經濟部

經濟部中央地質調查所報告第 95-09 號
委辦計畫編號（5226902000-02-95-02）

地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫

地球物理探勘計畫（5/5）

95 年度期末報告

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行機關：財團法人工業技術研究院
中華民國 95 年 12 月

地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫

地球物理探勘計畫（5/5）

95 年度期末報告

計畫主持人：董倫道

協同主持人：陳文山　李奕亨

委託機關：經濟部中央地質調查所

執行機關：財團法人工業技術研究院

中華民國 95 年 12 月

摘　要

本計畫為地震地質調查及活動斷層資料庫建置之『地球物理探勘計畫(5/5)』，主要目的在於協助進行斷層位置探測。本年度針對三義斷層、大甲斷層、鐵砧山斷層、池上斷層、利吉斷層、鹿野斷層、及恆春斷層等活動斷層進行調查；探勘方法包括：反射震測法、地電阻影像剖面法、與大地電磁法等。本計畫總計完成反射震測測線 5700 公尺，地電阻影像剖面測線 4830 公尺，大地電磁波探測 30 點，並完成臺灣北部、中部、及東部之重力資料數值化與處理，以及地球物理探勘成果英文網頁製作。各斷層調查結果摘述如下：

一、三義斷層

本計畫沿大甲溪北岸佈置 10 個大地電磁測點，整合本區歷年已完成之反射震測與地電阻影像剖面資料，推測本斷層係由主斷層及許多分支斷層形成寬數十至數百公尺之斷層帶，且斷層位置應較地質圖上之斷層線位置偏西 300 至 400 公尺。

二、大甲斷層

本計畫在大安溪南案佈置一條長達 2400 公尺震測線，該震測剖面的品質相當好，根據反射震測探測結果，顯示大甲斷層可能為一盲斷層，且具有顯著背斜型態之斷層彎曲摺皺，斷層由東向西逆衝，斷層面約 45 度。斷層下盤地層平緩，斷層上盤地層因應力而向上彎曲褶皺。

三、鐵砧山斷層

本計畫在大安溪南岸佈置二條地電阻測線，根據地電阻探測結果顯示，在深度約 90 公尺以下，地層電阻率具有顯著的側向變化，與石再添等（1983）所指之大甲東斷層位置一致。

四、池上斷層

在台東縣瑞源村東南側有兩條相互平行的地形線型，推測可能為斷層作用造成的斷層崖，本計畫主要針對此二線型進行探測，共佈置三條地電測線。由地電阻探測結果明顯地指出利吉層與其西側沖積層的接觸位置，其上覆堆積層厚度約 20 公尺上下，搭配重力異常圖之線型特徵，推測本區解釋之斷層應為池上斷層向南的延伸。

五、利吉斷層

因受限於現場地物狀況，使得本計畫所配置的二條地電阻測線均未能跨越斷層線，但綜合地電阻與大地電磁探測結果，推測利吉斷層應位於測點 13 附近。

六、鹿野斷層

綜合本計畫完成的反射震測，與先前中油完成的卑南山震測剖面，研判鹿野斷層應在本計畫完成之測線東側，檳榔村與初鹿台地之區間，依地形觀察可能位於卑南山礫岩台地西側地形界線。此外，根據台東地區重力異常圖、大地電磁探測及地電阻影像剖面探測結果，推測鹿野斷層向南延伸可能通過台東體育實驗中學東側。

七、恆春斷層

本計畫在車城東方佈置一條反射震測測線，根據反射震測探測結果，顯示斷層位於測線距離 460 公尺附近，較以往地質圖所推定位置約向西推移約 170 公尺，推測因斷層崖受侵蝕後退之故。

ABSTRACT

This report summarized the results from the Geophysical Exploration Project (5/5) of "Earthquake Geology Investigation and Active Fault Database Construction Program". Seven active faults: Sanyi fault, Tachia fault, Tiehchanshan fault, Chihshang fault, Lichi fault, Luyeh fault and Hengchun fault were investigated in this project. The geophysical methods used in this project including reflection seismics, resistivity image profiling and magnetotellurics. The position and characteristics of fault were obtained by integrating surface geologic information, gravity data and geophysical investigation. Total of 5700 m seismic survey line, 4830 m resistivity image profiling survey line and 30 magnetotelluric stations were conducted, and the digital gravity map of northern, western, and eastern Taiwan were produced and reanalysised in this project. The English homepage for introducing the results from the geophysical survey in this project were also accomplished.

The investigation results for each fault are summarized as following:

1. Sanyi fault

   Ten MT stations were acquired along the northern river bank of Tachia River. The results of seismic and resistivty survey performed in the past were also integrated to delineate the postion of Sanyi fault. The interpreted position of Sanyi fault is about houndard meter away to the west from the fault line published in the existing geological map.

2. Tachia fault

   A seismic survey line with 2400 m long was conducted along the southern river bank of Ta-an River. The quality of this seismic section is quite good. The Tachia fault may be related to a blind fault with an obviously anticlinal fault-bend fold. The dip angle is about 45 degree to the east. The formation in the foot wall of Sanyi fault is general, while the formation in the hanging wall is folded upward.

3. Tiehchanshan fault

   Two resistivity profiles were performed along the sourthern river bank of Taan River. Below the depth of 90 m, there is an obvous lateral change in resistivity which may be related to the Tiehchanshan fault. The fault interpreted in this investigation is the same fault of Tachiatong fault which introduced by Shih in 1983.

4. Chihshang fault

There are two lineations located to the east-sourthern of Rueiyuan. They may be related to fault activities. The purpose of this investigation is to confirm which lineatation is related to the fault line. Three resistivity profiles were performed in this area. The position of the fault can be clearly delineated by the lateral changes of resistivity on the resistivity section. Based on the analysis of lineation of Chihshang fault shown on gravity anomaly map, the fault in this area is interpreted as the southern extension of Chihshang fault.

5. Lichi fault

Two resistivity profiles were conducted to investigate the position of Lichi fault. However, these two profiles do not across the Lichi fault after analyzing the resistivity image sections. However, based on the resistivity image section from MT data and the lineation of gravity anomaly map, the position of Lichi fault may be in the vicinity of station 13.

6. Luyeh fault

One seismic profile located in the Binlang was conducted in this investigation. The deep seismic profile performed by CPC in the past is also integrated to delineate the position of Lyueh fault. The position of Lyueh fault may not on the seismic profile conducted in this project. The most possible position of Lyueh fault is between Binlang and Chulu terrace. The sourthern extension of Lyueh fault may pass the eastern corner of National Taitung University Affiliated Physical Education Senior High School by analyzing the gravity anomaly map, MT data and the resistivity image section located in Tianliao area.

7. Hengchun fault

One seismic survey line located to the eastern of Checheng is performed in this investigation. The position of Hengchun fault is located at 460m along the profile. It is about 170m far away to the west from the position of Hengchun fault which was publiched in the geological map.

目　錄

頁次

摘　要 I

ABSTRACT III

目　錄 V

圖目錄 VIII

表目錄 XII

第 1 章、 前言 1

1-1　緣起 1

1-2　計畫目標及內容 2

1-3　工作流程與執行進度 3

1-3-1　工作流程 3

1-3-2　工作進度 3

1-3-3　實際工作成果 5

第 2 章、 調查方法與原理 7

2-1　重力法 7

2-1-1　探測原理 7

2-1-2　資料處理 7

2-1-3　重力資料蒐集及數化 11

2-2　反射震測法 14

2-2-1　探測原理 14

2-2-2　使用儀器 15

2-2-3　雜波測試 16

2-2-4　資料處理 18

2-2-5　震測解析能力探討 21

2-3　地電阻影像剖面法 23

2-3-1　探測原理 23

2-3-2 使用儀器.....23
2-3-3 電極配置.....25
2-3-4 品質控制.....27
2-3-5 資料處理.....27
2-3-6 地電阻法解析能力探討.....29
2-4 大地電磁波法.....32
2-4-1 探測原理.....32
2-4-2 使用儀器.....36
2-4-3 品質控制.....36
2-4-4 資料處理.....37
第 3 章、 調查成果.....38
3-1 重力資料分析.....38
3-1-1 台灣西部重力分析.....38
3-1-2 台灣東部重力分析.....41
3-2 三義斷層.....44
3-2-1 區域地質與地體構造.....44
3-2-2 歷年震測與地電剖面解釋.....45
3-2-3 大地電磁探測.....53
3-2-4 B 測區地質鑽探.....56
3-2-5 三義斷層位置分析.....57
3-3 大甲斷層及鐵砧山斷層.....60
3-3-1 區域地質與地體構造.....60
3-3-2 測線配置.....61
3-3-3 震測資料解釋.....64
3-3-4 地電資料解釋.....71
3-4 池上斷層.....72
3-4-1 區域地質與地體架構.....72
3-4-2 測線配置.....74

3-4-3 地電資料解釋 76
3-5 利吉斷層 80
3-5-1 區域地質與地體構造 80
3-5-2 大地電磁探測 80
3-5-3 測線配置 84
3-5-4 地電資料解釋 85
3-6 鹿野斷層 86
3-6-1 區域地質與地體構造 86
3-6-2 測線配置 90
3-6-3 震測資料解釋 92
3-6-4 地電資料解釋 100
3-6-5 鹿野斷層與地震震央關係 102
3-7 恆春斷層 103
3-7-1 區域地質與地體架構 103
3-7-2 測線配置 104
3-7-3 震測資料解釋 106
第 4 章、 地球物理探勘成果英文網頁製作 110
第 5 章、 結論與建議 111
5-1 結論 111
5-2 建議 112
第 6 章、 參考文獻 113
附錄 A 94 年度計畫期中報告審查意見回覆 121
附錄 B 94 年度計畫期末報告審查意見回覆 124
附錄 C 95 年度計畫期中報告審查意見回覆 127
附錄 D 95 年度計畫期末報告審查意見回覆 129
附錄 E 地球物理探勘成果英文網頁畫面 132

圖目錄

頁次

圖 1-1、本年度計畫擬完成調查之 6 條斷層位置圖.....2
圖 1-2、工作執行流程圖.....4
圖 2-1、不同微分處理比較圖.....10
圖 2-2、台灣中部原始布蓋重力異常圖.....12
圖 2-3、台灣東部原始布蓋重力異常圖.....13
圖 2-4、反射震測法施測原理示意圖.....14
圖 2-5、本研究使用之震測系統.....16
圖 2-6、大安溪南岸 06P-TCA-TC01 測線雜波獲得的炸測記錄.....17
圖 2-7、反射震測資料處理流程.....19
圖 2-8、濾波程序後炸點描線紀錄比較.....20
圖 2-9、受波器域與同炸點域之靜態修正結果比較圖.....20
圖 2-10、GEODE 震波集錄系統，採多波道及小間距設計.....22
圖 2-11、McOhm-21 地電儀.....24
圖 2-12、地電阻影像剖面探測原理示意圖.....26
圖 2-13、地電阻影像剖面法電極配置示意圖.....26
圖 2-14、一般地層電阻率分佈圖.....28
圖 2-15、雙偶極排列下的靈敏度分佈圖.....30
圖 2-16、施蘭卜吉排列下的靈敏度分佈圖.....31
圖 2-17、半施蘭卜吉排列下的靈敏度分佈圖.....31
圖 2-18、典型的逆推結果上、下界結果展現圖.....32
圖 2-19、地表不同位置阻抗張量極化圖.....35
圖 2-20、TRATAGEM 大地電磁探測儀.....36
圖 3-1、臺灣西部地區布蓋重力圖.....39
圖 3-2、臺灣西部地區剩餘重力異常圖.....39
圖 3-3、台中地區剩餘重力異常圖.....40
圖 3-4、台中地區經傾斜微分處理後之重力異常圖.....40

圖 3-5、臺灣東部布蓋重力異常圖.....42
圖 3-6、台東地區剩餘重力異常圖.....43
圖 3-7、台東地區經傾斜微分處理後的重力異常圖.....43
圖 3-8、三義斷層附近地表地質圖.....45
圖 3-9、三義斷層台中地區地物測線配置圖.....46
圖 3-10、三義斷層 A 測線震測剖面圖.....47
圖 3-11、三義斷層 B 測線震測與地電阻剖面圖.....48
圖 3-12、三義斷層 B-2 測線地電剖面圖.....48
圖 3-13、三義斷層 B-3 測線震測與地電阻剖面圖.....50
圖 3-14、三義斷層 B-4 測線震測與地電阻剖面圖.....50
圖 3-15、三義斷層 C 測線震測剖面圖.....51
圖 3-16、三義斷層 D 測線震測剖面圖.....52
圖 3-17、三義斷層 E 測線震測剖面圖.....52
圖 3-18、三義斷層 F 測線震測剖面圖.....53
圖 3-19、三義斷層大甲溪北岸大地電磁測點分佈圖.....54
圖 3-20、三義斷層大地電磁經二維逆推處理獲得之地電阻剖面圖.....54
圖 3-21、測區 B 內三義斷層上盤之地質鑽探結果.....56
圖 3-22、依據震測資料解釋之三義斷層位置應向西修訂.....58
圖 3-23、臺灣中部地區之三義斷層、后里斷層、石岡斷層及河階相關位置示意圖...59
圖 3-24、三義斷層露頭照片.....59
圖 3-25、大甲及鐵砧山斷層附近地質圖.....63
圖 3-26、大甲及鐵砧山斷層鐵砧山地區地物測線位置圖.....63
圖 3-27、大甲斷層鐵砧山測線 06P-TCA-TC01 炸測紀錄.....65
圖 3-28、大甲斷層鐵砧山測線 06P-TCA-TC01 原始震測剖面.....66
圖 3-29、大甲斷層鐵砧山測線 06P-TCA-TC01 震測剖面解釋圖.....67
圖 3-30、典型背斜型態之斷層彎曲摺皺斷層機制示意圖.....68
圖 3-31、典型背斜型態之斷層彎曲摺皺震測剖面解析.....68
圖 3-32、中油於大甲以東油氣探勘震測剖面線.....69

圖 3-33、中油后里地區震測剖面圖.....70
圖 3-34、鐵砧山斷層鐵砧山測線 06E-TCS-TC01、06E-TCS-TC02 地電阻影像剖面圖71
圖 3-35、后里台地的活斷層與地形面.....72
圖 3-36、瑞源附近地質圖.....74
圖 3-37、池上斷層瑞源地區測線位置圖.....75
圖 3-38、池上斷層瑞源地區地形圖.....75
圖 3-39、池上斷層瑞源測線 06E-CSG-JY01 地電阻影像剖面圖.....77
圖 3-40、池上斷層瑞源測線 06E-CSG-JY02 地電阻影像剖面圖.....77
圖 3-41、池上斷層瑞源測線 06E-CSG-JY03 地電阻影像剖面圖.....78
圖 3-42、依據地物資料解釋之池上斷層位置圖.....78
圖 3-43、台東縱谷南段重力異常圖.....79
圖 3-44、瑞源鄰近地區經傾斜微分處理後之重力異常圖.....79
圖 3-45、台東地區大地電磁測點分佈圖.....82
圖 3-46、大地電磁資料經一維逆推所獲得的電阻率剖面圖.....83
圖 3-47、大地電磁資料經二維逆推所獲得的電阻率剖面圖.....83
圖 3-48、池上斷層貓山及卑南等地區地電測線位置圖.....84
圖 3-49、利吉斷層貓山測線 06E-LCI-TD01 地電阻影像剖面圖.....86
圖 3-50、利吉斷層卑南測線 06E-LCI-TD02 地電阻影像剖面圖.....86
圖 3-51、鹿野斷層及利吉斷層附近地表地質圖.....88
圖 3-52、台東縱谷南段地質圖.....89
圖 3-53、鹿野斷層檳榔地區震測測線位置圖.....90
圖 3-54、鹿野斷層田寮地區地電測線位置圖.....91
圖 3-55、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01 及 06P-LYH-BL02 炸測紀錄.....93
圖 3-56、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01 原始震測剖面.....94
圖 3-57、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL02 原始震測剖面.....94
圖 3-58、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01、06P-LYH-BL02 合併震測剖面.....95
圖 3-59、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01、06P-LYH-BL02 合併震測剖面解釋圖.96
圖 3-60、台東地區卑南山震測線位置圖.....97

圖 3-61、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01 與鹿野縱谷大尺度震測影像套疊解釋...98
圖 3-62、鹿野斷層田寮測線 06E-LYH-TD01 地電阻影像剖面圖 101
圖 3-63、鹿野斷層田寮測線 06E-LYH-TD01 電壓降曲線圖 101
圖 3-64、台東地區重力異常圖與 95 年 4 月份台東地震震央分佈圖.....102
圖 3-65、恆春斷層震測測線 06P-HCN-CC01 位置圖 105
圖 3-66、恆春斷層南段地球物理探測成果.....107
圖 3-67、恆春斷層車城測線 06P-HCN-CC01 炸測紀錄.....107
圖 3-68、恆春斷層車城測線 06P-HCN-CC01 原始震測剖面 108
圖 3-69、恆春斷層車城測線 06P-HCN-CC01 震測剖面解釋圖 108
圖 3-70、依據反射震測結果推測恆春斷層位置圖.....109

表目錄

頁次

表 1-1、計畫執行進度甘梯圖.....4
表 1-2、計畫進度與查核點一覽表.....5
表 1-3、預定工作項目與實際完成內容對照表.....6
表 2-1、反射震測探測施測參數.....18
表 3-1、三義斷層大地電磁測點座標一覽表.....55
表 3-2、大甲及鐵砧山斷層測區反射震測測線參數一覽表.....61
表 3-3、大甲及鐵砧山斷層測區地電阻測線參數一覽表.....62
表 3-4、大甲斷層鐵砧山震測線 06P-TCA-TC01 震波速度一覽表.....65
表 3-5、池上斷層測區地電阻測線參數一覽表.....76
表 3-6、台東地區大地電磁測點座標一覽表.....81
表 3-7、利吉斷層測區地電阻測線參數一覽表.....85
表 3-8、鹿野斷層檳榔地區反射震測測線參數一覽表.....91
表 3-9、鹿野斷層田寮地區地電阻測線參數一覽表.....92
表 3-10、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01 震波速度一覽表.....99
表 3-11、恆春斷層車城地區反射震測測線參數一覽表.....105
表 3-12、恆春斷層測線 06P-HCN-CC01 震波速度一覽表.....109

第 1 章、前言

1-1 緣起

回顧台灣地震災害，主要源自於斷層活動，近百年來台灣已承受數起因斷層活動所導致之嚴重地震災害。如 1906 年梅山地震（梅山斷層），1935 年新竹地震（獅潭及屯子腳斷層），1946 年新化地震（新化斷層），1951 年花東地震（縱谷斷層），1999 年的九二一地震，即因車籠埔斷層活動導致嚴重傷亡與破壞；根據主計處統計資料，九二一地震造成 2494 人喪生、11,305 人受傷、107,002 棟房子破壞，有形資產損失共計新台幣 2364.7 億元。因此為了達到地震減災目的，活動斷層調查研究實刻不容緩。

經濟部中央地質調查所（以下稱：地調所）自民國八十六年即開始進行活動斷層相關研究，依據過去文獻資料，編纂出版第一版的五十萬分之一活動斷層分布圖及說明書。隨後進行核查工作，內容包括地表地質調查、地形分析和反射震測，自八十八年起建立斷層活動觀測井，利用震測剖面進行地下構造分析。九二一地震發生後，各界對地震防災和活動斷層資訊需求日益殷切，遂擴大研究範疇，加入槽溝開挖、古地震研究和變動地形監測，期更能掌握斷層的活動性特徵。由於社會各界對活動斷層基礎資料及防災之迫切需求，地調所乃成立構造與地震地質組，專門從事活動斷層與地震相關之調查研究。現今活動斷層計畫分為兩大主軸，一為跨部會重大科技計畫之「斷層活動性觀測與地震潛勢評估調查研究」，另一即為國家型防災計畫下之「地震地質調查及活動斷層資料庫建置」。因應上述工作背景，地調所自民國 91 年起執行五年期程「地震地質調查及活動斷層資料庫建置」為五年期防災國家型科技計畫，計畫內容包含地質調查、**地球物理探勘**、槽溝開挖與古地震研究、斷層滑移速率監測、活動斷層資料庫建置等。目前地球物理探勘的部分，已完成前三年之委託研究，成效卓著，九十一至九十五年度預定調查之重點斷層如下：

九十一年：新城斷層、新化斷層、梅山斷層、車籠埔斷層、彰化斷層。

九十二年：九芎坑斷層、觸口斷層、大尖山斷層、後甲里斷層、六龜斷層。

九十三年：山腳斷層、大平地斷層、湖口斷層、米崙斷層、月眉斷層、玉里斷層。

九十四年：獅潭斷層、屯子腳斷層、神卓山斷層、池上斷層、奇美斷層。

九十五年：三義斷層、大甲斷層、鐵砧山斷層、鹿野斷層、利吉斷層。

1-2 計畫目標及內容

本年度計畫目標在於應用反射震測法、地電阻影像剖面法及大地電磁法等地球物理方法，配合地質相關資料，針對三義斷層、大甲斷層、鐵砧山斷層、鹿野斷層、利吉斷層、及恆春斷層等活動斷層（圖 1-1）進行定位及地下構造特性調查。本計畫主要工作內容包括：

一、針對三義斷層、大甲斷層、鐵砧山斷層、鹿野斷層、利吉斷層、及恆春斷層進行地球物理調查。

二、完成總長度為 4500 公尺長之反射震測測線。

三、完成總長度為 4500 公尺長之地電阻測線。

四、完成 30 個大地電磁法測點。

五、配合區域重力異常圖、地電阻譜、及地質資料等，進行斷層特性解釋

六、完成地球物理探勘成果英文網頁製作。

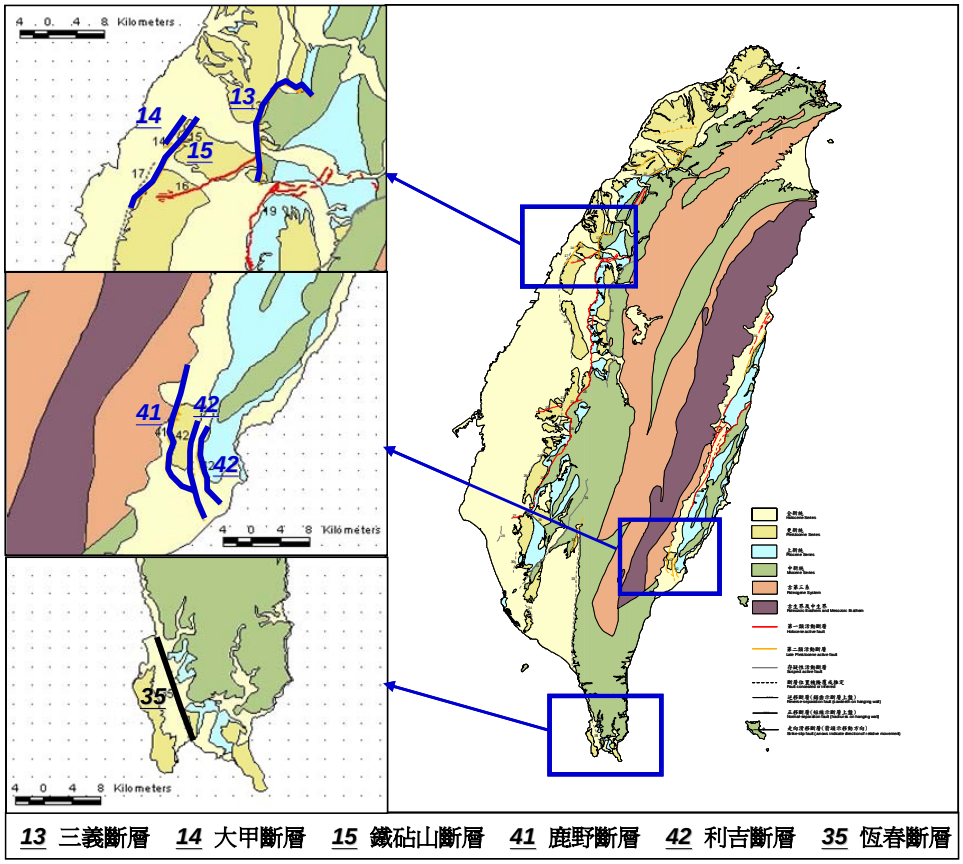


圖 1-1、本年度計畫擬完成調查之 6 條斷層位置圖

1-3 工作流程與執行進度

1-3-1 工作流程

本計畫工作流程如圖 1-2 所示，重點項目說明如下：

一、文獻資料蒐集分析

蒐集測區內相關地質與地球物理文獻資料，以便做為進行斷層解釋時之參考之用。其中有關區域重力圖分析部份，本計畫係以中油公司於 60 年代間完成的重力圖為基礎，透過重新數位化與處理後，以分析區域地質構造特性。

二、測線規劃

各待探測斷層之地球物理測線佈置，採取先由本計畫提出各地區測線之建議位置後，再經與地調所充份討論及現地勘察後確定。有關測線之編號原則，係依據地調所要求，本計畫所完成之地球物理測線，均附予一個唯一的編號，以便後續之檢索。編號基本型式為 YC-A-BX，說明如下：

