經濟部

經濟部中央地質調查所報告第97-11號
委辦計畫編號（97-5226902000-03-03）

地震地質與地變動潛勢分析

斷層帶地下構造調查研究（2/4）

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行機關：國立中正大學
中 華 民 國 9 7 年 1 2 月

地震地質與地變動潛勢分析

斷層帶地下構造調查研究（2/4）

97年度期末報告

計畫主持人：石瑞銓
協同主持人：王維豪
研　究　員：李元希

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行機關：國立中正大學
中 華 民 國 97 年 12 月

摘要

活動斷層地下構造之調查與研究為研究地震地質與分析地變動潛勢的一項重要研究工作。本研究將利用地質調查與鑽探、震測資料、及已有地質及構造分析資料來進行活動斷層之地下構造調查與研究。研究成果除了可以作為地震地質與地變動潛勢研究之基礎外，並可提供其他相關研究計畫作為重要參考，並為國土規劃及地震防災減災之規劃與教育使用。本計畫所研究之斷層包括位於台灣西南部之木屐寮斷層、六甲斷層與小崗山斷層。本研究認為木屐寮斷層較可能與關子嶺背斜前之向斜軸附近所發育之向斜軸變形有關，木屐寮斷層似乎較應以木屐寮線形稱之。六甲斷層則較可能為牛山背斜前緣發育之盲斷層。木屐寮-六甲地形崖雖是西南部麓山帶前緣明顯的地表特徵，但成因並不相同，兩者之前也可能存在另一橫切構造。由於這一地區的地震活動仍相當活躍，而且地下構造也很複雜，進一步的研究仍須繼續進行，以達地震防災的功效。小崗山斷層較可能為因泥貫入後受到擠壓而形成的盲斷層。由於缺乏長期地形變化監測，而這區域的地震活動也不顯著，小崗山構造現今的活動性並不清楚，小崗山盲斷層仍需要進一步研究來瞭解其構造及演化。

關鍵詞：地下構造、活動斷層、地質調查、淺層震測、運動學分析

ABSTRACT

A clear image of the subsurface structure of an active fault and its long-term behavior are very important for studying the seismic potential of an active fault and its corresponding hazard. In this study, we investigate the near surface structures and the long-term behaviors of the active faults by integrating the data from geomorphic and geologic surveys, core borings, seismic reflection surveys, and kinematic analysis. Based on our studies, we conclude the Muchiliao fault should be a deformation developed near the axis of the syncline in front of the Guanziling anticline, the Muchiliao fault may not exist and the fault should be better named lineation; the Liuchia fault should be a blind fault beneath the Niushan anticline. Although surface topography shows significant patterns of lineation at west of the Muchiliao lineation and Liuchia fault, the two structures were formed by different mechanisms, and there might have another transect structure existed in between. Since the structure is complicated and an active seismicity were observed in this area, we suggest to conduct more studies in the Muchiliao lineation and the Liuchia fault areas for seismic hazard mitigation purpose. Our study also proposes that the Hsiaokangshan fault could be a blind fault that was formed by a mud intrusion and followed by lateral compression during orogeny. Activity of the Hsiaokangshan fault is still unknown, to verify the structure and its evolution, further studies in this area are needed as well.

KEYWORDS: active fault, subsurface structure, geological survey, shallow seismic survey, kinematic analysis

目錄

摘要……ii
ABSTRACT……iii
目錄……iv
圖目錄……vi
表目錄……xii
壹、前言……1
貳、斷層帶地下構造調查研究……3
一、木屐寮斷層……3
（一）深部地下構造分析……6
（二）淺層震波測勘……8
（三）地表及井下地質調查……25
（四）斷層運動學分析……35
（五）節要……44
二、六甲斷層……46
（一）深部地下構造分析……49
（二）淺層震波測勘……57
（三）地表及井下地質調查……63
（四）斷層運動學分析……75
（五）節要……80
三、小崗山斷層……82
（一）深部地下構造分析……85
（二）淺層震波測勘……89
（三）地表及井下地質調查……109
（四）斷層運動學分析……114
（五）節要……119
參、討論與結論……121
參考文獻……129
附錄1、六重溪1號井井錄……132
附錄2、六重溪2號井井錄……136

附錄3、池口1號井井錄.....138
附錄4、池口2號井井錄.....142
附錄5、山腳下1號井井錄.....144
附錄6、中英文網頁首頁.....148
附錄7、教育推廣海報縮頁.....149
期中審查意見處理情形.....150
期末審查意見處理情形.....152

圖目錄

圖1.1 木屐寮斷層與六甲斷層附近地形圖。……4

圖1.2 木屐寮斷層條帶地質圖。……5

圖1.3 木屐寮斷層一帶所使用之深部地下構造測線、淺層震測線與相關鑽井位圖。.....6

圖1.4 測線MAA’之影像（中油公司）(a)及解釋剖面(b)。……7

圖1.5 淺層震測測線08P-MCLF-BH-2與08P-MCLF-BH-1之相對位置圖。. ……..8

圖1.6 測線08P-MCLF-BH-1於1/25,000地形圖中配置位置。……...……10

圖1.7 測線08P-MCLF-BH-1往西北(a)及往東南望(b)之地表現況。……..……..…11

圖1.8 a.測線08P-MCLF-BH-1之3個代表性測點紀錄。b.濾波後之記錄。……..…..13

圖1.9 本研究淺層震測資料處理之基本流程圖。……14

圖1.0a 測線08P-MCLF-BH-1之24重合同中點重合剖面。……15

圖1.0b 測線08P-MCLF-BH-1之之解釋剖面。.....16

圖1.11 測線08P-MCLF-BH-1重合剖面所使用的重合速度分佈。……..……..…17

圖1.12 測線08P-MCLF-BH-2於1/25,000地形圖中配置位置。……..……19

圖1.13 測線08P-MCLF-BH-2往西北方(a)及往東南方(b)之地表現況。……..…19

圖1.14 a.測線08P-MCLF-BH-2之3個測點紀錄。b.濾波後之紀錄。……..……21

圖1.15a 測線08P-MCLF-BH-2之同中點重合剖面。……...…..……...22

圖1.15b 測線08P-MCLF-BH-2剖面之解釋。……...…..……...23

圖1.16 測線08P-MCLF-BH-2之重合速度分佈。……..…….……24

圖1.17 木屐寮斷層於南194鄉道之舊測線資料。……...24

圖1.18 中油十萬分之一地質圖與震測剖面位置。……..……...29

圖1.19 a.地形圖與六重溪1號與二號井鑽探位置。b.鑽探附近的地形剖面圖。...…30

圖1.20 六重溪1號井30-31.5公尺礫石層。……..……31

圖1.21 六重溪1號井31.5公尺與層面平行之斷層面。……..31

圖1.22 六重溪1號井56-60公尺的砂岩層中常有交錯層構造。……31

圖1.23 六重溪1號井137.1公尺與層面斜交高傾角的斷層面。……..……..……32

圖1.24 六重溪1號井142.1-142.2公尺與層面平行的斷層面。……..……32

圖1.25 六重溪1號井153.9公尺與層面平行的斷層面，斷層擦痕極為清楚。……33

圖1.26 六重溪1號井173-173.1公尺高傾角斷層。……..……..33

圖1.27 六重溪1號井與二號井井錄比較圖。……..……34

圖 1.28 台灣南部 GPS 速度場(饒瑞鈞等,2008)。……...……..…38

圖1.29 木屐寮至關子嶺地區地下構造。分別根據（A）Suppe （1980），（B）黃旭燦等（2004），（C）Hung et al. (1999)，（D）Chang et al.（1996）。……..……39

圖1.30 木屐寮至關子嶺地區地下構造重力分析之剖面位置圖。Suppe，1980（綠色線），黃旭燦等，2004（黃色線），Hung et al，1999（藍色線），以及Chang et al.，1996（紅色線），各重力分析剖面所選用的位置大致相同。……..……..…40

圖1.31 木屐寮至關子嶺地區的觀測布蓋重力異常與根據Suppe（1980）的構造模型所計算出的重力異常。……..……41

圖1.32 木屐寮至關子嶺地區的觀測布蓋重力異常與根據黃旭燦等（2004）的構造模型所計算出的重力異常。……41

圖1.33 木屐寮至關子嶺地區的觀測布蓋重力異常與根據Hung et al.（1999）的構造模型所計算出的重力異常。……42

圖1.34 木屐寮至關子嶺地區的觀測布蓋重力異常與根據Chang et al.（2004）的構造模型所計算出的重力異常。……42

圖1.35 木屐寮－關子嶺構造演化模擬：第一階段。……43

圖1.36 木屐寮－關子嶺構造演化模擬：第二階段。……43

圖1.37 跨越疑似木屐寮斷層兩側之構造剖面。……..45

圖2.1 六甲斷層條帶地質圖。……..48

圖2.2 測線08P-LCAF-LY-1於1/25,000地形圖中配置位置。……..…….....……50

圖2.3 測線LAA’之1比1影像(a)及解釋剖面(b)。……..……...……51

圖2.4 測線BB’之1比1影像(a)及解釋剖面(b)。……..……..……52

圖2.5 測線CC’之1比1影像(a)及解釋剖面(b)。…….…….…53

圖2.6 測線DD’之1比1影像(a)及解釋剖面(b)。…….……...…54

圖2.7 測線EE’之1比1影像(a)及解釋剖面(b)。…….……...55

圖2.8 測線FF’之1比1解釋剖面。……..……..……55

圖2.9 測線GG’之1比1影像(a)及解釋剖面(b)。…….……..56

圖2.10 沿測線08P-LCAF-LY-1往西(a)及往東望(b)之地表現況。……58

圖2.11 a.測線08P-LCAF-LY-1沿線之3個代表性測點紀錄圖。b.測點記錄經過濾。…60

圖2.12a 測線08P-LCAF-LY-1之同中點重合剖面。…….……..……61

圖2.12b 測線08P-LCAF-LY-剖面之解釋。……..……62

圖2.13 剖面08P-LCAF-LY-1之重合速度分佈。……...……63

圖2.14 圖A為六甲斷層地質圖與鑽探位置。圖B為震測剖面A。圖C為震測剖面B。……67

圖2.15 於薊桐崎地區依據鑽探資料所建立構造形態。……..…….……..68

圖2.16 圖A為池口1號井與2號井之井位與地形圖，圖B為六甲斷層地形崖面與鑽探位置。……..……69

圖2.17 圖Ａ為池口1號井之6.7公尺處的小斷層。圖B為池口1號井34公尺附近的斷層構造。……70

圖2.18 池口1號井淺部4-8公尺處礫石層。……70

圖2.19 池口1號井深部52-56公尺處礫石層。……71

圖2.20 池口1號井64-72公尺處的古土壤，呈現黃色斑駁狀。……71

圖2.21 池口1號井深部(84-88公尺)低角度傾斜地層。……71

圖2.22 池口2號井8-12公尺淺部礫石層。……72

圖2.23 池口2號井44-48公尺處礫石層。……72

圖2.24 池口2號井56-60公尺處礫石層。……72

圖2.25 池口1號井與2號井的地層對比與地下構造形態。……73

圖2.26 六甲斷層下盤鑽探井與抬升速率資料。……74

圖2.27 縣174北門至楠西測線水準高程變化與GPS垂直速度場比較圖。……75

圖2.28 六甲至南寮地區地下構造。……77

圖2.29 六甲－南寮構造演化模擬：第一階段。……78

圖2.30 六甲－南寮構造演化模擬：第二階段。……78

圖2.31 六甲－南寮構造演化模擬：第三階段。……79

圖2.32 六甲－南寮構造演化模擬：第四階段。……79

圖2.33 跨越六甲盲斷層兩側之構造剖面。……81

圖3.1 小崗山斷層周遭區域地質圖。……83

圖3.2 小岡山斷層一帶數值地形圖。……84

圖3.3 圖A與B分別為圖3.2中剖面C與D的地形剖面。……85

圖3.4 小崗山斷層一帶本計畫所使用之區域性地下構造剖面及相關井位圖。……86

圖3.5 測線AA’之影像(a)及解釋剖面(b)。……...……87

圖3.6 測線BB’的影像(a)及解釋剖面(b)。……...……88

圖3.7 測線08P-HKSF-AL-1與08P-HKSF-AL-2、08P-HKSF-AL-3之相對配置位置。…89

圖3.8 測線08P-HKSF-AL-1於1/25,000地形圖中配置位置。……..……91

圖3.9 沿測線08P-HKSF-AL-1往西北向(a)及往東南向望(b)之地表現況。……...…91

圖3.10 a.測線08P-HKSF-AL-1之3個測點紀錄。b.濾波後之紀錄。……93

圖3.11a 測線08P-HKSF-AL-1之同中點重合剖面圖。……..94

圖3.11b 剖面08P-HKSF-AL-1之解釋。……...95

圖3.12 剖面08P-HKSF-AL-1之重合速度分佈。……....……96

圖3.13 剖面08P-HKSF-AL-1東側之測點記錄與台19甲線以西之測點記錄。…….……96

圖3.14 測線08P-HKSF-AL-2於1/25,000地形圖中之配置位置。……..…..……98

圖3.15 測線08P-HKSF-AL-2往西(a)及往東望(b)之地表現況。……..…...……98

圖3.16 a.測線08P-HKSF-AL-2沿線之3個代表性測點紀錄。b.過濾後的測點紀錄。...100

圖3.17a 測線08P-HKSF-AL-2的同中點重合剖面圖。…….....……101

圖3.17b 測線08P-HKSF-AL-2之剖面解釋。……...102

圖3.18 測線08P-HKSF-AL-2之重合速度分佈。……..…….……..103

圖3.19 測線08P-HKSF-AL-3於1/25,000地形圖中之配置位置。…….……..104

圖3.20 測線08P-HKSF-AL-3往西(a)及往東望(b)之地表現況。……104

圖3.21 a.測線08P-HKSF-AL-3沿線之3個代表性測點紀錄。b.過濾後的測點紀錄。...106

圖3.22a 測線08P-HKSF-AL-3的同中點重合剖面圖。……...…….…..…107

圖3.22b 測線08P-HKSF-AL-3之剖面解釋。……...……108

圖3.23 測線08P-HKSF-AL-3之重合速度分佈。……..……..……109

圖3.24 山腳下1號井鑽探位置圖。……110

圖3.25 圖Ａ為山腳下1號井16.8公尺處近水平地層。Ｂ為37.3公尺處斷層。C為37.4公尺處的共軛高角度逆斷層。圖D為36公尺處的逆斷層。…….....111

圖3.26 圖A為山腳下1號井137公尺處高角度正斷層。B為163公尺處高角度正斷層。C為共軛低角度逆斷層。D為184.2公尺的共軛逆斷層。…….....112

圖3.27 圖A與B為山腳下1號井189公尺處高角度正斷層。C為197 公尺高角度斷層。D圖中可見層裡近垂直，並呈現類似流動構造。……..…….....113

圖3.28 小崗山斷層一帶重力異常圖。……..…115

圖3.29 台灣西南部外海的海底地形與構造形態。…….……116

圖3.30 台灣西南部外海之現今泥貫入體分布位置圖。……117

圖3.31 泥貫入體與珊瑚礁發育示意圖。…….……118

圖3.32 跨越小崗山盲斷層兩側之構造剖面。……120

圖4.1 六重溪1號與2號井與白河3、4與5號井（陳文山等，2008）於剖面08P-MCLF-BH-1上之相對位置與深度。圖a為圖b中紅色匡線部分之放大圖。……125

圖4.2 木屐寮線形與六甲斷層一帶的震央與震源分佈圖。a、木屐寮線形與六甲斷層一帶的震央分佈。b、木屐寮線形與六甲斷層一帶的震源分布。……126

圖4.3 山腳下1號井與小崗山1、2與3號井（陳文山等，2008）於震測剖面08P-HKSF-AL-1上之相對位置與深度。圖a為圖b中紅色匡線部分之放大圖……127

圖4.4 陳文山等（2008）之小崗山構造解釋與震測剖面08P-HKSF-AL-1。……128

圖4.5 大、小崗山一帶之地震震央分佈圖。……128

表目錄

表1.1、測線08P-MCLF-BH-1之震測施測參數表。……12

表1.2、測線08P-MCLF-BH-2之震測施測參數表。……20

表1.3、六重溪1號井之岩芯岩性。……26

表1.4、六重溪2號井之岩芯岩性。……27

表1.5、本研究所採用之地層密度。……37

表1.6、木屐寮至關子嶺構造運動學模擬所使用參數。……37

表2.1、測線08P-LCAF-LY-1之震測施測參數表。……59

表2.2、池口1號井之岩芯岩性。……64

表2.3、池口2號井之岩芯岩性。……65

表2.4、六甲至南寮構造運動學模擬所使用參數。……76

表3.1、測線08P-HKSF-AL-1之震測施測參數表。……92

表3.2、測線08P-HKSF-AL-2之震測施測參數表。……99

表3.3、測線08P-HKSF-AL-3之震測施測參數表。……105

表3.4、山腳下1號井之岩芯岩性。……110

壹、前言

斷層活動對於鄰近斷層附近的地表建物影響很大，隨著經濟發展而人口日增，為了確保人民生命財產安全，活動斷層調查日趨重要。由車籠埔斷層活動的案例來看，人命的傷亡和建物的損毀並非只有發生在斷層線上，整個斷層帶皆是可能發生災害的範圍。經濟部中央地質調查所自民國86年起即進行活動斷層之相關研究，至今對於活動斷層的研究已累積許多資料與經驗，亦出版了五十萬分之一活動斷層分布圖說明書第一版（張徽正等，1998）、第二版（林啟文等，2000a）、台灣北部的活動斷層（林啟文等，2007）與台灣西南部的活動斷層（林啟文等，2007）之二萬五千分之一活動斷層調帶說明書、與相關的研究成果，對於各活動斷層已有基礎的瞭解與認識。斷層位置雖然可以對地震防災提供重要的資訊，但於地震減災以及國土規劃利用上，仍需相關之地震地質研究與地變動潛勢分析來配合，斷層帶地下構造調查研究即為非常重要的一項研究主題。為此，經濟部中央地質調查所提出了四年期程（96-99年）的「地震地質與地變動潛勢分析-斷層帶地下構造調查研究」計畫，希望能朝地震防災減災與國土規劃利用方向上再往前邁進一步。

在這4年期程(96年-99年)的研究中，將針對以下四組活動斷層的斷層帶地下構造進行調查研究，每年調查一組斷層，測繪斷層帶的地下構造幾何型態，以及瞭解斷層的活動特性。各組（年期）目標斷層的規劃如下：

第 1 組：大甲斷層、清水斷層(或彰化斷層)；

第 2 組：木屐寮斷層、六甲斷層、小崗山斷層；

第 3 組：湖口斷層、新竹斷層；

第 4 組：旗山斷層、鳳山斷層。

分年分組預定完成的主要內容為：

1、 各標的斷層斷層帶的範圍、斷層帶內各分支斷層的位置與性質；

2、 各標的斷層帶地表沉積物的厚度，以及各地層的厚度與界面；

3、 繪製跨斷層上下盤的地質剖面或構造剖面；以及

4、 建立斷層幾何模型與進行運動學分析。

本計畫為全程計畫之第二年計畫，目標斷層為木屐寮斷層、六甲斷層與小崗山斷層。除了從既有的相關研究成果著手外，並將以區域性的地下構造資料為基礎，進行斷

層帶野外地質調查，及利用淺層震測來瞭解斷層帶於近地表處的構造形貌，並以地質鑽探來瞭解斷層帶地表沈積物的厚度與連結地質與地球物理的相關資料。之後，整合以上述資料，進行繪製跨越斷層的地質或構造剖面，並建立斷層幾何模型以進行運動學分析。

本研究屬於基礎科學研究，研究成果除了可以提供斷層的通過位置、斷層的延展、斷層帶的地下構造與特性外，並將提供斷層的地下構造模型與進行運動學分析。這些地震地質研究資料，可以作為地變動潛勢評估的重要依據，以及其他相關研究計畫之重要參考，並為地震防災減災與國土規劃利用所使用。此外，並可提供研究人員以及學生寶貴的研究訓練機會，並與合作單位進行研究互訪與交流，配合國際學術合作促進國際交流。

本計畫依合約完成的工作項目及具體成果如下：

1. 木屐寮斷層、六甲斷層與小崗山斷層既有相關資料的研究評估。
2. 木屐寮斷層、六甲斷層與小崗山斷層帶的範圍、斷層帶內各分支斷層的位置與性質，及其解析精度。
3. 記錄與分析地質調查所於木屐寮斷層、六甲斷層與小崗山斷層所進行的地質鑽探岩芯樣本，包含地表至地下 200 公尺以上岩層的岩性柱狀圖（合約要求 150 公尺)。
4. 每一條斷層至少有一條長的震測線以跨越斷層上下盤，所有測線總長 7,170 公尺(合約要求 7,000 公尺)。
5. 木屐寮斷層、六甲斷層與小崗山斷層帶地表沉積物厚度，及各地層的厚度與界面。
6. 繪製跨木屐寮斷層、六甲斷層與小崗山斷層含主斷層兩側 2 公里內的構造剖面。
7. 建立木屐寮斷層、六甲斷層與小崗山斷層的斷層幾何模型與運動學分析。
8. 成果報告三十份，成果光碟十份，並製作中英文網頁及教育推廣海報。

貳、斷層帶地下構造調查研究

一、 木屐寮斷層：

木屐寮斷層位於嘉南平原與丘陵的交接帶，為一逆移斷層。該斷層呈北北東走向，由台南縣白河頭崎內向南延伸至六重溪北岸，長約7公里，地形特徵極為明顯（Sun, 1970, 1971；石再添等，1986；張徽正等，1998；林啟文等，2000a、2000b；陳文山等，2004）（見圖1.1）。

木屐寮斷層最早由Sun（1970, 1971）於航照判釋中發現白河東方有一呈北北東走向，長約7公里的線形，且具有斷層小崖與三角切面等地形特徵，認為可能為木屐寮斷層有關。石再添等（1986）在白水溪河床斷層跡可能經過處的左岸河階，由白水溪的河流流向與小崖呈正交的現象，而研判該處有斷層。沈淑敏等（2006）亦由航照判釋亦發現木屐寮斷層跡具有數個三角切面與梯形階面，且白水溪的低位河階均呈撓曲崖特徵。然而，木屐寮線形在中油震測剖面中並未出現明顯斷層訊號（黃旭燦等，2004）。由中央地質調查所調查結果顯示（林啟文等，2007），木屐寮斷層於地表上的線形崖約呈南北走向，崖線兩側高差數公尺，且有數條東西向河流及道路與其正交。林啟文等（2000b）的地質調查結果顯示，木屐寮附近沖積扇緣的地形面雖均向西傾斜，且高度呈階梯式下降，然在這些具高差的位置並未觀察到斷層露頭。此外，由位於協進橋東側，出露疏鬆細粒砂岩為主的岩層，與協進橋西側出露礫石層之間，並未觀察到兩者間的接觸關係。因而研判野外雖有崖狀特徵，且更新世晚期的六雙層也有傾動現象，亦即斷層可能存在於地表下，但未出露地表。

木屐寮斷層常被視為西南部麓山帶，褶皺-逆衝斷層變形帶的前緣斷層，斷層沿線一帶出露的地層包括崁下寮層、二重溪層、六雙層、階地堆積層與沖積層（見圖1.2）。崁下寮層主要由暗灰色泥岩所組成；二重溪層以灰色砂質泥岩與泥質砂岩為主；六雙層下段為棕黃色砂岩和厚層泥岩，上段以棕黃色砂岩為主；階地堆積層與沖積層，均以礫石、砂與泥為主（林啟文等，2000b）。

陳文山等（2004）與楊志成等（2005）透過平原區大量的鑽井資料研究顯示，全新世以來平原區東側已呈現抬升，而推測有一滑脫面構造已向西延伸於平原區之下。目前尚未有任何針對木屐寮斷層研究的長期滑移速率資料，而饒瑞鈞等（2006）分析1999至2006年的衛星定位資料顯示，跨過木屐寮及六甲斷層的之相對運動量並不大，顯示木

屘寮斷層於 1999-2006 年間為鎖住狀態。由於全新世岩層受到傾動，且GPS監測的資料並顯示有明顯位移，木屘寮斷層目前被暫列為第二類活動斷層（林啟文等，2007）。

木屘寮線形構造發育在關子嶺背斜西翼，過去對關子嶺構造的解釋可分為背斜疊置構造（Suppe, 1980；黃旭燦等，2004）、三角帶構造（Hung et al., 1999）以及正斷層再活動（Chang et al., 1996）等三類。雖然這三種解釋基本上都能符合地表地質的觀測，但在運動學上卻存在相當大的差異，如Chang et al.（1996）的模型，其水平縮短量僅4公里，而Suppe(1980)的構造模型的水平縮短量卻高達26公里；另黃旭燦等人(2004)假設在關子嶺背斜處的基底滑脫面深度約為7-9公里，但Suppe(1980)卻認為僅在地下約4公里附近。本研究除了進一步收集深部地下構造資料外，並利用淺層反射震測、地表與地下地質資料分析、以及利用重力觀測資料，來研判較合理的解釋。

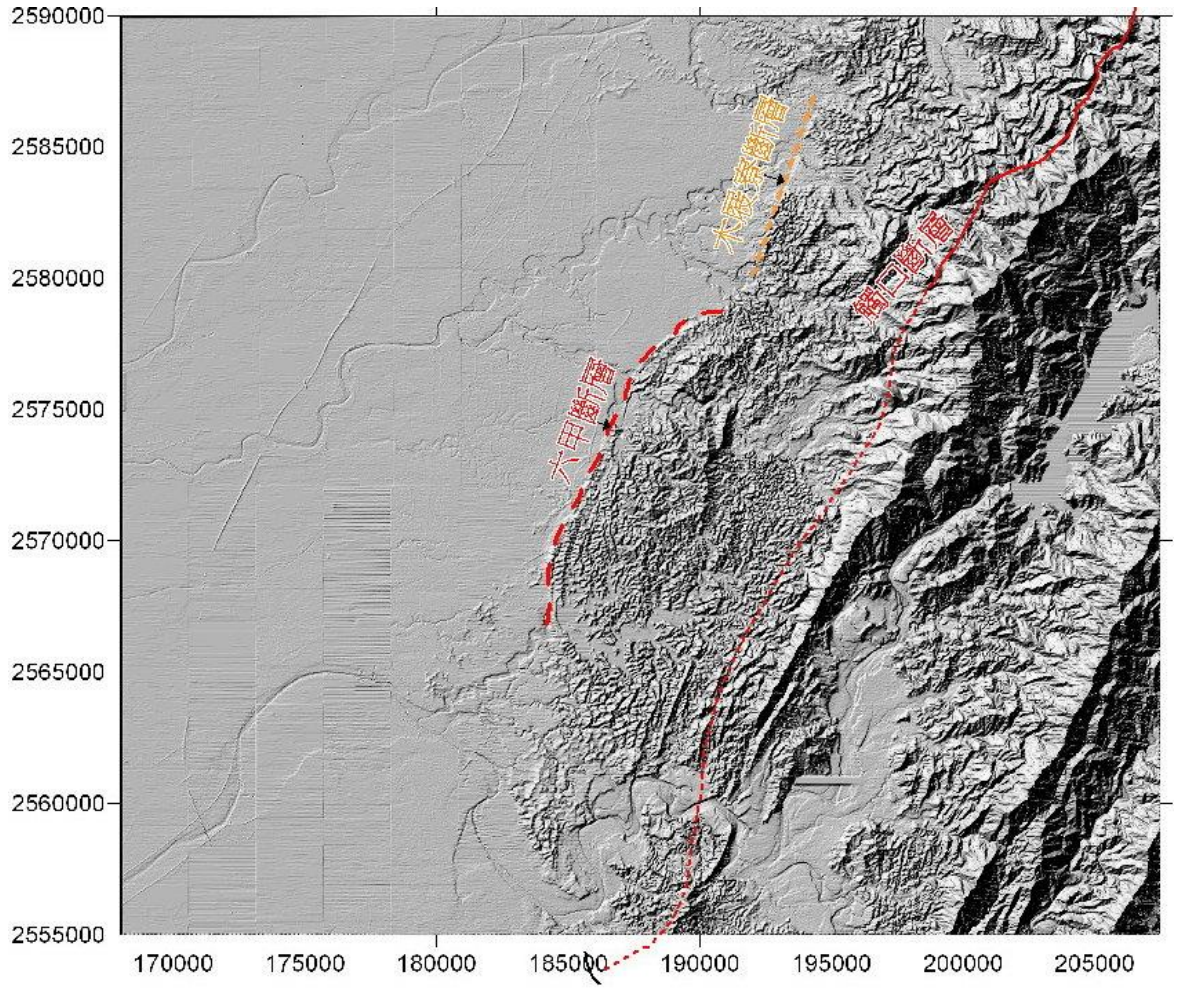


圖1.1、木屘寮斷層與六甲斷層附近地形圖



圖1.2、木屐寮斷層條帶地質圖。(林啟文等，2007)。

（一）深部地下構造分析

圖 1.3 為木屐寮斷層與六甲斷層一帶，本計畫所使用之深部地下構造剖面分佈、本計畫執行之淺層震測線配置、以及相關地質鑽井井位。位於木屐寮斷層南部之剖面深部地下構造 MAA’，其 1：1 之同中點重合剖面及解釋剖面見於圖 1.4，該剖面中可以見到木屐寮線形在東山地區呈現的圓弧形褶皺構造。該構造為關子嶺背斜的西翼，翼寬約十餘公里，傾角約在 5-40 度之間，該剖面已接近木屐寮線形的最南端，剖面中並無明顯斷層錯動跡象。

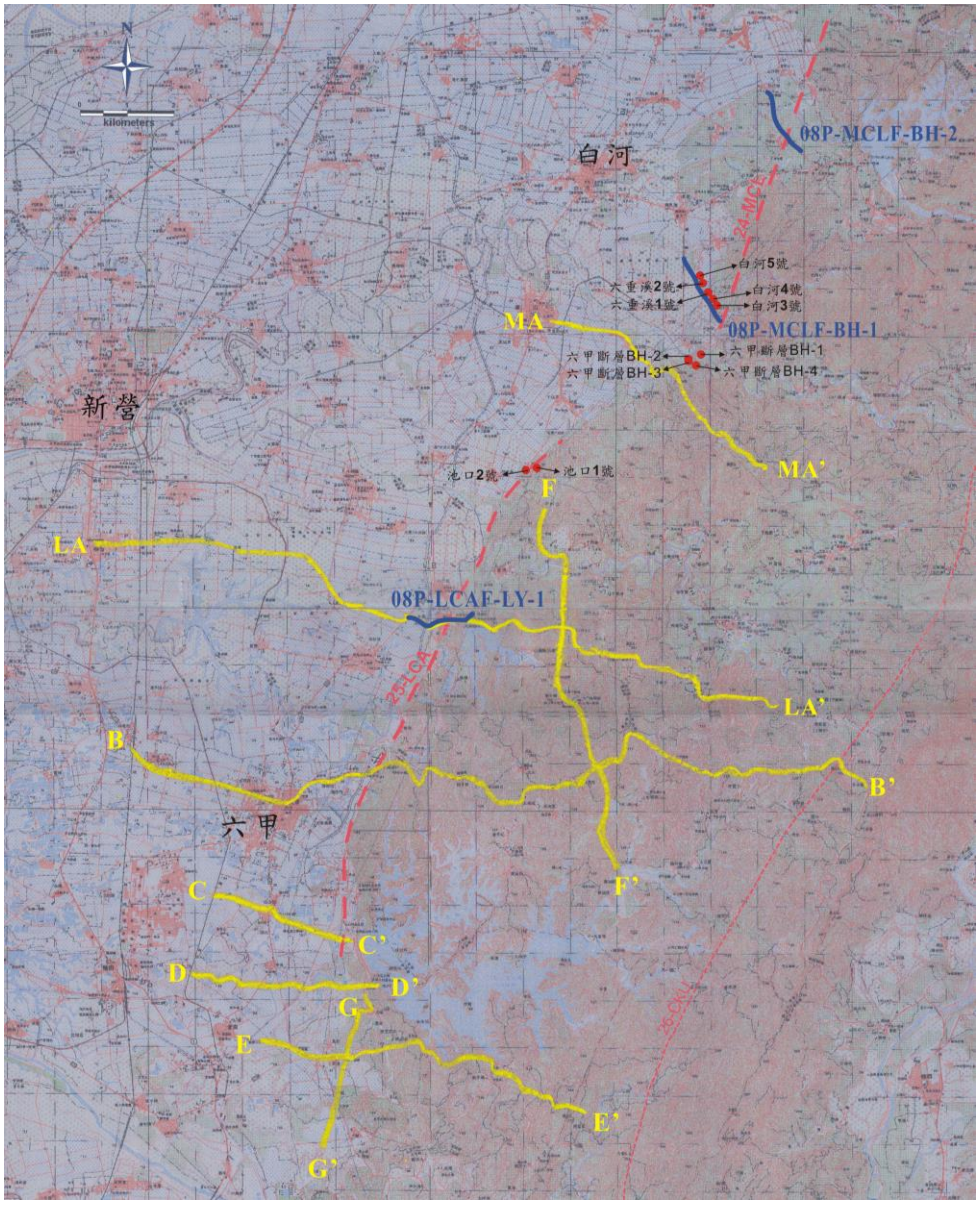
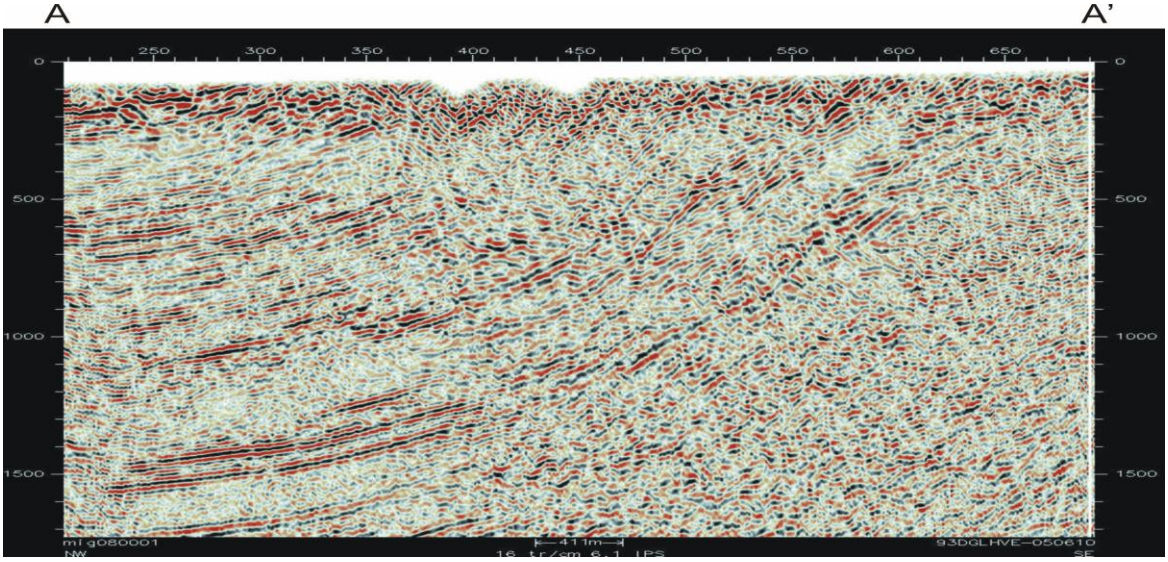


圖1.3、本計畫於木屐寮斷層與六甲斷層（紅色線）一帶使用之深部地下構造測線分佈（黃色線），以及本計畫執行之淺層震測線配置（藍色線），與相關鑽井位置圖（紅色圓點）。



a



b

圖1.4、測線MAA'之震測影像（中油公司）(a)及解釋剖面(b)。剖面中木屐寮線形在東山地區呈現圓弧形的褶皺構造，此構造為關子嶺背斜的西翼，翼寬約十餘公里，傾角約在5-40度之間。

（二）淺層震波測勘

本計畫於木屐寮斷層沿線所實施的淺層震測共有二條，分別位於南 97 鄉道，全長 1,490 公尺，以及南 93 鄉道，測線全長 1,400 公尺。這兩條測線之配置位置分別見於圖 1.3 以及圖 1.5 中。

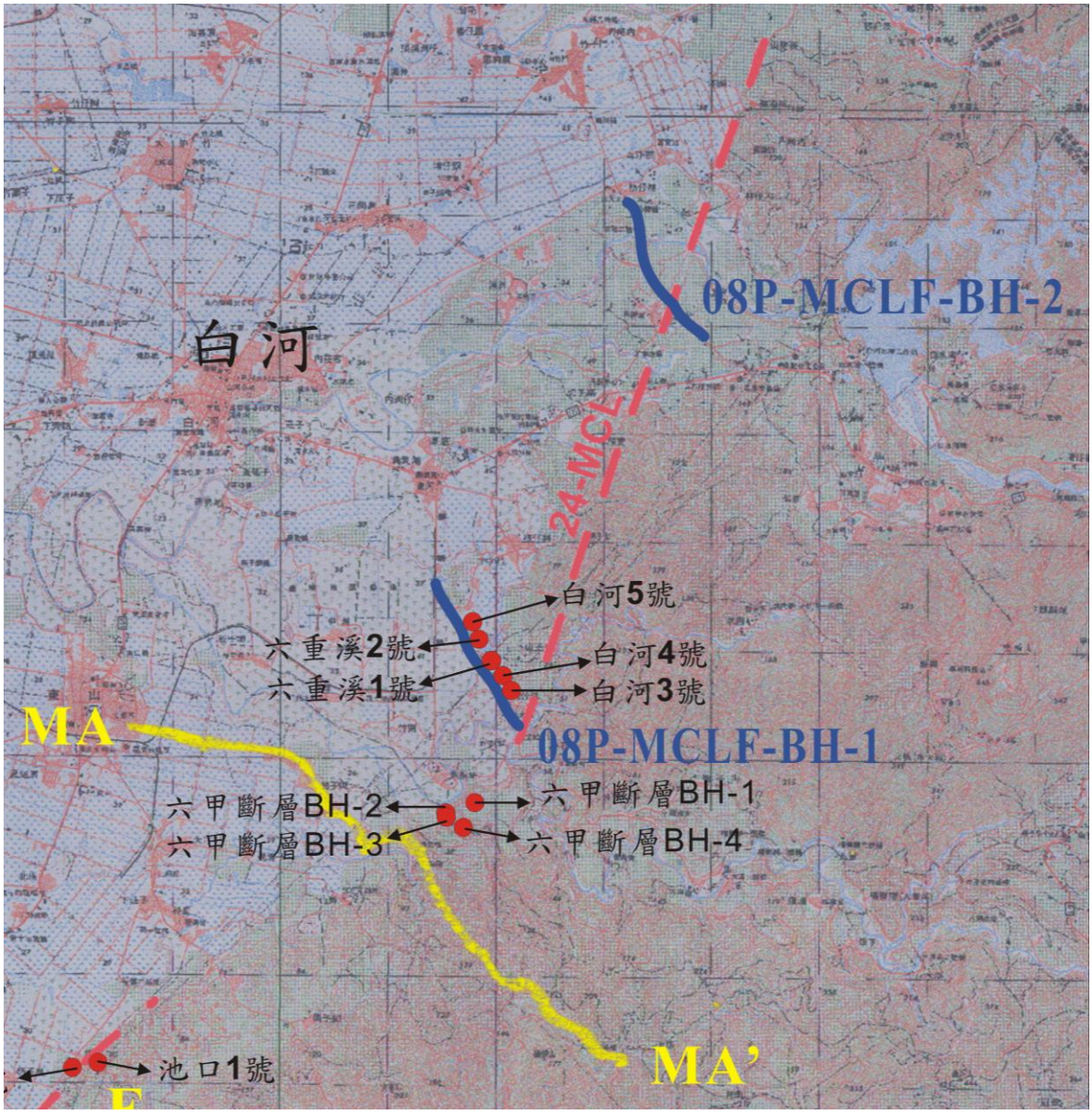


圖1.5、木屐寮斷層淺層震測測線08P-MCLF-BH-2與08P-MCLF-BH-1之相對位置圖。紅色虛線為木屐寮斷層可能通過位置。

1、木屐寮斷層白河測線一（測線編號：08P-MCLF-BH-1）

測線08P-MCLF-BH-1位於白河鎮六重溪北方，沿鄉道南97施測，測線全長1,490公尺。圖1.6為測線08P-MCLF-BH-1於1/25,000地形圖中的配置位置，呈西北-東南走向擺設。該測線東南端東側的嘉宏橋旁出露傾角45°的六雙層，其上由一水平的全新世海相砂層交角不整合覆蓋。本測線由西北往東南大致呈直線前進，但在測線東南側末端則沿道路以蜿蜒的方式進行。測線的中間地帶有地形隆起約20公尺，被認為是斷層的前緣，也計畫在此地形面上進行地質鑽探工作。本測線的配置另一方面也配合鑽井作業進行，並提前實施。圖1.7a及圖1.7b為測線08P-MCLF-BH-1往西北及往東南向望之地表現況。

測線08P-MCLF-BH-1於施測時採用撞擊式震源（JMS-MINI65）由西北往東南方向推進，且另由測線東南端向西北以推進方式進行炸測，沿測線之96個受波器組之間距分別為5公尺，而每組受波器皆使用3個40Hz受波器並聯排列，每個受波器之間距為1公尺。本測線之最小近支距為5公尺，而炸點間距為10公尺，各炸點平均撞擊約40次，重合剖面之平均重合數為24重合。表1.1所列為測線08P-MCLF-BH-1所使用之震測參數。

圖1.8a為測線08P-MCLF-BH-1沿線之3個代表性之測點紀錄，圖中遠支距波線由100到300毫秒之間可以清楚看出明顯的反射信號，而紀錄中左下方為強烈的地滾波雜訊。這些地滾波在適當的濾波後可以被過濾，圖1.8b即為經過濾後的測點紀錄。由於低頻的地滾波已大致被濾除，反射信號可以穿透至900毫秒的深度。

本研究之震測資料以同中點重合方式處理，圖 1.9 為各震測資料的基本處理流程。資料處理的第一個步是定義於野外施測時所使用的施測幾何，然後刪除原始炸點資料內之不良波線，之後再以頻率濾波濾除低頻地滾波及其他高頻雜訊以提高信噪比，濾波之頻率範圍則由頻譜分析決定。頻率濾波後再以速度濾波過濾低速度之地滾波，經濾波後的資料接著依野外作業幾何，續行各種不同聚合之搜尋，將不同的炸點資料中凡是對應於同一反射點的各波線都收集並組合成同中點聚合剖面。由原始測點資料的震波走時異常估計，近地表處的風化層效應造成震波訊號到達地面時間不一致，各測線再進行靜態修正，去除高程變化與風化層或造成的走時異常。

經過靜態修正後之同中點聚合資料，再經速度分析找出各時段之最佳的重合速度，並利用該速度，經垂直隔距時差修正將同中點聚合內之各波線修正至支距為零再互相重合成為同中點重合剖面。

本研究於資料處理過程中採用了三種速度分析工具以獲得準確的速度，分別為等速度聚合分析、等速度重合分析、以及速度頻譜分析等。速度分析完成後便可得到重合速度模型，依此速度模型進行垂直隔距時差修正並做同中點資料重合。重合速度經過轉換至區間速度後，作為將時間剖面轉換至深度之參考。

受到地形與交通的影響，測線可能無法獲得單純的直線剖面，本計畫已將所有剖面利用工業級專業的資料處理軟體Claritas進行蜿蜒測線處理以及具浮點基準面的修正，以適合本研究的需要。P波反射震測之靜態修正常為剖面優劣之關鍵，本計畫於執行時一併利用折射資料以走時逆推的方式來分析，並用以作為靜態修正之用。

圖1.10a為測線08P-MCLF-BH-1經資料處理後之24重合同中點重合剖面。圖中可看以出本剖面西北側地層的連續性極佳，並且岩層以低角度往西北向傾斜，而剖面中間則出現地層不連續現象，不連續帶東南方的震測信號開始受到擾動，且越往東南方信號漸不明顯。圖1.10b為測線08P-MCLF-BH-1重合剖面之解釋，剖面中西北方之地層平整且連續，CDP330處出現之高角度斷層現象以紅色線表示，斷層東南側地層經擠壓抬升而較西北側地層混亂，但大致上可以於整個剖面中見到地層往東南方抬昇。圖1.10中重合剖面所使用的重合速度分佈如1.11圖所示。圖中紅顏色區塊為較高速之重合速度，重合速度先經轉換至區間速度，再作為時間剖面轉換至深度之依據。

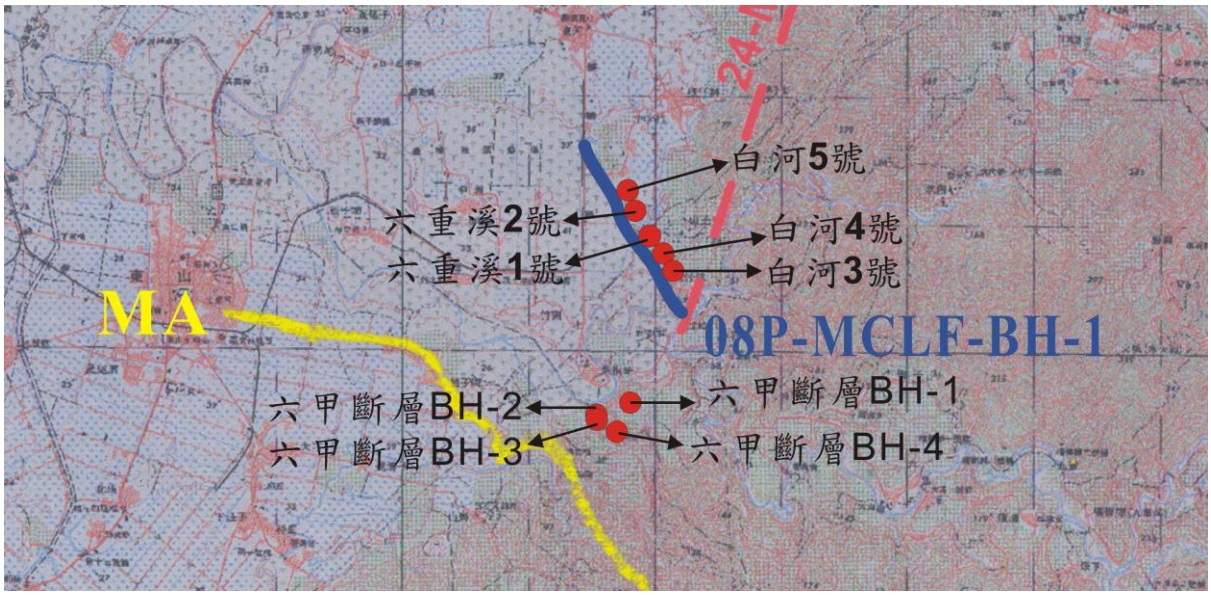
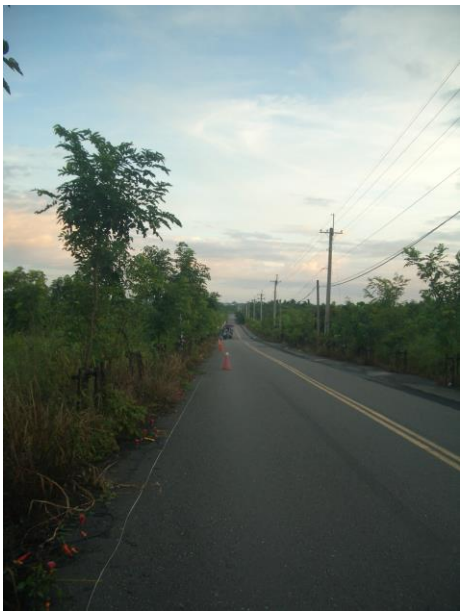


圖1.6、測線08P-MCLF-BH-1於1/25,000地形圖中配置位置（藍色實線），而紅色虛線為斷層可能通過位置。



a

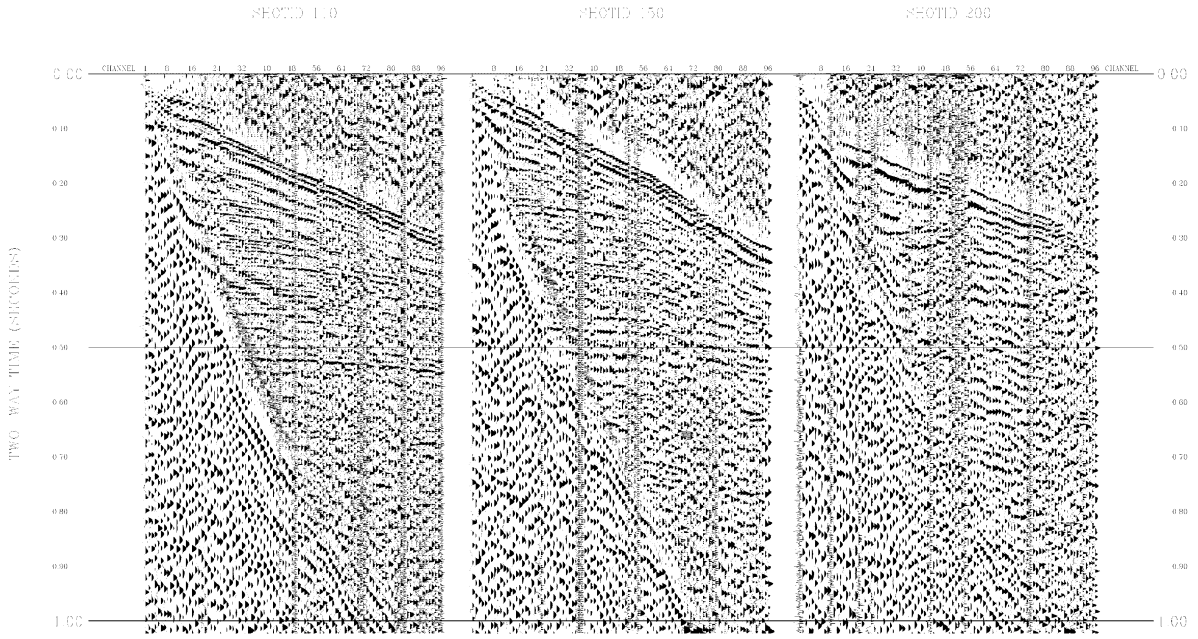


b

圖1.7、測線08P-MCLF-BH-1往西北向(a)及往東南向(b)之地表現況。

表 1.1 測線 08P-MCLF-BH-1 之震測施測參數表

測線名稱	08P-MCLF-BH-1
測線位置	台南縣白河鎮
震源	JMS-mini 65
接收波道（個）	96
受波器陣列間距（m）	5
每組受波器個數（個）	3
每組受波器內個別間距（m）	1
受波器種類	40Hz垂直式
最小近支距（m）	5
最大遠支距（m）	480
炸點間距（m）	10
震源撞擊次數（次）	40
取樣間隔（ms）	0.5
記錄時間（sec）	1.024
最大重合數	24
測線總長（m）	1490
測線走向	西北→東南
測線曲直性	蜿蜒



a



b

圖1.8、a. 測線08P-MCLF-BH-1沿線之3個代表性測點紀錄圖，圖中炸點紀錄於100到550毫秒間可以看出明顯的反射信號，而紀錄中左下方為強烈的地滾波。b.原始測點記錄經過濾後的結果，其中低頻的地滾波已大致被濾除，信號至900毫秒仍可清楚看見。

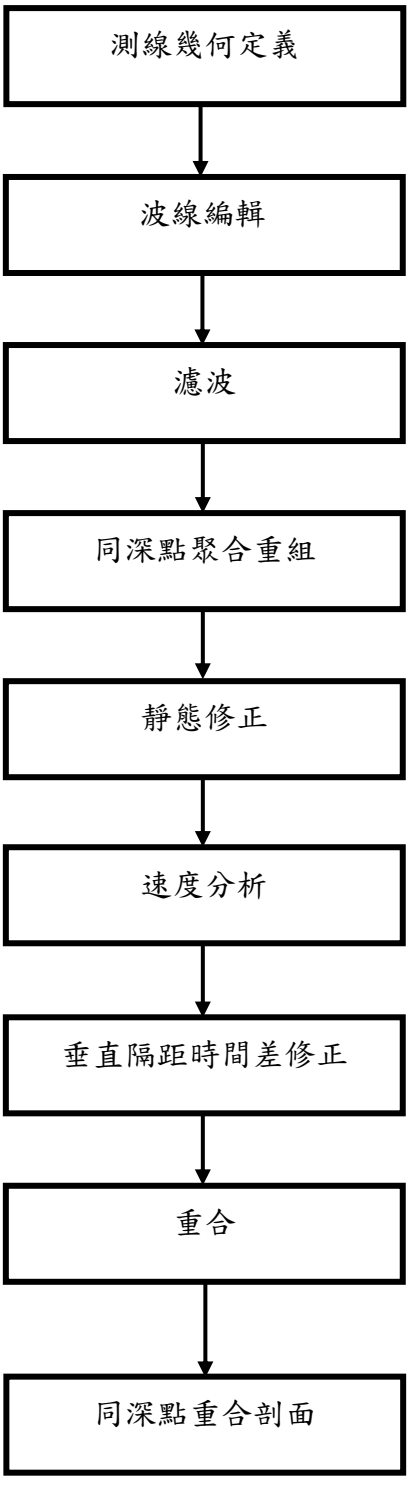
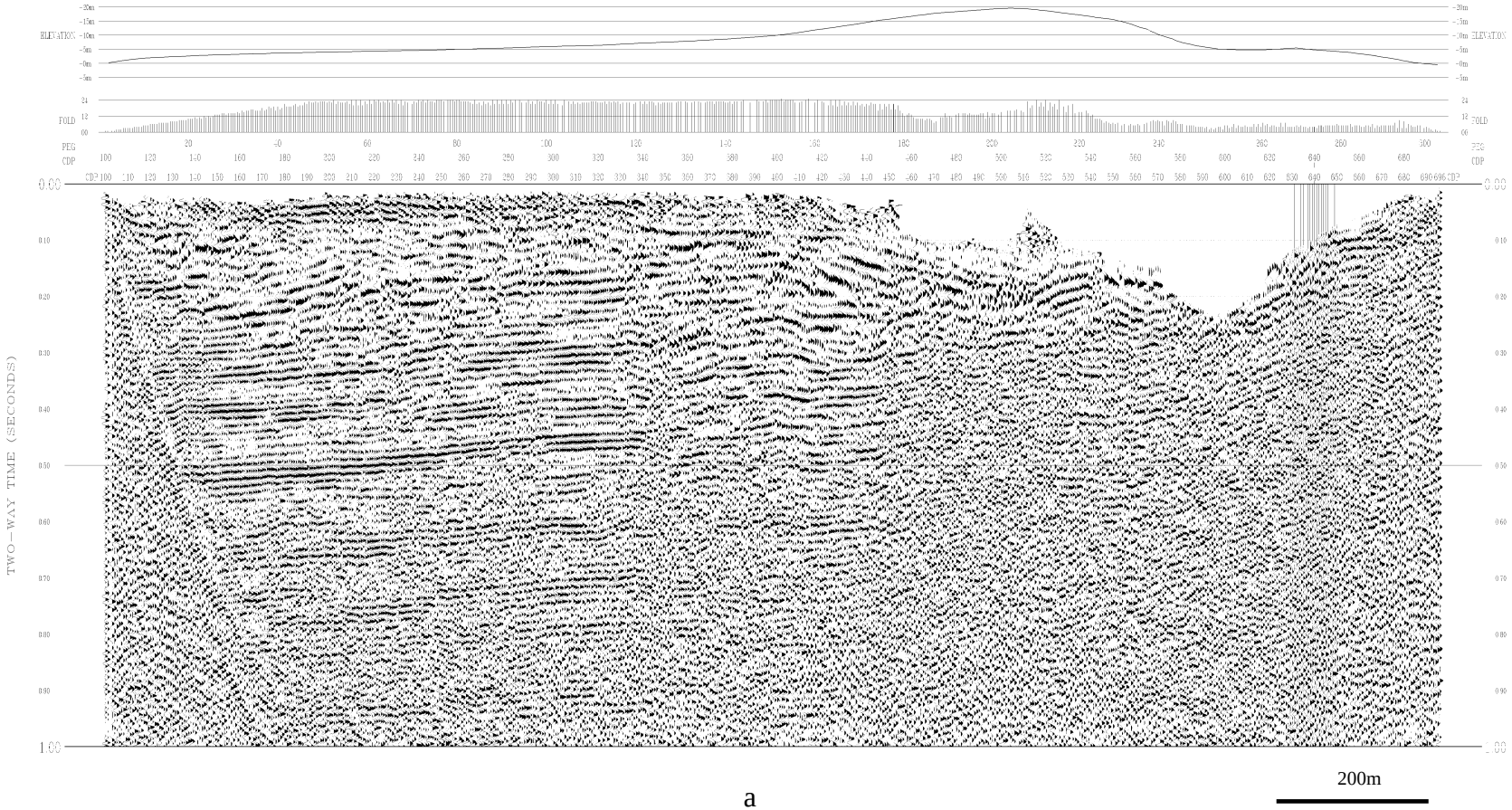


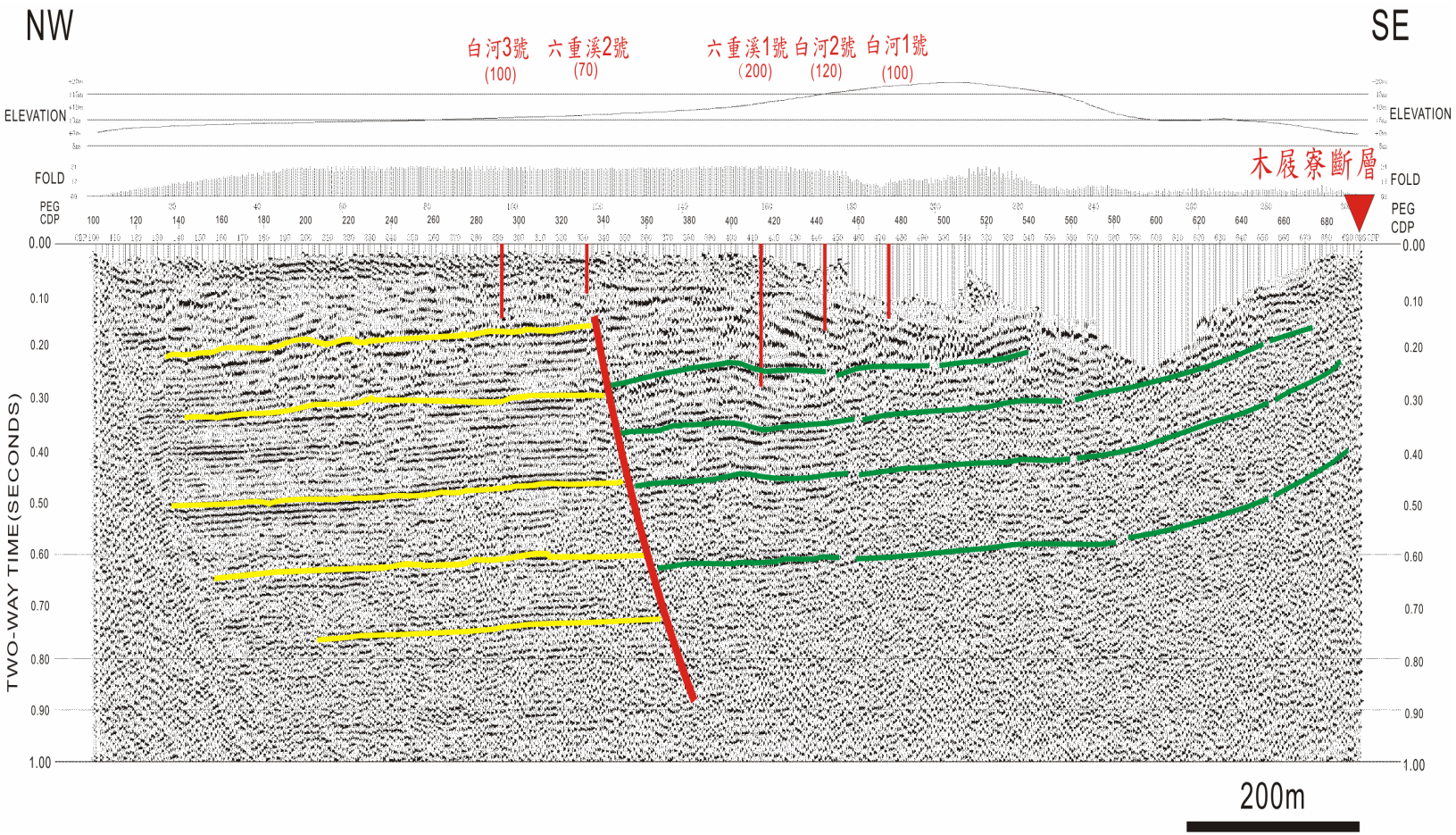
圖1.9、本研究淺層震測資料處理之基本流程圖。

NW SE



a

圖1.10a、測線08P-MCLF-BH-1之24重合同中點重合剖面。圖中西北側地層連續性極佳，至1000毫秒仍可看見連續地層，並且地層以低角度往東南抬昇。



b

圖1.10b、測線08P-MCLF-BH-1之解釋剖面。CDP330處有高角度的斷層現象，剖面東南側地層經擠壓抬升而較西北側地層混亂，剖面中紅色直線標記鑽井位置及深度。

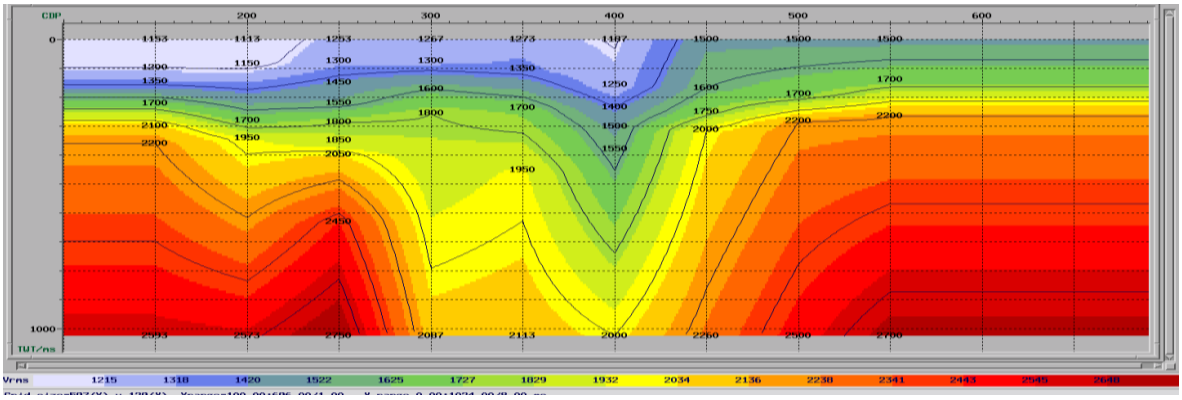


圖1.11、測線08P-MCLF-BH-1重合剖面所使用的重合速度分佈。圖中紅顏色區塊為較高速之重合速度，重合速度先經轉換至區間速度，再作為時間剖面轉換至深度之依據。

2、木屐寮斷層白河測線二（測線編號：08P-MCLF-BH-2）

測線08P-MCLF-BH-2切過木屐寮斷層可能通過位置，本測線擺設的目標為探測木屐寮斷層於北段之正確位置。該測線位於白河水庫西側，白水溪的南方，沿鄉道南93進行施測，測線全長1400公尺。圖1.12為測線08P-MCLF-BH-2於1/25,000地形圖中之配置位置，本測線呈西北-東南走向。測線08P-MCLF-BH-2與08P-MCLF-BH-1之相對位置見於圖1.5中。本測線沿線道路蜿蜒，地形由西北往東南持續升高，測線東側與西側端點高之差約25公尺，圖1.13為沿測線08P-MCLF-BH-2往西北及往東南方望之地表現況。

