經濟部

經濟部中央地質調查所報告第99-11號
委辦計畫編號（99-5226904000-01-03）

地震地質與地變動潛勢分析

斷層帶地下構造調查研究（4/4）

期末報告書

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行機關：國立中正大學
中華民國99年12月

地震地質與地變動潛勢分析

斷層帶地下構造調查研究（4/4）

99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99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南部之旗山斷層與中部之大尖山斷層。目前已依計畫收集與研讀相關資料與文獻、進行野外地質與地形調查，並完成3孔位於旗山斷層以及1孔位於大尖山斷層，井深150公尺之地質探井，也於旗山斷層完成了5條淺層震測剖面，測線全長5,080公尺，最後綜合進行旗山斷層與大尖山斷層之構造分析與斷層運動學分析。構造分析研究結果顯示，旗山斷層西側的龍船斷層位於泥貫入體褶皺或斷層擴展褶皺的軸部，在龍船斷層北部兩側形成緊密褶皺，斷層向南延伸，逐漸潛伏於地下，形成盲斷層。旗山斷層為一犁形逆斷層，在近地表處傾角甚高，在深部可能與龍船斷層合而為一。旗山斷層在大社一帶及其往南區域，出現的位置應較現認為的位置往東，與地形的變化處更貼近。旗山斷層往北的延伸，因為無岩性的控制，由震測剖面中仍無法進一步區別。我們也認為大尖山斷層與初鄉斷層原為相連接之斷層，但後來被鹿寮斷層所截切，由地質圖上我們大致估計鹿寮斷層位移量約1.3公里。大尖山斷層可能為一系列的斷坪與斷坡所組成，它可能截切大窩細砂岩，並在近地表出分支出檳榔宅斷層。

關鍵詞：旗山斷層、大尖山斷層、地下構造、活動斷層、地質調查、淺層震測、運動學分析

ABSTRACT

Clear subsurface structure image and long-term behaviors of an active fault are crucial for studying its seismic potential and corresponding hazard. In this study, we investigate the near surface structures and the long-term behaviors of the Chishan fault and the Tachienshan fault by integrating the data from geomorphic and geologic surveys, core borings, seismic reflection surveys, and kinematic analysis. So far, we have reviewed the related articles, conducted field geological survey, completed three 150m deep borehole along the Chishan fault, and one borehole on the Tachienshan fault, finished five shallow seismic profiles, totally 5,080m long along the Chishan fault, and analyzed the fault structures and the mechanisms of the Chishan fault and the Tachienshan fault. Our results show that the Longchuan fault situated at the west of the Chishan fault is sub-parallel to the axis of an anticline. The tight anticline was created by a mud intrusion or fault-propagation fold, with its axial plane breached by an active fault at north part of the fault. Toward south, the Longchuan fault gradually become a blind reverse fault. The Chishan fault is a listric reverse fault with very high dipping angle at shallow depth. The Chishan fault and the Longchuan fault may merge together at depth. Location of the Chishan fault in the Dashe and southward area should be moved eastward, closer to the topography varying area. We are still unable to define the northward extension of the Chishan fault from seismic profiles, because of lacking lithological control. We also propose that the Tachienshan fault was originally connected to the Chushian fault, and was later truncated by the Luliao fault. According to the geologic map, we may estimate that the offset of the Luliao fault is about 1.3 km. Tachienshan fault may be made up with a series of flat and ramp structures. The fault might cut the Tawuo Sandstone and branches off the Binlungtsai fault at shallow depth.

KEYWORDS: The Chishan fault, the Tachienshan fault, active fault, subsurface structure, geological survey, shallow seismic survey, kinematic analysis

目錄

摘要……III
Abstract……IV
目錄……V
圖目錄……VIII
表目錄……XII
壹、前言……1
貳、斷層帶地下構造調查研究方法概述……3
一、地質鑽探……3
二、淺層震測……3
三、斷層運動學分析……6
參、旗山斷層斷層帶地下構造調查研究……7
一、背景資料……7
二、區域地質……12
1.地層……12
2.區域構造模式……12
三、地形特徵……16
四、地質鑽探……18
1.旗山一號井……18
2.旗山二號井……23
3.旗山三號井……28
五、地表地質、岩芯與震測剖面關係……33
1.斷層帶的範圍、斷層帶內各分支斷層的位置與性質及解析精度……33
2.跨旗山斷層含主斷層兩側2公里以內的構造剖面……33
六、淺層震測……43
1.旗山斷層大社測線一（測線編號：10P-CHNF-DS-01）……45
2.旗山斷層大社測線二（測線編號：10P-CHNF-DS-02）……52
3.旗山斷層仁武測線一（測線編號：10P-CHNF-RW-01）……57
4.旗山斷層北端圓潭測線一（測線編號：10P-CHNF-YT-01）……65

5.旗山斷層北端圓潭測線二（測線編號：10P-CHNF-YT-02）.....72
七、旗山斷層的運動學分析.....80
1.前人研究.....80
(一) 西南外部構造模型.....80
(二) 西南部泥貫入體構造.....80
2.近斷層構造特徵.....81
3.運動學模擬.....82
八、節要.....94
肆、大尖山斷層.....97
一、背景資料.....97
二、區域地質.....99
三、地形特徵.....99
四、地質鑽探.....102
1.大尖山一號井淺層鑽探與岩芯記錄.....102
五、地表地質、岩芯與震測剖面關係.....106
1.大尖山斷層帶地表沉積物厚度及各地層的厚度與界面.....106
2.大尖山斷層帶的範圍、斷層帶內各分支斷層的位置與性質及解析精度.....106
3.跨大尖山斷層含主斷層兩側2公里內的構造剖面.....106
4.大尖山斷層的分段.....107
5.大尖山斷層在集集地震時的同震變形.....107
6.大尖山斷層地下構造形態.....109
六、地球物理與大地測量.....112
1.淺層震測.....112
2.地電測勘.....112
3.大地測量.....112
七、大尖山斷層的運動學分析.....114
1.前人研究.....114
2.運動學模擬.....114
八、節要.....117

伍、討論與結論.....118
參考文獻.....120
附錄1、中英文網頁首頁.....123
附錄2、教育推廣海報縮頁.....124
期中報告書審查意見處理情形..... 125
期末報告書審查意見處理情形..... 128

圖目錄

圖2.2.1、本研究之淺層震測資料處理基本流程圖.....5
圖3.1.1、旗山斷層附近地質圖..... 9
圖3.1.2、旗山斷層條帶地質圖..... 10
圖3.1.3、旗山斷層往西南延伸的可能解釋.....11
圖3.2.1、旗山斷層上下盤地層柱狀圖與地層對比關係.....13
圖3.2.2、西南部之逃逸構造假說.....14
圖3.2.3、西南部GPS位移向量.....15
圖3.2.4、Chiang et al.解釋之台灣西南部構造.....15
圖3.3.1、本研究區之數值地形圖.....16
圖3.3.2、旗山斷層上盤為烏山層，下盤為古亭坑層.....17
圖3.4.1、旗山斷層鑽探位置.....18
圖3.4.2、(a)旗山一號井位置.....19
(b)下盤為泥岩的古亭坑層.....19
(c)為淺層構造剖面.....19
圖3.4.3、(a)旗山一號井0-100m井錄.....20
(b)旗山一號井100-150m井錄.....21
圖3.4.4、斷層帶細部構造.....22
圖3.4.5、(a)旗山二號井位置.....24
(b)二重溪層.....24
(c)為烏山層.....24
(d)為剖面構造.....24
圖3.4.6、(a)旗山二號井0-100m井錄.....25
(b)旗山二號井100-150m井錄.....26
圖3.4.7、(a)旗山二號井在144公尺到146公尺間有密集斷層帶.....27
(b)在148.9公尺處的高角度斷層帶.....27
圖3.4.8、(a)旗山三號井位置.....29
(b)為二重溪層.....29
(c)為剖面構造.....29
圖3.4.9、(a)旗山三號井0-100m井錄.....30

(b)旗山三號井100-150m井錄.....31
圖3.4.10、65.8公尺至68.3公尺間為斷層帶.....32
圖3.5.1、旗山與其分支斷層的分布位置.....34
圖3.5.2、近旗山斷層的下盤.....34
圖3.5.3、旗山斷層下盤發育的高傾角剪切帶.....35
圖3.5.4、旗山斷層地下構造模型剖面位置.....36
圖3.5.5、旗山斷層附近的地下構造模型(a)為鄭宏祺繪製震測剖面a.....37
旗山斷層附近的地下構造模型(b)為鄭宏祺繪製震測剖面b.....38
旗山斷層附近的地下構造模型(c)為黃旭燦等繪製剖面c.....39
旗山斷層附近的地下構造模型(d)Chiang et al.繪製剖面d.....40
旗山斷層附近的地下構造模型(e)為洪日豪繪製剖面e.....41
圖3.5.6、本研究所推測旗山斷層由北向南的四條構造剖面.....42
圖3.6.1、旗山斷層南段之震測測線於1/25,000地形圖中配置位置.....44
圖3.6.2、測線10P-CHNF-DS-01往西向(a)及往東向(b)之地表現況.....47
圖3.6.3、(a)測線10P-CHNF-DS-01沿線之3個代表性測點紀錄.....49
(b)為經過濾波後的測點紀錄.....49
圖3.6.4、(a)測線10P-CHNF-DS-01之24重合同中點重合剖面.....50
(b)測線10P-CHNF-DS-01之解釋剖面.....51
圖3.6.5、測線10P-CHNF-DS-02往西向(a)及往東向(b)之地表現況.....53
圖3.6.6、(a)測線10P-CHNF-DS-02沿線之3個代表性測點紀錄圖.....55
(b)原始測點記錄經過濾後的結果.....55
圖3.6.7、測線10P-CHNF-DS-02之24重合同中點重合剖面.....56
圖3.6.8、測線10P-CHNF-RW-01往西向(a)及往東向(b)之地表現況.....59
圖3.6.9、(a)測線10P-CHNF-RW-01沿線之3個代表性測點紀錄.....61
(b)經過濾波後的測點紀錄.....61
圖3.6.10、(a)測線10P-CHNF-RW-01之同中點重合剖面.....62
(b)測線10P-CHNF-RW-01之解釋剖面.....63
圖3.6.11、整合本研究於旗山斷層南端之淺層震測結果.....64
圖3.6.12、旗山斷層北端測線10P-CHNF-YT-01與10P-CHNF-YT-02的配置位置66
圖3.6.13、測線10P-CHNF-YT-01往西向(a)及往東向(b)之地表現況.....67

圖3.6.14、(a)測線10P-CHNF-YT-01沿線之3個代表性測點紀錄.....69
(b)經過濾波後的測點紀錄.....69
圖3.6.15、(a)測線10P-CHNF-YT-01之24重合同中點重合剖面.....70
(b)測線10P-CHNF-YT-01之解釋剖面.....71
圖3.6.16、測線10P-CHNF-YT-02往西向(a)及往東向(b)之地表現況.....74
圖3.6.17、(a)測線10P-CHNF-YT-02沿線之3個代表性測點紀錄圖.....76
(b)原始測點記錄經過濾後的結果.....76
圖3.6.18、(a)測線10P-CHNF-YT-02之24重合同中點重合剖面.....77
(b)測線10P-CHNF-YT-02之解釋剖面.....78
圖3.6.19、本研究淺層震測結果所研判之斷層位置.....79
圖3.7.1、西南部外海泥貫入體構造.....83
圖3.7.2、西南海域的泥貫入體剖面構造.....83
圖3.7.3、台南台地三種構造模型.....84
圖3.7.4、台南背斜的(a)震測與(b)鑽井資料.....85
圖3.7.5、跨越中洲背斜構造剖面與鑽探.....86
圖3.7.6、半屏山背斜的震測剖面.....86
圖3.7.7、台灣西南部殘餘重力圖.....87
圖3.7.8、龍船斷層附近地質圖.....88
圖3.7.9、古亭坑層與二重溪層交界的不整合.....89
圖3.7.10、陳文山等認為旗山鎮以南的深水坑剖面.....90
圖3.7.11、林啟文認為旗山斷層南延通過保安宮一號井與二號井.....91
圖3.7.12、旗山斷層的運動學分析.....92
圖4.1.1、大尖山斷層附近地質圖.....98
圖4.3.1、中油地質圖套疊數值地形圖.....100
圖4.3.2、(a)東埔蚋溪的階地分布.....101
(b)階地厚度分布.....101
圖4.4.1、大尖山一號井位置與剖面圖.....103
圖4.4.2、(a)大尖山斷層一號井0-100m井錄.....104
(b)大尖山斷層一號井100-150m井錄.....105
圖4.5.1、大尖山斷層兩側構造剖面圖.....106

圖4.5.2、大尖山斷層在集集地震時的同震位移場.....108
圖4.5.3、車龍埔斷層與初鄉斷層的深部震測剖面 (a)通過濁水溪的震測剖面位置.....110
(b)震測剖面解釋.....110
圖4.5.4、楊耿明所繪製大尖山斷層地下構造剖面.....111
圖4.5.5、Mouthereau and Lacombe所繪製的觸口斷層（即本文之大尖山斷層）地下構造剖面.....111
圖4.6.1、桶頭一帶的震測與地電測線配置圖.....113
圖4.6.2、地電測線TAS-JS02E與震測測線TAS-JS01S與JS02S的整合解釋圖.....113
圖4.7.1、大尖山斷層的運動學分析.....115

表目錄

表 3.6.1、測線 10P-CHNF-DS-01 之震測施測參數表.....48
表3.6.2、測線10P-CHNF-DS-02之震測施測參數表.....54
表3.6.3、測線10P-CHNF-RW-01之震測施測參數表.....60
表3.6.4、測線10P-CHNF-YT-01之震測施測參數表.....68
表3.6.5、測線10P-CHNF-YT-02之震測施測參數表.....75
表3.7.1、旗山斷層與龍船斷層模擬參數.....93
表4.7.1、大尖山斷層與檳榔宅斷層模擬參數.....116

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、台灣西南部的活動斷層、台灣中部的活動斷層及臺灣東部與南部的活動斷層（林啟文等，2007、2008、2009）、之二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書、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，針對了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、大尖山斷層。

分年分組預定完成的主要內容為：

1、 各標的斷層之斷層帶的範圍、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四年計畫，目標斷層為旗山斷層與大尖山斷層。除了從既有的相關研究成果著手外，並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. 旗山斷層與大尖山斷層既有相關資料的研究評估。
2. 旗山斷層與大尖山斷層帶的範圍、斷層帶內各分支斷層的位置與性質，及其解析精度。
3. 完成 4 孔 150 公尺深之地質鑽探（旗山斷層 3 孔，大尖山斷層 1 孔）。
4. 記錄與分析於旗山斷層（3 孔）與大尖山斷層（1 孔）所進行的地質鑽探岩芯樣本，包含地表至地下 150 公尺以上岩層的岩性柱狀圖。
5. 淺層震測線總長 3,600 公尺，實際完成 5,080 公尺。。
6. 旗山斷層與大尖山斷層帶地表沉積物厚度，及各地層的厚度與界面。
7. 繪製跨旗山斷層與大尖山斷層含主斷層兩側 2 公里內的構造剖面。
8. 建立旗山斷層與大尖山斷層的斷層幾何模型與運動學分析。
9. 成果報告 30 份，成果光碟 10 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方法概述

一、地質鑽探

淺層地質鑽探除了可以獲得近地表沉積物的厚度外，還可了解淺部斷層面傾角，與斷層上下盤兩側的地層對比。本計畫的地質鑽井將全程取樣，建立鑽探岩芯的地層柱狀圖，紀錄內容包括岩性、沉積構造、構造、與岩層位態。紀錄岩芯資料後，若鑽遇岩盤再判讀岩芯的地層層位，並解釋沉積環境。兩孔以上的鑽井並作地層對比，解讀斷層的活動性。

本計畫執行期間共將進行4孔井深150公尺之地質探井，其中3孔位於旗山斷層，1孔位於大尖山斷層。

二、淺層震測

震測法能夠解析詳細的地下構造形貌，其應用在地下資源探勘上已極具成效。早期之工程和學術界主要用折射震測法來探測淺層地下構造。由於近年來微電腦處理技術、高頻受波器以及高採樣率震測儀的快速發展，目前工程界和學術單位已常以同中點反射技術來探測幾公尺至幾百公尺深的高解析度淺層地下構造，並以折射資料作為靜態修正的資料。本計畫主要利用 P 波反射，反射震測能夠探測的深度除了與震源能量有關外，亦與測線的展距有關，探測深度通常為測線展距的 1 至 2 倍。以本團隊使用 120 波道震測系統，受波器間距 5 公尺，以兼顧淺部資料以及加深目標深度，並能於傾角較大的岩層獲得較良好的資料。受波器將採用 40Hz 垂直受波器陣列，3 個為一組並聯，以提高信噪比。

本研究之震測作業方法以同中點炸測方式進行，計畫中所進行之同中點重合處理流程如圖 2.2.1 所示。資料處理時先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所造成的走時異常。

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。

淺層震測施測步驟含：

1. 測線測量：繪製測線之地形剖面並打樁標示，測線以衛星定位定點，作為資料庫建立之基準，並於資料交換或公開時提供一定的標準；
2. 震測作業：反射作業與折射作業一併實施；
3. 震測資料處理：以同中點重合方式處理震測資料；
4. 震測剖面分析：解釋地下構造，研判斷層之位置與延伸。

本計畫原規劃之震測測線長度共為3,600公尺，實際執行長度為5,080公尺。

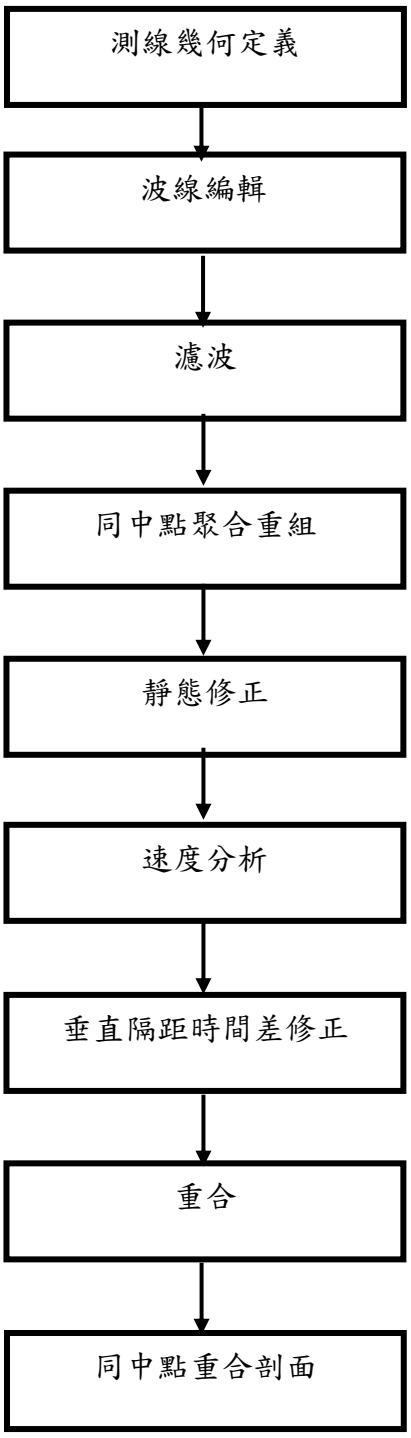


圖2.2.1、本研究之淺層震測資料處理基本流程圖。

三、斷層運動學分析

斷層型態與地層褶皺的關係一旦明確界定後，斷層長期的運動行為就可以透過斷層運動學分析來判定，幫助了解斷層與褶皺的演化過程，及評估未來地震發生的風險。常見的斷層與褶皺的關係包含斷層彎曲褶皺（fault-bend folding）、斷層擴展褶皺（fault-propagation folding）與基底滑脫褶皺（detachment folding）等。此外，在斷層端點前緣也可能產生三角剪切變形（trishear），造成地層層厚與傾角的改變。最近的研究顯示，在褶皺的後翼也可能因斷層滑動所造成的剪切作用而改變地層形貌，由於不同研究地區會因地質材料特性與受力狀態的不同而產生不同形式的褶皺。因此，本計畫在研究進行中，將依實際的觀測資料，利用正演模擬，求出每一地區最可能的褶皺機制。結合震測資料、鑽井資料以及地表地質，繪製地下構造剖面分析可能區域性構造形成機制。

參、旗山斷層斷層帶地下構造調查研究

一、背景資料

旗山斷層由高雄縣旗山鎮附近向西南延伸至高雄縣仁武附近，長約26公里（圖3.1.1，3.1.2：吉田要，1932；鳥居敬造，1933；耿文溥，1967；Tsan and Keng，1968；陳文山等，2005；林啟文等，2009）；斷層呈東北-西南走向的高角度逆斷層（Sun，1965；耿文溥，1981）。斷層上盤（以東）主要由中新世晚期砂岩與泥頁互層的烏山層，以及更新世礫岩所組成；而旗山斷層下盤（西側）主要由中-早期更新世泥岩所構成古亭坑層，旗山斷層延伸至燕巢鄉後隱伏於全新世的沖積層之下（Tsan and Keng，1968；Hsieh，1970；中國石油公司台探總處台南地質圖，1989；陳文山等，2005；林啟文等，2009）。

旗山斷層為一以逆斷層為主，並兼具走向滑移的分量。由野外證據顯示旗山斷層可能兼具左移分量；如詹新甫與耿文溥根據地層和區域褶皺線推論旗山斷層為左移斷層（Tsan and Keng，1968）；陳柏村(2005)追蹤旗山斷層的地表露頭後，也認為旗山斷層為一逆移兼具左移分量的斷層。然而Chiang et al.（2004）、La combe et al.（2001）、侯進雄等（2004）與胡植慶（2004）利用GPS觀測與模擬分析顯示，旗山斷層應為逆斷層兼具右移形式。除了上述的爭議外，旗山斷層之傾角目前仍亦有不同的看法；陳柏村等與林慶偉(2005)由野外證據顯示約50度向東傾斜，但部份學者則認為旗山斷層為較高角度的斷層。

經濟部中央地質調查所認為旗山斷層為第一類活動斷層(林啟文等，2009)，而旗山斷層近期活動的證據也陸續的被發現，如宋國城（2005）指出位於高雄燕巢鄉深水村深水溪北岸的露頭，河階礫石層受到斷層明顯的錯動；同時在國立高雄師範大學燕巢校區的化學館前庭陸橋亦有錯動跡象；另外在南二高中寮隧道距北口50公尺處襯壁有龜裂現象；而燕巢地區的泥火山幾乎都沿斷層線分佈，且活動相當活躍。而陳文山等（2005）在深水坑北岸也發現斷層錯動7000年左右的礫石層，這些現象皆顯示旗山斷層近期有活動跡象。

根據中油十萬分之一地質圖顯示(圖3.1.1)，旗山斷層由高雄縣三民鄉向南延伸，經杉林鄉東側、旗山鎮東側，穿過中寮山西麓於燕巢附近進入海岸平原。然而，近年來經由較詳細的調查，對於該斷層長度與特性的看法已有改變（如圖3.

1.2，林啟文等，2009）。陳文山等（2005）由地質構造與第四紀活動構造觀點認為，旗山鎮以北的北段旗山斷層較適合以原有的內英斷層（飯塚保五郎，1928）稱之，但其與平溪斷層的構造關聯仍待進一步之研究。旗山斷層除部份地區被階地礫石掩蓋外，在旗山至仁武附近的斷層位置大致明確，然而旗山斷層由仁武再往南之延伸，則看法不一，如張家鳳與孫鎮球(2005)及謝昭輝與吳旻諭（2005)利用淺層震測的結果，認為旗山斷層在經省22號道路之後，約略沿著丘陵（澄清湖）與平原交界的西側出露；而陳文山等(2005)則認為旗山斷層向南應可延伸至鳳山丘陵西側再向海延伸（圖3.1.3），因此旗山斷層於南端如何延伸仍有待進一步的調查與研究。

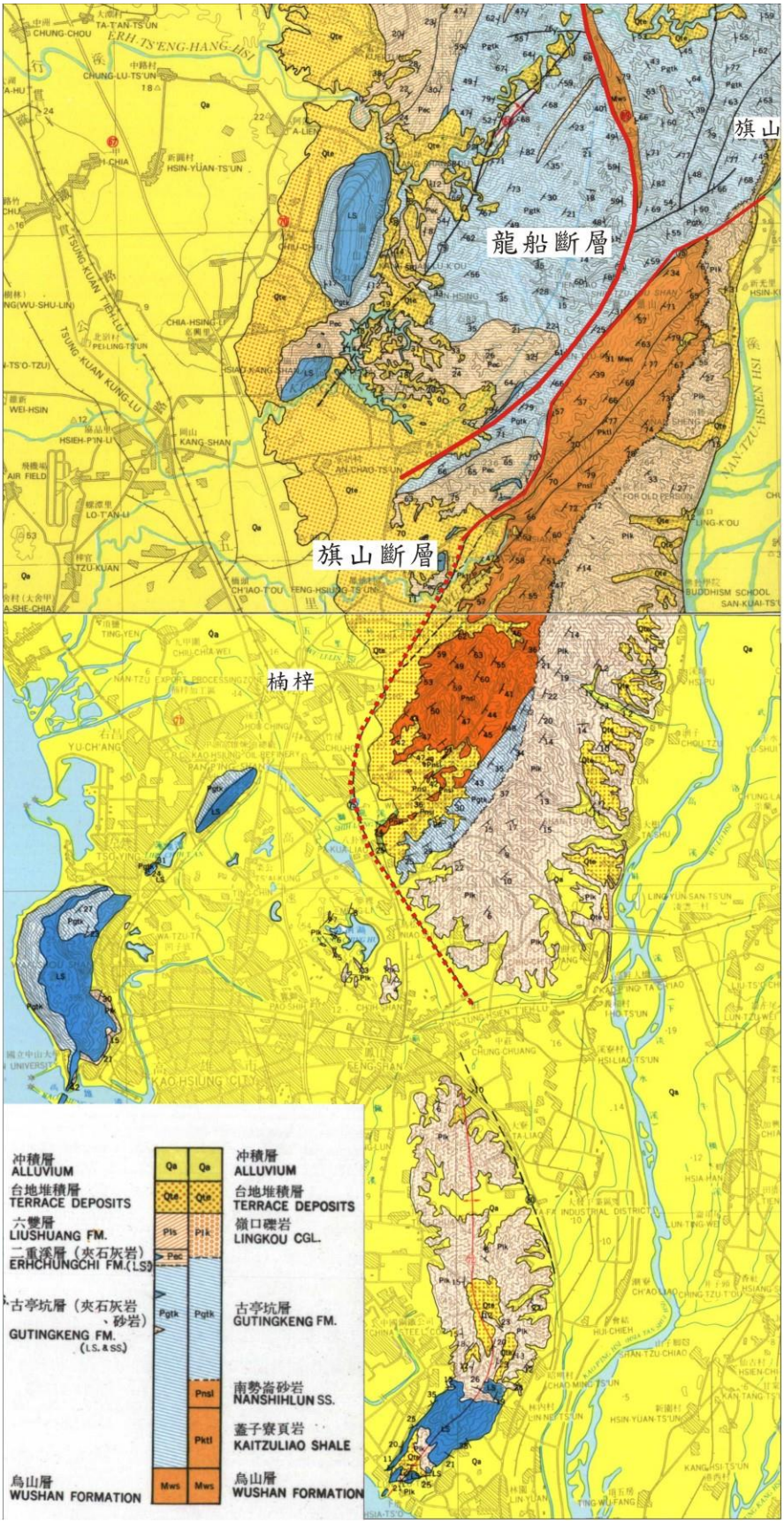


圖3.1.1、旗山斷層附近地質圖(中國石油公司台探總處台南、高雄地質圖，1989，1992)。旗山斷層由旗山東側，向西南延伸至楠梓附近進入海岸平原。

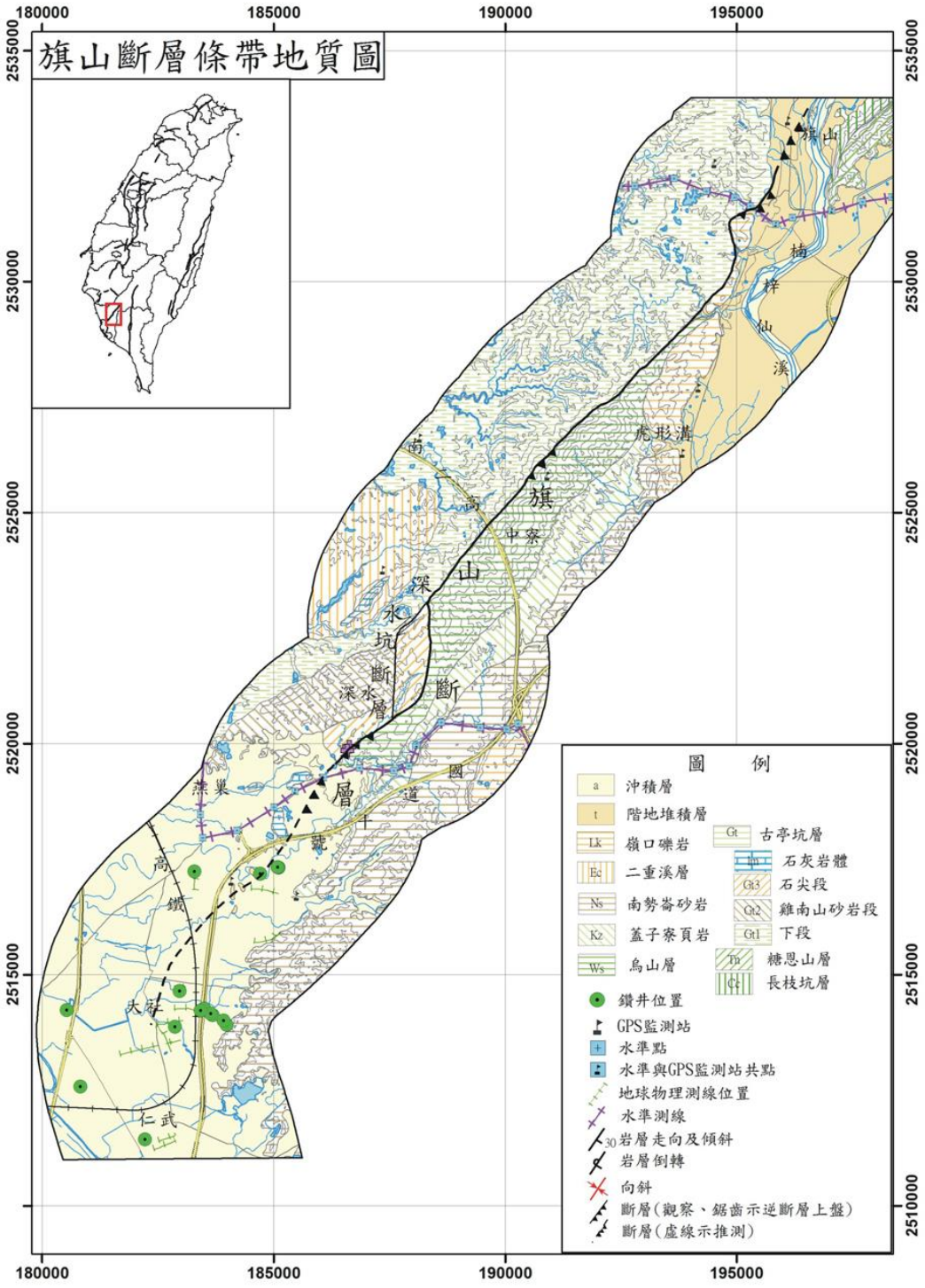


圖3.1.2、旗山斷層條帶地質圖（林啟文等，2009）。此斷層位置由於有淺層鑽探控制，對於細部斷層位置提供較精確的控制，由於有較精確地質鑽探控制，此圖與圖3.1.1之斷層位置已有些許差異。

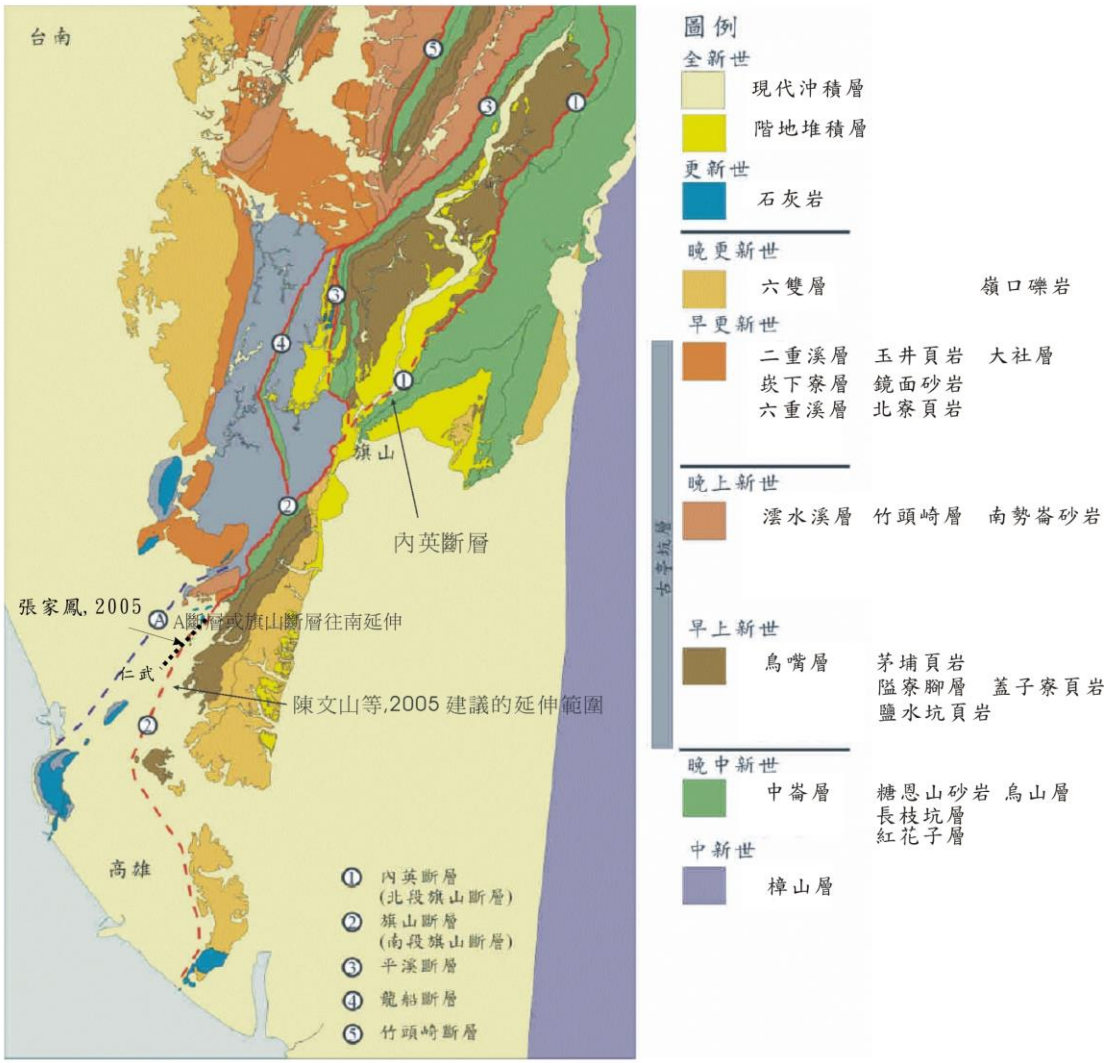


圖3.1.3、旗山斷層往西南延伸的可能解釋。陳文山等（2005）認為旗山斷層向南延伸通過鳳山丘陵的西側出海，張家鳳與孫鎮球（2005）則認為僅延伸至仁武附近，右邊圖例根據中油十萬分之一台南圖幅、嘉義圖幅，1989，1986。

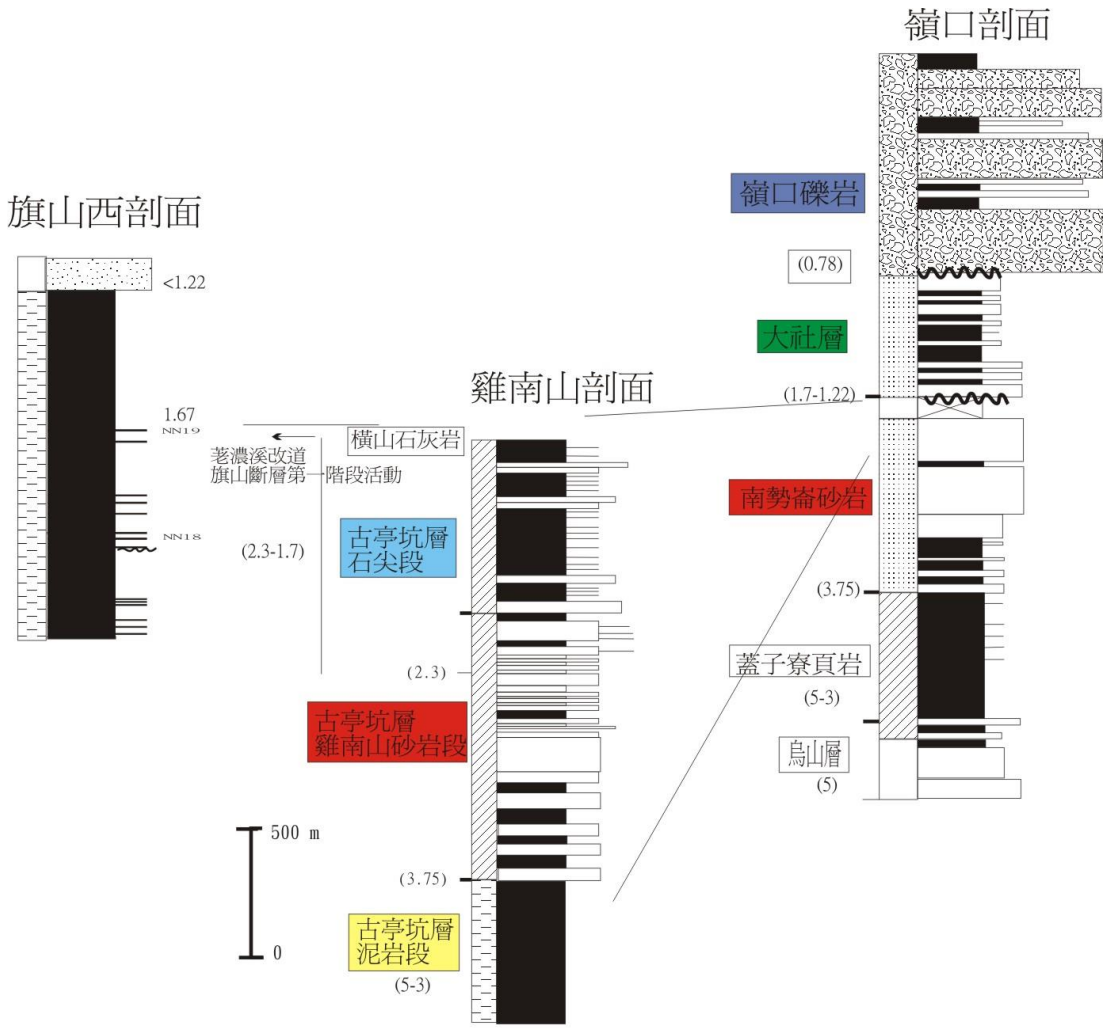
二、區域地質

1.地層

旗山斷層上盤的地層以中新世晚期的烏山層為主，斷層的下盤則為上新世至更新世的古亭坑層；根據調查結果及彙整前人之資料，概述各地層特性如下：烏山層：岩性以厚約15-50公分的砂岩與頁岩互層為主，上部有兩層厚約10-15公尺的砂岩（吳樂群，1993）。蓋子寮頁岩以淺至深灰色厚層頁岩為主，間夾有薄層的細粒砂岩。南勢崙砂岩的下段主要以厚層泥質砂岩為主；上段岩性則以厚層的碳質頁岩為主，局部有厚層砂岩。大社層以厚層泥岩為主，間夾有厚層細粒至粗粒砂岩薄至厚層礫岩與砂頁互層。砂岩岩性為富含變質岩屑之混濁砂岩，部份砂岩內可見化石碎屑。嶺口礫岩的下部是以厚3-15公尺的礫岩與泥岩互層為主，偶而亦有厚約1-10公尺的粗粒砂岩，呈透鏡狀夾於厚層礫岩層中。整體而言，嶺口礫岩下部的泥岩較多。旗山斷層下盤為古亭坑層，岩性主要為青灰色泥岩偶夾薄砂岩層，地形常呈現惡地地形。孫習之（Sun，1965）將南側的古亭坑層區分為三段：古亭坑層泥岩段、雞南山段及石尖段(圖3.2.1)。目前斷層下盤古亭坑層的年代僅在旗山斷層南段有較好的控制，其地層年代與對比如圖3.2.1所示。

2.區域構造模式

對於本區域構造模型，Lacombe et al. (2001) 根據GPS資料認為西南部為一逃逸構造，其中旗山斷層扮演右移的斷層。此外他也認為中洲斷層、高雄斷層、潮州斷層、及變形前緣斷層皆扮演類似角色（圖3.2.2）。Ching et al. (2007)利用更密集的GPS測站（圖3.2.3），提出類似於Lacombe等人的逃逸構造，但他們認為旗山斷層與鳳山斷層構成一共軛斷層系統（圖3.2.4）。



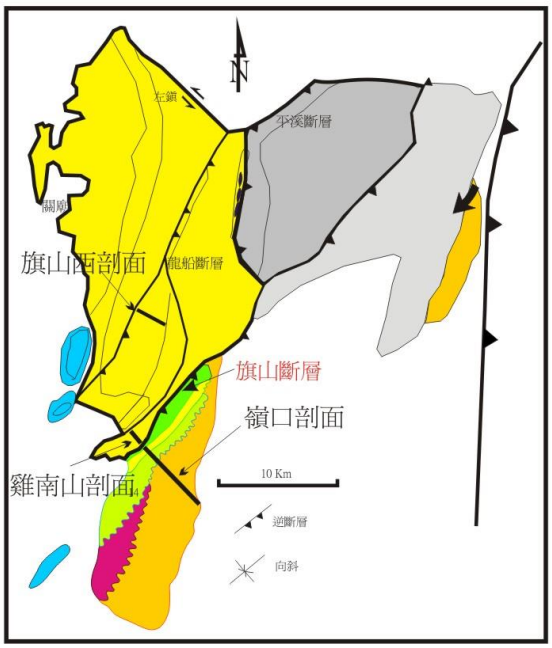


圖3.2.1、旗山斷層上下盤地層柱狀圖與地層對比關係。旗山西側剖面採用Chow (1980)；雞南山剖面與嶺口剖面柱狀圖採用吳樂群(1993)；古生物地層年代採用Chi (1978) 與Huang(1977)。

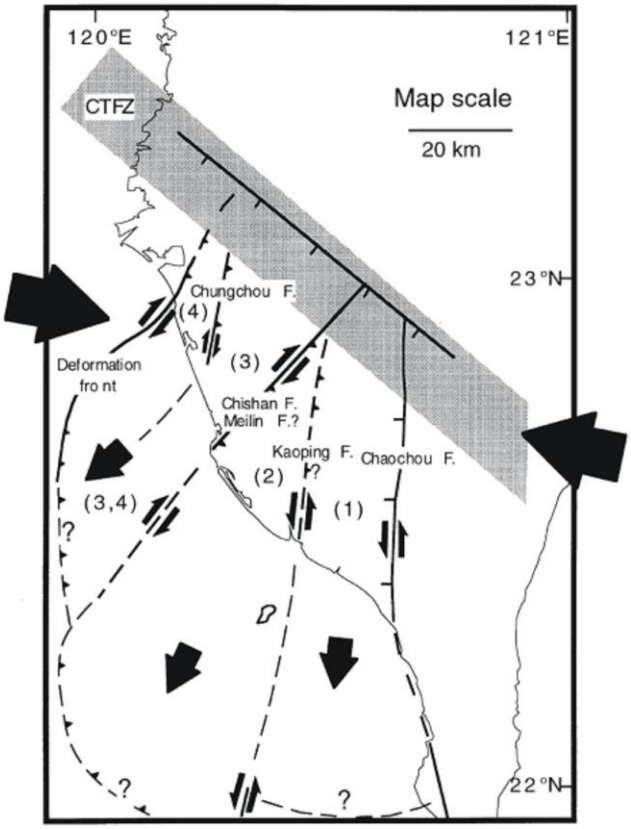


圖3.2.2、西南部之逃逸構造假說。Lacombe (2001)由GPS資料認為西南部為一逃逸構造，西南部構造主要沿幾條重要斷層如旗山斷層、潮州斷層等以左移或右移形態造成區域性逃逸構造。