(一) Y 為 2 碼，代表施測之年度，例如：2006 年施測，代碼為：06。

(二) C 為 1 碼，代表施測方法之縮寫，例如：地電阻法代碼為 E，P 波震測法代碼為 P，S 震測法代碼為 S。

(三) A 為 2 至 3 碼，為斷層名稱縮寫，例如：屯子腳斷層縮寫為 TTC。

(二) B 為 2 碼，代表施測地點之縮寫，例如：后里縮寫為 HL。

(三) X 為 2 位數字，依該施測地點流水號編碼，例如：第 1 條測線為 01，第 2 條測線為 02。

三、整合分析與斷層定位

參考區域地質圖與地形特徵，及地電阻譜量測等資料，據以解釋各測線之地層特性與斷層位置。

1-3-2 工作進度

本計劃工作進度如表 1-1 所示，於 95 年 6 月 15 日完成期中報告，95 年 11 月 15

日完成期末報告，95 年 11 月 24 日完成期末簡報，各項查核點如。各項查核點如表 1-2 所示。

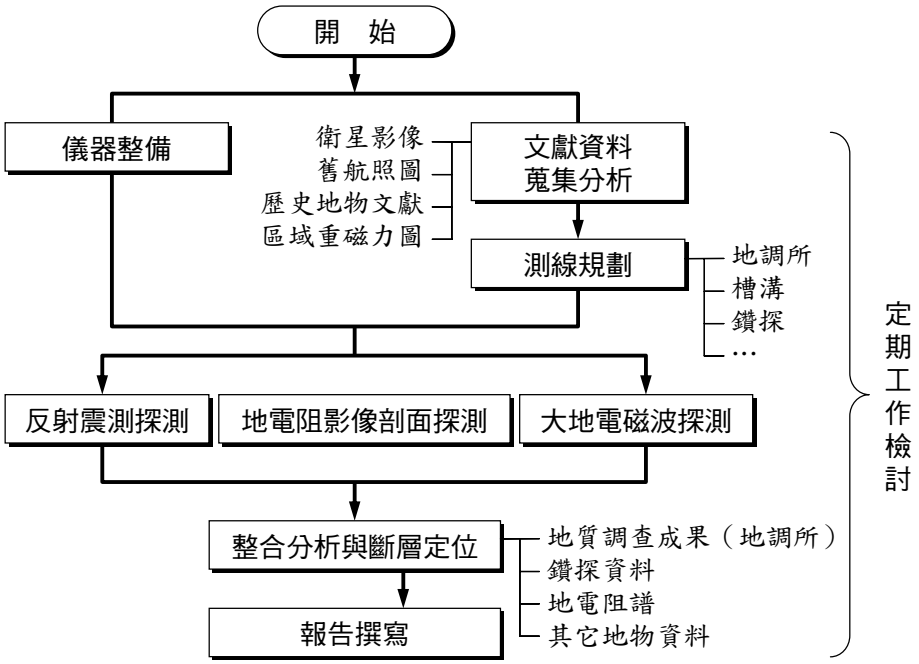


圖 1-2、工作執行流程圖

表 1-1、計畫執行進度甘梯圖

月次 / 工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月	第7月	第8月	第9月	第10月	第11月	備　註
資料收集及分析 英文網頁綱要設計	■	■	■ 1									完成資料收集分析與英文網頁綱要設計，分項進度為100％。
地球物理探測現調作業		■	■	■	■ 2	■	■	■ 3				完成5700公尺反射震測測線，4830公尺地電阻影像剖面測線，30個大地電磁測點，分項進度達100％。
資料處理及整合分析				■	■ 2	■	■	■ 3	■	■ 4		完成5700公尺震測、4380公尺電探、及30個大地電磁測點等地物資料處理，分項進度達100％。
地物成果英文網頁設計		■	■	■	■ 2							完成地物成果英文網頁設計，分項進度達100％。
期中報告				■	■ 2							完成期中報告，分項進度為100％。
期末報告									■	■ 4	■	完成繳交期末報告，分項進度為100％。
預定進度（累積數）	5	10	25	35	50	60	70	80	90	95	100	
實際進度（累積數）	**5**	**10**	**23**	**37**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**	**95**	**100**	

說明：各項工作預定查核點擬交付成果與預定達成日期請參考

■ 代表預定工作進度；□ 代表實際工作進度。

表 1-2、計畫進度與查核點一覽表

序號	查核點	預定達成日期	完成狀態
1	完成文獻資料收集 英文網頁綱要設計	4 月 30 日	完成文獻收集與英文網頁設計
2	完成三義斷層地物資料收集與解釋 完成 12 個 MT 測點現調作業 完成 2000 公尺反射震測現調作業 完成 2000 公尺地電阻影像剖面現調作業 完成大甲、鐵砧山斷層地物探測現調 完成英文網頁設計 完成期中報告	6 月 15 日	完成 30 個 MT 測點 完成 2400 公尺反射震測測線 完成 2030 公尺地電阻影像剖面測線 完成英文網頁設計 完成期中報告
3	完成探勘區重力資料分析 完成大甲、鐵砧山斷層資料處理解釋 完成 18 個 MT 測點現調作業 完成 2500 公尺反射震測現調作業 完成 2500 公尺地電阻影像剖面現調作業 完成鹿野、利吉與恆春斷層現調 完成鹿野斷層資料處理解	9 月 30 日	完成探勘區重力資料分析 完成 3300 公尺反射震測測線 完成 2800 公尺地電阻影像剖面測線
4	完成利吉、恆春斷層資料處理解釋 完成鹿野利吉斷層 MT 資料處理 完成期末報告	11 月 15 日	完成期末報告書、總結報告書

1-3-3 實際工作成果

本計畫已依約完成各項工作內容，實際工作成果及完成數量統計如表 1-3 所示。

表 1-3、預定工作項目與實際完成內容對照表

項次	預定工作項目	實際完成工作
1	文獻蒐集	完成蒐集五條斷層相關研究資料
2	三義斷層地物資料蒐集與解釋	完成三義斷層地物資料蒐集與解釋
3	30 個 MT 測點	共完成 30 個測點 台東地區 20 個測點 三義地區 10 個測點
4	4500 公尺反射震測測線	完成反射震測總長度 5700 公尺 大甲斷層鐵砧地區 2400 公尺反射震測測線 鹿野斷層檳榔地區 2200 公尺反射震測測線 恆春車城地區斷層 1100 公尺反射震測測線
5	4500 公尺地電阻測線	完成地電阻影像剖面總長度 4830 公尺 鐵砧山斷層鐵砧山地區 1080 公尺測線 池上斷層瑞源地區 1520 公尺測線 利吉斷層貓山等地區 1130 公尺測線 鹿野斷層田寮地區 1100 公尺測線
6	地球物理探勘成果英文網頁設計	完成地球物理探勘成果英文網頁設計
7	—	完成台灣西部與東部重力資料處理

第 2 章、調查方法與原理

本計畫採用之探測方法包括：反射震測法（Reflection Seismic Method）、地電阻影像剖面法（Resistivity Image Profiling Method）、重力法（Gravity Method）及大地電磁波法（Magnetotellric Method）等，本章概略說明所採用方法之施測原理、資料處理方法及所使用的儀器設備種類。

2-1 重力法

2-1-1 探測原理

根據萬有引力定律，質量分別為 m_1 及 m_2 兩物體間相互間的吸引力，稱為萬有引力，引力的大小與此二物體質量的乘積成正比，與此二物體間距離的平方成反比，以數學式表示如下：

$$F = \frac{G \times m_1 \times m_2}{r^2} \quad ; \quad \cdots\cdots (1)$$

式中，G 為萬有引力常數（$G=6.67E^{-8}$,cgs unit），r 為此二物體質心間距離，F 即為萬有引力。將上述公式之 m_1 以地球的質量代入，m_2 以地表上單位質量代入，則此時之萬有引力，即為單位質量所在位置的「重力」。

由於地球並非圓球體，加上地球內部質量分佈不均勻，因此在地表上任一點之實際重力值並不相等，其重力值與測點的高程及地層密度等有關。重力測勘（Gravity Survey）係在地表上用儀器測定地下密度水平變化所產生之重力變化，藉以推斷地下構造之形貌，是一種經濟、迅速且有效的地球物理探勘方法。常用在大規模的地質調查、油氣探勘、地下空洞調查、斷層調查及經濟礦物調查等方面。

2-1-2 資料處理

重力測勘資料受地表高層、地形等之影響甚劇，因此進行重力資料解釋前需先進行一系列的資料修正，包括：偏移修正、高度修正、緯度修正與地形修正等，分述如下：

一、偏移修正（Drift Correction）

利用二小時回到基點的方式，將兩次測值的差值，依測勘的時間，將差值平均分配。本法可同時將潮汐與儀器本身的偏移同時修正。

二、高度修正（Altitude Correction）

高度修正可分為：「自由空間修正」及「布蓋修正」，分述如下：

(一) 自由空間修正（Free Air Correction）

自由空間修正主要目的在於去除因觀測站與基準面間距離所造成之重力差異，修正公式如下：

$g_0=g+0.3086\ H$ (mgal)；…… (2)

其中 g 為觀測的重力值；H 為觀測站與基準面間的高度差距；g0 表修正後之重力值。

(二) 布蓋修正（Bouguer Correction）

布蓋修正主要目的在於去除觀測站與基準面間地層的重力效應，一般可假設水平均質地層來計算其重力效應；修正後之重力值稱為布蓋重力（Bouguer Gravity）。

三、緯度修正（Latitude Correction）

由於地球是一個橢圓體，因此不同緯度距地心的距離不同，故造成重力之差異；緯度修正的主要目的在於，去除因緯度變化所導致的重力差異。

四、地形修正（Topographic Correction）

重力資料進行布蓋修正（Bouguer correction）時，係假設測點與海平面間為水平無限延伸之平板，並將該平板對測點所造成的重力值加以扣除。然而，實際上因測點鄰近地區之地形高低起伏不同，造成當實際地形面高於或低於測點高程時，均有減低重力吸引力的效應。因此，進行重力地形修正的主要目的，在於將前述因地形高低所導致的引力減低現象加以修正。其修正值之大小與正負，與布蓋修正所引用的模型有關，在陸地部份均為正值，在海洋及空中則隨測點垂直向下投影於地表或海底地形之起伏情況，其修正值有正也有負。

傳統的地形修正需使用不同比例尺地形圖，使用 Harmmer 模板（Hammer, 1939）以人工讀取各區塊的平均高程，過程非常費時且往往不易考慮距離較遠處的地形影響。近年來使用數值地形已相當普遍（Cogbill, 1990; Hwang et.al., 2003;

Kane, 1962），配合電子計算機快速運算的優點，使得重力地形修正更有效率。

基於節省運算時間且兼顧準確性之目的，地形修正往往畫分為“近地修正”（Local correction）及“遠地修正”（Regional correction）兩部份分開計算。在距離測點較近的範圍內（內圈距離；Inner Distance），因地形所造成的重力影響較大，故使用比較耗時但準確的計算方法；而在距離比較遠的區域（外圈距離；Outter Distance），因地形所造成的重力影響相對較小，故使用計算比較快速的方法（Kane, 1962）。台灣地區因地形陡峭且東臨水深超過五千公尺的太平洋，因此最適之外圈距離約為 300 公里（Tong, 2006）。

五、向上／向下延伸（Upward/Downward Continuation）

向上延伸的功能在於透過解迴旋（Convolution）運算，將磁力量測基準面向上提升至某特定高度，由於基準面高度提高，量測點與地下磁體間的距離加大，故磁力異常較不受局部異常影響，而能反映出大區域的構造形貌。

六、濾波（Filtering）

濾波處理主要目的在於分離高頻與低頻訊號，是用以計算區域重力（Regional Gravity）與剩餘重力（Residual Gravity）的方法之一，常用的濾波方法種類很多，包括：帶通濾波、常態濾波、…、等。

七、微分（Derivative）

透過微分處理可以加強地下磁體邊界的對比，可以使地下異常體的邊界更易於辨認；其中，垂直微分（Vertical Derivative; VDR）、水平微分（Total Horizontal Derivative; THDR）、解析訊號解（Analytic Solution; AS）、傾斜微分（Tilt Derivative; TDR）等是較常使用的方法（圖 2-1）。應用在重力資料方面較無問題，因為重力場的方向可視為向下；但是對於磁力資料而言，若施測地區之磁傾角不等於±90度時，則必需先經過歸極換算後再進行微分處理，則微分處理後的線型對於掌握地下異常體邊界等構造很有幫助（Bround et.al.; 2004）。常用微分方法所使用公式如下：

$$VDR = \frac{\partial T}{\partial z} \text{；} \quad \text{(3)}$$

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2} \quad ; \quad \text{..... (4)}$$

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad ; \quad \text{..... (5)}$$

$$TDR = \tan^{-1}\left[\frac{VDR}{THDR}\right]; \quad \text{..... (6)}$$

八、構造解釋（Structure Interpretation）

尤拉解迴旋（Euler Deconvolution）是常用的構造解釋方法，可用以獲得如斷層、岩株、球狀體等模型的近似三度空間分佈。

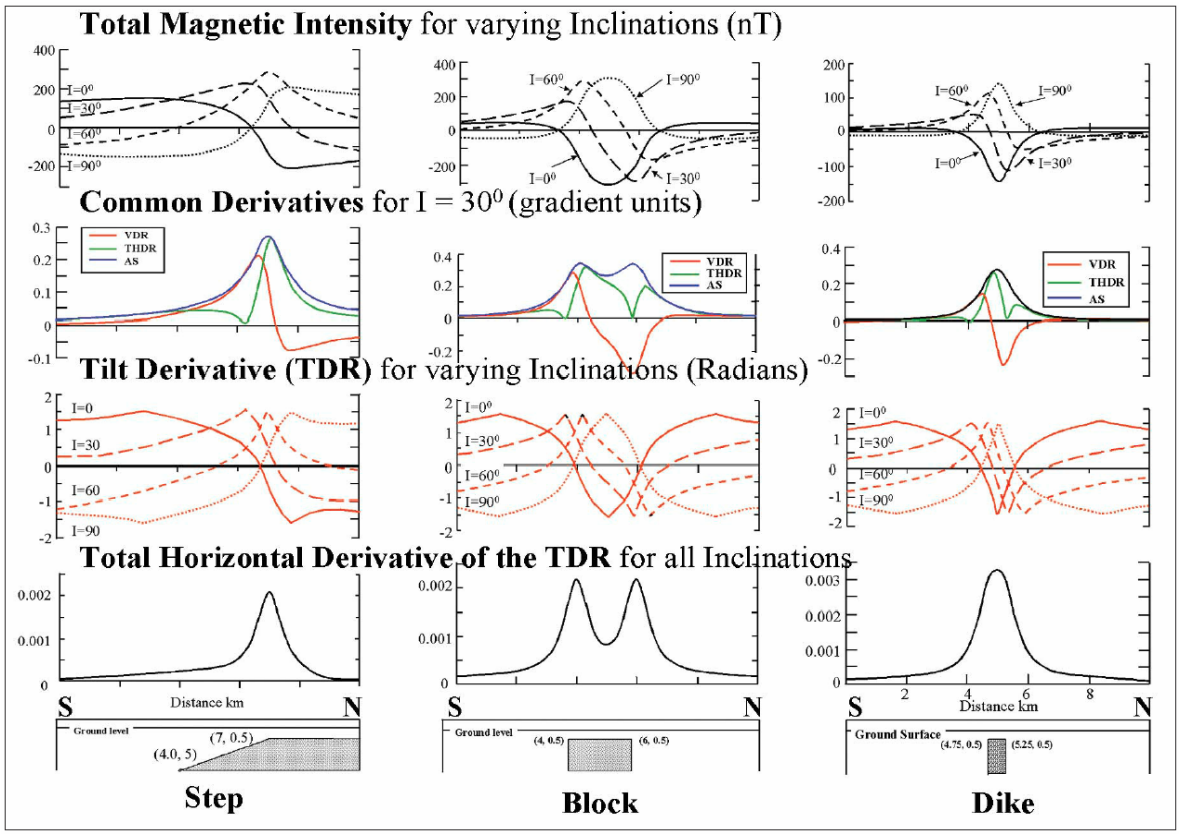


圖 2-1、不同微分處理比較圖
（摘自：Brund et.al., 2004）

2-1-3 重力資料蒐集及數化

一、重力資料蒐集及數化

本計畫所引用的重力資料，係中油公司於 1946 至 1967 年間所完成的全島重力探勘布蓋異常圖（Pan, 1965、Pan, 1967、Hu and Chen, 1986），範圍主要函蓋台灣北部、中部及東部等地區，圖 2-2、圖 2-3 分別為本計畫所使用之臺灣中部及東部地區原始布蓋重力異常圖。因原始重力圖所採用的座標系統與現今貫用的系統不一致，本計畫將其數化後均轉換成 TWD67 TM 2 度分帶座標系統，以方便後續與相關地質構造圖層套疊比較。

二、重力異常圖網格化

為便於後續數值資料分析與套疊其它種類圖層，本計畫將數化後的重力異常圖，重新進行網格化（Gridding），網格間距為 250 公尺。由於本計畫所引用之重力圖中，只有臺灣東部之重力圖未經地形效應修正（Hu and Chen, 1986），其餘臺灣西部地區之重力圖均已經地形修正處理（Pan, 1965、Pan, 1967），故本計畫在進行重力資料解釋前，乃特別針對臺灣東部地區之重力資料進行地形修正處理。

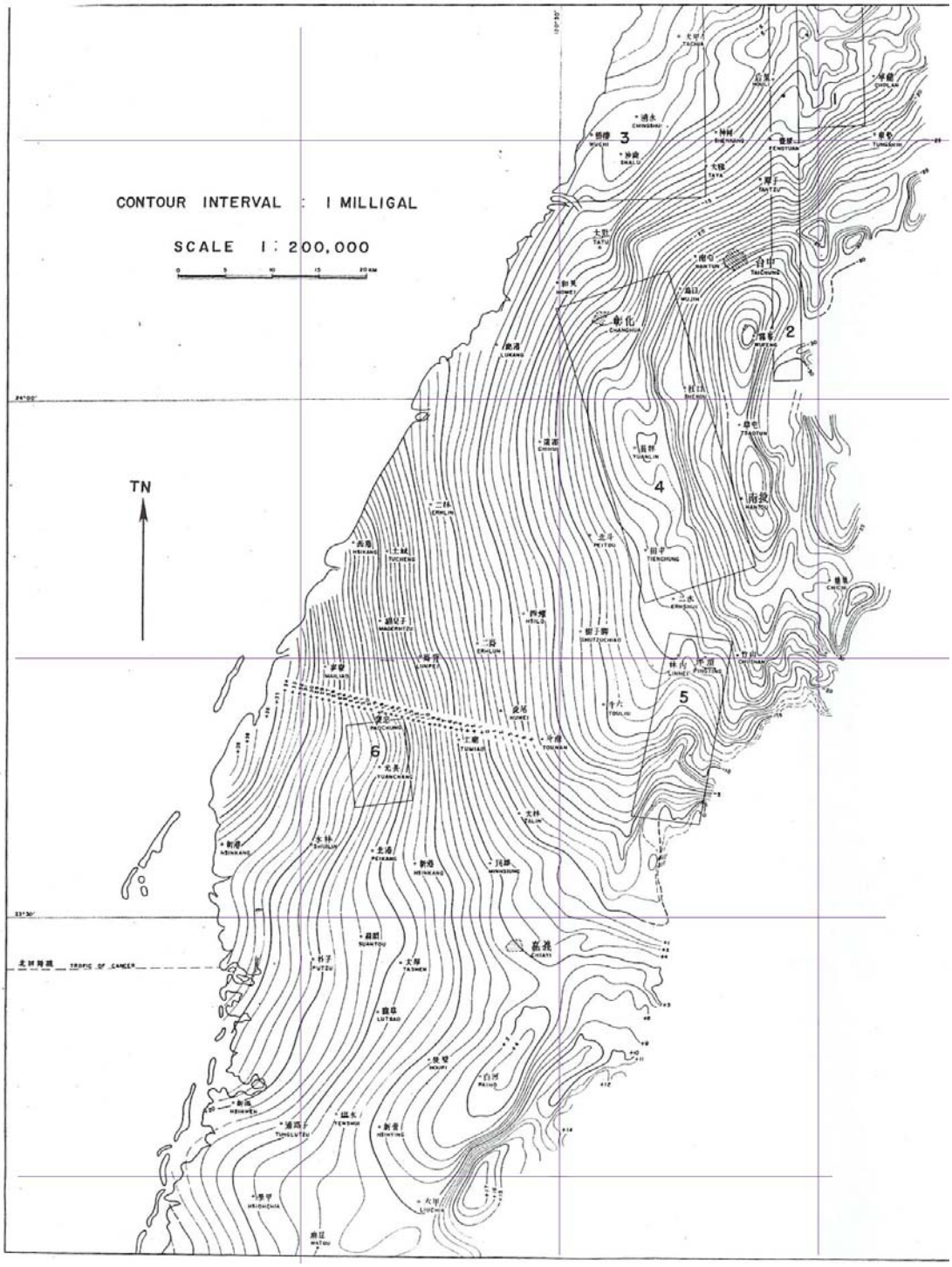


圖 2-2、台灣中部原始布蓋重力異常圖

（摘自：Pan, 1967）

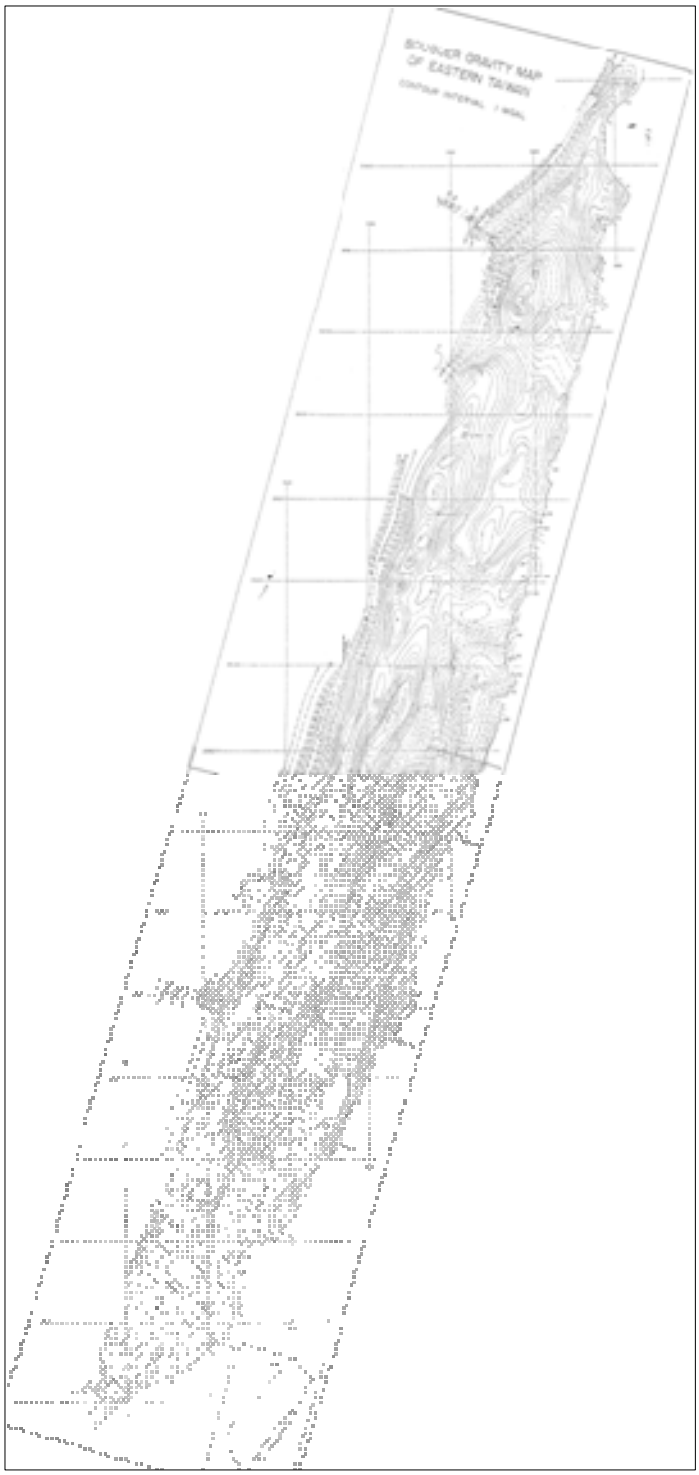


圖 2-3、台灣東部原始布蓋重力異常圖
（摘自：Hu and Cheng，1986）

2-2 反射震測法

2-2-1 探測原理

反射震測係在地表設置一人工震源，產生震波後向地下傳播（圖 2-4），當遇到地層之聲波阻抗的不連續面時，震波的部份能量會反射回到地表，由地表接收器接收，經分析此接收回來之震波訊號，可反映出地下構造形貌。反射震測法是一種直接探勘法，它利用反射震波攝取地下構造之影像，從而描繪地下構造形貌。若反射影像清晰，構造立現，判讀容易，毋需太多人為解釋。相較於其他方法，反射震測法使用之震波波長短，辨識能力強，被視為地球物理探勘法中解析力較高的一種。

本研究野外施測採用 CDP（同中點）法，主要沿著測線方向連續炸測，並往前將成一直線且等距離的受波器移動，以收集多重資料，然後利用資料的重複性，將有用的信號疊加出來。炸測所收集到的資料除了反射訊號之外，同時也記錄到各種雜波，如何提高訊號降低雜波視為震測工作之主要目的，CDP 法最大的優點在於它能夠將相同點的反射訊號經由疊加的方式加強其能量，其他的雜訊則因為相位的不同而減低，達到提高訊號雜訊比（S/N）的目的。

