名為黎明工程顧問股份有限公司，吉聯全名為吉聯資源開發股份有限公司，聯合大地全名為聯合大地工程顧問股份有限公司，嘉進全名為嘉進地質大地技師事務所。

*[2] 96TC-09 為一傾角 60 度之斜井。

表 1-3、四年調查的碳十四定年表

100-102 年度本計畫定年樣本							
標本編號 Sample Code No.	海拔高度 (m)	碳十四年代 (yr BP)	古環境水深 (m)	古海水面高度 (m)	抬升速率 (mm/yr)	定年單位	年度
1BH1-2(11.4m)	11.6	8300-8210	-2	-14~-23	3.2~4.4	Beta	100
1BH1-4(17.3m)	5.7	8600-8450	-4	-14~-26.5	2.9~4.2	Beta	100
1BH1-5(18.2m)	4.8	8900-8590	-4	-12.5~-42.5	2.5~5.8	Beta	100
1BH2-4(15.3m)	6.7	8640-8520	-2	-15.5~-27	2.8~4.1	Beta	100
1BH2-5(16.9m)	5.1	9010-8720	-4	-19~-31	3.2~4.5	Beta	100
1BH2-6(20.7m)	1.3	9000-8650	-4	-18~-31	2.7~4.0	Beta	100
1BH2-9(29.9m)	-7.9	>43500	-2			Beta	100
1BH3-1(3.9m)	18.7	6850-6660	-2	-3.5~-8.5	3.6~4.3	Beta	100
1BH3-2(4.2m)	18.4	7250-6990	-2	-4~-12	3.5~4.5	Beta	100
1BH3-3(8.15m)	14.5	7920-7680	-2	-9~-19	3.3~4.5	Beta	100
1BH3-4(13.95m)	8.7	9020-8660	-2	-17~-31	3.2~4.6	貴儀中心	100
1BH3-7(28.7m)	-6.1	10400-10200	-2	-38~-51	3.3~4.5	Beta	100
2BH1-6(14.7m)	4.3	8190-8010	-4	-11~-22	2.4~3.7	Beta	100
2BH2-1(3.2m)	16.8	6890-6670	-2	-3.5~-9	3.3~4.0	Beta	100
2BH2-7(18.4m)	1.6	8980-8740	-4	-19~-42	2.8~5.3	Beta	100
2BH3-3(4.5m)	15.4	7150-6800	-2	-4~-11	3.1~4.0	Beta	100
2BH3-6(5.7m)	14.2	7160-6910	-2	-4~-11	2.9~3.8	Beta	100
2AH1-6(19.8m)	-0.7	13340-13190	-4	-71.5~-78.5	5.7~6.2	Beta	100
2AH1-11(23.7m)	-4.6	9400-9100	-2	-25~-35	2.5~3.4	Beta	100
3BH1-1(3.05m)	18.0	6900-6740	-2	-4~-9	3.5~4.2	Beta	100
3BH1-8(24.1m)	-3.1	9610-9470	-2	-30~-37	3.1~3.7	Beta	100
3BH2-1(2.9m)	15.8	7160-6950	-2	-4~-11	3.1~4.0	Beta	100
3BH2-3(10.15m)	8.6	8290-8120	-2	-12~-23	2.8~4.0	Beta	100
3BH2-7(29.55m)	-10.9	10500-10250	-2	-38~-53	2.8~4.2	Beta	100
3BH3-4(6.2m)	13.4	7920-7680	-2	-9~-19	3.2~4.3	Beta	100
3BH3-8(18.45m)	1.1	16760-16560	-4	-107~-117	6.7~7.3	Beta	100
3BH3-10(21.8m)	-2.2		-2			貴儀中心	100
3BH3-11(25.9m)	-6.3		-2			貴儀中心	100
F1BH1-1(5.5m)	5.5	510-320	-2	0	15-23？	Beta	100
F1BH1-6(9.25m)	1.8	7270-7176	-2	-5~-12	1.2~2.2	Beta	100
F1BH1-9(13.85m)	-2.9	7950-7790	-2	-10~-19	1.2~2.3	Beta	100
F1BH1-10(19.15m)	-8.2	8450-8380	-2	-14.5~-24.5	1.0~2.2	Beta	100

F1BH3-7(9.45m)	1.6	4840-4580	-2	-1~-2	0.9~1.2	Beta	100
F1BH3-9(10.15m)	0.9	7230-6950	-2	-4~-12	1.0~2.1	Beta	100
F1BH3-15(24.95m)	-14.0	8590-8420	-4	-15~-26	0.6~1.9	Beta	100
F1BH3-16(29.2m)	-18.2		-4			貴儀中心	100
F2BH1-1(7.25m)	2.8	7150-6900	-2	-4~-11	1.3~2.2	Beta	100
F2BH1-4(9.6m)	0.4	7270-7430	-2	-6~-13.5	1.2~2.1	貴儀中心	100
F2BH2-6(19.4m)	-10.4	8360-8180	-2	-13~-23.5	0.6~1.8	Beta	100
F2BH3-3(9.0m)	0.2	7310-7160	-4	-5~-12.5	1.3~2.3	Beta	100
F2BH3-6(19.0m)	-9.8	8980-8600	-2	-17~-42	1.1~3.8	Beta	100
F2BH3-7(21.1m)	-11.9	8750-8550	-2	-17~-27	0.8~2.0	Beta	100
F2BH3-8(27.45m)	-18.2	9000-8630	-4	-18~-42	0.4~3.1	Beta	100
FGBH2-2(7.9m)	1.7	490-300	-2	0	7.6~12.5？	Beta	100
1AH5-02(14.1m)	8.7		-2			貴儀中心	100
1AH7-04(12.65m)	10.2	8360-8180	-2	-13~-23.5	3.1~4.3	Beta	100
3AH1-5(21.7m)	-3.0	9470-9280	-4	-27.5~-36	3.1~3.9	Beta	100
3AH1-6(27.1m)	-8.4	9910-9600	-2	-32~-43	2.7~3.7	Beta	100
3AH1-7(30.95m)	-12.2	10560-10270	-2	-38.5~-54	2.8~4.1	Beta	100
3AH2-4(25.6m)	-6.5	9680-9540	-2	-31~-39	2.8~3.6	Beta	100
3AH3-6(18.3m)	1.9	8770-8590	-4	-17~-28	2.7~3.9	Beta	100
3AH3-11(25.55m)	-5.3	9910-9560	-2	-31.5~-43	2.9~4.0	Beta	100
TF2BH1-2(12.5m)	54.9	＞43500				Beta	100
TF2BH2-2(15.25m)	55.8	44630-43710				Beta	100
89G02-3(32.1)	-24.1	7820-8000	-5－0	-10－-19.6	-0.8±0.9	Beta	101
KH89G02-1(40.6)	-32.6	9190-9420	-5－0	-26.3－-35.2	0.1±0.7	Beta	101
90G08-4(32.9)	-9.9	8010-8190	-5－0	-11.3－-21.7	1.2±0.9	Beta	101
90G08-2(43.5)	-20.5	8410-8620	-5－0	-14.7－-26.5	0.3±1.0	Beta	101
90G08-1(48.9)	-25.9	8760-9000	-5－0	-20－-30.7	0.2±0.9	Beta	101
92G05-4(18.9)	10.1	7760-7940	-2－0	-10－-18.9	3.3±0.7	Beta	101
92G05-2(31.2)	-2.2	9000-9130	-2－0	-23.5－-32.2	3.0±0.6	Beta	101
92G05-1(40.4)	-11.4	9960-10230	-2－0	-35.7－-48.3	3.1±0.7	Beta	101
G03F-2(11.8)	10.2	7670-7830	-5－0	-10.1－-17.7	3.4±0.8	Beta	101
G03F-1(7.3)	14.7	5050-5310	-2－0	-1－-2.2	3.4±0.4	Beta	101
G03E-3(10.5)	12.5	8180-8380	-2－0	-13－-23.8	3.9±0.8	Beta	101
G03E-1(6.8)	16.3	4840-4870	-2－0	-0.9－-1.8	3.8±0.3	Beta	101
G03D-2(15.1)	8.9	7970-8150	-5－0	-11.2－-21.3	3.4±0.9	Beta	101

G03D-1(7.2)	16.8	4840-4870	-2－0	-0.9－-1.8	4.0±0.3	Beta	101
G03A-3(16.2)	6.8	8040-8240	-2－0	-11.7－-22.3	3.1±0.7	Beta	101
G03A-2(10.6)	12.4	6420-6580	-2－0	-3.4－-6.4	2.8±0.4	Beta	101
92G03-1(11.3)	8.7	7840-7970	-5－0	-10.1－-19.2	3.3±0.9	Beta	101
92G02-A-2(14.2)	6.8	7270-7460	-2－0	-5.9－-13.7	2.4±0.7	Beta	101
92-G01-2(16.8)	8.3	7260-7420	-5－0	-5.8－-13.3	2.8±0.8	Beta	101
KH91-G11(10.2)	6.2	6210-6360	-5－0	-3.2－-5.3	2.1±0.5	Beta	101
92G14-1(175.6)	-174.6	>43500				Beta	101
HKS-C04-2(9.6m)	0.73	dating				Beta	101
HKS-C04-3(13.9m)	-3.57	dating				Beta	101
HKS-C05-1(13.5m)	-4.37	dating				Beta	101
HKS-C09-1(9.5m)	0.58	8650-9010				Beta	101
HKS-C09-2(13.5m)	-3.42	dating				Beta	101
HKS-C09-3(14.3m)	-4.22	dating				Beta	101
HKS-C09-4(25.5m)	-15.42	dating				Beta	101
HS1-10	36.5	3450-3360				Beta	102
HS2-01	19.4	>43500				Beta	102
HS2-03	7.3	>43500				Beta	102
HS4-01	32.65	1410-1330				Beta	102
HS4-02	29.5	3360-3210				Beta	102
HS4-04	22.7	8020-7880				Beta	102
HS5-01	28.2	2950-2780				Beta	102
HS5-03	21.7	7620-7510				Beta	102
HS5-05	20.1	7930-7700				Beta	102
NH1-04	37.4	>43500				Beta	102
NH2-05	37.3	640-520				Beta	102
NH3-02	25.7	>43500				Beta	102

100 年度地調所定年樣本(旗山斷層)

標本編號 Sample Code No.	海拔高度 (m)	碳十四年代 (yr BP)	古環境水深 (m)	古海水面高度 (m)	抬升速率 (mm/yr)	定年 單位	備 註
DS1_1990(19.9)	1.1	8650-8540	-4～0	-27～-16	2.9±0.9	Beta	1
DS2_1040(10.4)	8.6	7690-7580	-2～0	-16～-8	2.8±0.6	Beta	1
ZS1_1040(10.4)	-0.4	7920-7690	-2～2	-18.5～-9	1.7±0.8	Beta	1
ZS2_0855(8.55)	1.45	7320-7180	-2～2	-12.5～-5.5	1.4±0.7	Beta	1
ZS2_1610(16.1)	-6.1	8010-7940	-4～0	-20～-10.5	1.4±0.8	Beta	1
CC1_1960(19.6)	9.4	7580-7480	-2～2	-15～-7	2.7±0.8	Beta	1

CC2_0980(9.8)	20.2	4820-4530	-2～2	-1～-0.5	4.5±0.3	Beta	1
HKS1-006		660-540				Beta .	1
HKS1-008		510-330				Beta .	1
HKS1-012		,290-0				Beta	1
HKS2-003		280-0				Beta .	1
HKS2-005		1820-1630				Beta .	1
HKS-C05-1(13.6m)	-4.47	8990-9390				Beta .	1
89 年度地調所定年樣本(地下水觀測)							
標本編號 Sample Code No.	海拔高度 (m)	碳十四年代 (yr BP)	古環境水深 (m)	古海水面高度 (m)	抬升速率 (mm/yr)	定年單位	備註
港和(58.5)	-54.452	10200-9790	-5～0	-48～-34	-1.1±0.97	Beta	2
中洲(14.5)	-10.543	3440-3140	-2～2	-1～0	-3.1±0.9	Beta	2
中洲(127.3)	-123.343	13340-13120	-2～2	-78.5～-71	-3.7±0.5	Beta	2
中洲(147.1)	-143.143	16620-15840	0～2	-116～-104.5	-2.1±0.5	Beta	2
五權(9.7)	-4.462	6360-6060	-2～2	-5.5～-3	-0.05±0.5	Beta .	2
五權(64.3)	-59.062	12240-11750	-2～2	-67～-55.5	0.2±0.6	Beta .	2
鹽埕(9.65)	-7.788	6990-6710	-2～2	-9.5～-3.5	-0.2±0.7	Beta .	2
鹽埕(67.8)	-65.938	11170-10890	-5～0	-61.5～-44	-1.0±1.0	Beta .	2
小港(6.7)	-4.348	6660-6320	0～2	-7～-3.5	-0.03±0.4	Beta .	2
小港(63.2)	-60.848	11110-10680	-2～2	-61～-42	-0.9±1.1	Beta .	2
勝利(8.15)	-0.5	7160-7000	-2～2	-11～-4.5	1.1±0.7	Beta .	2
勝利(28)	-20	9430-9290	-5～0	-35.5～-27.5	1.5±0.7	Beta .	2
楠梓(22.3)	-4.3	5870-5600	-5～0	0～0	-0.3±0.4	Beta .	2
楠梓(45.1)	-27.1	1190-10650	-2～2	-61～-42	2.2±1.0	Beta .	2
88-92 年度地調所定年樣本(工程地質)							
標本編號 Sample Code No.	海拔高度 (m)	碳十四年代 (yr BP)	古環境水深 (m)	古海水面高度 (m)	抬升速率 (mm/yr)	定年單位	備註
誠正(6.35)	2.747	6990-6710	0～2	-9.5～-3..5	1.2±0.3	Beta	3
五甲特(24.2)	-17.111	8200-7940	-5～0	-22～-11	0.2±0.98	Beta	3
五甲特(42.75)	-35.661	9410-9120	-5～0	-35～-25	-0.4±0.8	Beta	3
中鋼(23.15)	-19.262	8330-8010	-5～0	-23.5～-11.5	0.07±1.0	Beta	3
民權(16.45)	-11.916	6650-6450	-2～0	-7～-3.5	-0.9±0.4	Beta	3
民權(34.75)	-30.216	8200-8020	-2～2	-22～-21.5	-1.0±0.3	Beta	3
民權(38.75)	-34.216	8130-7930	-2～2	-21～-11	-2.3±0.9	Beta	3
民權(49.85)	-45.316	8950-8630	-5～0	-30～-17.5	-2.2±1.0	Beta	3
民權(79.3)	-74.766	11870-10760	-2～2	-63～-43	-2.0±1.2	Beta	3
民族(32.95)	-24.944	8590-8400	0～2	-26～-15.5	-0.6±0.7	Beta .	3

民族(61.4)	-53.394	12180-11270	-5～0	-66～-53	0.7±0.7	Beta .	3
加工出口區(7.85)	-5.518	670-530	-2～2	0～0	-9.7±4.5	Beta .	3
加工出口區(98)	-95.668	13930-13710	-2～2	-89.5～-79	-0.8±0.5	Beta .	3
佛公(10.8)	-8.337	6900-6380	0～2	-9～-3.5	-0.5±0.6	Beta	3
佛公(74.95)	-72.487	11210-11070	-5～0	-61.5～-48	-1.4±0.8	Beta	3
佛公(85.35)	-82.887	13580-13320	-2～2	-79.5～-72.5	-0.5±0.4	Beta .	3
高雄車站(34.05)	-28.584	9300-9030	-5～0	-34～-24	0.3±0.8	Beta .	3
三民(5.45)	-3.079	6850-6660	0～2	-8.5～-3.5	0.3±0.5	Beta .	3
三民(44.57)	-42.199	9530-9390	-5～0	-36.5～-19	-1.3±1.2	Beta .	3
三民(66.5)	-64.129	13110-12930	-2～2	-78～-69	0.7±0.5	Beta .	3
新興 (50.9)	-47.705	11210-11100	-5～0	-61.5～-49	0.9±0.8	Beta	3
旗津(109.45)	-107.339	14030-13650	-5～0	-93～-79	-1.4±0.7	Beta .	3
瑞豐(45.9)	-37.653	9250-9010	-5～0	-33.5～-23.5	-0.7±0.8	Beta	3

1：經濟部中央地質調查所 100 年旗山斷層補充地質調查案

2：經濟部中央地質調查所 89 年臺灣地區地下水觀測網整體計畫

3：經濟部中央地質調查所 88~92 年高雄都會區工程地質調查報告

第二章 新城斷層

2.1 前言

鳥居與吉田（Torii and Yoshida, 1931）命名新城斷層，出露於頭份至關西之間，呈北東走向；頭前溪北側斷層兩側地層都屬於頭嵙山層，頭前溪南側上盤為卓蘭層，下盤為頭嵙山層（Tang and Hsu, 1970）。本計畫調查結果，認為頭前溪北側的斷層區段應該歸屬新竹斷層，無論由斷層走向或垂直斷距而言，斷層性質相似於新竹斷層（本計畫暫時還以新城斷層視之）。斷層界於北東東走向的新竹斷層與斗煥坪－大平地斷層之間，斗煥坪斷層屬於逆衝兼右移斷層（Yang *et al*., 1997），震測剖面顯示新城斷層垂直位移量450-700公尺（Tang, 1968）。新城斷層與寶山背斜位在兩條東北東走向斷層之間，斷層與褶皺構造可能受到斗煥坪與新竹斷層的右移作用造成扭曲變形。由航照判釋與野外地形分析，都認為斷層截切紅土階地，愈老紅土階地面的崖坡高差愈大，研判受新城斷層多次活動變形所造成（Ku, 1968；Huang, 1984；Tang, 1968；石再添等，1983，1985；楊貴三，1986；楊貴三與蔡怡真，2004；塗明寬與陳文政，1990；何信昌，1994；張瑞津等，1999，2002）。

新城斷層屬於逆衝斷層，從地形特性分析大致分兩個區域，頭前溪以北，斷層跡通過新竹縣芎林鄉丘陵地，至關西西南方，呈東北東走向，全長約12公里；斷層兩側地層都屬於頭嵙山層香山相，此區域斷層跡最不明顯，研究資料最缺乏。頭前溪以南區域，由竹東鎮向南延伸至苗栗縣頭份東北方，呈東北走向，長約16公里。此區段斷層截切中港溪北岸紅土階地，造成階地變位，斷層跡較明顯，研究資料也較豐富（圖2-1；Tang, 1968；Huang, 1984；塗明寬與陳文政，1990；張徽正等，1998；林啟文等，2005）。

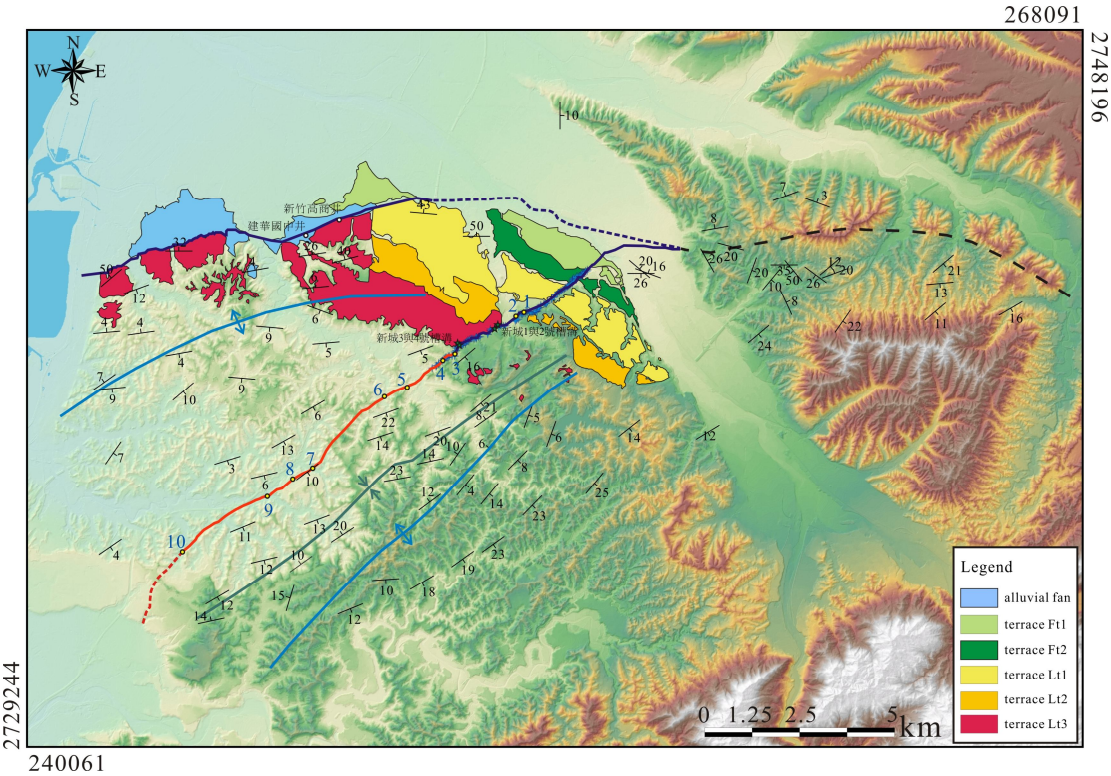


圖2-1、竹苗地區晚更新世構造圖。構造走向呈東北東，新竹斷層與新城斷層二斷層截切頭前溪南岸晚更新世－全新世階地。紅色斷層線（新城斷層）沿線的圓圈為黃鑑水（Huang, 1984）調查發現斷層露頭地點。

2.2 前人研究

2.2.1 地質地形

古兆禎（Ku, 1963）由航照判釋與石再添等（1985）地形分析，認為斷層通過頭前溪南岸的紅土階地，愈老紅土階面崖坡高差愈大，研判受新城斷層多次活動造成。頭前溪南側形成一系列紅土河階（Lt1-3）與未紅土化河階（Ft1-2；圖2-1）。新城斷層截切頭前溪南岸河階，並於不同的階地形成高度不等的斷層崖（Huang, 1984；盧詩丁等，2000）。這些階地都與頭前溪平行排列，最老的Lt3紅土階地位於最南側，依序由南向北形成河階，最年輕的Ft1階地位於頭前溪南岸（圖2-1），從階地分布推測可能因新城與新竹斷層活動，造成上盤的頭前溪南側河道抬升形成階地，且河道逐漸向北遷移。

新城斷層跡出露最明顯區域位在頭前溪至中港溪之間的竹東丘陵，此區域斷層垂直斷距較大，為450-700公尺，上盤卓蘭層逆衝在頭嵙山層香山相之上（中

國石油公司，1978，1994）。斷層垂直斷距朝兩側逐漸降低，所以頭前溪以北區域，兩側岩盤都屬於頭嵙山層香山相，斷層跡不明顯。

黃鑑水（Huang, 1984）針對新城斷層的斷層跡調查工作是目前最完整研究，頭前溪以南至中港溪區域發現10處斷層露頭（圖2-1）；斷層走向N33º-86ºE，朝西南傾斜32º-54º，斷層帶寬度1-50公尺；不同階地被錯移高度15公尺與50公尺。頭前溪（中正橋下游400公尺）南岸與河床出露的斷層剖面，走向N56°E，向東南傾斜34°，斷層截切近代未紅土化階地（楊貴三與蔡怡真，2004；石同生等，2003；陳文山等，2003b；林啟文等，2005）。其餘斷層跡則依據槽溝挖掘及鑽探調查來確定（石同生等，2003；陳文山等，2003b）。

2.2.2 地球物理探勘

中油油氣探勘調查在此區域共三條反射震測剖面，橫跨新竹斷層、新城斷層、竹東斷層與大平地斷層（圖2-2）（Namson, 1984；Tang and Hsu, 1970；Chiu, 1970；楊耿明等，1994；Yang *et al*., 1996）。

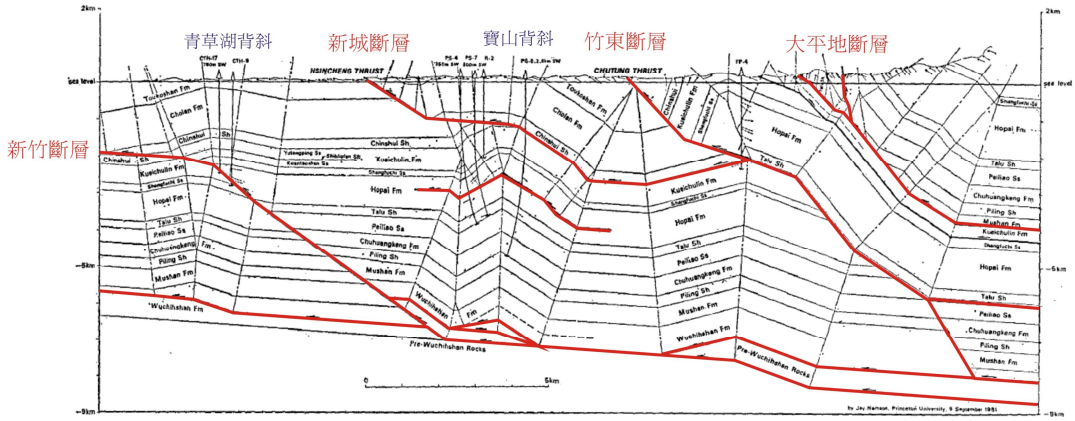


圖2-2、竹東丘陵南側反射震測剖面圖（Namson, 1984）。

震測剖面解釋，僅Namson（1984）與楊耿明等（1994）以平衡剖面解釋該地區的構造變形為斷層彎曲褶皺（fault-bend fold），其它研究單純由震測圖解釋地下剖面斷層位置，但都認為新城斷層尖端已經截穿至地表，並於上盤形成寶山背斜，且斷層兩側地層有很大差異，下盤為頭嵙山層，上盤為卓蘭層，斷層垂直斷距450-700公尺。

2.2.3 古地震與地質剖面

雖然利用新城斷層與各階地的截切關係，以及階地年代估算斷層的長期活動速率。但如欲了解斷層近期的活動性或古地震時間，槽溝研究是唯一方法，經由槽溝挖掘剖面可以發現近期古地震事件，並估算古地震事件滑移量。陳文山等（2003b）首先進行新城斷層古地震研究，共開挖 3 處槽溝，都位於 Lt3 紅土階地的斷層崖（圖 2-1）。以下分別敘述 3 處槽溝以及 1 處野外露頭剖面的地層與構造特性，及新城斷層的古地震事件與活動特性。以下僅引用篤行營區（二度分帶座標 TWD67：251622, 2740536）槽溝剖面資料，共開挖五階，長度 150 公尺，深 10 公尺，寬 15 公尺（圖 2-3）。鑽探調查表示斷層兩側岩盤落差 15 公尺，上盤屬於卓蘭層，下盤為頭嵙山層。槽溝剖面上盤出露卓蘭層砂頁互層，上覆約 2 公尺厚河道礫石層。下盤沉積層由下而上分別為 1 公尺厚的河道礫石層、砂層（碳十四定年＞50,000 年）、透鏡狀河道礫石層、紅土砂泥層、湖泊相砂泥層與砂層（碳十四年代≤300 年），最上層的回填土層。

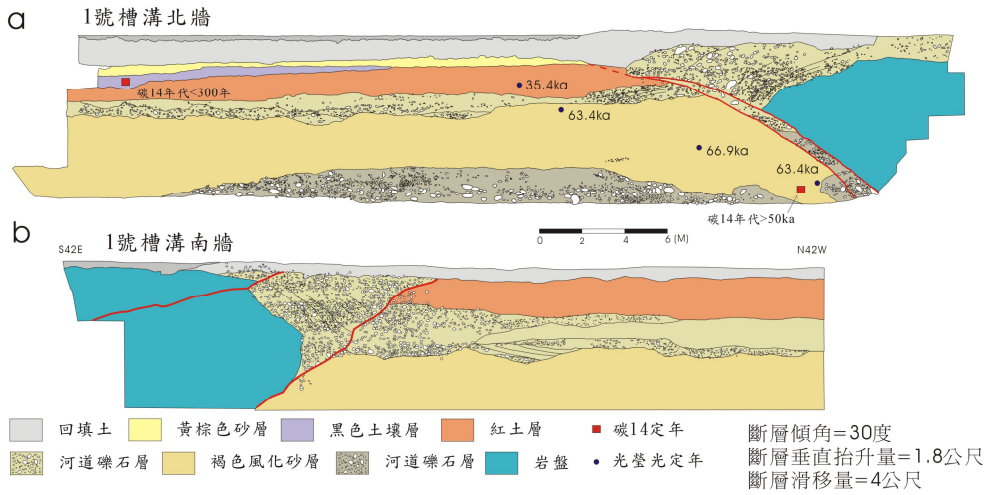


圖 2-3、篤行營區槽溝剖面。a.篤行營區槽溝北牆剖面，卓蘭層逆衝至晚更新世紅土與砂礫層之上，紅土層上覆沉積近代湖泊相砂泥層。b.篤行營區南牆剖面與北牆相似，但上盤另有一小斷層截切卓蘭層與上覆的砂礫層。

河道礫石層之上砂層的光螢光定年年代為 66.9 ka、63.4 ka 與 63.4 ka；與碳十四年代（碳十四定年＞50,000 年）吻合。砂層之上的透鏡狀河道礫石層含的礫石以砂岩為主，此河道沉積物屬於東側丘陵河流的堆積物，不屬於頭前溪沉積

物，透鏡狀小河道礫石層的年代為 35.4 ka。由沉積層年代來看，1 號槽溝所處紅土台地形成年代約 66.9-63.4 ka。

湖泊相砂泥層（黑色壤土層，黃棕色砂層）沉積於下盤紅土層之上，厚度約 1 公尺，砂層呈現塑性變形構造如火焰構造、旋捲構造、砂管構造，顯示砂層沉積後產生液化。液化砂層位在下盤地表約 1-2 公尺深，被 1983 年回填土層與含有瓷碗碎片的河道沉積層覆蓋。液化層年代＜300 年，顯然此處於近數百年之間曾遭受大地震影響。

露頭位於頭前溪南岸，中正橋下游 400 公尺處，河床兩側清楚出露斷層露頭。河道北岸可見卓蘭層砂頁岩層逆衝至頭嵙山層香山相砂岩層之上，斷層剪切帶寬約 5 公尺。斷層走向 N50°E，斷層傾角朝東南 30°，斷層面擦痕顯示位移方向為 N40°-60°W，屬於逆衝斷層。

頭前溪南岸露頭為 Ft1 河階，河拔高約 5 公尺。斷層截切河階礫石層，斷層兩側岩盤的垂直錯移量約 3.4 公尺，但是斷層被最上層近代砂礫層覆蓋，顯示近代形成的河階表面未受到斷層擾動，斷層走向 N60°E，傾角朝東南 32°（圖 2-4）。



圖 2-4、頭前溪南岸新城斷層露頭。新城斷層逆衝至 Ft2 河階礫石層之上，垂直錯移高度 3.4 公尺，斷層尖端被現代沖積層覆蓋。

南岸的 Ft1 階面在斷層兩側沒有明顯高差。Ft1 階地位於頭前溪河拔高約數公尺，表層數十公分厚的沉積層含有塑膠物，顯示近代洪水曾堆積至 Ft1 階面。Ft1 階地在斷層兩側沒有高差或斷層崖地形，原因是上盤 Ft1 階地受到近代河流沖蝕夷平，無法顯見斷層兩側有被錯移地形。但下層不含近代物質的礫石層被斷

層錯移，其中採取一漂木標本（圖 2-4），碳十四年代為 270±35 cal BP，代表下層礫石層屬於近 300 年以來沉積層，顯示新城斷層於近 300 年之內曾經活動（陳文山等，2003b）。

從槽溝剖面的構造與沉積層的結構分析，新城斷層已截切至地表紅土層，造成紅土層擾動。限於槽溝地層屬於較老的 Lt3 紅土階地礫石層，以及地表都已受人為擾動，無法從槽溝剖面分析古地震事件年代，但至少存在兩次古地震事件。之前研究對於新城斷層活動性，與最近一次斷層活動時間並無詳細資料。從 FT1 階地的定年資料分析，新城斷層最近一次地震發生於 300 年以內。

2.3 斷層跡調查與 e-GPS 測量

本計劃著重新城斷層跡的 e-GPS 測量，依據鄰近斷層的地形特性，分為三個區域討論；一、頭前溪以北至鳳山溪以南區域：飛鳳山丘陵。二、頭前溪以南至寶山路南側區域：頭前溪階地。三、寶山路南側以南至中港溪：竹東丘陵區域。四、中港溪北岸階地：頭份階地。

一、飛鳳山丘陵（圖 2-5）：位於頭前溪至鳳山溪間，此區域地形為頭嵙山層形成的丘陵，斷層兩側屬於頭嵙山層（中油桃園－新竹圖幅，1978）。本計劃認為此區段斷層應屬於新竹斷層，但本年度計畫還是依循原定為新城斷層。前人調查結果表示此區段斷層跡大致通過飛鳳山北側山脊稜線，地形陡峭且植被茂密，能夠研判斷層跡的依據非常有限。大致上，依據斷層兩側地層岩性與位態來界定斷層跡位置。下盤頭嵙山層岩性以厚層礫岩（照門段）為主，斷層上盤頭嵙山層岩性為厚層砂岩夾薄層泥岩（照鏡段），兩側岩層位態相似，約十幾度至二十幾度傾斜，接近斷層帶的傾角稍變陡。由野外研判斷層跡位置的誤差達 100-200 公尺，唯一發現斷層跡位於三號高速公路西側（新力里）（林啟文等，2005），二度分帶座標 261654，2742970（TWD67）。斷層最東端與大平地斷層交匯處位於鳳山溪階地，形成一與河流流向垂直的線形崖，崖坡走向呈北西 20º，與新城斷層走向相似，階地的岩盤屬於上盤的頭嵙山層香山相砂岩（照門段砂岩），推測

此階地崖可能為新城斷層形成的斷層線崖。

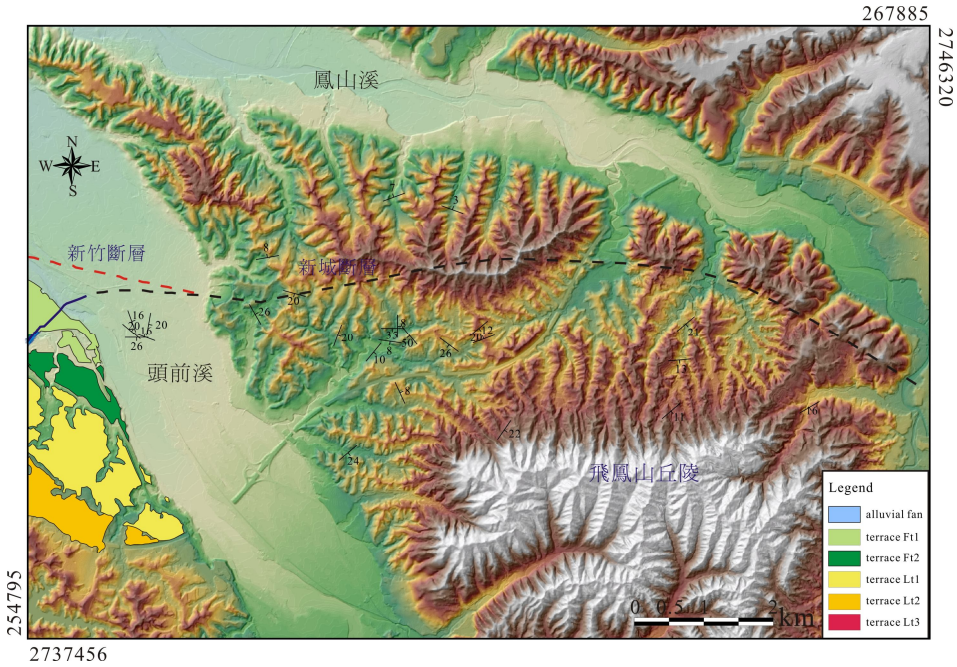


圖 2-5、飛鳳山丘陵區域的新城斷層位置圖，斷層跡不明顯。

二、頭前溪紅土化階地與未紅土化階地（圖 2-6）：位於頭前溪南岸，新城斷層截切此階地群，地形特徵明顯，形成一線形斷層崖。先前此區域已有許多鑽井與槽溝研究，大致上斷層跡位在斷層崖坡坡腳，但都被崩積層覆蓋。除了依據先前槽溝挖掘出露的斷層跡與鑽井，以及野外出露剖面位置來訂定之外（石同生等，2003；陳文山等，2003b；Huang, 1984），斷層跡位置則以崖坡坡腳為基準，進行 e-GPS 測量，斷層跡的誤差範圍約 20 公尺範圍內。

此區段斷層截切頭前溪南岸的階地群（圖 2-6；高峰面 LT3、仙宮面 LT2、關東橋面 LT1、下員山面 FT2、麻園肚面 FT1；張瑞津等，2002），斷層兩側河階受斷層錯移的垂直高差分別為 85 公尺、60 公尺、40 公尺、20 公尺、3.4 公尺（劉力豪，2004）。

斷層跡共六處地點的位置較明確，1、頭前溪南岸。 2、柯湖路 Lt2 階地之上，排鑽所示的地下構造剖面（A-A`剖面，圖 2-7），顯示地下斷層帶位態在下部斷層傾角 45º，上部斷層傾角 15º，斷層跡應位在斷層崖坡腳。3、Lt2 階地的排鑽鑽至斷層帶，斷層跡應位在坡腳處（B-B`剖面，圖 2-8）。4、柯湖溪（路）Lt2 階地南側剖面。此露頭為圖 2-6 第 2 點，位於柯湖溪北岸 Lt2 階地剖面，之

前可見卓蘭層逆衝至階地礫石層之上，現今的斷層帶已被茂密的植被覆蓋。5、力行營區中 1 號與 2 號槽溝，（圖 2-3）。6、新竹科學園區寶山路南側四面佛的 3 號槽溝。

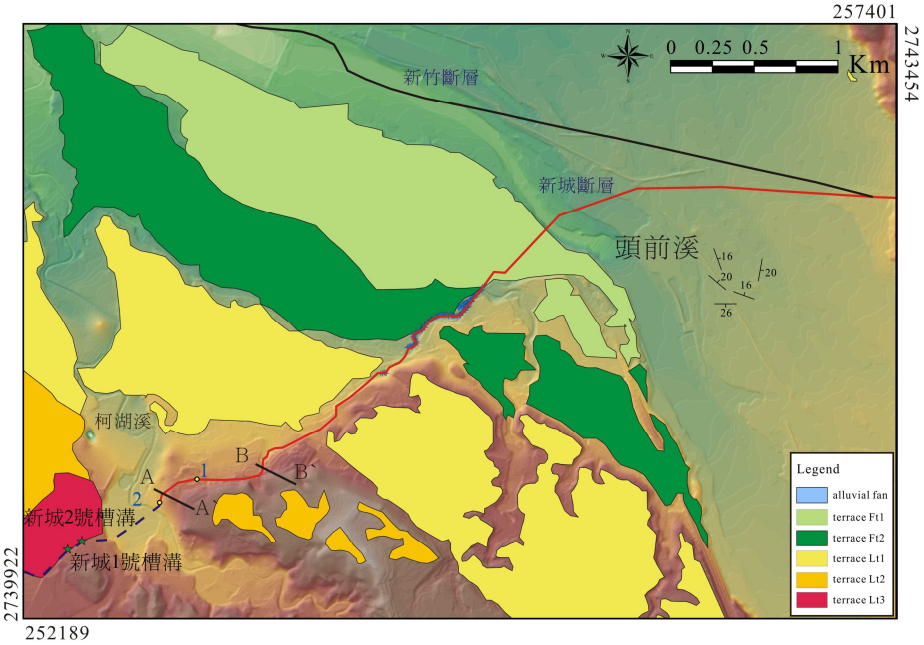


圖 2-6、頭前溪階地區域的新城斷層位置圖，新城斷層截切 Lt 與 Ft 河階。

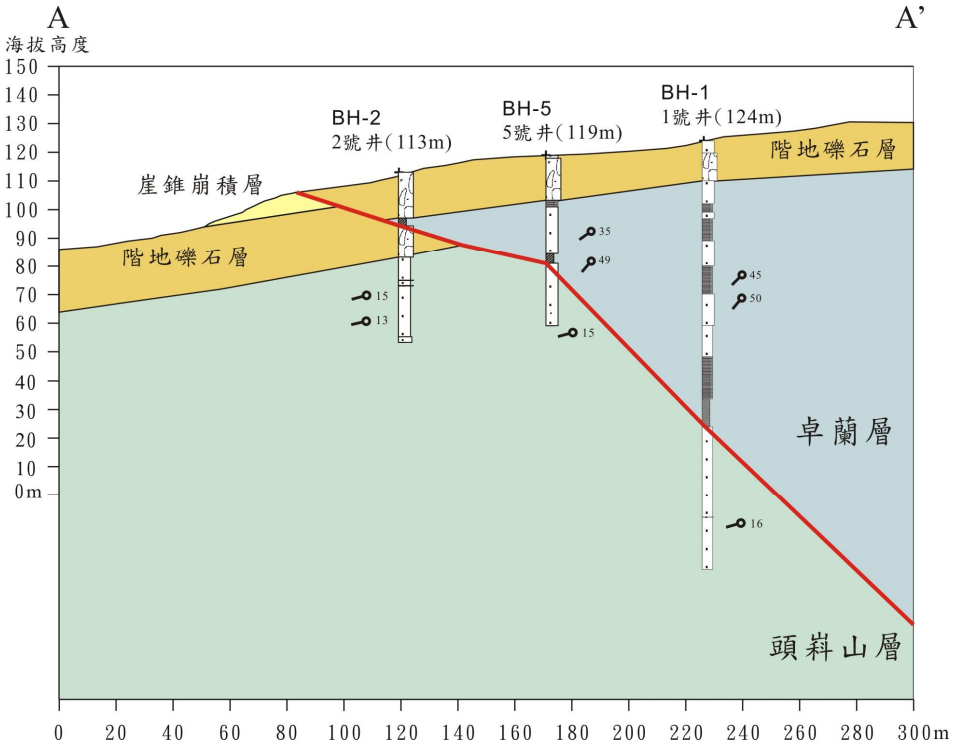


圖 2-7、A－A`剖面地下構造剖面圖（位置於圖 2-6）。

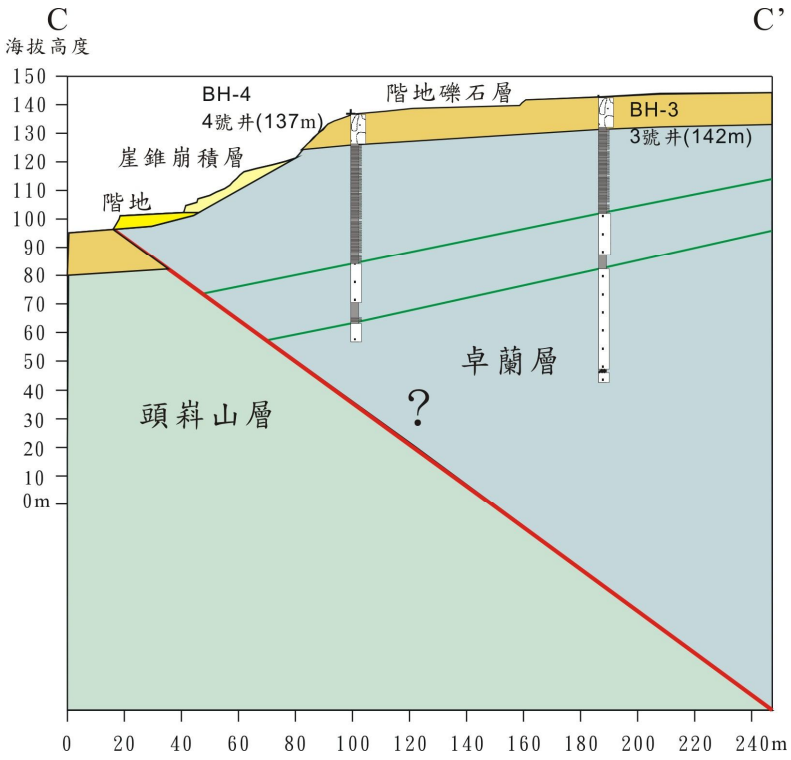


圖 2-8、B－B`剖面地下構造剖面圖（位置於圖 2-6）。

三、竹東丘陵區域：由寶山路以南至中港溪以北，未發現斷層露頭，僅依據斷層兩側岩層位態與岩性作研判，進行斷層條帶地質的精查（圖 2-9，圖 2-10），僅數個地點在鄰近斷層帶的岩層具局部剪切構造，及岩性與岩層位態變異。此區域斷層跡誤差範圍在 100 公尺內，其間連接線的誤差範圍，推測應達 200 公尺。

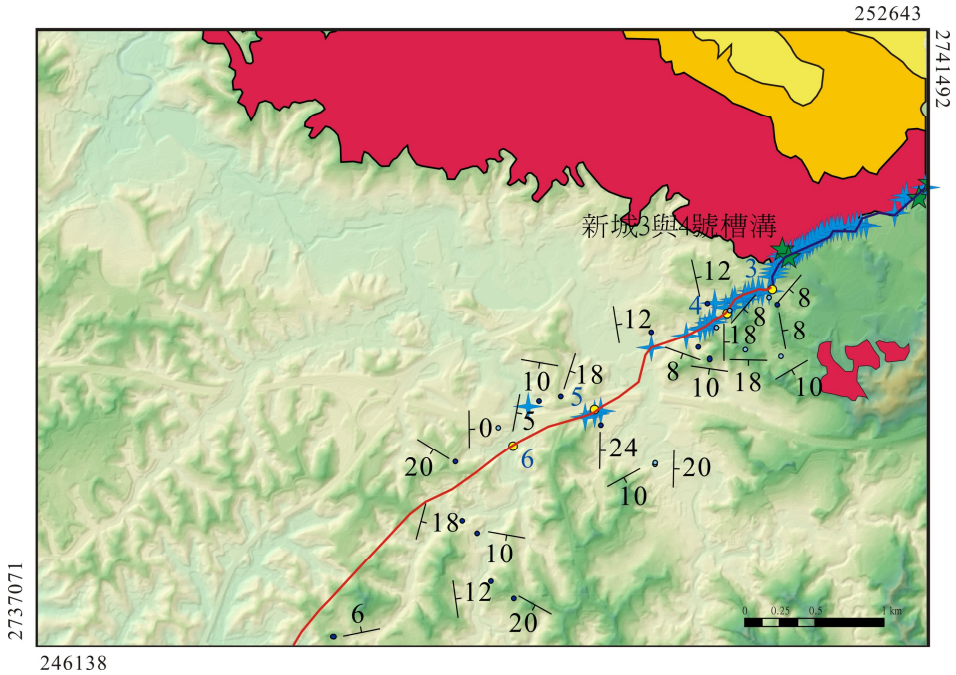


圖 2-9、竹東丘陵區域(寶山路南側)的新城斷層位置圖，露頭資料為本計畫量測。

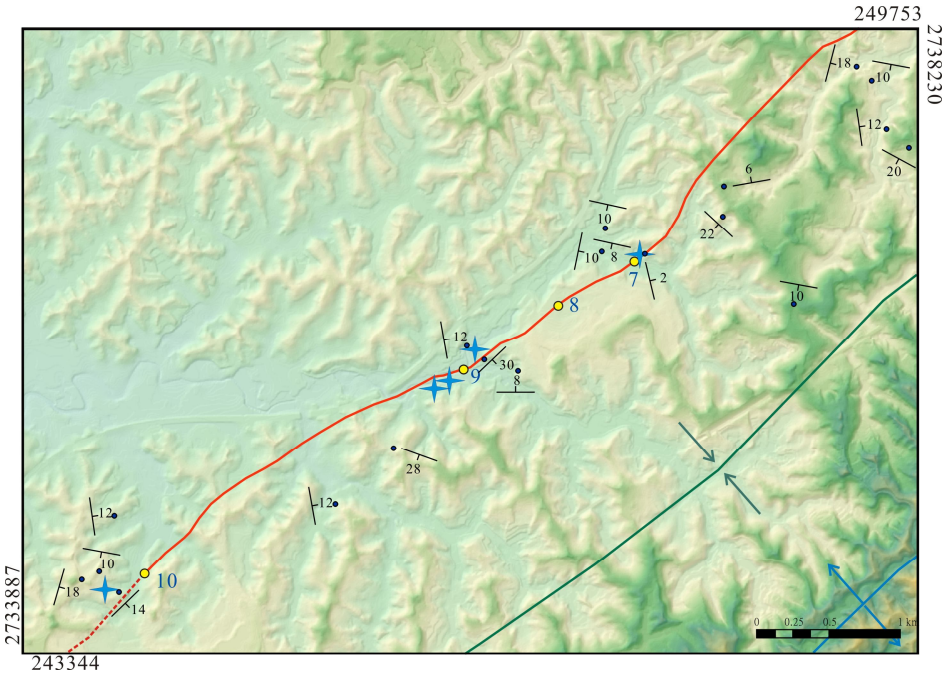


圖 2-10、竹東丘陵區域(中港溪北側)的新城斷層位置圖，露頭資料為本計畫量測。

四、頭份階地：位於中港溪北岸，斷層截切河階形成南北走向筆直河階崖，且與河流流向垂直。本研究共 3 孔鑽井垂直線形崖進行鑽探，頭份 BH-2 井位在現今坡腳，BH-1 與 BH-3 井位在較西側（圖 2-11）。BH-2 井在深度 3.0-3.3 公尺（剪切面傾角 40-50º），7.0-7.7 公尺（剪切面傾角 60º）與 7.7-8.3 公尺（剪切面傾角 44º）都具剪切構造。7.7-8.3 公尺深的剪切帶為主斷層帶，其上為頭嵙山層香山相砂岩（0.9-7.7 公尺，楊梅層照鏡段）逆衝在土壤化礫石層之上。7.7 公尺深以下為河階堆積層，上部為礫石層，最下部為頭嵙山層香山相砂岩。從上下兩層頭嵙山層香山相砂岩的深度分析，斷層的垂直錯距約 7 公尺。

BH-1 與 BH-3 井的沈積層序相似，上層為薄層礫石層，之下為砂泥層與礫石層，最下部為頭嵙山層香山相砂岩。BH-1 井位在 BH-2 井西側約 15 公尺，下部的礫石層與頭嵙山層香山相砂岩的深度大致相似。但是 BH-1 井上部砂泥層在 2.7-3.1 公尺深具剪切構造。BH-1 井的剪切帶與 BH-2 井剪切帶應屬於同一剪切帶構造，斷層面傾角 25º。

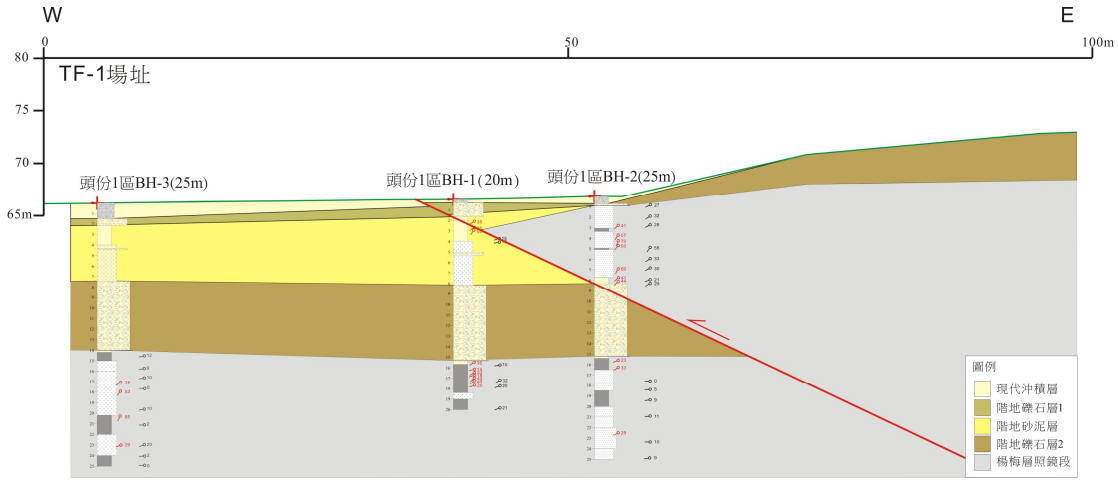


圖 2-11、頭份階地 1 區鑽井剖面。BH-1 與 BH-2 井鑽至斷層帶，斷層面傾角朝東 25º。

2.4 結論

本研究針對新城斷層精確位置調查，由地形特性分析，劃分為四個區域，一、頭前溪以北至鳳山溪以南區域的飛鳳山丘陵。二、頭前溪以南至寶山路南側的頭前溪階地。三、寶山路南側以南至中港溪的竹東丘陵。四、中港溪北岸頭份階地。

一、飛鳳山丘陵屬於丘陵山地，研判斷層跡位置的地形特性非常有限。僅幾個區域的地形特徵與露頭較為明確，斷層跡東西兩側的十六張（東）與芎林（西）的河階崖，以及新力里的三號高速公路西側河谷的斷層露頭（林啟文等，2005）；此區域有兩條南北流向河谷，依據岩性與岩層傾向，大致可以推斷斷層位置約在 200 公尺範圍以內；二、頭前溪以南至寶山路南側的頭前溪階地，此區域斷層截切河階，形成明顯的斷層崖地形，且先前的槽溝挖掘以及鑽探調查，斷層跡範圍可侷限在 20 公尺以內；三、寶山路南側以南至中港溪的竹東丘陵區域，此區域屬於丘陵地形，斷層跡較不明顯，主要依據黃鑑水（Huang, 1984）調查的 8 處露頭，丘陵地區的斷層誤差範圍約可侷限於 200 公尺以內，但是斷層露頭點之間位於丘陵山區的誤差可能較大；四、中港溪北岸頭份階地，依據本研究在中港溪北岸頭份河階崖的鑽探，河階崖（斷層崖）的誤差範圍約 20 公尺內。

此外，由頭份 1 區的鑽井岩芯分析，此區域斷層傾角約 25º，垂直斷距約 20 公尺，抬升速率為 0.46 mm/yr，斷層面滑移速率為 1.1 mm/yr。

第三章 新化斷層

3.1 前言

1946 年 12 月 5 日晨 6 時 47 分，台南發生強烈地震，震央位於台南市東北方 15 公里的新化鎮那菝林，震源深度約 5 公里，預估地震規模為 M_L6.3。地震災害造成 74 人死亡，474 人受傷，房屋全倒 1971 棟，以永康鄉鹽行、烏水橋，埔子，以及新化鎮北勢等村的災情最為慘重（張麗旭等，1947）。因此新化斷層的活動性頗受到關切，尤其大地震週期。本研究目的就為新化斷層的活動速率與斷層跡位置進行研究。

3.2 地質地形

張麗旭等（1947）稱地表破裂為新化地震斷層，地震破裂帶起自那菝林，南至新化溪北 2 公里的北勢，長約 6 公里，走向為 N 70º E。北勢以西，在斷層走向的延伸方向，地表出現許多噴砂、N30º-60ºW 的地裂與地表撓曲（圖 3-1）；此與 1906 年嘉義地震形成梅山斷層的現象相似，在地表破裂帶的延伸方向亦產生噴砂帶。斷層屬於右移斷層，最大右移量為 2.0 公尺，最大抬升量 0.76 公尺（畜產所），斜移量達 2.14 公尺，東南側為下降側（張麗旭等，1947）。新化斷層為歷史地震斷層，故將其歸為第一類活動斷層（張徽正等，1998；林啟文等，2000，2007）。本調查將以張麗旭等（1947）的台南大地震地變圖為依據，以及古地震研究（陳文山等，2002，2004；李錫堤等，2000），淺層反射震測資料（邱朝聰，1997；石瑞銓等，1998，2003；黃勝群等，2004）；選取槽溝挖掘地點以及鑽探孔位，來瞭解新化斷層位置、古地震事件及長期變動速率。

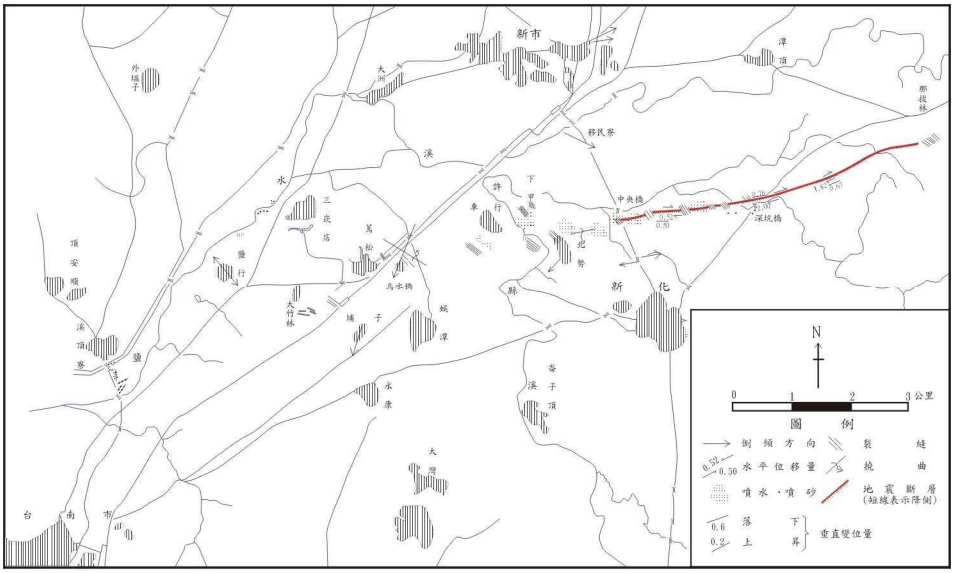


圖 3-1、1946 年 12 月 5 日台南大地震地變圖 (地調所重繪，張麗旭等，1947)。

3.3 地球物理探勘

針對新化斷層的地球物理探勘共七條淺層震測剖面，解釋新化斷層的淺部構造，部分震測剖面呈現走向滑移斷層的開花狀構造，愈西側斷層呈現開花狀構造的擾動帶愈寬（石瑞銓等，1998，2003；黃勝群等，2004）。從地表地質結構分析，東側斷層區段出露地層屬於六雙層，西側區段被現代沖積層覆蓋。所以西側新化斷層區段地表變形擾動地層是全新世沉積層，因此呈現寬廣的開花狀變形帶。另外，新化斷層屬於右移的平移斷層，所以東側區段（那拔林）的斷層走向呈左旋，呈現壓力脊構造地形；西側區段則呈現拉張構造，呈現拉張盆地的構造地形特性。

3.4 古地震槽溝

新化斷層的古地震研究共3處，一位於農業改良場（李錫堤，2000），另一農業改良場東側玉峰寺與第六公墓之間河谷（陳文山等，2004），以及畜產所，共6個槽溝。陳文山等（2004）以第六公墓河谷的槽溝分析地層與斷層關係，區分三次古地震事件，第一次古地震事件時間為9,546-8,644 cal BP，第二次事件為1,865-1,690 cal BP。第三次事件從斷層結構來看屬於右向平移斷層，且斷層切穿地表，應屬於1946年地震斷層破裂帶（圖3-2，圖3-3）。第一次與第二次事件的

斷層構造，無法推斷是否單純屬於正斷層或兼具有正斷層作用的平移斷層。但是由1946年的斷層特性及地質地形特徵分析，此三次的古地震事件應具有較大的水平錯動量，屬於右向平移斷層。

從淺層震測剖面顯示，新化斷層擾動帶寬度約數十公尺至數百公尺，呈開花狀構造，其中具數條分支斷層，而槽溝開挖剖面長度卻僅 20-30 公尺，只能涵蓋其中支斷層之一。假若地震斷層活動時，僅造成其中之一或部分的分支斷層活動，則每處槽溝所獲得古地震事件可能只是部分地震事件，而無法獲得完整的地震事件序列。因此，目前針對新化斷層的古地震研究僅一處槽溝，所呈現古地震事件仍不足以代表全新世以來完整的古地震序列（陳文山等，2004）。

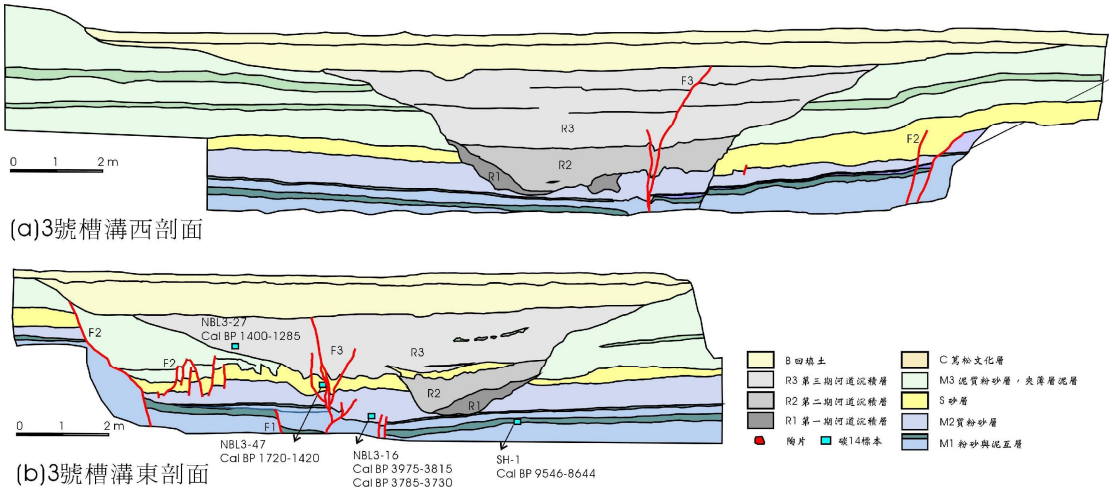


圖 3-2、新化斷層 3 號槽溝東西牆剖面。

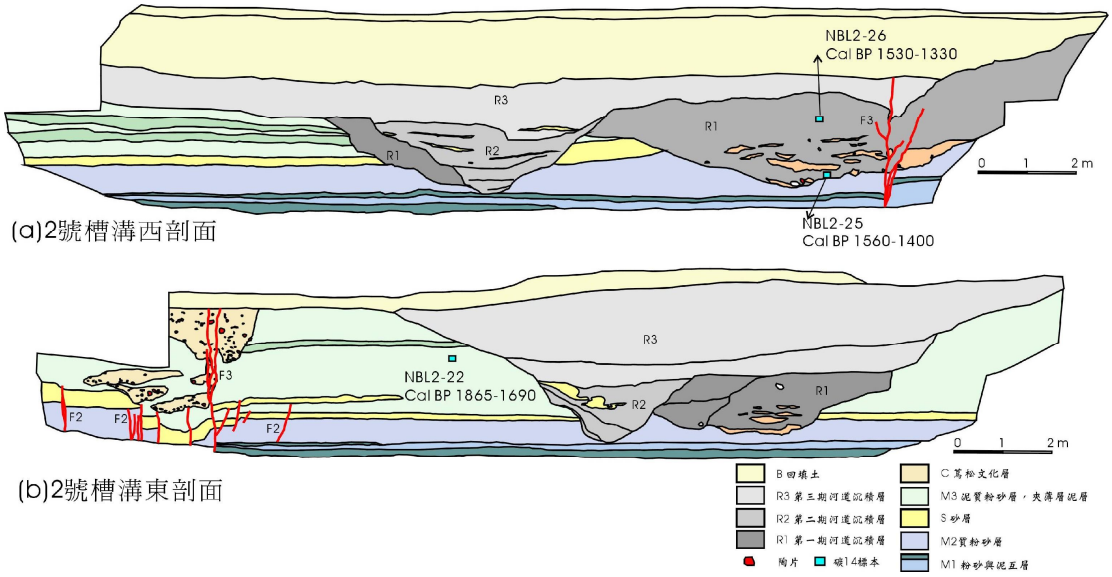


圖 3-3、新化斷層 2 號槽溝東西牆剖面。

3.5 斷層跡調查與 e-GPS 測量

本研究針對新化斷層跡的野外調查，主要依據張麗旭等（1947）於地震後完成的台南大地震地變圖（圖 3-1）；並且參考淺層鑽探、古地震槽溝，以及物理探勘資料。首先依據張麗旭等（1947）野外描述。新化地震斷層東起那菝林，沿西南西走向至鹽行附近，全長 12 公里。斷層東側有顯著的地表斷層露頭（6 公里，那菝林接天寺至深坑橋）；西側（6 公里；深坑橋以西至中央橋）地表變形不太明顯，但沿線有許多地裂、地陷、噴砂與噴水等液化現象。斷層東側那菝林附近的水平變位 20 公分，垂直位移約 10 公分；畜產試驗所（新化種馬牧場）的水平變位 182 公分，垂直變位 67 公分；新化東北 2 公里的深坑橋（思橋）北側公路（台 20 號公路）的水平變位達 2 公尺，垂直變位達 76 公分，為新化地震斷層最大的變位地點。變位情形雖然隨地不一，但斷層北側地塊相對向東北東移動並上昇，屬於右向平移斷層。

首先，依據 1946 年斷層跡走向（張麗旭等，1947）與地形特性探討新化斷層可能產生的變形型態，依據斷層走向分為三個區段；一、接天寺東側至農業改良場。二、農業改良場至深坑橋。三、深坑橋至中央橋（圖 3-4）。

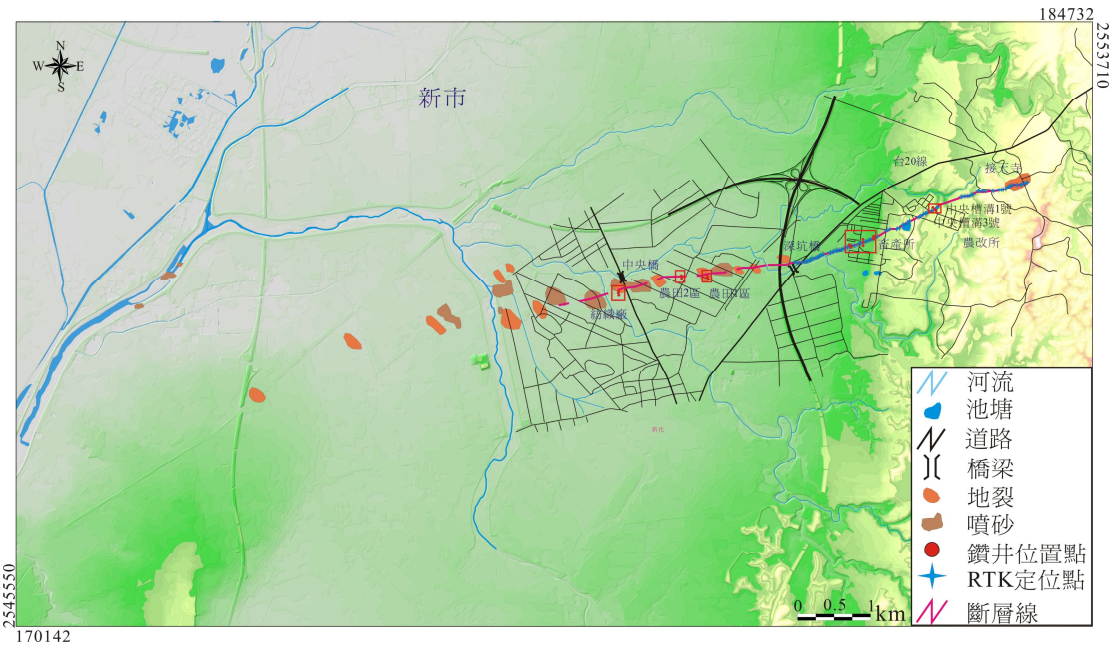


圖 3-4、新化斷層沿線鑽井場址位置圖，本研究以 e-GPS 測量新化斷層跡，與前人開挖的槽溝位置圖。

一、接天寺東側至農業改良場是新化斷層最東側，長約 1 公里，斷層跡通過新化丘陵，形成一走向約 N80ºE 的線形斷層凹谷（圖 3-5），谷地寬約 10-30 公尺，現今已成為水塘或果園（圖 3-6）。新化丘陵出露地層屬於上部崎頂層（六雙層），以砂岩夾薄層頁岩，屬於潮間帶淺海環境。本計畫利用 e-GPS 測量凹谷兩側邊界以及凹谷的中央線，谷地邊界作為斷層跡可能出露範圍。

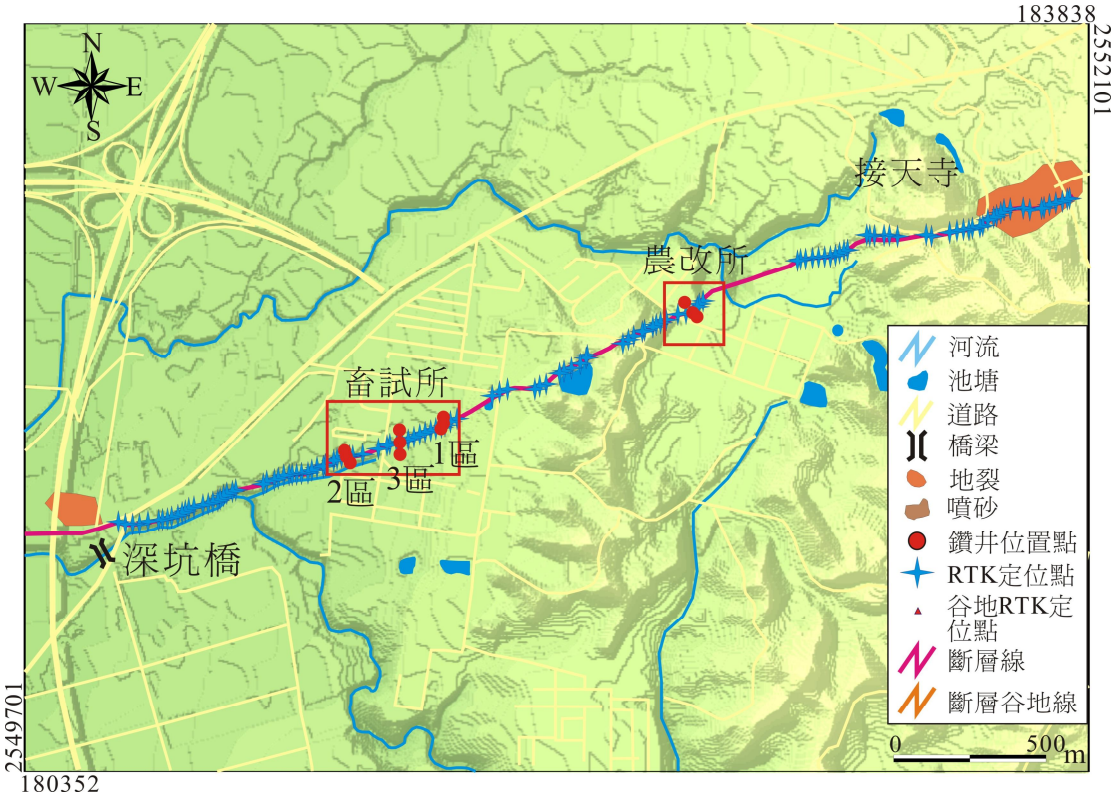


圖 3-5、接天寺至深坑橋沿線的 e-GPS 量測點與鑽區域位置圖。斷層跡通過農改場與畜產所。



圖 3-6、新化斷層東段，接天寺旁斷層凹谷（鞍部西側）。

二、農業改良場至深坑橋，之間為畜產試驗所（圖 3-5）。1946 年斷層跡經過農業改良場與畜產試驗所南側山丘的凹谷與水塘（圖 3-7），之後進入畜產試驗所牧草區，此區段地形分為丘陵與平原。農業改良場至畜產試驗所，長約 2 公里，斷層跡走向 N60º-70ºE。