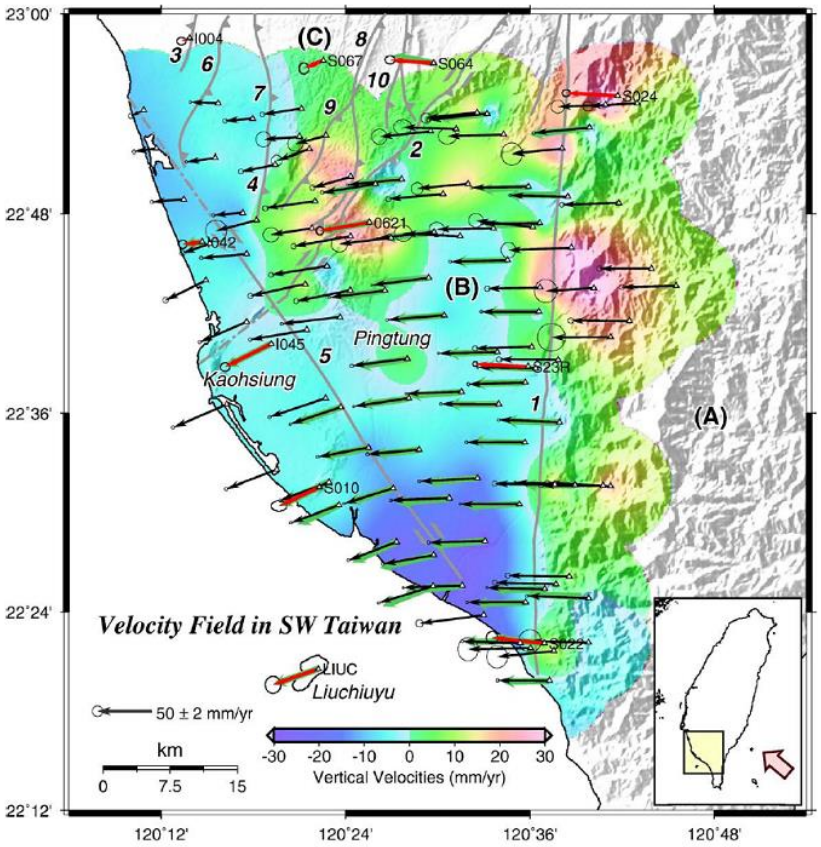


圖3.2.3、西南部GPS位移向量(Ching et al., 2007)。

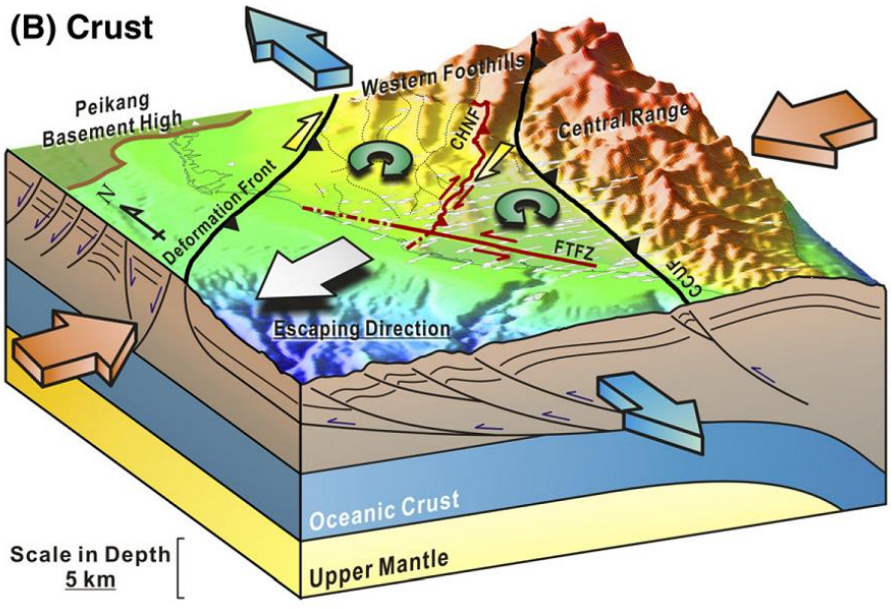


圖3.2.4、Ching et al. (2007) 解釋之台灣西南部構造。他們利用GPS位移向量場亦認為西南部構造為一逃逸構造，並發現通過旗山斷層與鳳山斷層處位移量有明顯改變，因此認為旗山斷層與鳳山斷層為共軛斷層。

三、地形特徵

西南部地區的地形特徵大多受岩性控制：突出的地形為砂岩及石灰岩，低窪地區為泥岩及頁岩區。以旗山斷層為例，旗山斷層上盤為以砂岩為主的烏山層，下盤為泥岩質的古亭坑層，因此在斷層線附近往往形成地形上的陡坡。斷層上盤的地形亦復如此；蓋子寮頁岩被侵蝕為低矮丘陵，而南勢崙砂岩出露處則為山丘。因此地形上可明顯反應地層走向，甚至不整合的交界（圖3.3.1）。由於石灰岩大多出現於褶皺軸部或近軸部處，地形特徵明顯，故在野外，旗山斷層位置極易追蹤（圖3.3.2）。

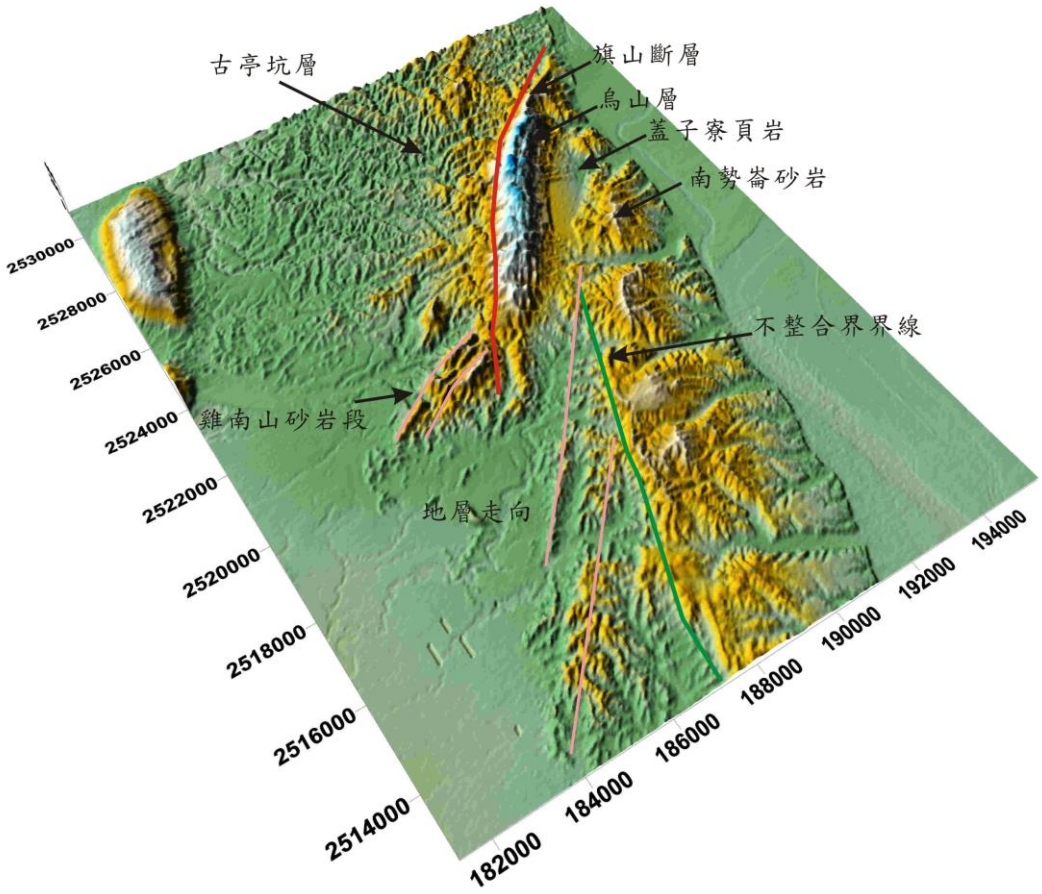


圖3.3.1、本研究區之數值地形圖。圖中地形線性大多反應砂岩層的走向。地形突起處多為砂岩或石灰岩。由地層走向可明顯觀察到旗山斷層上盤的不整合構造。

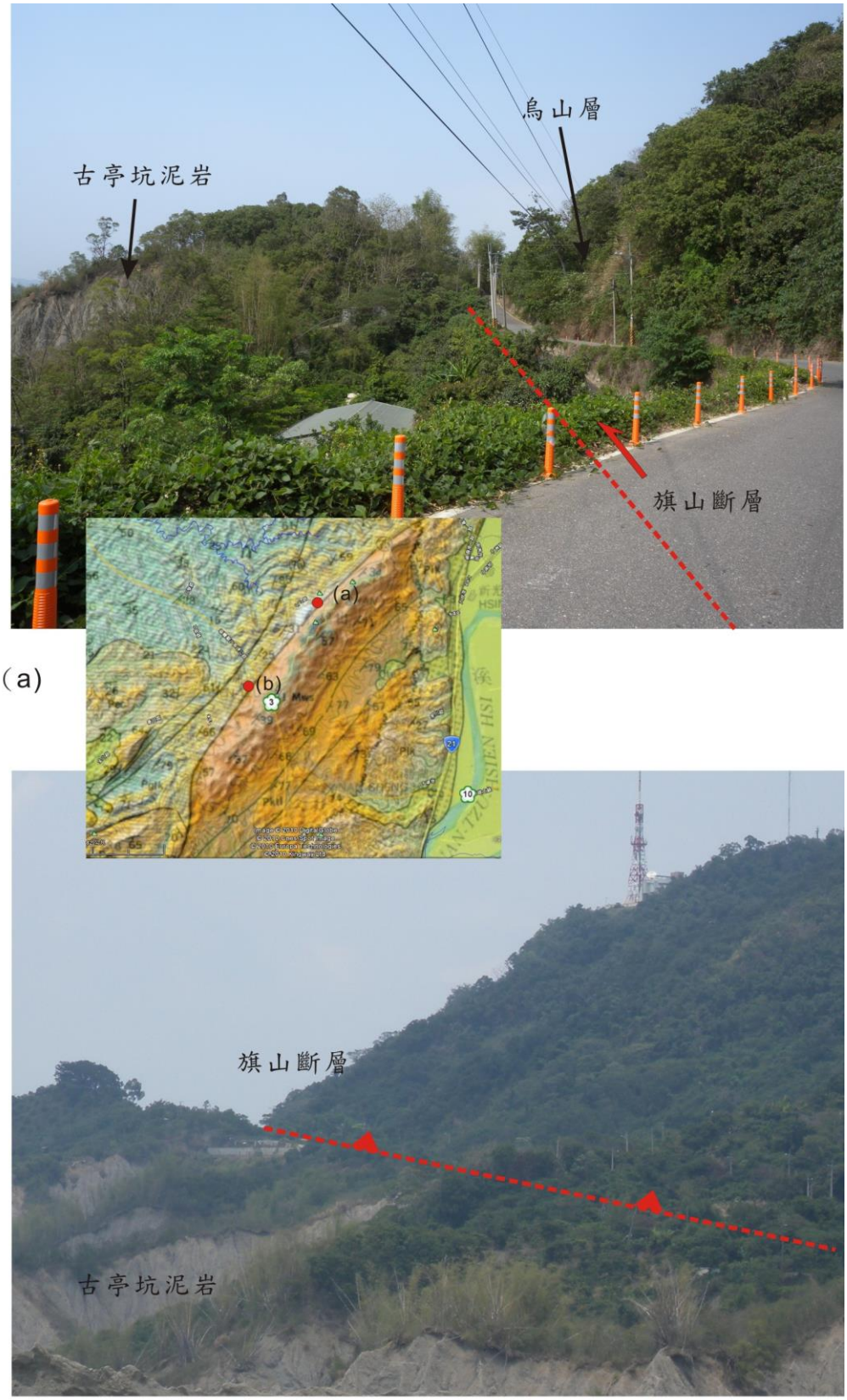


圖3.3.2、旗山斷層上盤為烏山層，下盤為古亭坑層，在地形上界線極為明顯。拍照地點見地形圖中的(a)與(b)。

四、地質鑽探

為分析斷層帶地下構造，本研究先選在近斷層上盤處進行鑽探，在旗山斷層上盤一共鑽了三口井，分別為旗山一號、二號井與三號井。鑽探位置與地表地質如圖3.4.1所示。茲分述如下：

1.旗山一號井

圖3.4.2(a)與(b)為旗山一號井鑽探岩心資料，目前已完成150公尺鑽探。全井由上至下遍佈剪切帶，許多剪切帶角度極高，並多處發現斷層角礫岩，代表已鑽遇旗山斷層帶（圖3.4.3）。從岩性研判本井鑽遇地層為烏山層，由於斷層下盤之古亭坑層在地表離鑽井位置僅約十餘公尺，依此判斷斷層傾角極高。

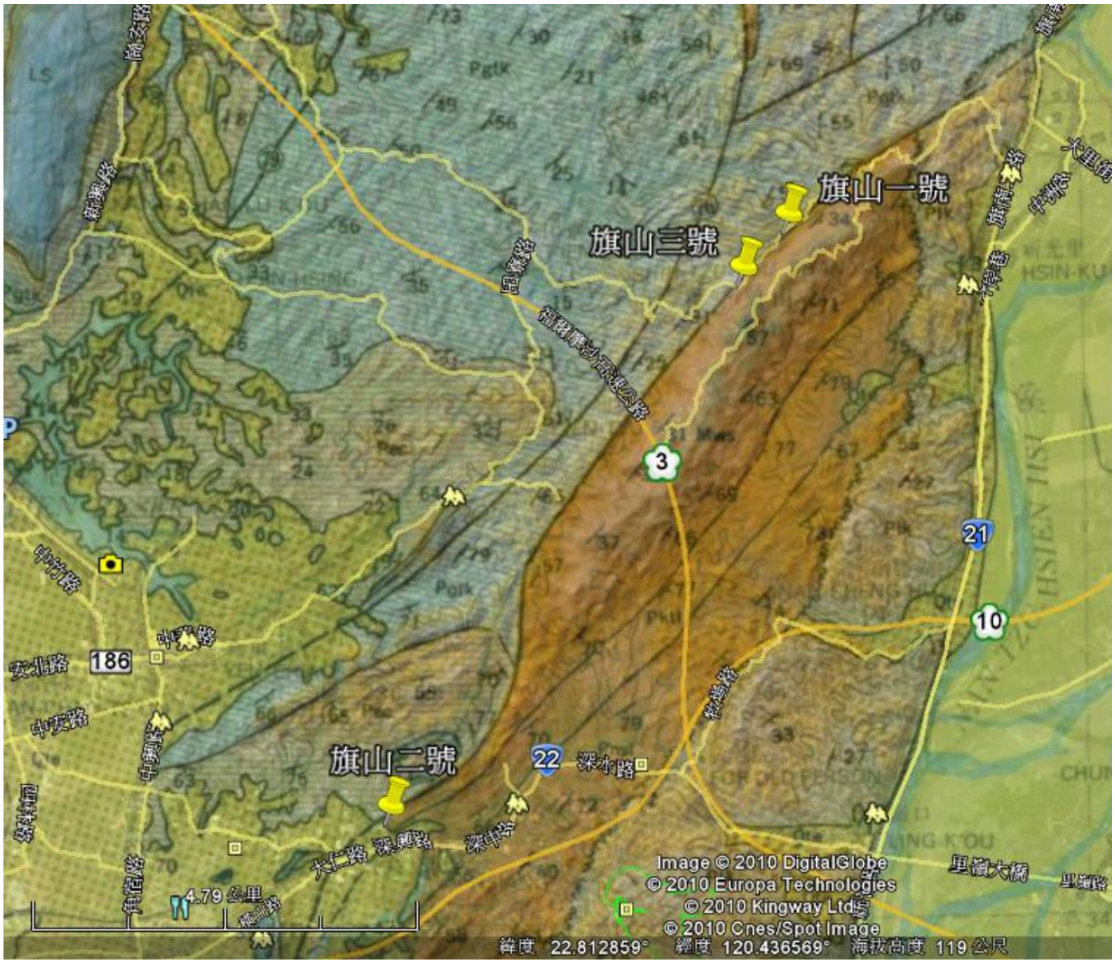
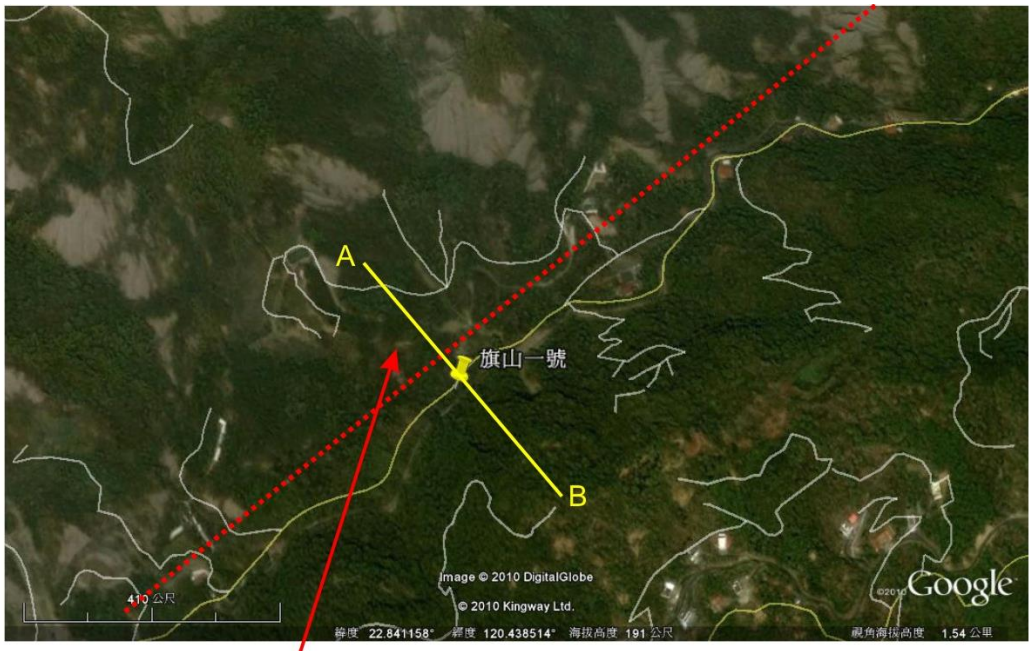


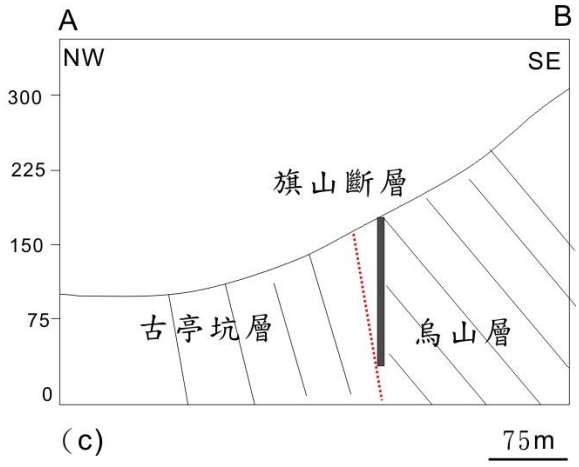
圖3.4.1、旗山斷層鑽探位置。（黃色記號為鑽探位置。底圖為中油十萬分之一台南圖幅與Google earth map）。



(a)



(b)



(c)

圖3.4.2、(a)旗山一號井位置。

(b)下盤為泥岩的古亭坑層。

(c)為淺層構造剖面。由斷層可能位置與岩芯判斷，旗山斷層為高傾角斷層。

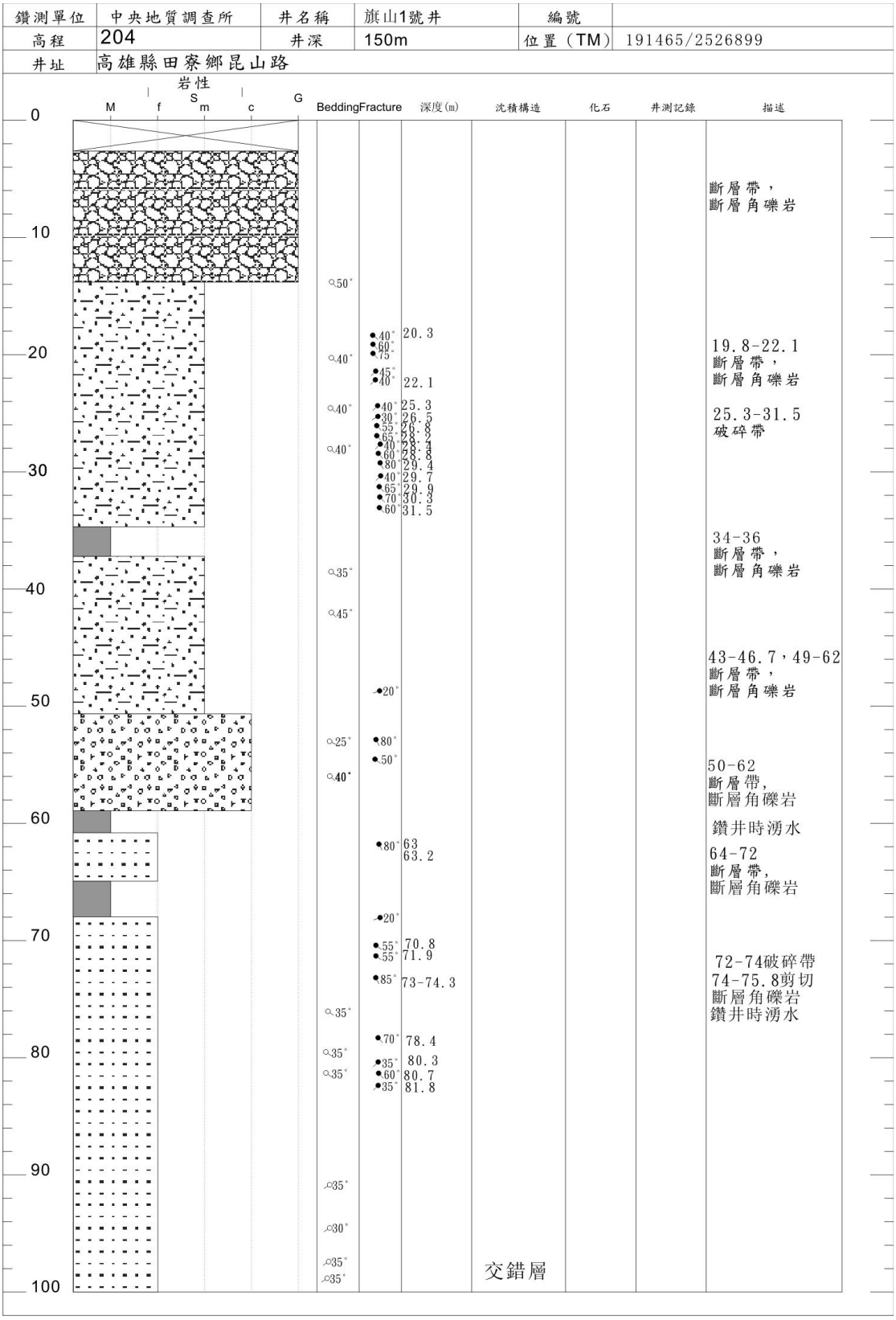


圖3.4.3、(a)旗山一號井0-100m井錄。

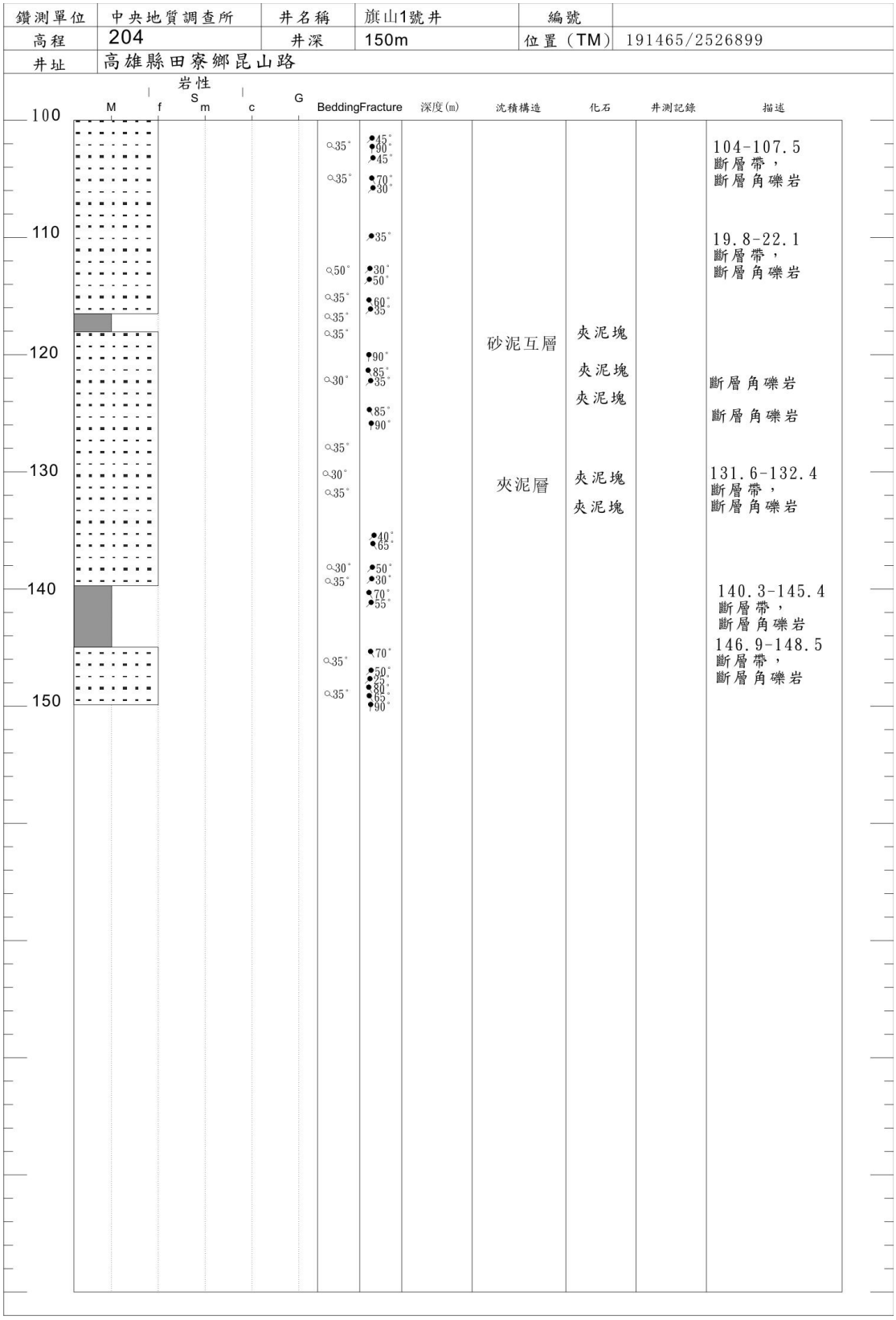
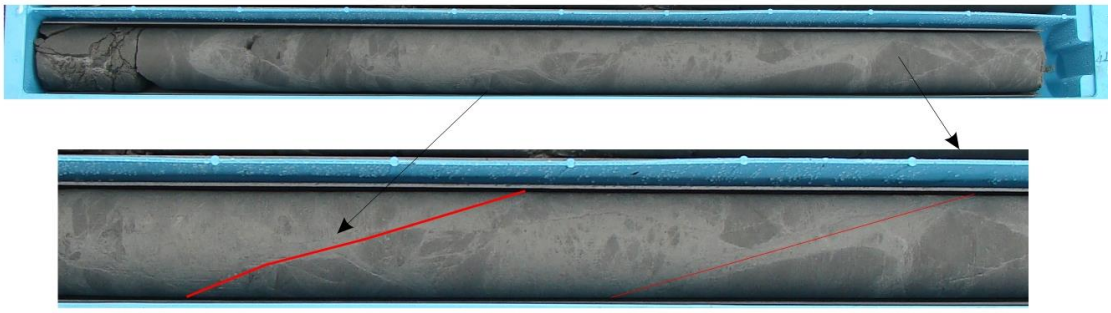


圖3.4.3、(b) 旗山一號井100-150m 井錄。



(a)32-34m 高角度剪切帶與斷層角礫岩



(b) 43-44m 附近的高角度剪切帶



(c)64-67m 附近斷層角礫岩

圖3.4.4、斷層帶細部構造，由淺到深可見斷層角礫岩與高角度斷層。

2.旗山二號井

此井位於旗山斷層南段，離斷層線約20-30公尺之間(圖3.4.5)，0至45公尺為以中粗顆粒的河流沈積，在22公尺到33公尺間有極粗粒砂沈積。淺處可見剪切帶，顯示近期有活動跡象。45公尺至52公尺間為細砂，52公尺至62公尺為泥岩，62公尺至112公尺間大致以砂至細砂為主的沈積，112公尺至120公尺間為泥岩，120公尺至139公尺間為粉砂岩，139公尺至150公尺間為泥岩層為主夾薄砂層。井中分布許多剪切面。包括層間滑動與高角度剪切帶。主要斷層帶以139公尺至150公尺間，有較密集的剪切帶發育(圖3.4.6)。在45至139公尺間以粉砂至細砂為主，研判可能為烏山層，然一般烏山層的砂岩常見中砂，此處則未見。主要斷層帶集中於139至150公尺處，此處可能進入二重溪層，不過仍須由生物地層確定其年代。此井位置極靠近斷層，由斷層位置與岩芯構造推測旗山斷層為高傾角斷層(圖3.4.7)。



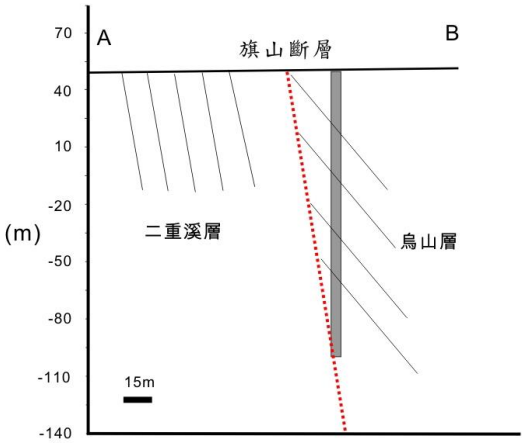
(a)



(b)



(c)



(d)

圖3.4.5、(a)旗山二號井位置。

(b)二重溪層以泥岩為主夾變質礫岩。

(c)為烏山層。

(d)為剖面構造。由斷層位置與岩心推測，旗山斷層為高傾角斷層。

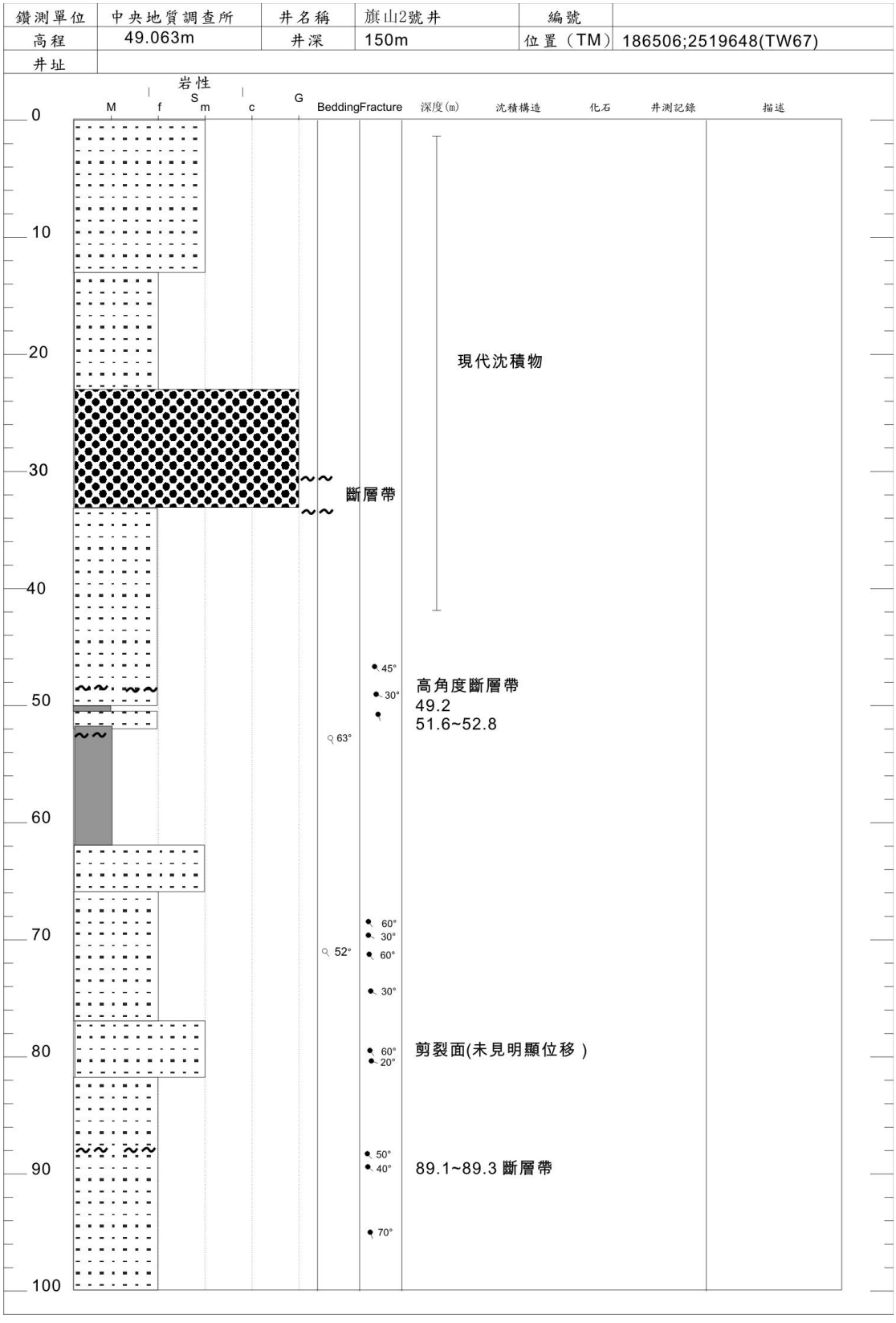


圖3.4.6、(a)旗山二號井0-100m井錄。

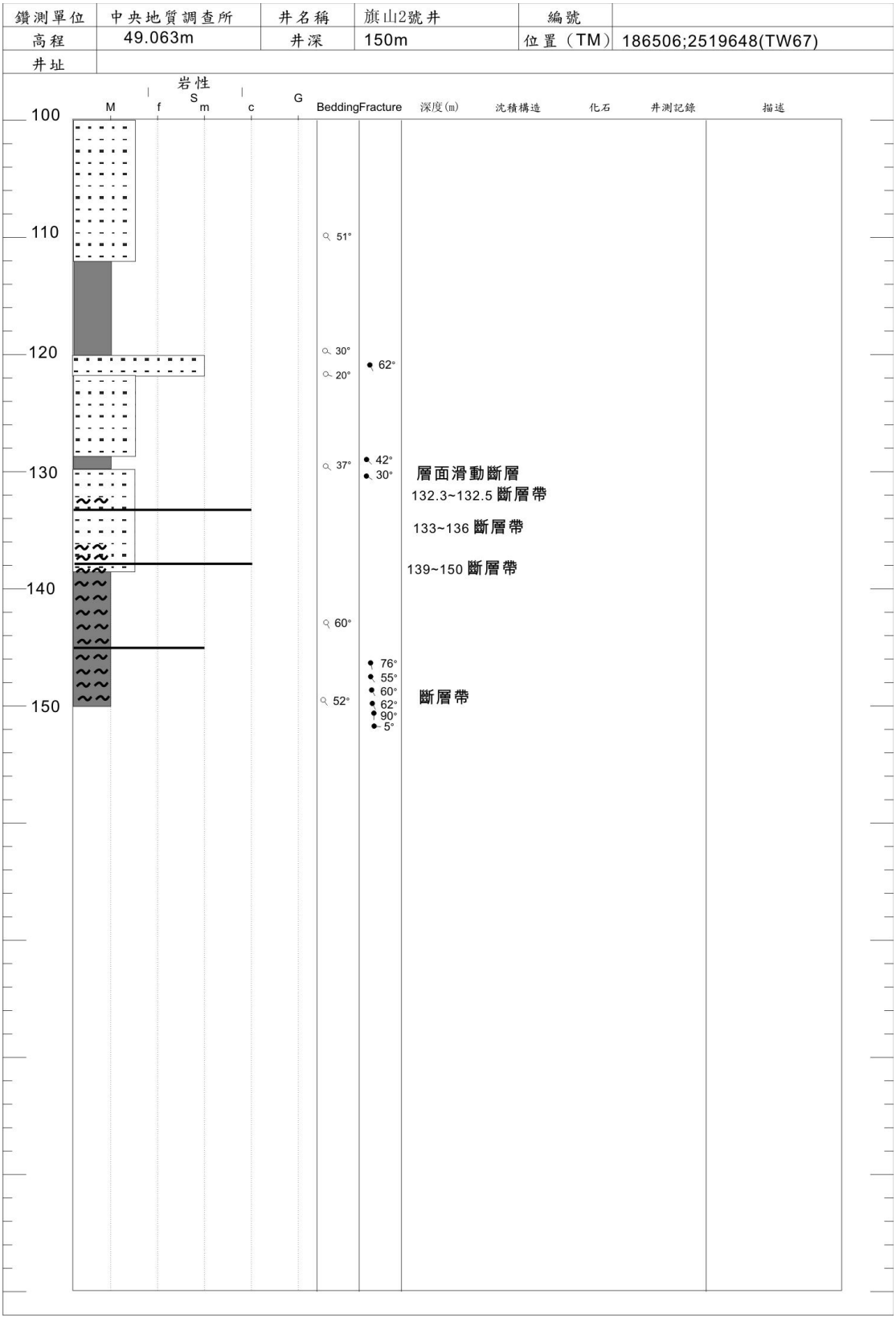
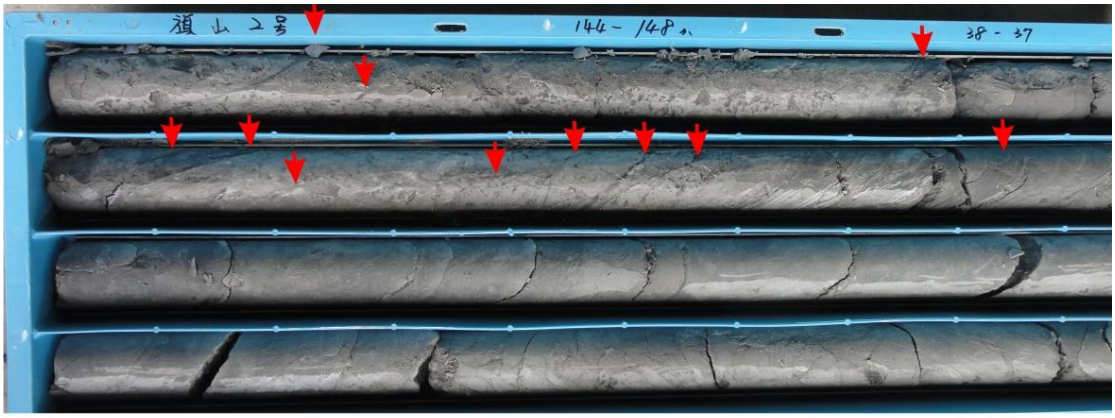
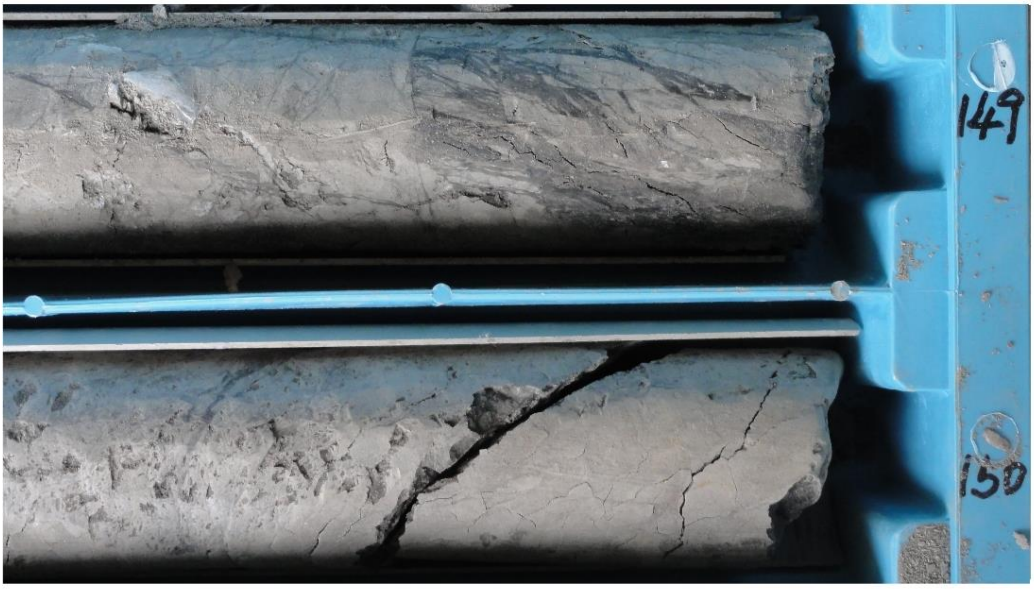


圖3.4.6、(b)旗山二號井100-150m井錄。



(a)



(b)

圖3.4.7、(a)旗山二號井在144公尺到146公尺間有密集斷層帶。

(b)在148.9公尺處的高角度斷層帶。

3.旗山三號井

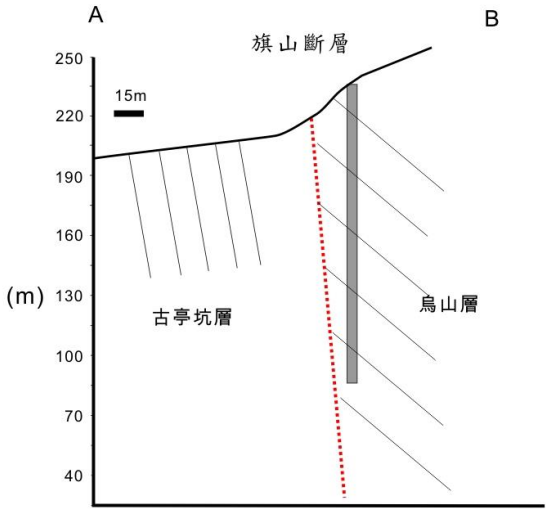
旗山三號井位於一號井南側(烏山剖面，圖3.4.8)，此處斷層下盤地層以砂頁岩互層為主，地層傾角60-90度間；斷層上盤的烏山層以砂岩為主，地層傾角約40度，在野外極易區分，因此希望藉由此井判斷斷層通過位置。在三號井中，0至18.2公尺為崩積層，18.2到66公尺間，以細砂到中砂為主，66公尺到102公尺間以砂頁岩互層為主，102公尺到150公尺間以細砂夾泥為主(圖3.4.9)。由於未鑽遇高角度傾斜地層，因此判斷此井岩芯仍為烏山層，並未鑽穿旗山斷層，至於確切的層位，仍有待未來生物地層的研究。在井中有許多處剪切帶如65.8~68.3公尺間為斷層帶（圖3.4.10）。由於此井距離斷層應僅有數公尺到十餘公尺間，但仍未鑽穿主要斷層，因此研判旗山斷層為約80~85度的高傾角斷層。



(a)



(b)



(c)