本測線於施測時震源（JMS-MINI65）由西北向東南方向以推進的方式前進，震測信號利用96波道之震測儀接收。施測時受波器組之間距採5公尺，最小近支距 5公尺，炸點間距10公尺，各炸點撞擊平均約40至50次，而每組接收站亦使用3個40 Hz受波器陣列，每個受波器間距則為1公尺，重合剖面之平均重合數為24重合。測線08P-MCLF-BH-2所使用之震測參數則列於表1.2中。

圖1.14a為本測線沿線之3個代表性測點紀錄圖，圖中反射信號極佳，遠支距波線至400毫仍可看出明顯反射。紀錄中左下方為強烈的地滾波，經適當的濾波後可以得到500毫秒深的反射信號，圖1.14b則為經過濾後的測點紀錄，其中低頻地滾波已大致被濾除。

本測線之基本資料處理流程見於圖1.9中。圖1.15a為測線08P-MCLF-BH-2經過處理

後之同中點重合剖面，平均重合數為24。重合剖面中地層影像清晰，連續性地層由西北方以水平狀往東南逐漸向上升，但越往東南，因受到地形與岩層傾角影響，震測影像漸不清楚。圖1.15b則為測線08P-MCLF-BH-2之剖面解釋，剖面中地層持續向東南方抬升，可以見到一向上彎曲的向斜，但並無斷層穿越之現象。圖1.16為測線08P-MCLF-BH-2之重合速度分佈。重合速度先經轉換至區間速度，再作為時間剖面轉換至深度之依據。

石瑞銓等（1998）在木屐寮斷層曾沿著台南縣194縣道木屐寮，甘宅2號橋以東的位置，附近進行了1條約420公尺長的淺層震測測線。甘宅2號橋以東於白水溪河床內的斷層跡兩側崖均出露六雙層岩層（林啟文等，2000b），以疏鬆細粒砂岩或泥質砂岩為主，間夾薄層泥岩；其上覆岩層為河階礫石堆積。崖東側六雙層的岩層位態為N30°E/30°W，河階礫石層亦向西傾斜10°-20°；崖線西側岩層的傾角則逐漸變緩，至甘宅2號橋下岩層位態已接近水平。淺層震測重合剖面中（圖1.17）距西側端點90公尺前，剖面淺部有清楚的反射信號，但在位於90至190公尺之間，則出現數處擾動現象，再往東則信號變佳，當時曾研判木屐寮斷層最可能通過此約100公尺寬的擾動帶。但該擾動帶與木屐寮線形的位置相距約150公尺，若此擾動帶為斷層，則可能為以往未發現的斷層，或是木屐寮斷層的前緣分支斷層，由於當時震測所使用的震源能量較小，且測線的展距受限於設備而無法有足夠之延展，造成剖面於深度的解析能力不足，無法正確瞭解地層的形貌與特性。本計畫經由改善震測施測的技巧以及加大震源的能量與測線的展距，已可進一步來瞭解木屐寮線形地下的構造。

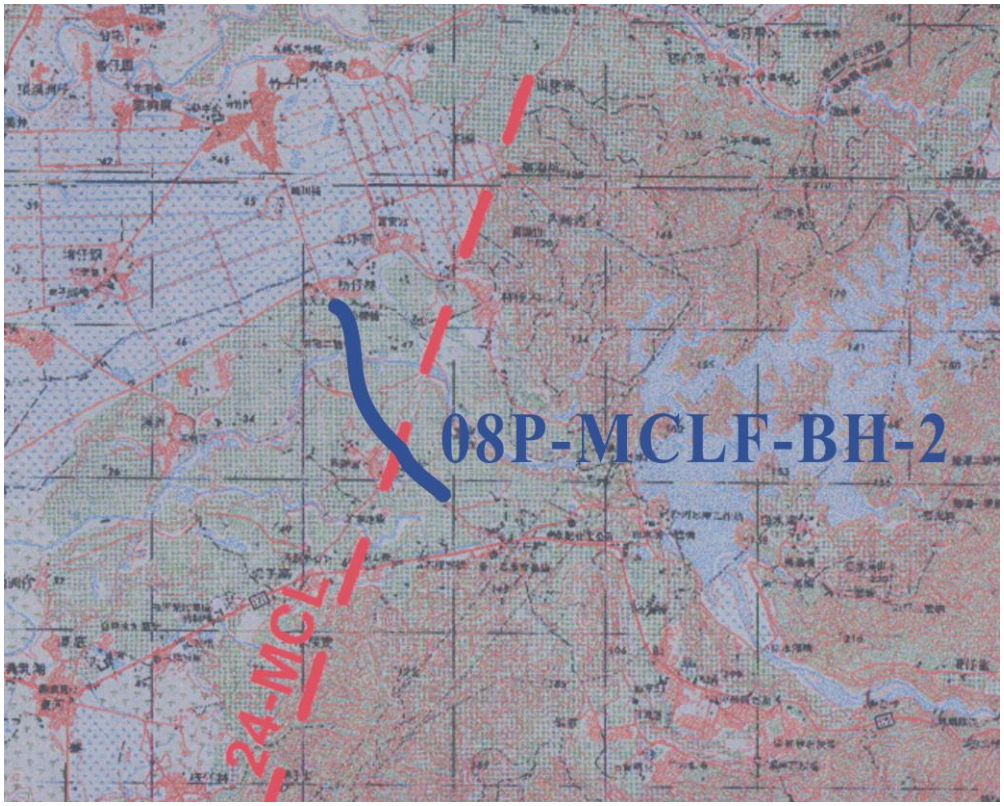


圖1.12、測線08P-MCLF-BH-2於1/25,000地形圖中配置位置（藍色實線），而紅色虛線為斷層可能通過位置。

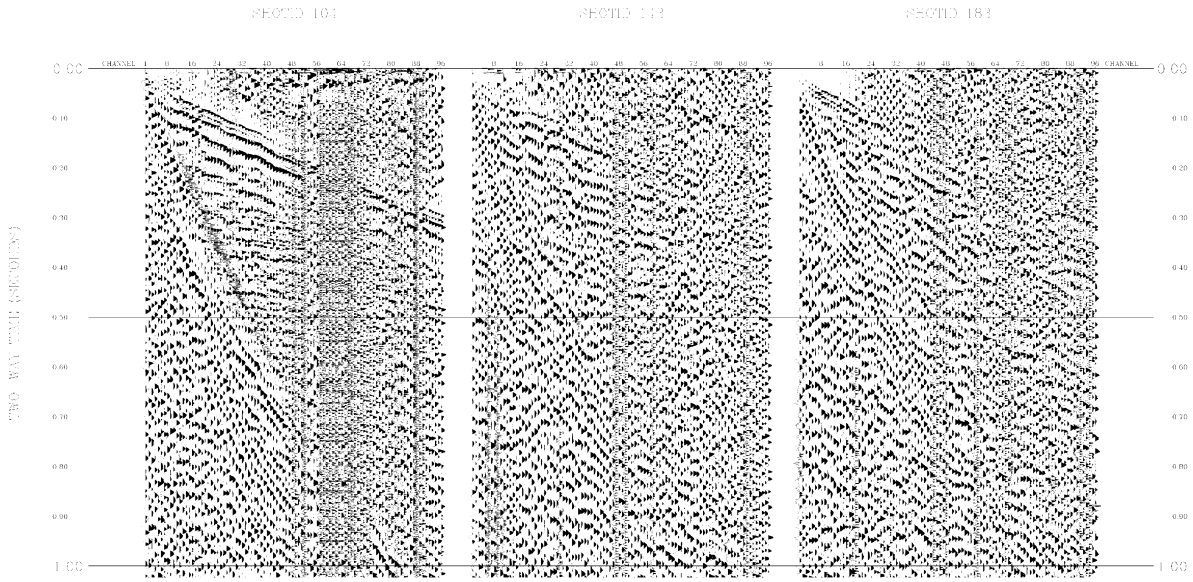


a　　b

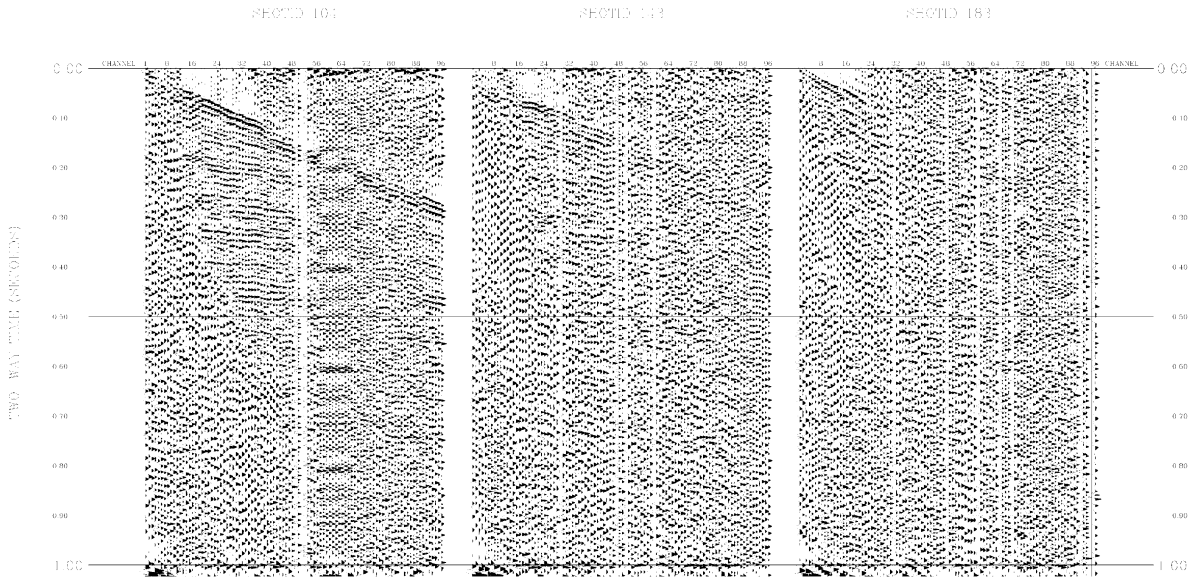
圖1.13、測線08P-MCLF-BH-2往西北方(a)及往東南方(b)之地表現況。

表 1.2 測線 08P-MCLF-BH-2 之震測施測參數表

測線名稱	08P-MCLF-BH-2
測線位置	台南縣白河鎮
震源	JMS-mini 65
接收波道（個）	96
受波器陣列間距（m）	5
每組受波器個數（個）	3
每組受波器內個別間距（m）	1
受波器種類	40Hz垂直式
最小近支距（m）	5
最大遠支距（m）	480
炸點間距（m）	10
震源撞擊次數（次）	50
取樣間隔（ms）	0.5
記錄時間（sec）	1.024
最大重合數	24
測線總長（m）	1400
測線走向	西北→東南
測線曲直性	蜿蜒

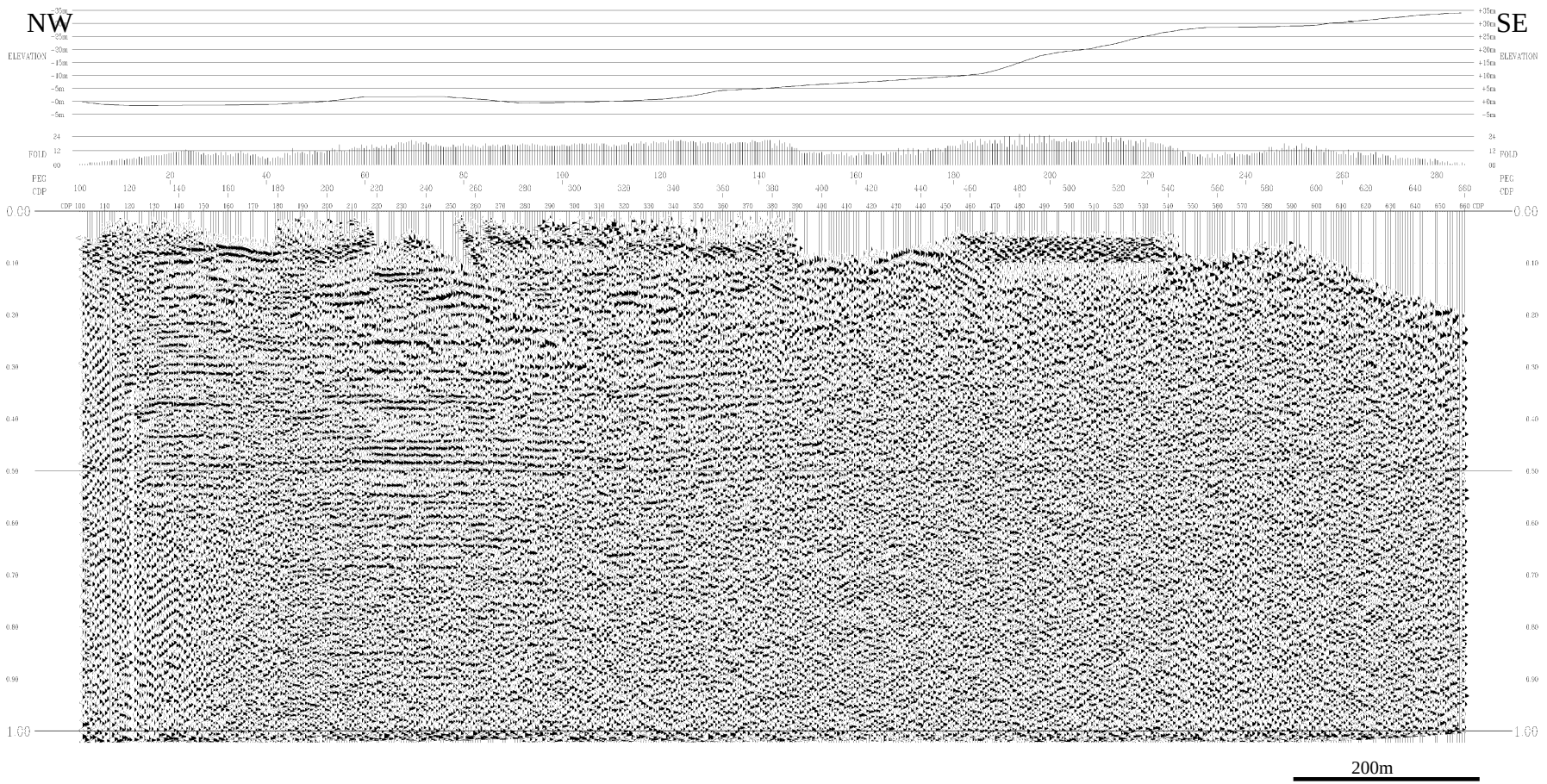


a



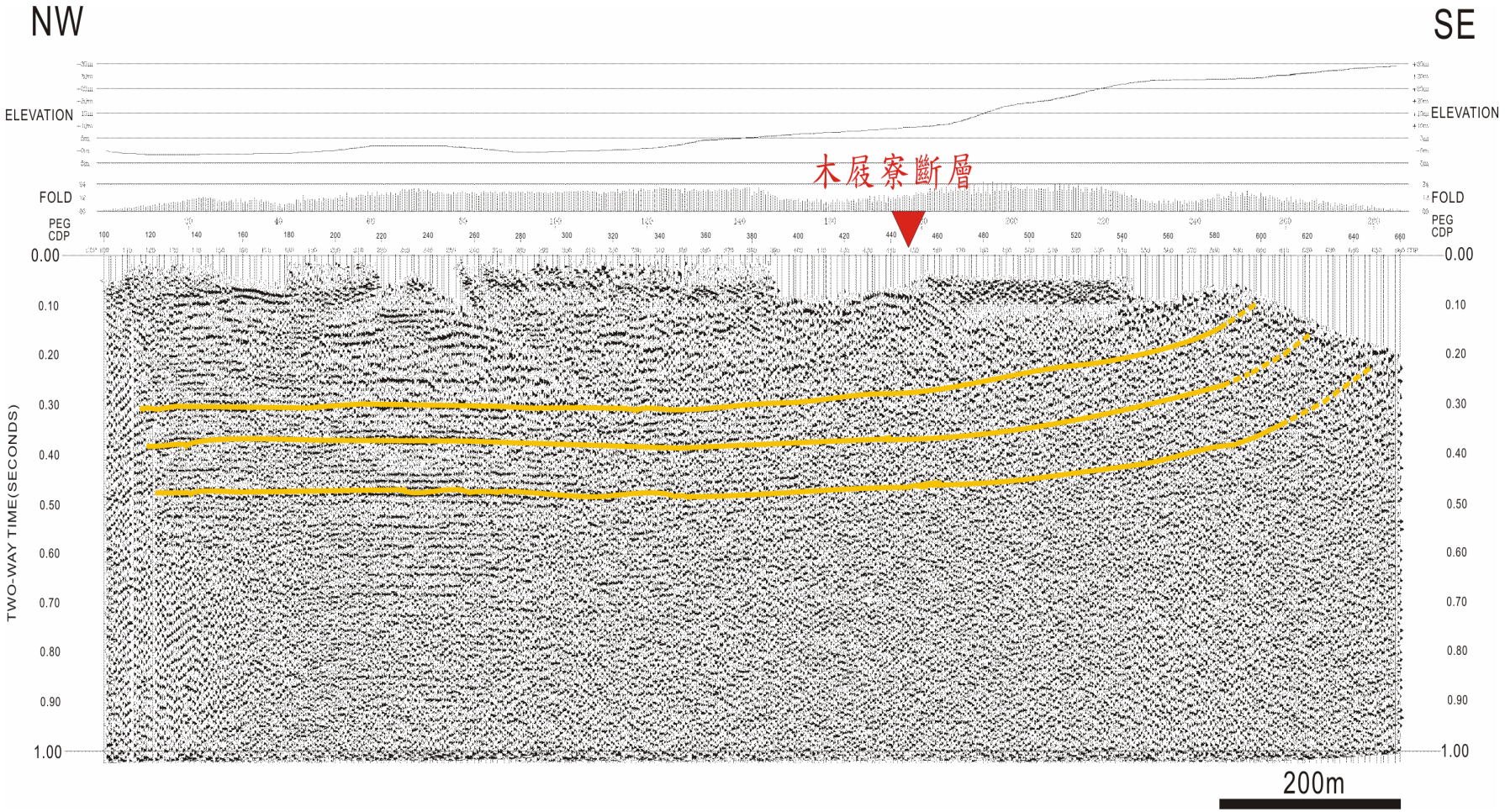
b

圖1.14、a. 測線08P-MCLF-BH-2沿線之3個代表性測點紀錄圖，圖中紀錄到400毫秒間仍可以看出反射信號，而紀錄中左下方則為地滾波。b.測點記錄經過濾後之結果，其中低頻的地滾波已大致被濾除，反射信號深至500毫秒仍可見到。



a

圖1.15a、測線08P-MCLF-BH-2經處理後之同中點重合剖面。重合剖面中之地層影像清晰，連續性地層由水平往東南方向上抬昇。



b

圖1.15b、測線08P-MCLF-BH-2之剖面解釋。剖面中地層持續向東南方抬昇，並無斷層穿越之現象。

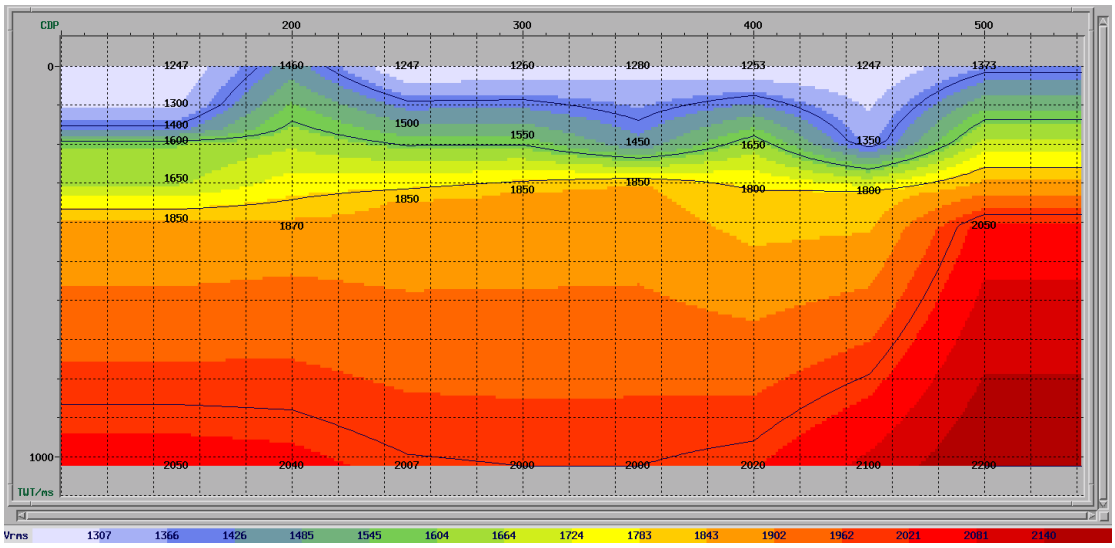


圖1.16、測線08P-MCLF-BH-2之重合速度分佈。圖中紅顏色區塊為較高速之重合速度，重合速度先經轉換至區間速度，再作為時間剖面轉換至深度之依據。

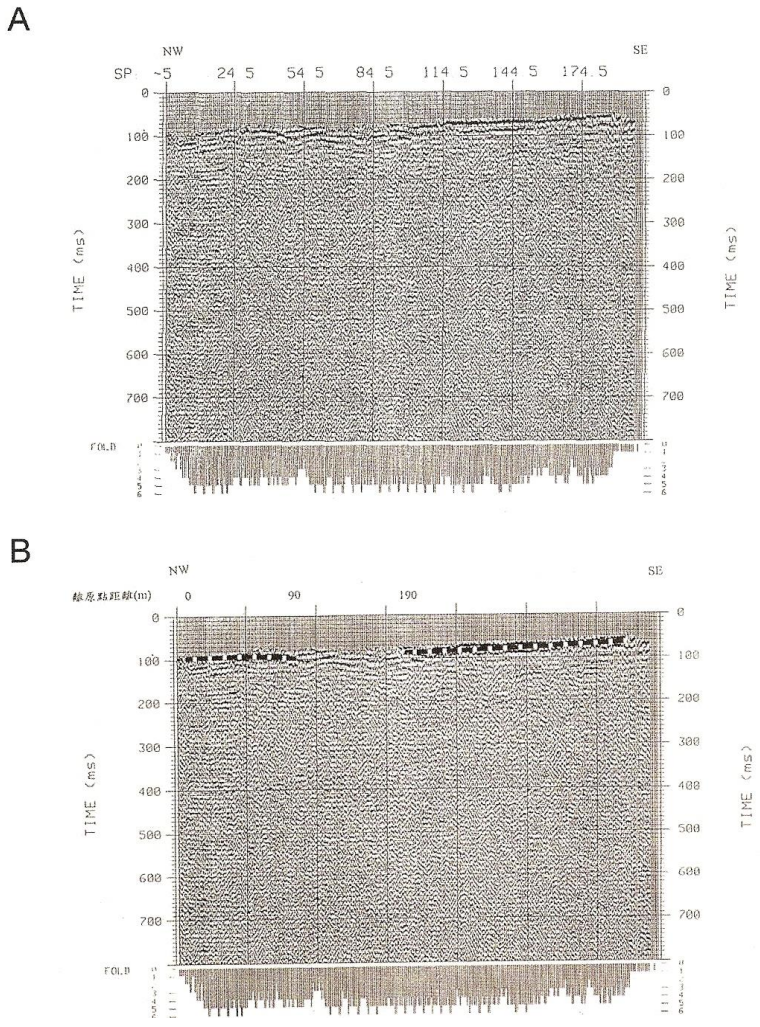


圖1.17、木屐寮斷層於南194鄉道之舊測線資料（石瑞銓等，1998）。

（三）地表及井下地質調查

木屐寮斷層之地形特徵極為明顯（Sun, 1971；石再添等，1986；張徽正等， 1998；林啟文等，2000a、200b；陳文山等，2004），本研究共進行了兩孔地質鑽探來分析地下的構造形態。

中油之震測剖面（黃旭燦等，2004）、地質的平衡剖面（Suppe, 1980）、以及早期的淺層震測剖面（王宏霖，2006）皆顯示木屐寮斷層為向斜變形所致(圖1.18)。本研究之淺層震測剖面(08P-MCLF-BH-2)亦顯現一向斜的構造(圖1.18)。本研究認為木屐寮斷層的線形可能與關子嶺背斜西側的向斜變形較為相關。

本研究在進行淺層震測剖面08P-MCLF-BH-1之調查時亦發現在木屐寮斷層的西側仍有斷層的證據出現。為確定該未知斷層的特性及其可能消耗的位移量，我們在該震測剖面中斷層位置附近進行了兩口地質鑽探，分別為六重溪1號與二號井（圖1.19）。六重溪1號井位置位於震測剖面斷層上盤處，深度200公尺，鑽探選址主要考量此處有一地形崖面。為確定地形崖面是否為斷層作用造成，而在此進行了地質鑽探。六重溪2號井的位置則規劃緊臨震測剖面所研判的斷層上盤處，希望能鑽穿斷層面至斷層下盤。原規劃六重溪2號井之井深可以超過70公尺，由於預算緣故該井並未加深，因此井深為70公尺。為了分析剖面08P-MCLF-BH-1中該新發現斷層的特性，我們亦參考陳文山等（2008）所於另一子計畫所進行的地質鑽探資料，並進行比對。

1、六重溪1號井

六重溪1號井位於地形崖東側（圖1.19），井深200公尺。其中0-30公尺處以細砂、中砂和泥為主，岩層傾角約5度，且有許多碳碎塊存在；30-31.4公尺處為礫石層（圖1.20），傾角約10度，且有25度左右斷層面；31.4-63公尺處為細砂到中砂為主之砂岩層，中夾有泥層或砂質泥層，傾角約10-20度，局部有與層面平行之斷層面（圖1.21），此外，在40公尺以及50-63公尺處有連續且傾角略變之層面，經研判為交錯層（圖1.22），而43與45公尺處有礫石層，且44公尺處有零碎的貝殼化石；63-81公尺處為細砂質泥層，並在64、70以及71公尺處有夾薄泥層，傾角約10度，而65-77公尺處有連續且傾角略變之層面，研判為交錯層，且70-72公尺處有貝殼碎片；81-141公尺處以泥層以及細砂為主，136-138公尺處有交錯層，而在89公尺處有傾角60度且傾向相反之薄泥層，其餘層面約5-30度，

斷層面多以10-20度角平行於層面破裂，唯於137.1公尺有一70度與層面斜交之斷層面(圖1.23)，100-110公尺處有交錯層，且多處有含有機碳質；141-149公尺處為由細砂到粗砂所組成，142.2公尺處有一50度平行於層面之斷層(圖1.24)，而在145公尺處有交錯層理；149-171公尺處則以細砂為主，且夾數層泥層，160公尺處則為粗砂，這部分還可看見傾斜20-40度之斷層面（圖1.25)；171-200公尺處則以泥層混細砂為主，夾數層砂層，傾角約5-10度，且有50度高傾角的斷層（圖1.26)，而197公尺處有交錯層理以及碳。六重溪1號井之岩性大致如表1.3所示，而詳細之井錄見附錄1。

六重溪1號井中雖有小斷層但地層大致保持良好。由於該井之鑽探位置緊臨地形崖邊，且深度達200公尺，若此地形崖面為斷層活動所致，則鑽探岩芯中應可發現斷層存在之證據。但六重溪1號井的岩芯中並未見到斷層的證據，因此本研究較傾向該地形崖面為向斜軸變形所形成。而由地層岩芯記錄中可以見到岩層傾斜約5-10度，說明了木屐寮斷層於下盤處仍有變形。因此，該地形崖面可能係位於向斜軸附近形成的崖面，而非斷層面。

表1.3、六重溪1號井之岩芯岩性

深度	岩性	層面	破裂面傾角
0-30公尺	泥、細砂、中砂	5	
30-31.4公尺	礫石層	10	25
31.4-34.8公尺	泥岩層	5-10	15-20
31.48-46.5公尺	中至粗砂夾礫石層	5-10	15-20
46.5-81公尺	細砂為主	10	
81-134公尺	泥層夾薄砂層	5-10	10-20
134-144公尺	泥岩、細至中砂	5-10	20-70
144-148.5公尺	粗砂	5-10	20
148.5-159公尺	泥及細砂	5-10	20
159-160.5公尺	粗砂層	5-10	
160.5-200公尺	泥與細砂層	10	30-50

2、六重溪2號井

六重溪2號井位於上述地形崖之西北側，井深70公尺，地層之岩性大致如表1.4所示，而詳細之井錄見於附錄2。該井在0~3公尺處為地表風化層；6-16公尺處則以泥岩為主；16-35公尺處以細至中砂為主，並在23.3~26.8公尺處有黃棕色風化層出現；35-46公尺處以泥岩為主；46-55公尺間以泥至中砂為主，且在52公尺處夾薄層粗砂，而在25公尺至55公尺間有貝殼及貝殼碎片出現；55公尺後之層序變粗，岩性以細沙至粗砂為主，而在65.5公尺及66.6-67.4公尺處有較粗的砂岩層並有泥塊(mud chip)出現。

六重溪2號井中亦未發現斷層存在的證據。由震測剖面08P-MCLF-BH-1顯示該新發現斷層之尖端並未切穿至地表位置，加上斷層傾角甚大，六重溪2號井並未鑽穿該斷層。

表1.4、六重溪2號井之岩芯岩性

深度	岩性	層面	破裂面
0-3公尺	風化層	5	
6-16公尺	泥岩層	5	
16-35公尺	細至中砂	5-10	70
23.3-26.8公尺	黃棕色風化層	5	
35-46公尺	泥岩	5	
46-55公尺	泥至中砂	5	
55-70公尺	中至粗砂	5	

3、白河5號井（陳文山，2008）

本研究之六重溪2號井與陳文山教授之白河5號井中可以對比的層序加以描述與比較。白河5號井在15.7公尺有黃棕色砂層出現，67.9-68.4公尺為泥岩層，而68.7公尺以下則為粗砂，且在72公尺處可以見到礫岩層及泥塊(mud chip)。在六重溪2號井中黃棕色砂岩層亦出現在23.3-26.7公尺處，而泥岩層則出現在55-55.5公尺處，56.2公尺以下則為砂層，且60.4公尺處亦有泥塊(mud chip)及薄層礫岩出現。

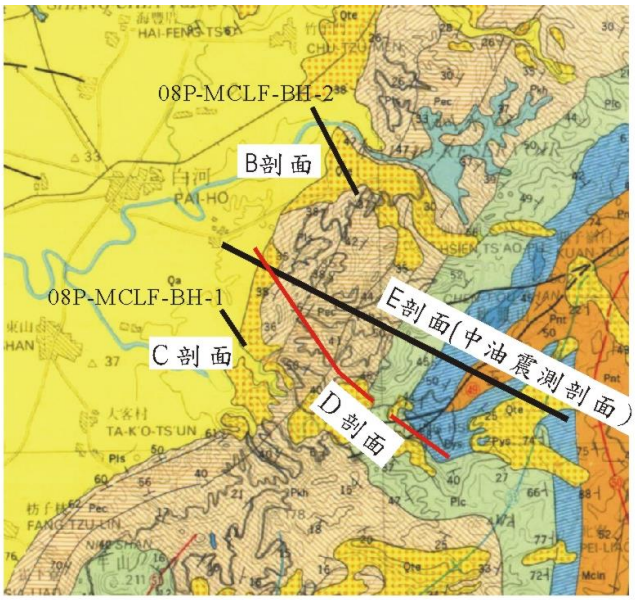
4、六重溪1號、2號與白河5號井的對比

六重溪1號井位於地形崖上盤，2號井位於地形崖下盤，但位於震測剖面08P-MCLF-BH-1所發現之斷層位置的上盤。由井下岩芯資料顯示，六重溪1號與2號井並無法對比（圖1.27）。這有兩種可能原因造成，一、兩口井之間有斷層通過；二、沈積相變化。但若要進一步確定則需等岩芯標本定年結果出來後才可判斷。目前本研究傾向於因沈積相變化造成，主要因為六重溪1號井與2號井下的反射信號不相同。1號井淺部為粗粒沈積物，可能為河流沈積岩相，而2號井為較細顆粒之沈積物，應為較安靜環境下所產生。兩者沈積相有極大的差異，因而導致震測信號亦有差異。對於在緊臨1號井的地形崖面，在震測剖面中未見明顯斷層，且岩心中亦未見明顯斷層帶，因此我們認為地形崖面的形成主要由於向斜變形的褶皺崖面。

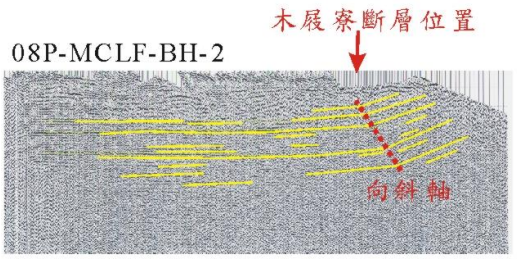
本研究亦同時分析位於六重溪2號井西側，於震測線08P-MCLF-BH-1中斷層下盤，由陳文山教授所進行的白河5號井鑽探岩芯。本研究發現六重溪2號井與白河5號井的岩性較為類似，在淺部及深部皆有近似地層，這兩口井在淺部皆有黃棕色砂層，六重溪2號井之深度為23.3公尺，而白河5號井則為15.7公尺。在深部則轉為較粗層序後出現泥塊及薄層小礫石，在六重溪2號井之深度為65.5，而白河5號井則在72公尺處。由於淺部對比層序在2號井較深，但深部對比層序卻是2號井較淺，這兩口井之間的關係目前尚不易釐清，但這兩口井皆有許多定年材料，待定年後應有較明確結果。

5、六重溪斷層上盤第四紀沉積物或覆土的厚度，以及各地層的厚度與界面

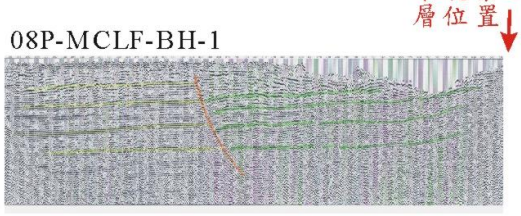
由楊志成（2005）年鑽探資料顯示在近斷層處未鑽遇基盤，主要原因是末次冰期時海水面相較現在超過100公尺，因此當時近斷層處抬升的地層大多持續被侵蝕，當海水面上漲，近斷層處大多被近代沈積物所覆蓋。本研究與陳文山教授分別沿著淺層震測測線08P-MCLF-BH-1鑽了五口地質探井，深度由70公尺至200公尺不等。由於最深的200公尺井尚未有定年資料，但從陳文山教授鑽探之120公尺岩芯定年顯示，這些井都未達基盤，亦即沈積厚度至少可達120公尺厚。



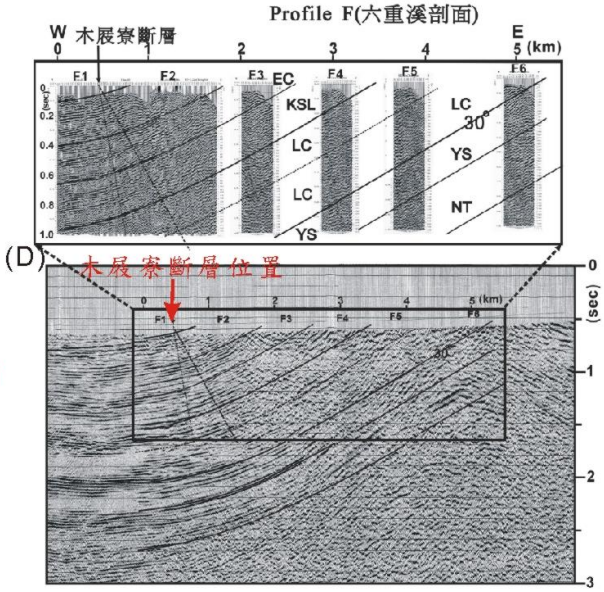
(A)



(B)



(C)



(D)

(E)

圖1.18、 A為中油十萬分之一地質圖與震測剖面位置(中國石油公司，1986，1989）。B與C為為本研究震測剖面。D為王宏霖(2006)年淺層震測結果，震測剖面顯示木屐寮斷層為向斜變形所致，向斜為圓弧形。E為中油深部震測剖面，剖面亦顯示木屐寮斷層為向斜變形所致。

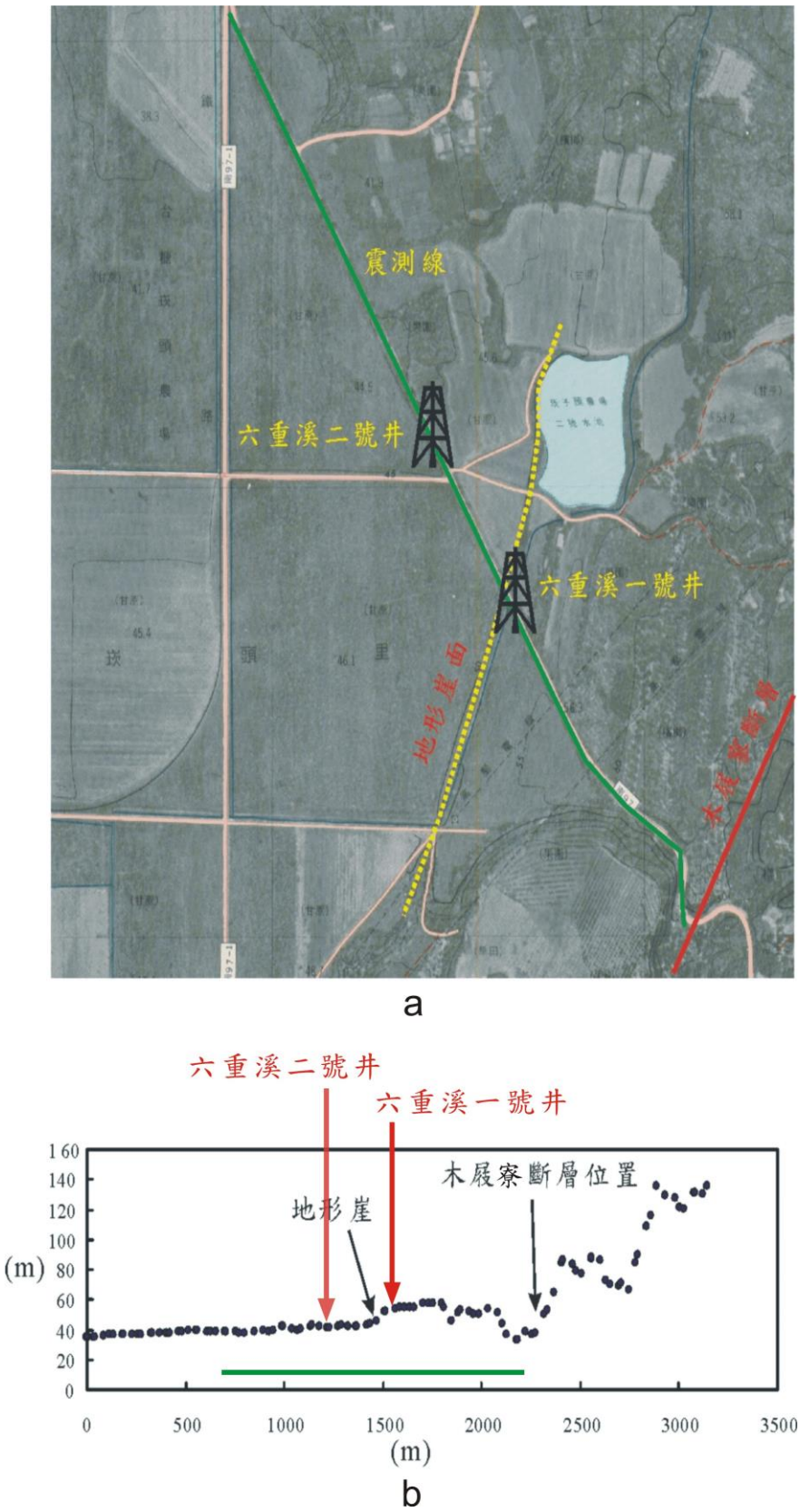


圖1.19、 a.地形圖與六重溪1號與2號井鑽探位置，1號井位於地形崖上盤。2號井位於震測剖面斷層帶附近。b.鑽探附近的地形剖面，1號井位置位於地形崖東側。淺層震測線08P-MCLF-BH-1位於圖b中之綠色線段處。

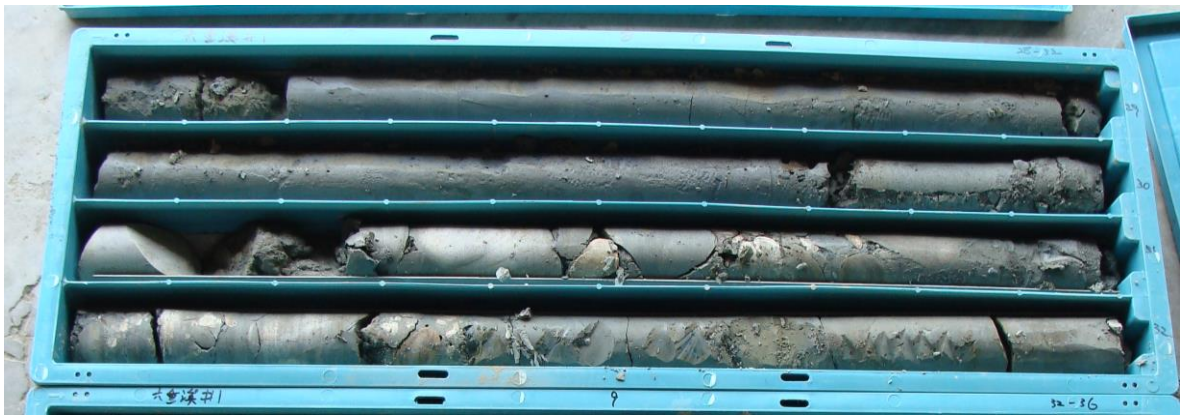


圖1.20、六重溪1號井30-31.5公尺礫石層。



圖1.21、六重溪1號井31.5公尺與層面平行之斷層面。



圖1.22、六重溪1號井56-60公尺的砂岩層中常有交錯層構造。

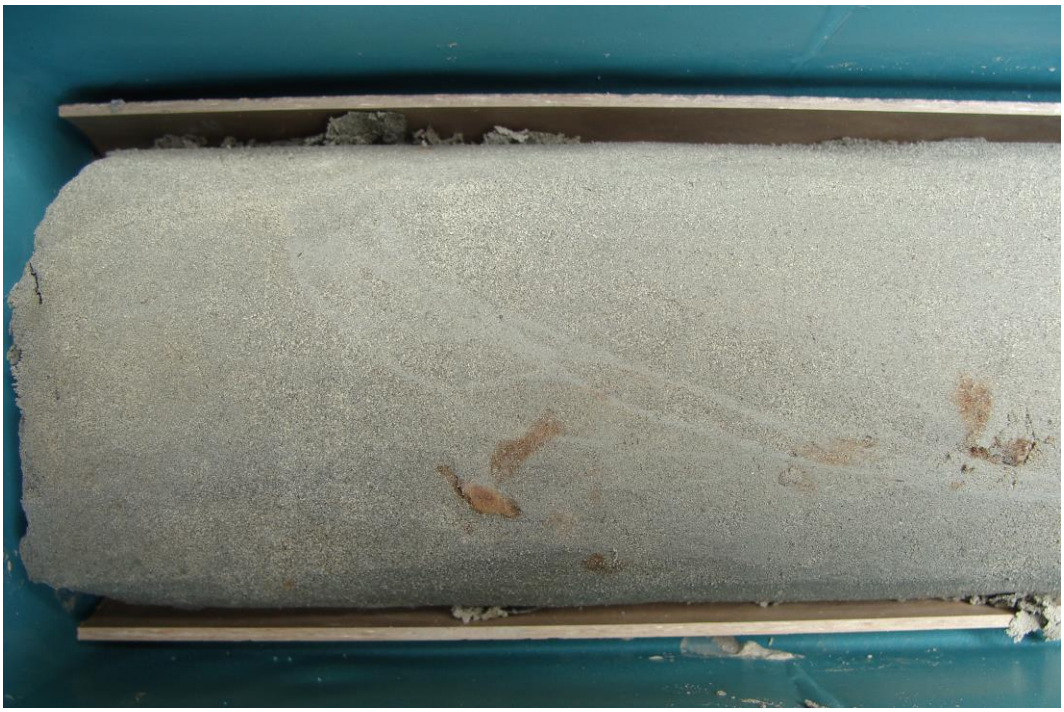


圖1.23、六重溪1號井137.1公尺與層面斜交的高傾角的斷層面



圖1.24、六重溪1號井142.1-142.2公尺與層面平行的斷層面。



圖1.25、六重溪1號井153.9公尺與層面平行的斷層面，斷層擦痕極為清楚。

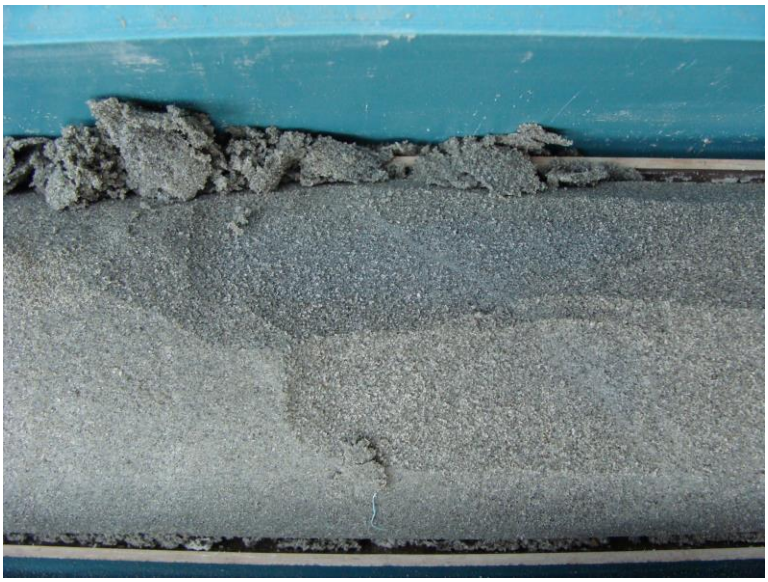


圖1.26、六重溪1號井173-173.1公尺的高傾角斷層。

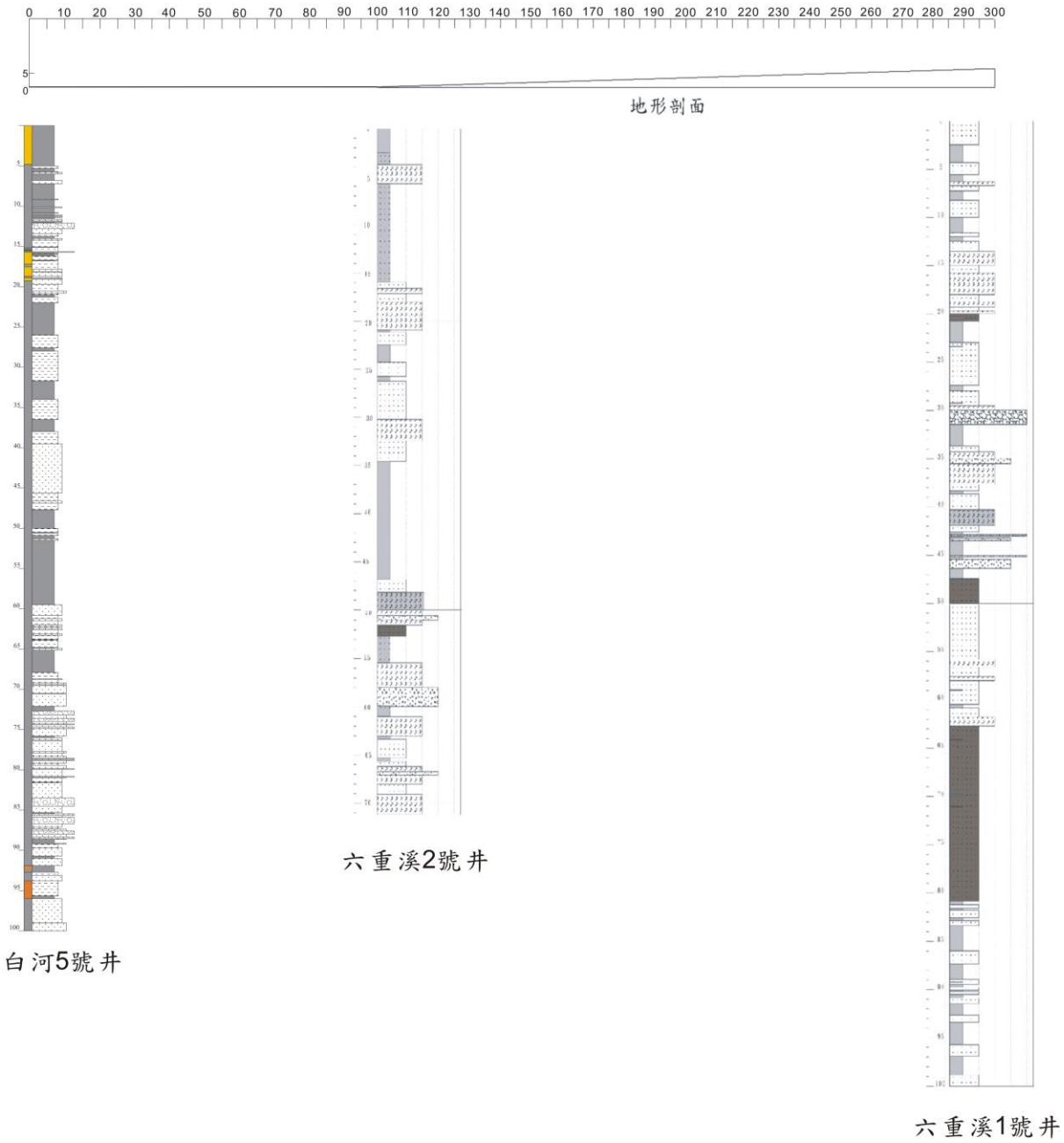


圖1.27、六重溪1號、2號井與白河5號井（陳文山等，2008）的1:1井錄比較。圖上方為地形剖面。六重溪1號與2號井之岩性相差甚多，難以對比，可能反應沈積相的變化，地層對比須待定年結果來進一步確定。

（四）斷層的運動學分析

木屐寮線形構造發育在關子嶺背斜西翼，此線形在中油震測剖面中並未出現明顯斷層訊號，但在接近木屐寮與六甲斷層交接處，變形前緣明顯向海岸平原突出，暗示地下構造在此發生變化；根據最近在莿桐崎附近的鑽探顯示，此處出現明顯的剪切帶（楊志成等，2005）。另由本研究震測結果（測線08P-MCLF-BH-1）顯示，在木屐寮線形構造前緣，可能存在一高角度斷層切穿淺部地層。不過，因為這些現象在其他區域並未發現，且根據周錦德等（1986）的研究，在新營白河間存在數條東西走向的正斷層，因此我們懷疑這些剪切帶並非存疑的「木屐寮斷層」，而是沿著早期正斷層發育的撕裂斷層，將木屐寮與六甲線形構造分隔，但是這個推測仍有待進一步的研究來釐清。

另一方面，根據GPS的研究結果顯示（圖1.28，饒瑞鈞等，2008），木屐寮線形兩側並未出現明顯的速度不連續；相反的，在木屐寮線形與觸口斷層間，地殼水平相對運動速度由西往東呈線性增加，這暗示木屐寮線形構造與關子嶺背斜西翼的抬升與旋轉有關，而此線形可能代表發育在關子嶺背斜西翼的向斜變形褶皺崖。

過去對關子嶺構造的解釋可分三類（圖1.29）：背斜疊置構造（anticlinal stacking; Suppe, 1980；黃旭燦等，2004）、三角帶構造（triangle zone; Hung et al., 1999）以及正斷層再活動（Chang et al., 1996）。雖然這三種解釋基本上都能符合地表地質的觀測，但在運動學上卻存在相當大的差異，如Chang et al.（1996）的模型，其水平縮短量僅4公里，而Suppe（1980）的構造模型的斷層滑距卻高達26公里；另黃旭燦等人（2004）假設在關子嶺背斜處的基底滑脫面深度約為7-9公里，但Suppe（1980）卻認為僅在地下約4公里附近。在缺乏清晰的震測剖面情況下，這些差異並不易分辨。

本研究嘗試利用重力觀測資料，研判較合理的解釋。我們利用中油公司在研究區域的重力測勘資料，經過內插得到前述剖面的布蓋重力異常值，各地層密度則是參考中油公司（如Hsieh and Hu, 1972）的研究，表1.5詳列本研究所採用的地層密度。我們利用Grav2dc重力計算軟體進行重力異常分析，各剖面之位置如圖1.30所示。圖1.30中不同的構造剖面位置以不同顏色的線條表示，其中Suppe（1980）以綠色線表示，黃旭燦等（2004）以黃色線表示，Hung et al（1999）以藍色線表示，而Chang et al.（1996）則以紅色線條表示。各剖面中之兩個小同色線段中的位置為重力分析所選用的範圍。雖然圖1.30中各條構造剖面的長度與涵蓋範圍不完全一致，但重力分析所選用的位置大致上一

致。

圖1.31至1.34為各剖面之重力模擬結果，研究結果顯示Suppe（1980）的構造模型最能符合重力的觀測，而其餘的構造模型則會造成背斜軸部重力異常偏高（圖1.31至1.34）。但由於Suppe（1980）的構造模型假設木山層為基底滑脫面，亦即逆衝構造僅發生於中新統以上的地層，與實際鑽井出現先中新統地層結果不符，因此我們以Suppe（1980）的構造模型為基礎架構，但做了局部的修改，使基底滑脫面落在先中新統地層，距其頂部不整合約1公里處。

地下構造模型經過修正候，本研究利用Allemendinger（1998）所研發的程式 Fault Fold 進行構造演化模擬。構造演化模擬所使用的參數列於表1.6中，模擬的結果則如圖1.34與圖1.35所示。構造演化的第一階段（圖1.34），斷層由先中新世地層內向上爬升至中崙層內部，並在今日關子嶺背斜處形成斷層彎曲褶皺；第二階段（圖1.35），在原斷層彎曲褶皺上再發育出疊置斷塊構造。木屐寮線形可能為背斜西翼受侵蝕後所形成的向斜軸所造成的褶皺。圖1.35中紅色線代表斷層線，而藍色線則為現今的地形面。

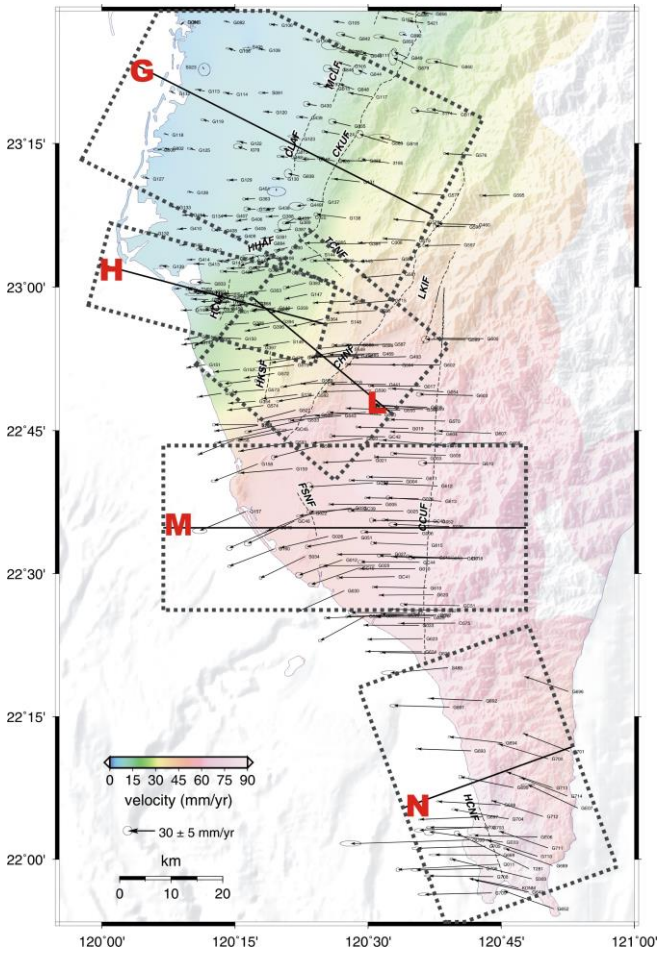
由於本研究主要目標是針對木屐寮線形構造，因此關子嶺背斜東翼的構造並未被模擬。相較於Suppe（1980）的構造模型，此模型減少了疊置斷塊數量，因此總斷層滑距也降低到約13公里，也大幅減小斷塊沿底部滑脫面向西傳遞至平原區的位移量。在本研究中，我們並未模擬前述傳遞至平原區的位移量所可能造成的變形，它可能由背衝斷層所吸收（如Hung et al., 1999），也有可能造成平原區內的變形，詳細的應變分布情形，仍有待進一步的研究。

表1.5 本研究所採用之地層密度

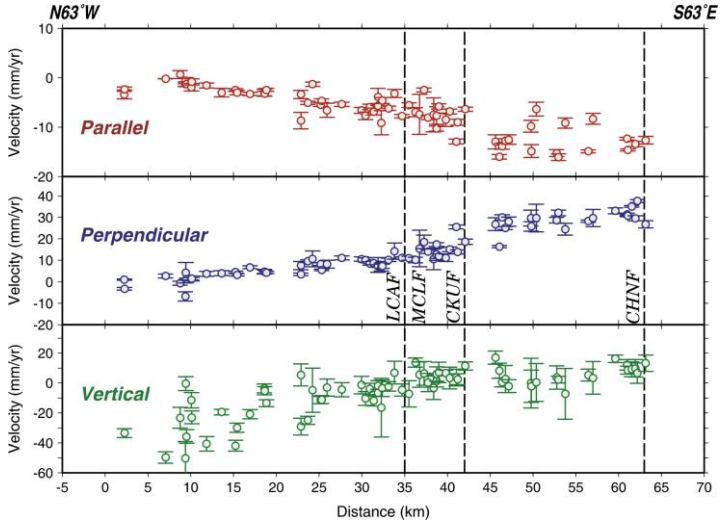
時代	地層	密度	地層	密度
更新世	六雙層LS	2.0		
	二重溪層EC	2.1		
	崁下寮層KSL	2.1		
上新世	六重溪層LC	2.2	北寮頁岩PLSH	2.2
	沄水層YS	2.3	竹頭崎層CT	2.3
	烏嘴層NT	2.4	茅埔頁岩MP	2.4
			隘寮腳AL	2.4
			鹽水坑頁岩YSK	2.4
中新世	中崙層CLN	2.4	糖恩山砂岩TE	2.4
	南莊NC	2.4	長枝坑層CCK	2.4
	南港NK	2.45		
	石底-碧靈ST-PL	2.45		
	木山MS	2.45		
先中新世	2.53			

表1.6 木屐寮至關子嶺構造運動學模擬所使用之參數

	Trishear angle (degree)	P/S ratio	Net slip (km)
第一階段	0	0	6.5
第二階段	0	0	13



a



b

圖 1.28、台灣南部地區 GPS 速度場（饒瑞鈞等，2008）。圖 a 中區塊 G 為木屐寮與六甲斷層一帶之水平速度場，圖 b 由上至下分別為跨越木屐寮、六甲與觸口斷層剖面之平行斷層水平分量速度場、垂直斷層水平分量速度場以及垂直分量速度場。

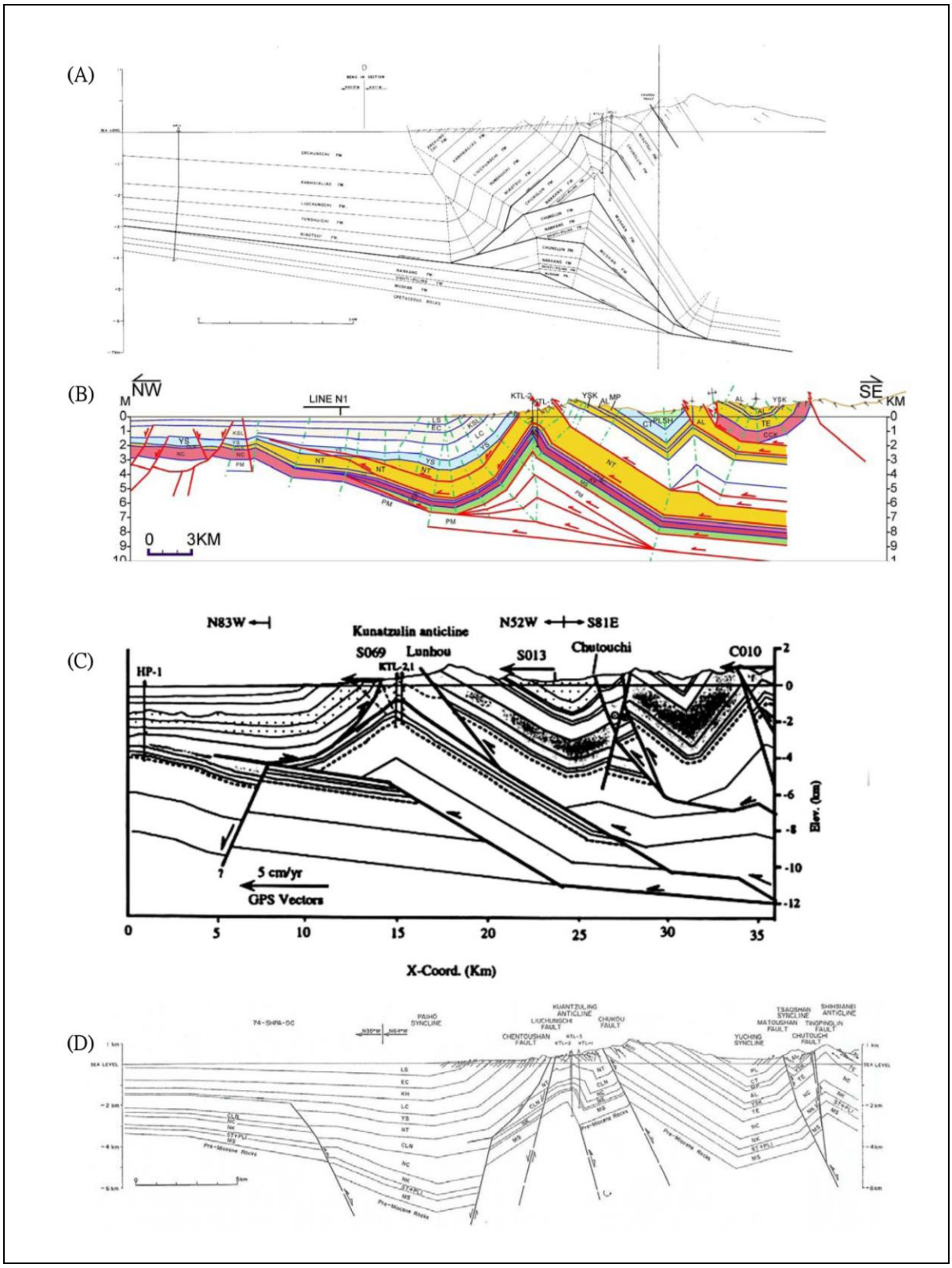


圖 1.29、木屐寮至關子嶺地區地下構造。分別根據（A）Suppe （1980），（B）黃旭燦等（2004），（C）Hung et al. (1999)，（D）Chang et al. （1996）。