圖 3-7、新化斷層中段，位於農改場的線形谷中水塘。

從農業改良場至深坑橋，長約 3 公里，斷層跡在畜產所牧草區還保留 1946 年斷層形成的斷層線崖，高差 1-2 公尺。但是張麗旭等（1947）紀錄此區域地震造成高差為 76 公分，推測地震之前已具有高差，此區域也是本研究主要鑽探區域之一。

三、深坑橋至中央橋（圖 3-8）。深坑橋以西區域，依據張麗旭等（1947）敘述，沒有明顯的地表錯動，但具液化現象，大致沿著東側畜產試驗所牧草區至深坑橋的地震斷層跡走向延伸，此液化區與地表變動區呈現約 N80ºE 走向，目前地形沒有任何地形高差，所以新化斷層跡最西端位在深坑橋。至於西側液化區地表變動原因為何，或長期以來是否具有地殼變動？為解決此等問題，因此本計劃在地震液化區進行鑽探調查，查明液化是否為受地殼變動影響所造成的情形。

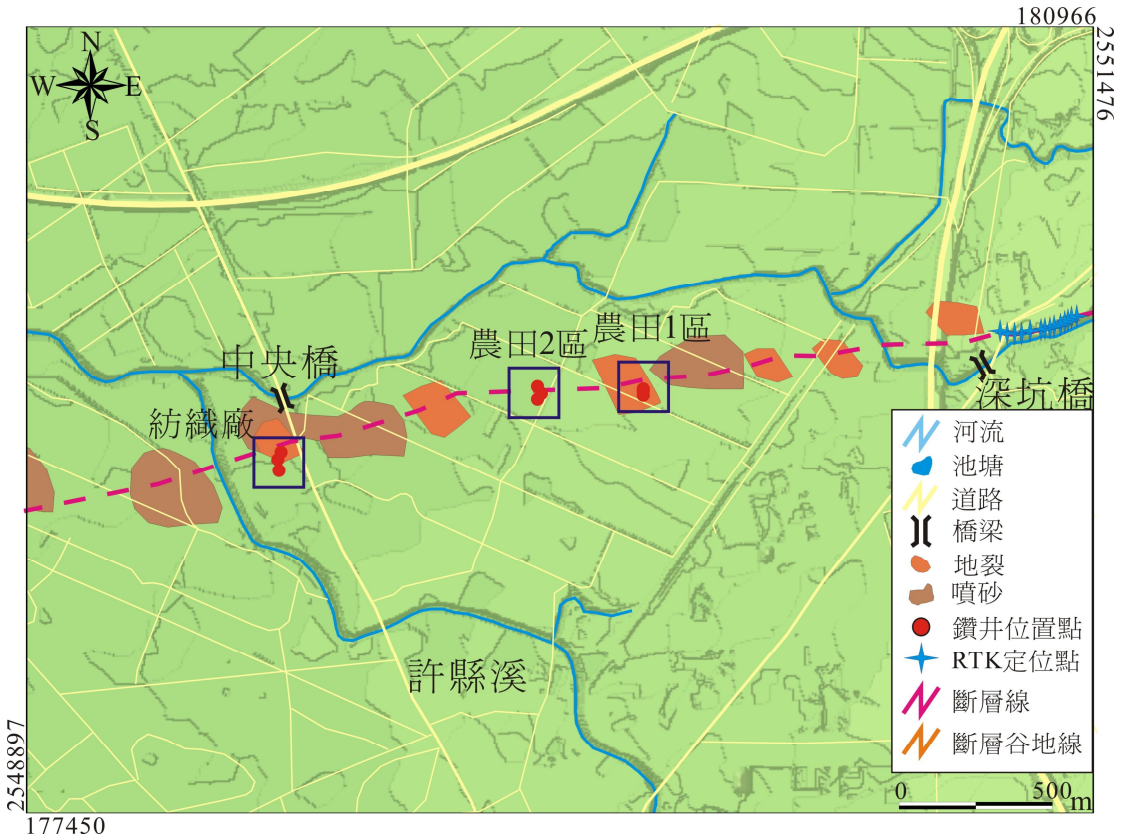


圖 3-8、深坑橋至中央橋區域斷層跡與鑽井區域分布圖。農田 1 區與農田 2 區鑽井場址位於液化區沿線。

3.6 鑽井岩芯紀錄

新化斷層沿線共進行 7 處淺層鑽探場址，有農改所、畜產所 1 區、畜產所 2 區、畜產所 3 區、農田 1 區、農田 2 區，及紡織廠，每處場址有 3-7 孔鑽井，單孔鑽井深度為 20-35 公尺深；全區域共 27 孔鑽井，總長度 794.9 公尺。本計劃依據岩芯的岩性特徵與岩相組合，將沉積層分為三種環境。

一、河口灣河道沙洲，為厚砂層，淘選度佳，具平行與交錯層理，偶含碳質，不含化石。

二、河口灣沼澤溼地，以泥為主，偶夾薄層粉砂，偶有碳質泥層、微風化土壤層或生物擾動構造，不含化石。

三、河口灣中央盆地屬於半淡水環境，以泥為主，偶夾薄層粉砂或砂層，含大量貝殼碎屑。

河口灣河道沙洲與沼澤溼地環境經常交互出現，或呈側向變化。從河口灣環境體系來看，河口灣河道沙洲與沼澤溼地呈現側向變化關係，而河口灣中央盆地屬於河口灣外側（海側）較深的環境。

從新化斷層中段至西段位於平原區的沿線鑽井岩芯紀錄，依據指標層的對比，並參考所有鑽井岩芯的碳十四定年資料，全區沉積層層序大致劃分為五個岩段，由下而上 E、D、C、B、A，以及各岩段界限的碳十四定年年代，以圖 3-9 為例，各岩段是依據所有鑽井岩芯共同的特徵而劃分，以及總合所有碳十四年代劃定各岩層界限的可能年代。

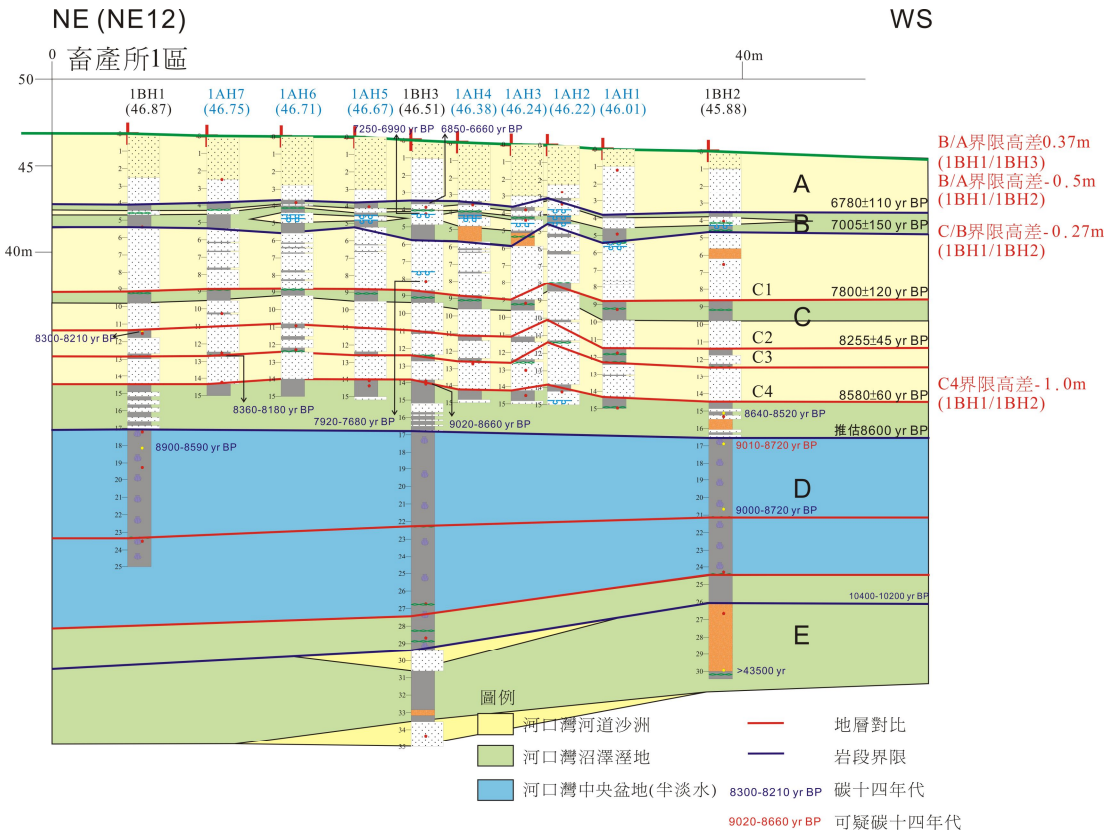


圖 3-9、畜產所 1 區剖面圖。

E 岩段位於最下層，本層僅出露在畜產所 1、2、3 區鑽井岩芯，岩芯僅鑽至本層上部為厚層砂層，此砂層頂面是與 D 層的界限。砂層上下沉積層岩性為含碳質泥層（大多不含化石），呈現微風化現象。E 層屬於河口灣沼澤溼地至沙洲環境，年代由 9,610-9,470 cal BP（3BH1 井）至 10,000 多年前（1BH2 井）。

D 岩段岩性主要為泥層，偶夾砂層或粉砂層。泥層分為兩部分，下段不含

化石，含碳質，偶見數層的碳質泥，屬於河口灣沼澤溼地環境。上段為含化石泥層，屬於河口灣中央盆地環境。此岩段是全新世以來，本區域沉積環境最深時期所堆積。

C 岩段岩性主要為厚砂層夾薄泥層，泥層不含化石，屬於河口灣沼澤溼地環境，厚砂層屬於河口灣河道沙洲環境。C 岩段底部為薄砂層與泥互層屬於河口灣沼澤溼地環境，與 D 岩段界限為薄砂層，推估年代~8,700 cal BP。

B 岩段為厚泥層夾透鏡狀薄砂層，泥層不含化石，屬於河口灣沼澤溼地與局部河道沙洲環境；與下部的 C 岩段界限的年代 7,005±150 cal BP。

A 岩段岩性主要為厚層砂層，偶夾薄泥層，屬於河口灣沼澤溼地環境；與 B 岩段界限為砂層底面，推估年代 6,780±110 cal BP。

以下將敘述各場址的岩芯紀錄與對比，畜產所 1 區又增加 7 孔排鑽代替槽溝挖掘。

3.6.1 畜產所 1 區（圖 3-9）

畜產所 1 區共 10 孔鑽井，3 孔鑽井深度較深各 25 公尺（1BH1）、30 公尺（1BH2）、35 公尺（1BH3），其餘 7 孔井為排鑽，各 15 公尺深。7 孔排鑽位置介於 1BH1 與 1BH2 井之間，鑽井場址南北寬度 35 公尺。

鑽井岩芯分析的地層層序分為 E 至 A 五個岩段，1BH1 井位鑽至 E 岩段。依據鑽取岩芯碳十四定年年代與岩性對比，顯示各岩段界限的年代，E/D 界限為 9,540±70 cal BP 至~10,000 cal BP，D/C 界限為~8,700 cal BP，C/B 界限為 7,005±150 cal BP，B/A 界限為 6,780±110 cal BP；其餘在本場址的 C 岩段中可再細分對比幾個界限（時間面）C1、C2、C3、C4。C1 界限的年代為 7,800±120 cal BP，C2 界限的年代為 8,255±60 cal BP，C4 界限的年代為 8,580±60 cal BP。

首先由鑽井位置的地形來看，1BH1 井位於北側地形為較高平面，1BH2 井位於南側地形低處，1BH3 井位於斜坡較上方（1AH2 井位於坡腳）。從岩芯中各地層界限的深度分析，南側 1BH2 井的地層界限深度與地形面都處於較低，北側 1BH1 井則都較高。相較北與南兩側 1BH1 與 1BH2 井的 C4 界限高差為 1.0 公尺，

C/B 界限高差 0.27 公尺，B/A 界限高差 0.5 公尺。從這兩孔相距 35 公尺的鑽井地層界限深度比較，顯示差異不大，約 1 公尺以下。但 1946 年台南地震在畜產所區域，新化斷層南側的地表下陷 0.75 公尺。若恢復此同震變形的高差，在地震之前的地層界限深度差異，在 0.5 公尺內（圖 3-10）。此差異是否為構造作用所為，值得再評估。假若，鑽井間距加寬，繼續朝南側，則地層界限深度差異可能會持續變大。北側距離約 50 公尺的畜產所 3 區的南北兩孔井（相距約 100 公尺），地層界限深度差異達數公尺以上，表示本場址南北兩側間距僅 35 公尺範圍之內，差異小是正常現象。從南側 1BH2 井的地形特徵來看，顯示可能還位在斜坡地形之上。

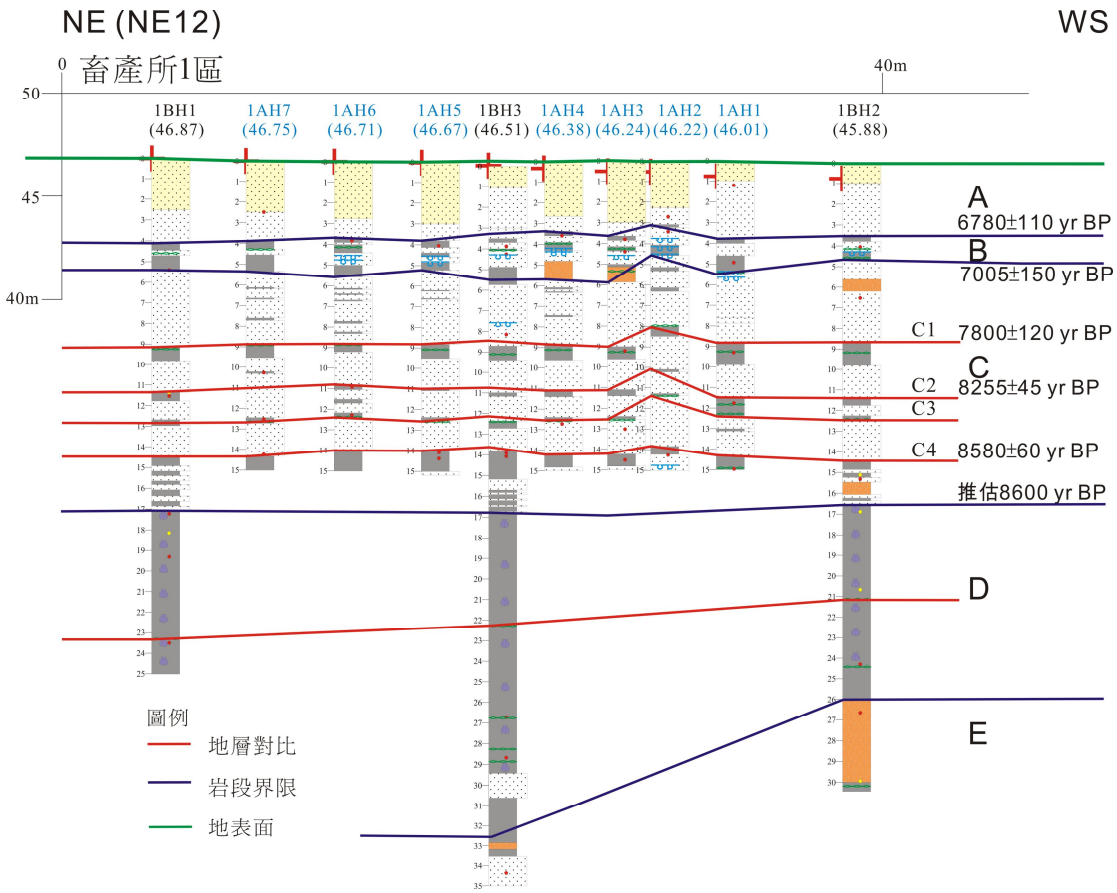


圖 3-10、畜產所 1 區剖面恢復圖，恢復 1946 年台南地震同震變形的高差。

由於畜產所區域的鑽探都顯示地表 1-3 公尺內已受人為擾動，且地下水位約 1-2 公尺以上，不適合較深的槽溝挖掘，因此利用排鑽方式調查地下沉積層的變動狀態。本區域共進行 7 孔鑽井，每井深度 15 公尺，位於之前已有鑽探的 1BH1

與 1BH2 井之間。以下將針對畜產所 1 區總共 10 孔鑽井岩芯來解釋各地層界限的變動情形。

鑽井場址的地形面顯示坡崖的崖腳位在 1AH2 與 1AH1 井之間。從畜產所 1 區 10 孔岩芯的岩層界限（D/C、C4、C3、C2、C1、C/B、B/A 界限）深度分析，南側 1AH1 與 1BH2 井的岩層界限都較北側井深，以 1AH2 井的岩層界限深度較為不同，都較兩側井的岩層界限還高（圖 3-8）。從岩層界限深度變化來看，顯然 1AH2 井受到構造作用所造成。由 D/C、C4、C3、C2、C1、C/B、B/A 界限與兩側井比較，各界限高差大致相似，顯示此變動是在 B/A 界限沈積後所造成，從 A 岩段厚度比較，都較其他岩芯還薄，顯然此變動是 A 岩段沈積之前或同時。

1946 年台南地震在畜產所牧草區形成一走向 N60º-70ºE 平移斷層，斷層南側最大下陷量約 0.76 公尺。假設地震前的地表面呈現一微向南的傾斜面，若欲恢復地震前的各井高度時，則將最西側的 1BH1 與 1AH1 井上升 0.76 公尺、1AH2 井上升 0.6 公尺、1AH3 井上升 0.5 公尺、1AH4 井上升 0.3 公尺、1BH3 井上升 0.2 公尺（圖 3-10）。圖 3-10 所示 1946 年地震前各井岩層界限深度，除了 1AH2 井的差異之外，其餘在 1AH2 井南北兩側的各岩層界限深度大致相似，差距僅 30 公分內。1AH2 井的變動先前已述，可能在 A 岩段沈積當時產生的變動，抬升 0.8-1.3 公尺，而鄰近鑽井可能也受到數十公分的變動。

3.6.2 畜產所 2 區（圖 3-11）

畜產所 2 區共 5 孔鑽井，位於線形崖兩側，南北兩側各兩孔，崖腳 1 孔（2AH2 井），地層層序出現 E 至 A 五個岩段，南北鑽井距離約 50 公尺，現存近斷層的崖高為 0.9 公尺。地形的崖坡或岩芯中各岩段堆積深度變化位置，位於 2AH2 井與 2AH1 井之間，此處應是新化斷層位置。從各岩段的對比，顯示北側地層深度（海拔高度）較南側為高，E/D 界限相差 7.6 公尺（2BH2/2BH1），D/C 界限高差 3.4 公尺（2BH2/2BH1），C/B 界限高差 1.2 公尺（2BH2/2BH1），B/A 界限高差 0.9 公尺（2BH2/2BH1）。

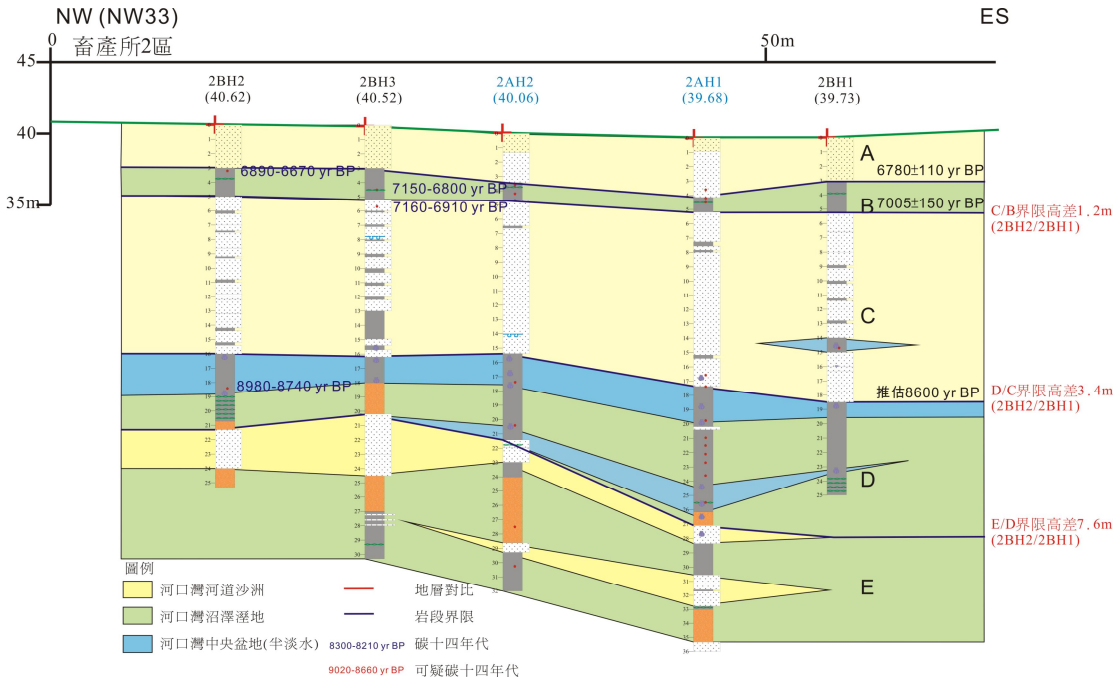


圖 3-11、畜產所 2 區剖面圖。

E 岩段頂面（E/D 界面）位於風化土壤層中，原始地形面是否為水平面無法確定，另外可能岩性呈現犬牙交錯的界面，不屬於同一時間面。所以 E/D 界面在斷層兩側的高差不一定是構造作用形成的變化。1946 年新化斷層在畜產所牧草區造成 0.76 公尺落差（斷層南側下陷）。恢復地震造成的變動，地震前各岩層界限高差如下，D/C 界限為 2.64 公尺，C/B 界限為 0.44 公尺，B/A 界限為 0.25 公尺（圖 3-12）。但是 2AH1 井的 B/A 界面則較 2BH2 井低 1.3 公尺，D/C 界面則低 1.6 公尺。顯示在 A 岩段沈積當時受到構造作用，造成 2AH1 井下陷約 1.3 公尺。另外，若恢復 C/B 界限呈水平面，則 D 與 C 岩段的厚度在 2AH2 兩側仍有 5.7 公尺差異，顯然在 D 與 C 岩段沈積時仍有很大變動（圖 3-13）。

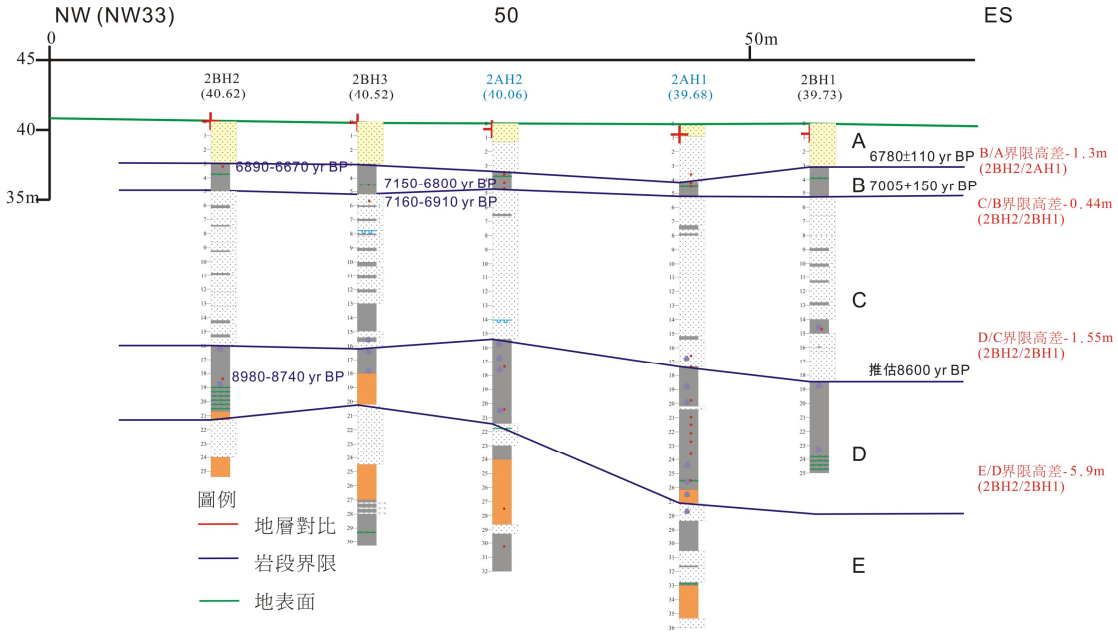


圖 3-12、畜產所 2 區剖面恢復圖，恢復 1946 年台南地震同震變形高差。

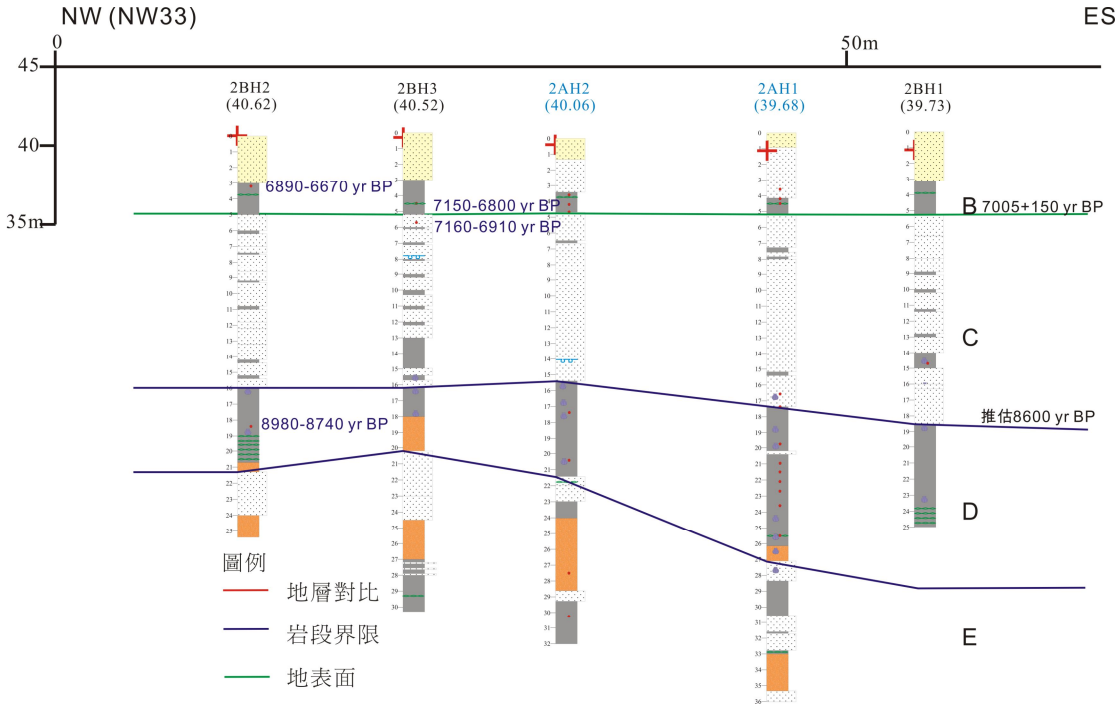


圖 3-13、畜產所 2 區剖面恢復圖，恢復 C/B 界限呈水平面。

3.6.3 畜產所 3 區（圖 3-14）

畜產所 3 區共 7 孔鑽井，位於線形崖兩側，北側 4 孔，南側 3 孔（坡腳鑽井為 3AH2 井），地層層序出現 E 至 A 五個岩段，南北鑽井距離約 100 公尺，現存近斷層崖高 2.3 公尺。地形崖坡或岩芯中各岩段堆積深度變化，位於 3AH2 井與 3AH1 井之間，應是新化斷層位置。從各岩段對比，顯示北側地層較南側為高，D/C 界限高差 0.8 公尺（3BH1/3BH2），C/B 界限高差 0.9 公尺（3BH1/3BH2），

B/A 界限高差 0.8 公尺（3BH1/3BH2）。1946 年新化斷層在畜產所牧草區造成 0.76 公尺的落差（斷層南側下陷）。假設地震前地表面呈現微向南傾斜，若恢復地震前各井高度時，將最西側 3BH2 與 3AH1 井上升 0.76 公尺、3AH2 井上升 0.75 公尺、3BH3 井上升 0.6 公尺、3AH3 井上升 0.3 公尺（圖 3-15）。

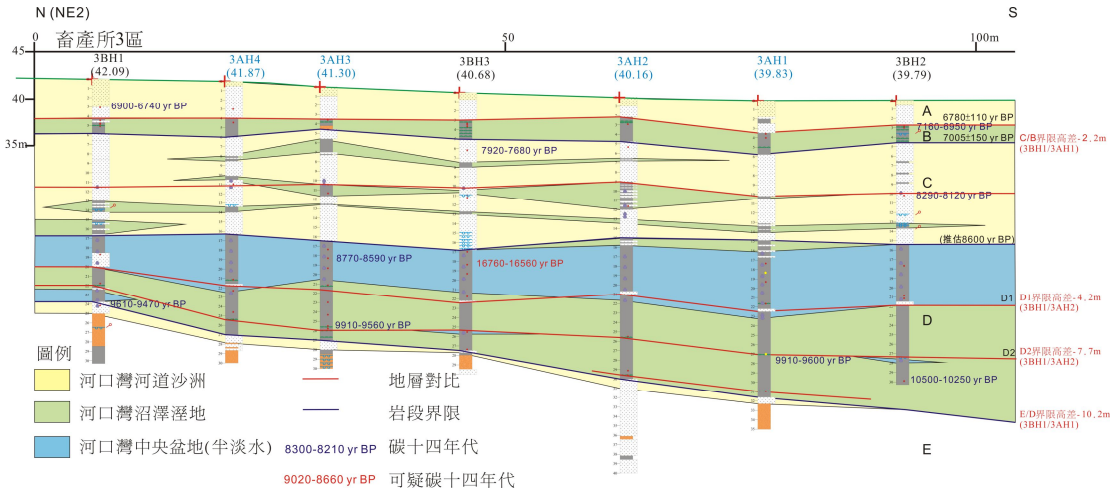


圖 3-14、畜產所 3 區剖面圖。

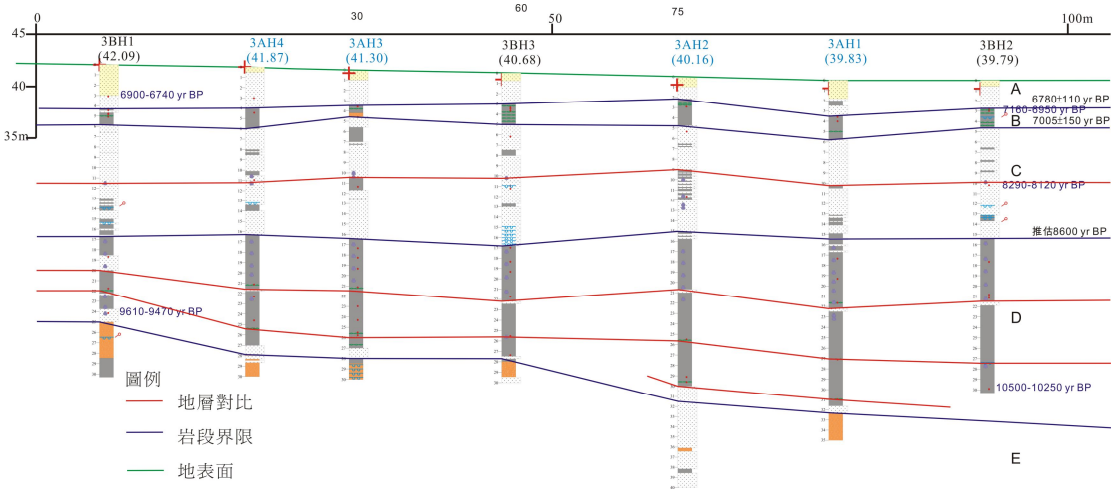


圖 3-15、畜產所 3 區剖面恢復圖，恢復 1946 年台南地震同震變形高差。

因此，地震前高差，D/C 界限為 0.1 公尺，C/B 界限為 0.3 公尺，B/A 界限為 0.2 公尺。畜產所 3 區與 1 區有相似的地表變動，即位在坡腳 3AH2 井的岩層界限變得較淺，B/A 界限高 0.9 公尺（3BH1/3AH2），且 A 岩段較薄。顯然此變動是在 A 岩段沈積之前或同時，抬升 0.9 公尺，鄰近鑽井區域可能也受到數十公分的變動。E 岩段頂面（E/D 界面）位於風化土壤層，原始地形面是否為水平面無法確定，亦可能岩性呈現犬牙交錯的界面，不屬於同一時間面，E/D 界面在斷

層兩側高差不一定是構造作用形成的變化。

3.6.4 農田 1 區（圖 3-16）

農田 1 區位在深坑橋至中央橋之間，1946 年台南地震時，地表沒有產生斷層，但形成大面積液化，分布在新化斷層向西的延伸線。此區域進行鑽井的目的，為了解液化區域地下沈積層變動情形。農田 1 區共 3 孔鑽井，南北相距約 20 公尺，由於地形平坦，所以選擇在液化區內進行鑽探。

本區鑽井岩性亦可以辨識出 A 至 D 岩段，從各岩段界面的深度來看，南側地層界限較低。相較 D/C（或 C2）界限高差，F1BH2 井較 F1BH3 井高出 3.6 公尺。C1 界限高差，北側 F1BH3 井較南側 F1BH1 井還高 4.3 公尺。C/B 界限高差，北側 F1BH3 井較南側 F1BH1 井還高 1.9 公尺。

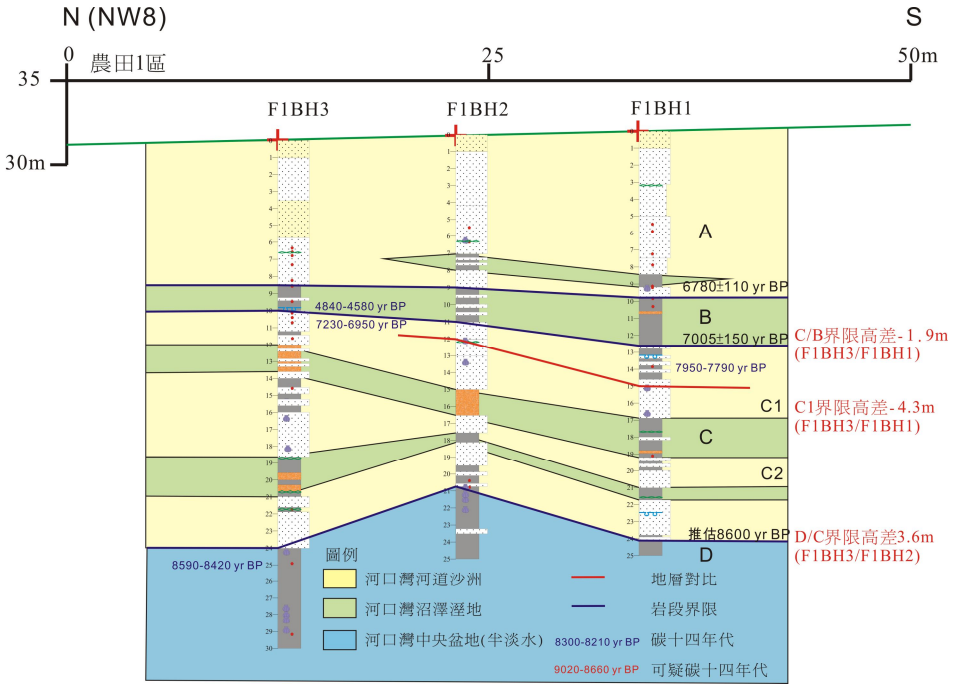


圖 3-16、農田 1 區剖面圖。

C 岩段沈積之後，造成 C/B 界限有 1.9 公尺高差，從 B 岩段厚度分析，F1BH1 井厚度為 2.8 公尺，F1BH3 井為 1.5 公尺，顯示 B 岩段沈積時已產生下陷。C1 界限高差 4.3 公尺，恢復 C/B 界限高差，則 C1 界限高差 2.4 公尺，屬於 C1 至 C/B 界限在沈積期間造成的變形（圖 3-17）。D/C（或 C2）界限的變化較不同，F1BH2 井中的 D/C 與 C2 界限高出兩側，顯然在 C2 界限沈積之後，C1 界限沈

積之前有一次變動，造成 F1BH2 井的沈積層產生隆起。當恢復 C1 變形，則 F1BH2 井的 D/C（或 C2）高出北側 F1BH3 井約 6.3 公尺，F1BH1 井的 D/C（或 C2）高出北側 F1BH3 井約 4.7 公尺（圖 3-18）。顯然 D 岩段至下部 C 岩段沈積當時，北側的 F1BH3 井產生下陷。

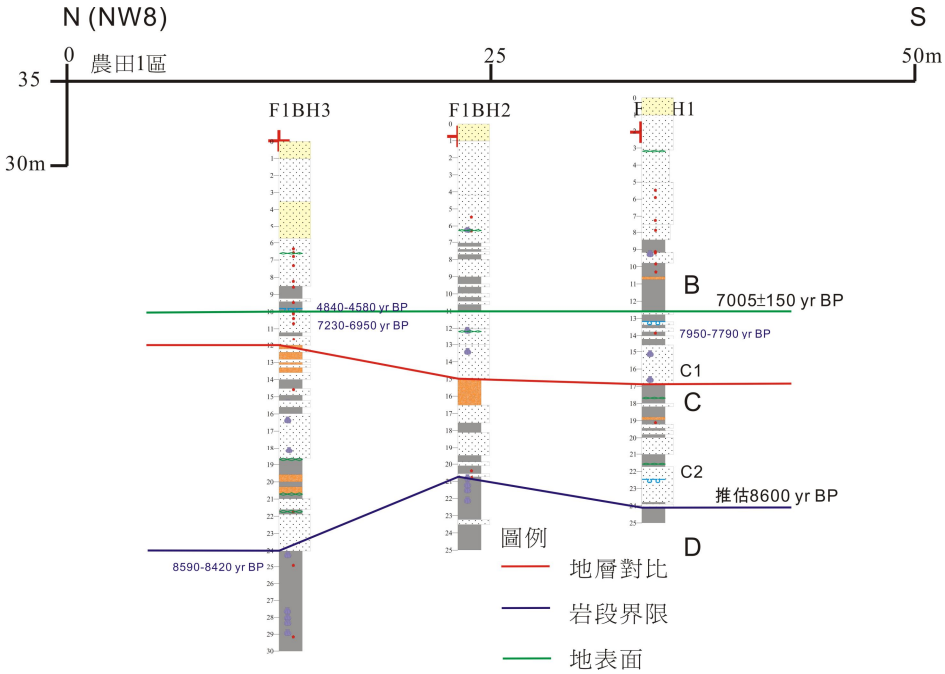


圖 3-17、農田 1 區剖面恢復圖，恢復 C/B 界限呈水平面。

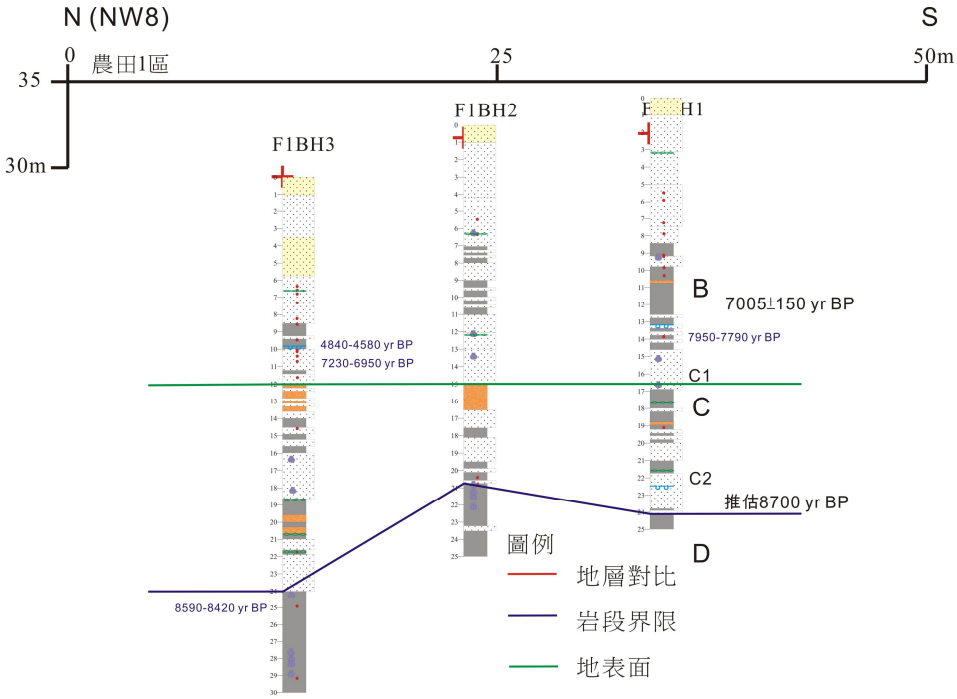


圖 3-18、農田 1 區剖面恢復圖，恢復 C1 的變形呈水平面。

3.6.5 農田 2 區（圖 3-19）

農田 2 區位在深坑橋至中央橋之間，於農田 1 區西側 1 公里，1946 年台南地震時，地表沒有產生斷層，但形成大面積液化，液化區分布在新化斷層向西的延伸線。農田 2 區共 3 孔鑽井，南北相距 35 公尺，由於地形平坦，所以選擇在地震液化區內進行鑽探。

此區域鑽井岩芯亦可以辨識出 A 至 D 岩段，B 岩段可細分為 Ba、Bb 與 Bc 三個次岩段。從各岩段界限深度來看，北側地層界限深度較低，地層變化位在 F2BH2 與 F2BH3 井之間。D/C 界限高差 1.4 公尺（F2BH1/F2BH2），C2 界限為 1.5 公尺（F2BH1/F2BH2），C1 界限為 1.7 公尺（F2BH1/F2BH2），B1 界限為 1.0 公尺（F2BH1/F2BH2）。

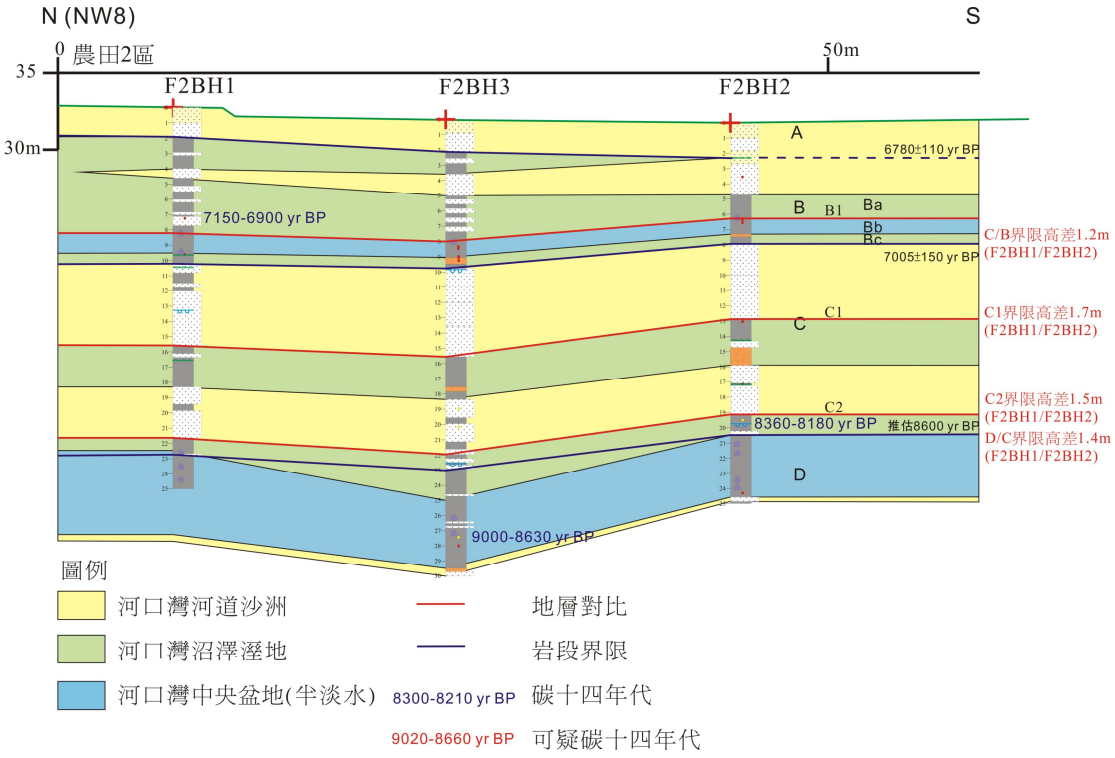


圖 3-19、農田 2 區剖面圖。

C/B 界限高差若是之後的構造活動所造成，則北側相對下陷 1.2 公尺。當恢復 C/B 界限高差，則 D/C 界限高差 0.4 公尺，C2 界限為 0.5 公尺，C1 界限為 0.7 公尺；此差異是 B1 界限沈積之前所造成（圖 3-20）。但是，小於 1 公尺的高差，也可能其他因素造成，如液化形成地表不均勻沈陷，而非斷層作用造成的變動。

另外，從 C 與 B 岩段中次岩段的厚度分析，顯然 3 孔井的各次岩段厚度沒有太大變化，表示沈積過程中地表可能沒有太大變動。

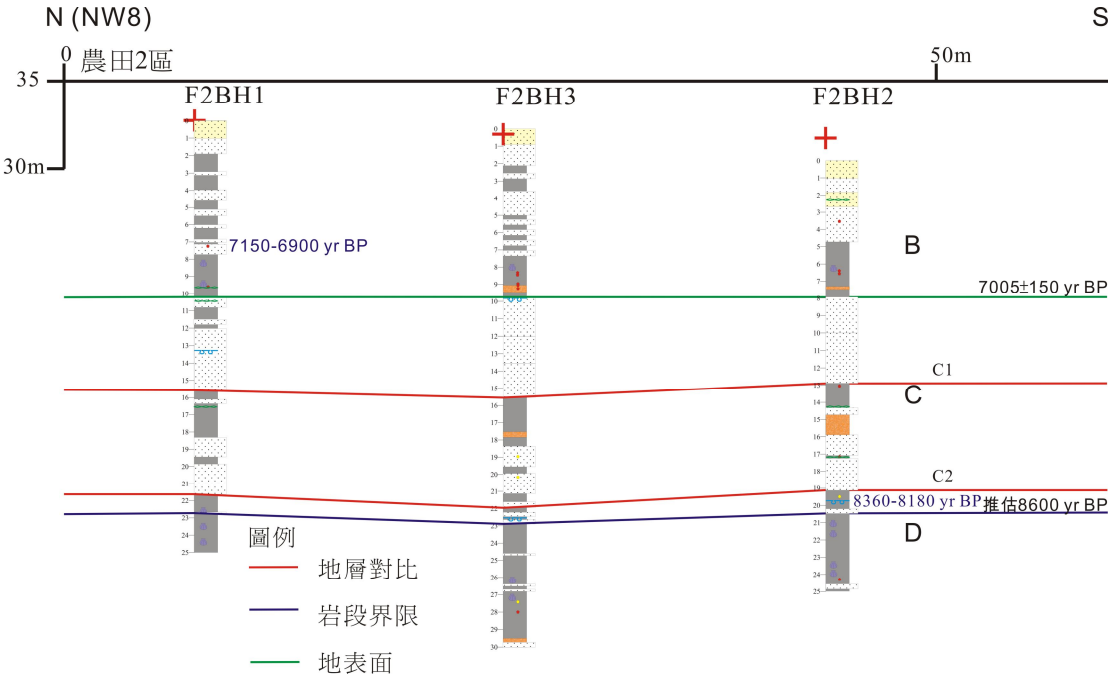


圖 3-20、農田 2 區剖面恢復圖，恢復 C/B 界限呈水平面。

3.6.6 紡織廠（圖 3-21）

紡織廠場址位在中央橋旁，地震時形成大面積液化，位於農田 2 區西側。共 3 孔鑽井，南北相距約 60 公尺。

此區域鑽井岩芯可辨識出 A 至 D 岩段，B 岩段可細分為 Ba 與 Bb 兩個次岩段。從各岩段界面深度來看，北側地層界面較低，地層變化位在 FGBH2 井附近。C1 界限高差 4.0 公尺（FGBH1/FGBH3），C/B 界限為 4.6 公尺（FGBH1/FGBH3），B/A 界限為 2.2 公尺（FGBH1/FGBH3）。C/B 界限高差 4.6 公尺可能是 B 與 A 岩段沈積所造成，因為位在抬升側南側 FGBH3 井的 B 與 A 岩段較薄。Ba 次岩段的厚度變化顯示此時造成部分厚度變化，位於抬升側南側 FGBH3 井的 Ba 次岩段厚度 2.4 公尺，位於下陷側的 FGBH1 井的 Ba 次岩段厚度 4.8 公尺。恢復 C/B 界限高差，則 C1 界限在南側 FGBH3 井較低於北側 FGBH1 井約 0.6 公尺。此差異可能地震所造成（圖 3-22）。

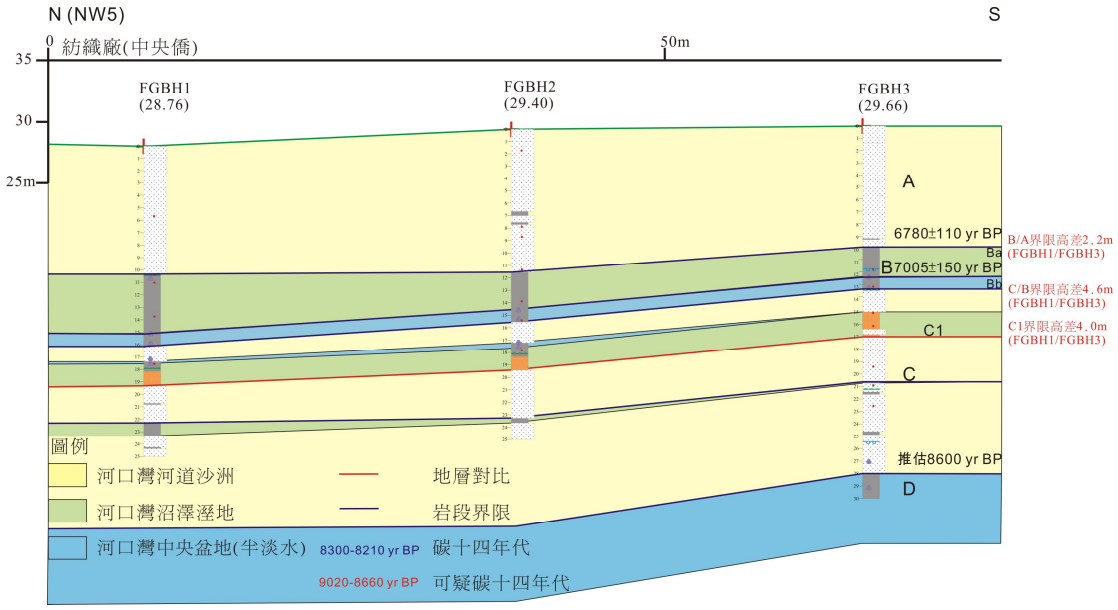


圖 3-21、紡織廠剖面圖。

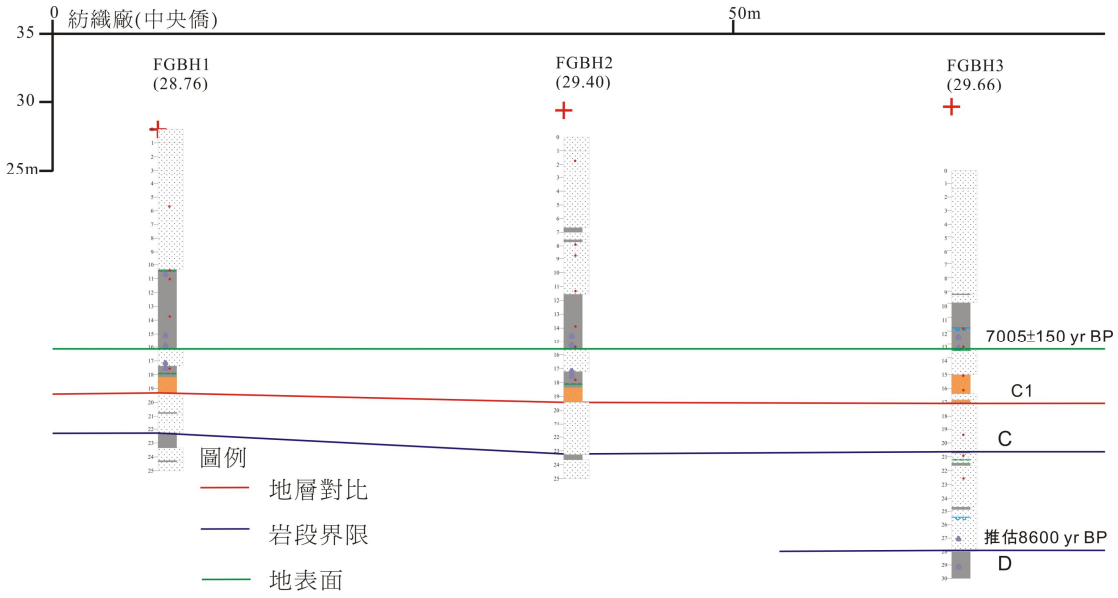


圖 3-22、農田 2 區剖面恢復圖，恢復 C/B 界限呈水平面。

3.6.7 農改所（圖 3-23）

農改所場址位在農改所辦公大樓南側丘陵的線型凹谷中，1946 年地震斷層通過凹谷，走向為 N60-70ºE。本場址共 3 孔鑽井，橫跨斷層走向。北側 NGBH2 井岩性為厚層砂岩夾頁岩，地層傾角約 20-30º，岩層由下至上具密集剪切構造，剪切面傾角大部份呈 50-70º。位於中間的 NGBH1 井岩性以厚層砂岩為主，上下段各有一層厚層頁岩，地層傾角 22-32º，中段岩層以下具密集剪切構造，剪切面傾角大部份呈 50-80º。南側 NGBH3 井岩性以厚層砂岩為主，其間夾厚層頁岩，

頁岩具土壤化；地層傾角 15-35º，岩芯中不具任何剪切構造。從 3 孔鑽井的岩性與剪切構造分析，研判斷層帶至少位於 FGBH1 至 FGBH2 井間，並且可能位在 FGBH2 井以北，剪切帶寬度至少 50 公尺。

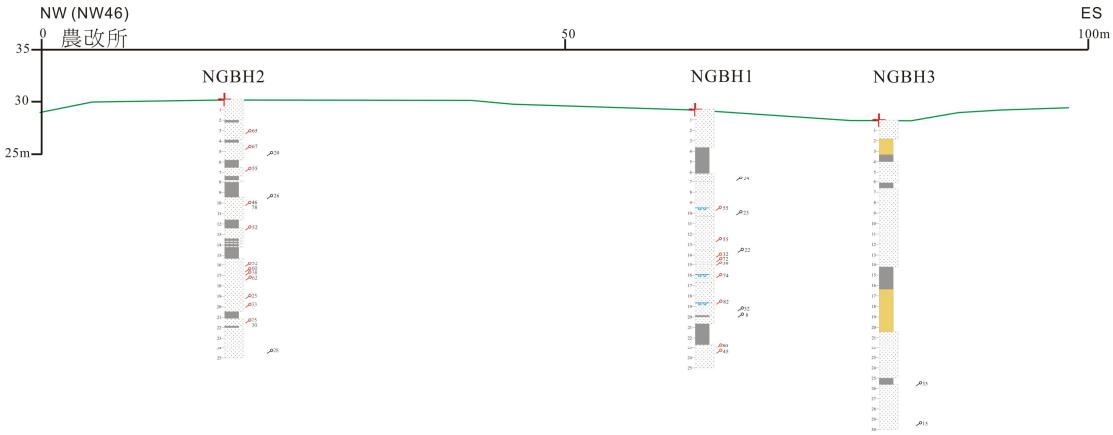


圖 3-23、農改所剖面圖。

3.7 討論

3.7.1 液化構造

本計劃沿新化斷層跡與 1946 年液化區進行 7 處場址的淺層鑽探以及 1 處場址的排鑽，這些區域在不同深度的沈積層當中存在許多液化構造與剪切構造（圖 3-24）。液化構造可視為受到地震波影響產生的構造，因此不一定是鄰近斷層的地震才可以造成，只需要地震震度大，即便震央遠在數十公里外的地震亦可產生。本研究於各岩芯中發現液化構造的上下沈積層都維持水平狀態，液化層厚度約十數公分，是否為地表沈積物形成的液化構造，還是地層當中的液化構造，目前無法非常確定，只能推斷大部分可能屬於地表的液化層。若是如此，液化層則可以視為沈積當時地震所產生，但不一定為新化斷層活動產生的地震。

剪切構造則不同於地震引發的液化構造，其必須經斷層活動造成地層變形才會形成。但被斷層截切的地層應在斷層活動時已經沈積，所以被剪切擾動沈積層的年代並非地震發生年代，地震發生年代應年輕於沈積年代。以下將描述各場址沈積同時的變形構造，討論與新化斷層活動的關係。



圖 3-24、畜產所 1BH2 岩芯中的剪切構造。

畜產所 1、2、3 區位於同一區域（圖 3-25，圖 3-26，圖 3-27），此區域沈積層發生液化主要在 B 岩段與 C 岩段中，A 岩段未發現任何液化構造（岩性屬於砂層），D 與 E 岩段則少數岩芯可以發現。畜產所 1 區的 B 岩段中普遍存在液化構造，鄰近的畜產所 3 區僅有一處，畜產所 2 區未發現。C 岩段中的液化構造普遍存在，但畜產所 3 區則都出現在 C 岩段下部及 E 岩段。這種小區域性的液化現象（數十至百餘平公尺範圍），如 B 岩段的液化構造大都位於同一砂層中，是否屬於地表液化是值得探討的現象。假若 B 岩段的液化構造屬於地層當中的液化構造，則上覆的 A 岩段必然會發現脫水構造如砂脈或擾動現象，但是 A 岩段中皆未發現任何擾動現象，所以推測屬於沈積同時的地表液化現象。

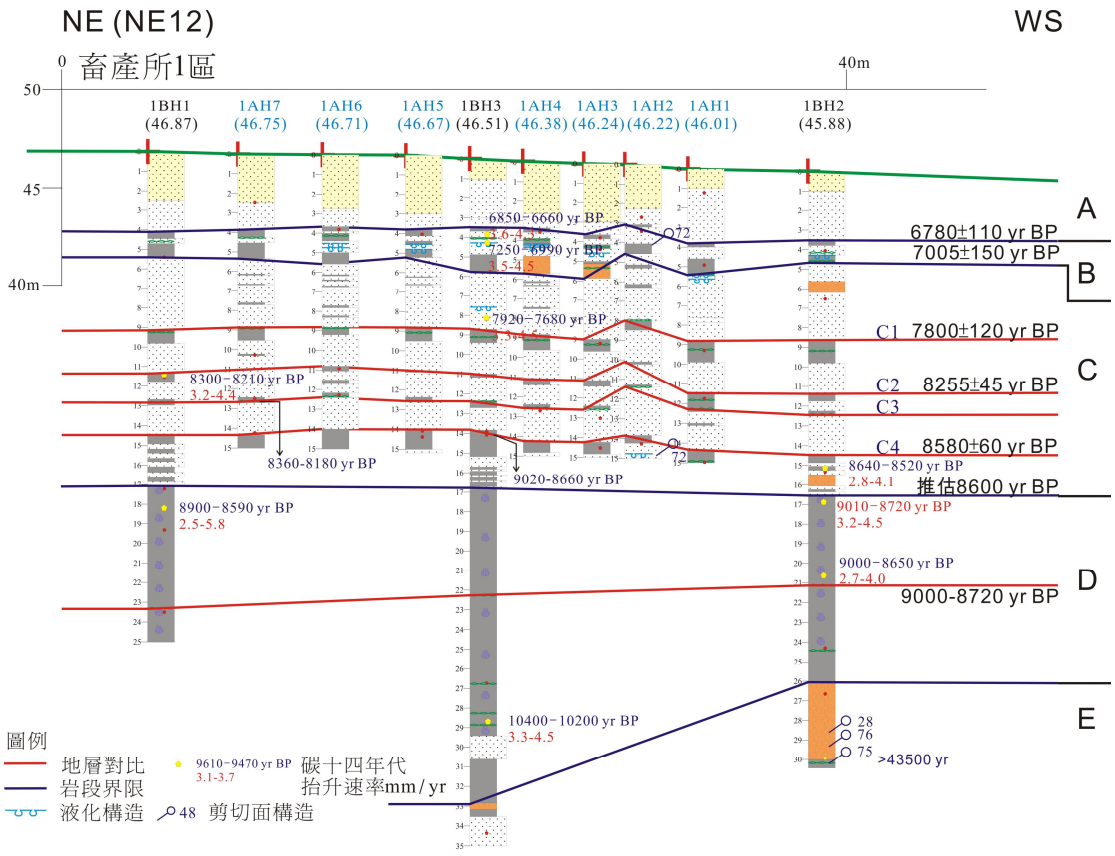


圖 3-25、畜產所 1 區岩芯剖面中的液化、剪切構造。

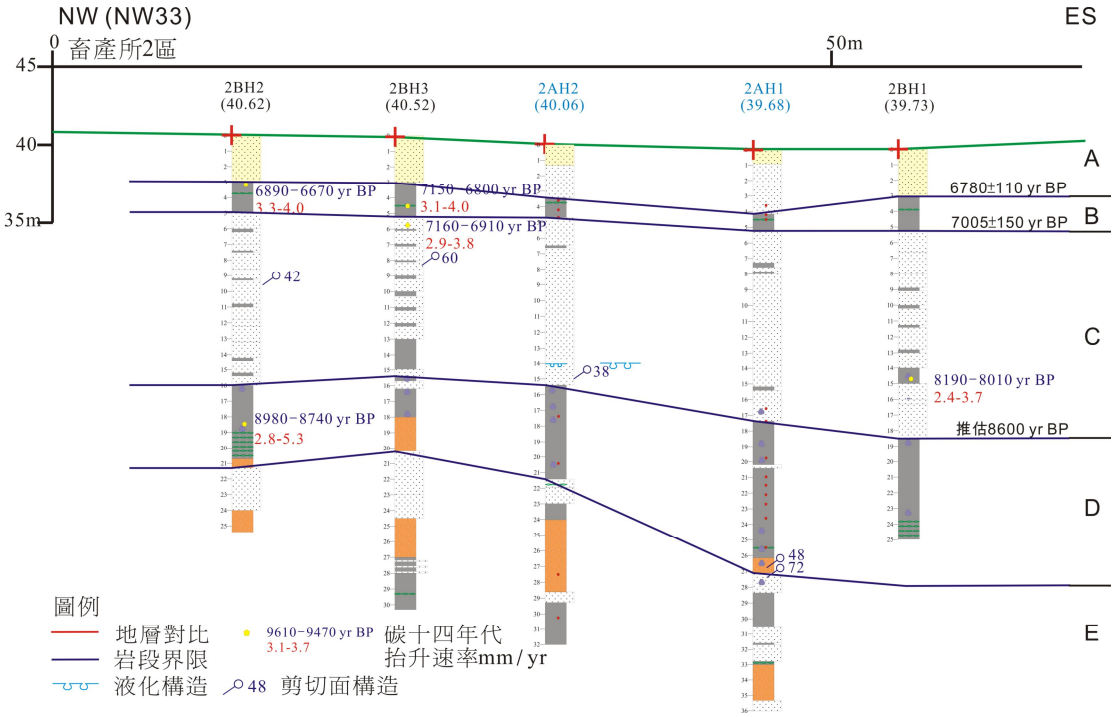


圖 3-26、畜產所 2 區岩芯剖面中的液化、剪切構造。

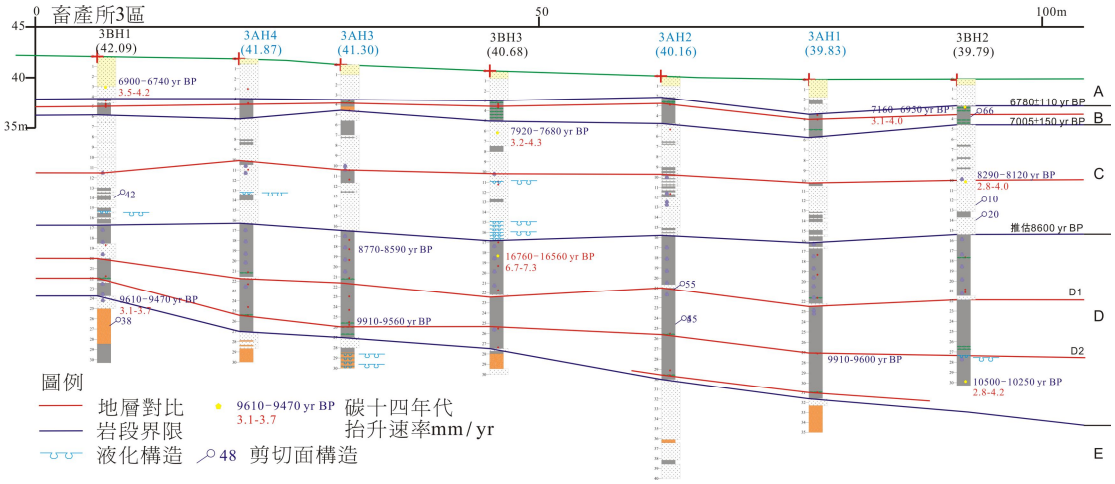


圖 3-27、畜產所 3 區岩芯剖面中的液化、剪切構造。

農田 1、2 區（圖 3-28，圖 3-29）與紡織廠（圖 3-30）都是 1946 年地震的主要液化區域，但地下沉積層僅零星出現液化構造，且地表的淺層砂層也不見 1946 年地震造成的液化構造（地表約 1 公尺深屬於耕作土層）。推測張麗旭等（1947）描述的噴水與噴砂構造，可能僅有數公尺或數十公分範圍，所以鑽井無法有效發現小範圍的擾動構造。因此，本研究推測畜產所 1 區 B 岩段中液化構造可能屬於地表淺層的液化現象，年代約 7,250-6,990 cal BP。畜產所 3 區下部 C 岩段中液化構造亦可能屬於地表淺層的液化，年代約 8,400-8,600 cal BP。

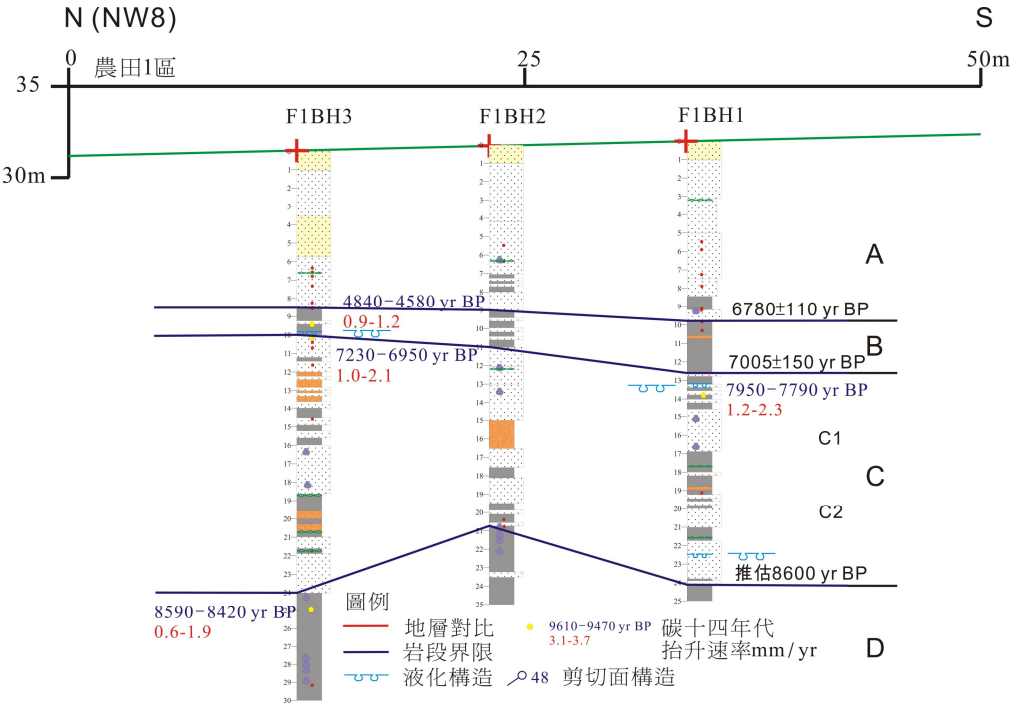


圖 3-28、農田 1 區岩芯剖面中的液化、剪切構造。

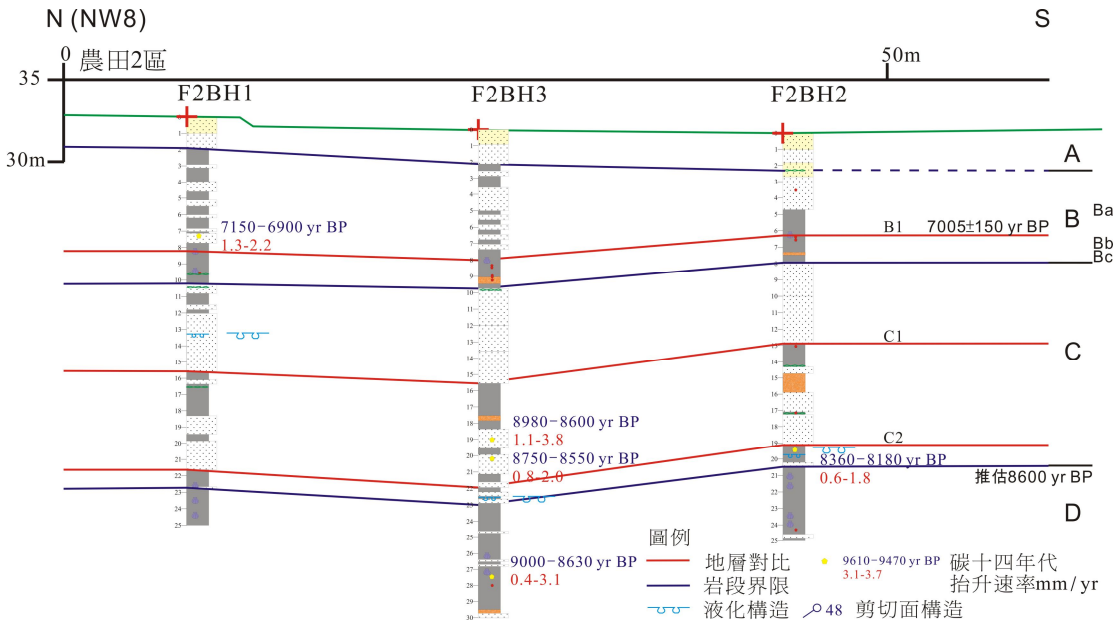


圖 3-29、農田 2 區岩芯剖面中的液化、剪切構造。

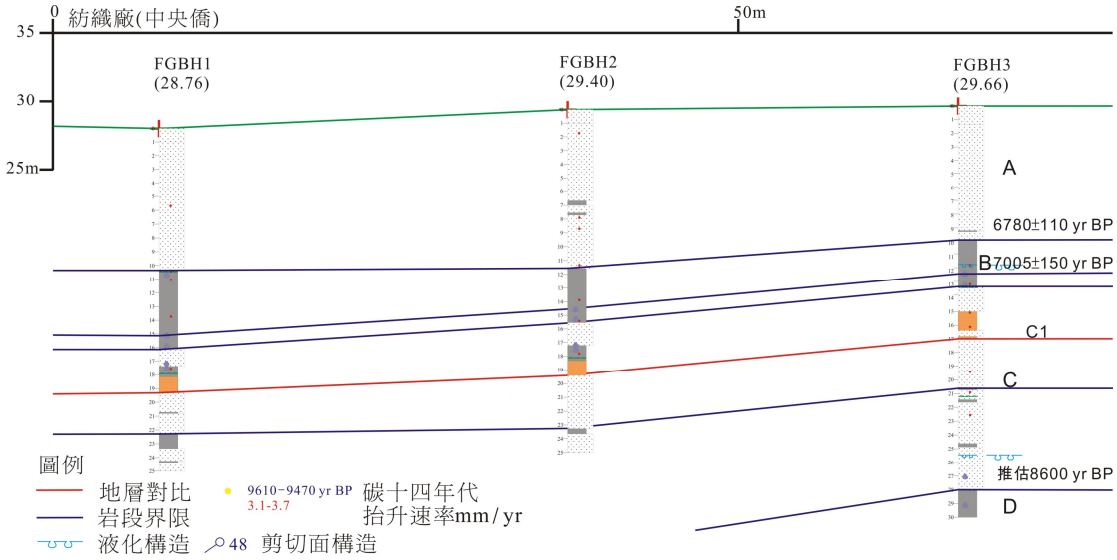


圖 3-30、紡織廠岩芯剖面中的液化、剪切構造。

3.7.2 剪切構造

剪切構造主要分布在農改場與畜產所的鑽井岩芯中，農改場的 NGBH1 與 NGBH2 井中有密集剪切構造（圖 3-31）；畜產所 1 區的 1AH2 與 1BH2 井（圖 3-32）；畜產所 2 區的 2BH2、2BH3、2AH1 與 2AH2 井（圖 3-33）；畜產所 3 區的 3AH2、3BH1 與 3BH2 井（圖 3-34）。在 1946 年地震斷層西側液化區域的農田 1 區、農田 2 區與紡織廠的鑽井都未見剪切構造，顯示長期以來此區域可能呈現沉積層的變形，斷層尖端未截穿至淺層沈積層。