圖3.4.8、(a)旗山三號井位置。

(b)為二重溪層以泥岩為主夾變質礫岩。

(c)為剖面構造。由斷層位置與岩心推測，旗山斷層為高傾角斷層。

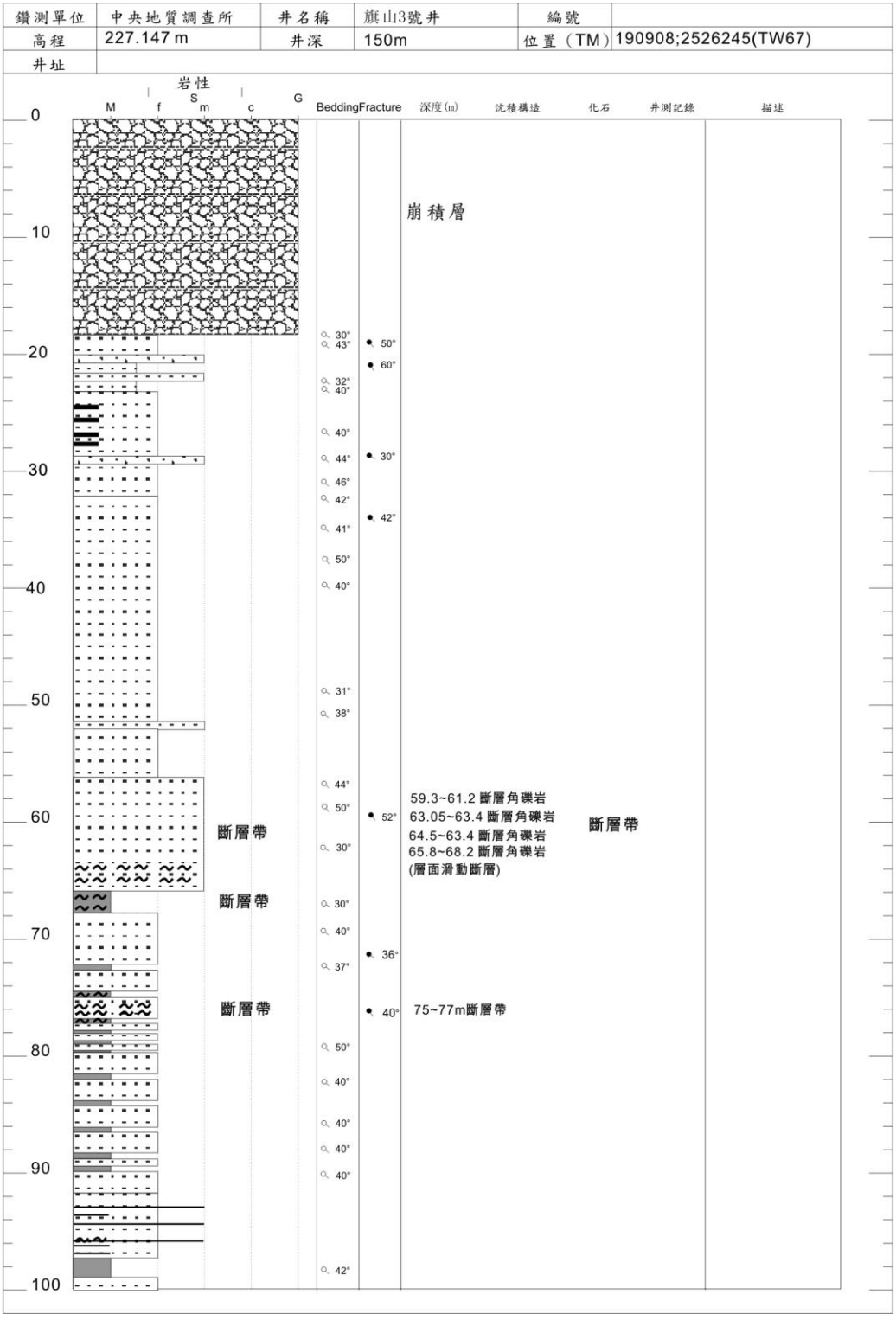


圖3.4.9、(a)旗山三號井0-100m井錄。

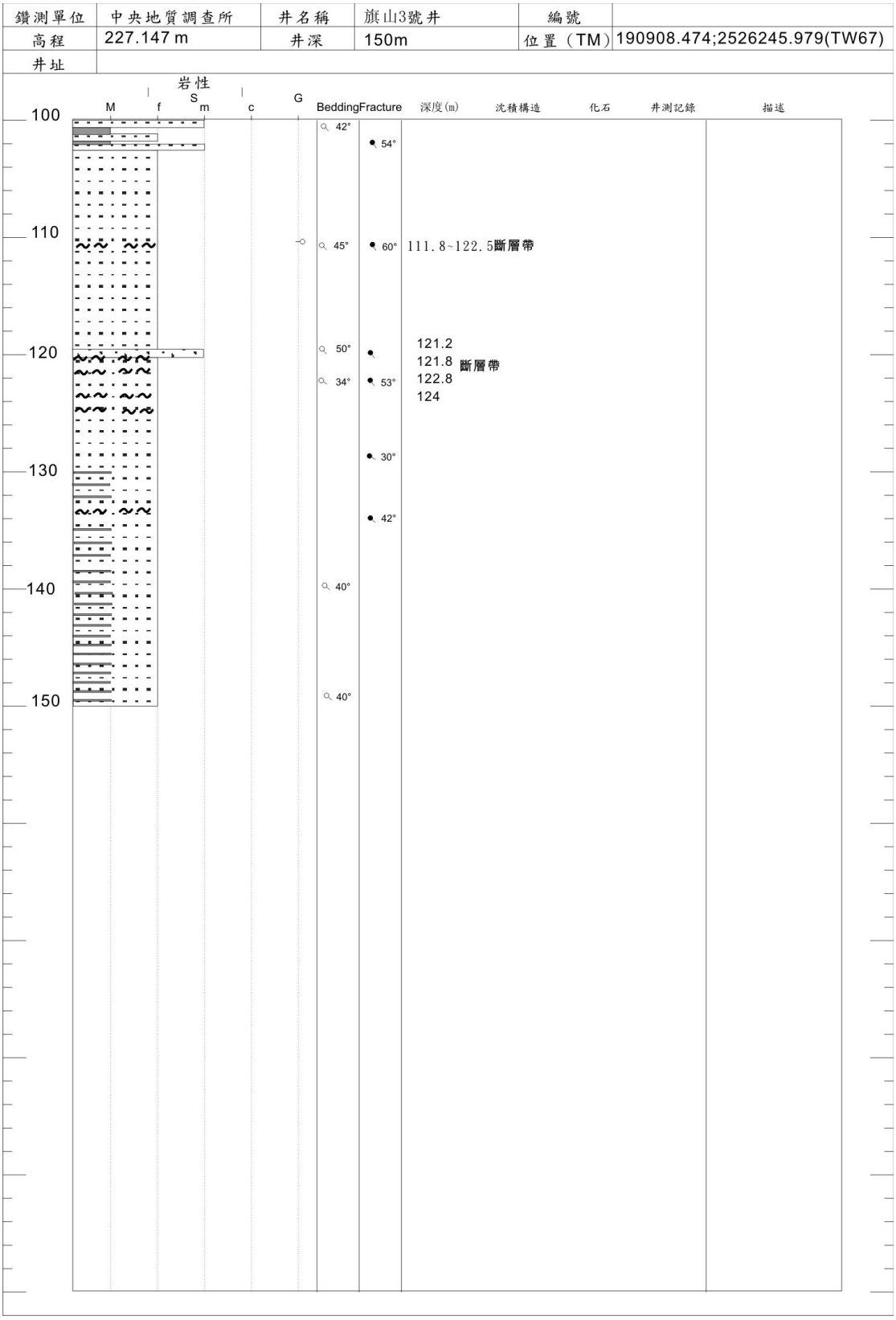


圖3.4.9、(b)旗山三號井100-150m井錄。



圖3.4.10、65.8公尺至68.3公尺間為斷層帶。

五、地表地質、岩芯與震測剖面關係

1.斷層帶的範圍、斷層帶內各分支斷層的位置與性質及解析精度

陳柏村等(2005)針對旗山斷層由北而南的幾個剖面進行詳細地質觀察，其中南二高中寮隧道北口(南勢湖剖面)直接見到斷層出露，斷層傾角向東約50度（圖3.5.1）。其餘如烏山剖面、千秋寮剖面及燕巢鄉深水溪剖面剖面大多觀察到下盤但鄰近斷層帶構造。旗山斷層之斷層帶以斷層泥為主要組成，寬度約10公尺，上盤破裂帶寬約50公尺，下盤的破裂帶則由旗山斷層與其支斷層共組一寬廣的斷層帶，影響的範圍近400公尺，斷層帶內包含烏山層與古亭坑層地層。由斷層擦痕以及斷層剪動的跡象顯示，旗山斷層為一具左移分量的逆斷層；在深水溪剖面，可觀察到全新世砂礫石層被旗山斷層錯移的情形。

旗山斷層下盤的地層大多呈高角度向東傾斜。許多地層傾角近於50至90度間（圖3.5.2與圖3.5.3），此可能與龍船斷層的活動或泥貫入體有關，詳細的說明請參照本章第七節運動學的分析。

2. 跨旗山斷層含主斷層兩側2公里以內的構造剖面

對於旗山斷層地下構造模型，亦有許多不同的解釋，相關位置請見圖3.5.4。圖3.5.5(a)與(b)為鄭宏祺(2000)所繪製剖面，他認為滑脫面深度約在10-12公里，其上的旗山斷層、龍船斷層與古亭坑斷層為疊瓦狀構造；Chiang et al.(2004，圖3.5.5(d))認為旗山斷層原為一正斷層，而後轉為逆斷層；圖3.5.5(c)為黃旭燦等(2004)所繪製的地質剖面，位於旗山斷層北段，圖中顯示旗山斷層北段（內英斷層）傾角約50度，與龍船斷層位於一斷坡構造之上，並發育雙坪構造(duplex)，具三角構造帶構造特徵；洪日豪(2006，圖3.5.5(e))則亦認為是疊瓦狀構造，但解釋與鄭宏祺(2000)解釋不同。由於本區域古亭坑層的反射信號欠佳，因此深部震測結果不易辨識，造成學者對本區域的深部地下構造解釋不同。此外我們也發現這些構造解釋大多尺度較大，對於細部構造皆未描述，因此本研究先繪製淺部地下構造型態。圖3.5.6為由北向南的四個剖面，剖面中顯示旗山斷層上盤有不整合構造，且不整合型態在北側可見不整合面上下地層傾角相差較大，向南不整合面上下的傾角差距逐漸變小，旗山斷層下盤則為龍船斷層(背斜)。

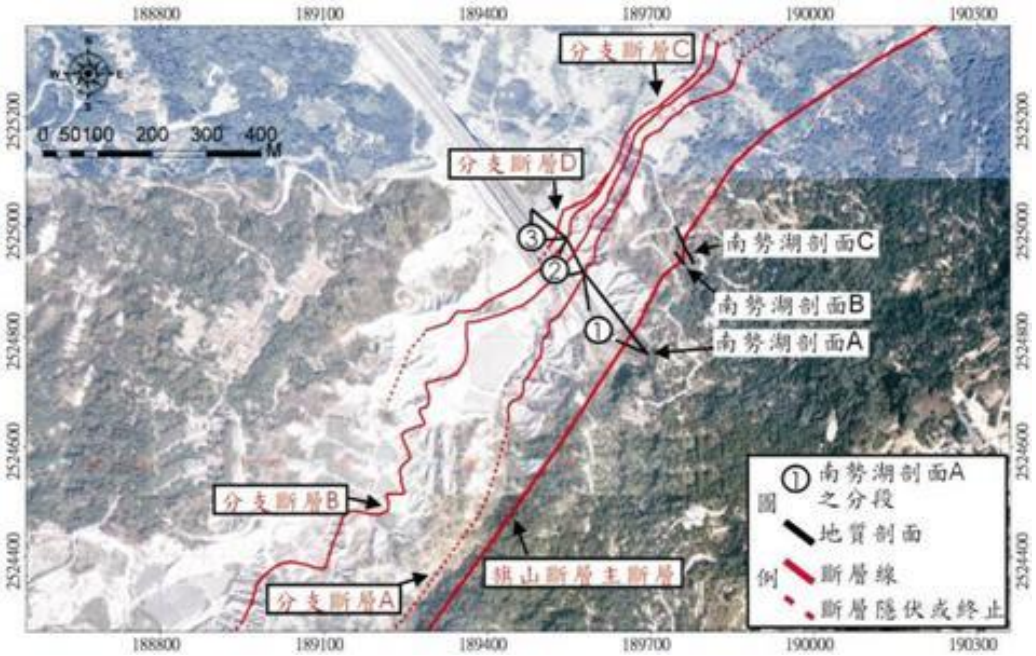


圖3.5.1、旗山與其分支斷層的分布位置(陳柏村，2005)。在南勢湖剖面，旗山斷層的傾角約50度，並發現有3條分支斷層，分支斷層傾角約為50-70度之間。

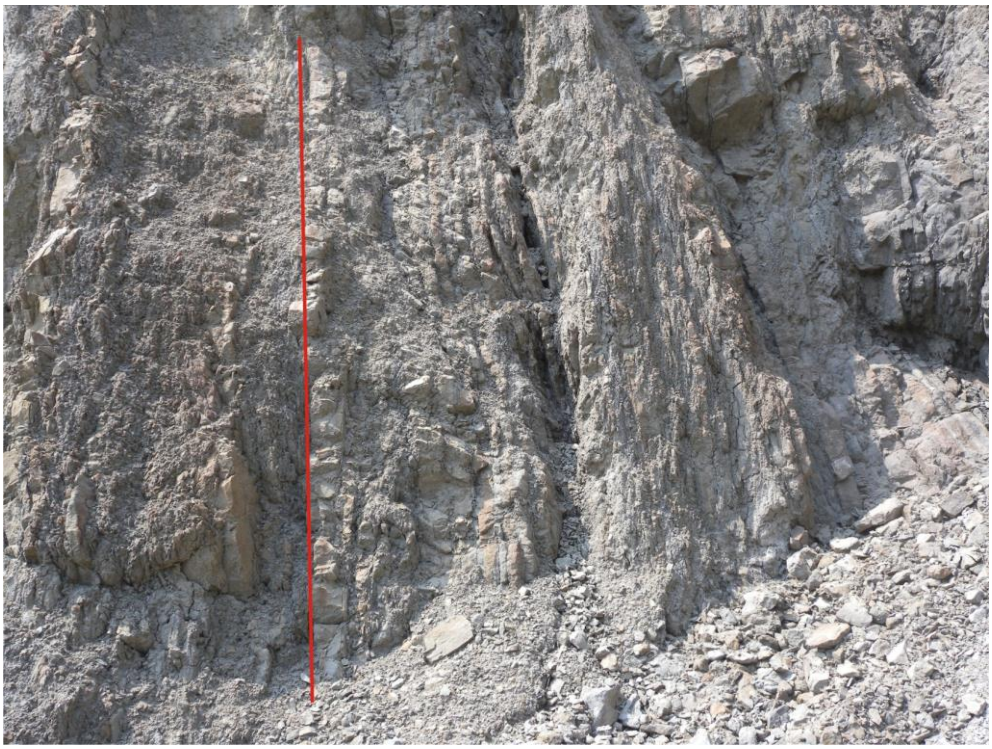


圖3.5.2、近旗山斷層的下盤，地層傾角極高。照片位置位於烏山地區。



(a) 高傾角剪切帶



(b) 高傾角剪切帶

圖 3.5.3、旗山斷層下盤發育的高傾角剪切帶，照片位置位於烏山地區。

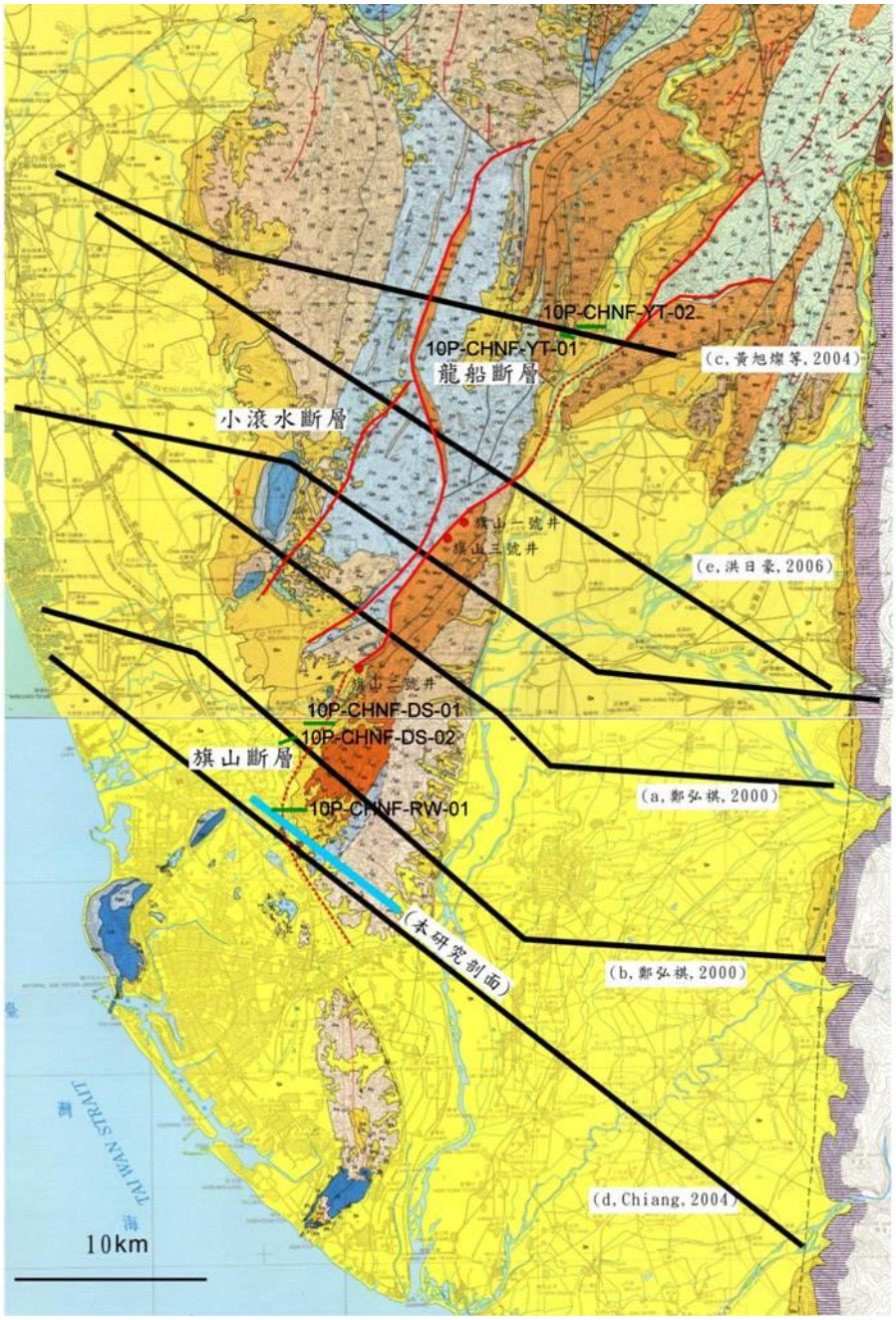
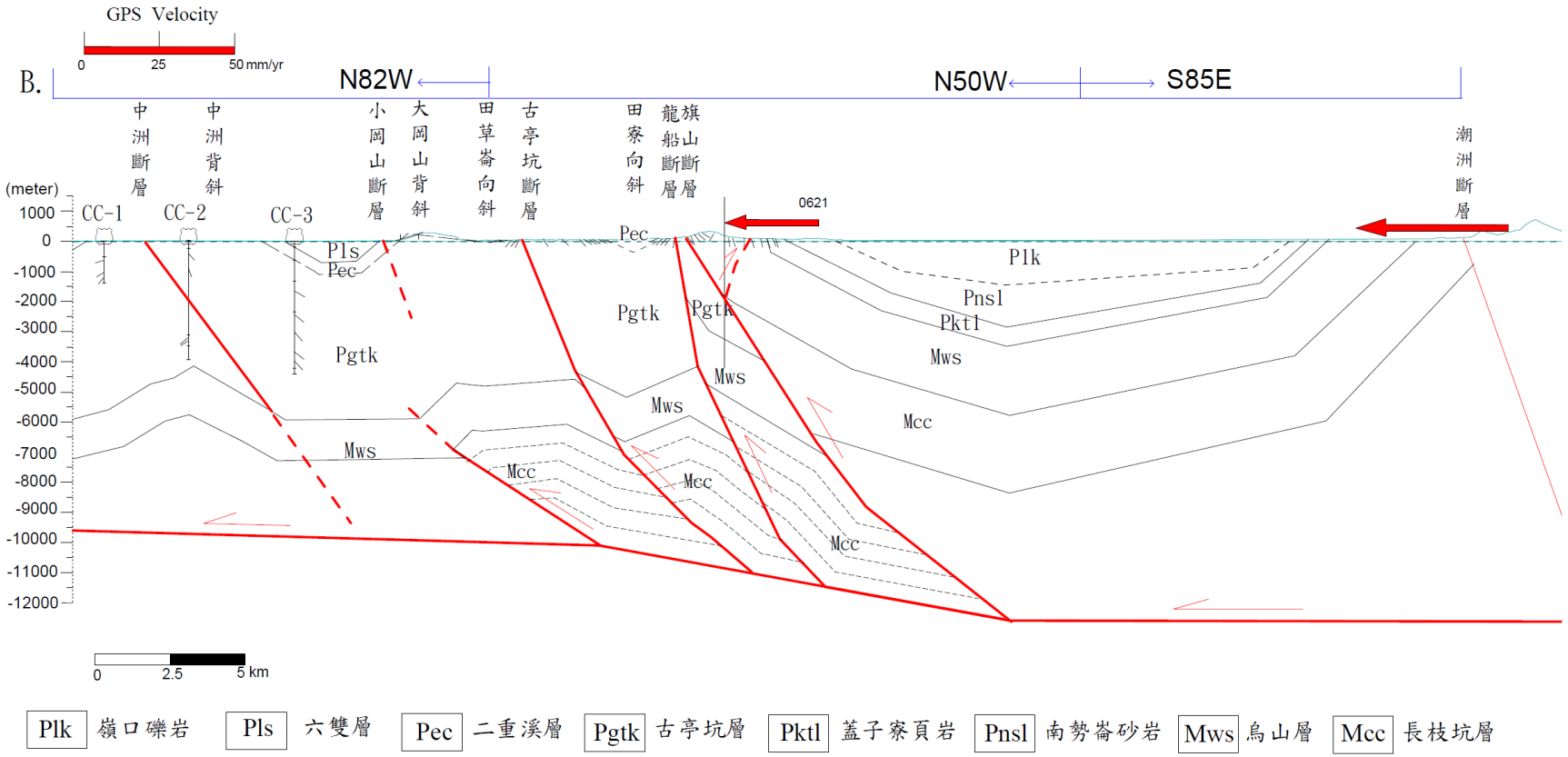
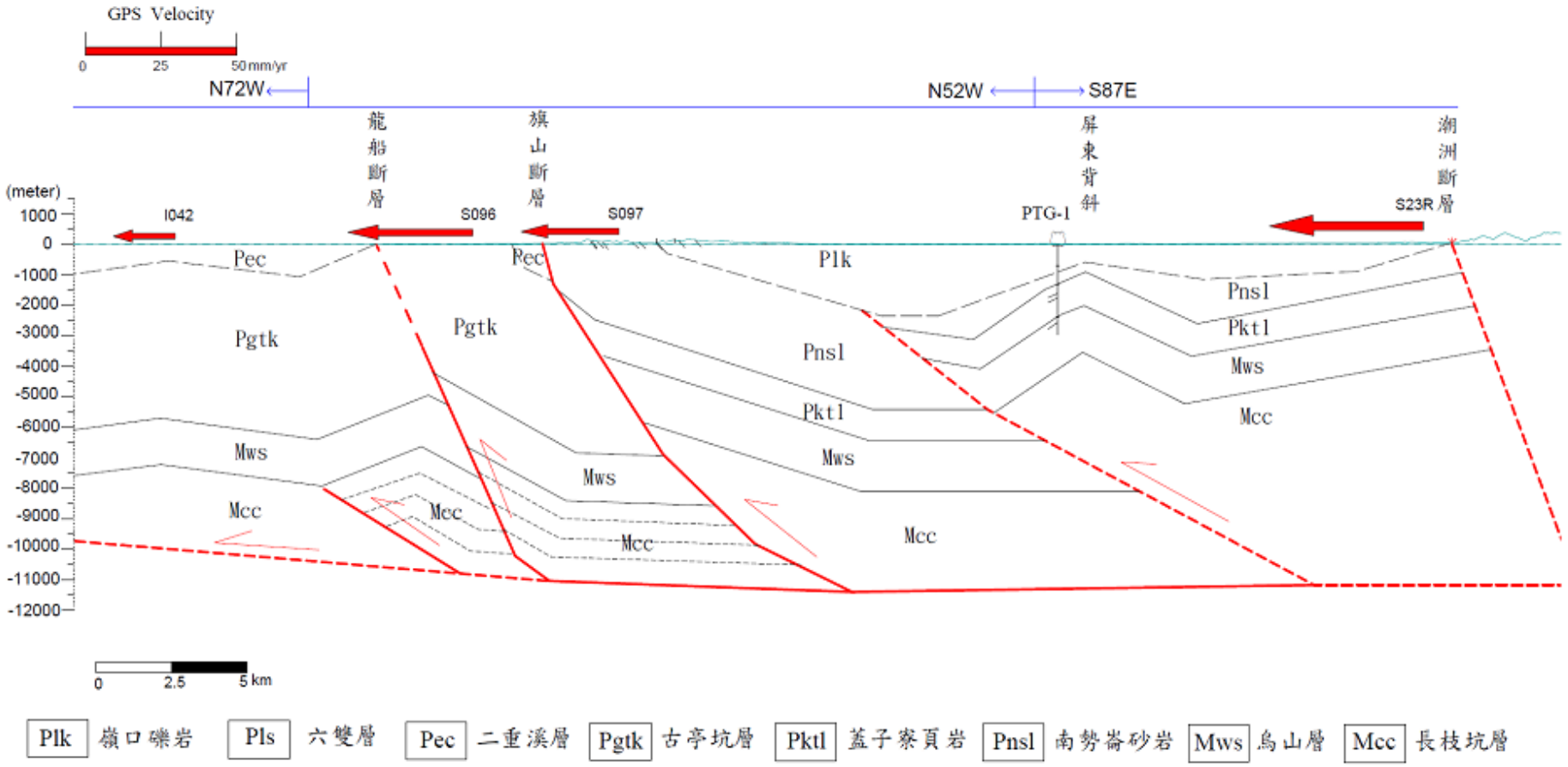


圖3.5.4、旗山斷層地下構造模型剖面位置，黑色實線為前人研究之地質剖面位置，藍色實線為本研究運動學分析剖面位置。



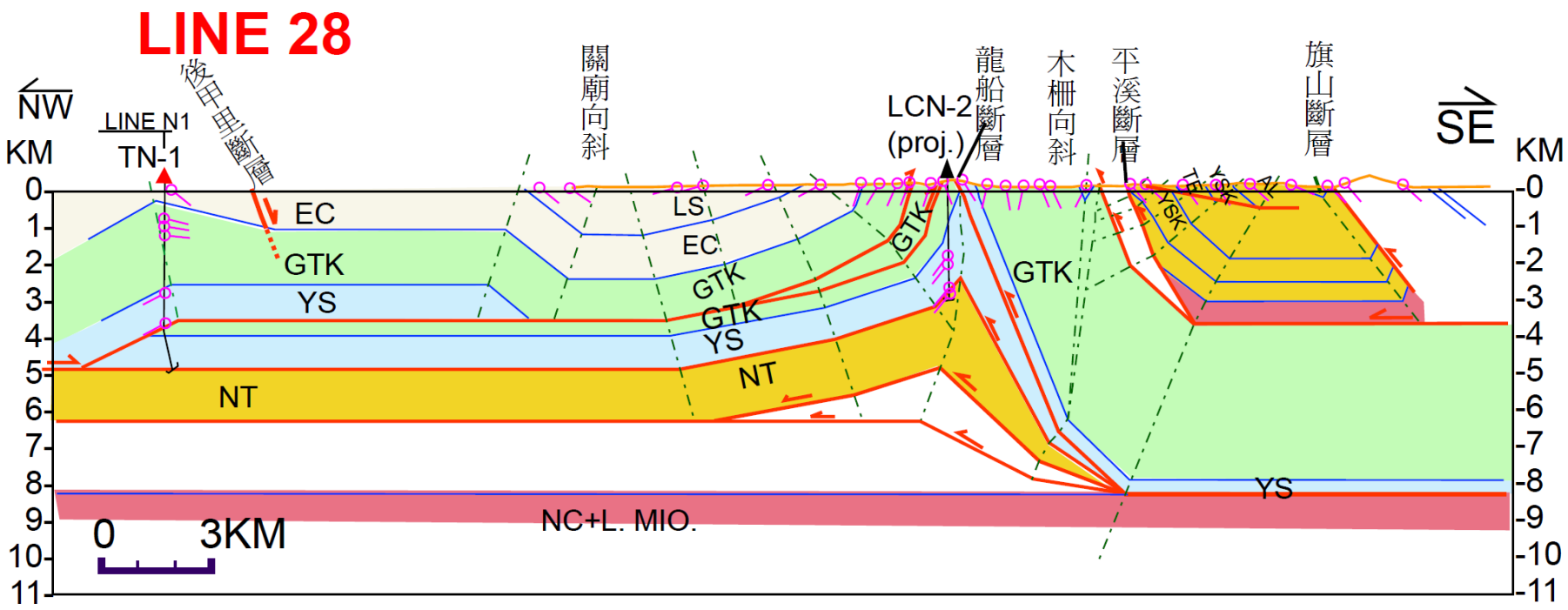
(a)

圖3.5.5、旗山斷層附近的地下構造模型。(a)為鄭宏祺(2000)所繪製之震測剖面，剖面位置詳圖3.5.4a。



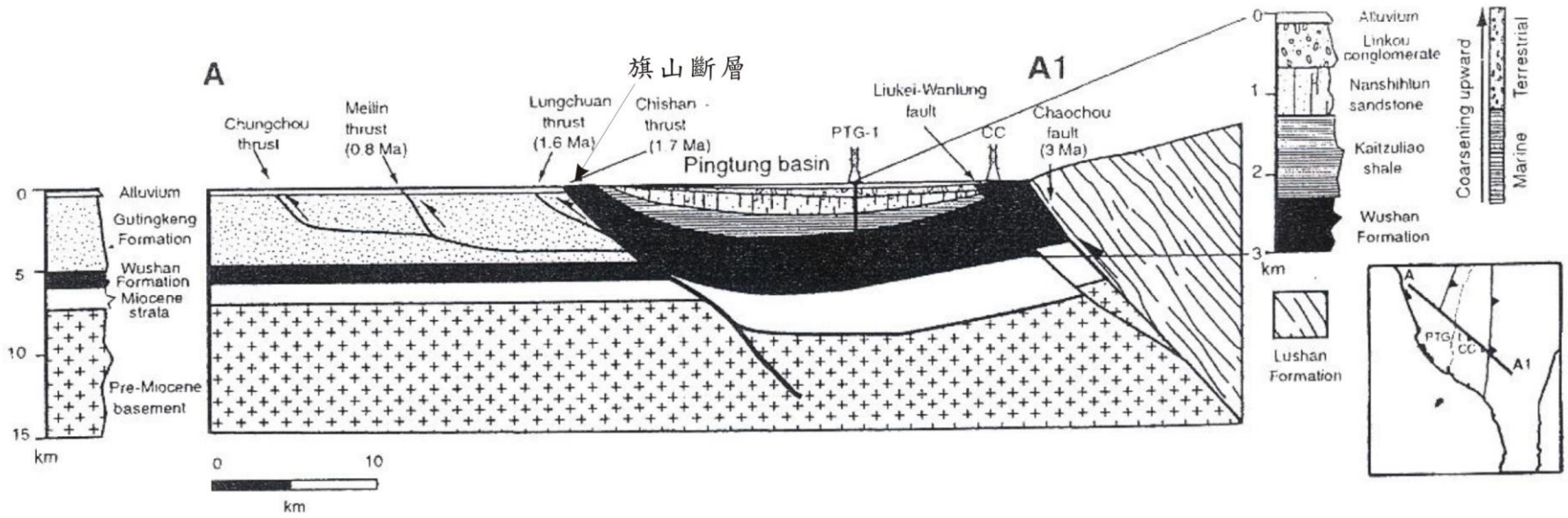
(b)

圖3.5.5、旗山斷層附近的地下構造模型。(b)為鄭宏祺(2000)所繪製之震測剖面，剖面位置詳圖3.5.4b。



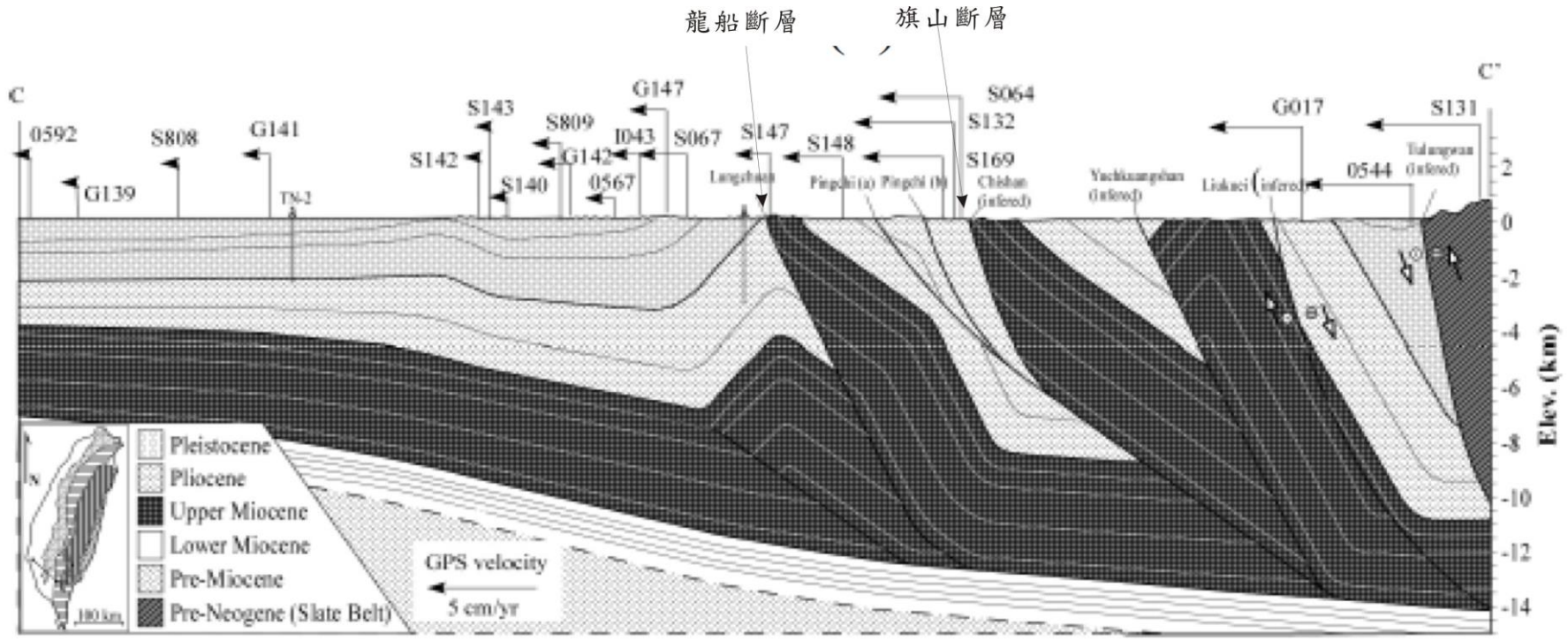
(c)

圖3.5.5、旗山斷層附近的地下構造模型。(c)為黃旭燦等(2004)所繪製之剖面，剖面位置詳圖3.5.4c。



(d)

圖3.5.5、旗山斷層附近的地下構造模型。(d)Chiang et al.，(2004)所繪製之剖面，剖面位置詳圖3.5.4d。



(e)

圖3.5.5、旗山斷層附近的地下構造模型。(e)為洪日豪(2006)所繪製之剖面，剖面位置詳圖3.5.4e。

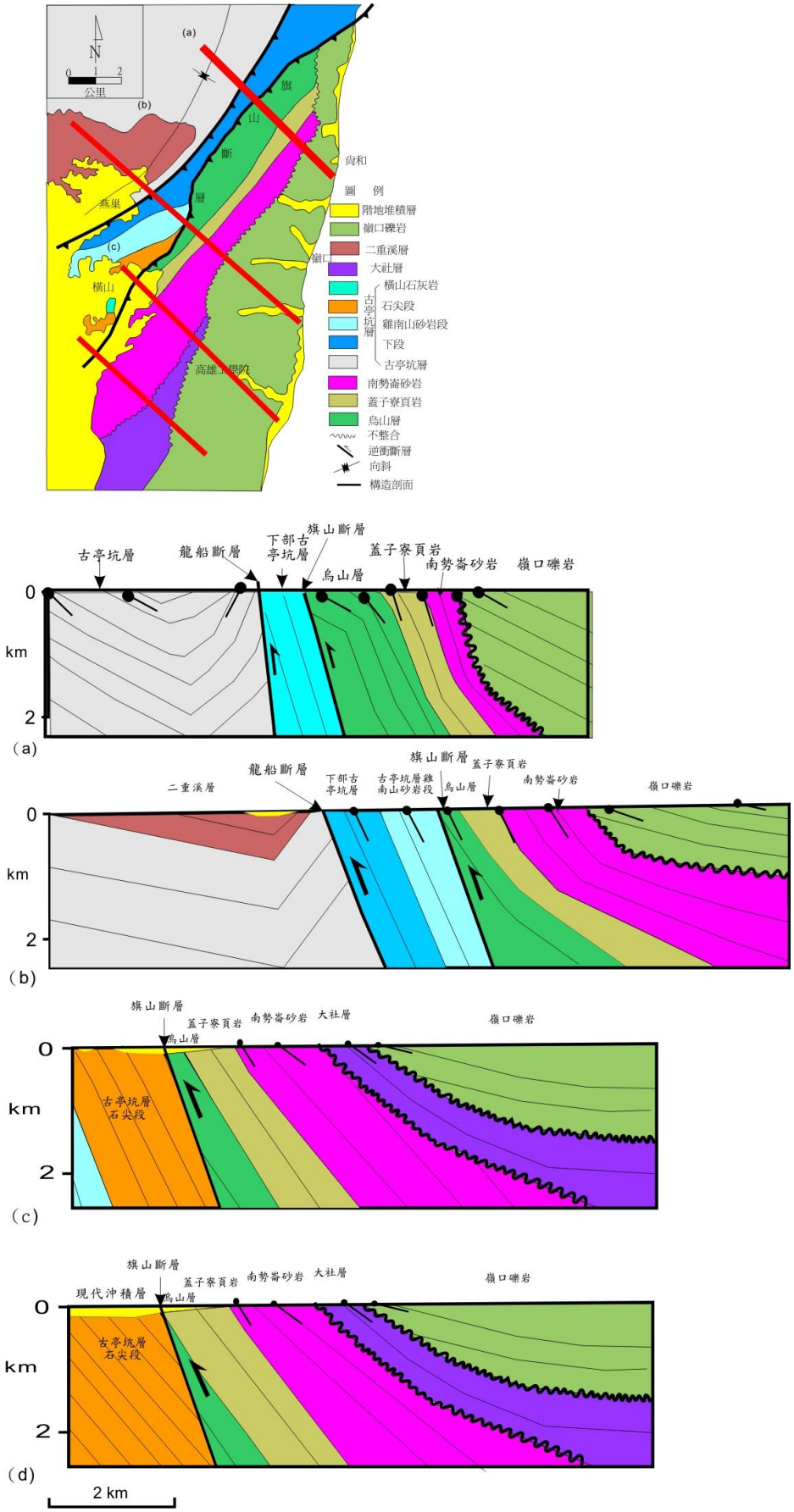


圖3.5.6、本研究所推測旗山斷層由北向南的四條構造剖面。

六、淺層震測

圖 3.6.1 為旗山斷層南段於 1/25,000 地形圖中之位置（紅色線條）。如前所述，旗山斷層於南北兩端如何延伸仍有待進一步的調查與研究，本計畫今年的淺層震測計畫於旗山斷層南端的研究，以由北往南的方式進行，先確定大社一帶之斷層位置與走向，再繼續往南追蹤旗山斷層的延伸。旗山斷層於旗山鎮北邊與其它斷層的關係延伸則另配置剖面進行。

本計畫原規劃之淺層震測測線長度共有 3,600 公尺，實際實施之淺層震測測線計 5 條共長 5,080 公尺，其中 3 條位於旗山斷層南側，2 條位於旗山斷層北側。旗山斷層南側的剖面，由北往南分別位於高雄縣大社東北邊以及仁武北邊。大社東北邊的測線分別為，以東西走向沿嘉誠路以及大社路跨越旗山斷層施測，震測測線長度分別為 1,320 公尺及 525 公尺。仁武北邊的測線則位於水管路上，全長 1,565 公尺。該測線以國道 10 號分隔，東西側測線長度分別為 965 公尺及 600 公尺，中間存在間距 110 公尺。這 3 條測線之編號分別為 10P-CHNF-DS-01（嘉誠路）、10P-CHNF-DS-02（大社路），以及 10P-CHNF-RW-01（水管路），震測測線之配置位置分別見於圖 3.6.1 中之藍色線段，以及圖 3.5.4 之綠色線段。旗山斷層北段的測線則分別位於旗山北邊之圓潭及富興路上，測線長度分別為 1,120 公尺以及 550 公尺。這 2 條測線之編號分別為 10P-CHNF-FS-01（富興路）、10P-CHNF-YT-02（圓潭路），震測測線之配置位置分別見於圖 3.6.8 中之藍色線段，以及圖 3.5.4 之綠色線段。

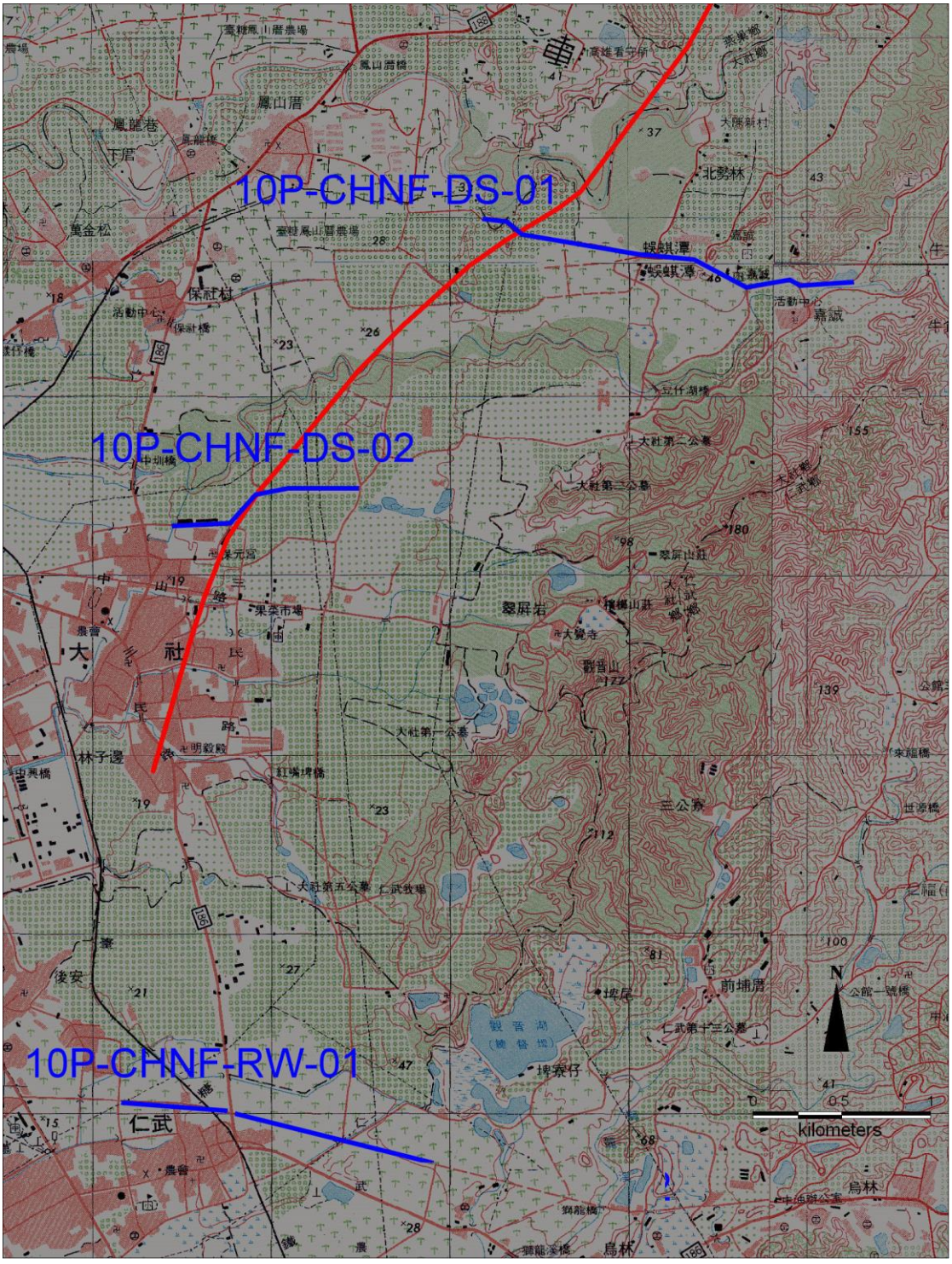


圖 3.6.1、旗山斷層南段之震測測線於 1/25,000 地形圖中配置位置（圖中藍色實線），而紅色實線為現認為旗山斷層通過位置。

1.旗山斷層大社測線一（測線編號：10P-CHNF-DS-01）

測線10P-CHNF-DS-01位於高雄縣大社鄉大社東北側，沿馬禮遜學校前面道路（嘉誠路）施測。本測線以東西走向擺設，測線全長1,320公尺，測線西端位在馬禮遜學校西側，往東經過嘉誠國小，止於嘉誠村東北側。圖3.6.1為測線10P-CHNF-DS-01於1/25,000地形圖中的配置位置。本測線西半段大致呈直線狀，地形往東微幅上升，高差約2公尺；東半段測線於經過嘉誠國小後道路開始蜿蜒並往東降低高度，高差約5公尺。從圖3.1.1中油地質圖研判，本測線基本上布置於台地堆積層上，測線的東方為往東傾斜的高傾角南勢崙砂岩，北邊則有較為平坦的二重溪層。圖3.6.2(a)及(b)分別為測線10P-CHNF-DS-01往西及往東向望之地表現況，該測線沿線地勢平緩，由東往西上升再降低，測線兩端高差僅5公尺，施測時車輛進出頻繁，施測進度時常會受到干擾。測線10P-CHNF-DS-01於施測時採用撞擊式震源（JMS-MINI65），嘉誠國小以西部分由東往西以推進的方式進行，國小以東部分則由西往東以拉牽的方式進行。沿測線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。本測線施測時之最小近支距為5公尺，最大遠支距為480公尺，而炸點間距最大為10公尺，最小為5公尺，施測時震源亦以陣列方式進行，於各測點分別以1公尺為間距分為3點，每點撞擊13次以上，各炸點之撞擊總數平均達40次以上，以得到最佳的能量並削減地滾波。本測線之重合剖面平均重合數為24重合。表3.6.1所列為測線10P-CHNF-DS-01施測時所使用之詳細震測參數。