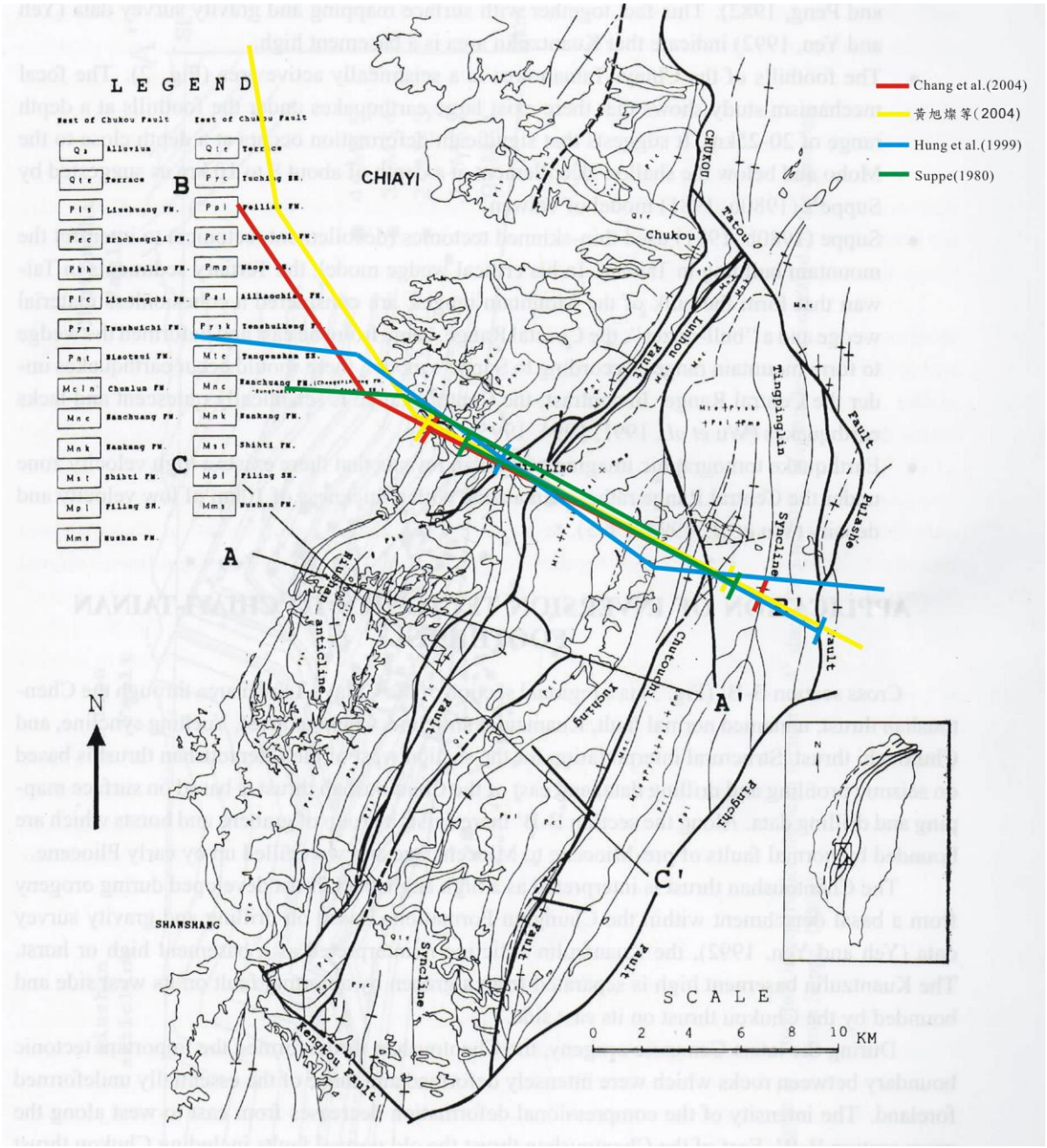


圖 1.30、木屐寮至關子嶺地區地下構造重力分析之剖面位置圖。Suppe，1980（綠色線），黃旭燦等，2004（黃色線），Hung et al，1999（藍色線），以及 Chang et al.，1996（紅色線），各重力分析剖面所選用的位置大致相同（各剖面兩個同色短線段中間的範圍）。

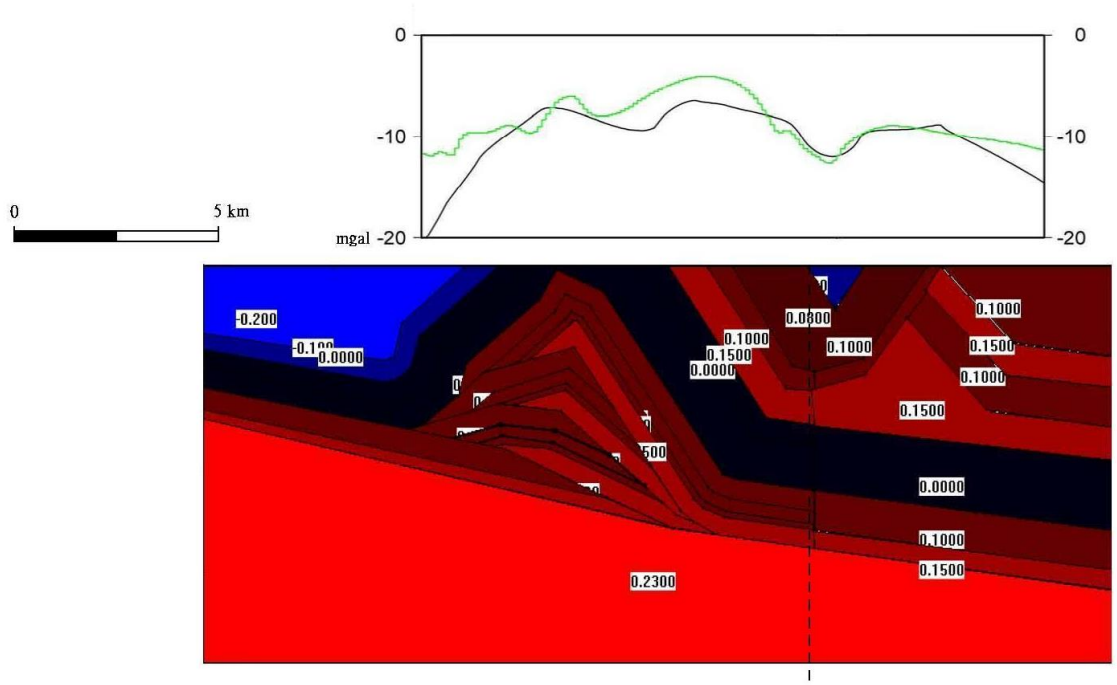


圖 1.31、木屐寮至關子嶺地區的觀測布蓋重力異常與根據 Suppe（1980）的構造模型所計算出的重力異常。上圖為觀測值（綠線）與計算值（黑線）的比較。下圖為根據 Suppe（1980）的構造模型所推估的地下密度構造，圖中數值代表相對平均密度 2.3 之密度對比。虛線以東為根據黃旭燦等（2004）所延伸的構造。

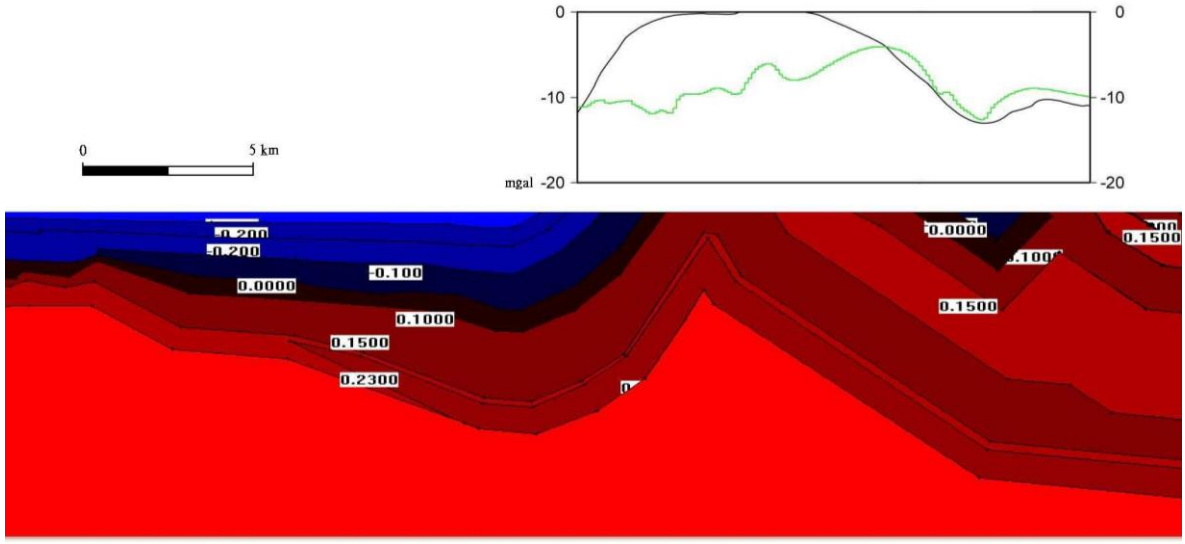


圖 1.32、木屐寮至關子嶺地區的觀測布蓋重力異常與根據黃旭燦等（2004）的構造模型所計算出的重力異常。上圖為觀測值（綠線）與計算值（黑線）的比較。下圖為根據黃旭燦等人（2004）的構造模型所推估的地下密度構造，圖中數值代表相對平均密度 2.3 之密度對比。

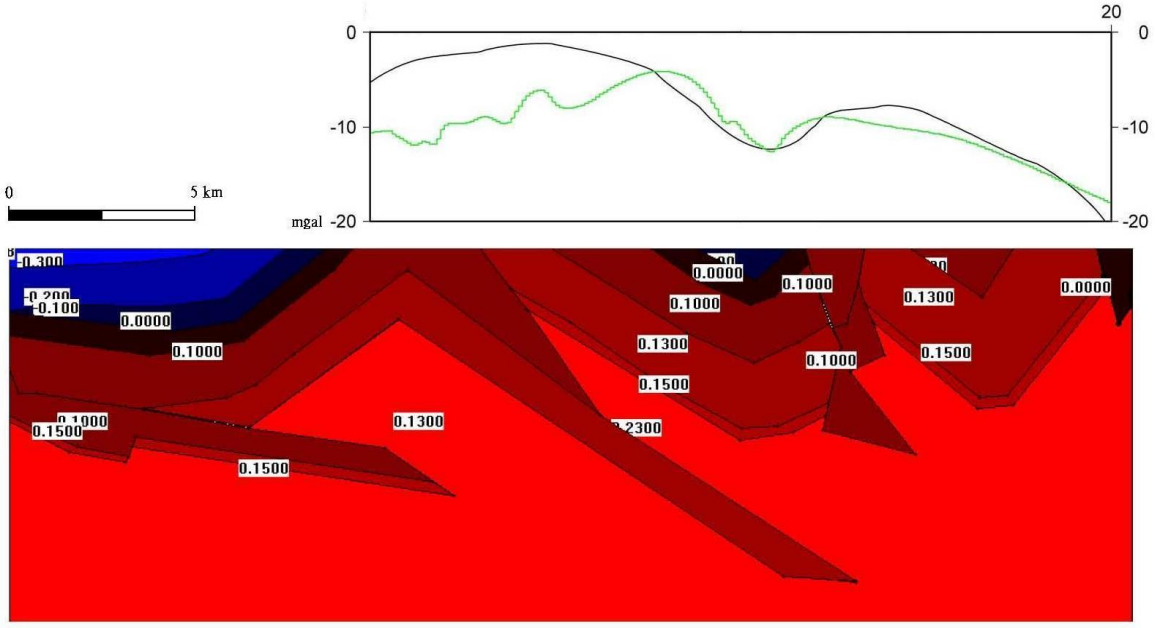


圖 1.33、木屐寮至關子嶺地區的觀測布蓋重力異常與根據 Hung et al.（1999）的構造模型所計算出的重力異常。上圖為觀測值（綠線）與計算值（黑線）的比較。下圖為根據 Hung et al. （1999）的構造模型所推估的地下密度構造，圖中數值代表相對平均密度 2.3 之密度對比。

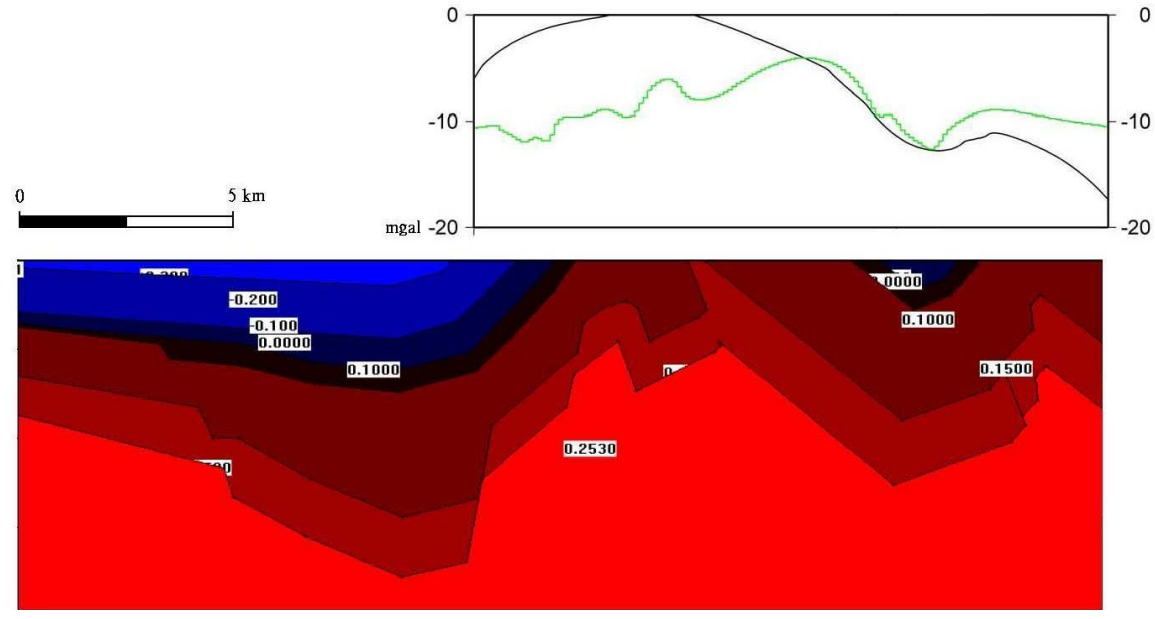


圖 1.34、木屐寮至關子嶺地區的觀測布蓋重力異常與根據 Chang et al.（2004）的構造模型所計算出的重力異常。上圖為觀測值（綠線）與計算值（黑線）的比較。下圖為根據 Chang et al. （2004）的構造模型所推估的地下密度構造，圖中數值代表相對平均密度 2.3 之密度對比。

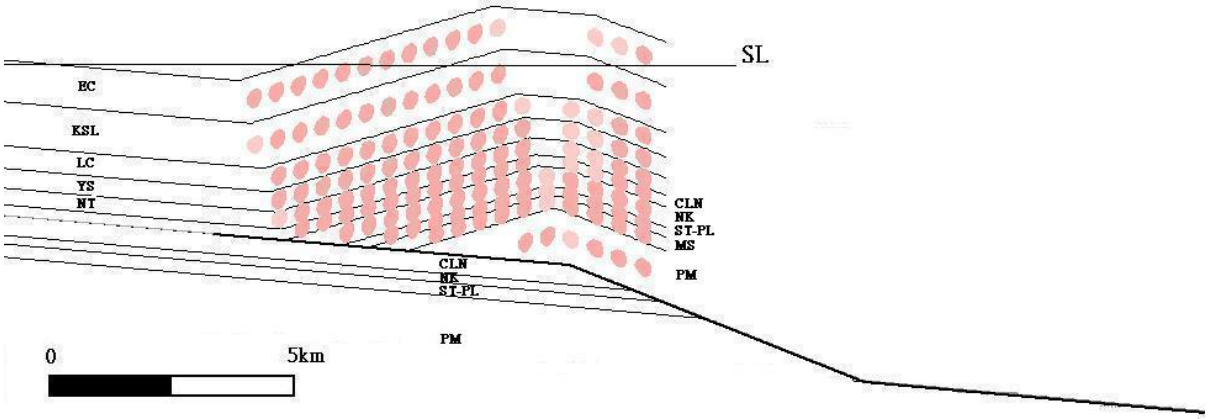


圖 1.35、木屐寮－關子嶺構造演化模擬：第一階段。在此階段，斷層由先中新世地層內向上爬升至中崙層內部，並在今日關子嶺背斜處形成斷層彎曲褶皺。圖中地層 EC 為二重溪層、KSL 為崁下寮層、LC 為六重溪層、YS 為沄水層、NT 為鳥嘴層、CLN 為中崙層、ST-PL 為石底-碧靈層、MS 為木山層，而 PM 為先中新世地層。紫色橢圓為應變橢圓。

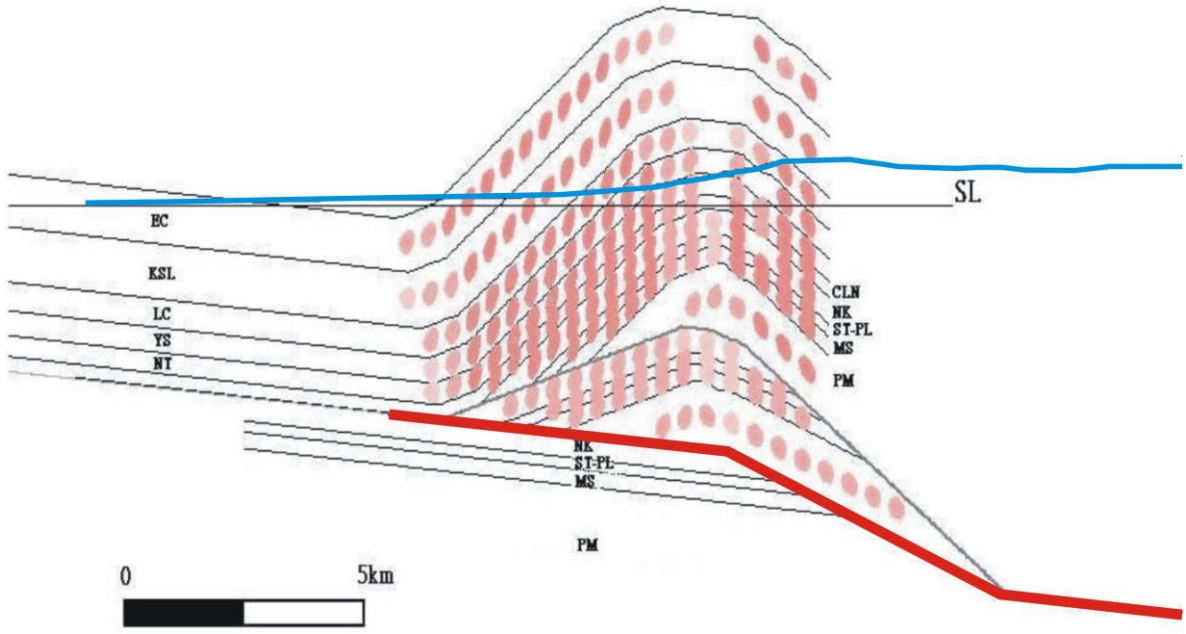


圖 1.36、木屐寮－關子嶺構造演化模擬：第二階段。在原斷層彎曲褶皺上發育出疊置斷塊構造。木屐寮線形可能為背斜西翼的向斜所形成的褶皺崖地形。圖中紅色線為斷層線，藍色線為地形面。註：關子嶺背斜東側構造並未被模擬。

（五）節要

從深部地下構造影像中可以見到木屐寮線形在東山地區呈現的圓弧形褶皺構造，該構造為關子嶺背斜的西翼。從淺層震測測線 08P-MCLF-BH-1 之同中點重合剖面中可看以出本剖面西北側地層的連續性極佳，並且地層以低角度往東南方，而剖面中 CDP330 處出現高角度斷層，斷層東南側地層經擠壓抬升且較西北側地層信號混亂，但大致仍可以於整個剖面中見到地層往東南方抬昇，且越往東南方抬昇越大，但信號漸不明顯。測線 08P-MCLF-BH-2 之同中點重合剖面中，連續性地層由西北方以水平狀往東南逐漸向上升，可以見到一向上彎曲的向斜，越往東南震測影像漸不清楚，但並無斷層穿越之現象。

木屐寮斷層由淺層震測及中油震測剖面結果皆顯示為一向斜變形所致，地形上木屐寮斷層有極好的線性構造。由於此向斜為一寬廣圓弧形，下盤亦有抬升，目前在木屐寮線形西側部份地區尚保留此地形面因此反應地層的抬升。本研究在木屐寮線形西側進行了六重溪 1 號及 2 號地質鑽探，目前認為主要受控於沈積環境的變化而造成兩孔岩性難以對比。關子嶺背斜為疊置斷塊構造所發育出的褶皺構造，木屐寮線形較可能為背斜西翼的向斜變形所形成的褶皺崖地形。圖 1.37 為跨越疑似木屐寮線形兩側之構造剖面，剖面中木屐寮斷層可能不存在，而疑似木屐寮斷層造成之線形較可能為關子嶺背斜西翼的向斜構造所致。

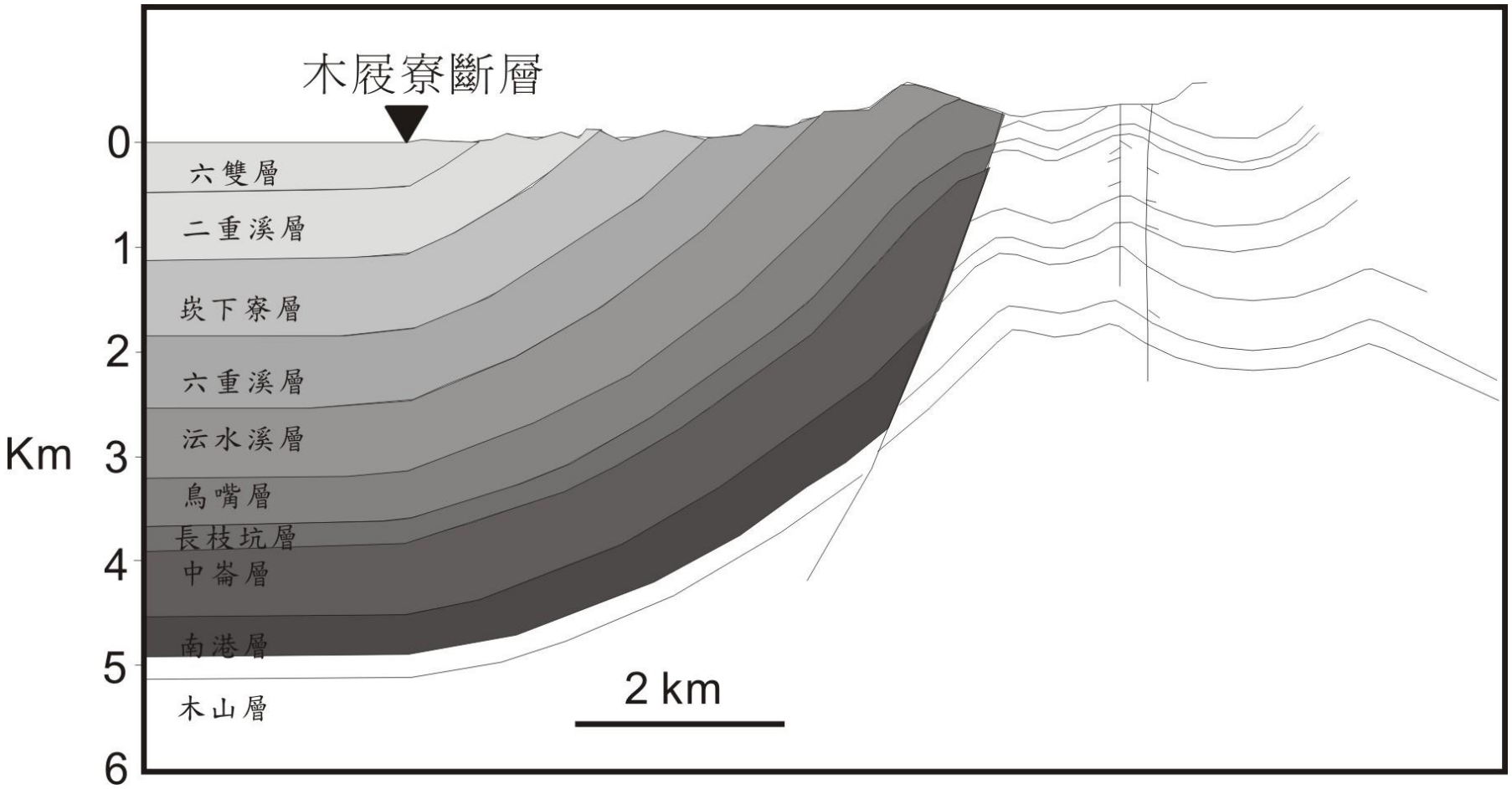


圖1.37、跨越疑似木屐寮線形兩側之構造剖面。疑似木屐寮斷層造成之線形可能為背斜西翼的向斜構造所形成的褶皺崖地形。

二、六甲斷層：

六甲斷層位於木屐寮斷層的南方，呈北北東轉南北走向，由台南縣白河頭崎內的六重溪南岸向南延伸至台南縣官田鄉社子 (圖1.1)，長約21公里，為逆移斷層（石再添等，1986；張徽正等，1998；林啟文等，2000a、2007；楊志成等，2005）。六甲斷層經確認截切更新世晚期地層，且在地下淺部截切全新世地層，目前被暫列為第一類活動斷層。

六甲斷層亦同木屐寮斷層位於丘陸與平原的交接帶，地勢東高西低，丘陵區西緣為古沖積扇，構造特性與木屐寮斷層類似，在麓山帶前緣形成一南北走向的斷層線形崖。六甲斷層上盤出露的地層包括六重溪層、崁下寮層、二重溪層與六雙層。六重溪層以暗灰色細至中粒泥質砂岩及粉砂質泥岩為主；崁下寮層主要由暗灰色泥岩所組成；二重溪層以灰色砂質泥岩與泥質砂岩為主；六雙層下段為棕黃色砂岩和厚層泥岩，上段以棕黃色砂岩為主（林啟文等，2007）（圖2.1）。斷層上盤為牛山背斜，斷層西側為以礫石、砂與泥為主的階地堆積層零星分布，平原區則覆蓋亦以礫石、砂與泥為主的沖積層。

石再添等（1986）由航照判釋嘉義丘陵西緣一向西凸出的穹隆狀線形崖，由崖兩側全新世地層的變動，研判六甲斷層的可能存在。在數值地形圖及衛星遙測影像上，從六重溪南岸的山腳附近往南至烏山頭附近，六甲斷層亦呈現明顯向西方凸出的弧形，區隔了丘陵區與海岸平原區，地勢高差約數十公尺。沈淑敏等（2006）亦由航照判釋發現六甲斷層跡沿山麓線的谷口有斷層崖或撓曲崖，崖高5-10公尺。楊志成等（2005）在東山鄉東方約3公里處的莿桐崎，發現一個已傾動的全新世海相沉積層，不整合於下伏的六雙層。其中海相沉積層以及平原區鑽井紀錄，研判約海相沉積層曾經覆蓋且侵蝕六甲線崖，且全新世緊鄰線崖處為一近海河口相的沉積環境，河流沉積物覆蓋於線崖西側，而後沉積物向西加積，海水面退至現今位置。由於海水曾經覆蓋且侵蝕向西高角度傾斜的六雙層，六甲斷層呈現直線狀崖特徵。

中油公司在牛山背斜軸部，於深度約3,350公尺處鑽遇一傾角約43°的斷面（Hu and Sheen, 1989），斷坡大致以30°-45°的傾角向西逆衝到地表，而斷坪則約位於地下4-5公里處，不對稱的牛山背斜的發育可能與六甲斷層的發展有關。楊志成等（2005）與陳文山等（2006）受地質調查所委託在六甲斷層的莿桐崎附近進行了4口淺層鑽井，皆鑽遇斷層帶，研判斷層面傾角為30度，顯示斷層尖端已甚為接近地表，但六甲斷層可能尚未穿出地表，而斷層的形成方式可能是沿著向斜軸部發育的逆移斷。此外其西側存在新營盲

斷層，六甲斷層新營斷層的滑脫面向東可與六甲斷層的斷坪連接。

楊志成等(2005)分析了斷層上下盤岩層對比與定年，顯示斷層上盤相對下盤的長期滑移速率，其抬升速率為5.5公厘/年，而相對水平滑移速率約11公厘/年。陳文山等(2006)另整合野外露頭、鑽井及定年資料，估計六甲斷層的長期滑移速率；其中，於六甲斷層可能的斷層線跡，其東側相對西側的平均垂直錯移速率為3.0± 0.03公厘/年，而於斷層線跡西方約300公尺的線形，其相對平均垂直位移速率為3.3 ±0.03公厘/年。由於上述線形與六甲斷層跡距離僅約300公尺，可能為六甲斷層的分支斷層，若合計，六甲斷層的長期垂直滑移速率約為6.3±0.06公厘/年，由斷層面傾角約30度計算，其長期水平滑移速率約為12.7公厘/年。

而依據饒瑞鈞等（2006）接受地質調查所委託進行的地殼變形監測結果顯示，六甲斷層兩側水平位移於2003-2004年間均向西南位移約10-20公厘，上盤相對下盤的位移量差約5公厘/年。但綜合2002-2008年的結果(饒瑞鈞等，2008)，橫跨六甲斷層的速度場變化量，平行斷層走向的分量為-2.0公厘/年，呈右移形式；而垂直斷層走向的分量為2.3公厘/年，呈壓縮形式，高程方向抬升量為9.3公厘/年。

六甲地形崖出現在牛山背斜的西翼，也是存疑的六甲斷層崖。對於六甲斷層的看法，至今仍相當分歧；Suppe（1980）認為牛山背斜是由地下深處一系列的疊置構造（duplex）所構成，並無六甲斷層在此發育；黃旭燦等（2004）則認牛山背斜式單純的滑離褶皺（detachment fold），因此也不認為有六甲斷層存在；Chang et al.（1996）同樣的不認為有六甲斷層存在，不過他們認為牛山背斜為早期的地壘構造（horst）上發育出的背斜構造而非壓縮褶皺。但Mouthereau et al.（2001）則認為六甲斷層確實存在，而且是由早期的正斷層反轉的逆斷層；洪日豪等（Hung et al., 1999）則認為六甲斷層是一條未出露的逆衝盲斷層。由於中油公司在牛山背斜底下約3,350公尺處鑽遇斷層，因此Suppe（1980）、黃旭燦等（2004）與Chang et al.（1996）的構造模型有修正的必要。



圖2.1、六甲斷層條帶地質圖（林啟文等，2007）。

（一）深部地下構造分析

六甲斷層一帶，本計畫所使用之區域性地下構造剖面分佈、淺層震測測線與相關之地質鑽井位置見於圖2.2中。其中，區域地下構造剖面共有中油公司之7條剖面，各剖面及其解釋分別見於圖2.3至圖2.9之中。圖2.3為測線LAA’之1比1同中點重合剖面及解釋剖面，剖面中六甲斷層下盤地層在接近疑似斷層處開始向上拱起，顯然受到斷層發育的影響，但斷層上盤則缺乏明顯的反射信號。此乃因牛山背斜的西翼極為陡峭，傾角可超過70度，翼寬也僅約數公里，因此無法由此震測剖面判斷斷層的所在位置。牛山背斜的東翼則較緩，傾角約在30-40度之間。圖2.4為測線BB’之1比1同中點重合剖面及解釋剖面，剖面中六甲斷層下盤地層在接近疑似斷層處開始向上拱起，幅度與範圍均較北段的LA-A’剖面為大，但斷層上盤牛山背斜的西翼依然缺乏明顯的反射訊號，且西翼寬度略微增大。圖2.5為測線CC’之1比1同中點重合剖面及解釋剖面，此剖面切過六甲線形崖，可發現地層向東逐漸抬升，但未見明顯斷層錯動。圖2.6為測線DD’之1比1同中點重合剖面及解釋剖面，此剖面亦切過六甲線形崖，接近台南藝術大學北側，六甲線形崖顯然與地層在此處向東拱起有關，但依然未見明顯斷層錯動。圖2.7為測線EE’之1比1同中點重合剖面及解釋剖面，此剖面位於接近台南藝術大學南側，此處的牛山背斜西翼以不再如北段般的陡峭，傾角約在30度附近，在其向斜軸軸部，出現疑似地層不連續的訊號，但還有待進一步確認。圖2.8為測線FF’之1比1解釋剖面，此剖面為南北向，通過牛山背斜北段的震測剖面，圖中牛山背斜在此向北與向南傾沒，顯示牛山背斜褶皺的強度並非均一。圖2.9為測線GG’之1比1同中點重合剖面及解釋剖面，此剖面為南北向、平行六甲線形崖南段的震測剖面。線形崖東側地層在此向南微微抬升。

比較木屐寮線形與六甲線形可發現，木屐寮線形發育在一寬廣關子嶺背斜西翼的前緣，關子嶺背斜兩翼較為對稱，這與牛山背斜兩翼極端不對稱的構造有極大的區別，而且這兩個線形崖連接處也出現明顯的轉折。雖然在地表地質並未顯示任何橫移構造截切這兩條線形構造，但它們在深部構造很可能並不相同，至於為何會發生這樣的轉變，仍有待進一步釐清。

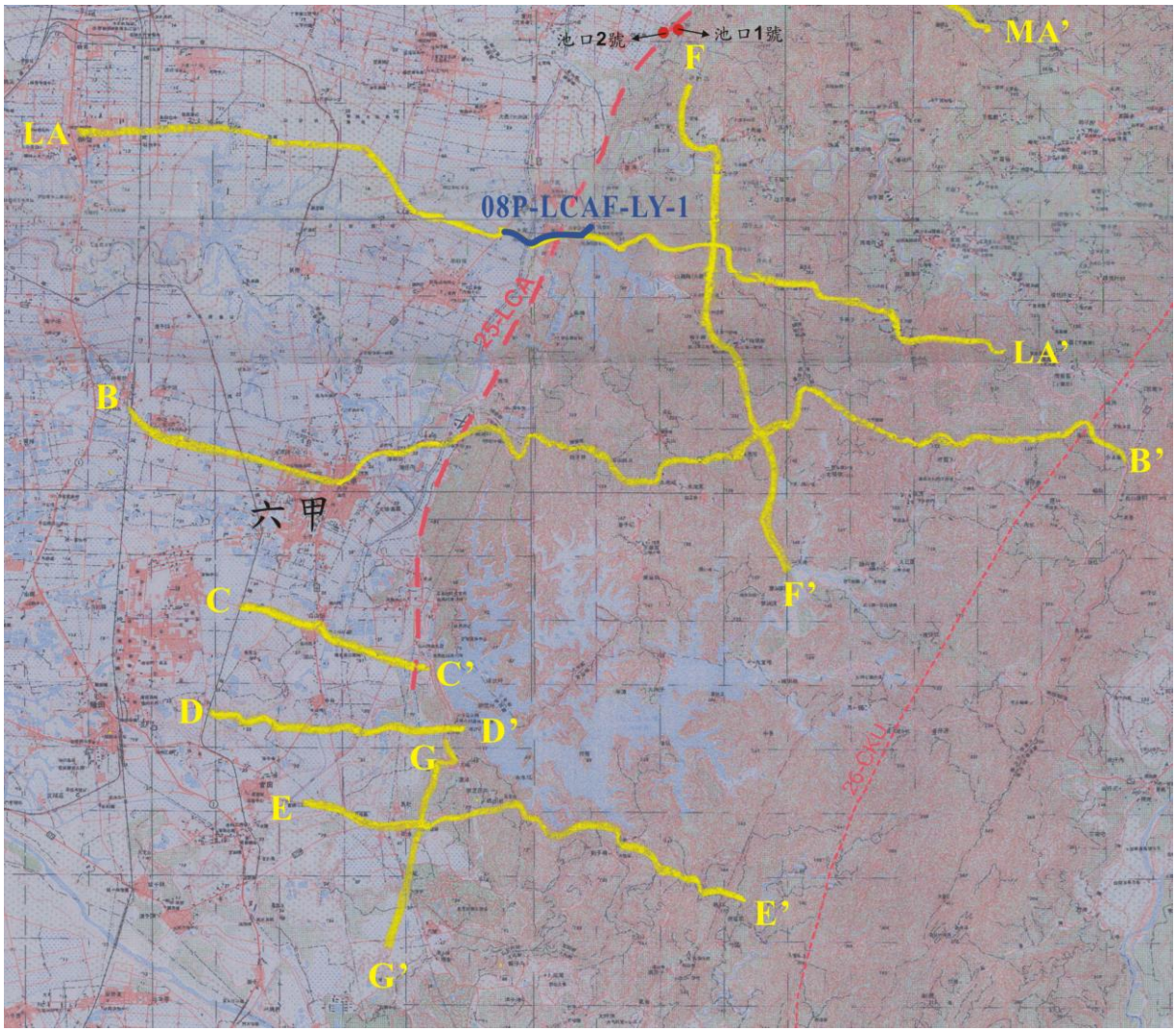
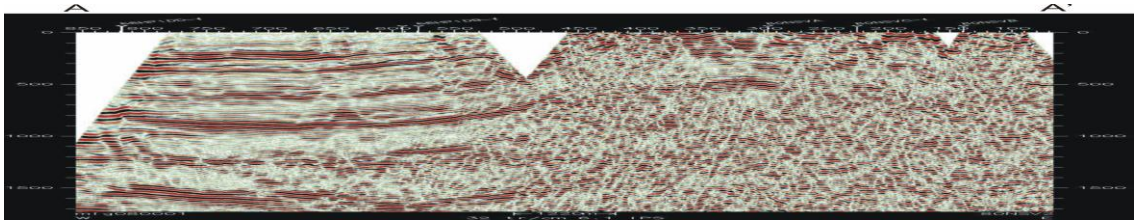
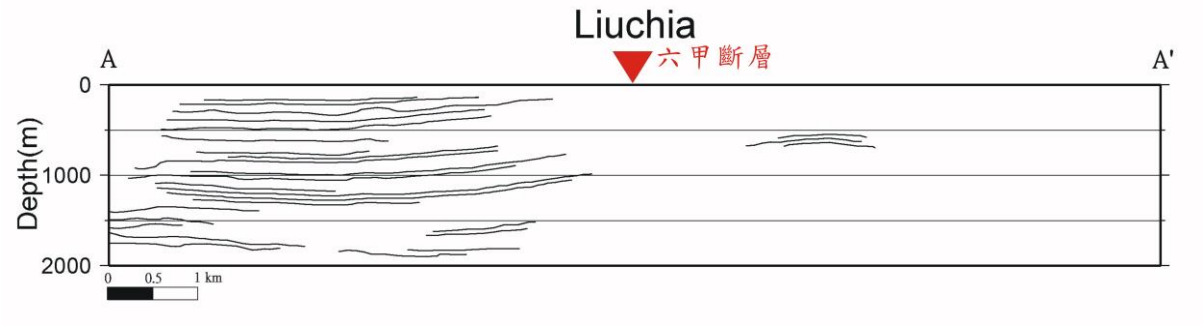


圖2.2、測線08P-LCAF-LY-1於1/25,000地形圖中配置位置（藍色實線），而紅色虛線為六甲斷層可能通過位置。

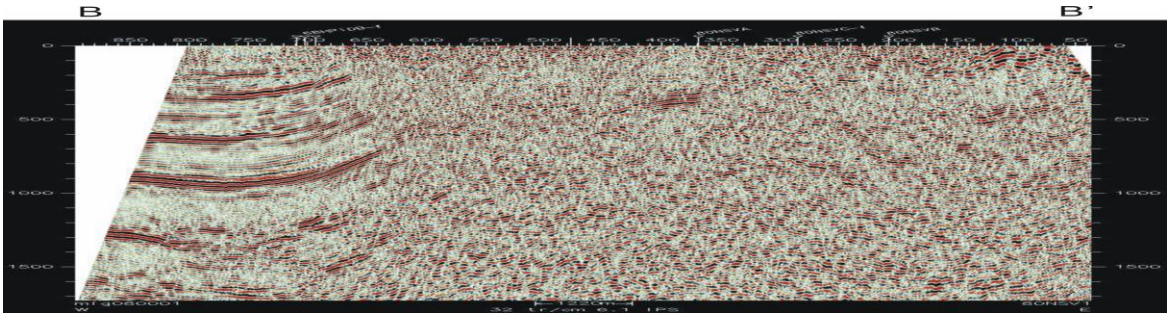


a

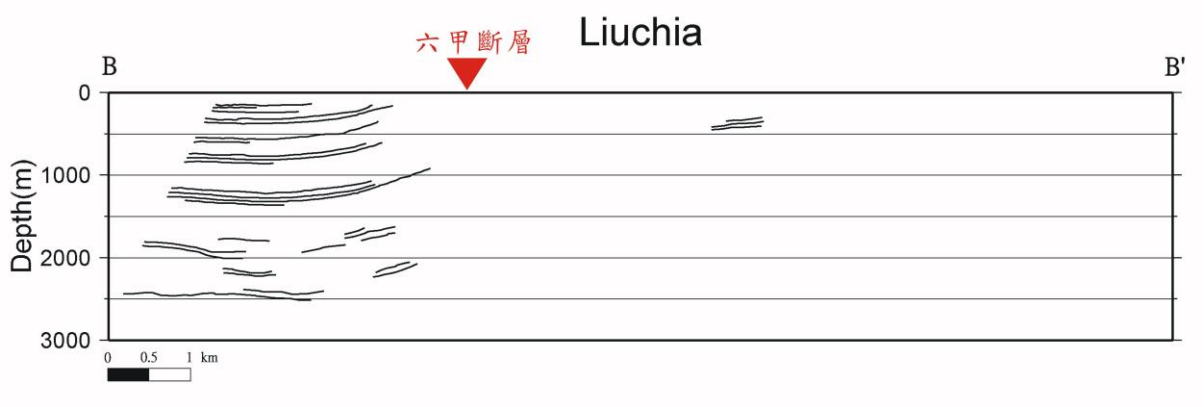


b

圖2.3、測線LAA'之1比1影像（中油公司）(a)及解釋剖面(b)。六甲斷層下盤地層在接近疑似斷層處開始向上拱起，但斷層上盤則缺乏明顯的反射訊號。牛山背斜的西翼極為陡峭，翼寬也僅約數公里，因此無法由此震測剖面判斷斷層的所在位置。

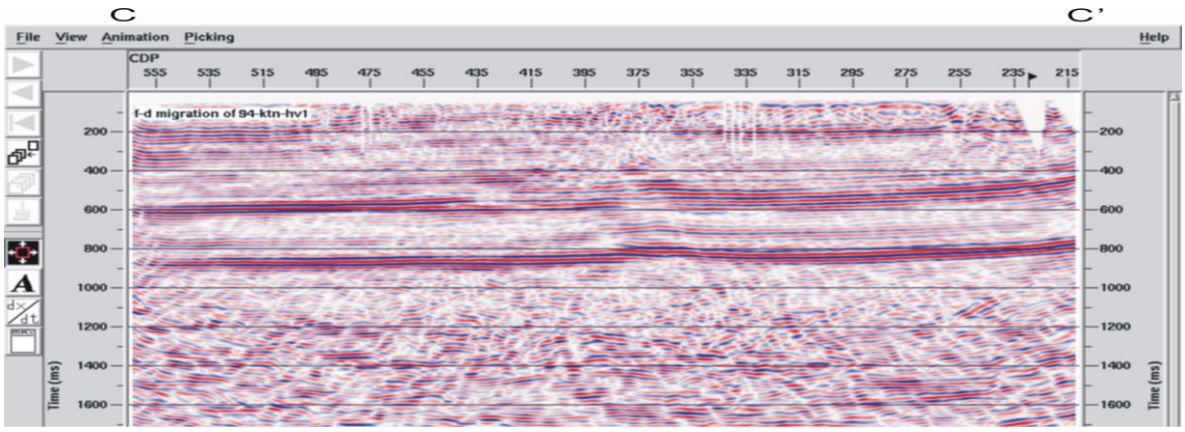


a

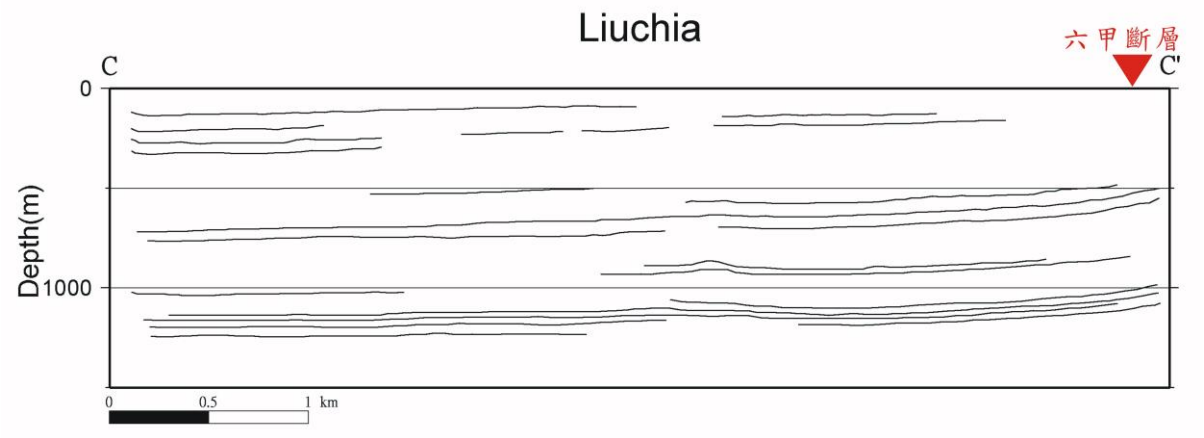


b

圖2.4、測線BB’之1比1影像（中油公司）(a)及解釋剖面(b)，剖面中六甲斷層下盤地層在接近疑似斷層處開始向上拱起幅度與範圍均較北段的LA-A’剖面為大，但斷層上盤牛山背斜的西翼依然缺乏明顯的反射訊號。

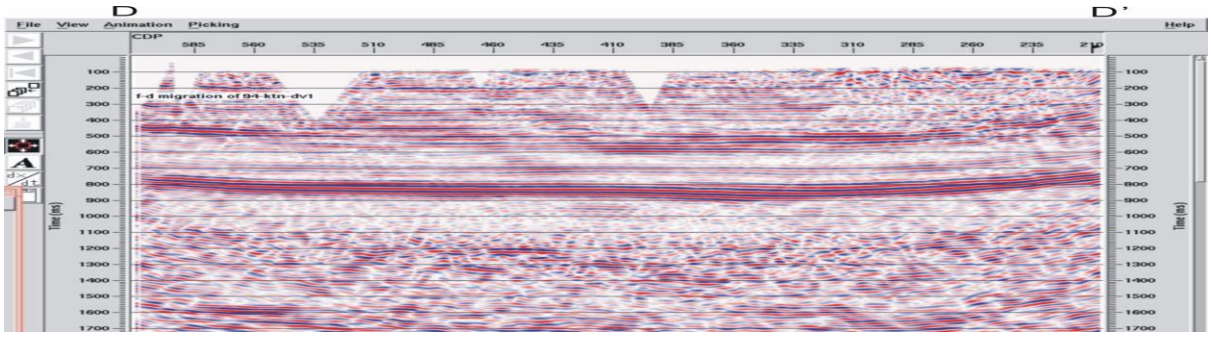


a

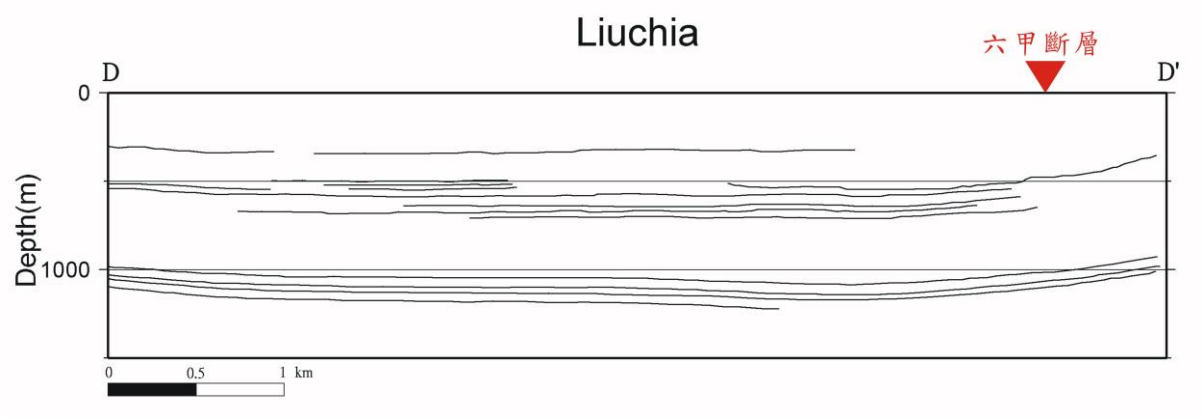


b

圖2.5、測線CC'之1比1影像（中油公司）(a)及解釋剖面(b)，此剖面切過六甲線形崖，可發現地層向東逐漸抬升，但未見明顯斷層錯動。

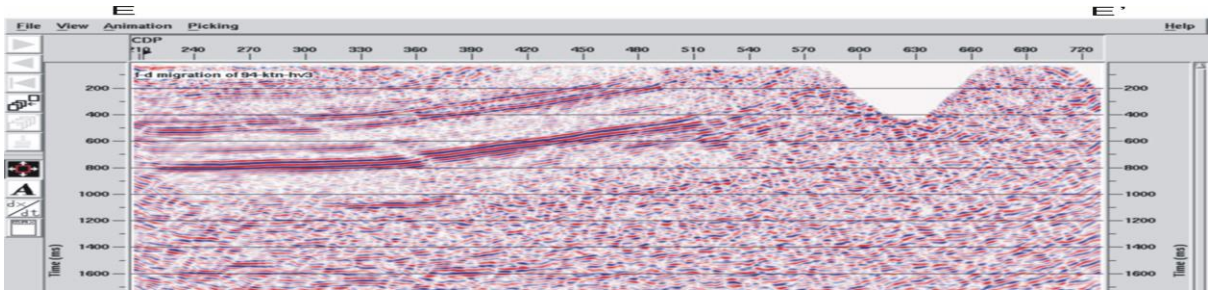


a

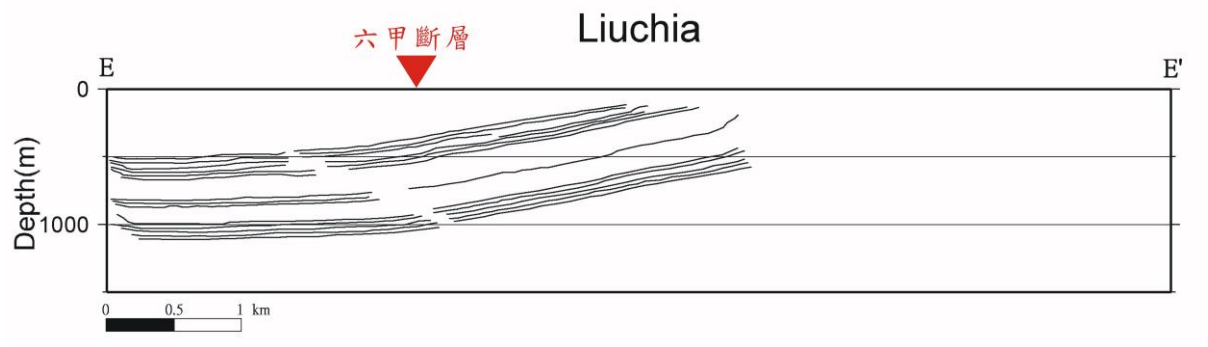


b

圖2.6、測線DD’之1比1影像（中油公司）(a)及解釋剖面(b)，此剖面亦切過六甲線形崖，接近台南藝術大學北側，六甲線形崖顯然與地層在此處向東拱起有關，但依然未見明顯斷層錯動。



a



b

圖2.7、測線EE'之1比1影像（中油公司）(a)及解釋剖面(b)，此剖面位於接近台南藝術大學南側，此處的牛山背斜西翼以不再如北段般的陡峭，傾角約在30度附近。在向斜軸軸部，出現疑似地層不連續的訊號，但還有待進一步確認。

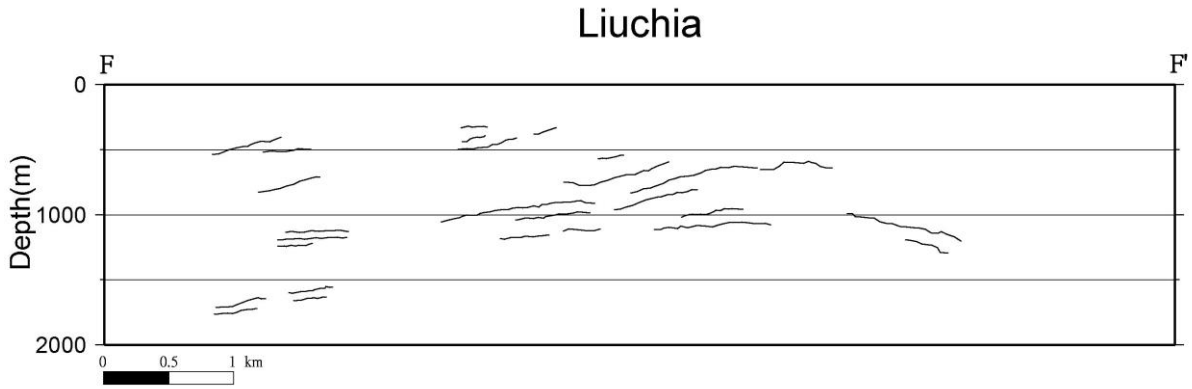
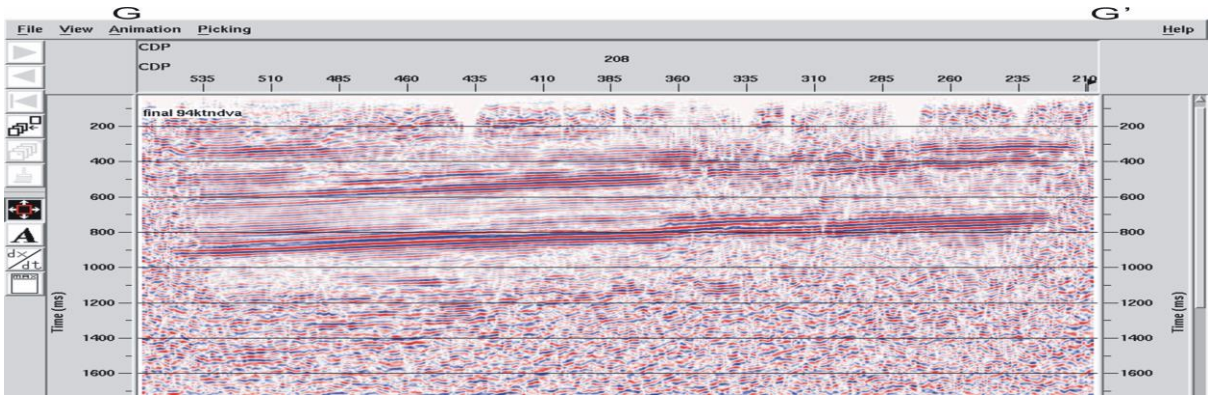
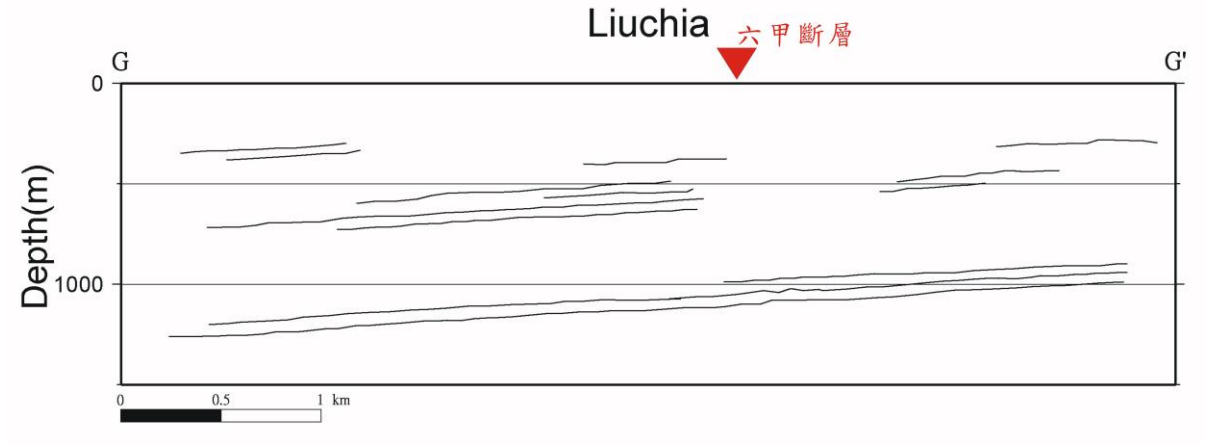


圖2.8、測線FF'之1比1解釋剖面，此剖面為南北向通過牛山背斜北段的震測剖面。牛山背斜在此向北與向南傾沒，顯示牛山背斜褶皺的程度並非均一。



a



b

圖2.9、測線GG'之1比1影像（中油公司）(a)及解釋剖面(b)，此剖面為南北向、平行六甲線形崖南段的震測剖面。線形崖東側地層在此向南微微抬升。

（二）淺層震波測勘

本研究於六甲斷層沿線實施了一條長 1,473 公尺的淺層震測測線，該測線位於六甲斷層北邊之新吉庄南邊，沿著南 106 鄉道施測。石再添等(1986)曾在六甲東方的檨仔腳與果毅東方的新吉庄發現六雙層向西引曳的構造，岩層向西傾斜 50-90 度，本測線即設計跨越上述地形崖，同時，本測線也可彌補中油公司之深部構造剖面 LAA’於跨越新吉庄時因跳炸而所產生的影像缺口。這條測線之配置位置分別見於圖 1.3 以及圖 2.2 之中。

1、六甲斷層柳營測線（測線編號：08P-LCAF-LY-1）

測線08P-LCAF-LY-1位於台南柳營鄉尖山埤水庫西北側，沿鄉道南107進行施測，剖面長度1,473公尺。圖2.2為測線08P-LCAF-LY-1於1/25,000地形圖中的配置位置，呈西-東走向沿蜿蜒道路擺設，本測線東側與西側端點之高差約17公尺。圖2.10a與b為分別為沿測線08P-LCAF-LY-1往西及往東方望之地表現況。

測線08P-LCAF-LY-1於施測時採用撞擊式震源（JMS-MINI65）由西往東方向推進，延測線96個受波器組之間距為5公尺，而每組受波器皆使用3個40 Hz受波器並聯排列，每個受波器之間距為1公尺。測線之最小近支距為5公尺，而炸點間距為10公尺，各炸點平均撞擊約40次，重合剖面之平均重合數為24重合。表2.1中所列為測線08P-LCAF-LY-1所使用之震測參數。

圖2.11a為測線08P-LCAF-LY-1沿線之3個代表性之野外測點紀錄，圖中遠支距波線由100到500毫秒間可以清楚看出明顯的反射信號，而紀錄中左下方為強烈的地滾波雜訊。這些地滾波在適當的濾波後可以被濾除，圖2.11b則為經過濾後的測點紀錄，低頻地滾波已大致被濾除，反射信號可穿透至800毫秒的深度。

本測線之基本資料處理流程見於圖1.9中。雖然本測線之地表面高低起伏不大，但由原始測點資料的震波走時異常估計，近地表處的風化層效應造成震波訊號到達地面時間不一致，本測線於進行資料處理時風化層效應亦為重要的修正項目。

圖2.12a為測線08P-LCAF-LY-1之震測資料經處理後之24重合同中點重合剖面，剖面中西半部可以看到連續性極佳的地層，可見深度約達800毫秒，並於較西側出現明顯的繞射信號，這常為斷層的重要指標。剖面中越往東反射信號越不清楚。圖2.12b為測線08P-LCAF-LY-1之解釋剖面，剖面中西側高角度斷層通過的位置以紅色線條表示，斷

層兩側地層落差不大。上述斷層在中油公司剖面LAA’也可以發現。剖面中間偏右處可以見到地層往東上升，由較深部的地層可以發現越往東邊傾角越大，但在較淺處則因為地層傾角過大，超越測線展距所能涵蓋的範圍而變不清楚。圖2.12中重合剖面所使用的重合速度分佈如2.13圖所示。重合速度先經轉換至區間速度，再作為時間剖面轉換至深度之依據。

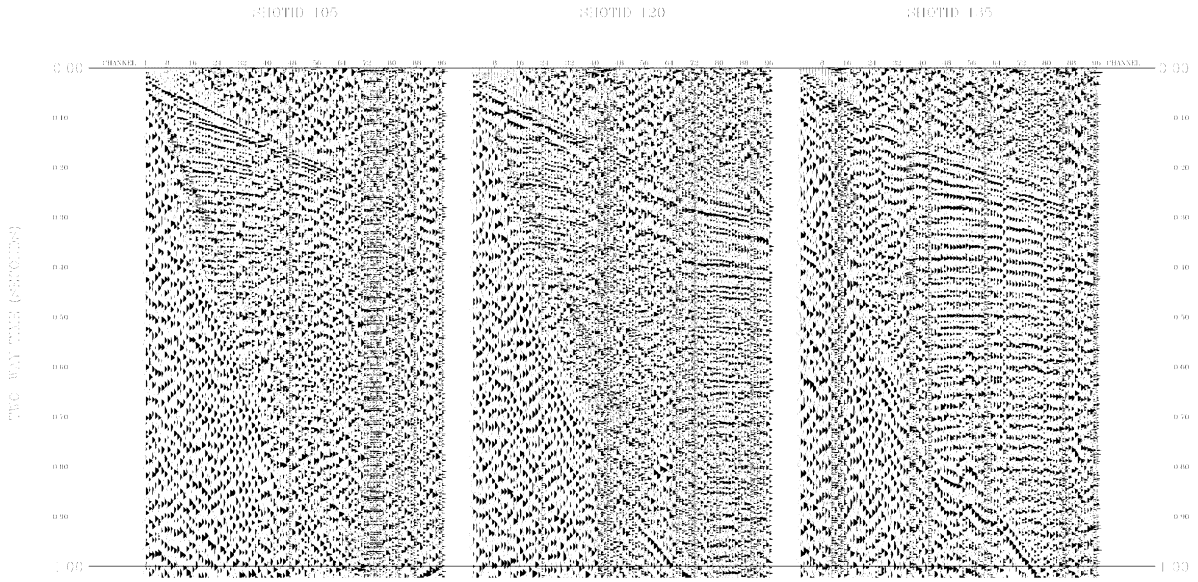


a b

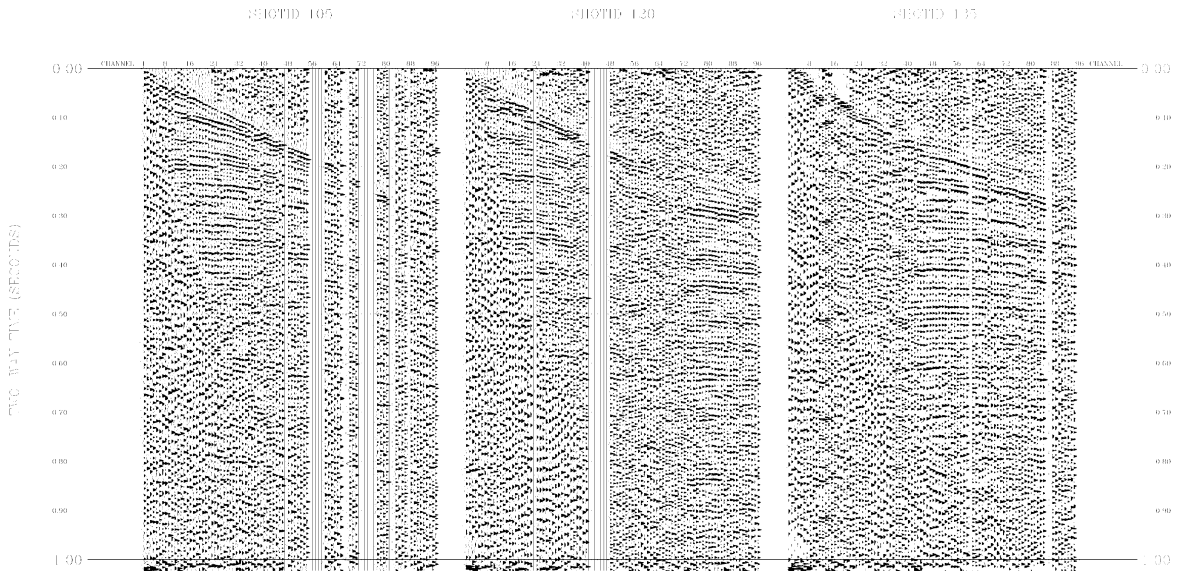
圖2.10、沿測線08P-LCAF-LY-1往西(a)及往東望(b)之地表現況。