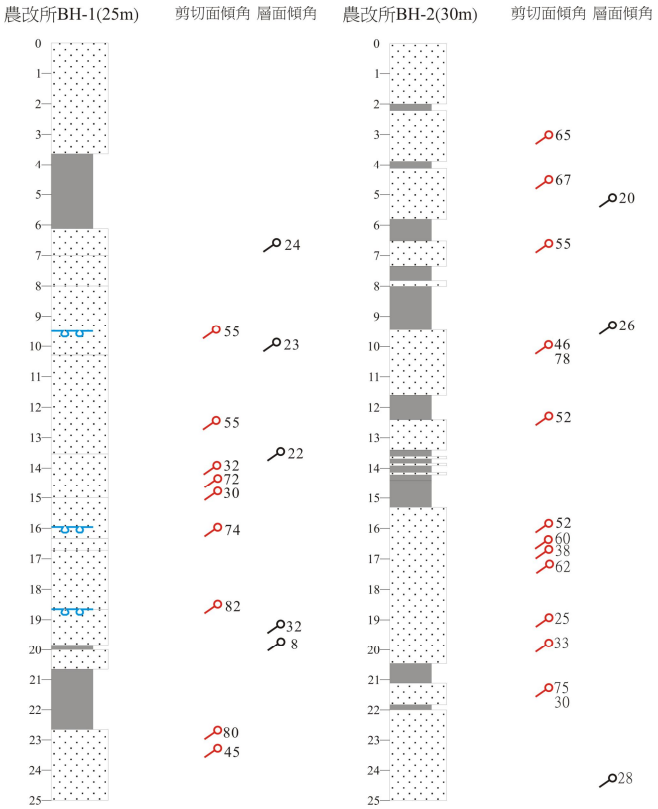


圖 3-31、農改場岩芯中的剪切構造分布。

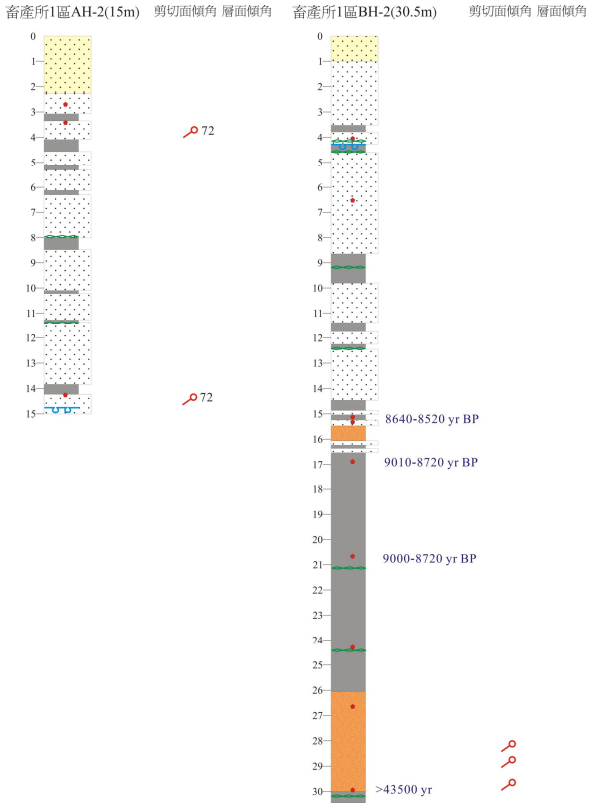


圖 3-32、畜產所 1 區岩芯中的剪切構造分布。

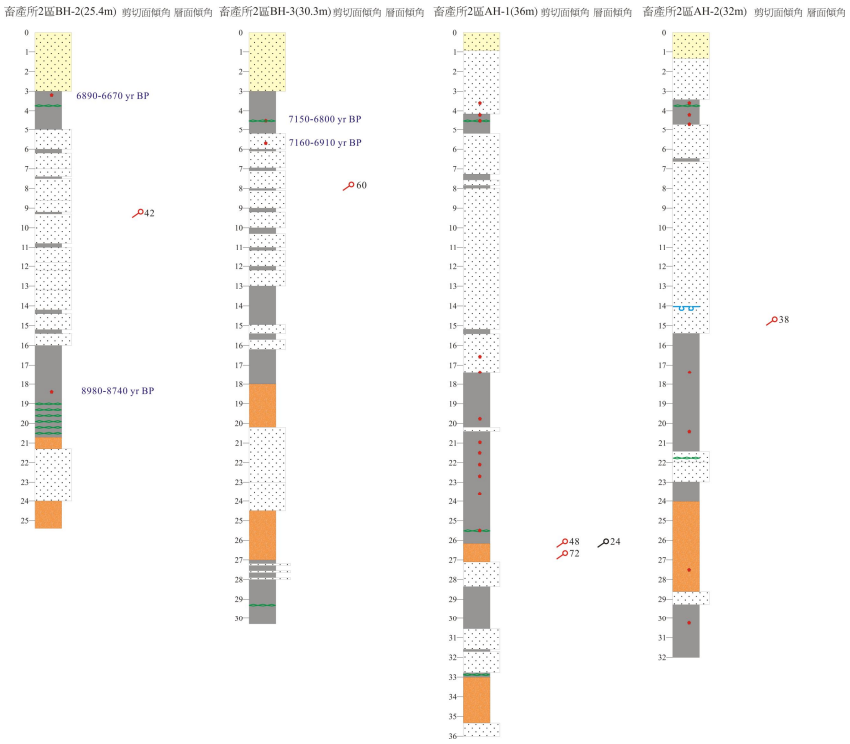


圖 3-33、畜產所 2 區岩芯中的剪切構造分布。

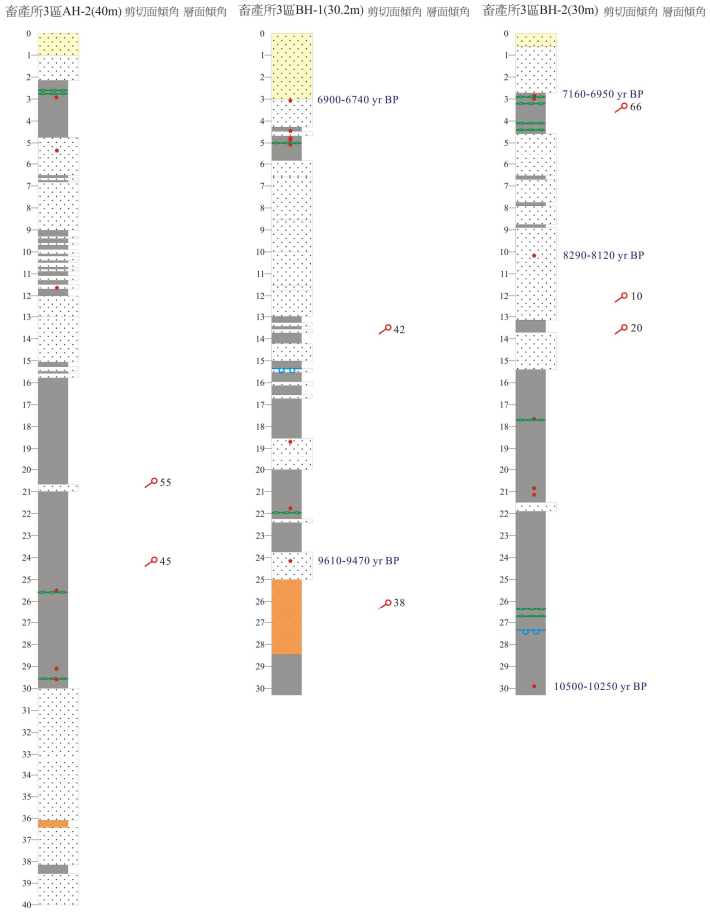


圖 3-34、畜產所 3 區岩芯中的剪切構造分布。

畜產所 2 區 2AH1 井的剪切構造位於 D 岩段底部；2BH2、2BH3、與 2AH2 井的剪切構造位於 C 岩段。畜產所 3 區 3BH1 與 3BH2 井的剪切構造位於 C 岩段；3AH2 井剪切構造位於 D 岩段，另外 3BH1 井的剪切構造亦見於 E 岩段中。雖然，這些剪切構造都是新化斷層活動產生，但活動時間無法利用剪切面與沈積層截切關係說明確切發生時間，僅能說明在沈積層堆積後造成的構造。從剪切構造分布的井位與深度，可說明在 E 岩段沈積後（約 10,000 年以來）應該有多次活動事件，並且剪切帶寬度至少達 100 公尺（畜產所 3 區的 3BH1 至 3BH2 井）。

3.7.3 變動速率

本計劃利用各岩芯的碳十四定年年代，古環境深度以及沈積當時古海面高度等關係，估算各井的地殼長期抬升速率。結果顯示斷層跡兩側的抬升速率無法區別，畜產所區域抬升速率 3-4.5 mm/yr（圖 3-25，圖 3-26，圖 3-27），畜產所西側農田區（圖 3-28，圖 3-29）與紡織廠（圖 3-30）抬升速率 0.8-2.3 mm/yr。此結果顯示新化斷層東側變形帶（1946 年地震斷層跡西側的畜產所）抬升速率大於西側液化區域。

從沈積層界限深度來看，確實發現斷層兩側的界限深度有明顯的差異與變形，為何斷層跡兩側的抬升速率無法明顯區別？此結果最重要因素是在估算抬升速率的數值，有三個參數具有誤差值，分別為碳十四年代、古海面高度與古環境深度。因此，每一個標本點所計算的抬升速率必然具有相當的誤差值，而無法明顯區別斷層跡兩側的抬升速率差異，但依據沈積層界限來看，是斷層跡兩側具有不同的抬升量。

3.8 結論

從 GPS 觀測資料分析現今台南地區的地殼變形（1999 年 1 月－2000 年 8 月；侯進雄等，2002），顯示新化斷層兩側變形呈現很大差異，南側地塊朝西偏南 10º 移動，平均每年位移量約 37 公厘，北側亦朝西偏南 10º 移動，平均每年位移量約 18 公厘；顯然震間變形在斷層南側相對於北側地塊每年具 19 公厘朝西

偏南 10º 方向的錯移。

GPS 觀測資料顯示現今地殼變形（震間變形），斷層兩側地殼位移方向為 W10ºS（N80ºE），與第一區段（東段）與第三區段（西段）的走向相同，但與第二區段（中段）斷層跡走向呈 10º 夾角。新化斷層屬於右向平移斷層，而斷層中段的斷層跡走向呈現左轉，所以中段區域於斷層活動時會產生擠壓作用，形成壓力脊地形。東西兩段的斷層跡走向與主應力方向平行，斷層帶結構會呈現拉張作用，形成拉張盆地，從槽溝剖面揭露的斷層型態以及淺層震測剖面都呈現開花狀拉張構造（陳文山等，2002，2004；石瑞銓，2003；黃勝群，2004）。因此，新化斷層西側（第三區段）位於沖積平原區的斷層跡兩側幾乎沒有任何隆起地形，僅呈現平坦的沖積平原。其原因是此區段斷層活動型態屬於拉張作用，但鄰近斷層帶的變形可能呈現局部抬升現象。從 1946 年台南地震的地表破裂或變形痕跡分析，西側斷層跡（盲斷層）沿線呈現大規模噴砂與噴水現象，顯示淺層沉積物中含大量地下水。鑽井資料分析亦顯示此區域淺層地層屬於全新世沉積層，與東段及中段斷層兩側地層屬於晚更新世崎頂層有明顯不同。

第四章、米崙斷層

4.1 前言

米崙臺地位於花蓮市東北方，臺地上形成多重海階，並於臺地西南側形成高起的美崙山，美崙山北側的階地西側形成一走向呈 N40ºE 的階地崖。1951 年 10 月地震時，沿著崖腳產生斷裂。楊蔭清（1953）報導指出，1951 年花蓮地震的地表破裂線自七星潭海岸起，經花蓮機場南邊公路，再經米崙山下忠烈祠的橋頭後分成三段：第一段經明禮國小至南濱；第二段經過花蓮法院、中正堂、德昌商店，再經鐵路車庫及員工宿舍至南濱水門；第三段經過郵局、明進醫院，再沿市場旁鐵路經過中華路盛和行、益和米店後與第二段會合；徐鐵良（1955，1956）將此斷層稱為米崙斷層。由於米崙斷層屬於第一類活動斷層，且數十年來沿斷層的地震頻繁，能屬於活動性較高的斷層，因此本研究目的為調查斷層活動週期與長期變動速率，而進行古地震槽溝挖掘。

4.2 地質地形

花蓮市鄰近地形由花蓮溪與米崙溪沖積而成，呈現寬平沖積扇，平原東側形成全新世隆起的米崙臺地。臺地表層由晚全新世海灘相砂礫層與珊瑚礁構成，以交角不整合在晚更新世米崙礫岩之上。米崙臺地－花崗山的西側與沖積平原間形成一線型斷層崖，北段走向呈 N55º -60ºE，從七星潭海岸沿現今米崙臺地西側崖坡（機場內），經東華大學（花蓮師範學院）大門內水塘，之後再向西南沿著美崙山西側經美崙溪；臺地面與沖積平原高差由北而南約從 20 公尺至 40 公尺。南段走向呈北西 10º 的線型崖，由美崙溪朝東南延伸，經明禮國小，花蓮署立醫院後側的崖坡，再經明禮路至花崗國中內，沿著花崗山西側崖坡；此線型崖地形由七星潭至南濱海堤全長 8 公里。

依照 1951 年記錄的地表變形位置（楊蔭清，1953；徐鐵良，1955），北側區段從七星潭海岸沿著崖坡下側（機場內），經東華大學大門內水塘，之後再向西南沿美崙山西側，此斷層跡位置與線型崖（斷層崖）地形特徵吻合。

米崙山以南至花蓮市區域，共分三條地表變形帶：

其一，自米崙山南側穿過米崙溪，經過明禮國小—花蓮署立醫院大門前（中

正路與明禮路路口）—明禮路西南側，再轉向東南側經花崗國中大門（公園路與明禮路路口），穿越校區至花崗山山頂，再轉向南側至南濱公園入海（圖 4-1）。

其二，自米崙山南側，分岔朝西南側，穿越中正路（中華電信東側），再經中山路與中華路路口，之後經舊火車站，由南濱公園入海（圖 4-1）。

其三，位於最西側，自米崙山南側分岔朝西南側，距離第二條變形帶西約百餘公尺，經中華電信後穿越中山路，至中華路與大禹街路口，沿著舊鐵道至舊火車站與第二條變形帶連接（圖 4-1）。

依據 1951 年花蓮地震所繪斷層跡位置，此三條地表變形帶與現存地形沒有關係，本研究將於下節中針對 1951 年花蓮地震地表破裂帶與現存地形崖的關係作討論。

依據 1951 年花蓮地震所紀錄地表破裂的幾何型態或地表變形分析，米崙斷層應屬於左移斷層，同震變形表示上盤（東側）抬升約 1.2 公尺，並朝東北水平位移約 2 公尺（楊蔭清，1953；徐鐵良，1955）。徐鐵良（1955）敘述米崙山西側一帶，產生西北走向的地裂；另外在北埔飛機場南端與南濱海堤一帶產生地陷，也顯示米崙斷層屬於左移斷層（Bonilla, 1977）。

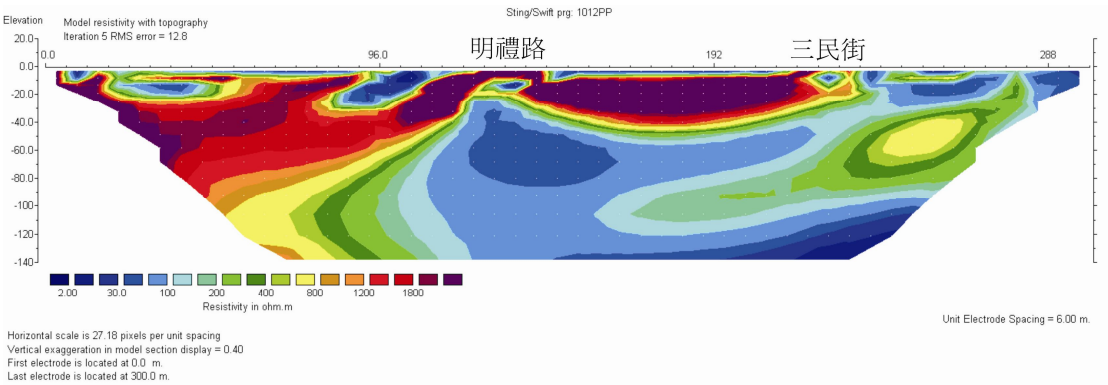
於前人紀錄的米崙斷層跡沿線進行地電阻與淺層反射震測調查（石瑞銓等，2004），指示斷層跡通過東華大學大門。地電阻探勘（圖 4-2）顯示其通過花崗國中前公園路與明禮路路口，沿著公園路兩側地電阻反應呈現明顯差異（圖 4-3）。



圖 4-1、1951 年花蓮地震地表變形帶位置，橘線位置與明禮國小以北紅線的位置；紅線為地形崖位置及 e-GPS 量測位置。（TWD97）



圖 4-2、花崗山區域放大圖（圖 4-1 黃框範圍）；紅框為花崗山槽溝、鑽井範圍，綠點為鑽井位置，籃框為地電阻探勘測線範圍，紅線為地形崖位置及 e-GPS 量測位置。（TWD97）



Pole-Pole Array施測成果(RES2DINV逆推軟體)
黃進淇 嘉進地質大地技師事務所
陳宜傑 霖昌工程有限公司

圖 4-3、地電阻施測成果，明禮路兩側呈現明顯差異。

4.3 斷層跡調查與 e-GPS 測量

本計畫調查目的著重米崙斷層全線斷層跡的地形勘查與斷層跡 e-GPS 測量，並利用鑽井調查斷層跡。依據米崙斷層的地形特性，分為二個區域來討論：

一、七星潭經機場至東華大學教育學院校區，至台 9 線公路，再至米崙山北端。

七星潭經機場至東華大學教育學院區域具明顯的線形崖地形，1951 年地震變形帶沿此崖坡下產生錯移。因大部分斷層跡位在空軍機場內無法進行 e-GPS 測量，所以僅依據地形測繪，但南北兩端都存在明顯的崖線，北端的七星潭及南端東華大學教育學院（大門水池）都進行 e-GPS 測量，此區段量測的斷層跡的誤差範圍可在兩側各 10 公尺內（圖 4-1）。

東華大學教育學院（大門水池）至台 9 線公路，再至米崙山北端區域，受到米崙溪的侵蝕或其它構造作用，地形不明顯，此區段斷層跡位置誤差範圍可達兩側各 50 公尺。

二、米崙山北端沿山體西側經忠烈祠、明禮國小、花蓮署立醫院，再沿花崗山西側坡崖至南濱公園海岸。

米崙山西側坡崖（圖 4-4）經忠烈祠、明禮國小、花蓮署立醫院，至花崗山西側坡崖，地形崖較明確，但與 1951 年地震變形帶的位置差異非常大，本研究認為前人所測繪 1951 年地震變形帶位置是值得深入探討。

依據 1951 年地震變形帶（東側變形帶）位置（楊蔭清，1953），中正路以南區段是不位在崖坡下，而位於較西側的平坦區域（中正路至公園路），之後於花崗國中（公園路與明禮路路口；圖 4-5）轉向花崗山之上，此地表變形帶似乎無法從構造地形的觀點解釋它的構造意義。因此，本研究乃以構造地形的特徵為依據，在花崗山西側的崖坡下進行古地震槽溝挖掘，印證此崖坡是否為米崙斷層跡位置。

中正路以南區域，本研究是依循構造地形崖的位置進行 e-GPS 測量，誤差範圍可在兩側共 20 公尺內（圖 4-1）。



圖 4-4、米崙山西側坡崖（台九線公路）為斷層跡位置。（朝東南拍攝）



圖 4-5、花崗國中大門，公園路與明禮路路口，斷層跡經過白色車輛附近。（朝東北拍攝）

4.4 鑽井與古地震槽溝

本研究沿著米崙斷層跡進行五處的淺層鑽探，兩處排鑽，以及兩個古地震槽溝。淺層鑽探場址分別位於於七星潭、東華大學（2 處）、大陳新村、花崗山西坡（圖 4-6）等處，而兩處排鑽及兩個古地震槽溝位置則皆位於花崗山西坡的場址。由於大陳新村至七星潭沿線區域的淺層沉積物都為近代海灘相的小礫石層，其中沒有細粒的沙泥膠結物，所以淺層鑽探取芯率不佳，無法進行剖面對比，因此針對花岡山西坡的場址進行淺層鑽探、排鑽及古地震槽溝的綜合分析。



圖 4-6、斷層跡通過花崗山西側崖坡，槽溝位在右側軒轅派出所後方空地。（朝東拍攝）

花崗山場址位在花崗國中南側，軒轅派出所後側的崖坡，在崖坡上下兩側進行兩孔深約 50 公尺與 30 公尺的淺層鑽井，同時在此地點的兩處槽溝兩側配合各 4 孔排鑽，分別為各 3 孔 10 公尺與 1 孔 15 公尺鑽井，因而此場址共有 10 孔鑽井（圖 4-2，圖 4-7）。以下分別就鑽井以及槽溝剖面沉積層的岩性先進行分層描述，再就岩性做對比。

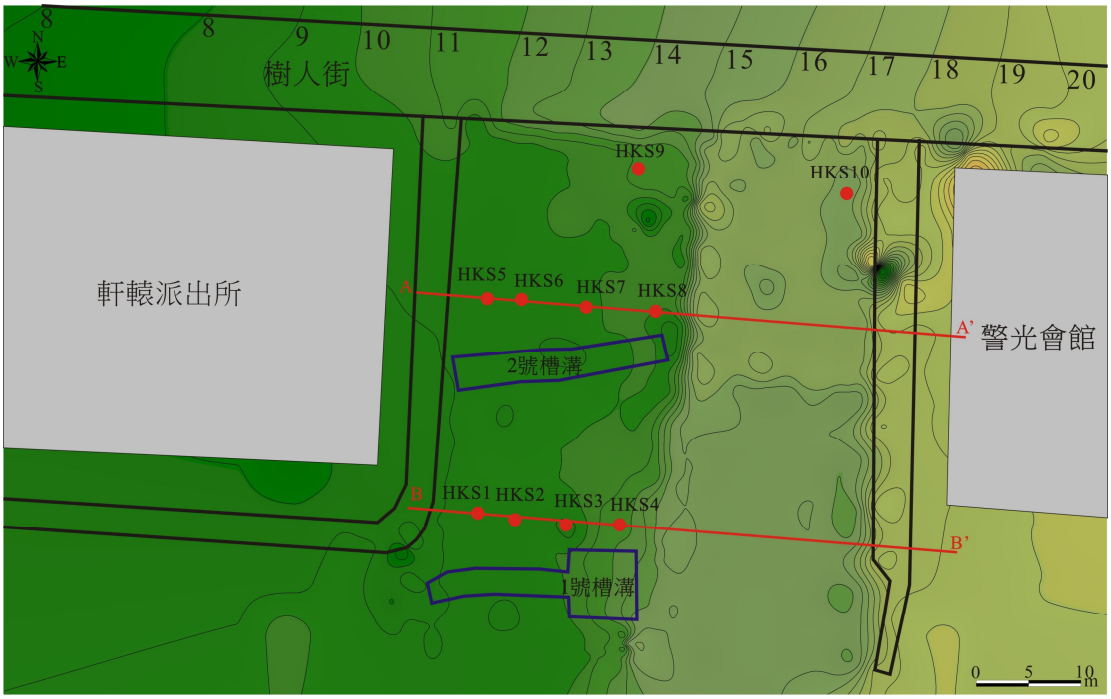


圖 4-7、花岡山場址槽溝與鑽井位置圖，位置如圖 4-2 所示，紅線為剖面位置。

4.4.1 古地震槽溝

本計畫在花崗山西側崖坡下進行兩處古地震槽溝挖掘，花崗山一號槽溝與二號槽溝，各挖掘 1-2 階，深度 2-3 公尺，兩處槽構相距約 18 公尺（圖 4-7）。兩槽溝剖面出露沉積層層序相同，各可以分辨出七層沉積層，由上而下如下。

O 層：灰黑色泥質砂層，含大量有機物質，厚度約 30-50 公分。碳十四定年年代為 290-0 cal BP（HKS1-012）、280-0 cal BP（HKS2-003）、510-330 cal BP（HKS1-008）、660-540 cal BP（HKS1-006）。由年代分析結果，O 層沉積年代為 660 cal BP 至近代（＜300 cal BP）。

S2 層：土黃色泥質砂層，出露厚度約 50 公分，超覆沉積在下部 M1 層之上，呈現交角不整合。

M1 層：呈現微風化泥層，厚度僅約 10-20 公分，一號槽溝內分布於槽溝西端至中央處，呈現朝東傾斜；二號槽溝內分布於槽溝東側至中央處，呈現朝西傾斜。

S3 層：淘選度良好的中粒砂層，夾有透鏡狀粗粒砂層，層面同樣呈現朝東(一號)與朝西(二號)傾斜。碳十四定年年代為 1,820-1,630 cal BP（HKS2-005）。

SG 層：礫石層，礫石直徑約 1-3 公分，淘選度良好，屬於河流環境，出露在兩處槽溝最底層，層面同樣呈現朝東(一號)與朝西(二號)傾斜。

花崗山一號槽溝位於場址南側，全長 19 公尺，深度 2-3 公尺（圖 4-8，圖 4-9）。槽溝剖面的地層結構，呈現 M1 層以下沉積層（S3 層與 SG 層）在槽溝的中央都呈現褶皺變形，地層朝東傾斜 20º；之上堆積的 S2 層超覆堆積在 M1 層之上，呈交角不整合。顯然在 M1 層沉積之後，地層受到構造活動而褶皺變形。M1 層朝東傾斜後，逐漸變為平緩，垂直變形高度差約 120 公分。超覆堆積在 M1 層與 S2 層之上的 O 層呈現水平狀態，沒有變形。

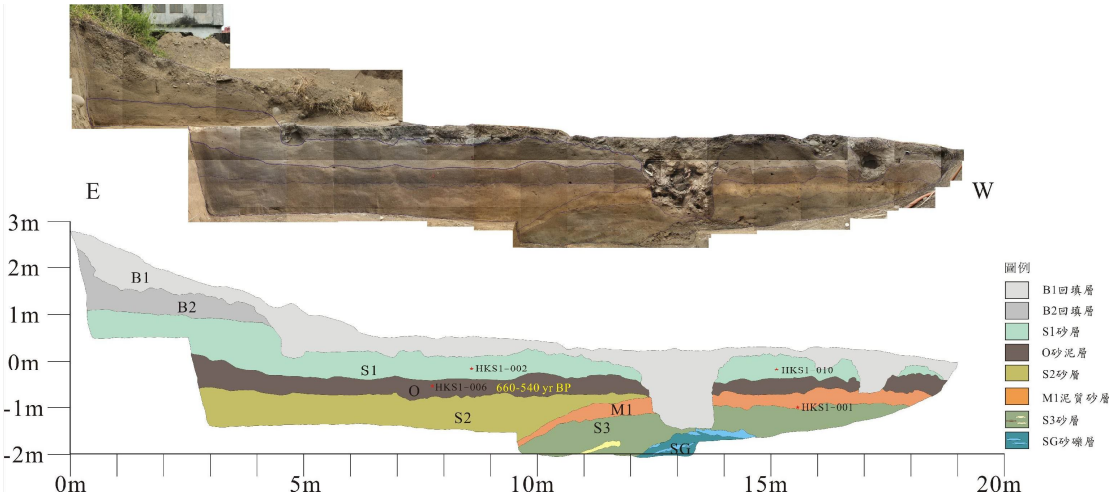


圖 4-8、花崗山一號槽溝南牆。

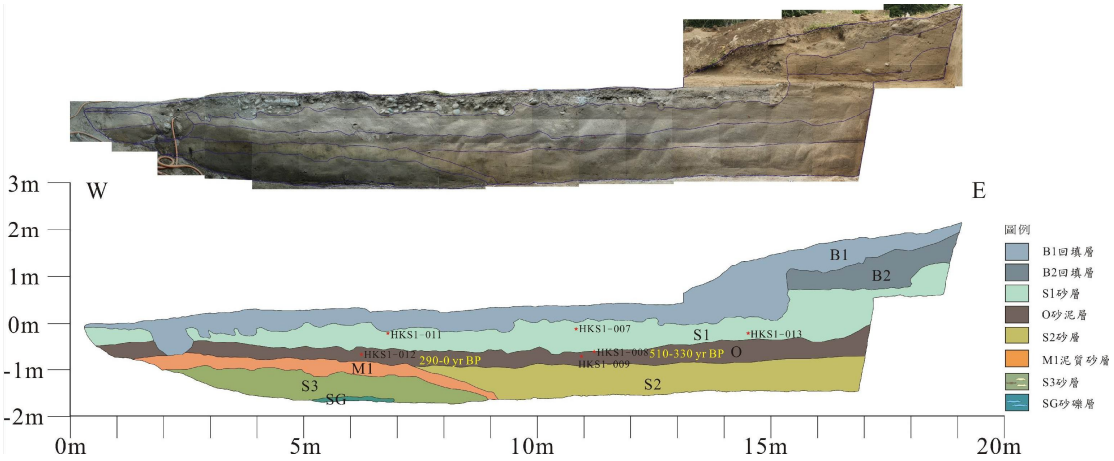


圖 4-9、花崗山一號槽溝北牆。

花崗山二號槽溝位於此場址北側，全長 19 公尺，深度 2 公尺（圖 4-10，圖 4-11）。由於此處地表受人為擾動，且擾動深度較深範圍較大，乃至部份地層的延伸性不清楚。從槽溝剖面呈現的完整性而言，北牆保存較佳。從北牆剖面來看（圖 4-11），與花崗山一號槽溝剖面呈現同樣結構，M1 層以下地層呈現褶皺彎曲，但沉積層傾斜方向相反，朝西傾斜 20º。S2 層超覆堆積在 M1 層之上，O 層超覆堆積在 M1 與 S2 層之上，但在東側褶皺上盤的高度顯然高出下盤約 70 公分，似乎在 O 層沉積之後還受構造變動影響；而 SG 層高差至少有 300 公分。

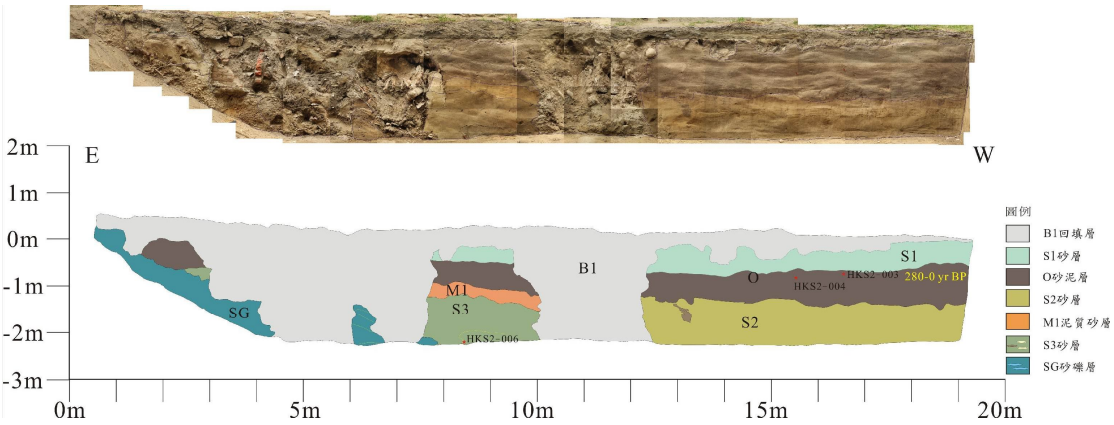


圖 4-10、花崗山二號槽溝南牆。

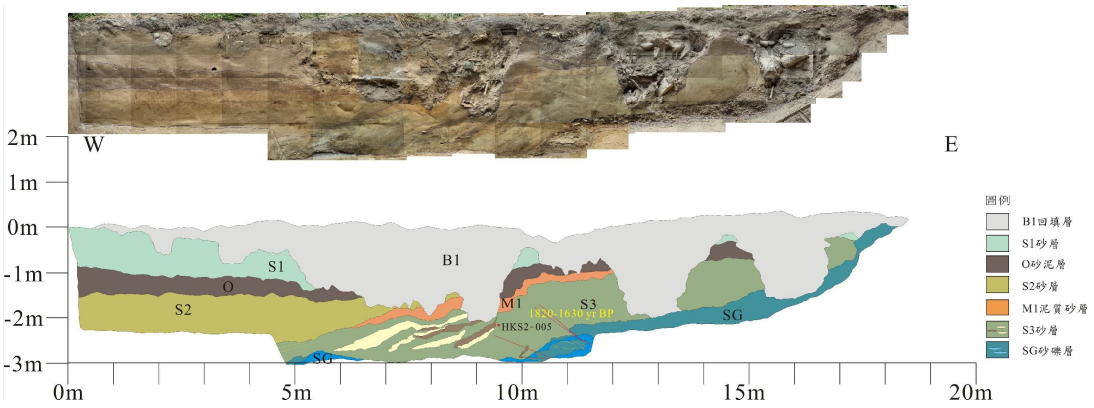


圖 4-11、花崗山二號槽溝北牆。

4.4.2 鑽井岩芯紀錄

由 A-A'剖面的花崗山五號、六號、七號至八號井，以及花崗山九號與十號鑽井岩芯的地層對比，於花崗山五號至八號井之間 SG 層與 SS 層界面對比，顯示之間呈現垂直位差有 4.7 公尺（圖 4-12）。顯示在 SG 層或 SS 層沉積之後或沉積當時已經受到構造作用影響。

花崗山九號至十號井的 SS 層與 G 層之間形成交角不整合的沉積關係，SS 層的地層傾角 12-18º，而之下 G 層的地層傾角較大。花崗山九號的 G 層傾斜 18-35º，花崗山十號的 G 層傾斜 35-45º；此外兩井中都具局部剪切構造。

由 B-B'剖面的花崗山一號、二號、三號至四號及十號，S1 層、O 層、S 層、SG 層與 SS 層都朝東逐漸變深且傾斜（圖 4-13），經過崖坡之後與花崗山十號的對比，顯示地層受到變動呈現抬升與朝西傾斜，SG 層與 SS 層界面的高差為 3 公尺（花崗山一號與十號井），表示崖坡之下（西側）地層已受擾動。

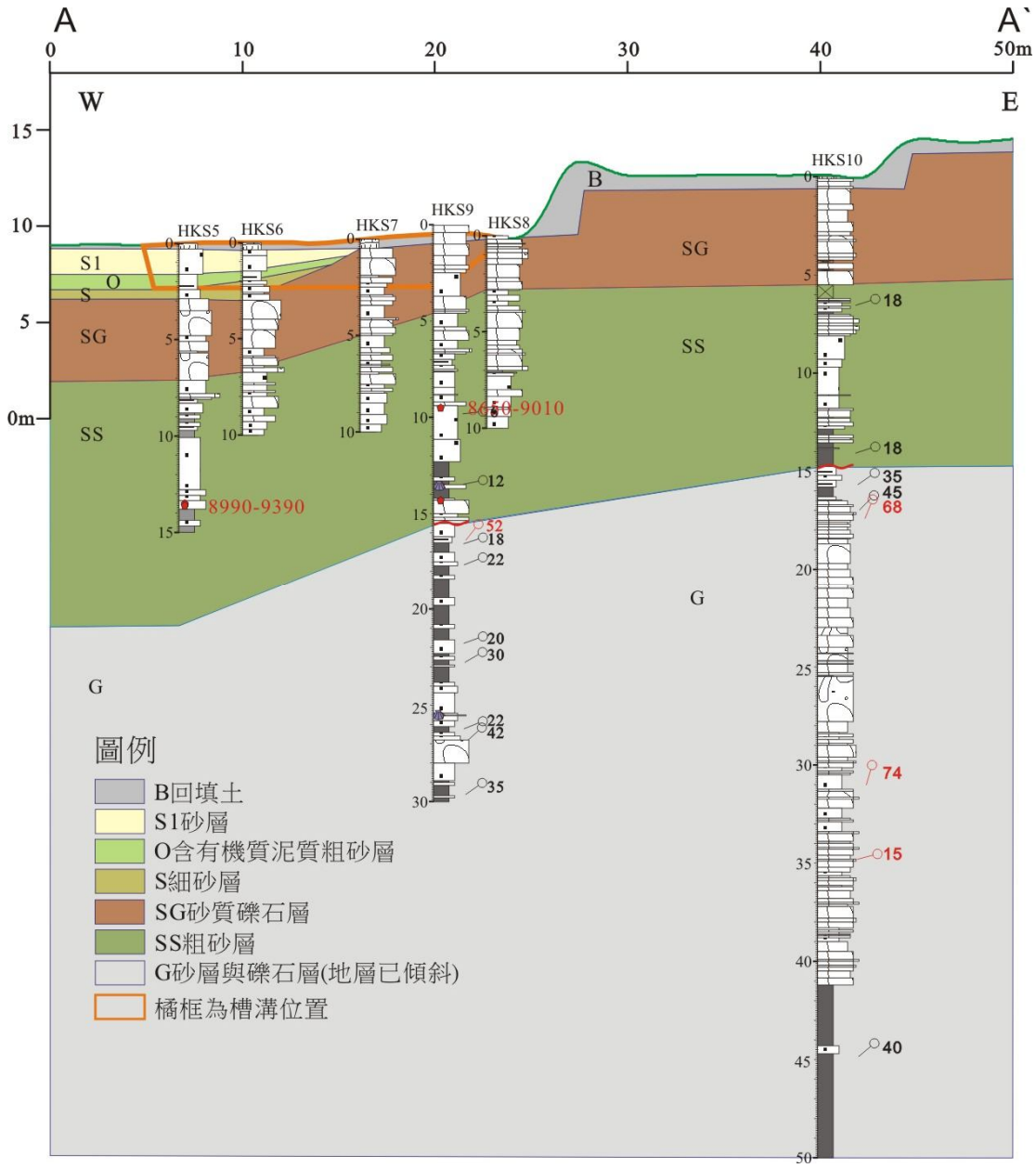


圖 4-12、花崗山 A-A`鑽井剖面，橘框為槽溝範圍。（位置見圖 4-7）

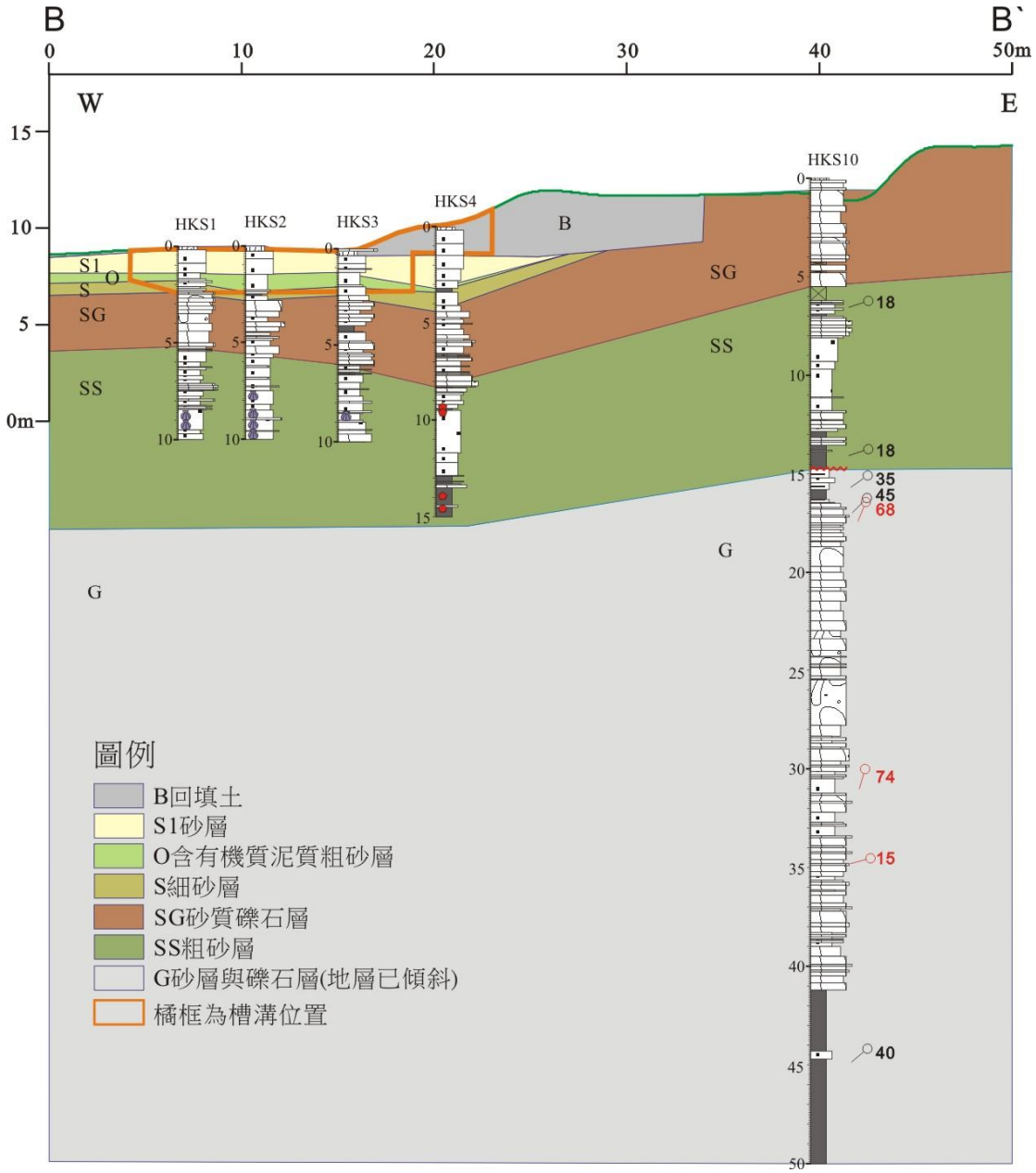


圖 4-13、花崗山 B-B`鑽井剖面，橘框為槽溝範圍。（位置見圖 4-7）

4.5 討論

4.5.1 米崙斷層跡位置

從 1951 年斷層跡位置，經市區的三條斷層跡（朱傚祖等，1995）沿線地形似乎沒有呈現構造地形特徵。本研究認為繪於市區的斷層是否存在有幾種可能原因，一是所繪斷層跡為地表結構物受損較嚴重的地點以及地裂或液化地點，不是斷層在地表破裂的痕跡。另一則是可能為米崙斷層首次的地表破裂跡，由於沒有長期構造變動累積，而未產生明顯構造地形特徵。

雖然，這兩種推測都具可能性，但基於斷層長期活動大多還是沿著既有破裂帶活動的特性，如北段 1951 年斷層跡還是沿著斷層崖產生破裂。本研究認為米崙斷層跡位置應以長期活動位置為準，所以應繪於米崙臺地、米崙山及花崗山西側崖線附近，這也是本研究為何槽溝場址選擇在花崗山西側崖坡下的原因。

4.5.2 古地震研究

從古地震槽溝剖面的地層分析，M1 層沉積之後，地層產生褶皺變形；O 層（660－<300 cal BP）在花崗山二號槽溝北牆呈現變形，垂直變形量至少 80 公分，應在沉積後受到斷層活動影響；但花崗山一號槽溝中卻呈現水平狀態，推測近期變形帶可能發生在一號槽溝剖面東側，尚未挖掘到。

從兩處槽溝沉積層的變形來看，其褶皺變形的傾向相反，顯然主要變形帶位於一號與二號槽溝的變形帶之間，從變形型態特性分析，認為是拉張作用造成的沉陷構造。從斷層跡走向以及當時紀錄的左移活動型態，斷層走向在米崙山南端處的美崙溪附近呈現右轉，顯然美崙溪至南濱公園的斷層區段應屬於受到橫移拉張變形的構造環境；與槽溝呈現的拉張變形型態吻合。

4.6 結論

米崙斷層的斷層跡應沿著米崙臺地、米崙山與花崗山西側崖坡分布。從槽溝地層剖面分析，約 1,820-1,630 cal BP（HKS2-005）以來，至少造成斷層東側形成 4 公尺（SG 層）高差（長期抬升速率＞2.45 mm/yr）。300 年內以來，垂直變形量至少 80 公分（O 層）。

米崙臺地表面的全新世沉積物為海灘相砂礫石與局部珊瑚礁，位於海拔高度 12 公尺珊瑚礁的碳十四定年年代為 2,620-2,300 cal BP（Yamaguchi and Ota, 2004），採用此珊瑚礁定年年代的長期抬升速率估算，長期抬升速率約 5 mm/yr。

由槽溝剖面的變形分析，長期以來此崖坡就受到米崙斷層活動影響，二號槽溝北牆的 O 層（660－<300 cal BP）呈現明顯變形，雖然一號槽溝未見變形，本研究認為 1951 年的地表變形帶還是通過此崖坡之下。

第五章、新竹斷層

5.1 前言

新竹斷層斷層跡位置，由新竹市西側大庄里美山海岸東側山麓前緣的階地崖，向東延伸經三姓公溪、客雅溪、新竹市（新竹教育大學，學府路，建功國小），之後於竹東階地群西北側的赤土崎進入頭前溪河床。由於頭前溪河床被沖積層覆蓋，斷層跡位置不明顯。洪瑛鈞等（2006）利用地電阻探勘，在三姓公溪、經國橋、竹北六家的階地崖以地電阻探勘，呈現地電阻不連續的結構，認為是新竹斷層所經之處。大部分研究認為新竹斷層向東延伸至頭前溪北岸芎林與新城斷層會合成為一條斷層，之後延伸至關西。新竹斷層由美山至芎林的長度約 16 公里，未包括延伸至西側海域中的區段（圖 5-1）。

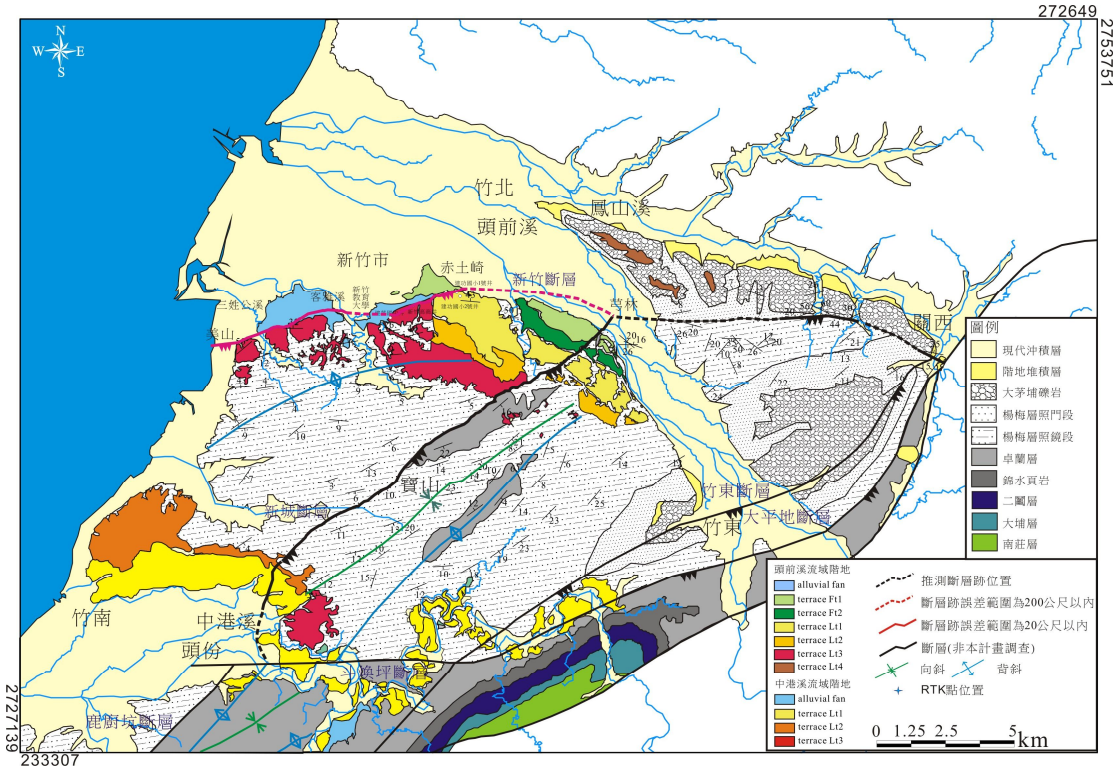


圖 5-1、新竹地區地質圖，套繪新竹圖幅（劉桓吉，1989）。（TWD67）

斷層下盤（北側）地形呈現平坦的海岸沖積平原，淺層數十公尺以上都為晚更新世至全新世的海相與陸相沖積層覆蓋，沖積層之下屬於頭嵙山層香山相砂岩（楊梅層）。上盤竹東丘陵出露岩層也屬於頭嵙山層香山相砂岩（楊梅層），最上層為晚更新世紅土階地礫石層，交角不整合覆蓋在香山相砂岩之上。

新竹斷層屬於逆斷層，在斷層前緣形成青草湖背斜。前人對於新竹斷層產生的褶皺構造型態有不同解釋，一為斷層轉折褶皺（圖 5-2；fault-bend fold；Namson, 1984；Lee *et al*., 1993；黃旭燦等，2004），另一為斷層擴展褶皺（fault-propagation fault；Chung, 1963；Tang and Hsu, 1970；Yang *et al*., 1994）。無論屬於何種型態的斷層，都認為新竹斷層兩側的垂直錯移量不大，以褶皺變形為主。

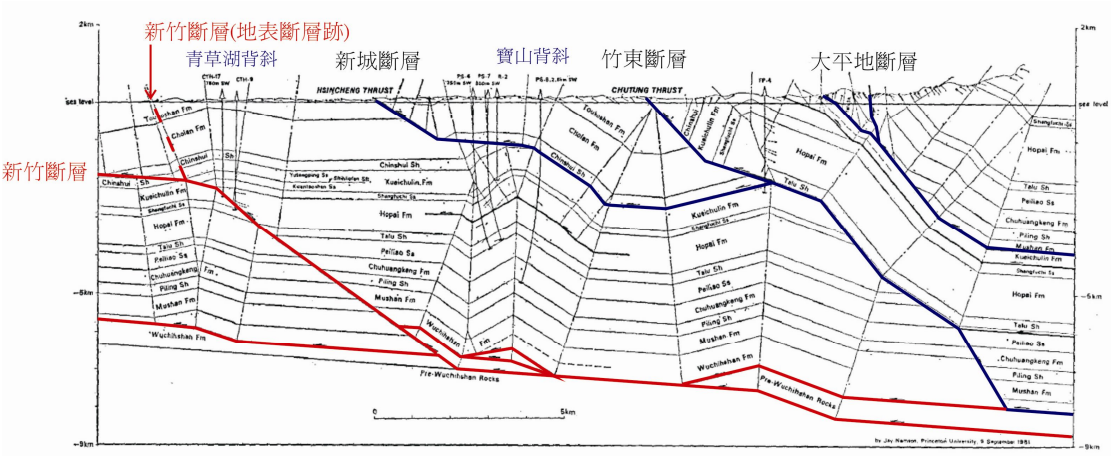


圖 5-2、Namson（1984）解釋新竹市東西向的構造平衡剖面，新竹斷層屬於斷層轉折褶皺型態，新城斷層屬於斷層擴展褶皺型態。

5.2 前人研究

新竹地區地形大致可依據新竹斷層為界，分為兩個地形單元，斷層上盤（南側）屬於竹東丘陵，以及河階地形，下盤（北側）受晚更新世以來海岸侵蝕與堆積作用，地形呈現平坦的海岸沖積平原。由於新竹斷層逆移活動造成晚更新世紅土化階地與全新世未紅土化階地產生錯移與變形。目前就上盤區域階地比高，分為五階（圖 5-1；石再添等，1985；楊貴三與蔡怡真，2004；Chen *et al*., 2004）。

新竹斷層的垂直錯距推測約 200-750 公尺（Tang and Hsu, 1970；Chiu, 1970），小於新城斷層的 600-700 公尺（Tang and Hsu, 1970），大於北側湖口斷層的 200 公尺（Tang, 1963）。目前頭前溪以西，由地質鑽探顯示斷層截切晚更新世沖積層，造成淺部岩層變型，呈現高角度傾斜（光復中學的岩層傾角 70 º -80º）。

前人對於新竹斷層的看法相當分歧，首先丹桂之助（1933）經地形觀察，認為竹東丘陵北緣有一長約 4.5 公里、呈北北東走向的斷層崖。林朝棨（1957）

認為此地形崖部分為海蝕崖。湯振輝與徐兆祥（Tang, 1968；Tang and Hsu, 1970）依航照判釋認為是後退斷層崖，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背斜北翼，斷層向南傾 50º，層位落差約 600 公尺。石再添等（1985）認為新竹斷層由光復中學附近延伸至新竹市西南方美山村，並依航照判釋頭前溪、客雅溪及三姓公溪的階地上有斷層小崖地形，十八尖山為斷層上盤因擠壓形成的壓力脊。楊貴三與蔡怡真（2004）認為三姓公溪谷口的階地受斷層截切，高差分別為 3.7 公尺與 0.7 公尺。陳于高等（Chen *et al*., 2004）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，並正交於新竹斷層與新城斷層的走向。林啟文等（2007）由野外調查在頭前溪河床露頭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。至於飛鳳山丘陵相關露頭報導則相當少，多以線形與岩性差異追蹤斷層跡位置（塗明寬與陳文政，1990，1991；中油公司，1978，1994；林啟文等，2007）。之前的鑽井調查，新竹斷層僅有兩處鑽井剖面（三姓橋 1-5 號、新竹 3-4 號）確認主斷層截切基盤岩層，其餘地區僅依照線形崖的延續性，因此斷層跡位置並不確定。

新竹外海區域具一系列近東西向地壘與地塹構造，為始新世至漸新世時期張裂產生的正斷層，蓬萊造山運動期間經構造反轉而復活呈走向滑移斷層或高角度逆斷層。張裂時期的正斷層構造對於近期擠壓活動發育的逆斷層或平移斷層構造的演化影響甚鉅，許多學者認為這些反轉構造或可與陸上的逆斷層構造連結，如湖口斷層與新竹斷層等（Huang *et al*., 1993；Lee *et al*.,1993；Chen *et al.*, 1994；楊耿明等，1994；徐兆祥等，1997）。

倪明倫（2004）由13條淺層震測線認為新竹斷層從美山村沿著竹東丘陵北

緣向東略呈一弧型，經清華大學後向南進入頭前溪河床，向東與新城斷層相交後通過飛鳳山丘陵，最東緣通過東安國小後，與大平地斷層相接。石瑞銓等（2009）進行淺層反射震測，認為新竹斷層受前期正斷層影響，在東西兩段有迥異的構造形態：新竹東段以褶皺作用為主，斷層呈高角度向南傾斜，斷層尖端未出露地表；西段則出現另一組傾向相反的逆斷層。

新竹斷層的短期活動性研究，由 GPS 速度場觀測資料顯示桃竹苗地區處於全島較小速度場的區域，大多小於 5 mm/yr（Yu *et al*., 1997）；位移場具由北往南逆時針旋轉趨勢，表示斷層之間的地殼均以滑移與旋轉來調適應力（陳建良等，2008；林燕慧等，2010；圖 5-3）。目前研究都認為新竹斷層近期呈鎖定狀態（饒瑞鈞等，2006；林燕慧等，2010）。林啟文（2005）由 2001-2004 年 GPS 資料顯示新竹斷層上盤向西北方以 5-15 mm/yr 移動，指示竹東丘陵西緣及頭前溪下游區域整體位移趨勢相當一致，較明顯差異是新竹斷層與新城斷層之間區域，呈現壓縮特性。鍾瑋（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）利用 2002-2006 年間跨越斷層的 GPS 速度場的變化量表示平行新竹斷層的分量為向西 2.3mm/yr；垂直斷層分量為 3.1mm/yr，認為屬於右移與壓縮形式。林燕慧等（2010）由橫跨新竹斷層與新城斷層的兩條水準測線認為上盤的抬升量均在近斷層處減小，顯示斷層屬於鎖定狀態。

長期活動速率可利用鑽井岩芯解析古環境、碳十四年代與古海水面高度資料探討斷層兩側的長期抬升速率。經新竹海岸平原區的鑽井岩芯紀錄，大庄剖面、新竹高商剖面、建功國小剖面、頭前溪剖面等所估算斷層的抬升速率為＜1.2 mm/yr（陳文山等，2009b）。

另外，由新竹縣香山海岸 8 孔鑽井岩芯以及碳十四定年分析，顯示新竹斷層在全新世以來還持續活動，但是相較臺灣其他褶皺－逆衝斷層帶最前緣構造的活動性而言，本區域的長期抬升速率呈現較緩慢的變動，約 1 mm/yr（圖 5-4），此結果應該與現今臺灣造山運動在各區域產生的應變大小有關。從 GPS 與水準測量資料顯示此區域的水平（可能小於 1 mm/yr）與垂直（1.3-1.8 mm/yr）應變

量屬於較小區域（陳建良等，2008）；可能導致長期抬升速率較小的因素。

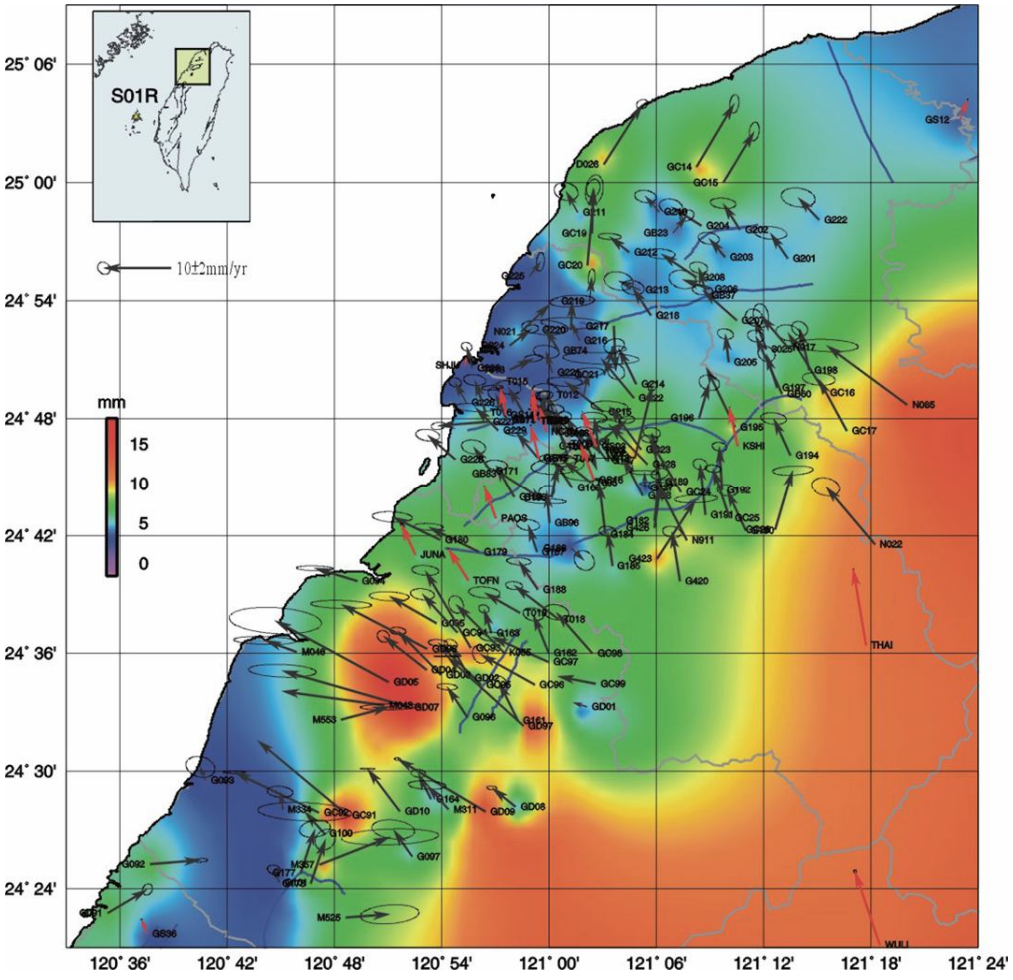


圖 5-3、桃竹苗地區相對於澎湖 S01R 監測站的 GPS 速度場（2001-2008 年）分析結果（林燕慧等，2010）。底圖顏色代表年平均速度場，紅色箭頭代表連續站點位解算結果，灰色箭頭代表定期重測點點位解算結果。

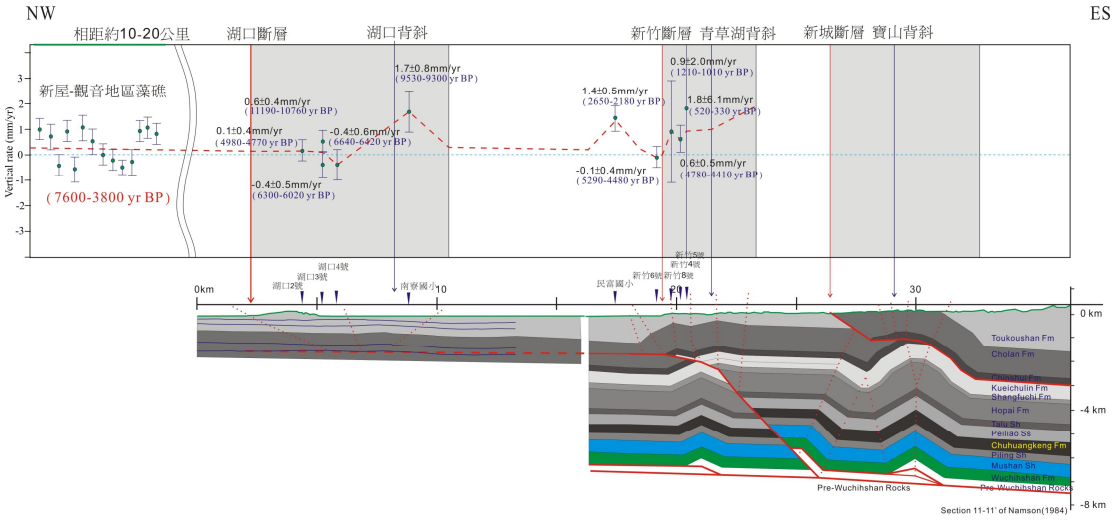


圖 5-4、新竹地區地質構造剖面，引用 Namson (1984)平衡剖面與石瑞銓等（2009）。鑽井地點與新屋－觀音全新世藻礁估算平均抬升速率。

5.3 斷層跡調查與 e-GPS 測量

本計畫著重於斷層跡的地形勘查與斷層跡的 e-GPS 測量，以及利用鑽井岩芯確定斷層跡。依據新竹斷層沿線地形特性，劃分為三個區域進行調查與討論：

一、頭前溪河床，苓林至赤土崎。由苓林至赤土崎主要沿著頭前溪河床，由於頭前溪侵蝕及近代沖積層堆積，此區段沒有呈現斷層造成的新期構造地形，僅由頭前溪河床的鑽井岩芯研判斷層跡位置。研判新竹斷層位於經國大橋井與新竹 1 號井之間（陳文山等，2010；圖 5-6），此區段斷層跡位置的誤差範圍可達兩側各 100 公尺（圖 5-5）。

二、頭前溪以西，赤土崎經新竹市區，至新竹教育大學。此區斷層崖地形非常清楚，並且局部地點有鑽井岩芯控制，斷層跡較為明確。其位置沿著赤土崎至新竹教育大學西側的 Lt1 與 Lt3 紅土階地崖坡下（圖 5-1）。其間有鑽井岩芯控制地點，如建功國小、新竹高商井與建華國小等，量測斷層跡的誤差範圍在兩側各 10 公尺內（圖 5-5）。

三、新竹教育大學至美山海岸。此區的斷層崖地形也非常明確，亦有鑽井岩芯控制，其間除新竹教育大學的客雅溪河口的斷層跡較不明確外，其餘斷層崖地形明確；如三姓公溪河口沖積扇受到新竹斷層活動形成一垂直河流走向線性崖（圖 5-7），並有鑽探證明此崖為斷層崖地形（圖 5-5）；另外於美山海岸也有鑽井確定斷層跡位置（圖 5-5），此區域量測的斷層跡誤差範圍可以在兩側各 10 公尺內（圖 5-5）。

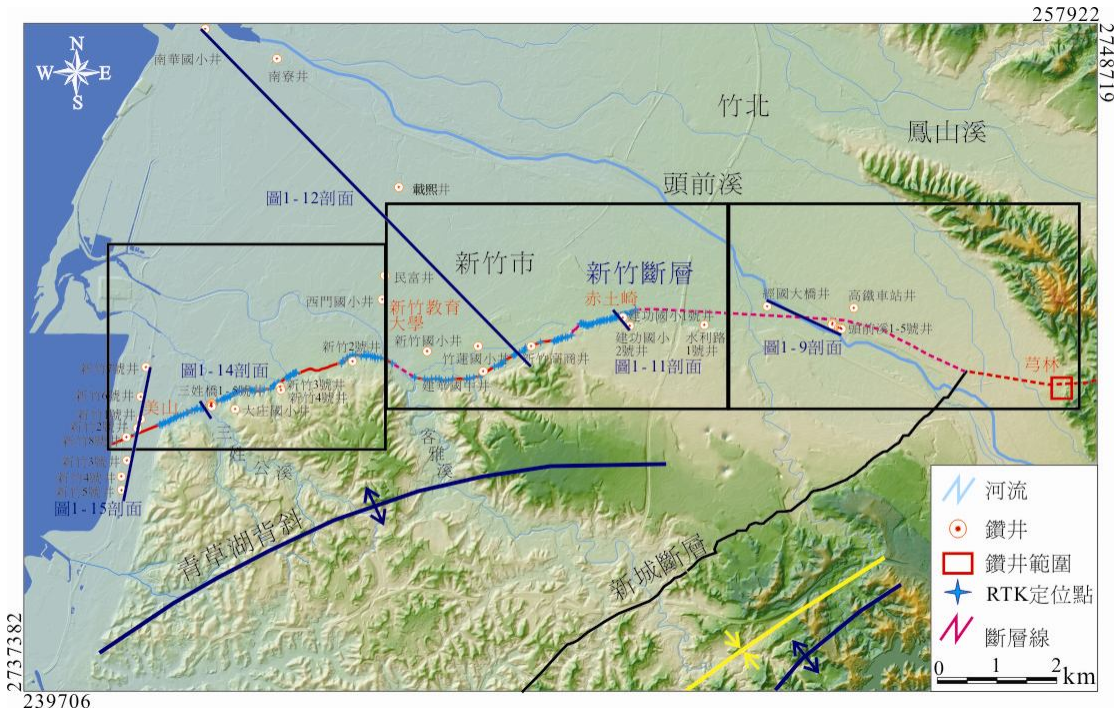


圖 5-5、e-GPS 量測位置與鑽井位置圖。（TWD67）

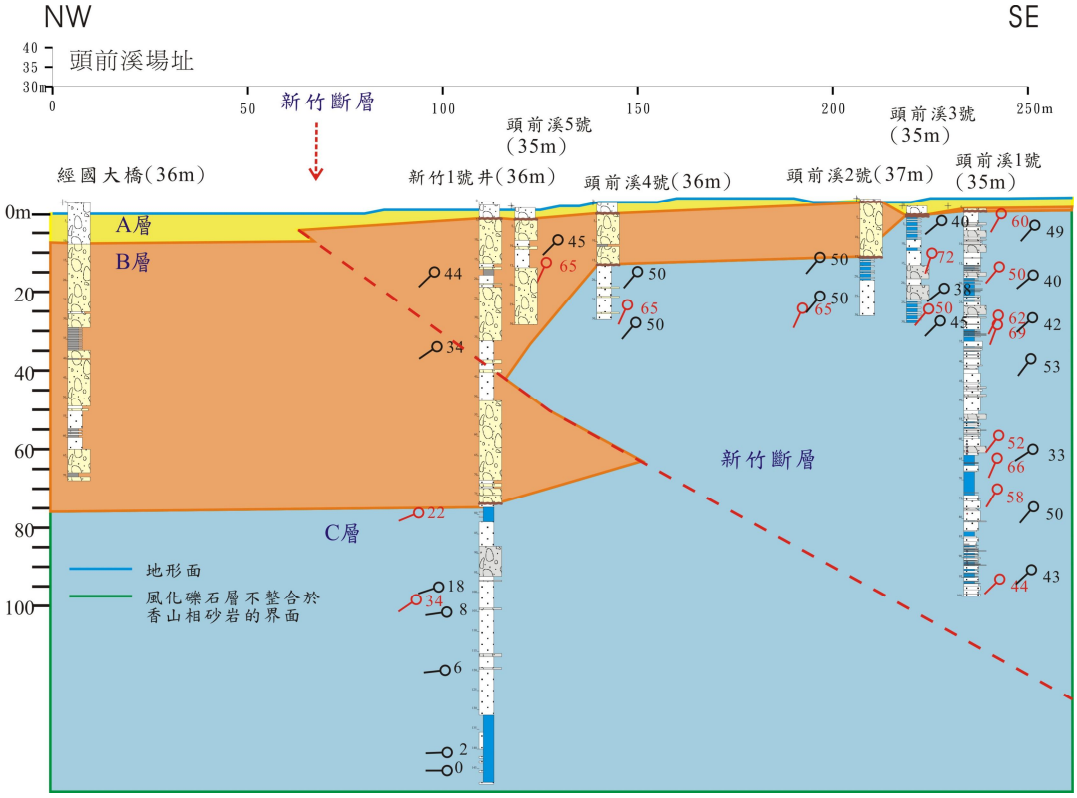


圖 5-6、頭前溪場址，鑽井剖面圖。



圖 5-7、三姓公溪河口沖積扇被新竹斷層截切形成的斷層崖。(朝西南拍攝)