圖3.6.3(a)為測線10P-CHNF-DS-01沿線之3個代表性測點紀錄，測點101、150、以及190分別位於測線之西邊、中間以及東側。測線西側的紀錄可能是受到古亭坑泥岩的影響，紀錄的波列頻率較低，雖然震測施測時記錄了1.0秒紀錄，但在0.2秒以下便很難分辨出信號，而且在支距200公尺以外的波線都很難看出信號，測線往東應會進入南勢崙砂岩，紀錄的波列頻率較高，但可能是受到測線蜿蜒以及高角度地層的影響，信號品質也不甚佳。由圖3.6.3(a)中的記錄圖可以看出，在遠支距的波線均無可分辨之信號，而在近支距之波線，反射信號僅出現在0.2秒以上。震幅大並且波速慢的地滾波雜訊也可以在記錄中看見，這些地滾波在經過80-150Hz的帶通濾波後大部分可以被濾除。圖3.6.3(b)即為經過濾波後的測點紀錄，其中測點101的記錄圖中，反射信號則僅在很淺的地方出現，但是在

測點150以及190的記錄中，均可以看見深達0.3秒的反射信號。

由於測線10P-CHNF-DS-01受到地形與地質等多方面的影響，資料品質不甚理想，資料處理的難度也較高。圖3.6.4(a)為測線10P-CHNF-DS-01經過資料處理後之24重合同中點重合剖面。剖面中僅在測線中間以西的部分有極淺部（0.1秒以內）的反射信號出現，信號的連續性尚佳，然而在測線中間以東的部分，該反射信號便逐漸消失，而出現往東傾斜的較高角度反射信號，且這些傾斜反射在0.3秒以下便不復見。

圖3.6.4(b)為測線10P-CHNF-DS-01之重合剖面解釋，該剖面中西半部在約30公尺深處有一大致平整的地層界面（以綠色線段表示），該層面下方另有一深約60公尺的反射面出現(藍色線段)，而更往下則無層狀構造出現。由本測線所在的位置研判，最上層的反射面可能為地表沖積層的界線，而其下方的反射面有可能為二重溪層在當地的底部。下方無信號區極可能為古亭坑層泥岩，因受岩性的影響而無反射信號出現。剖面東半部出現的高傾角反射層應即為往東傾斜的南勢崙砂岩（紅色系線段)，這些地層的角度最大的約為50度。因為測線可能並非與構造線正交，本測線所得到的地層傾角有可能比地表地質所得到的傾角低。由於本地區地層的傾角較高，加上測線蜿蜒而且本次震測時所達的最大遠支距僅480公尺，因而造成0.3秒（約400公尺）以下的反射信號即無法看出。

在本測線東方出現了南勢崙砂岩，而位於旗山斷層上盤之烏山層在本測線並未出露。亦即在本測線所觀測到之旗山斷層應截切包括了烏山與南勢崙等地層，而且斷層角度應較剖面中之南勢崙砂岩層面更為傾斜。綜合震測剖面以及斷層沿線之地表與地下地質資料，研判旗山斷層於本測線出現之高角度型態應如圖3.6.4中黑色線段所示，而斷層出露於地表出處應位於圖3.6.4(b)中紅色星號處，地點位於嘉誠國小校園西邊。於地形圖上可見嘉誠國小位於一地形的高區，斷層出露地點即位於該校西側不遠處。經由本測線所得知的旗山斷層出露地點較現有資料估計的位置偏東，本測線的結果顯示斷層位置與地形有直接的關係。



(a)

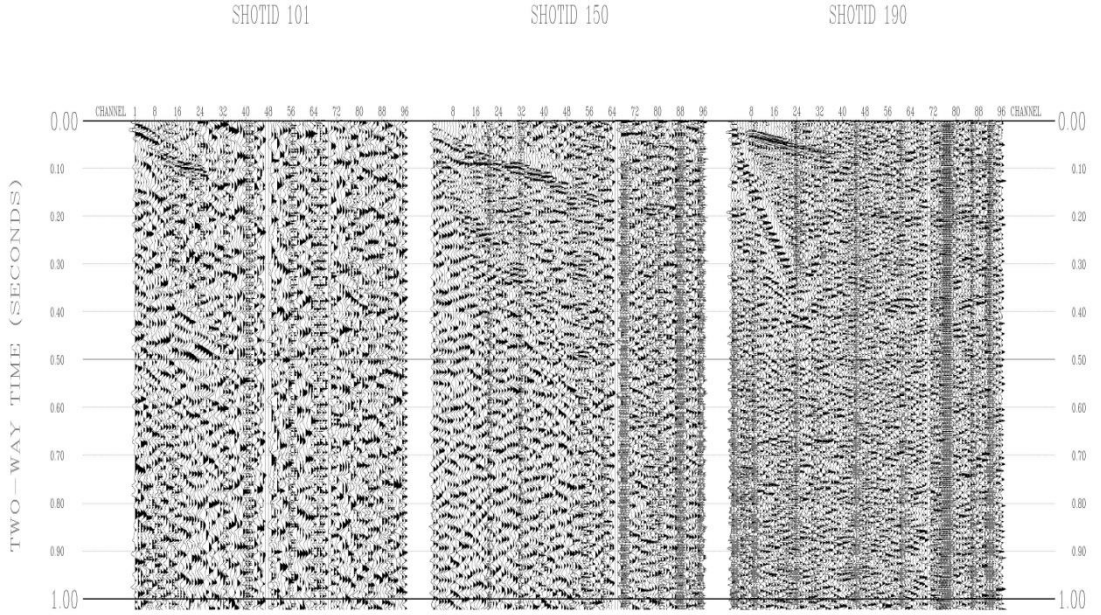


(b)

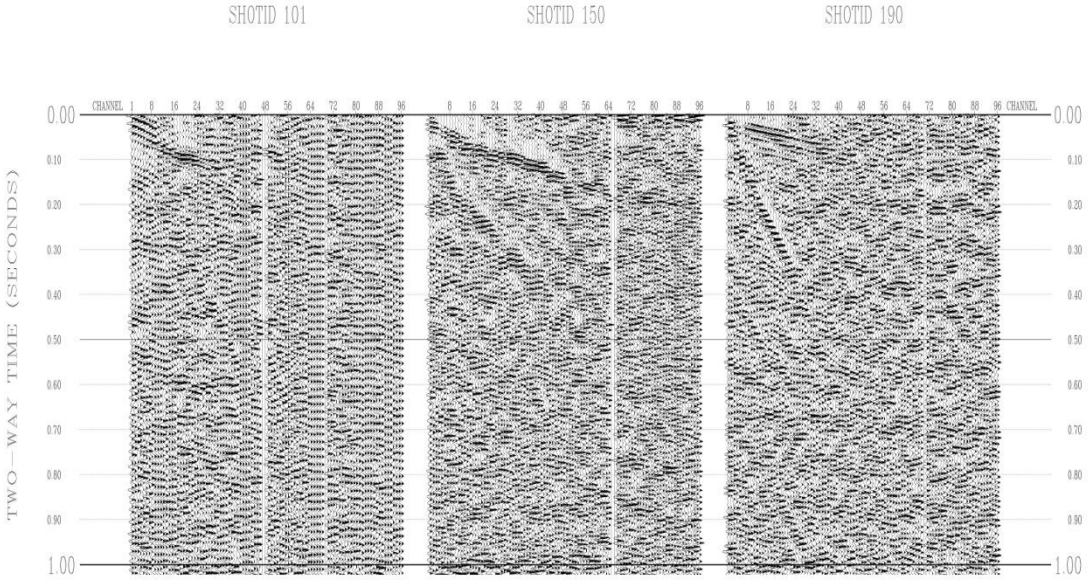
圖 3.6.2、測線 10P-CHNF-DS-01 往西向(a)及往東向(b)之地表現況。該測線西半段平直，而東半段較為蜿蜒，沿線地勢由東往西升高再降低，測線兩端高差僅 5 公尺。

表 3.6.1、測線 10P-CHNF-DS-01 之震測施測參數表

測線名稱	10P-CHNF-DS-01
測線位置	高雄縣大社鄉
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）	1320
測線走向	東→西
測線曲直性	蜿蜒



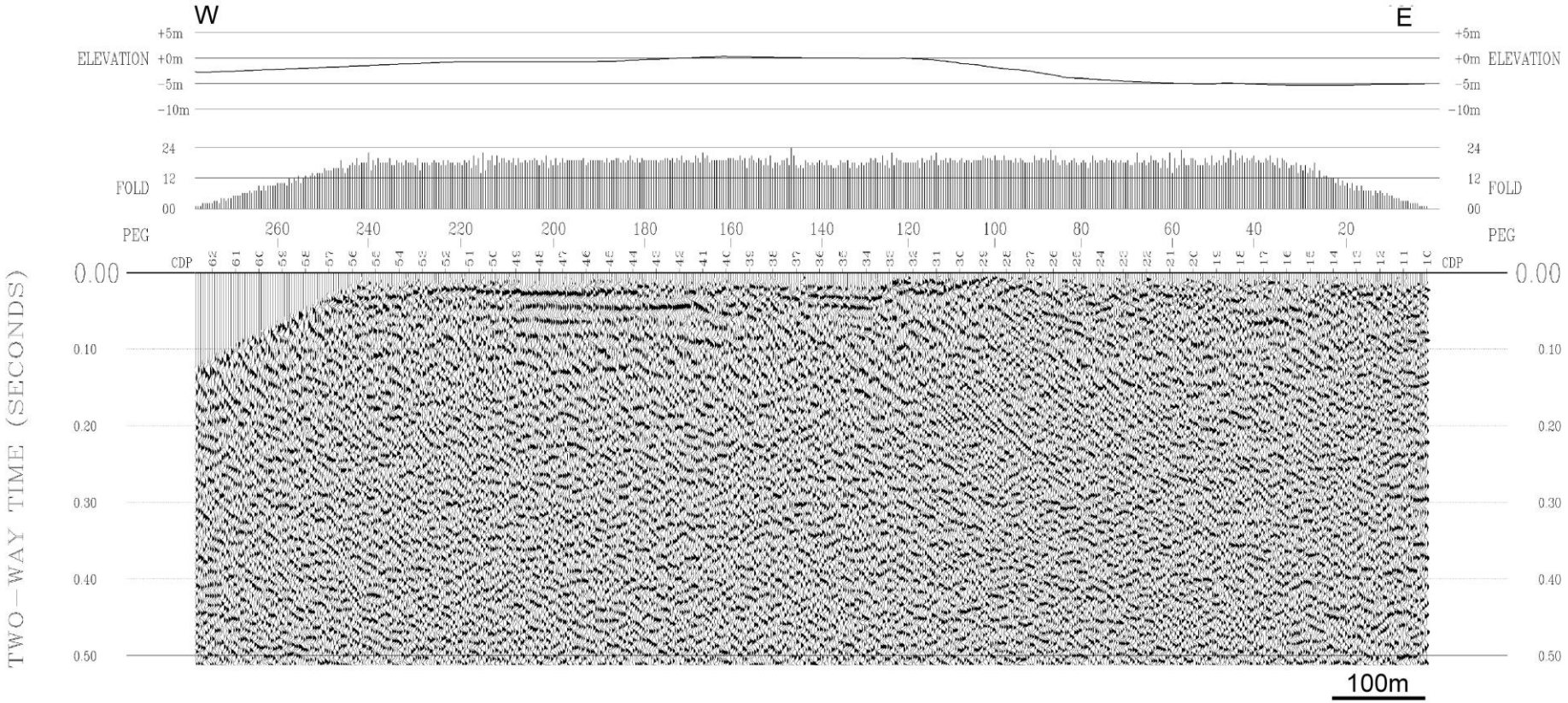
(a)



(b)

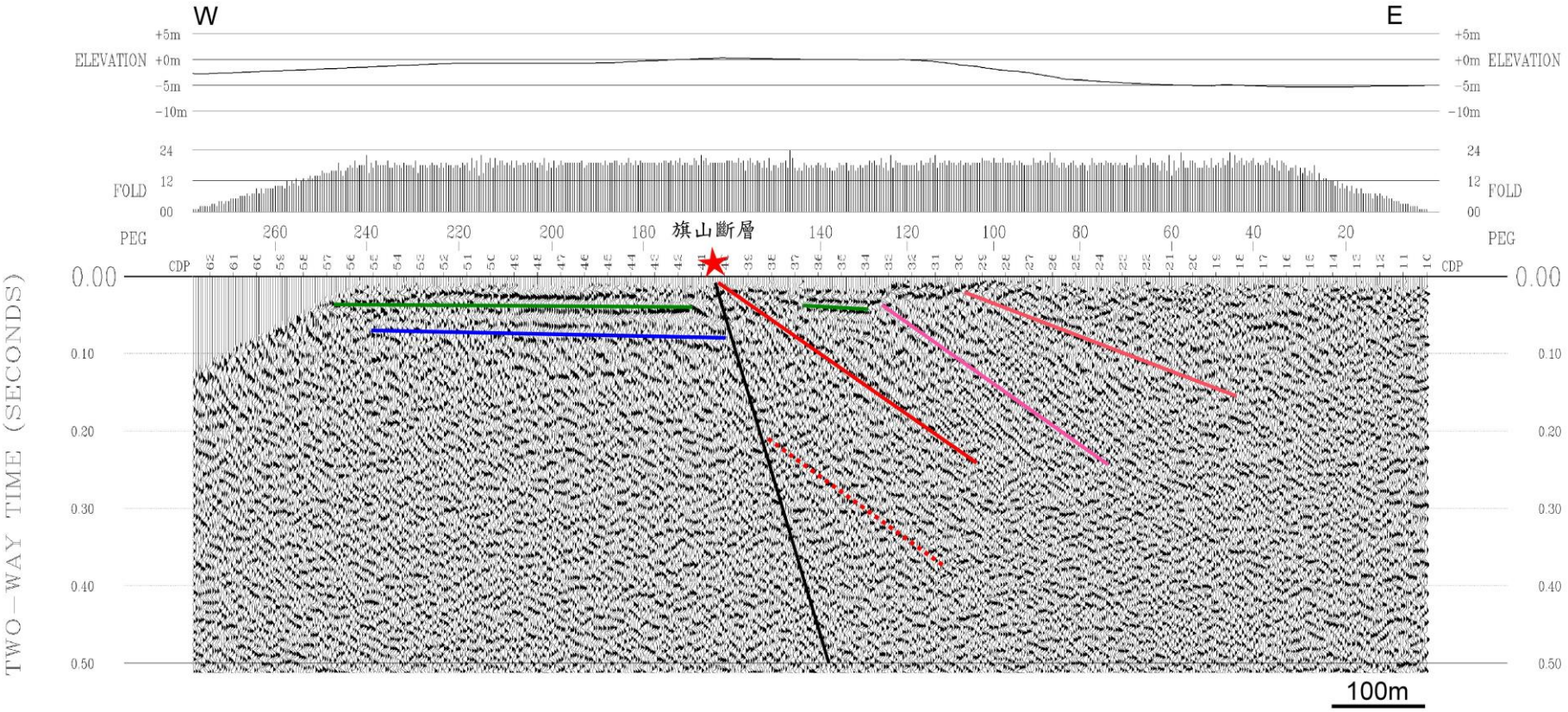
圖3.6.3、(a)測線10P-CHNF-DS-01沿線之3個代表性測點紀錄，測點101、150、以及190分別位於測線之西邊、中間以及東側。

(b)為經過濾波後的測點紀錄，其中測點101的記錄圖中反射信號則僅在很淺部的地方出現，但是在測點150以及190的記錄中，可以看見深達0.3秒的反射信號。



(a)

圖3.6.4、(a)測線10P-CHNF-DS-01之24重合同中點重合剖面。剖面中西側有極淺部的反射信號出現。測線東側則出現往東傾斜的反射信號，這些傾斜反射在0.3秒以下便不復見。



(b)

圖3.6.4、(b)測線10P-CHNF-DS-01之解釋剖面。剖面西側約30公尺深處的地層界面(綠色線段)以上能為地表沖積層，沖積層下方至約60公尺深處(藍色線段)可能為二重溪層，更下方無信號區極可能為古亭坑層泥岩。剖面東半部的高傾角反射層應即為南勢崙砂岩，黑色線段所示為高角度之旗山斷層。

2.旗山斷層大社測線二（測線編號：10P-CHNF-DS-02）

測線10P-CHNF-DS-02位於高雄大社鄉大社東北側，在測線10P-CHNF-DS-01（嘉誠路）西南方，沿著大社路進行，測線全長525公尺，大致為東西走向，但中間有一較大的轉折。本測線基本上布置於台地堆積層上，測線東方的山區為往東傾斜的高傾角南勢崙砂岩。圖3.6.1為測線10P-CHNF-DS-02於1/25,000地形圖中的配置位置。圖3.6.5(a)、(b)分別為測線10P-CHNF-DS-02往西及往東向望之地表現況，該測線地勢平緩無明顯之落差，但車輛進出頻繁，干擾施測。由於測線中間有一較大的轉折，資料處理時以蜿蜒測線的方式處理。

測線10P-CHNF-DS-02於施測時亦採用撞擊式震源（JMS-MINI65）由西往東以拉牽的方式進行，沿測線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。本測線施測時之最小近支距為5公尺，最大遠支距為480公尺，而炸點間距為10公尺，施測時震源亦以陣列方式施測，於各測點分別以1公尺為間距分為3點，每點撞擊13次以上，各炸點之撞擊總數平均達40次以上，重合剖面之平均重合數為24重合。表3.5.2所列為測線10P-CHNF-DS-02施測時所使用之詳細震測參數。

圖3.6.6(a)為測線10P-CHNF-DS-02沿線之3個代表性測點紀錄，僅繪製0.4秒以上的紀錄，測點106、113、以及121分別位於測線之西邊、中間以及東邊。如同測線10P-CHNF-DS-01西側之測點紀錄，雖然震測施測時紀錄時為1.0秒，但信號在0.2秒以下便很難分辨，而且在支距100公尺以外的波線已很難看到信號。由圖3.6.6(a)中的記錄圖中可以看出，遠支距的波線均無可分辨之信號，而近支距之波線，反射信號出現在0.2秒以上，而且也可看見地滾波。這些地滾波在經過80-150Hz的帶通濾波後大部分可以被濾除，圖3.6.6(b)即為經過濾後的測點紀錄，僅可以看見0.2秒以上的信號。

圖3.6.7為測線10P-CHNF-DS-02經資料處理後之24重合同中點重合剖面。圖中可以看出本測線僅在最東側0.1秒以上有疑似的信號出現。可能因為測線全部擺設於旗山斷層的古亭坑泥岩上，圖3.6.7之震測剖面品質不好，加上測線有大幅度的蜿蜒，資料處理後，該剖面幾乎仍無法看出其層面。然而，由測線10P-CHNF-DS-01的結果顯示，旗山斷層出露地點與地形線有密切且直接的關

係，斷層位置應較現有資料估計的位置偏東，因此，本測線較可能是位於旗山斷層的下盤。



(a)

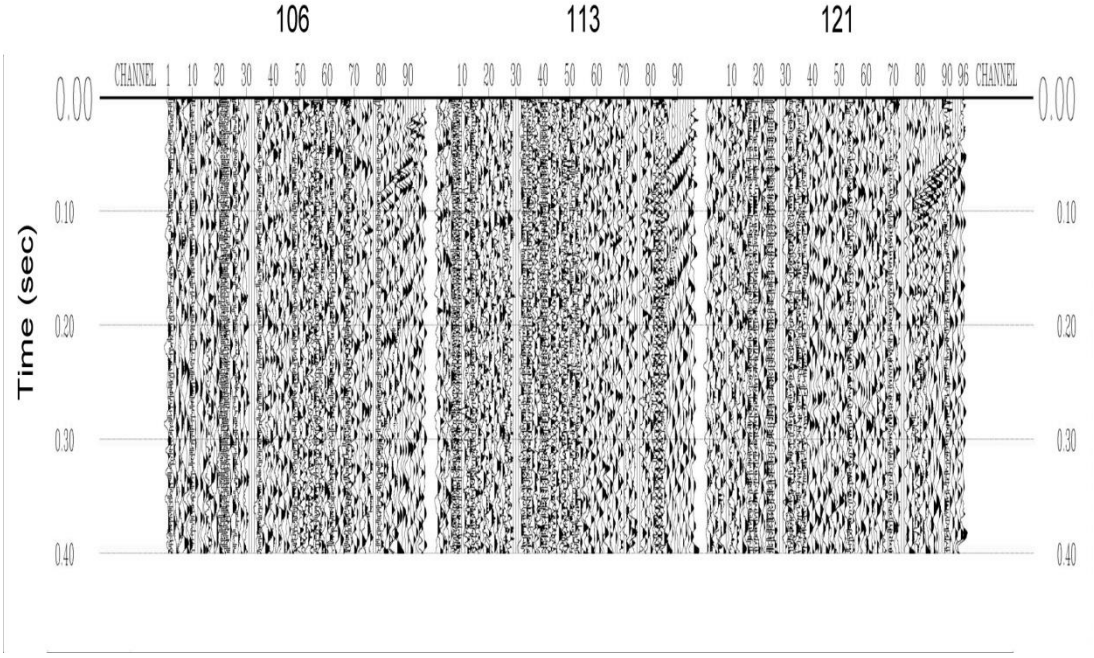


(b)

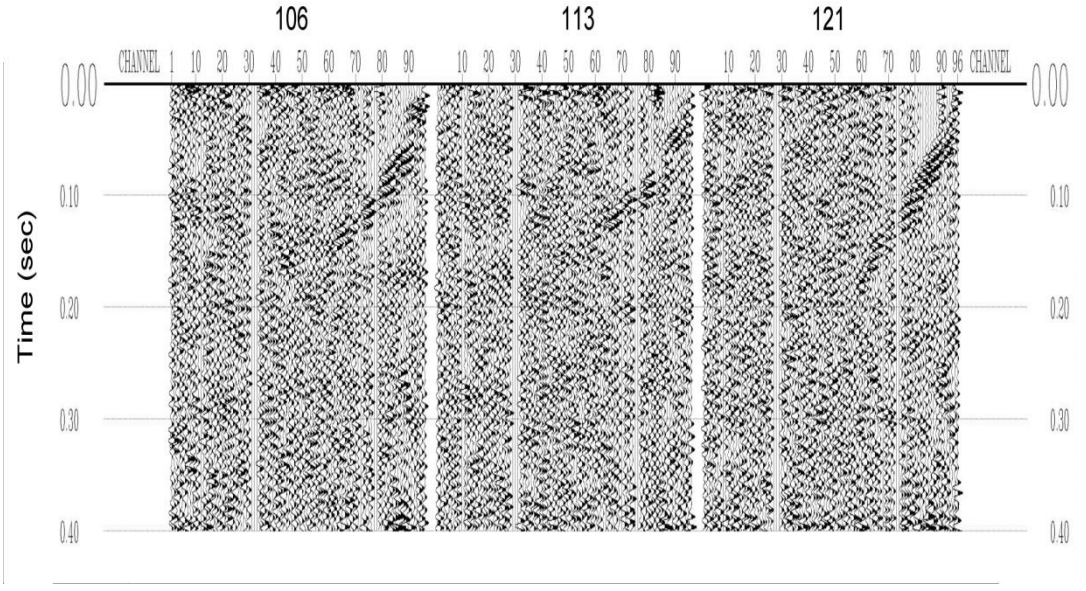
圖3.6.5、測線10P-CHNF-DS-02往西向(a)及往東向(b)之地表現況。該測線地勢平緩無明顯之落差，測線中間有一較大的轉折。

表 3.6.2、測線 10P-CHNF-DS-02 之震測施測參數表

測線名稱	10P-CHNF-DS-02
測線位置	高雄縣大社鄉大社路
震源	JMS-mini 65
接收波道	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）	2.048
平均重合數	24
測線總長（m）	525
測線走向	西→東
測線曲直性	蜿蜒



(a)



(b)

圖3.6.6、(a)測線10P-CHNF-DS-02沿線之3個代表性測點紀錄圖，僅繪製0.4秒以上的紀錄，測點106、113、以及121分別位於測線之西邊、中間以及東邊。信號在0.2秒以下便很難分辨，而且在支距100公尺以外的波線已很難看到信號。

(b)原始測點記錄經過濾後僅可以看見0.2秒以上的信號。

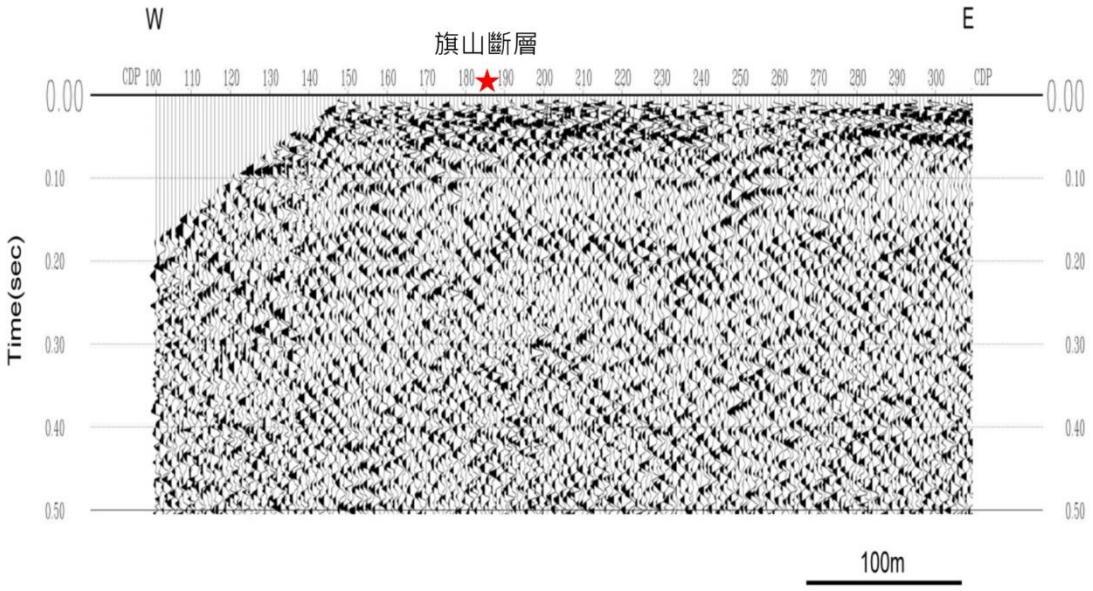


圖3.6.7、測線10P-CHNF-DS-02之24重合同中點重合剖面。本測線僅在最東側的頂部，0.1秒以上有疑似的信號出現。由於測線10P-CHNF-DS-02之資料品質不好，加上測線有大幅度的蜿蜒，無法於剖面中看出地層層面。

3.旗山斷層仁武測線一（測線編號：10P-CHNF-RW-01）

測線10P-CHNF-RW-01位於高雄縣仁武北邊，沿水管路施測，全長1,565公尺。水管路因為有國道10號跨越，只能分別於國道10兩側施測，兩剖面中間留有一110公尺之間距。國道10以西之測線長為600公尺，以東之測線則有965公尺。本測線以東西走向擺設，圖3.6.1為測線10P-CHNF-RW-01於1/25,000地形圖中的配置位置。本測線大致呈直線狀，地形往東微幅上升，兩端高差約6公尺。從圖3.1.1的中油地質圖中研判，本測線布置的位置在台地堆積層上，測線的東方與東北方為往東傾斜的高傾角南勢崙砂岩。圖3.6.8(a)及(b)分別為測線10P-CHNF-RW-01往西及往東向望之地表現況。

測線10P-CHNF-RW-01於施測時採用撞擊式震源（JMS-MINI65），沿測線佈置120個受波器組，每組之間距別為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。施測時炸點間距分別為10公尺或20公尺，震源亦以陣列方式進行，於各測點分別以1公尺為間距分為3點，每點撞擊13次以上，各炸點之撞擊總數平均達40次以上。本測線之最小近支距為5公尺，最大遠支距為600公尺，平均重合數為24重合。表3.6.3所列為測線10P-CHNF-RW-01施測時所使用之詳細震測參數。

水管路為交通要道，大小車輛進出頻繁，施測時干擾極大，加上國道10東側有台電仁武超高壓變電所，持續性的雜訊干擾極大，因此本測線的信號與雜訊比極差。為了改善本測線的信號品質，施測時利用完整的120波道收集紀錄，受波器的展距維持不變，利用震源不斷的移位，讓震波能從不同的方向進入，也兼顧不同長短支距的信號變化，部分測線則利用96波道的受波器以滾進的方式進行。然而本測線的信號在上述的改善配置外亦僅能有限的改善。然而本測線的信號在上述的改善配置外僅能有限的改善。圖3.6.9(a)為測線10P-CHNF-RW-01沿線之3個代表性測點紀錄，測點109、135、以及150分別位於國道10東側測線之西邊、中間以及東側。雖然震測施測時記錄了1.0秒紀錄，但除了初達波與很淺層的反射外，很強烈的雜訊讓信號很難分辨。圖3.6.9(b)即為經過濾波後的測點紀錄，雖然地滾波可以消除，但水平強烈，來自變電所的干擾還是充斥整個測點紀錄。由於本測線之紀錄受到極大之干擾，資料處理時進行了大量的資料編修工作，捨棄許多不可靠的波線，因此重合剖面中之重合數與重合時使用之波線有時會有差

異，重合數與使用之波線並非成正比。圖3.6.10(a)為測線10P-CHNF-RW-01經過資料處理後之同中點重合剖面。西側剖面的信號雜訊比不佳，僅0.3秒以上能約略看出淺部往東傾斜的信號。東側剖面的雜訊極為強烈，僅剖面中間可以看見往東傾斜的信號。圖3.6.10(b)為測線10P-CHNF-RW-01之重合剖面解釋，西側剖面中淺部沖積層或台地堆積並無法看出，僅有往東傾斜的岩層，研判應為南勢崙砂岩。東側剖面中淺部沖積層無法看出，僅中間可見往東傾斜的岩層，亦即本測線下方的岩層應亦為南勢崙砂岩。

由於在測線10P-CHNF-RW-01中的東西側剖面中皆可見到往東傾斜的南勢崙砂岩，本測線配置的地點應該都還位在旗山斷層的上盤。若旗山斷層有延伸至此，它並未跨過本測線，斷層在仁武一代的可能位置應還在水管路測線10P-CHNF-RW-01的西邊。

整合本研究於旗山斷層南端之震測結果，旗山斷層截切過測線10P-CHNF-DS-01，斷層出露位置應位於大社鄉嘉誠國小西側不遠處。旗山斷層並未切過測線10P-CHNF-DS-02，斷層位置應較往東靠近山邊。旗山斷層若有延伸至仁武，則斷層亦未截切測線10P-CHNF-RW-01，而應位於測線的西邊。整合後之斷層延伸位置如圖3.6.11中黃色實線與虛線所示，紅色線則為目前所認知之旗山斷層位置。



(a)

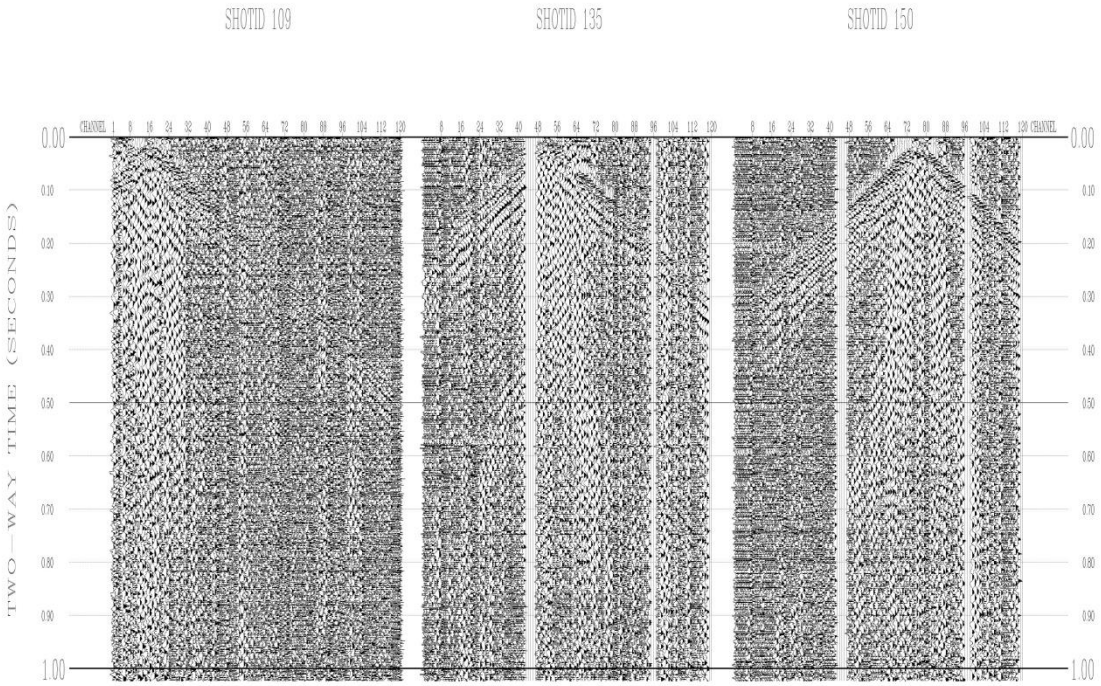


(b)

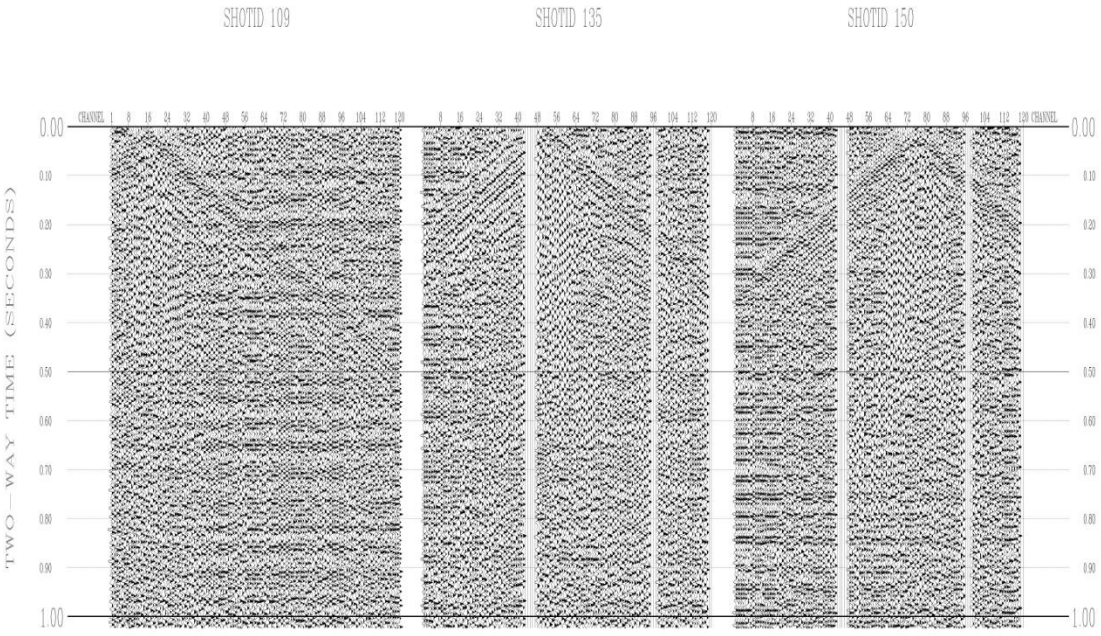
圖 3.6.8、測線 10P-CHNF-RW-01 往西向(a)及往東向(b)之地表現況。

表 3.6.3、測線 10P-CHNF-RW-01 之震測施測參數表

測線名稱	10P-CHNF-RW-01
測線位置	水管路
震源	JMS-mini 65
接收波道（個）	96-120
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）	600
炸點間距（m）	10-20
震源撞擊次數（次）	40
取樣間隔（ms）	0.25
記錄時間（sec）	1.024
平均重合數	24
測線總長（m）	1565
測線走向	西→東
測線曲直性	直



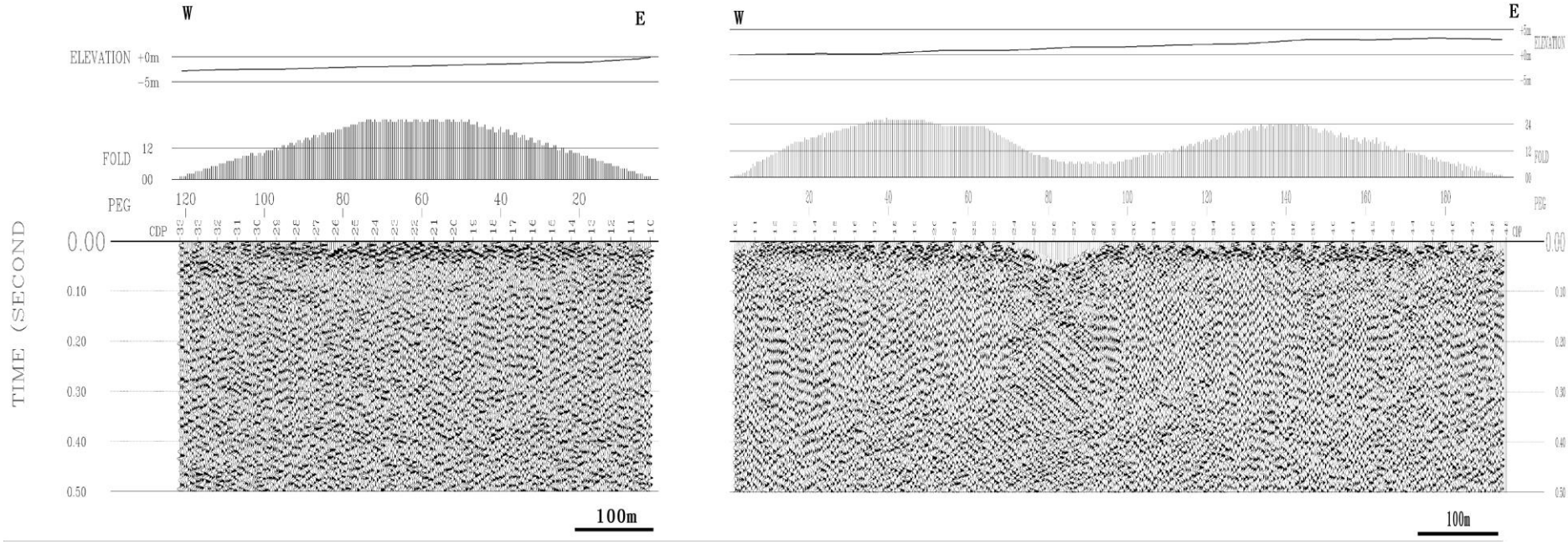
(a)



(b)

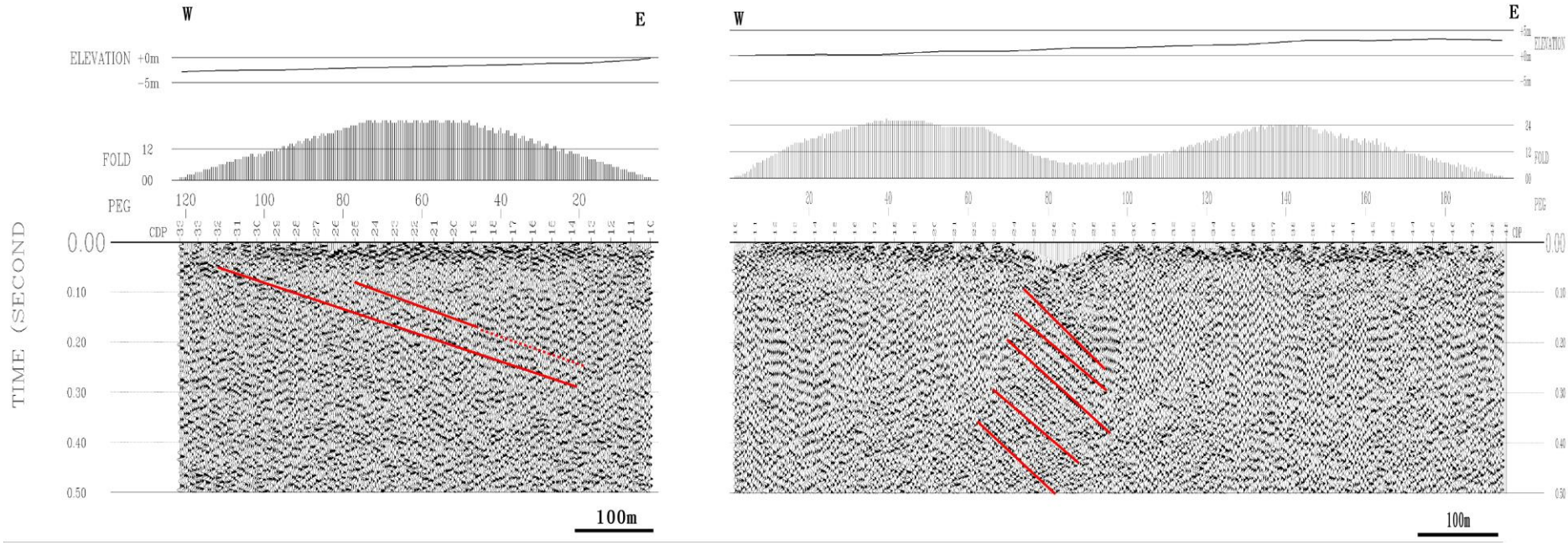
圖3.6.9、(a)測線10P-CHNF-RW-01沿線之3個代表性測點紀錄，測點109、135、以及150分別位於測線之西邊、中間以及東側。

(b) 經過濾波後的測點紀錄仍可以看見來自變電所強烈的水平雜訊。



(a)

圖3.6.10、(a) 測線10P-CHNF-RW-01之同中點重合剖面，中間空缺為國道10經過處。西側剖面中0.3秒以上有傾斜的反射信號出現，東側剖面亦僅中間出現往東傾斜的信號。



(b)