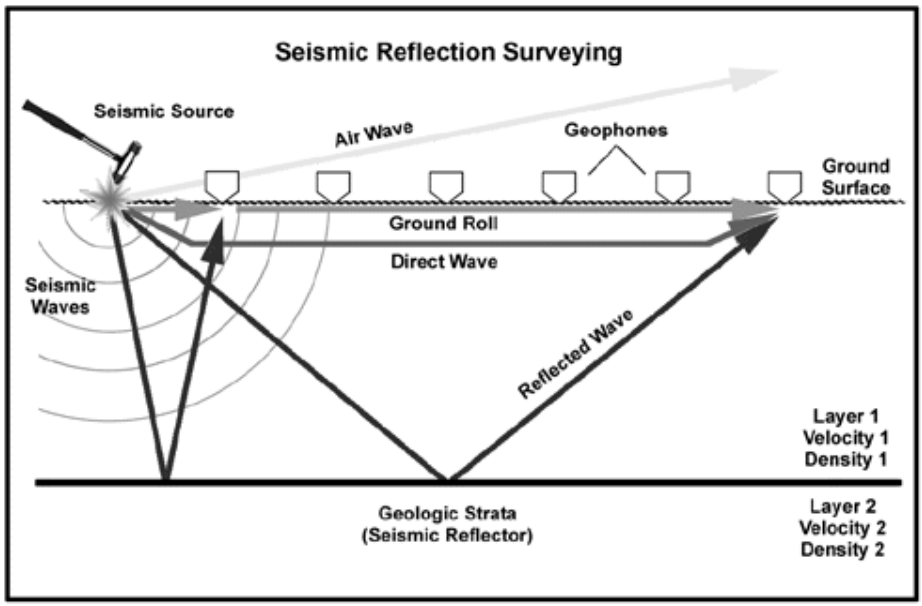


圖 2-4、反射震測法施測原理示意圖

2-2-2 使用儀器

高解析度淺層反射震測是以探測地表下 1,000～1,500 公尺以內的地層構造細部形貌為目標，因此需要符合高解析度的基本要求，野外施測所用的儀器應具有下列之特性：(A) 高頻震源、(B) 高頻受波器、(C) 具有前置濾波及高位元記憶體裝置的震測儀。再加上良好的測區與細心的資料處理，才可能得到一高品質的震測剖面。本計畫採用之儀器（圖 2-5）分述如下：

一、震源：本研究中使用的震源是 EWG-III 撞擊式震源，該彈簧式震源係以油壓抬高拉著橡皮彈簧之 550 磅重鎚，以落體加彈簧張力撞擊置於地上之鐵板，產生震源能量。施測時，每震源點可撞擊多次累積能量，本研究每點都將累積至少 15 次以上，相參信號可獲得有效之訊噪比。

二、震波集錄系統：Geometrix- GEODE 震波集錄系統可大幅擴充受波波道，有效率提升剖面重合數。本調查所使用的受波器響應頻率為 40 Hz 以上，可將低頻之地面波雜訊適度的衰減抑壓，同時集錄 144 波道資料。

三、震測儀：本計畫使用 Geometrix -Seismic Recorder 震測儀，具有下列優越特性：

(一) 較大的動態範圍，可提高訊號記錄的有效位數。

(二) 前置低切濾波，在訊號被記錄下來之前，先將低頻的地面波雜訊壓抑。

(三) 疊加功能，反射訊號相對於雜訊是相當微弱的，藉由疊加的功能，可以提升反射訊號的能量。

(四) 本計畫採用的震測系統其動態範圍達 24 位元，可有效收錄微弱之反射震波信號。

(五) 具 144 波道以上同時收錄功能。增加波道數代表可收錄更多之信號，對易受雜訊干擾之反射震測而言，可大幅提高資料品質。

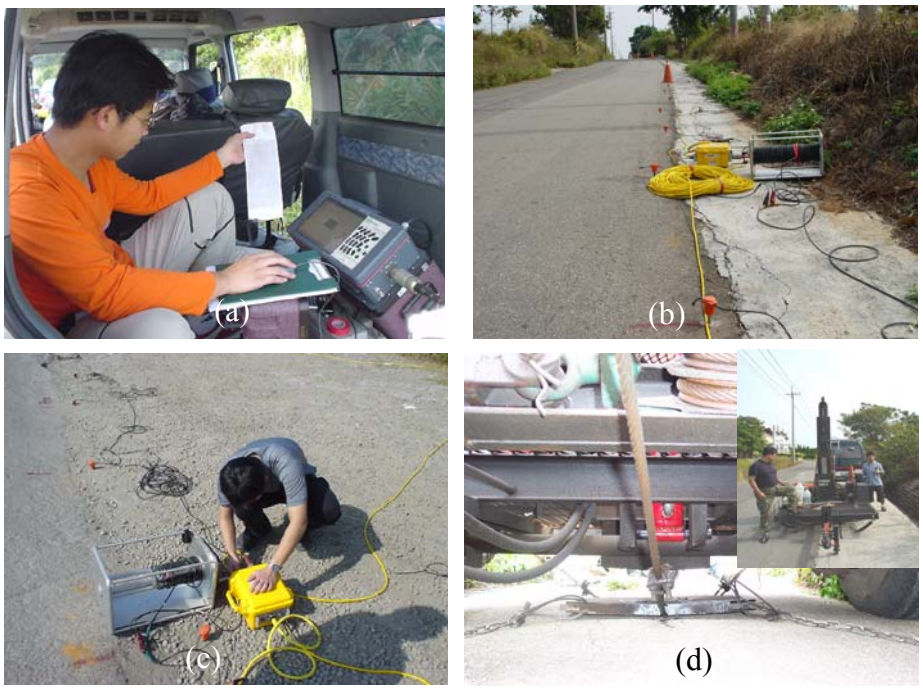


圖 2-5、本研究使用之震測系統
(a) Geometrix-StrataView 震測儀；(b), (c) Geometrix-GEODE 集錄系統；(d) EWGIII 機械震源

2-2-3 雜波測試

震波測勘前，需先進行雜波測試（Noise Test）。雜波測試可觀察場址表面波速度分佈、地表噪音、干擾等狀況。經過適當研判，避開表面波污染範圍，選取最佳收錄視窗。雜波測試所獲之大剖面另有一項很重要的功能，即可提供一較為準確的速度。反射震測速度分析主要依靠震源與測站之間存在的雙曲線走時關係，測站展開之範圍愈大，雙曲線展開彎度也就愈大，可以決定愈佳之速度。若地下地層有傾斜，可依兩端之資料加以平均估算。

雜波測試之結果，可用以決定下列施測參數，以大安溪南岸 06P-TCA-TC01 測線雜波測試所獲得的炸測記錄（圖 2-6）為例，選定之施測參數如表 2-1 所示：

一、近站支距（Near Offset）：震源至第一個受波器間的距離。越靠近震源則地滾波（Ground Roll）越強，但若近站支距過大，則將降低對淺地層的解析能力。經由雜波測試可據以選擇最佳近站支距，以避開地滾波干擾，並獲取適足的地下地層資訊。

二、遠站支距（Far Offset）：震源至第最後一個受波器間的距離。此距離越遠則相對探測深度越大，且有利於速度分析，但是遠站支距若過大，則有導致記錄訊號強度不足的問題。事實上，在測站數固定的情況下，近站支距加測線長度，已決定了遠站支距，故遠站支距通常不被視為獨立施測參數。

三、測站間距（Receiver Interval）：即每一測站間之距離。在本調查中，每一測站將只安插 1 個受波器。對淺層震測而言，因範圍太小又需要較高頻率，並不使用受波器陣列。

四、重合數：重合數是指每一 CDP 點所能收集到的波線數。重合數越高越能夠提高雜訊比，壓抑背景雜訊。當要求較高資料品質時，則需要使用較高的重合數。本研究使用的重合數為 24 重合。

五、取樣率（Sampling Rate）：取樣率決定資料解析度以及檔案的大小。

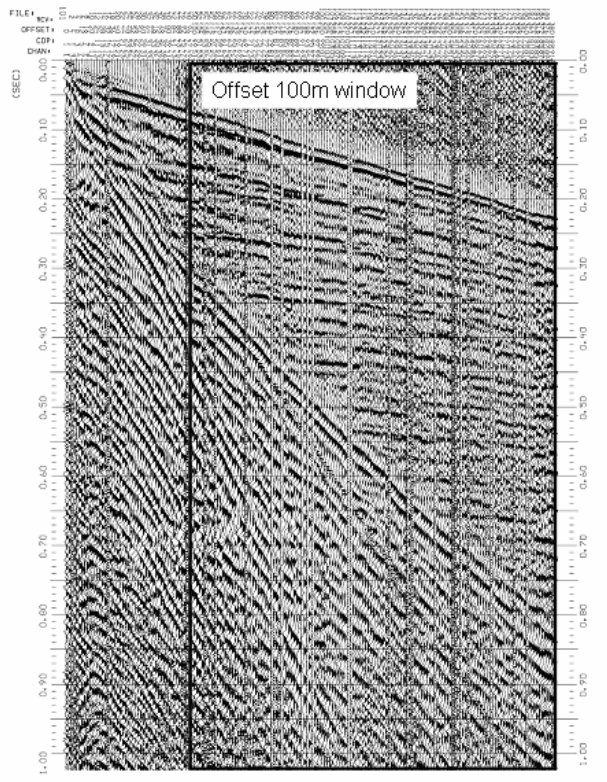


圖 2-6、大安溪南岸 06P-TCA-TC01 測線雜波獲得的炸測記錄

表 2-1、反射震測探測施測參數

項目	參數設定
震源類型	撞擊式震源
接收器頻率響應	40 Hz
測站間距	2 公尺
近站支距	100 公尺
重合數	＞24 重合
疊加數	15
取樣間隔	0.25 ms
紀錄時間	1024 ms

2-2-4 資料處理

資料處理的目的是要儘可能地把非反應反射地層之震波雜訊去除，而忠實地將地層反射訊號表現出來，本計畫採用圖 2-7 所示之處理流程進行資料處理，主要分為三大部分，說明如下：

一、重合前：將野外資料轉入工作站，建立幾何關係，做靜態修正（含高程修正及風化層修正），並開始進行許多濾波工作，主要目的是將雜訊壓抑，加強反射訊號的能量。濾波處理包括：帶通濾波（濾除低頻之地面波或高頻之雜亂雜訊）、陷頻濾波（濾除高壓電之 60 Hz 倍數雜訊）、傾斜濾波（濾除地面波或其他線形雜訊）、解迴旋（濾除多次反射或信號振盪現象）等，將不需要的雜波濾掉，以提高訊號雜訊比（S/N Ratio）。圖 2-8 所示為濾波處理前、後炸測記錄比較圖，顯示經濾波處理後，大幅降低炸測記錄中如地滾波、空氣波等雜訊。

二、重合中：包括速度分析及殘餘靜態修正。將炸點剖面的資料轉換到同深點聚集做速度分析，獲得速度分布，並以之進行殘餘靜態修正，改善 CDP 重疊性，最後做動態修正並且將其疊加重合，獲得重合後震測剖面。

三、重合後：將所得的重合後剖面做進一步的改進，進行濾波以獲得最後震測剖面（Final Section），提供做為解釋使用。另外亦做重合後移位（Migration），獲得移位後震測剖面（Migrated Section），以呈現正確之地層位置，並將時間轉換為深

度。

台灣地區進行斷層調查之反射震測資料處理的關鍵在於濾波程序及靜態修正。一般地區斷層震測調查所遇到的雜訊有如表面波、側向反射（相參性雜訊）及一般噪音、地下管線、電力線等（非相參性雜訊）。除透過適當的施測幾何設計外，資料處理程序中頻率濾波及速度濾波等濾波程序，可將雜訊壓抑濾除，並獲得良好的信號強度。因為儀器的進步，部份過去無法獲得之微弱深部地層信號，透過精確的濾波程序，信號得以呈現。此外，造成描線信號走時之殘餘量之原因很多，如風化層厚度、速度側向分布不均、地形、測線蜿蜒等。透過同炸點集合及同中點描線集合之靜態修正（圖 2-9），可將上述原因所造成之殘餘量修正回去，使反射信號回歸原有之連續位置。

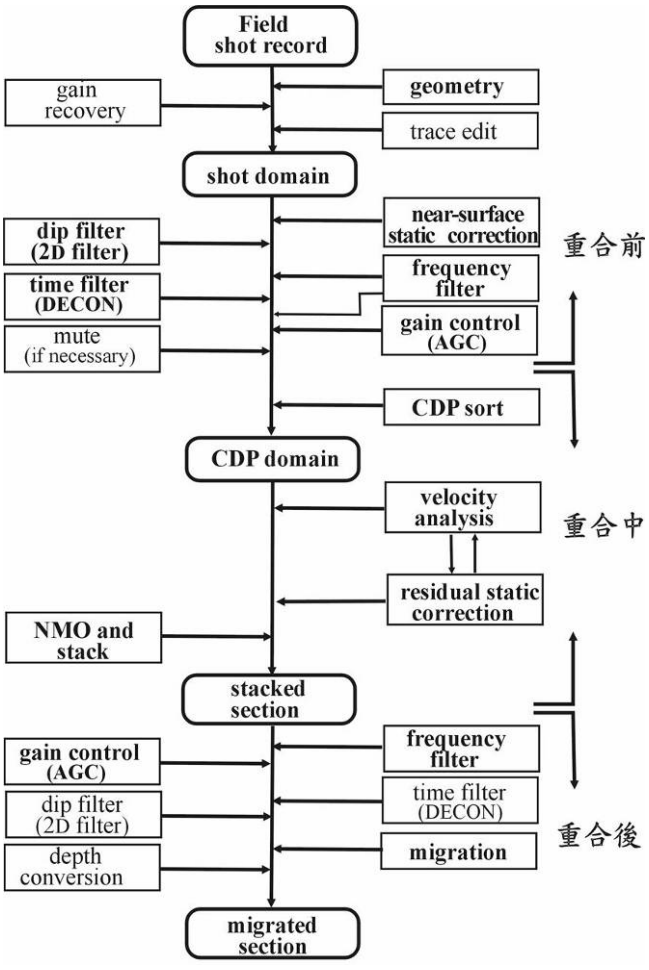


圖 2-7、反射震測資料處理流程

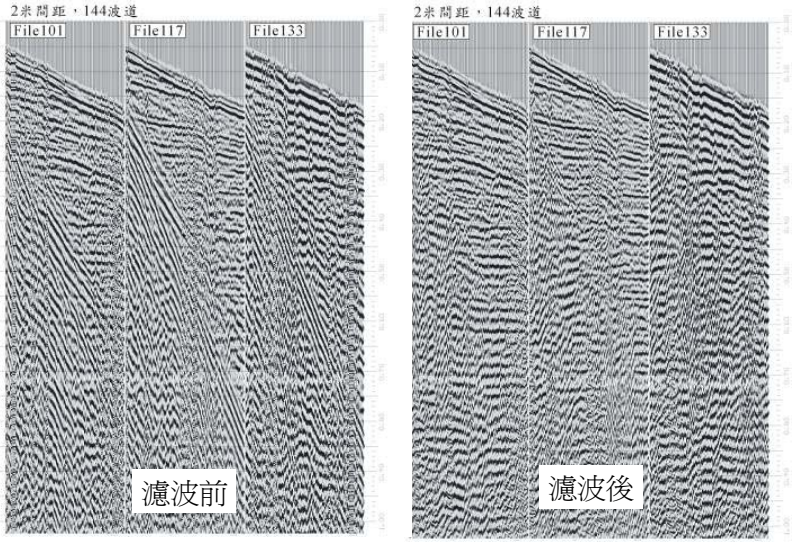


圖 2-8、濾波程序後炸點描線紀錄比較

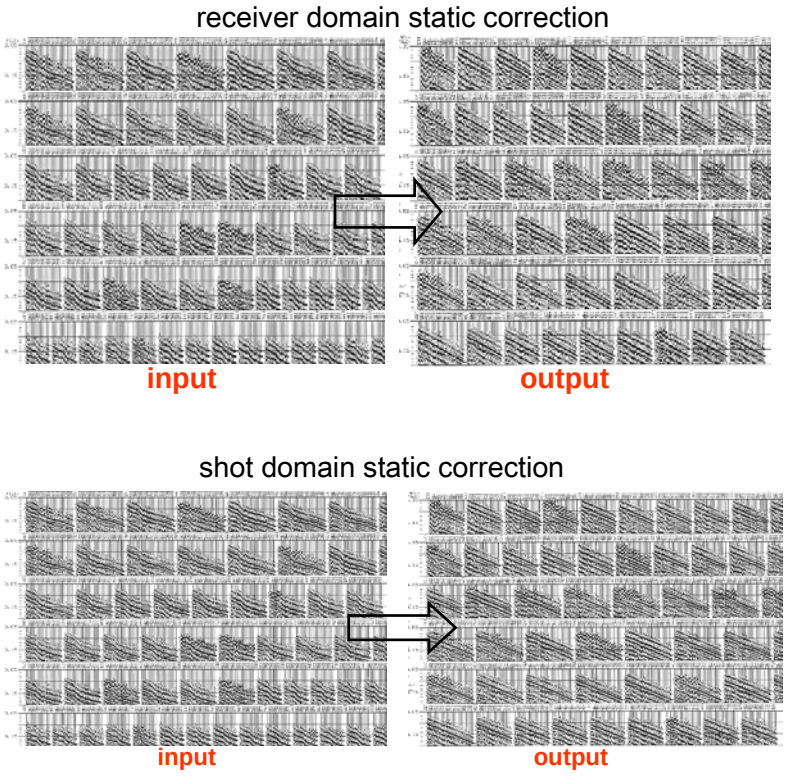


圖 2-9、受波器域與同炸點域之靜態修正結果比較圖
（上：受波器域靜態修正；下：同炸點域靜態修正）

2-2-5 震測解析能力探討

地下構造甚難產生高於 200 Hz 之信號（Doll et al, 1998），同時由於近支距及 NMO 修正的關係，使得淺部 50 公尺以上之解析度受限於物理限制而無法達成。因此，在構造探查所施行之高解析反射震測，除盡可能以施測幾何提高斷層帶之解析外，另外極為重要之觀點在於：（1）探討 50 m 到 1500 m 深度範圍之構造；（2）銜接地表地質及探油深部剖面等研究資料，將淺部-深部、大-小構造間連接起來建立一完整地體架構，已獲得較全面性之構造解釋。本研究在「高解析度淺層反射震測」（High Resolution Shallow Reflection Seismics）之高頻、密間距條件下，增加波道數、展距、重合數、震源能量。多波道同時收錄，可將探勘範圍拉大，兼顧淺部及深部資料。此外，收波器間距縮小可以提高側向之空間解析度（圖 2-10），對資料處理時之傾斜濾波（濾除地面波雜訊）極為重要。可利用高空間採樣率，避免映頻效應之困擾。而高重合數可以提高震測剖面品質，有助於深部資料之呈現。因此，本計畫除採用小測站間距、密取樣率，以維持高解析度外，同時也達到加大「測深範圍」之要求。

關於側向解析能力，一般在三維震測的概念中，由 Fresnel 帶觀念可以得知，解析方格（Bin）大小所能提供的空間解析度受震波信號頻率與目標層深度的影響。除此之外，在實際測勘時，反射波入射的角度，也會影響到在地表佈站的測站密度，當波長λ，以θ角度入射地表時，因一波長至少要有兩點取樣（Nyquist Sampling），故：

$$\Delta X = \frac{V}{2 \times f \times \sin\theta} \quad ; \quad \text{..... (7)}$$

因此 Bin 的大小受控於近地表波速Ｖ、主要頻率 f 及可能地層傾角θ。在淺層反射之環境，假設Ｖ=1500m/sec, f=150Hz, θ=30°～90°；ΔX=5~10m，亦即是測站間距或震源間距應小於 5 m，換成解析方格（Bin）的大小尺寸則應小於 2.5 m。為提高本測區之地層解析度，震源頻率在相對提高下，本計畫測站間距採用 2 m 間隔，Bin 大小尺寸縮小至 1 m，以獲得足夠之採樣率。

在垂直最小薄層解析能力方面，反射震波因上邊界第一反射及下邊界第二反射產生波的變形現象，由零相位黎克鏈波（Ricker Wavelet）和兩個等數值相位相反的脈衝波經解迴旋運算，當此兩個脈衝波相位接近至相距 1/8 波長時會產生一個穩定混合鏈波。此 1/8 波長長度被定義為兩界面之理論解析基礎，然而實際上大都使用 1/4 波長為

可辨識依據。因此，震波對地層的解析能力取決於波長（頻率）。一般淺層速度約為1500~2500 m/s，淺層反射信號以高頻為主，約在 50~100 Hz 之間，1/4 波長大約相當於 5~12 m。但當深度加深時，速度增高而頻率降低，使得對厚度之解析變差。因此，深層的構造特徵必須足夠大，才能用震測來測繪地下構造。影響波長的變數中，唯一可以控制的是頻率。如果能夠紀錄高頻成分以及寬帶頻率，便可改善解析能力。但在高取樣率的情況下，抗映頻混擾濾波（Antialias Filtering）會將部份頻段以上之高頻濾除，且大地為一理想之高頻濾波器，高頻信號在通過地層時能量即快速衰減。頻率愈高，在地層傳遞中的衰減越大，所以反射震測必須在鑑別率和穿透深度之間折衷。

此外，真實信號夾雜許多強反射層之複反射，使真實地層信號被複反射掩蓋，且不容易透過資料處理方法摘除，故真實反射震測剖面解析能力與理論上有一定之落差。然而，「高解析度淺層反射震測」之概念仍以最佳化之施測設計及資料處理程序，獲取解析及深度之擴展。



圖 2-10、GEODE 震波集錄系統，採多波道及小間距設計

2-3 地電阻影像剖面法

2-3-1 探測原理

地層由於組成材料及膠結等狀況不同，因而表現出不同的導電特性，一般以電阻率（Resistivity）代表物質的導電性質。不同地層岩性及不同含水狀況時所對應的電阻率分佈情形（或稱為地電阻譜；Resistivity Spectrum）；地電阻譜提供我們一個構想，即若能藉由儀器測量及分析技術瞭解地下地層的電阻率，則輔以適當地質資訊，可用以瞭解地下地層的岩性分佈情形，進而解釋地質構造、礦產分佈、地下水資源（Cheng, 1984；Yang and Tong, 1990）、以及地下水污染（董倫道等，1992a）等。由於地電阻法花費少且工期短，因此適用於工程地質、探礦、地下水調查、海水入侵調查與地熱測勘等多方面。

基本上，地電阻法探測需於地表配置四根電極，在其中兩電極（電流極：A 與 B）以低頻（1 Hz～10Hz）之交替直流電（Alternative Direct Current）通入地下，並用電流計量測電流強度；此時在另兩根電極（電位極：M 與 N）量度因電流分佈所造成的電位差。所量測之電位差與通入地下的電流強度、電極間的相對位置及地層的導電性有關；若測得電流強度 I、電位差 V 及電極之相對位置可根據下式計算出相對均質半空間地層的電阻率 ρa：

$$\rho_a = k\frac{V}{I} \quad ; \quad \text{..... (8)}$$

式中 K 稱為幾何因子（Geometric Factor），與電極排列的相對位置有關；ρ_a 稱為視電阻率（Apparent Resistivity），通常不代表地層之實際電阻率，而是代表在此種電極排列情形下所有地層電性之綜合效應。電流極展距愈大，其效應相對反映較深地層之電性特性，因此在探測過程中將電流極展距逐次加大，可逐次獲得由淺至深的地層反應，經逆推（Inversion）處理後可以獲得地下各層之真實電阻率與厚度。

2-3-2 使用儀器

本計畫使用日本 OYO 公司製造的 McOhm-21 電探儀（圖 2-11），該儀器是特別針對地電阻影像剖面法與地電阻斷層掃描法（Resistivity Tomography）設計的，具有

大幅縮短測量時間，並獲得高品質資料的優點。主要由八大部份所構成，略述如下：

一、電源供應器單元：將輸入的直流電源改變成交替直流電輸入地下以避免地層的極化效應；儀器最大輸出電壓為 200 Volts，最大輸出電流為 400 mA。

二、電位器單元：將電位極間之自然電位（Self Potential）平衡後，應用惠登斯電橋原理量測通入地下電流在二電位極間所造成的電位差；最大靈敏度可達 6 毫伏特。

三、自動控制單元：具有兩個 16 bit 的控制與運算微處理器，可依據使用者設定的電極排列方式、電流強度、濾波、疊加次數及最大標準偏差等探測參數，自動執行送電與量度電位差等工作，並將量測結果暫存於隨機記憶體內。

四、掃描控制單元：根據使用者設定或由控制軟體自動產生電極排列控制檔案，接受自動控制單元傳來的指令，切換對應電極連接至電源供應器單元與電位器單元；最多可同時控制 750 根電極。

五、數據化單元：由一個三波道、14 bit 的 A/D Converter 組成，將電位數位化後傳回自動控制單元，可同時量測三組電位極的電位差資料。

六、顯示器：具有一螢光幕顯示目前的設定、輸出電流及量測電位等即時的狀況，並可透過附加的功能鍵執行各項指令；此外，亦可透過螢幕將原始量測記錄及經現場初步處理後的結果顯示出來。