5.4 鑽井岩芯紀錄

鑽井場址有兩處地點，一位於新城斷層（或新竹斷層）最東端的東光與十六張階地崖兩側（圖 5-8）。

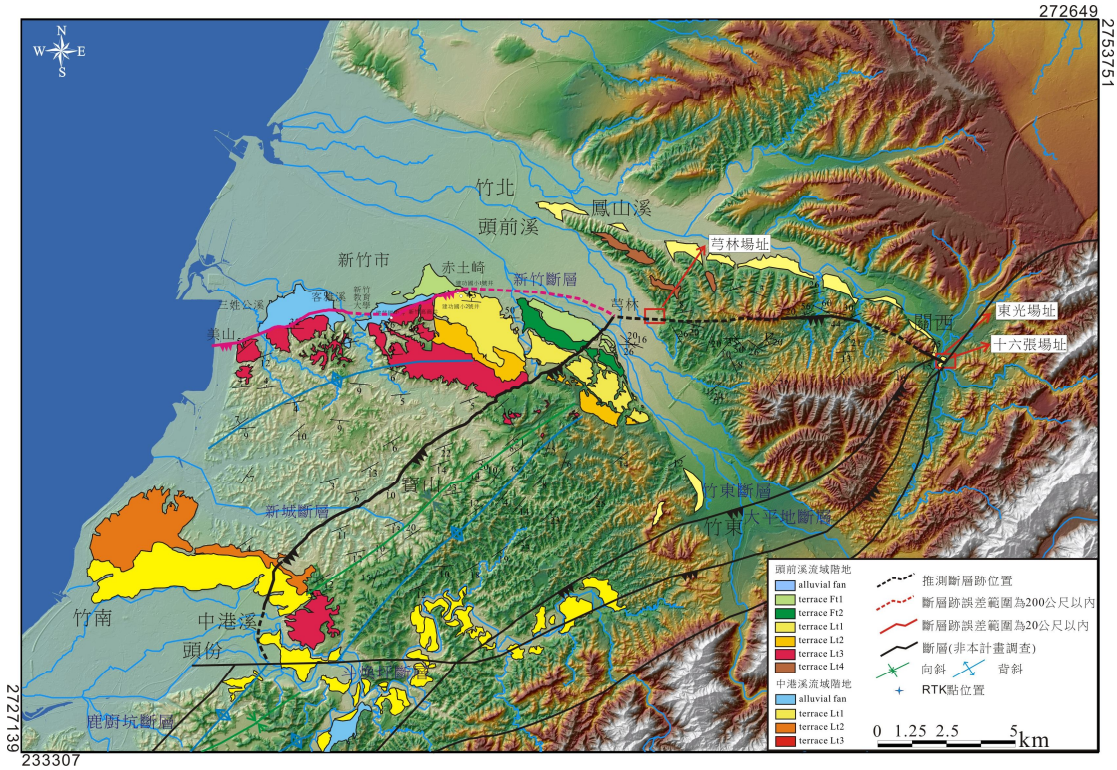


圖 5-8、新竹斷層跡位置與鑽井場址位置。（TWD67）

5.4.1 東光場址（圖 5-8，圖 5-9）

東光 1 號井位在一崖高約 2 公尺的階地崖南側（上盤），鑽取 50 公尺岩芯，東光 2 號井位在北側（下盤），鑽取 30 公尺岩芯。

東光 1 號井海拔 145 公尺，上段 20 公尺岩芯為近代河流沖積層，以礫石層為主，偶夾薄砂層，之下為青灰色或黃色砂層夾薄層礫石層，屬於頭嵙山層砂礫層；下段砂層中偶見剪切構造。東光 2 號井海拔 143 公尺，上段為厚層礫石層，偶夾薄砂層，之下為厚砂層夾薄層礫石層。此段岩性與東光 1 號井約 25 公尺以上岩性相同，屬於頭嵙山層砂礫層（圖 5-10）。

從崖坡走向垂直河流流向，顯示此崖坡應不是受到河流侵蝕所造成；此外，兩井下層的頭嵙山層砂礫層高差 12.5 公尺，且上盤的東光 1 號井中具剪切構造。研判此階地崖為受到新城斷層作用產生的斷層崖。

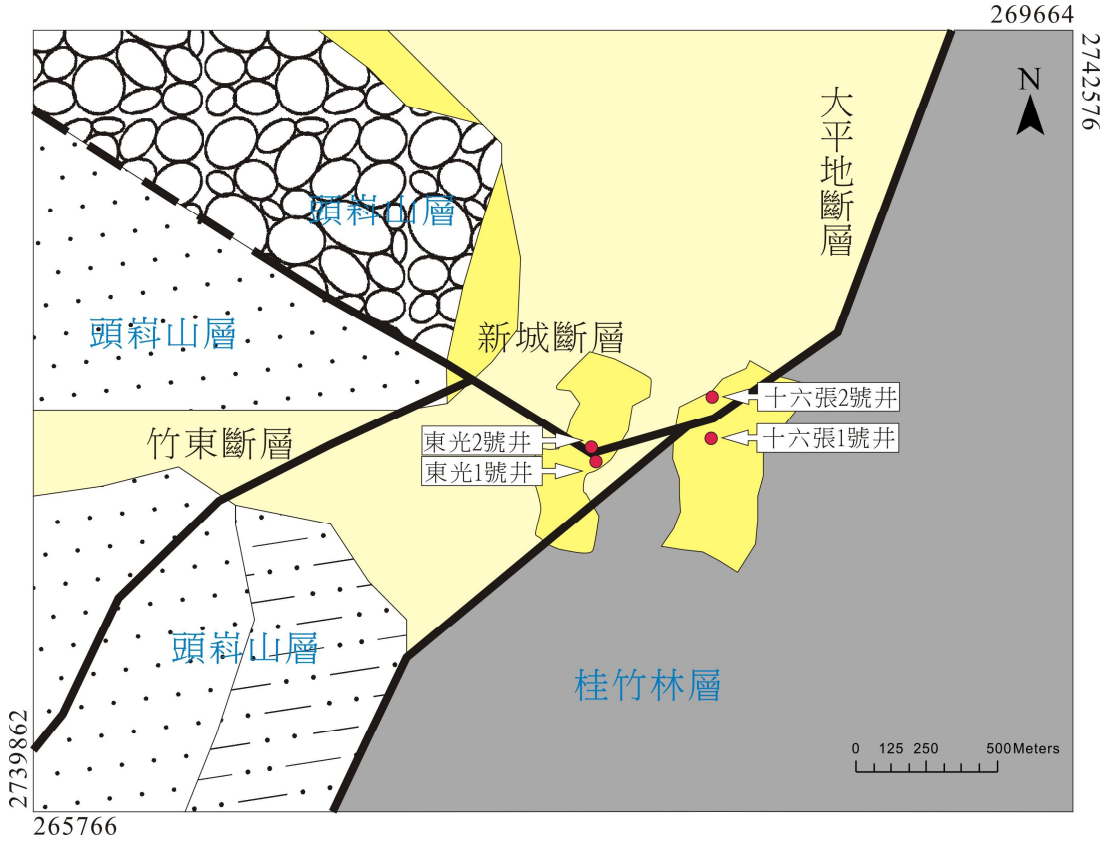


圖 5-9、東光與十六張鑽井區域地質圖，位置如圖 5-8 所示。（TWD97）

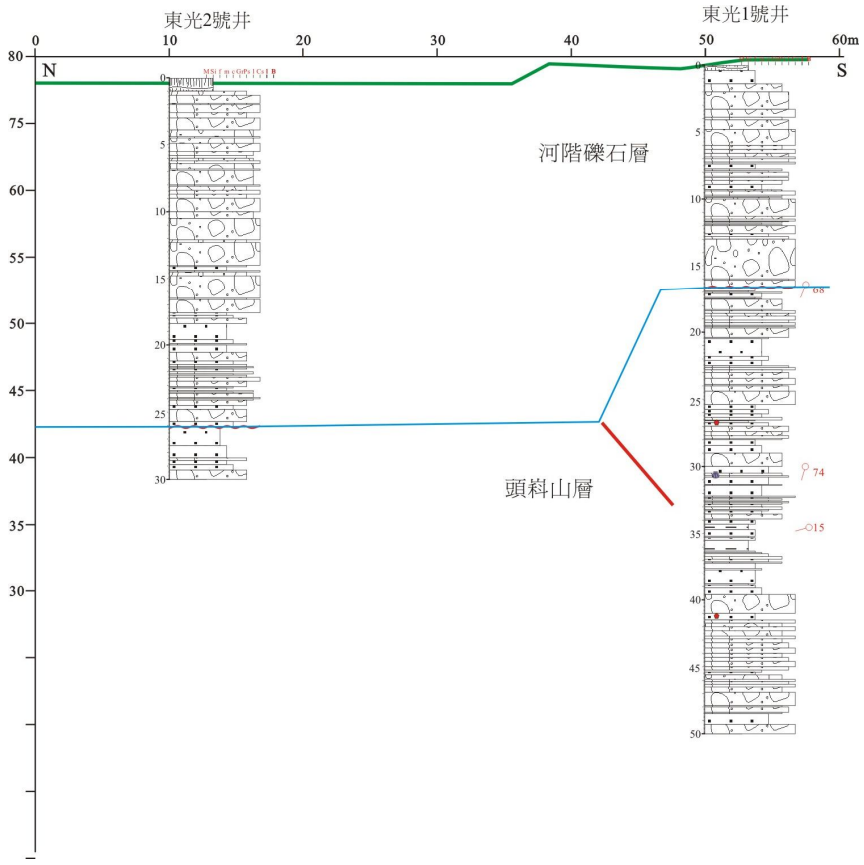


圖 5-10、東光場址鑽井剖面圖。(位置參照圖 5-9)

5.4.2 十六張場址（圖 5-8，圖 5-9）

十六張場址位在東光場址東側約 1 公里，在新城斷層與大平地斷層交匯處，新城斷層北側屬於頭嵙山層，南側屬於桂竹林層（大埔層）。

十六張 1 號井位於新城斷層上盤，表層覆蓋 1.1 公尺河階礫石層，不整合面下為受強烈剪切作用的岩盤，為桂竹林層（大埔層）。十六張 2 號井位於新城斷層下盤，岩性為礫岩層，地層傾角 20º，屬於頭嵙山層。

從斷層兩側的十六張 1 號與 2 號井的岩層關係，顯示桂竹林層（大埔層）逆衝覆蓋在頭嵙山層之上（圖 5-11）。

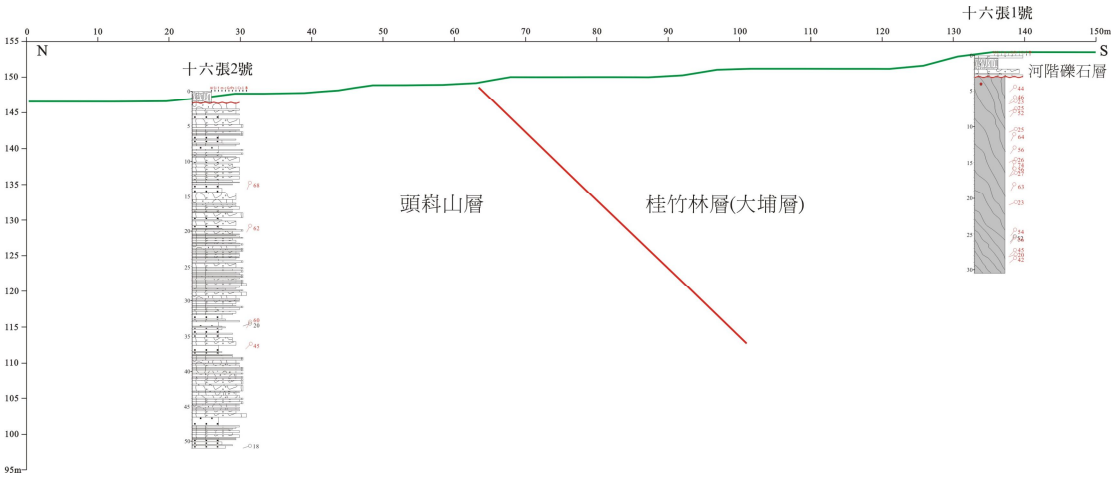


圖 5-11、十六張場址鑽井剖面圖。(位置參照圖 5-9)

5.5 討論與結論

本計劃大致將斷層跡明確的地點進行 e-GPS 量測定位（圖 5-12，圖 5-13，圖 5-14，圖 5-15；圖 5-12 至圖 5-15 由東向西排列），主要為位在赤土崎至美山海岸之間的線形斷層崖。由東向西的位置由赤土崎一街、博愛街、學府路（圖 5-12）；之後的斷層跡由學府路南側經新竹高商（圖 5-13）、新竹高中、培英中學、建華國中、新竹教育大學，至成德路北側（圖 5-14）。成德路北側經崧嶺路後，沿著中華路南側斷層崖，最後由美山進入海域（圖 5-14，圖 5-15）。這區段的斷層跡除了形成線形崖地形外，還有多處地點有鑽井岩芯控制，所以斷層跡位置較明確。



圖 5-12、赤土崎區域 e-GPS 量測點，由赤土崎一街、博愛路至學府路。（TWD97）

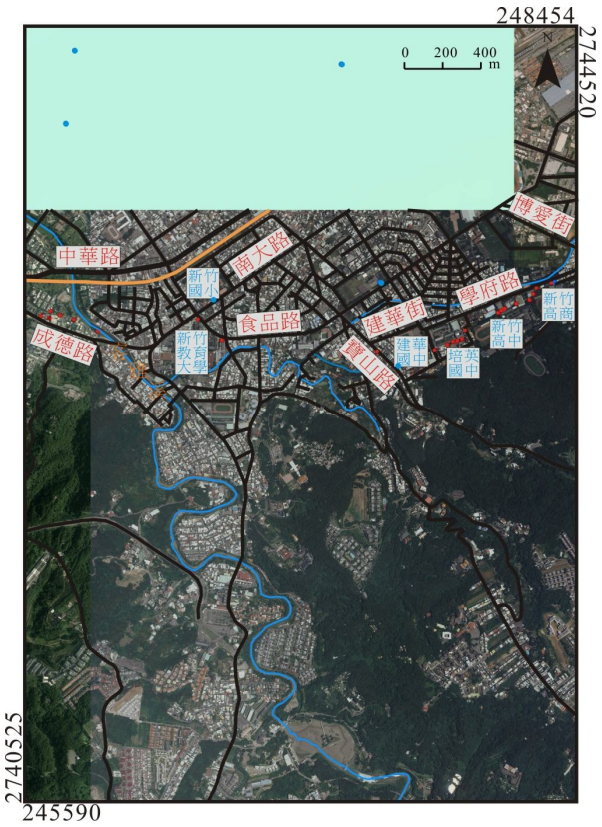


圖 5-13、新竹教育大學區域 e-GPS 量測點，斷層跡由學府路南側經新竹高商、新竹高中、培英中學、建華國中、新竹教育大學，至成德路北側。（TWD97）

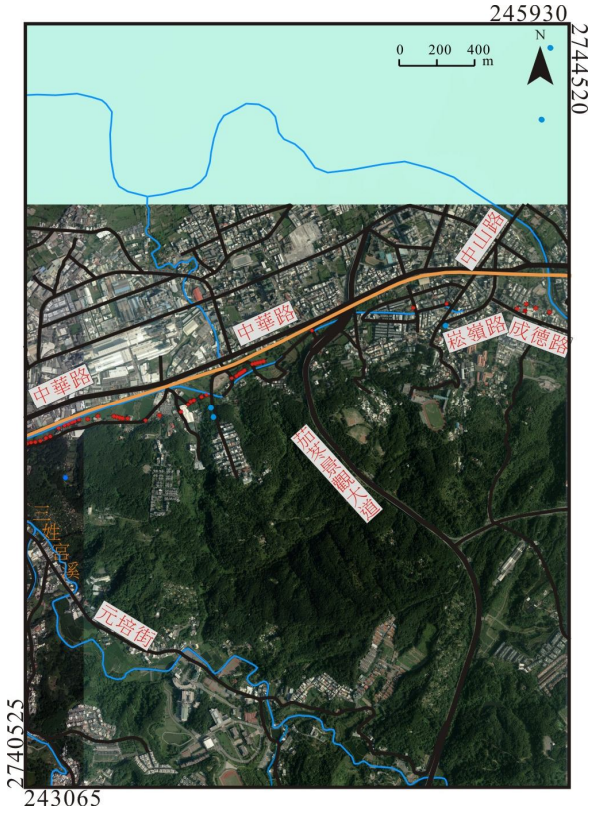


圖 5-14、中華路區域 e-GPS 量測點，經崧嶺路之後，沿著路南側的斷層崖。（TWD97）



圖 5-15、中華路區域 e-GPS 量測點，沿路南側斷層崖坡，至美山海岸。（TWD97）

本區域共選擇兩處鑽井場址，位於東光與十六張階地崖，兩處鑽井皆橫跨在新城斷層兩側。東光場址上盤的東光 1 號井位在新城斷層上盤，竹東斷層西側；東光 2 號井位在新城斷層下盤，上下盤地層都屬於頭嵙山層。十六張 1 號井位於新城斷層上盤，而上盤區域又處在竹東斷層與大平地斷層之間，地層屬於桂竹林層，十六張 2 號井位於新城斷層下盤，以及大平地斷層西北側，地層屬於頭嵙山層。十六張兩孔鑽井岩芯的岩層與上述地表地層吻合，十六張 1 號井為桂竹林層，2 號井為頭嵙山層，所以此斷層崖是屬於新城斷層形成的，可以連接西側東光的斷層崖。

新竹斷層朝西延伸與新城斷層連接，芎林至十六張的斷層區段是屬於何者的斷層區段？從本區域西部麓山帶的構造分析，內麓山帶（地層以中新統為主）的逆衝斷層都呈南北走向，主應力場約呈東西向；外麓山帶（地層以上－更新統為主）的逆衝斷層約呈東西走向，主應力場約呈西北向。芎林至十六張的斷層區段的走向略呈東西走向，所以推測此區段斷層近期的活動特性應與新竹斷層的活動性較為相關，主應力場為朝西北向逆衝作用，與現今大地觀測結果相同，呈現北西 45º -60º，右移的逆衝作用。

第六章、旗山斷層

6.1 前言

旗山斷層是西南部麓山帶中位在最東側的逆衝斷層，是西南部麓山帶中最早產生的逆衝斷層（除潮州斷層外），形成於早更新世（陳文山等，2011）。新期構造特性以 GPS 觀測結果，旗山斷層的近期活動具有右移特性，但對於其它的構造特性還沒有深入探討與資料。

陳文山等（2005b）認為旗山斷層南段（旗山鎮以南）位在楠梓仙溪西側，由地形構造顯示較北段斷層活躍，建議北段旗山斷層應回歸原始命名為內英斷層（飯塚保五郎，1928），南段則稱為旗山斷層（吉田要，1932）。南段區域的斷層上盤地層主要為烏山層，逆衝在古亭坑層之上；斷層北端（旗山鎮南側）亦見嶺口礫岩逆衝在古亭坑層之上。

旗山斷層由旗山鎮東側朝西南延伸，經中寮山西麓，於燕巢附近進入高雄平原，再沿著大社與鳳山丘陵的西側進入西南海域；斷層呈東北—西南走向，至高雄市區轉為東南走向的高角度逆斷層（圖 6-1）。斷層上盤（東側）主要為晚中新世砂岩與泥頁互層（烏山層、蓋子寮頁岩、南勢崙砂岩），以及更新世的大社層與嶺口礫岩；然而旗山斷層下盤（西側）為厚層的上－更新世古亭坑頁岩與崎頂層（Tsan and Keng，1968；Hsieh，1970；台南地質圖，1989）。從地層關係，推估斷層兩側的地層垂直錯距至少有 2000 公尺。

以下簡單敘述旗山斷層幾處地質剖面（圖 6-1）：

（1）武鹿坑位於旗山鎮南側約 1 公里，剪切帶僅寬約數十公分。此區域未見嶺口礫岩不整合於烏山層之上，僅見嶺口礫岩逆衝至古亭坑層之上。

（2）中寮山區域斷層出露在高 40 縣道或道路兩側，沿路主要出露烏山層的厚層砂岩；下盤為古亭坑層泥岩，具強烈且寬的剪切帶，最寬斷層擾動帶達 300 公尺。此區段的斷層向南延伸經二高中寮隧道上方，再經高師大校區西側。中寮隧道以南至深水坑溪，斷層帶沿線上下盤都有泥火山活動。

（3）深水坑溪為最南側的斷層露頭，斷層沿深水坑溪由東北向西南延伸，經省 22 號道路之後的斷層跡不明顯。上盤為晚中新世烏山層，下盤為更新世古亭坑層石尖段，露頭顯示烏山層厚層砂岩逆衝到古亭坑層泥岩之上，斷層剪切帶寬約十數公尺。野外調查，深水溪北岸露頭發現被旗山斷層錯動的全新世河階礫

石層，礫石層與崩積層年代為 7,189±160 BP，顯示旗山斷層在全新世尚有活動（陳文山等，2005b）。

（4）大社區域的斷層向南延伸經省 22 號道路以南即被沖積層覆蓋，先前的研究對於斷層延伸有不同看法，大都認為向西南延伸至鳳山丘陵西側（陳文山等，2005b）。此區段露頭顯示位在平原東側丘陵地出露的地層屬於烏山層，大社層不整合在其上；平原區（高雄都會區）淺層屬於全新世沉積層，沉積層之下為更新世崎頂層或古亭坑層，壽山與半屏山亦出露崎頂層與古亭坑層。從地表與地下的地層結構分析，於高雄都會區東側與丘陵地（烏山層至大社層）之間應具有一條斷層，其構造特性為東側烏山層逆衝至西側的崎頂層與古亭坑層之上；此斷層沿大社丘陵西側向南延展經鳳山丘陵西側，再進入西南海域。鳳山丘陵的地表為大社層，本研究認為鳳山丘陵的地質結構應與北側大社丘陵相同，大社層不整合在烏山層之上；因此旗山斷層應位在鳳山丘陵西側。

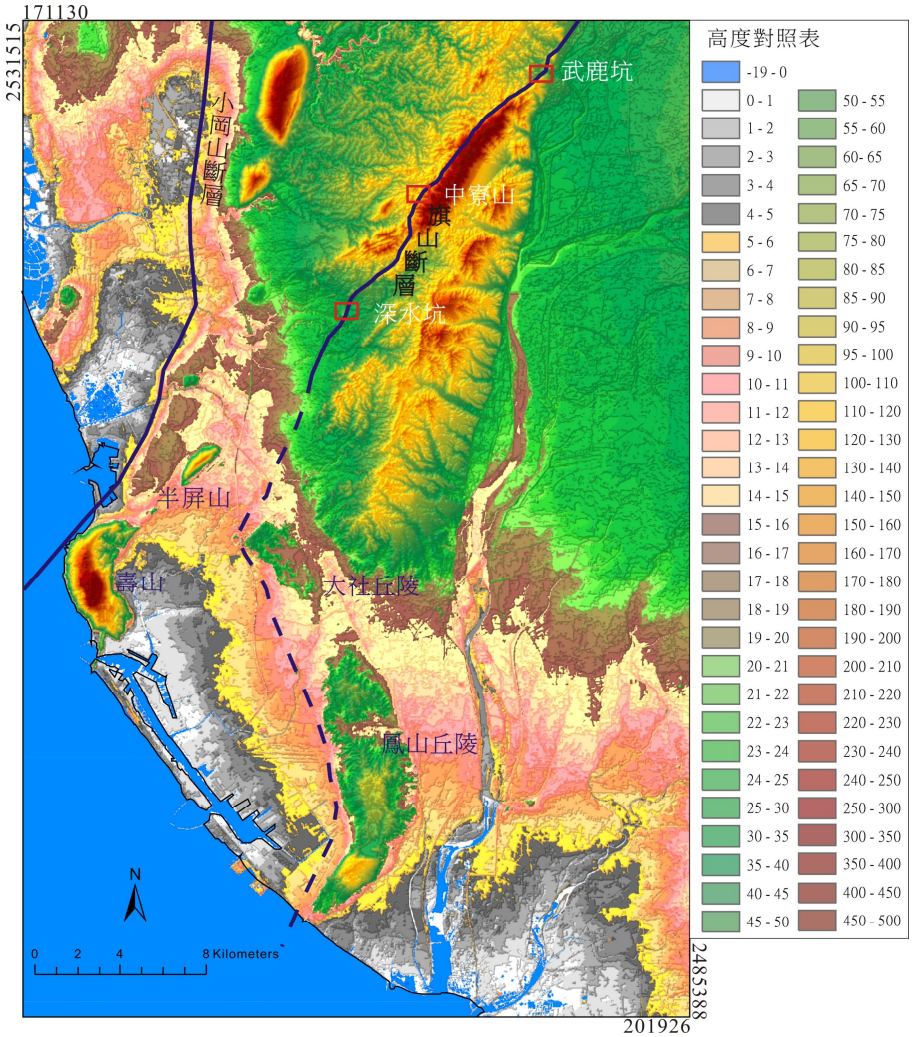


圖 6-1、旗山斷層位置圖（本研究之前推測旗山斷層的位置）。（TWD67）

6.2 鑽井岩芯紀錄

本計畫利用高雄地區的鑽井岩芯判讀旗山斷層位置，以及長期抬升速率。斷層跡位置利用岩芯中岩盤的地層特性研判鑽井位置所在是屬於上盤或下盤，或利用各鑽井資料估算抬升速率的變化推測斷層跡位置。

本計畫重新紀錄大社地區的 23 孔鑽井，經碳十四定年與沉積環境解析，來估算各井位的長期抬升速率(圖 6-2)；並且利用之前在高雄都會區的鑽井研究(宋時驊，2001)，推測旗山斷層跡位置。之前地調所以排鑽方式進行旗山斷層調查，本研究也利用這些排鑽，以岩芯柵狀剖面方式探討各排鑽剖面是否橫跨旗山斷層，以及長期抬升速率。這區域共有 6 個排鑽剖面，保安宮剖面、嘉誠剖面、大社 A 剖面、大社 B 剖面、仁雄剖面與澄清湖剖面（圖 6-3）。

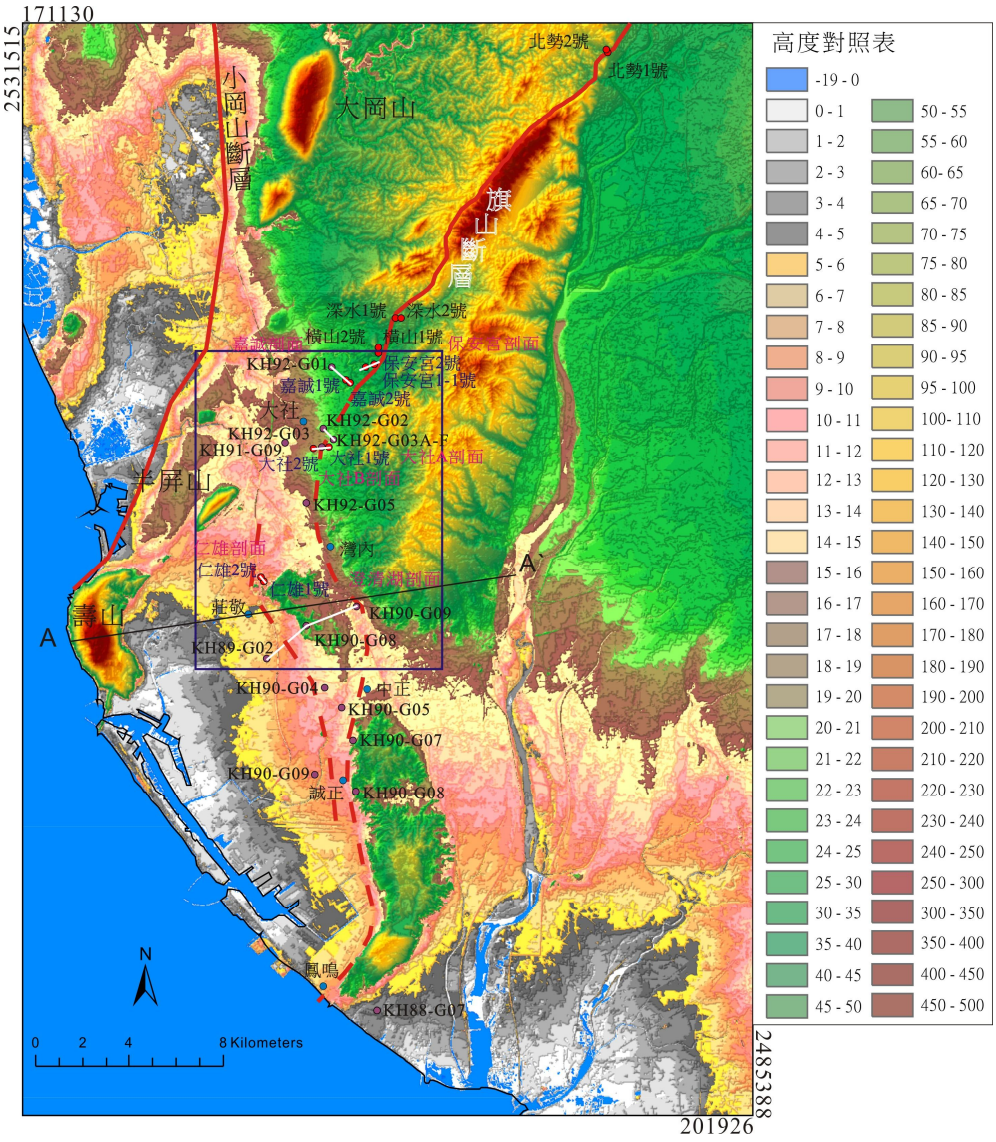


圖 6-2、旗山斷層鑽井位置圖，本研究依據岩芯的岩性推側旗山斷層位置通過澄清湖與大社丘陵之間，澄清湖西側可能還存在一分支斷層。（TWD67）

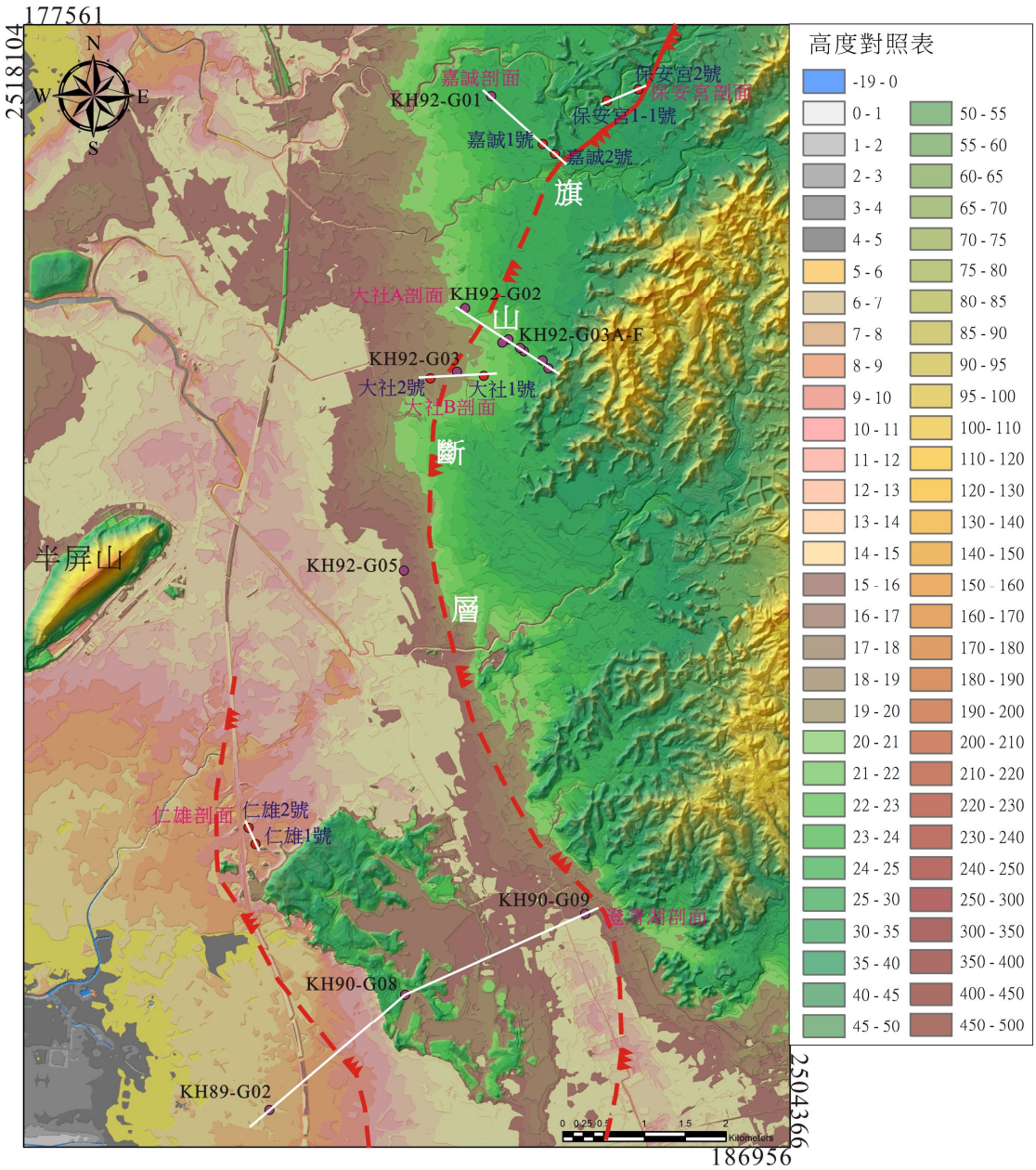


圖 6-3、旗山斷層鑽井剖面位置圖（圖 6-2 藍框範圍放大）。（TWD67）

6.2.1 保安宮剖面

保安宮剖面共有 2 孔井，保安宮 1 號與保安宮 2 號，地層分兩層，上層為全新世海相沉積層，下層為更新世崎頂層，全新世沉積層不整合在崎頂層之上(圖 6-4)。由於下層屬於更新世崎頂層，研判保安宮剖面位於旗山斷層下盤區域。

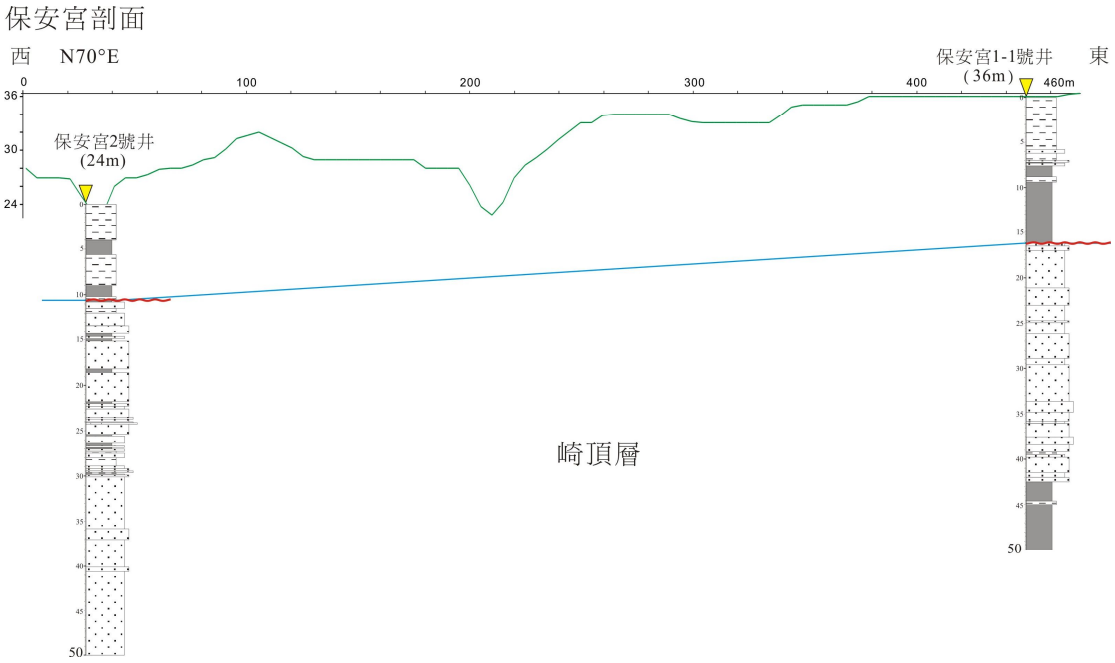


圖 6-4、保安宮剖面岩芯柵狀圖。(位置見圖 6-3)

6.2.2 嘉誠剖面

嘉誠剖面共有 3 孔井，KH92-G01 井、嘉誠 1 號與嘉誠 2 號，地層分兩層，上層為全新世海相沉積層，下層為更新世崎頂層，全新世沉積層不整合在崎頂層之上(圖 6-5)。從嘉誠剖面 KH92-G01 井與嘉誠 1 號鑽井的碳十四定年資料分析，其 7500 cal BP 的時間面沒有高度差，且長期抬升速率也相同。由於下層都屬於更新世崎頂層，所以嘉誠剖面也位於旗山斷層下盤區域。

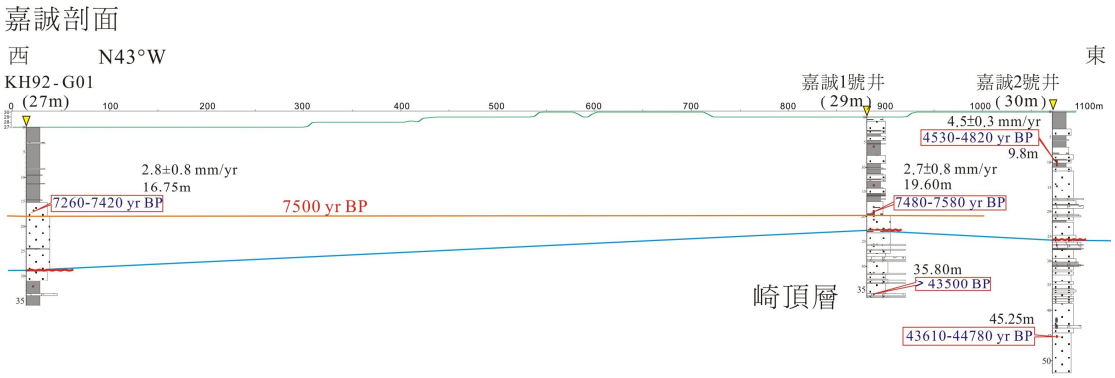


圖 6-5、嘉誠剖面岩芯柵狀圖。(位置見圖 6-3)

6.2.3 大社 A 剖面

大社 A 剖面共有 7 孔井，KH92-G02 井、KH92-G03-F 井、KH92-G03-E 井、KH92-G03-D 井、KH92-G03-A 井、KH92-G03-B 井、KH92-G03-C 井。地層分三層，上層為全新世海相沉積層，下層為更新世崎頂層與晚中新世烏山層，全新世沉積層不整合在崎頂層與烏山層之上（圖 6-6）。

KH92-G02 井位於剖面的最北側，全新世海相沉積層不整合沉積在崎頂層之上，其餘的鑽井位於較南側，全新世海相沉積層不整合沉積在烏山層之上；從岩盤地層的研判，顯然旗山斷層通過 KH92-G02 井與 KH92-G03-F 井之間（圖 6-6）。由各鑽井所估算的長期抬升速率，位於下盤 KH92-G02 井為 2.4±0.7 mm/yr；位在上盤較前端 3 孔鑽井（KH92-G03-F 井、KH92-G03-E 井、KH92-G03-D 井）的長期抬升速率約 3.4±0.8 mm/yr 至 4.0±0.3 mm/yr，相較下盤的長期抬升速率還快，約 1.0-1.6 mm/yr。

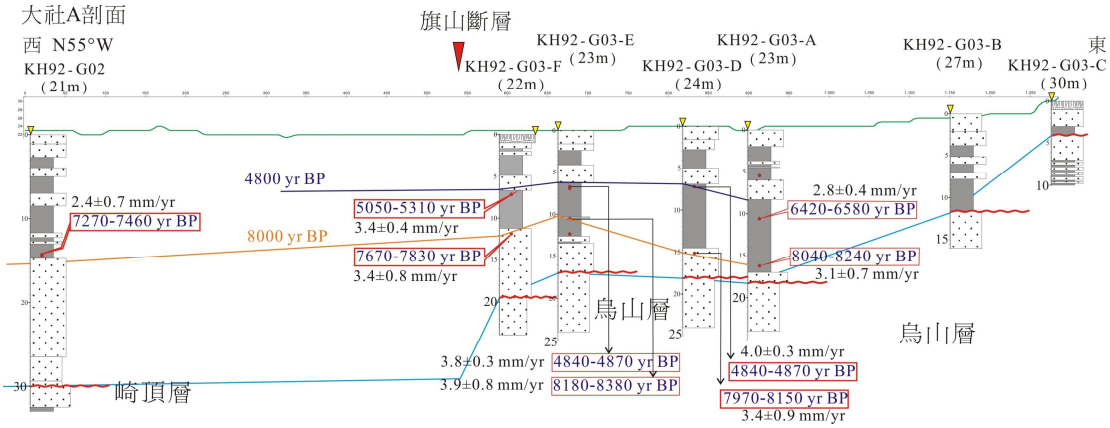


圖 6-6、大社 A 剖面岩芯柵狀圖。（位置見圖 6-3）

6.2.4 大社 B 剖面

大社 B 剖面共有 3 孔井，大社 2 號井、KH92-G03 井、大社 1 號井（附錄一）。地層分為三層，上層為全新世海相沉積層，下層為更新世崎頂層與晚中新世烏山層，全新世沉積層不整合在崎頂層與烏山層之上（圖 6-7）。

大社 2 號井位於剖面的北側，全新世海相沉積層不整合沉積在崎頂層之上，KH92-G03 井與大社 1 號井位於南側，全新世海相沉積層不整合沉積在烏山層之上；從岩盤的地層研判，顯然旗山斷層通過大社 2 號井與 KH92-G03 井之間（圖 6-7）。由各鑽井所估算的長期抬升速率，位於下盤的大社 2 號井為 2.8±0.6 mm/yr；位在上盤 KH92-G03 井的長期抬升速率約 3.3±0.9 mm/yr，相較下盤的長

期抬升速率還快，約 0.5 mm/yr。

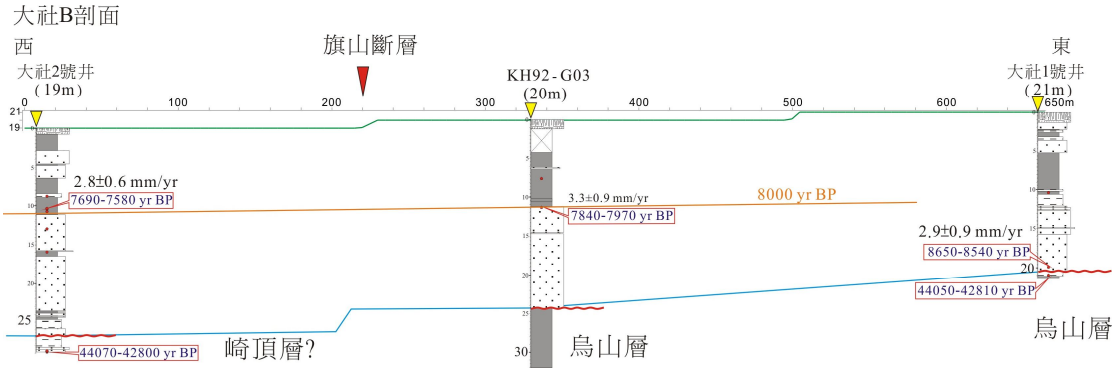


圖 6-7、大社 B 剖面岩芯柵狀圖。(位置見圖 6-3)

6.2.5 仁雄剖面

仁雄剖面共有 2 孔井，仁雄 1 號井與仁雄 2 號井。地層分兩層，上層為全新世海相沉積層，下層為更新世崎頂層，全新世沉積層不整合在崎頂層之上(圖 6-8)。由於下層岩盤都屬於更新世崎頂層，所以仁雄剖面位於旗山斷層下盤區域。

仁雄 1 號井的長期抬升速率為 1.7±0.8 mm/yr，仁雄 2 號井為 1.4±0.8 mm/yr，仁雄 1 號井略快於 2 號井。

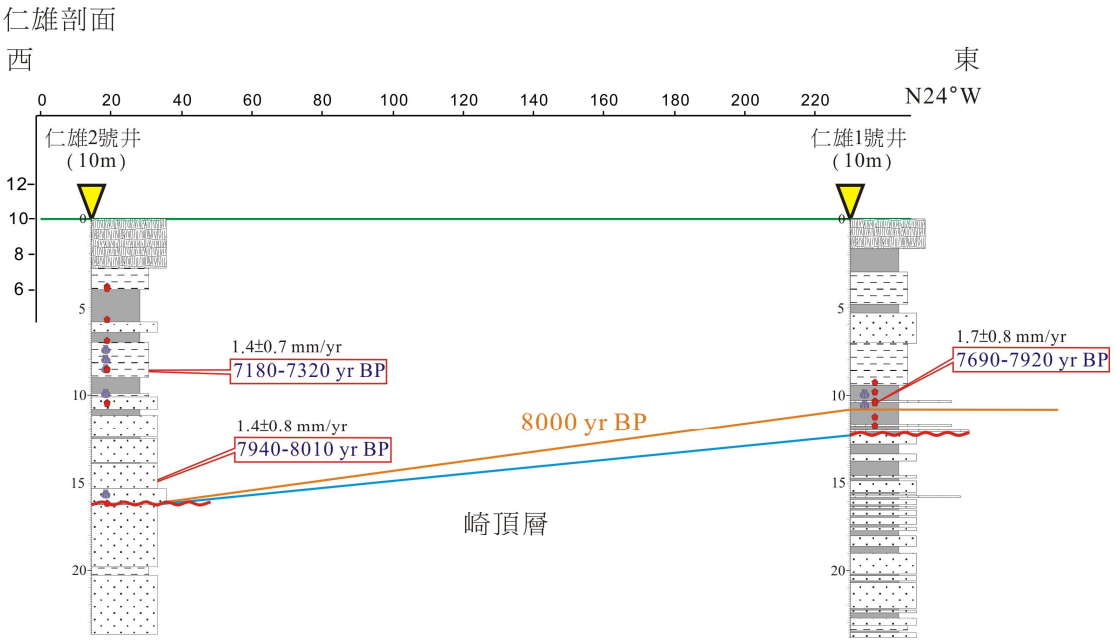


圖 6-8、仁雄剖面岩芯柵狀圖。(位置見圖 6-3)

6.2.6 澄清湖剖面

澄清湖剖面有 3 孔井，KH89-G02 井、KH90-G08 井、KH90-G09 井。地層分兩層，上層為全新世海相沉積層，下層為更新世崎頂層，全新世沉積層不整合在崎頂層之上(圖 6-9)。KH90-G08 井與 KH90-G09 井的下層研判屬於崎頂層，

KH89-G02 井則未達至岩盤（崎頂層或古亭坑層）。由於下層岩盤都屬於更新世崎頂層，所以澄清湖剖面位於旗山斷層下盤區域。

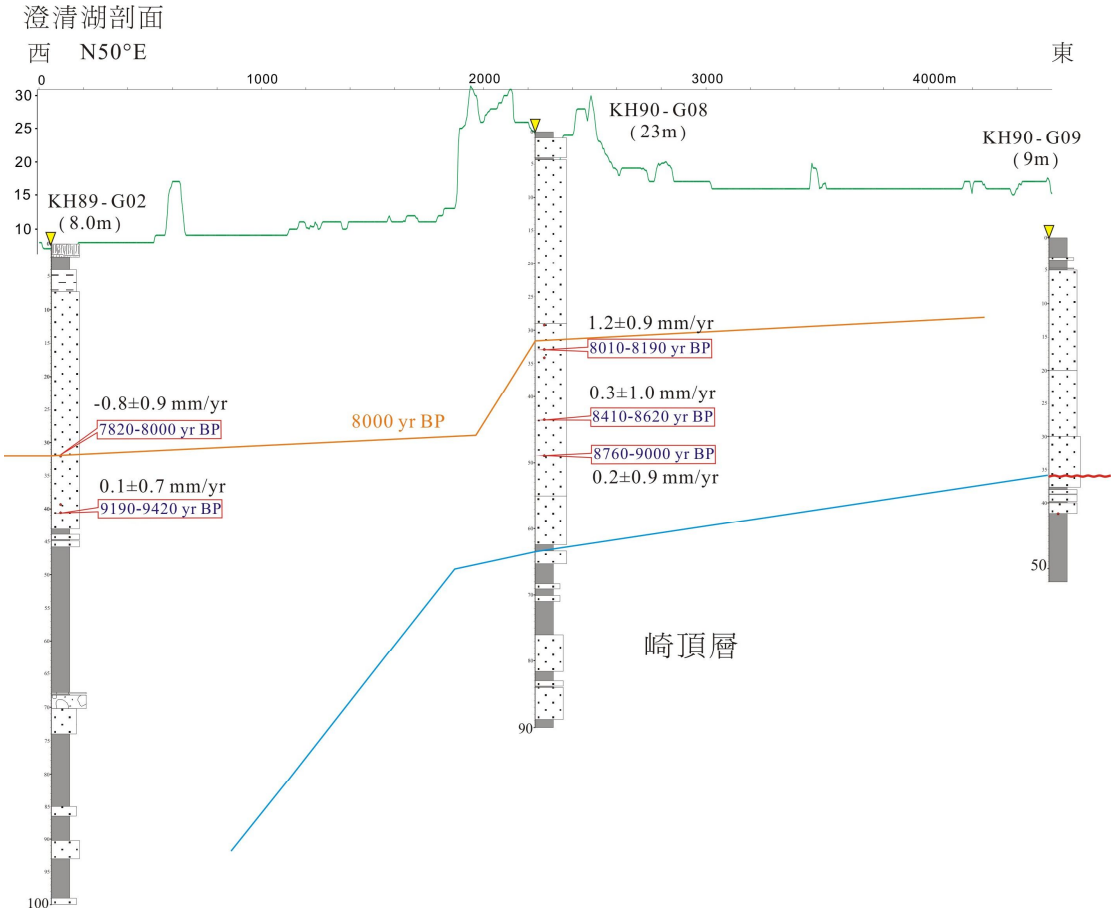


圖 6-9、澄清湖剖面岩芯柵狀圖。（位置見圖 6-3）

6.3 討論與結論

從以上六個岩芯柵狀剖面的地下岩盤岩性分析，保安宮剖面、嘉誠剖面、仁雄剖面與澄清湖剖面的岩盤都屬於崎頂層，顯然位於旗山斷層下盤區域。大社 A 剖面與大社 B 剖面北側鑽井的岩盤屬於崎頂層，而南側鑽井的岩盤屬於烏山層，旗山斷層通過剖面之間，大社 A 剖面位於 KH92-G02 井與 KH92-G03-F 井之間（圖 6-6），大社 B 剖面位於大社 2 號井與 KH92-G03 井之間（圖 6-7）。

從各井的長期抬升速率分析，大社 A 剖面上盤速率約 3.4±0.8 mm/yr 至 4.0±0.3 mm/yr，下盤為 2.4±0.7 mm/yr；大社 B 剖面上盤速率約為 3.3±0.9 mm/yr，下盤為 2.8±0.6 mm/yr（圖 6-10）。而位於北側下盤區域嘉誠剖面的速率約為 2.7±0.8 mm/yr 與 2.8±0.8 mm/yr，與鄰近大社 A 剖面與 B 剖面的速率相似；南側仁雄剖面與澄清湖剖面下盤的速率較低，仁雄剖面為 1.4±0.7 mm/yr 與 1.4±0.8

mm/yr，澄清湖剖面為 1.2±0.9 mm/yr 或 0.2±0.9 mm/yr、0.3±1.0 mm/yr（圖 6-10）。大致上，仁雄至澄清湖區域，大社丘陵西側（旗山斷層下盤）的長期抬升速率約 1.4±0.7 mm/yr 至 1.2±0.9 mm/yr（暫不考慮 KH90-G08 井的 0.2±0.9 mm/yr、0.3±1.0 mm/yr）。鳳山丘陵西側誠正井的長期抬升速率 1.2±0.3 mm/yr（圖 6-10），但在高雄都會區的長期抬升速率約 0.9±0.8 mm/yr 至-3.7±0.5 mm/yr 大都處於沉降的環境（圖 6-10）。從大社地區的旗山斷層兩側鑽井岩芯初步估算長期抬升速率約 0.5-1 mm/yr。

從地表或井下的岩盤特性分析結果，研判旗山斷層由北向南延伸，經大社 A 與 B 剖面之間，之後轉向南經澄清湖東側與大社丘陵之間凹谷，再沿著鳳山丘陵西側進入海域。而澄清湖西側前緣應還存在一分支斷層，造成澄清湖附近的丘陵地形，以及相較西側都會區呈現較快速的抬升速率。

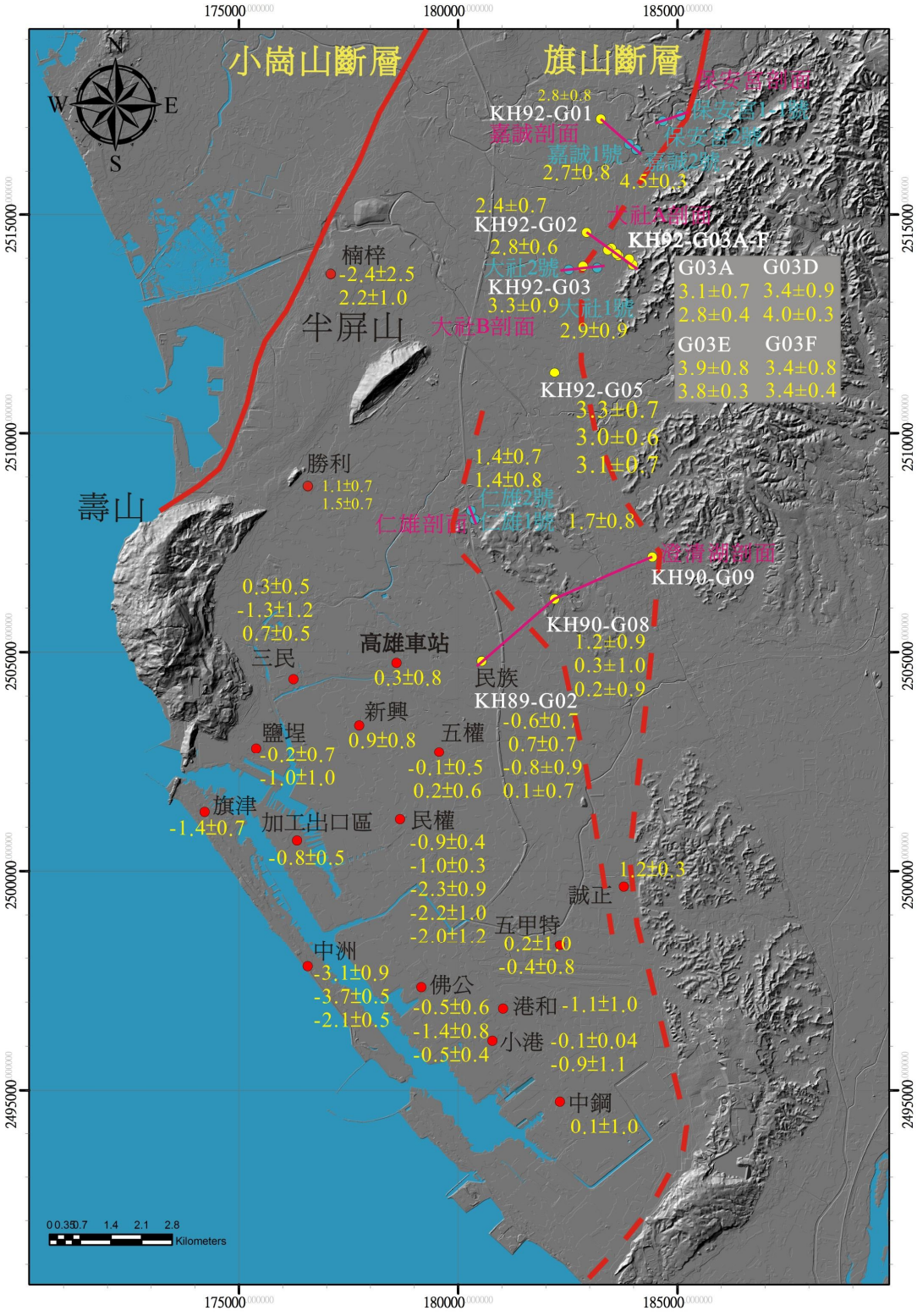


圖 6-10、高雄都會區鄰近區域鑽井地點的地殼長期抬升速率。

第七章 龍船斷層

7.1 前言

龍船斷層調查始於吉田要（1931）的『狗氳氤附近地形及地質圖』與鳥居敬造（1930）的『龍船附近地形及地質圖』調查。徐慶雲（1975）、孫習之與施垚鑫（1960）以及余輝龍等（1980）調查，之後台灣石油公司彙編十萬分之一的臺南地質圖（中油公司，1989；圖 7-1）。

龍船斷層位於西南部新化丘陵的泥岩區，兩側岩層為上新世至更新世古亭坑層與晚中新世烏山層，斷層上盤（東側）出露較老的晚中新世烏山層。首先由臺南地質圖（中油公司，1989；圖 7-1）的斷層位置來看，北段（二仁溪以北）龍船斷層走向約呈北東 20º，最北端與平溪斷層連接，中段斷層跡由二仁溪以南走向轉為北西約 20º；南段再轉為北東約 50º，與旗山斷層平行，距離旗山斷層西側（下盤）約 1 公里。由臺南地質圖（中油公司，1989）的龍船斷層結構以及呈 S 型斷層跡的特徵來看，似乎不太吻合斷層的特性與幾何型態。北段龍船斷層的斷層特性屬於龍船背斜軸部的破裂斷層，呈現高角度斷層，朝東約 60-80º（圖 7-2，圖 7-3，圖 7-4）。中段斷層特性屬於右向橫移斷層，屬於龍船斷層的側向斷坡（lateral ramp），是連接龍船斷層與車瓜寮斷層的以橫移作用為主的斷層（圖 7-3），斷層兩側的向斜構造有東側木柵向斜與西側南安老向斜，其間被錯移約 5 公里。南側的車瓜寮斷層（原來命為龍船斷層）結構屬於背斜軸部的破裂斷層，此背斜構造尚未命名（暫命名為車瓜寮背斜），其可以朝東北延伸至旗山鎮西側，被平溪斷層截切，斷層跡（背斜）走向與旗山斷層平行。依據上述的斷層結構分析，南北兩段皆屬於背斜軸部破裂的斷層，但不屬於同一背斜構造，而中段則屬於右向橫移斷層。

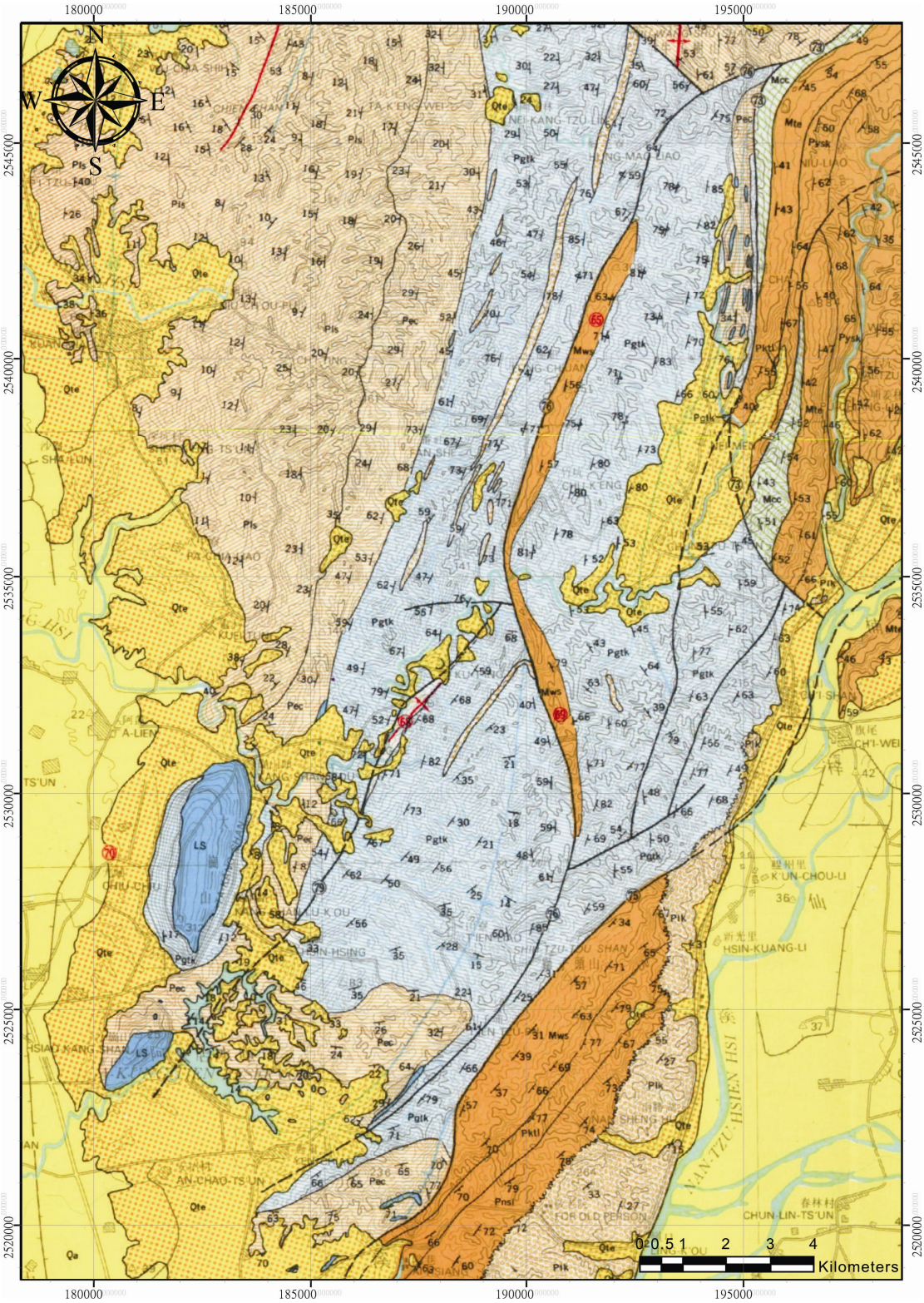


圖 7-1、台南地質圖（中油公司，1989），涵蓋龍船斷層區域的局部地質圖。

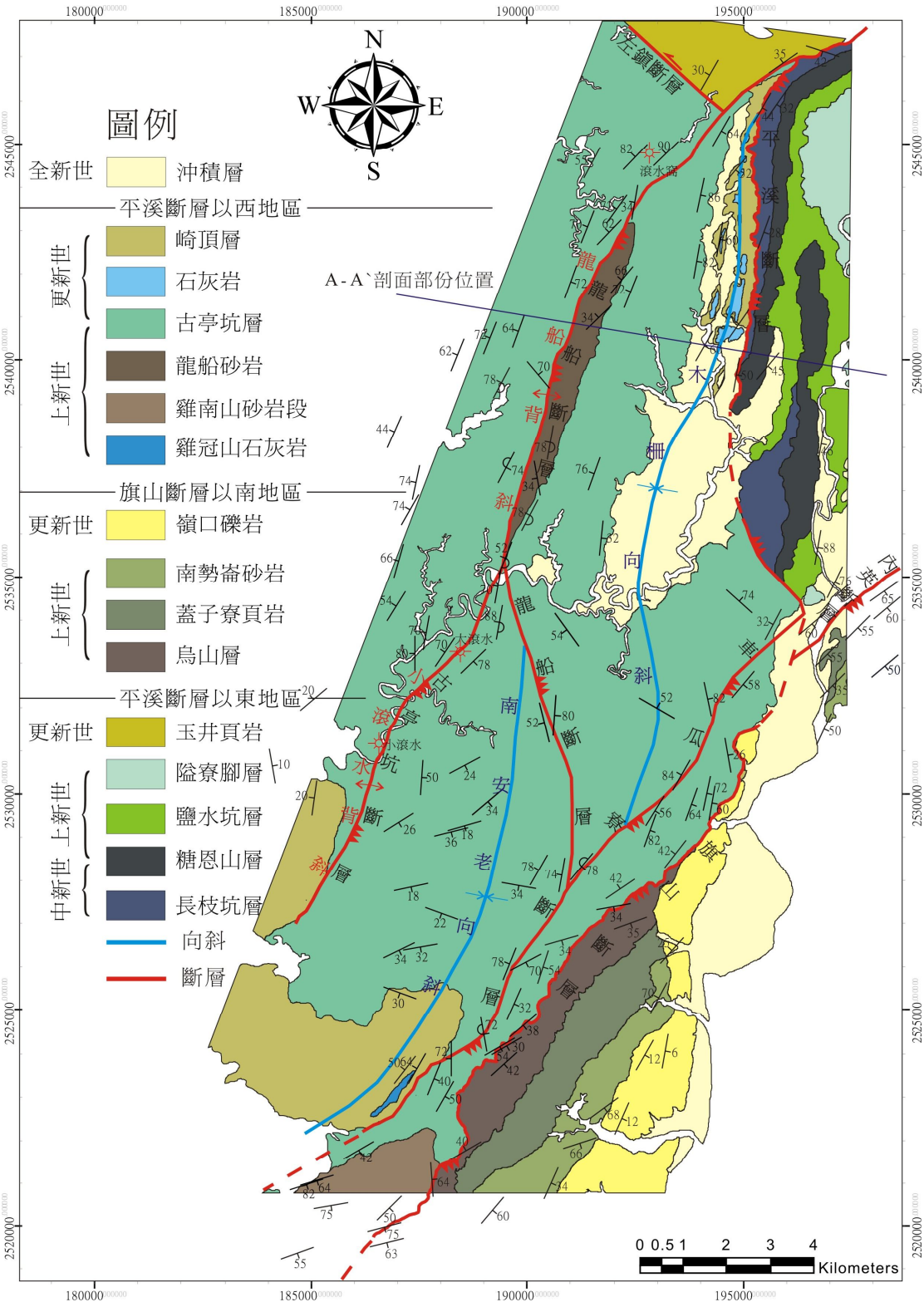


圖 7-2、鄰近龍船斷層與旗山斷層區域的構造地質圖。各斷層線都經由本計畫重新調查測繪，斷層名稱依據台南圖幅（中油公司，1989）。紅色實線與虛線為斷層；藍色線為向斜。岩層位態皆為本研究的調查資料。

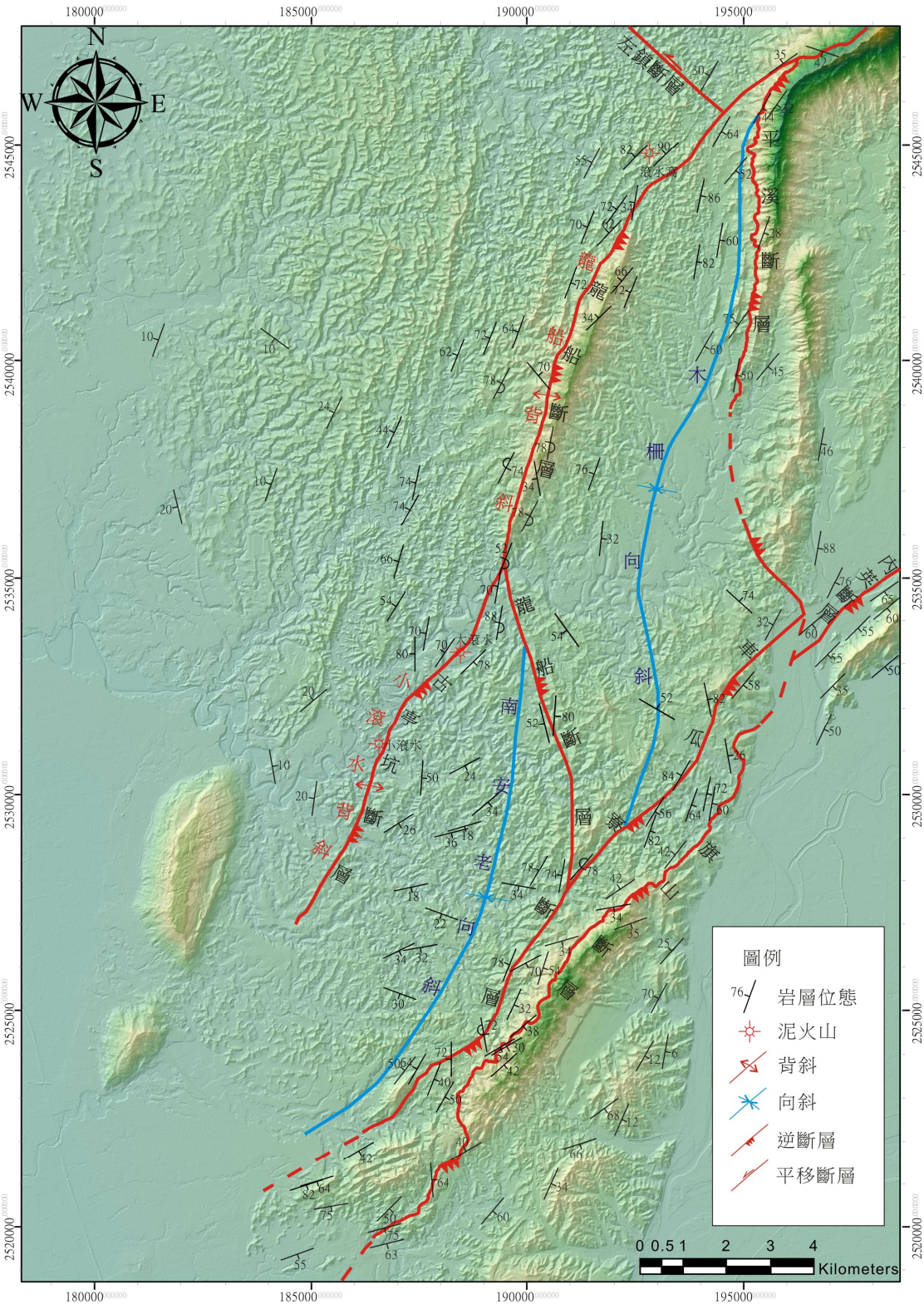


圖 7-3、本研究測繪的龍船區域構造分布圖，岩層位態皆為本研究調查資料。

7.2 地質地形

本計劃針對龍船斷層調查分為三個區域，北區針對龍船背斜軸部的龍船斷層與西南側小滾水背斜軸部的古亭坑斷層，構造線呈北東走向；中區針對龍船斷層朝東南側延伸區段，斷層呈西南走向；南區針對與旗山斷層平行的斷層區段，斷層呈北東走向（中油公司，1989；圖 7-1）。