圖3.6.10、(b) 測線10P-CHNF-RW-01之解釋剖面。西側剖面中無法辨認地表沖積層，僅能看出0.3秒以上往東傾斜的地層，東側剖面中亦僅中間可見往東傾斜的岩層。

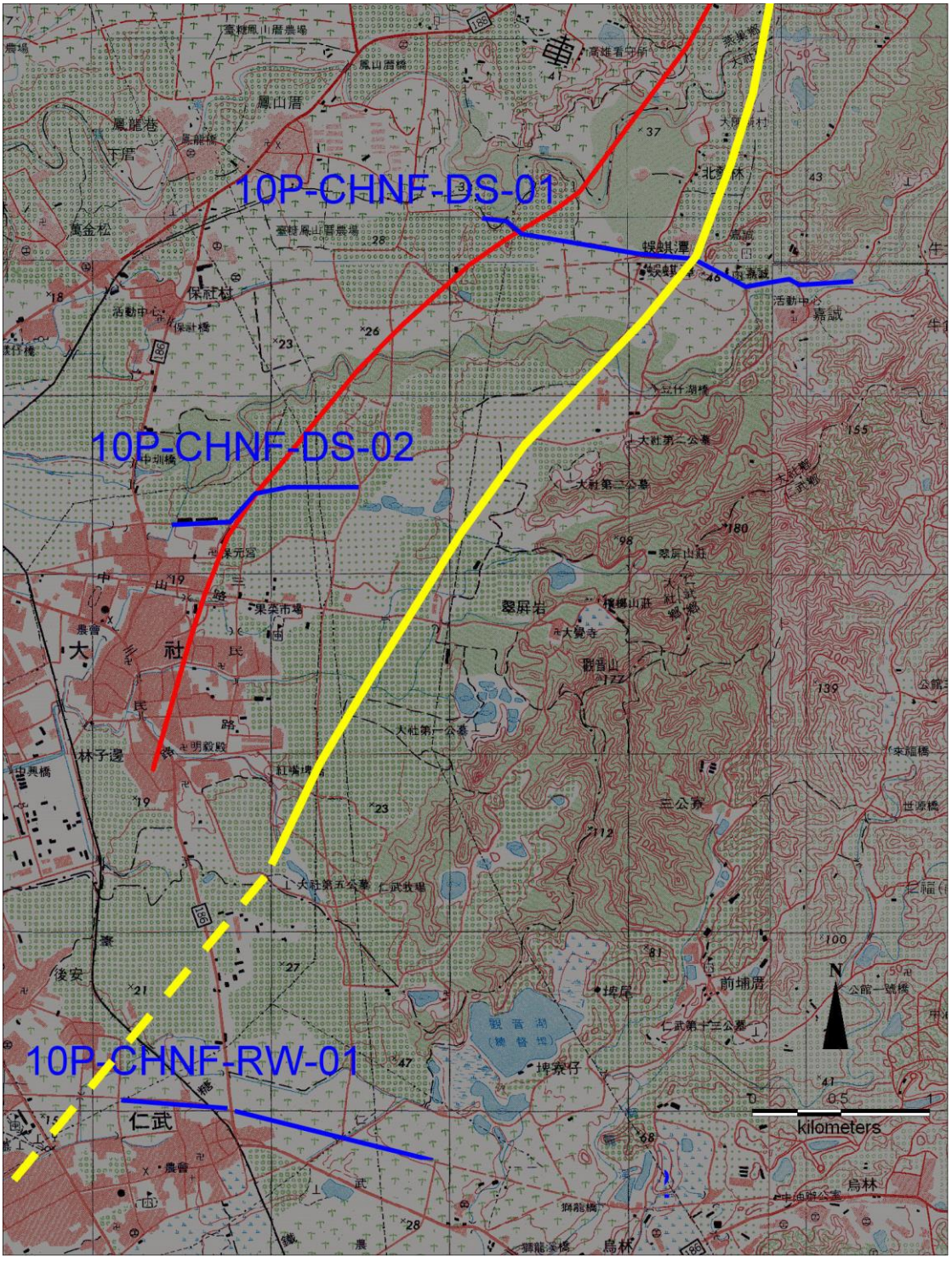


圖 3.6.11、整合本研究於旗山斷層南端之淺層震測結果，斷層延伸位置如圖中黃色實線與虛線所示，紅色線為目前所認知之旗山斷層位置。

4.旗山斷層北端圓潭測線一（測線編號：10P-CHNF-YT-01）

測線10P-CHNF-FS-01位於高雄縣旗山鎮東北側圓潭一帶，沿富興路施測。本測線以東西走向擺設，測線全長550公尺。圖3.6.12為測線10P-CHNF-YT-01於1/25,000地形圖中的配置位置。本測線大致呈直線狀，地形往東微幅下降，高差約3公尺，測線東端止於台21線公路。基本上，本測線布置於台地堆積層上，測線的西邊為高傾角往東傾斜的隘寮腳層。圖3.6.13(a)及(b)分別為測線10P-CHNF-YT-01往西及往東向望之地表現況。該測線部分段落有民房，加上施測時時有車輛進出，進度時常會受到干擾。

測線10P-CHNF-YT-01於施測時採用撞擊式震源（JMS-MINI65），沿測線利用110個受波器組排列，授波器組之間距為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。由於本測線於進行雜波測是時可見極強烈的雜訊，為了改善本測線的信號品質，施測時110波道受波器的展距維持不變，利用震源不斷的移位，讓震波能從不同的方向進入，也兼顧不同長短支距的信號變化。

本測線施測時之最小近支距為5公尺，最大遠支距為550公尺，而炸點間距最大為20公尺，施測時震源亦以陣列方式進行，於各測點分別以1公尺為間距分為3點，每點撞擊13次以上，各炸點之撞擊總數平均達40次以上。本測線之重合剖面平均重合數為24重合。表3.6.4所列為測線10P-CHNF-YT-01施測時所使用之詳細震測參數。

圖3.6.14(a)為測線10P-CHNF-YT-01沿線之3個代表性測點紀錄，測點101、110、以及125分別位於測線之西邊、中間以及東側。測點紀錄中可以見到淺部的反射信號以及強烈的地滾波。圖3.6.13(b)即為經過濾波後的測點紀錄，可能受到測線展距不夠長的影響，濾波後地滾波能有效的減低，但較深部的反射信號仍不易區別。

圖3.6.15(a)為測線10P-CHNF-YT-01經過資料處理後之24重合同中點重合剖面。剖面中僅在中間部分可以看見傾斜的反射信號，但信號的連續性不佳。圖3.6.15(b)為測線10P-CHNF-YT-01之重合剖面解釋，該剖面中間部分可見一往東傾斜地層界面，較可能為與其西側相同的隘寮腳層。由本測線所在的位置研判，

本測線最上層的地表沖積層或台地堆積應有機會看見，但可能因為層厚較薄而並無法區別。

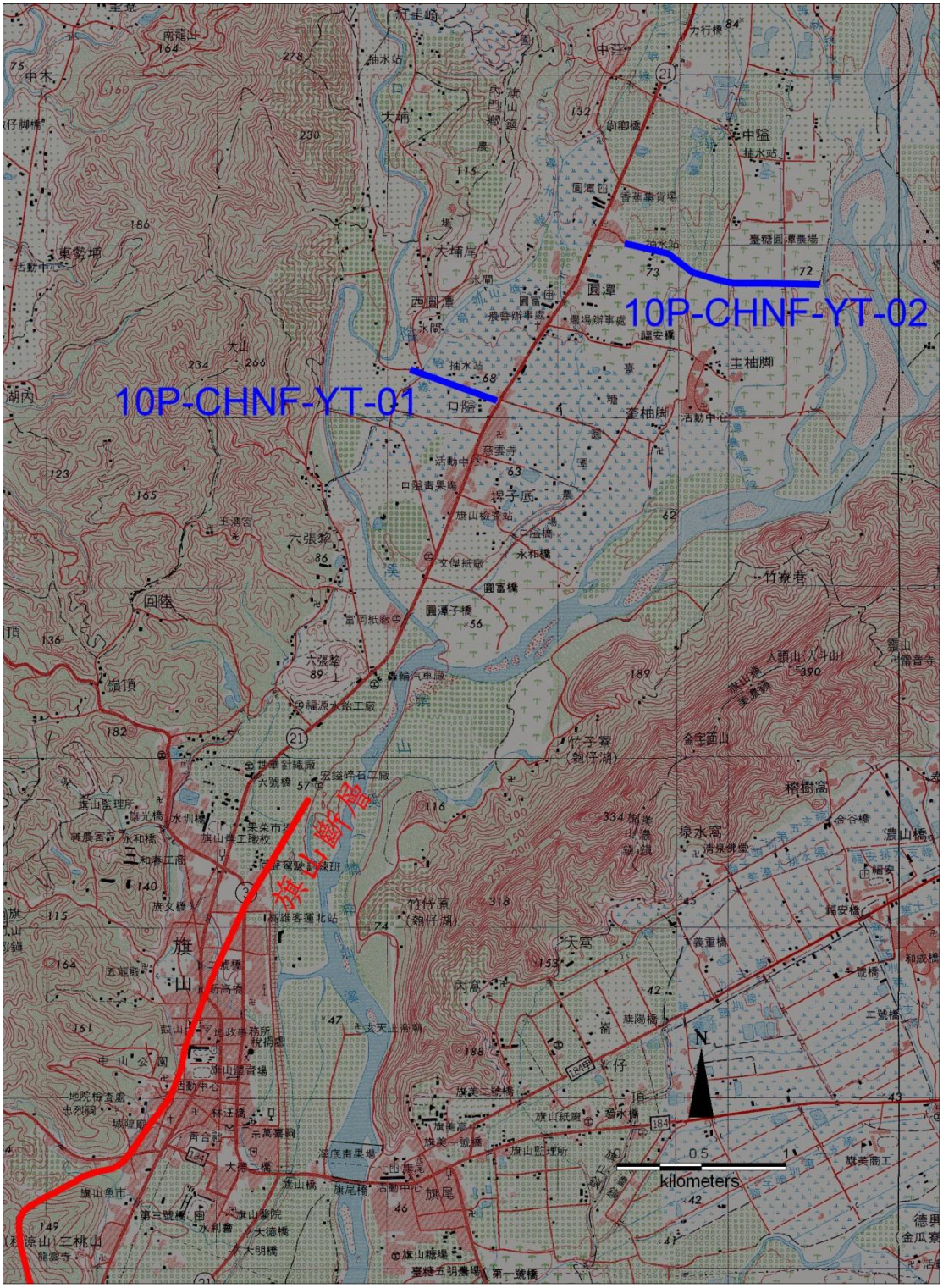


圖 3.6.12、旗山斷層北端測線 10P-CHNF-YT-01 與 10P-CHNF-YT-02 的配置位置。



(a)

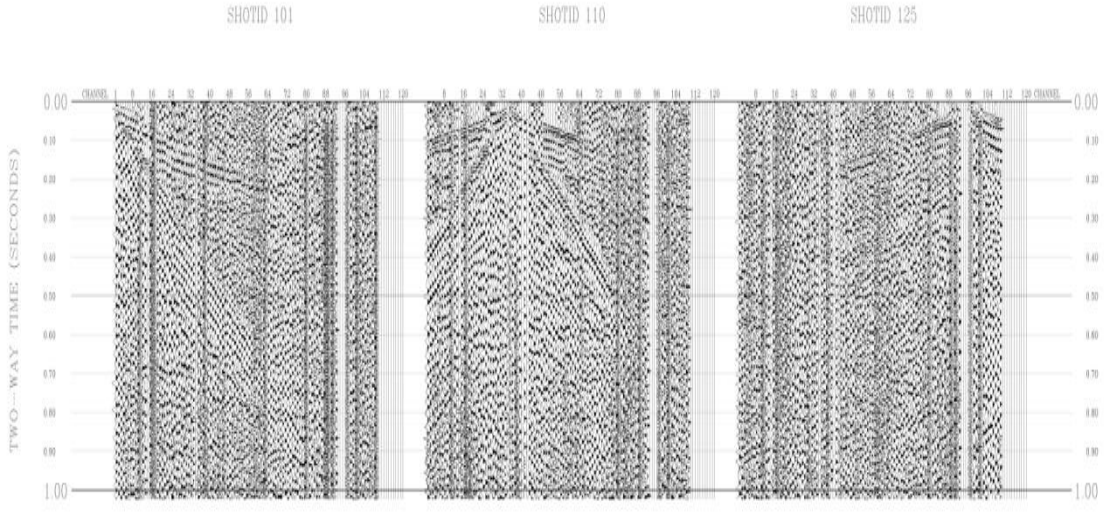


(b)

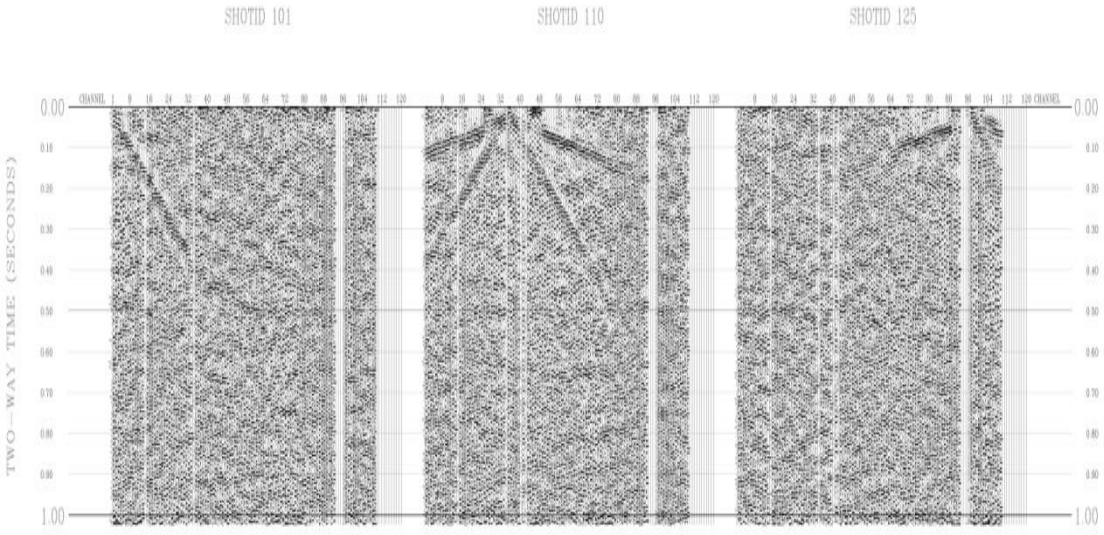
圖 3.6.13、測線 10P-CHNF-YT-01 往西向(a)及往東向(b)之地表現況。

表 3.6.4、測線 10P-CHNF-YT-01 之震測施測參數表

測線名稱	10P-CHNF-YT-01
測線位置	旗山東北邊圓潭富興路
震源	JMS-mini 65
接收波道（個）	110
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）	550
炸點間距（m）	20
震源撞擊次數（次）	40
取樣間隔（ms）	0.25
記錄時間（sec）	1.024
平均重合數	24
測線總長（m）	550
測線走向	西→東
測線曲直性	直



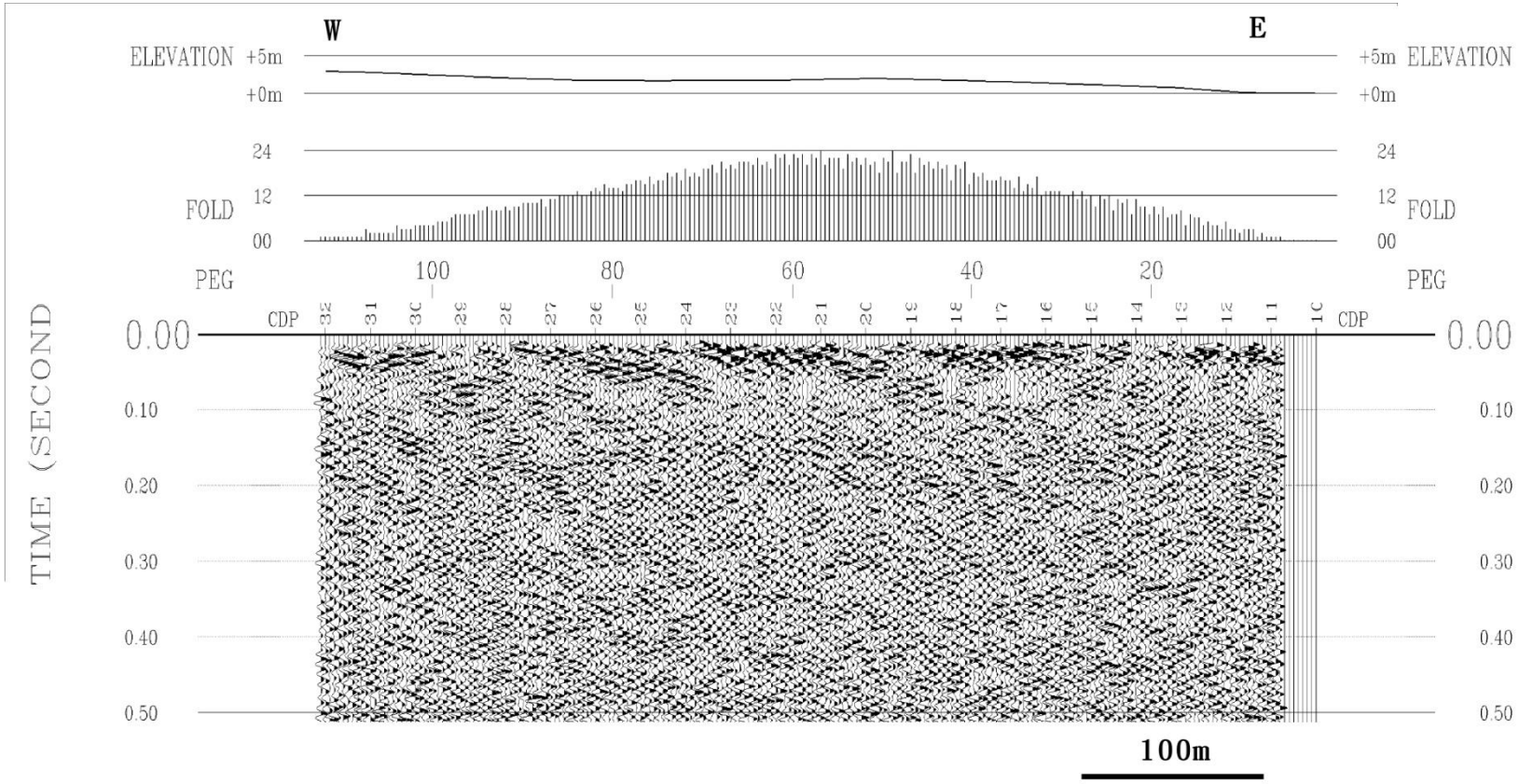
(a)



(b)

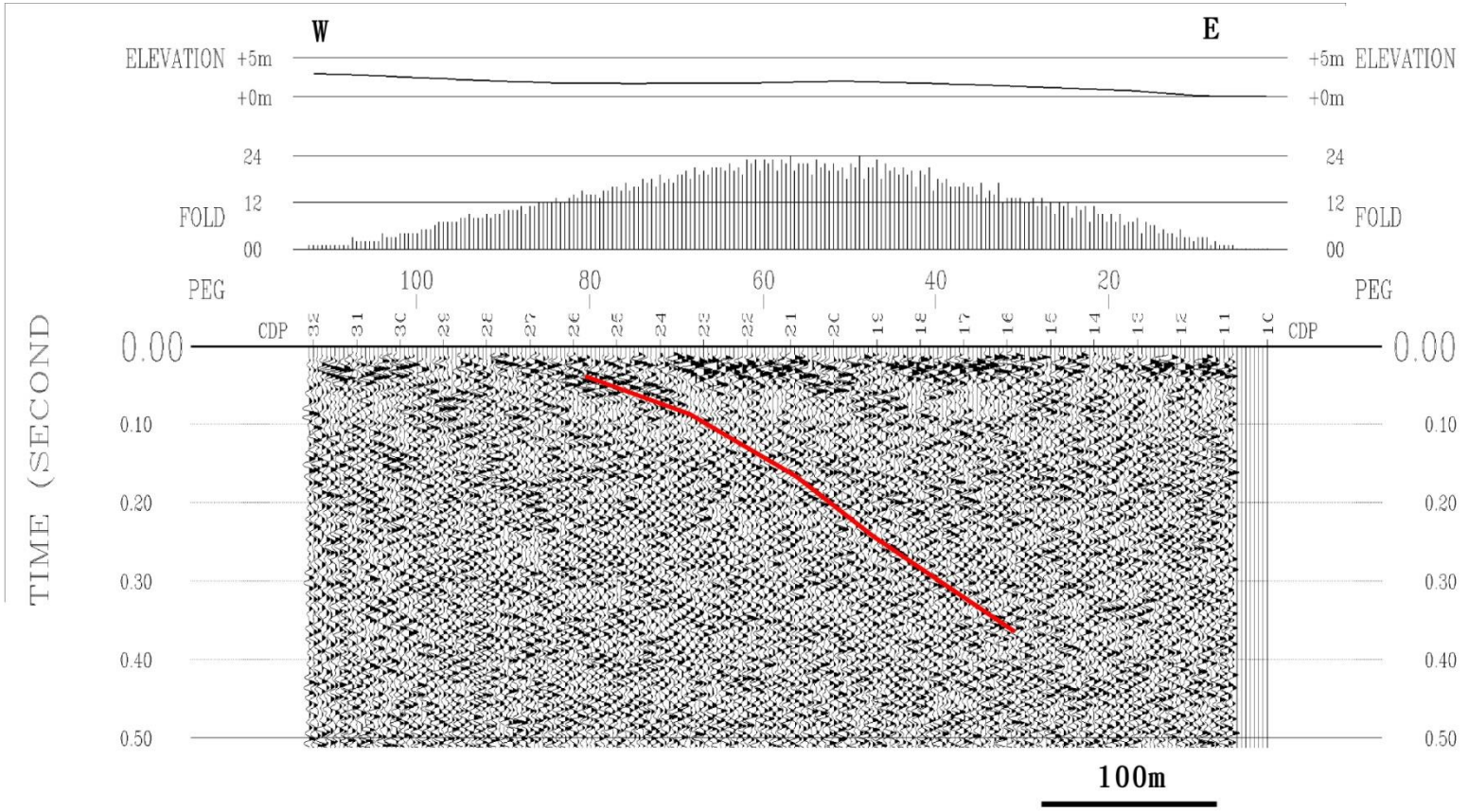
圖3.6.14、(a)測線10P-CHNF-YT-01沿線之3個代表性測點紀錄，測點101、110、以及125分別位於測線之西邊、中間以及東側。

(b)經過濾波後的測點紀錄僅可見淺部信號。



(a)

圖3.6.15、(a)測線10P-CHNF-YT-01之24重合同中點重合剖面。剖面中間出現連續性不佳往東傾斜的反射信號。



(b)

圖3.6.15、(b)測線10P-CHNF-YT-01之解釋剖面。剖面中間有一向東傾斜的地層，地表沖積層並未看見。

5.旗山斷層北端圓潭測線二（測線編號：10P-CHNF-YT-02）

測線10P-CHNF-YT-02位於高雄旗山東北邊圓潭，在測線10P-CHNF-YT-01（富興路測線）的東北方，測線全長1,120公尺，大致為東西走向，但隨道路蜿蜒。測線10P-CHNF-YT-02於1/25,000地形圖中的配置位置見圖3.6.12。本測線布置於台地堆積層上，測線的西側較遠處為高傾角往東傾斜的隘寮腳層，東側接楠梓仙溪，再往東為往東傾斜的糖恩山層。圖3.6.16(a)、(b)分別為測線10P-CHNF-YT-02往西及往東向望之地表現況，該測線地勢平緩無明顯之落差，但載運砂石的工程車輛進出頻繁，造成收訊的干擾。

測線10P-CHNF-DS-02於施測時亦採用撞擊式震源（JMS-MINI65）由西往東以推進的方式進行，沿測線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。本測線施測時之最小近支距為5公尺，最大遠支距為480公尺，而炸點間距為10公尺，施測時震源亦以陣列方式施測，於各測點分別以1公尺為間距分為3點，每點撞擊13次以上，各炸點之撞擊總數平均達40次以上，重合剖面之平均重合數為24重合。表3.6.5所列為測線10P-CHNF-YT-02施測時所使用之詳細震測參數。

圖3.6.17(a)為測線10P-CHNF-YT-02沿線之3個代表性測點紀錄，測點102、135、以及165分別位於測線之西邊、中間以及東邊。本測線的反射信號相對於富興路測線較佳，紀錄中也可看見地滾波雜訊。這些地滾波在經過50-150Hz的帶通濾波後大部分可以被濾除，圖3.6.17(b)即為經過濾後的測點紀錄，其中可見較淺部的反射信號，但深部的信號仍不易區別。

圖3.6.18(a)為測線10P-CHNF-YT-02經資料處理後之24重合同中點重合剖面。圖中可以看出本測線僅在最東側的頂部，0.1秒以上有清楚的水平信號出現，其下方也可見到傾斜的反射信號。圖3.6.18(b)為測線10P-CHNF-YT-02之解釋，其中剖面上方的水平地層應為沖積層，旗下方地層往東傾斜，但0.3秒以下，極可能因為地層傾斜，而測線的展距不夠長而無法看出。

剖面10P-CHNF-YT-01以及10P-CHNF-YT-02之中，均可見到往東傾斜的地層。剖面10P-CHNF-YT-01因比較靠近西側山區，台地堆積層因此較薄而不易區別。剖面10P-CHNF-YT-02因比較靠近河床中間，台地堆積較厚而清楚可見。因

缺乏岩性的比對，這兩條剖面影像是屬於隘寮腳或糖恩山層仍無法進一步區別，但台地堆積層以下的岩層以位置而言亦較可能為隘寮腳層。從地質圖以及圓潭的這兩條震測剖面的結果研判，斷層（內英斷層）有可能還在測線的東邊。圖3.6.19為經本研究淺層震測結果所研判之斷層位置（內英斷層），斷層位置如圖中黃色實線所示。該圖中紅色線則為旗山斷層之位置。



(a)

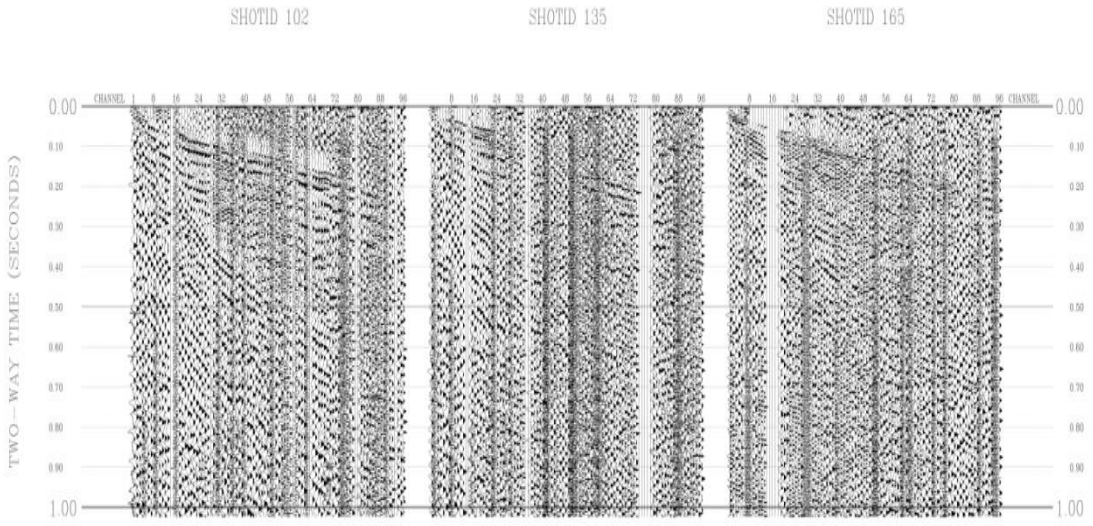


(b)

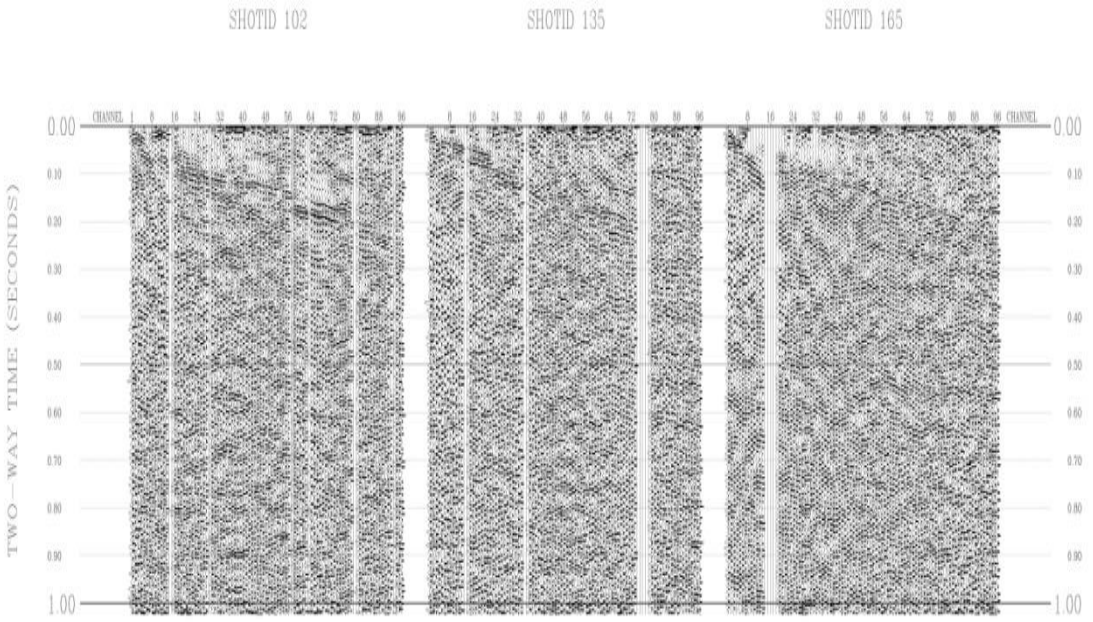
圖3.6.16、測線10P-CHNF-YT-02往西向(a)及往東向(b)之地表現況。該測線地勢平緩無明顯之落差，隨道路蜿蜒。

表 3.6.5、測線 10P-CHNF-YT-02 之震測施測參數表

測線名稱	10P-CHNF-YT-02
測線位置	旗山東北邊圓潭
震源	JMS-mini 65
接收波道	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）	0.25
記錄時間（sec）	1.024
平均重合數	24
測線總長（m）	1120
測線走向	西→東
測線曲直性	蜿蜒



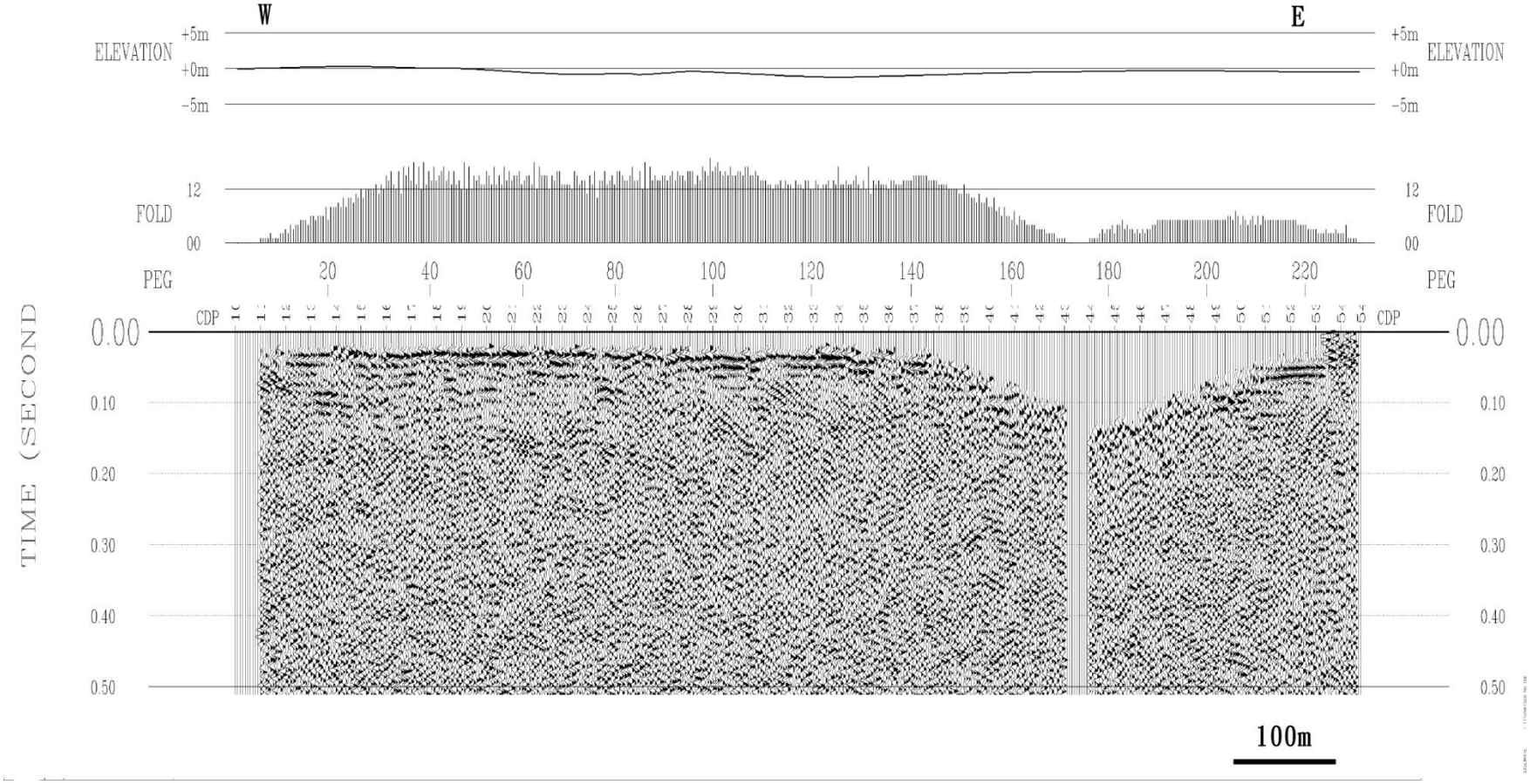
(a)



(b)

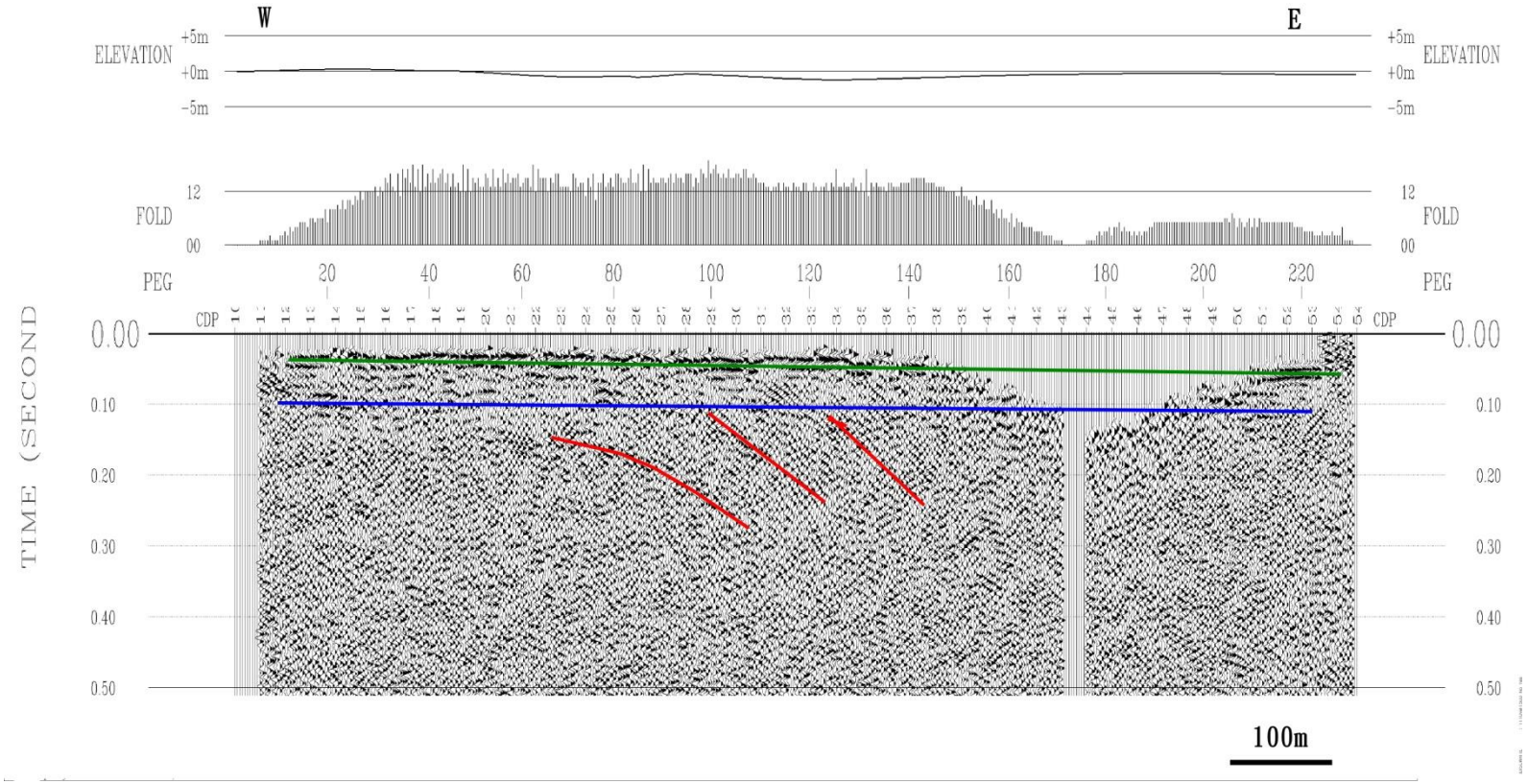
圖3.6.17、(a)測線10P-CHNF-YT-02沿線之3個代表性測點紀錄圖。測點102、135、以及165分別位於測線之西邊、中間以及東邊。淺部有清楚的反射信號。

(b)原始測點記錄經過濾後仍僅可以看見淺部的信號。



(a)

圖3.6.18、(a)測線10P-CHNF-YT-02之24重合同中點重合剖面。剖面中0.1秒以上有清楚的水平反射信號出現，其下方至0.3秒間則出現往東傾斜的反射信號。



(b)

圖3.6.18、(b)測線10P-CHNF-YT-02之解釋剖面。剖面上方0.1秒以上為地表沖積層，其下方出現高傾角往東傾斜的地層。

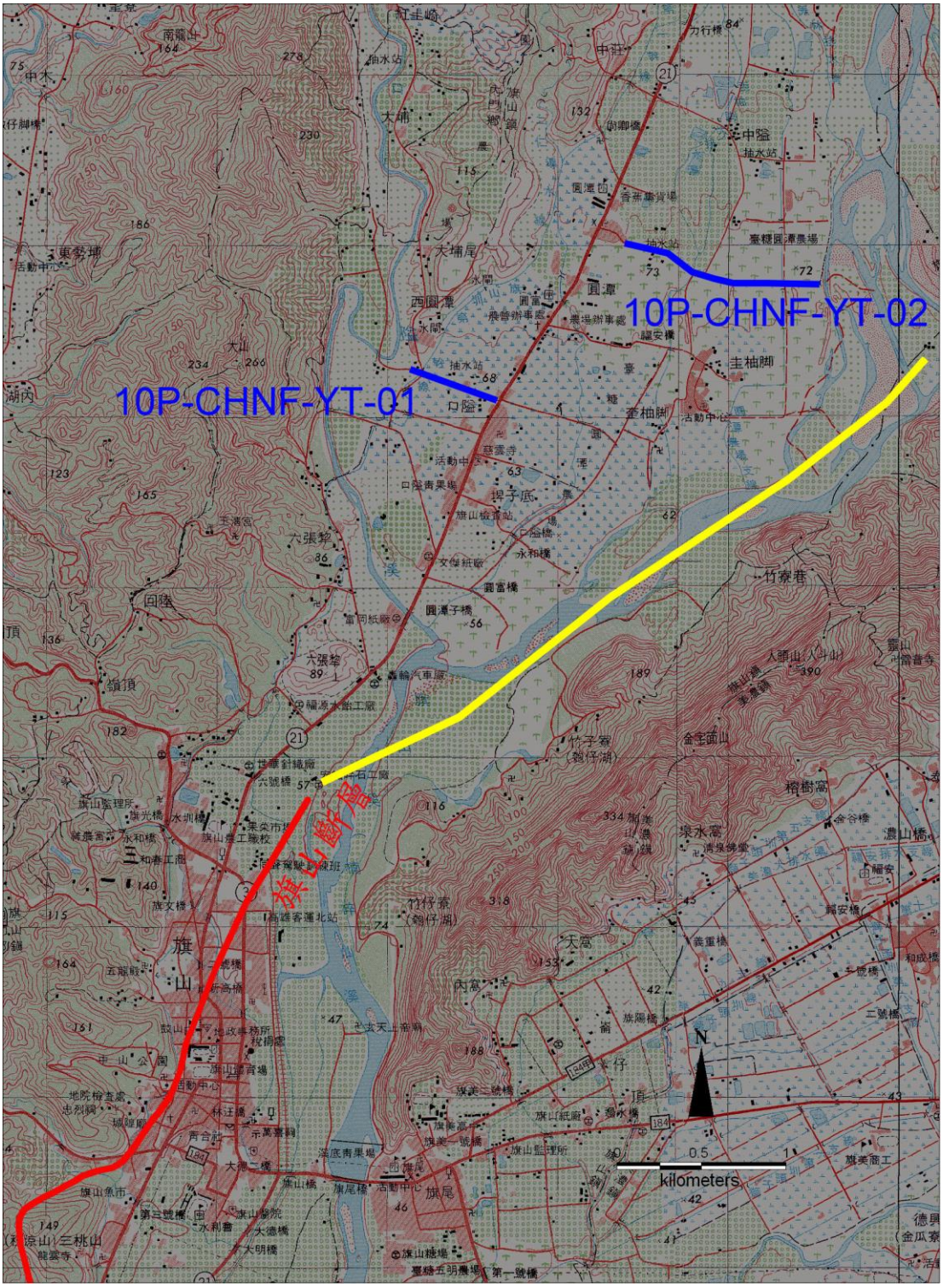


圖3.6.19、本研究淺層震測結果所研判之斷層位置如圖中黃色實線所示，圖中紅色線為旗山斷層之位置。

七、旗山斷層的運動學分析

1.前人研究

對旗山斷層的運動學研究，大多以討論斷層性質較多，如陳柏村(2005)由野外資料認為旗山斷層為兼具左移的逆斷層，但根據GPS大地測量結果顯示現今的旗山斷層約每年具有10 mm/yr以上的壓縮量，也約具有10 mm/yr右移分量（林啟文等，2008）。但若檢視GPS控制點的位置，則可發現GPS控制點分布位置並非僅侷限在旗山斷層上下盤，其分布範圍涵蓋龍船斷層與旗山斷層，因此GPS所觀測到的地殼變形不僅包含旗山斷層的活動量，亦包含龍船斷層的位移量，故建議未來在旗山斷層斷層上下盤建立近斷層控制點，以確定旗山斷層特性。

(一) 西南外海構造模型

為釐清旗山斷層運動學模型，我們先針對鄰近地區進行分析。由於西南外海的沈積環境與陸上西南部地區的環境近似，因此我們可預期其構造型態亦會相近。圖3.7.1可見外海中存在許多泥貫入體構造。黃偉倫(1995)認為這些泥貫入體可延伸至陸上。這些泥貫入體的構造特徵如下：貫入體寬度約2-4公里之間，單一泥貫入體延展約數公里至20公里之間。貫入體深部為緊密褶皺，兩側為盆地，盆地兩側常見不整合，貫入體兩翼的地層有對稱與不對稱兩種形態（圖3.7.2），不對稱形態常見一側地層拖曳，另一側為不整合或斷層構造，兩側構造差異可能源自於泥貫入體生長速率與沈積速率之間的差異所致，也就是背斜兩側可能為各自獨立盆地，沈積速率並不相同。