七、磁碟機記錄器：為一 3.5"的軟式磁碟機，用來儲存野外量測的資料。

八、印表機：為一電感式印表機，可輸出探測參數資料、原始地電阻影像剖面或經過初步處理過後的地電阻影像剖面圖。



圖 2-11、McOhm-21 地電儀

（左：多功能電探儀；右：岩心露頭電阻率量測儀）

2-3-3 電極配置

地電阻法測勘過程中通入地下電流的頻率變動不大，其探測深度除受地層導電性質影響外，探測深度與電極展距成正比例，屬於一種幾何測深法，合適的電極排列方式需視測勘目標、地質狀況、人力資源及現有資料處理技術等作適當的選擇；一般常用的電極排列方式有：施蘭卜吉排列（Schlumberger Array）、溫奈排列（Wenner Array）與雙偶極排列（Dipole-dipole Array）等。一般而言，施蘭卜吉排列與溫奈排列較常應用於地層平緩區域做垂直測勘（Sounding），雙偶極排列法則較常應用於剖面測勘（Profiling）。應用在地層探測時，垂直測深因受限於測點分佈，對於構造的解析能力稍嫌不足；而純粹的剖面探測方式，對於垂直方向的解析能力則較弱。因此，倘能綜合這兩種基本探測方式的優點，能提高在地層探測應用的可行性。

地電阻影像剖面法是兼具垂直與側向解析能力的一種探測方式。其現場施測配置與反射震測法類似，係沿著一個既定測線配置電極（圖 2-12），除能達到如垂直測深的"測深"目的之外，由於沿測線方向的測點較密，因此容易反應出地層側向的變化情形。由於地電阻探測應用幾何測深的原理，其探測深度與電極間距成正比例，因此為了獲得不同深度地層電阻率的變化情形，在現場施測時必須不斷地改變電極位置。根據現場調查經驗顯示，現場施測時大部份時間花費在反復移動電極位置上，嚴重延遲調查所需的時間；地電阻影像剖面探測所量測的資料量遠大於傳統的量測方式，因此如何有效縮短現場量測所需的時間是一項非常重要的課題；為提高現場調查的工作效率與對地層的解析能力，工研院能資所曾研發電探切換器（董倫道等，1992b），經現場試驗顯示，除能有效減少電極移動的次數，大幅提高施測的工作效率外，地電阻影像剖面探測能夠獲得較傳統探測方式更準確的地層資訊（董倫道等，1994）。

為獲得最大探測深度，本計畫使用雙極排列法（Pole-pole Array）進行探測，同時配合溫奈法、施蘭卜吉兩種電極排列法。該排列法是將傳統四極法中的其中兩極（一個電流極 B；及一個電位極 N）固定放置於遠處（若與測線間距離超過測深的七倍時，可視為如同置於無窮遠處），施測時僅需移動另外的電流極 A 與電位極 M，具有降低更換電極數目，達到節省測勘時間的目的，並在有限範圍內，可獲得最大的探測深度。應用在地電阻影像剖面法探測上時，在測線上每間隔相同距離預先插一根電極棒，並透過預先設定的電極切換規則，透過程式由儀器自動控制電流極與電位極的切換

。施測的次序是：先不移動測線上的電流極位置，僅移動電位極至與電流極達預先設定的距離；然後將電流極往前移動一電極棒，重複移動電位極（圖 2-13），直至電流極移至倒數第二電極為止，達到掃描地層結構之目的。

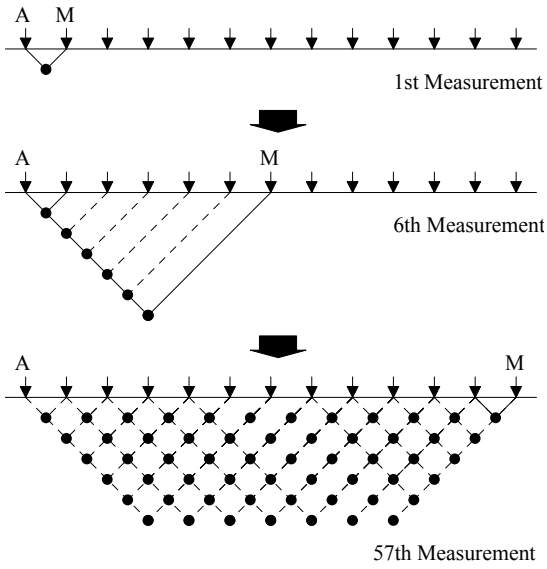


圖 2-12、地電阻影像剖面探測原理示意圖

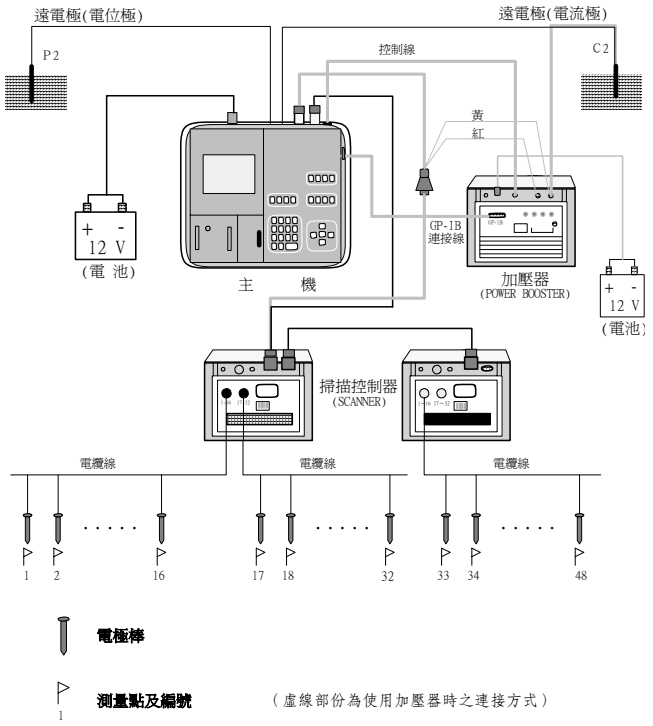


圖 2-13、地電阻影像剖面法電極配置示意圖

2-3-4 品質控制

地電阻影像剖面法是一種解析度相當高的探測方法，倘若因現場施測疏忽導致資料品質不佳，將會使後續的資料解釋發生嚴重的誤差。由於地電阻影像剖面探測的資料量相當龐大，而這種因作業疏忽所造成問題，若等到探測結束後再發現已難以補救了，因此必須具有現場客觀且即時的資料品質控制程序，才能避免類似問題的發生。

傳統地電阻探測較難以從事定量化的品質控制，量測訊號的可靠性常需藉儀器操作者或資料處理者的經驗加以判斷，有不夠客觀之虞。地電阻影像剖面探測因係沿一既定的測線施測，測線上各測點間的距離固定且一般不會太大，因此將各測點的垂直測深記錄，以電壓降曲線的方式展現，可以表現出電壓降隨不同測點的變化情形。根據數值模擬研究顯示，在正常情況下因通電所造成的電位分佈呈現緩慢的變化，測線上各測點的電壓降曲線應該不會相交；因此，若由電壓降曲線圖上發現有異常現象時，有助於鑑別品質不良的量測值。

2-3-5 資料處理

一般而言，二維地電阻之資料處理主要包括三個項目：(一) 遠電極修正、(二) 地形效應修正、(三) 二維逆推處理；依據本計畫所量測之資料特性，各步驟所採取之處理程序說明如下：

一、遠電極修正（Remote-electrode Correction）

由於逆推處理時係假設遠電極（參考電極）置於無限遠處，但在實際情況下，若遠電極與測線間距離小於測深之 7 倍時，則不能將遠電極視同置於無限遠處，為消除因遠電極並非無限遠所造成的影響，必需進行遠電極修正；經修正後之量測值，才能視同遠電極置於無限遠處之效應。

二、地形效應修正（Topographic Correction）

地表地形起伏會影響近地表電位分佈，通常凸起地形會導致電阻率降低，而下凹地形會導致電阻率上升，地形對量測值之影響程度，與地形起伏對測深間之比例有關；一般而言，地形急劇之升或降對量測影響較大，而相對較平坦之地形則較不影響量測值。

地形效應修正主要目的在於消除因急劇地形落差，對量測值所產生之影響，

本計畫採用 Tong and Yang (1990)提出方法，將地形起伏特性反應於二維有限元素模型中，並於實際地形起伏狀況下直接進行二維逆推處理，具有提高計算效率與獲得合理地下模型的優點。

三、二維逆推處理（2D Inversion）

現場地電阻影像剖面探測所獲得的量測值，在尚未經過處理之前稱為視電阻率，並不等於地層真正的電阻率（圖 2-14 為各岩性參考比電阻範圍），因此野外量測資料需經過逆推處理，方能用與解釋地下結構。基本上，地電阻影像剖面探測屬於二維的探測方式，需經過二維逆推處理才能獲得地層真正的電阻率分佈。地電阻二維逆推處理技巧已有許多作者論及（Tong and Yang, 1990），就理論部份已發展得相當成熟，本計畫擬採用 Geotomo Software 公司發展的 RES2DINV 二維地電阻處理軟體進行處理；該套軟體可依需要採用二維有限差分（2D Finite Different）或二維有限元素（2D Finite Element）逆推法，其中的逆推法係採用 Quasi-Newton（Loke and Barker, 1996）的逆推理論，逆推過程中降低計算雅氏式矩陣(Jacobian Matrix)的次數，兼具 Steep Descent 逆推法穩定收斂與 Gauss-Newton 逆推法快速收斂的優點，大幅降低資料處理所需的時間。

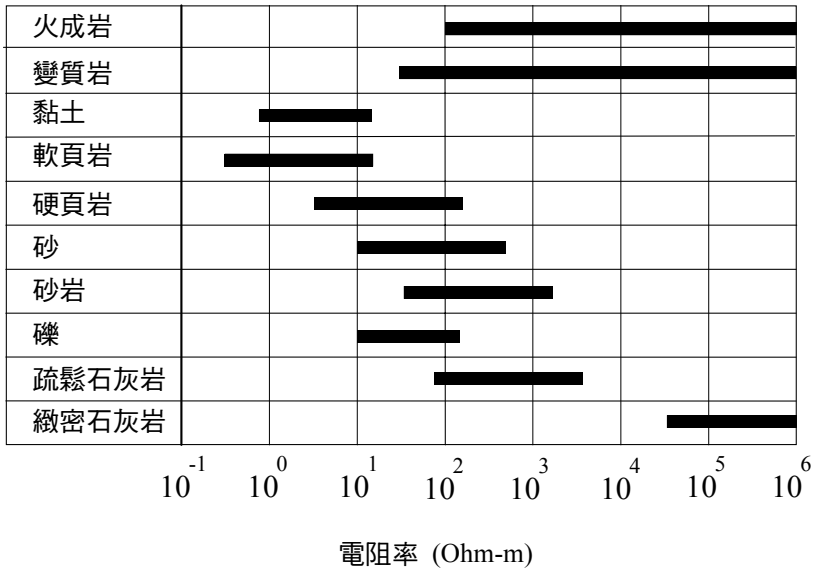


圖 2-14、一般地層電阻率分佈圖
（replot from Keller and Frischknecht, 1966）

2-3-6 地電阻法解析能力探討

與震波測勘的參數測深（Parameter Sounding）不同，地電阻法屬於幾何測深（Geometric Sounding），其探測深度的能力主要來自於電極的幾何排列變化，因此當探討地電阻法的解析能力時，並不能與反射震測法等視之。地電阻法的解析能力，可由以下方面加以探討：

一、電極間距

一般而言，電極間距越小，代表對電場的空間取樣間隔越小，故相對地解析度得以提高，若以兩電極間隔代表一個波長，則其水平解析能力約為 4 分之 1 個電極間距。但由於電位隨距離一次方成反比衰減的特性，當距離電極越遠，則其影響與貢獻越小，相對地對資料的靈敏度較小，表示解析度將隨著與電極間距離加大而降低。圖 2-15 所示為雙偶極排列相同偶極間距但不同電極間距情況下的敏感度分佈圖，顯示在相同偶極間距情況下，代表約略相等之測深能力，但因電極間距差異，故造成不同的敏感度。

二、電極排列

為了便於野外施作與提高測深或側向解析度等需求，地電阻測勘往往以一既定的電極排列法進行施測，常用的電極排列法有施蘭卜吉、溫奈、雙極及雙偶極法等，各種電極排列均有其優、劣點與解析能力差異。如圖 2-16、圖 2-17 分別為施蘭卜吉排列與半施蘭卜吉排列下之敏感度分佈圖，與圖 2-15 相比，顯示不同電極排列，對地層具有不同的敏感度，有些比較著重於測深，有些則偏重於側向解析能力。

三、順推與逆推模型網格大小

進行二維逆推處理時，無論採用有限元素法或有限差分法，在處理過程中必需涉及二維模型的架構，而此模型所採用的網格大小亦會影響解析能力（垂直與水平方向）。一般而言，採用較大的網格，具有穩定收斂的優點，但對於細微構造則不易描述清礎；但若使用較小的網格時，則有造成發散的可能性，但卻能提高解析能力。適當網格大小的取捨，視資料品質好壞而定，當資料品質高，可以選用較小的網格間距以提高解析能力，但若資料品質不佳時，則不宜使用過小的網格大小，以避免發散或過度收斂至不合理的解。

四、不確定性分析

完整的逆推處理通常會提供不確定性分析，以提供對逆推結果可信度的瞭解。當不確定性越高時，代表該部份的逆推結果相對較不可靠，因此在進行資料解釋時必需保持較大的解釋空間；相反地，若逆推結果的不確定性很低時，則在進行解釋時，可給予較大的信度，以提高解釋的合理性。不確定性分析往往也提供對於逆推結果上、下界限的資訊，若上、下界限的結果差異很大，表示逆推結果的可變動範圍較大，亦即結果的可信度較差。圖 2-18 所示為典型的逆推結果之上、下界成果圖，比較二者間之差異極小，故顯示本組逆推結果可信度高。

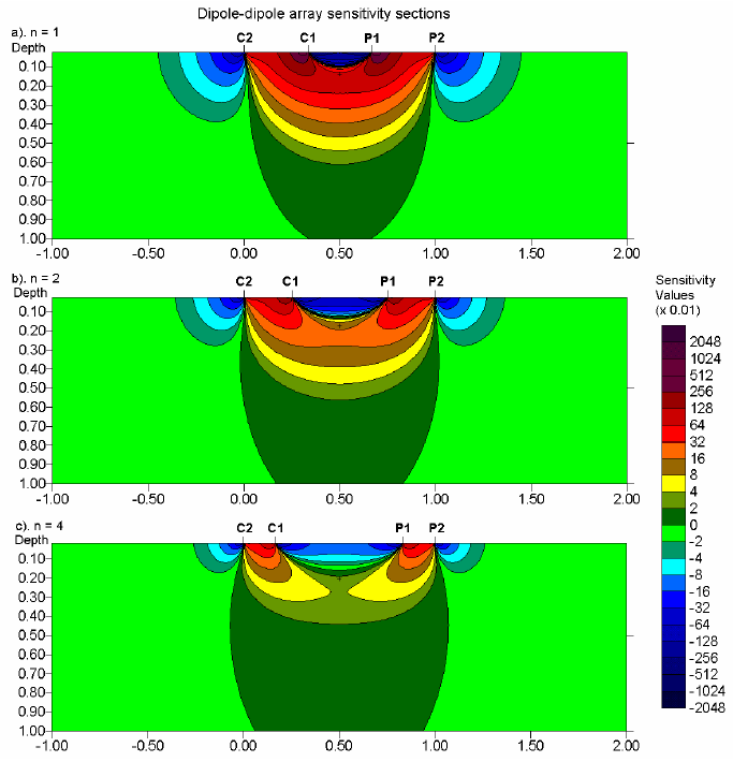


圖 2-15、雙偶極排列下的靈敏度分佈圖

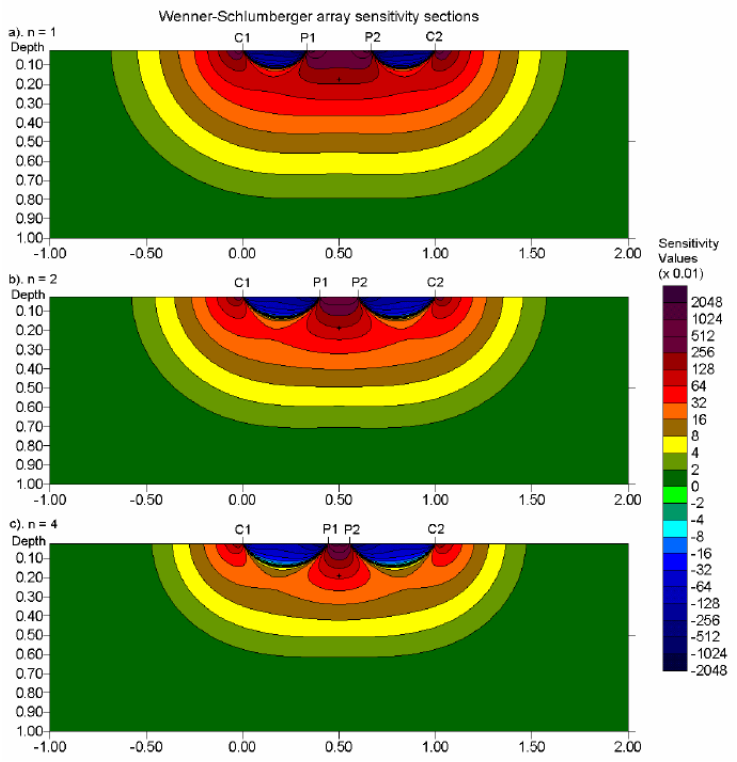


圖 2-16、施蘭卜吉排列下的靈敏度分佈圖

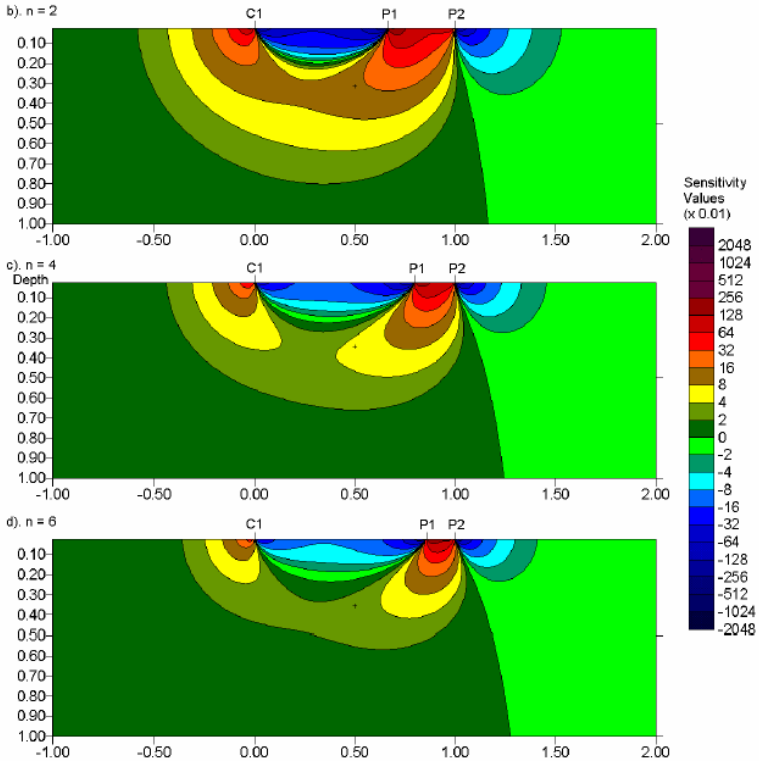


圖 2-17、半施蘭卜吉排列下的靈敏度分佈圖

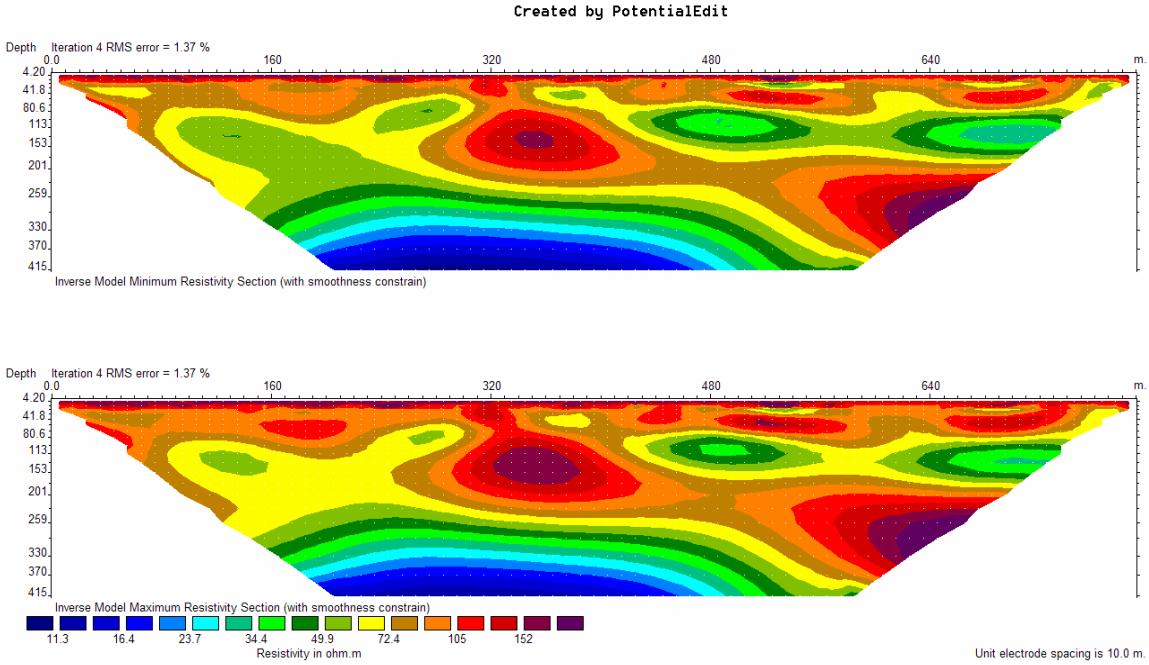


圖 2-18、典型的逆推結果上、下界結果展現圖

2-4 大地電磁波法

2-4-1 探測原理

大地電磁法（Magnetotelluric method；簡稱 MT 法）藉量測地球天然磁場與電場，據以獲得不同深度地層之電阻率，以達到分析地下地質構造之目的。早在 1950 年代便有學者探討 MT 法之施測理論（Tikhonov, 1950；Cagniard, 1953）；其中，Tikhonov (1950)提出在低頻（小於>1 Hz）範圍內，水平磁場的微分與垂直方向電場有關，而 Cagniard (1953)則進一步將兩者的關係式推導出來。

MT 法所量測之電磁波源主要來自太陽風（帶電粒子）及雷電產生之電磁輻射，其中因太陽風產生的電磁波，頻率範圍介於 0.001 Hz 到 1 Hz 間（Vozoff, 1991）。而雷電造成的電磁波，其頻率範圍介於 1 Hz 至 10 kHz 間。MT 法在地表量測這些天然電場及磁場的振幅、相位與方向，這些量測值之間的關係受地層電阻率分布影響，而探測深度則主要受電磁波頻率與地層導電性影響；一般而言，MT 法之探測深度可深達數十公里（Vozoff, 1972）。

天然產生的電磁波訊號具有很寬的頻率範圍，不同頻率的電磁波訊號，在地層內傳播時具有不同的衰減率（稱為集膚效應，Skin Effect）。低頻的電磁波衰減較慢，所以穿透深度較深；相反地，高頻電磁波因衰減較快，故其穿透深度相對較淺。因此，在地表研究不同的頻率的電磁波響應，即可分析不同深度地層的電阻率分佈。

依據電磁學理論，電磁波在等向性均勻介質中傳播時，電場向量（$\vec{E}$）與磁場向量（$\vec{H}$）互相垂直，且同時垂直於電磁波傳播方向（$\vec{S}$）；通常以特徵阻抗（Characteristic Impedance；Z）描述介質之導電等物理特性。MT 法係在地表量測隨時間變化的電場與磁場，計算不同頻率的特徵阻抗，以分析測點下方地層的物理特性（電阻率）。

一、一維赫爾姆霍茲方程式（Helmholtz Equation）

在暫態穩定（Quasi-stationary）情況下，傳播方向為+z 方向的平面電磁波，其電場及磁場的一維赫爾姆霍茲方程式，可以寫成（Keller, 2002）：

$$E_x = E_{xo}e^{ikz} = E_{xo}e^{-z\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}}e^{iz\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}} \quad \cdots\cdots (9)$$

$$H_y = H_{yo}e^{ikz} = H_{yo}e^{-z\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}}e^{iz\sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}}} \quad \cdots\cdots (10)$$

其中 E_{xo}、H_{yo} 分別為地表的電場及磁場強度；$k = \sqrt{-i\omega\mu\sigma}$；$\omega$、$\mu$、$\sigma$ 分別代表角頻率，磁感率及電導度。公式(9)與(10)中包含兩項指數的乘積，第一項指數決定了電場（或磁場）的振幅衰減特性，第二項指數描述了相位面（Phase Surface）的運動行為。

二、集膚深度（Skin Depth）

當電場（或磁場）強度衰減為地表振幅之 1/e 時，此深度稱為集膚深度或穿透深度（Penetrating Depth），定義如下：

$$d = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \quad \cdots\cdots (11)$$

電磁波相位面的運動行為受到波長及速度控制，波長等於集膚深度之 2π 倍，亦即電磁波在此深度範圍內相位的改變量達到 2π，表示如下：

$$\lambda = 2\pi d = 2\pi\sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \quad \cdots\cdots (12)$$

電磁波速可由波長與周期的關係來獲得，以下式表示如下：

$$\nu = \frac{\lambda}{T} = \omega d = \sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}} \quad \cdots\cdots (13)$$