北段區域，從整體的構造特徵而言，呈背斜構造為龍船背斜與小滾水背斜，並於軸部產生一逆衝斷層構造（圖 7-4），此斷層的北側稱龍船斷層，西南側稱古亭坑斷層，中油公司將這兩個構造以一東西走向的小斷層分隔（中油公司，1989；圖 7-1）。斷層兩側地層都屬於古亭坑層泥岩，依據超微化石研究顯示斷層上盤（東側）地層較老，屬於晚中新世烏山層（吳榮章與梅文威，1985；吳沂全等，1993）。本研究調查顯示龍船斷層兩側岩層都呈現高角度，約 60-80º 朝向背斜兩側，甚至有些倒轉地層；而小滾水背斜兩側岩層的傾角同樣呈現高角度，但南側岩層則較緩，約 40-60º，兩個背斜軸部都有泥火山。位於北側的龍船背斜上盤的烏山層延伸至南側則尖滅消失，小滾水背斜軸部沒有出露烏山層，地層為古亭坑層。

中段區域屬於古亭坑層泥岩，斷層跡不明顯，但位於斷層跡兩側岩層位態明顯不同，斷層西南側岩層呈西北走向朝西傾斜；東北側呈西北走向朝東傾斜。西南側的構造呈現一向斜，為南安老向斜，東北側亦為向斜，稱木柵向斜；兩個向斜軸的錯距約 5 公里，呈現右移作用。

南段區域，臺南地質圖（中油公司，1989）中所繪龍船斷層位在旗山斷層下盤，距離約數百公尺至 2 公里，走向由北西 70º 轉為北東約 50º，與旗山斷層走向大致平行。本研究野外調查結果，其位在旗山斷層下盤（西北側），最近距離約 0.5-1 公里，推測屬於旗山斷層前緣（下盤）的分支斷層（車瓜寮斷層），兩側岩層皆為古亭坑層，且呈現背斜構造（車瓜寮背斜），此構造朝東北方延伸至旗山鎮西側。

7.3 結論

本研究認為南北兩段的背斜軸部破裂斷層應屬於不同斷層，這兩段斷層都可以朝南與朝北延伸（圖 7-2，圖 7-3）。北段龍船斷層向西南延伸連接古亭坑斷層（中油公司，1989）；北段龍船背斜朝西南延伸可連接小滾水背斜。依據構造特性，北段龍船斷層與古亭坑斷層，屬於相同錯距與構造特性的斷層，龍船背斜與小滾水背斜屬於同一背斜構造。原定訂為南段的龍船斷層（車瓜寮斷層），朝東北繼續延伸至旗山鎮西側，與斷層跡相同位置的背斜構造（車瓜寮背斜）同樣朝東北延伸至旗山鎮西側。從斷層結構而言，應分屬兩條不同斷層。中段龍船斷層，只是連接這兩條斷層的橫移斷層。

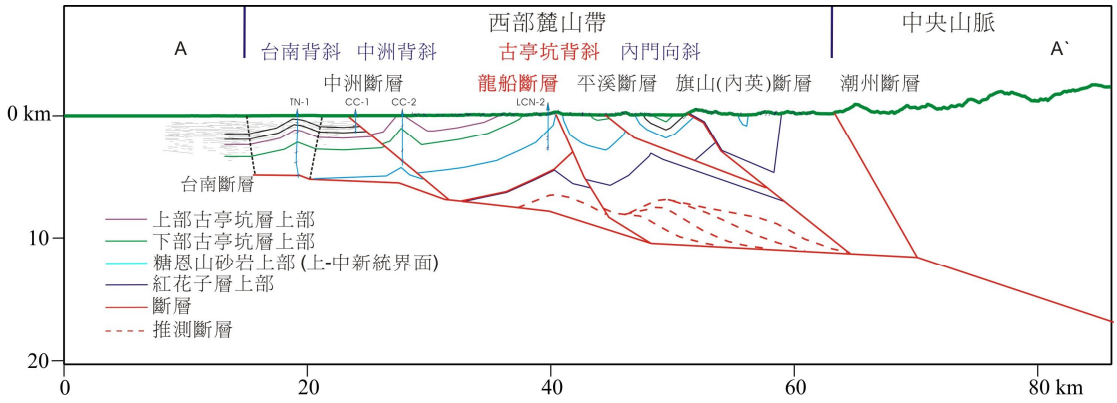


圖 7-4、古亭坑地區地質剖面示意圖，剖面位置見圖 7-2。

第八章、大甲斷層

8.1 前言

大甲斷層位於大肚台地西側，是中部褶皺—逆衝斷層帶（西部麓山帶）的最前緣斷層，也是最近期形成的逆衝斷層（陳文山等，2001）。上盤屬於晚更新世頭嵙山層，是中部地區由東向西三條逆衝斷層的上盤出露最年輕的地層；下盤為全新世沖積層，屬於前陸盆地環境。大甲斷層向西逆衝並褶皺隆起形成大肚台地（大肚背斜），斷層從大肚溪朝北延伸至大安溪（圖 8-1）。

大肚台地位在大甲斷層前端的斷坡上，構造型態呈現斷層彎曲褶皺（fault-bend fold；圖 8-2；Suppe and Namson, 1979；Simoes *et al*., 2007；Yue *et al*., 2005）。前人對於大甲斷層的構造型態有不同看法，一者認為變形型態屬於斷層擴展褶皺（Dominguez *et al*., 2003；Delcaillau *et al*., 1998；Chen *et al*., 2007）；另一認為斷坡之前，還有斷坪構造，變形屬於斷層彎曲褶皺（圖 8-2；Suppe and Namson, 1979；Simoes *et al*., 2007；Yue *et al*., 2005）。至於斷坡尖端是否已經截穿並出露地表，或僅在地表形成褶皺變形（盲斷層），各有不同看法。

大甲斷層尚未有研究明確指出斷層跡位置，大多依據地形特徵推測其位於大肚背斜西翼坡崖與平原交匯處，形成線型崖且具撓曲崖特徵（石再添等，1983；沈淑敏，2005；Hsu and Chang, 1979）。以下從地形、地層位態與層序分析，大甲斷層上盤的地層傾角與台地地形面呈現東翼坡度較緩，西翼坡度較陡（圖 8-3）；東翼台地礫石層的傾角與坡面傾角相似，朝東傾斜約 6º；西翼傾角朝西約 10º，但是近斷層尖端的岩層傾角則呈現高角度，朝西傾斜約 30-60º。由岩層位態變化來看，位於斷層尖端上盤地層屬於晚更新世頭嵙山層，岩層傾角突然變陡，下盤的鑽井岩芯顯示為全新世的水平地層，局部沉積層具剪切構造，顯然大肚台地與平原區交匯處的淺層沉積層已受到斷層作用（或剪切構造），推測局部的斷層尖端應在台地西側截穿至地表（陳文山等，2006）。

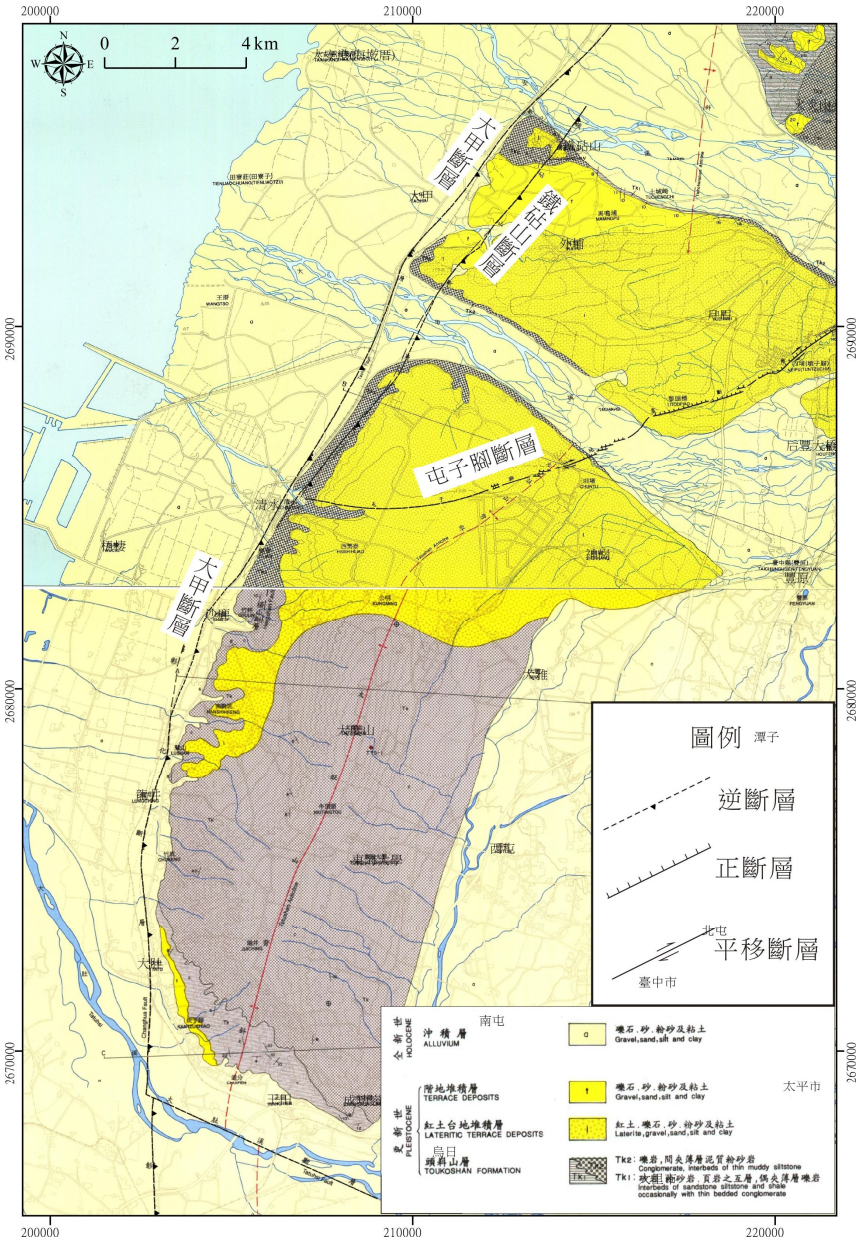


圖 8-1、大甲圖幅（張憲卿，1994）與臺中圖幅（何信昌與陳勉銘，2000）。

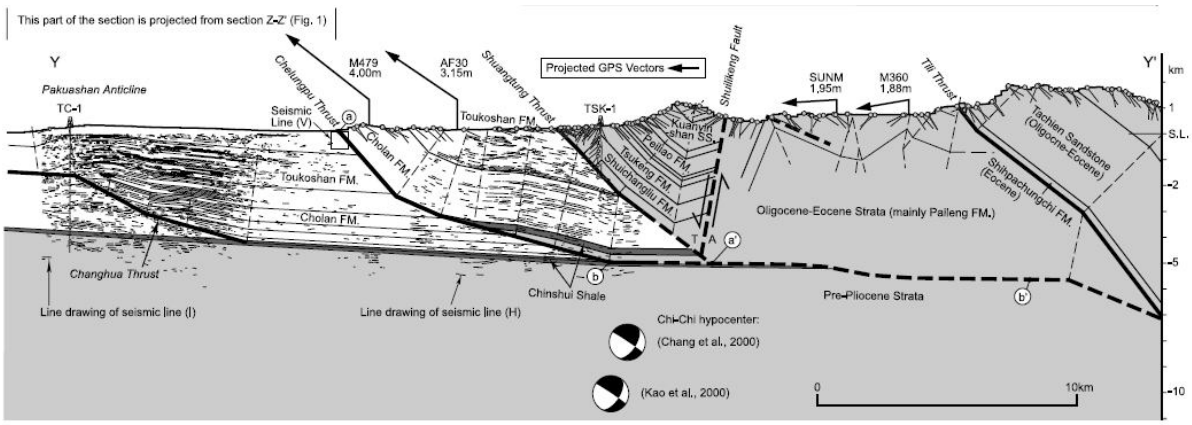


圖 8-2、臺灣中部地質剖面（Yue *et al*., 2005）。

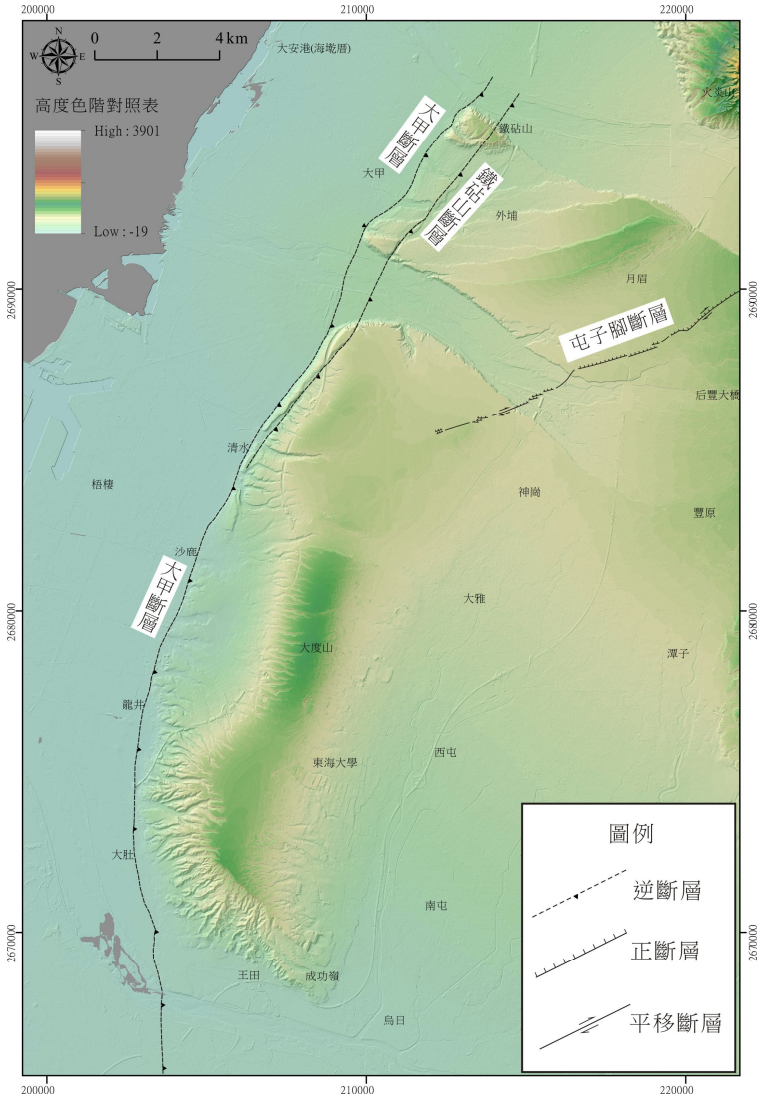


圖 8-3、臺中地區數值模擬地形與大甲斷層位置（TWD97）。

8.2 斷層跡調查與 e-GPS 量測

本調查將大甲斷層分為大甲、清水、沙鹿、龍井、大肚等五段，分別討論斷層沿線地形（圖 8-4）。

8.2.1 大甲段

大甲段位於大安溪至大甲溪之間，大肚台地與海岸平原交匯處呈現明顯的線型斷層崖地形（圖 8-5），崖線呈 N30ºE 走向，崖坡陡峭，最高崖差達 160 公尺。此區域鑽探資料（圖 8-6）顯示斷層兩側地層位態（傾角）、層位與年代明顯不同，上盤傾角 30-50º（朝西），具許多剪切構造，下盤岩層未受變形呈水平狀態；顯示大甲斷層位於大甲 1 號與 2 號井之間。另外，大安溪南岸露頭，斷層上

盤近斷層崖的地層位態朝西傾斜約 45º，與大甲 2 號井的地層傾角相似。

此段還有大甲 3 號井，位在崖坡之上（三清總道院旁），鑽取深度為 160 公尺（石瑞銓等，2010），屬於礫石層，層面呈現傾斜狀態，淺層傾角 40º，向下地層傾角漸緩為 20-30º；破裂面在淺部發育較多，傾角 40-50º；顯然崖坡地層已產生褶皺，與地表岩層傾角相似。

從大甲段的岩芯柵狀剖面地層分析（圖 8-6），顯示此段的斷層尖端已截穿至地表。由於斷層崖地形非常清楚，e-GPS 量測斷層跡位置的誤差範圍在 20 公尺（圖 8-7）。e-GPS 量測的斷層跡位於大甲 1 號與 2 號井之間，大甲 1 號井在下盤，大甲 2 號井位在上盤（圖 8-4）。

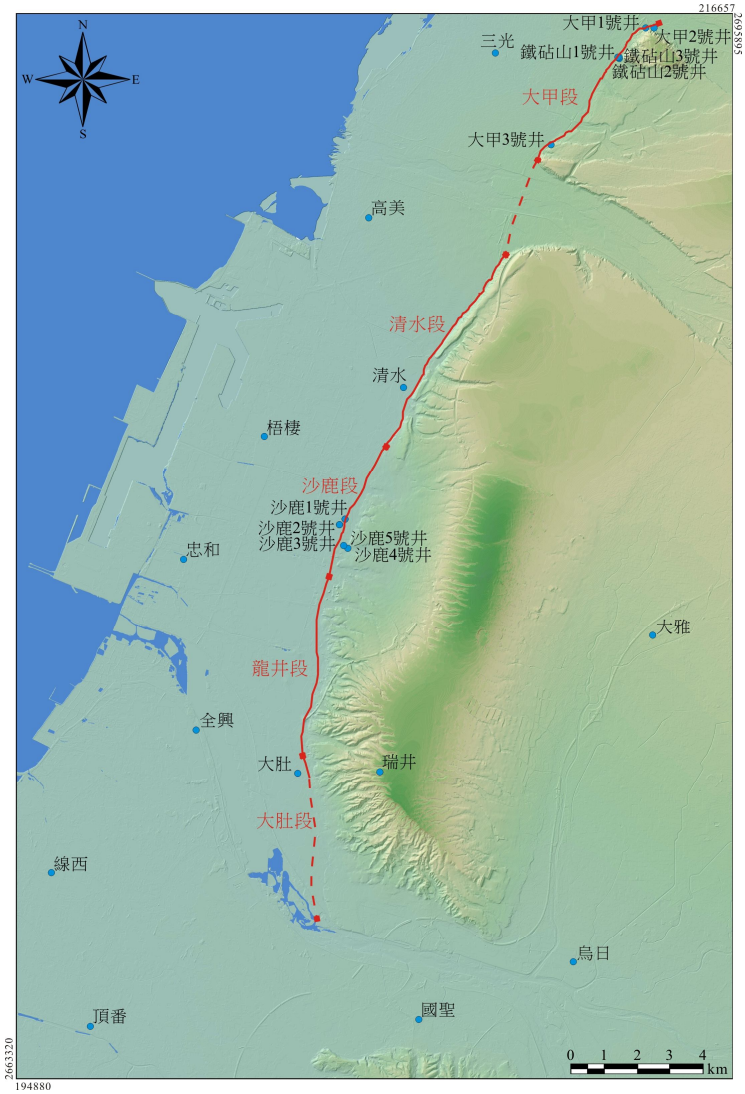


圖 8-4、大甲斷層 e-GPS 量測的斷層跡（紅線）與各鑽井位置，紅色節點為分段位置（TWD97）。



圖 8-5、鐵砧山西側的線型崖為大甲斷層位置（朝南方拍攝）。



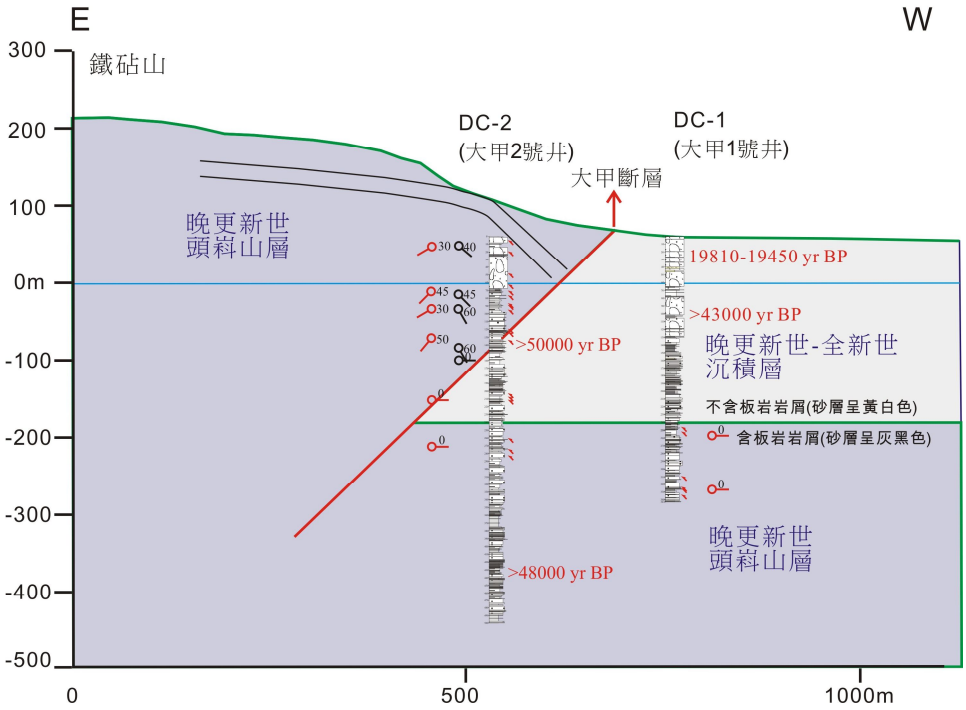


圖 8-6、大甲斷層兩側地層位態與岩性明顯差異，斷層跡位於大甲 1 號井與 2 號井之間。

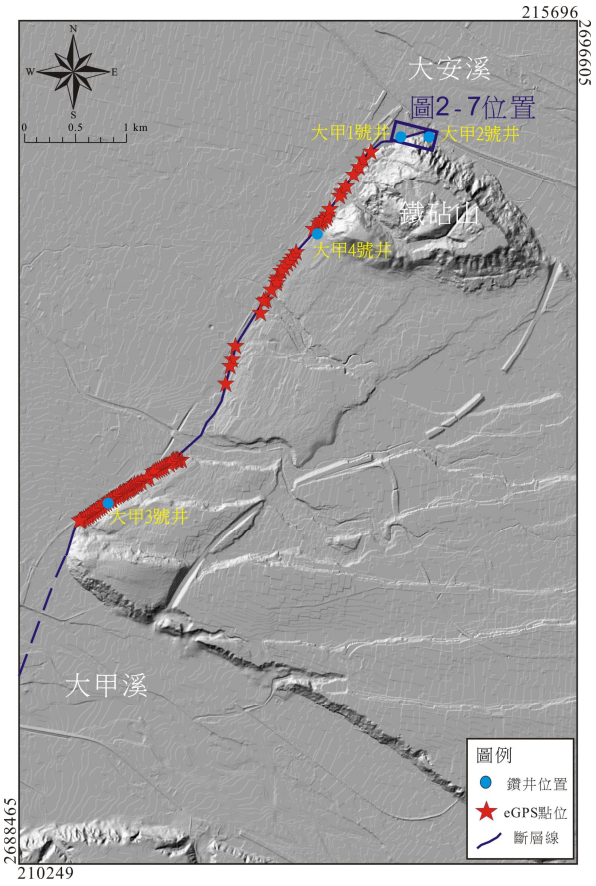


圖 8-7、大甲段 e-GPS 量測位置（TWD97），藍框為圖 8-6。

8.2.2 清水段

清水段從大甲溪經清水至沙鹿北側，地形特徵與大甲段相同，呈明顯的線形崖地形，崖線筆直，呈N30°E走向，崖坡陡峭，最高崖差達 130 公尺（圖 8-8）。由於斷層崖地形非常清楚，e-GPS 量測斷層跡誤差範圍為 20 公尺（圖 8-9）。

清水段下盤有 1 孔鑽井（清水井），從岩芯年代與古環境估算長期抬升速率（約-0.6±0.9 至 0.6±0.9 mm/yr），大致處於沒有變動的構造環境（圖 8-12），顯示清水井應位在大甲斷層下盤。清水段線型崖北側的大甲溪溪床區域，進行淺層反射震測，未發現斷層（石瑞銓等，2010）。



圖 8-8、五福圳沿線的線型崖，斷層跡（白色虛線）沿著崖坡與稻田交匯處（朝東北東方拍攝），位置見圖 8-9。

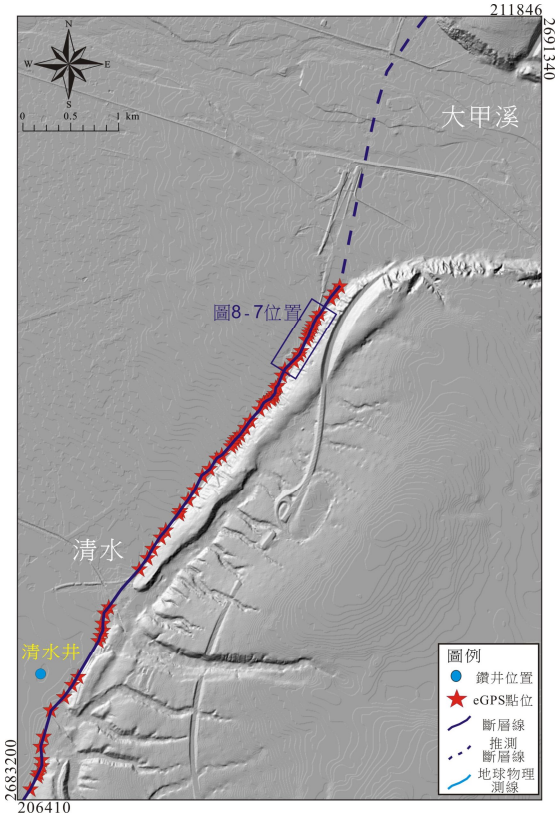


圖 8-9、清水段 e-GPS 量測位置（TWD97），藍框為圖 8-7。

8.2.3 沙鹿段

沙鹿段從清水南側經沙鹿至龍井北側，地形不似北側大甲段與清水段呈現高陡的線型崖，由崖高 30 公尺逐漸降低至數公尺，崖坡呈緩起伏狀（圖 8-10）。緩起伏崖線地形不明顯，受東西向河流切割形成斷斷續續的崖坡地形，部分崖坡經人為修整而消退（沙鹿鎮以南）（圖 8-11）。

此段的斷層跡兩側都有鑽井（沙鹿 1-5 號井），由於沒有定年資料，所以無法研判長期抬升速率（陳文山等，2010a）。但在距離人為線型崖線西側約 150 公

尺的沙鹿 5 號井（圖 8-11），井深 50-70 公尺有許多剪切構造，且由岩芯年代與古環境估算長期抬升速率，沙鹿 5 號井屬於抬升區域，可能位於斷層上盤（圖 8-12，圖 8-13）。

由於斷層崖地形雖不明顯，但仍可分辨，並有鑽井資料控制，e-GPS 量測斷層跡的誤差範圍在 20 公尺（圖 8-11）。



圖 8-10、沙鹿鎮內（鎮南路）的緩起伏崖崖坡地形，照片右側後方高區為人為修整消退的線型崖（朝東方拍攝），位置見圖 8-11。

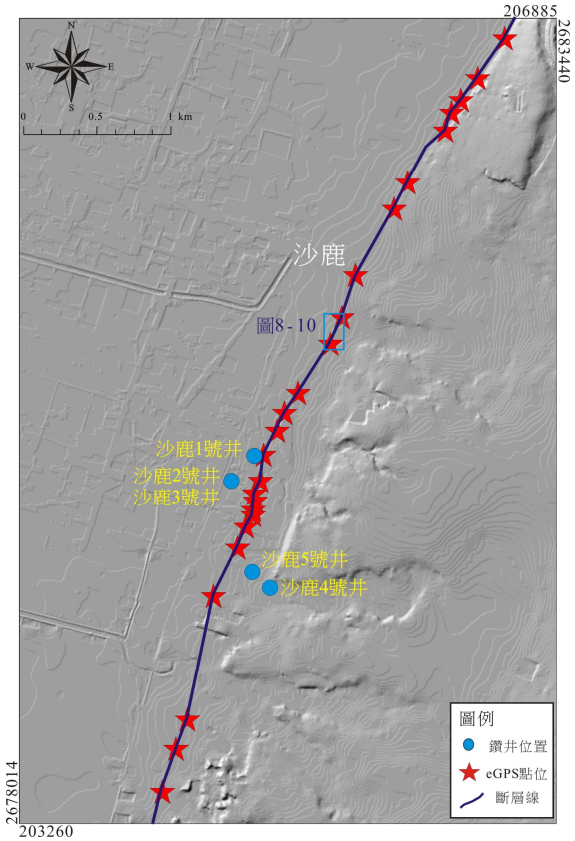


圖 8-11、沙鹿段 e-GPS 量測位置（TWD97），藍框為圖 8-10。

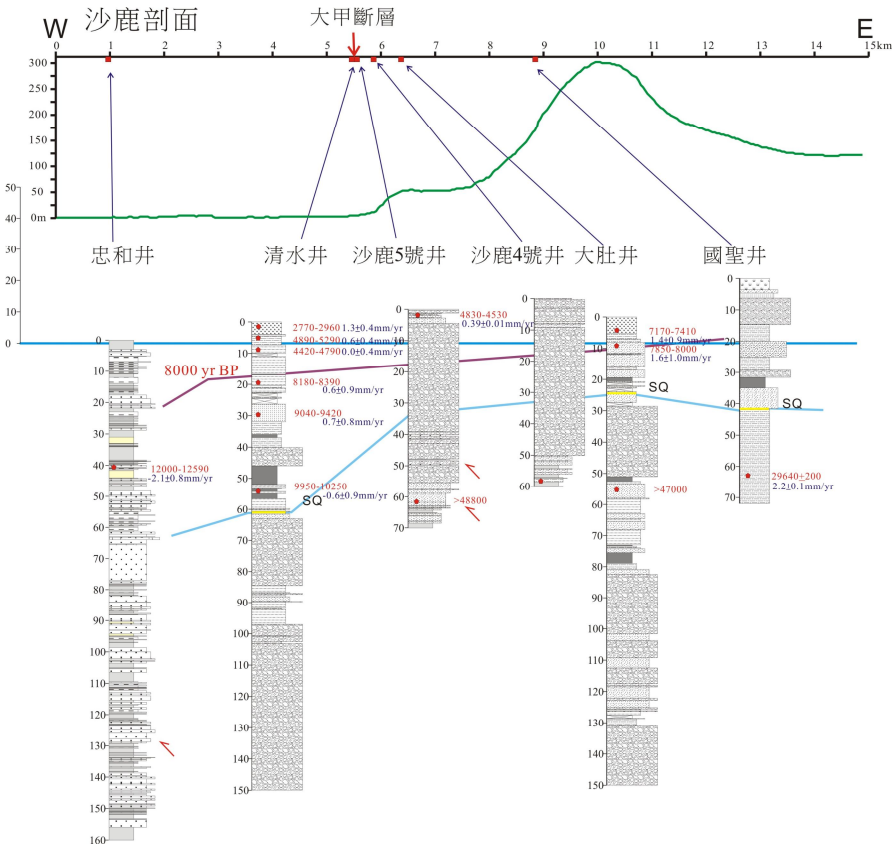


圖 8-12、沙鹿區域鑽井剖面（井位見圖 8-4）。

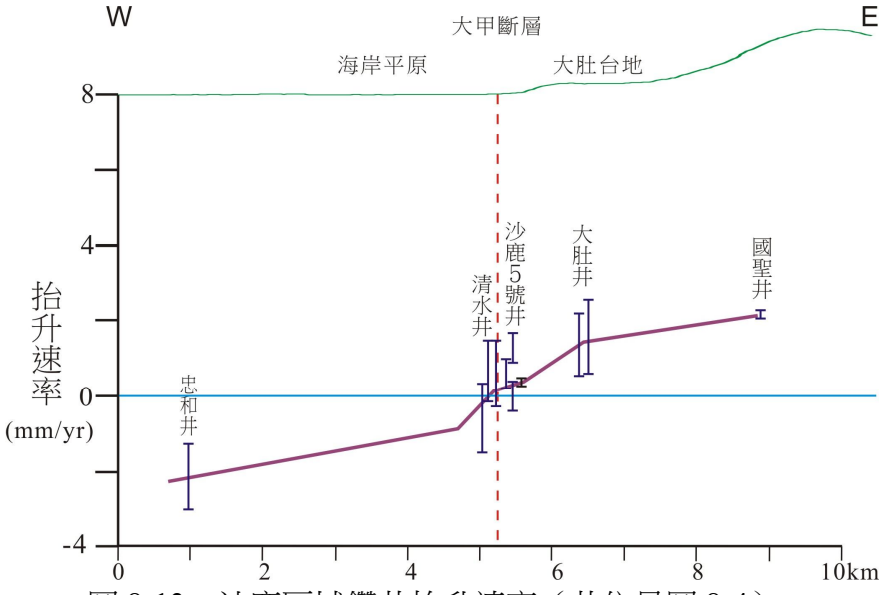


圖 8-13、沙鹿區域鑽井抬升速率（井位見圖 8-4）。

8.2.4 龍井段

龍井段從沙鹿南側經龍井至大肚北側，地形同北側沙鹿段呈緩起伏崖，崖高由 20 公尺逐漸降低至數公尺（圖 8-14）。因經人為挖掘破壞，及東西向河流沖蝕，緩起伏崖遭侵蝕消退，原始緩起伏崖地形不明顯。

因斷層崖地形不明顯，且無鑽井資料控制，e-GPS 量測斷層跡的誤差範圍較大，在 100 公尺內（圖 8-15）。



圖 8-14、龍井地區（龍井火車站前）的連續緩起伏坡崖地形（朝東方拍攝），位置見圖 8-15。

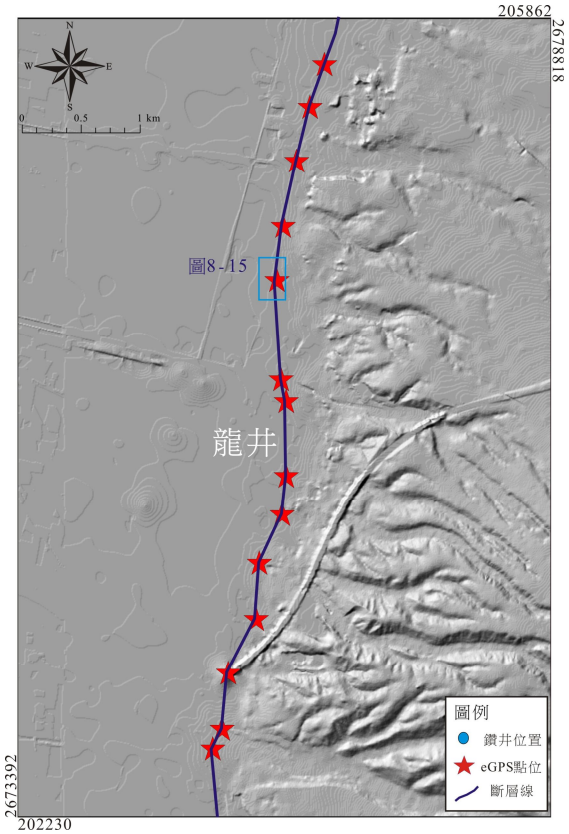


圖 8-15、龍井段 e-GPS 量測位置（TWD97），藍框為圖 8-14。

8.2.5 大肚段

大肚段從大肚至大肚溪，此段崖線地形是大甲斷層沿線中最不明顯區段，但大肚溪北側的營埔有明顯呈北西走向的反向河階（渡船頭），崖高約 2 公尺，地形特徵推測可能為構造崖（圖 8-16），與大肚溪侵蝕的河階崖無關。但由震測資

料顯示，營埔（渡船頭）以西的地下地層由朝西傾斜轉為水平，受斷層影響形成的前緣褶皺變形，而褶皺向斜軸部位在構造崖西側約 400 公尺外（石瑞銓等，2010）。

由於龍井至大肚之間斷層崖地形不明顯，e-GPS 量測斷層跡的誤差範圍可能在 100 公尺內，而大肚以南至大肚溪依據反射震測剖面可能為褶皺構造，斷層跡未出露地表（圖 8-17）。



圖 8-16、大肚段南側渡船頭（營埔）的反向河階崖（朝東北方拍攝），位置見圖 8-17。

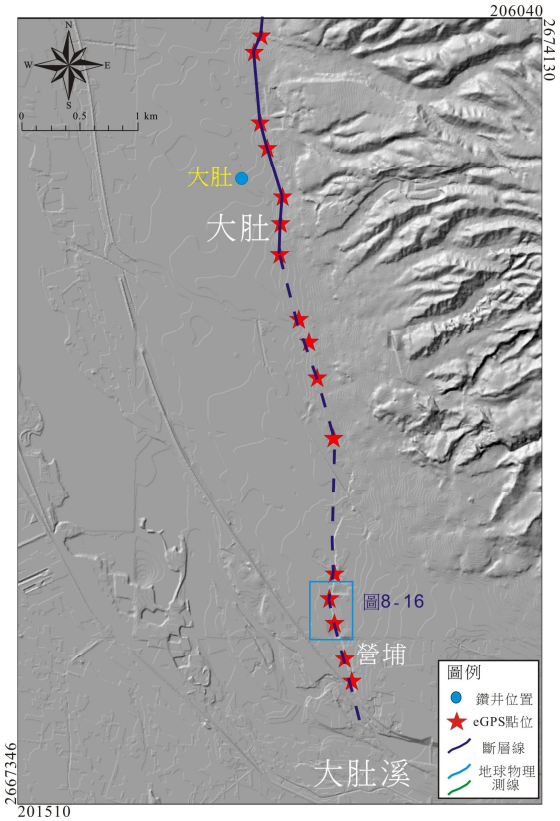


圖 8-17、大肚段 e-GPS 量測位置（TWD97），藍框為圖 8-16。

8.3 結論

大甲斷層從大安溪至大肚溪，全長 30 公里，沿著大肚台地西側與海岸平原交匯處的階地崖。北段從大安溪經大甲、清水至沙鹿的階地崖呈現線形崖地形，鑽井也表示崖線為斷層跡位置，顯示線形崖是大甲斷層截穿至地表位置。e-GPS 量測斷層跡的誤差範圍約 20 公尺。中段從沙鹿至大肚是線型崖地形較不明顯區域，此段 e-GPS 量測斷層跡的誤差範圍約 100 公尺。此區階地崖呈緩隆起狀，遭人為開發或河流侵蝕，部分階地往東側消退，但依據鑽井資料（沙鹿 1-5 號井）顯示斷層位於此線型崖西側，應位於西側緩隆起階地崖前緣。南段從大肚至大肚溪為崖線最不明顯區段，可能為褶皺構造，斷層跡尚未出露地表（圖 8-18）。

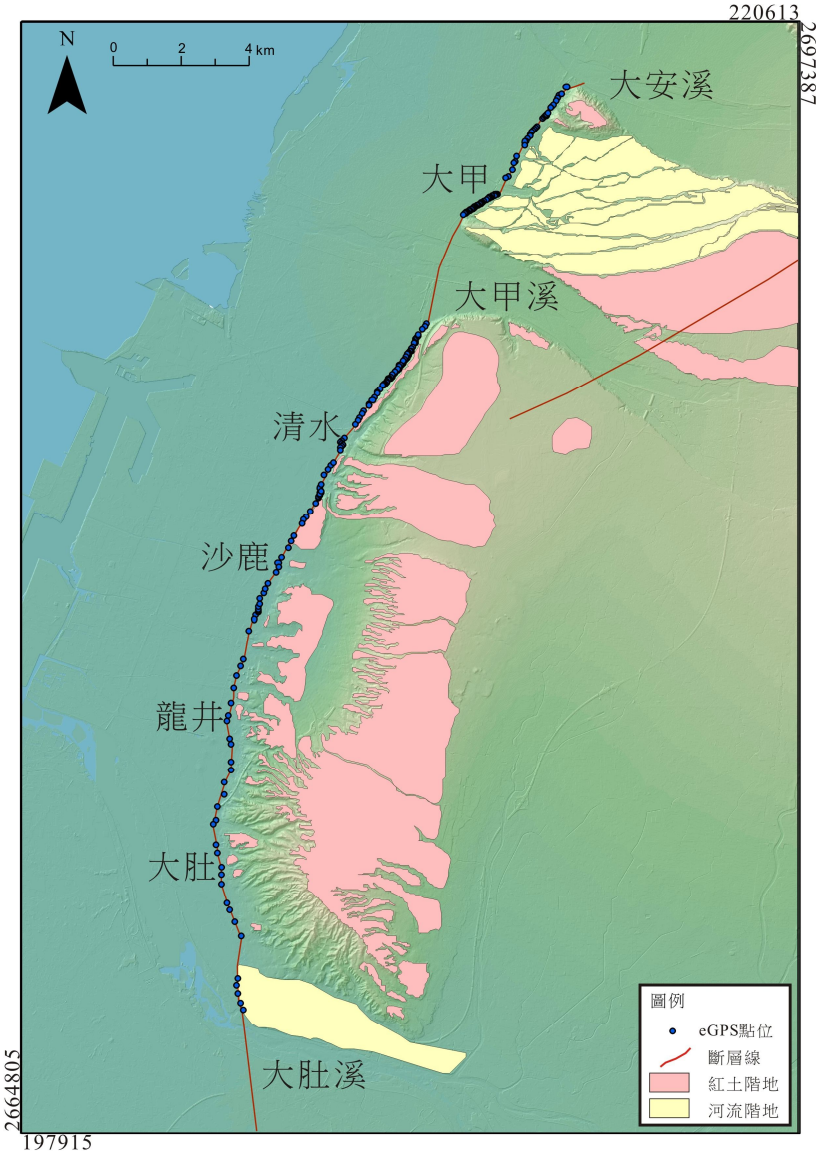


圖 8-18、大甲斷層跡位置的 e-GPS 量測（TWD97），大肚以南為褶皺軸位置。

第九章、山腳斷層（北段）

9.1 前言

更新世以來，北部地區由造山擠壓環境轉為後造山的拉張環境，在北部地區產生正斷層構造，通常沿著逆斷層反轉為正斷層（Teng, 1996；蕭力元等，1998）。新莊斷層與金山斷層是臺灣北部最前緣逆斷層，拉張作用下反轉為正斷層—山腳斷層。斷層跡從台北盆地西南側的樹林區朝北東向沿伸（約 N70ºE 走向）經關渡－新北投，之後穿越大屯火山群，由金山平原北側進入東北海域，陸上全長約 37 公里。

山腳斷層北段下盤（北側）岩層為中新世南莊層與桂竹林層，近斷層上盤（南側）岩層為漸新世五指山層，斷層兩側覆蓋了更新世火山岩（圖 9-1；林朝宗，1991；黃鑑水等，2005）。金山平原是山腳斷層北段沉陷形成的半地塹盆地，鑽井岩芯（三界橋 1 號井）表示盆地基盤為漸新世五指山層，與上覆晚更新世再積火山碎屑層以交角不整合沉積接觸，晚更新世再積火山碎屑岩厚度 551.6 公尺（盧詩丁等，2005；林啟文等，2007）。

近幾年來針對山腳斷層北段有許多調查，但斷層跡確切位置還是不明確，大致從台北盆地西北側的新北投復興崗朝東北延伸進入大屯火山，經七星山與南大屯山之間鞍部後，沿著北磺溪河谷經金山平原北側再延伸入東北海域（林朝宗，2005；陳文山等，2003，2009a；Huang, 2003）。至於斷層跡位置大多認為金山平原北側東西走向的階地崖坡下就是斷層跡位置（黃鑑水等，1991；詹瑜璋等，2005）。由鑽井與淺層反射震測表示斷層跡位置可能在崖坡南側平原區當中（Shih *et al*., 2006）。

金山平原是北段山腳斷層沉陷作用產生的構造盆地，大量來自北磺溪的火山碎屑堆積在平原中，斷層跡被沉積層掩埋，確切位置不易以現今地形來研判。近期在三界橋附近的地質鑽探，顯示金山地區歷經長期的構造沉陷作用，斷層跡

位置可能位於線型崖南側的沖積平原當中，距離線型崖約數十公尺（圖 9-2；盧詩丁等，2005；陳文山等，2009a）。本研究利用先前鑽井資料研判斷層位置（圖 9-2），位於平原西南側的山區，可能受大規模的火山崩積層覆蓋而無法準確研判。

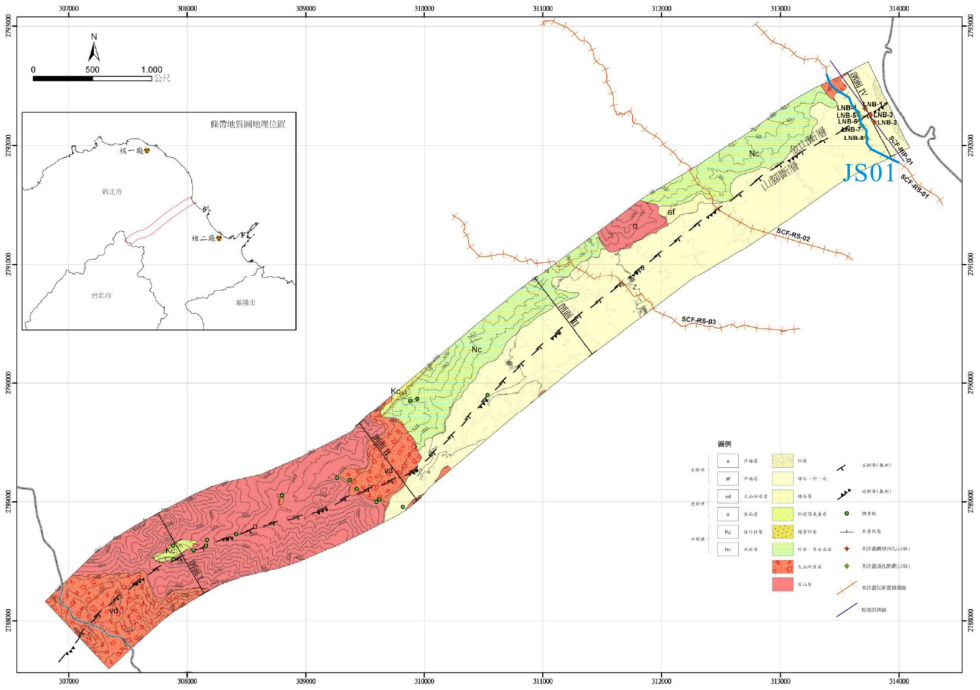


圖 9-1、金山區域山腳斷層條帶地質圖。

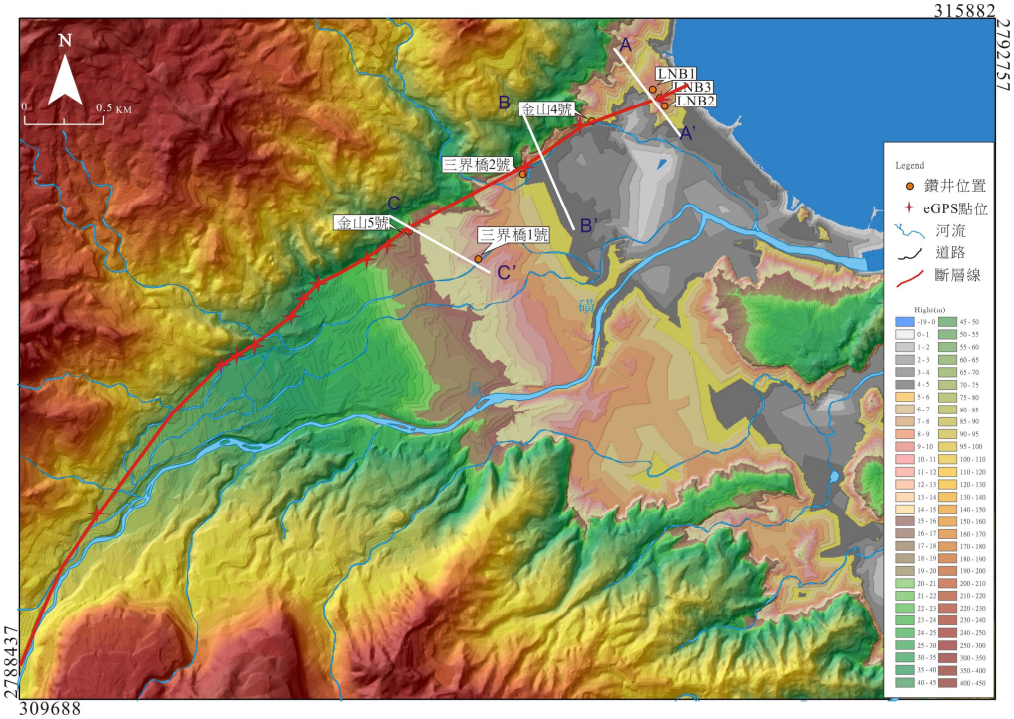


圖 9-2、山腳斷層北段位置與鑽井位置圖（TWD97）。

9.2 斷層跡調查與 e-GPS 量測

9.2.1 金山平原

之前研究認為斷層跡可能位在平原北側線型崖以南的平原中，所以本研究彙整研究資料後，再進行 e-GPS 量測。由於山腳斷層屬於正斷層特性，斷層上盤堆積數百公尺厚的沉積層，為了解山腳斷層位置，因而針對鑽井岩芯進行研究，有中央地質調查所的三界橋 1 號井（井深 640 公尺）與三界橋 2 號井（井深 364 公尺），以及金山 4 號井（井深 100 公尺）與金山 5 號井（井深 406 公尺），中興工程公司 LNB-1 井（井深 300 公尺）、LNB-2 井（井深 301.6 公尺）、LNB-3 井（井深 700 公尺）；總共 7 孔深井岩芯（圖 9-2），可提供金山平原北側地下地質與構造的解釋。

本研究利用鑽井岩芯，將金山平原之下地層分為四層：

一、半淡水與河流沉積層。主要為沙層與泥層，偶夾薄層礫石層，屬於全新世海進時期的半淡水與河流沉積物，厚度 50 公尺以內，越接近北側的崖坡，厚度越薄。

二、河流相再積火山礫石層。巨厚的河流相再積火山礫石層，偶夾薄層砂泥層，時代為晚更新世。

三、南莊層。膠結良好的砂岩與砂頁互層，時代為中新世。

四、五指山層。膠結良好的厚層塊狀石英砂岩，時代為漸新世。

兩層未膠結沖積層之下為岩盤，再積火山礫石層不整合在岩盤之上，岩盤有兩個時代地層，金山斷層（逆斷層）上盤為漸新世五指山層，下盤為中新世南莊層（圖 9-3）。

由金山斷層反轉為正斷層的山腳斷層，大致沿著金山斷層再活動，但是斷層帶未必完全沿著斷層面活動，可能位在南莊層或五指山層中。所以欲以岩盤作為研判斷層位置可能有疑義，所以就以兩井之間岩盤最大落差位置，作為山腳斷層跡位置。

首先利用東側接近海岸由中興工程公司鑽取的 3 孔深井（LNB-1、LNB-2、

LNB-3），分析地下地層與構造。3 孔鑽井垂直斷層跡走向排列（A-A’剖面），LNB-1 井位在北側，LNB-2 井位於南側；LNB-3 井位在兩井之間，深度最深達 700 公尺（圖 9-2）。LNB-1 井鑽取深度 300 公尺，全新世砂泥層厚度為 43.25 公尺，晚更新世再積火山礫石層厚度為 24.5 公尺（底部深度 67.75 公尺），深度 67.75 公尺以下為中新世南莊層岩盤（圖 9-3）。LNB-2 井鑽取深度 301.6 公尺，全新世砂泥層厚度為 49.9 公尺，此井未鑽至岩盤，晚更新世再積火山礫石層厚度至少 251.7 公尺。LNB-3 井鑽取深度 700 公尺，全新世砂泥層厚度為 46.0 公尺，晚更新世再積火山礫石層厚度為 456.8 公尺，深度 502.8 公尺以下為漸新世五指山層岩盤（圖 9-3）。從岩盤岩性分析，502.8-586.9 公尺為白色含礫石的粗粒石英砂岩，厚度 84.1 公尺，屬於漸新世五指山層。586.9 公尺以下岩性為中細粒砂岩與砂頁互岩，岩性屬於中新世南莊層。因此研判深度 586.9 公尺的薄層斷層帶應為金山斷層。至於山腳斷層位置，依各上部沉積層厚度變化及岩盤地層，推估應該位在 LNB-1 井與 LNB-3 井之間。從兩井的間距與岩盤深度推測，山腳斷層朝南的傾角約 80°（圖 9-3）。

金山 4 號井位在 LNB-1 井西南側約 500 公尺（B-B’剖面），鑽井深度為 100 公尺，上層 24.3 公尺厚屬於全新世砂泥層，不整合在中新世南莊層之上，不整合面深度為 24.3 公尺；從岩芯研判金山 4 號井位在山腳斷層下盤（圖 9-4）。三界橋 2 號井位於崖坡之下，距離崖線約數十公尺，鑽井深度 364 公尺，除地表數公尺的土壤層之外，以下至 360 公尺屬於再積火山礫石層，未鑽至岩盤。從崖坡上地表出露的中新世南莊層或金山 4 號井與鑽井下地層對比，斷層位在鑽井位置與崖坡之間，中新世南莊層落差至少 360 公尺，推估山腳斷層朝南傾角約 80°。

金山 5 號井位在三界橋 2 號井西南側約 700 公尺（C-C’剖面），鑽井深度 406 公尺，除地表數公尺土壤層外，至深度 382.4 公尺皆屬於再積火山礫石層，382.4-406 公尺為中新世南莊層岩盤（圖 9-5）。三界橋 1 號井位於崖坡南側約 500 公尺，鑽井深度 640 公尺，除地表數公尺土壤層外，至深度 551.6 公尺皆屬於再積火山礫石層，551.6-640 公尺為漸新世五指山層岩盤（圖 9-5）。從崖坡上出露

的中新世南莊層與井下地層的對比，中新世南莊層落差約 390 公尺，顯然斷層位在鑽井與崖坡之間，推估山腳斷層朝南傾角約 80°；金山斷層位在金山 5 號井與三界橋 1 號井之間。

從上述三個剖面的鑽井岩芯與地表岩層對比，本研究認為山腳斷層應位在 LNB-1 井與 LNB-2 井之間、三界橋 2 號井北側與斷層崖之間，以及金山 5 號井北側與斷層崖之間。依據排鑽資料與地形特徵，研判金山平原北側的線形崖地形屬於斷層崖，所以 e-GPS 量測將依照上述鑽井岩芯研判結果及斷層崖地形進行量測，誤差約 20 公尺以內（圖 9-6）。

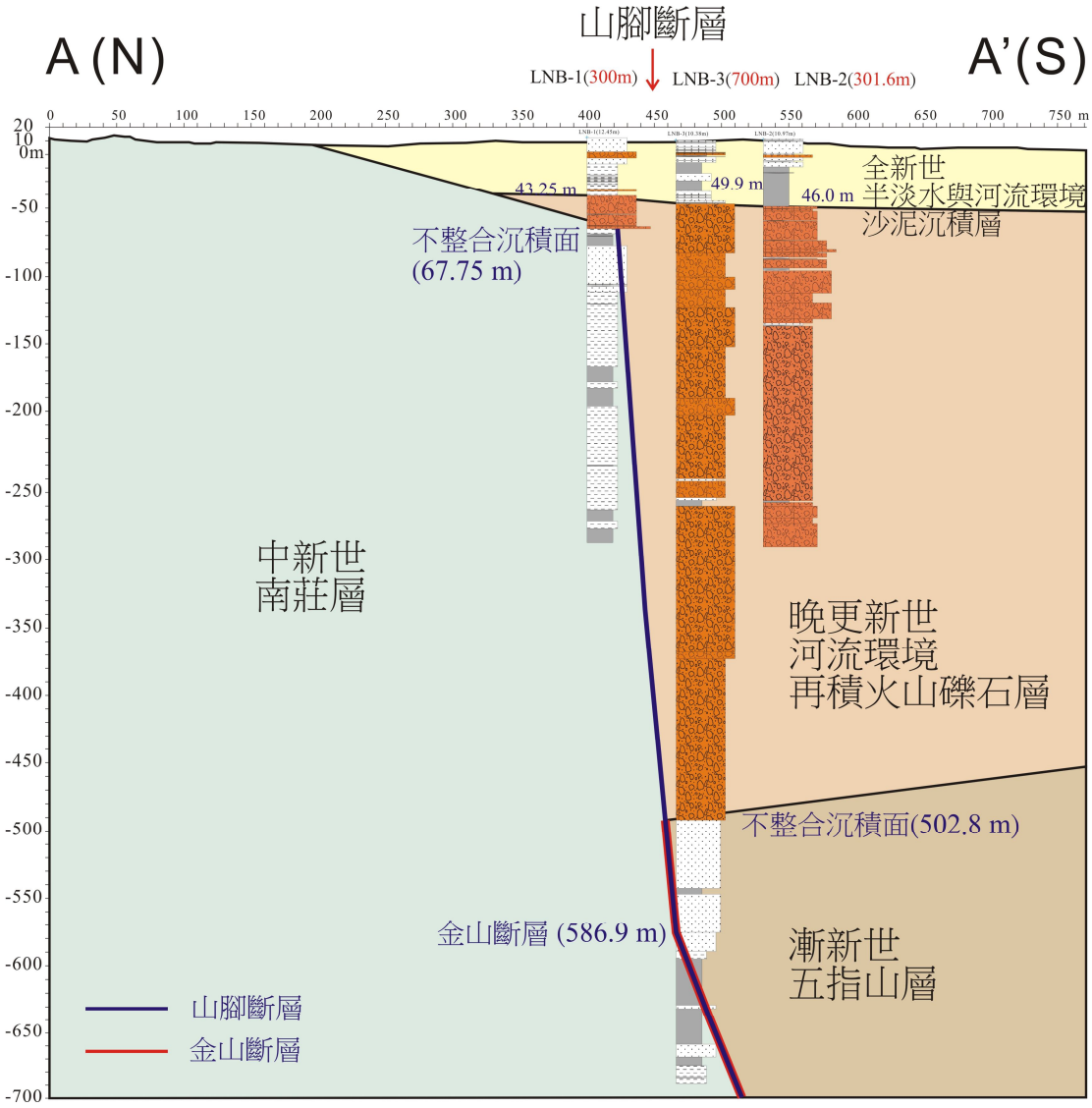


圖 9-3、A-A'剖面岩芯柵狀圖，山腳斷層位在 LNB-1 與 LNB-2 井之間。

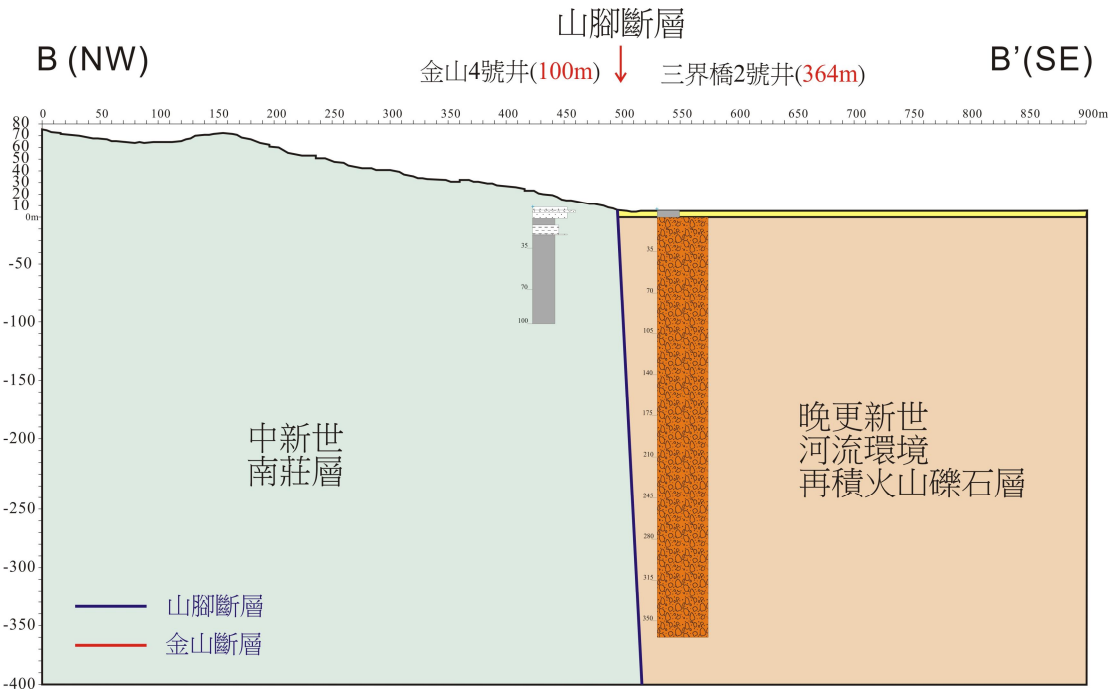


圖 9-4、B-B'剖面岩芯柵狀圖，山腳斷層位在三界橋 2 號井與坡崖之間。

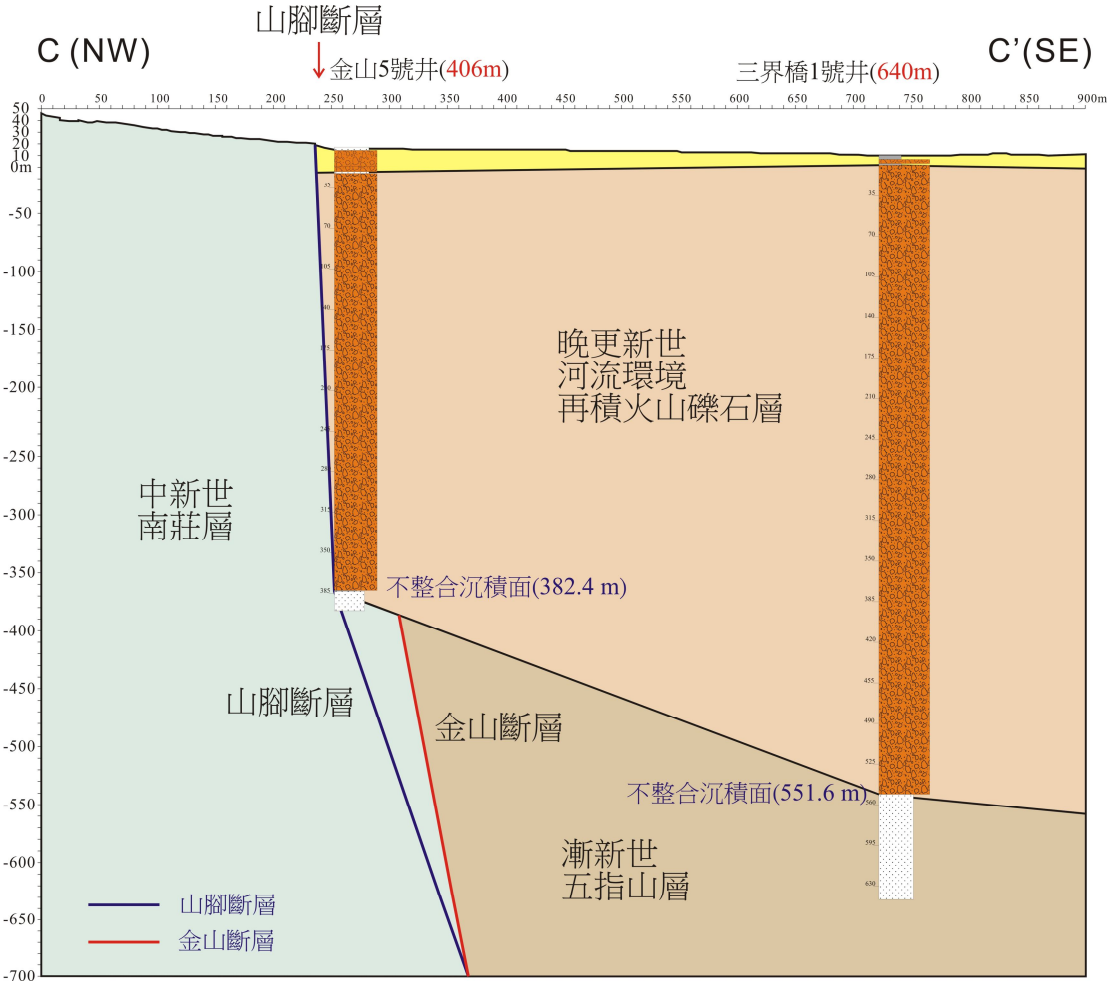


圖 9-5、C-C'剖面岩芯柵狀圖，山腳斷層位在崖坡與金山 5 號井與坡崖之間。

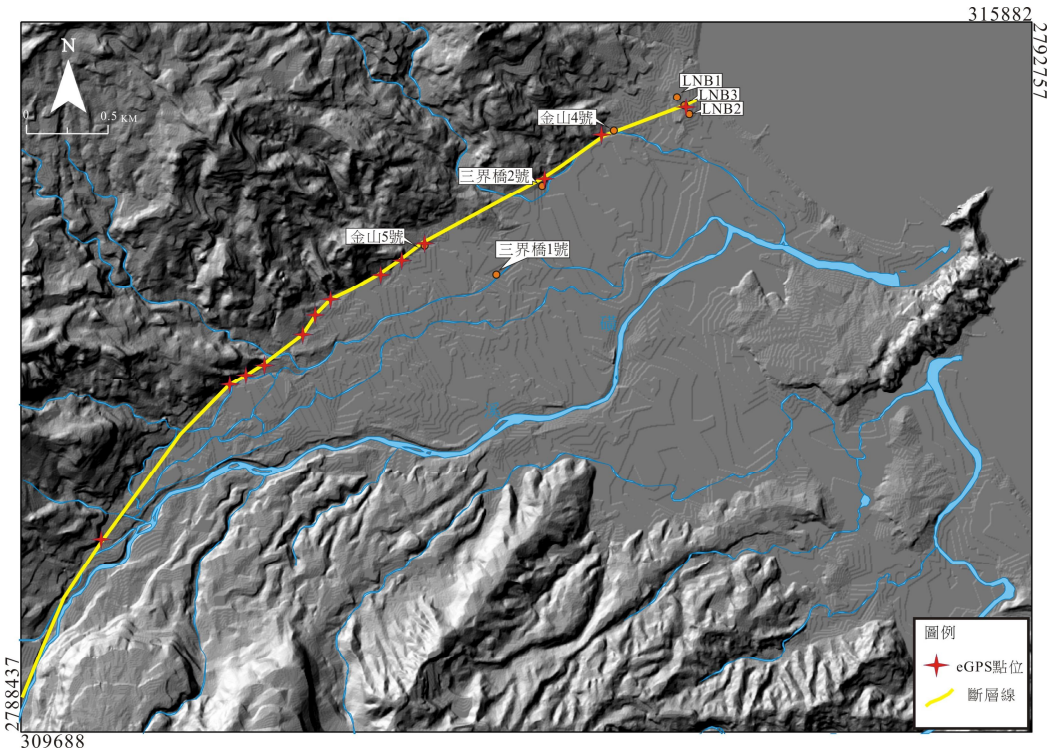


圖 9-6、e-GPS 量測點與斷層跡位置（TWD97）。

9.2.2 北磺溪段

北磺溪段從金山平原西側進入大屯山區，沿北磺溪段至擎天崗鞍部，大致沿著北磺溪河谷。由於此區段屬於茂密的森林區，地形陡峭，所以地質調查相當困難。前人調查表示岩層大都屬於更新世火山岩，不整合在中新世沉積岩層之上，中新世南莊層與桂竹林層僅出露在北磺溪北岸流域（中興工程顧問股份有限公司，2012）。因此從中新世南莊層與桂竹林層出露位置來看，金山斷層或山腳斷層應位在北磺溪以南（圖 9-1）。

從山腳斷層的正斷層特質而言，斷層跡應沿著地形低區，即現今河谷。另外，從火山地形研判，北磺溪南岸區域保存相當完整的晚更新世火山地形，而北岸區域則呈現許多大型地滑區，且地滑岩盤產生許多張裂隙（圖 9-7；陳文山等，2007）。顯然，山腳斷層從金山平原朝西南延伸可能沿著北磺溪北岸，至北磺溪源頭的擎天崗鞍部。