(二)陸上西南部泥貫入體構造

由於在西南外海可見許多泥貫入體構造，因此陸上是否也有泥貫入體，值得進一步的討論。過去陸上一些構造如中洲背斜、台南背斜與半屏山背斜亦被認為可能是泥貫入體構造(Hsieh，1970；Pan，1968)，但對這些構造成因亦有不同解釋，如Fruneau et al.(2001)利用SAR影像分析台南台地的變形形態，他們認為可能有三種滑脫斷層（decollement）構造模型可以解釋台南台地的形成（圖3.7.3）。但若檢視台南台地的震測與鑽井資料（圖3.7.4），則可發現雖然在台地深部局部有斷層發育，但主要構造為一褶皺，其背斜寬度約4公里，長度約10公里，且頂部的上部古亭坑層褶皺波長較寬廣，而其下的下部古亭坑層褶皺較為緊密，頂部

的A層（圖3.7.4）則為生長層序 (Hsieh，1970；Pan，1968)。由於Fruneau et al. (2001)的三種模型並未考慮震測剖面與鑽井資料，以致其模型與觀測並不相符，故本研究認為台南台地構造主要為泥貫入體所形成的褶皺。Hsieh (1970)由重力資料與鑽井資料亦認為中洲背斜為泥貫入體構造，圖3.7.5為新的震測剖面(石瑞銓等，2009)，在中洲背斜兩側可見生長層序，其特徵與在海域所見的泥貫入體構造近似。圖3.7.6為半屏山背斜的深部震測剖面，在背斜中間沒有訊號，褶皺兩翼形態不同，但兩翼皆可見不整合構造，半屏山石灰岩位於在背斜東翼，此構造亦與海域中的泥貫入體構造近似。石瑞銓等(2009)認為大岡山背斜亦為泥貫入體構造。在剩餘重力圖上亦反應出這種泥貫入體的背斜構造形態（圖3.7.7）。

由於西南部主要構造形態為泥貫入體構造，那今日的旗山斷層是否亦受到泥貫入體構造的影響？在海域中的泥貫入體構造常見褶皺兩翼發育生長層序並伴隨不整合構造，類似的不整合構造我們也在龍船斷層的古亭坑層與二重溪層交界處發現（圖3.7.8）；在古亭坑層地層為高角度傾斜，二重溪層傾較緩。過去繪製地質剖面時皆將此位態的改變認為是受構造作用所形成的褶皺作用，但在野外發現此位態改變應為不整合接觸(圖3.7.9)。在旗山斷層上盤本研究發現有兩個不整合面（圖3.5.5）與生長層序，這些構造特徵皆與泥貫入體近似，但也不能排除為斷層擴展褶皺的可能，因此本研究認為龍船背斜與泥貫入體的生成或斷層擴展褶皺的形成，或兩者同時影響有關。旗山斷層則發生在此構造的東翼，因持續的擠壓作用，導致烏山層或南勢崙砂岩逆衝於古亭坑層之上。

2.近斷層構造特徵

旗山斷層上盤為烏山層、蓋子寮頁岩、大社層與南勢崙砂岩，下盤在斷層中北段為以泥岩為主的古亭坑層，但在斷層南段下盤的古亭坑層則分為三段。旗山斷層南段層位落差估計超過2,000公尺，此乃因考慮旗山斷層南段的烏山層逆衝於橫山石灰岩之上(圖3.7.10)。但在旗山斷層中北段則為烏山層逆衝於古亭坑層。由於中北段下盤的古亭坑層為龍船斷層上盤，而龍船斷層背斜軸部的古亭坑層年代為NN11，與烏山層近似，且旗山斷層中段的龍船斷層其位置與旗山斷層僅有數百公尺之遙，因此此處上下盤層位落差是否一如斷層南段，尚須近一步藉由古生物資料確定年代。此外在旗山斷層下盤的泥岩中，陳柏村等(2005)發現許多高角度分支斷層，對於高角度斷層究竟反應旗山斷層或龍船斷層，亦須進一步

釐清，以了解其層位落差關係。

旗山斷層南延位置，林啟文等(2009)整理地質調查所在本區域的地質鑽井認為旗山斷層南延通過保安宮一號井與二號井（圖3.7.11），並結合平原區域鑽井資料認為旗山斷層南延轉為南北向定向東傾斜高角度斷層。

經由本研究鑽探與地調所過去鑽探結果均顯示旗山斷層為高角度斷層，在壓應力為水平方向若要讓高角度逆斷層仍為活動構造有其力學上難度，因此可能方式為泥貫入體提供垂直方向的應力，如此方能使高角度斷層活動。

由於旗山斷層角度甚大，因此未能完整分析構造特性，建議未來進行斜井鑽探，方能鑽穿斷層帶。由於垂直向運動在本區域構造扮演重要角色，建議未來能再緊臨斷層上盤建立連續觀測站與通過斷層中段區域的水準測線長期觀測旗山斷層活動特性。

3.運動學模擬

我們根據本研究所實施之淺層震測剖面結果進行旗山斷層之運動學模擬（剖面位置見圖3.5.4中之淺藍色線段）。在此剖面龍船斷層未出露地表，也無明顯的背斜在旗山斷層西側發育（圖3.5.4之剖面），模擬參數請參見表3.7.1。我們認為旗山斷層是一個上陡下緩的犁形逆斷層（listric reverse fault；圖3.7.12(a)），由於斷層的圓滑彎曲，使得近斷層上盤的地層發生向東傾斜，估計沿斷層傾角逆衝的滑移量約0.6公里。高傾角的近地表斷裂與向東傾斜的上盤岩層與本研究鑽井及淺層震測結果相符。至於龍船斷層（圖3.7.12(b)），在此剖面並未出露至地表，我們認為它可能潛伏於地下，是發育在旗山斷層西側的分支盲斷層。比較不同的是，龍船斷層可能切入古亭坑層，並以極小的擴展-滑移比（p/s ratio）向上發育，此意味其上的斷層擴展褶皺近似基底滑脫褶皺，也不排除它觸發了泥貫入構造，當然，我們也不能排除先有泥貫入構造的形成，再引發龍船斷層的切入。由於受到模擬程式ShearFold的限制，無法定量模擬泥貫入構造的生成，也無法加入力學條件做力學模擬，因此本模擬結果與實際情況仍有些差距。無論如何，古亭坑層可能控制了龍船斷層向上擴展的速度，造成潛伏的背斜褶皺，一如我們在野外的觀察。龍船斷層在此處的沿傾角滑移量約0.8公里。

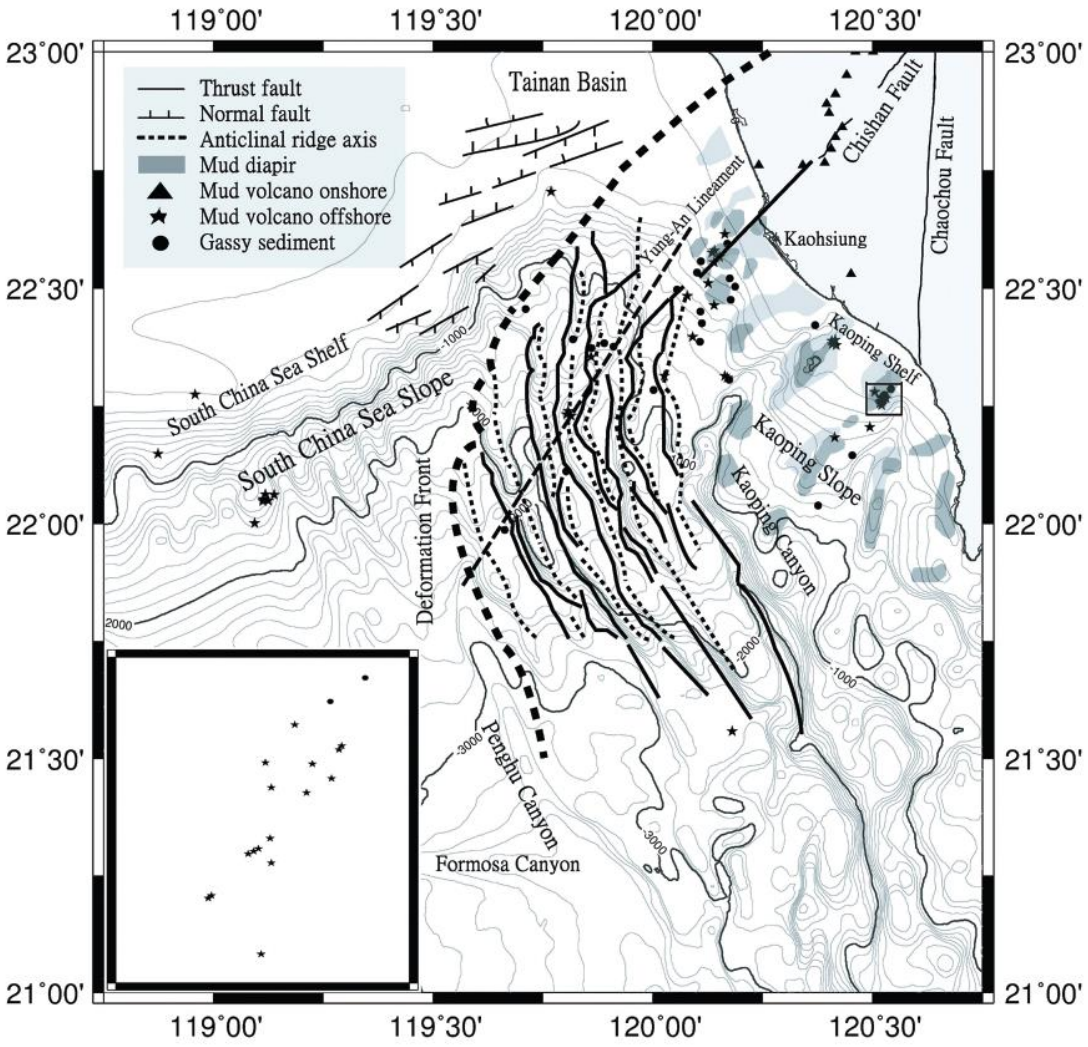


圖3.7.1、西南部外海泥貫入體構造（灰色區域）。泥貫入體為長條狀，北東走向，延展長度不一，由數百公尺至數十公里(Chiu et al.，2006)。

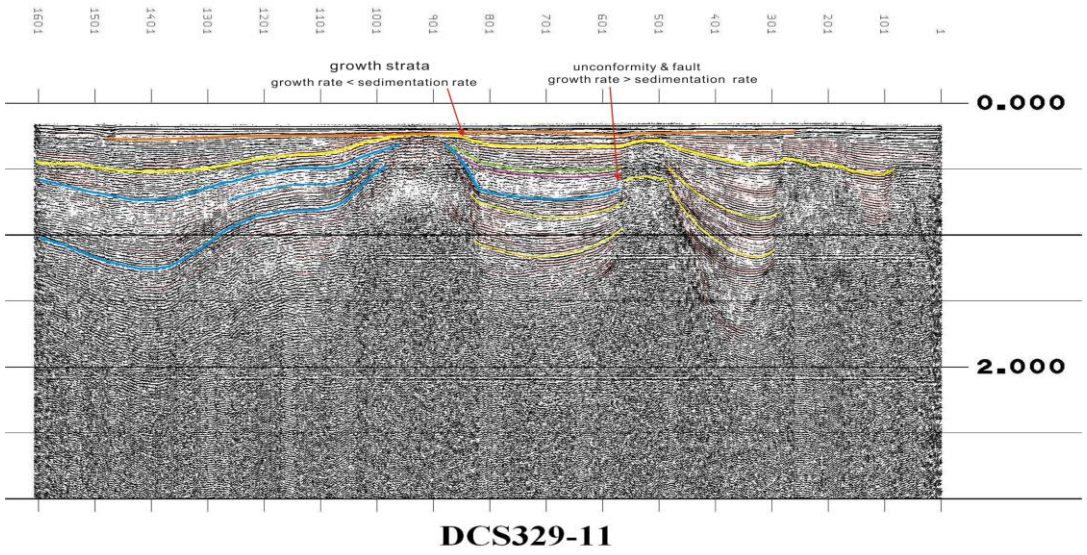
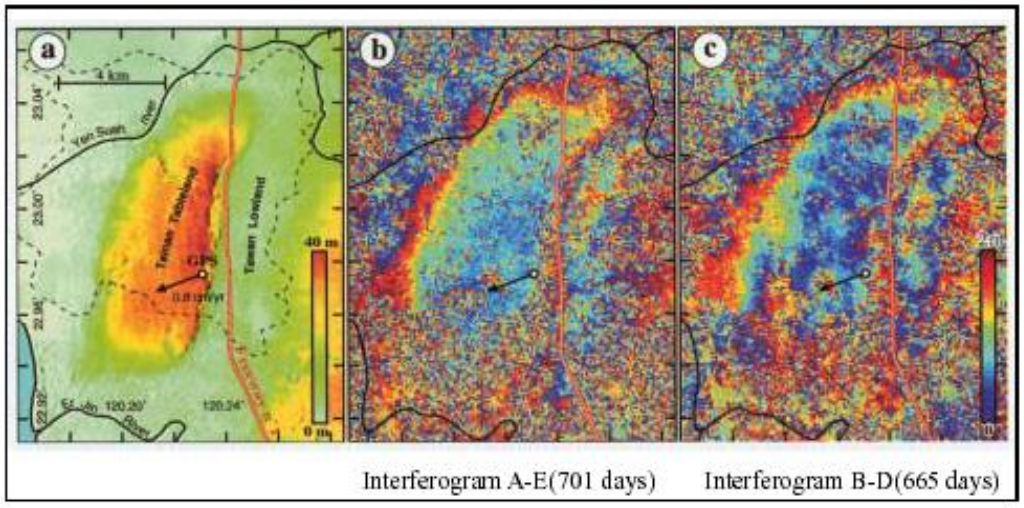
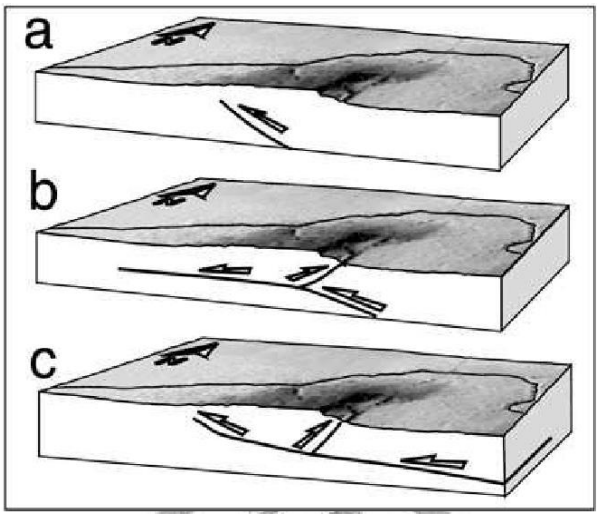


圖3.7.2、西南海域的泥貫入體剖面構造。(底圖摘自莊惠如，2006)。

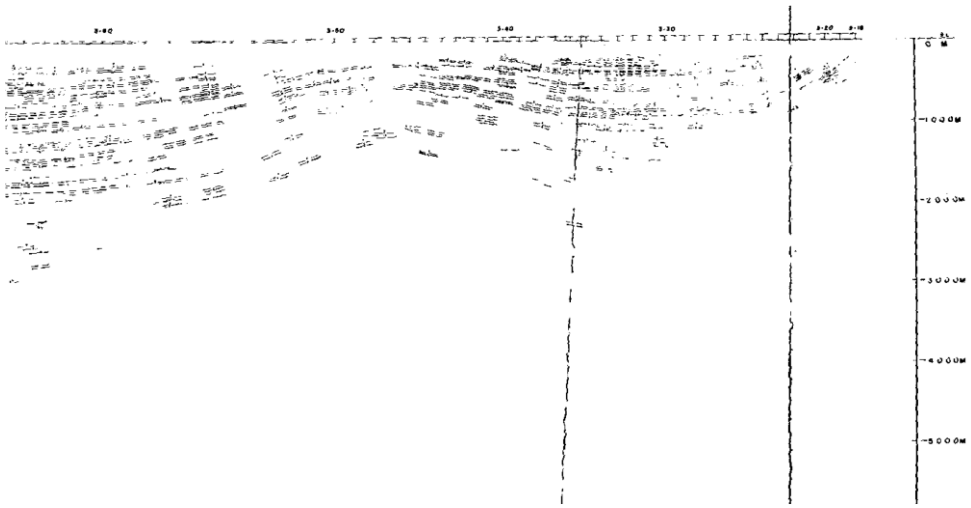


(a)

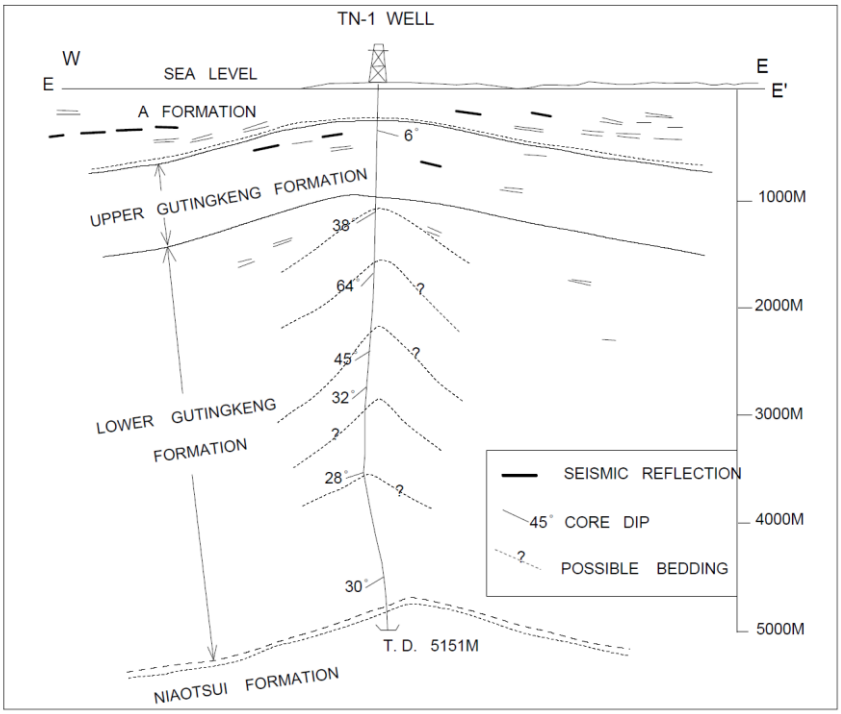


(b)

圖3.7.3、台南台地三種構造模型（Fruneau et al.，2001)。此模型可以解釋利用 SAR 影像分析所求得的台南台地抬升速率。



(a)



(b)

圖3.7.4、台南背斜的(a)震測與(b)鑽井資料。Hsieh(1970)結合震測剖面與鑽探資料，認為台南背斜為泥貫入體構造。圖中可見A層與上部古亭坑層可能為生長層序。

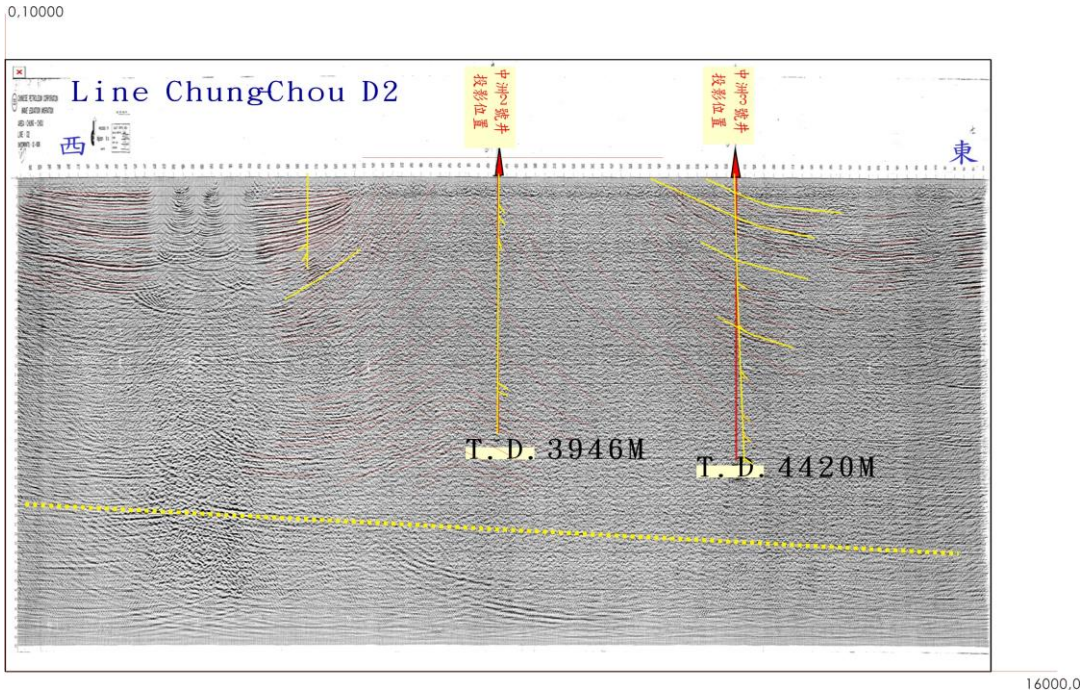


圖3.7.5、跨越中洲背斜構造剖面與鑽探，在背斜兩翼可見生長層序。

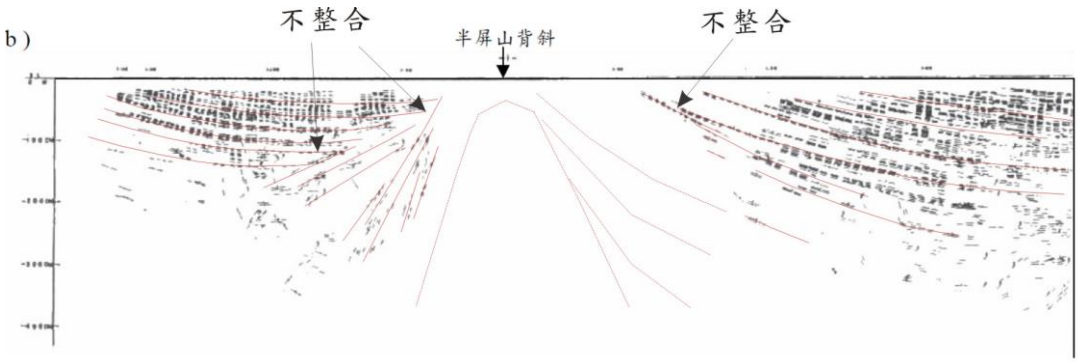


圖3.7.6、半屏山背斜的震測剖面，紅線為構造解釋(Pan，1968)。

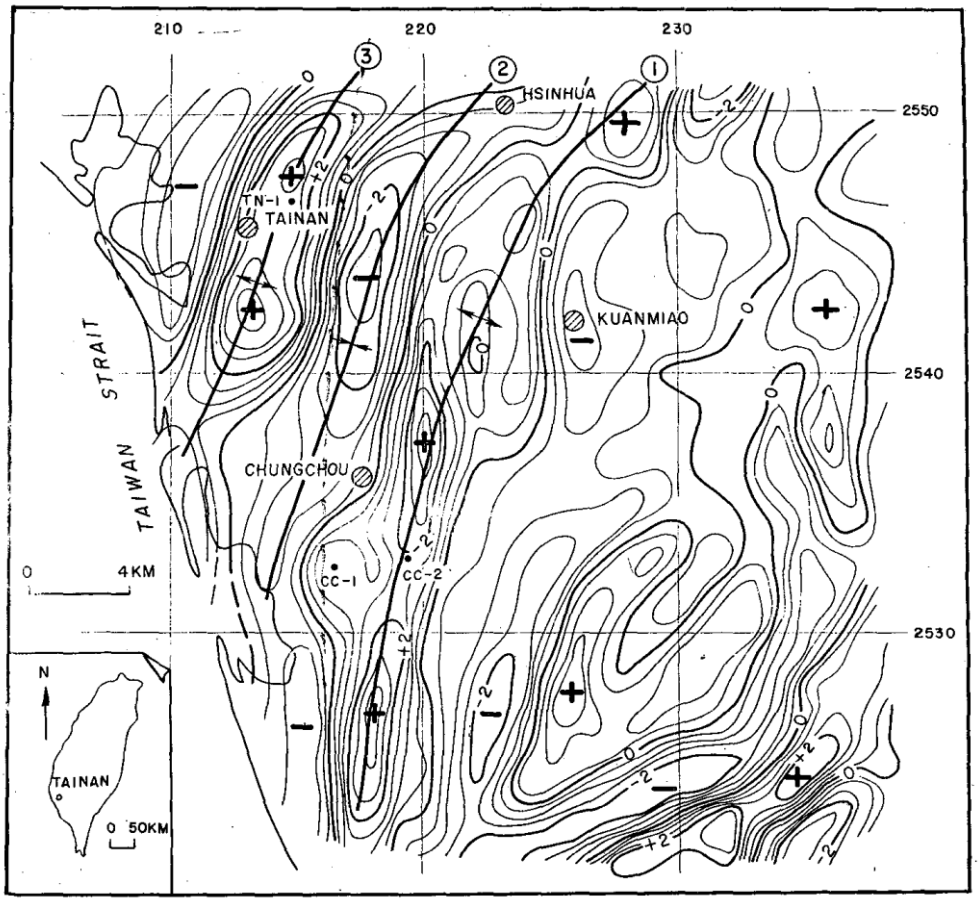


圖3.7.7、台灣西南部殘餘重力圖。背斜區為重力高區，對應泥貫入體位置(Hsieh，1970)。

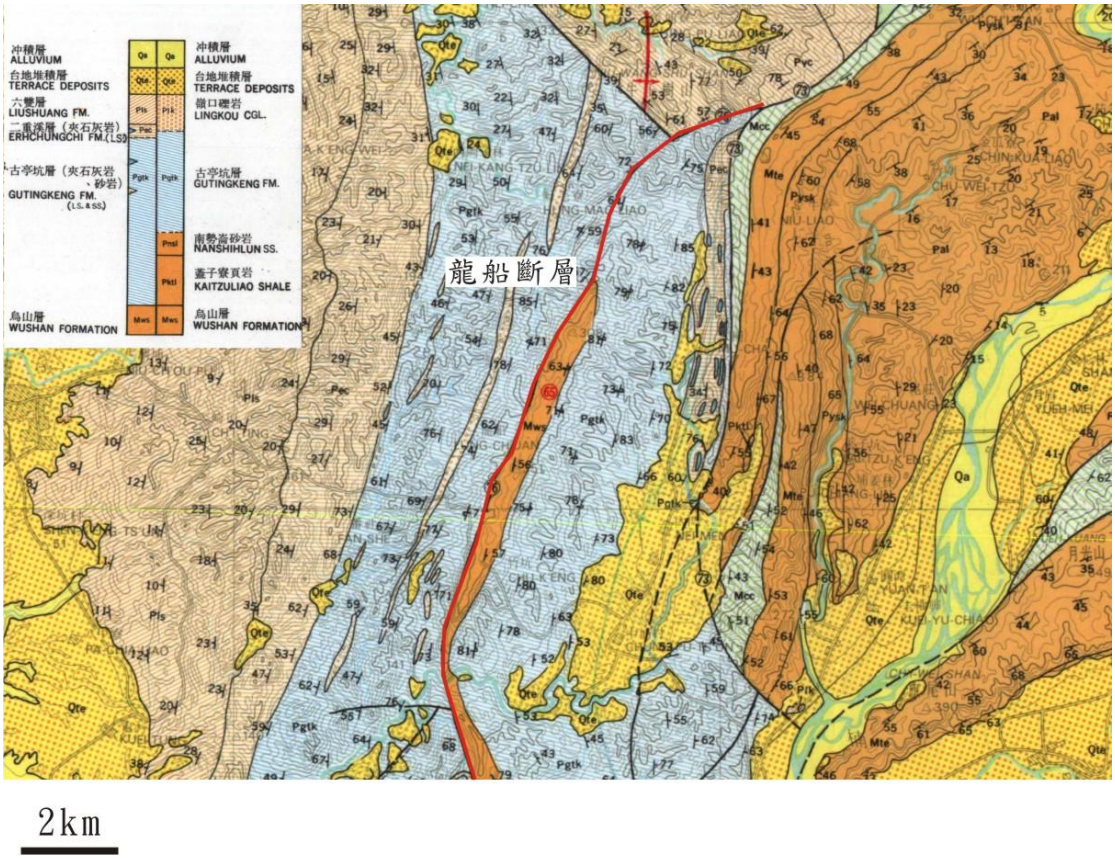


圖3.7.8、龍船斷層附近地質圖。龍船斷層西側可見古亭坑層為高傾角傾斜，而二重溪層大多為低角度傾斜。(底圖為中油十萬分之一台南圖幅)。



圖3.7.9、古亭坑層與二重溪層交界的不整合。

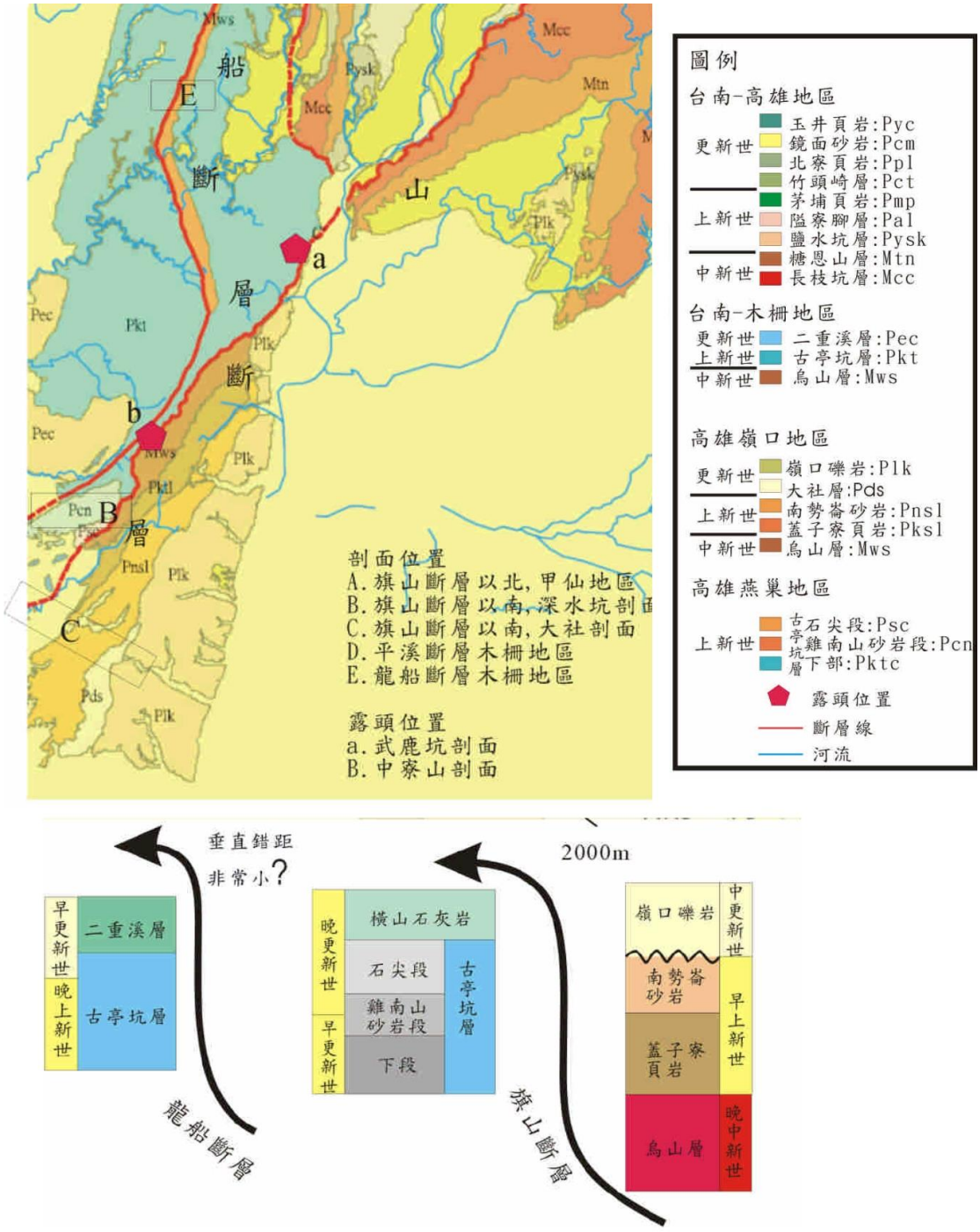


圖3.7.10、陳文山等(2005) 認為旗山鎮以南的深水坑剖面，旗山斷層上盤為上部中新統，下盤為下部上新統，地層垂直落差約2,000公尺。

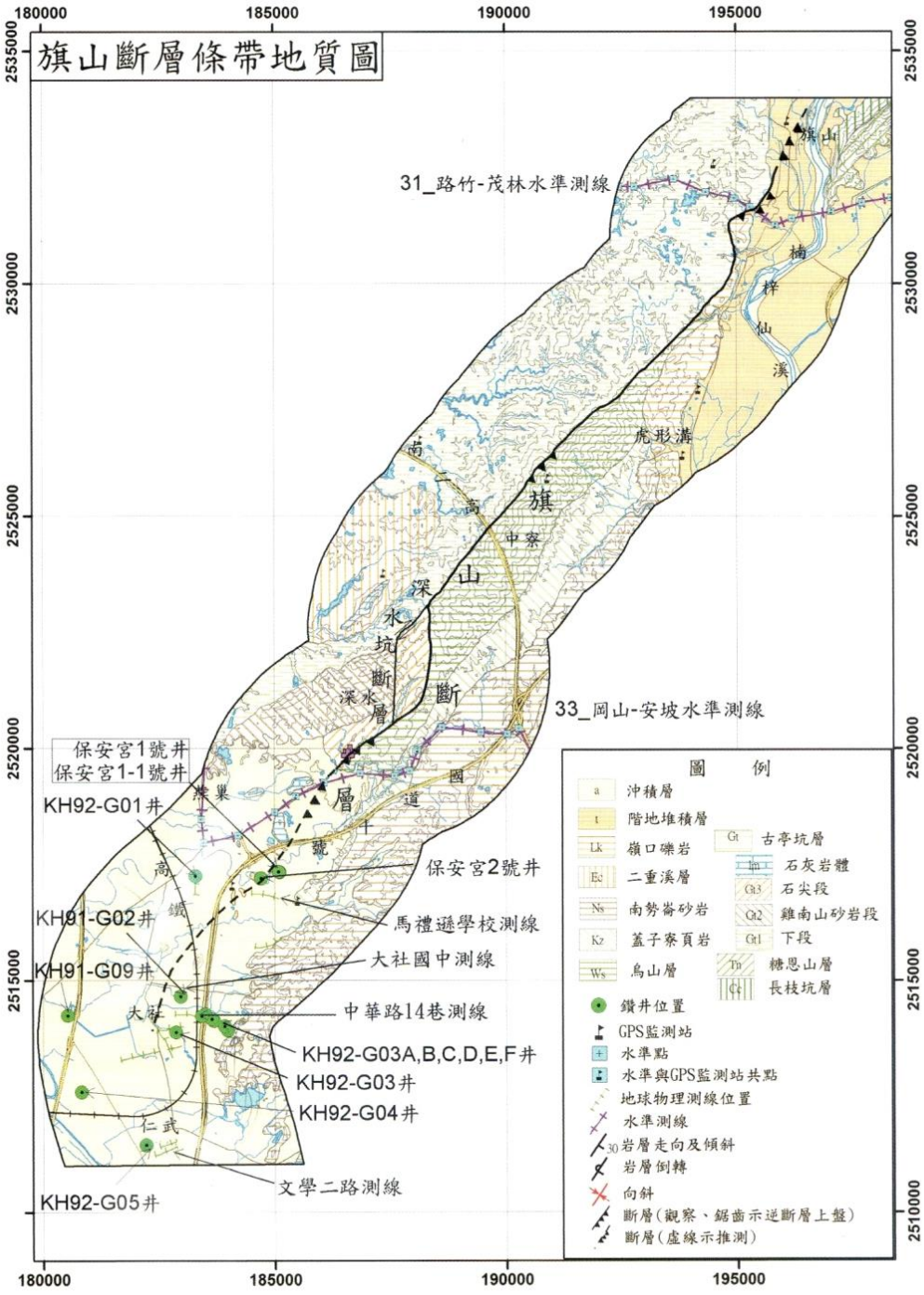
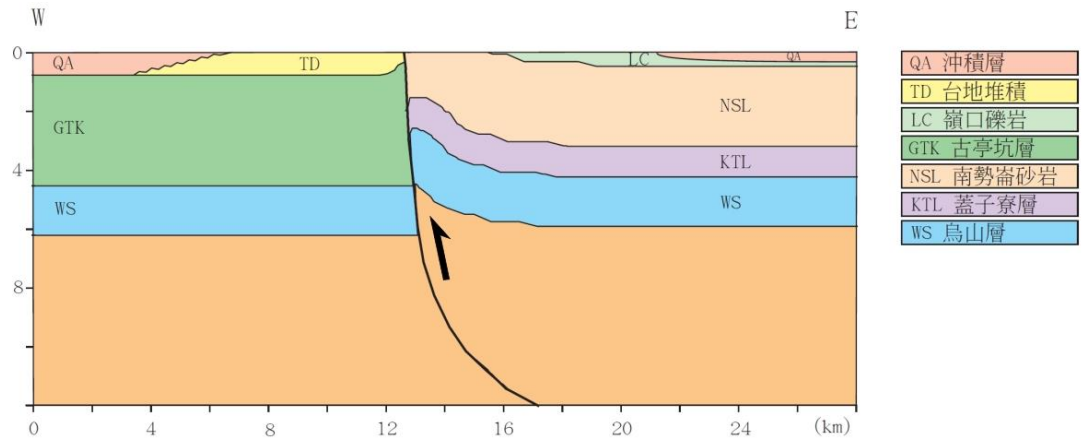
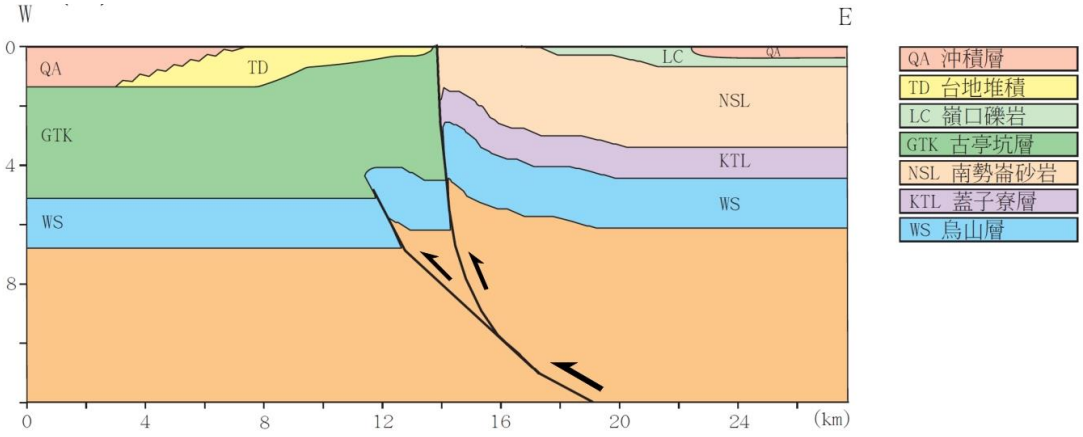


圖3.7.11、林啟文(2009)認為旗山斷層南延通過保安宮一號井與二號井，並結合平原區域鑽井資料認為旗山斷層南延轉為南北向東傾斜高角度斷層。



(a)



(b)

圖3.7.12、旗山斷層的運動學分析：(a)第一階段：旗山斷層為犁形逆斷層，其滑動造成斷層上盤向東傾斜。(b)第二階段：龍船斷層在此剖面為旗山斷層的分支盲斷層，造成古亭坑層形成背斜褶皺。

表3.7.1、旗山斷層與龍船斷層模擬參數

斷層名稱	旗山斷層	龍船斷層
斷層傾角	27°-85°	25°-65°
Trishear angle	60°	60°
p/s比值	10	0.5
傾角滑移量 (dip slip)	0.6 km	0.8 km

八、節要

旗山斷層，由旗山鎮向西南延伸至仁武一帶，長約30公里，為第一類活動斷層(林啟文等，2009)。旗山斷層走向近東北-西南向，斷層延伸至燕巢鄉後隱伏於全新世的沖積層之下，斷層上盤為以砂岩為主要組成的烏山層，下盤則以泥岩組成為主的古亭坑層。

為分析斷層帶地下構造，本研究先選在近斷層上盤處進行進行鑽探，目前已完成3孔各150公尺深之鑽探。全井由上至下遍佈剪切帶，許多剪切帶角度極高，研判仍在烏山層，由於古亭坑層離鑽井位置約十餘公尺，依此判斷斷層傾角極高。

本計畫目前已實施之淺層震測測線共有 4 條。2 條位於高雄縣大社東北邊，以東西走向沿嘉誠路（10P-CHNF-DS-01）以及大社路（10P-CHNF-DS-02）跨越旗山斷層施測，震測測線長度分別為 950 公尺及 525 公尺。另 2 條較為南邊，位於仁武北邊的水管路上，以國道 10 號分隔，分別為水管路西測線(10P-CHNF-RW-01)以及水管路東測線(10P-CHNF-RW-02)，長度分別為 965 公尺及 600 公尺。

測線10P-CHNF-DS-01之測點紀錄顯示，測線西側的紀錄可能是受到古亭坑泥岩的影響，紀錄的波列頻率較低，雖然震測施測時記錄了1.0秒紀錄，但在0.2秒以下便很難分辨出信號，而且在支距200公尺以外的波線亦很難看出信號。測線往東應會進入南勢崙砂岩，紀錄的波列頻率較高，但可能是受到測線蜿蜒以及高角度地層的影響，信號品質也不甚佳。

測線之重合剖面則顯示，剖面中間以西的部分有極淺部的反射信號出現，信號的連續性尚佳，然而在測線中間以東的部分，該反射信號便逐漸消失，而出現往東傾斜的較高角度反射信號，且這些傾斜反射在0.3秒以下便不復見。該剖面中西半部最上層的反射面可能為地表沖積層的界線，而其下方的反射面有可能為二重溪層在當地的底部。下方無信號區極可能為古亭坑層泥岩，因受岩性的影響而無反射信號出現。剖面東半部出現的高傾角反射層應即為往東傾斜的南勢崙砂岩，這些地層的角度最大的約為50度。因為測線可能並非與構造線正交，本測線所得到的地層傾角有可能比地表地質所得到的傾角低。由於本地區地層的傾角較高，加上測線蜿蜒而且本次震測時所達的最大遠支距僅480公尺，因而造成0.3秒

（約400公尺）以下的反射信號即無法看出。旗山斷層在此估計的出露地點可能位於嘉誠國小校園西側不遠處，斷層出露地點較現有資料估計的位置偏東。

測線10P-CHNF-DS-02之測點紀錄顯示，在0.2秒以下便很難分辨信號，在支距100公尺以外的波線亦很難看到信號。該測線之重合剖面中僅在最東側0.1秒以上有疑似的信號出現，這可能因為測線全部擺設於旗山斷層的古亭坑泥岩上造成。

綜合測線10P-CHNF-DS-01與10P-CHNF-DS-02的結果顯示，旗山斷層有切過測線10P-CHNF-DS-01，但未經過測線10P-CHNF-DS-02，旗山斷層應在測線10P-CHNF-DS-02的東側。

測線10P-CHNF-RW-01之測點紀錄顯示，除了初達波與很淺層的反射外很難分辨出信號。該測線之重合剖面中僅0.3秒以上能約略看出淺部往東傾斜的岩層信號。

測線10P-CHNF-RW-02之測點紀錄顯示，除了初達波與很淺層的反射外，很強烈的雜訊讓信號很難分辨。測線10P-CHNF-RW-02之重合剖面中僅在中部分間可以看見往東傾斜的岩層。

剖面10P-CHNF-RW-01以及10P-CHNF-RW-02中皆可見到往東傾斜的地層，非如古亭坑層般的無層狀影像。亦即這兩條斷層應皆為在旗山斷層的上盤，若旗山斷層有延伸至此，其在仁武的可能位置應在測線10P-CHNF-RW-01的西側。

旗山斷層北段的淺層震測測線則分別位於旗山北邊之圓潭一帶，分別為富興路測線(10P-CHNF-FS-01），以及圓潭路測線(10P-CHNF-YT-02）、長度分別為550以及1,120公尺。

測線10P-CHNF-YT-01之測點紀錄顯示，紀錄中可以見到淺部的反射信號以及強烈的地滾波，經濾波後地滾波能有效的減低，但較深部的反射信號仍不易區別。測線10P-CHNF-YT-01之重合剖面中僅在中間部分可以看見一往東傾斜地層，但信號的連續性不佳。由本測線所在的位置研判，本測線最上層的地表沖積層應可看見，但剖面中的沖積層可能因為厚度較薄而並無法區別。