三、視電阻率（Apparent Resistivity）

假設層狀地層狀況下，在地表量測到的電場（E_x）及與其正交的磁場（H_y），二者之比值為地層的特徵阻抗，如下：

$$Z_{xy} = \frac{E_x}{H_y} = \frac{\omega\mu}{\kappa} = (1+i)\sqrt{\frac{\omega\mu}{2\sigma}} \quad \cdots\cdots (14)$$

其中κ為波數（Wave number；Vozoff, 1991），將公式(14)經過移項轉換後，視電阻率可以改寫為：

$$\rho_a = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\omega\mu}\left|\frac{E_x}{H_y}\right|^2 = \frac{1}{\omega\mu} Z_{xy} \quad \cdots\cdots (15)$$

四、阻抗張量（Impedance Tensor）

在一維層狀模型情況下，電場與磁場在地表上互相垂直，特徵阻抗與量測方向無關。但當地層為二維或三維等複雜情況時，這種由單方向量測求出的特徵阻抗，常常出現發散的現象且再現性相當低。因此，Neves (1957)提出阻抗張量的觀念，Vozoff (1972)提出張量式量測的數學理論，解決了資料再現性困難的問題。阻抗張量的觀念，是在兩個相互垂直的方向，同時量測電場（E_x、E_y）及磁場（H_x、H_y），並將特徵阻抗改以向量方式表示如下：

$$\vec{E} = \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \underline{\underline{Z}}\vec{H} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots (16)$$

在公式(16)中特徵阻抗的底線為二階向量的形式。在二維構造下，電磁場可以分成兩組獨立的控制方程組，其中一組僅與E_x、H_y相關，稱為電場平行極化模式或簡稱 TE 模式；另外一組與E_y、H_x相關，稱為磁場平行極化模式或簡稱 TM 模式。

阻抗張量與方向的關係可以透過極化圖的方式展示出來（Berdichevsky, 1968），Reddy et. al. (1977)用簡單的電阻模型計算地表不同位置的極化圖（圖 2-19），圖中外圈代表非對角（Off Diagonal）方向之極化分布（Z_{xy}及Z_{yx}），內圈代表

對角方向之極化分布（Z_{xx} 及 Z_{yy}）。由極化圖在不同位置及不同頻率的特性，可以協助研判測點下方可能的構造為均質或不均值。當地下構造為均質等向性（Homogeneous and Isotropic），經一維計算電磁場所獲得的電阻率較接近地層的真實電阻率；若為異向性地層，則需考慮使用二維計算，以獲得較真實的地下構造。如圖 2-19 中當測點距離異常體較遠時，極化橢圓較接近圓形，表示該測點地下構造可以簡單之一維模型代表，但當測點距異常體越近時，由於地下構造具有方向性，故會影響極化橢圓長軸的方向，且在異常體內側與外側測點的長軸方向並不完全相同，顯現出二維構造的特徵，則此類測點不適合以一維模型來反映地下構造，必需使用二維以上資料處理技術進行處理。

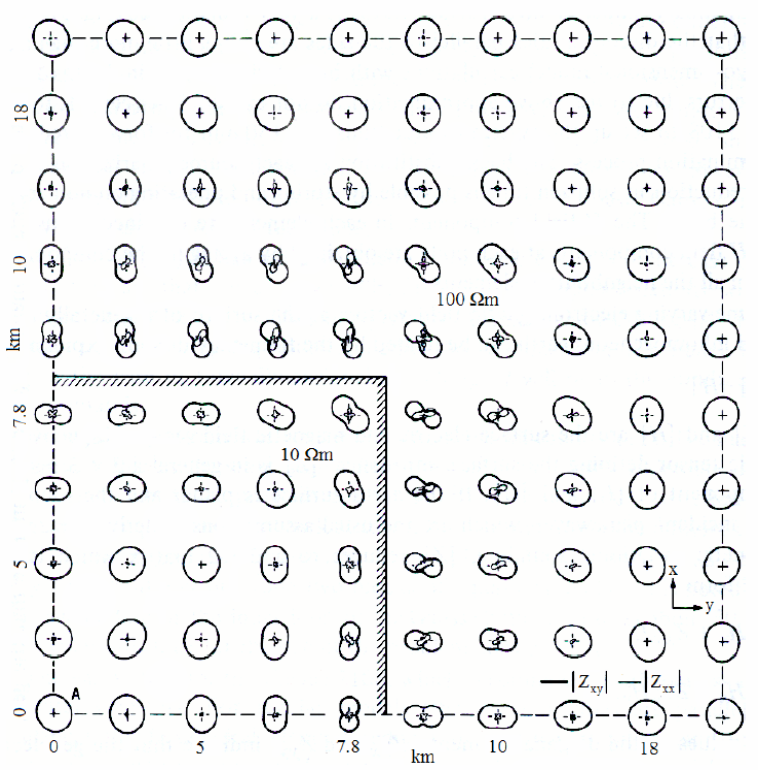


圖 2-19、地表不同位置阻抗張量極化圖
（摘自：Reddy et al., 1977）

阻抗張量亦可以透過數學的向量旋轉運算，將量測的座標軸旋轉到與構造的座標軸一致，當量測的座標軸與構造的座標軸一致時，阻抗張量的主軸元素將消失，此時可以寫成：

$$\vec{E} = \begin{bmatrix} E_x' \\ E_y' \end{bmatrix} = \underline{\underline{Z}}' \overrightarrow{H'} = \begin{bmatrix} 0 & Z_{xy}' \\ Z_{yx}' & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} H_x' \\ H_y' \end{bmatrix} \quad \text{..... (17)}$$

式中，Z_{xy}' 是 TE 模式的阻抗，Z_{yx}' 是 TM 模式的阻抗，經旋轉後的阻抗張量稱為主軸張量（Principal Impedance Tensor）。藉由張量旋轉的方法，可以得知地下構造走向（Strike）。對於三維構造，由於阻抗張量的不太明確，無法透過張量旋轉方式將對角線元素消失，因此主軸方向並不存在。

2-4-2 使用儀器

本項大地電磁探測法使用美國 GEOMETRICS 公司之 STRATAGEM 探測儀，儀器設備如圖 2-20，本儀器之電磁波發射頻率範圍自 0.1KHz 到 1 KHz，探測深度介於 50 m 到 5000 m。



圖 2-20、TRATAGEM 大地電磁探測儀

2-4-3 品質控制

大地電磁測勘時，必須避免有其他外來電磁場的干擾，否則無法得到良好的資料品質。因此必須慎選測勘現場，避開高壓電線、電廠、人工建物等會產生其他干擾電磁場的地方進行測勘，同時，施測時需設定不同方位之接收訊號，以降低雜訊，獲取良好的測勘品質資料。

2-4-4 資料處理

如同地電阻探測一樣，電磁波探測所獲得的量測值，在尚未經過處理之前稱為視電阻率，並不等於地層真正的電阻率，因此野外量測資料需經過逆推處理(Inversion)，方能用於解釋地下結構。野外量測之大地電磁訊號為一電場與磁場隨時間變動之序列，經傅利葉轉換至頻率領域後，可據以計算不同頻率對應之視電阻率（Apparent Resistivity)，概述如下：

一、資料前處理

使用 Phoenixe 公司開發的 MTEdit 軟體，將時域電磁場記錄切割成若干區塊，藉由比較不同區塊經轉換成相位及視電阻率的分佈情形，據以剔除資料品質不良的記錄，最後再以 EDI 格式輸出，供後續資料處理使用。

二、一維逆推

使用 GeoSystem 公司開發的 WinGLink 軟體，綜合採用 Bostick 轉換及一維 Occam 與馬魁達逆推法（1D Marquardt Inversion Method）進行處理，定量地計算各測點之電性地層。

三、二維逆推

使用 GeoSystem 公司開發的 WinGLink 軟體，使用 Smooth model inversion（Rodi and Mackie, 2001）二維逆推法（2D Inversion method）進行處理，以獲得沿剖面地下地層電阻率分佈情形。

第 3 章、調查成果

3-1 重力資料分析

3-1-1 台灣西部重力分析

台灣地區之重力調查早期主要由中國石油公司進行，中油公司於 1946 至 1948 年間，在台灣西部平原進行重力普測，結果顯示台灣中西部之等重力線略成南北走向，重力值由麓山帶邊緣陸續向西海岸方向增加，顯示中生代基盤向西昇起。1958 年間中油公司使用精確度較高之重力儀進行複測，於平原區域，等重力線分布趨勢與地下構造形態頗為相合，於麓山帶之褶皺區域則有些差異。

圖 3-1、圖 3-2 分別為台灣中北部地區之布蓋重力圖（Bouguer Gravity Map）與剩餘重力異常圖（Residual Gravity Anomaly Map）。圖 3-3、圖 3-4 分別為台中地區剩餘重力異常圖及經傾斜微分處理後之重力異常圖，由圖中重力異常線型，可明顯對應彰化、清水、大甲、車籠埔、屯子腳及三義等斷層構造。比較重力異常圖與目前已發表的斷層位置，可獲得以下初步推論：

一、由重力異常圖中重力高區的延續特性，顯示清水斷層、彰化斷層及車籠埔斷層南段等，均有較佳之延續性。

二、由重力異常圖上的異常線型，顯示在彰化斷層與車籠埔斷層構造間，有一段長約 30 公里且約略與彰化斷層平行的異常線型，推測可能為斷層構造。

三、彰化斷層明顯地向北延伸與清水斷層屬同一構造，且進入台中以後，斷層構造線有逐漸轉向東北的現象。

四、清水斷層與大甲斷層間似不連貫，其間可能受其它構造作用影響。依據重力異常圖之異常線型，推測大甲斷層之位置需再向西偏移，且略呈東北－西南方向。

五、車籠埔斷層中段及南段與重力異常之線型對比良好，且由重力異常圖上顯示，車籠埔斷層與三義斷層間為連貫，但是依據重力異常圖之異常線型分佈，推測斷層位置可能需再向西偏移。

六、三義斷層在大安溪以北，斷層線明顯向東偏移，由重力異常圖上亦顯現複雜的構造形貌，似受數條東西方向之構造影響。

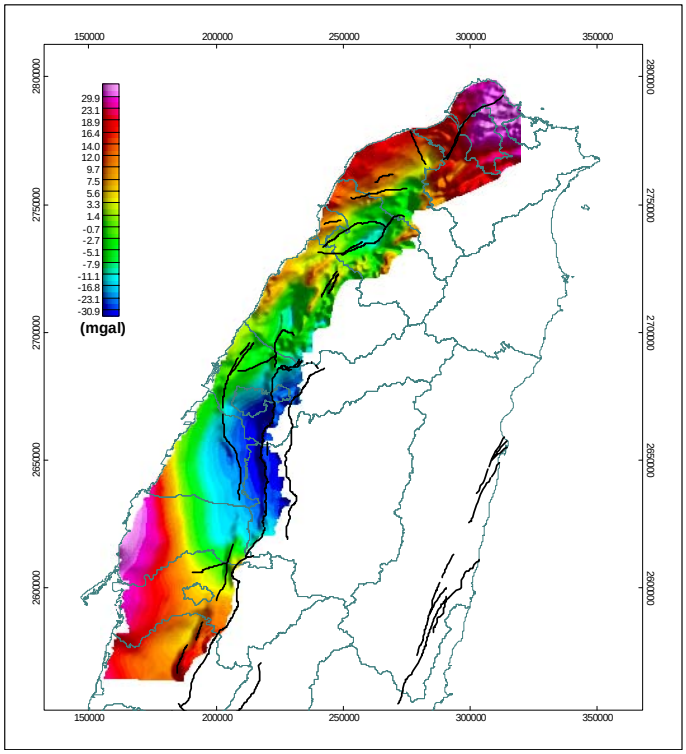


圖 3-1、臺灣西部地區布蓋重力圖

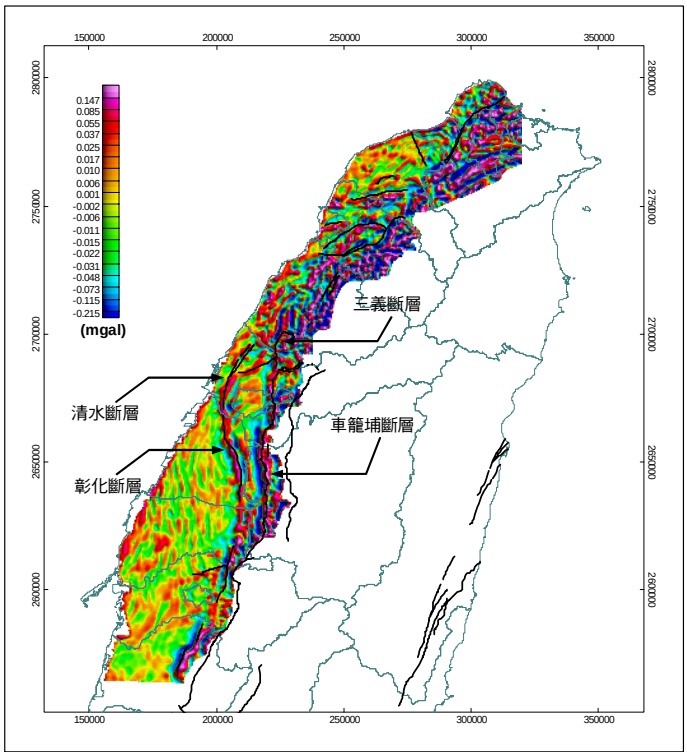


圖 3-2、臺灣西部地區剩餘重力異常圖

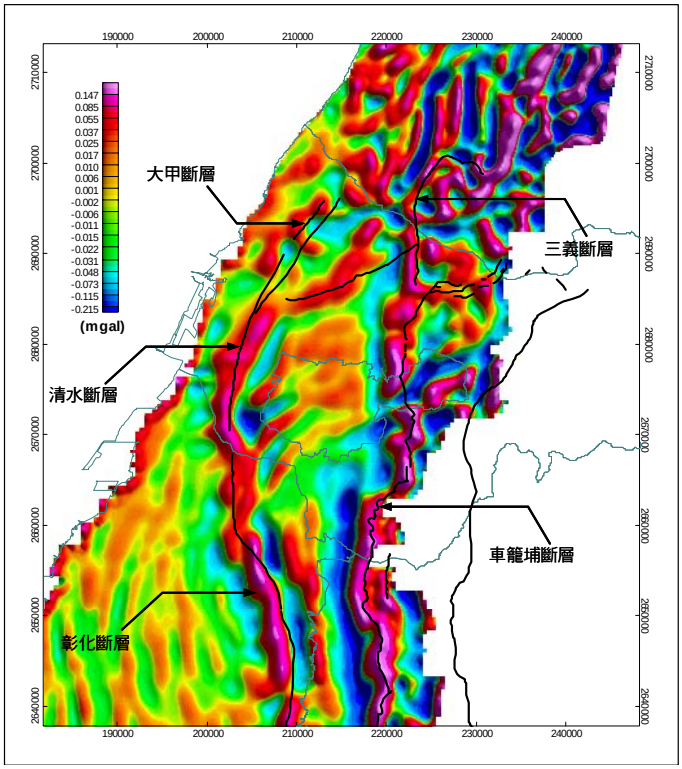


圖 3-3、台中地區剩餘重力異常圖

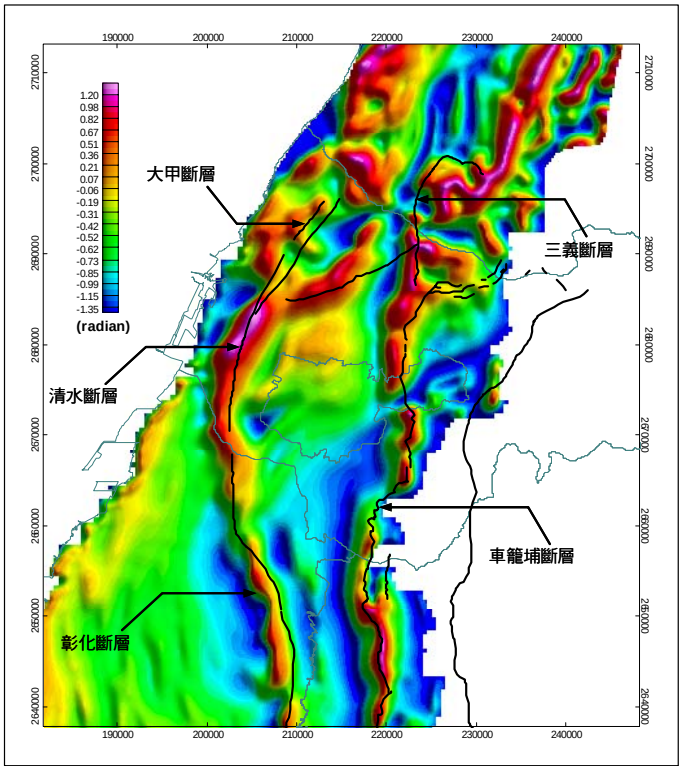


圖 3-4、台中地區經傾斜微分處理後之重力異常圖

3-1-2 台灣東部重力分析

圖 3-5 為台灣東部布蓋重力圖，由圖中重力值劇烈變化之線型特徵，有助於瞭解縱谷斷層的分佈與延伸。扣除區域重力後，圖 3-6、圖 3-7 分別為台東地區剩餘重力異常圖及經傾斜微分處理後之重力異常圖。重力異常圖顯示台東沖積扇之地下構造可能並不如地表般平緩，比較重力異常圖與目前已發表的斷層位置，可獲得以下初步推論：

一、已知的池上斷層位置與重力異常圖的線型分布相當一致，則由重力異常圖上該線型向南的延伸，或許也能解釋說明池上斷層在縱谷南段的延伸情形。

二、在台東市四週之重力異常圖上顯示若干類似階梯狀，呈西北－東南走向的構造，似為因不同時期活動，堆壘而成的重力異常構造，這些線型之部份區段可能被歸類為利吉斷層。觀察重力異常圖，則可發現這些階梯狀構造，均有向北收斂且向北與池上斷層連貫之可能（圖 3-5）。

三、鹿野斷層北段位置，與靠近中央山脈且約略平行中央山脈方向的重力異常線型一致，其向南延伸後是否會偏向東南，需再比較相關資料後進一步研判。

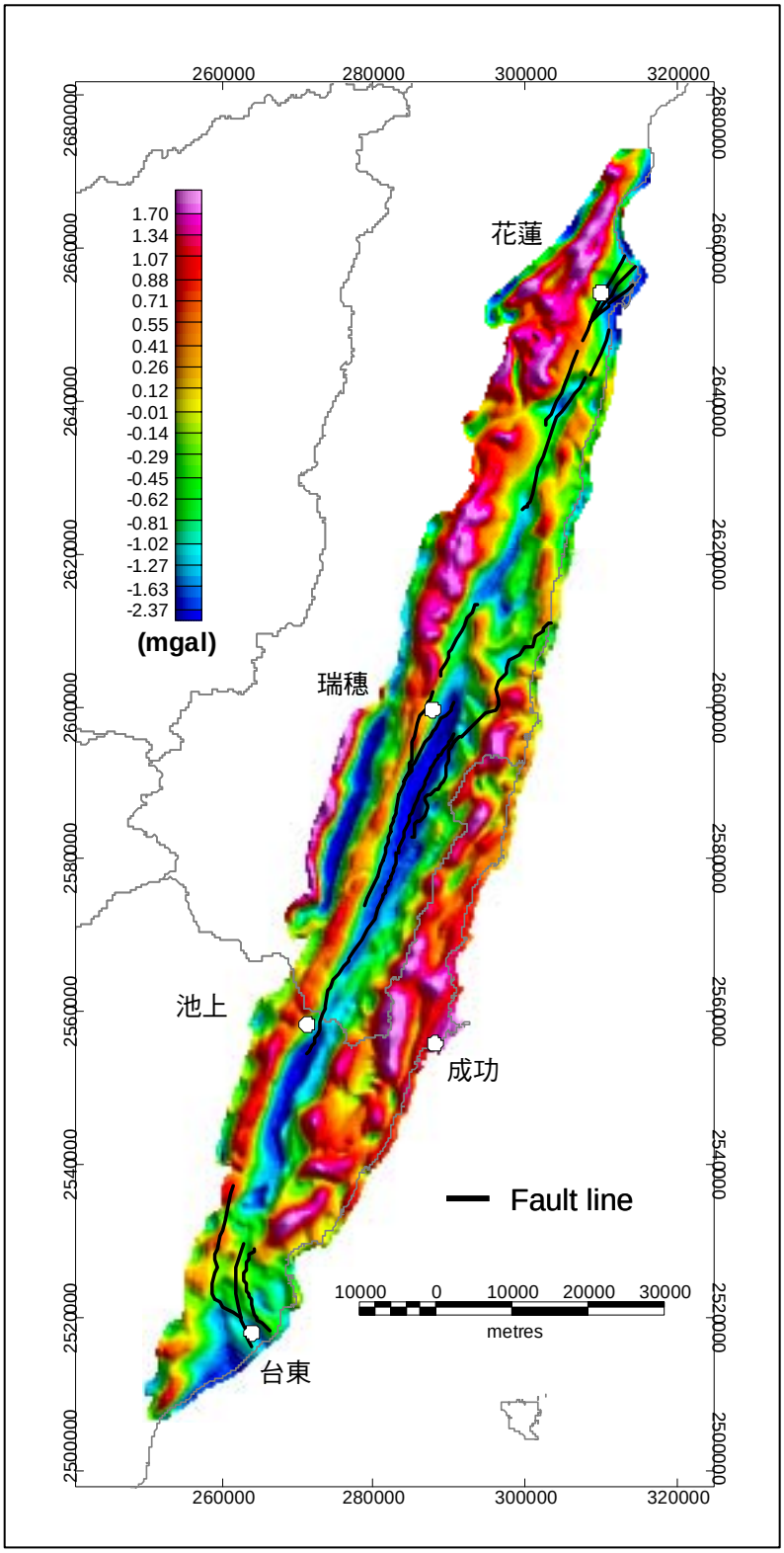


圖 3-5、臺灣東部布蓋重力異常圖

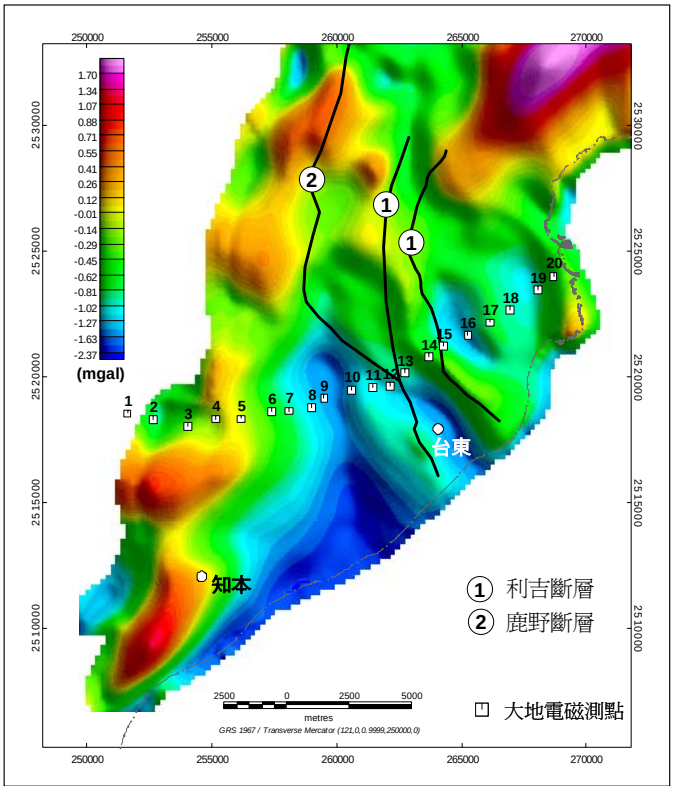


圖 3-6、台東地區剩餘重力異常圖

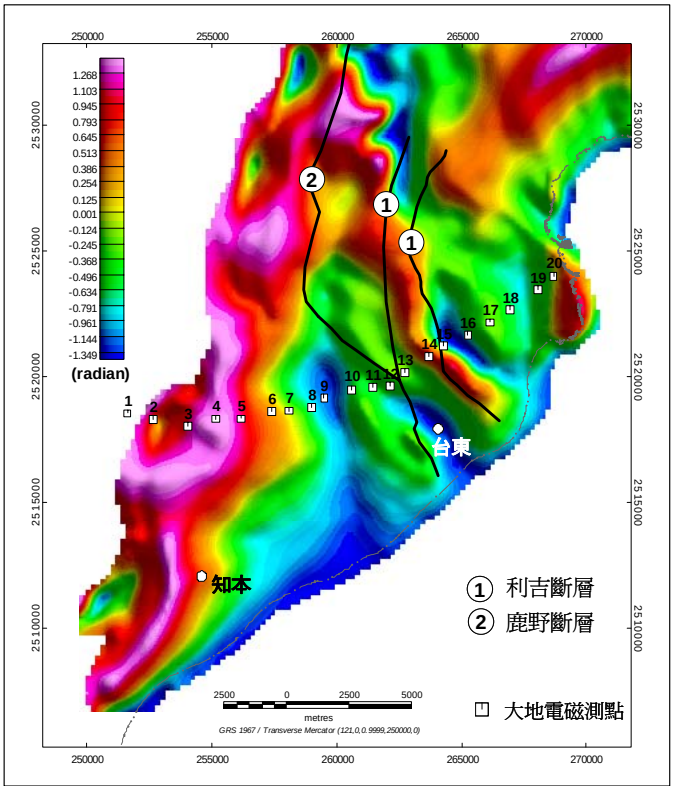


圖 3-7、台東地區經傾斜微分處理後的重力異常圖

3-2 三義斷層

3-2-1 區域地質與地體構造

由於三義斷層為台灣西北部非常重要的主要構造線之一，地質界對於三義斷層之調查與研究已相當久且廣泛；洪日豪與魏其珂（1993）以中油震測資料為基礎，進行附近區域構造平衡剖面研究，目的在探討西部麓山帶受菲律賓板塊推擠之構造動力模型，以獲得麓山帶斷層活動機制。依據洪日豪與魏其珂（1993）所繪跨越三義斷層之構造剖面及 Meng（1963）三義斷層演化模型，斷層上盤沿中新世東坑層底部向上滑移近 7 公里逆衝至年輕之頭嵙山層上並出露地表（圖 3-8），三義斷層在地表之線跡即為逆掩斷塊之前緣邊界。此模式適用於台灣西部薄皮逆衝理論。由於三義斷層大致是沿著東坑層底部向上逆衝到頭嵙山層之上，東坑層可視為一個滑脫面，此面受到高孔隙水壓弱化，因而易於產生滑動，三義斷層上盤中新世地層傾角約介於 20 至 25 度間，下盤頭嵙山層則維持近乎水平。