由於此區段無法以出露地層精確地定訂斷層跡，況且大多無法下達河谷進行 e-GPS 量測，故僅依據地形特性推測可能斷層跡位置。

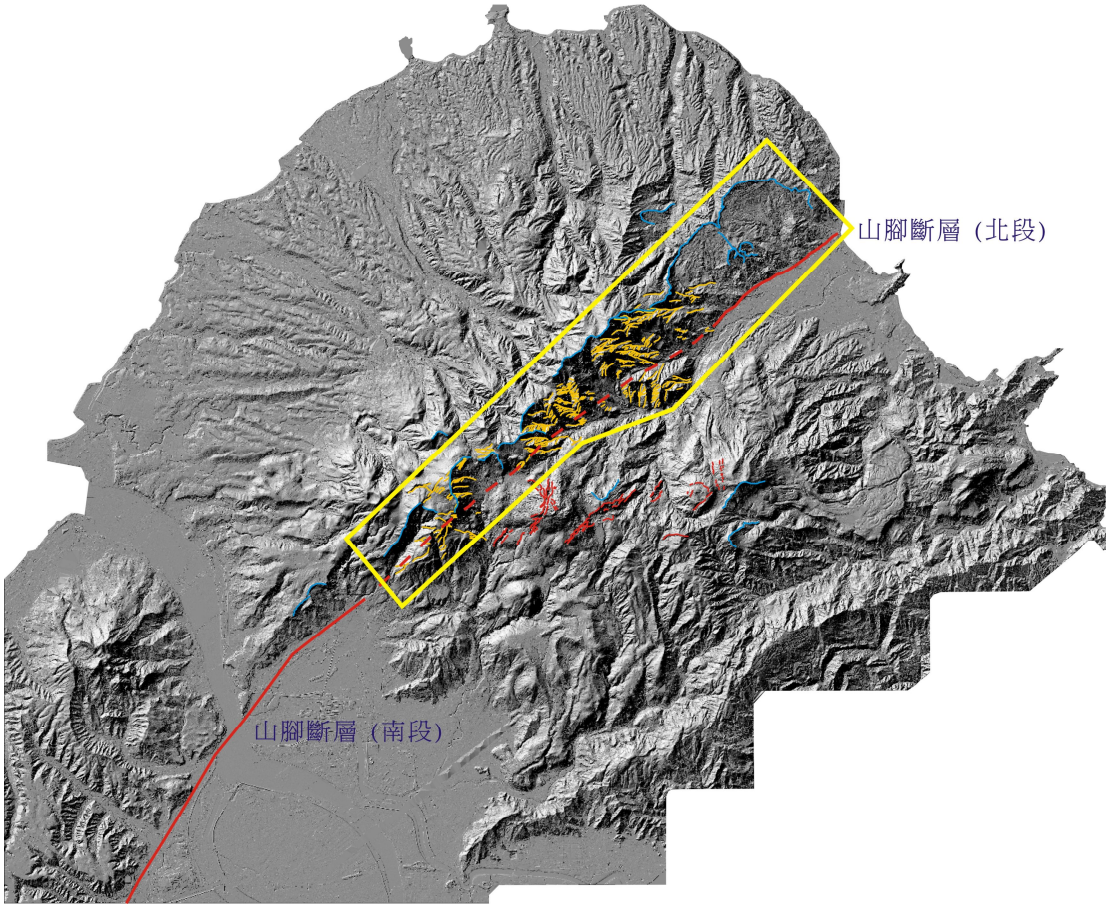


圖 9-7、藍線為地滑區上方崩崖的稜脊，紅色粗略線與虛線為山腳斷層位置，紅色細線為火山裂隙，橘線為岩盤裂隙。

9.2.3 新北投至擎天崗段

從擎天崗鞍部朝西南沿著南磺溪延伸，通過七星山與南大屯山之間的竹子湖至新北投，再從新北投往西南側進入台北盆地。擎天崗鞍部至新北投區段的斷層跡非常不明顯，地表岩層皆屬於更新世火山岩，地形特徵與北磺溪沿線相似，斷層跡兩側都呈現大規模地滑區及岩層裂隙（圖 9-7，9-8）。

從圖 9-7 黃線區域顯示的地形來看，大屯火山區域中以此區塊內呈現最多的地滑地形及岩層裂隙構造，區塊之外的火山地形都保存非常完整。顯然，此帶狀區域可能受到正斷層上盤朝南的沉降作用，導致岩層產生朝南地滑，同時造成岩層裂隙。所以研判山腳斷層應通過此地滑區，而斷層跡應該被地滑的岩層覆蓋，沒有出露地表，所以沒有呈現類似台北與金山盆地的線型斷層崖地形（圖 9-8）。

另外，從台北盆地堆積的晚更新世至今的沉積層，推測山腳斷層至少在 50 多萬年前就已活動（陳文山等，2008）。因此，山腳斷層活動過程，大屯火山噴

發大量火山岩覆蓋在斷層之上，導致地表的斷層地形不明顯。但是受到山腳斷層作用產生地質結構的最大差異，是兩側火山岩厚度有很大差異，北磺溪兩側沉積岩岩盤的垂直落差達 880 公尺，北磺溪南側斷層上盤區域的火山岩厚度較厚，達 1,500 公尺；北磺溪北側的斷層下盤區域的火山岩厚度較薄，僅數百公尺；顯然山腳斷層大致沿著北磺溪溪谷分布（陳文山等，2003，2008）。

因此依據地形特徵，研判大屯火山地區的斷層跡不明顯，所以 e-GPS 量測僅依崩塌地形特徵與斷層跡走向進行量測，誤差可達數百公尺（圖 9-9）。

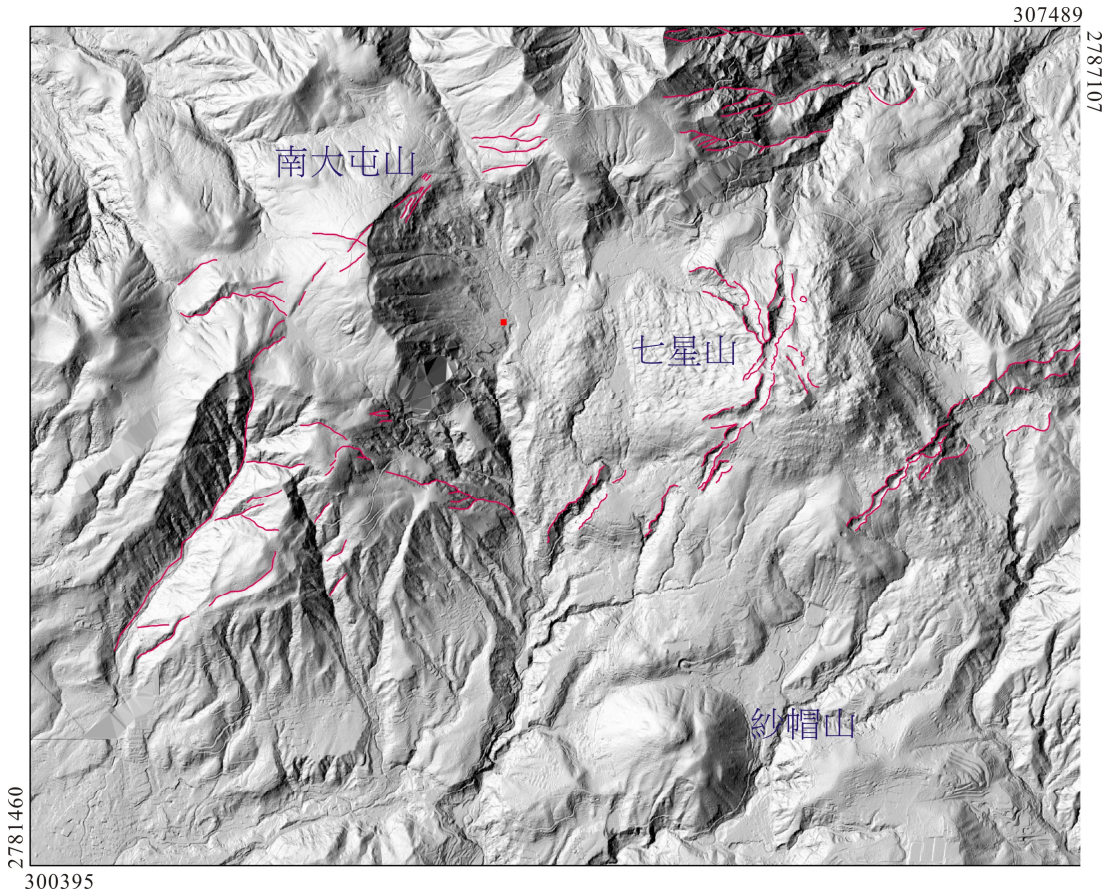


圖 9-8、竹子湖地區的地滑裂隙與火山伸張裂隙（紅線）（TWD97）。

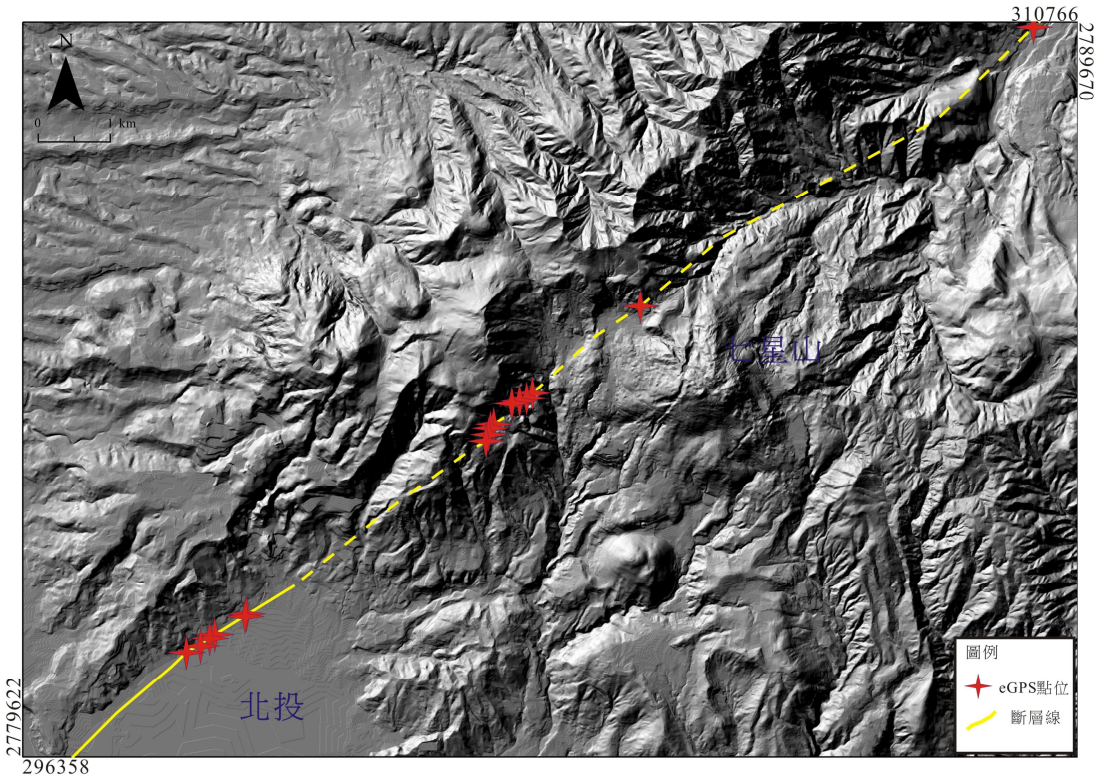


圖 9-9、七星山至新北投地區的 e-GPS 量測點與斷層跡位置（TWD97）。

9.3 結論

山腳斷層北段由新北投經大屯山竹子湖，再沿北磺溪至金山平原北側的斷層崖下，最後進入東北海域。調查結果認為山腳斷層北段斷層跡最明確位置是金山平原北側斷層崖之下。沿北磺溪進入大屯山區至新北投區域，斷層跡地形並不明確，主要原因是此區域受到斷層活動影響，大規模地滑將斷層跡覆蓋。

因此 e-GPS 量測主要在金山平原的斷層崖，誤差範圍在 20 公尺以內，此區外掩覆於大規模地滑之下，目前的調查技術及方法，尚無法研判斷層跡確切位置。

第十章、三義斷層

10.1 前言

三義斷層分為主斷層及位於主斷層東側的支斷層（后里斷層），三義斷層屬於逆移斷層，最北端呈東西走向，三義以南至豐原的斷層走向轉為南北向，向南延伸至臺中市太平區草湖溪與車籠埔斷層連接（陳文山等，2001；Chen *et al*., 2003）。大安溪北岸，斷層上盤岩層為桂竹林層，下盤為頭嵙山層（圖 10-1）。大安溪以南（大甲圖幅；張憲卿，1994），三義斷層（主斷層）通過后里台地東側，桂竹林層逆衝至頭嵙山層之上，但被后里台地紅土階地礫石層覆蓋，紅土面沒有產生變形。顯示紅土階地礫石層沉積後，沒有活動跡象（圖 10-2；陳文山等，2001；Chen *et al*., 2003）。

支斷層（后里斷層）位在主斷層（三義斷層）東側約數百公尺至一公里，斷層截穿過桂竹林層中，並截切后里台地上覆的紅土階地礫石層，造成紅土階地礫石層撓曲變形。

大甲溪北岸剖面，集集地震後河床剖面被沖蝕，露出完整的地層剖面，發現原來所繪的三義斷層截切於桂竹林層中（大甲圖幅），斷層兩側都屬於桂竹林層，與原來三義斷層定義不同，因此陳文山等（2001；Chen *et al*., 2003）重新命名為后里斷層，並認為三義斷層還位在更西側。另外，由工程鑽井顯示三義斷層在大安溪至大甲溪之間的斷層跡被晚更新世后里台地的紅土階地礫石層覆蓋，階地礫石層沒有受到構造擾動；大甲溪以南也被近代沖積層覆蓋，地表未見新期構造產生的地形（圖 10-3）。

從地質與新期構造地形特性研判，三義斷層似乎在晚更新世以來沒有活動。但是，大地觀測結果顯示至今中部地區還持續有大量的地殼變形。晚更新世以來，三義斷層兩側的地殼變形（應變）為何？從新期構造地形特性來看，除了上盤的石岡斷層（集集地震斷層）屬於活動斷層之外，在石岡斷層與三義斷層之間

的分支斷層（后里斷層）則是晚更新世以來另一主要變形帶。分支斷層沿線都有新期構造產生的地形，大甲溪以南區域，造成紅土階地的錯斷與變形（李錦發，1994；黃鑑水與張憲卿，1994；陳文山等，2001；Chen *et al*., 2003）；大安溪以北區域同樣也形成晚更新世紅土階地礫石層的錯斷與變形（林啟文等，2008）。

本研究主要目地為求取三義斷層的斷層參數，但以地質構造而言，三義斷層的主要斷層帶似乎在晚更新世以來沒有活動，此區域主要的變形已轉移至上盤的分支斷層（后里斷層）。因此，本研究將針對其分支斷層進行調查，並藉由槽溝剖面進行討論。

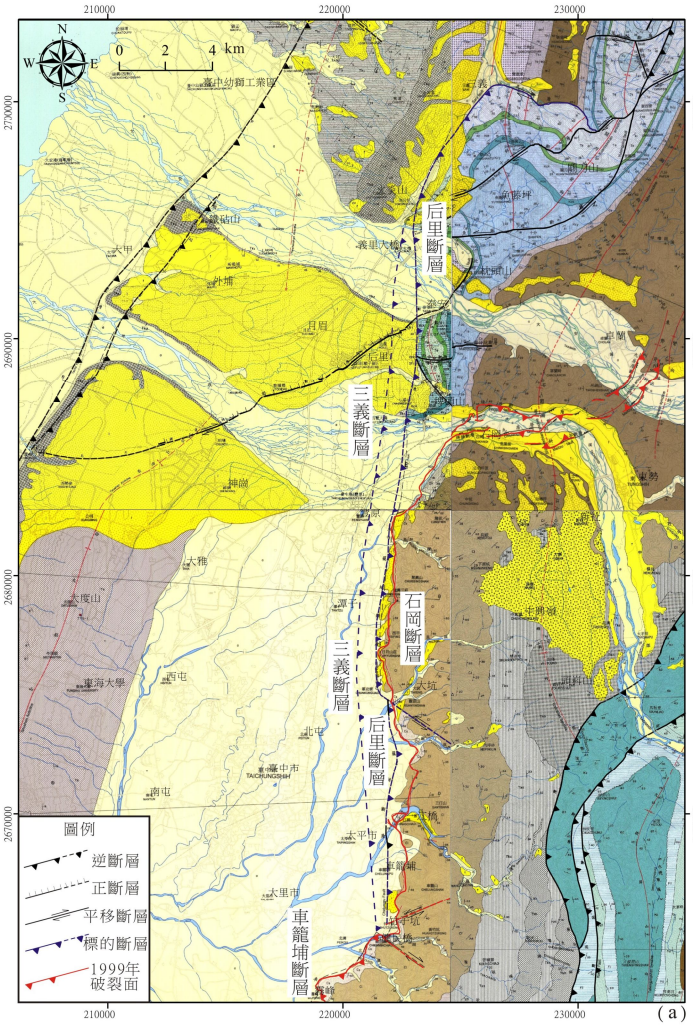


圖 10-1、重繪三義斷層（黑色虛線）分布圖，底圖為東勢圖幅（李錦發，2000）；國姓圖幅（羅偉等，1999）；大甲圖幅（張憲卿，1994）；臺中圖幅（何信昌與陳勉銘，2000）。

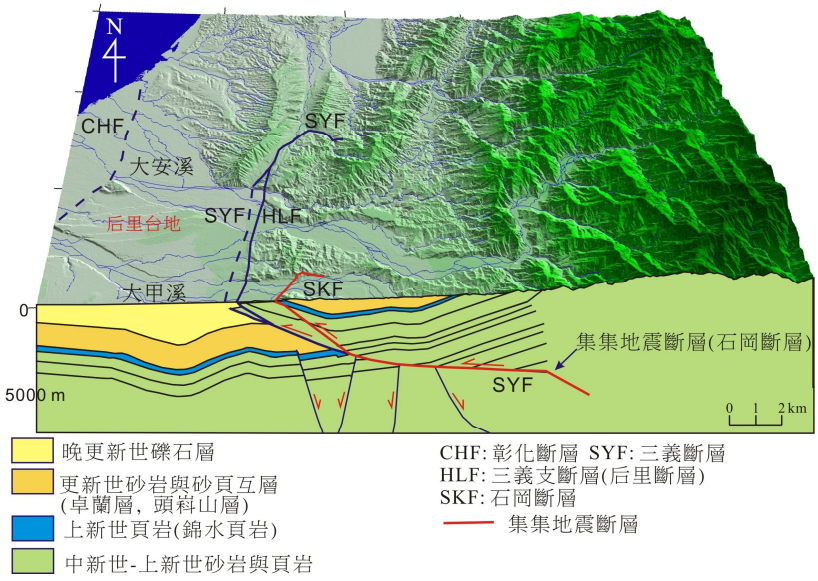


圖 10-2、三義斷層—大甲溪剖面。

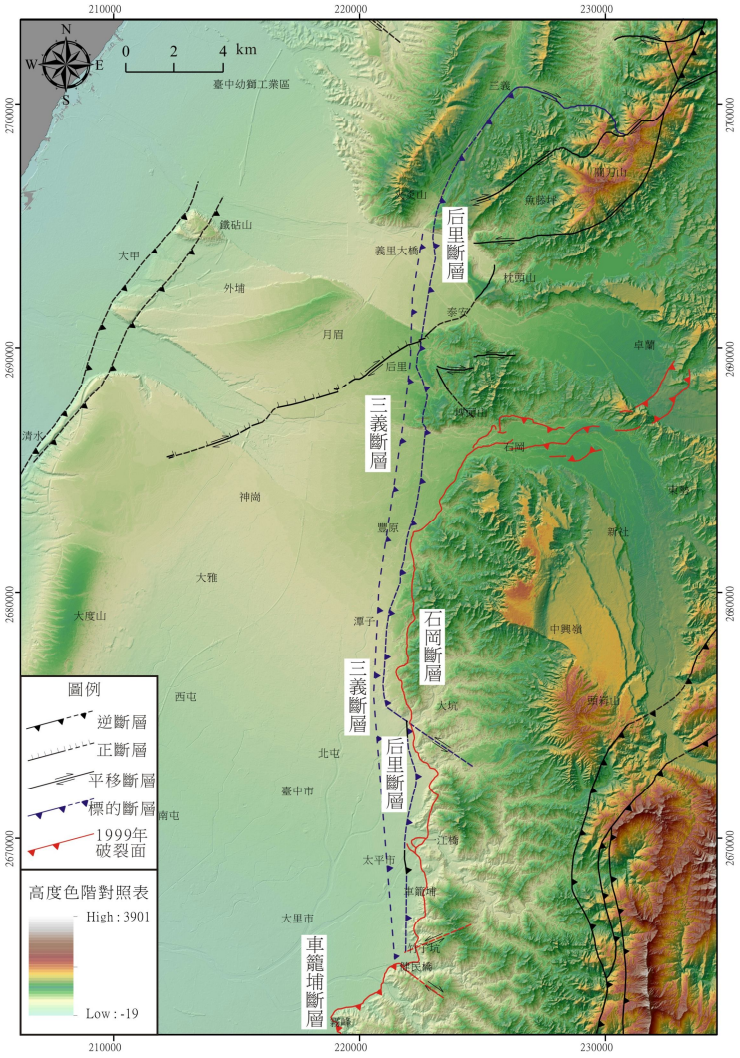


圖 10-3、三義斷層與后里斷層位置圖（TWD97）。

10.2 古地震槽溝

三義斷層支斷層（后里斷層）位於后里台地最東側，由於晚更新世以來仍有活動，造成晚更新世紅土階地礫石層的錯移與變形（圖 10-4）。本研究利用聯合大地工程顧問股份公司在三義支斷層的槽溝進行研究，該場址位於后里台地東側崖坡下（圖 10-5）。由地電阻（RIP）與鑽井資料表示此崖坡地形是由三義斷層支斷層所產生。因此，古地震槽溝位置選擇在崖坡下，槽溝全長 40 公尺，深度 6 公尺，分兩階，階高 3 公尺，並於槽溝南側進行鑽探。

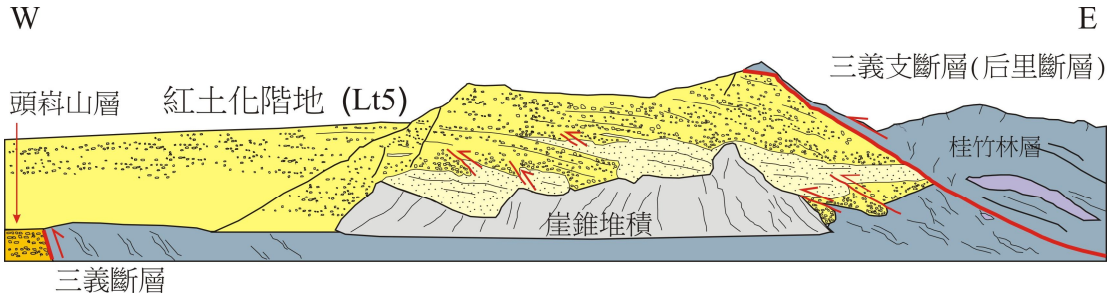


圖 10-4、大甲溪北岸露頭剖面，三義支斷層截切晚更新世紅土階地礫石層，中新桂竹林層逆衝在紅土階地礫石層之上。

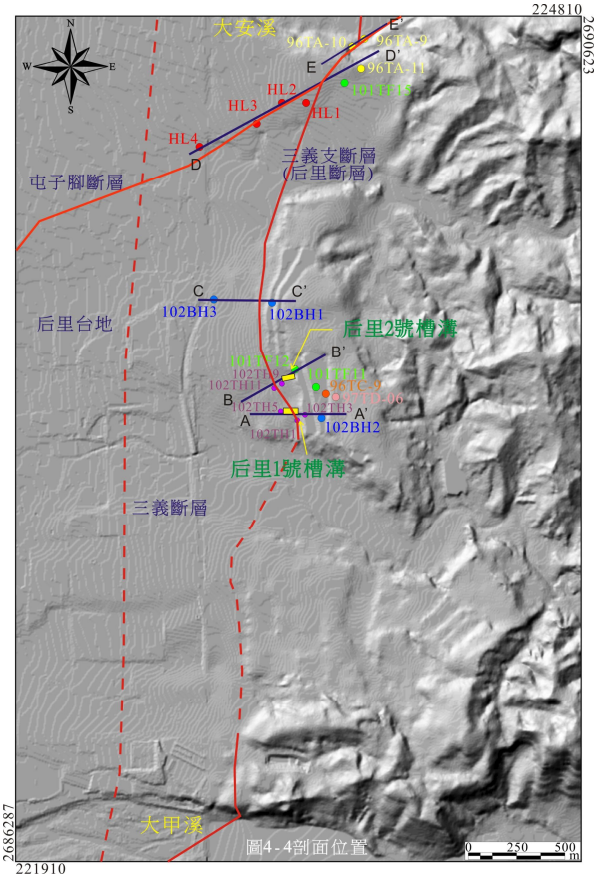


圖 10-5、三義斷層與支斷層（后里斷層）、鑽井、槽溝與柵狀剖面位置（TWD97）。

三義斷層 1 號槽溝位於台地東側（后里馬場西北側），崖高約 20 公尺，槽溝位於崖腳，槽溝從崖腳朝西延伸 40 公尺，深度 6 公尺。槽溝剖面表層為紅土層，厚度由東（上盤）朝西（下盤）變厚，上盤厚度 1.8-4 公尺，下盤紅土層厚度 6-7.4 公尺，之下為厚層礫石層（圖 10-6，圖 10-7）。

北牆與南牆地層剖面產狀相似，礫石層僅出露在上盤（東），礫石層延伸至槽溝內受斷層截切而中斷（圖 10-6，圖 10-7）。紅土層與礫石層中沒有呈現層面，所以剖面沉積層與構造的細部結構無法清楚呈現。斷層跡位置距離崖線約 20 公尺，顯示崖坡已向東後退。

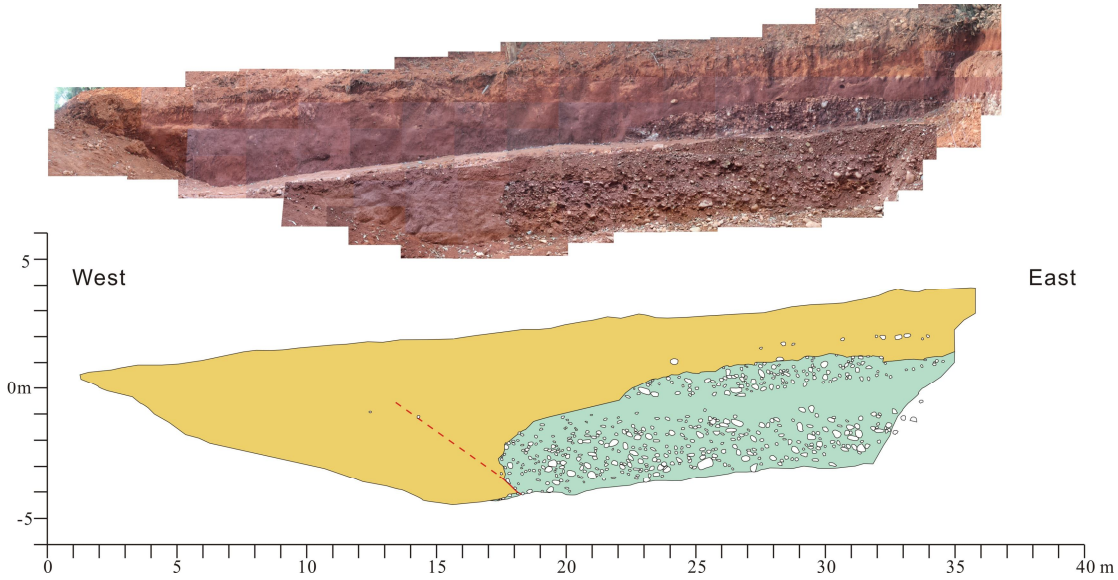


圖 10-6、三義斷層 1 號槽構北牆。

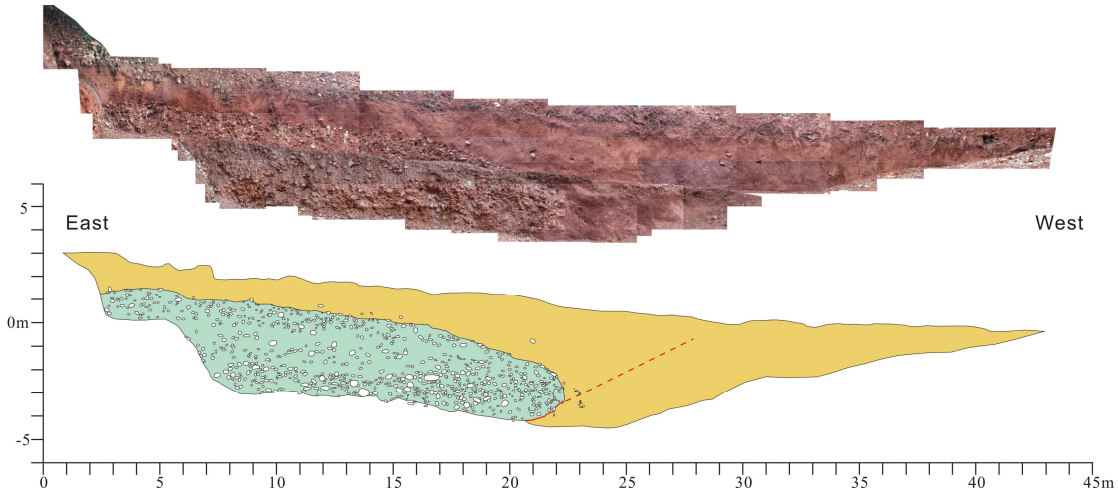


圖 10-7、三義斷層 1 號槽構南牆。

10.3 鑽井岩芯紀錄

10.3.1 A-A'剖面 (1 號槽溝)

A-A'剖面（圖 10-8）位在 1 號槽溝旁（圖 10-5），斷層上盤有 5 孔鑽井，102TH-01、102TH-03、102BH2、96TC-09、97TD-06 井，下盤有 102TH-02、102TH-05 井。上盤 102TH-01 井位在 1 號槽溝旁，其餘都位在崖坡上。102TH-01 井（后里 1 號井）在 5.6-9.5 公尺處有剪切構造，1 號槽溝出露的斷層可以與此井剪切帶連接（圖 10-8）。

102TH-03 井位在近斷層尖端上盤，距離斷層跡約 40 公尺，井深 112 公尺皆屬礫石層，斷層可能截穿礫石層中，未見剪切構造。102BH-02 井位在上盤，距離斷層跡約 125 公尺，井深 150 公尺。礫石層厚度 43.5 公尺，不整合在中新世桂竹林層之上。井深至 146.6 公尺，可見桂竹林層逆衝在晚更新世礫石層之上，此剪切帶屬於后里斷層帶。96TC-09 井為 60°斜井，位在上盤，距離斷層跡約 150 公尺，礫石層厚度 38.2 公尺（井深 44.1 公尺），不整合在桂竹林層之上，井深 44.1 公尺以下為桂竹林層，未鑽遇后里斷層帶。97TD-06 井位在上盤，距離斷層跡約 200 公尺，礫石層厚度 44.3 公尺，以下屬於桂竹林層。從 A-A'岩芯柵狀剖面（圖 10-8），顯示桂竹林層逆衝至晚更新世的紅土礫石層之上，斷層尖端位在崖坡下約 20 公尺，斷層傾角約 43°朝東。

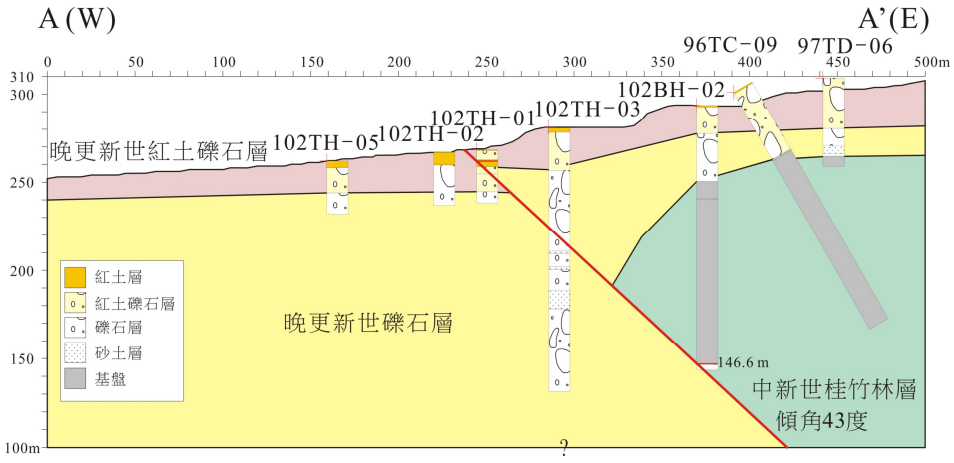


圖 10-8、A-A'岩芯柵狀剖面。

10.3.2 B-B’剖面（2 號槽溝）

B-B’剖面（圖 10-9）位在 2 號槽溝旁（2 號槽溝未挖掘至斷層），斷層上盤有 3 孔鑽井，101TF-12、101TF-11、96TC-09 井，下盤有 2 孔鑽井，102TH-09、102TH-11 井。下盤 102TH-09、102TH-11 井各 30 公尺深，皆為紅土礫石層。上盤 101TF-12 井位在崖坡上，距離斷層尖端 110 公尺，厚 11 公尺的紅土礫石層不整合在桂竹林層上，井深 133 公尺以下為桂竹林層，至 149 公尺深，可見桂竹林層逆衝在紅土礫石層之上。101TF-11 井位在上盤，距離斷層尖端約 150 公尺，井深 150 公尺，紅土礫石層厚度 41 公尺，以下為桂竹林層，未鑽遇后里斷層。96TC-09 井為 60°斜井，位在上盤，距離斷層尖端約 180 公尺，井深 150 公尺，紅土礫石層厚度 38.2 公尺（井深 44.1 公尺），以下為桂竹林層，未鑽遇后里斷層。

從 B-B’岩芯柵狀剖面（圖 10-9），顯示中新世桂竹林層逆衝至晚更新世的紅土礫石層之上，斷層尖端位在崖坡下約 70 公尺，2 號槽溝未見斷層，推測斷層尖端可能還在 2 號槽溝西側，斷層面傾角約 43°朝東。

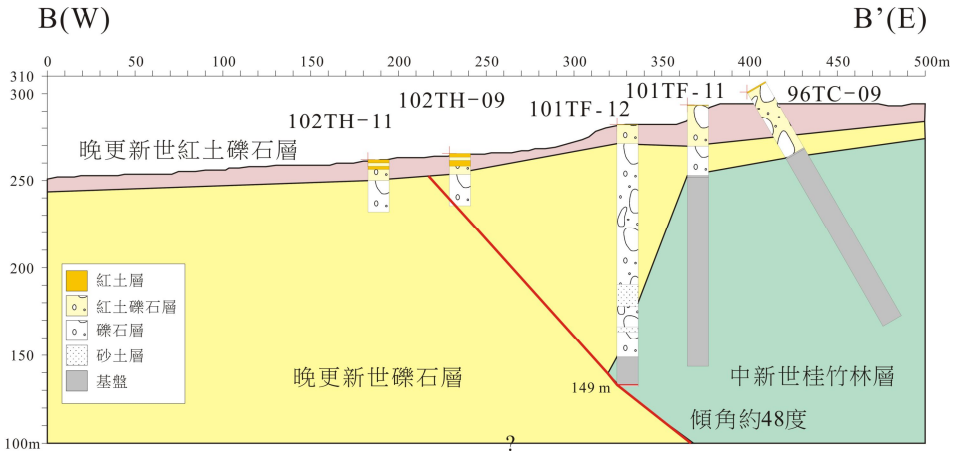


圖 10-9、B-B’岩芯柵狀剖面。

10.3.3 C-C’剖面

C-C’剖面（圖 10-10）位在 2 號槽溝北側約 400 公尺，上盤為 102BH-01 井，下盤為 102BH-03 井。下盤 102BH-03 井深 300 公尺，皆為紅土礫石層。上盤 102BH-01 井深 150 公尺，井深 126 公尺以上為紅土礫石層，不整合在桂竹林層之上，井深 130 公尺的桂竹林層逆衝至紅土礫石層上，井深 130 公尺為后里斷層

位置，推測斷層尖端可能位在崖坡下，斷層面傾角約 50°朝東。

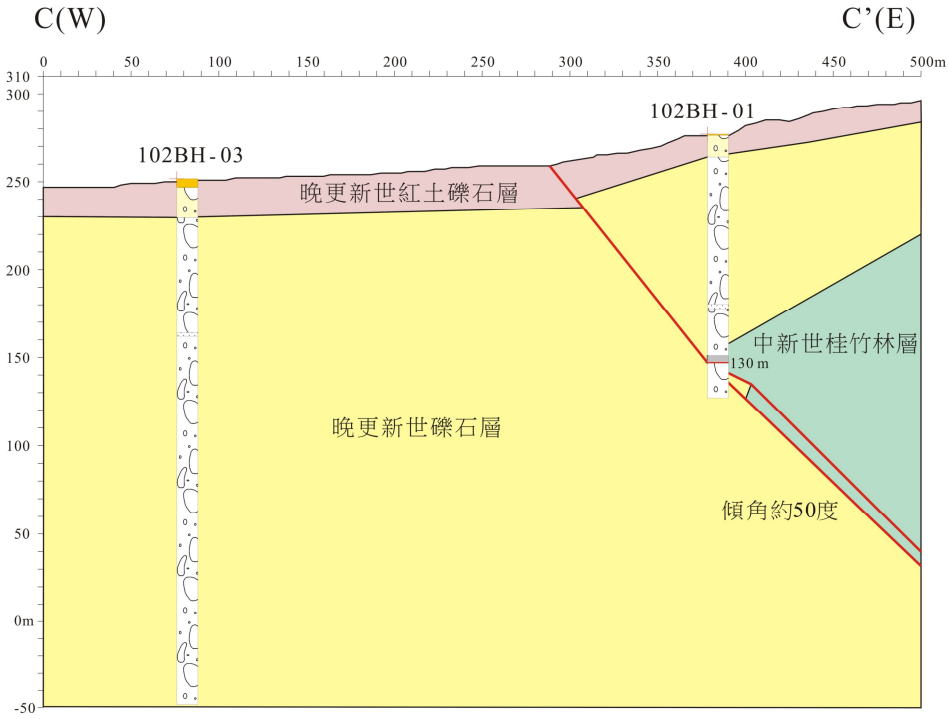


圖 10-10、C-C'岩芯柵狀剖面。

10.3.4 D-D'剖面

D-D'剖面位在后里台地北側，約呈北東走向，截切三義支斷層（后里斷層）與屯子腳斷層。此區域共 6 孔鑽井，4 孔為本計畫所鑽取（HL-01、HL-02、HL-03、HL-04），另外由其它單位鑽取 2 孔井（101TF15、96TA-11）（圖 10-11）。

6 孔井位都在后里台地面上，HL-01、HL-02、HL-03、HL-04 井位在西側，以 HL-02 井鑽取深度最深，至 50 公尺深，岩性屬於礫石層，但位在東側的 101TF15 井與 96TA-11 井的礫石層僅 12 公尺與 11.8 公尺屬於礫石層，之下不整合在桂竹林層上。依剖面對比顯示兩側的中新世岩盤深度至少有 40 公尺落差，推側三義支斷層應位在 HL-01 井與 101TF15 井之間。

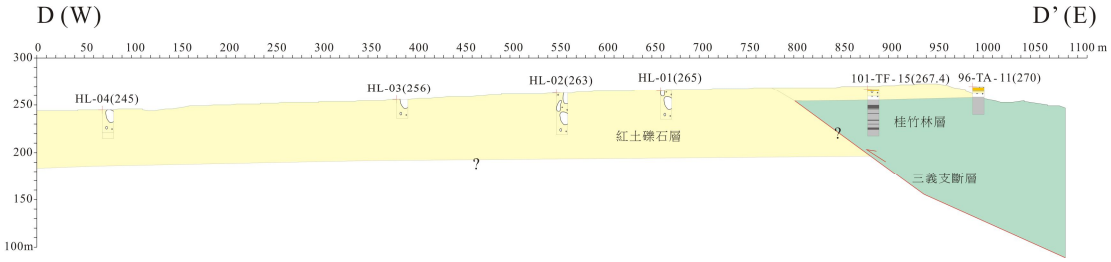


圖 10-11、D-D'岩芯柵狀剖面。

10.3.5 E-E’剖面

E-E’剖面位在后里台地北側崖坡下，屯子腳斷層北側。此區域共 2 孔鑽井，96TA-09 與 96TA-10。96TA-10 井位在崖坡上，鑽井深度 30 公尺，岩性屬於礫石層。96TA-09 井位在崖坡下，鑽井深度 30 公尺，表層至 6.1 公尺為礫石層，6.1-11.0 公尺屬於桂竹林層，11.0-14.4 公尺為礫石層，14.4-19.2 公尺為桂竹林層，19.2-30 公尺為砂層與礫石層。顯然此井中有兩處桂竹林層逆衝到紅土礫石層之上，斷層剪切帶位在 11.0 公尺與 19.2 公尺處（圖 10-12）。推測三義支斷層（后里斷層）通過 96TA-09 與 96TA-10 井之間。

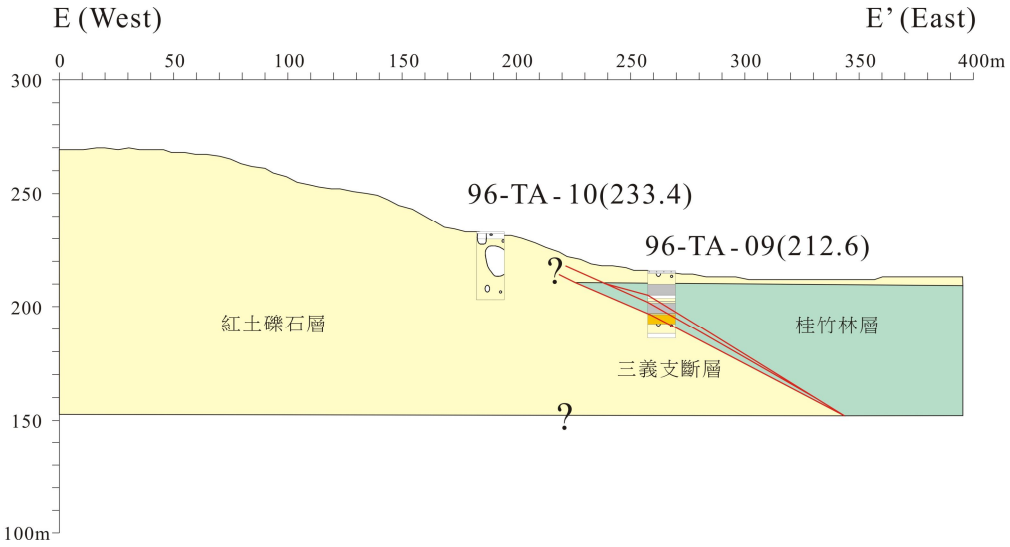


圖 10-12、E-E’岩芯柵狀剖面。

10.4 結論

三義斷層主斷層通過后里台地東側，被后里台地的晚更新世紅土階地礫石層覆蓋，紅土面沒有產生變形，顯示在紅土階地礫石層沉積之後，三義斷層主斷層沒有活動跡象。另由后里台地的大甲溪北岸地質剖面、槽溝及鑽探岩芯資料，顯示三義支斷層（后里斷層）截切晚更新世紅土台地礫石層，並在后里台地東側形成一斷層崖地形。因此，三義斷層近期的構造活動帶應位於支斷層（后里斷層）處。由於古地震槽溝中沒有發現焦碳可供定年，所以目前尚無法估算斷層的長期變動速率。

第十一章、梅山斷層

11.1 前言

依據大森房吉（Omori, 1907a, b）描繪，1906 年梅山地震在梅山至民雄之間產生一系列北東東走向的右向橫移斷層，地表破裂由梅山向西經三美莊、開元后，最後沿三疊溪進入平原，斷層跡至民雄以西即消失轉變為走向一致的噴砂帶。破裂帶北側（大埔美）亦產生與破裂帶走向平行的噴砂帶（圖 11-1）。

百年以來，針對梅山斷層構造、古地震與地形有諸多研究（Omori, 1907a, b；Bonilla, 1975；Hsu and Chang, 1979；黃明哲等，1985；楊貴三，1986；董德輝，1987；石瑞銓等，1998，2002；盧詩丁與張徽正，1999；葉明官等，2000；石同生等，2002；陳文山等，2003，2004；彭秋紋等，2004）。這些研究大致依據大森房吉（Omori, 1907a, b）繪製的地表破裂圖（圖 11-1），以及鄭世楠等（1997）彙整「日據時期臺灣地區地震資料之整理(I)(II)」的梅山地震斷層地裂、噴砂、噴水分布的手繪圖再進行勘查。由於當時沒有準確地形圖，僅能依據描繪的地形與村落位置作對照，導致現今研究者對於地震斷層位置有諸多爭議，主要是開元后以西的斷層區段。

石瑞銓等（1998）利用淺層震測首先描繪梅山斷層在數百公尺或數公里淺處分岔形成數百公尺寬的斷層擾動帶。地表淺處結構呈現壓縮的開花構造；造成地表隆起產生撓曲地形（石瑞銓等，2002；彭秋紋等，2004；陳文山等，2003）。鄰近梅山斷層兩側地層皆屬於六雙層，因此不易利用地層岩性差異來判視（圖 11-2）。地形特性僅見晚更新世紅土礫石層（38,000 年前；黃鑑水等，1994）受到褶皺變形，是否為梅山斷層活動造成，仍有爭議。

本研究為了梅山斷層的斷層參數求取，梅山斷層屬於右向橫移斷層，之一的斷層參數是考慮水平位移速率，乃須地形或指準層在水平方向產生錯移，才可能估算水平的位移速率。

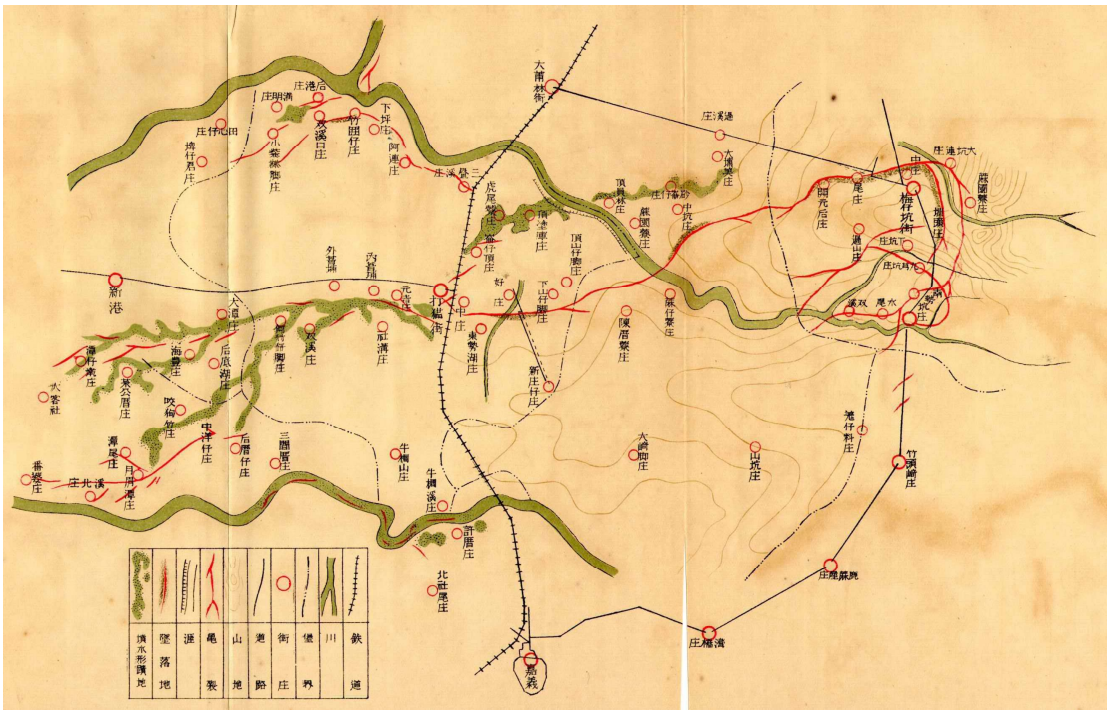


圖 11-1、大森房吉（Omori, 1907a, b）調查 1906 年梅山地震描繪地表變動圖。

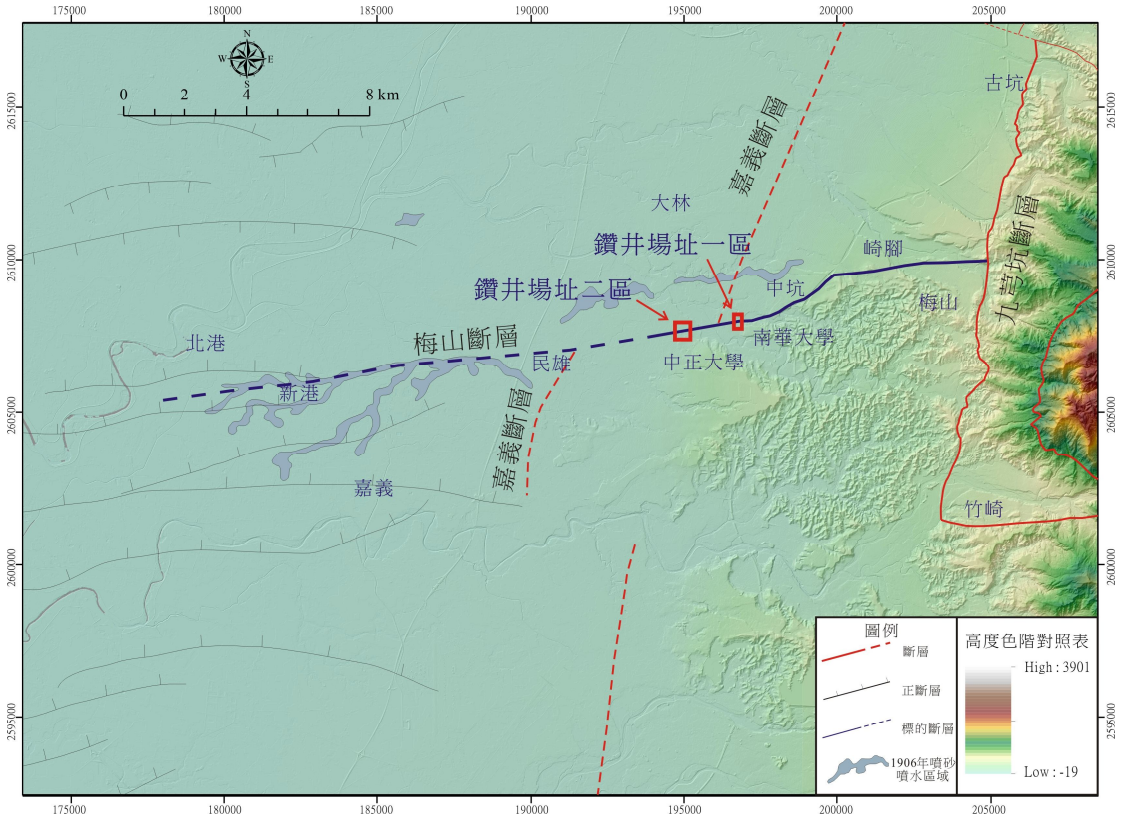


圖 11-2、1906 年梅山地震斷層與噴砂帶，以及鑽井場址位置（TWD97）。

11.2 鑽井岩芯紀錄

本計劃欲以鑽井方式估算梅山斷層長期抬升速率，至於長期水平錯移速率的估算，本計畫在 Lidar 地形判釋後，仍未發現可用以推估水平錯移量的地形，因而現階段無法評估水平錯移速率。

本計畫鑽探場址有兩處，一位在南華大學北側的斷層崖兩側（中坑場址；圖 11-2、圖 11-3），主要針對此處的紅土礫石層與岩盤六雙層在斷層兩側的垂直錯移量。此處設置 3 孔排鑽，並進行淺層反射震測（S 波、P 波）探勘。

另一鑽探場址位在中正大學西側（好收場址；圖 11-2、圖 11-3），紅土台地礫石層沒入平原區的區域，也是 1906 年梅山斷層可能通過位置(Omori, 1907a, b)。此處在可能斷層跡的兩側進行 8 孔排鑽，同時進行淺層反射震測（S 波、P 波）探勘。此場址的鑽探乃針對淺層全新世、紅土礫石層或六雙層在斷層兩側的垂直抬升量與長期抬升速率的評估。

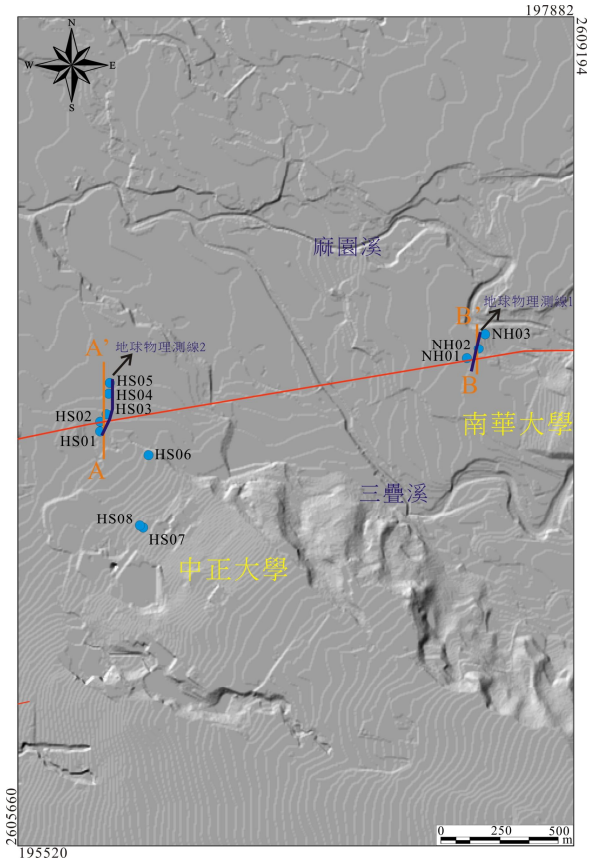


圖 11-3、好收場址與中坑場址的鑽井位置圖，紅線為斷層線、橘線為鑽井剖面線、藍線為淺層震測測線（TWD97）。

11.2.1 好收場址（中正大學）

好收鑽探場址位在中正大學西北側的崖坡下，為紅土礫石面潛入平原之下區域（圖 11-3），以及中正大學內。中正大學的傾斜紅土面與三疊溪之間有一東西走向的侵蝕崖，前人研究認為 1906 年地震造成的梅山斷層應該通過中正大學北側崖坡之下（石瑞銓等，2002；彭秋紋等，2004；陳文山等，2003，2004），另一認為經過中正大學內（賴慈華與賴典章，2002）。

由於，中正大學建校當時於校區內挖掘的槽溝未見有斷層（黃明哲等，1985）。因此，本研究在中正大學西北側崖坡下的 6 孔排鑽（HS01-HS06），用以釐清斷層位置，並利用堆積在紅土礫石層上沖積層的對比與定年，來估算斷層的長期抬升速率（圖 11-3）。

A-A’岩芯柵狀剖面中，HS01 井至 HS05 井位在中正大學西北側，HS06 井位在 HS01 井東南側約 250 公尺。從推測的梅山斷層跡位置來看，HS02 號井至 HS05 井位在斷層北側，HS01 井與 HS06 井位在斷層南側（圖 11-4）。

以下分別從全新世沖積層與晚更新世六雙層的地層高程變化來看斷層活動造成的變形。首先由全新世沖積層的高程，顯示地層高程變化位在 HS01 井與 HS02 井之間，而 HS02 井與 HS05 井間的地層高程則近乎沒有變化（圖 11-4）。由晚更新世六雙層的地層高程來看，最大的高程變化位在 HS01 井與 HS03 井之間，而 HS01 井與 HS02 井之間的高程變化較大，HS02 井與 HS03 井之間的高程變化較小（圖 11-4）。顯然，HS01 井與 HS03 井之間受到梅山斷層活動影響造成地層變形，而全新世沖積層在 HS02 井與 HS03 井之間的變形量幾近沒有，主要變形位在 HS01 井與 HS02 井之間。

從上述全新世沖積層與晚更新世六雙層的高程變化，顯示 HS01 井與 HS03 井之間是梅山斷層的變形帶（圖 11-4）。另外，在斷層南側 HS01 井與 HS06 井的地層高程也略有差異，地層高程的變化與紅土礫石層的高程變化一致，斷層南側 HS06 井的紅土面高程較高，此高程差異與所在紅土面的高度有關，HS06 井的紅土面高度較高；此差異與紅土台地的長期變形有關，並不是與梅山斷層

造成斷層兩側的變形（圖 11-4）；這地層的變動也吻合梅山斷層屬於右移斷層的性質以及紅土台地地表的變形。

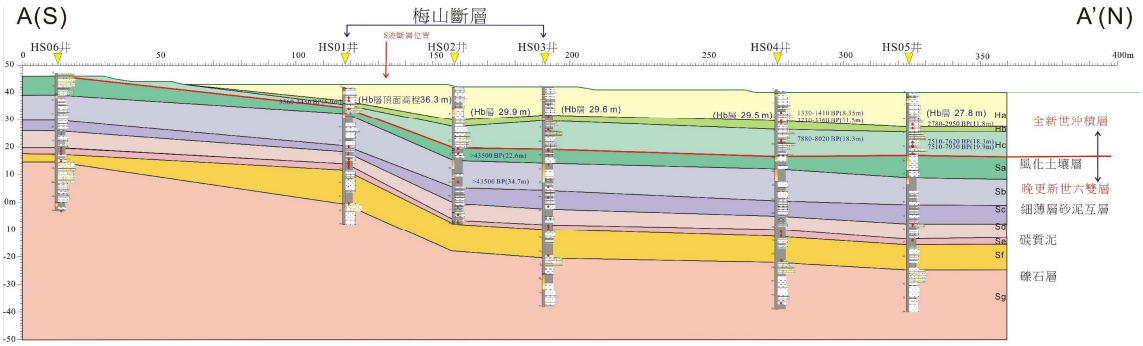


圖 11-4、好收場址 A-A'岩芯柵狀剖面。

11.2.2 中坑場址（南華大學西側）

中坑鑽探場址位在南華大學西側的崖坡下，大致是紅土礫石面潛入平原下的位置（圖 11-3）。南華大學所在的傾斜紅土面與麻園溪之間有一東西走向的侵蝕崖，前人研究都認為 1906 年的梅山斷層應該此崖坡之下（黃明哲等，1985；楊貴三，1986；董德輝，1987；盧詩丁與張徽正，1999；石同生等，2002；石瑞銓等，1998，2002；彭秋玟等，2004；陳文山等，2003，2004）。因此，本研究選擇南華大學西北側崖坡下進行 3 孔排鑽，以釐清斷層位置，並利用堆積在紅土礫石層上沖積層的對比與定年，估算斷層長期滑移速率。

本場址配置 3 孔鑽井，中坑 1 號井（NH01）、中坑 2 號井（NH02）及中坑 3 號井（NH03）。NH01 井位在推測梅山斷層跡南側，NH02 井與 NH03 井位在推測梅山斷層跡北側，NH01 井與 NH03 井間距 125 公尺（圖 11-5）。

從上述 3 孔井的岩層對比，顯示位在北側 NH02 井與 NH03 井上覆為全新世沉積層（H），不整合在晚更新世六雙層（La、Lb、Lc、Ld、Le）之上，地層呈水平狀態（圖 11-5）。而斷層南側 NH01 井中的地層海拔高程高於斷層北側 NH02 井與 NH03 井。從全新世沖積層厚度變化來看，顯然在斷層南側沒有堆積，而斷層北側堆積約十數公尺；晚更新世六雙層的地層高程，南側較高約 25 公尺。地層變化而言，斷層應通過 NH01 與 NH02 井間（圖 11-5）。

從上述全新世沖積層與晚更新世六雙層的高程變化，顯示 NH01 井與 NH02

井之間是梅山斷層的變形帶，而地層高程與紅土礫石層的高程變化一致，斷層南側都較高，吻合梅山斷層屬於右移斷層的性質以及紅土台地地表的變形。

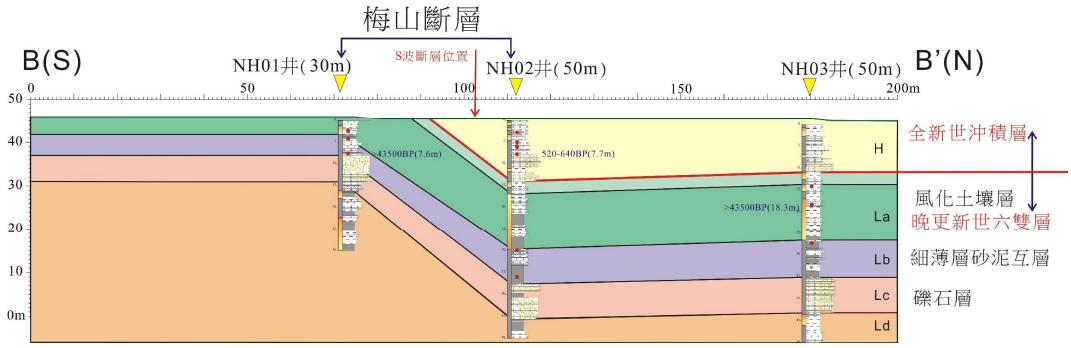


圖 11-5、中坑場址 B-B'岩芯柵狀剖面。

11.3 震測探勘

測線 1，中坑場址的 S 波速度變化，該測線中離南側端點 80 公尺處有明顯的橫向速度變化，此外，80 公尺處以北的速度也有上下明顯的變化，該位置極可能是斷層近地表位置（圖 11-6）。測線 2，好收場址的 S 波速度剖面，該測線位於離南側端點 30 公尺與 70 公尺之間有一連續而明顯的速度低區（圖 11-7）。因 S 波波速不受地下水影響，該區間可能為較為破碎或受擾動，30 公尺與 70 公尺處可能是斷層擾動帶。

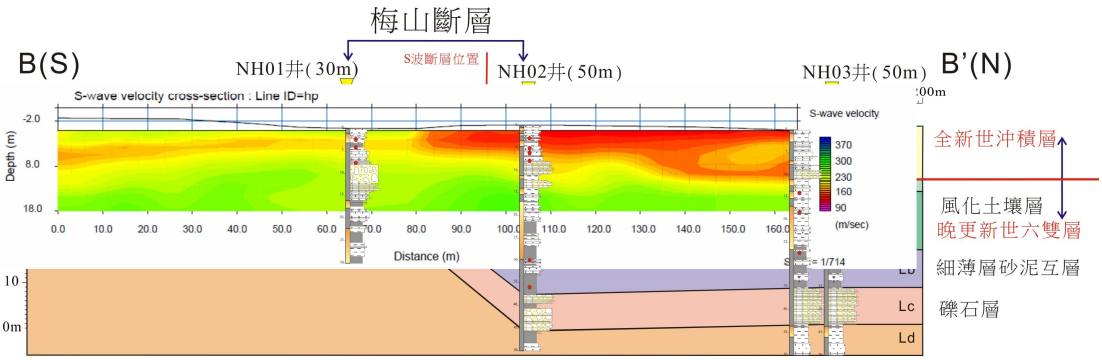


圖 11-6、中坑場址 B-B'岩芯柵狀剖面與 S 波速度模型剖面。

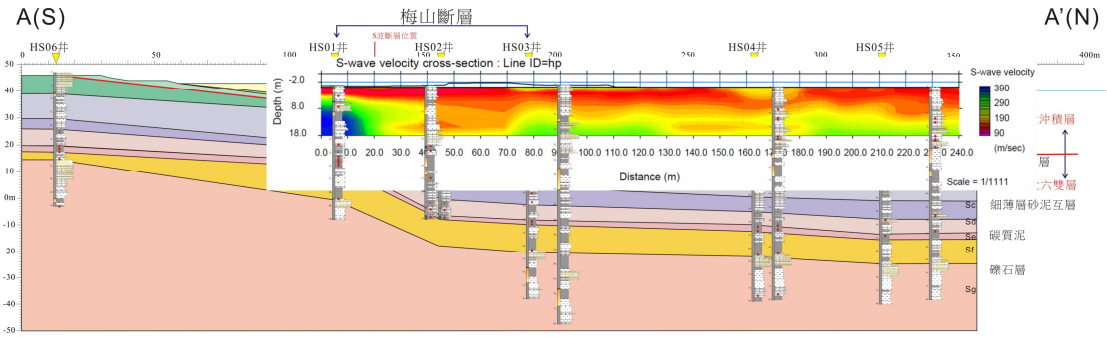


圖 11-7、好收場址 A-A'岩芯柵狀剖面與 S 波速度模型剖面。

11.4 結論

從好收場址 A-A'岩芯柵狀剖面與中坑場址 B-B'岩芯柵狀剖面的地層對比，顯示斷層南側相對屬於上升盤，北側相對屬於沉降盤；此變動與現今紅土台地地形的變化相同，紅土台地的高程在斷層南側都較高。

本研究在好收場址的全新世沖積層有碳十四定年資料，在與六雙層不整合面之上 Hc 層的最老年代為 7880-8020 cal BP（好收 5 號井，深度 18.3 公尺，非在底部），推測 Hc 層底部年代可達 9000 年前。A-A'剖面中全新世沖積層的 Hb 層延伸最佳，出露在 HS01 井至 HS05 井中，其頂面的碳十四年代為 3360-3450 cal BP（HS01 井，深度 5.9 公尺），Hb 層頂面延伸至 HS02、HS03、HS04、HS05 井的深度各為 29.9 公尺、29.6 公尺、29.5 公尺、27.8 公尺。而斷層上升盤（南）的 HS01 井與沉降盤（北）的 HS05 井的高程差約為 8.5 公尺，從兩井 Hb 層頂面的高差與年代估算，此剖面梅山斷層的長期抬升速率約 2.5 mm/yr。

第十二章 屯子腳斷層

12.1 前言

屯子腳斷層是 1935 年 4 月 21 日新竹－臺中烈震（規模為 7.1 級，震央位於臺中市北北東 30 公里大安溪中游；120°49'E, 24°21'N）形成的地震斷層，為一右向平移斷層，走向 N67°E。但依據不同資料來源，認為當日有兩個地震發生（表 12-1；青木元，1935）。從許小官（1935）與青木元（1935；表 12-1）收集資料來看，屯子腳斷層應是第一震產生的地表破裂，地震規模 M 7.1，震央在鯉魚潭；紙湖斷層是第二震產生的，地震規模 M 6.1，震央在紙湖附近。

表 12-1、新竹－台中烈震系列地震（許小官，1935；青木元，1935）。

	第一震	第二震
時間	1935 年 4 月 21 日上午 6 點 02 分	1935 年 4 月 21 日上午 6 點 26 分
震央(許小官，1935)	120°49′E, 24°21′N (鯉魚潭)	根據第一震央位置往北東約 35 公里 (紙湖附近)
震央(中央氣象局)	120°8′E, 24°3′N	
地震規模	M 7.1	M 6.1
斷層性質	右移斷層，N67°E 走向	逆斷層，N23°E 走向

依據大塚彌之助（1936）的紀錄，在后里地區地表破裂的位移主要為水平橫移活動，具小分量的垂直錯移。因此本研究為求取斷層水平位移參數，需有可追蹤的地形或指準層於水平方向形成錯移，及配合定年資料，才能求得水平滑移速率。

由於地震斷層位於后里及大肚臺地，淺層地層廣泛分布的厚層晚更新世紅土臺地礫石層（張憲卿，1994；陳文山，2013），缺乏良好地表地形及指準層以量取水平錯移量，亦難以獲得定年材料，因此斷層活動參數取得極為困難。

此外，1935 年的地震破裂帶位置大都位在后里鎮區之內，非常不易提供可挖掘的場址，僅在舊后里國中校園（現今已成為公園）可進行古地震槽溝研究。

12.2 地質地形

屯子腳斷層的斷層跡北自后里臺地泰安車站附近起始，向西南西方向延伸，經下后里、內埔（屯子腳），越過大甲溪至大肚臺地北段清泉崗結束，長達

12 公里。斷層跡破裂形態以后里為界，東北側地震斷層區段為西北側為上升側（長約 1 公里）；西南側斷層區段為東南側為上升，最大垂直位移量 1-0.6 公尺，最大右移水平量 1.5-2 公尺，沿此斷層帶出現呈東西走向的雁行排列裂隙或小斷層，斷層所經過岩層均為更新世紅土臺地礫石層或現代沖積層 (大塚彌之助，1936；大江二郎，1936；顏滄波，1985；圖 12-1，圖 12-2)。

石再添等（1983）認為此斷層於后里臺地的長度約 7 公里，由於變位量較小，經數十年的侵蝕和耕作後，大部分難覓其痕跡，唯在后里車站東北方 1 公里處的屯子腳沖積扇扇頂部份發現 500 公尺長的反斜斷層小崖。

潘國樑等（1983）依航照判釋得知，屯子腳地震斷層經過枕頭山，向東北似沿著關刀山主峰西南向支稜的東南側山腰，切過十分古崩塌地冠部附近，並越過十分北邊呈西北走向山稜，向東北方向沿展，最後或可與獅潭地震斷層連接。

藉由地球物理調查，無論是淺層反射震測或地電阻測量結果（董倫道，2005），皆顯示屯子腳為一平移斷層，斷層帶寬達數百公尺，具開花狀構造。

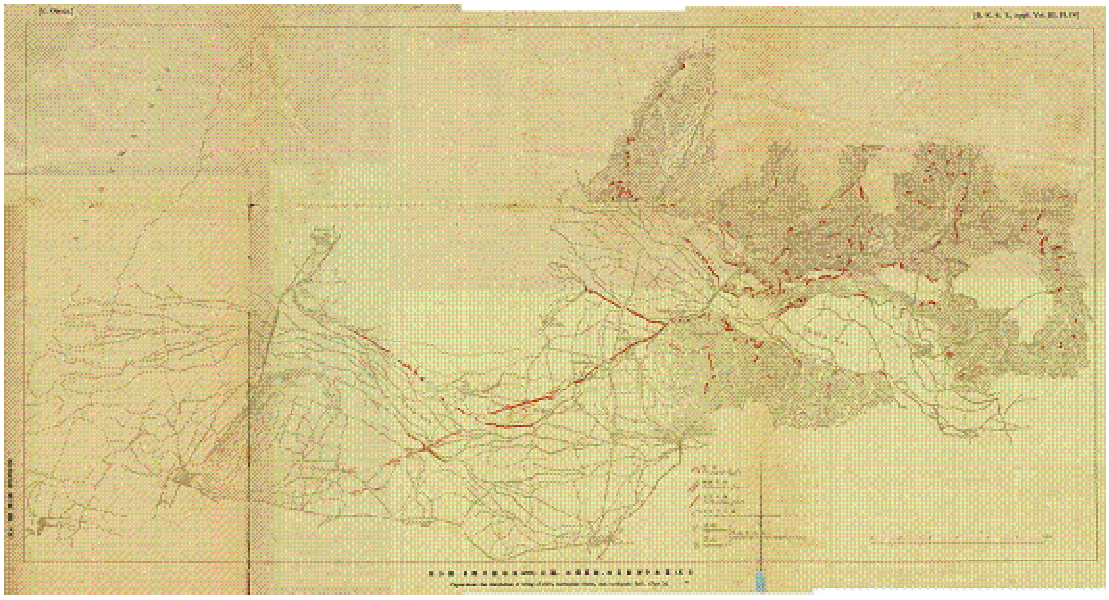


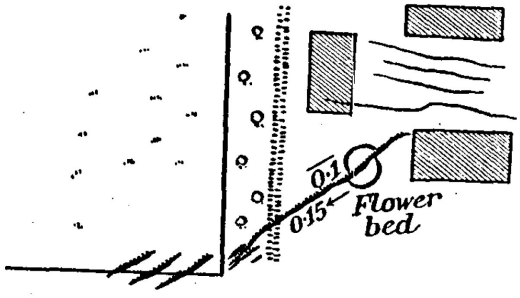
圖 12-1、臺灣中部地震（1935）崖崩、地震裂隙、屯子腳地震斷層分布圖（大塚彌之助，1936）。



圖 12-2、五千分之一地形圖（TWD97）上之屯子腳斷層位置圖，依據大塚彌之助（1936）繪製之斷層線套繪。

12.3 古地震槽溝

依大塚彌之助（1936）調查紀錄，地震當時在后里公學校（舊后里國中）中產生地表破裂，並造成圓形花圃受水平錯動而位移，水平右移 15 公分，北側上升 10 公分（圖 12-3）。



第 19 圖　屯子脚地震斷層（屯子脚公學校）

Tonsikyaku earthquake cut the ground of Tonsikyaku public school. Numeral under a line shows amount of depression. Numeral with arrows shows amount of horizontal displacement.