測線10P-CHNF-YT-02之測點紀錄顯示，該測線的反射信號相對於富興路測

線較佳，其中可見較淺部的反射信號，但深部的信號仍不易區別。測線10P-CHNF-YT-02之重合剖面中可以看出本測線僅在最東側的頂部，0.1秒以上有清楚的水平沖積層，其下方地層往東傾斜，但0.3秒以下便無法看出。

剖面10P-CHNF-YT-01以及10P-CHNF-YT-02之中，均可見到往東傾斜的地層。剖面10P-CHNF-YT-01因比較靠近西側山區，台地堆積層因此較薄而不易區別。剖面10P-CHNF-YT-02因比較靠近河床中間，台地堆積較厚而清楚可見。因缺乏岩性的比對，這兩條剖面影像是屬於隘寮腳或糖恩山層仍無法進一步區別，但台地堆積層以下的岩層以位置而言亦較可能為隘寮腳層。從地質圖以及圓潭的這兩條震測剖面的結果研判，旗山斷層有可能還在測線的東邊。

由構造分析顯示，龍船斷層為沿泥貫入體褶皺的軸部發育的斷層構造或為擴展滑移比甚小之斷層擴展褶皺軸部斷層，或兩者兼而有之。此構造可能與西南外海的泥貫入體構造或陸上的中洲背斜、台南背斜與半屏山背斜類似。旗山斷層上盤地層可能為龍船背斜東翼的梨型斷層，由於持續擠壓，導致旗山斷層上盤地層向東傾斜。

由於本區域古亭坑層的反射信號欠佳，因此深部震測結果不易辨識，造成本區域的深部地下構造解釋不同。此外我們也發現這些構造解釋大多尺度較大，對於細部構造皆未描述，因此本研究先繪製淺部地下構造型態。圖3.5.6為由北向南的三個剖面，剖面中顯示旗山斷層上盤有不整合構造，且交角不整合在北側較大，向南逐漸變為假整合，下盤為龍船斷層(背斜)。

肆、大尖山斷層

一、背景資料

大尖山斷層位於斗六丘陵與竹山丘陵的交會處，大尖山斷層依其特性可分為南北兩段：斷層北段北以鹿寮斷層與車籠埔斷層以及初鄉斷層分界，南以古坑斷層與大尖山斷層南段分野，為高角度逆移斷層兼具右移性質，約呈東北走向，形成竹山丘陵與西部衝上斷層山地交界，本段在 1999 年集集地震時出現明顯的右移活動，最大錯移量約 1.8 公尺（林啟文等，2000）。大尖山斷層南段則以竹崎斷層與觸口斷層相接，為一低角度逆移斷層，斷層由東北走向轉東南走向，由古坑鄉樟湖延伸至嘉義縣竹崎鄉金獅寮；總長約 25 公里（圖 4.1.1，中國石油公司，1986；黃鑑水等，1994；劉桓吉與李錦發，1998；張徽正等，1998；林啟文等，2000 與 2007）。斷層北端在竹山鎮嶺腳附近與鹿寮斷層連接，南端在金獅寮附近與水社寮斷層及觸口斷層連接。由於大尖山斷層南北兩段的位態與運動方式有明顯的不同，因此亦有學者建議將大尖山斷層南段歸屬於觸口斷層（陳文山等，2004）。

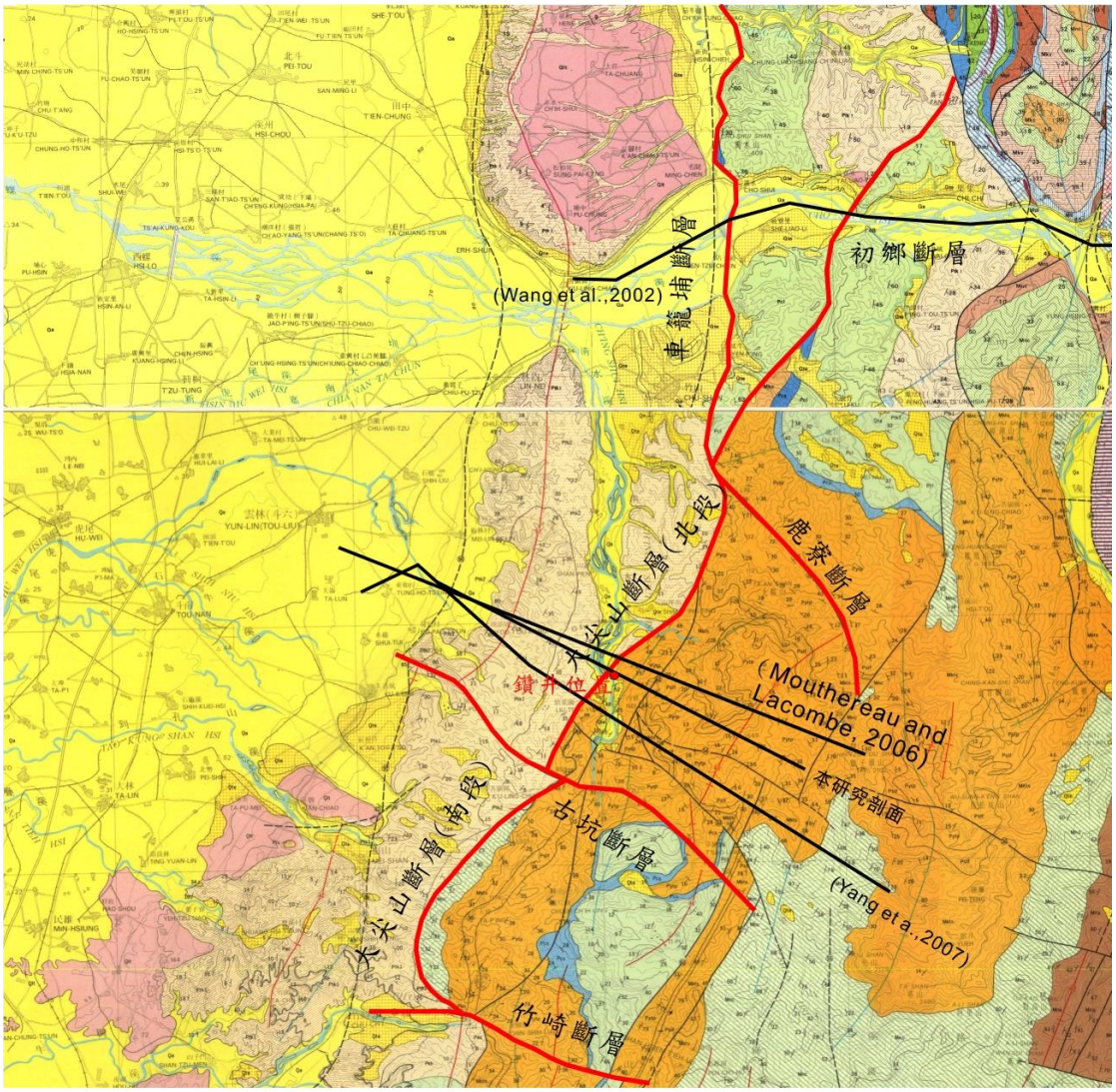


圖4.1.1、大尖山斷層附近地質圖（中油十萬分之一台中與嘉義地質圖，1982，1986），黑線標示各研究之剖面位置。

二、區域地質

大尖山斷層上盤出露南莊層、桂竹林層、錦水頁岩以及卓蘭層，下盤為頭嵙山層、階地堆積層與沖積層（圖 4.1.1，中油公司台探總處，1986），斷層兩側層位落差約 2,400 公尺。南莊層以灰白色中至厚層砂岩及砂岩與頁岩互層為主。桂竹林層可分為三段，下段關刀山砂岩以淡青灰色細至中粒塊狀泥質砂岩為主；中段十六份頁岩由深灰色頁岩所組成；上段大窩砂岩由厚層灰色至淡灰色砂岩為主，夾薄層頁岩。錦水頁岩以深灰色頁岩為主，夾暗灰色凸鏡狀砂岩及薄層頁岩。卓蘭層以淡灰至灰色細粒泥質砂岩為主，偶夾砂岩與頁岩的薄互層。頭嵙山層分為兩段，下段主要為厚層砂岩及砂岩與泥岩的互層，上段以礫岩為主，夾透鏡狀砂岩，本層分布於斗六丘陵、竹山丘陵及坪頂埔台地。階地堆積以礫石層為主，局部含透鏡狀砂層，主要分布於濁水溪及其支流兩岸。沖積層以礫石、砂及泥為主，分布於濁水溪及其支流的河床（劉桓吉與李錦發，1998）。

中央地質調查所曾在桶頭附近對大尖山斷層進行地質鑽探，其結果顯示斷層上盤的桂竹林層大窩細砂岩段，在近斷層帶處為均已受剪切的砂頁岩互層，傾斜約60度至70度，由地表地質資料推測其應為近北北東走向，向東傾斜。剪切帶主要以層間滑動為主，但也常見近乎鉛直，呈走向滑移形式的滑動面切穿岩層。薄至中層砂岩則普遍受剪為碎裂至壓碎角礫岩，頁岩部分均已形成斷層泥，多與圍岩呈明顯的界線，寬度普遍在5公分內，由於塑性較高，斷層泥的葉理往往再受到褶曲。在斷層帶中滑動面亦多大於72度，並以走向滑移形式擦痕為主，與集集地震地表破裂於大尖山斷層北段表現出的右移形貌符合，顯示現今大尖山於此由逆衝轉為以右移形式的走向滑移斷層活動為主，地表上斷層帶由一系列疊置斷塊構造與分支斷層聯合交錯而成。

三、地形特徵

本區地形明顯反應構造與岩性特徵。在桂竹林層、南莊層與卓蘭層等較堅硬的砂岩出露處，地形較高（圖4.3.1）。砂岩層的出露受控於斷層作用，而階地的分布亦反應斷層的活動性，東埔蚋溪在通過初鄉斷層兩側，階地沈積物厚度有極大的差別，Simoes et al.(2007)利用定年及斷層傾角推估初鄉斷層滑移速率約 2.9±1.6 mm/yr（圖4.3.2）。

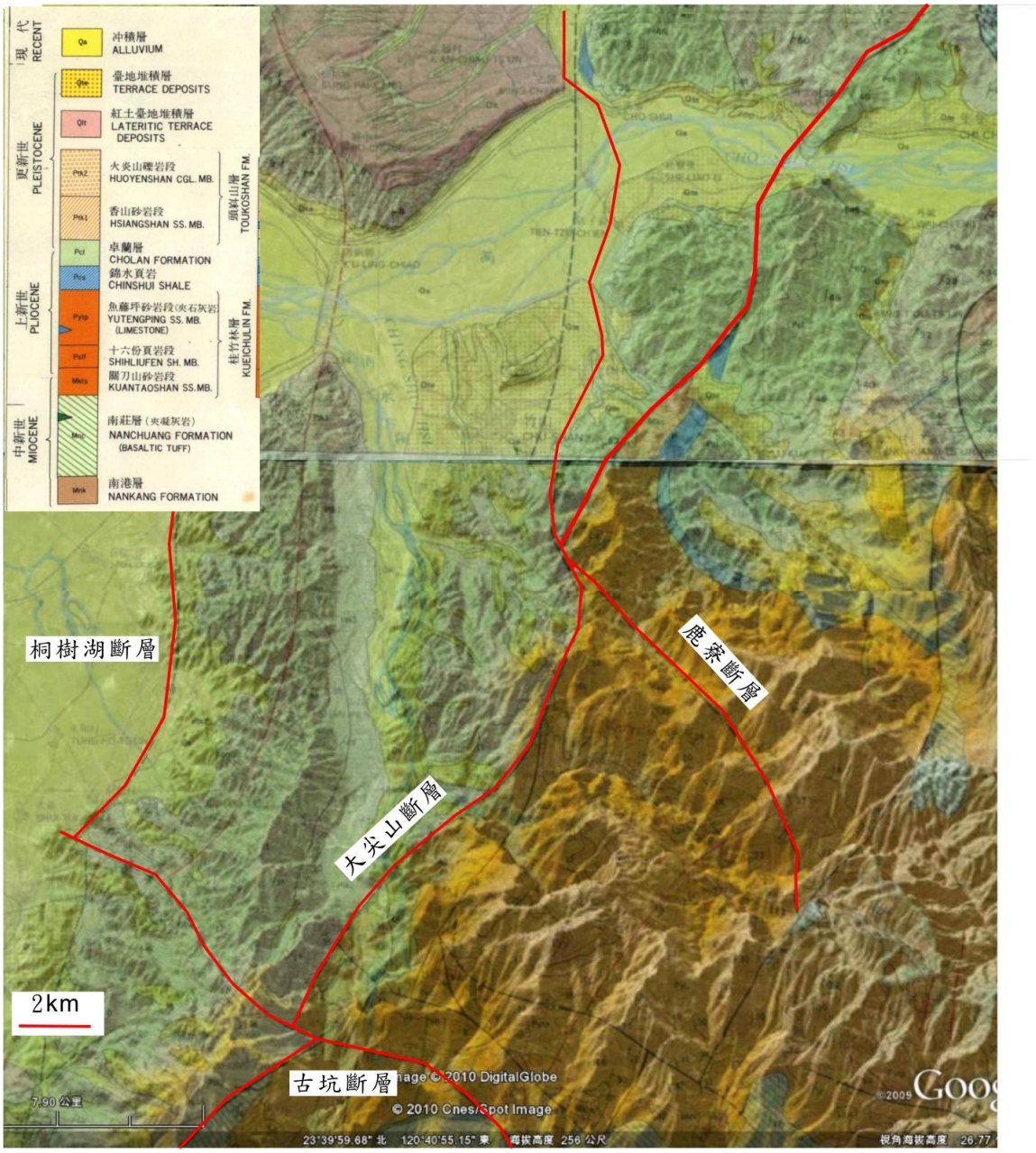
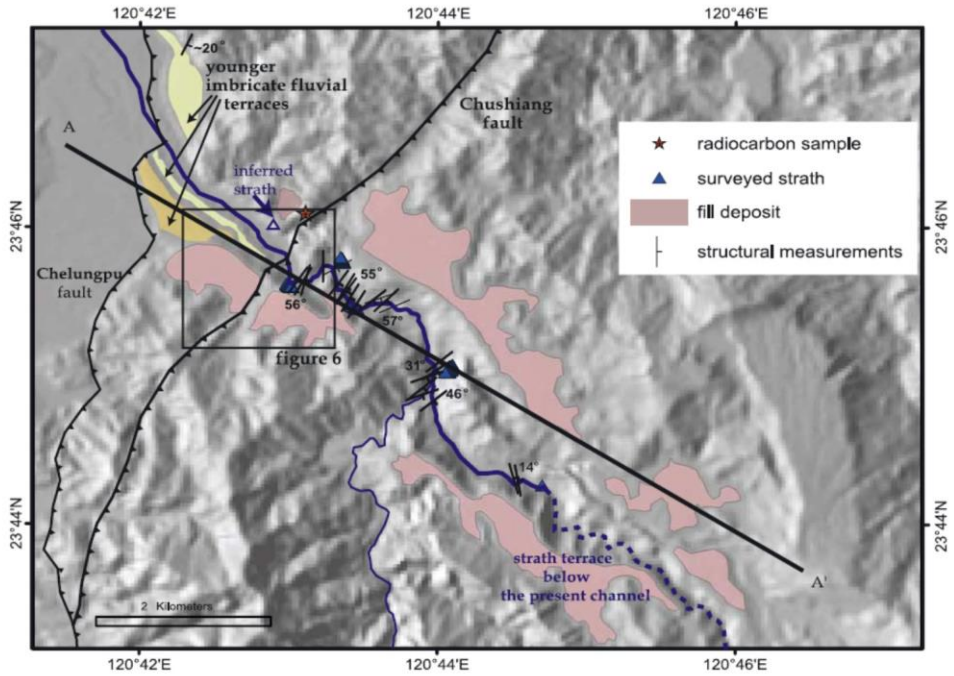
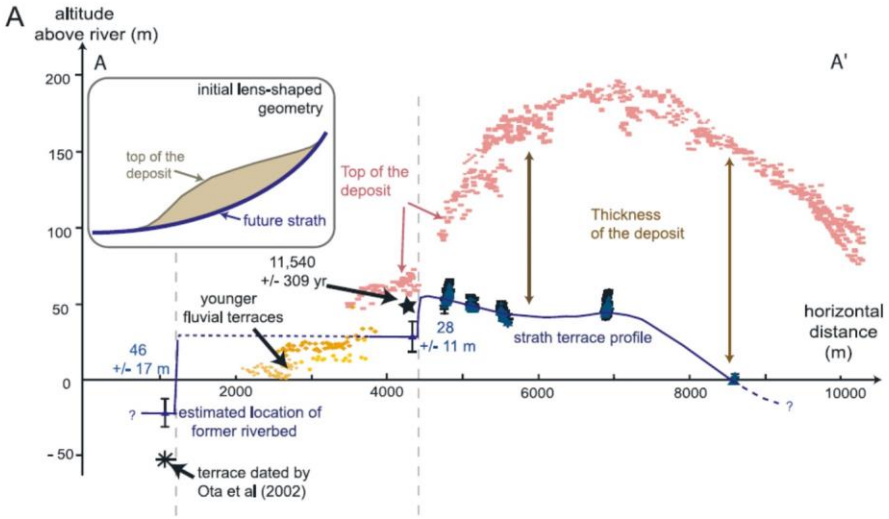


圖4.3.1、中油地質圖套疊數值地形圖，可見岩性與地形之間息息相關。



（a）



（b）

圖4.3.2、(a)東埔蚋溪的階地分布。

(b)階地厚度分布（粉紅色圓點），圖中可見初鄉斷層兩側階地厚度相差甚大 (Simoes, et al.，2007)。

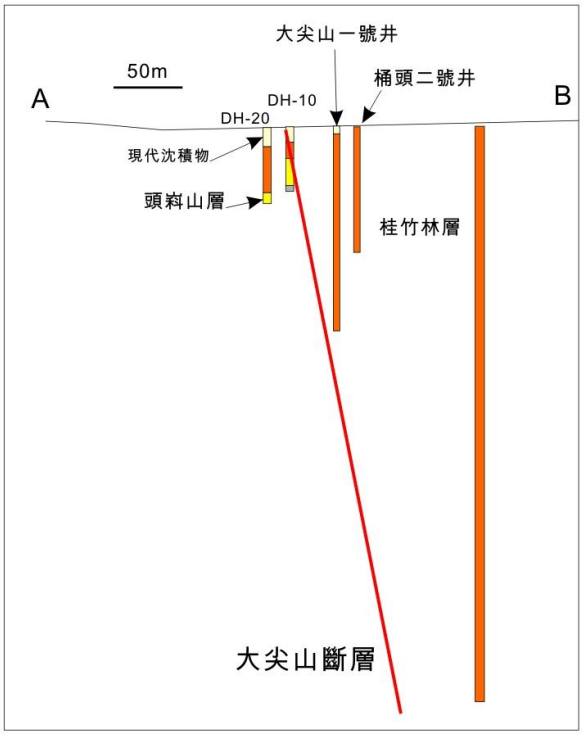
四、地質鑽探

1.大尖山一號井淺層鑽探與岩芯記錄

本研究在桶頭橋南側進行鑽探，鑽探深度為150公尺，鑽探位置與地質剖面如圖4.4.1，岩芯記錄如圖4.4.2所示，整段岩心皆位於斷層帶之中，斷層帶內剪切面傾角約70-90度間。此與在桶頭橋旁的露頭觀察一致，此鑽探位置緊臨於集集地震地表破裂20餘公尺之處，與槽溝開挖位置相鄰，但整口岩心為桂竹林層的大窩細砂岩段，並未鑽至頭嵙山層。過去此處附近已鑽過數口鑽探井，如桶頭一、二號井、DH-10井與DH-20井，由於所有井的剪切帶皆呈現高傾角，因此顯示斷層為高傾角斷層，此次鑽探結果亦與過去結果近似。



(a)



(b)

圖4.4.1、大尖山一號井位置與剖面圖。綜合附近的鑽探結果皆顯示，近期的大尖山斷層為一高角度橫移斷層。

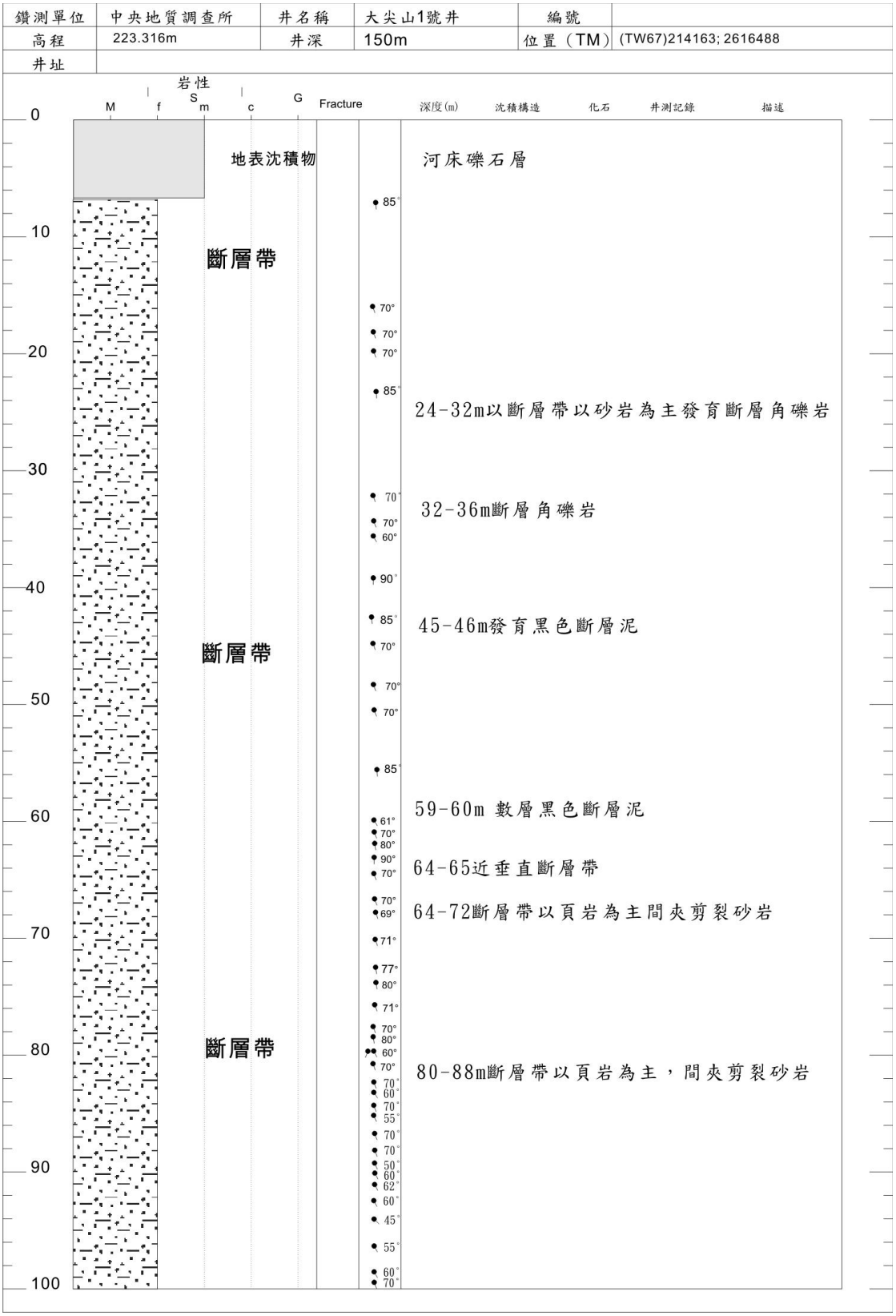


圖4.4.2、(a)大尖山斷層一號井0-100m井錄。

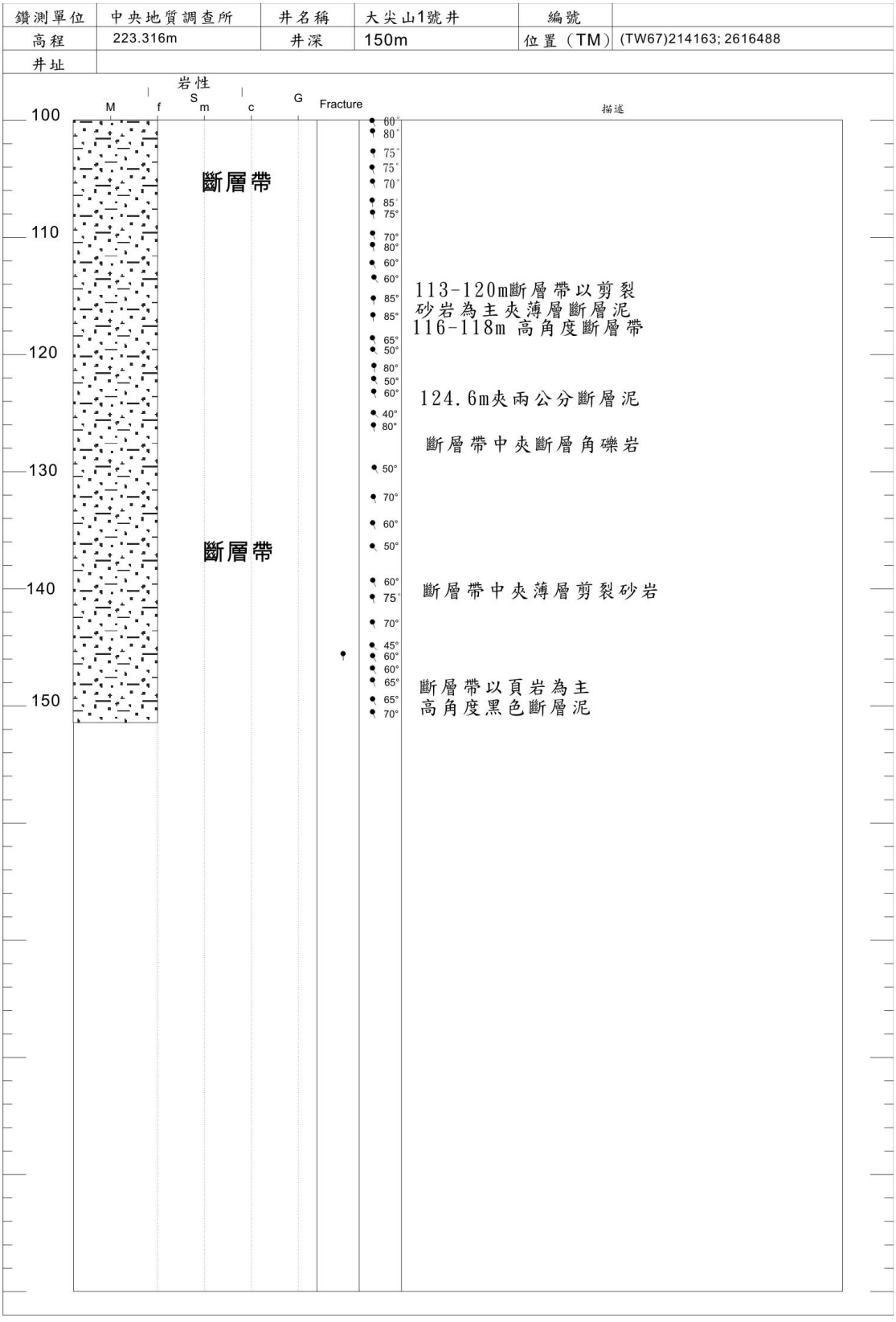


圖4.4.2、(b)大尖山斷層一號井100-150m井錄。

五、地表地質、岩芯與震測剖面關係

1.大尖山斷層帶地表沉積物厚度及各地層的厚度與界面

在大尖山一號井地表沈積物僅約7公尺厚，其餘皆在斷層帶中，在DH-10井中沈積物厚度為12.7公尺，DH20中為15.1公尺，在桶頭橋中可見在斷層帶之上約有數公尺的階地堆積物。由於大尖山斷層為高角度斷層，因此近斷層的地層皆為桂竹林層。

2.大尖山斷層帶的範圍、斷層帶內各分支斷層的位置與性質及解析精度

大尖山斷層早期為逆斷層形式，總位移量約十餘公里，因此形成約200公尺的斷層帶，後期以走向滑移斷層為主，帶有些微的逆衝分量，此導致在井中的斷層帶皆為高角度傾斜。

3.跨大尖山斷層含主斷層兩側2公里內的構造剖面

在桶頭橋附近並無深部震測剖面，因此地下剖面由地表地質資料所建立，圖4.5.1為本研究所建立剖面，大尖山斷層目前近地表為高角度斷層，其後接內寮向斜與檳榔宅斷層，由於檳榔宅斷層長度僅約4公里，因此為一位移量相對較小的斷層。向東側為寬廣的石崁湖背斜。在Yang et al.(2007)的研究中繪製的石崁湖背斜唯一較為緊密的背斜，但此構造形態似乎僅見於檳榔宅斷層南段。在Yang et al.(2007)的研究中認為檳榔宅斷層為位移量較大的斷層，但考慮斷層長度僅約4公里，與區域性構造形態，本研究認為檳榔宅斷層位移量並不大。

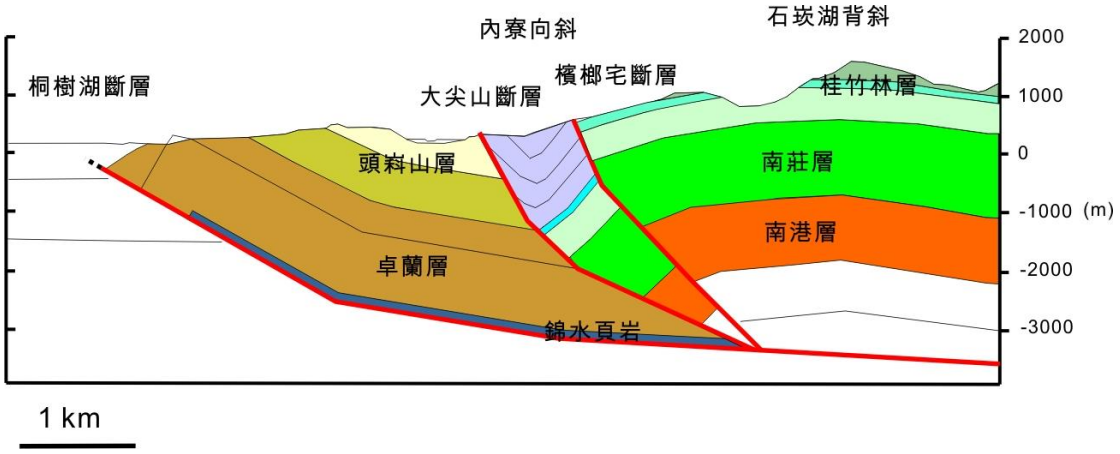


圖4.5.1、大尖山斷層兩側構造剖面圖。剖面位置參見圖4.1.1。本研究認為大尖山斷層近斷層為高角度傾斜，檳榔宅斷層為位移量較小的斷層。

4.大尖山斷層的分段

大尖山斷層的北端以竹山附近為界，北接車籠埔斷層，車籠埔斷層上盤以單斜構造為主，但大尖山斷層上盤為一系列背斜與向斜，顯示兩斷層特性不同，而此兩斷層之間有鹿寮斷層，由集集地震同震變形特性顯示此斷層為左移斷層，此外在鹿寮斷層北側有初鄉斷層，初鄉斷層上盤亦發育向斜構造，且上盤為桂竹林層與大尖山斷層相同，且初鄉斷層斷層走向亦與大尖山斷層相同，因此我們認為大尖山斷層與初鄉斷層原為相連接斷層，但後來被左移的鹿寮斷層所截切，由地質圖上我們大致估計鹿寮斷層位移量約 1.3 公里（圖 4.3.1）。大尖山斷層被古坑斷層切割為南北兩段，斷層北段呈高傾角傾斜，南段 25-30 度向東度傾斜，南北段上盤的構造形態亦不同，集集地震同震時僅北段活動。因斷層特性不同，因此未來討論斷層名稱時，建議分為兩條斷層。大尖山斷層南界為竹崎斷層，亦為一左移斷層，由於大尖山斷層為第一類活動斷層，依此邏輯，則古坑斷層、竹崎斷層與鹿寮斷層皆建議列為未來加強調查斷層（圖 4.3.1）。這些斷層的分段可能反應沈積盆地的差別，沈積盆地的差異不僅伴隨正斷層的發育，沈積物的厚度亦造成構造形態的差異。

5.大尖山斷層在集集地震時的同震變形

圖 4.5.2 為集集地震時的同震位移場(Yu et al.，2001; Yang et al.，2000)，圖中顯示大尖山斷層上盤位移方向為西南向，與斷層走向近似，顯示其為右移斷層，野外調查結果亦復如此。在鹿寮斷層北側地殼位移方向為西北向，以南為西南向，顯示鹿寮斷層以左移的走向滑移斷層為主，在初鄉斷層上盤與下盤亦顯示不同的位移方向，由位移形態顯示初鄉斷層在集集地震時運動方式為逆衝兼具左移形式。

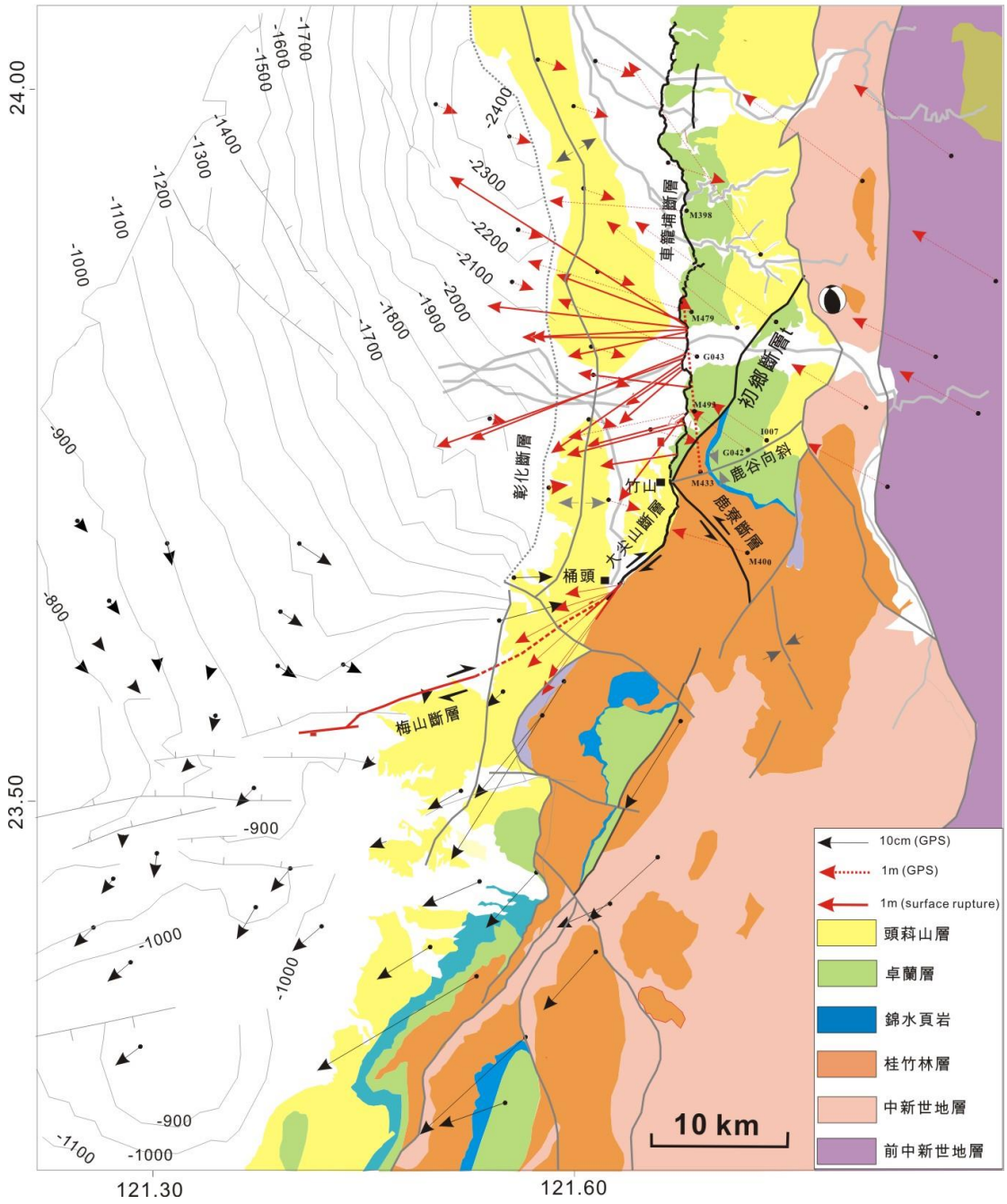
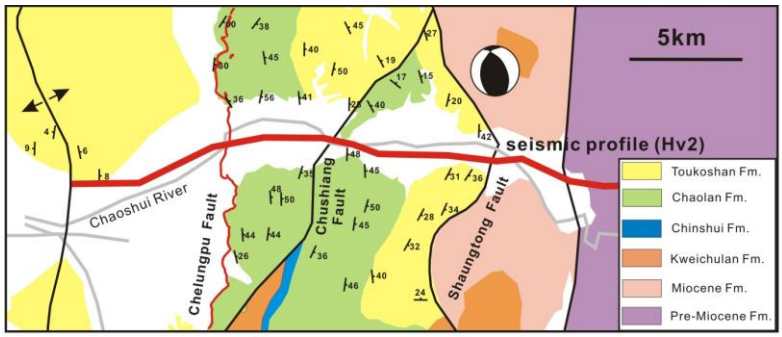


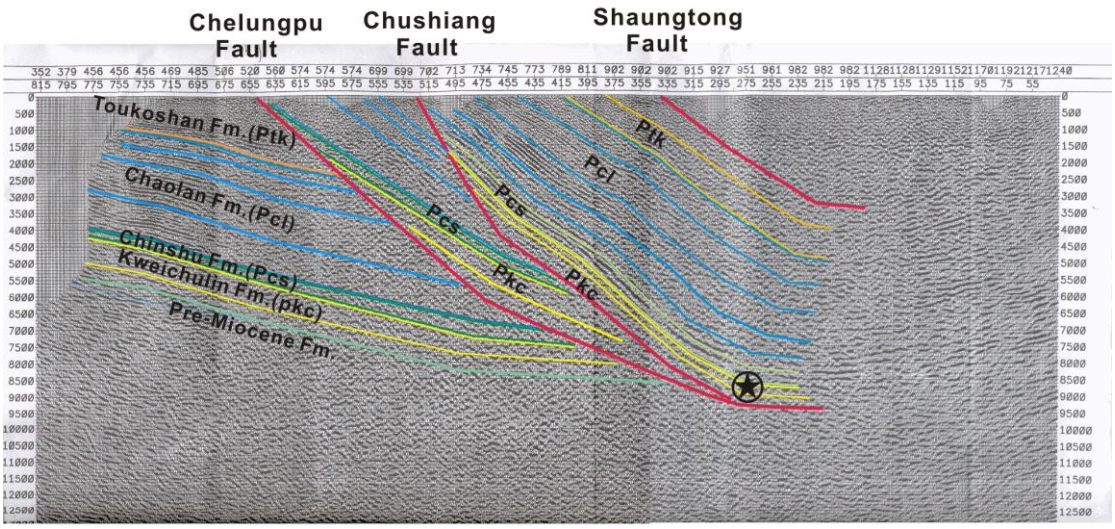
圖4.5.2、大尖山斷層在集集地震時的同震位移場，圖中的等值圖為上新世頂部的深部分布圖，此亦近似厚度分布圖(Pan，1968)。大尖山斷層南段與北段的分界似乎與沈積盆地形態息息相關。

6.大尖山斷層地下構造形態

雖然大尖山斷層在集集地震時以右移走向滑移形式為主，且地質鑽探亦顯示其為高角度斷層，但斷層上盤為桂竹林層逆衝於頭嵙山層之上，顯示此斷層在過去以逆衝為主要的變形機制。雖然目前尚缺乏大尖山斷層北段的深部震測研究，但我們可利用構造相似的初鄉斷層來一窺端倪。圖4.5.3(a)為沿濁水溪通過初鄉斷層的深部震測剖面(Wang et al.，2002)，圖4.5.3(b)為本研究重新解釋的剖面，根據新的解釋，我們認為初鄉斷層斜切地層層面而非沿錦水頁岩發育，因此斷層上盤出現桂竹林層，此解釋符合地質圖所顯示在初鄉斷層南段上盤有桂竹林層出露。由於斷層位移量向北漸減，因此桂竹林層在初鄉斷層北段上盤未出露地表，但在深部的斷層上盤仍應有桂竹林層。初鄉斷層在近地表呈高角度傾斜，此與大尖山斷層近似（如楊耿明，2000；圖4.5.2；Mouthereau and Lacombe，2006；圖4.5.5）。



(a)



(b)

圖4.5.3、車龍埔斷層與初鄉斷層的深部震測剖面 (Wang et al.，2002) (a)通過濁水溪的震測剖面位置 (b)本研究震測剖面解釋。初鄉斷層與車籠埔斷層皆為切過層面構造，初鄉斷層近地表呈高角度傾斜。

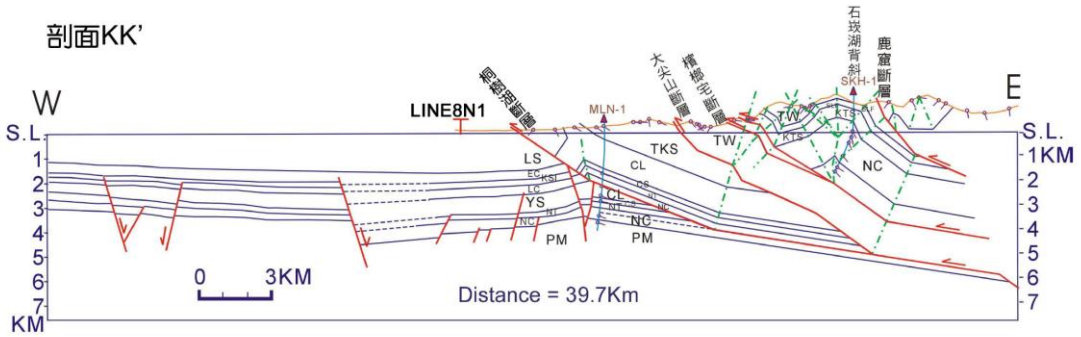


圖4.5.4、楊耿明等（2000）所繪製大尖山斷層地下構造剖面。

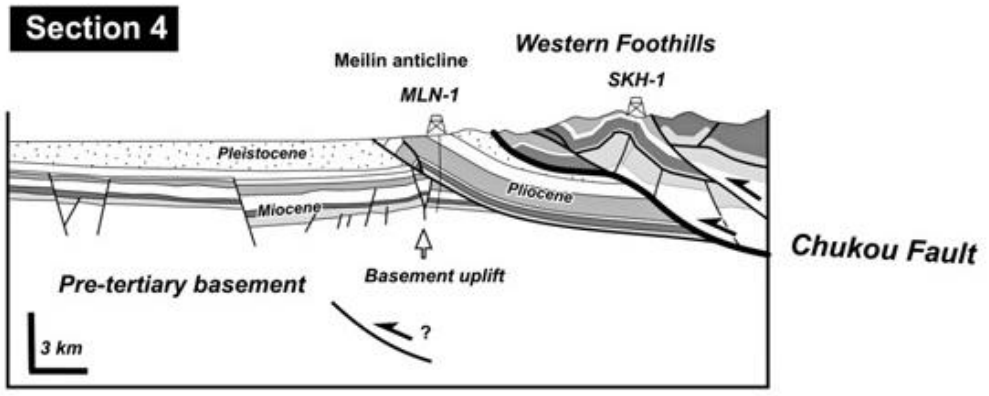


圖 4.5.5、Mouthereau and Lacombe（2006）所繪製的觸口斷層（即本文之大尖山斷層）地下構造剖面。

六、地球物理與大地測量

中央地質調查所亦曾對大尖山斷層進行淺層震測、地電測勘與大地測量，圖4.6.1為桶頭一帶的震測與地電測線配置圖。測量之結果茲分述如下:

1.淺層震測

桶頭社區淺層震測結果顯示（圖4.6.2下）在桶頭階地下斷層帶寬近300公尺，斷層帶中可見到岩層受到強烈擾動，形成緊密的小波長褶皺與破碎帶，具數組高角度的分支斷層，呈現走向滑移斷層於接近地表開叉的花狀構造特徵。