表 2.1 測線 08P-LCAF-LY-1 之震測施測參數表

測線名稱	08P-LCAF-LY-1
測線位置	台南柳營鄉新吉庄
震源	JMS-mini 65
接收波道（個）	96
受波器陣列間距（m）	5
每組受波器個數（個）	3
每組受波器內個別間距（m）	1
受波器種類	40Hz垂直式
最小近支距（m）	5
最大遠支距（m）	480
炸點間距（m）	10
震源撞擊次數（次）	40
取樣間隔（ms）	0.5
記錄時間（sec）	1.024
最大重合數	24
測線總長（m）	1473
測線走向	西→東
測線曲直性	蜿蜒

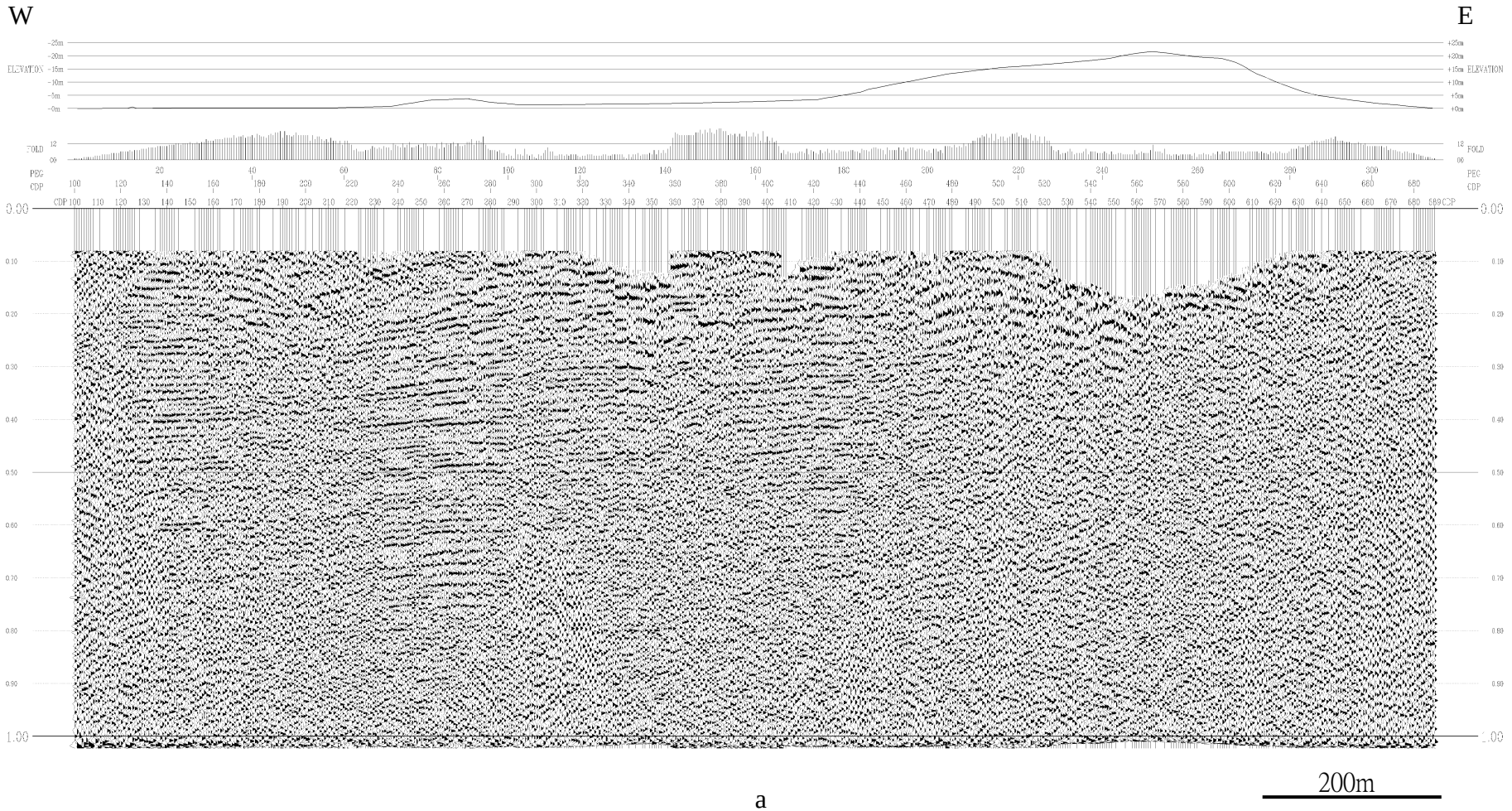


a



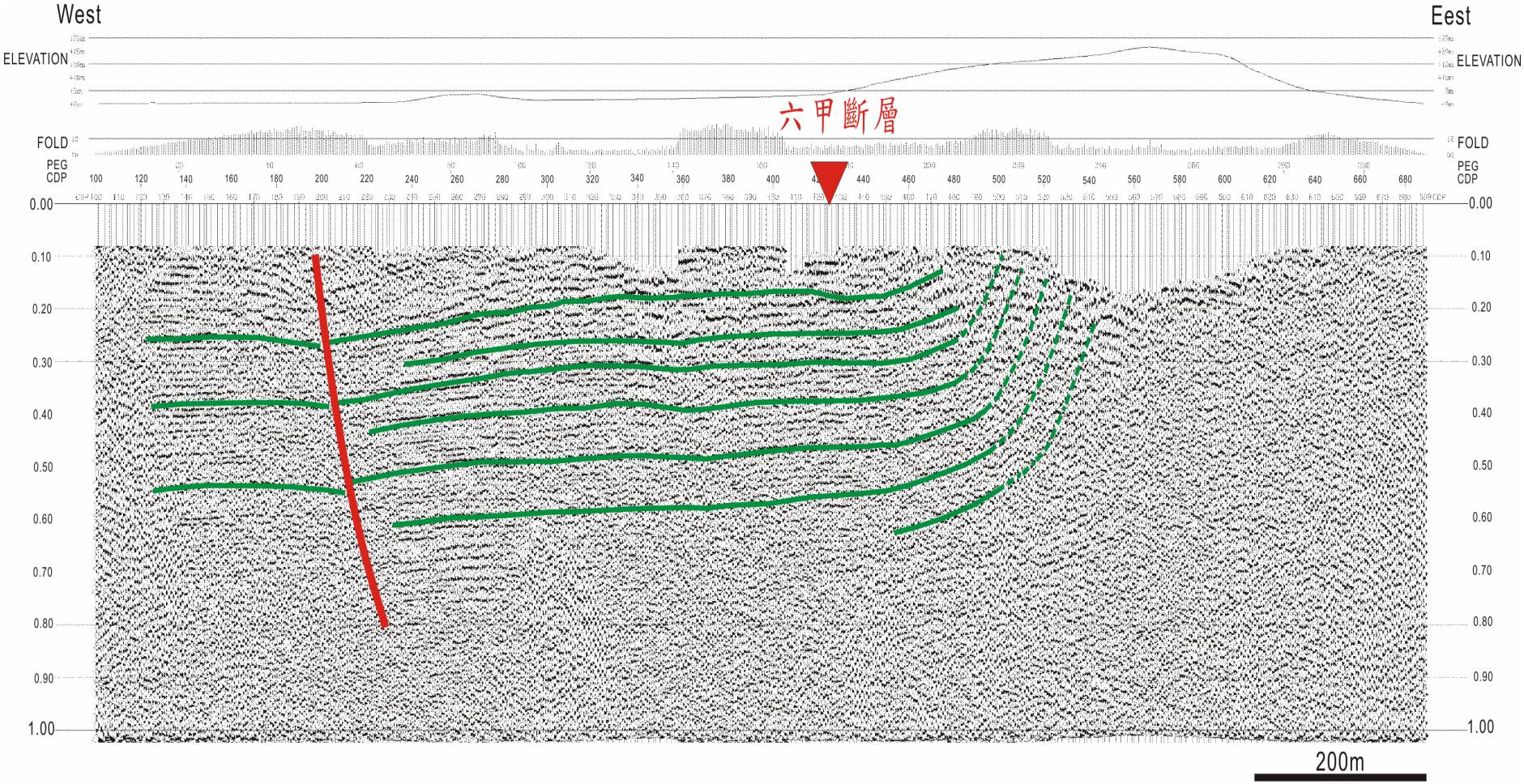
b

圖2.11、a. 測線08P-LCAF-LY-1沿線之3個代表性測點紀錄圖，圖中紀100到500毫秒間可以看出明顯的反射信號，而紀錄中左下方為地滾波。b. 測點記錄經過濾除低頻地滾波，信號至800毫秒仍清楚可見。



a

圖2.12a、測線08P-LCAF-LY-1之24重合同中點重合剖面。圖中地層連續性極佳，可見深度約達800毫秒。剖面中間偏西側並有明顯的繞射信號出現。



b

圖2.12b、為測線08P-LCAF-LY-1之解釋，斷層通過的位置以紅色線條表示。剖面中間偏又處可以見到地層往東上升，由較深部的地層可以發現越往東邊傾角越大。

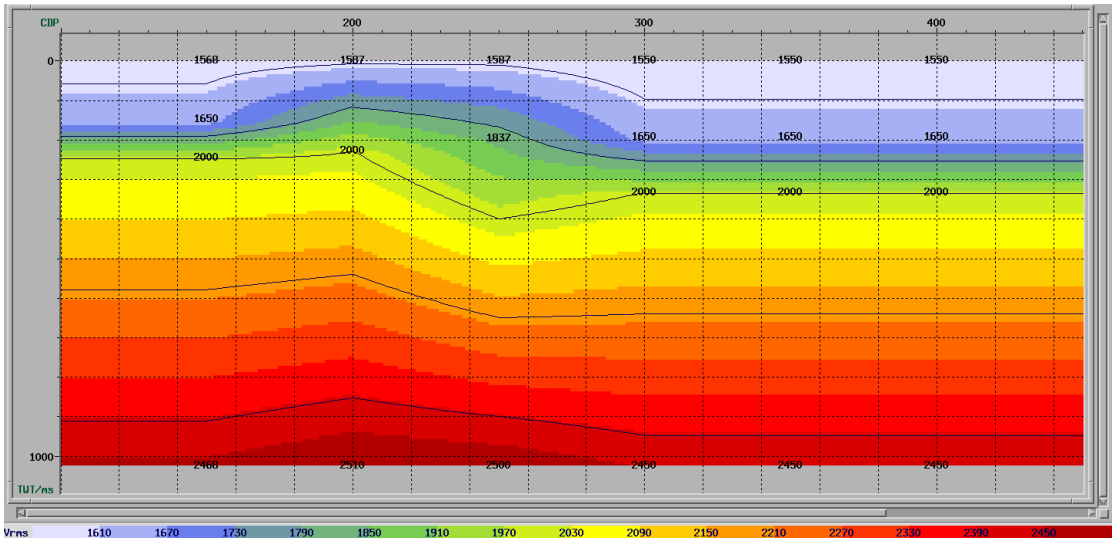


圖2.13、剖面08P-LCAF-LY-1之重合速度分佈。

（三）地表及井下地質調查

六甲斷層呈北北東轉南北走向（Sun, 1971；石再添等， 1986；張徽正等，1998；林啟文等，2000a、2000b；楊志成等，2005），為牛山背斜的前翼變形所致(圖2.14)。由牛山背斜軸上的鑽探顯示其深部有斷層發育（Hu and Sheen, 1989），但對於斷層是否切穿地表則較有爭議。最近在薊桐崎附近的鑽探顯示（圖2.15）斷層切穿地表（楊志成等，2005），但薊桐崎恰位於木屐寮斷層與六甲斷層交界處，對於薊桐崎地區的構造究竟為木屐寮斷層或六甲斷層，或者兩者之間的調適構造仍有疑義。為釐清此一特性，本研究在薊桐崎南側位於六甲斷層上盤與下盤進行鑽探，此處地形崖跡明顯(圖2.16)，且為牛山背斜位移量最大之處。這兩口井的編號分別為池口1號井與二號井。

1、池口1號井

池口1號井位於六甲斷層上盤，深度200公尺，其地層岩性大致如表2.2所示，而詳細井錄見於附錄3。井中岩芯顯示在0-51公尺處大致為由中砂至粗砂為主的陸相地層所組成，岩層傾角約40-50度，在砂岩中常見高傾角地層，研判為交錯層，而在淺部多處含有小規模斷層，如5.7-6.7公尺處、28-28.5公尺、31.6-32.7公尺、34-34.2公尺、35.75公尺以及37公尺處（圖2.17），斷層傾角大多在30-60度之間，5.1-9.3公尺處之砂岩層中夾礫岩層(圖2.18)，此礫石層在旁邊的露頭中亦可見，0-57公尺間之地層大多呈黃棕色地層，顯示為淺部氧化環境所沈積，而在51.6-57公尺處有礫岩層，此礫岩層中含貝殼碎

片（圖2.19）；57-82公尺之間以泥至細沙為主，地層為黃棕色，此地層中可以看見古土壤（圖2.20），在55公尺以下之岩層傾角約為10-15度（圖2.21），但在岩層傾角變化處未見斷層構造；82-100公尺之間以細砂到中砂為主，其中85-90公尺間夾有三層薄泥層，傾角為0-20度，而在91-95公尺間有高傾角之岩層，研判為交錯層，並有貝殼化石；100-144公尺處以泥到細砂、中砂所組成，部分為泥質砂或砂質泥，在129公尺處有一薄層礫石，層面傾角約為0-20度，而在105公尺則有與層面斜交的20度斷層面，於110及138公尺處有零碎的貝殼碎片，並夾有少許的碳；144-158公尺處為黃棕色泥至細砂岩層，與淺部57-77公尺同為古土壤環境，並含有珊瑚碎片；158-165公尺處為細砂到中砂組成，並夾有薄泥層、泥塊與碎石，傾角約-10度；165-200公尺處以泥至細砂為主，並有細砂與泥相混之海相地層，層面傾角約0-10度，並有零星的貝殼碎片與碳分佈。

表2.2池口1號井之岩芯岩性

深度	岩性	層面	破裂面
0-5公尺			
5-16.5公尺	中砂、粗砂、礫石層	~30	5.7~6.3公尺破裂帶；13.3-15.5公尺破裂帶
16.5-40.5公尺	細砂為主夾薄泥層	~30	33.5-37公尺破裂面；37.4-37.8公尺破裂面
40.5-51.5公尺	中至粗砂為主	~30-50	43.85公尺破裂面
51.5-56.5公尺	礫石層	25	
56.5-90公尺	泥至細砂層	10	
90-99公尺	細砂至中砂	0-10	
99-129.5公尺	泥至細砂層	0-20	
129.5-129.7公尺	礫石層	0-10	
129.7-139.5公尺	泥夾中砂層	0-10	
139.5-140.7公尺	粗砂層	0-10	
140.7-159公尺	泥夾中砂	0-10	
159-165公尺	中砂	0-10	
165-183公尺	泥與細砂互層	0-10	40度(174公尺)
183-200公尺	泥岩層	0-10	

2、池口2號井

此井位於六甲斷層下盤，深度70公尺，其地層岩性大致如表2.所示，而詳細井錄見於附錄4。岩芯0~2.7公尺處為地表風化層；2.7~7公尺間為泥質岩層；7~9.4公尺處地層有向下變粗趨勢；9.4~11.7公尺處為黃棕色礫石層（圖2.22）；11.7~14公尺處為黃棕色古土壤；14~51公尺處大致有向下變粗層序，而在28.7公尺處有近40公分厚的木頭出現，且在46.5~51公尺處為礫石層（圖2.23），礫石層中夾有貝殼碎屑；51~70間為黃棕色泥至細沙的地層，可見古土壤（圖2.24）。下盤地層之傾角約在5-10度之間。

表2.3、池口2號井之岩芯岩性

深度	岩性	層面	破裂面
0-2.7公尺	地表風化	5-10	
2.7-7公尺	泥岩層	5-10	
7-9.4公尺	細砂	5-10	
9.4-11.7公尺	礫岩層	5-10	
11.7-14公尺	黃棕色古土壤	5-10	
14-37公尺	細至中砂	5-10	
37-44公尺	中砂	5-20	
44-51公尺	礫石層及粗砂	5-10	
51-70公尺	泥至細砂	5-10	

3、六甲斷層上下盤的岩芯對比與六甲斷層之特性

六甲斷層上盤鑽井中之淺部岩芯為陸相地層，分別在5.1-9.3公尺及在51.6-57公尺處出現礫岩層，且較深的礫岩層中夾貝殼碎屑，緊接而來為古土壤層。在下盤中我們亦發現相同的層序，淺部為陸相的河流沈積，有兩層礫石層分別位在9.4-11.7公尺以及46.5-51公尺處，而深部礫石層中夾有貝殼碎屑，緊接為古土壤層。由於礫石層及土壤層的層序近似，我們認為兩者可以互相對比（圖2.25）。再比對地形面，上盤地形面較下盤高約12公尺，而對比淺部礫石層，高程差卻約15公尺，若對比深部礫石層及古土壤面高程相差約5-6公尺。對比結果之地形面高差較少，這可能是因為上盤受到侵蝕，因此相較上層礫石層高程差15公尺小。但對比深部礫石層及古土壤層其高程差卻降至5-6公尺，

這種的高程差變化可以用褶皺來加以解釋。圖2.25中上下井岩芯的對比，由於上盤岩心在鑽探位置深55公尺處改變傾角，此位置為向斜軸軸部的位置。在上盤的岩芯中，愈淺處愈遠離向斜軸，因此在上盤有相同的逆時針旋轉角度，而旋轉半徑愈大，造成的垂直位移也愈大。這解釋了我們從岩芯中發現淺部與深部有不同垂直位移的機制。這種現象無法利用斷層作用加以解釋，同時我們在地層轉折處也沒發現斷層，因此我們認為六甲斷層並未出露至地表，垂直位移機制以褶皺為主。由於變形前緣可能為末次冰期之後海水面入侵的沈積物所覆蓋，為確定皆在末次冰期時斷層尖端是否已經露出地表，建議在池口1號井的更東側進行另一地質鑽探。

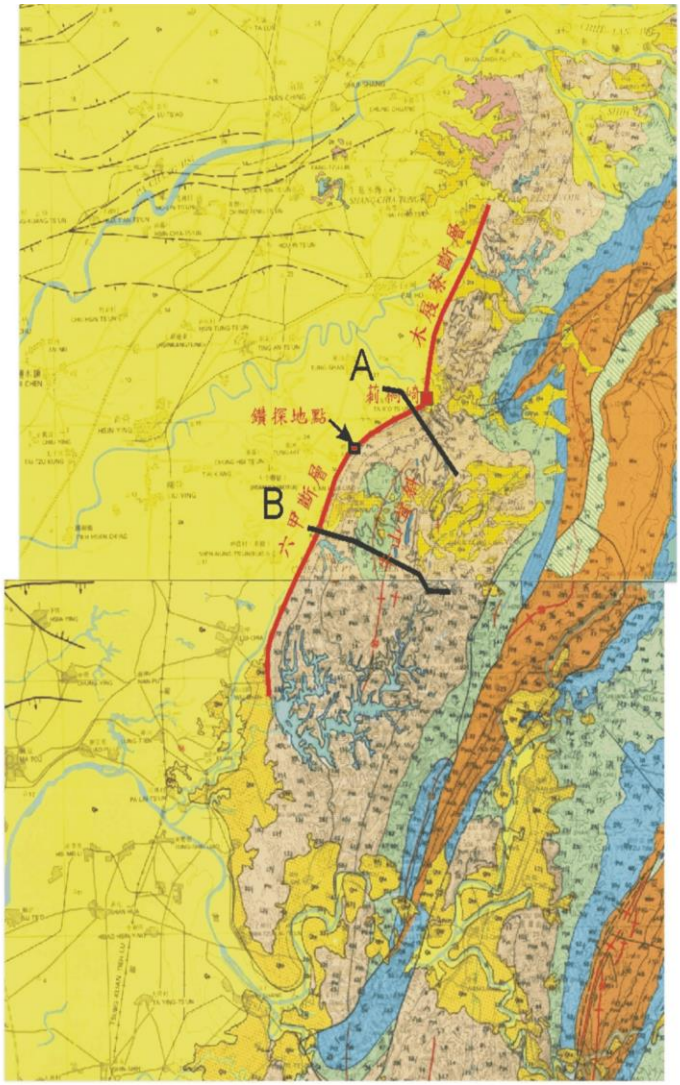
此外，我們認為目前15公尺的垂直位移是在淺部礫石層沈積之後所發生。比對其他地區下盤的淺部地層，我們由其年代約8,000年（圖2.26）推估，這15公尺的垂直位移發生在8,000年以後，因此垂直抬升速率至少達1.875 mm/yr。但8,000年為其他地區之年代資料，待本研究定年結果得到後應會有較好的速率。此推估之垂直位移速率為近斷層處之結果，由於向斜軸變形愈向東垂直位移會愈大，在水準資料中也可發現此一現象（圖2.27）。圖2.27的水準測量顯示，近斷層處抬升速率在斷層上盤近斷層處垂直抬升速率向東增高，顯示了由褶皺機制所造成的可能性(饒瑞均等，2008)。

4、新營斷層特性

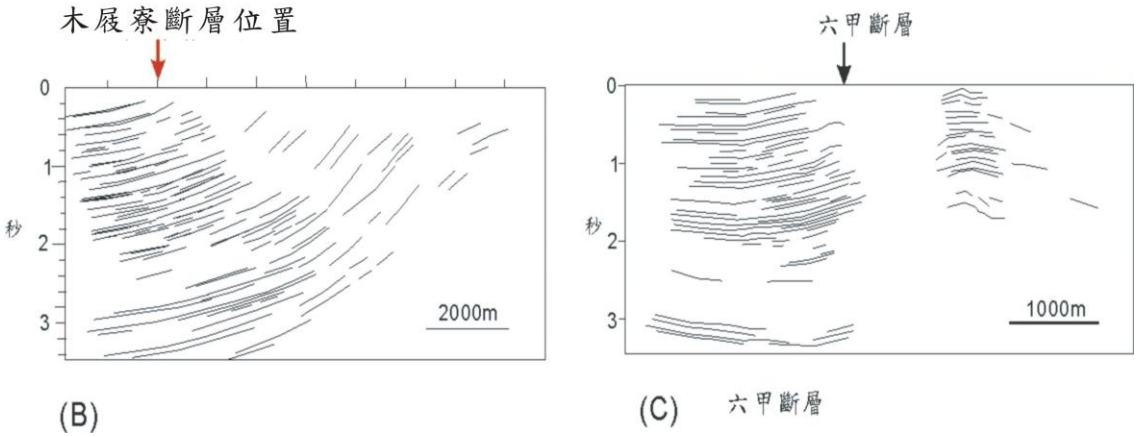
楊志成等(2005)認為六甲斷層西側尚存在另一斷層，而斷層的存在主要是由鑽探岩心在柳營站及重溪站所發現之相對西側為抬升區域（圖2.26），而推論其存在。本研究由震測剖面發現六甲斷層實為寬廣的向斜軸，亦即斷層下盤亦為抬升的區欲。依此解釋則新營斷層也有可能是反應向斜軸之變形而形成，提供新營斷層的另一種解釋。

5、六甲斷層上盤第四紀沉積物或覆土的厚度，以及各地層的厚度與界面

由於池口1號井在斷層近地表處皆為近代沈積物，並未鑽遇基盤，基盤界面還在更深處，超過200公尺。



(A)



(B) (C) 六甲斷層

圖2.14、圖(A)為六甲斷層地質圖(中油十萬分之一嘉義及台南地質圖，中油，1986，1989)與鑽探位置。圖(B)為圖（A）中剖面A (MAA')之震測剖面。圖（C）為剖面B (LAA')之震測剖面。震測剖面可以見到原六甲斷層下盤亦為抬升區域。

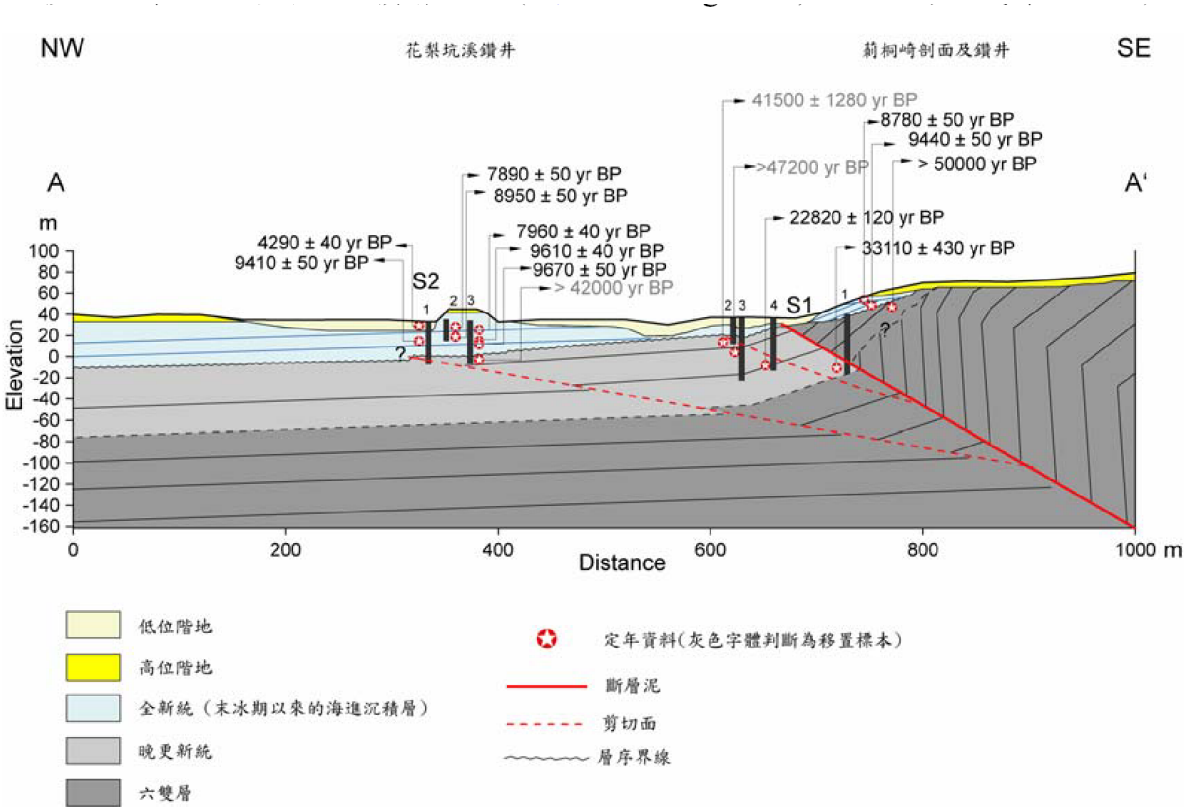
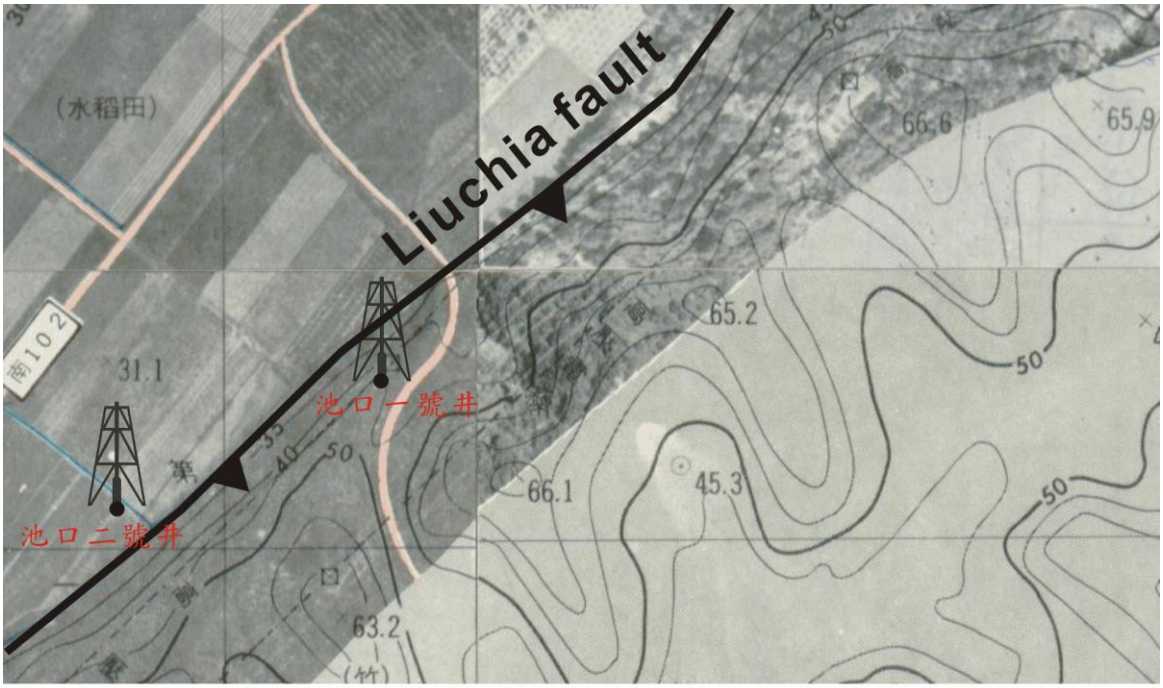


圖2.15、楊志成等(2005)於蒺桐崎地區依據鑽探資料所建立構造形態。



(A)



(B)

圖2.16、A 為池口一號井與2號井之鑽探位置與地形圖，地形圖中可見六甲斷層有極為清楚的地形特徵。B 為六甲斷層地形崖面與鑽探位置。



(A)



(B)

圖2.17、A為池口1號井6.7公尺處的小斷層。B為池口1號井34公尺附近的斷層構造，斷層傾角由低角度至高角度皆有。

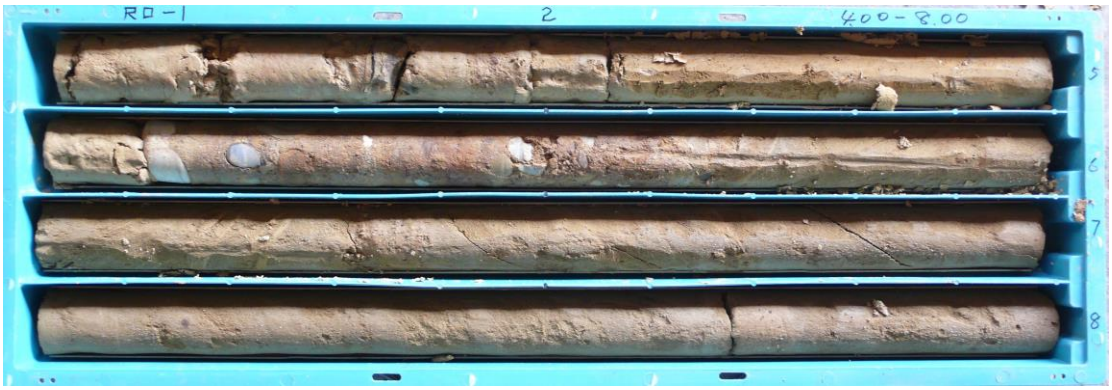


圖2.18、池口1號井淺部4-8公尺處礫石層。



圖2.19、池口1號井深部52-56公尺處礫石層。



圖2.20、池口1號井64-72公尺處的古土壤，呈現黃色斑駁狀。



圖2.21、池口1號井深部(84-88公尺)低角度傾斜地層。



圖2.22、池口2號井8-12公尺淺部礫石層。

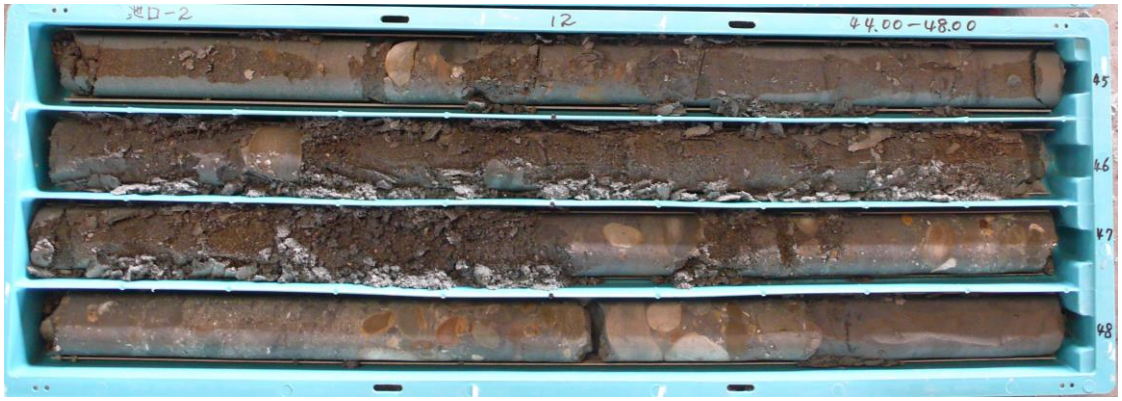


圖2.23、池口2號井44-48公尺處礫石層。

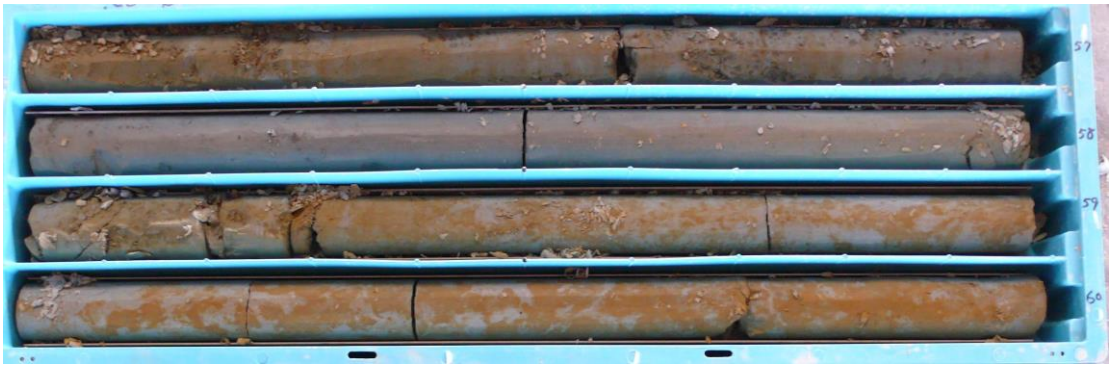


圖2.24、池口2號井56-60公尺處礫石層。

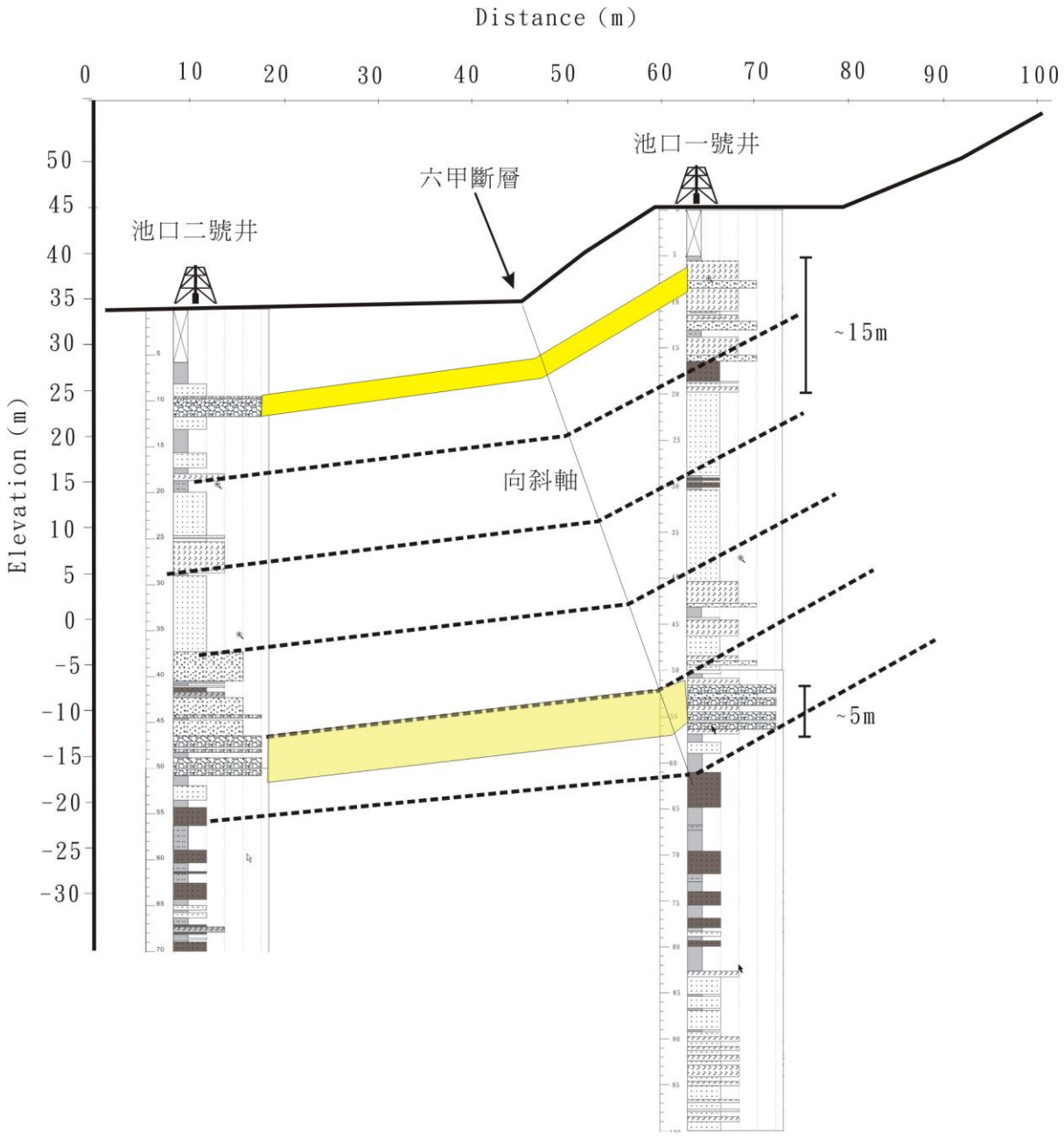


圖2.25、池口1號井與2號井的地層對比與地下構造形態，向斜軸部通過池口1號井，由圖中構造可知，對比淺部礫石層相對有15公尺垂直位移，比對深部礫石層與古土壤則僅約5公尺。

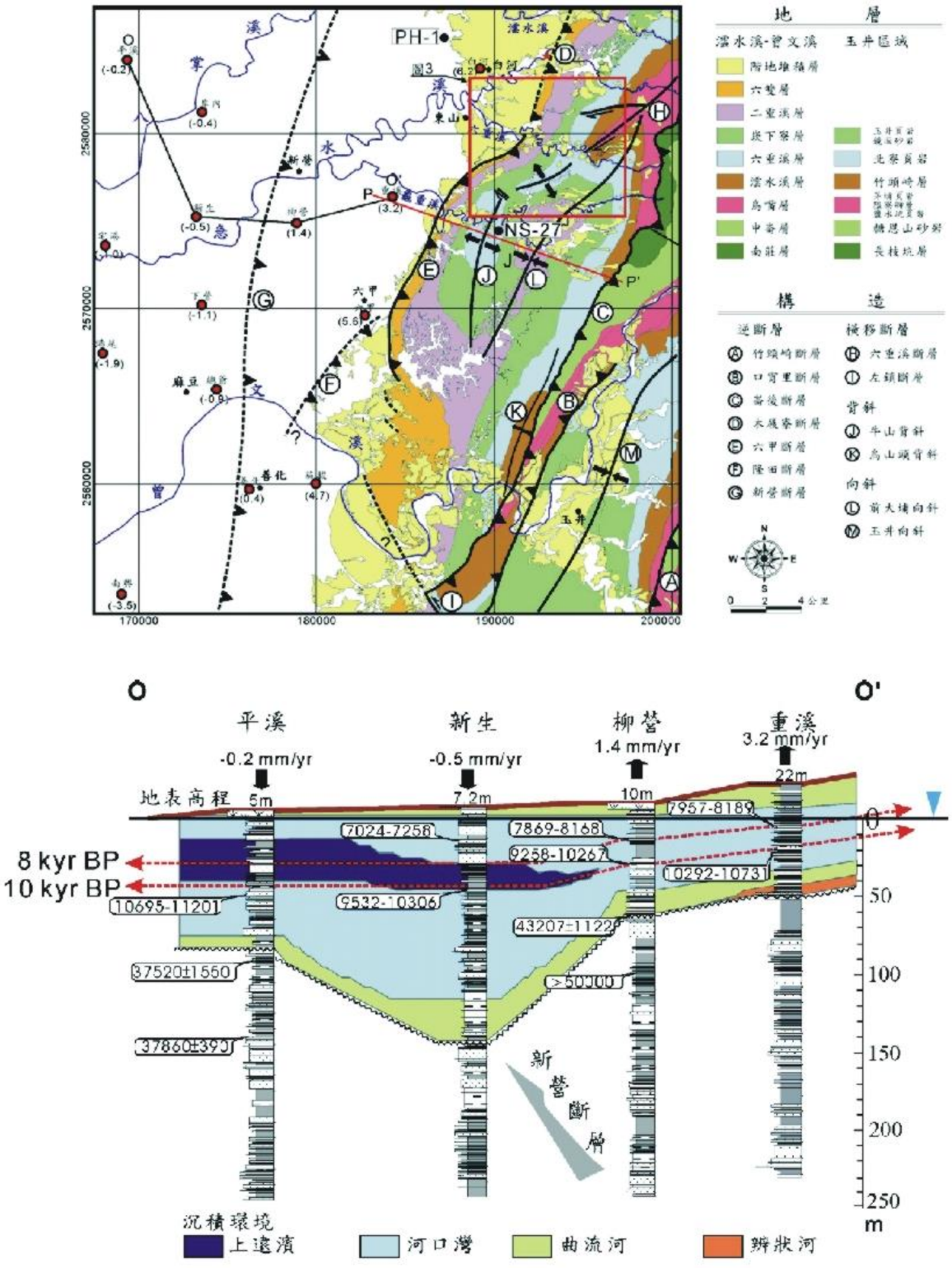


圖2.26、六甲斷層下盤鑽探井與抬升速率資料（吳樂群，1999；楊志成等，2005）。由抬升速率的差異，楊志成等認為新營斷層的存在。

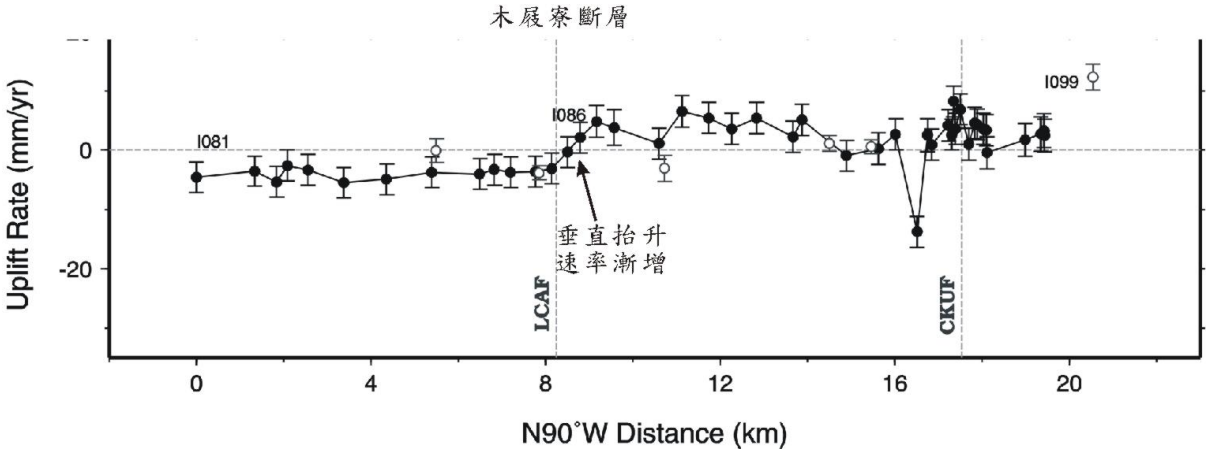


圖2.27、縣174北門至楠西測線水準高程變化與GPS垂直速度場比較圖（饒瑞均等，2008)。六甲斷層上盤近斷層處垂直抬升速率向東有逐漸變化趨勢。

（四）斷層之運動學分析

六甲地形崖出現在牛山背斜的西翼，也是存疑的六甲斷層崖。不同學者對於六甲斷層的看法至今仍相當分歧（圖2.28)；Suppe（1980）認為牛山背斜是由地下深處一系列的疊置構造所構成，並無六甲斷層在此發育；黃旭燦等（2004）則認牛山背斜式單純的滑離褶皺，因此也不認為有六甲斷層存在；Chang et al.（1996）同樣的不認為有六甲斷層存在，不過他們認為牛山背斜為早期的地壘構造上發育出的背斜構造而非壓縮褶皺。Mouthereau et al.（2001）則認為六甲斷層確實存在，而且是由早期的正斷層反轉的逆斷層；洪日豪等（Hung et al., 1999）則認為六甲斷層是一條未出露的逆衝盲斷層。由於中油公司在牛山背斜底下約3,350公尺處鑽遇斷層，因此Suppe（1980）、黃旭燦等（2004）與Chang et al. （1996）等的構造模型有修正的必要；此外，根據Mouthereau et al. （2001）的構造模型，他們推斷在最近0.4~0.5百萬年來，六甲地區的平均水平縮短量為2.4-3mm/yr，這與最近GPS觀測每年可達一公分以上的壓縮速率相差甚遠（Hung et al., 1999；饒瑞鈞等，2005)，因此正斷層反轉在活動的模式，仍有待商榷。由於本研究的鑽井資料顯示，六甲斷層並未出露地表，且牛山背斜呈西陡東緩的形貌，因此我們認為六甲斷層可能是發育在一個斷層彎曲褶皺（fault-bend fold）上的盲斷層。

根據表2.4所列之模擬參數，我們模擬了六甲至南寮間構造的演化，可能的發育過程則如圖2.29至圖2.32所示。在構造演化的第一階段（圖2.29)，斷層由先中新世地層內向上爬升至長枝坑層底部，並在今日南寮背斜處形成斷層彎曲褶皺；第二階段時（圖2.

30)，在原來斷層彎曲的褶皺上發育出疊置斷塊構造；第三階段（圖2.31)，新的斷層彎曲褶皺在今日牛山背斜處形成；而第四階段（圖2.32)，六甲斷層在之前的斷層彎曲褶皺上形成，並在其上發育出斷層擴展褶皺。圖中2.32中海平面（SL）上之曲線為現今之實際地形線，以藍色線條表示，而圖中紅色線條為斷層線。進行構造演化模擬時，南寮背斜東側構造並未被模擬。

表2.4 六甲-南寮構造運動學模擬所使用之參數

	Trishear angle (degree)	P/S ratio	Total net slip (km)
第一階段	0	0	3.25
第二階段	0	0	6.5
第三階段	0	0	9
第四階段	40	2	9.75

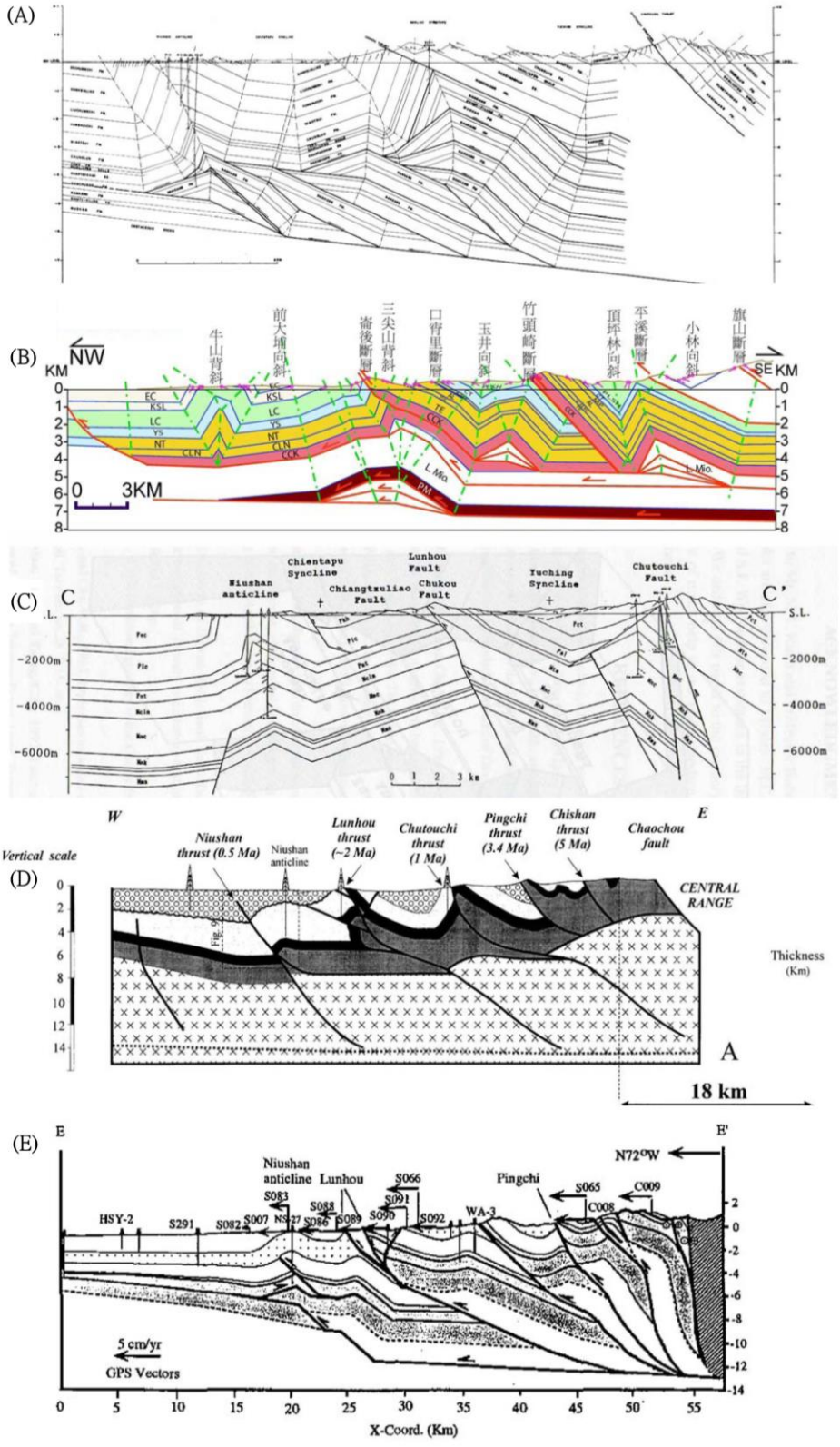


圖2.28、六甲至南寮地區地下構造。分別根據（A）Suppe （1980），（B）黃旭燦等（2004），（C）Chang et al. （1996），（D）Mouthereau et al. （2001），以及（E）Hung et al. （1999）等。

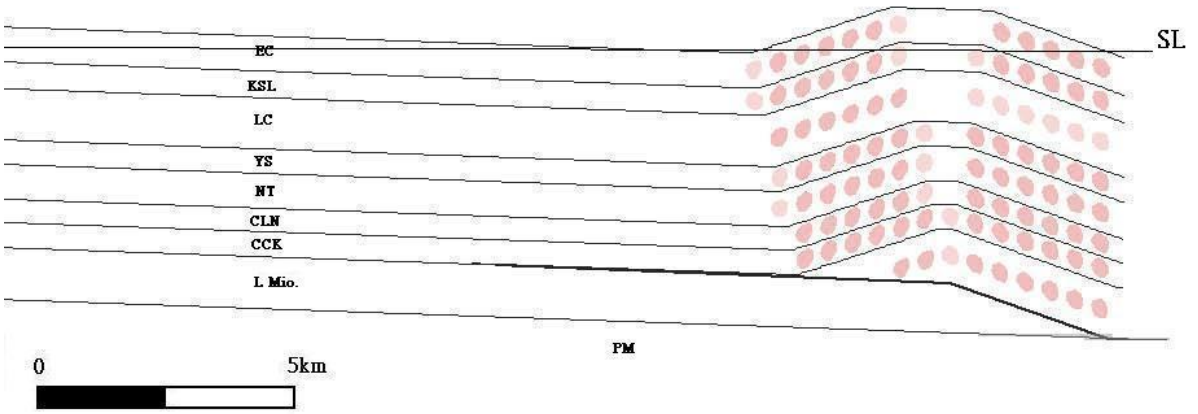


圖2.29、六甲－南寮構造演化模擬：第一階段。在此階段，斷層由先中新世地層內向上爬升至長枝坑層底部，並在今日南寮背斜處形成斷層彎曲褶皺。圖中地層EC為二重溪層、KSL為崁下寮層、LC為六重溪層、YS為沄水層、NT為鳥嘴層、CLN為中崙層、CCK為長枝坑層，而PM為先中新世地層。紫色橢圓代表應變橢圓。

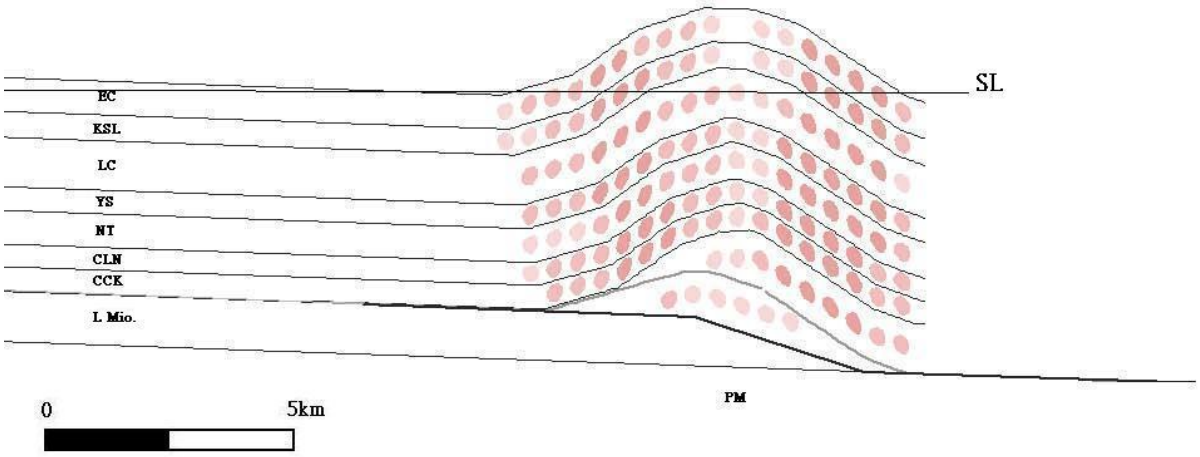


圖2.30、六甲－南寮構造演化模擬：第二階段。在原斷層彎曲褶皺上發育出疊置斷塊構造。

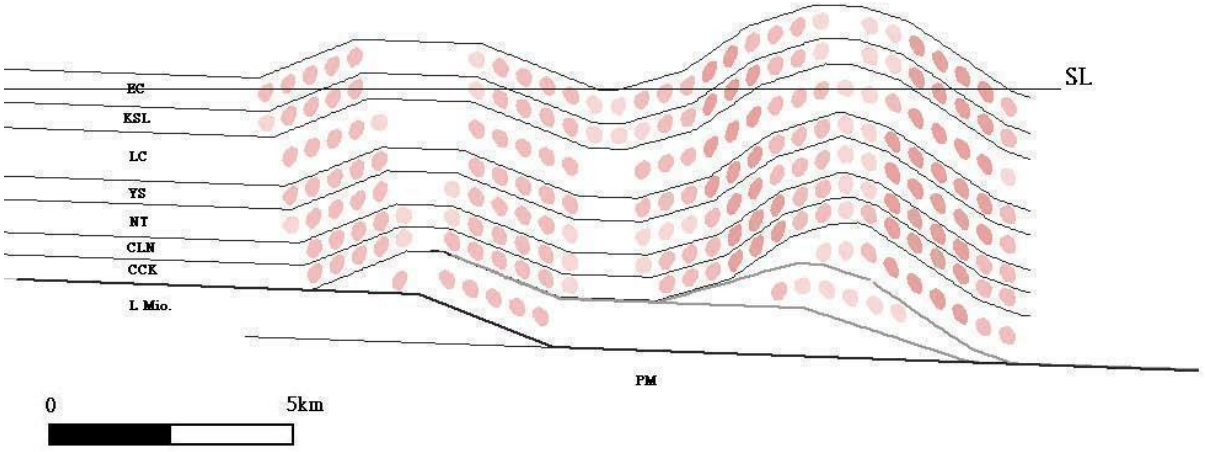


圖2.31、六甲－南寮構造演化模擬：第三階段。新的斷層彎曲褶皺在今日牛山背斜處形成。

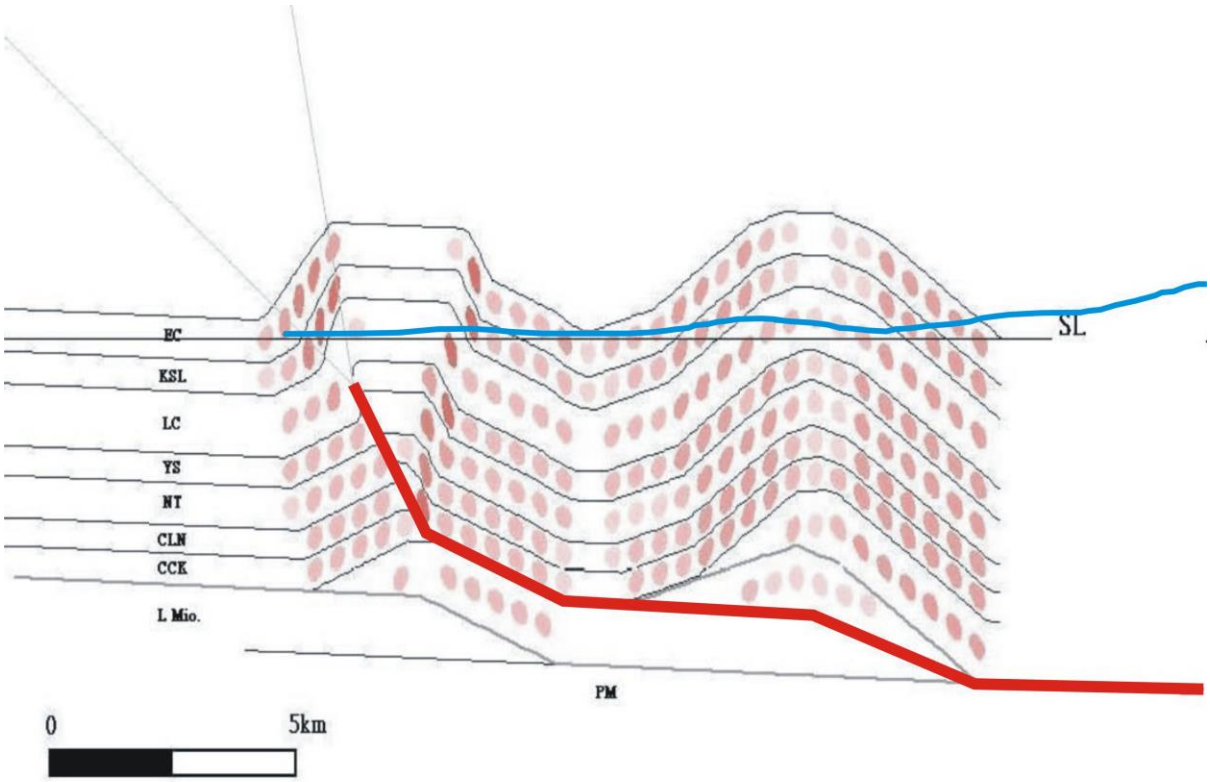


圖2.32、六甲－南寮構造演化模擬：第四階段。六甲斷層在之前的斷層彎曲褶皺上形成，並在其上發育出斷層擴展褶皺。圖中海平面（SL）上之曲線為現今之實際地形線，以藍色線條表示，而紅色線條為斷層線。註：南寮背斜東側構造並未被模擬。

（五）節要

牛山背斜的西翼極為陡峭，傾角可超過70度，翼寬也僅約數公里，因此無法由此無法由深部震測剖面判斷斷層的所在位置。淺層震測測線08P-LCAF-LY-1之同中點重合剖面顯示西半部地層連續性極佳，可見深度約達800毫秒，並於較西側出現高角度斷層但落差不大，上述斷層在中油公司剖面LAA’中也可以發現，但並非六甲斷層。剖面中間偏右處地層往東上升，由較深部的地層可以發現越往東邊傾角越大，但在較淺處則因為岩層傾角過大，超越測線展距所能涵蓋的範圍而變不清楚。

六甲斷層為牛山背斜西翼的向斜軸變形所造成，本次研究在上下盤各進行一孔地質鑽探，上下盤層序有極好的對比，顯示垂直位移量隨深度變化，淺部較大，深部較小，此反應向斜軸部變形，上盤並在55公尺處通過軸部。斷層尖端未出露至地表。六甲斷層有極好的地質線性，研判此地形線性為海進時海蝕所致。

牛山背斜為南寮背斜前端發育出的構造，在此先發生斷層彎曲褶皺，接著在其上發育出六甲斷層與斷層擴展褶皺。由於本研究的鑽井資料顯示，六甲斷層並未出露地表，且牛山背斜呈西陡東緩的形貌，因此我們認為六甲斷層較可能是發育在一個斷層彎曲褶皺（fault-bend fold）上的盲斷層。圖2.33即為跨越六甲盲斷層兩側之構造剖面，其中，六甲斷層可能在之前的斷層彎曲褶皺上形成，並在其上發育出斷層擴展褶皺。

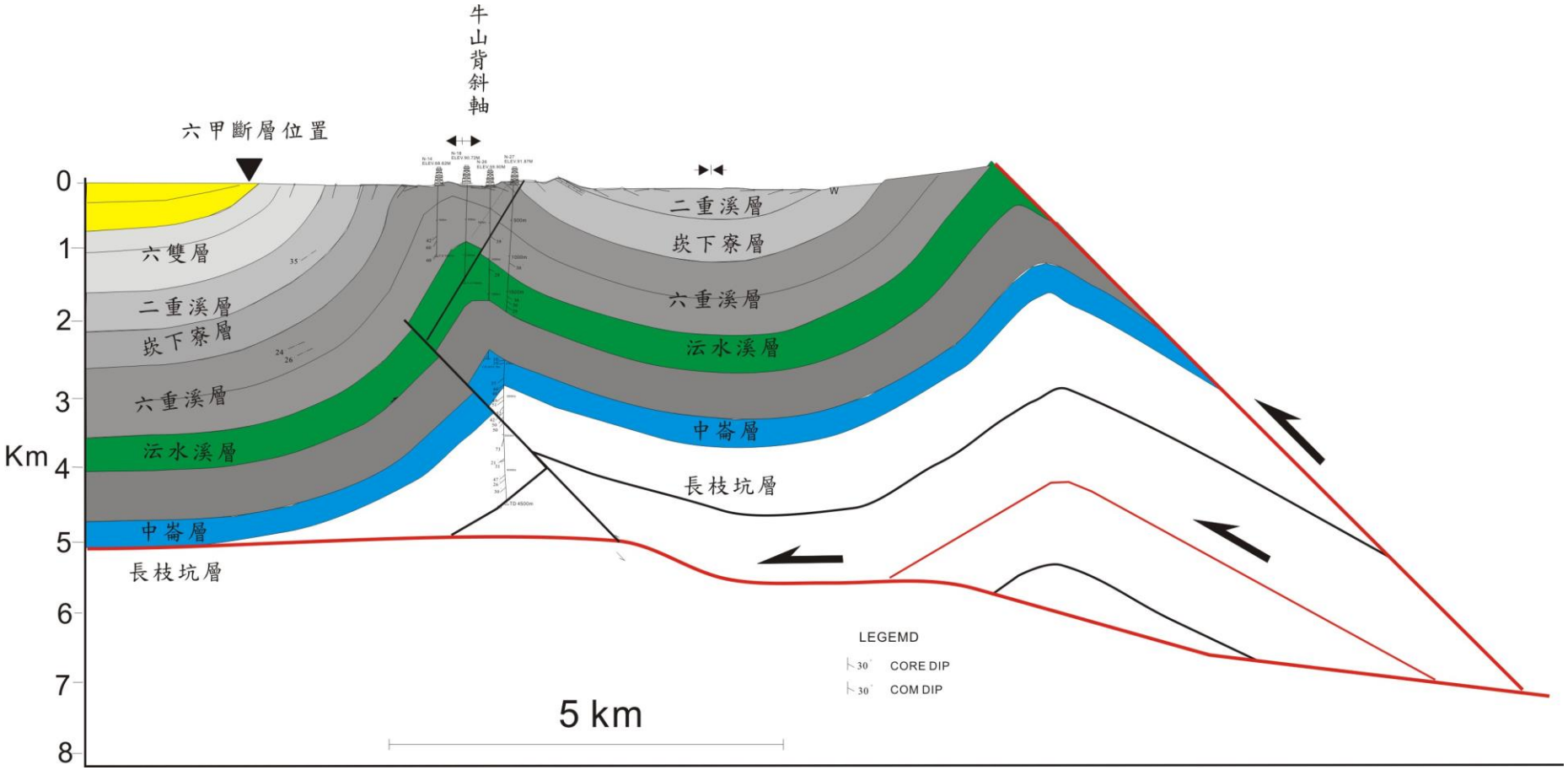


圖2.33、跨越六甲盲斷層兩側之構造剖面。六甲斷層在之前的斷層彎曲褶皺上形成，並在其上發育出斷層擴展褶皺。

三、小崗山斷層：

小崗山斷層位於高雄縣小崗山西北方，呈南北走向，且北端漸轉呈東北走向，全長約8公里，可能為逆移斷層（林啟文等，2000a；Sun, l964）。由於小崗山斷層目前上未有明確的地質證據，被暫列為存疑性活動斷層。