圖 12-3、舊后里國中（后里公學校）於 1935 年地震時，圓形花圃遭地表破裂水平錯移（大塚彌之助，1936）。

本研究於現地調查，發現舊后里國中校區及西側區域有一明顯的崖坡地形，呈東北東—西南西走向，崖高約 7 公尺，但此校區已經人為修整形成東西向

崖坡。本計畫在校區的崖坡前緣進行一處古地震槽溝挖掘（圖 12-4），槽溝走向約 N10°W，挖掘 2 階，深度 3.5-4.5 公尺（圖 12-5）。



圖 12-4、舊后里國中槽溝，位於校址西側圍牆。斷層跡在照片上側。（朝北拍攝）

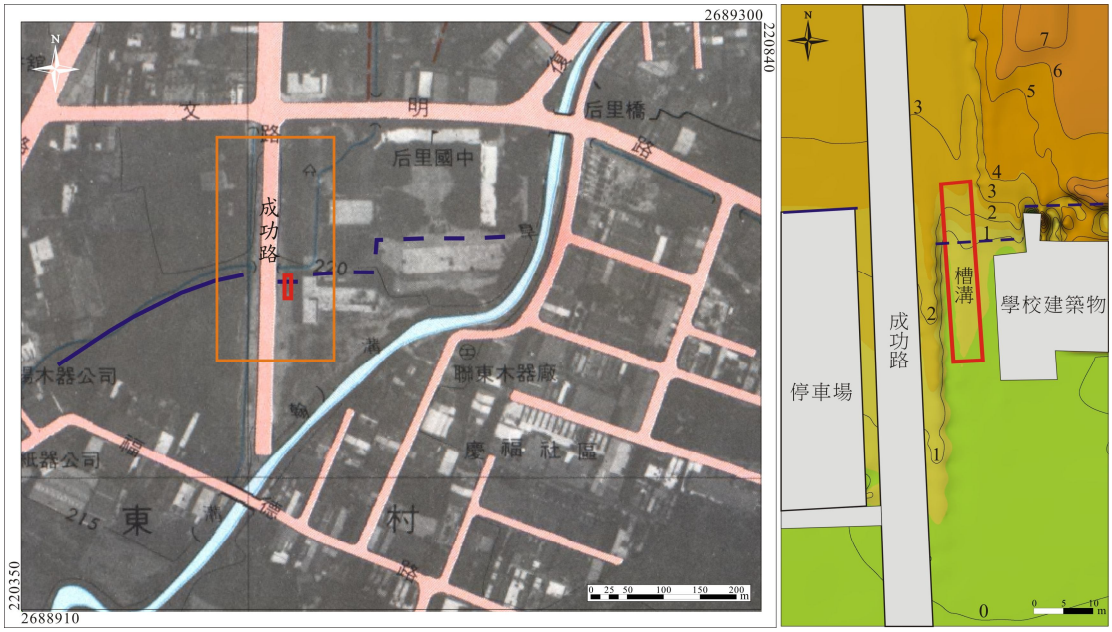


圖 12-5、舊后里國中槽溝場址圖。左圖為槽溝位置圖（TWD97），橘框為數化地形圖範圍；右圖為槽溝數化地形圖。紅框為槽溝範圍，藍色實線與虛線為崖坡位置。

舊后里國中槽溝全長約 29 公尺，深度 3.5-4.5 公尺（圖 12-6，圖 12-7）。槽溝剖面出露沉積層層序可分辨出五層沉積層：B 層（B1、B2 與 B3）、G1 層、SG

層與 G2 層、G3 層。B 層屬於回填土層，含散亂紅土礫石、各種人造物品與建物及級配砂土層。G1 層、SG 層與 G2 層含有人造物屬於近代沉積層。G3 層的紅褐色礫石層，屬於后里臺地紅土礫石層，年代應大於 5 萬年。

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

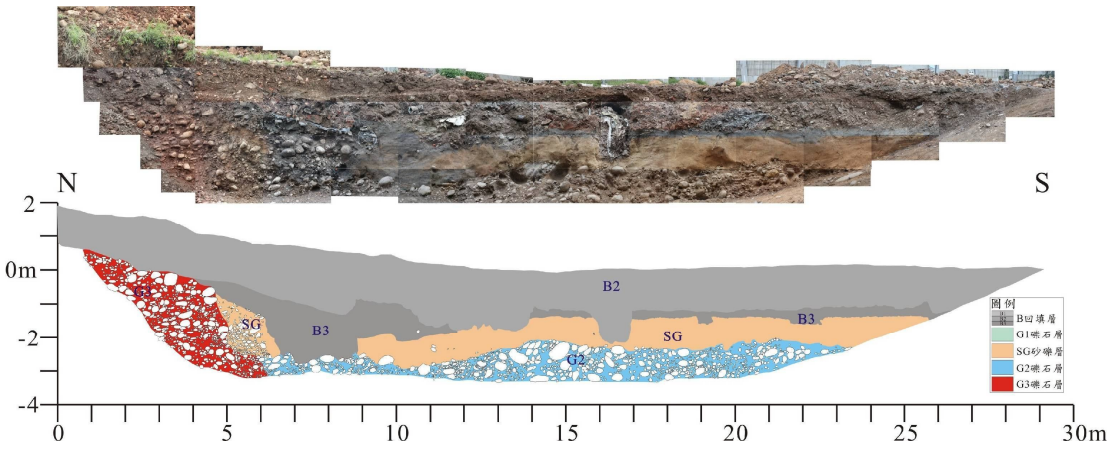


圖 12-6、舊后里國中槽溝東牆。

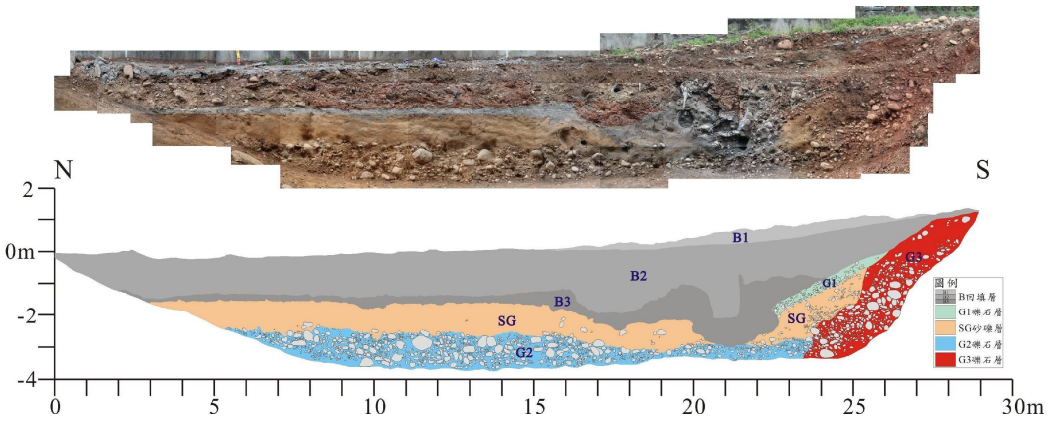


圖 12-7、舊后里國中槽溝西牆。

第十三章、恆春斷層

13.1 前言

本研究目的為量測恆春斷層的精確斷層跡位置，以及探討斷層的滑移速率。數十年以來，恆春斷層研究似乎未有斷層露頭的發現，僅就北側的地形崖特徵較為明確可能屬於斷層崖之外，其餘在四重溪以南區域都被厚層沖積層覆蓋。本研究將利用鑽井岩芯及野外重新調查來界定斷層跡的位置。

13.2 地質地形

恆春半島位在中央山脈最南端，大地構造環境視為中央山脈雛型，認為是南中國海海板塊向東隱沒至菲律賓海板塊形成的增積岩體（陳文山等，1985；Lundberg *et al*., 1992）。從南側海域的反射震測顯示恆春半島向南延伸至巴士海峽，形成一道南北走向的海脊，其西側為一系列斷層面朝東傾、向西的逆斷層；其東側為斷層面朝西傾、向東的逆斷層。這一系列疊瓦狀向東與向西的逆斷層構成了隱沒帶前緣的增積岩體，代表西部褶皺－逆衝斷層帶的大地構造雛型（Yu and Lu, 1995）。

陸域上，恆春半島中同樣存在一系列向西逆衝的疊瓦狀逆斷層，與高屏地區西側海域中的逆斷層構造型態可相比對，由東向西的逆斷層有滿洲斷層、大梅斷層與恆春斷層，其中以恆春斷層錯距最大，為脊梁山脈（中新世）與西部麓山帶（上－更新世）的界線斷層（圖 13-1）。

地形顯示恆春斷層西側的下盤區域屬於平坦的恆春谷地，斷層東側的上盤區域屬於脊梁山脈。過去數十年來的地質調查，未有文獻記載恆春斷層的地表露頭，以往都藉由地形以及兩側岩層差異作為界定斷層的依據，推測斷層跡應鄰近於山麓與平原的交匯處，而近年來的鑽井調查，亦顯示恆春斷層近地表位置確實位在山麓前緣，斷層走向約 N20ºW。

本研究利用楓港、海口、統埔與南灣地區的鑽井岩芯與海階的研究（圖 13-2）討論以下二項目標；一、全新世以來，恆春斷層的長期垂直變動速率。二、恆春斷層朝北的延伸範圍。以下就此四個地區的海階與鑽井岩芯，進行地形、地層岩性與碳十四年代的描述。

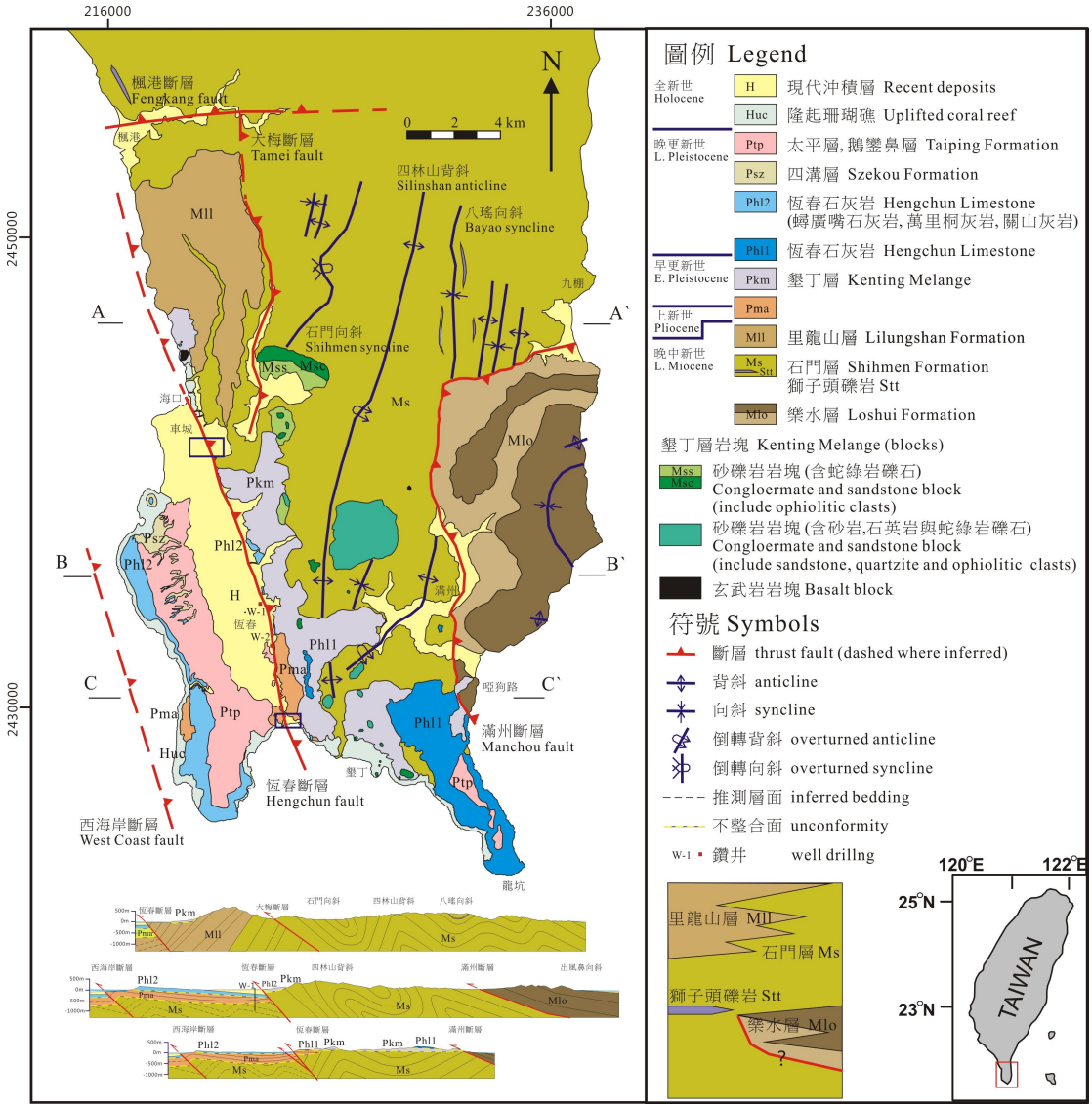


圖 13-1、恆春半島地質圖（陳文山等，2005a）。

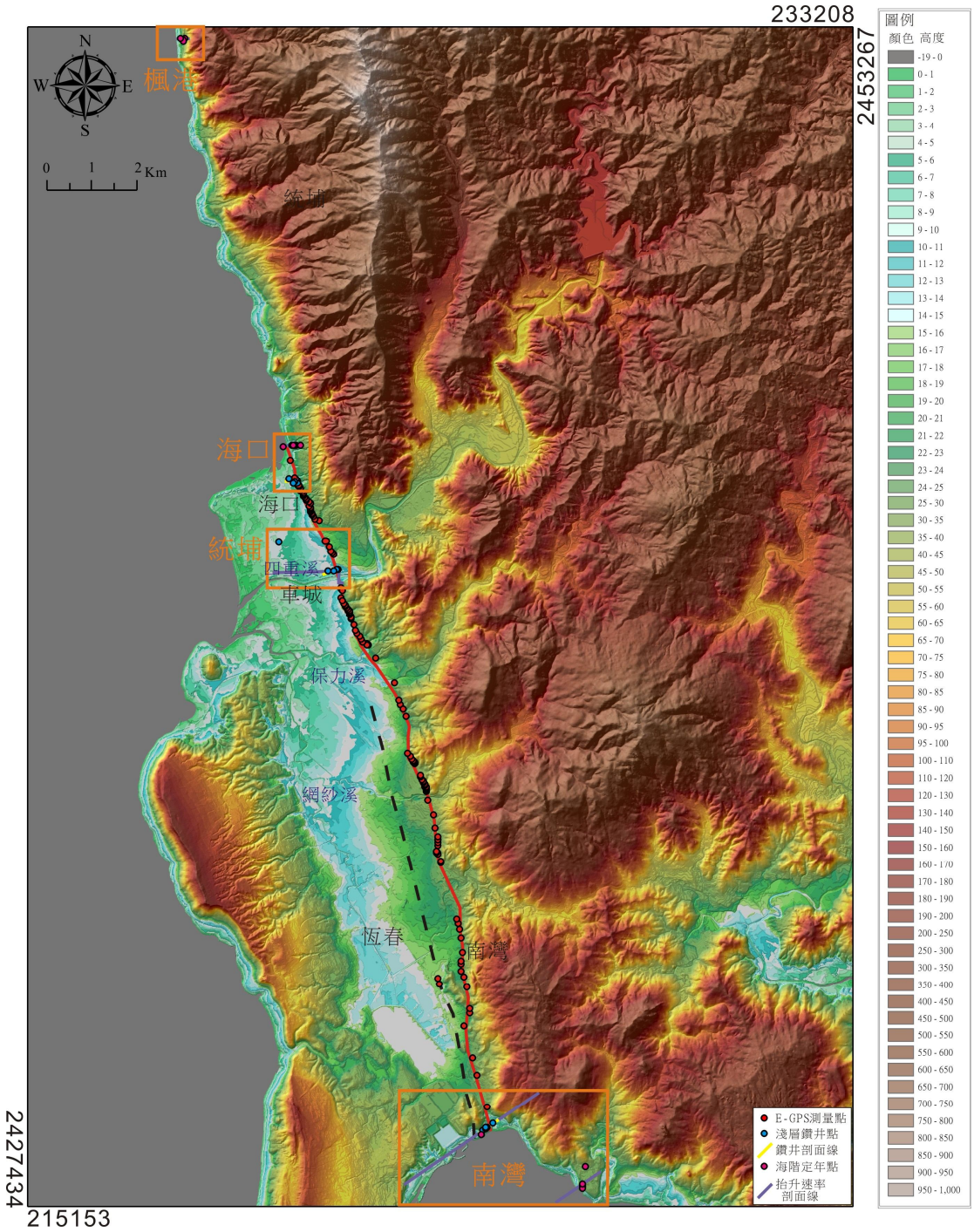


圖 13-1、恆春半島鑽井岩芯與海階研究區域圖，橘框為鑽井與海階研究區域。

13.3 階地與沉積層定年

13.3.1 楓港地區

楓港溪出海口南側海岸出露全新世隆起珊瑚礁，不整合堆積或生長在晚中新世里龍山層之上（圖 13-1），珊瑚礁位在海拔約 17 公尺以下，海拔 17-17.8 公

尺出露此區海拔最高的海灘相生物碎屑層，代表最早期的灘相沉積物，推測沉積當時高潮線位於海拔約 17.8 公尺。

Konishi 等（Konishi *et al*., 1968）採集兩個珊瑚樣本進行碳十四定年，年代為 5,860-5,280 cal BP 與 5,910-5,310 cal BP，以及 7,310-7,070 cal BP(Chen and Liu, 1993）及本研究採集的珊瑚年代為 6,300-6,060 cal BP（圖 13-2，表 13-1）。從珊瑚碳十四年代分析，顯示 8.6 公尺至 16 公尺的珊瑚礁約形成於 7,300-6,000 年前，現今已被抬升至海拔 17-17.8 公尺（圖 13-2）。

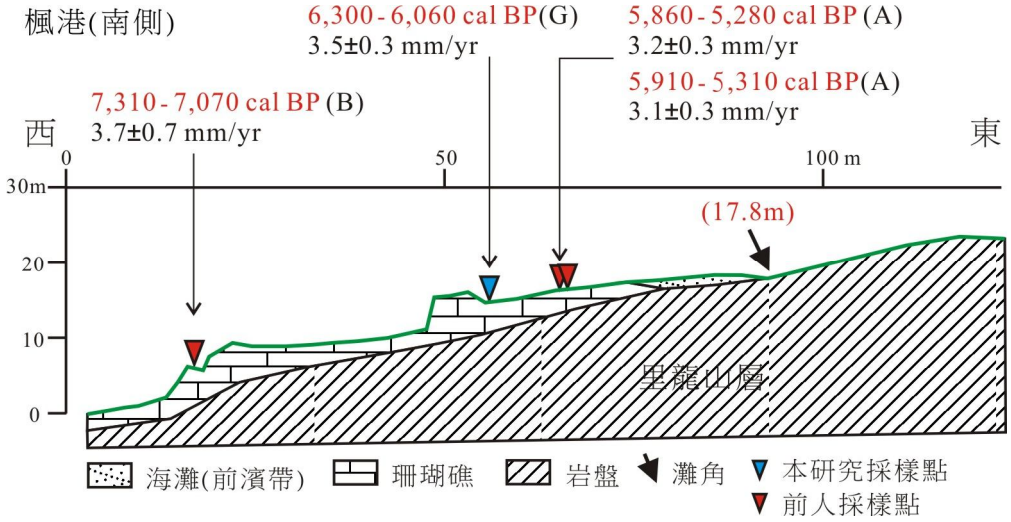


圖 13-3、楓港南側地區隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代；年代後括號代表定年資料來源見表 13-1。

13.3.2 海口地區

恆春斷層北側區段從統埔朝北沿著山麓前緣的一北西走向 30°的筆直斷層崖至海口，之後進入海域，在海口的斷層上盤（東側）形成隆起珊瑚礁海階，海階沉積層（含隆起珊瑚礁）不整合在晚中新世石門層與更新世墾丁層之上（圖 13-3）。此區域共形成三個不同高度的階面，各階面灘角的海拔約 4.8 公尺、19 公尺與 23 公尺，灘角前緣都堆積了海灘相的生物碎屑層，但大部份階面的剖面都出露原地生長珊瑚礁不整合在岩盤上的產狀。

前人於此海階上有相當多的碳十四定年分析；年代為 1,250-800 cal BP、6,060-5,480 cal BP、4,640-3,950 cal BP（Hashimoto *et al*., 1972），4,780-4,500 Cal BP、5,290-5,040 cal BP、6,880-6,630 cal BP（Chen and Liu, 1993），5,570-4,050 cal

BP、7,310-7,070 cal BP（Ma, 1967），及 4,450-4,310 cal BP（陳文山等，2005a）（表 13-1；圖 13-3）。

之前，本研究在斷層崖西側的下盤進行 4 孔鑽井（海口 1 號井至海口 4 號井），岩芯岩性分四層，底層是受強烈剪切的墾丁層（或斷層帶），僅出露在東側的海口 1 號井與 3 號井。墾丁層之上不整合堆積河流或崖錐礫石層或泥質砂層，與水塘或半淡水濕地環境的砂層與泥質砂層。碳十四年代為 9,270-8,630 cal BP（海口 4 號井）至 2,770-2,490 cal BP（海口 2 號井）；最上層再被陸相崖錐礫石層覆蓋（圖 13-4；表 13-1）。

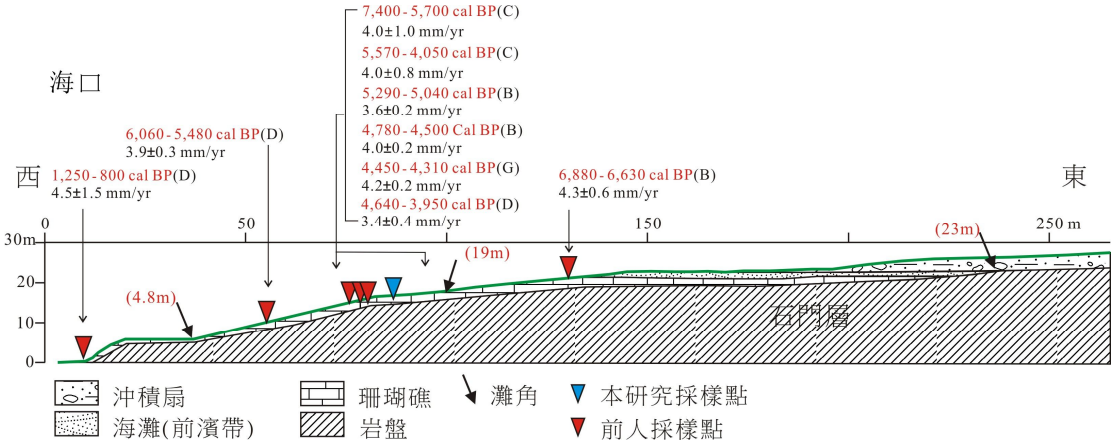


圖 13-4、海口地區隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代；海口海階不整合在石門層或墾丁層之上，階地灘角的海拔為 4.8 公尺、19 公尺與 23 公尺。年代後括號代表定年資料來源見表 13-1。

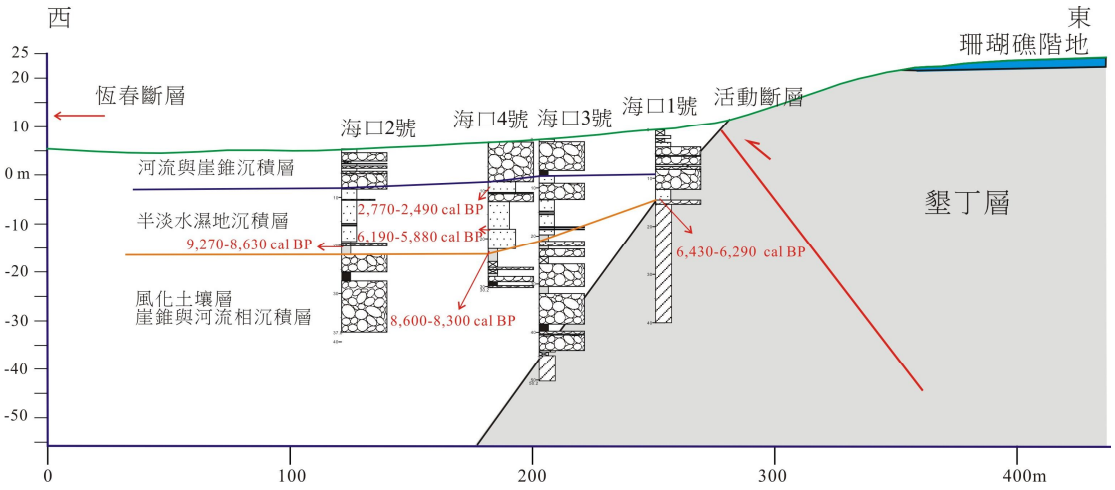


圖 13-5、海口區域斷層崖西側（斷層下盤）岩芯剖面。年代資料見表 13-1。

13.3.3 統埔地區

統埔以南區域由於斷層上盤的岩性轉變為厚層泥岩的墾丁層，因易被侵蝕，以致於斷層崖地形不明顯，山麓前緣僅約略呈線狀；上盤沒有形成全新世海階與扇階地形，鄰近斷層跡的下盤區域堆積大量脊樑山脈的河流沖積層。

本研究於車城鄉統埔村四重溪南岸進行鑽探調查，共鑽取四重溪 1 號至 4 號井，鑽井剖面垂直恆春斷層走向（圖 13-5）。地表下 60 公尺以上的岩芯岩性分三層，底層為受強烈剪切作用的墾丁層（或斷層帶），墾丁層頂面呈現朝西傾斜，可能全新世海進時期受河流侵蝕產生的。墾丁層之上不整合堆積一厚約 1-2 公尺的河流相砂礫層。其上岩性轉變為厚泥層，屬於河口灣溼地環境，厚度由西向東逐漸變薄。此泥層上部的碳十四年代，四重溪 4 號井為 7,420-7,250 cal BP（海拔 -3.5 公尺）、8,390-8,200 cal BP（海拔-5.1 公尺）；四重溪 3 號井為 7,590-7,410 cal BP（海拔 4.4 公尺）、7,970-7,790 cal BP（海拔 3.8 公尺）、8,050-7,950 cal BP（海拔 2.8 公尺）（圖 13-5，表 13-1）。四重溪 4 與 3 號井的岩性變化，由底部礫石層不整合於墾丁層之上，之上再堆積一河口灣濕地泥層，最上層堆積河相礫石層。從不整合面上的沉積層序變化，顯示環境呈現由淺變深再變淺的海進再海退變化，吻合末次冰期以來氣候變遷造成海面的變動趨勢。

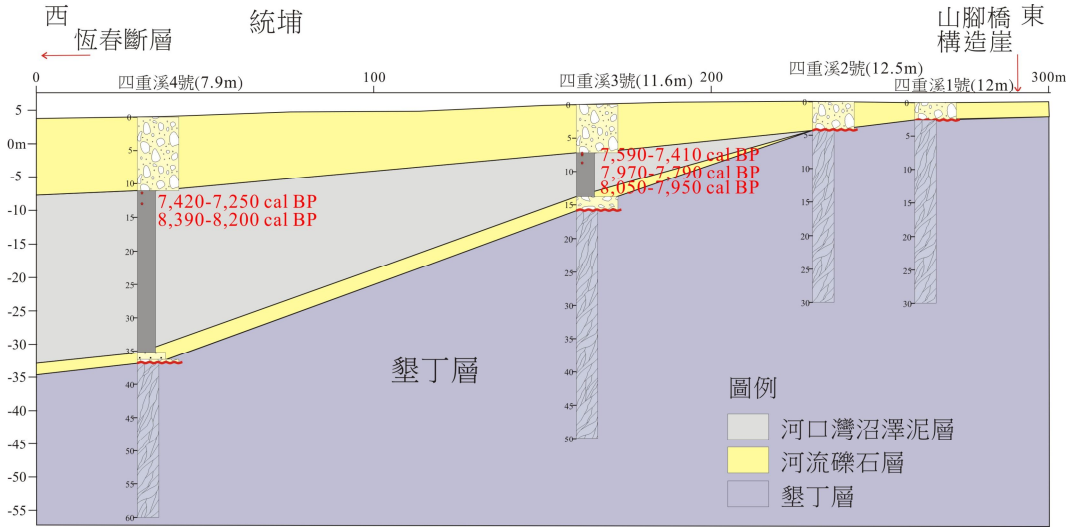


圖 13-6、四重溪區域的岩芯剖面；岩芯下層皆為墾丁層，之上的沖積層屬於河流與濕地環境。山腳橋東側地形屬於中央山脈，本剖面沿四重溪河床，無法於圖中顯示山腳橋東側已高起的地形。年代資料來源見表 13-1。

13.3.4 南灣地區

斷層跡分布在恆春鎮以南並不明顯，可能沿著赤牛嶺台地西側山丘與平原之間分布。地層特性上，東側上盤出露的地層有晚中新世石門層，更新世馬鞍山層與墾丁層，以及晚更新世恆春石灰岩；西側下盤的地層為上新世馬鞍山層，與晚更新世恆春石灰岩。推測斷層跡應鄰近屏鵝公路，向南延伸進入南灣海域。核三廠內馬鞍山南側區域同樣以鑽井進行調查，共鑽取南灣 1 號至 6 號井（圖 13-6）。

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

西側 2、4、6 號井，最下層為礫石層夾沙層與泥質沙層，礫石組成有砂岩與大量生物碎屑，淘選度普通，屬於海底河道堆積物；地層傾角約 20-50°，具剪切構造，角度為 50°-70°。礫石層之上為貝殼砂礫與珊瑚礫石，屬於晚全新世海灘相沉積層，與其下礫石層呈交角不整合。砂礫層之上則為晚全新世陸相沙丘沉積層。最上層為人為整地回填層（圖 13-6）。

5 號井於最下層又可細分為上、下兩部分，最下層下部為具強烈剪切構造的墾丁層；最下層上部為泥質砂岩夾薄層礫石（井深 8.3-21 公尺），具強烈剪切構造，剪切面角度 55°-77°。泥質砂層之上為貝殼砂礫與珊瑚礫石，屬於晚全新世海灘相沉積層，與其下泥質砂層呈交角不整合。砂礫層之上則為晚全新世陸相沙丘沉積層。最上層為人為整地回填層（圖 13-6）。

東側 1 號與 3 號井，最下層屬於上—更新世馬鞍山層，為含海相生物碎屑的泥質砂岩層，地層角度較平緩，傾角約 10°-30°，3 號井中本層具強烈剪切構造。馬鞍山層之上為以珊瑚礫石為主的海灘相礫石層，礫石層厚約 2.4-1.5 公尺，最厚的 1 號井為 4.8 公尺，交角不整合在馬鞍山層之上，不整合面約略呈水平狀態，位於海拔約-1.6 至-4.5 公尺處。灘相礫石層之上為沙丘環境的生物碎屑沙層。最上層屬於人為整地回填土層（圖 13-6）。

依據海灘相礫石層下部的珊瑚礫石層的碳十四定年顯示，剖面東側年代較老，1 號井為 4,960-4,880 yr BP，3 號井為 4,140-3,850 yr BP，5 號井為 3,060-2,750

yr BP，西側的 6 號井為 2,590-2,280 yr BP（陳文山等，2009b, 2010a）（圖 13-6）。灘相礫石層之上的沙丘沉積層，碳十四年代則大致相同，5 號井為 1,330-1,130 yr BP，2 號井為 2,110-1,820 yr BP，4 號井為 1,870-1,580 yr BP，6 號井為 1,890-1,610 yr BP（陳文山等，2009b, 2010a）（圖 13-6）。

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

此外，南灣地區位在恆春斷層上盤出露大範圍的全新世隆起珊瑚礁，交角不整合堆積在晚中新世石門層或更新世馬鞍山層之上。此區域以石牛溪北側海階研究資料最豐富。本研究就以此海階的碳十四年代與地形來探討南灣地區斷層上盤的長期抬升速率。石牛溪海階地形呈現出三階明顯的珊瑚礁平台地形，灘角的海拔各約 15 公尺、25 公尺與 32 公尺（圖 13-7）。

最高兩處珊瑚礁平台的碳十四年代如下，第二階珊瑚礁平台的年代約 6,700 至 5,800 年前，第三階約 7,200 至 8,200 年前（圖 13-7，表 13-1）。

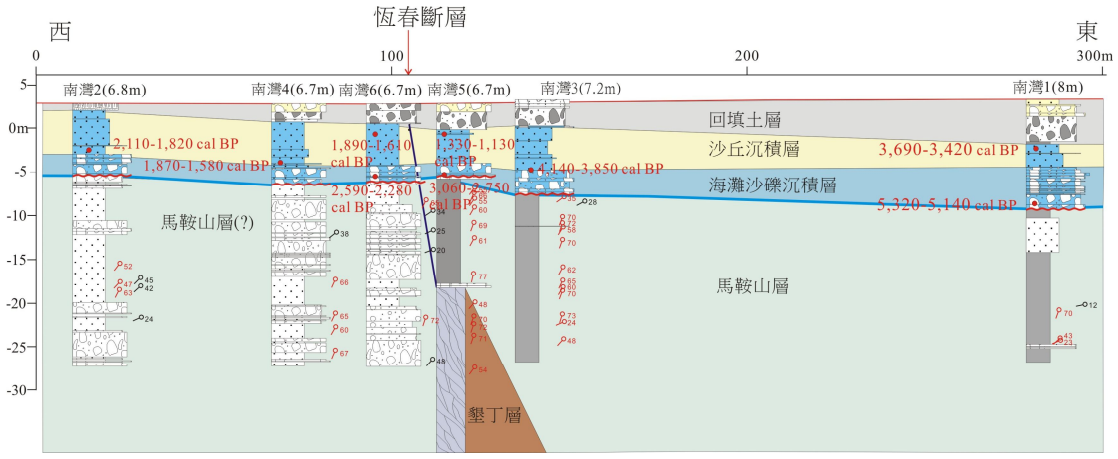


圖 13-7、南灣區域的岩芯剖面；鑽井位於核三廠海岸，恆春斷層界於南灣 5 號與 6 號井之間。年代資料見表 13-1。紅色具線段圓形符號是剪切面的傾角，黑色指層面傾角。

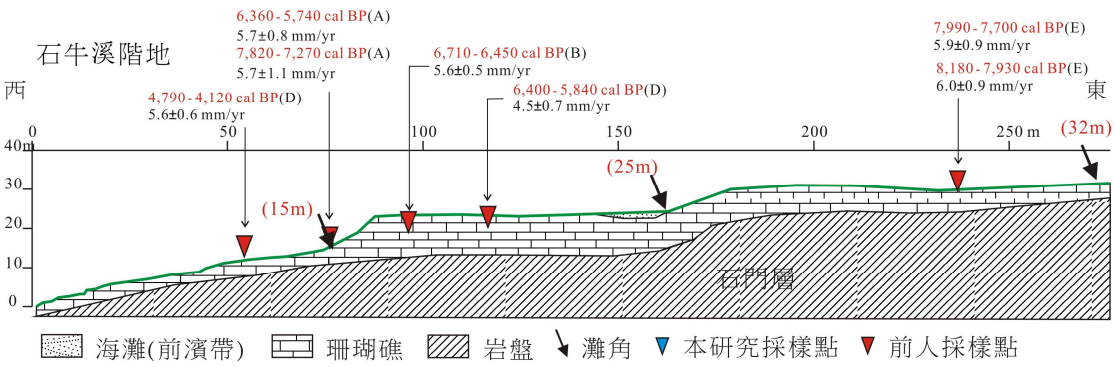


圖 13-8、石牛溪階地隆起珊瑚礁地質剖面與碳十四定年年代；石牛溪北側珊瑚礁不整合在石門層之上，平台的灘角位於海拔約 15 公尺、25 公尺與 32 公尺。年代資料見表 13-1。

13.4 長期抬升速率

本研究利用斷層上盤（東側）海階的珊瑚或貝殼口蓋進行碳十四定年，以及由沉積後至今的高度變化，估算上盤的長期抬升速率，是由斷層兩側上下盤的抬升速率差。

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

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

各環境的海拔深度與高度是依據鄰近地區的現生環境，海灘（灘角）水深為 0-1 公尺，河口灣溼地水深為-2－0 公尺，砂丘高度為 1-4 公尺，近岸河流高度為 3-5 公尺（表 13-1）。以下將討論各地區斷層的長期抬升速率。

13.4.1 楓港地區

此剖面位於楓港溪出海口南側西海岸的坡地上，珊瑚礁生長在中新世岩盤上，分布最高海灘沉積物的海拔 17.8 公尺。此剖面共四個珊瑚碳十四定年年代

資料，估算抬升速率各為 3.7±0.7 mm/yr、3.5±0.3 mm/yr、3.1±0.3 mm/yr 與 3.2±0.3 mm/yr（表 13-1，圖 13-8），平均 3.4±0.4 mm/yr。從抬升速率分析，恆春斷層應位在西側的海域，陸域屬於上盤的抬升地塊，由於下盤區域無法獲得抬升速率，所以此區域無法估算斷層的長期垂直滑移速率。

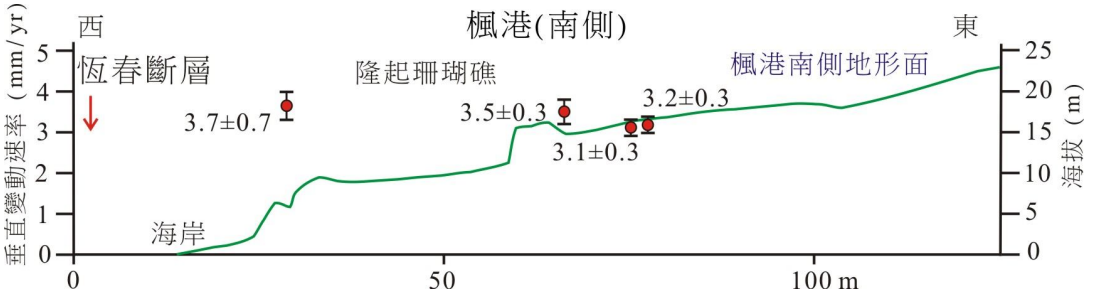


圖 13-9、楓港地區恆春斷層上盤的長期抬升速率，綠線為地表。

13.4.2 海口地區

海口至統埔地區在脊樑山脈前緣形成筆直的斷層崖，崖坡上有一朝西傾斜的海階與扇階。前人與本研究在海階上共採取九個珊瑚標本進行碳十四定年分析（表 13-1）。從海階地形與珊瑚礁產狀，將珊瑚礁階地分為三期不同高度的階面，海拔各為 4 公尺、19 公尺與 23 公尺。從珊瑚碳十四年代推測各階面形成年代，第一階約 2,000-1,000 年前，第二階約 5,500-4,000 年前，第三階約 7,300-6,100 年前（圖 13-3）。依據階面年代與高度，估算海口區域在斷層上盤的長期抬升速率，平均 4.0±0.6 mm/yr（圖 13-9）。

另外，斷層下盤海口村的岩芯年代與沉積環境估算長期抬升速率，平均 -0.7±0.6 mm/yr，約略呈現沉降（圖 13-9）。從斷層上下盤的長期抬升速率差，獲得斷層長期抬升速率為 4.7±1.2 mm/yr。

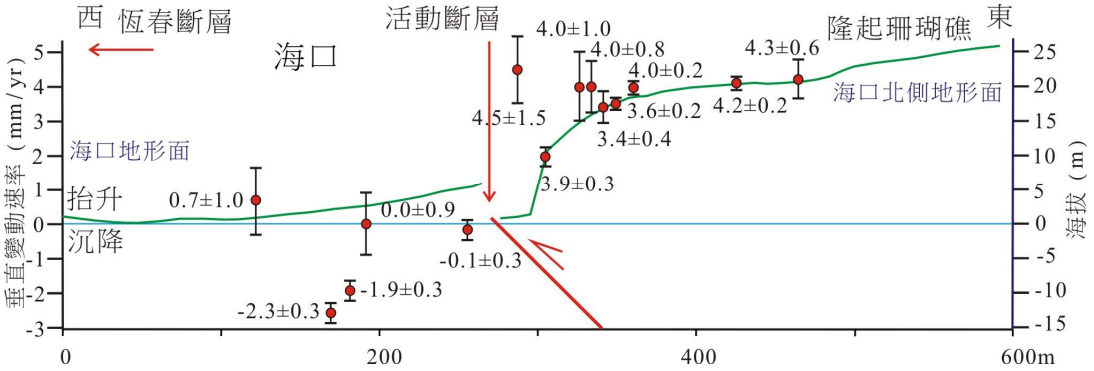


圖 13-10、海口地區恆春斷層上、下盤的長期抬升速率，綠線為地表。

13.4.3 統埔地區

本研究在山麓前的沖積平原進行四口鑽井，岩芯中第三層的厚泥層屬於河口灣濕地環境，依現今四重溪河口環境的深度約-2~0 公尺，泥層上部的碳十四年代為8,400至7,200年前，估算抬升速率為1.5±0.7 mm/yr、1.9±0.7 mm/yr、1.8±0.7 mm/yr、0.4±0.7 mm/yr、1.1±0.8 mm/yr（表 13-1，圖 13-10）；平均長期抬升速率1.3±0.7 mm/yr，此區仍屬斷層上盤。

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

從統埔以南地形來看，北側斷層崖地形朝南延伸經過本鑽井區域東側的山腳橋（圖 13-10）。推測鑽井區域應位在全新世主要活動斷層下盤，以致由統埔鑽井岩芯估算斷層的長期抬升速率較小。

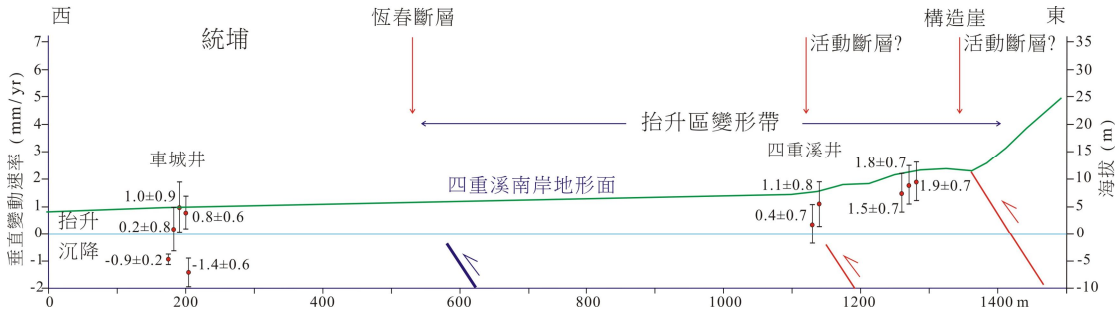


圖 13-11、統埔地區恆春斷層上、下盤的長期抬升速率，綠線為地表。

13.4.4 南灣地區

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

根據前人在石牛溪海階的珊瑚碳十四定年資料（表 13-1），從海階地形與珊瑚礁產狀分析，將珊瑚礁階地分為三期不同高度的階面，海拔各為 15 公尺、25 公尺與 32 公尺（圖 13-7）。珊瑚採樣地點在較高的第二與第三階，依據珊瑚定年

年代與階面高度(灘角)估算石牛溪地區上盤的長期抬升速率，平均5.6±0.8 mm/yr（圖 13-11）。

南灣核三廠位於斷層下盤，由鑽井岩芯標本共分析 9 個珊瑚年代，估算抬升速率為-0.1±0.4 mm/yr，約略呈現沉降環境（圖 13-11）；從石牛溪海階與核三廠，各位在斷層上下盤的長期抬升速率差，獲得斷層長期抬升速率為 5.7±1.2 mm/yr。

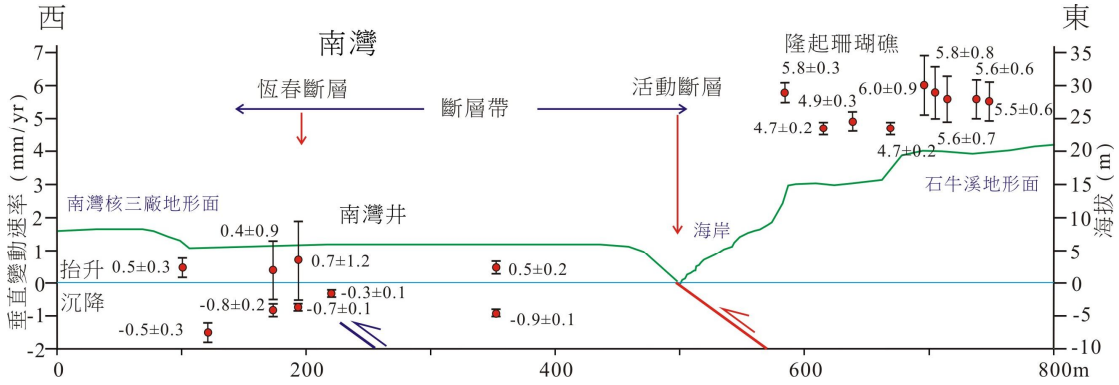


圖 13-12、南灣地區恆春斷層上、下盤的長期抬升速率，綠線為地表。

13.5 結論

13.5.1 長期變動速率

從海口與南灣區域，恆春斷層兩側鑽井與海階地形、碳十四定年與沉積環境研究，獲得兩區域斷層上下盤地塊的抬升速率，由相鄰地塊的速率差可表示斷層的長期抬升速率，各為 4.7±1.2 mm/yr 與 5.7±1.2 mm/yr，平均長期抬升速率為 5.2±1.2 mm/yr。

至於沿斷層面滑移速率（slip rate）為何，還必須依據斷層角度來估算，目前尚未有任何研究表示恆春斷層朝東傾斜面的角度。若依據淺層鑽井在墾丁層中密集剪切面傾角分析，可能是目前唯一可獲得斷層近地表的滑移面傾角。

本研究在海口、統埔與南灣地區有諸多鄰近恆春斷層的鑽井曾鑽至墾丁層（或斷層帶）或其它更新世岩層中的剪切帶都，岩芯中的剪切構造大都具一致的傾向，與墾丁層中零亂不一致的剪切面（黃奇瑜等，1985）有很大的差異。本研

究認為鄰近斷層的墾丁層與更新世岩層應受到後期斷層作用所影響，與淺層斷層面傾向與傾角相似的剪切面，所以利用這些構造應可代表淺部恆春斷層或近期活動斷層的斷層面傾角，並依此估算斷層滑移速率。

從海口 1 號與 2 號井，四重溪 1 號至 4 號井及南灣 1 號至 6 號井的剪切面傾角分析，主要角度在 45-65°之間，本研究以 55°作為估算恆春斷層的滑移速率約 6.3±1.5 mm/yr。

本研究在統埔剖面獲得上盤的抬升速率僅 1.3±0.7 mm/yr，遠小於楓港（3.4±0.4 mm/yr）、海口（4.0±0.6 mm/yr）與南灣（5.6±0.8 mm/yr）等地區。從鑽井場址東側斷層崖（山腳橋）地形研判，此崖線可能是近期斷層活動較活躍位置，只是上盤區域沒有形成階地，其活動速率應與南北兩側的南灣與海口區域相近。

近年來，作者針對屬於泥岩地區的活動斷層調查，發現許多全新世最活躍的活動斷層，並不位在主斷層帶，而在上盤當中的支斷層；主斷層常呈現不活動狀態，被全新世沖積層覆蓋。恆春斷層同樣呈現這種現象，從海口、統埔與南灣地區的鑽井岩芯都可以發現斷層崖下盤的岩芯中無論在數十公尺或至數百公尺的深度都還有墾丁層或石門層（陳柏村與紀權窅，2010）；晚更新世以來最活躍的斷層位置已後退至主斷層東側上盤中，如統埔、恆春鎮南側柴櫛山或南灣核三廠的全新世活動斷層下盤都呈現寬大的剪切帶，而恆春斷層位在其西側。

13.5.2 斷層跡調查與 e-GPS 量測

本研究在恆春斷層沿線進行量測（圖 13-12），海口至保力的斷層崖地形較明顯，而保力至南灣的斷層則分為兩條，西側斷層可能屬於較早期的活動斷層，已被厚層沖積層覆蓋（陳柏村與紀權窅，2010）；東側斷層屬於較近期活動的斷層。本調查乃針對全新世以來具有活動性的東側斷層，而西側的斷層因不具活動性，故地表也沒有顯現新期構造地形，無法進行量測。

保力溪以北至海口海岸，此區段在平原與山麓之間形成一筆直的斷層崖地形，斷層走向約 N20ºW。由於斷層崖地形非常清楚，e-GPS 量測斷層跡位置的誤

差範圍在 20 公尺（圖 13-12）。

保力溪以南區段，山麓前緣堆積大量來自脊樑山脈的沉積物，所以斷層地形非常不明顯，e-GPS 量測斷層跡位置的誤差範圍在 100 公尺（圖 13-12）。

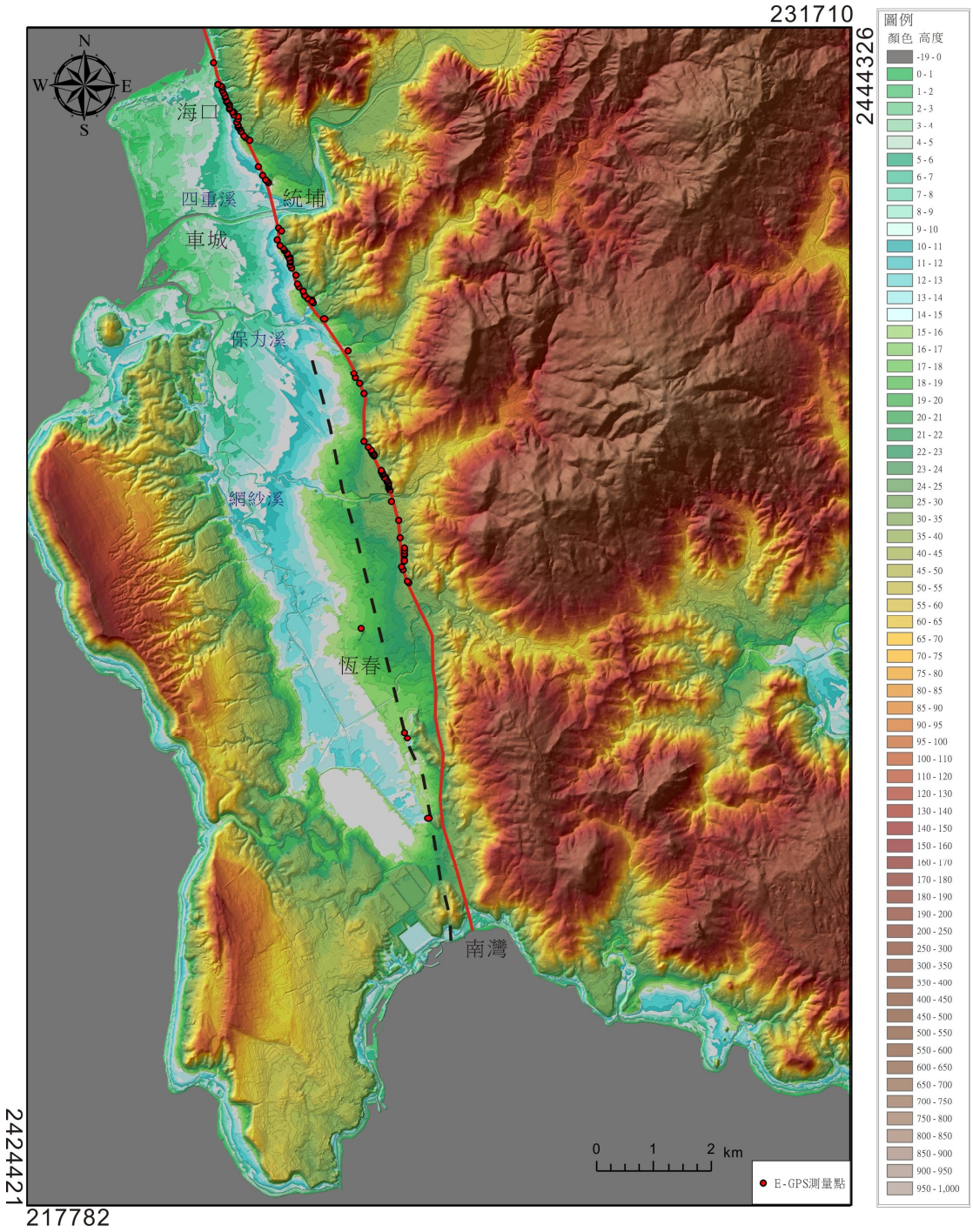


圖 3-13、恆春斷層 e-GPS 量測點。

表 13-1、恆春斷層區域碳十四年代，以及估算各採樣地點的抬升速率(E)：
E=（B-C+D）× 1000/A。

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

南灣	0	0	2,810±50	2,700-2,380	0-1 (SA)	-0.2±0.2	F (NTU)珊瑚
石牛橋	15(SA:32)	5.3-0	5,670±140	6,360-5,740	0-1 (SA)	5.7±0.8	A 珊瑚
石牛橋	15(SA:32)	17.6-5.2	7,050±145	7,820-7,270	0-1 (SA)	5.7±1.1	A 珊瑚
石牛橋	15.8(SA:32)	7.3-3.4	6,150±50	6,710-6,450	0-1 (SA)	5.6±0.5	B 貝
石牛橋	12(SA:25)	0	4,310±120	4,790-4,120	0-1 (SA)	5.6±0.6	D 珊瑚
石牛橋	20(SA:25)	5.5-0	5,710±130	6,400-5,840	0-1 (SA)	4.5±0.7	D 貝
石牛橋	28(SA:32)	19.5-9.3	7,400±70	7,990-7,700	0-1 (SA)	5.9±0.9	E 珊瑚
石牛橋	28(SA:32)	21.6-10.8	7,600±60	8,180-7,930	0-1 (SA)	6.0±0.9	E 珊瑚
海口 1 號	-1.2	5.7-3.3	5,640±40	6,430-6,290	3-5 (F)	-0.1±0.3	F (Beta)焦碳
海口 2 號	-15.5	33.7-17.7		9,270-8,630	3-5 (F)	0.7±1.0	F (Beta)焦碳
海口 4 號	-2.2	0		2,760-2,490	3-5 (F)	-2.3±0.3	F (Beta)焦碳
海口 4 號	-11.2	4.5-2.8		6,190-5,880	3-5 (F)	-1.9±0.3	F (Beta)焦碳
海口 4 號	-16.2	26.3-13.8		8,600-8,300	3-5 (F)	0.0±0.9	F (Beta)焦碳
車城井	-5.8	0	4,490±40	5,460-5,300	-2-0 (T)	-0.9±0.2	F (Beta)焦碳
車城井	-11.6	4.5-0	5,340±40	6,190-5,930	-2-0 (T)	-1.4±0.6	F (Beta)焦碳
車城井	-19.0	30.8-18	7,960±50	9,010-8,640	3-5 (F)	0.2±0.8	F (Beta)焦碳
車城井	-32.3	54.4-38.4	,9290±60	10,580-10,250	3-5 (F)	1.0±0.9	F (Beta)焦碳
車城井	-44.0	62.4-51.6	9,910±60	11,610-11,210	3-5 (F)	0.8±0.6	F (Beta)焦碳

備註

資料來源

A：Konishi et al., 1968

B：Chen and Liu, 1993

C：Ma, 1967

D：Hashimoto et al., 1972

E：林久芳，1989

F：本研究

沉積水深

(SA)：灘角或海灘（前濱帶）

(F)：近岸河流

(T)：河口灣溼地

(D)：砂丘。

古海面高度依據

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

第十四章、利吉斷層

14.1 前言

縱谷斷層為中央山脈與海岸山脈的交界，也是歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的板塊邊界斷層。徐鐵良（1956）根據縱谷兩側地質特性差異及地形特徵，推測縱谷內存在一向西逆衝的「台東縱谷斷層」。之後，畢慶昌（Biq, 1965）稱「海岸山脈斷層」，與西側的「中央山脈斷層」並稱。陳文山與王源（1996）則將海岸山脈西緣形成寬廣的逆衝斷層帶稱為「花東縱谷斷層帶」。之後，依據斷層活動特性，再將縱谷斷層分為四個區段，由北而南稱為嶺頂斷層、瑞穗斷層、池上斷層與利吉斷層。利吉斷層長約 20 公里，北起鸞山（瑞源河階南側）沿卑南大溪向南延伸，經山里至岩灣後轉為東南向，推測由太平溪出海（圖 14-1）。

14.2 地質地形

利吉斷層於野外所見是利吉層朝西逆衝至晚更新世卑南山礫岩之上，斷層跡北從鸞山向南越過卑南大溪，至卑南山東側的山里（卑南大溪西岸）；由山里向南沿卑南大溪至南側的岩灣（圖 14-1）。於鸞山（圖 14-2）、山里以及岩灣都可見到利吉層朝西逆衝至卑南礫岩之上。鸞山及岩灣剖面顯示，在利吉斷層之上堆積了河階礫石層，位於鸞山附近的河谷剖面可見兩者間關係，河階或扇階礫石層不整合堆積在斷層帶之上，斷層未截切礫石層。但沿線並未見到明顯的新期構造地形，原因是斷層跡大都沿著卑南大溪河床。另外，新期活動的斷層跡並不是位於利吉斷層沿線，此問題將在討論一節中說明。

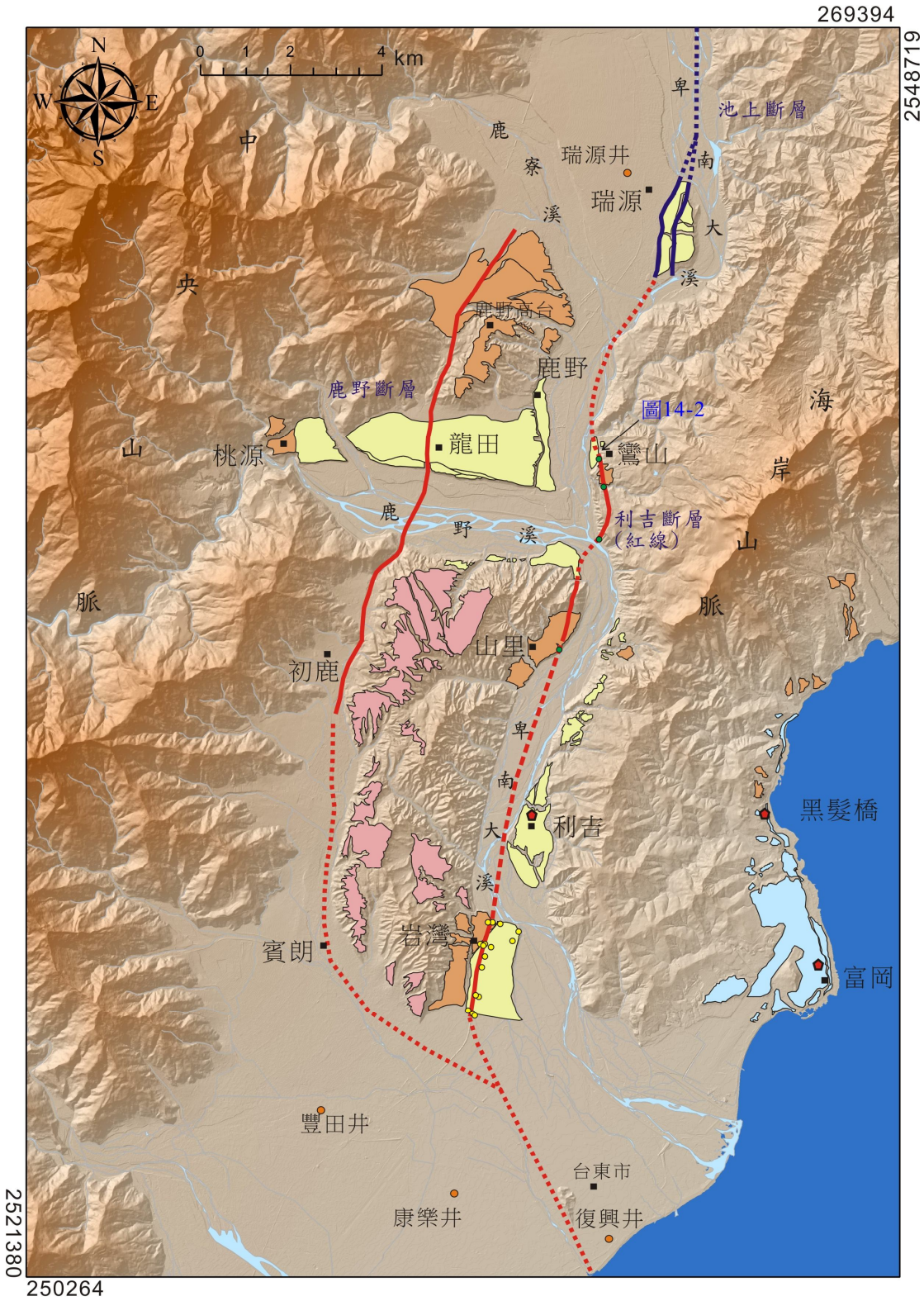


圖 14-1、利吉斷層與鹿野斷層分布圖（TWD67）。e-GPS 量測點是依據野外露頭（綠色圓圈）以及鑽井（黃色圓圈）位置所定。紅色五邊型是碳十四採 樣位置。淡藍色塊為海階，黃色塊為河階，棕色塊為扇階，粉紅色塊為紅土階地。

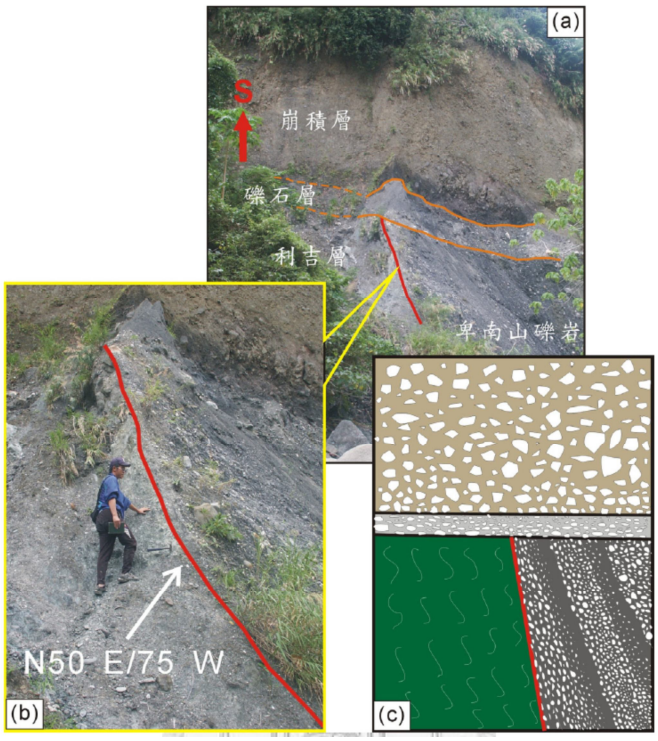


圖 14-2、鸞山附近溪谷中利吉斷層露頭。可見利吉層逆衝至卑南山礫岩之上，但未截切上伏扇階礫石層，顯示礫石沉積後斷層未有活動(位置見圖 14-1)。

14.3 鑽井岩芯紀錄

本研究調查利吉斷層的區域在岩灣河階，原因是岩灣河階區域現已成為臺東市主要的開發區，而斷層跡位置不清楚，為了地質敏感區的劃設，因此以這區域為主要調查對象。

從地形分析，在岩灣河階上似乎沒有明顯的線型崖地形，該地區於二十年前興建臺東新火車站時，已經遭受大範圍的擾動破壞。因此就依據之前本團隊在此河階的鑽井岩芯（PN：卑南井，圖 14-3）及近期中興工程公司的鑽井岩芯（TT(RW)：臺東車站機廠井，圖 14-3）的研判設定計畫的預期井位。這些鑽井有鑽取利吉層的岩芯有 PN01、PN02、PN03、TT(RW) 04、TT(RW) 05。所以判斷這些鑽井地點都還位在利吉斷層上盤，因此本研究的鑽井地點就設定在這些井位的西側。

本研究在河階區域內共選取三個場址位，由北而南分別為；臺東監獄岩灣技能訓練所（LZ3-1、LZ3-2、LZ3-3），岩灣國小（LZ2-1、LZ2-2）以及臺東火

車站（LZ1-1、LZ1-2、LZ1-3、LZ1-4、LZ1-5）（圖 4-7）。每處各有 2-5 孔鑽井，多數井深度為 50 公尺。

臺東火車站場址（LZ1）位於臺東鐵路車站南側，排鑽剖面橫跨鐵道，有三孔鑽井為 LZ1-1、LZ1-2、LZ1-3；及另在車站前方空地設定兩孔鑽井為 LZ1-4、LZ1-5。岩灣國小場址（LZ2）位於岩灣國小及臺東火車站機廠，LZ2-1 井位在國小內，而 LZ2-2 井位在臺東火車站機廠內。臺東監獄岩灣技能訓練所場址（LZ3）位於岩灣階地西北端，排鑽剖面沿著岩灣技能訓練所北側圍牆旁道路布置（圖 14-3）。LZ1 與 LZ2 的鑽井場址西側 20-30 公尺為鐵道，而鐵道更西側即為卑南山礫岩所形成的臺地；LZ3 場址西側約 50 公尺處已有卑南山礫岩出露。

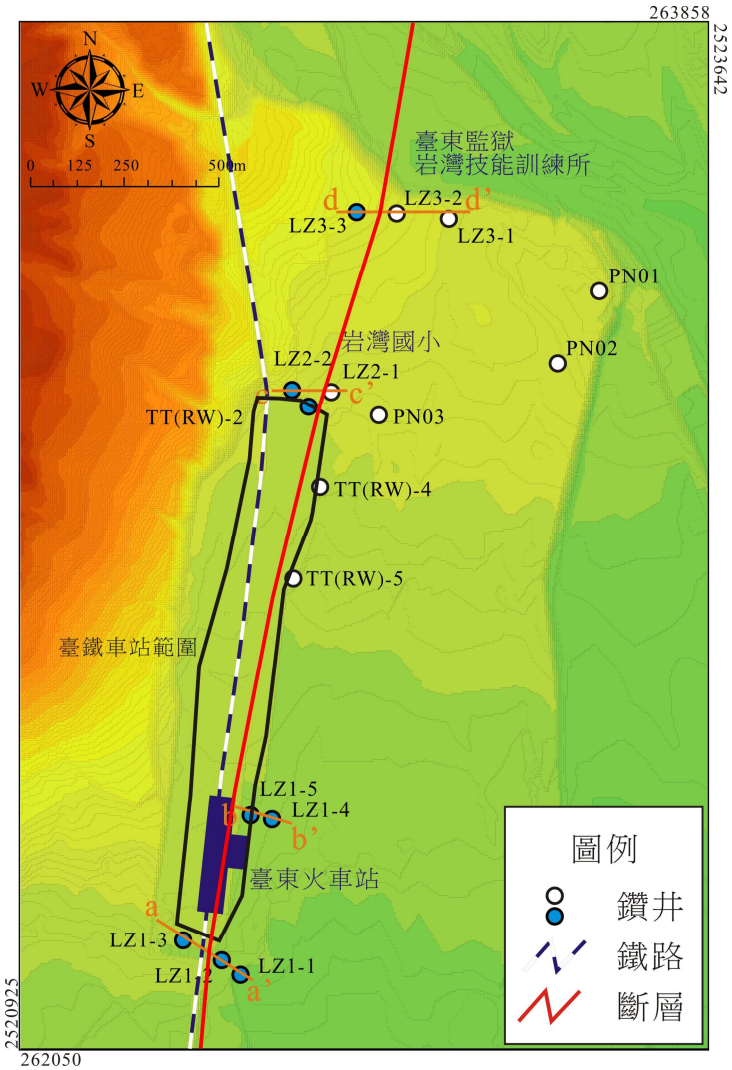


圖 14-3、本計畫鑽井與前期鑽井位置，以及斷層位置圖（紅線）。白色圈井的岩盤為利吉層，藍色圈井的岩盤未見利吉層。

岩灣階地 3 處場址共鑽取 10 口淺層鑽井岩芯，依岩性分為 5 層，由年輕至老分別為回填土層（M）、沖積扇沉積層（Ha）、海相沉積層（Oc）、卑南山礫石層（Bns）、利吉層（Lz）。各場址描述如下。

14.3.1 臺東火車站（LZ1）

此場址又分為兩處，第一處位在車站南側，地形崖位在鐵道西側，由於臺東鐵路車站已大規模開挖整地，推斷原來的地形崖應位在鐵道附近。所以，此場址的鑽井位置預定在鐵道兩側(圖 14-3)，LZ1-3 井為在鐵道西側，LZ1-2 與 LZ1-3 井位在鐵道東側。其中 LZ1-2 井鑽取深度至 103 公尺，在 64.9 公尺處鑽入海相地層（Oc），LZ1-1 與 LZ1-3 井位在 LZ1-2 井兩側，由於鑽取深度各為 50 公尺，未發現其它地層（圖 14-4）。由於 LZ1-2 井的海相地層具有密集剪切構造，本調查認為此剪切構造應與鄰近的利吉斷層的活動有關，認為利吉斷層跡還位於 LZ1-2 井的西側。

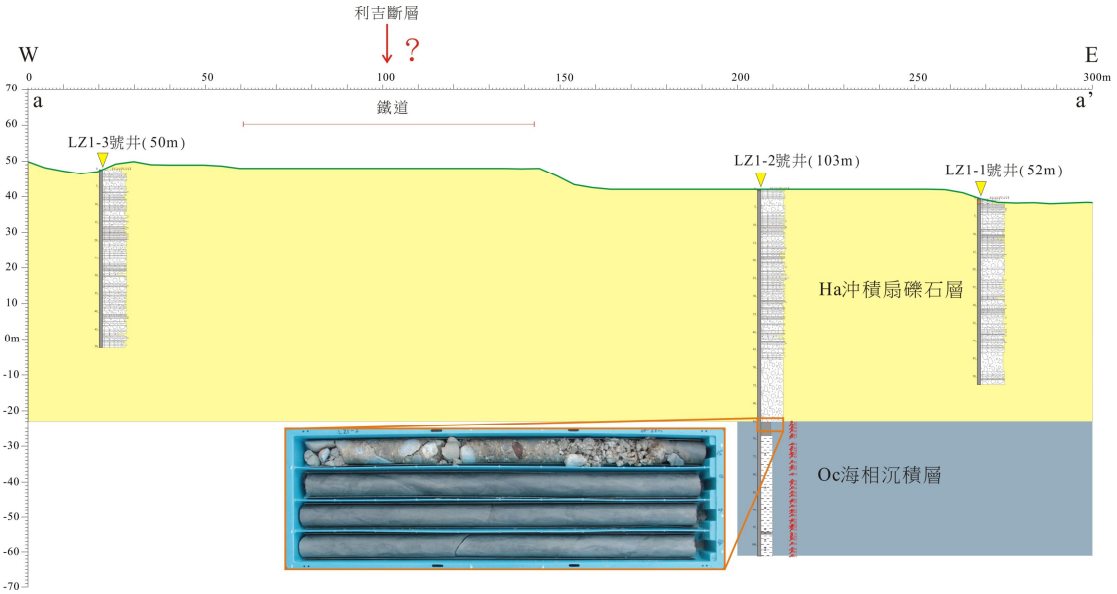


圖 14-4、臺東火車站鑽井剖面(1)：臺東新火車站南側 100 公尺處，LZ1-3 井位在博物館月型石遺址東側約 20 公尺的鐵道西側；LZ1-1 與 LZ1-2 井位於鐵道東側。圖中照片為 LZ1-2 井 44-48m 鑽井岩芯，顯示沖積扇礫石與海相砂泥沉積層接觸。