三義斷層之震測調查工作，自 60 年代後之數十年有不少測線及地質調查，但因地表厚台地堆積層之影響，除中油公司曾對大安構造進行震測探勘之外，其餘早期的震測資料多因測深不足，及訊號受礫石層影響，故不易對本區域構造有較詳細的解析。921 集集地震之後，重新開啟了許多研究，若干新的研究及調查成果（陳文山等，2000；王乾盈、洪智賢等，2001；李奕亨，2002、2004），對三義斷層之研究有更進一步及明確的成果。

由后里地區之震測剖面圖，顯示在斷層線兩側可觀察到中新世地層（東坑層或桂竹林層砂頁岩相）及更新世地層（頭嵙山層礫石相）間，極大之震測相及傾角差異（洪智賢，2001）。由目前地球物理調查成果及過去幾年地質調查累積之成果大致可研判三義斷層為一大型之斷層系統，由許多次（期）活動構造所組成，寬度可能由后里斷層一直到后里台地下之前緣（李奕亨，2004），由構造機制及地質現象來看，斷層系統愈向東活動性較高，而最西之斷層前緣，自形成紅土台地以來已不活動。在地形上，斷層東側形成一系列斷層鞍部，於紙湖東方 1.5 公里及上大窩兩處河階保存完整之反斜斷層小崖。林啟文等（2000）於數位地形圖上找出北北東走向之線形，其東側的上游河谷寬廣，呈樹枝狀水系，西側下游河谷狹窄，呈格子狀水系，對比鮮明。

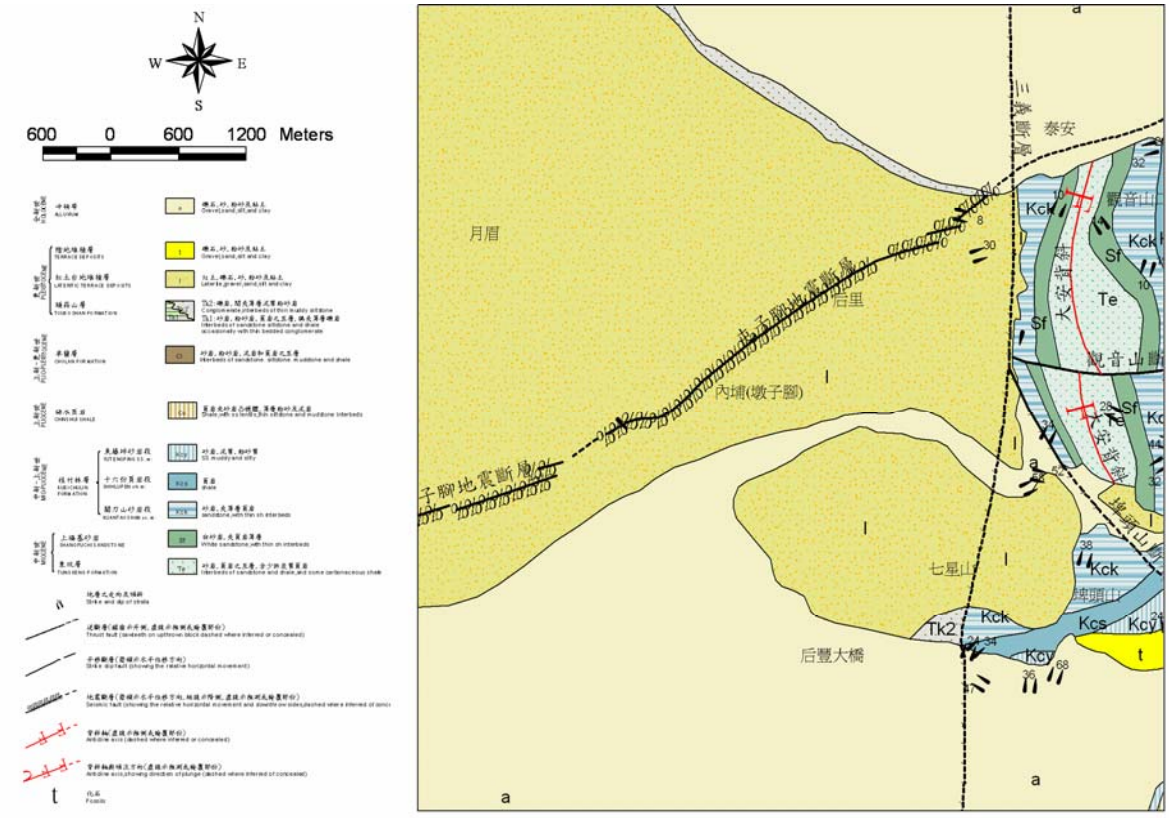


圖 3-8、三義斷層附近地表地質圖

3-2-2 歷年震測與地電剖面解釋

國立中央大學及工研院於 2000 年至 2005 年間，分別在三義斷層北段與屯子腳斷層交界區域，進行反射震測與地電阻影像剖面探測。本計畫主要收集過去已完成的反射震測及地電阻影像剖面探測成果（李奕亨，2002；李奕亨，2004；王乾盈、洪智賢等，2001），配合地形及地表地質資料，重新有系統的檢視三義斷層，並探討三義斷層、屯子腳斷層接觸帶及其與鄰近地下構造間之關係。測線分佈如圖 3-9 所示，各測線解釋說明如下：

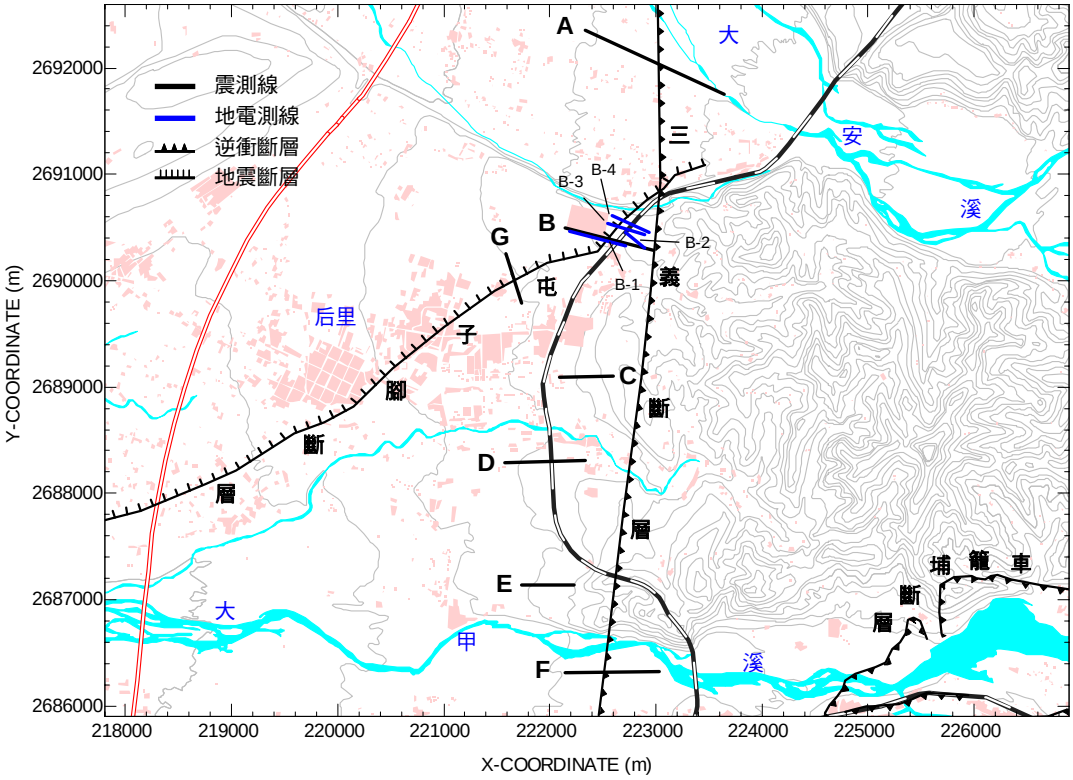


圖 3-9、三義斷層台中地區地物測線配置圖

一、A 測線

本測線位於大安溪南岸，沿著堤防施測，測線長度 1200 公尺，圖 3-10 為 A 測線之震測剖面圖。圖中淺層接近水平之震測地層，推測對應台地堆積層，圖上標示虛線之東側，明顯可見地層向東傾斜，視傾角約 25 度左右，虛線西側地層大致水平，故推測該虛線為三義斷層，其視傾角約 25 度，且在測線位置 765 公尺處似有未穿透其上覆地層的現象。測線位置 400 公尺及 570 公尺處亦可觀察兩處破裂線，且亦未穿透其上覆地層，推測為三義斷層前緣之次生破裂。

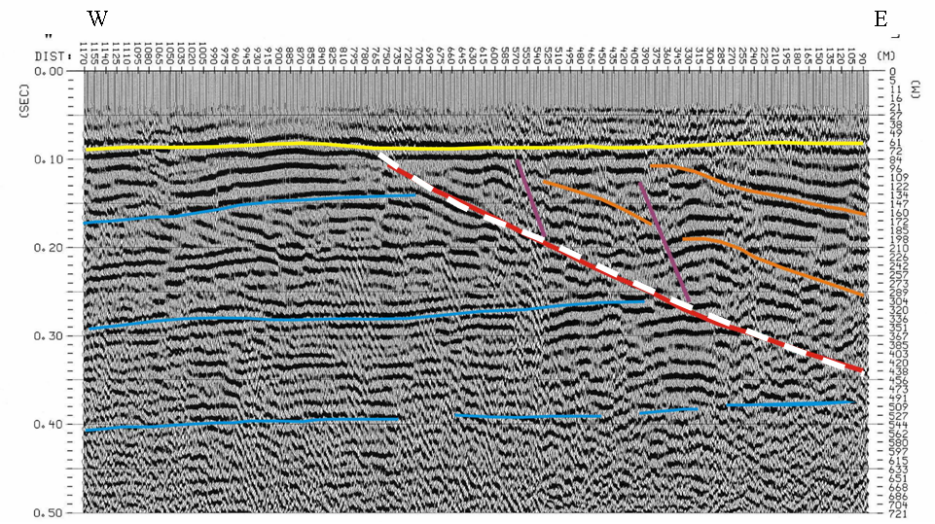


圖 3-10、三義斷層 A 測線震測剖面圖

二、B 測區

本測區共有四條測線（測線 B1~B4），B 測區經地質資料初步研判，附近為屯子腳斷層及三義斷層兩條斷層匯合之位置。同時在 B 測區所進行地質鑽探，由岩性分佈及岩心應力擾動的情況研判，本區域應跨越斷層上盤之前緣及下盤區，故 B 測區可涵蓋斷層接觸帶。測線 B1~B4 參考鑽探初步資料進行 B 區測線規劃。

(一) B-1 測線

震測總長度約 900 公尺，沿台糖畜牧場大門前馬路向東行至地形界面，向丘陵上行近 100 公尺，圖 3-11 所示為本測線之震測與地電阻剖面圖。顯示斷層於 430-450 公尺附近開始，整個斷層錯動帶一直往西延伸至測線編號 340m 處。參考地電阻剖面 B1（圖 3-11）進行綜合分析，深度可對應至震測剖面之白色虛線框。初步研判斷層主破裂帶應位於 340m 位置，另有分支斷層錯動位於 440m 附近。斷層線以東可觀察到明顯之地層層面，在接近地表的位置地層因受應力影響而略有彎曲褶皺現象，此部份應可對應三義斷層之上盤。在斷層線以西之震測剖面，層理極不明顯，震測相較為凌亂，若干部分可觀察到繞射現象，推測對應頭嵙山層。由地電剖面圖中箭頭所指處，可觀察到顯著的電阻側向變化，其位置約對應震測剖面 340m 處，解釋為斷層構造。在斷層西側地層電阻極高，推測對應礫石層，而斷層東側地層電阻率普遍偏低，與西側高電阻地層形成強烈對比。

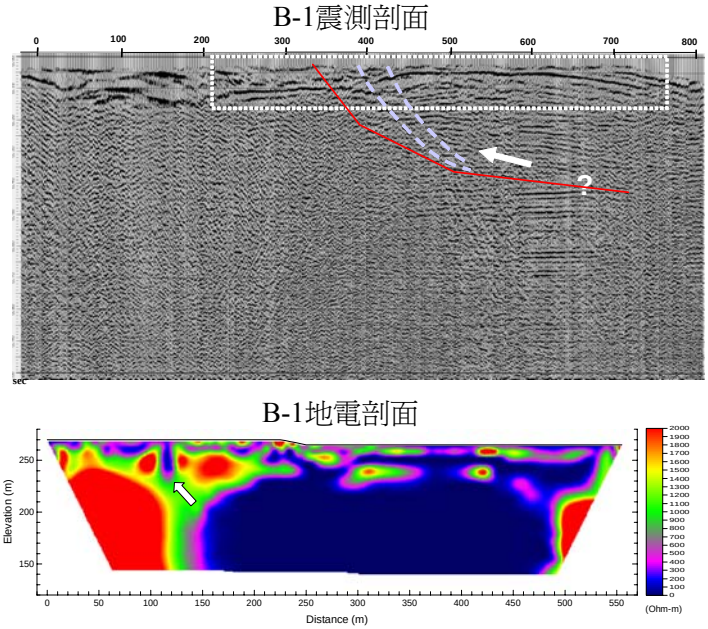


圖 3-11、三義斷層 B 測線震測與地電阻剖面圖
（上：B-1 震測剖面；下：B-1 地電剖面）

(二) B-2 測線

B-2 測線（圖 3-12）為跨越位於 B-1 預判斷層上盤之地電測線，由剖面可觀察出其地層電性表現相當均一，變化量不大。可知屯子腳斷層斷層並未直接穿越本測線位置，本測線位於斷層上盤前緣，岩層電性屬於相對較低之電阻帶。此外，在淺部約 18m 以上有一層較高之電阻，為台地紅土礫石堆積層，不整合面起伏平緩，無錯斷異常。

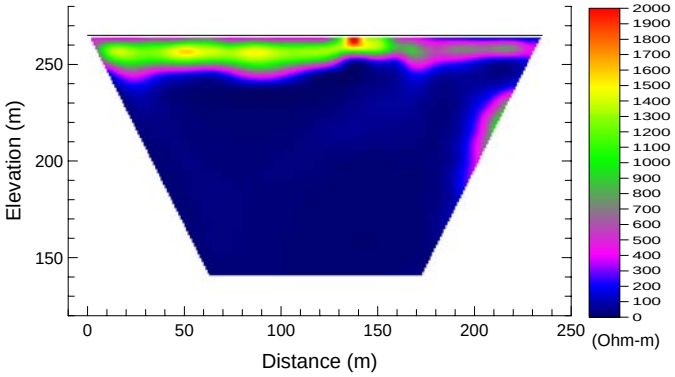


圖 3-12、三義斷層 B-2 測線地電剖面圖

(三) B-3 測線

震測線總長度約 300 公尺，圖 3-13 為震測與地電阻剖面圖，測線 B-3 主要配合 B-1 之結果，目的在於確認三義斷層之走向及屯子腳斷層對 B 區之影響。本測線因地形限制，震源為人工敲擊，無法獲得較清晰之深部地層信號，不過淺部資料（250ms 以上）仍足夠將斷層影像判釋出。以剖面判釋之斷層線為分界，斷層上盤層序較為清晰，有明顯之反射層，震測相與 B-1 測線所獲之上盤砂頁岩互層之震測相類似。本測線斷層帶地表位置推估約在測線編號約 40-120 公尺處。

B-3 地電剖面為共線測線，地電剖面之資料，可獲得較淺部之斷層構造信息。本測線主斷層位置約在測線編號 40 公尺附近，與震測結果一致，主斷層線東側之斷層帶中仍夾有高電阻帶，可能為礫石堆積於上盤所形成之高電阻帶，分支斷層可能將較低電阻之地層逆掩於其上方，出現位置約在測線位置 120 公尺處。在剖面位置 40 公尺處極淺部有一電阻小區域微弱變化，可能為屯子腳斷層所造成之電阻異常。

(四) B-4 測線

為 B 測區最北邊之測線，圖 3-14 為震測與地電阻剖面圖，由於震源及地形之限制，同時本測線北側緊鄰自來水廠蓄水池邊緣，形成許多不易濾除之側向強反射，故反射信號較為凌亂。斷層位置仍可由震測地層之連續性加以判斷，斷層推估位置約在震測線測線編號 230-320 公尺處。B-4 地電剖面顯現的斷層型態與 B-3 測線相近，主斷層位置接近測線編號 30 公尺處，與震測研判位置一致，次斷層約在編號 110 公尺處。約在剖面位置 60 公尺處極淺部有一電阻陷落，可能為屯子腳斷層所造成之電阻局部異常。

由 B-1、B-3、B-4 三條震測剖面之震測相觀察，三義斷層上盤雖位於斷層上盤前緣之砂頁岩段，且反射地層信號大部分連續性良好，但淺部地層仍可觀察到許多小錯動或破裂現象，值得注意。

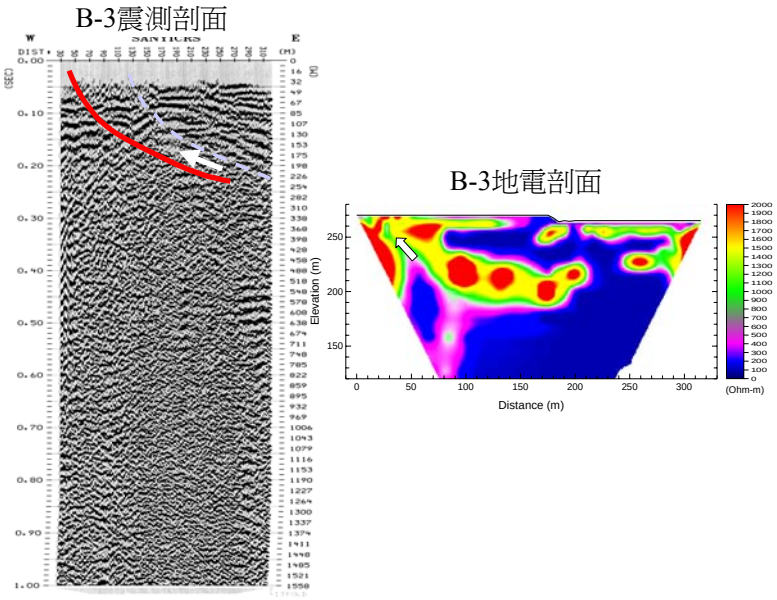


圖 3-13、三義斷層 B-3 測線震測與地電阻剖面圖
（右：B-3 震測剖面；左：B-3 地電剖面）

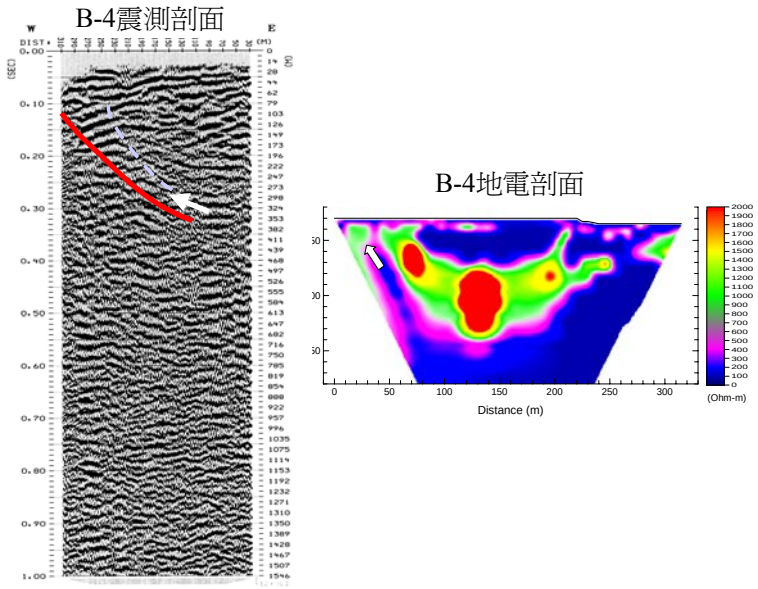


圖 3-14、三義斷層 B-4 測線震測與地電阻剖面圖
（右：B-4 震測剖面；左：B-4 地電剖面）

三、C 測線

測線 C 位置位於后里火車站南側，圖 3-15 為震測剖面圖，比較圖上標示箭

頭符號東西兩側之震測地層特徵，顯示西側地層較平緩，推測對應頭嵙山層，而東側地層則有受應力擠壓地層拱起之現象。故推測斷層延伸至地表位置約在測點約 300 公尺位置。

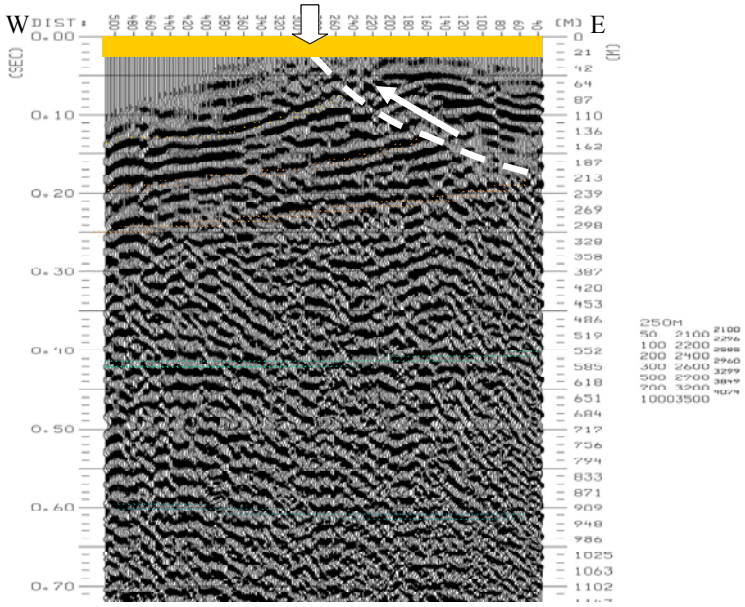


圖 3-15、三義斷層 C 測線震測剖面圖

四、D 測線

本測線位於后里馬場前馬路，由東往西施測共 600 公尺，此測線位於公路，由於兩側均有地下管線埋設，所以資料品質受到相當大的影響，但地下形貌大致仍可呈現出來。圖 3-16 為 D 測線之震測剖面，圖上約略可看出虛線東、西兩側震測地層特徵略有差異，故解釋為三義斷層位置。

五、E 測線

圖 3-17 為測線 E 之震測剖面圖，本測線位於后里台地南側靠近大甲溪邊緣，所呈現的震測地層特徵與測線 C 類似。觀察圖上箭頭符號所指處，東西兩測震測地層特徵，顯示西側地層較平緩，推測對應頭嵙山層，而東側部份因受測線長度限制，無法觀察到完整的震測地層特徵，但由地層不連續的現象，推測斷層應位於圖上虛線處。

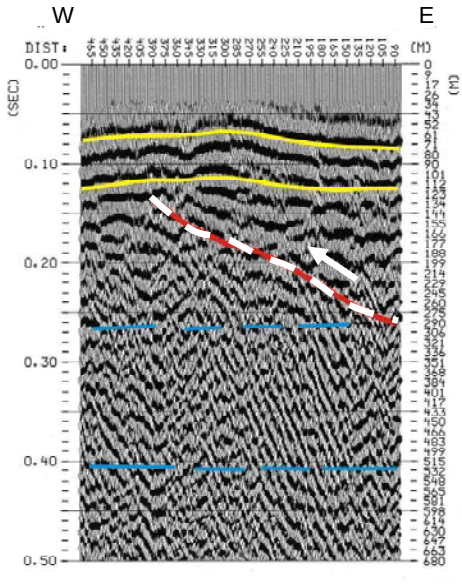


圖 3-16、三義斷層 D 測線震測剖面圖

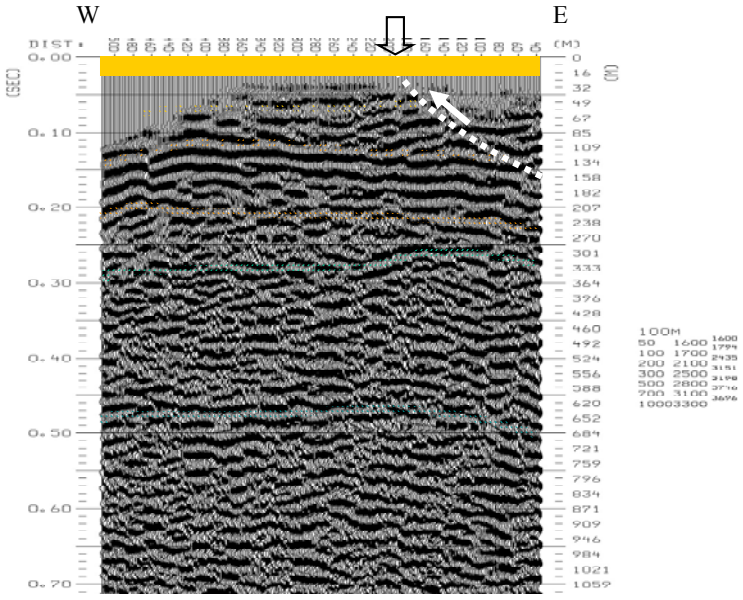


圖 3-17、三義斷層 E 測線震測剖面圖

六、F 測線

本測線位於后豐大橋東約 1500 公尺大甲溪南岸。圖 3-18 為本測線之震測剖面圖，其震測地層特徵與前述幾個剖面相似，圖上虛線東側地層明顯地向東傾約 23 度，而虛線西側地層則呈現水平狀態。故解釋圖上虛線為斷層位置，估計其視傾角約介於 20 至 25 度之間，且斷層與地表的交會處，推測位於本測線向西延伸