小崗山斷層的判識主要由地形而來，Sun(1964)由航照上判釋出五段東側上升且排列成線狀的斷層小崖，並推測為一向東傾斜的逆斷層所造成。徐鐵良與張憲卿(Hsu and Chang, 1979)則指出小崗山斷層在小崗山及阿蓮間形成斷層線崖，並推測為可能仍在活動的逆斷層。現今可能因地形受到人為破壞，斷層崖地形已不明顯。楊貴三(1986)則指出這些小崖並不連續且較不明顯。由於欠缺地表露頭證據，加上沒有詳盡的地球物理方面的探勘，張徽正等（1998）將小崗山斷層列為存疑性活動斷層。

林啟文等（2000a）所繪製的小崗山斷層線上與兩側已無露頭，且人為開發程度較高，尚未有明確的地質證據，仍待進一步調查。翁群評等(1999)由震測結果指出小崗山斷層錯動的擾動帶極為明顯，但表現出正斷層形態，認為小崗山斷層應屬於緩慢的變形作用的蠕動斷層。本團隊曾於小崗山斷層南端進行了兩條的淺層震測測線，其中較西側的測線信號品質極佳，而位於可能斷層延伸位置的剖面則信號較差，但無法看出如上述之正斷層現象。而小崗山斷層之斷層長期與短期滑移速率則仍待進一步取得。

小崗山斷層周遭主要構造有大崗山背斜、古亭坑斷層、中州背斜。中州背斜背斜呈北北東走向，寬約10 公里寬。中油在軸部進行三口鑽井，深部皆為古亭坑層泥岩。由重力、震測資料與井下地質皆有發現此背斜構造，Hsieh(1972)及Pan（1968）皆認為其可能係由泥貫入體的構造有關。

大崗山背斜雖未見於中油十萬分之一地質圖（圖3.1）中，但內部報告顯示為為一背斜，並命名為大崗山背斜。小崗山與大崗山以珊瑚礁為主，珊瑚礁最高高度約300公尺，顯示垂直抬升量約至少超過300公尺，此珊瑚礁不整合覆蓋在下伏的古亭坑層之上。由於古亭坑層為大陸斜坡的沈積環境，水深可達1000~2000公尺範圍，因此若古亭坑層水深為1000公尺，則大崗山背斜的垂直抬升量至少超過1300公尺。

圖3.2為小崗山斷層一帶之DTM數值地形，由數值地形可見在大崗山背斜西側有北東走向線形，此線形即大致過去認為可能是小崗山斷層的位置。圖3.2中下方的剖面為

上圖中剖面AB之地形剖面，剖面中中州背斜在地形上呈現較平緩的隆起。為進一步分析地形，我們再切兩個通過線形地形剖面，剖面中可見地形約有10公尺的崖面。

地質調查所於2007年於小崗山斷層進行了一孔200公尺深的探井，利用地形特徵將場址定為地形崖上緣位置，地形崖兩側高差約有4公尺，其組成物質為疏鬆之現代沖積層，植生嚴重，顏色為棕黃色（劉彥求，2007）。岩心初步觀察均為泥質偶夾貝類化石，在98m處可見剪裂構造現象。由鑽探岩心並未見到明確之區域斷層活動證據，岩層位態未見受擾動的改變，本團隊也進行了新的淺層震測，並配合地調所既有鑽探以及區域性地下構造，分析小崗山斷層地下構造特性。

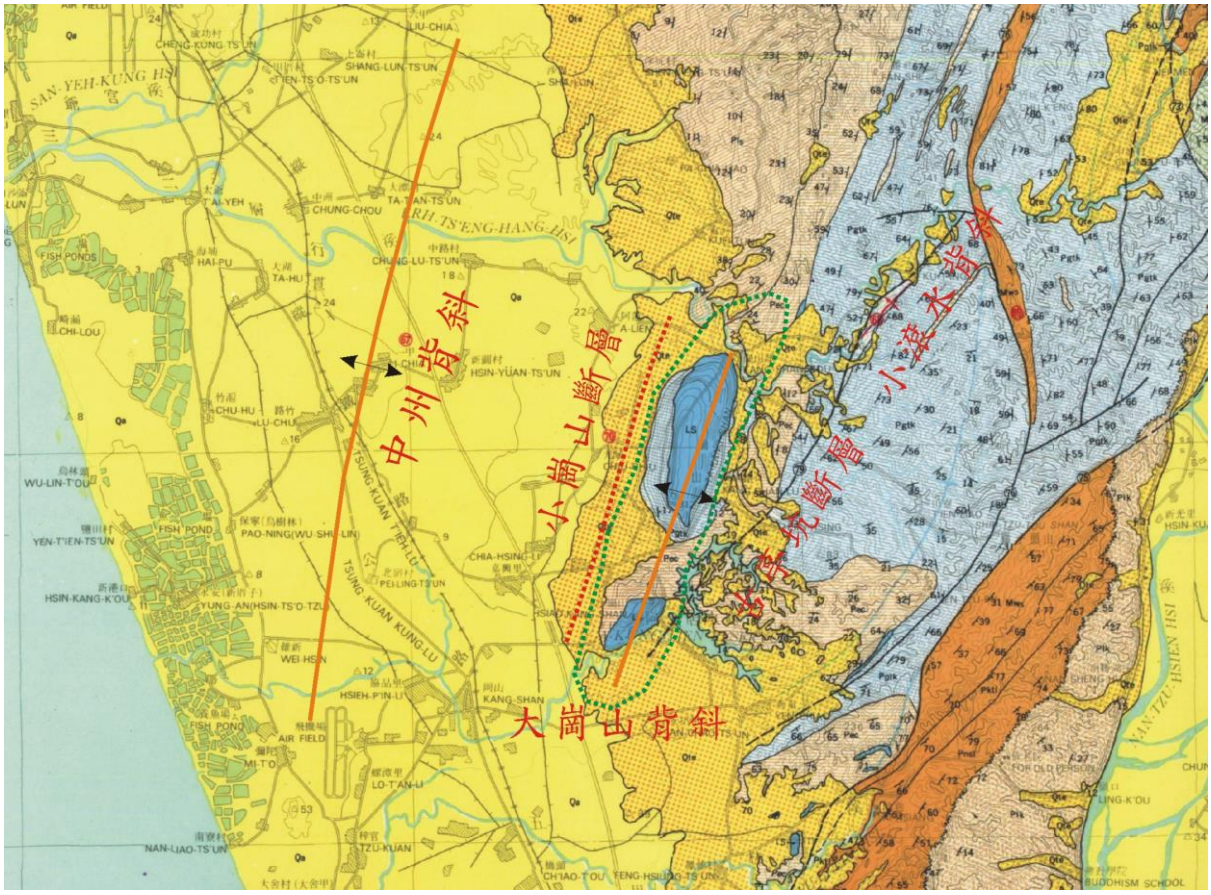


圖3.1、小崗山斷層周遭區域地質圖。修改自中油十萬分之一台南地質圖（中油，1989）。

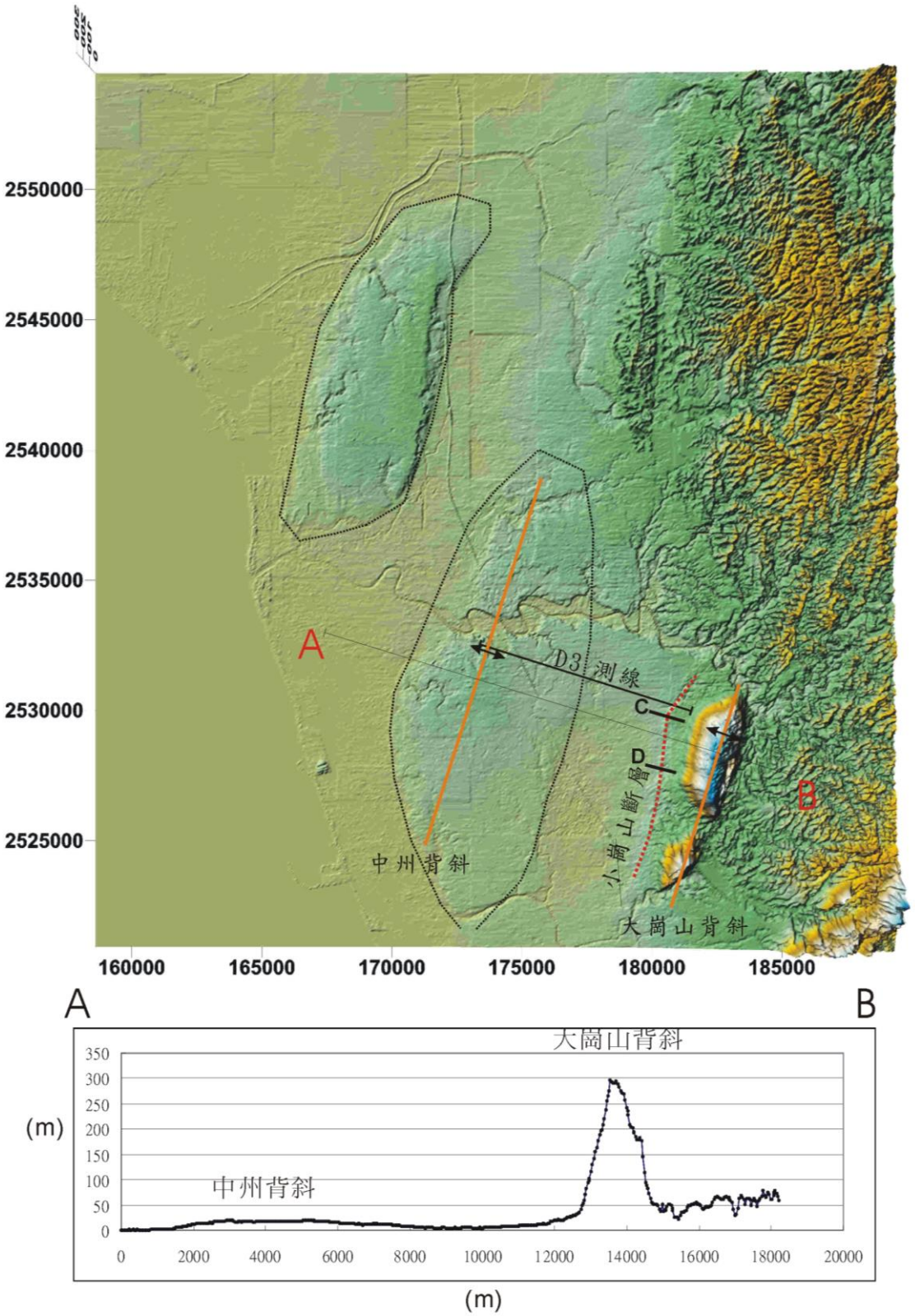
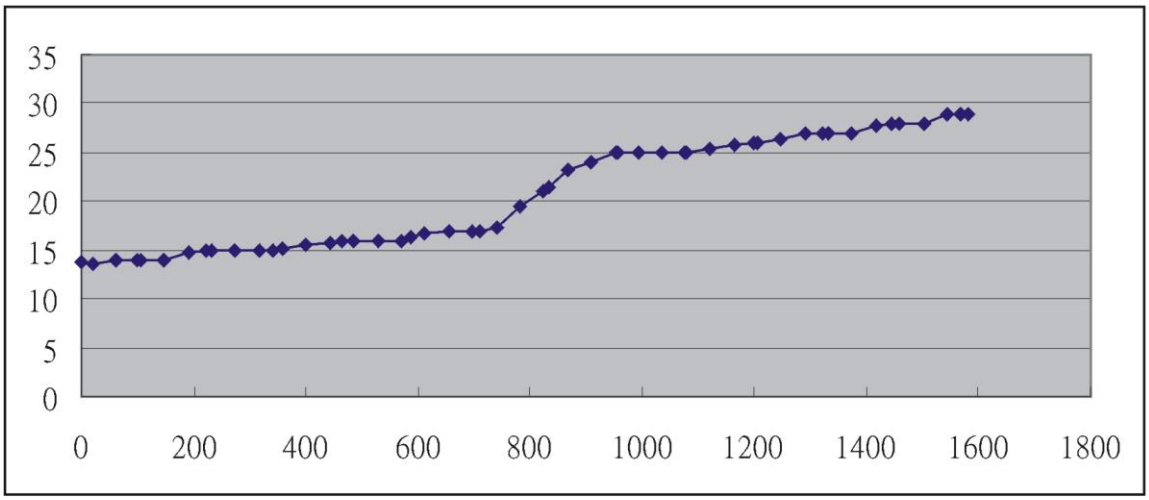
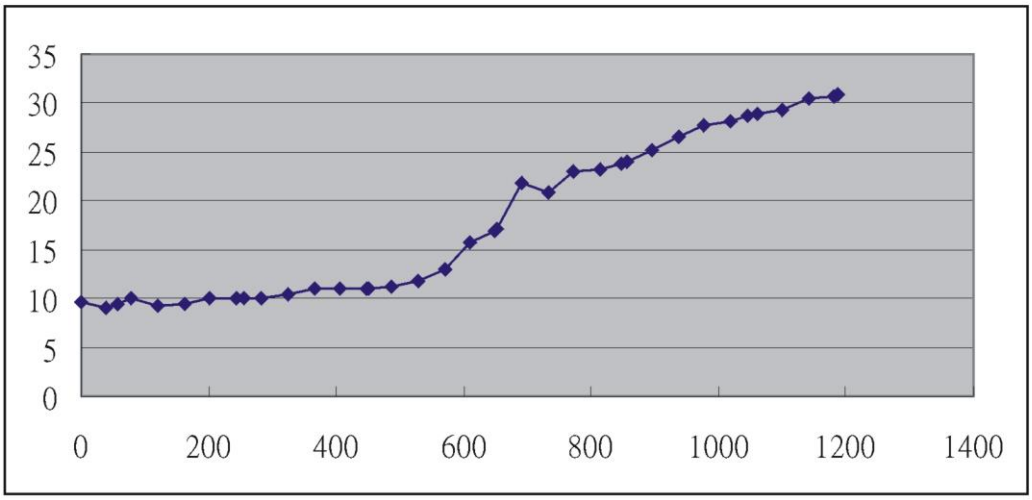


圖3.2、小崗山斷層一帶數值地形圖。圖中可見中州背斜的隆起與小崗山斷層的線形。



A



B

圖3.3、圖A與圖B分別為圖3.2中剖面C與D的地形剖面（單位為公尺）。

（一）區域性地下構造分析

圖3.4為小崗山斷層一帶，本研究所使用之區域性地下構造剖面分佈，已執行之淺層震測線配置，以及相關鑽井井位分佈。區域性地下構造主要利用中油震測剖面進行分析，主要依據圖3.5中之測線AA’與BB’之同中點重合及解釋剖面。AA’剖面(圖3.5)位在較北部，通過中州背斜，剖面的東側並且通過可疑的地形崖面以及過去地調所所繪的小崗山斷層位置。BB’剖面（圖3.6）中則可以見到中州背斜軸部並無反射信號出現，反射信號出現在軸部兩側，這主要是因為軸部為古亭坑泥岩層，而兩側則為砂頁岩互層岩相，因此有較好的反射信號出現。在背斜兩側的淺部地層還可見到遠離背斜沈積物，顯

示了褶皺發育時的生長層序 (growth strate) （圖3.5）。 AA’剖面通過中洲背斜西側及大崗山背斜西側，圖3.6中三角形位置則分別為地調所所繪之斷層線跡及地形崖跡。由震測剖面可見地調所所描繪之斷層線跡之下並無斷層。翁群評（2000）認為小崗山斷層為向西傾斜的正斷層，但在此剖面中已可排除此可能性，至於向東傾斜逆斷層則由於缺乏反射訊號判識而尚無法排除。

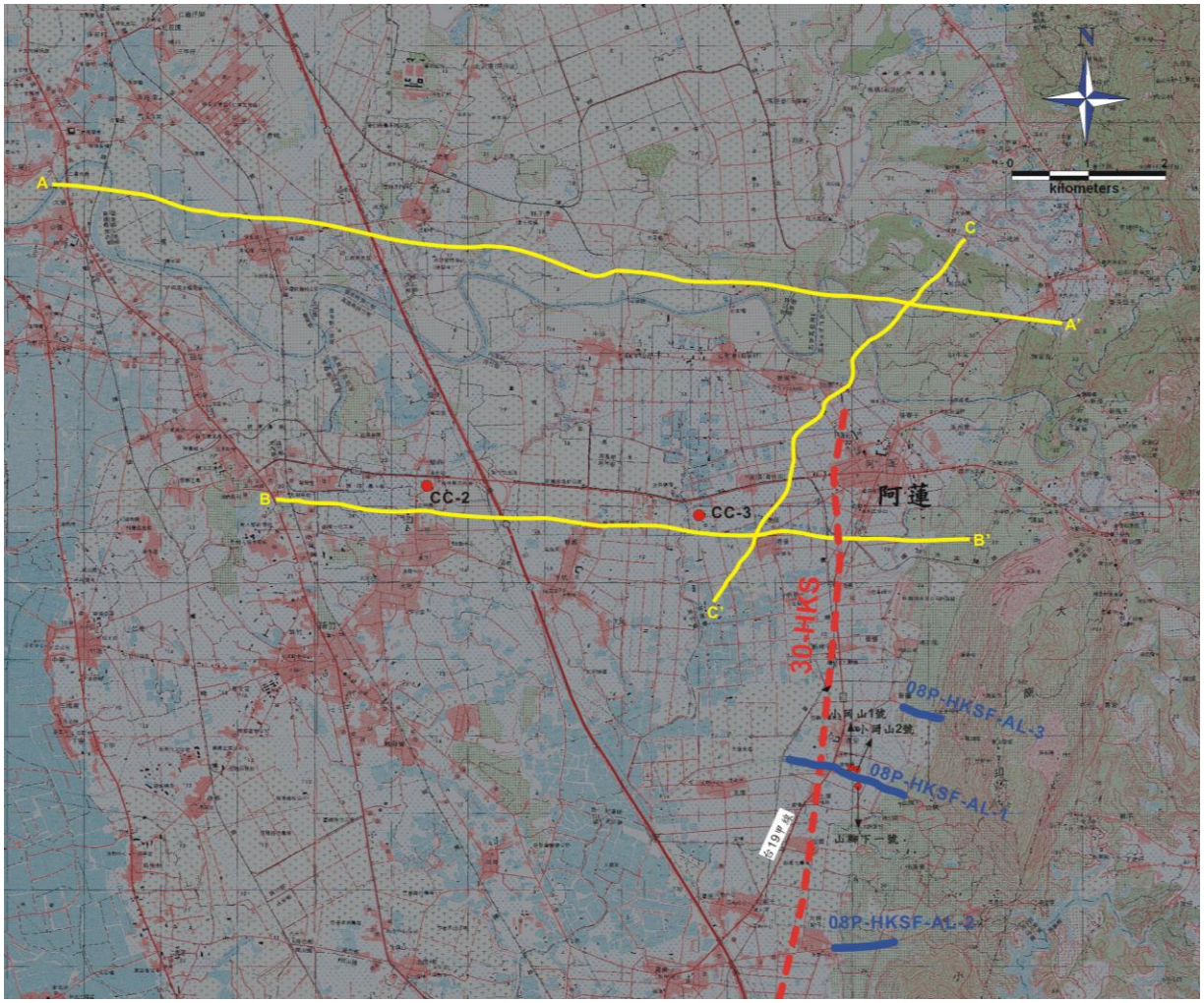
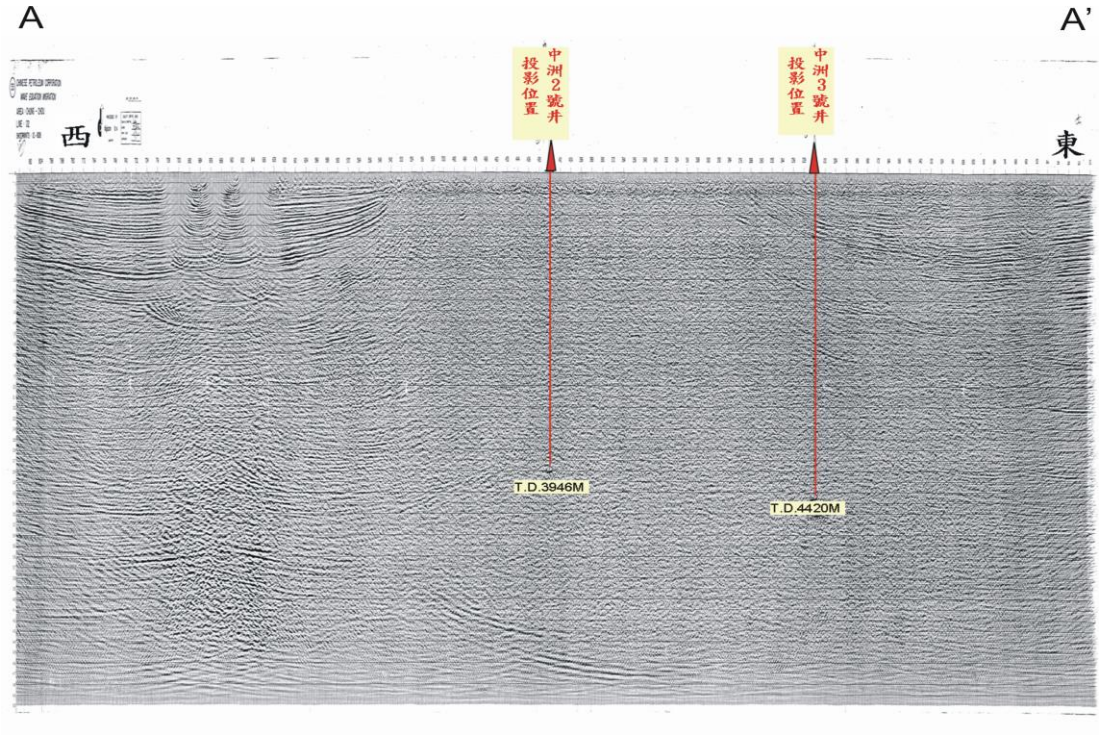
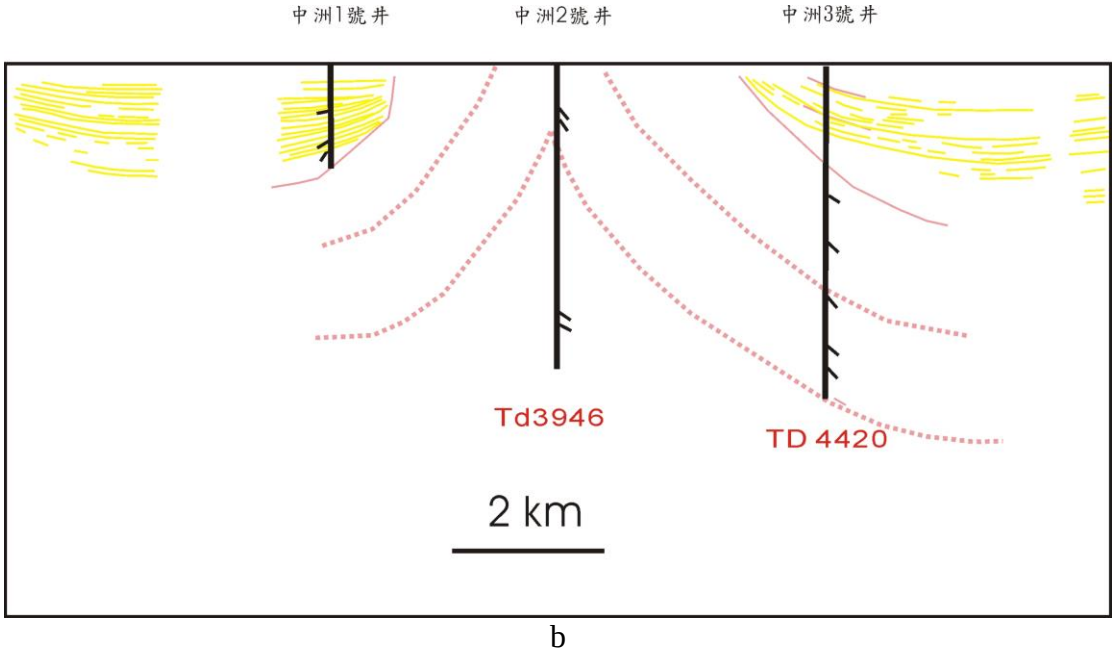


圖3.4、小崗山斷層一帶本計畫所使用之區域性地下構造剖面（黃色線）、本研究執行之淺層震測線配置（藍色線）、以及相關井位圖。

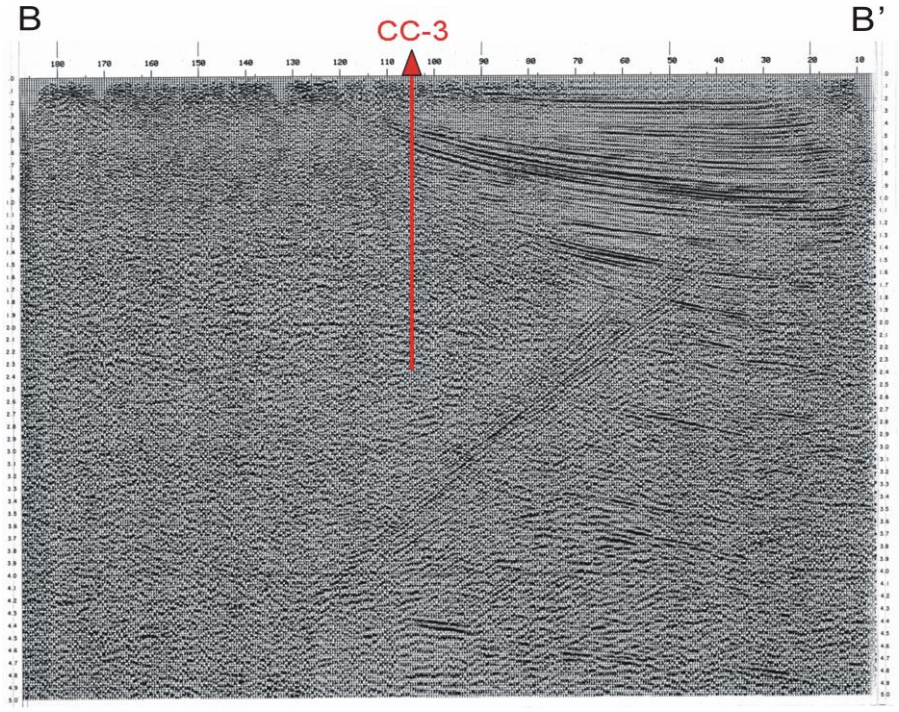


a

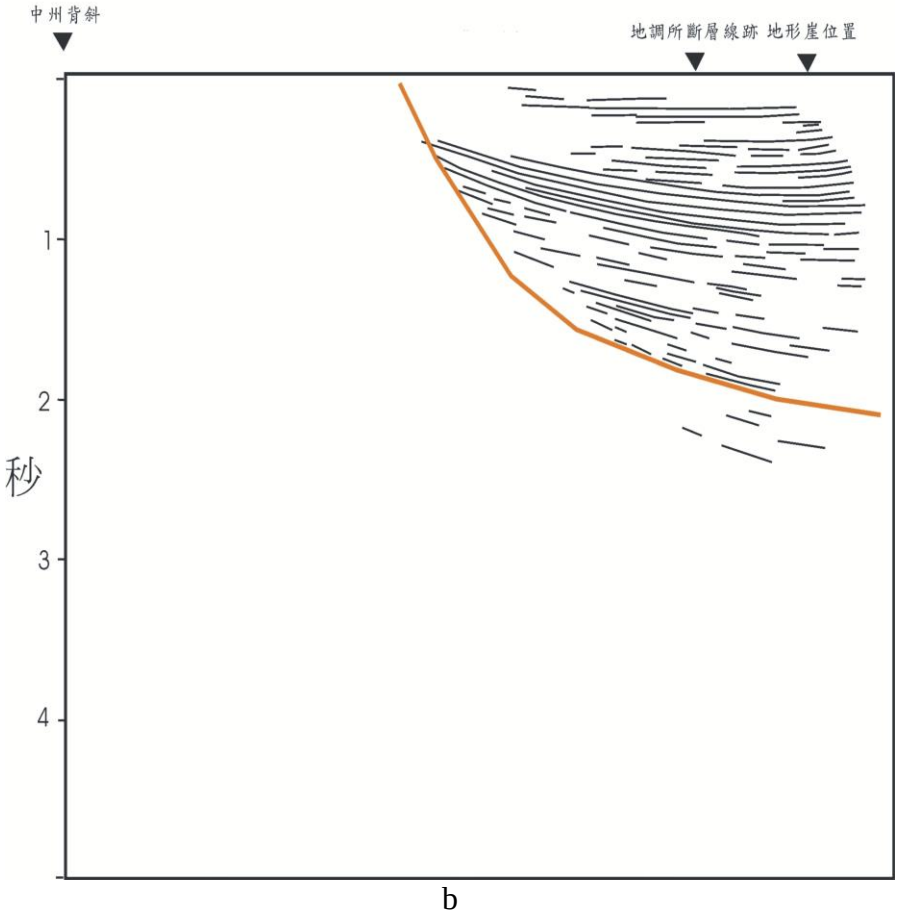


b

圖3.5、測線AA'之影像（中油公司）(a)及解釋剖面(b)，此剖面通過中洲背斜。



a



b

圖3.6、測線BB'的影像（中油公司）(a)及解釋剖面(b)，此剖面除通過中洲背斜西側外，也通過小崗山斷層東側，圖中三角形位置分別為地表地形崖及地調所繪製之斷層線跡。

（二）淺層震波測勘

本研究在小崗山斷層沿線共實施 3 條的淺層震測測線，測線位置分別為：一、沿穎源路(地質調查所已完成之鑽井旁道路)施測(測線 08P-HKSF-AL-1)，該測線長度 1600 公尺，跨越被疑為小崗山斷層的地形崖；二、於較南邊沿阿蓮鄉道高 37 施測（測線 08P-HKSF-AL-2），測線長度 733 公尺；三、於斷層較北段沿縣道高 13-1 施測（測線 08P-HKSF-AL-3），測線長度 475 公尺。這三條測線之配置位置分別見於圖 3.3 以及圖 3.7 之中。

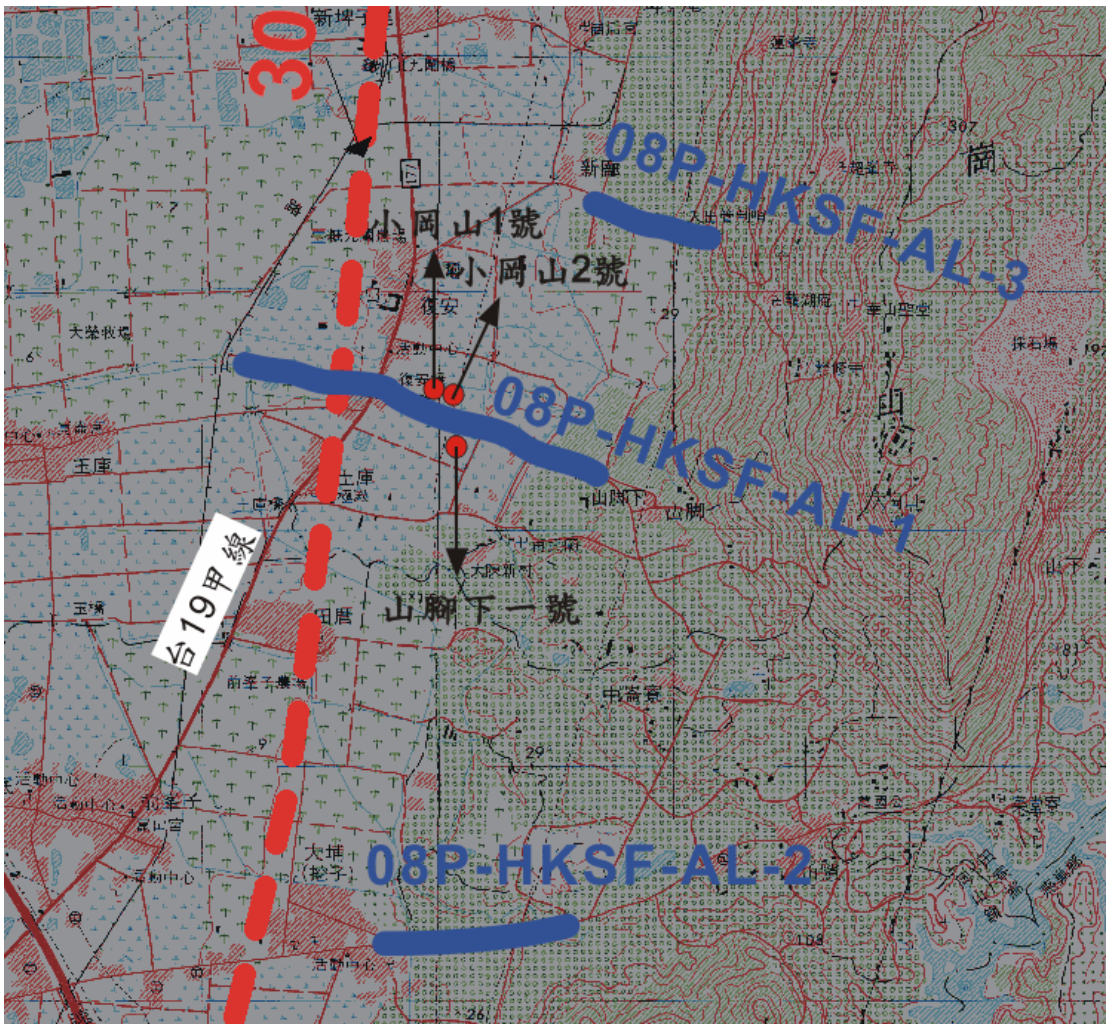


圖3.7、測線08P-HKSF-AL-1與08P-HKSF-AL-2、08P-HKSF-AL-3之相對配置位置（藍色實線），而紅色虛線為小崗山斷層可能通過位置。

1、小崗山斷層阿蓮測線一（08P-HKSF-AL-1）

測線08P-HKSF-AL-1為針對小崗山斷層於斷層中段阿蓮一帶所佈置的第一條測線，沿地調所已完成之山腳下1號井旁道路施測。道路上即可看見明顯之地形崖，該地形崖被疑為小崗山斷層有關。本測線位於阿蓮復安村，沿縣道高14-1道路施測，剖面全長1,600公尺，測線跨越南北向之台19甲線。圖3.8為測線08P-HKSF-AL-1於1/25,000地形圖中之配置位置，測線大致呈西北-東南走向，沿線地形東南側與西北側之端點高差約17公尺。圖3.9a與b分別為沿測線08P-HKSF-AL-1往西及往東方向望之地表現況。

測線08P-HKSF-AL-1於施測時利用JMS-MINI65震源由西往東方以推的方式前進，另從測線東端向西方以推進方式進行炸測，利用96波道之震測儀接收震測信號。本測線受波器組之間距為5公尺，最小近支距5公尺，炸點間距10公尺，各炸點撞擊平均約40次，而每組受波器皆使用3個40 Hz受波器並聯排列，受波器間距為1公尺，平均重合數為24。表3.1為測線08P-HKSF-AL-1於施測時所使用之震測參數。

圖3.10a為測線08P-HKSF-AL-1沿線之3個代表性測點紀錄，本測線因位於交通頻繁路段，雜訊干擾嚴重，紀錄中右下方為地滾波。地滾波經濾除後的信號於單一測點記錄中雖還不十分顯著，處理後雖可提高信噪比，但僅深度在200毫秒以上之反射信號可清楚看見。圖3.10b即為經過濾後的測點紀錄，其中低頻的地滾波已大致被濾除。

本測線之基本資料處理流程見於圖1.9中。經資料處理後，阿蓮測線08P-HKSF-AL-1之同中點重合剖面見於圖3.11a。剖面中可以看出西半部剖面之地層連續性良好，而東半部之地層僅出現於淺部。圖3.11b為剖面08P-HKSF-AL-1之解釋，配合鑽井資料解釋，其中橫向黃色線條為基盤面，基盤往東升高，但於測線東端，則因為基盤面太淺而無法由剖面中看出。剖面中間往東傾斜的黃色線條為泥岩與西部地層的交界，泥岩西邊的地層深至1秒時仍可看見。剖面中東側基盤以下所解釋的藍色信號相當清楚，其頻率（約50hz）比基盤面反射信號(約75Hz)低，但由於基盤內泥岩並無層狀現象出現，這可能是泥岩中較為破碎帶之飽和含水而來。由於山腳下1號井所解釋的井錄中並無法看出含水的現象，該藍色信號的成因仍待進一步研究，但不應當成地層。

比對剖面與地形可以看出，測線中地表之地形崖並非斷層所造成，而地底下斷層的前緣仍可能位於測線的西邊，約在台19甲線處(見圖3.7)。圖3.12為剖面08P-HKSF-AL-1之重合速度分佈。重合速度先經轉換至區間速度，再作為時間剖面轉換至深度之依據。

圖3.13為剖面08P-HKSF-AL-1之測點記錄與台19甲線西側測區之測點記錄之比較。剖面08P-HKSF-AL-1之測點記錄中僅0.2秒以上有信號，但台19甲線西側測區之測點記錄中信號可達1秒，兩者信號截然不同，岩性上有極大的差異。

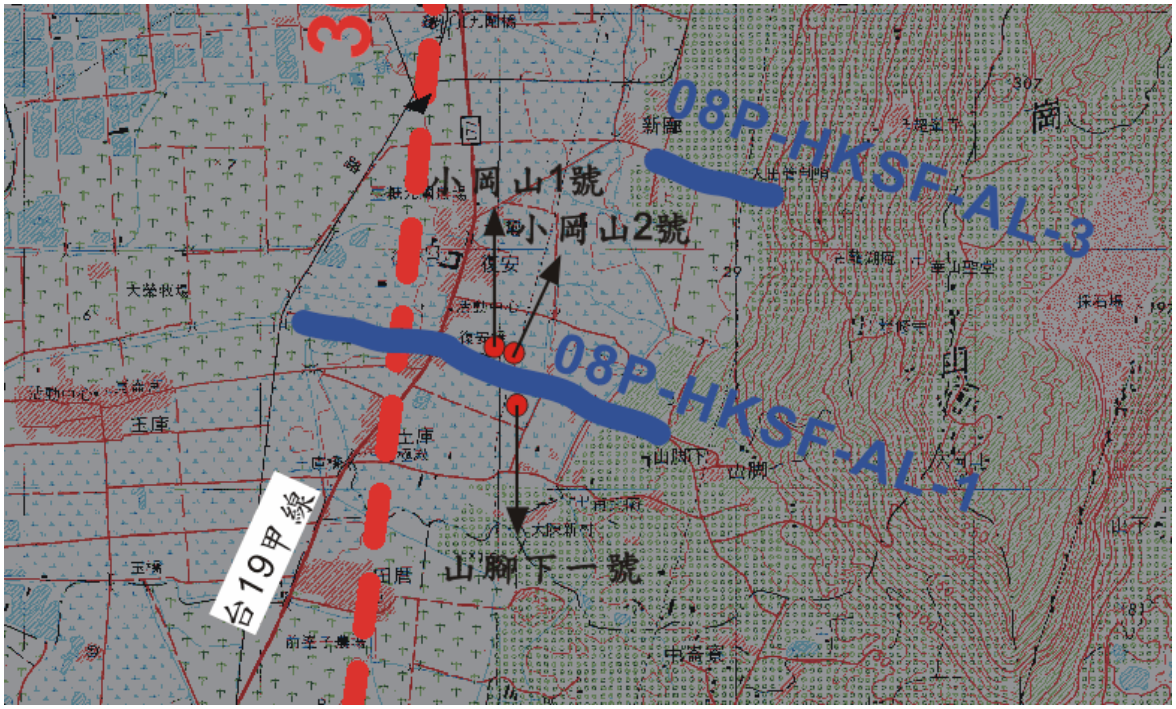


圖3.8、測線08P-HKSF-AL-1於1/25,000地形圖中配置位置（藍色實線），而紅色虛線為小崗山斷層可能通過位置。

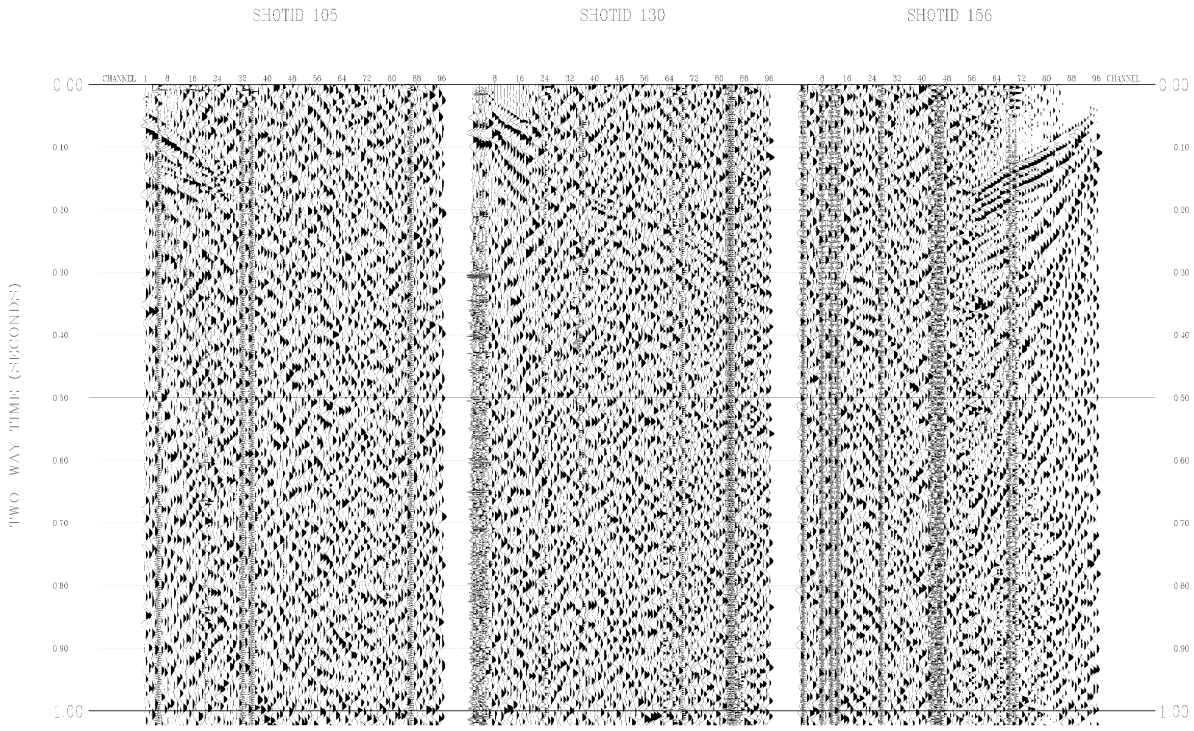


a　　b

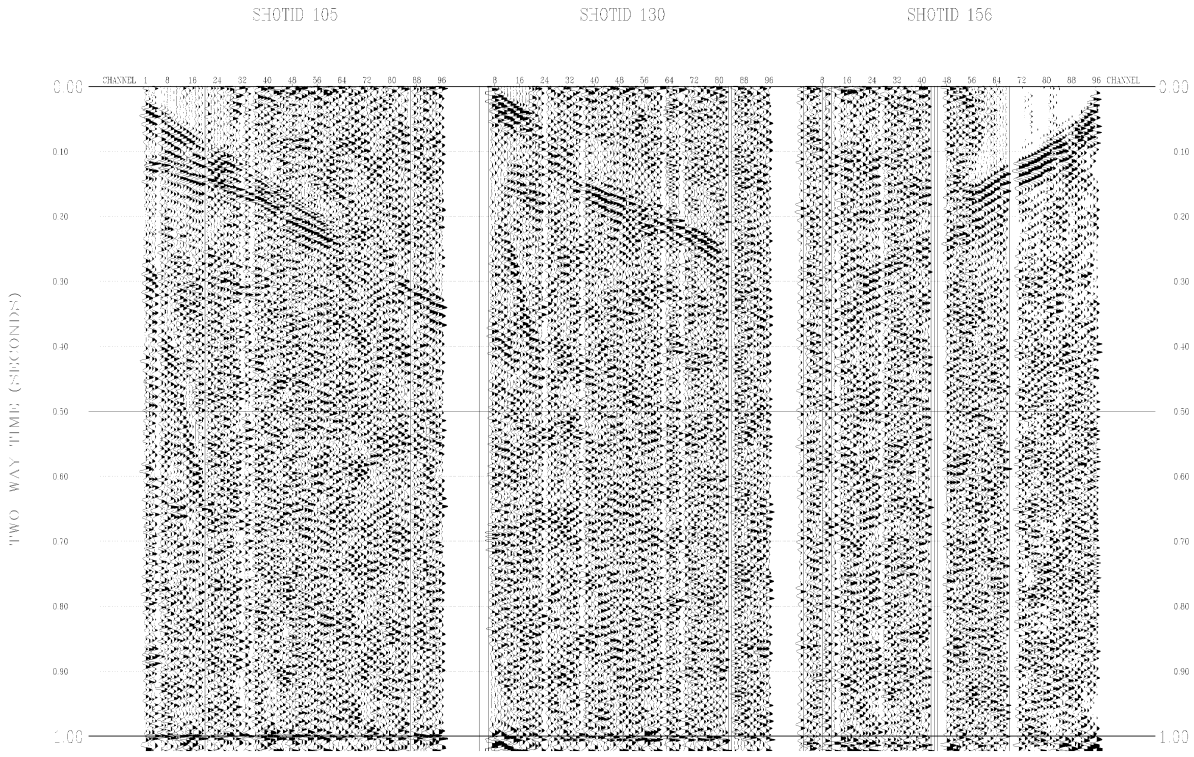
圖3.9、沿測線08P-HKSF-AL-1往西北向(a)及往東南向(b)之地表現況。

表 3.1 測線 08P-HKSF-AL-1 之施測的震測參數表。

測線名稱	08P-HKSF-AL-1
測線位置	高雄縣阿蓮鄉復安村
震源	JMS-mini 65
接收波道（個）	96
受波器陣列間距（m）	5
每組受波器個數（個）	3
每組受波器內個別間距（m）	1
受波器種類	40Hz垂直式
最小近支距（m）	5
最大遠支距（m）	505
炸點間距（m）	10
震源撞擊次數（次）	40
取樣間隔（ms）	0.5
記錄時間（sec）	1.024
最大重合數	24
測線總長（m）	1600
測線走向	西北→東南
測線曲直性	蜿蜒

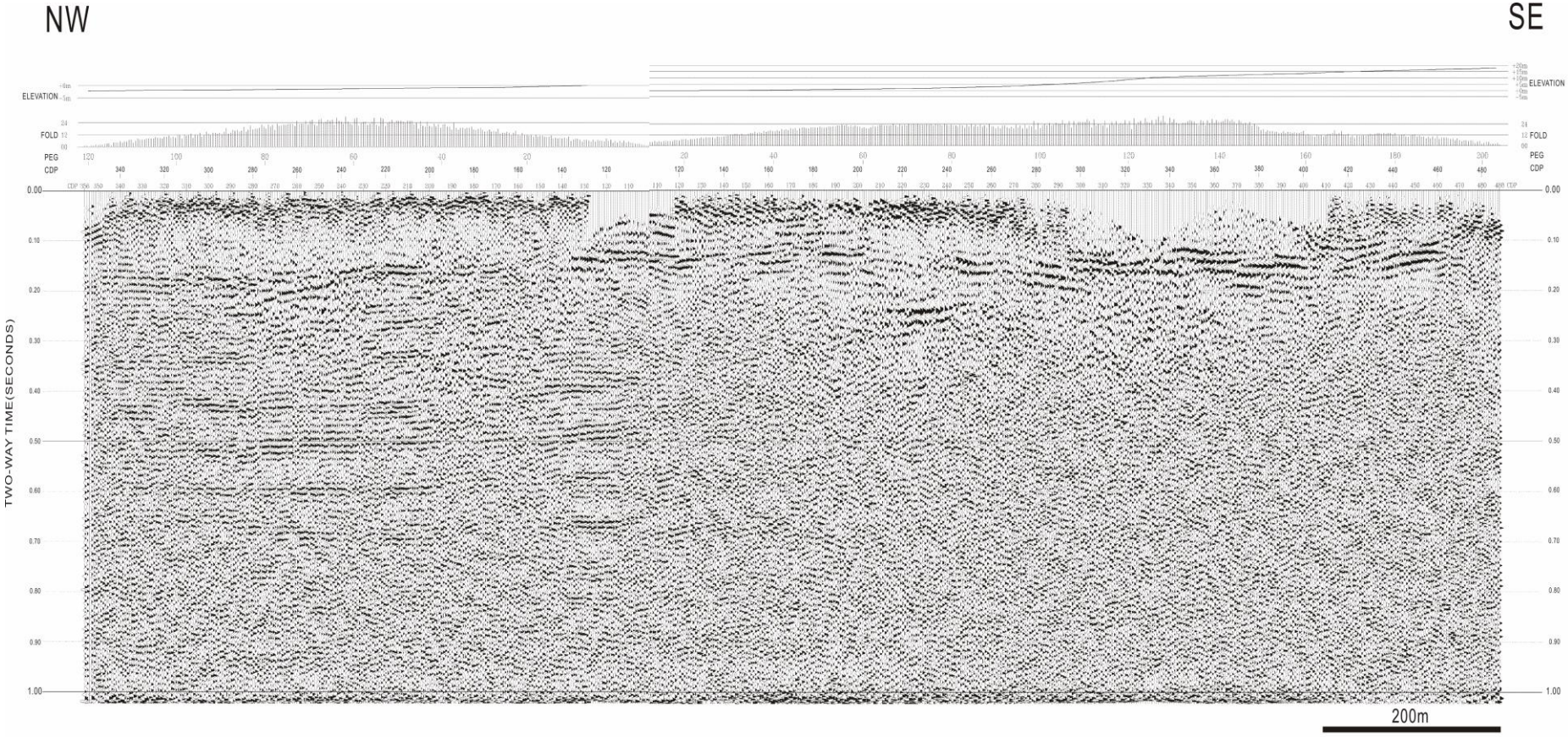


a



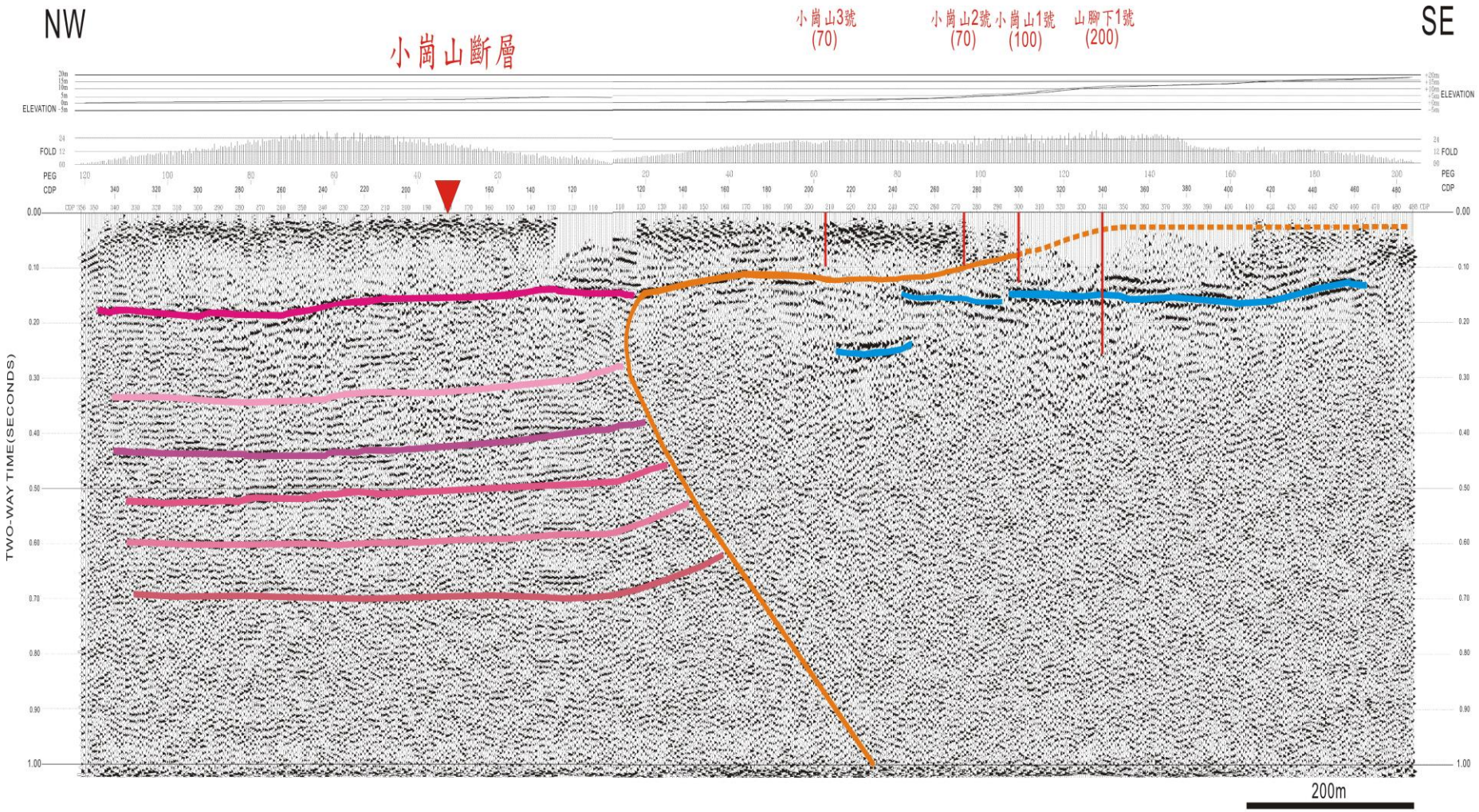
b

圖3.10、a. 測線08P-HKSF-AL-1沿線之3個代表性測點紀錄，測線沿路交通頻繁，反射信號不易觀察。b.測線08P-HKSF-AL-1之測點記錄經濾之後的結果，其中低頻雜訊已大致被濾除，但反射信號僅出現於0.2秒以上。



a

圖3.11a、測線08P-HKSF-AL-1之同中點重合剖面圖。剖面中深度約300毫秒可以看出反射信號。



b

圖3.11b、剖面08P-HKSF-AL-1之解釋。黃色線條應為基盤面，藍色信號較可能為含水層，而不是地層反射。

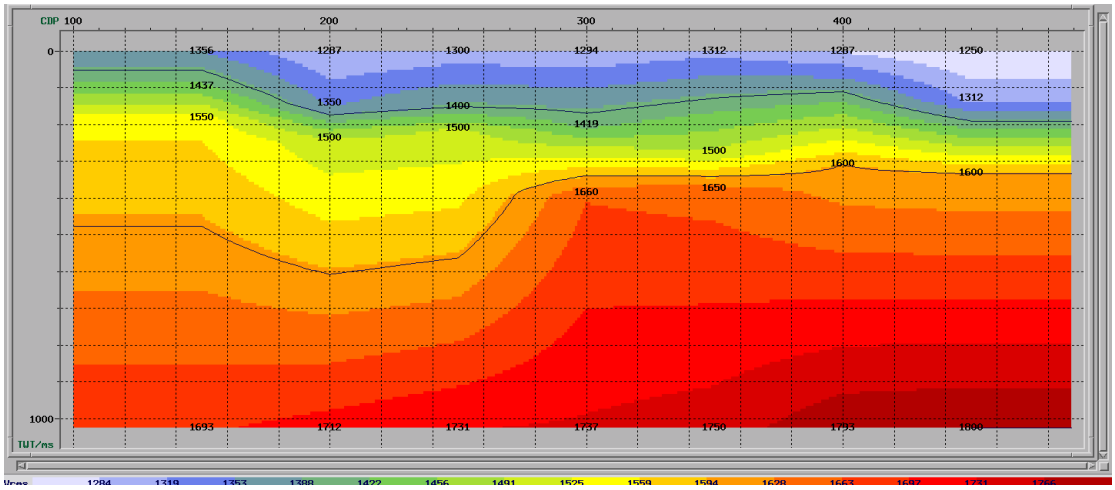


圖3.12、剖面08P-HKSF-AL-1之重合速度分佈。

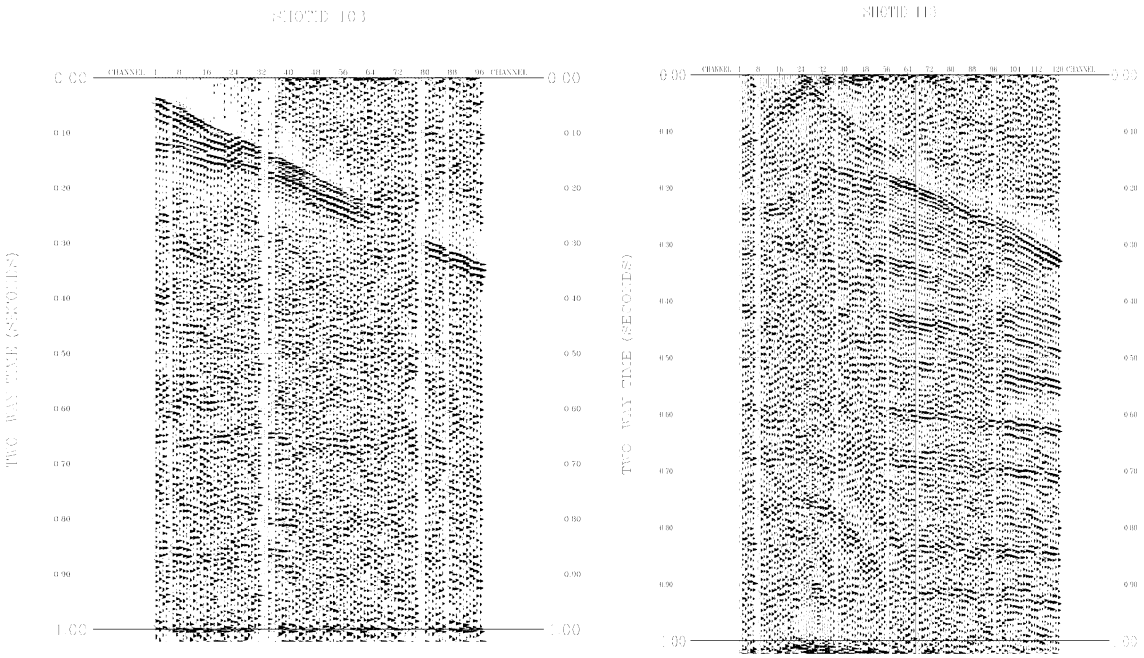


圖3.13、剖面08P-HKSF-AL-1東側之測點記錄（僅0.2秒以上有信號）與台19甲線以西之測點記錄（反射信號可達1秒深）有截然不同之表現。

2、小崗山斷層阿蓮測線二（08P-HKSF-AL-2）

測線08P-HKSF-AL-2為針對小崗山斷層南段於復安村一帶所佈置的第二條測線。測線位於大崗山與小崗山之間，沿阿蓮鄉道高37施測，測線全長733公尺。小崗山斷層可能由泥灌入體形成，其形狀若如鹽丘狀，則本測線應可如測線08P-HKSF-AL-1一般，於剖面中看到清楚之地層。圖3.14為測線08P-HKSF-AL-2於1/25,000地形圖中之配置位置。測線08P-HKSF-AL-2與08P-HKSF-AL-1之相對位置見於圖3.8中。本測線大致呈東西走向，測線沿線地形持續向東側上升，西側與東北側之端點高差約14公尺。圖3.15a與b分為沿測線08P-HKSF-AL-2往西及往東望之地表現況。

測線08P-HKSF-AL-2於施測時仍採用JMS-MINI65撞擊式震源，施測時於測線西段採用由西向東以推的方式前進，而於測線東段則改採由東往西以推的方式前進，震測信號皆利用96波道之震測儀接收。本測線延線受波器組之間距為5公尺，最小近支距 5公尺，而炸點間距10公尺，各炸點撞擊平均約50次，而每組受波器皆使用3個40 Hz受波器並聯排列，每個受波器間距為1公尺，重合剖面之最大重合數約為24重合。表3.2則為測線08P-HKSF-AL-2所使用之震測參數。

圖3.16a為測線08P-HKSF-AL-2沿線之3個代表性測點紀錄圖，圖中反射信號因交通頻繁而不易看見。圖3.16b則為經過濾後的測點紀錄，地滾波的能量明顯被減弱，但反射信號仍非常不清楚。

阿蓮測線二（08P-HKSF-AL-2）經過處理後的同中點重合剖面見於圖3.17a中，地層可見深度約200毫秒，與測線08P-HKSF-AL-1東側之影像一致。本測線之基本資料處理流程見於圖1.9中。圖3.17b為本測線之剖面解釋，黃色線條為基盤面。本測線與測線08P-HKSF-AL-1東側之影像一般，基盤往東逐漸升高，類似水層的低頻信號亦可看見。由本圖中可見泥灌入體非為圓丘形，而且泥岩與西部地層的交界應還在剖面之西邊。圖3.18為本剖面之重合速度分佈。重合速度先經轉換至區間速度，再作為時間剖面轉換至深度之依據。