2.地電測勘

在大尖山斷層下盤出現高視電阻率層的頭嵙山礫岩層（圖4.6.2上），而其上覆的低視電阻率(15~40Ω-m)及地表之中電阻率層(150~400Ω-m)是現代沖積層。而在斷層上盤則出現之低視電阻率之上新世地層。此高、低視電阻率之界面以高角度向東傾斜，它是大尖山斷層面位置或是斷層前緣的疊合面。在九二一地震之前的斷層面曾超覆早期斷層前緣疊合面，而九二一地震之斷層帶前緣與早期斷層前緣疊合面相近。

3.大地測量

由地殼變形的監測結果顯示，大尖山斷層在1996~1999年間，上下盤的水平位移變化量不大，為左移兼具逆移性質，但1999年集集地震後上下盤的水平位移變化量超過100公厘/年，至2005年之後，斷層上下盤的水平位移變化量逐漸回復至5~30公厘/年，並呈逆移形式兼具右移方式運動。另2003~2005年的精密水準測量結果顯示高程變化量約在10~20公厘之間；這些資料指示大尖山斷層仍具相當的活動潛勢。

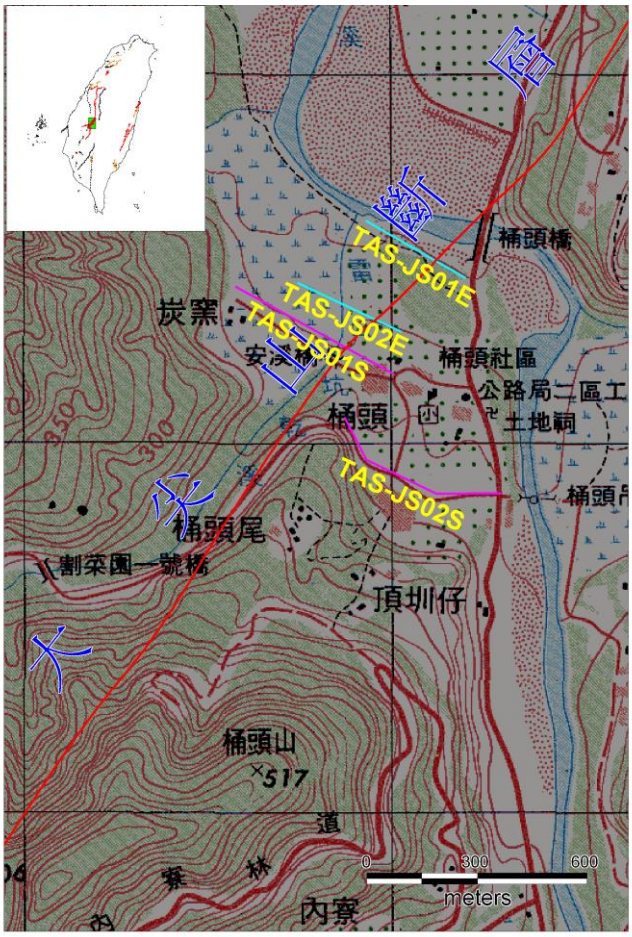


圖4.6.1、桶頭一帶的震測與地電測線配置圖。(圖中粉紅色線為震測測線，而淺藍色線代表地電測線)。

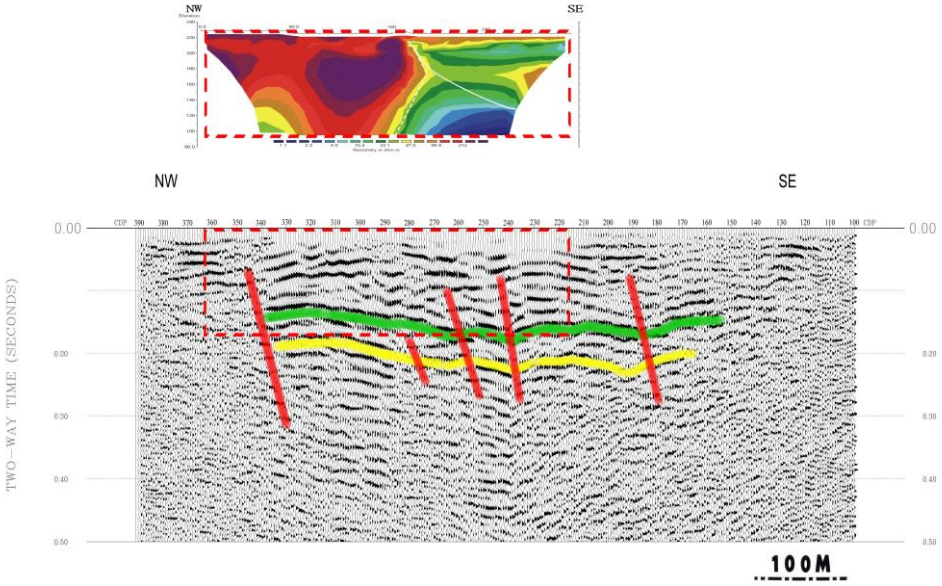


圖4.6.2、地電測線TAS-JS02E與震測測線TAS-JS01S與JS02S的整合解釋圖。(震測剖面紅色虛線框的位置即為地電剖面所涵蓋的位置)。

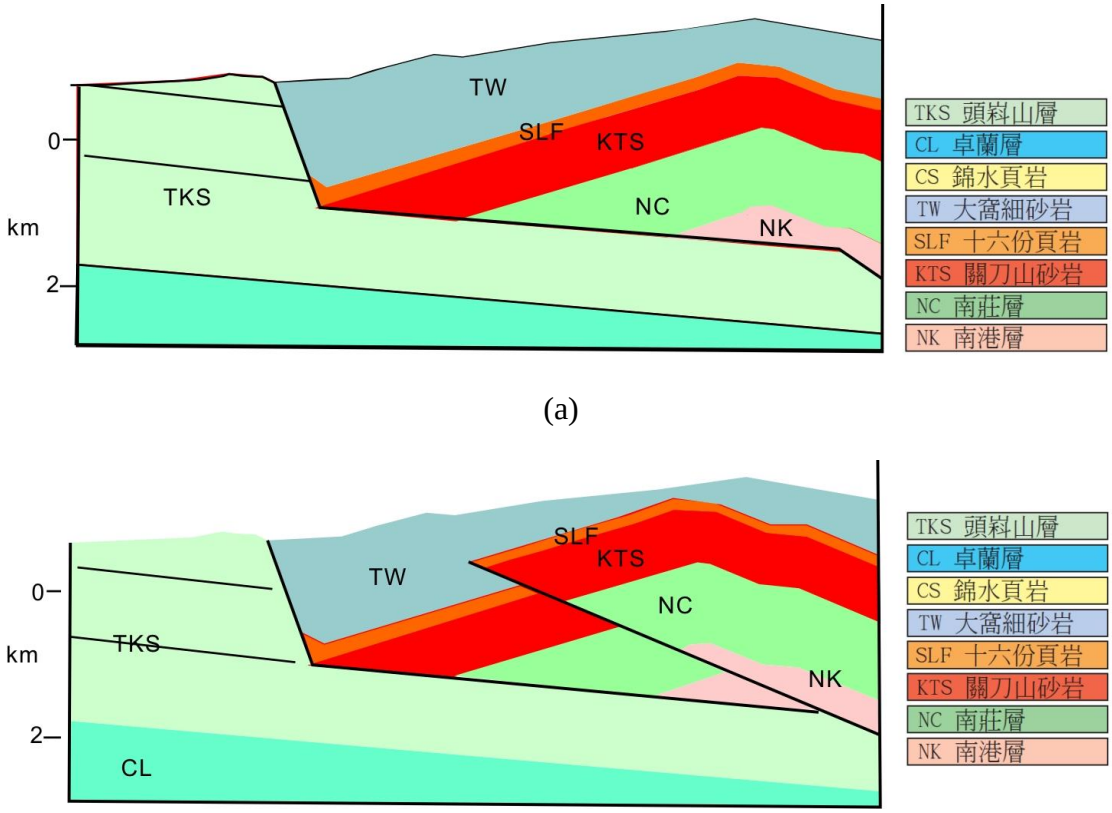
七、大尖山斷層的運動學分析

1.前人研究

對於大尖山斷層的地下構造解釋，楊耿明等（2000，圖 4.5.4）與 Mouthereau 及 Lacombe（2006，圖 4.5.5）在斷層形貌的看法上大致相似，但對其運動學上的解釋卻大異其趣。如楊耿明等人認為大尖山斷層是沿著大窩細砂岩的層面滑動，因此地層面與斷層面的傾角一致，且大窩細砂岩在大尖山斷層形成前可能深達 6 公里以上。而 Mouthereau 及 Lacombe 則認為大尖山斷層截切了桂竹林層，因此桂竹林層的傾角較大尖山斷層為小。此外對於其東側檳榔宅斷層，楊耿明等人認為它與大尖山斷層同屬主斷層，但 Mouthereau 及 Lacombe 則認為檳榔宅斷層僅為大尖山斷層在淺部的分支斷層。由於缺乏震測資料，對於深部構造不易直接判斷，但根據中油地質圖顯示，檳榔宅斷層斷層的長度遠小於大尖山斷層，並在大尖山斷層北段與其合而為一，因此研判其為支斷層的可能性較大。另外，郭正隆（1997）分析石崁湖背斜上 SKH-1 的岩芯，發覺南港層的鏡煤素反光率約為 0.6-0.7，以此推論，大窩細砂岩被深埋至 6 公里以下的機會可能不大。

2.運動學模擬

我們根據地表地質以及鑽井資料，利用斷層彎曲褶皺來模擬大尖山斷層附近的地質構造，剖面位置如圖 4.1.1 所示，詳細的模擬參數列於表 4.7.1。圖 4.7.1 為模擬結果，我們認為大尖山斷層存在數個斷坪與斷坡，由於斷層的彎曲，造成石崁湖背斜與其西側向斜構造。我們也推測大尖山斷層截切地層面，因此大窩細砂岩埋藏深度不超過 4 公里，以符合鏡媒素反光率的研究。根據我們的模型，大尖山斷層的最大累積位移量可達 13 公里。而檳榔宅斷層僅為大尖山斷層在淺部的分支斷層。



(a)

(b)

圖4.7.1、大尖山斷層的運動學分析：(a)第一階段：大尖山斷層為由斷坪-斷坡所組成之斷層，其滑動造成斷層上盤產生石崁湖背斜與其西側向斜構造，同時大尖山斷層截切大窩細砂岩層。(b)第二階段：檳榔宅斷層為大尖山斷層在淺部的分支斷層，截切向斜東翼。

表4.7.1、大尖山斷層與檳榔宅斷層模擬參數

斷層名稱	大尖山斷層	檳榔宅斷層
斷層傾角	5°-23°-5°-67°	23°
傾角滑移量 (dip slip)	13.6 km	0.8 km

八、節要

大尖山斷層沿線大多為山區，淺層震測測線不易擺設，而且當地的地層反射情形也因跨斷層之地質因素而沒有良好的信號，因此，本計畫於大尖山斷層之研究把重點放在深部地下構造解釋、野外地質調查、以及斷層運動學模擬等。

大尖山斷層北段北以鹿寮斷層與車籠埔斷層以及初鄉斷層分界，南以古坑斷層與大尖山南段斷層分野，為高角度逆移斷層兼具右移性質，約呈東北走向，形成竹山丘陵與西部衝上斷層山地交界。大尖山斷層南段則以竹崎斷層與觸口斷層相接，為一低角度逆移斷層，斷層由東北走向轉東南走向，由古坑鄉樟湖延伸至嘉義縣竹崎鄉金獅寮；總長約 25 公里。斷層北端在竹山鎮嶺腳附近與鹿寮斷層連接，南端在金獅寮附近與竹崎斷層及觸口斷層連接。

大尖山斷層的北界在竹山附近，北接車籠埔斷層，車籠埔斷層上盤以單斜構造為主，但大尖山斷層上盤為一系列背斜與向斜，顯示兩斷層特性不同，而此兩斷層之間有鹿寮斷層，由集集地震同震變形特性顯示此斷層為左移斷層，此外在鹿寮斷層北側有初鄉斷層，初鄉斷層上盤亦發育向斜構造，且上盤為桂竹林層與大尖山斷層相同，另初鄉斷層斷層走向亦與大尖山相同，因此我們認為大尖山斷層與初鄉斷層原為相連接斷層，但後來被鹿寮斷層所切，由地質圖上我們大致估計鹿寮斷層位移量約 1.3 公里（圖 4.3.1）。

雖然大尖山斷層在集集地震時以右移走向滑移形式為主，且地質鑽探亦顯示為高角度斷層，但斷層上盤為桂竹林層逆衝於頭嵙山層之上，顯示過去以逆斷層為主要的變形機制。由於大尖山斷層北段可能與初鄉斷層構造相近，故本研究利用沿濁水溪之深部震測剖面(Wang et al.，2002)，重新解釋該剖面之構造。此剖面中顯示初鄉斷層為斜切地層層面斷層，斷層上盤出現桂竹林層，與地質圖顯示在初鄉斷層南段上盤有桂竹林層出露之情形相符。

根據運動學分析，我們認為大尖山斷層存在數個斷坪與斷坡，由於斷層的彎曲，造成石崁湖背斜與其西側向斜構造。我們也推測大尖山斷層截切地層面，因此大窩細砂岩埋藏深度不超過4公里。根據我們的模型，大尖山斷層的最大累積位移量可達13公里，而檳榔宅斷層僅為大尖山斷層在淺部的分支斷層。

伍、討論與結論

本研究目前之進度除了收集與研讀相關資料與文獻、進行野外地質與地形調查、完成5,080公尺的淺層震測測線，及完成4孔的地質鑽探外，並已進行旗山斷層與大尖山斷層之構造與運動學分析。構造分析顯示，旗山斷層下盤的龍船斷層為沿泥貫入體褶皺或斷層擴展褶皺軸部發育的斷層，亦或兩者兼而有之。旗山斷層為龍船背斜東翼的犁形逆斷層，由於持續擠壓，導致旗山斷層上盤地層向東傾斜。我們也認為大尖山斷層與初鄉斷層原為相連接之斷層，但後來被鹿寮斷層所截切，由地質圖上地層的錯位，我們大致估計鹿寮斷層位移量約1.3公里。我們也認為大尖山斷層存在數個斷坪與斷坡，由於斷層的彎曲，造成石崁湖背斜與其西側向斜構造。我們同時推測大尖山斷層截切地層面，因此大窩細砂岩埋藏深度不超過4公里。根據我們的模型，大尖山斷層的最大累積位移量可達13公里，而檳榔宅斷層僅為大尖山斷層在淺部的分支斷層。

旗山斷層沿線之震測資料品質不佳，可能主要是受到古亭坑層泥岩以及南勢崙砂岩等高角度傾斜岩層的影響。旗山斷層在大社一帶及其往南區域，出現的位置應較現認為的位置往東，與地形面貼近。旗山斷層往北的延伸，因為無岩性的控制，由震測剖面中仍無法進一步區別。

目前對旗山斷層的運動學以定性討論較多，但若檢視GPS控制點的位置，發現控制點位置並非僅在旗山斷層上下盤，且控制點涵蓋龍船斷層與旗山斷層，因此GPS所顯示的縮短量不僅包含旗山斷層的位移，亦包含龍船斷層的活動量，因此建議未來在近旗山斷層兩側建立控制點，以確定旗山斷層特性。

旗山斷層上盤為烏山層、蓋子寮頁岩、大社層與南勢崙砂岩，下盤在中北段為以泥岩為主的古亭坑層，但在斷層南段的下盤的古亭坑層則分為三段。旗山斷層南段層位落差估計超過2,000公尺，此乃因烏山層於此逆衝於橫山石灰岩之上。但在旗山斷層中北段則為烏山層逆衝於古亭坑層。由於旗山斷層中北段下盤的古亭坑層為龍船斷層上盤，而龍船斷層背斜軸部的古亭坑層年代為NN11，此與烏山層近似，且旗山斷層中段的龍船斷層其位置與旗山斷層僅有數百公尺之遙，因此此處上下盤層位落差究竟與旗山斷層南段是否類似，尚須近一步藉由古生物資料比對來推斷。旗山斷層大體而言由北向南位移量漸減，這也導致在南段

烏山層部在出露，亦反應旗山斷層逐漸尖滅。

在旗山斷層下盤泥岩中，陳柏村等(2005)發現許多高角度分支斷層，這些高角度斷層可能與高角度旗山斷層同一應力場下形成。

大尖山斷層被古坑斷層切割為南北兩段，北段斷層為高角度傾斜，南段為25-30 度向東度傾斜，南北段上盤的構造形態亦不同，集集地震同震時僅北段活動。因斷層特性不同，因此未來討論斷層名稱時，可建議分為兩條斷層。大尖山斷層南界為竹崎斷層，亦為一左移斷層，由於大尖山斷層為第一類活動斷層，依此邏輯，則古坑斷層、竹崎斷層與鹿寮斷層皆建議列為未來加強調查斷層（圖4.3.1）。這些斷層的分段可能反應沈積盆地的差別，因為沈積盆地的差異不僅伴隨正斷層的發育，沈積物的厚度亦造成構造形態的差異 (Lee et al.，2010) 。

參考文獻

1. Chi, W.R., "The late Noegene nannobiostratigraphy in the Tainan foothills region, southern Taiwan", *Petroleum. Geol. Taiwan*, no.15., 1978: pp. 89-125.
2. Chiang, C.S., Yu, H.S. and Chou, Y.W., "Characteristics of the wedge-top depozone of the southern Taiwan foreland basin system", *Basin Research*, 16, 2004: pp. 65-78.
3. Ching, K.E., Rau R.J., Lee J.C. and Hu J.C, "Contemporary deformation of tectonic escape in SW Taiwan from GPS observations, 1995-2005", *Earth Planet. Sci. Lett.*, 262, 2007: pp. 601-619, doi:10.1016/j.epsl.2007.08.017.
4. Chiu, J. K., Tseng W. H. and Liu C. S., "Distribution of gassy sediments and mud volcanoes offshore southwestern Taiwan", *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 17, 2006: pp.703-722.
5. Chow, J., "Late Neogene paleoenvironment of the Mucha section on Kaohusiung", *Petroleum geology of Taiwan*, no.17, 1980: pp88-98.
6. Fruneau, B., Pathier, E. Raymond, D., Deffontaines, B., Lee, C.T., Wang, H. T., Angelier, J., Rudant, J. P. and Chang, C.P., "Uplift of Tainan Tableland (SW Taiwan) revealed by SAR interferometry", *Geophy. Res. Lett.*, 16, 2001: pp.3071-3074.
7. Hsieh, S.H., "Geology and gravity anomalies of the Pingtung Plain, Taiwan", *Proc, Geol. Soc. China*, 13, 1970: pp.76-89.
8. Huang, T. Y., "Late Neogene plankonic foraminiferal biostrtigraphic of the Taiwan Foothills Region, Taiwan", *Petroleum Geol. Taiwan*, 1977: pp. 121-145.
9. Lacombe, O., Mouthereau, F., Angelier, J. and Deffontaines, B., "Structural, geodeticand seismological evidence for tectonic escape in SW Taiwan", *Tectonophysic*, 333, 2001: pp.323-345.
10. Lee, Y.H., Shih, Y.X., "seismic Displacement, Bilateral Rupture, and Structural Characteristics at the Southern End of the 1999 Chi-Chi Earthquake, Central Taiwan", *JGR* in revision, 2010.
11. Mouthereau, F. and Lacombe, O., "Inversion of the Paleogene Chinese continental margin and thick-skinned deformation in the Western Foreland of Taiwan", *J. Struc. Geol*, 28, 2006: pp. 1877-1993.
12. Pan, Y. S., "Interpretation and Seismic Coordination of the Bouguer Gravity Anomalies over West-Central Taiwan", *Petrol. Geol. Taiwan*, 5, 1968: pp.99-115.
13. Simoes, M., Avouac J. P. and ChenY.G., "Slip rates on the Chelungpu and Chushianfaults inferred from a deformed strath terrace along the Dungpuna river, west central Taiwan", *J. Geophys. Res.*, 112, 2007: B03S10, doi:10.1029/2005 JB004200.
14. Sun, S.C., "Geology and petroleum potentialities of the Chingshui- Yuanlin area", *Petrol. Geol. Taiwan*, 4, 1965: pp.161-173.
15. Tsan, S.F. and Keng, W.P., "The Neogene rocks and major structural features of southwestern Taiwan", *Proc. Geol. Soc. China*, 11, 1968: pp.45-49.
16. Wang, C.Y., Li, C.L., Su, F.C., Leu, M.T., Wu, M.S., Lai, S.H. and Shern, C.C., "Structural mapping of the 1999 Chi-Chi earthquake fault, Taiwan, by seismic reflection methods", *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 13, 2002: pp.211-226.

17. Yang, M., Rau, R.J., Yu, J.Y. and Yu, T.T., “Geodetically observed surface displacements of the 1999 Chi-Chi, Taiwan”, *earthquake Earth Planets Space*, 52, 2000: pp.403-413.
18. Yang, K. M., Huang, S. T., Wu, J. C.,Ting, H. H., “3D Geometry of the Chelungpu Thrust System in Central Taiwan: Its Implications for Active Tectonics”, *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, Vol. 18, No. 2, 2007: 143-181.
19. Yu, S.B., Kuo, L.C. , Hsu, Y.J. , Su, H.H., Liu, C.C. , Hou, C.S., Lee, J.F., Lai, T.C., Liu, C.L., Tseng, T.F., Tsai, C.S. and Shin, T.C., “Preseismic deformation and coseismic displacements associated with the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake”, *Bull. Seism. Soc. Am.* 91, 5, 2001: pp.995-1012.
20. 中國石油公司台探總處，“台中地質圖（1:100,000）”，*中國石油公司出版*，1982。
21. 中國石油公司台探總處，“嘉義地質圖（1:100,000）”，*中國石油公司出版*，1986。
22. 中國石油公司台探總處，“台南地質圖（1:100,000）”，*中國石油公司出版*，1989。
23. 中國石油公司台探總處，“高雄地質圖（1:100,000）”，*中國石油公司出版*，1992。
24. 石瑞銓、王維豪、李元希，”地震地質與地變動潛勢分析-斷層帶地下構造調查研究（3/4）”，*經濟部中央地質調查所*，2009。
25. 吉田要，“高雄州旗山南西部油田調查報告及旗山南西部油田地質圖（三萬分之一）”，*台灣總督府殖產局*，第610號，1932：共162頁。
26. 宋國城，“有關旗山斷層的一些新觀察”，*第十屆台灣地區地球物理研討會論文集*，2002：頁430-431。
27. 宋國城、陳力、陳彥傑，”有關旗山斷層的一些新觀察”，*地質*， 23 卷，第三期，2005：頁31-40。
28. 吳樂群，“台灣南部旗山地區上部新第三系及第四系之沈積層序與演化”，台灣大學地質研究所博士論文，1993：共 212 頁。
29. 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正，“台灣活動斷層概論第二版─五十萬分之一台灣活動斷層分布圖說明”，*經濟部中央地質調查所特刊*，第十三號，2000：共 122 頁。
30. 林啟文、盧詩丁、黃文正、石同生、張徽正，“臺灣中部濁水溪以南地區的集集地震斷層與構造分析”，*經濟部中央地質調查所特刊*，第十二號，2000：頁89-112。
31. 林啟文、盧詩丁、石同生、劉彥求、林偉雄、林燕慧，“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*，第十七號，2007。
32. 林啟文、陳文山、劉彥求、陳柏村，“旗山斷層”，*經濟部中央地質調查所特刊-Special Publication of the Central Geological Survey*，第23號，2009：頁111-132。
33. 林啟文、陳文山、劉彥求、陳柏村，“台灣東部與南部的活動斷層─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*，第二十三號，2009：共178頁。
34. 洪日豪，“台灣西南部前陸地區斷層演化與具油氣潛能之地塊構造”，*行政院國家科學委員會經濟部能源局九十五年度能源科技學術研討暨成果發表會*，2006。
35. 侯進雄、陳建良、王菁穗、謝中敏、鍾瑋、鍾令和、陳彥甫，“台南西南地區地表斷層監測之近況與成果”，*2004 年台灣活動斷層與地震災害研討會*，2004：頁46-61。

36. 胡植慶，“高屏地區活動斷層之衛星定位系統測量”，*2004年台灣活動斷層與地震摘害研討會*，2004：共10頁。
37. 耿文溥，“台灣南部民生及甲仙間之地質”，*台灣省地質調查所彙刊*，第十六號，1967：頁3-15。
38. 耿文溥，“台南以東丘陵區之地質”，*經濟部中央地質調查所彙刊*，第一號，1981：頁1-31。
39. 張家鳳、孫鎮球，“旗山斷層的淺層震測探勘”，*中國地質學會94年年會暨學術研討會*，2005：頁108。
40. 陳文山、楊志成、楊小青、顏一勤，“大尖山斷層－觸口斷層－崙後斷層的構造特性”，*2004年地球科學聯合學術研討會*，2004。
41. 陳文山、陳于高、游能悌，“槽溝開挖與古地震研究計畫（4/5）”，*經濟部中央地質調查所94年度研究報告*，2005。
42. 陳柏村，“旗山斷層南段變形特性研究”，*國立成功大學地球科學研究所碩士論文*，2005：共109頁。
43. 陳柏村、林慶偉，“里港地區旗山斷層特性研究”，*中國地質學會九十四年年會暨學術研討會*，2005：頁104。
44. 郭正隆，“鏡煤素反光率在台灣西部油氣探勘的應用”，*國立台灣大學地質學研究所博士論文*，1997：共302頁。
45. 鳥居敬造，“高雄州旗山油田調查報告及旗山油田地質圖（三萬分之一）”，*台灣總督府殖產局*，第633號，1933：共36頁。
46. 張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁，“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”，*經濟部中央地質調查所特刊*，第十號，1998：共103頁。
47. 黃旭燦、楊耿明、吳榮章、丁信修、李長之、梅文威、徐祥宏，“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*，第93-13號，2004：共59頁。
48. 黃偉倫，“臺灣西南部海域泥貫入體之分佈與陸上諸背斜之關係及其對沈積環境之影響，海洋研究所碩士論文”，1995：共68 頁。
49. 黃鑑水、張憲卿、劉桓吉，“台灣南部觸口斷層地質調查與探勘”，*經濟部中央地質調查所彙刊*，第九號，1994：頁29-50。
50. 飯塚保五郎，“台灣油田地質概查報告－第六區油田”，*日本海軍省編*，1928：頁115-146。
51. 劉桓吉、李錦發，“雲林圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖”，*經濟部中央地質調查所出版*，第三十八號，1998。
52. 鄭宏祺，“台灣西南部台南至屏東地區地質構造之研究”，*國立中央大學應用地質研究所碩士論文*，2000：共192頁。
53. 謝昭暉、吳旻諭，“旗山斷層在高雄地區－大社、仁武及鳥松地區之斷層分布研究”，*中國地質學會94年年會暨學術研討會*，2005：頁 107。

附錄1、中英文網頁首頁



地震地質與地變動潛勢分析

斷層帶地下構造調查研究（4/4）

摘要

活動斷層地下構造之調查與研究爲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爲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爲重要參考，並爲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南部之旗山斷層與中部之大尖山斷層。目前已依計畫收集與研讀相關資料與文獻、進行野外地質與地形調查，並完成3孔位於旗山斷層以及1孔位於大尖山斷層，井深150公尺之地質探井，也於旗山斷層完成了5條淺層震測剖面，測線全長5,080公尺，最後綜合進行旗山斷層與大尖山斷層之構造分析與斷層運動學分析。構造分析研究結果顯示，旗山斷層西側的龍船斷層位於泥質入體褶皺或斷層擴展褶皺的軸部，在龍船斷層北部兩側形成緊密褶皺，斷層向南延伸，逐漸潛伏於地下，形成盲斷層。旗山斷層爲一犁形逆斷層，在近地表處傾角甚高，在深部可能與龍船斷層合而爲一。旗山斷層在大社一帶及其往南區域，出現的位置應較現認爲的位置往東，與地形的變化處更貼近。旗山斷層往北的延伸，因爲無岩性的控制，由震測剖面中仍無法進一步區別。我們也認爲大尖山斷層與初鄉斷層原爲相連接之斷層，但後來被鹿寮斷層所截切，由地質圖上我們大致估計鹿寮斷層位移量約1.3公里。大尖山斷層可能爲一系列的斷坪與斷坡所組成，它可能截切大窩細砂岩，並在近地表出分支出檳榔宅斷層。

關鍵詞：旗山斷層、大尖山斷層、地下構造、活動斷層、地質調查、淺層震測、運動學分析

ABSTRACT

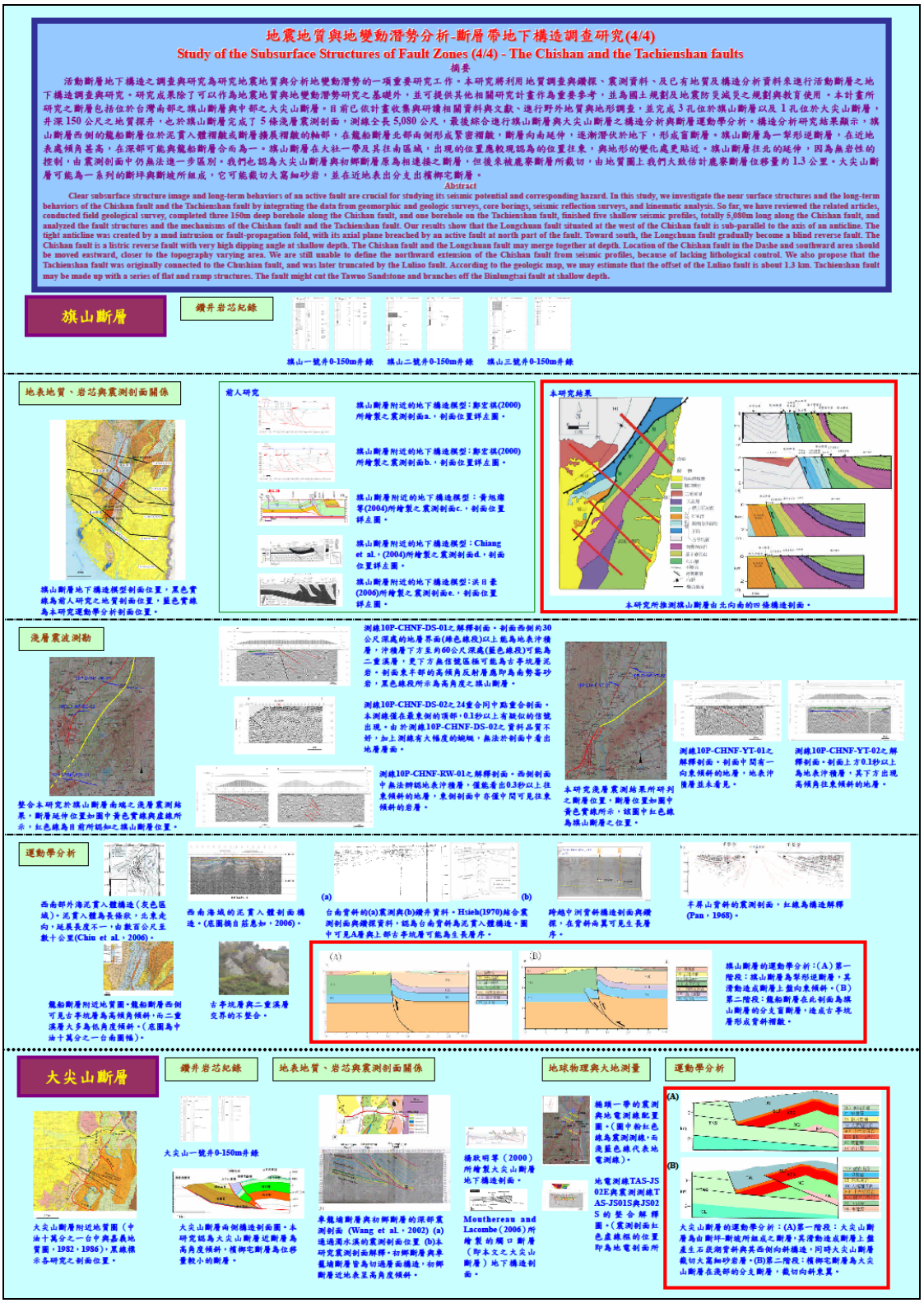
Clear subsurface structure image and long-term behaviors of an active fault are crucial for studying its seismic potential and corresponding hazard. In this study, we investigate the near surface structures and the long-term behaviors of the Chishan fault and the Tachienshan fault by integrating the data from geomorphic and geologic surveys, core borings, seismic reflection surveys, and kinematic analysis. So far, we have reviewed the related articles, conducted field geological survey, completed three 150m deep borehole along the Chishan fault, and one borehole on the Tachienshan fault, finished five shallow seismic profiles, totally 5,080m long along the Chishan fault, and analyzed the fault structures and the mechanisms of the Chishan fault and the Tachienshan fault. Our results show that the Longchuan fault situated at the west of the Chishan fault is sub-parallel to the axis of an anticline. The tight anticline was created by a mud intrusion or fault-propagation fold, with its axial plane breached by an active fault at north part of the fault. Toward south, the Longchuan fault gradually become a blind reverse fault. The Chishan fault is a listric reverse fault with very high dipping angle at shallow depth. The Chishan fault and the Longchuan fault may merge together at depth. Location of the Chishan fault in the Dashe and southward area should be moved eastward, closer to the topography varying area. We are still unable to define the northward extension of the Chishan fault from seismic profiles, because of lacking lithological control. We also propose that the Tachienshan fault was originally connected to the Chushian fault, and was later truncated by the Luliao fault. According to the geologic map, we may estimate that the offset of the Luliao fault is about 1.3 km. Tachienshan fault may be made up with a series of flat and ramp structures. The fault might cut the Tawuo Sandstone and branches off the Binlungtsai fault at shallow depth.

KEYWORDS: The Chishan fault, the Tachienshan fault, active fault, subsurface structure, geological survey, shallow seismic survey, kinematic analysis

子網頁 (1)：

摘要
前言
斷層帶地下構造調查研究方法概述
一、地質鑽探
二、淺層震測
三、斷層運動學分析
旗山斷層斷層帶地下構造調查研究
一、背景資料
二、區域地質
三、地形特徵
四、地質鑽探
旗山一號井
旗山二號井
旗山三號井
五、地表地質、岩芯與震測剖面關係
六、淺層震測
大社測線一
大社測線二
仁武測線一
北端圍潭測線一
北端圍潭測線二
七、旗山斷層的運動學分析
八、節要
大尖山斷層
一、背景資料
二、區域地質
三、地形特徵
四、地質鑽探
五、地表地質、岩芯與震測剖面關係
六、地球物理與大地測量
七、大尖山斷層的運動學分析
八、節要
討論與結論
參考文獻
附錄
中英文網頁首頁
教育推廣海報網頁
About

附錄2、教育推廣海報縮頁



期中報告書審查意見處理情形

期中報告書內容	
審查意見	審查意見答覆與處理情形
1. 報告中有關各地層年代之敘述（p.7烏山層為更新世，而p.12為中新世晚期）或斷層名稱（內磅斷層與古坑斷層、水社寮斷層與竹崎斷層）應前後一致。	已修改。
2. 請說明圖3.2.1之地層柱狀圖是本研究之井錄所得亦或引用其他文獻資料；此外，請將本研究所採用的各區域相關地層層序與文獻列表以便對照。	已加文獻。
3. 圖3.5.5文字說明與內文（p.33）描述不同，且未標示剖面線位置。	已修改。
4. 圖3.5.6旗山斷層地質圖剖面位置與剖面所繪不符；此外，地層層序排列有問題，請與圖3.2.1比對後修正。	已修改。
5. 有關旗山斷層如何因泥貫入體受持續擠壓而形成，請繪製示意圖表示；而且，泥貫入體的延伸尺度大小與約30公里的旗山斷層之間的發育演化關係，海域至陸域的構造模式，請進一步說明。	已修改模型。
6. 井位坐標請用臺灣二度分帶坐標，並標明坐標系統；此外，圖3.4.1鑽井位置與文中所描述不符，圖中顯示位於旗山斷層下盤是否標示有誤，請確認。	已用67的二度分帶表示。

7. 圖3.4.3岩心照片非完整的1公尺，故與標示之深度不符，請修正。	已修改。
8. 旗山斷層岩心顯示有相當厚的斷層角礫岩，與旗山斷層之關係為何？且原岩為烏山層或古亭坑層，請說明。	包含烏山層與古亭坑層地層。
9. 震測剖面資料顯示訊號不佳，如何在往後的施測中加以改善，或如何調整震測調查策略，請說明。	說明於第69頁:「旗山斷層沿線之震測資料品質不佳，可能主要是受到古亭坑層泥岩的影響。為了獲得準確的斷層位置，本研究後續的測線擺設將以將測線往東延伸為主，先找出上盤的烏山層，再以其為標準來區別其與西側下盤泥岩的界線。」
10. 圖3.7.8「龍船斷層西側可見...二重溪為低角度傾斜」，但是圖中局部亦可見高角度岩層出露，所以請考慮此種描述是否妥適。	已修改。
11. 今年為計畫最後一年，總報告請依建議章節格式撰寫，並請提出後續調查建議供本所參考。	遵照辦理，並於總報告書中提出後續調查建議。

圖文之排列與展示	
審查意見	處理情形
1. 圖3.1.1與其他相關地質圖（圖3.5.6、圖3.7.8、圖4.1.1、圖4.5.2），未標示斷層名稱、圖例、比例尺等，請修正。	已修正。
2. 圖3.2.1、圖3.5.5及、圖3.5.6請把圖放大，以利閱讀。	已修正放大。
3. p.33 duplex建議翻譯為雙坪構造。	已修正。
4. 圖3.6.4與3.6.7請依照一般東西方向擺放慣例重新調整，以便閱讀。	已修正。
5. 文中（p.81）所述不整合面位置請標示於圖3.7.9。	已標示。
6. 圖4.3.1地形與地層分布關係不易看出，請將地層界線標示清楚或調整顯示方式。	已調整修正。
7. 文字錯漏（蓋子寥、車龍剖斷層、出鄉斷層、摘要中初鄉斷層英文）、參考文獻缺漏（Ching et at., 2007、Chiu et al., 2006、Hsieh, 1970、Hsueh et al., 1972、Lee et al., 2010、Locobe et al.,2001），請修正。	已修正。

期末報告書審查意見處理情形

期末報告書內容	
審查意見	審查意見答覆與處理情形
1. 請說明震測剖面在重合數比較少的地區有較佳的反射層資料，但在重合數多的地區震測品質反而較差之原因；此外，同時反射層延續性差的原因亦請說明。	由於本測線之紀錄受到極大之干擾，資料處理時進行了大量的資料編修工作，捨棄許多不可靠的波線，因此重合剖面中之重合數與重合時使用之波線有時會有差異，重合數與使用之波線並非成正比。(本段說明已增列於內文)。
2. 井錄資料請統一描述的方式，而剪切帶、破碎帶、斷層角礫岩及斷層帶有何差別，請詳細說明。	已統一修改為斷層帶。
3. p.29、p.15的淺層震測剖面解釋與p.92模型及鑽探結果不相符，請修正。	淺層震測剖面解釋已修正如圖3.6.4所示，與模型及鑽探結果相符。
4. p.51圖3.6.4旗山斷層於震測剖面之角度不如文中所述之陡峭，請再說明。	在本測線東方出現了南勢崙砂岩，而位於旗山斷層上盤之烏山層在本測線並未出露。亦即在本測線所觀測到之旗山斷層應截切包括了烏山與南勢崙等地層，而且斷層角度應較剖面中之南勢崙砂岩層面更為傾斜。(本段說明已增列於內文)。
5. 請將淺層震測結果推測之斷層位置標示於地形圖（圖3.6.1、圖3.6.12）中，以便做為日後修訂斷層位置時之參考。	遵照辦理，修正結果見圖3.6.11與圖3.6.19。
6. 請考慮犁形（listric）的定義與其用於運動學分析解釋中是否合適。	已改為犁形逆斷層。
7. 西南部地區建議參考本所高雄都會	已於第82頁加入說明。

區相關計畫之鑽探資料，以獲得更豐富完整的瞭解。	
8. 文中提到泥貫入體構造，但與研究結果及運動學分析的說明並未結合，請修正。	泥貫入體形成機制複雜,目前仍無有一定的數學運動分析方法可以定量描述，只能以定性方式描繪之。
9. p.82第5段第1行「…震測剖面（圖3.5.4之剖面）」語意不清，請釐清。	已修正成「我們根據本研究所實施之淺層震測剖面結果進行旗山斷層之運動學模擬（剖面位置見圖3.5.4中之淺藍色線段）」。
10. p.86圖3.7.5震測剖面的資料來源應加註。	已修正。
11. p.90引用陳文山(2005)的資料說明旗山與龍船斷層兩側地層落差，但斷層的位置落在地層內部而非地層之間的界限，請修正。	已修改。
12. p.92圖中龍船斷層下盤地層呈水平，但是與地質圖中高傾角地層特徵不符，請說明。	此剖面已在旗山斷層向南延伸處，龍船斷層或背斜並未出露地表，地質圖並無高傾角地層特徵。
13. 有關旗山斷層南延部分，尤其是斷層位移量北段大於南段及斷層左移逆衝有何意義，請再多加討論；此外,p.118旗山斷層的結論請明確說明。	已說明。
14. 請針對旗山斷層及大尖山斷層前人的研究中尚未解決的問題，說明本年度計畫的貢獻以及後續尚待完成的問題。	建議未來進行斜井鑽探及於斷層上盤建立GPS連續追蹤站及水準測線。
15. 運動學分析的限制，包括：斷層的幾何形貌，斷層兩側的地層岩石力	由於受到模擬程式ShearFold的限制，無法定量模擬泥貫入構造的生

學性質，分支斷層的形成，地表並未產生緊密的褶皺以及泥貫入體與逆斷層的結合等並未加入模擬的問題，請詳細說明以利後人進一步研究。	成，也無法加入力學條件做力學模擬，因此本模擬結果與實際情況仍有些差距。
16. 總報告之用詞請前後統一（例：listric有稱為犁形亦有碗形）。	已修改。

圖文之排列與展示	
審查意見	處理情形
1. 請將所有的淺層震測線、鑽井位置、引用前人之震測剖面線位置及本研究之構造剖面線位置放在同一張底圖或地質圖上，以利閱讀。	已於第36頁與98頁加入。
2. p.10請加入前人研究之旗山斷層位置，或將不同觀點之旗山斷層位置一起加入，以便比較。	林啟文(2009)旗山斷層南延位置有淺層鑽探控制，位置較為精確。
3. p.14、p.15圖說文字請詳細說明。	已補充說明。
4. 圖3.4.6(a)缺地層傾角資料。	已加入。
5. p.42剖面圖中地層層面的線條與斷層滑動方向的箭頭請修正。	已修改。
6. p.51東西方向標示錯置。	已修改。
7 請將2條仁武測線（10P-CHNF-RW-01與10P-CHNF-RW-02）合在一起展示。	已合併，修正如圖3.6.10。
8. p.92請於圖中加入運動方向箭頭；此外，b圖的褶皺並不清楚，請修正或說明。	已加入箭頭。B圖為南部剖面，褶皺較不發達。
9. p.98、p.100、p.108所繪初鄉斷層與鹿寮斷層前後並不一致，請修正。	已修改。
10. p.100圖4.3.1最西側的斷層標示為彰化斷層，但一般認為此斷層為桐樹湖斷層，請修正。	已修改。
11. p.103圖4.4.1(a)大尖山斷層位置在清水溪以南部分似乎稍偏西北，由於斷層角度很陡，斷層位置應更接近DH-10及大尖山1號井，再往南應通過安溪橋西端後沿乾溪西北側河床向	已修改。

西南延伸，請依實際位置修正。	
12. p.106圖4.5.1構造剖面中最西緣的斷層為桐樹湖斷層，依現地調查並未發現斷層出露地表的證據，但在圖中已切穿至地表，請修正，且p.106及p.115大尖山斷層下盤滑脫面的地層不一致，請說明。	已修改。
13. p.107第8行「北界斷層呈高角度傾斜」建議修改為「斷層北段」。	已修改。
14. p.111圖4.5.5大尖山地下構造剖面圖中僅見觸口斷層，未見大尖山斷層，是否Mouthereau and Lacombe (2006)所認定的觸口斷層其實就是本研究認定的大尖山斷層？請說明。	同一斷層。
15. 附錄2海報未見說明文字，請加強。	已更新完成。