150-200 公尺處。

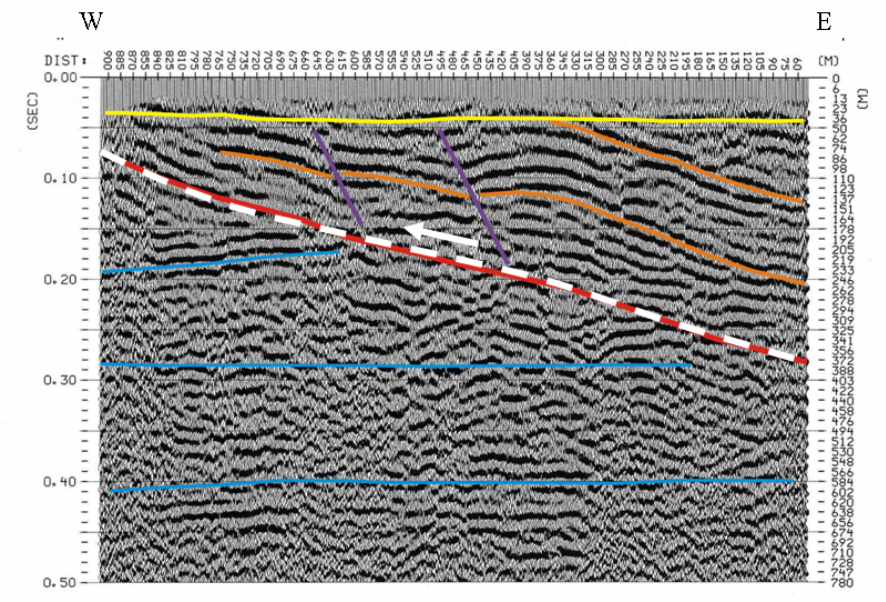


圖 3-18、三義斷層 F 測線震測剖面圖

3-2-3 大地電磁探測

本計畫沿大甲溪北岸，共完成 10 個大地電磁測點，測點位置分佈如圖 3-19 所示，測點平均間距約 500 至 800 公尺間。考慮測區主要構造線主要為南－北方向，因此施測時略以東西方向進行量測。由於本次調查各測點鄰近地區人為雜訊干擾嚴重，雖然本計畫重覆施測兩次，仍然無法獲得良好品質之大地電磁資料，因此在進行逆推處理前，大幅剔除品質不良的訊號，只保留品質相對較好的高頻部份訊號，因此探測深度大幅縮減。圖 3-20 為經二維逆推處理後之電阻率剖面圖，說明如下：

一、由電阻率剖面圖之等值線趨勢對照已知之地質構造，可觀察到 5 號測點東側地層主要呈現向東傾斜的特徵，電阻率高、低交互，推測對應中新世砂頁岩地層。而 5 號測點西側地層主要呈現水平特徵，電阻率約介於 100 至 1000 Ohm-m 間，推測對應頭嵙山層，深度約介於 3000 至 4000 公尺間，其底部有向西傾斜現象。

二、根據前述現象，推測三義斷層應位於 5 號測點東側附近，如**錯誤! 找不到參照來源。**箭頭所指處。

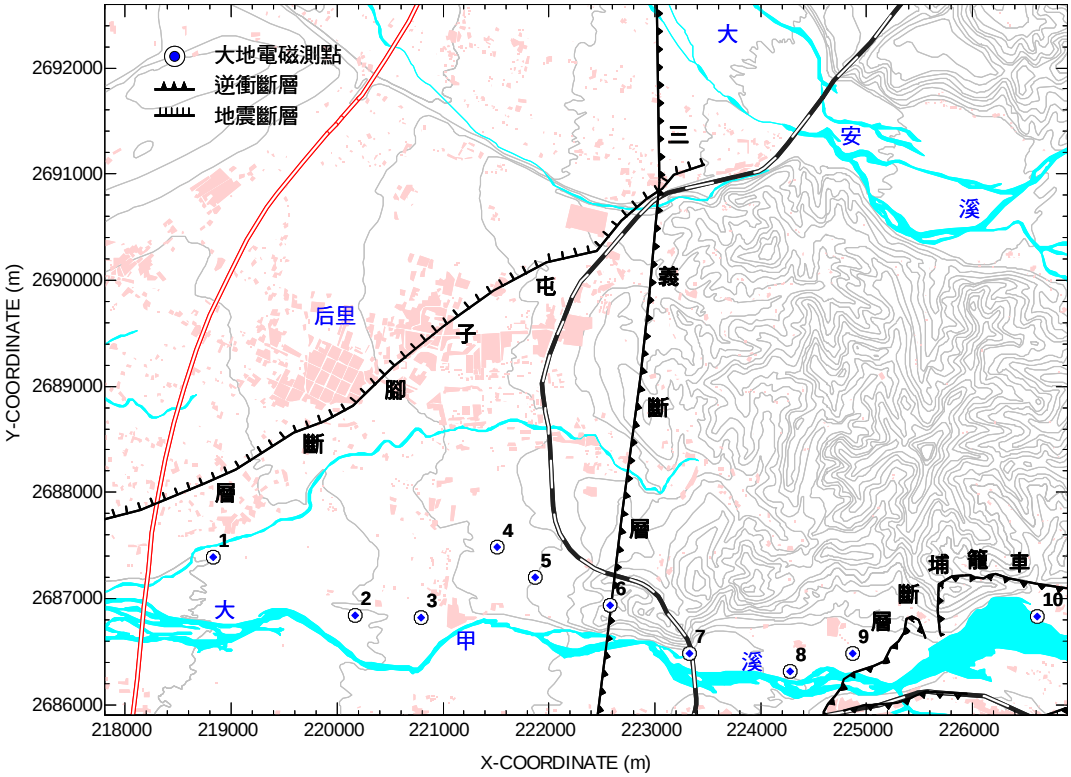


圖 3-19、三義斷層大甲溪北岸大地電磁測點分佈圖

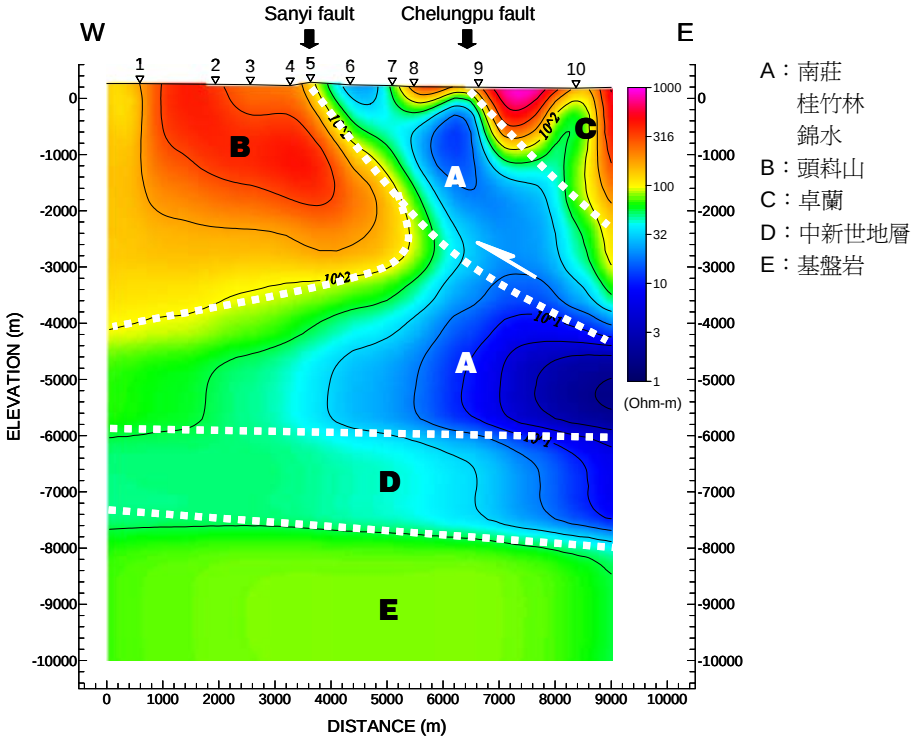


圖 3-20、三義斷層大地電磁經二維逆推處理獲得之地電阻剖面圖

表 3-1、三義斷層大地電磁測點座標一覽表

測點編號	X-座標(m)	Y-座標(m)	高程 (m)
1	218,827	2,687,387	181.02
2	220,173	2,686,837	197.86
3	220,798	2,686,823	207.00
4	221,509	2,687,486	226.73
5	221,870	2,687,205	239.39
6	222,579	2,686,940	287.41
7	223,331	2,686,481	227.63
8	224,281	2,686,317	241.93
9	224,870	2,686,481	248.05
10	226,608	2,686,833	264.22

註：座標採用 TWD67 二度分帶座標系統

3-2-4 B 測區地質鑽探

根據屯子腳斷層與三義斷層交會處（B 測區震測評估之上盤）所收集之岩心鑽探，共有 41 口淺地質鑽井。大部分鑽孔於深度 10 公尺左右即遇到岩盤。岩盤上部覆蓋紅土礫石台地堆積層，堆積厚度多在 8-11 公尺間（圖 3-21），由岩心及附近工程開挖之露頭觀察，礫石並無擾動或受應力剪裂之跡象。紅土層深度大部分在 3-5 公尺深，深度分布平緩，其下為礫石層，紅土礫石層約在 10 公尺深度與砂頁岩岩盤接觸，為一不整合面，此不整合面由鑽探報告中分析出，其應為一平緩之不整合面，無錯動所造成深度異常落差及明顯線型，顯示屯子腳斷層並未造成三義斷層上盤錯動，而是進入三義斷層之下盤。由 B 測區東側鑽探於淺部即遇到砂頁岩之岩盤來推斷，所鑽獲之岩心為砂岩、頁岩或夾砂之頁岩，此與頭嵙山層之沉積相差異性極大，研判應屬中新世地層，由沉積相觀察，很可能為東坑層或桂竹林層。惟其層位仍需進一步進行分析才能確定。由此研判三義斷層線之位置，較原文獻所指位於東側丘陵與台地接觸線處相比，其應向西偏移修訂至震測研判位置獲得驗證。此外，各孔位岩盤岩心雖屬砂頁岩層，但似乎受到應力擾動破壞，同時部分孔位側向之位態變化相當大。研判本區已屬斷層前緣，應力在此集中並使岩層產生脆性破壞，此現象為斷層前緣之破壞特徵，同時岩心除部分碎裂之外，並無發現黏粒狀之滑動帶或斷層泥，因此可確定斷層錯動帶未通過 B 測區。

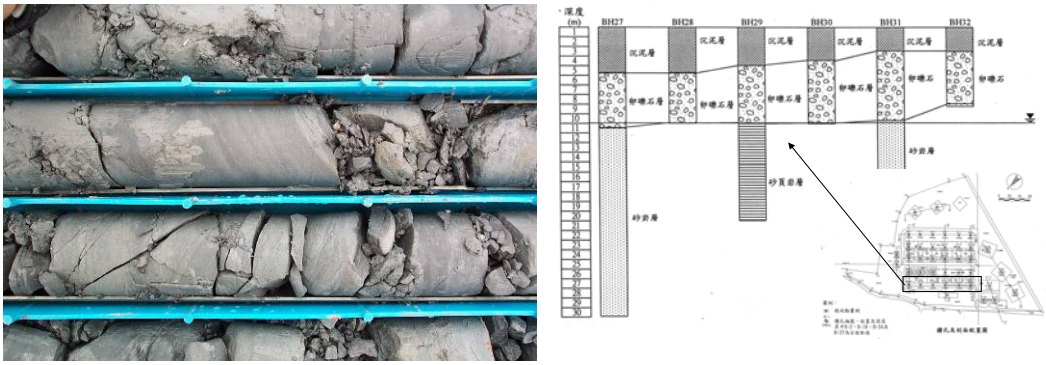


圖 3-21、測區 B 內三義斷層上盤之地質鑽探結果
（鑽孔深度 10 公尺即鑽獲中新世砂岩層，上覆紅土礫石側向厚度變化不大且無錯動跡象）

3-2-5 三義斷層位置分析

綜合前節震測與地電剖面分析結果，顯示三義斷層被后里台地之紅土礫石層所覆蓋，斷層走向似與地形有關。根據震測成果所描繪之三義斷層位置，與過去文獻之位置略有不同，斷層線應略向西移。與地調所及中油地質圖原先定於地形及地表岩性界面略有差異（新修訂三義斷層相關位置詳圖 3-22）。斷層型態為主斷層及許多分支斷層所形成寬數十至數百公尺之斷層帶。同時三義斷層被埋沒於后里紅土階地之下，並未出露或截切紅土礫石堆積。三義斷層由過去地物資料及中油鑽探資料，可知東坑層近地表處已受到侵蝕，並由台地堆積層或現代沖積層取代，此長期之侵蝕及沉積代表此斷層停止年代已經很久，地調所將之歸類為第二類活動斷層。

在后里台地南緣，大甲溪北岸之縱貫鐵路新山線隧道口的東側，可見厚層泥質砂岩的桂竹林層與厚層礫石層的頭嵙山層相接觸的斷層帶露頭（圖 3-23）（石再添等，1984）。斷層泥夾雜著上盤桂竹林層的泥岩與砂岩碎塊，而下盤的頭嵙山層可見數條錯距較小、傾面向東的逆衝斷層，並可見下盤岩層拖曳彎曲構造（李錦發，1994）。由於桂竹林層逆衝至頭嵙山層之上，其下盤的頭嵙山層礫岩形成一低角度前鋒褶曲（Frontal Flexure）逆斷層向西切穿上覆的紅土台地堆積層（黃鑑水、張憲卿，1994）。因此，前人認為此為一斷面向東傾的逆斷層即三義斷層。然同一露頭，根據陳文山等（2000）研究大甲溪后里台地東側沿大甲溪北岸河溝所出露的斷層發現，晚中新世頁岩受到逆衝斷層作用逆衝在紅土礫石層之上，礫石層中同時發育有許多伴隨小規模逆衝斷層構造。但紅土礫石層的下部又是以不整合沉積在頁岩之上，之後形成逆斷層再將頁岩逆衝到礫石層之上。從斷層兩側岩層來看，斷層垂直位移量不大。而露頭的下側也發現是位在同一頁岩層中屬於層間滑動的構造。故此斷層（陳暫命名為后里斷層）應不是車籠埔斷層（三義斷層），車籠埔斷層（三義斷層）應該還位於此斷層西側，而以往此斷層被誤認為車籠埔斷層（三義斷層）（張，1994）。位於后里斷層西側之車籠埔斷層（三義斷層）位置並沒有明顯出露。而后里台地南大甲溪之縱貫鐵路新山線隧道西側河床繼續出露晚中新世之頁岩及覆掩於其下之頭嵙山礫石層（圖 3-24），以此判斷三義斷層還位在后里斷層更西側，由本研究反射震測調查之成果，可證實此一論述並將台地堆積覆蓋下之三義斷層線進行解析。由目前地球物理調查成果及過去幾年地質調查累積之成果，大致可研判三義斷層為一大型之斷層系統，由許多次（期）活動構造

所組成，寬度可能由后里斷層一直到后里台地下之前緣（李奕亨，2004）。

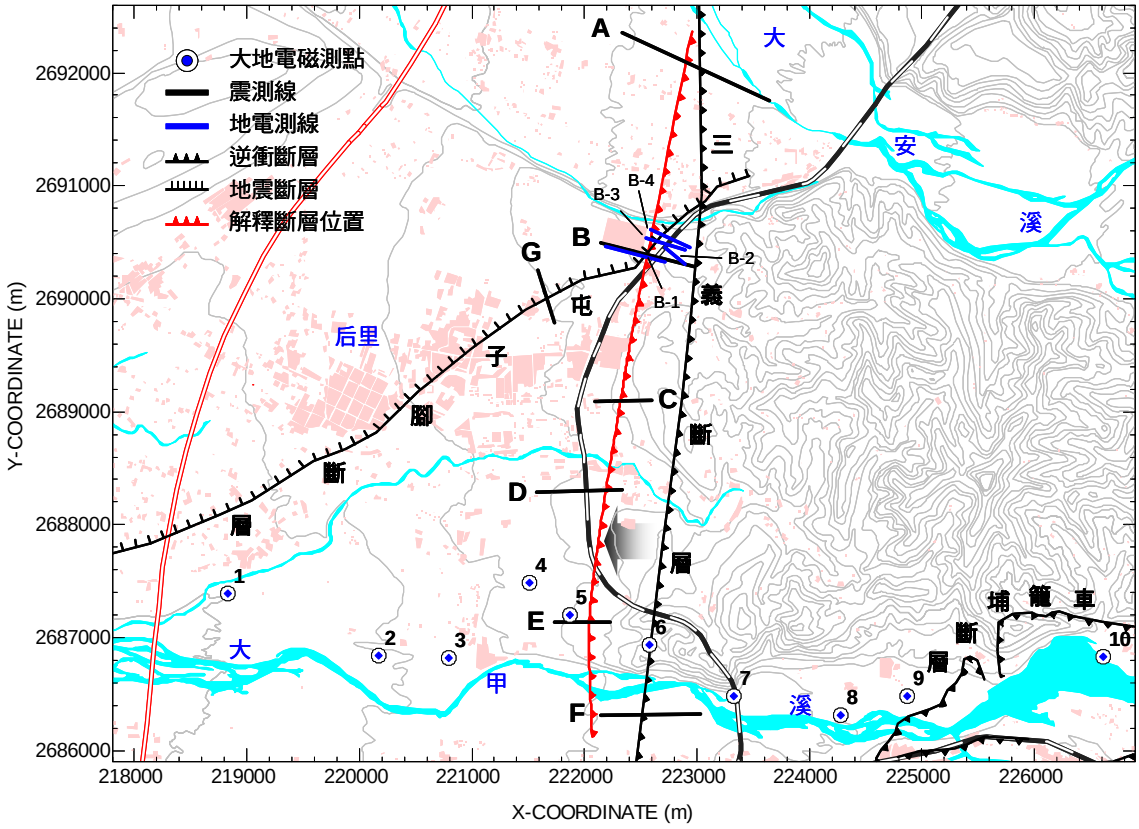


圖 3-22、依據震測資料解釋之三義斷層位置應向西修訂

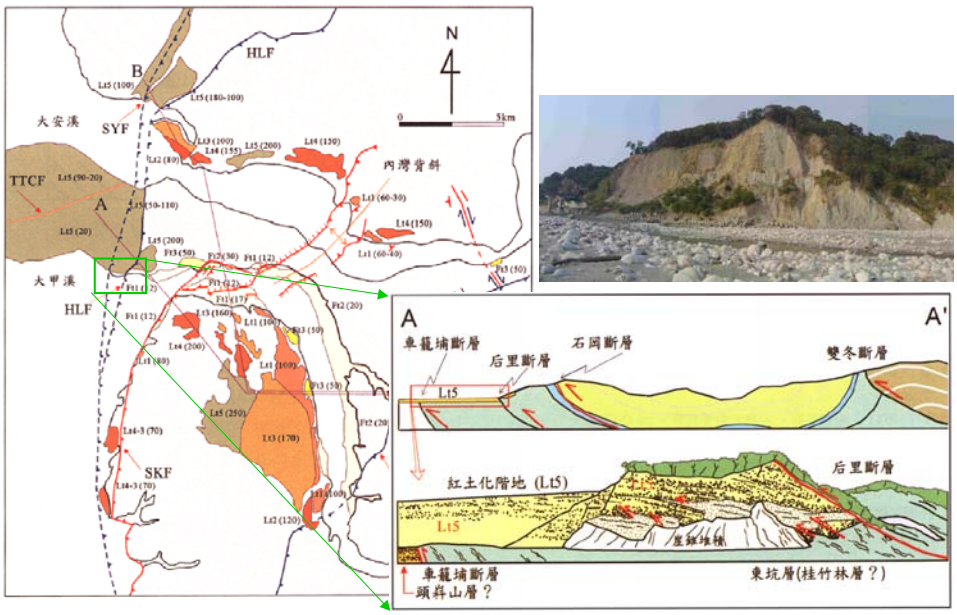


圖 3-23、臺灣中部地區之三義斷層、后里斷層、石岡斷層及河階相關位置示意圖
（右上：大甲溪北岸鐵路隧道口東側斷層露頭；右下：三義斷層及后里斷層構造圖說；陳文山等，2000）



圖 3-24、三義斷層露頭照片
（a：大甲溪鐵路隧道口西側河床出露之第三紀基盤岩；b, c：砂岩逆衝至礫石層上之露頭；d：受應力破裂之礫石）

3-3 大甲斷層及鐵砧山斷層

3-3-1 區域地質與地體構造

一、大甲斷層

九二一地震引發車籠埔斷層錯動破裂，造成斷層沿線嚴重災情。車籠埔斷層為台灣西部麓山帶系列逆衝斷層之一，亦屬於台灣板塊運動變形前緣之斷層系統。此系列逆衝斷層中，位於最西側的即為大甲－清水－彰化斷層（圖 3-25），此斷層從大安溪南岸起，經中部三大礫石台地西緣（后里台地、大肚台地、八卦台地），以迄濁水溪，長達約 60 公里，中央地質調查所將此斷層分為三條斷層：大甲斷層、清水斷層、彰化斷層（地調所，台灣活動斷層分佈圖，2000，第二版）。清朝道光 28 年（1848 年）彰化－鹿港地區曾經發生規模 7.1 的強烈地震（彰鹿地震），造成一千多人死亡，此災害地震與大甲－清水－彰化斷層難脫關係。本次計畫目標為北段之大甲斷層。

文獻資料指出大甲－清水－彰化斷層較類似地下隱藏之「盲斷層」作用所產生（Hsiao, 1968; Chang, 1971），此盲斷層引發之逆衝作用抬昇上述之三個台地，並極有可能在其西緣產生斷層，加速台地之上昇。清水斷層經過幾個人口稠密的市鎮（包括清水、沙鹿、龍井、大肚），也接近台中港，若發生地震引發斷層錯動，生命財產損失必定甚嚴重，值得密切關注。近年來學界研究認為大甲－清水-彰化斷層應屬於「斷層彎曲褶皺」之形態，係為深部盲斷層所產生，淺部地層僅受到彎曲而未斷裂，因此雖然地表附近只見地層彎曲未見錯動，仍以斷層稱呼（蕭瑞文，2002）。

二、鐵砧山斷層

鐵砧山斷層為中油地質學家所命名，一般又分為大甲溪北方之大甲東斷層及南方之橫山斷層。橫山斷層位於清水斷層之東，且略呈相互平行（圖 3-25），兩者相距約 1 至 2 公里，延展約 12 公里，呈北東走向，一般認為係屬於伴隨大甲－清水斷層之副斷層，以背衝斷層（Back Thrust）形態出現。本斷層目前於地表並未發現斷層露頭，主要是以地形特徵來推斷，包括：背斜狀壓力脊、反斜斷層小崖、斷層線谷等，顯示出與大肚山丘陵地區地形坡降及河系發育相異的地形特徵。孫習之（1965）研判本斷層屬逆斷層，西側為上盤，頂面紅土層的最大變位量

為 20 公尺，具明顯之線性特徵。此斷層切過紅土台地堆積層及階地堆積層，所構成的斷層線崖斷續延伸，Hsu and Chang（1979）及石再添等（1983）均認定其為活動斷層，確實度Ⅰ，地調所活動斷層圖（地調所，2000）列為第二類斷層。

目前，在地表並無發現斷層露頭，因此，本斷層主要是以地形特徵來推斷，包括背斜狀壓力脊、反斜斷層小崖、斷層線谷等，顯示出與大肚山丘陵地區地形坡降及河系發育相異的地形特徵。清水第一公墓以北則沿斷層線侵蝕擴寬，形成斷層線谷（楊貴三，1986）。近年來也有震測調查認為，地層在經過文獻提及之橫山斷層之位置仍維持近乎水平且連續，未見任何錯動破裂，因此該橫山斷層，甚或鐵砧山斷層、大甲東斷層等可能均不存在，這些地形上之變化或許為台地抬升後，經古河道大量侵蝕後產生，其性質屬於侵蝕溝而已（蕭瑞文，2002）。