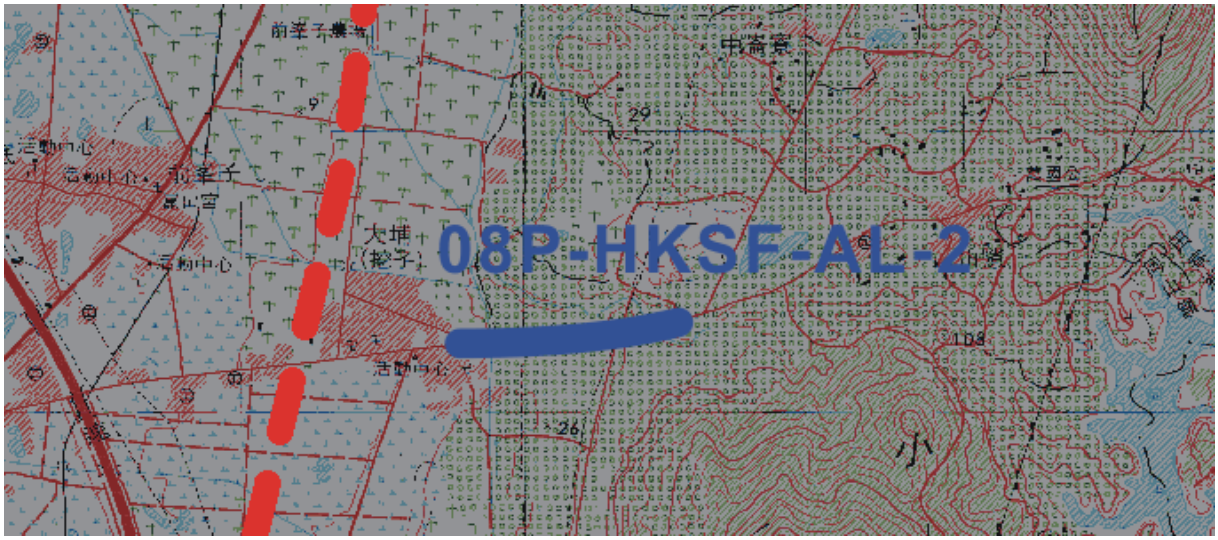


圖3.14、測線08P-HKSF-AL-2於1/25,000地形圖中之配置位置（藍色實線），而紅色虛線為小崗山斷層可能通過位置。

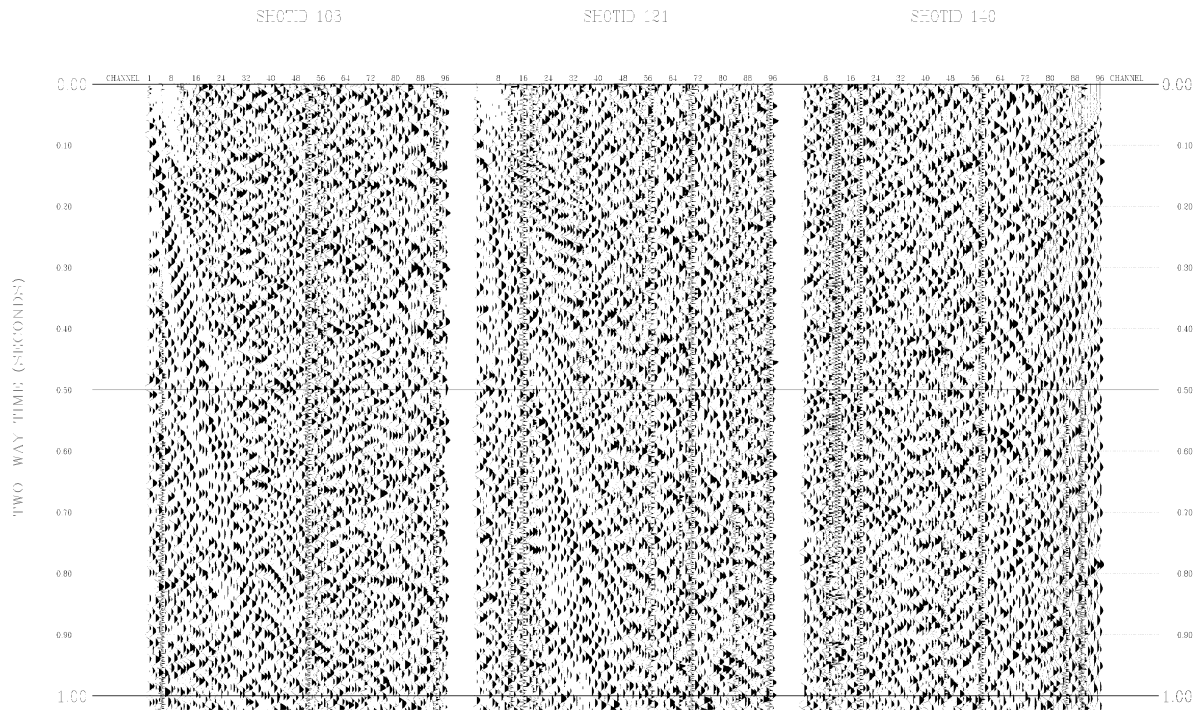


a b

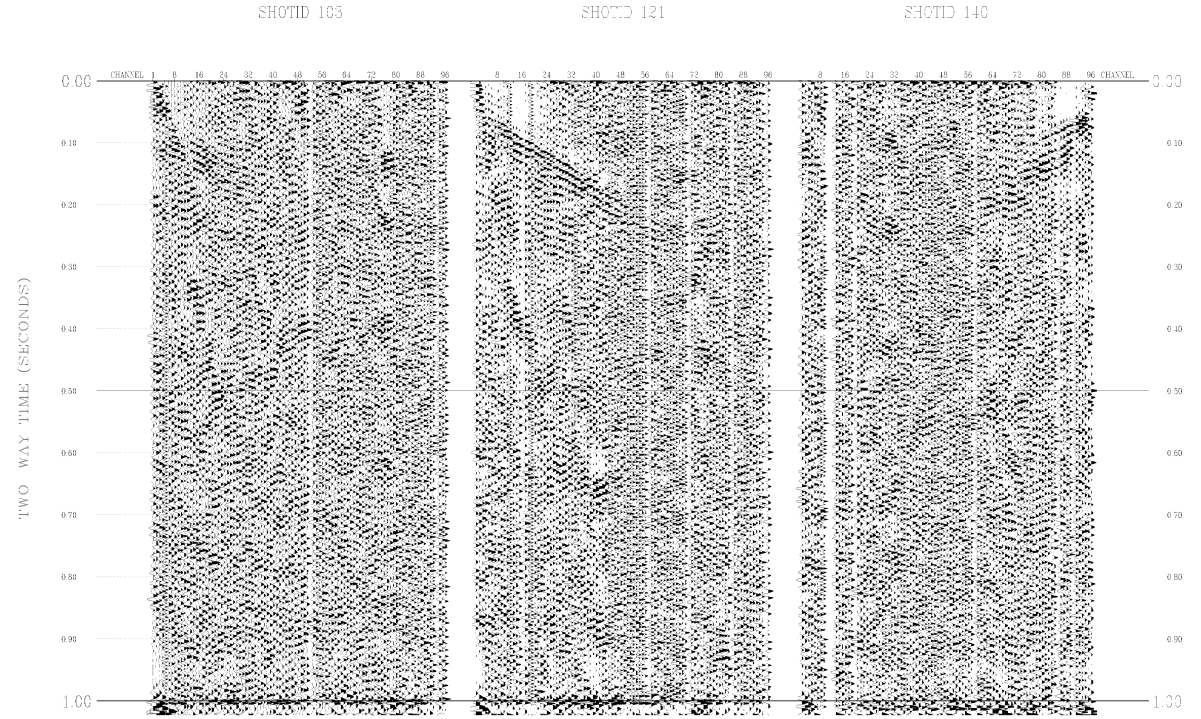
圖3.15、測線08P-HKSF-AL-2往西(a)及往東望(b)之地表現況。

表 3.2 測線 08P-HKSF-AL-2 之震測施測參數表。

測線名稱	08P-HKSF-AL-2
測線位置	高雄縣阿蓮鄉復安村
震源	JMS-mini 65
接收波道（個）	96
受波器陣列間距（m）	5
每組受波器個數（個）	3
每組受波器內個別間距（m）	1
受波器種類	40Hz垂直式
最小近支距（m）	5
最大遠支距（m）	490
炸點間距（m）	10
震源撞擊次數（次）	40~50
取樣間隔（ms）	0.5
記錄時間（sec）	1.024
最大重合數	24
測線總長（m）	733
測線走向	西→東
測線曲直性	蜿蜒

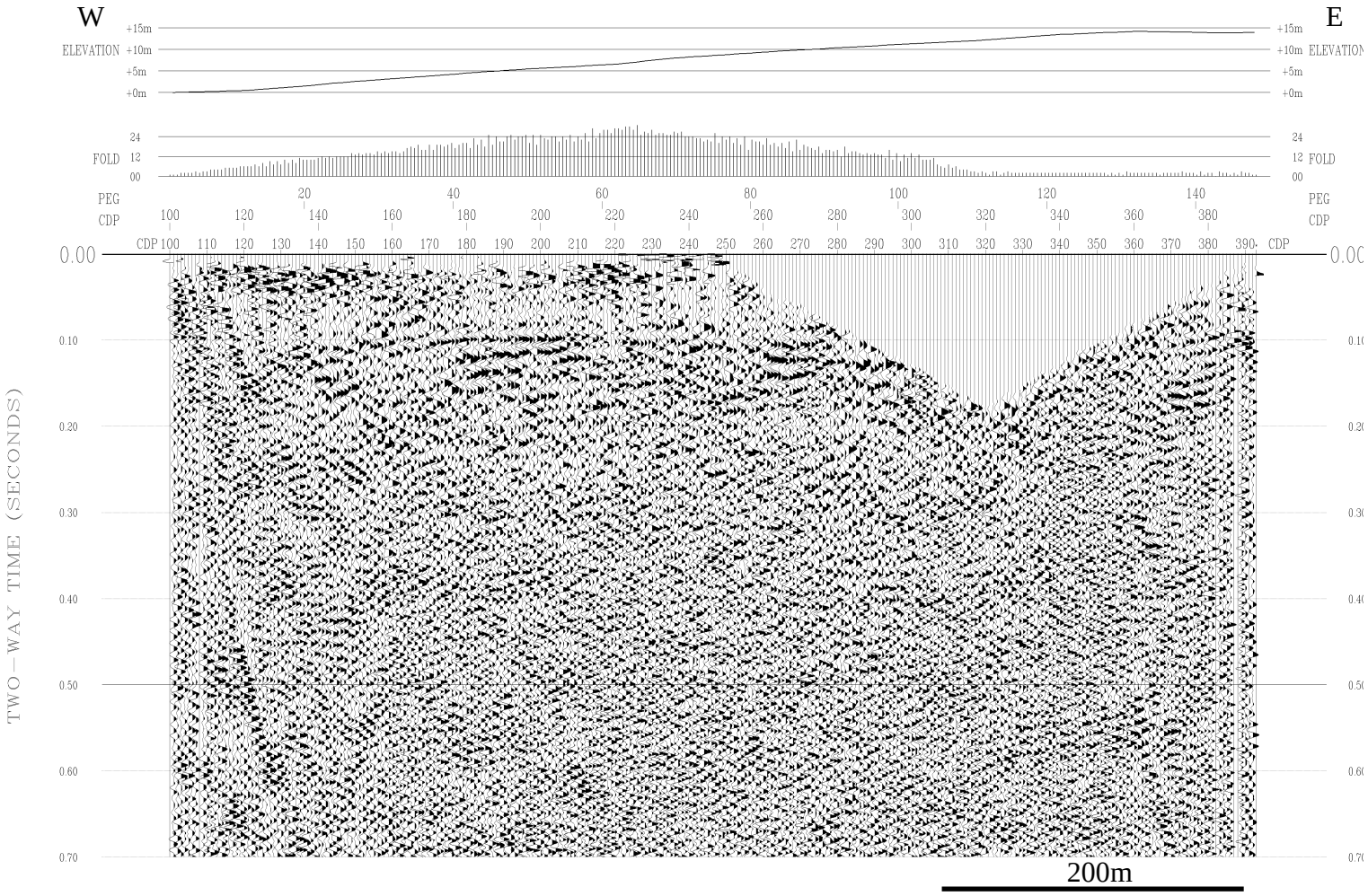


a



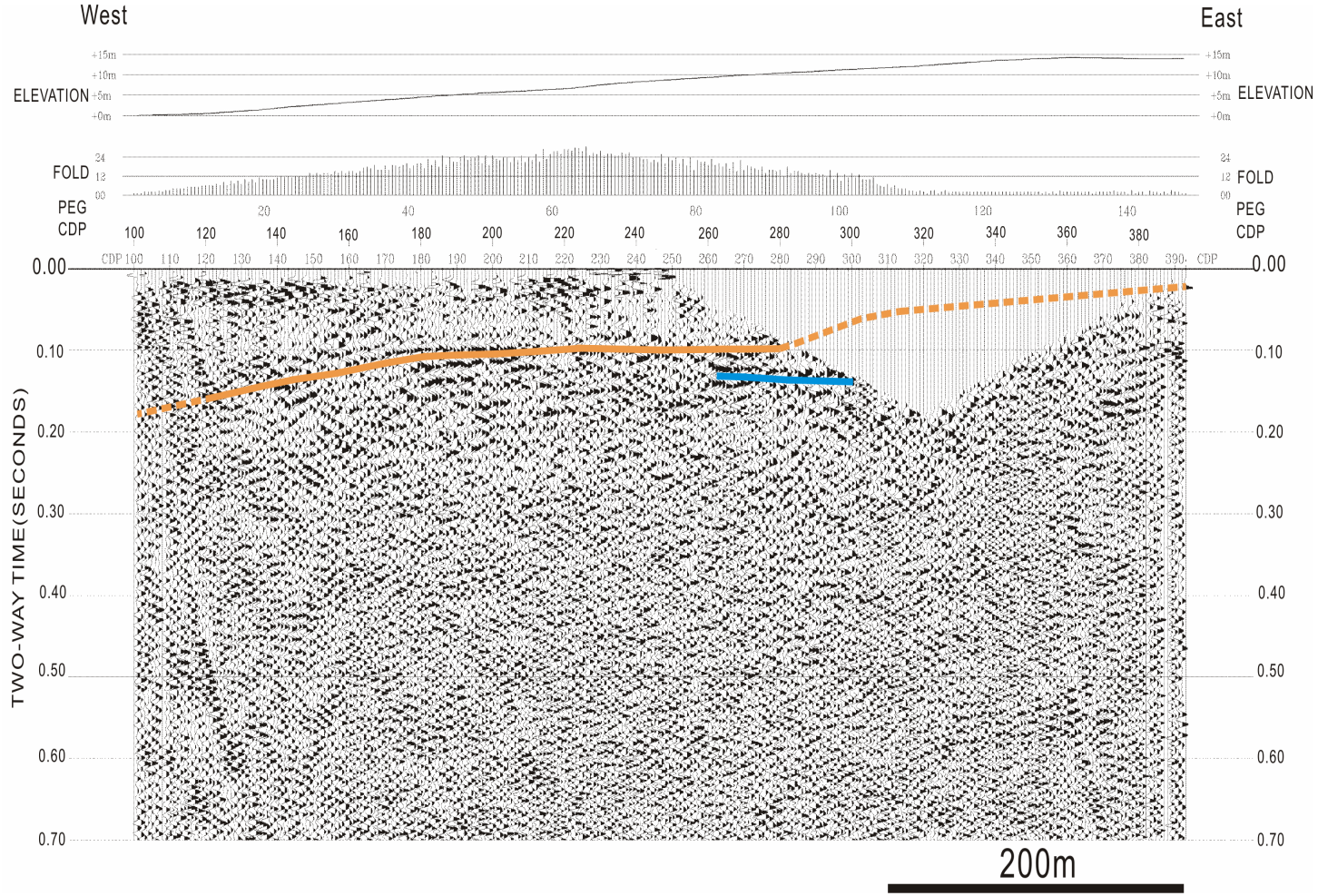
b

圖3.16、a.測線08P-HKSF-AL-2沿線之3個代表性測點紀錄，圖中雜訊擾亂嚴重。b.經過濾後的測點紀錄，地滾波明顯減弱，但反射信號仍不易觀察。



a

圖3.17a、阿蓮測線二（08P-HKSF-AL-2）經過處理後的同中點重合剖面。剖面可見深度約200毫秒。



b

圖3.17b、測線08P-HKSF-AL-2之剖面解釋。基盤往東逐漸升高，類似水層的低頻信號亦可看見。

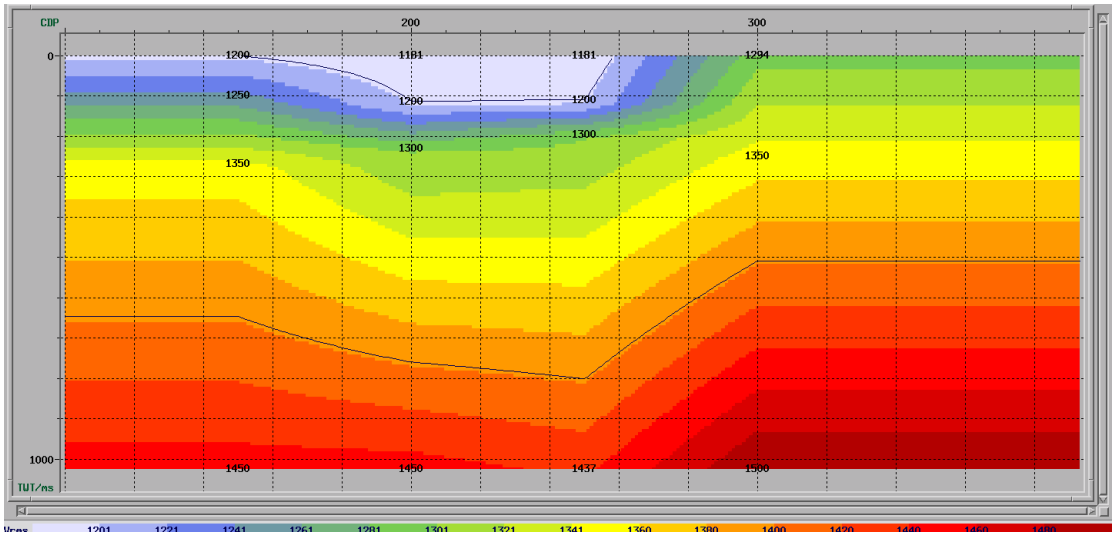


圖3.18、測線08P-HKSF-AL-2之重合速度分佈。

3、小崗山斷層阿蓮測線三（08P-HKSF-AL-3）

為檢視泥岩邊界往北延伸之行為，測線08P-HKSF-AL-3針對小崗山斷層北段於復安村一帶所佈置的第三條測線，位於阿蓮鄉道高13-1施測，測線全長475公尺。圖3.19為測線08P-HKSF-AL-3於1/25,000地形圖中之配置位置。測線08P-HKSF-AL-3與08P-HKSF-AL-1、08P-HKSF-AL-2之相對位置見於圖3.8中。本測線大致呈西北-東南走向，測線沿線地形持續向東側上升，西北側與東南側之端點高差約14公尺。圖3.20a與b分為沿測線08P-HKSF-AL-3往西及往東望之地表現況。

測線08P-HKSF-AL-3於施測時採用JMS-MINI65撞擊式震源，施測時以推進的方式由西向東前進，震測信號皆利用95波道之震測儀接收。本測線延線受波器組之間距為5公尺，最小近支距 5公尺，而前10筆的炸點間距採用10公尺，後22筆炸點的間距則採用20公尺，各炸點撞擊平均約20次，而每組受波器皆使用3個40 Hz受波器並聯排列，每個受波器間距為1公尺，重合剖面之最大重合數約為24重合。表3.3則為測線08P-HKSF-AL-3所使用之震測參數。

圖3.21a為測線08P-HKSF-AL-3沿線之3個代表性測點紀錄圖，圖中反射信號因交通頻繁而不易看見。圖3.21b則為經過濾後的測點紀錄，地滾波的能量明顯被減弱，但反射信號仍非常不清楚，而且還有許多來自側向之雜訊。

本測線之基本資料處理流程見於圖1.9中。阿蓮測線三（08P-HKSF-AL-3）經過處理後的同中點重合剖面見於圖3.22a中，可見深度約120毫秒，僅於剖面西側可見。圖3.22b

為本測線之剖面解釋，黃色線為基盤面，本剖面之基盤面較淺，且往東逐漸升高，而泥岩與西部地層之交界仍在本剖面知西側。圖3.23為本剖面之重合速度分佈。重合速度先經轉換至區間速度，再作為時間剖面轉換至深度之依據。

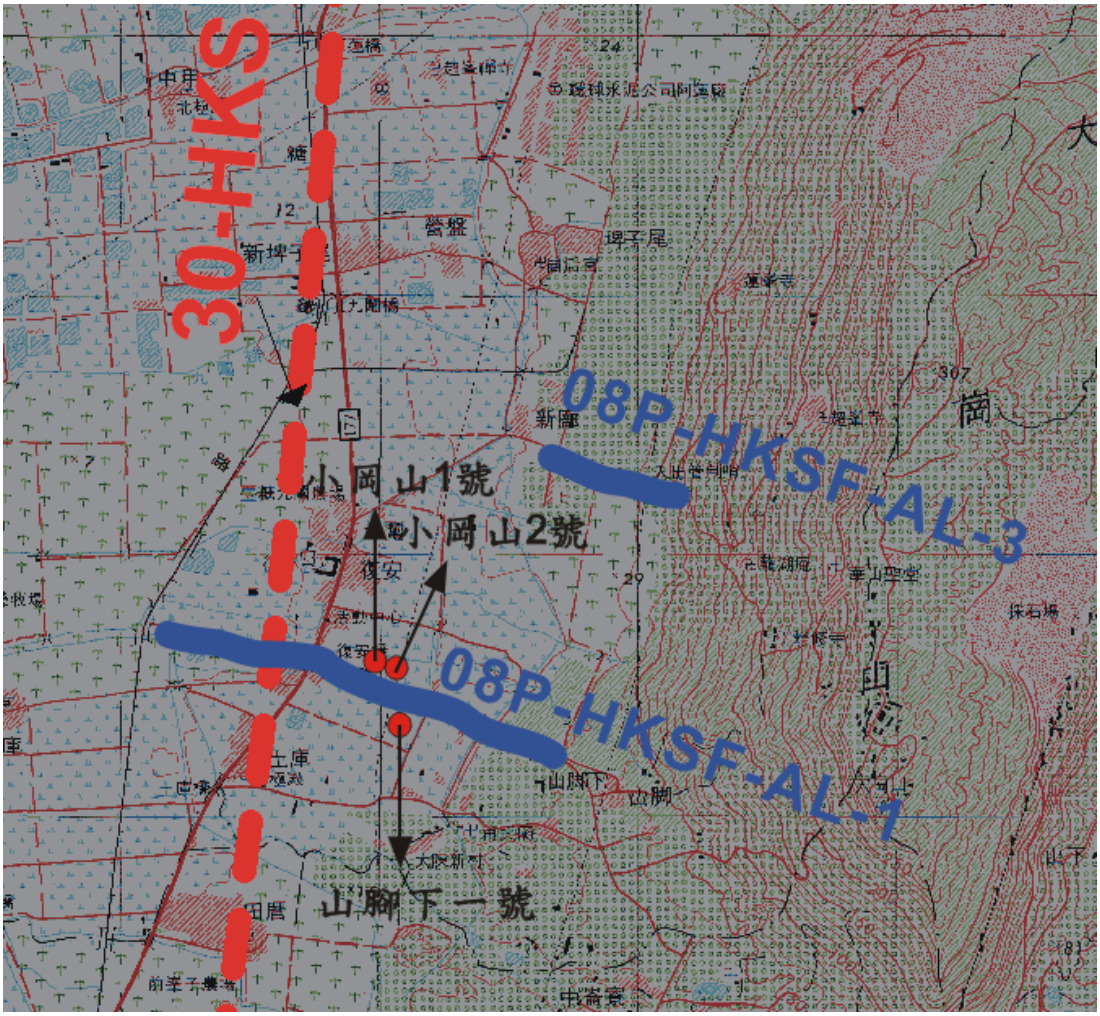


圖3.19、測線08P-HKSF-AL-3於1/25,000地形圖中之配置位置（藍色實線），而紅色虛線為小崗山斷層可能通過位置。

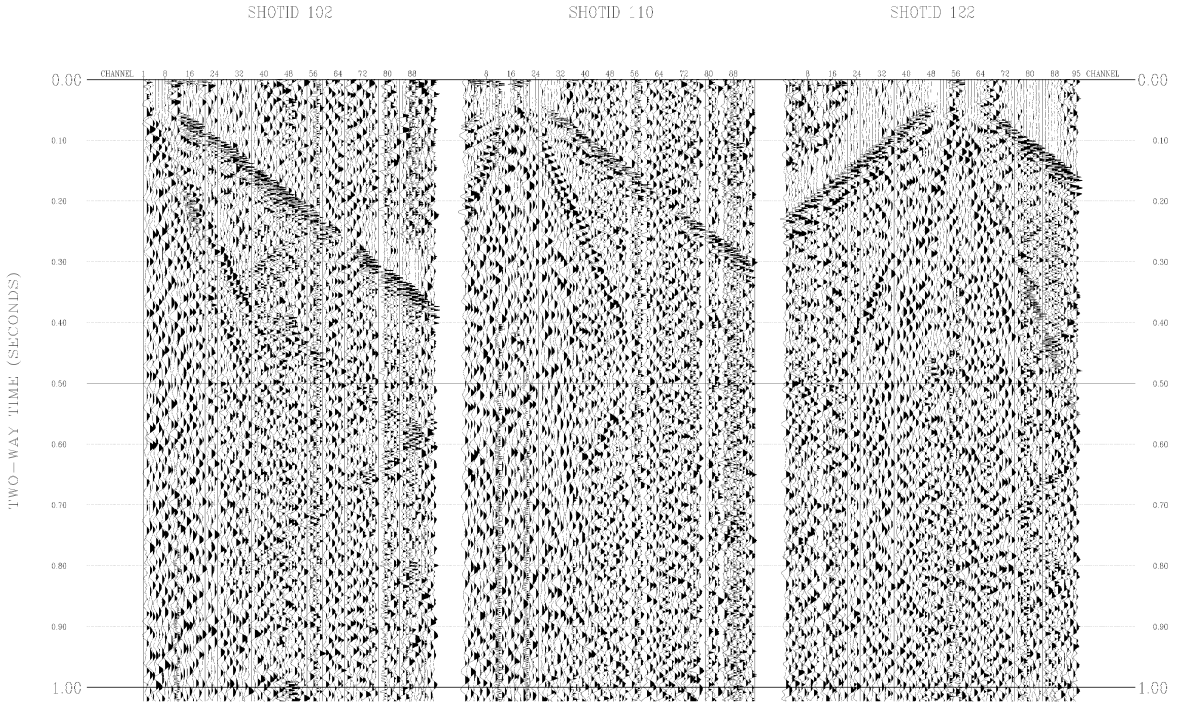


a　　b

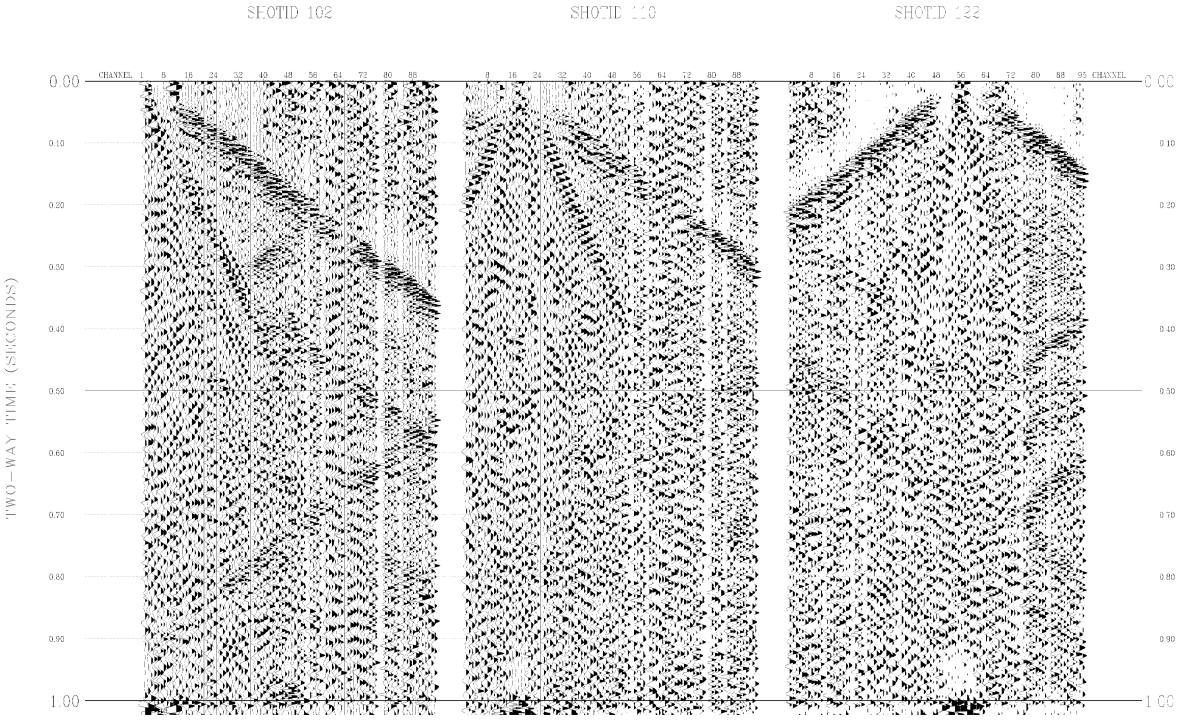
圖3.20、測線08P-HKSF-AL-3往西(a)及往東望(b)之地表現況。

表 3.3 測線 08P-HKSF-AL-3 之震測施測參數表。

測線名稱	08P-HKSF-AL-3
測線位置	高雄縣阿蓮鄉復安村
震源	JMS-mini 65
接收波道（個）	95
受波器陣列間距（m）	5
每組受波器個數（個）	3
每組受波器內個別間距（m）	1
受波器種類	40Hz垂直式
最小近支距（m）	5
最大遠支距（m）	475
炸點間距（m）	10、20
震源撞擊次數（次）	20
取樣間隔（ms）	0.5
記錄時間（sec）	1.024
最大重合數	24
測線總長（m）	475
測線走向	西北→東南
測線曲直性	蜿蜒

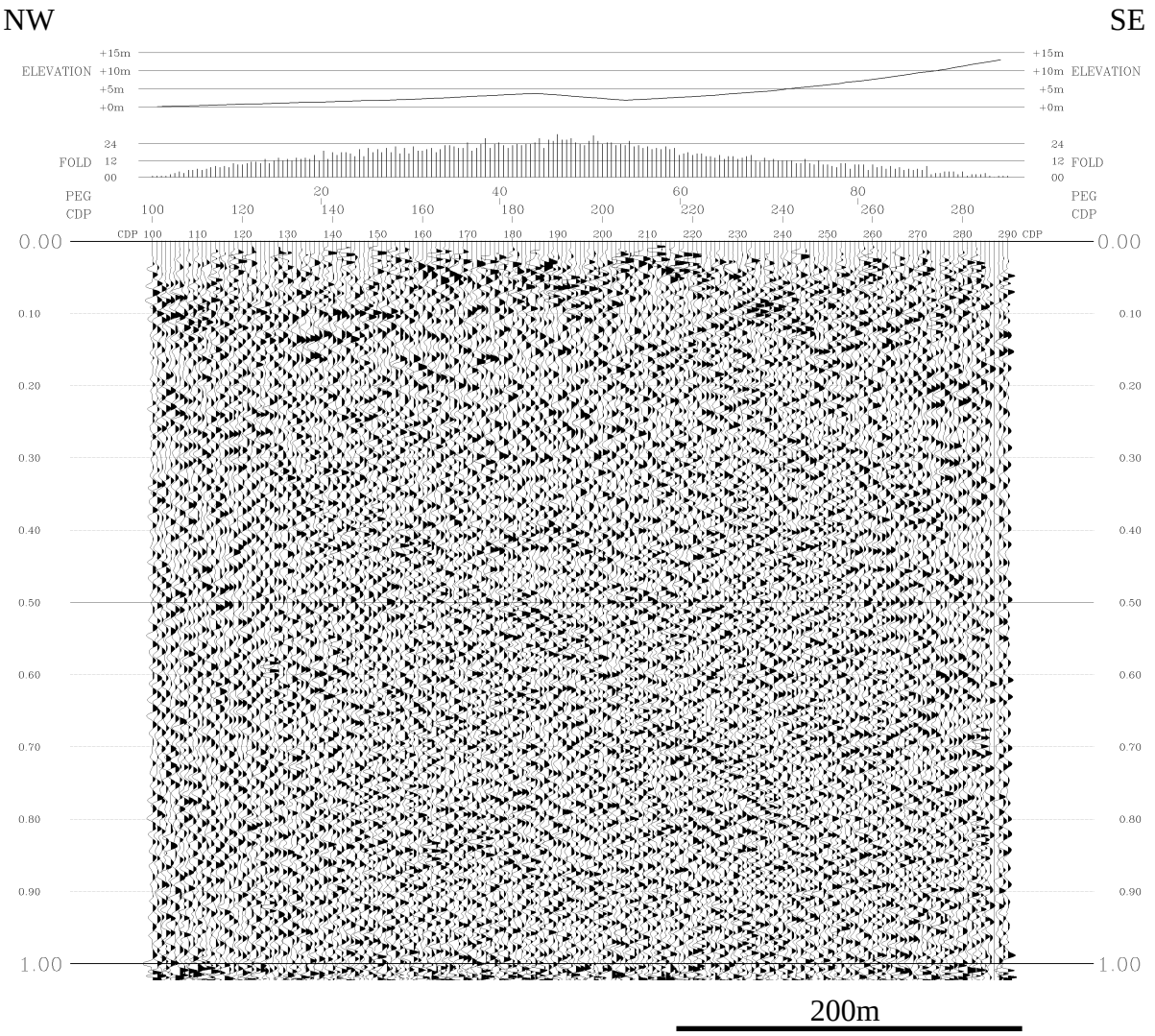


a



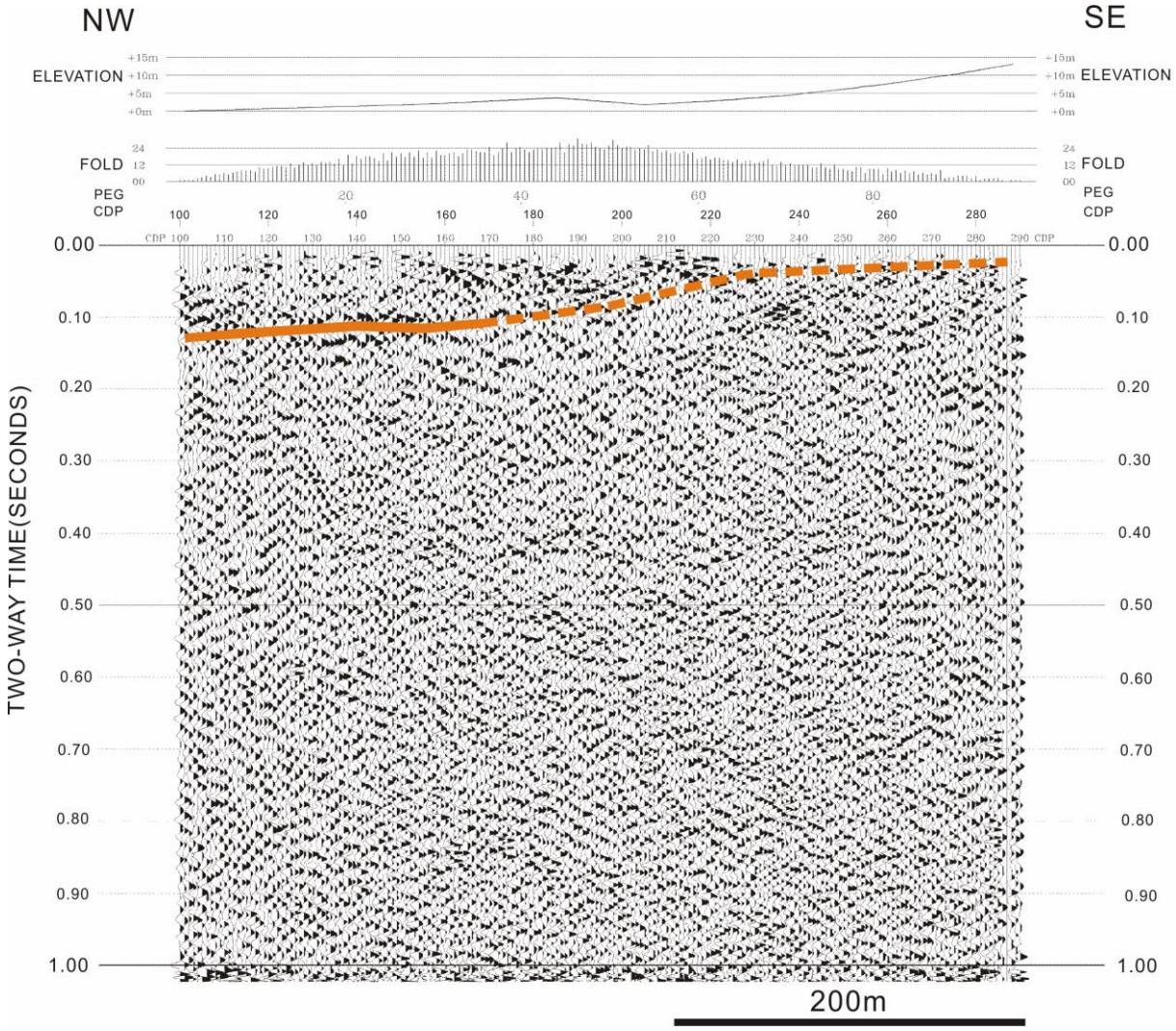
b

圖3.21、a.測線08P-HKSF-AL-3沿線之3個代表性測點紀錄，圖中雜訊擾亂嚴重，反射信號不清楚。b.經過濾後地滾波明顯減弱，但反射信號仍不易觀察。



a

圖3.22a、阿蓮測線三（08P-HKSF-AL-3）經過處理後的同中點重合剖面。剖面可見深度約200毫秒。



b

圖3.22b、測線08P-HKSF-AL-3之剖面解釋。未有斷層的跡象。

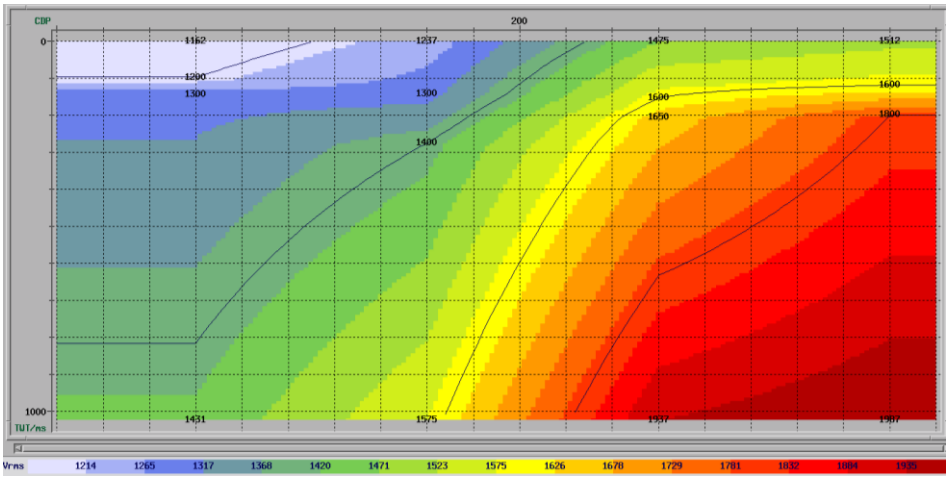


圖3.23、測線08P-HKSF-AL-3之重合速度分佈。

（三）地表與井下地質調查

由深部震測剖面、淺層震測與重力資料，加上山腳下1 號井的地質判識。本研究初步認為小崗山斷層的線形由於底下的泥貫入體褶皺變形所致，此泥貫入體並形成大崗山背斜，此背斜的垂直抬升量至少超過1,300公尺。

1、山腳下1號井井錄

此井位於地形崖東側約為200公尺處，地形崖兩側高差約有4公尺，地表組成物質為疏鬆之現代沖積層，植生嚴重（劉彥求，2008）。圖3.24為山腳下1號井之鑽探位置，地層之岩性大致如表3.4所示，詳細的井錄則列於附錄5。岩芯中0~36公尺處為全新世海相地層，傾角低緩，不整合於下伏的古亭坑層之上。古亭坑層呈高角度傾斜，角度約50-70度之間。古亭坑層中發育許多小斷層，井錄中可發現斷層傾角大致在20-90度之間，低傾角的斷層多為逆斷層，部份為斜滑斷層，高傾角斷層大多為正斷層形式。圖3.25至圖3.27為部份斷層帶的描述，類似斷層帶廣泛分布於岩心中。圖3.25中A為16.8公尺處的岩心，可以見到地層近水平。B為37.3公尺附近的逆斷層，此岩心中常見發育黑色斷層泥，C為共軛形式的逆斷層，圖D為46公尺附近的逆斷層，伴隨黑色斷層泥。圖3.26中之A為137公尺處高角度正斷層。B為163公尺處高角度正斷層。C為共軛低角度逆斷層，黑色斷層泥受另一組斷層截切。D為184.2公尺的共軛逆斷層。圖3.27中A與B為189公尺處高角度正斷層。C為197公尺處之高角度斷層。D圖中可見層裡近垂直，並呈現類似流動構造。由岩心紀錄顯示以低角度至中高角度以壓縮性構造為主，近乎垂直斷層大致以正斷層為主，顯示最大主應力在鉛直方向。

表3.4 山腳下1號井之岩芯岩性

深度	岩性	層面	破裂面
0-24公尺	淘選良好砂層,夾石灰岩礫石及貝殼碎片	0-5	
20-30公尺	主要為含有碳質與貝殼碎屑的泥層	0-5	
33.6-200公尺	古亭坑層泥岩	50-70	20-90度，破裂面主要為沿層面滑動剪切面及高角度斷層

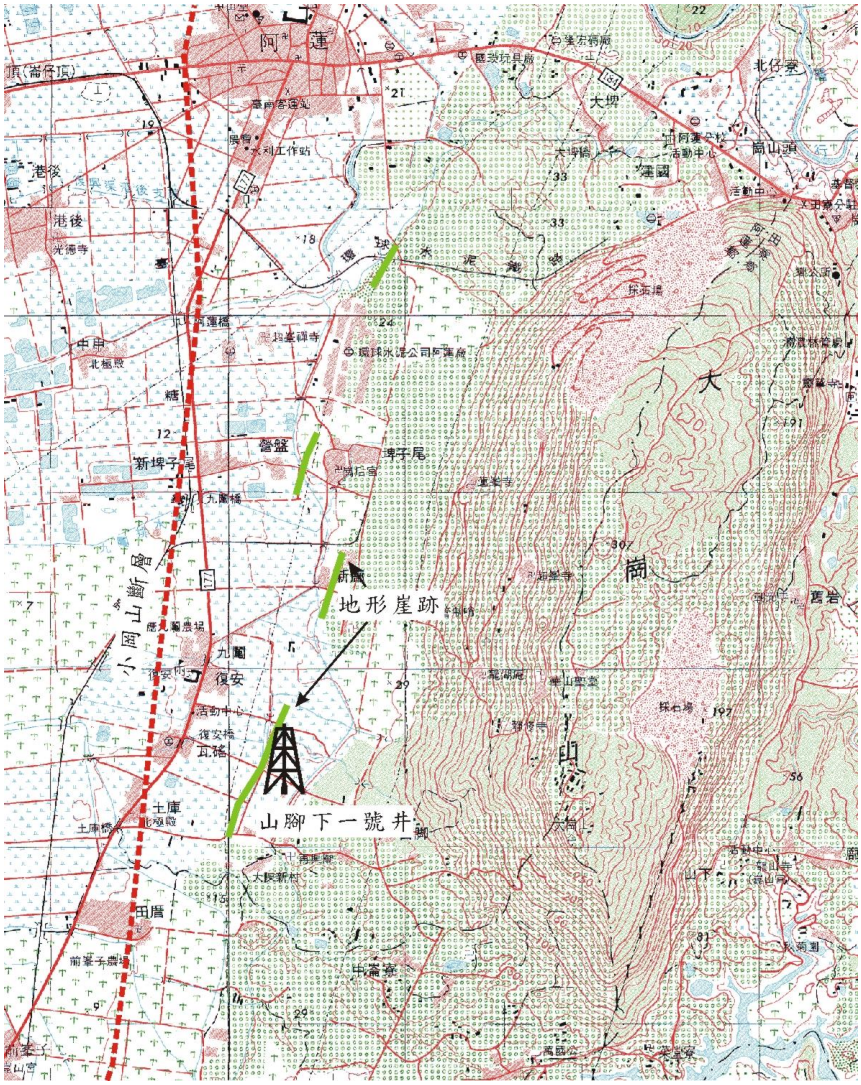


圖3.24、山腳下1號井鑽探位置圖（修正自劉彥求，2008）。

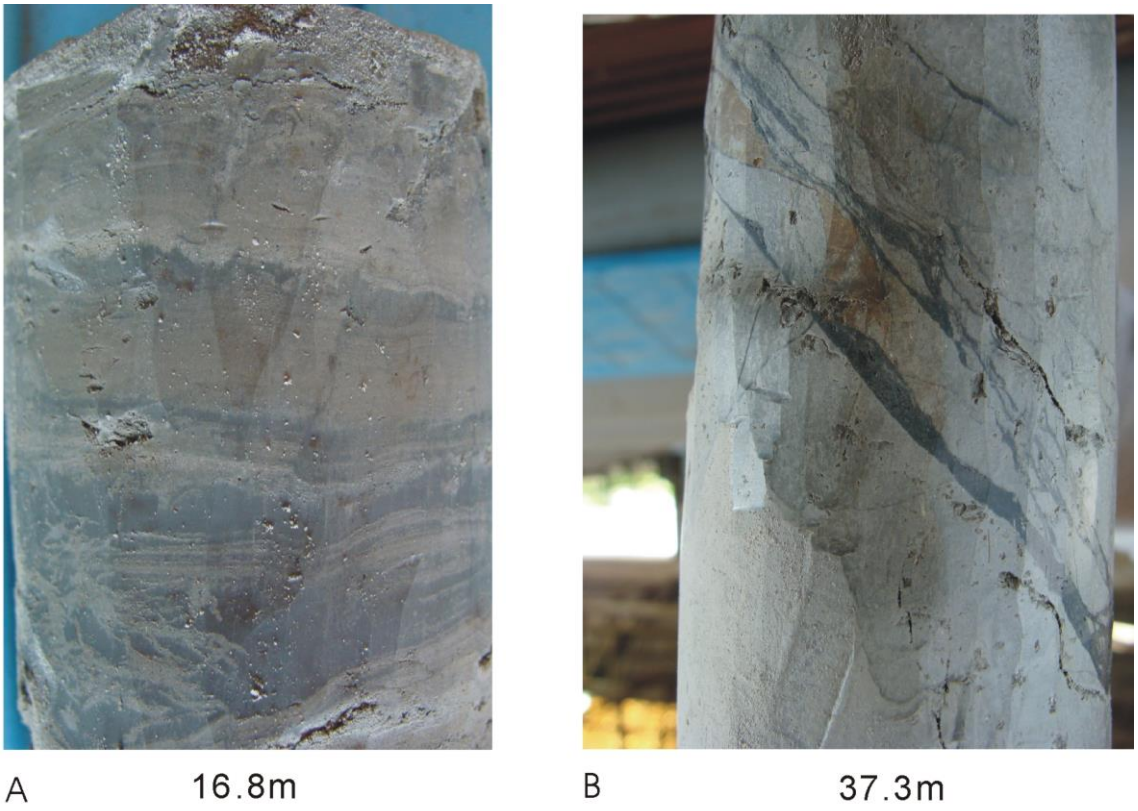


圖3.25、A 為山腳下一號井16.8公尺處，地層近水平，B 為37.3公尺處斷層，發育黑色斷層。C為37.4 公尺處斷層，斷層為共軛的高角度逆斷層。D為36公尺處的逆斷層，發育黑色斷層泥。



A 137.4m



B 163m



C 184.3m



D 184.2m

圖3.26、A為山腳下一號井137公尺處高角度正斷層。B為163公尺處高角度正斷層。C為共軛低角度逆斷層，黑色斷層泥受另一組斷層截切。D為184.2公尺的共軛逆斷層。



A 189m



B 189m



C 197.5m



D 197.3m

圖3.27、A與B為山腳下一號井189公尺處高角度正斷層。C為197公尺高角度斷層。D圖中可見層裡近垂直，並呈現類似流動構造。

2、小崗山斷層上盤第四紀沉積物或覆土的厚度，以及各地層的厚度與界面

由山腳一號井岩心資料可見0~36公尺為全新世海相地層，傾角低緩，不整合於下伏的古亭坑層之上，36公尺以下皆為古亭坑層。由陳文山教授之鑽井資料顯示，淺部的沈積物由山腳下1號井處往西漸深，厚度可達70公尺以上。

（四）斷層之動力學分析

由於古亭坑層沈積於大陸斜坡之上，水深近1,000-2,000公尺，因此此大崗山背斜垂直抬升量至少約1,300公尺。小崗山線形發育在大崗山背斜的西緣，地表的石灰岩以交角不整合的形式覆蓋在古亭坑泥岩之上。井下記錄顯示，背斜西翼的古亭坑泥岩傾角可達50°-70°，背斜東翼雖然缺乏震測資料，不過因為其具有很高的重力異常梯度（Hsieh, 1972），因此推論背斜東翼也應該是高角度傾斜的地層，而緊密的翼間角正是典型滑脫褶皺或泥貫入構造的特性之一。由圖3.28的重力資料顯示，在大崗山背斜之下存在小規模重力高區，此高區大小與大崗山及小崗山石灰岩分布範圍近似（圖3.28）。此外，在震測剖面也可清楚的看到，在大崗山背斜軸部，泥貫入體截切週遭岩層的構造。不過根據岩芯記錄顯示，在泥岩中除了垂直流動構造外，還伴隨水平壓縮所產生的剪切構造，因此大崗山背斜並非單純的泥貫入構造，而可能是伴隨滑離褶皺的泥貫入構造。至於滑脫面的深度，根據中洲背斜處的鑽井資料，滑脫面的深度應在4,000公尺以下。我們推測，滑脫面可能位於古亭坑層與烏山層的交接面，因為此處為岩性對比最大的地方，也可能是岩層強度對比最大處，深度可能在5,000公尺左右。

由於泥岩的流動行為會受到許多局部因素的影響而發生變化，因此很難用簡單的數值分法來定量解釋它所形成的構造。不過我們可以定性的推測，在古亭坑層沉積的後期，泥貫穿作用造成包括台南台地、中洲以及大崗山背斜等地區向上隆起。突出的地形受到長期的侵蝕，造成上部古亭坑層的缺失，後來在此侵蝕面上再沉積珊瑚礁石灰岩；爾後的造山運動造成古亭坑層內發生滑離褶皺，褶皺軸部則沿早期的泥貫穿體發育，最終形成今日之構造，其可能的構造演化如下所示。

圖3.29為台灣西南部至海域的地體構造圖，其中左鎮以南沈積環境由棚裂逐漸轉為大陸斜坡至深海的環境。由於此區域位於造山帶前緣，沈積物得以大量由中央山脈供應，累積巨厚的古亭坑泥岩。在快速的沈積作用下，伴隨的壓密作用導致水無法迅速排出及受水平壓應力下而形成高壓的環境，此亦導致泥貫入體的形成。由圖3.29西南部至

海域的地體構造圖中可見，現今的大陸斜坡已在高雄外海(Chiu et al, 2006)。

圖3.30為現今高雄外海的泥貫入體分布區域圖（Chiu et al., 2006）。過去的西南部亦在相同環境下，而有許多的泥貫入體。圖3.31為泥貫入體與珊瑚礁發育示意圖。在增積楔形體中發育的泥貫入體，由於位處於隱沒環境，因此這些泥貫入體及其上覆岩層轉為褶皺作用，並持續增長震幅。由於發育位置處於熱帶環境，因此當泥貫入體增長至進水平面時，開始發育珊瑚礁，由於珊瑚礁相對於堅硬的蓋層較不易風化，當褶皺與泥貫入體作用持續並同時在泥貫入體周圍發育逆斷層，因此逐漸將珊瑚礁抬升造成如現今的大小岡山石灰岩。

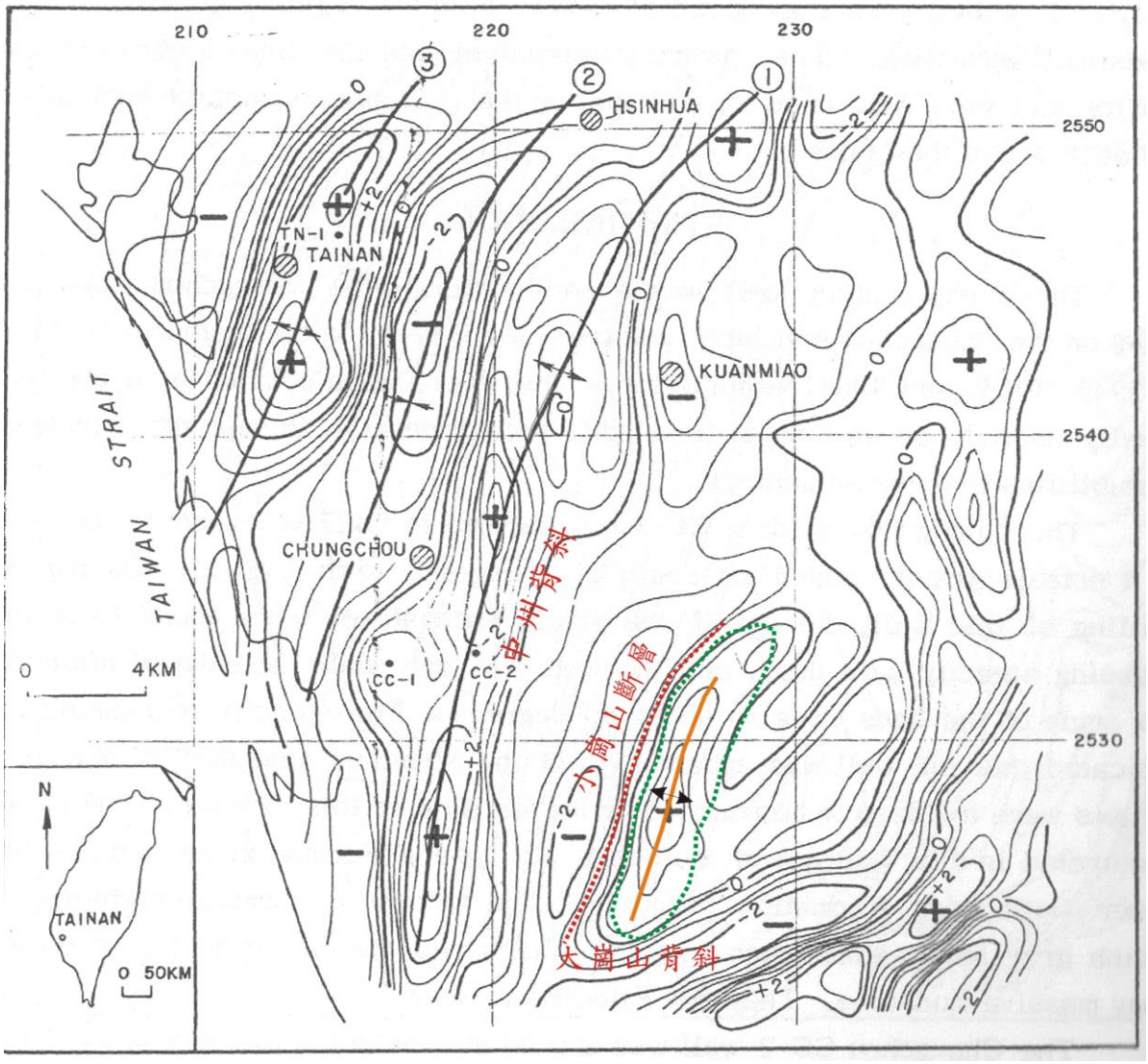


圖3.28、小崗山斷層一帶重力異常圖(Hsieh, 1972)，圖中可見背斜軸部顯示重力高區。大崗山背斜之下存在小規模重力高區。

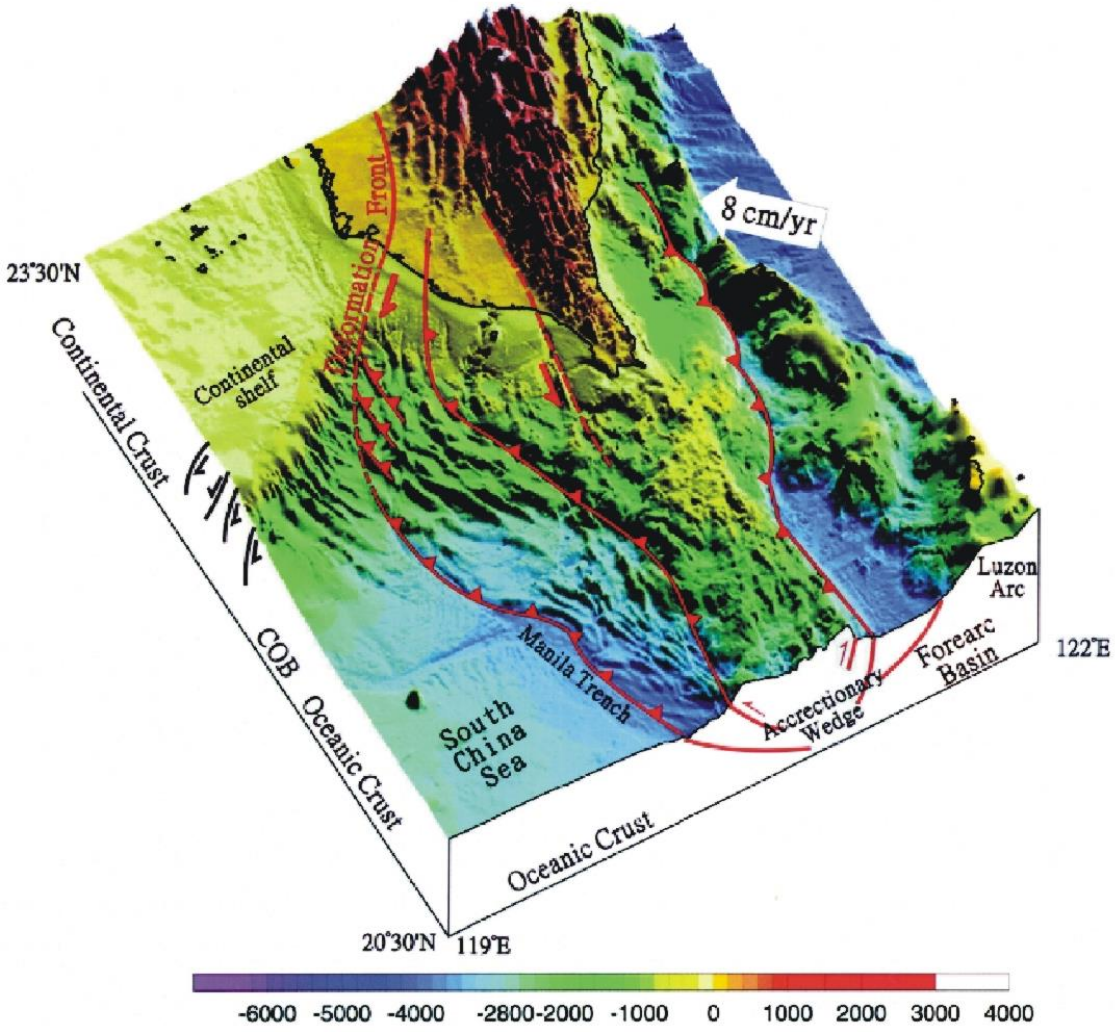


圖3.29、台灣西南部外海的海底地形與構造形態。高雄外海為增積楔形體構造(accrectio-nary wedge)。

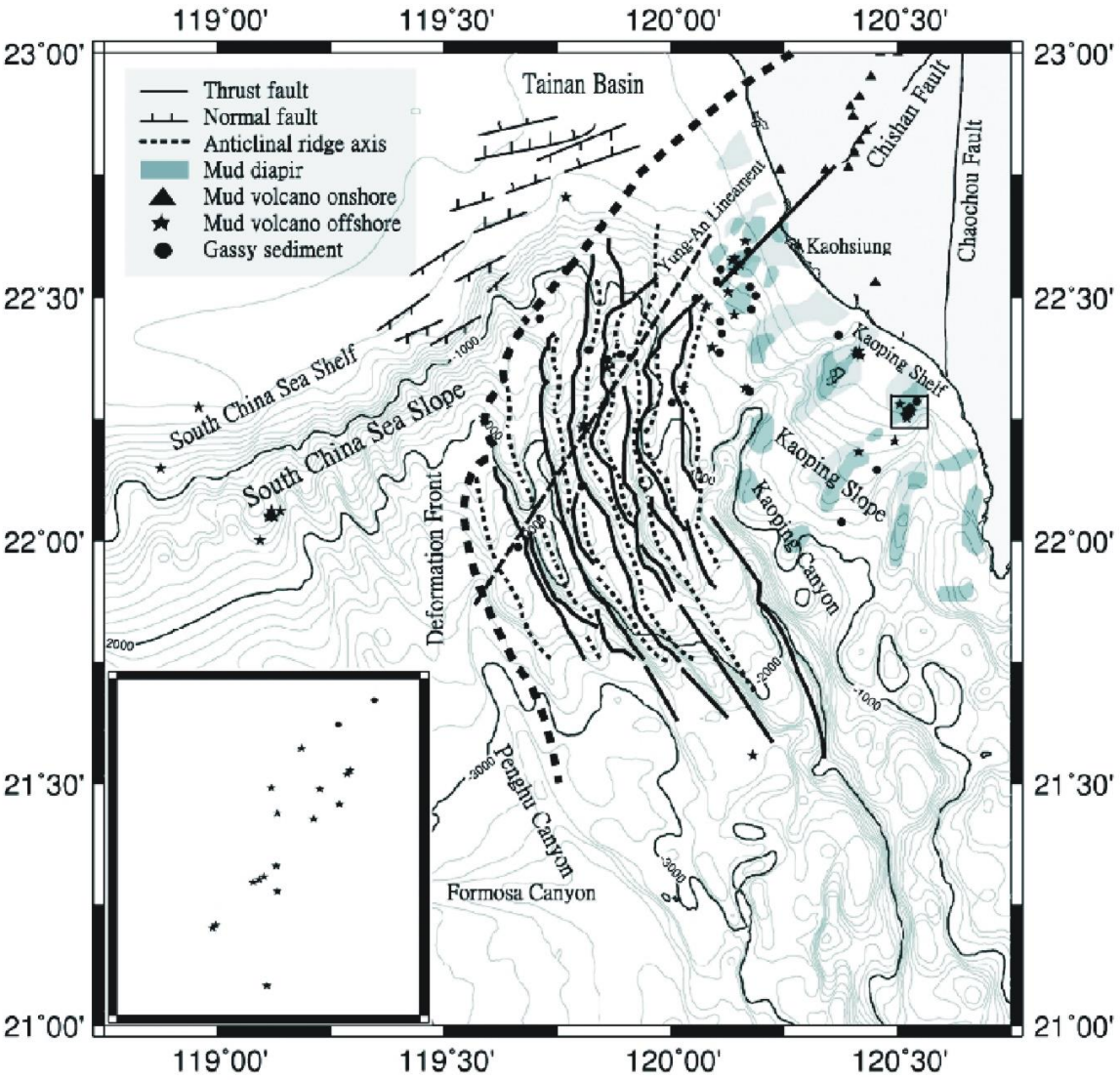


圖3.30、台灣西南部外海之現今泥貫入體分布位置圖。（Chiu et al., 2006）。

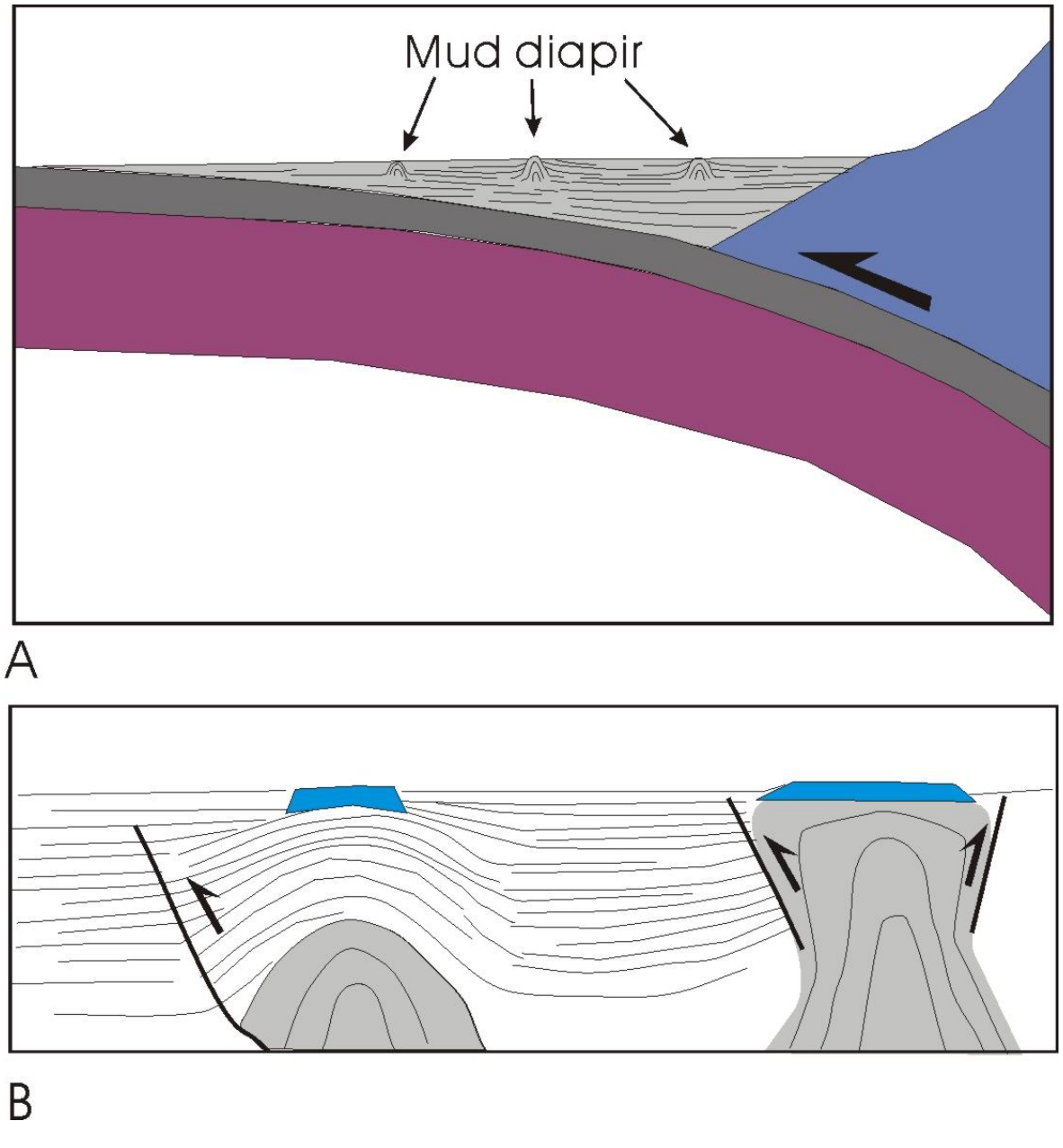


圖3.31、泥貫入體與珊瑚礁發育示意圖。A為在隱沒環境及造山帶環境，沈積巨厚沈積物，由於迅速沈積及水平壓應力造成高壓環境因此形成泥貫入體。B圖顯示此泥貫入體受水平壓應力影響伴隨褶皺及逆斷層，當泥貫入體發育至近海水面開始發育珊瑚礁。