另一鑽井剖面位在臺東新火車站前方廣場與花圃，有 LZ1-4 與 LZ1-5 兩孔鑽井；此兩孔鑽井岩芯的岩性與 LZ1-2 井相同，表層為 Ha 沖積層，不整合在

Oc 海相沉積層之上。Oc 海相沉積層中具有密集的剪切構造，地層傾角約 50°（圖 14-5）。研判這些密集的剪切構造受利吉斷層作用有關，而利吉斷層跡位在 LZ1-5 井的西側，可能在鐵道位置（圖 14-3）。

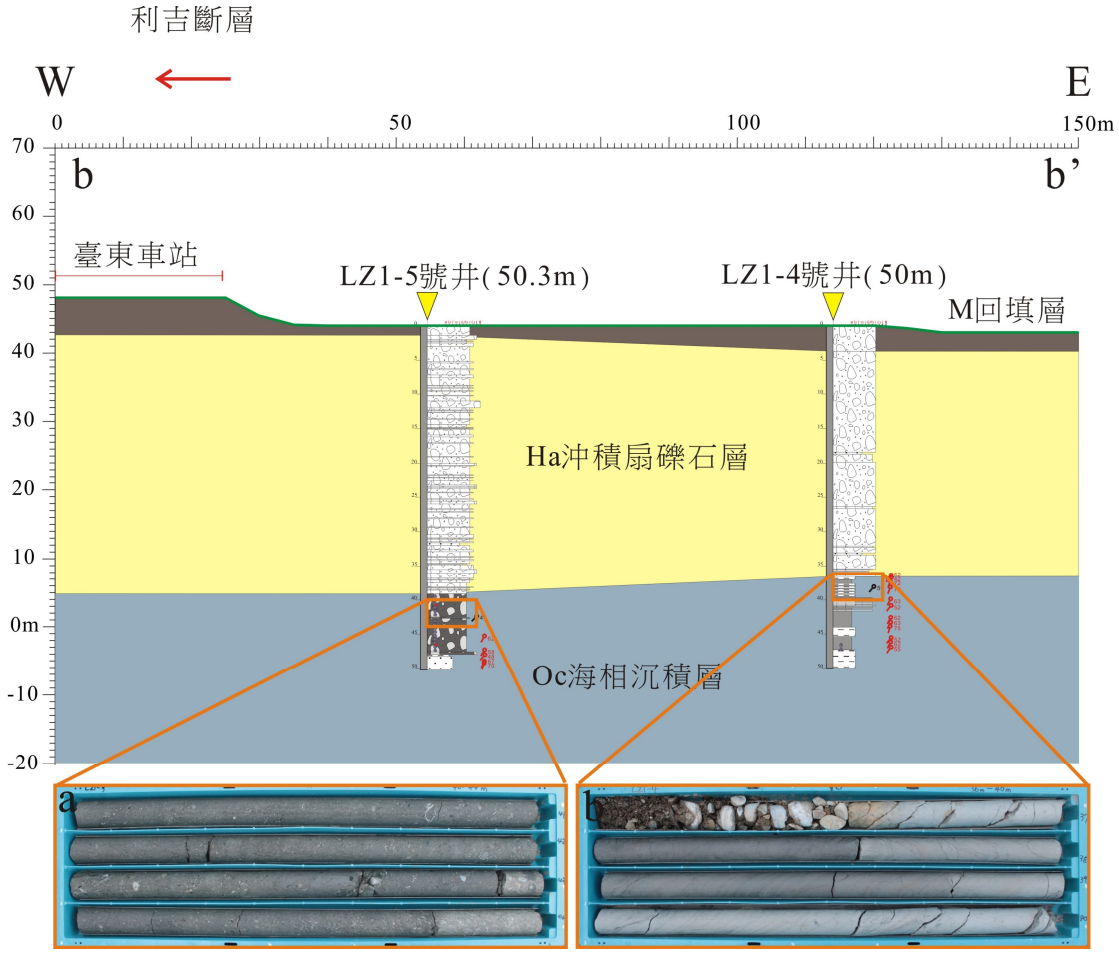


圖 14-5、臺東火車站鑽井剖面(2)：LZ1-4 與 LZ1-5 井位於火車站前方廣場與花圃，礫石層下為海相沉積層。圖中照片 a 為 LZ1-5 井 40-44m 鑽井岩芯，海相砂礫(礫石為貝殼破片)沉積層；照片 b 為 LZ1-4 井 36-40m 鑽井岩芯，顯示沖積扇礫石與海相砂泥沉積層接觸。

14.3.2 岩灣國小（LZ2）

岩灣國小位於臺東火車站範圍北端（圖 14-3），先前此地區已有兩孔鑽井 PN03 與 TT(RW)-2，PN03 井有鑽至利吉層，而 TT(RW)-2 井鑽至卑南山礫岩層，因此本計劃在這兩孔井之間再進行鑽探。LZ2-1 井位於岩灣國小內，除地表數公尺厚的沖積層之外，其餘至 50 公尺深的岩芯皆屬於利吉層（圖 14-6）。LZ2-2 井位於臺東火車站機廠內，鑽取深度為 50 公尺，除地表數公尺厚的沖積層之外，其餘皆為卑南山礫岩層，研判利吉斷層跡位在 LZ2-1 與 LZ2-2 井之間（圖 14-6）。

利吉層中的剪切面傾角為 50-60°之間，推測淺層斷層面角度約 55°。但此處地形沒有特殊的地形崖，地表呈朝東的緩斜面。

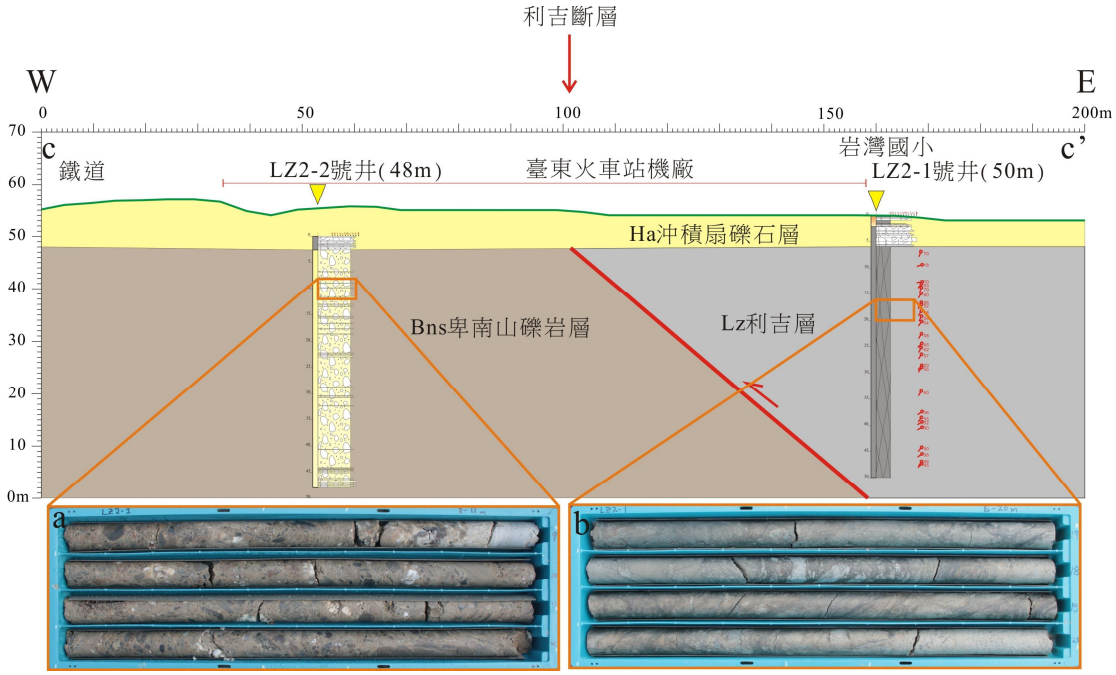


圖 14-6、岩灣國小鑽井剖面：LZ2-1 與 LZ2-2 井相距約 100 公尺，利吉斷層跡位於兩者之間。圖中照片 a 為 LZ2-2 井 8-12m 鑽井岩芯，卑南山礫岩層，礫石傾斜排列；照片 b 為 LZ2-1 井 16-20m 鑽井岩芯，利吉泥岩層，遍佈剪切面。

14.3.3 臺東監獄岩灣技能訓練所（LZ3）

臺東監獄岩灣技能訓練所位於岩灣河階最北端（圖 14-3），北側河階崖出露良好的剖面，西側出露卑南山礫岩層，東側出露利吉層，之上為河階礫石層。此場址有三孔鑽井沿技能訓練所北側道路分布，東側 LZ3-1 井鑽探深度 7 公尺即鑽入利吉層，西側 LZ3-3 井鑽井於 13.3 公尺至 50 公尺皆為卑南山礫岩層。研判利吉斷層應位在兩井之間，因此在兩井之間再進行 LZ3-2 井鑽探，於 8.9 公尺深進入利吉層，於 30.1 公尺深進入卑南山礫岩層，所以 30.1 公尺深的剪切面當為利吉斷層位置。利吉層中剪切面傾角約 40-55°，推測斷層面傾角約 50°（圖 14-7）。

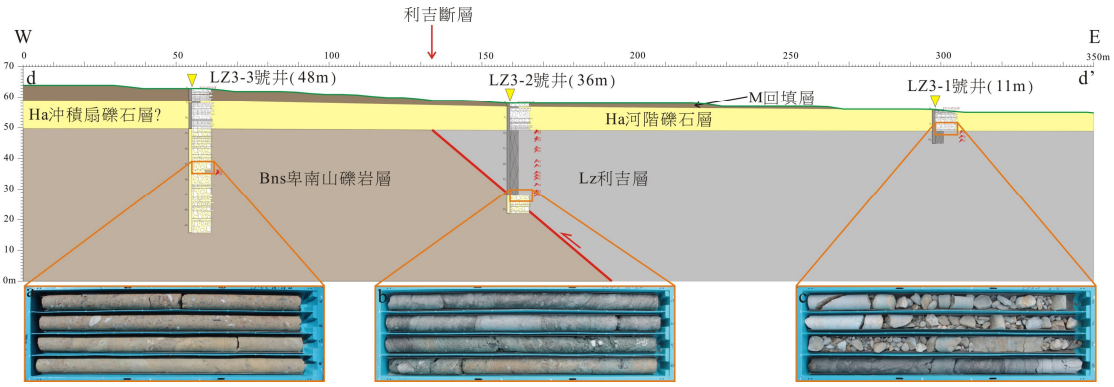


圖 14-7、臺東監獄岩灣技能訓練所鑽井剖面：LZ3-2 井於 30.1 公尺深鑽穿利吉斷層。圖中照片 a 為 LZ3-3 井 24-28m 鑽井岩芯，卑南山礫岩層，礫石傾斜排列；照片 b 為 LZ3-2 井 28-32m 鑽井岩芯，鑽井穿透利吉泥岩層於 31.2m 進入卑南山礫岩層；照片 c 為 LZ3-1 井 4-8m 鑽井岩芯，顯示河階礫石與利吉層接觸。

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

14.4 斷層跡調查與 e-GPS 量測

從之前野外調查表示在岩灣河階以北區域，斷層跡大多位在卑南大溪河床當中，僅在鸞山與山里兩地出露於兩岸，本研究已針對兩處露頭位置進行 e-GPS 量測（圖 14-1），此段斷層之位置較為確定，推測斷層跡位置的誤差約 20 公尺。除此兩處露頭之外，岩灣河階的斷層跡因有鑽井控制，依據井位的 GPS 定位推測斷層跡位置的誤差約 50 公尺。而其餘位於河床中的斷層跡都屬於推測，推測斷層跡位置的誤差約 200 公尺或以上。

利吉斷層跡的調查與之前的位置有些微修正，主要位於利吉村，之前將利吉斷層跡由山里延伸至利吉村河階，但經本次調查發現利吉村河階是不整合在利吉層之上，此處未發現卑南山礫岩層，因此認為利吉斷層跡應該位於卑南大溪河床中。斷層跡通過山里河階（卑南大溪右岸）後，沿著卑南大溪河床朝西南延伸穿過岩灣河階，再進入臺東平原，平原區在河流侵蝕與堆積作用之下，沒有呈現明顯的新期構造地形，但由平原中隆起的鯉魚山（晚更新世砂礫岩）地形來看，

可能通過其西側，但本研究也察看地調所在臺東市區的三孔鑽井岩芯，在 200 公尺以上的岩芯都屬於晚更新世至全新世的沉積層，未發現利吉層或卑南山礫岩層。

14.5 討論與結論

利吉斷層目前被列為第二類活動斷層，屬於晚更新世至全新世的活動斷層。但是，本研究從野外地形調查，卻顯示在斷層跡沿線，都沒有明顯的新期構造地形。如山里與岩灣河階，由野外露頭與鑽井都表示斷層跡通過河階下方，理論上在斷層跡附近應呈現明顯的線型崖地形，而斷層上盤（東側）區域河階面較高；但這些應該呈現的新期構造地形在這兩處的階地上都沒有發現。

此現象同恆春斷層有相似的斷層特性，全新世以來在主斷層面的活動性不明顯，斷層跡上被厚層全新世沖積層覆蓋，地表沒有明顯的新期構造地形，而斷層活動位置是位在主斷層上盤之中。

利吉斷層也具有相同特性，因此從 GPS 量測的結果可以了解近期斷層活動的位置（Chen *et al*., 2013）。陳宏宇等（Chen *et al*., 2013）在海岸山脈南段進行 GPS 量測（1992-2010 年；圖 14-8），其結果分析顯示近期斷層主要活動區域大多與利吉斷層跡位置略有差異（圖 14-9）。

全新世斷層活動位置在龍田至山里地區是位在利吉斷層下盤（西），以南大致沿著卑南大溪，其關係不清楚；至岩灣－利吉區域的活動位置朝東南延伸經臺東大橋，之後轉向東南東延卑南大溪進入太平洋。此外，全新世斷層活動位置並未經過岩灣階地，因此在階地上未見明顯的新期構造地形。

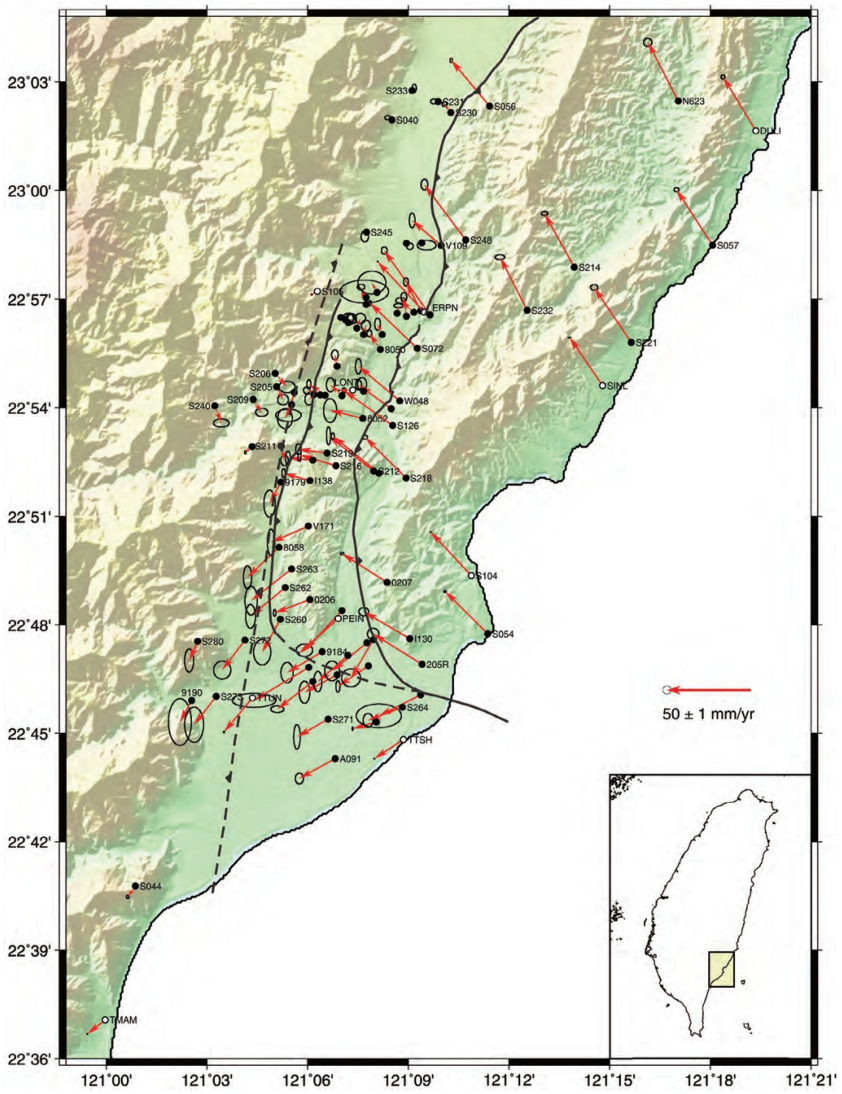


Fig. 9. Results of our revised velocity field from the dense GPS array in the southernmost Longitudinal Valley area, relative to the ITRF 2005 reference frame. See Table 1 for detailed station velocity and other relevant information.

圖 14-8、利吉斷層與鹿野斷層兩側 GPS 測量結果（Chen *et al*., 2013）。

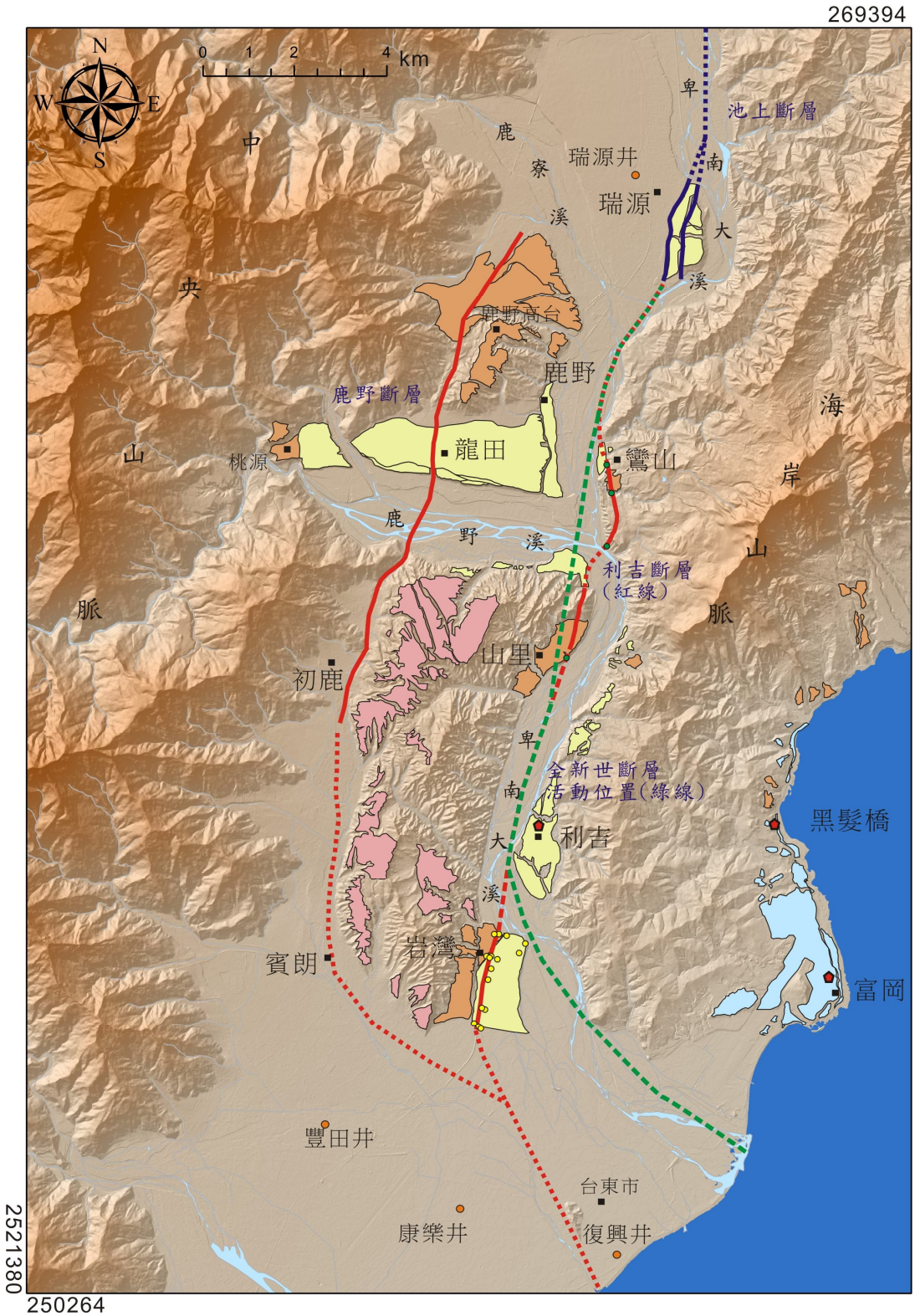


圖 14-9、利吉斷層與全新世斷層活動位置。紅色五邊型是碳十四採樣位置。淡藍色塊為海階，黃色塊為河階，棕色塊為扇階，粉紅色塊為紅土階地。

估算利吉斷層的滑移速率首先必須獲得長期垂直抬升速率與斷層面傾角，本研究利用利吉斷層上盤的河階與海階年代及河床與階地的比高來估算長期抬升速率。另外，再利用此區域於近數十年以來的地震震源分布與震源機制，以及淺層鑽探岩芯的剪切面傾角來推估利吉斷層在淺層斷層面傾角。

首先從前人在本區的地震震源分布的分析結果（Kuochen *et al*., 2004, 2012；圖 14-10，圖 14-11），顯示利吉斷層的斷層面在深度約三十公里以上的傾角為約五十多度朝東。另外，本研究於岩灣地區鑽井岩芯的剪切面傾角約為 45-65°。因此，本研究由地震震源分布與淺層地層中的剪切面傾角，認為近期活動的斷層面傾角約 50°。

本研究於利吉村河階取得一漂木（圖 14-9），碳十四校正年代為 1,050-760 cal BP，河階岩盤海拔為 53 公尺，相對現今河床比高為 15 公尺；代表河流下切速率（比高/年代）為 17.0±2.7 mm/yr。河流下切速率包括河流均夷作用與構造抬升作用產生的下切作用，因此下切速率包含均夷作用產生的下蝕速率與構造抬升速率，愈下游河段均夷作用產生的下蝕速率愈小，但無論如何以河階比高與年代所估算的下切速率必大於構造抬升速率。因此，本研究在利吉斷層上盤河階估算 17.0±2.7 mm/yr 的下切速率必大於利吉斷層的長期抬升速率。

此外，先前本團隊在富岡與黑髮橋兩地點（圖 14-9；圖 14-12）分別在海階的珊瑚礁與沉積物中採集珊瑚與貝殼進行碳十四定年，年代為 4,820-3,320 cal BP 與 3,070-2,840 cal BP。富岡珊瑚礁海階的灘角（shoreline angle）高度為海拔 50 公尺（圖 14-12），估計長期抬升速率為 12.7±2.3 mm/yr；黑髮橋階地灘角高度為海拔 40 公尺（圖 14-12），估計長期抬升速率為 13.5±0.5 mm/yr。此區域位在利吉斷層上盤，斷層面傾角約 50°，因此沿斷層的滑移速率各為 16.5±3.0 mm/yr（富岡）與 17.6±0.6 mm/yr（黑髮橋），平均滑移速率 17.1±1.8 mm/yr。

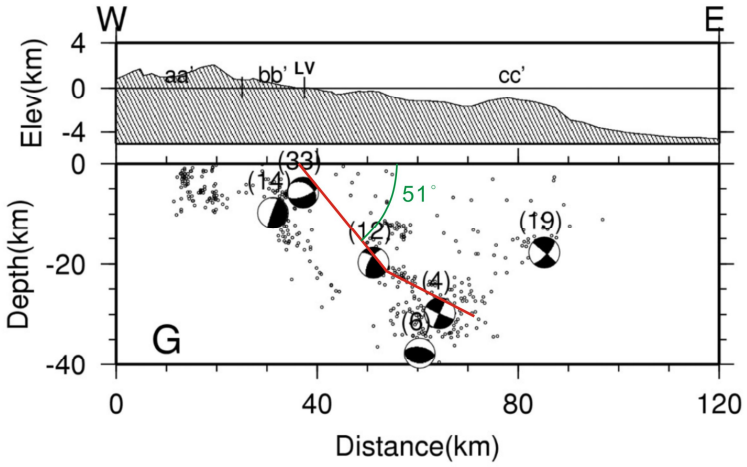


圖 14-10、利吉地區地震震源分布圖（Kuochen *et al*., 2004）。

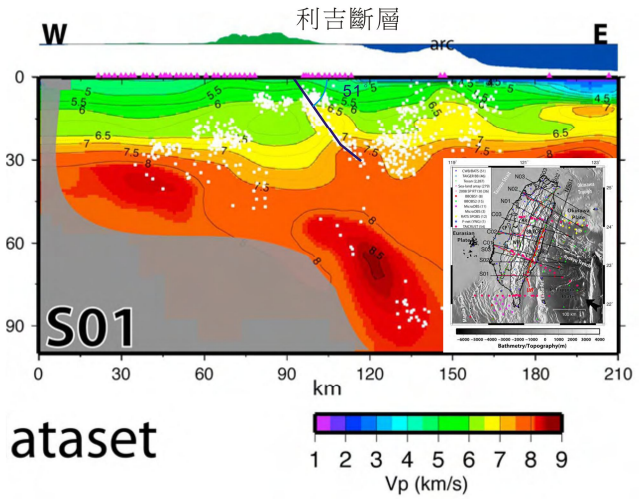


圖 14-11、利吉地區池上斷層（S02 剖面）與利吉斷層（S01 剖面）地震震源分布圖與 P 波速度剖面（Kuochen *et al.*, 2012）。

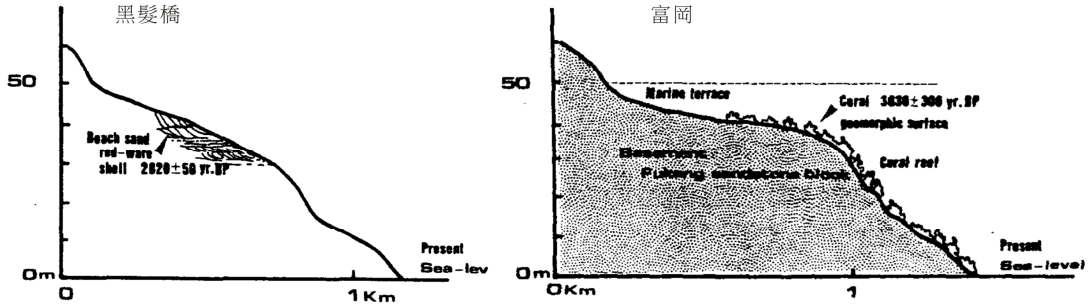


圖 14-12、左圖為黑髮橋海階沉積層，右圖為富岡的珊瑚礁海階（Chen *et al*., 1991）。

第十五章、結論與建議

15.1 活動斷層的精確位置調查

15.1.1 山腳斷層（北段）

由於北段山腳斷層主要通過大屯火山區，斷層活動與火山活動同時並存，火山熔岩掩覆於斷層之上，造成火山區域斷層跡極不明顯，僅能通過線性構造、地滑地形及岩層裂隙構造來大致推測斷層位置。而最北端位於金山平原內的北段山腳斷層則位置較為明確，通過鑽井調查及明顯的斷層崖地形，顯示山腳斷層沿著金山平原北側線形崖分佈，此段斷層跡相當明顯確實（誤差範圍 20 公尺）。

由於斷層主要遭火山熔岩覆蓋，火山區的野外與鑽探調查實屬窒礙難行，或可通過 GPS 監測或淺層地震分嘗試釐清火山區斷層分佈。因此，北段山腳斷層的地質敏感區確定範圍僅限於金山平原北側斷層崖延伸至北磺溪河谷內。

15.1.2 新竹斷層

新竹斷層主要沿竹東丘陵前緣分佈，往東經頭前溪進入飛鳳山丘陵區至關西為止。竹東丘陵區域（美山海岸至赤土崎）經野外及鑽井調查、階地分析，斷層跡沿丘陵前緣隆起階地分佈，相當明確（誤差範圍 20 公尺）。頭前溪至關西範圍，由於溪中覆蓋厚層沉積物及飛鳳山丘陵僅出露少數露頭之故，此段量測斷層跡誤差大（誤差範圍 100-200 公尺），僅最東端關西區域有明顯斷層崖，可確定其與大平地斷層相交。

地質敏感區劃設部分，竹東丘陵區域當沿階地前緣斷層跡線劃設；頭前溪與飛鳳山丘陵區域需要更多野外調查。

15.1.3 新城斷層

新城斷層為東北（芎林）—西南（頭份）向延伸之逆斷層，介於新竹斷層與斗煥坪斷層之間。新竹斷層東北端（竹東階地）、西南端（頭份階地）皆位於階地範圍，形成明顯的斷層崖，且有鑽井調查，斷層跡位置明確（誤差範圍 20

公尺）；其餘位置則分佈於竹東丘陵中，斷層地形不明顯，但可依地層露頭判斷分佈，量測斷層跡誤差較大（誤差範圍 100-200 公尺）。

地質敏感區劃設部分，竹東階地及頭份階地區域當沿斷層崖量測的斷層跡線劃設；竹東丘陵區域可以斷層跡線作基準，輔以更多野外調查劃設。

15.1.4 大甲斷層

大甲斷層介於大安溪以南至大肚溪以北，沿鐵砧山臺地、大肚臺地前緣分佈。區域內除遭河流侵蝕及人為開發外，餘者臺地前緣斷層崖地形明顯，且輔以鑽井資料控制，大甲（鐵砧山臺地）、清水、沙鹿至龍井（大肚臺地）沿線，斷層跡可明確測量，大甲至沙鹿斷層跡量測精度較高（誤差範圍 20 公尺），龍井區域崖線退縮，斷層跡量測精度較差（誤差範圍 100 公尺）；大肚至大肚溪北岸，斷層潛伏地下，透過地球物理測線，顯示大肚以南為褶皺型態。

地質敏感區劃設部分，大甲至沙鹿區域沿量測的斷層跡線劃設；龍井區域大致可沿量測的斷層跡線劃設，部分區域可再輔以更多野外調查以劃定；大肚以南區域由於轉為褶皺型態，是否劃為敏感區則由地調所研議。

15.1.5 新化斷層

新化斷層為東北東走向之之右移斷層，西北側上升、東南側下降，分布範圍由那拔林朝西南西方向延伸至北勢，橫移最大量達 2 公尺，抬升最大量為 0.76 公尺，地表破裂高低落差不大。以深坑橋（國道 3 號與台 20 線交界）為界，可區分為東、西兩區，東區由那拔林接天寺至深坑橋，沿途經農業改良場、畜產試驗所等地，大致上仍可見 1946 年新化地震所形成的地表抬升地形，並輔以古地震槽溝及鑽井岩芯資料，此區斷層跡可明確量測（誤差範圍 20 公尺）；西區由深坑橋至北勢（紡織廠），1946 年地震時此區並未形成明顯地表抬升，主要為噴沙及雁形破裂，雖輔以鑽井資料，但量測的斷層跡精度仍偏低（誤差範圍 100 公尺）。

地質敏感區劃設部分，東區那拔林至深坑橋區域當沿量測的斷層跡線劃設；西區深坑橋至北勢區域，需要更多野外調查。

15.1.6 恆春斷層

恆春斷層為約 N20ºW 走向之逆斷層，北由楓港開始延伸至南灣，向南延伸入海部分不明，海口至保力區域，東側山麓形成明顯海階及斷層崖，量測斷層跡相當明確（誤差範圍 20 公尺）；保力至南灣區域，東側山麓前緣形成明顯沖積扇，山麓與沖積扇交界有斷續的線形崖分佈。經鑽井調查顯示恆春主斷層於保力以南主要位於恆春谷地中，遭厚層全新世沉積物覆蓋，呈現未活動狀態，地形上無特徵能進行斷層跡測量；保力以南，於主斷層上盤分岔支斷層，支斷層沿山麓前緣活動，由於沖積扇沉積物影響，斷層崖地形較不明顯，形成斷續線形崖，由於崖線地形不明顯及人為影響，量測斷層跡誤差偏大（誤差範圍 100 公尺）。

地質敏感區劃設部分，海口至保力區域當沿依斷層崖量測的斷層跡線劃設；保力至南灣區域，由於鑽井資料及地形皆顯示全新世以來活動者為支斷層，敏感區當沿量測的支斷層斷層跡劃設。

15.1.7 米崙斷層

米崙斷層為左移逆斷層，北自七星潭起，沿米崙台地西緣崖坡經東華大學教育學院、美崙山西緣、花岡山西緣至南濱海堤為止，七星潭至美崙山段走向呈 N55º -60ºE，美崙山以南走向近乎南北向。七星潭經花蓮機場至東花大學教育學院區域，崖坡明顯，且輔以舊有地震紀錄、槽溝及鑽井研究資料，此崖坡為斷層崖當無誤，量測斷層跡位置相當明確（誤差範圍 20 公尺）；東華大學交育學院至美崙山以北區域，受河流侵蝕影響，地形不明顯，量測斷層跡誤差偏大（誤差範圍 100 公尺）；美崙山區域，崖線明確，且有地震地裂紀錄，量測斷層跡位置相當明確（誤差範圍 20 公尺）；美崙山以南的花岡山區域，沿花岡山西緣有明顯崖坡存在，經古地震槽溝調查及鑽井研究，顯示崖坡為斷層崖，此崖坡與舊有地震變形紀錄有所差異，舊有紀錄顯示 1951 年地震此區有 3 條變形帶，通過花岡山頂部階面及西側的舊火車站區，但舊有變形帶區卻未有明顯構造地形特徵出現，原因可能為前人所紀錄變形帶是地表結構物受損較嚴重的地點以及地裂或液化地點，不是斷層在地表破裂的痕跡，抑或為斷層首次的地表破裂跡，由於沒有長

期構造變動累積，而未產生明顯構造地形特徵，基於斷層長期活動大多還是沿著既有破裂帶活動的特性，如北段斷層跡，因此花岡山區域斷層跡測量仍沿花岡山西緣明確的斷層崖測量（誤差範圍 20 公尺）。

地質敏感區劃設部分，米崙臺地、美崙山及花岡山區域沿量測的斷層跡線劃設。

15.1.8 利吉斷層

利吉斷層為利吉層朝西逆衝至晚更新世卑南山礫岩之上形成的逆斷層，北起鸞山（瑞源河階南側），切過鸞山山麓，經卑南大溪與鹿野溪交匯處，再切過山里東北方山麓及階地，後沿卑南大溪向南延伸，至岩灣處經階地西側（卑南山東緣）後轉為東南向延伸，推測由太平溪出海。

岩灣階地以北區域，斷層多位於卑南大溪河床中，僅於鸞山、山里等處山麓、溪谷出露少數露頭與構造地形，此兩處可依野外與地形資料判釋斷層跡位置；岩灣階地部分，依野外露頭及鑽井研究資料分析，斷層位於階地西側，由北端岩灣監獄技能訓練所通過，經岩灣國小、臺東車站機廠，沿臺鐵鐵道東側通過階地南端的臺東車站，斷層並未緊鄰卑南山東緣山腳，而是位於山腳階地上的沖積扇中，但藉由鑽井資料可明顯判別出斷層位置；岩灣階地以南（臺東市區）區域，卑南大溪及太平溪沉積厚層沉積物形成大型沖積扇平原，平原上未有明顯的構造地形特徵，而舊有區域內的鑽井岩芯並未鑽及基盤，亦無法藉由地層落差判別斷層可能位置。

利吉斷層斷層跡量測部分，於鸞山、山里區域，藉由野外露頭定位及地形判釋，可明確判別斷層跡（誤差範圍 20 公尺）；岩灣階地區域，藉由鑽井資料可判別出斷層座落範圍，斷層跡測量誤差略大（誤差範圍 50 公尺）；除此 3 區外的其它區域，由於位於卑南大溪河床與大型沖積扇平原之下，遭河流侵蝕與厚層沉積物覆蓋，斷層跡無法量測，多為推測所得，誤差極大（誤差範圍≧200 公尺）。

利吉斷層於山里、岩灣的階地面未有明顯的新期溝造地形出現，鸞山、岩灣的斷層野外露頭，斷層未切穿頂部的階地沉積層，顯示斷層於這些區域有相當

時間未活動；透過近期的 GPS 測量研究，顯示於利吉斷層區域最活躍的變形帶位置，北自瑞源河階南側起，沿卑南大溪進入山里北側山麓及階地（山里區域利吉斷層的更西側），再沿卑南大溪南行，於利吉沿卑南大溪轉為東南向出海。如將 GPS 活躍變形帶視為近期（全新世）的斷層活動帶，則可發現全新世斷層活動帶正好錯開鸞山、山里及岩灣等處的斷層跡位置，與野外觀察到的現象相符。

地質敏感區劃設部分，由於利吉斷層明確斷層跡區域（鸞山、山里、岩灣）的野外資料顯示區域內斷層近期並未活動，如劃為敏感區則與劃設用意有所衝突，而其餘不明推測位置則仍需再行調查研議；而 GPS 活躍變形帶幾乎皆位於卑南大溪河床中，未有明確新期構造地形佐證其是否可視為全新世斷層活動帶，敏感帶沿其劃設亦有爭議。岩灣以北區域（除山里階地外），不論斷層跡或活躍變形帶皆大多位於卑南大溪中，敏感帶應座落於卑南大溪範圍；岩灣以南區域（岩灣階地及臺東市區），由於斷層跡及活躍變形帶皆未有明確構造地形可供判別，此區域敏感區仍無法劃設，需要更多野外調查。

表 15-1、活動斷層的精確位置調查表

活動斷層的精確位置調查	
山腳斷層(北段)	一、金山平原：斷層跡可能位在平原北側線型崖以南的平原中，有鑽井資料控制，斷層跡的誤差範圍在 20 公尺。 二、北磺溪：從金山平原西側進入大屯山區，沿北磺溪段至擎天崗鞍部，大致沿著北磺溪河谷，此區段無法以出露地層精確訂定斷層跡，故僅依據地形特性推測可能斷層跡位置。 三、擎天崗至新北投：從擎天崗鞍部朝西南沿著南磺溪延伸，通過七星山與南大屯山之間的竹子湖至新北投，大屯火山地區的斷層跡不明顯，僅依崩塌地形特徵與斷層跡走向進行量測，誤差可達數百公尺
新竹斷層	一、飛鳳山丘陵：位於頭前溪至鳳山溪間，斷層跡位置的誤差達 100-200 公尺。 二、頭前溪河床，芎林至赤土崎：此區段沒有呈現斷層造成的新期構造地形，僅由頭前溪河床的鑽井岩芯研判斷層跡位置，此區段斷層跡位置的誤差範圍可達兩側各 100 公尺。

	三、頭前溪以西，赤土崎經新竹市區，至新竹教育大學：此區斷層崖地形非常清楚，並且局部地點有鑽井岩芯控制，斷層跡的誤差範圍在兩側各 10 公尺內。 四、新竹教育大學至美山海岸：斷層崖地形明確，有鑽井岩芯控制，但客雅溪河口的斷層跡較不明確，斷層跡誤差範圍可以在兩側各 10 公尺內。
新城斷層	一、頭前溪階地：頭前溪以南至寶山路南側區域，斷層跡的誤差範圍約 20 公尺範圍內。 二、竹東丘陵區域：由寶山路以南至中港溪以北，未發現斷層露頭，僅依據斷層兩側岩層位態與岩性作研判，斷層跡誤差範圍在 100 公尺內，其間連接線的誤差範圍，推測應達 200 公尺。 三、頭份階地：位於中港溪北岸，斷層跡的誤差範圍約 20 公尺範圍內。
大甲斷層	一、大甲段：位於大安溪至大甲溪之間，大肚台地與海岸平原交匯處呈現明顯的線型斷層崖地形，斷層跡位置的誤差範圍在 20 公尺。 二、清水段：從大甲溪經清水至沙鹿北側，呈明顯的線形崖地形，斷層跡誤差範圍為 20 公尺。 三、沙鹿段：從清水南側經沙鹿至龍井北側，崖坡呈緩起伏狀，崖高由 30 公尺逐漸降低至數公尺，有鑽井資料控制，斷層跡的誤差範圍在 20 公尺。 四、龍井段：從沙鹿南側經龍井至大肚北側，地形呈緩起伏崖，崖高由 20 公尺逐漸降低至數公尺，無鑽井資料控制，斷層跡的誤差範圍較大，在 100 公尺內。 五、大肚段：從大肚至大肚溪，此段崖線地形最不明顯，大肚北側斷層崖地形不明顯，斷層跡的誤差範圍可能在 100 公尺內，而大肚以南至大肚溪依據反射震測剖面可能為褶皺構造，斷層跡未出露地表。
新化斷層	一、接天寺東側至農業改良場：斷層跡通過新化丘陵，形成一走向約 N80ºE 的線形斷層凹谷，斷層跡的誤差範圍約 20 公尺範圍內。 二、農業改良場至深坑橋，之間為畜產試驗所，斷層跡經過農業改良場與畜產試驗所南側山丘的凹谷與水塘，之後進入畜產試驗所牧草區，斷層跡的誤差範圍約 20 公尺範圍內。 三、深坑橋至中央橋：沒有明顯的地表錯動，但具液化現象，斷層跡誤差範圍在 100 公尺內。

恆春斷層	一、海口海岸至保力溪以北：斷層崖地形較明顯，斷層跡位置的誤差範圍在 20 公尺。 二、保力溪以南至南灣：山麓前緣堆積大量來自脊樑山脈的沉積物，所以斷層地形非常不明顯，e-GPS 量測斷層跡位置的誤差範圍在 100 公尺。
米崙斷層	一、七星潭經機場至東華大學教育學院校區，至台 9 線公路，再至米崙山北端：七星潭經機場至東華大學教育學院校區，存在明顯的崖線，斷層跡的誤差範圍可在兩側各 10 公尺內。東華大學教育學院校區至米崙山北端，地形不明顯，此區段斷層跡位置誤差範圍可達兩側各 50 公尺。 二、米崙山北端沿山體西側經忠烈祠、明禮國小、花蓮署立醫院，再沿花崗山西側坡崖至南濱公園海岸：米崙山西側坡崖至花崗山西側坡崖，地形崖明確，斷層跡的誤差範圍可在兩側共 20 公尺內。花崗山至南濱公園海岸，地形不明顯，此區段斷層跡位置誤差範圍可達 100 公尺。
利吉斷層	一、岩灣河階以北：鸞山與山里兩地出露斷層位置，針對兩處露頭位置進行量測，此段斷層之位置較為確定，推測斷層跡位置的誤差約 20 公尺。 二、岩灣河階：因有鑽井控制，依據井位的 GPS 定位推測斷層跡位置的誤差約 50 公尺。 三、其餘位於河床中的斷層跡：位置都屬於推測，推測斷層跡位置的誤差約 200 公尺或以上。

15.2 斷層活動特性分析與評估

本計畫斷層參數求取部分計有：新城斷層、三義斷層、屯子腳斷層、梅山斷層、新化斷層、龍船斷層、恆春斷層、米崙斷層及利吉斷層。由於調查資料中，斷層橫移方向缺乏指準標的評估位移量，無法估算橫移速率部分；在垂直抬升部分，透過岩芯、階地的調查資料及定年資料，可進行垂直抬升速率評估，若再配合斷層面角度，則可求取斷層滑移速率。以上斷層，除三義斷層、屯子腳斷層資料不足以進行參數求取外，皆有所評估值如下表 15-2。

三義斷層經調查近期並未活動，而是由西側的支斷層—后里斷層在活動，建議針對后里斷層進行調查評估，三義主斷層部分由於位於厚層紅土臺地，槽溝挖掘不易觀察古地震變形及獲取定年樣本，而目前鑽取的岩芯中亦未有良好定年

樣本，因此無法評估三義斷層之活動參數；同樣原因，屯子腳斷層位於相同紅土臺地，亦難有足夠資料評估活動參數。

表 15-2、斷層活動特性分析與評估表

斷層活動特性分析與評估	
新城斷層	由頭份 1 區的鑽井岩芯分析，此區域斷層傾角約 25º，垂直斷距約 20 公尺，抬升速率為 0.46 mm/yr，斷層面滑移速率為 1.1 mm/yr。
三義斷層	古地震槽溝中沒有發現焦碳可供定年，所以目前尚無法估算斷層的長期變動速率。 三義斷層近期的構造活動帶位於支斷層（后里斷層）處。
屯子腳斷層	古地震槽溝中沒有發現焦碳可供定年，所以目前尚無法估算斷層的長期變動速率。
梅山斷層	依岩芯柵狀剖面資料估算，梅山斷層的長期抬升速率約 2.5 mm/yr。
新化斷層	斷層跡兩側的抬升速率無法區別，畜產所區域抬升速率 3-4.5 mm/yr，畜產所西側農田區與紡織廠抬升速率 0.8-2.3 mm/yr。此結果顯示新化斷層東側變形帶（1946 年地震斷層跡西側的畜產所）抬升速率大於西側液化區域。
旗山斷層	大社 A 剖面上盤速率約 3.4±0.8 mm/yr 至 4.0±0.3 mm/yr，下盤為 2.4±0.7 mm/yr； 大社 B 剖面上盤速率約為 3.3±0.9 mm/yr，下盤為 2.8±0.6 mm/yr； 嘉誠剖面下盤速率約為 2.7±0.8 mm/yr 與 2.8±0.8 mm/yr； 仁雄剖面下盤速率為 1.4±0.7 mm/yr 與 1.4±0.8 mm/yr； 澄清湖剖面下盤速率為 1.2±0.9 mm/yr 或 0.2±0.9 mm/yr、0.3±1.0 mm/yr。 仁雄至澄清湖區域，大社丘陵西側（旗山斷層下盤）的長期抬升速率約 1.4±0.7 mm/yr 至 1.2±0.9 mm/yr。鳳山丘陵西側誠正井的長期抬升速率 1.2±0.3 mm/yr，但在高雄都會區的長期抬升速率約 0.9±0.8 mm/yr 至-3.7±0.5 mm/yr 大都處於沉降的環境。 從大社地區的旗山斷層兩側鑽井岩芯初步估算長期抬升速率約 0.5-1 mm/yr。
恆春斷層	海口與南灣區域，長期抬升速率，各為 4.7±1.2 mm/yr 與 5.7±1.2 mm/yr，平均長期抬升速率為 5.2±1.2 mm/yr。 以斷層面 55°估算，恆春斷層的斷層面滑移速率約 6.3±1.5 mm/yr。

	斷層跡於海口至保力的斷層崖地形較明顯，而保力至南灣的斷層則分為兩條，西側的斷層（主斷層）屬於較早期的活動斷層；位於恆春谷地東側的斷層（支斷層）屬於較近期活動的斷層。恆春斷層僅延展至楓港外海。
米崙斷層	槽溝地層剖面分析，約 1,820-1,630 cal BP（HKS2-005）以來，至少造成斷層東側形成 4 公尺高差（長期抬升速率＞2.45 mm/yr）。300 年內以來，垂直變形量至少 80 公分。 臺地表面的全新世沉積物為海灘相砂礫石與局部珊瑚礁，位於海拔高度 12 公尺珊瑚礁的碳十四定年年代為 2,620-2,300 cal BP（Yamaguchi and Ota, 2004），採用此珊瑚礁定年年代的長期抬升速率估算，長期抬升速率約 5 mm/yr。
利吉斷層	富岡珊瑚礁海階估計長期抬升速率為 12.7±2.3 mm/yr； 黑髮橋階地估計長期抬升速率為 13.5±0.5 mm/yr。 兩者皆位在利吉斷層上盤，斷層面傾角約 50°，因此沿斷層的滑移速率各為 16.5±3.0 mm/yr（富岡）與 17.6±0.6 mm/yr（黑髮橋），平均滑移速率 17.1±1.8 mm/yr。 斷層跡沿線，沒有明顯的新期構造地形；從 GPS 量測的結果分析顯示近期斷層主要活動區域大多與利吉斷層跡位置略有差異；全新世斷層活動位置在龍田至山里地區是位在利吉斷層下盤（西），以南大致沿著卑南大溪，其關係不清楚；至岩灣－利吉區域的活動位置朝東南延伸經臺東大橋，之後轉向東南東延卑南大溪進入太平洋。

參考文獻

大江二郎（1936）大安溪地震調查報告。台灣總督府殖產局，礦物及地質調查報告第四號。（日文）

大塚彌之助（1936）昭和十年四月二一日台灣中部地方發生之地震所伴生之地震斷層，附地震斷層之諸特徵。東京大學地震研究所彙報別冊，第三號，第 22-74 頁。（日文）

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。

中國石油公司台探總處，“台南地質圖（1:100,000）”，中國石油公司出版，1989。

中國石油公司臺灣油礦探勘總處（1989）臺南地質圖（1:100,000），中國石油公司出版。

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）

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

石再添、張瑞津、黃朝恩、石慶得、楊貴三、孫林耀明（1983）臺灣北部與東部活斷層的地形學研究。臺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）竹東台地的活動斷層與地形面。國立台灣師範大學地理教育，第 9 期，1-16 頁。

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

石瑞銓、陳平護、呂明達、陳文山（2002）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－淺層地球物理探勘（1/5），經濟部中央地質調查所 91 年度研究報告，共 166 頁。

石瑞銓、陳平護、呂明達、陳文山（2003）活動斷層地球物理探勘計畫九十一年度報告(1/5)。經濟部地質調查所，共 165 頁。

石瑞銓、陳平護、呂明達、陳文山（2004）地震地質調查及活動斷層資料庫建置－淺層地球物理探勘（3/5）。經濟部中央地質調查所報告第 97-11 號，共 127 頁。

石瑞銓、王維豪、李元希（2009）地震地質與地動潛變分析－段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。

石瑞銓、王維豪、李元希（2010）地震地質與地變動潛勢分析-斷層帶地下構造調查研究(4/4)，經濟部中央 地質調查所 99 年度報告第 99-11 號，共 132 頁。

吉田要（1931）狗氳氤附近地形及地質圖。台灣總督府殖產局。

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

朱傚祖、游明聖（1995）花東縱谷活動斷層調查研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC-83-0202-M47-001，共 176 頁。

江婉綺、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。

李錫堤、鄭錦桐、紀立民、廖啟雯、廖卿妃（2000）槽溝開挖探查成果簡介。第三屆台灣活斷層調查研討會資料。

李錦發（1994）三義斷層及其在新構造上的意義。地質，第 14 卷，第 1 期，73-96 頁。

李錦發（2000）東勢圖幅及說明書，五萬分之一台灣地質圖，第 18 號。經濟部中央地

質調查所出版，共 117 頁。

何信昌 (1994) 苗栗圖幅，圖幅第十二號。經濟部中央地質調查所，共 69 頁。

何信昌、陳勉銘（2000）臺中圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖第 18 號。經濟部中央地質調查所，共 65 頁。

宋時驊（2001）末次冰期以來高雄地區沉積層序之研究。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 122 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計劃－活動構造地形判釋及資料庫建置分析（1/2）。經濟部中央地質調查所研究報告 94-13 號，共 80 頁。

余輝龍、施輝煌、黃春盛、何智剛、曾寶樹（1980）台南縣龍船及高雄縣坑內，小滾水構造重點地質核查報告。台灣油礦探勘總處測勘處。共 26 頁。

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

林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正（2000）台灣活動斷層概論－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十三號，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－二萬五千分之一活動斷層條帶地質圖說明書，經濟部中央地質調查所特刊第十九號，共 130 頁。

林啟文、盧詩丁、石同生、林偉雄、劉彥求、陳柏村（2008）台灣中部的活動斷層，兩萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第 21 號，共 148 頁。

林朝宗（1991）三芝圖幅及說明書，五萬分之一台灣地質圖，第 1 號。經濟部中央地質調查所出版。

林朝宗（2005）山腳斷層與台北盆地西緣的地質構造。大台北地區火山活動與山腳斷層研討會論文集，191-197 頁。

林朝棨（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。

青木元（1935）苗栗地震（台湾）の再検討 Review of the 1935 Miaoli Earthquake in Taiwan，歷史地震，第 16 號，206-215 頁。

吳沂全、陳永隆、吳健一、宣大衛、吳榮章、陳煥彩（1993）龍船地區地層壓力梯度之估算。探採研究彙報，第 16 期，396-411 頁。

吳榮章、梅文威（1985）高雄縣旗山至鳳山地區新第三紀及第四紀地層之生物地層與古沉積環境。探採研究彙報，第 8 期，58-75 頁。

邱朝聰（1997）台灣西南地區之震測研究－西南海域之大陸棚及新化斷層為例，國立臺灣海洋大學應用地球物理研究所碩士學位論文，共 47 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。
許小官（1935）新竹-台中（台湾）地震のメカニズムと断層モデル，Mechanism and Fault Model of the Hsinchu-Taichuang (Taiwan) Earthquake of 1935。地震第 2 輯，第 35 卷，567-574 頁。
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，309-312頁。
徐慶雲（1975）台南縣坑內、龍船及高雄縣小滾水構造地質核查報告。台灣油礦探勘總處測勘處。共 16 頁。
徐鐵良（1955）臺灣的地震。臺灣銀行季刊，第 7 期，39-63 頁。
徐鐵良（1956）台灣東部海岸山脈地質。台灣省地質調查所彙刊，第八號，第 15-41 頁。
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。
孫習之、施垂鑫（1960）高雄縣大崗山至鳳山區間地質調查報告。台灣油礦探勘總處測勘處。共 12 頁。
侯進雄、王菁穗、余仲憲、潘彥志（2002）嘉南地區 GPS 觀測網三維空間位移。經濟部中央地質調查所年報，九十年度, 第 115-121 頁。
鳥居敬造（1930）龍船附近地形及地質圖。台灣總督府殖產局。
陳文山、鄭穎敏、黃奇瑜（1985）台灣南部恆春半島之地質。地質，6 卷，2 期，21-38 頁。
陳文山、王源（1996）十萬分之一海岸山脈地質圖說明書。經濟部中央地質調查所。
陳文山、楊志成、黃柏壽、陳于高、石瑞銓、李元希、張徽正、黃能偉、林清正、宋時驊、李昆杰（2001）從台灣中部地區西部麓山帶的地質構造來看集集地震斷層的特性。地質，第 21 期，1 卷，第 19-36 頁。
陳文山、李錫堤、陳于高（2002）槽溝開挖與古地震研究計畫（1/5）（上），經濟部中央地質調查所「地震地質調查與活動斷層資料庫建置計畫」研究報告，共 107 頁。
陳文山、石瑞銓、楊小青、楊志成、葉明官、李龍昇、劉力豪、顏一勤、彭秋雯、張徽正、林啟文、陳于高、李元希、林偉雄、石同生、盧詩丁（2003）梅山斷層的構造特性與古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，第十四號，150-160 頁。
陳文山、楊志成、楊小青、劉進金（2003a）從火山地形探討大屯火山群的地層層序與構造。經濟部中央地質調查所彙刊，第 16 號，99-123 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、林啟文、李元希、林偉雄、石同生、盧詩丁（2003b）新城斷層的古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，14 期，11-24 頁。
陳文山、李錫堤、石瑞銓、楊小青、楊志成、顏一勤、劉力豪、張徽正、侯進雄（2004）新化斷層的構造特性與古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，第十五號，111-119 頁。
陳文山、楊志成、楊小青、吳樂群、林啟文、張徽正、石瑞銓、林偉雄、李元希、石同生、盧詩丁（2004）從構造地形探討嘉南地區的活動構造。經濟部中央地質調查所彙刊，第十七號，53-77 頁。

陳文山、李偉彰、黃能偉、顏一勤、楊志成、楊小青、陳勇全、宋時驊（2005a）恆春半島增積岩體的構造與地層特性：全新世恆春斷層的活動性。西太平洋地質科學，第 5 卷，129-154 頁。

陳文山、黃能偉、游能悌、周飛宏、顏一勤、宋時驊、楊志成、楊小青（2005b）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－槽溝開挖與古地震研究計畫（4/5）－旗山與龍船斷層條帶地質圖說明書。經濟部中央地質調查所報告第 94-08-2 號，共 48 頁。

陳文山、陳于高、楊志成、顏一勤、楊小青（2006）地震地質與活動斷層資料庫建置－槽溝開挖與古地震研究（5/5）。經濟部中央地質調查所研究計畫報告與總報告。

陳文山、楊志成、楊小青、劉進金、詹瑜璋、謝凱旋、謝有忠（2007）從 LiDAR 的 2 公尺×2 公尺數值模擬地形分析大屯火山群的火山地形。經濟部中央地質調查所彙刊，第二十號，101-128 頁。

陳文山、林朝宗、楊志成、費立沅、謝凱旋、龔慧敏、林佩儀、楊小青（2008）晚期更新世以來台北盆地沉積環境與構造演化的時空演變。經濟部中央地質調查所彙刊，第二十一號，61-106 頁。

陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青(2009a)地震地質與地變動潛勢分析計畫斷層長期滑移速率與再現週期研究 (3/4) ─期末報告書。經濟部中央地質調查所研究報告第 98-9 號。

陳文山、游能悌、楊小青（2009b）地震地質與地變動潛勢分析計畫－斷層長期滑移速率與再現週期研究（4/4）。經濟部中央地質調查所報告第99號，99-5226904000-01-01。

陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2010）地震地質與地變動潛勢分析計畫斷層長期滑移速率與再現週期研究─總報告。經濟部中央地質調查所。

陳文山、游能悌、楊小青（2010）重要活動斷層帶構造特性調查研究計畫斷層活動特性分析與評估(1/4)。經濟部中央地質調查所報告第100號，100-5226904000-05-03。

陳文山、黃能偉、楊志成（2011）臺灣西南部更新世沈積層序特性與前陸盆地演化。經濟部中央地質調查所特刊，第二十五號，1-38 頁。

陳文山、游能悌、楊小青(2013) 重要活動斷層構造特性調查研究計畫-斷層活動特性分析與評估（3/4），經濟部中地質查所報告第 102-9 號，第 37-49 頁。

陳柏村、紀權窅（2010）台灣南部恆春谷地的地下構造型態探討。經濟部中央地質調查所特刊，第 24 號，17-38 頁。

陳建良、林啟文、侯進雄（2008）臺灣西北部桃竹苗地區地殼變形初步研究。經濟部中央地質調查所特刊，第20號，223-251頁。

黃奇瑜、鄭穎敏、葉家正（1985）論恆春半島上墾丁層之成因。地質，第 6 卷，1 期，21-38 頁。

黃明哲、王文龍、潘國樑、顏滄波（1985）活動斷層之航照地研究（二）：嘉義梅山地震斷層研究。行政院國家科學委員會防災科技研究報告 73-29 號。

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。

黃勝群、陳彥宏、石瑞銓、張徽正、林啟文、陳文山（2004）新化斷層帶之淺部構造特徵。經濟部中央地質調查所特刊，第十五號，99-110 頁。

黃鑑水、李錦發、劉桓吉（1991）台灣北部金山斷層之地質調查與探勘研究。行政院國家科學委員會防災科技研究報告 80-17 號，共 23 頁。

黃鑑水、張憲卿（1994）臺中縣大甲溪右岸之三義斷層露頭。地質，第 14 卷，第 1 期，248-250 頁。

黃鑑水、張憲卿、劉桓吉（1994）臺灣南部觸口斷層之地質調查與探勘。經濟部地質調查所彙刊，9 號，51-76 頁。

黃鑑水（2005）台北圖幅及說明書，五萬分之一台灣地質圖，第 4 號，第三版。經濟部中央地質調查所出版。

彭秋玟、石瑞銓、張徽正、林啟文、陳文山、石同生、盧詩丁（2004）梅山斷層與其淺部剪切帶構造特徵。經濟部中央地質調查所特刊，第 15 號，85-98 頁。

張瑞津、鄧國雄、劉明錡（1999）頭前溪階地之地形學研究。地理研究報告，第 31 期，61-81 頁。

張瑞津、沈淑敏、楊貴三（2002）地震地質調查及活動斷層資料庫建置：槽溝開挖與古地震研究計畫（1/5）－北部地區河階地形資料庫建置。經濟部中央地質調查所報告第 91-7 號，共 96 頁。

張憲卿（1994）大甲圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖第 17 號。經濟部中央地質調查所，共 63 頁。

張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁（1998）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。

張麗旭、周敏、陳培源（1947）民國 35 年 12 月 5 日台南之地震。臺灣省地質調查所彙刊，第一號，11-18 頁。

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

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

塗明寬、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、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出版，共 87 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－討論活斷層與地形面的關係。私立中國文化大學地學研究所博士論文，共 178 頁。

楊貴三、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。

楊蔭清（1953）四十一年來之花蓮地震。台灣文獻，創刊號，67-71 頁。

詹瑜璋、李建成、鄭鼎耀、劉進金、陳文山、胡植慶、陳柔妃、徐偉城（2005）大台北地區特殊地質災害調查與監測－高精度空載雷射掃描（LIDAR）地形測製與構造

地形分析（1/3）。經濟部中央地質調查所研究報告 94-04 號，共 143 頁。
董倫道（2005）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫—地球物理探勘計畫（4/5）。經濟部中央地質調查所研究報告 94-09 號，共 187 頁。
董德輝（1987）臺灣西南部梅山活動斷層的活週期及機制。台灣大學地質學研究所碩士論文，共 65 頁。
鄭世楠、張建興、吳健富、葉永田、辛在勤（1997）日據時期臺灣地區地震資料之整理（I）（II）。中央研究院地球科學研究所與中央氣象局，IESCR-9703，1-1352 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。台灣大學地質科學系碩士論文，共 90 頁。
劉桓吉 (1989) 新竹圖幅，圖幅第六號。經濟部中央地質調查所，共 53 頁。
潘國樑、王文能、胡國興、顏倉波（1983）台灣中部 1935 年地震斷層航照地質研究。工業技術研究院能源與礦業研究所，共 47 頁。
盧詩丁、張徽正（1999）簡介地震與活動斷層調查案例－梅山斷層的調查與回顧。地質，第 18 卷，第 2 期，29-51 頁。
盧詩丁、石同生、林啟文、黃文正、陳華玟、李元希、陳致信、張徽正 (2000) 台灣北部新竹地區活動斷層調查。中國地質學會年度論文集，308-310 頁。
盧詩丁、劉彥求、衣德成、鍾令和（2005）山腳斷層調查與研究。經濟部中央地質調查所九十三年度報告書，第 100 頁。
賴慈華、賴典章（2002）麥寮、西螺、台西、北港圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖編號之第 29(麥寮)、30(西螺)、36(臺西)、37(北港)號圖幅。經濟部中央地質調查所，共 59 頁。
蕭力元、黃旭燦、鄧屬予、林國安（1998）台灣新畿褶皺帶南段的構造特徵。台灣石油地質，32 期，133-153 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。
顏倉波（1985）一九三五年新竹、台中地震調查之回顧。一九三五年新竹—台中大地震五十周年紀念研討會論文集，第 11-17 頁。
羅偉、吳樂群、陳華玟（1999）國姓圖幅及說明書，五萬分之一台灣地質圖，第 25 號。經濟部中央地質調查所出版，共 71 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。
Bard, E., Hamelin, B., Arnold, M., Montaggioni, L.F., Cabioch, G., Faure, C., Rougerie, F. (1996) Deglacial sea-level record from Tahiti corals and the timing of global meltwater discharge. Nature, 382, 241-244.
Biq, C. C. (1965) The eastern Taiwan rift. Petrol. Geol. Taiwan, 4, 93-106.
Bonilla, M.G. (1975) A review of recently active faults in Taiwan, U.S. Geol. Surv. Open-File Report, 75-41, 58pp.
Bonilla, M.G. (1977) Summary of Quaternary faulting and elevation changes in Taiwan, Mem.

Geol. Soc. China, 2, 43-55.
Chappell, J., Polach, H. (1991) Postglacial sea-level rise from a coral record at Huon Peninsula, Papua New Guinea. Nature, 349, 147-149.
Chen, H.Y., Lee, J.C., Tung, H., Yu, S.B., Hsu, Y.J., Lee, H.K. (2013) A New Velocity Field from a Dense GPS Array in the Southernmost Longitudinal Valley, Southeastern Taiwan, Terr. Atmos. Ocean. Sci., 24, 5, 837-862.
Chen, 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, W.S., Huang, M.T., Liu, T.K. (1991) Neotectonic significance of the Chimei fault in the Coastal Range, Eastern Taiwan, Proc. Geol. Soc. China, 34(1), 43-56.
Chen, W.S., Chen, Y.G., Shih, R.C., Liu, T.K., Huang, N.W., Lin, C.C., Sung, S.H., Lee, K.J. (2003) Thrust-related river terrace development in relation to the 1999 Chi-Chi earthquake ruptures, Western Foothills, central Taiwan, J. Asian Ear. Sci., 21, 473-480.
Chen, Y.G., Liu, T.K. (1993) Holocene radiocarbon dates in Hengchun Peninsula and their neotectonic implications. Jour. Geol. Soc. China, 36, 4, 457-479.
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 Sinchu area, northwestern Taiwan, Quaternary International, 115-116. 189-199.
Chen, Y.G., Hung, J.H., Lai, K.Y., Lin, Y.N., Wilcox, T., Mueller, K. (2007) River Terrace Development in Response to Folding above Active Wedge Thrusts in Houli, central Taiwan. J. Asian Ear. Sci., doi: 10.1016/j.jseaes.2006.07.023
Chiu, H.T. (1970) Structure features of the area between Hsinchu and Taoyuan, northern Taiwan, Mem. Geol. Soc. China, 13, 63-75.
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.
Delcaillau, B. Deffontaines, B., Floissac, L., Angelier, J., Deramond, J., Souquet, P., Chu, H.T., Lee, J.F. (1998) Morphotectonic evidence from lateral propagation of an active frontal fold; Pakuashan anticline, foothills of Taiwan. Geomorphology, 24, 263-290.
Dominguez, S., Avouac, J.P., Michel, R. (2003) Horizontal coseismic deformation of the 1999 Chi-Chi earthquake measured from SPOT satellite images: Implications for the seismic cycle along the western foothills of central Taiwan. J, Geophy. Res., 108, B2, 2083, doi:10.1029/2001JB000951
Fairbanks, R.G. (1989) A 17,000-year glacio-eustatic sea-level record: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. Nature, 342, 639-642.
Hashimoto, W., Taira, K., Kurihara, K., Imai, T., Makino, Y. (1972) Studies on the younger Cenozoic deposits in Taiwan (Formosa): part II. The younger Cenozoic deposits in South and East Taiwan. Geol. and Paleont. of Southeastern Asia X, 265-303.

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

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

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.

Huang, S.Y. (2003) Prehistoric Earthquakes along the Shanchiao Fault, Taipei Basin, Northern Taiwan. A Thesis Presented to the Graduate Faculty of Central Washington University, 83pp.

Konishi, K., Omura, A., Kimura, T. (1968) ^{234}U-^{230}Th dating of some late Quaternary coralline limestones from southern Taiwan (Formosa). Geol. and Paleont. Southeastern Asia, 5, p.211-224.

Kuochen, H., Wu, Y.M., Chang, C.H., Hu, J.C., Chen, W.S. (2004) Relocation of the eastern Taiwan earthquakes and its tectonic implications, Terr. Atmos. Oceanic Sci., 15, 647-666.

Kuochen, H., Wu, F.T., Roecker, S.W. (2012)Three-dimensional P velocity structures of the lithosphere beneath Taiwan from the analysis of TAIGER and related seismic data sets, J. Geophy. Res., 117, B06306, doi:10.1029/2011JB009108

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.

Lundberg, N., Reed, D. L., Lieskes Jr., J. H. (1992) Structural controls on orogenic sedimentation, submarine Taiwan collision, EOS Transactions, American Geophysical Union, 73, 539.

Ma, T.Y.H. (1967) The two fundamental laws of earth evolution derived from the formation of peneplains and deposition of sediments on sea and ocean bottom. Oceanographia Sinica, 9, 1-26.

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

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

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

Shih, R.C., Lin, C.W., Liu, H.C., Lu, S.T. (2006) Northward extension of the Shanchiao fault in northern Taiwan from the shallow seismic reflection images. West Pacific Earth Sciences, 6, 150-168.

Simoes, M., Avouac, J.P., Chen, Y.G., Singhvi, A.K. Wang, C.Y., Jaiswal, M., Chan, Y.C., Bernard, S. (2007) Kinematic analysis of the Pakuashan fault tip fold, west central

Taiwan: Shortening rate and age of folding inception. J. Geophy. Res., 112, B03S14, doi:10.1029/2005JB004198

Suppe, J., Namson, J. (1979) Fault-bend origin of frontal folds of the western Taiwan fold-and-thrust belt. Petrol. Geo. 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. (1968) Photogeological observations on the low hilly terrain and coastal plain area of Hsinchu, Taiwan, Petrol. Geol. Taiwan, 6, 71-79.

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

Teng, L.S. (1996) Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt. Geology, 24, 950-952.

Torii, K., Yoshida, K. (1931) Report of the geological survey of the Miaoli and Chutung oil fields, Bureau of Productive Industries, Government-General of Taiwan, Publ. 585.

Tsan, S.F., Keng, W.P. (1968) The Neogene rocks and major structural features of southwestern Taiwan. Proc. Geol. Soc. China, 11, 45-49.

Wang, C.Y., Chen, G.P., Jong, D.T. (1994) The detection of active faults on Taiwan using shallow reflection seismics, TAO, 5, 2, 277-293.

Yamaguchi, M., Ota Y. (2004) Tectonic interpretations of Holocene marine terraces, east coast of Coastal Range, Taiwan. Quaternary International, 115-116, 71-81.

Yang, K.M., Wu, J.C., Ting, H.H., Wang, J.B., Chi, W.R. (1994) Sequential deformational 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., Chi, W.R. (1997) Geological model for complex structures and its implications for hydrocarbon exploration in northwestern Taiwan, Petrol. Geol. Taiwan, 31, 1-42.

Yu, H.S., Lu, J.C. (1995) Development of the shale diaper-controlled Fangliao Canyon on the continental slope off southwestern Taiwan. Jour. Southeast Asian Ear. Sci., 11, 4, 265-276.

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

Yue, L.F., Suppe, J., Hung, J.H. (2005) Structural geology of a classic thrust belt earthquake: the 1999 Chi-Chi earthquake Taiwan (M_w = 7.6). J. Struct. Geol., 27, 2058-2083.