（五）節要

深部構造剖面可以見到中州背斜軸部並無反射信號出現，反射信號出現在軸部兩側，這主要是因為軸部為古亭坑泥岩層，而兩側則為砂頁岩互層岩相，因此有較好的反射信號出現。小崗山線形發育在大崗山背斜的西緣，地表的石灰岩以交角不整合的形式覆蓋在古亭坑泥岩之上。大崗山背斜的形成可能由泥貫入體所伴隨的褶皺作用所形成，震測剖面也可能會有類似中洲背斜之影像特性。

淺層震測測線08P-HKSF-AL-1之剖面中可以看出西半部剖面之地層連續性良好，而東半部之地層僅出現於淺部。剖面中基盤由東往西漸深，泥岩與西部地層以一向東傾斜的界線交接，西部地層的深度可達1秒處。剖面08P-HKSF-AL-2之影像與測線08P-HKSF-AL-1東側之影像一致，基盤往東逐漸升高。而測線08P-HKSF-AL-3的剖面也有同樣的特性。

大崗山背斜形成初期，可能因為泥質沉積物受到增積楔形體壓密與脫水的影響，局部地區水壓增加，觸發泥貫入作用，造成大崗山背斜隆起。之後在背斜頂端發生侵蝕作用，造成上部古亭坑層缺失，並在其上生成珊瑚礁岩體。爾後造山運動在此形成滑離褶皺，擴大背斜褶皺振幅，並在泥貫入體中造成壓縮剪切帶。小崗山線形崖即為在泥貫入體西緣所發育出的地形特徵。

圖3.32即為跨越小崗山盲斷層兩側之構造剖面。圖中紅色倒三角形為小崗山斷層之疑似位置，本研究認為小崗山斷層為一盲斷層，因泥貫入後受到側向擠壓而形成。剖面中古亭坑泥岩西側地層為六雙層，上層覆蓋現代沖積層，厚度由西邊約180公尺後往東邊漸薄，剖面東方古亭坑泥岩上層為珊瑚礁。

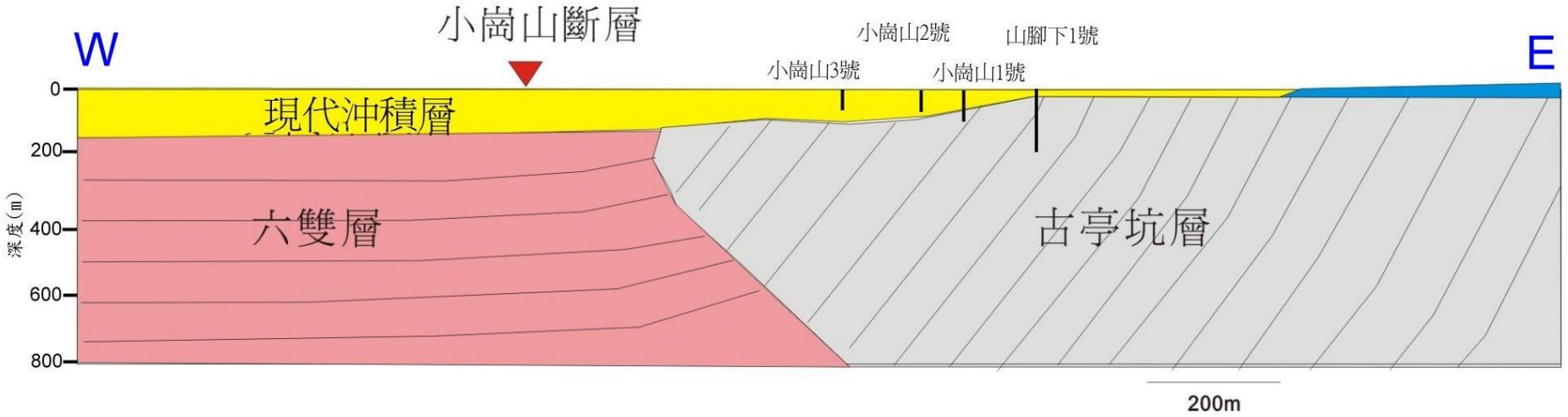


圖3.32、跨越小崗山盲斷層兩側之構造剖面。圖中紅色倒三角形為小崗山斷層之疑似位置，本研究認為小崗山斷層為一盲斷層，因泥貫入後受到側向擠壓而形成。剖面中古亭坑泥岩西側地層為六雙層，上層覆蓋現代沖積層，厚度由西邊約180公尺後往東邊漸薄，剖面東方古亭坑泥岩上層為珊瑚礁。

參、討論與結論

木屐寮斷層最早乃經由地形的特徵而研判其存在（Sun, 1970, 1971；石再添等，1986；沈淑敏等，2006）。本文之淺層震測研究（圖 1.18）以及利用中油公司震測剖面之地下構造研究（Suppe, 1980；Hung et al., 1999；黃旭燦等，2004）則皆顯示，這一區域為關子嶺背斜西側之向斜變形。本文亦斷層動力學分析，模擬這一向斜構造的構造演化機制（圖 1.35 與 1.36）。配合本文之地表與井下地質研究本文認為，之前被認定的地形崖面較可能與向斜構造所形成的褶皺崖有關，木屐寮斷層似乎較應以木屐寮線形稱之。由於這一向斜為一寬廣的圓弧形，木屐寮線形西側的地區亦屬於抬升的區域。目前我們在木屐寮線形西側見到的抬升地層，其主要形成機制即可能為向斜的變形所致。

在木屐寮斷層下盤我們進行了兩孔的地質鑽探，六重溪 1 號與 2 號井。（陳文山等，2008）亦在這個區域進行了 3 孔的鑽探，分別為白河 3、4 與 5 號井。上述五口井置於震測剖面(08P-MCLF-BH-1)上之相對位置與深度如圖 4.1 所示。圖 4.1a 為圖 4.1b 中紅色匡線部分之放大圖，測線 08P-MCLF-BH-1 的位置則見於圖 1.5。六重溪 1 號井與白河 3 號及 4 號井位於測線 08P-MCLF-BH-1 沿線的隆起緩丘地形上，而六重溪 2 號井與白河 5 號井則位於緩丘的下方。緩丘上的六重溪 1 號井與白河 3 號及 4 號井其岩性可以對比，而位於緩丘下方之六重溪 2 號井與白河 5 號井的岩性也可以比對，但緩丘上的 3 口井及緩丘下的 2 口井其岩性則很難對比。緩丘上下方的岩性不亦對比，這可能是受控於沈積環境變化的影響，但也可能是緩丘下方的六重溪 2 號與白河 5 號井皆已進入淺層震測剖面 08P-MCLF-BH-1 中所高角度斷層之西北側位置而來，詳細的對比尚須待定年結果來確定。

六重溪 2 號井原係針對 08P-MCLF-BH-1 中所之高角度斷層之上盤位置而設計，希望該井能鑽穿剖面之斷層斷層。由於該斷層傾角極高，而原設計井深為 70 公尺，若預計於 35 公尺處鑽穿斷層，鑽井位置需相當靠近斷層位置。依據本研究所使用的震測參數估計，剖面中縱向（深度）的解析度可達 2 公尺，但橫向（距離）的解析度約達 18 公尺，亦即在這 18 公尺範圍內的井位都有可能成功，但也可能失誤。因此，若井深能持續加深，則越有機會能離開斷層向上延伸線與地面交接處鑽探，鑽穿斷層的成功率才會增高。緩丘上之鑽探岩芯紀錄不容易與緩丘下方之鑽探岩芯比對，極有可能是因井位誤差，而使這兩處的鑽井因分別位於該斷層兩側所致。

淺層震測測線08P-MCLF-BH-1中之高角度斷層，由於傾角極高，較不可能是逆衝斷層。由於本文認為木屐寮線形較可能為背斜西翼的向斜構造所形成的褶皺崖地形，亦即該斷層並非為木屐寮斷層或其分支，也有可能為屬於這一地區的橫切構造。陳文山等（2008）經由鑽探資料認為這一斷層也可能是屬於木屐寮斷層的一支分支斷層。這區域為於木屐寮線形與其南方六甲斷層的交接地帶，地形上便顯示這一區域有可能出現較複雜的構造，因此，該斷層是否可能為屬於這一地區的橫切構造，則仍需要進一步地探討。

圖4.2a為木屐寮線形與六甲斷層一帶的震央分佈圖，而圖4.2b則為這些地震的震源分布。由於關子嶺背斜為因疊置斷塊構造所發育出的褶皺構造，而木屐寮線形位於背斜西側的向斜，仍屬於抬昇區域。圖4.2顯示這一地區的地震活動相當活躍，加上這區域的構造特性，雖然木屐寮斷層較可能不存在，但也不排除有其他活動構造的可能性。以地震防災的觀點，其震災之威脅也不可輕忽，進一步調查有無其他活動構造，如陳文山（2008）所推論之斷層構造或本研究推論之可能橫切構造皆宜再持續進行。

牛山背斜的西翼極為陡峭，傾角可超過70度，翼寬也僅約數公里，因此無法由此無法由深部震測剖面判斷斷層的所在位置。本研究六甲斷層淺層震測測線08P-LCAF-LY-1之同中點重合剖面（圖2.12）顯示西半部地層連續性極佳，可見深度約達800毫秒，並於較西側出現高角度斷層但落差不大，上述斷層在中油公司剖面LAA’中也可以發現，但並非六甲斷層。震測剖面中間偏右處地層往東上升，由較深部的地層可以發現越往東邊傾角越大，但在較淺處則因為岩層傾角過大，超越測線展距所能涵蓋的範圍而變不清楚。

六甲斷層為牛山背斜西翼的向斜軸變形所造成，本次研究在上下盤各進行一孔地質鑽探，上下盤層序有極好的對比，顯示垂直位移量隨深度變化，淺部較大，深部較小，此反應向斜軸部變形，上盤並在55公尺處通過軸部。斷層尖端未出露至地表。六甲斷層有極好的地質線性，研判此地形線性為海進時海蝕所致。

綜合區域性地下構造資料、淺層震測以及地表與井下地質分析，本研究認為牛山背斜為南寮背斜前端發育出的構造，這個區域先發生了斷層彎曲褶皺，之後在其上發育出六甲斷層與斷層擴展褶皺。由本研究的鑽井資料顯示，六甲斷層並未出露地表，且牛山背斜呈西陡東緩的形貌，因此我們認為六甲斷層較可能是發育在一個斷層彎曲褶皺（fault-bend fold）上的盲斷層。圖4.2顯示這一地區相當活躍的地震活動，加上這區域的構造特性，不可輕忽其震災威脅，有必要進一步地調查六甲盲斷層於地下的深度與位

置，如於斷層上盤池口1號井東邊再進行較深的地質鑽井以鑽穿斷層並確認。至於六甲斷層於南端的可能發展，本文中之深部構造剖面CC’（圖2.5）、DD’（圖2.6）、EE’（圖2.7）及GG’（圖2.8）皆已顯示斷層往烏山頭水庫一帶發展的機會較少，但進一步於烏山頭水庫一帶的鑽探也可進一步確認剖面EE’（圖2.7）中的小規模斷層與六甲斷層之關係。

木屐寮－六甲地形崖雖是西南部麓山帶前緣明顯的地表特徵，但兩者成因並不相同。我們認為木屐寮斷層較不可能存在，該地形崖可能是發育在關子嶺背斜西翼上的海蝕崖，適宜以木屐寮線形稱之。至於斷層為何不在此處發育，這或許與其滑脫面的強度有關。根據Bonini（2003）的研究，當滑脫面的強度較低時，造山帶較易形成背斜疊置斷塊系統，反之，若滑脫面的強度較高時，則較容易發育出疊瓦狀斷層系統。從鑽井資料得知，在關子嶺背斜下，鳥嘴層數百公尺處之下數百公尺處即出現高壓地層（Hung et al., 1999），此亦即本研究所假設之淺部滑脫面位置，因此此高壓層可能是造成滑脫面弱化的主要原因。

六甲斷層地形崖的出現則可能較為複雜；本研究認為如同關子嶺背斜般，在南寮背斜下同樣發育出類似的疊置構造，但不同的是，隨著地殼被進一步擠壓，新的斷層出現在牛山背斜之下，而六甲盲斷層則仍在持續向上發育中，因此六甲地形崖與六甲斷層的發育息息相關。為何木屐寮-六甲構造會出現如此戲劇化的轉變？初步研判或許與孔隙水壓的變化有關；根據中油的鑽井資料顯示，在南寮背斜下高壓層不若關子嶺地區明顯（Hung et al., 1999），這樣的改變或許造成兩者間在滑脫面強度上的差異，因此造成地下構造的不同。至於孔隙水壓的改變，是否受沉積環境或構造因素控制，仍有待進一步研究釐清，但也由於這樣的構造轉變，在木屐寮線形與六甲斷層之間存在另一橫切性構造的推論其可能性則大增，值得進行進一步之研究。

小崗山斷層淺部為近代沈積物，與其下的古亭坑層不整合接觸，古亭坑層內變隨許多斷層，層面傾角極大，並有向上流動構造。綜合區域性地下構造、淺層震測資料以及井下資料分析，我們認為小崗山斷層較可能為為泥貫入體加上褶皺作用所致（如圖3.31）。

從小崗山斷層之淺層震測測線 08P-HKSF-AL-1 之剖面中（圖 3.11）可以看出，位於台 19 甲線以西之西半部剖面的地層連續性良好，而東半部剖面之地層僅出現於淺部。圖 3.11 中剖面其基盤由東往西漸深，古亭坑泥岩及其西部六雙層以一向東傾斜的

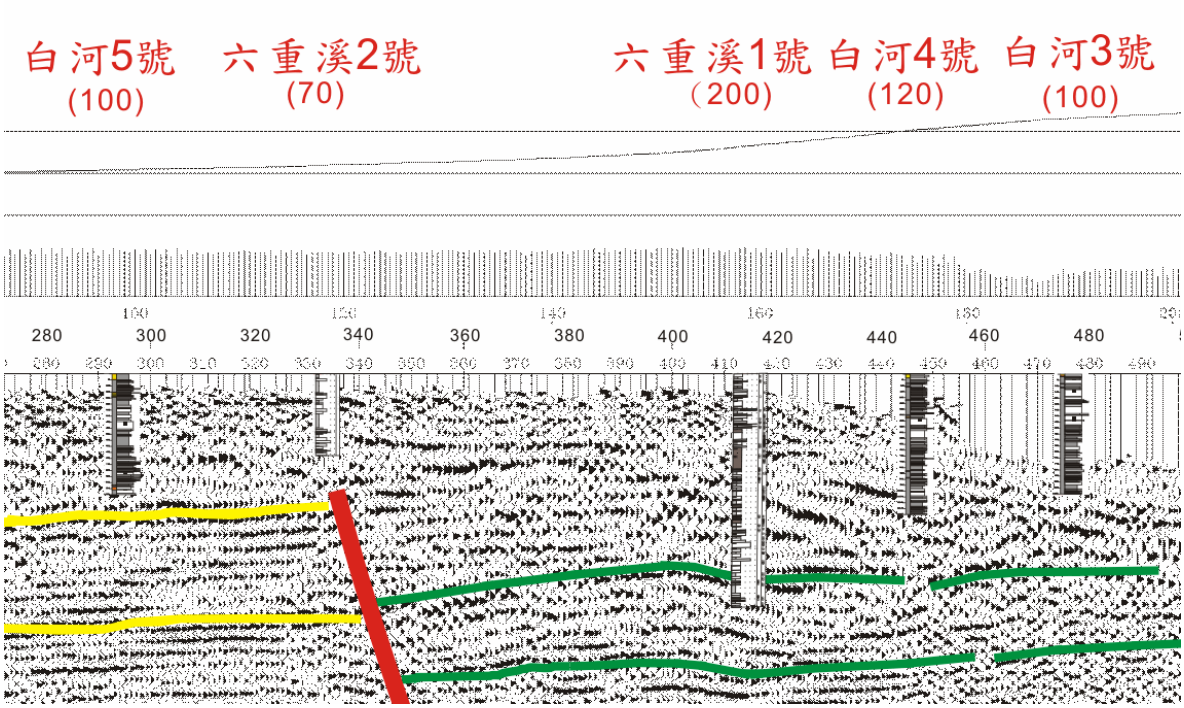
界面交接，該介面及為本文所推論的小崗山盲斷層。斷層西部的地層可見深度可達 1 秒深。震測剖面 08P-HKSF-AL-2 之影像（圖 3.17）與測線 08P-HKSF-AL-1（圖 3.11）東側之影像一致，基盤往東逐漸升高。而測線 08P-HKSF-AL-3 的剖面（圖 3.22）也如同上兩條剖面般，出現同樣的特性。

小崗山斷層山腳下 1 號井於淺層震測剖面 08P-HKSF-AL-1 沿線中之東方地形崖上進行鑽探（如圖 3.7 與 3.11 所示）。岩芯中全新世海相地層於 36 公尺處不整合於下伏的古亭坑泥岩上。古亭坑層呈高角度傾斜，角度約 50-70 度之間並發育許多傾角在 20-90 度之間的小斷層，低傾角斷層多為逆斷層或斜滑斷層，而高傾角斷層大多為正斷層。陳文山等（2008）亦沿著震測剖面 08P-HKSF-AL-1 沿線進行了 3 孔地質探井，分別為小崗山 1、2 及 3 號井。這四口井的井錄經套繪至震測剖面上之結果如圖 4.3 所示，而圖 4.3a 則為圖 4.3b 方形匡中區域之放大圖。震測剖面中不整合面之解釋乃整合這四口井之資料繪製。

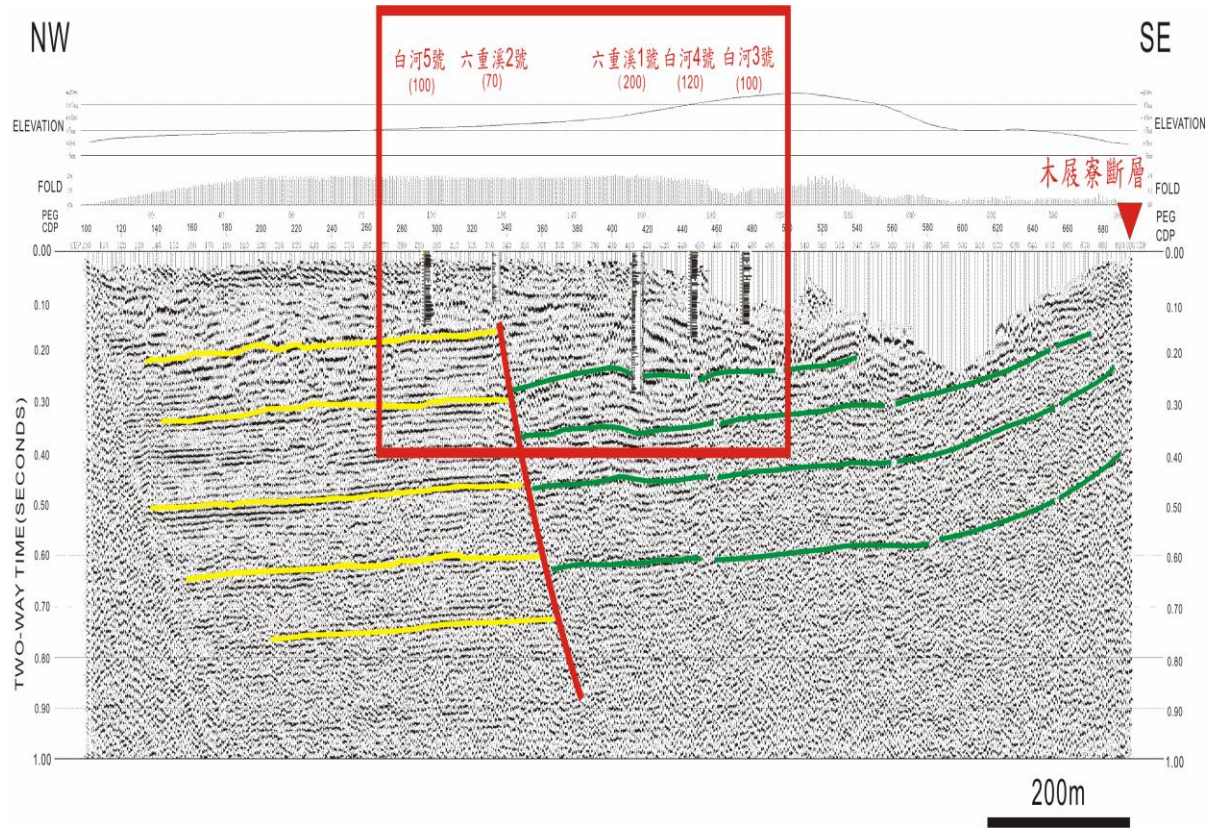
圖 3.32 為本文推論之跨越小崗山盲斷層之構造剖面，其構造演化關係則見於圖 3.31 之中。大崗山背斜形成初期，可能因為泥質沉積物受到增積楔形體壓密與脫水的影響，局部地區水壓增加，觸發泥貫入作用，造成大崗山背斜隆起。之後在背斜頂端發生侵蝕作用，造成上部古亭坑層缺失，並在其上生成珊瑚礁岩體。爾後造山運動在此形成滑離褶皺，擴大背斜褶皺振幅，並在泥貫入體中造成壓縮剪切帶。小崗山線形崖可能即為在泥貫入體西緣所發育出的地形特徵。

陳文山等（2008）認為小崗山斷層較可能為淺處岩盤由多條分支或密集剪切帶構成的寬大斷層帶，斷層尖端未穿透至地表，並造成上覆疏鬆沈積層產生不等量變形，構造解釋如圖 4.4 所示。陳文山等（2008）解釋之構造與本研究之構造解釋皆認為小崗山斷層屬於逆移盲斷層，斷層尖端並未截穿至地表，但地下構造及其演化也有差異存在，這差異可能與鑽探資料仍不足及震測剖面中泥岩區之成像解釋有關。

本研究認為小崗山地形崖較可能與泥貫入與滑離褶皺有關，但由於缺乏觀測數據，而這區域的地震活動也不顯著（圖 4.5），小崗山構造於現今的活動性並不清楚，需要長期的水準與經緯度測量，來分析究竟泥貫入的垂直運動與滑離褶皺的水平擠壓的影響為何，藉此也可以重新評估本研究構造解釋的正確性。為了進一步釐清小崗山盲斷層此外也建議未來在泥貫入體邊緣鑽一口深井來確定斷層位置，若再加上定年資料，則應能更清楚的了解這一地區的構造演化史。

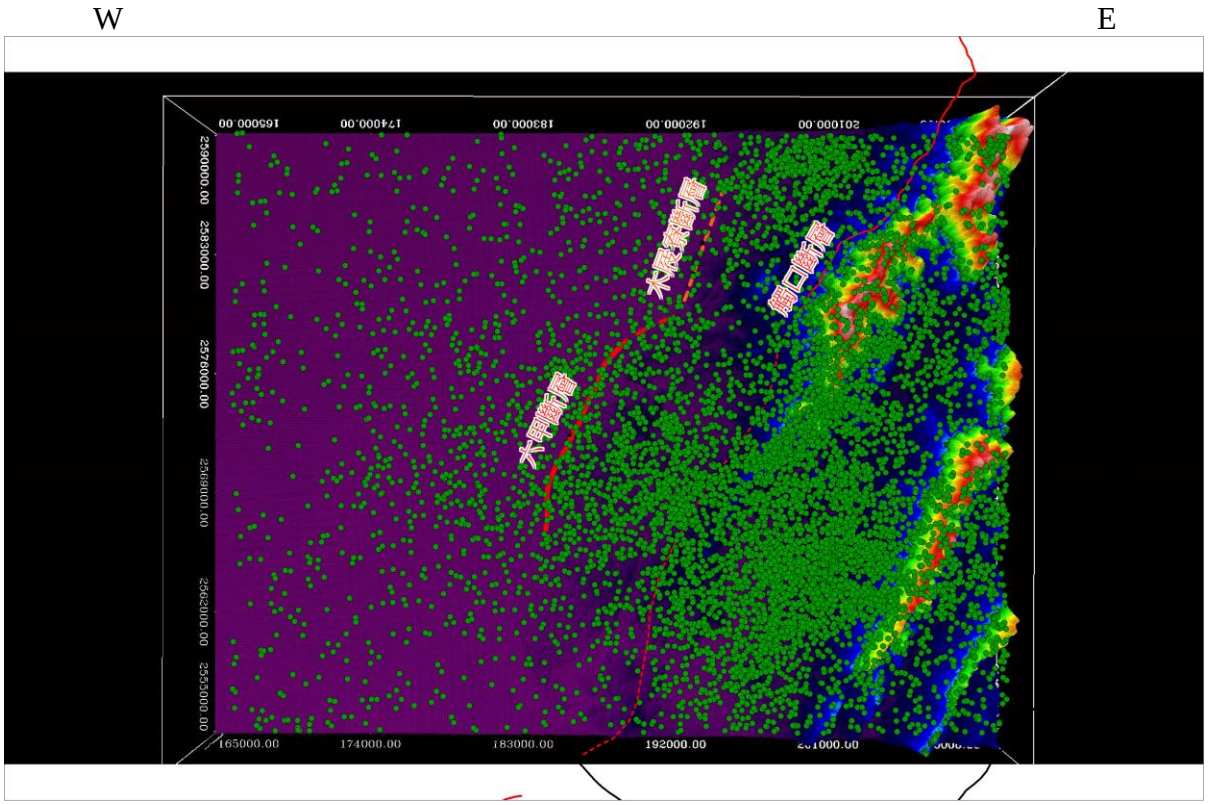


a

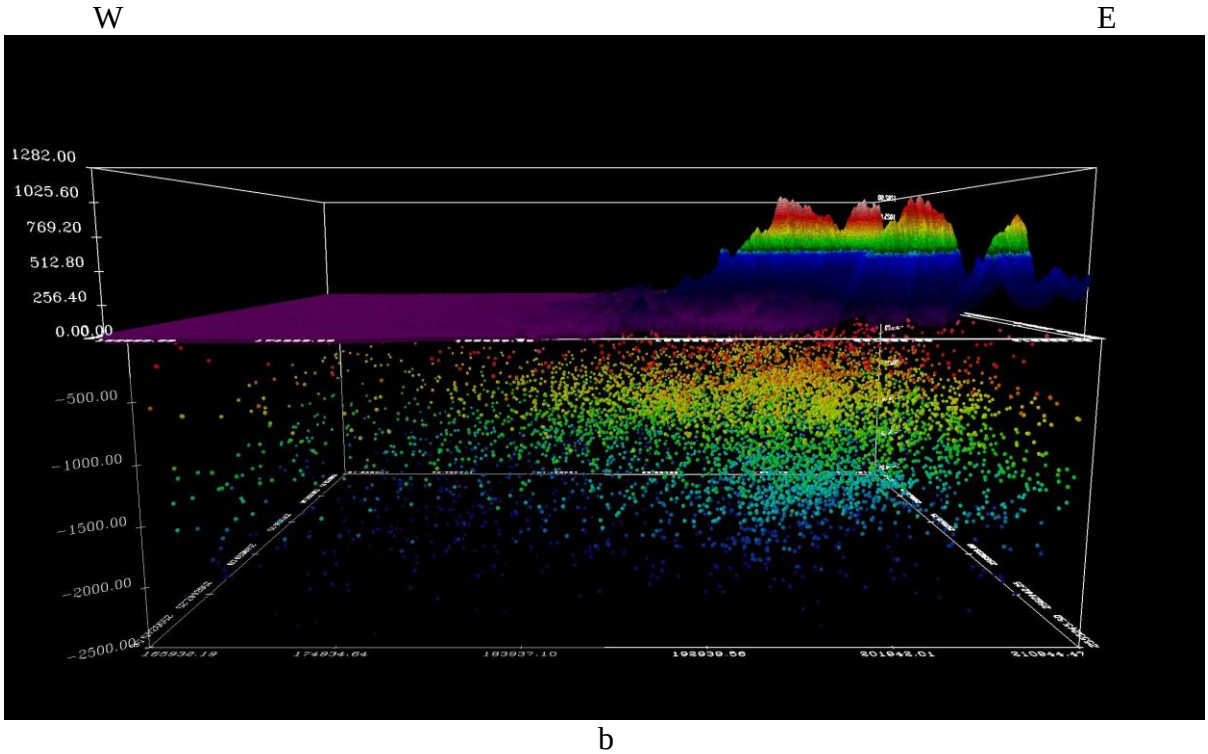


b

圖4.1、六重溪1號與2號井與白河3、4與5號井（陳文山等，2008）於震測剖面08P-MCLF-BH-1上之相對位置與深度。圖4.1a為圖4.1b中紅色匡線部分之放大圖，測線08P-MCLF-BH-1的位置則見於圖1.5。

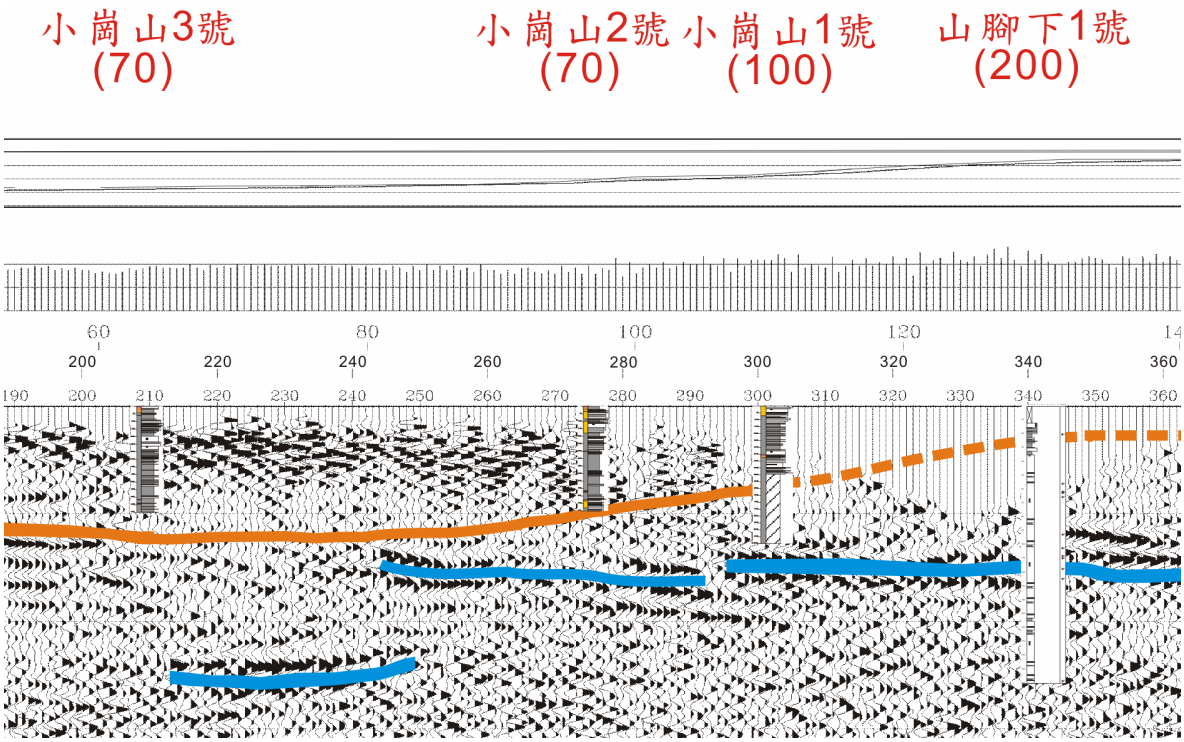


a

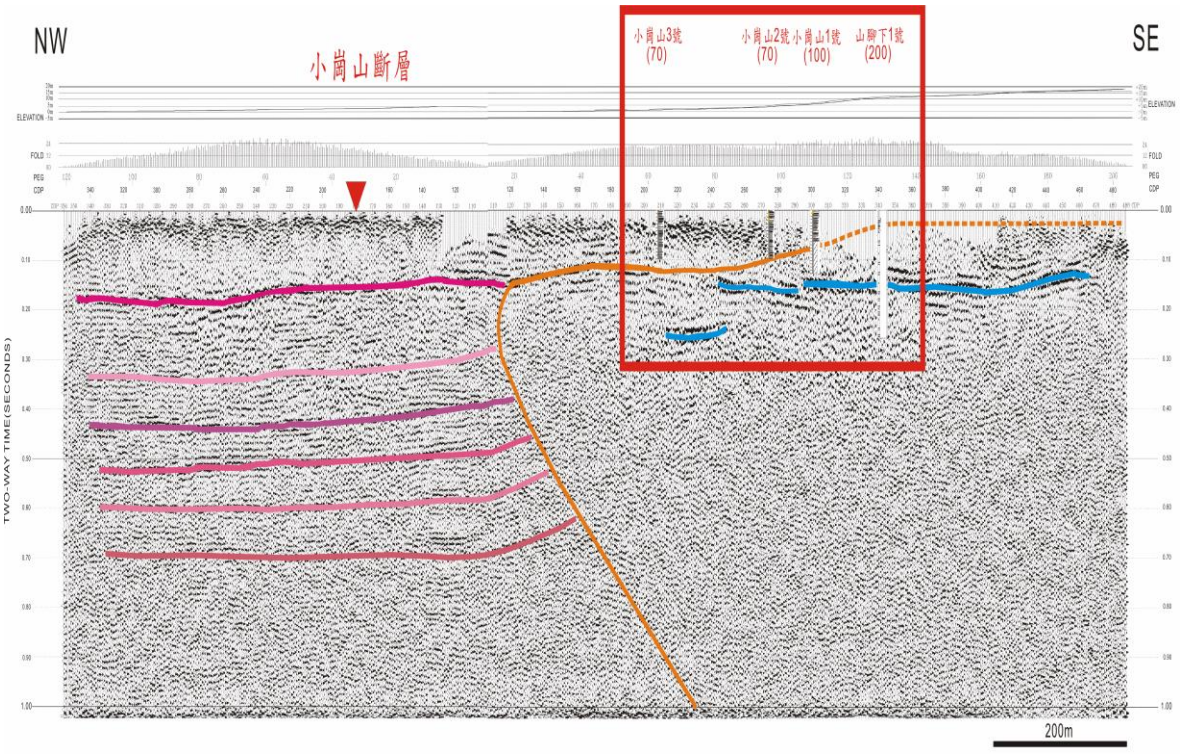


b

圖4.2、木屐寮線形與六甲斷層一帶的震央與震源分佈圖。a、木屐寮線形與六甲斷層一帶的震央分佈。圖4.2b、木屐寮線形與六甲斷層一帶的震源分布。



a



b

圖4.3、山腳下1號井與小崗山1、2與3號井（陳文山等，2008）於震測剖面08P-HKSF-AL-1上之相對位置與深度。圖4.3a為圖4.3b中紅色匡線部分之放大圖，測線08P-HKS-AL-1的位置則見於圖3.7。由震波頻寬以及山腳下一號井之岩芯顯示，藍色解釋線似乎與地層的關係較小。

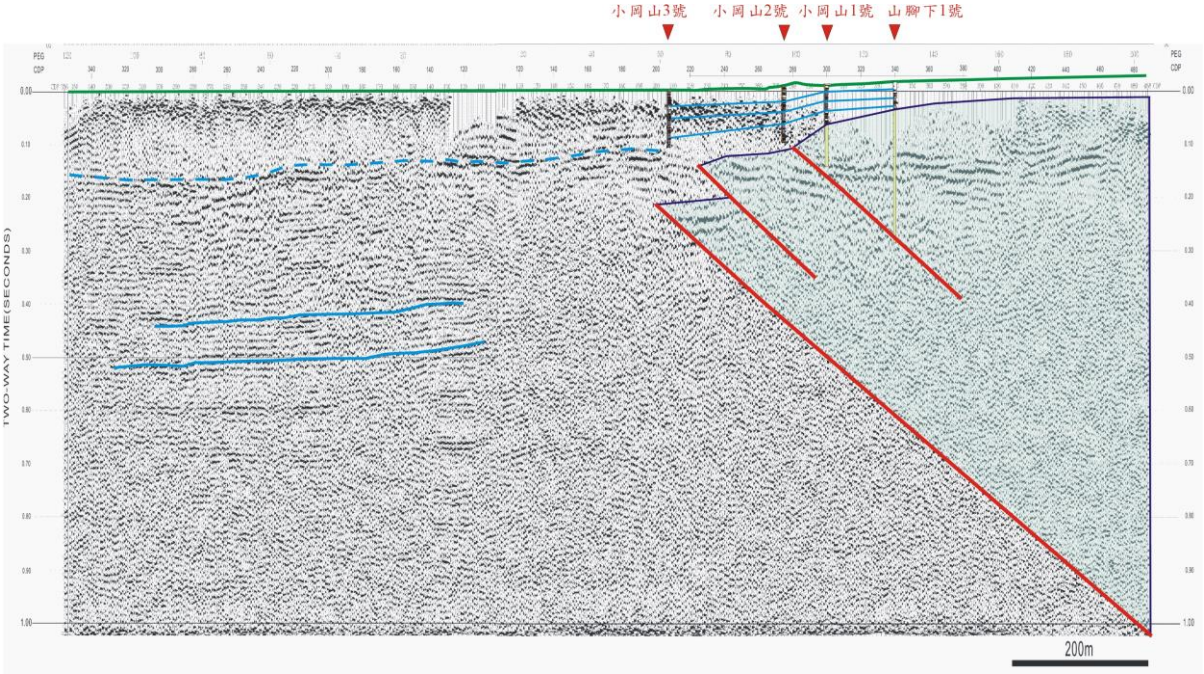


圖4.4、陳文山等（2008）之小崗山構造解釋與震測剖面08P-HKSF-AL-1。淺處岩盤由多條分支或密集剪切帶構成的寬大斷層帶，斷層尖端未穿透至地表，並造成上覆疏鬆沈積層產生不等量變形。

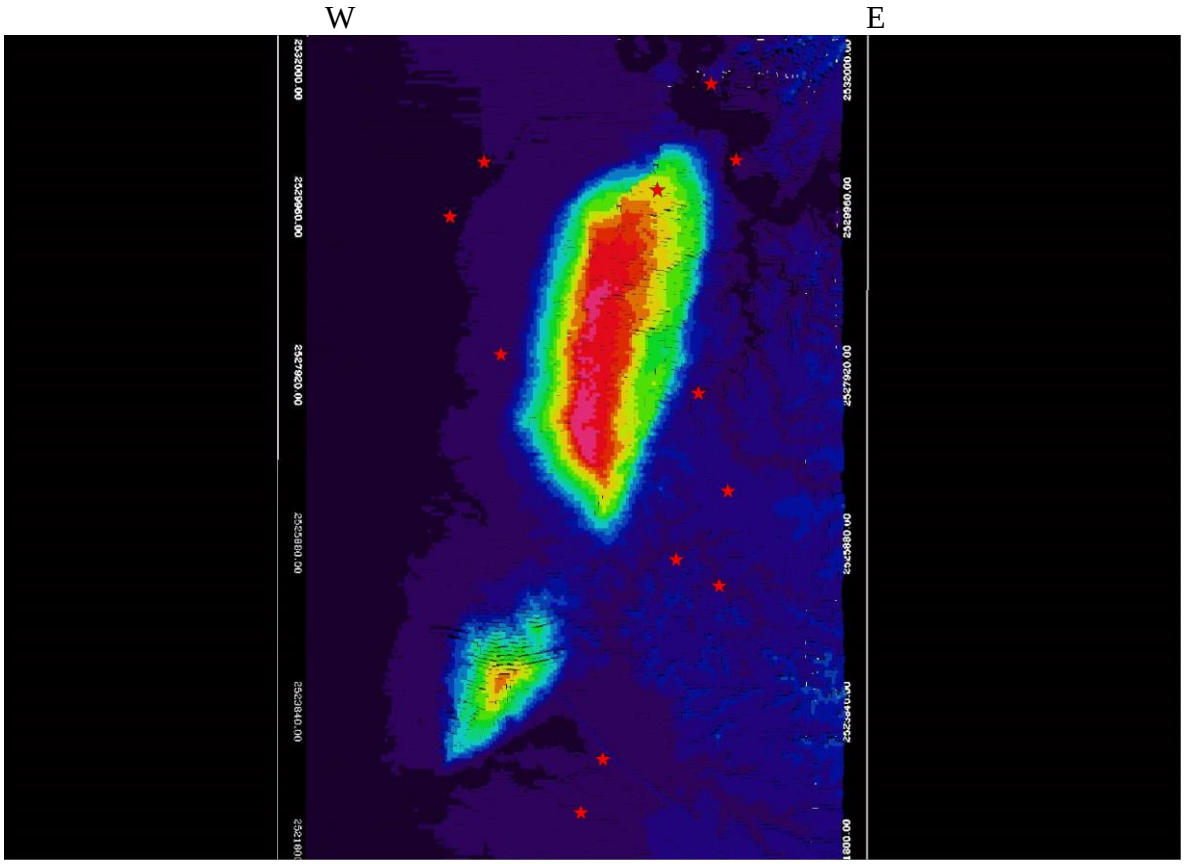


圖4.5、大、小崗山一帶之地震震央分佈圖。

參考文獻

Allemendinger, R. W. (1998) Inverse and forward numerical modeling of trishear fault-propagation folds. Tectonics 17, 640-656.

Bonini, M. (2003) Detachment folding, fold amplification and diapirism in thrust wedge experiments, Tectonics, 22, doi:10.1109/2002TC001458.

Chang, Y.-L., Lee, C.-I., Lin, C.-W., Hsu, C.-H., and Map, E.-W. (1996) Inversion tectonics in the fold-thrust belt of the foothills of the Chiayi-Tainan area, sout hwestern Taiwan, Petrol. Geol.. Taiwan, 30, 163-176.

Chiu J. K., W. H. Tseng, and C. S. Liu. (2006) Distribution of Gassy Sediments and Mud Volcanoes Offshore Southwestern Taiwan, TAO, Vol. 17, No. 4, 703-722.

Hu, C.C. and H.C. Sheen (1989) An evaluation on the hydrocarbon potential of the Niushan and Luntien structure in the tainan area. Petrol. Geol. Taiwan, no.25, 11-34.

Hung, J.-H., Wiltschko, D. V., Lin, H.-C., Hickman, J. B., Fang, P., and Bock Y. (1999) Structure and motion of the southwestern Taiwan fold and thrust belt, TAO, 3, 543-568.

Hsu, T.L. and Chang, H.C.（1979） Quaternary faulting in Taiwan. Mem. Geol. Soc. China, no.3, 155-165.

Hsieh, S.H. (1972) Subsurface geology and gravity anomalies of the Taiwan and Chungchou structures of the Coastal Plain of southwestern Taiwan, Petrol. Geol. Taiwan 10, 323-338.

Hsieh, S.H., Hu, C.C. (1972) Gravity and agnetic studies of Taiwan, Taiwan, Petrol. Geol. of Taiwan, no. 10, 283-321.

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

Pan, Y.S.（1968）Interpretation and seismic coordination of the Bouguer gravity anomalies over southwestern Taiwan. Petrol. Geol. Taiwan, no.5, 99-115.

Sun, S.C.（1964） Photoeologic study of the Tainan-Kaohsiung coastal plain, Taiwan. Petrol. Geol. Taiwan, no.3, 39-51.

Sun, S.C.（1970） Photoeologic study of the Tainan-Hsinying coastal plain, Taiwan. Petrol. Geol. Taiwan, no.7, 133-144.

Sun, S.C.（1971） Photoeologic study of the Hsinying-Chiayi coastal plain, Taiwan. Petrol. Geol. Taiwan, no.8, 65-75.

Suppe, J.（1980） Imbricated structure of western foothills belt, southcentral Taiwan, Petrol. geol. Taiwan, 17, 1-16.

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

中國石油公司（1986）1:100,000 嘉義地質圖。台灣油礦探勘總處。

中國石油公司（1989）1:100,000 台南地質圖。台灣油礦探勘總處。

王宏霖（2006）以反射震震測法研究木屐寮斷層及其附近構造，國立中央大學地球物理研究所碩士論文。

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

石瑞銓（1998）活動斷層地球物理探勘計畫：西南部地區活動斷層地球物理探勘（1/5），中央地質調查所研究報告，共130頁。

吳樂群（1999）嘉南平原沉積物與沉積環境分析及地層對比研究。經濟部中央地質調查所水文地質調查88年度報告，共119頁。

沈淑敏、張瑞津、楊貴三（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置-活動構造地形及資料庫建置分析（2/2）中央地質調查所研究報告95-13。

林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正（2000a）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13號，共122頁。

林啟文、盧詩丁、石同生、張徽正、石瑞銓（2000b）從野外觀察探討台灣西南部四條存疑性活動斷層的存在，經濟部中央地質調查所彙刊，第13號，77-102。

林啟文、盧詩丁、石同生、劉彥求、林偉雄、林燕慧（2007）台灣西南部活動斷層，二萬五千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17號。

周錦德、原振維、楊耿明（1986）新營地區震測資料所顯示的地質意義及可能的油氣儲集，探採研究彙報，第7號，1-19。

翁群評、李俊廷、王乾盈（1999）小崗山斷層及其附近構造，中國地球物理年會88年年會論文集，305-310。

翁群評（2000）小崗山斷層及其附近構造，國立中央大學地球物理研究所碩士論文。

張徽正、林啟文、陳勉銘、盧施丁（1998）台灣活斷層概論，經濟部中央地質調查所特

刊，第10號。

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

陳文山、陳于高、楊小青（2006）從構造地形探討嘉南地區活動構造與構造分區，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（5/5），中央地質調查所研究報告95-7。

陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2008）斷層長期滑移速率與再現週期研究（2/4），中央地質調查所研究報告97-。

黃旭燦、楊耿明、吳榮章、丁信修、李長之、梅文威、徐祥宏（2004）斷層活動性觀測與地震潛勢評估調查研究，台灣陸上斷層帶地質構造與地殼變形調查研究(5/5)-台灣西部麓山帶地區地下構造綜合分析，經濟部中央地質調查所報告93-13號，59頁。

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

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

劉彥求（2007）小崗山斷層鑽探初步報告，經濟部中央地質調查所。

劉彥求（2008）小崗山斷層鑽探資料，經濟部中央地質調查所。

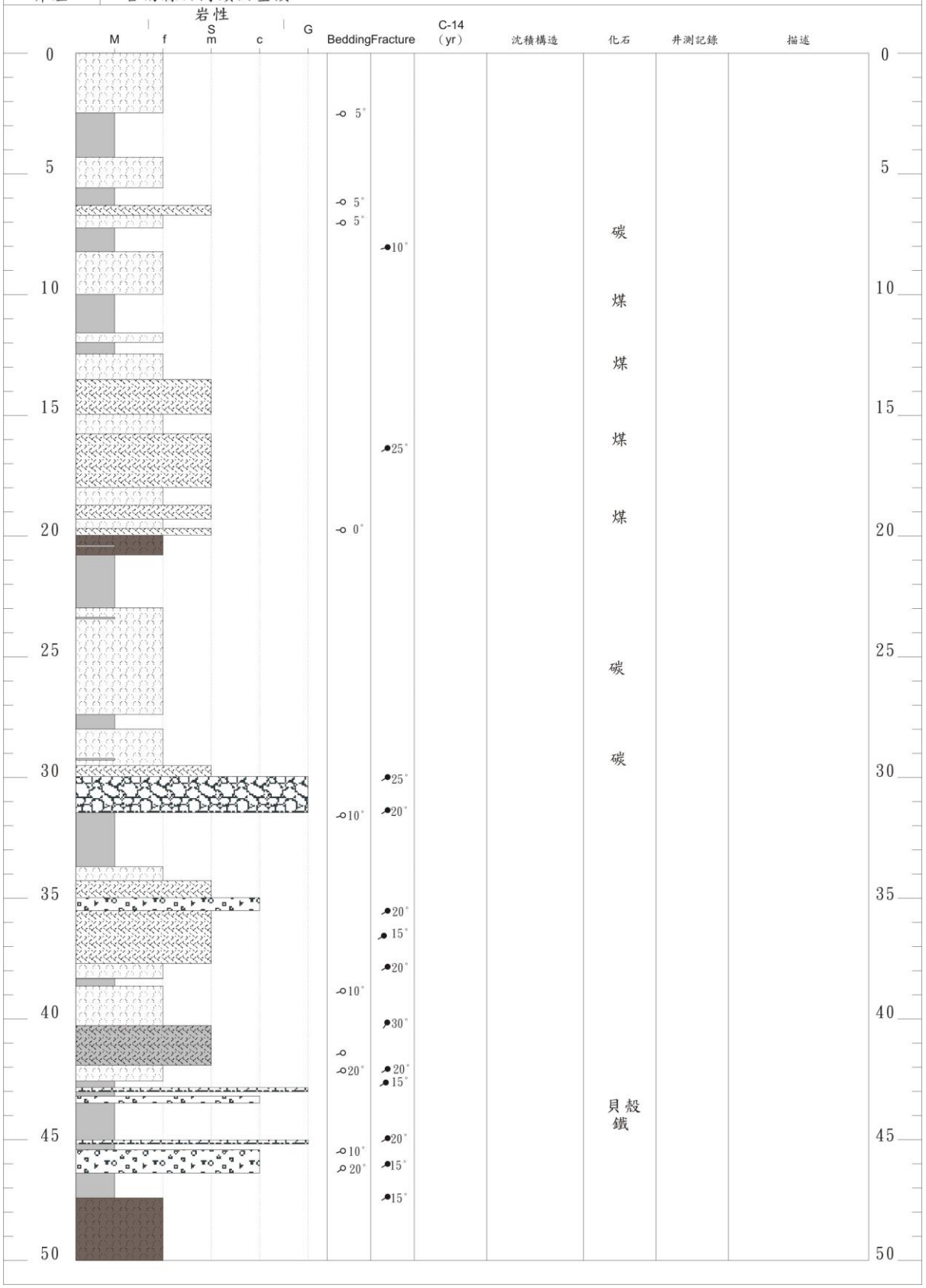
饒瑞鈞、胡植慶、洪日豪、余致義（2005）地震地質調查及活動斷層資料庫建置-活動斷層監測系統計畫（4/5），中央地質調查所研究報告94-10，共147頁。

饒瑞鈞、胡植慶、洪日豪、余致義（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），中央地質調查所研究報告95-10。

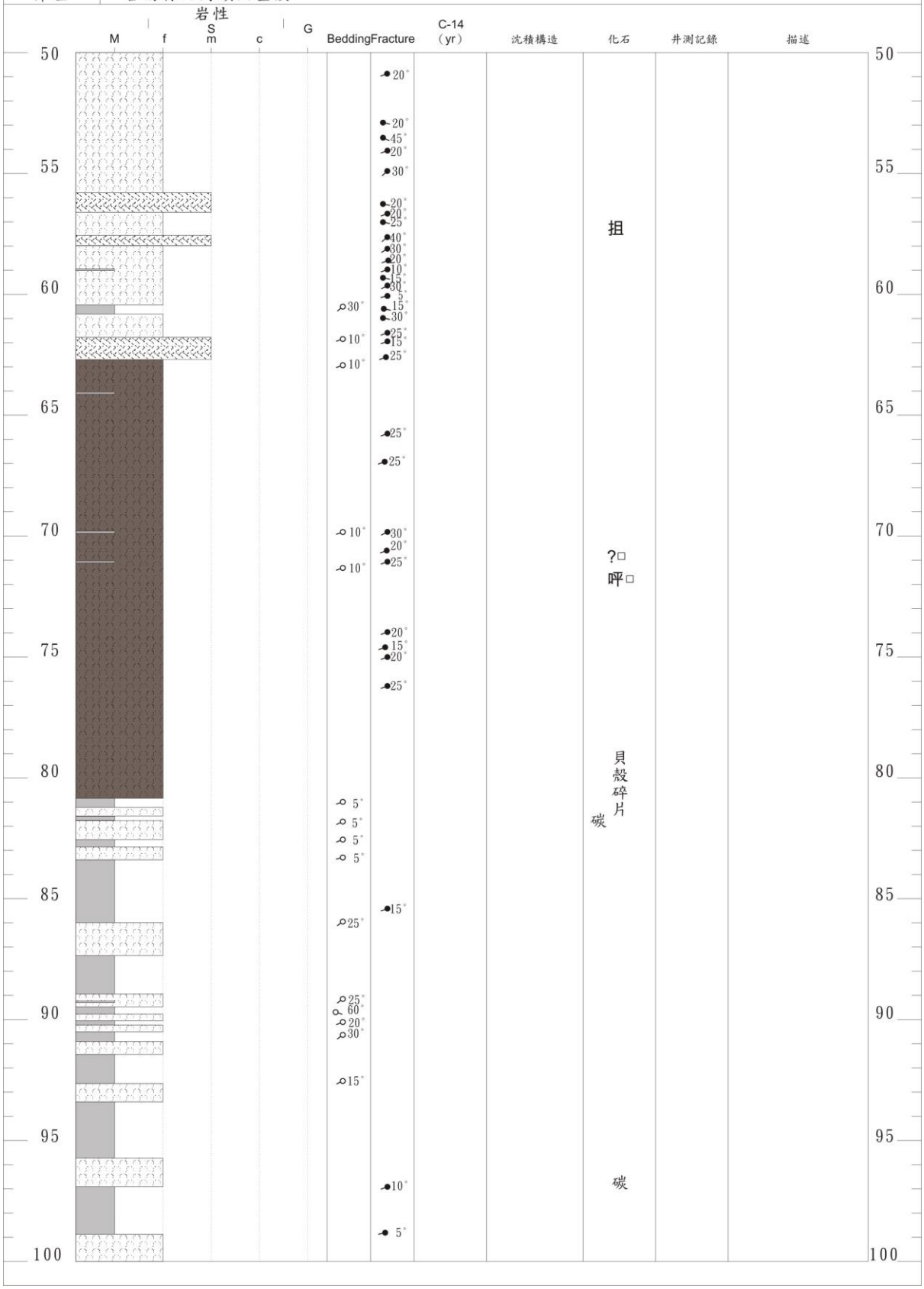
饒瑞鈞、李元希、胡植慶 (2008)地震地質與地變動潛勢分析地變動監測分析（2/4）經濟部中央地質調查所報告97-。

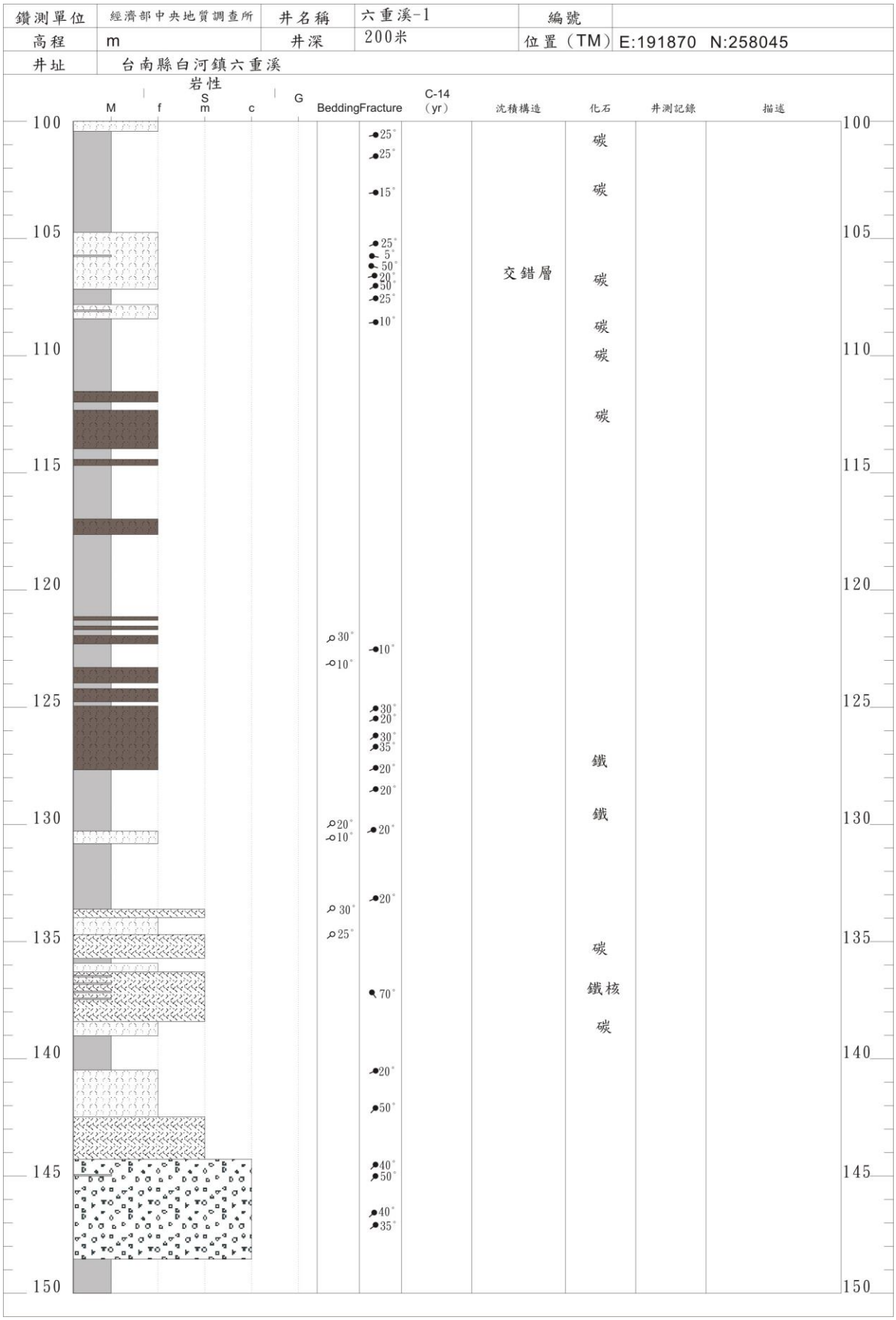
附錄1、六重溪1號井井錄

鑽測單位	經濟部中央地質調查所	井名稱	六重溪-1	編號	
高程	m	井深	200米	位置（TM）	E:191870 N:258045
井址	台南縣白河鎮六重溪				

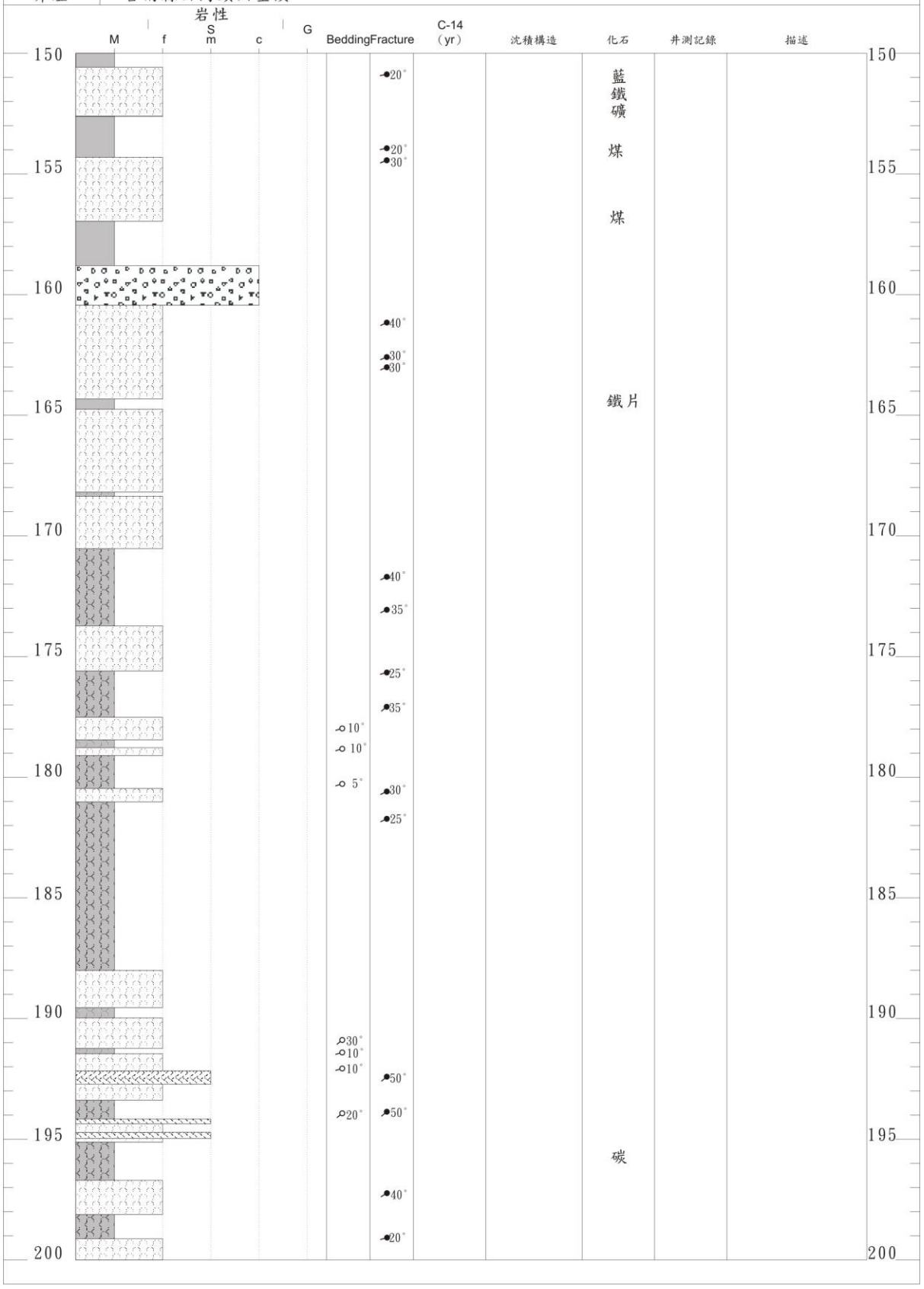


鑽測單位	經濟部中央地質調查所	井名稱	六重溪-1	編號	
高程	m	井深	200米	位置（TM）	E:191870 N:258045
井址	台南縣白河鎮六重溪				

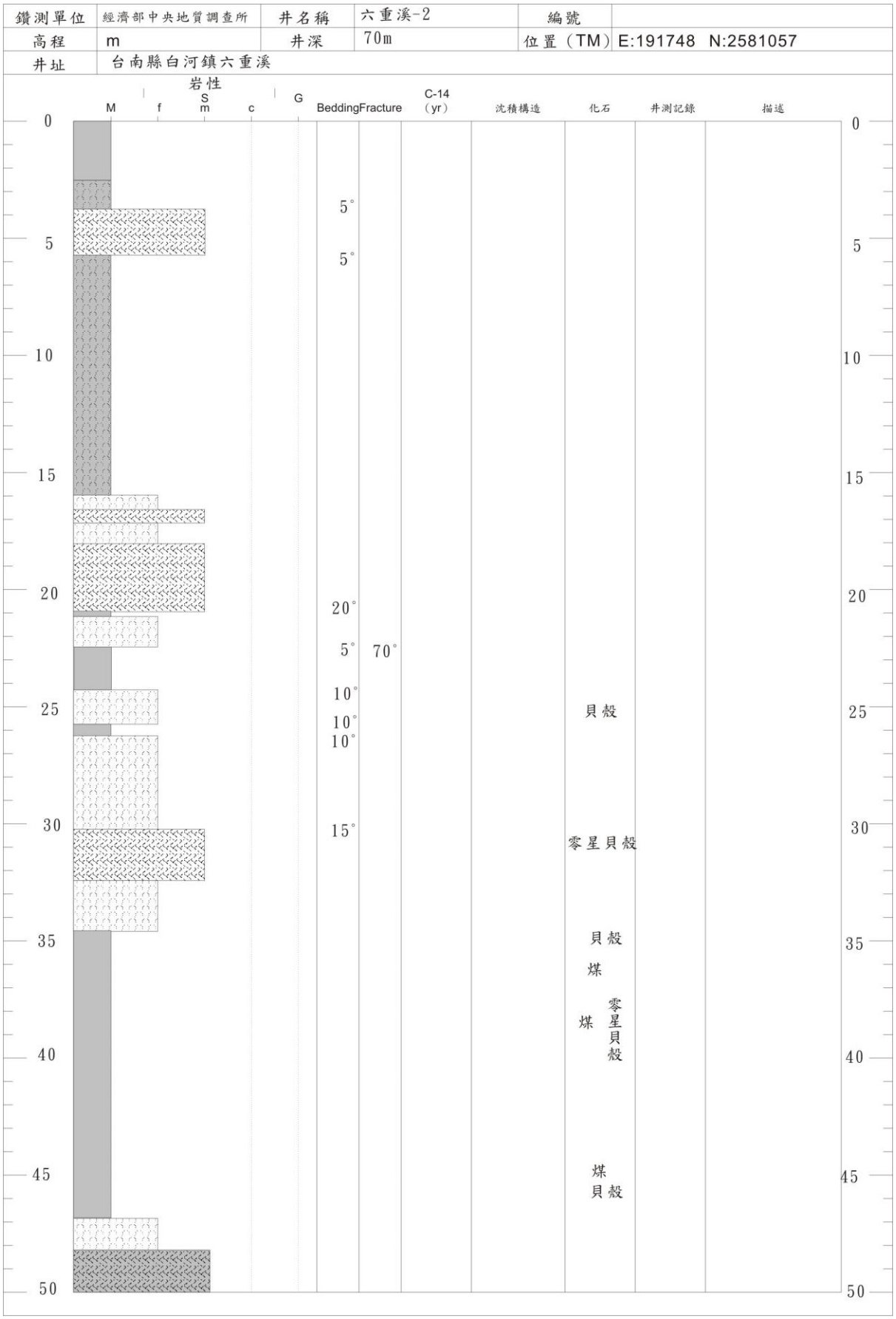



鑽測單位
經濟部中央地質調查所
井名稱
六重溪-1
編號
高程
m
井深
200米
位置（TM）E:191870 N:258045
井址
台南縣白河鎮六重溪
岩性
M
f
S
m
c
G
Bedding
Fracture
C-14
（yr）
沈積構造
化石
井測記錄
描述
交錯層
碳
鐵
鐵核
100
105
110
115
120
125
130
135
140
145
150

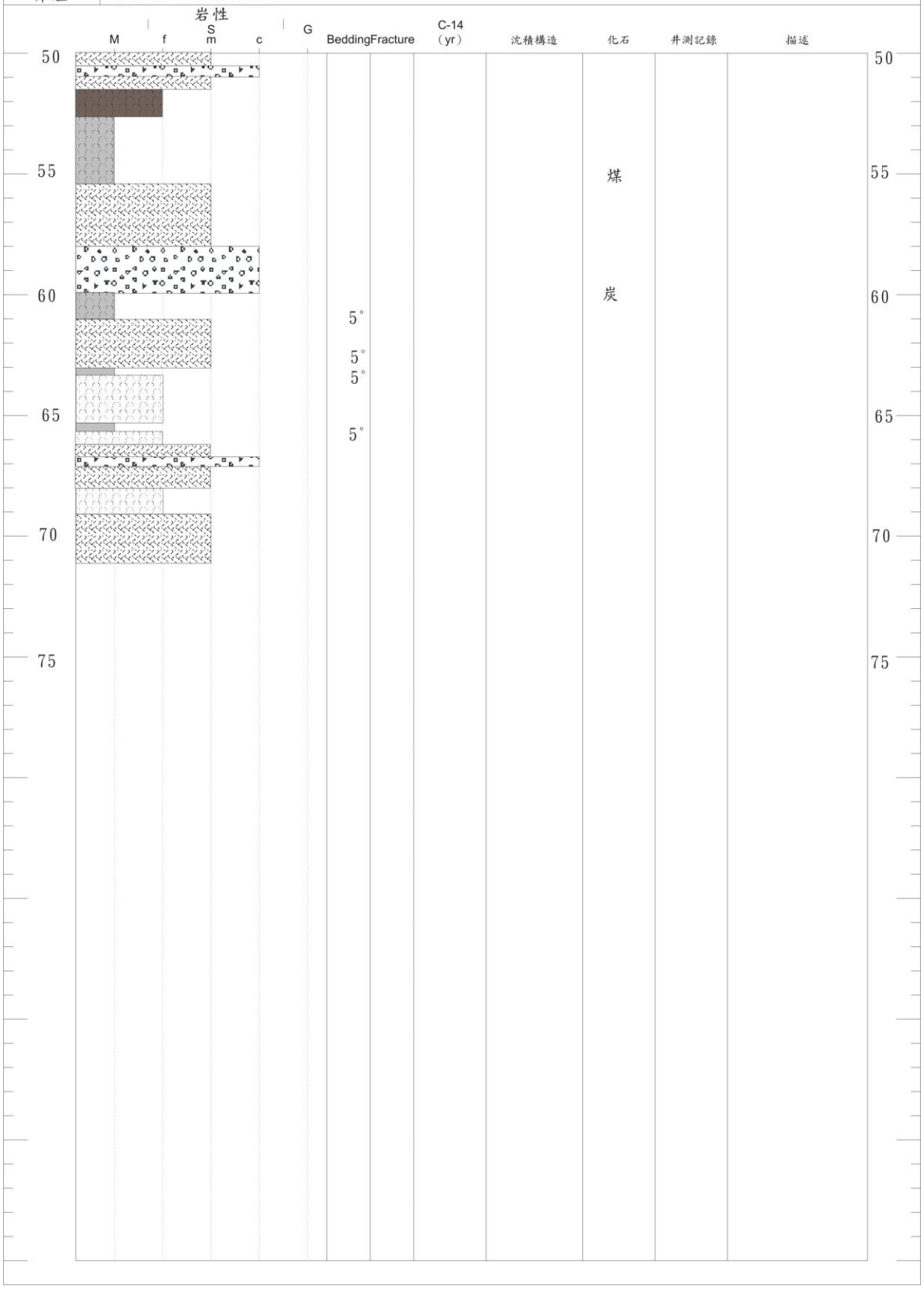
鑽測單位	經濟部中央地質調查所	井名稱	六重溪-1	編號	
高程	m	井深	200米	位置（TM）	E:191870 N:258045
井址	台南縣白河鎮六重溪				



附錄2、六重溪2號井井錄

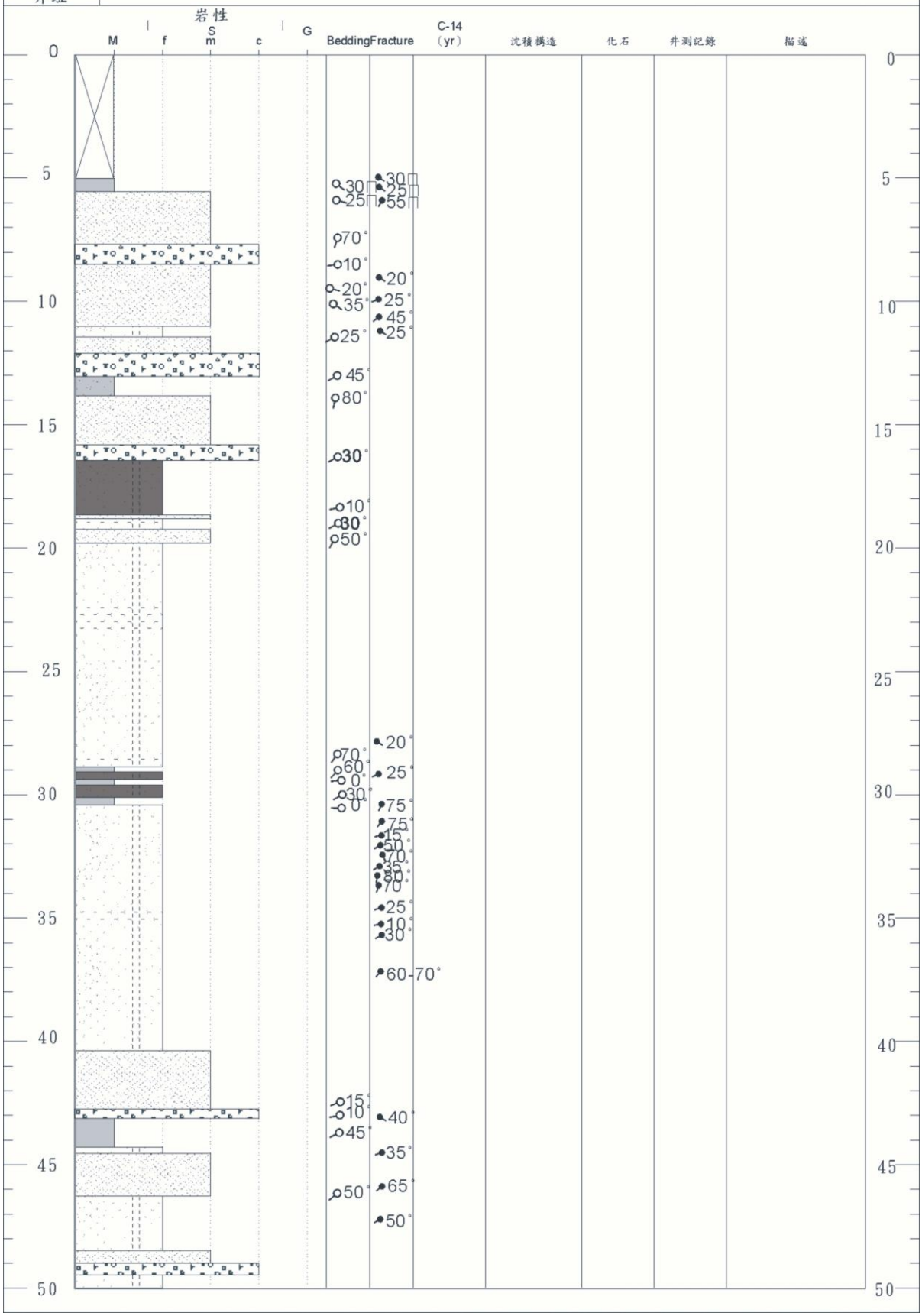


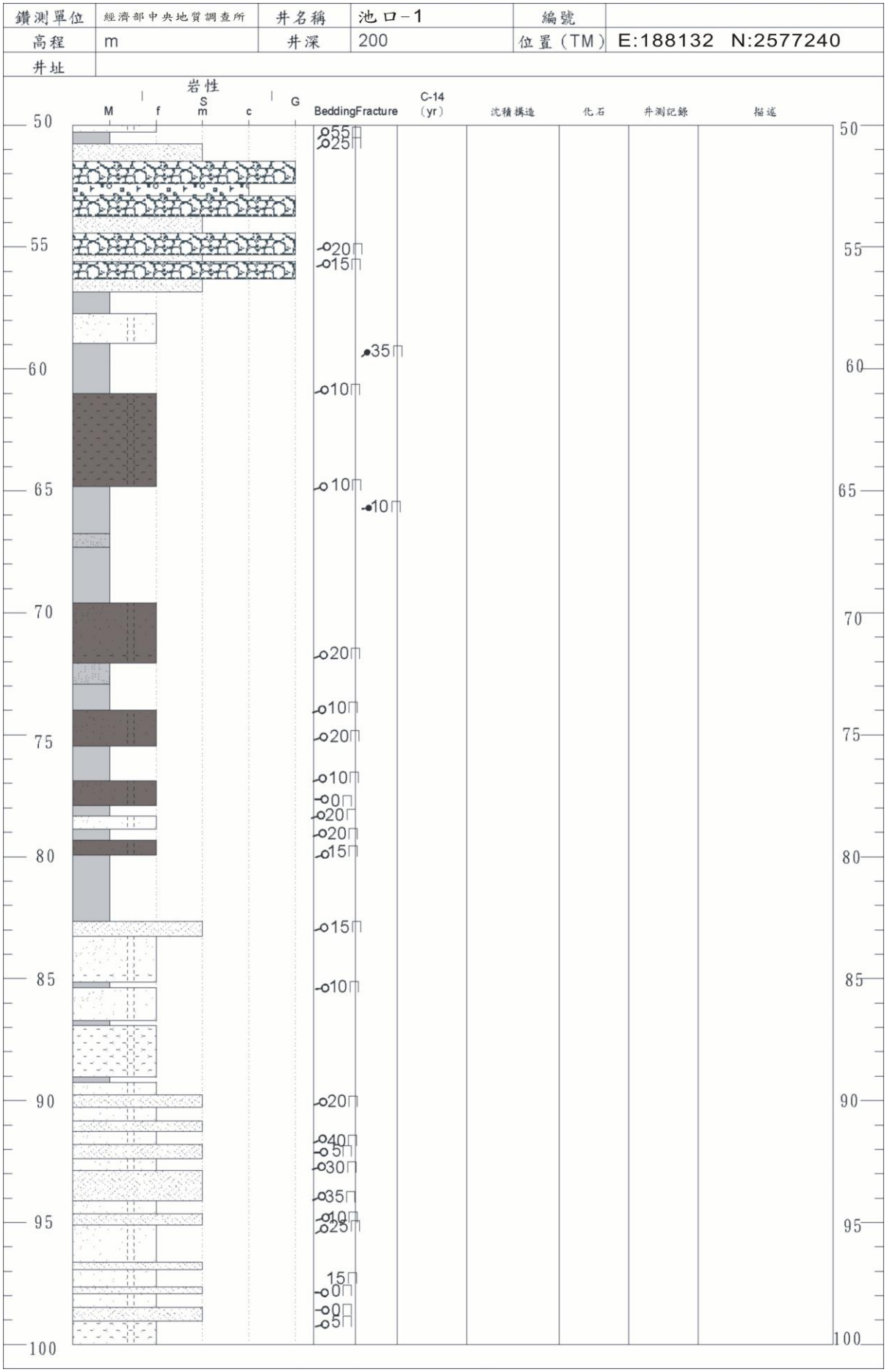
鑽測單位	經濟部中央地質調查所	井名稱	六重溪-2	編號	
高程	m	井深	70m	位置（TM）	E:191748 N:2581057
井址	台南縣白河鎮六重溪				



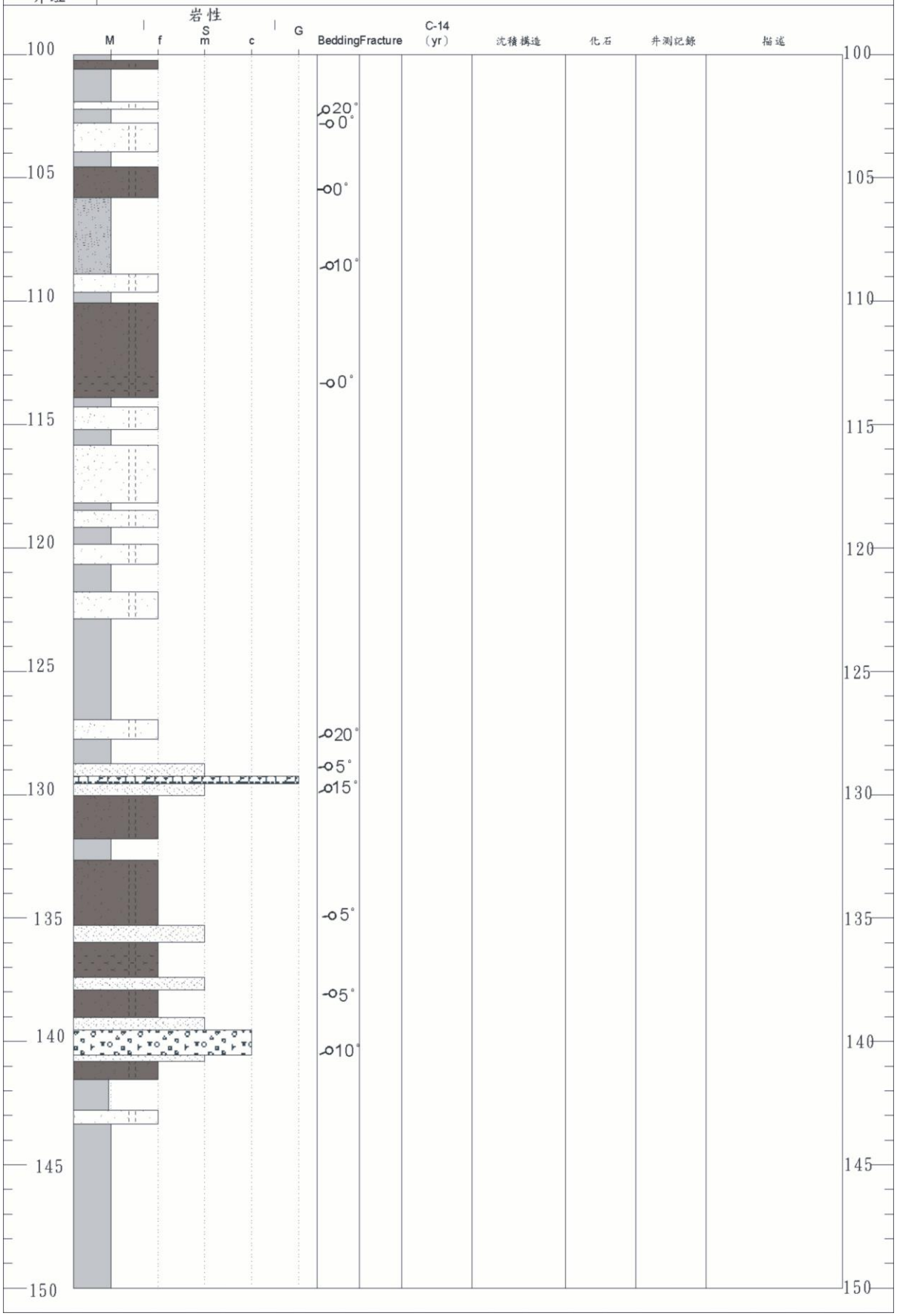
附錄3、池口1號井井錄

鑽測單位	經濟部中央地質調查所	井名稱	池口－1	編號	
高程	m	井深	200	位置（TM）	E:188132 N:2577240
井址					

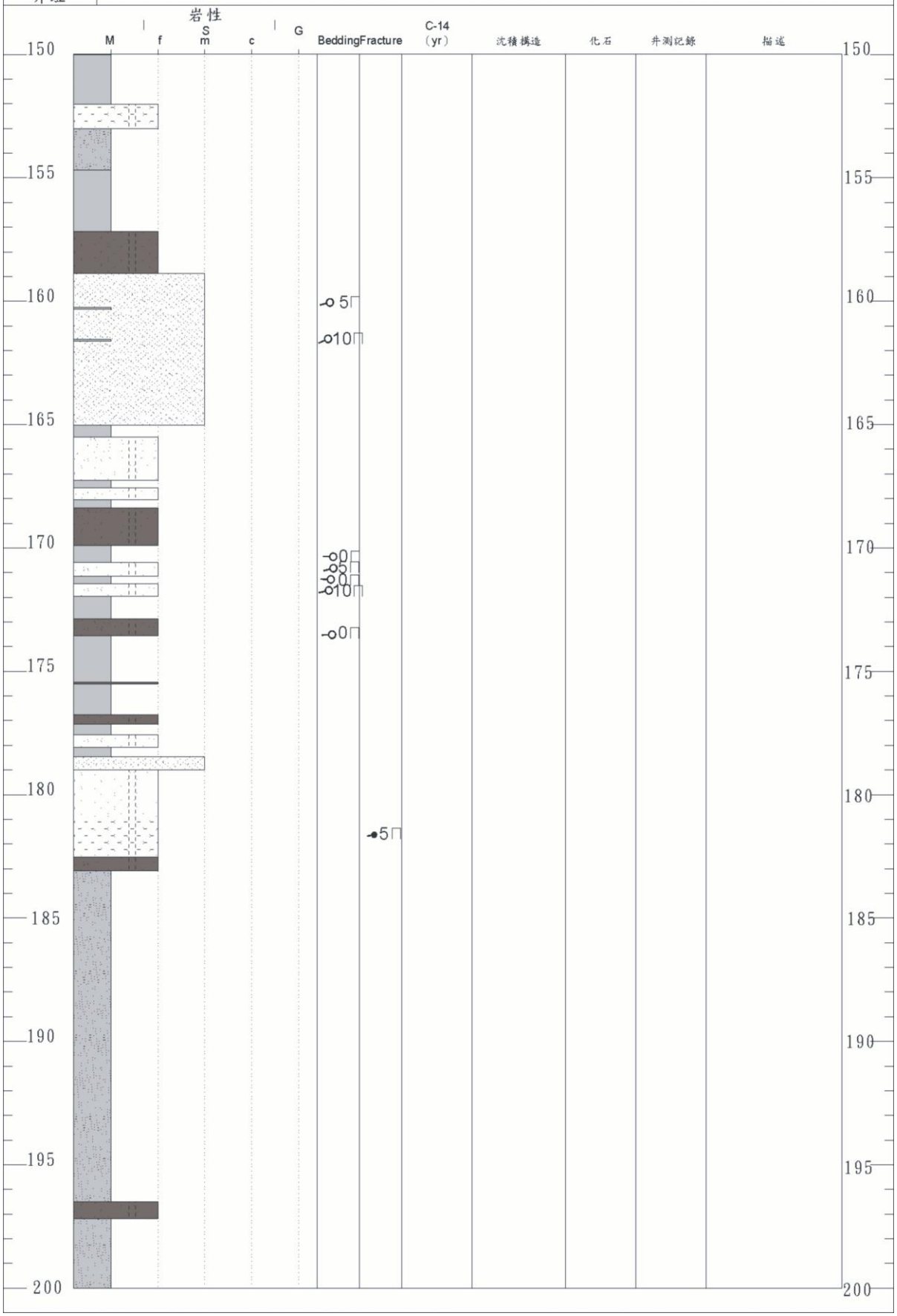



鑽測單位
經濟部中央地質調查所
井名稱
池口-1
編號
高程
m
井深
200
位置（TM）
E:188132 N:2577240
井址
岩性
M
f
S
m
c
G
BeddingFracture
C-14
（yr）
沈積構造
化石
井測記錄
描述
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
55
25
20
15
35
10
10
10
20
10
20
10
0
20
20
15
15
10
20
40
5
30
35
10
25
15
0
0
5

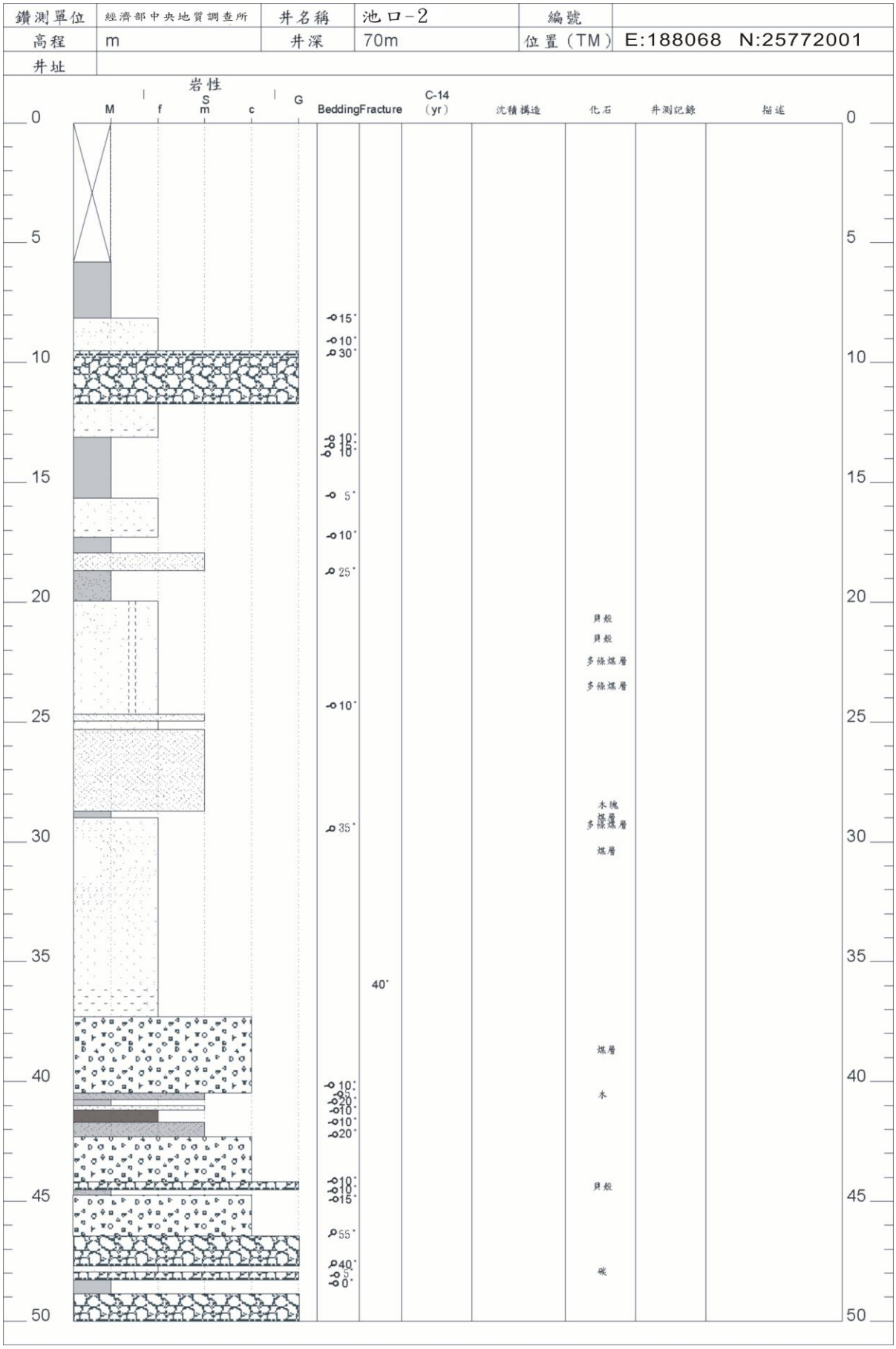
鑽測單位	經濟部中央地質調查所	井名稱	池口-1	編號	
高程	m	井深	200	位置（TM）	E:188132 N:2577240
井址					



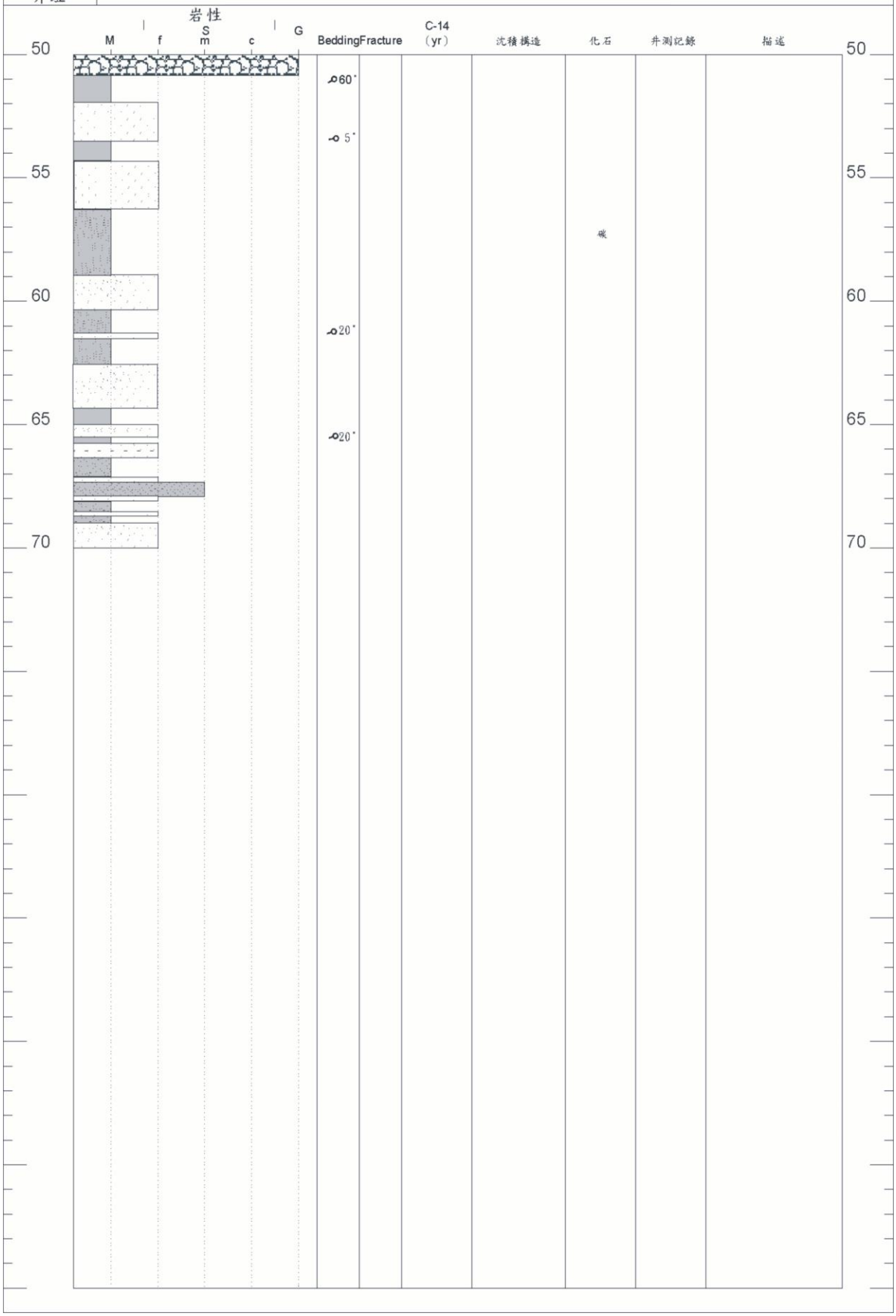
鑽測單位	經濟部中央地質調查所	井名稱	池口-1	編號	
高程	m	井深	200	位置（TM）	E:188132 N:2577240
井址					



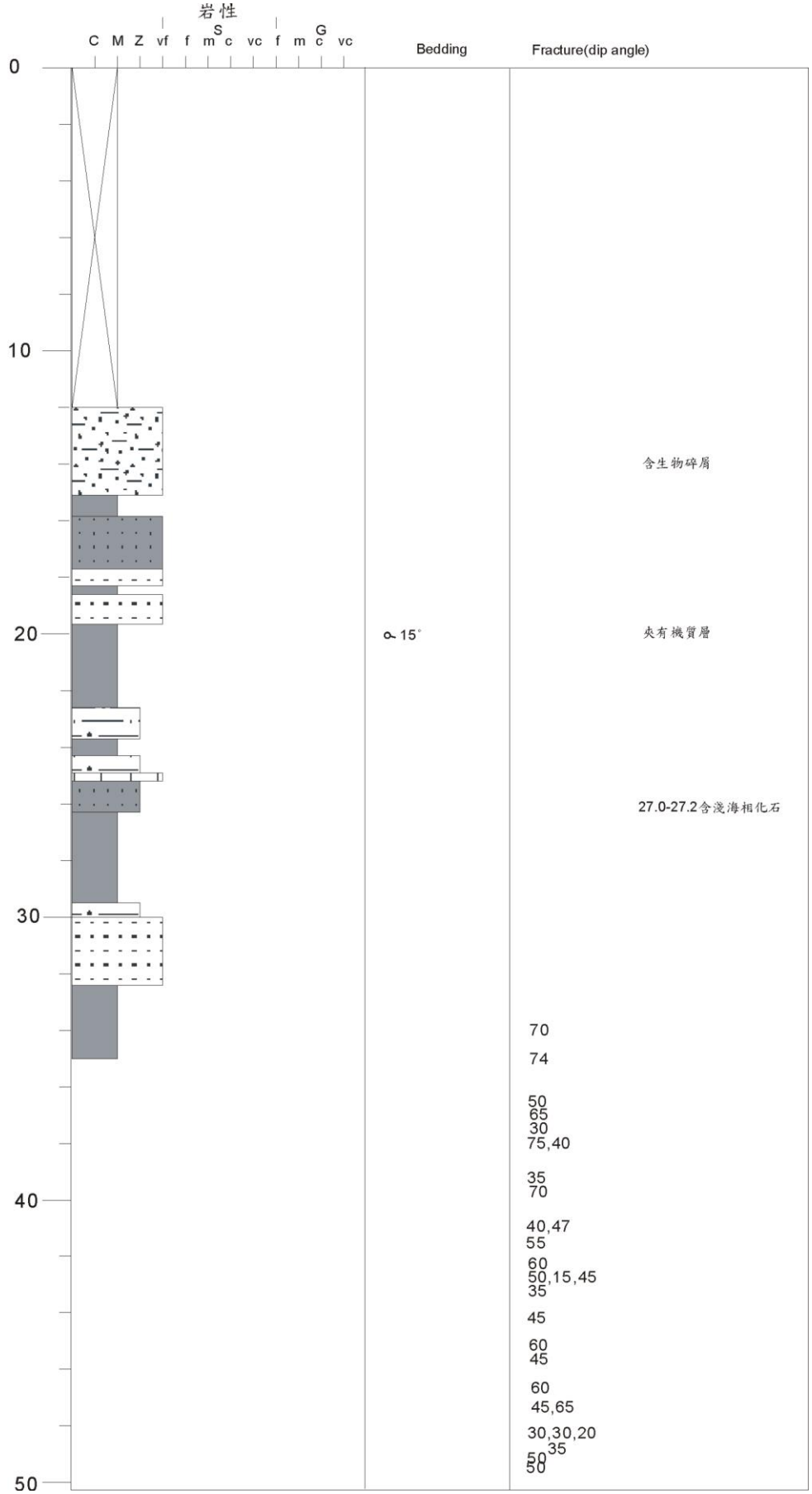
附錄4、池口2號井井錄

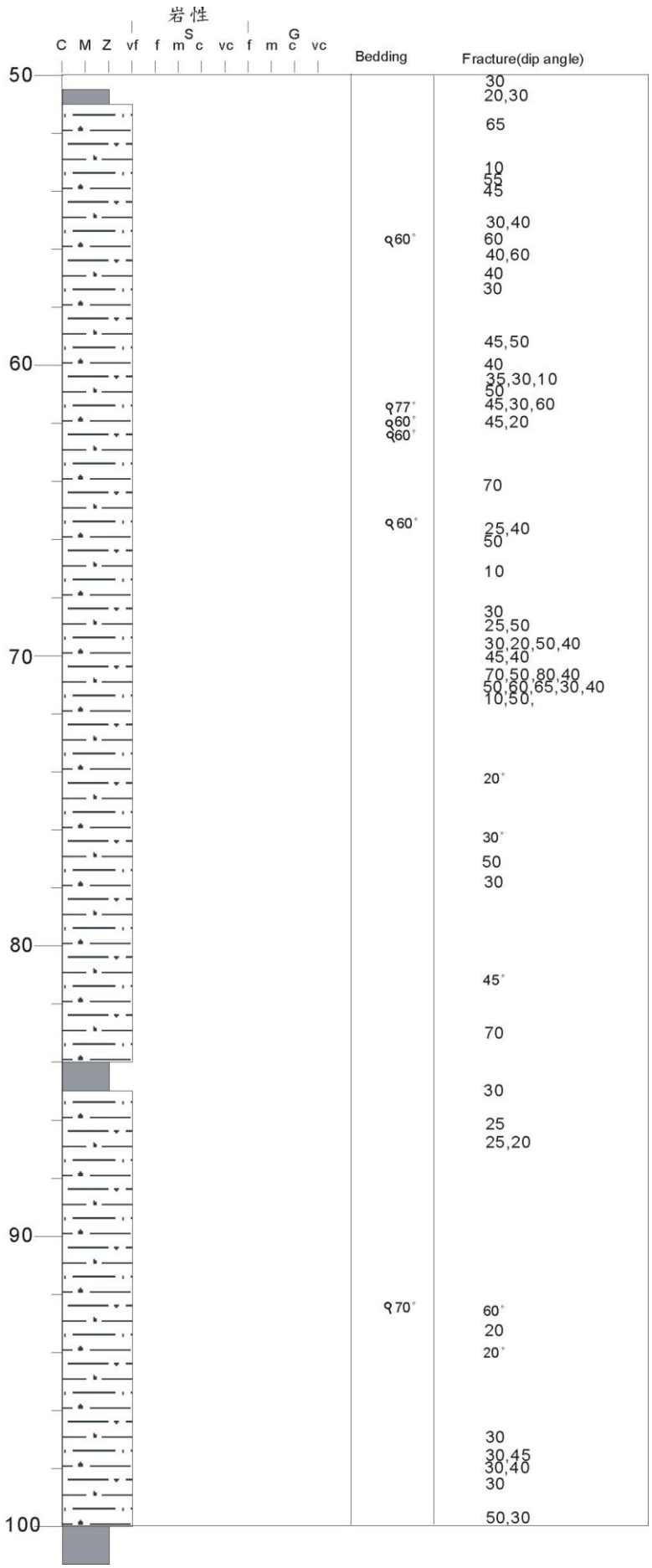

鑽測單位
經濟部中央地質調查所
井名稱
池口-2
編號
高程
m
井深
70m
位置（TM）
E:188068 N:25772001
井址
岩性
M
f
S
m
c
G
BeddingFracture
C-14
（yr）
沈積構造
化石
井測記錄
描述
貝殼
貝殼
多條煤層
多條煤層
木塊
煤層
多條煤層
煤層
煤層
木
貝殼
碳

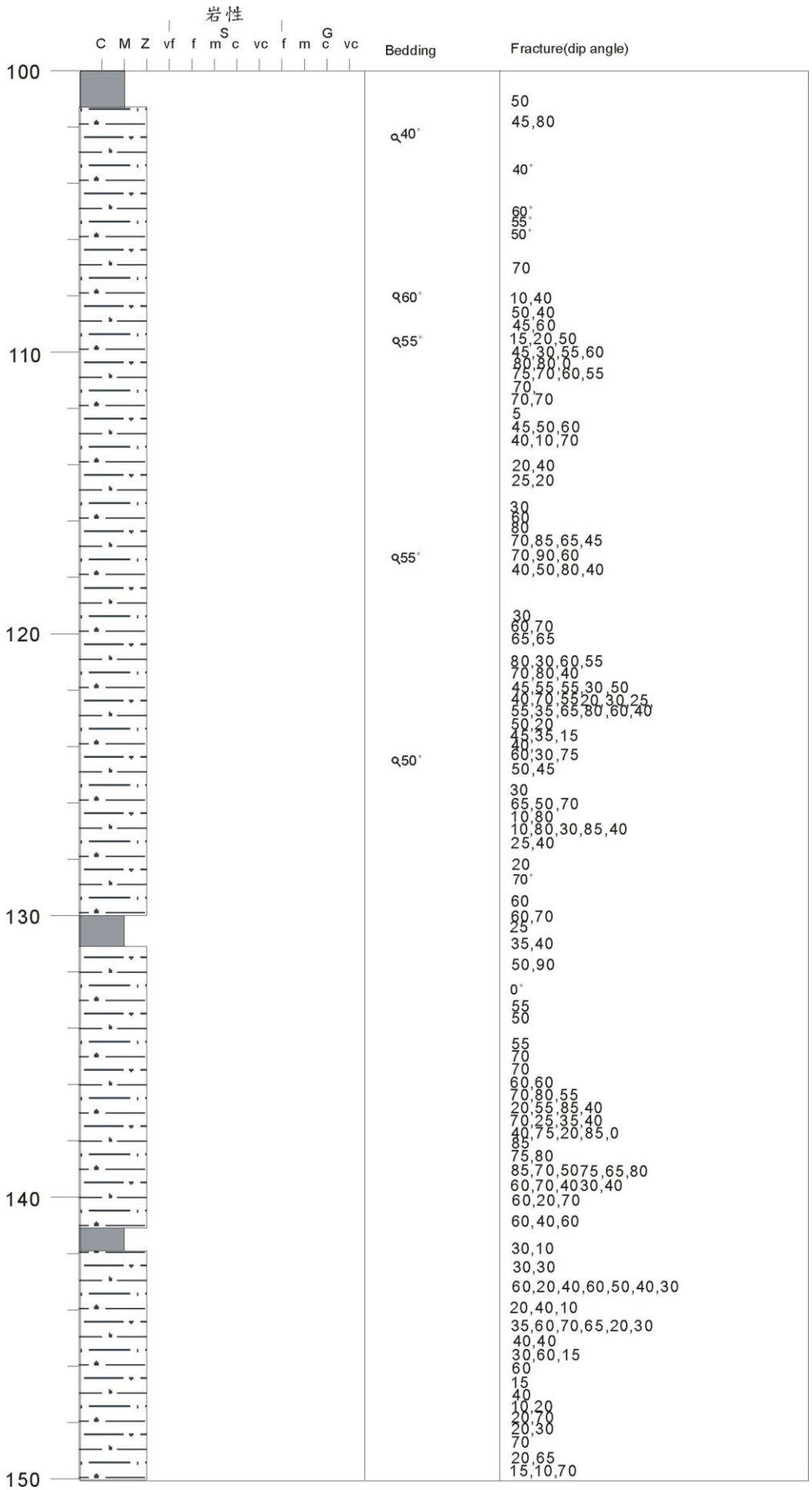
鑽測單位	經濟部中央地質調查所	井名稱	池口-2	編號	
高程	m	井深	70m	位置（TM）	E:188068 N:25772001
井址					

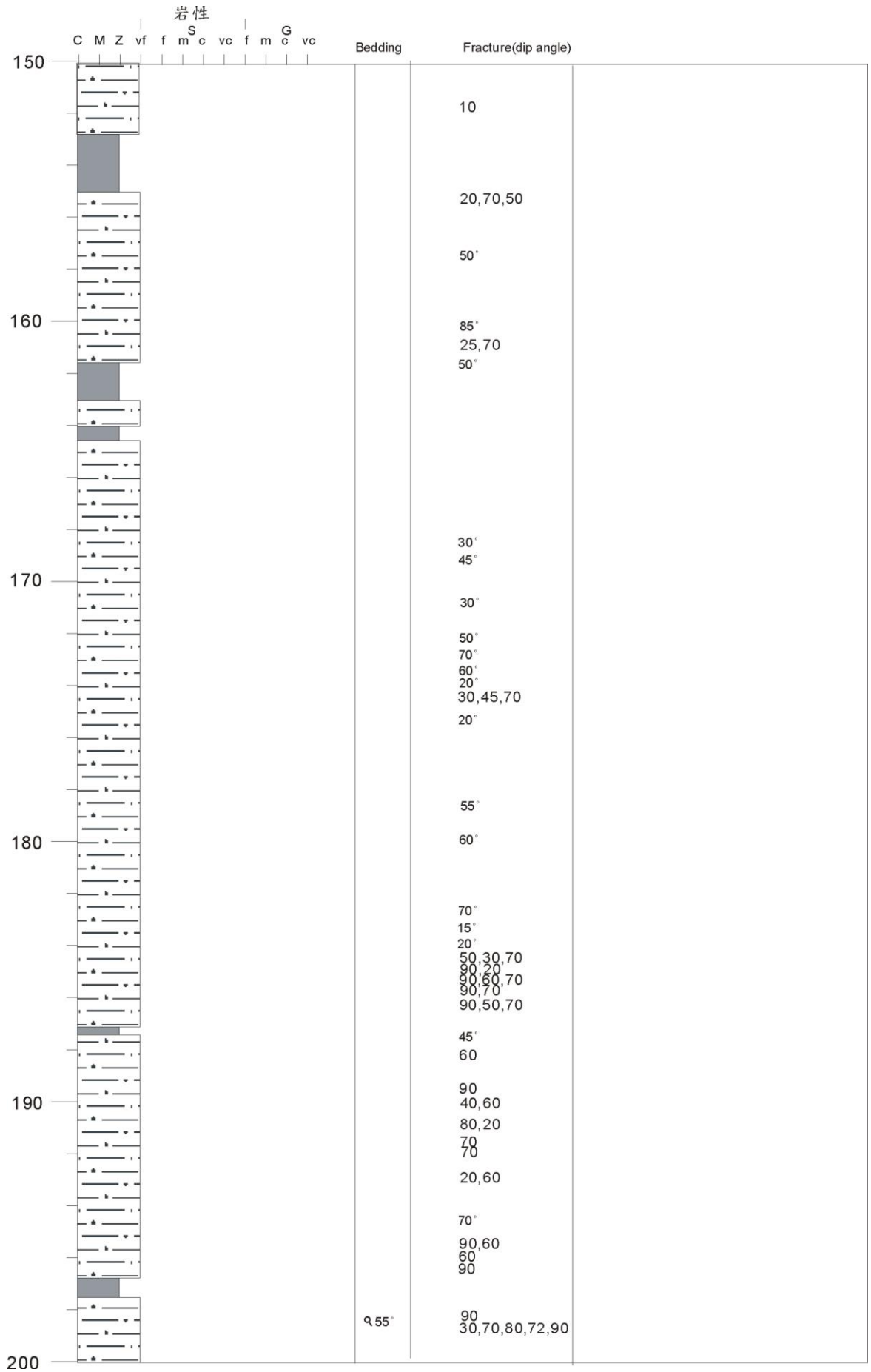


附錄5、山腳下1號井井錄（岩層位態修正自劉彥求，2008；斷層面位態本研究單獨分析)




岩性
C M Z vf f m S c vc f m G c vc
Bedding
Fracture(dip angle)
50
60
70
80
90
100
30
20,30
65
10
55
45
30,40
60
40,60
40
30
45,50
40
35,30,10
50
45,30,60
45,20
70
25,40
50
10
30
25,50
30,20,50,40
45,40
70,50,80,40
50,60,65,30,40
10,50,
20°
30°
50
30
45°
70
30
25
25,20
60°
20
20°
30
30,45
30,40
30
50,30

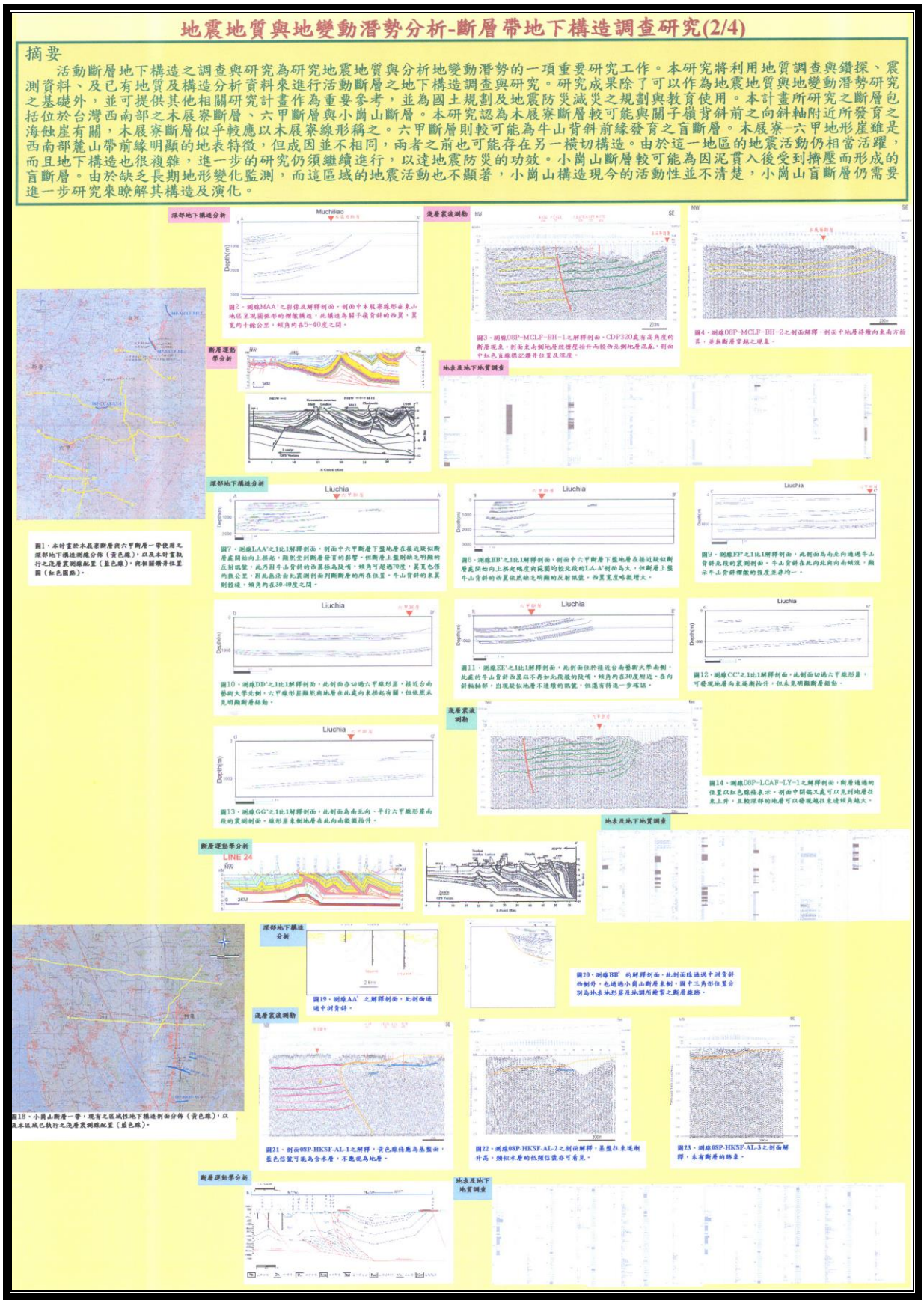

岩性
C M Z vf f m c vc f m c vc
S
G
Bedding
Fracture(dip angle)
100
110
120
130
140
150
40°
60°
55°
50°
55°
50°
50
45,80
40°
60°
55°
50°
70
10,40
50,40
45,60
15,20,50
45,30,55,60
80,80,0
75,70,60,55
70,
70,70
5
45,50,60
40,10,70
20,40
25,20
30
60
80
70,85,65,45
70,90,60
40,50,80,40
30
60,70
65,65
80,30,60,55
70,80,40
45,55,55,30,50
40,70,5520,30,25
55,35,65,80,60,40
50,20
45,35,15
40
60,30,75
50,45
30
65,50,70
10,80
10,80,30,85,40
25,40
20
70°
60
60,70
25
35,40
50,90
0°
55
50
55
70
70
60,60
70,80,55
20,55,85,40
70,25,35,40
40,75,20,85,0
80
75,80
85,70,5075,65,80
60,70,4030,40
60,20,70
60,40,60
30,10
30,30
60,20,40,60,50,40,30
20,40,10
35,60,70,65,20,30
40,40
30,60,15
60
15
40
10,20
20,70
20,30
70
20,65
15,10,70


岩性
C M Z vf f m S c vc f m G c vc
Bedding
Fracture(dip angle)
150
160
170
180
190
200
10
20,70,50
50°
85°
25,70
50°
30°
45°
30°
50°
70°
60°
20°
30,45,70
20°
55°
60°
70°
15°
20°
50,30,70
90,20
90,60,70
90,70
90,50,70
45°
60
90
40,60
80,20
70
70
20,60
70°
90,60
60
90
55°
90
30,70,80,72,90

附錄6、中英文網頁首頁


經濟部中央地質調查所97年度委辦計畫 - 地震地質與地變動潛勢分析 - 斷層帶地下構造調查研究（2/4） - Windows Internet Explorer
http://140.116.40.79/moeacgs/index.html
地震地質與地變動潛勢分析
Central Geological Survey MOEA
HOME
ABOUT
地震地質與地變動潛勢分析
斷層帶地下構造調查研究(2/4)
木屐寮斷層、六甲斷層、小崗山斷層
摘要
活動斷層地下構造之調查與研究為研究地震地質與分析地變動潛勢的一項重要研究工作。本研究將利用地質調查與鑽探、震測資料、及已有地質及構造分析資料來進行活動斷層之地下構造調查與研究。研究成果除了可以作為地震地質與地變動潛勢研究之基礎外，並可提供其他相關研究計畫作為重要參考，並為國土規劃及地震防災減災之規劃與教育使用。本計畫所研究之斷層包括位於台灣西南部之木屐寮斷層、六甲斷層與小崗山斷層。本研究認為木屐寮斷層較可能與關子嶺背斜前之向斜軸附近所發育之向斜軸變形有關，木屐寮斷層似乎較應以木屐寮線形稱之。六甲斷層則較可能為牛山背斜前緣發育之盲斷層。木屐寮-六甲地形崖雖是西南部龍山帶前緣明顯的地表特徵，但成因並不相同，兩者之前也可能存在另一橫切構造。由於這一地區的地震活動仍相當活躍，而且地下構造也很複雜，進一步的研究仍須繼續進行，以達地震防災的功效。小崗山斷層較可能為因泥貫入後受到擠壓而形成的盲斷層。由於缺乏長期地形變化監測，而這區域的地震活動也不顯著，小崗山構造現今的活動性並不清楚，小崗山盲斷層仍需要進一步研究來瞭解其構造及演化。
關鍵詞：地下構造、活動斷層、地質調查、淺層震測、運動學分析
Study of the Subsurface Structures of Fault Zones(2/4)
Muchiliao fault、Liuchia fault、Hsiaokangshan fault
ABSTRACT
A clear image of the subsurface structure of an active fault and its long-term behavior are very important for studying the seismic potential of an active fault and its corresponding hazard. In this study, we investigate the near surface structures and the long-term behaviors of the active faults by integrating the data from geomorphic and geologic surveys, core borings, seismic reflection surveys, and kinematic analysis. Based on our studies, we conclude the Muchiliao fault should be a deformation developed near the axis of the syncline in front of the Guanziling anticline, the Muchiliao fault may not exist and the fault should be better named lineation; the Liuchia fault should be a blind fault beneath the Niushan anticline. Although surface topography shows significant pattern of lineation at west of the Muchiliao lineation and Liuchia fault, the two structures were formed by different mechanisms, and there might have another transect structure existed in between. Since the structure is complicated and an active seismicity were observed in this area, we suggest to conduct more studies in the Muchiliao lineation and the Liuchia fault areas for seismic hazard mitigation purpose. Our study also proposes that the Hsiaokangshan fault could be a blind fault that was formed by a mud intrusion and followed by lateral compression during orogeny. Activity of the Hsiaokangshan fault is still unknown, to verify the structure and its evolution, further studies in this area are needed as well.
KEYWORDS: active fault, subsurface structure, geological survey, shallow seismic survey, kinematic analysis
Categories
壹、前言
貳、斷層帶地下構造調查研究
一、木屐寮斷層
深部地下構造分析
淺層震波測勘
地表及井下地質調查
斷層運動學分析
節要
二、六甲斷層
深部地下構造分析
淺層震波測勘
地表及井下地質調查
斷層運動學分析
節要
三、小崗山斷層
深部地下構造分析
淺層震波測勘
地表及井下地質調查
斷層運動學分析
節要
參、討論與結論
參考文獻
附錄
附錄1、六重溪1號井井錄
附錄2、六重溪2號井井錄
附錄3、池口1號井井錄
附錄4、池口2號井井錄
附錄5、山腳下1號井井錄
| Home | Central Geological Survey MOEA © 2007-2008 |

附錄7、教育推廣海報縮頁



期中審查意見處理情形

報告書內容	
審查意見	處理情形
1. 應強調本計畫所欲解決的問題，並說明整體斷層模型及可能的運動模式。	遵照辦理，已修正如圖1.37、圖2.33及圖3.32中所示，說明列於內文中。
2. 請說明斷層位置之依據或資料來源，並請比較前人研究之異同。	遵照辦理，已修正如圖1.29、圖2.28，說明列於內文中。
3. 請加入淺層震測測線選擇理由，鑽探地點請與本所協調。	遵照辦理，修正完成，說明列於內文中。
4. 建議結合前人研究的結果，在通過六甲斷層的震測剖面解釋可能的斷層跡位置。	遵照辦理，已修正如圖2.12所示。
5. 建議取得中油公司同意，在報告書中加入通過斷層的關鍵震測剖面。	遵照辦理，已使用。
6. 建議應加入大範圍地質剖面圖，以幫助瞭解震測測線所在的地質條件及所探討的關鍵問題。	遵照辦理，已修正如圖1.18及圖3.1。
7. 地質鑽探缺少綜合整理及地質意義的整體分析，請加強結合震測剖面與地下地質之探討與分析。	遵照辦理，已修正並加註說明。
8. 震測及鑽探分析工作品質有一定的水準，斷層地下構造分析，期待未來幾個月能有突破。	遵照辦理，已完成。
9. 語意不清楚處請修正；用字用詞請統一；圖文宜對照；數值有效位數應正確。	遵照辦理，已修正。
10. 六甲斷層是否南延至烏山頭水庫壩址附近，請於後續調查時參酌。	配合貴所鑽井計畫執行。

圖文之排列與展示	
審查意見	處理情形
1. 請在所有通過木屐寮斷層和六甲斷層的震測剖面上標註斷層可能通過的位置。	遵照辦理，已修正。
2. 應加入研究區內已有地質鑽井之位置，相關計畫及本計劃將進行之井位，也請一併於圖中呈現。其他前人及地調所其他相關計畫的結果或預訂的工作亦儘可能放入圖中，便利讀者閱讀。	遵照辦理，已修正。
3. 地下構造解釋剖面，建議加繪地形剖面。	遵照辦理，已修正。
4. 圖之文字說明宜加強；文中提過的地名、斷層及地層名稱請在圖上表示；部份用字遣詞不明宜釐清，部份圖資測線名稱標示過小應清楚標示；部份圖資略顯重複請整合；小崗山斷層之山腳下1號井未能於圖中顯示，請加入。	遵照辦理，已修正。
5. P. 49-52 之井錄資料應詳細說明，破裂面傾角資料的排列方式易造成讀取困難，建議以表列方式呈現，並將本圖移至附錄。	遵照辦理，已修正。

期末審查意見處理情形

報告書內容	
審查意見	處理情形
1. 摘要中對木屐寮、六甲及小崗山斷層的構造描述過於簡要，可再加強一些，由於此三構造對地震減災之評估還尚未成熟，文字論述宜避免過於肯定。	遵照辦理，已補充說明並修正於摘要內文及討論與結論中。
2. 圖1.29-1.32四條構造剖面的位置不同，建議應就個別位置上的重力觀測值剖面作模擬和比較較為合理。	圖1.29-1.32四條構造剖面的位置大致相同，已補充剖面位置圖1.30說明。
3. 六甲斷層和木屐寮斷層之地表位置為背斜構造的前翼，因此這條斷層是否反應向斜「軸部」的變形待商榷。	遵照辦理，已修正為向斜之變形。
4. 構造運動學剖面(圖1.35及圖2.33)地形剖面未與實際符合，請修正。	遵照辦理，已修正如圖1.36與圖2.32所示。
5. 建議將震測剖面解釋與鑽井資料整合，以便比對與討論。	遵照辦理，已整合並至於圖4.1及4.3中，說明列於內文中。
6. 重力資料來源及模擬方式應以文字說明。	遵照辦理，已修正列於內文中。
7. 運動學分析模式，請將模擬條件假設，參數，位移量及幾何形態模擬與前人構造剖面，GPS成果一併討論。	遵照辦理，已完成並列表1.6及表2.4說明。
8. 泥貫入體不一定要存在於隱沒帶，請修正構造演化圖示意圖。	遵照辦理，已修正如圖3.31所示。
9. 木屐寮斷層若不存在，建議使用木屐寮線形一詞。	遵照辦理，已修正。
10. 由於研究的成果並未發現斷層的存在或是斷層的型態，請在敘述時說明	遵照辦理，已修正，並於討論與結論一章中說明。

依據的資料及解釋的限制，特別是與前人研究不同之處。	
11. 由年度計畫成果可建議所方後續進一步調查研究之方案。	遵照辦理，已列於討論與結論一章。
12. 本計劃之地下構造建構如能再加上地表地層定年的工作分析，應可以讓地下構造可信度再提高。	遵照辦理，可定年部分已完成。
13. 六甲斷層是否南延至烏山頭水庫壩址附近，建議能稍加說明。	遵照辦理，已修正列於討論與結論一章。
14. 斷層帶在近地表的性質往往不容易觀察到，在沒有全盤了解斷層或褶皺變形帶從淺到深的整體幾何及構造特性以前，評論斷層是否存在之結論宜保守。	遵照辦理，已修正列於討論與結論一章。

圖文之排列與展示	
審查意見	處理情形
1. 15頁第二段可改於3頁前人研究之中。	本段文字與震測作業較有關，建議仍至於原處以做比較。
2. 震測資料處理程序請以流程圖表示。	遵照辦理，已加入於圖1.9中。
3. 圖1.33-1.35，圖2.29-2.33構造剖面應放入地層符號的代表之地層全名以及Trishear model的輸入參數。	遵照辦理，已修正並加入表1.5、1.6及表2.4。
4. 建議將研究的地層對比列表以利讀者閱讀。	遵照辦理，已加入表1.5。
5. 建議將斷層條帶地質圖及重要之圖以A4大小全版圖表示。	遵照辦理，已修正。
6. 報告的圖及文字敘述請重新審視並修正格式、錯字、標示不清楚，字體過小等缺失，以提升報告的品質。	遵照辦理，已修正。
7. 六甲斷層鑽井之命名請依本所之命名修正。	遵照辦理，已修正為池口1號、2號井。