3-3-2 測線配置

本計畫於鐵砧山北側、大安溪南側，共配置 3 條剖面，測線分佈如圖 3-26 所示，包括：1 條反射震測測線（06P-TCA-TC01）與 2 條地電阻影像剖面測線（06E-TCS-TC01、06E-TCS-TC02），合計反射震測測線總長 2,400 公尺，地電阻影像剖面測線總長 1,080 公尺，各測線座標及相關施測參數分別如表 3-2、表 3-3 所列。

表 3-2、大甲及鐵砧山斷層測區反射震測測線參數一覽表

測線參數	測線代號
	06P-TCA-TC01
起點座標 (m)	(214997, 2695157)
終點座標 (m)	(212888, 2696251)
測線長度	2400 公尺
測站間距	2 公尺
重 合 數	24 重合
疊 加 數	12-16
取樣間隔	0.125 ms
紀錄時間	1024 ms
施測日期	2006/04

註：座標採用 TWD67，二度分帶座標系統。

表 3-3、大甲及鐵砧山斷層測區地電阻測線參數一覽表

測線參數	測線代號	
	06E-TCS-TC01	06E-TCS-TC02
起點座標 (m)	(213992, 2695430)	(214212, 2695294)
終點座標 (m)	(214334, 2695085)	(214636, 2694929)
電極配置	Pole-pole Array	Pole-pole Array
測線長度 (m)	500	580
測點間距 (m)	10	10
施測日期	2006/05/21	2006/05/22

註：座標採用 TWD67，二度分帶座標系統。

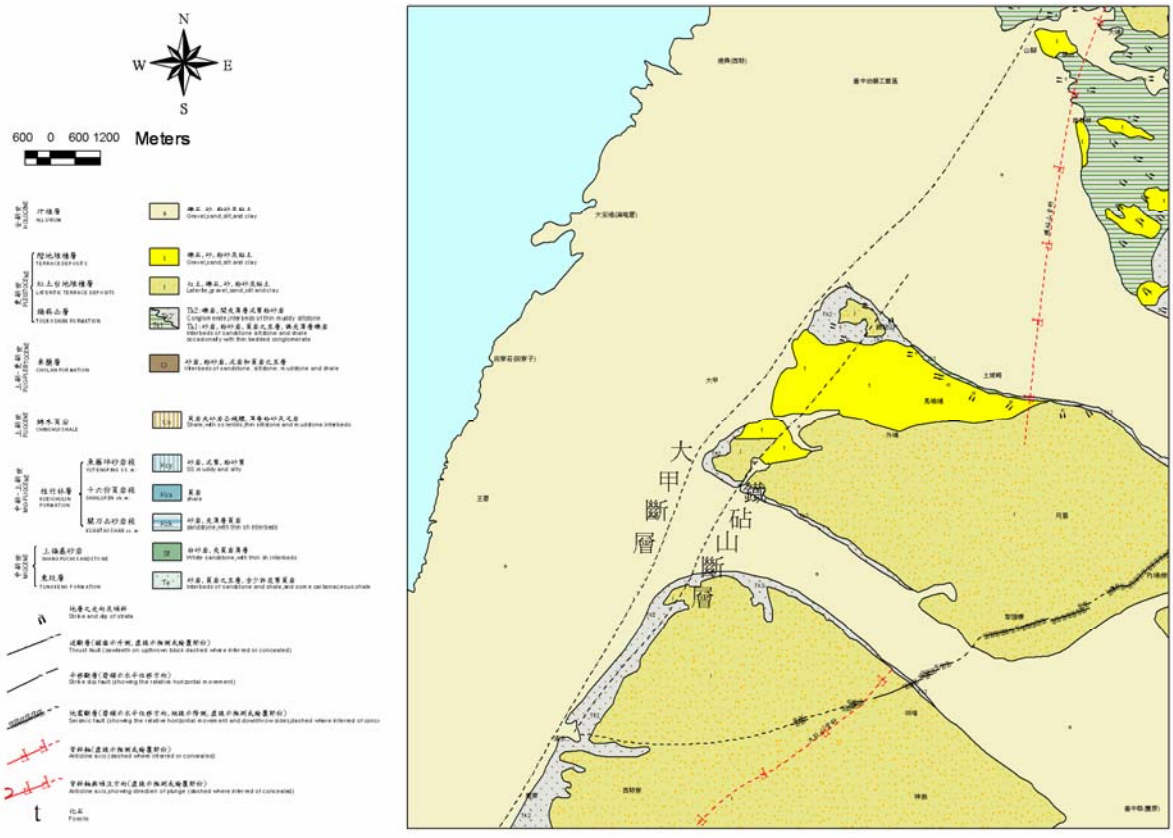


圖 3-25、大甲及鐵砧山斷層附近地質圖

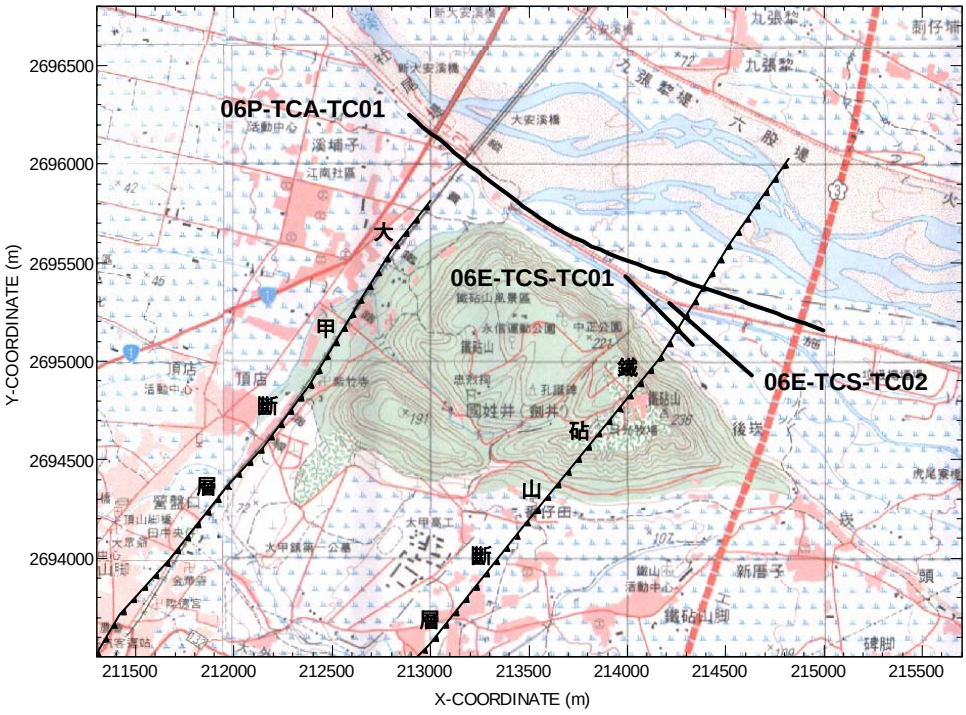


圖 3-26、大甲及鐵砧山斷層鐵砧山地區地物測線位置圖

3-3-3 震測資料解釋

圖 3-27 為大甲斷層鐵砧山測線（06P-TCA-TC01）炸測紀錄，由於本測區之施測條件相當良好，炸測紀錄未經濾波處理，便能觀察出相當多之地層信號，甚至在走時接近 1000 ms 時仍可觀察出地層反射信號。本測線經速度分析所獲得之地層速度如表 3-4 所示。

本測線剖面長度為 2400 公尺，同時跨越大甲斷層及鐵砧山斷層可能位置。圖 3-28 為未經資料解釋前之原始震測影像圖，斷層與褶皺等構造形貌特徵相當明顯。由大安溪南岸鐵砧山出露之地層剖面，顯示於高地西側部分之地層有向西傾斜的趨勢，與震測剖面所呈現之震測相一致，整體地層有向西傾動的現象。圖 3-29 為解釋之震測剖面圖，推測斷層由東向西逆衝，斷層面約 45 度，在深度約 500 公尺處有停止向上破裂的現象，逐漸進入層間滑動的機制（剖面深度 500～600 ms，CDP 約 1500 公尺以西，藍色虛線標示之層面）。此外，大甲斷層上盤地層由測線開始至 1700 公尺處形成背斜褶皺型態的彎拱形貌，推測係受到深部斷層應力擠壓所致，越接近斷層前緣上衝位置（1560 公尺至 1250 公尺間）彎曲的變形越大。上盤岩層在接近斷層面的位置因應力集中而彎曲拱起，而在上盤地層中形成類似背斜構造；下盤受到斷層面上盤之壓力而向下彎曲。

整個斷層型態可用斷層彎曲摺皺（Anticlinal Fault-Bend Folds）之型態進行解釋（圖 3-30、圖 3-31），構造背斜在地形上的特徵即為鐵砧山高地。根據中油 83 及 89 年在此所進行一系列油氣探勘所獲得的剖面（圖 3-32、圖 3-33），及蕭（2002）對大甲-清水-彰化斷層所進行淺層反射震測調查之結論，亦推論大甲斷層應為背斜型態之斷層彎曲摺皺（Anticlinal Fault-Bend Folds），而此構造似乎仍為初期之成長狀態，由震測相對比兩側岩層，斷距似乎不大，之後若可將中油大甲 1 號井及后里 1、2 號井進行地層比對同時由層位及變形程度推算，應可得到此斷層構造較多活動性的資訊。此外由於地下構造與地表之地形特徵仍相當一致，顯示構造活動相當新或仍在運動中，因此在都市防災方面需特別注意。

此外，對應鐵砧山斷層處之地下地層並無明顯的錯動現象，由蕭瑞文（2002）在大肚台地西側清水附近疑似鐵砧山斷層線型所進行之淺層反射震測調查，亦觀察到地層連續並無明顯斷層帶或垂直錯動之跡象。因此鐵砧山斷層是否存在，或其確切位置

是否與目前斷層標示位置有出入，則需進一步調查研究瞭解。

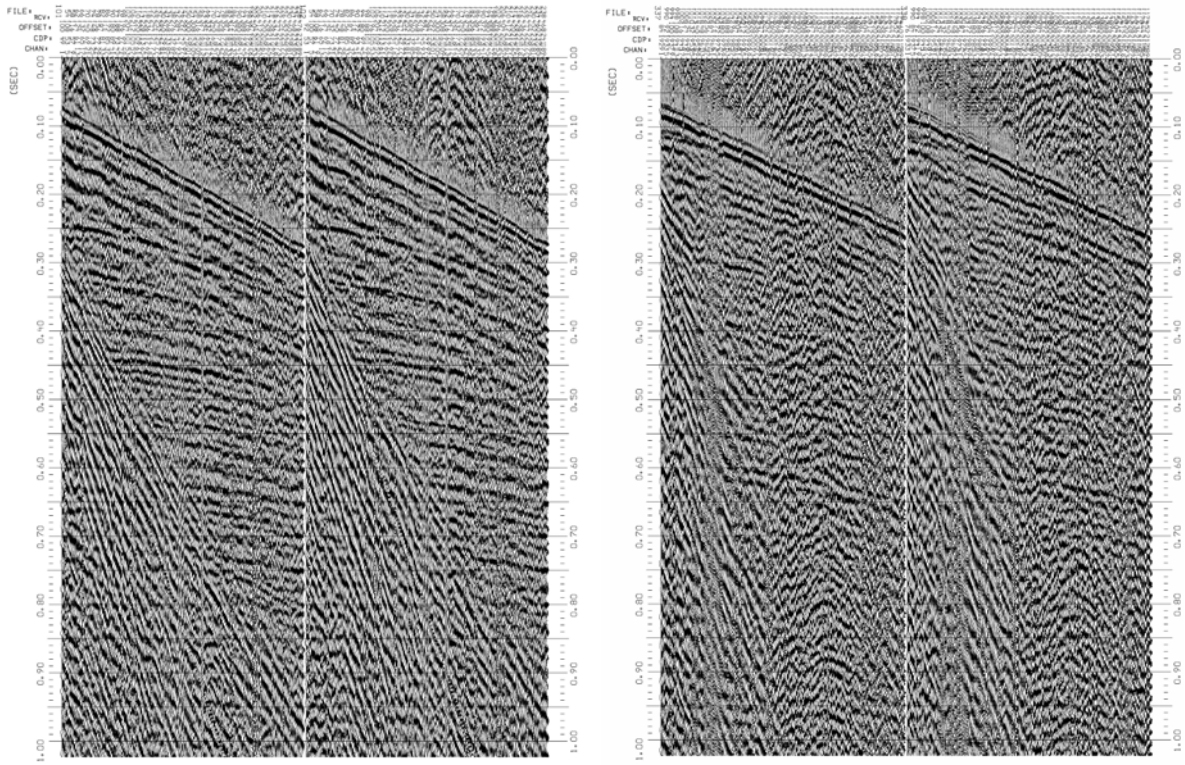


圖 3-27、大甲斷層鐵砧山測線 06P-TCA-TC01 炸測紀錄
（左：測線起點；右：測線尾端）

表 3-4、大甲斷層鐵砧山震測線 06P-TCA-TC01 震波速度一覽表

	測線編號	TC-TC01P					
	CDP# (m)	100	880	1400	1600	1800	2000
走時範圍 (ms)	0-50	1750	1700	1700	1700	1800	1850
	50-100	1849	1895	1895	1895	1995	1910
	100-200	1995	1995	1995	1995	1999	1920
	200-300	2108	2452	2321	2452	2630	2452
	300-500	2470	2571	2520	2571	2672	2571
	500-700	3126	2941	3036	2941	3043	3230
	700-1000	3617	3617	3617	3617	3721	3721

P 波速度單位：m/s

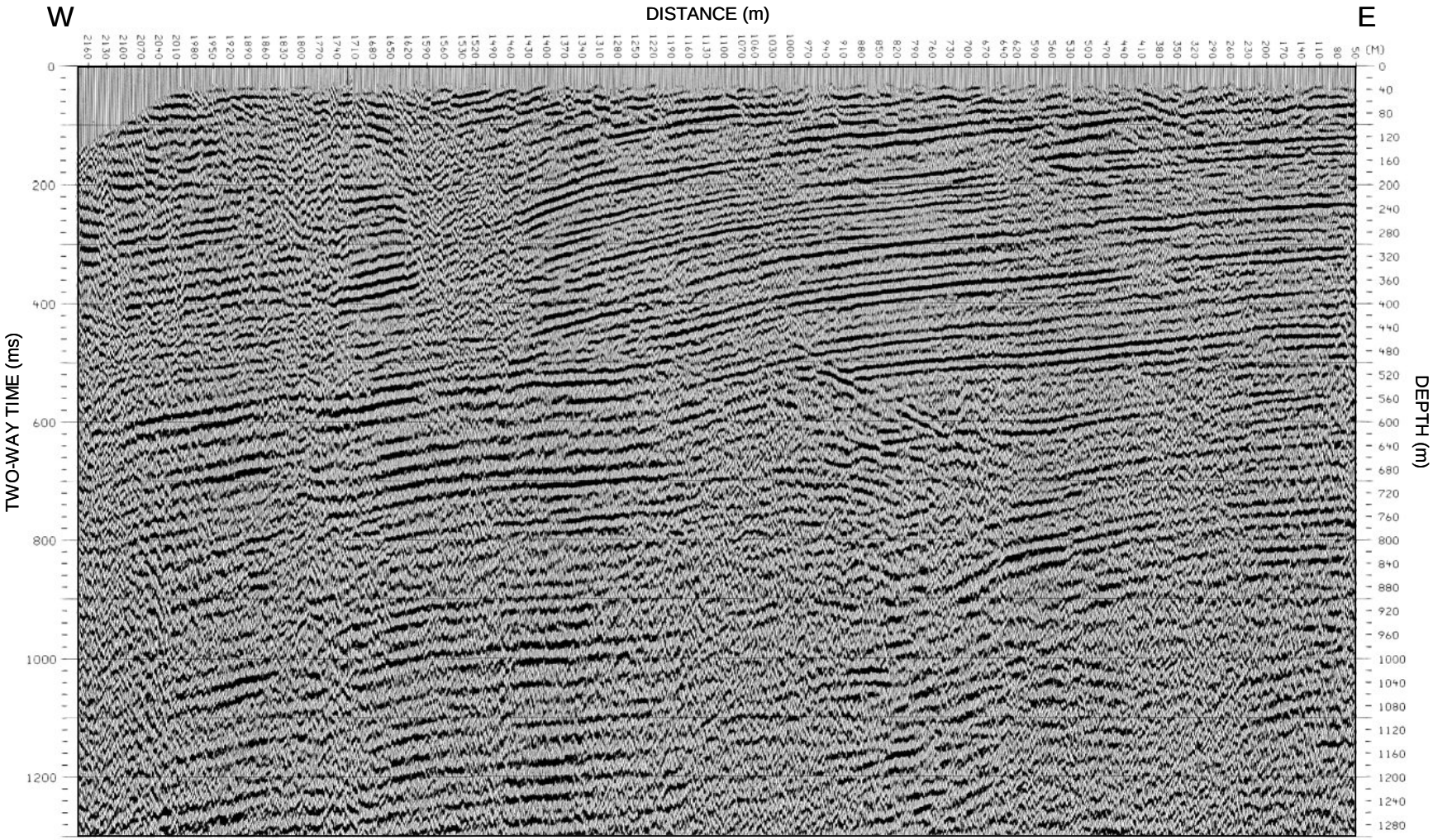


圖 3-28、大甲斷層鐵砧山測線 06P-TCA-TC01 原始震測剖面

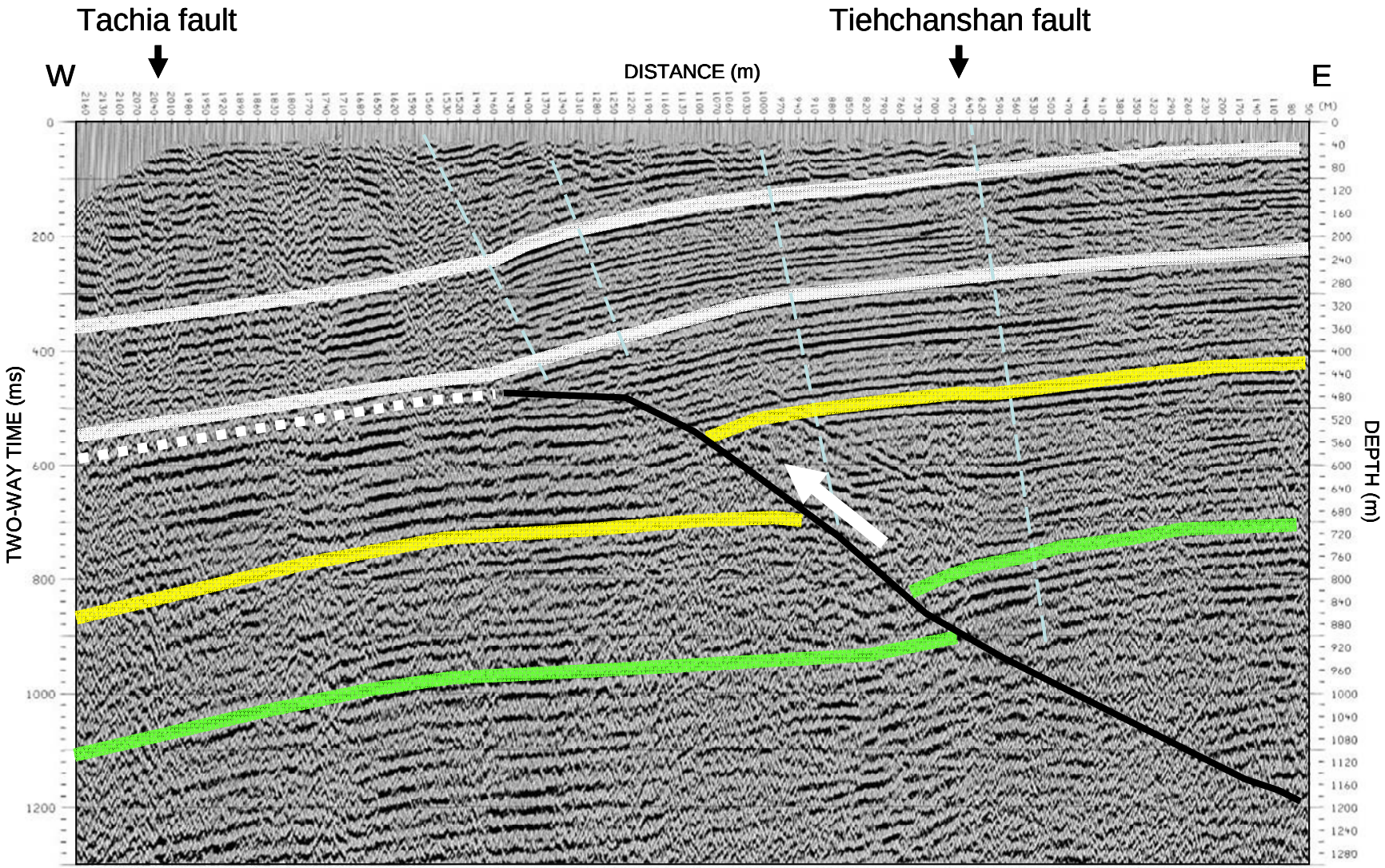


圖 3-29、大甲斷層鐵砧山測線 06P-TCA-TC01 震測剖面解釋圖

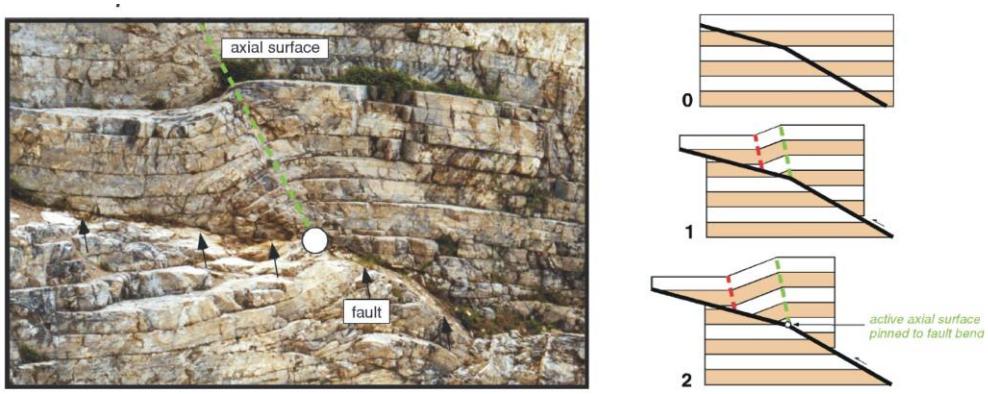


圖 3-30、典型背斜型態之斷層彎曲摺皺斷層機制示意圖
（摘自：Shaw et. al., 2005）

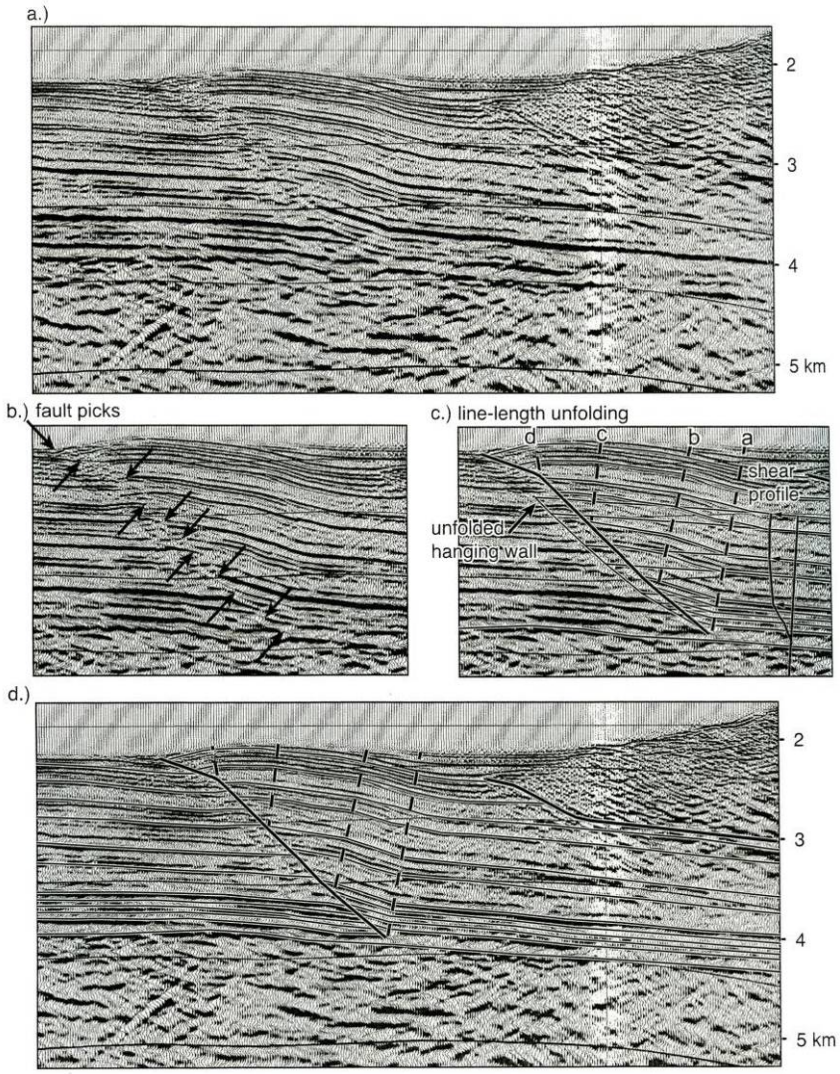


圖 3-31、典型背斜型態之斷層彎曲摺皺震測剖面解析
（摘自：Shaw et. al., 2005）

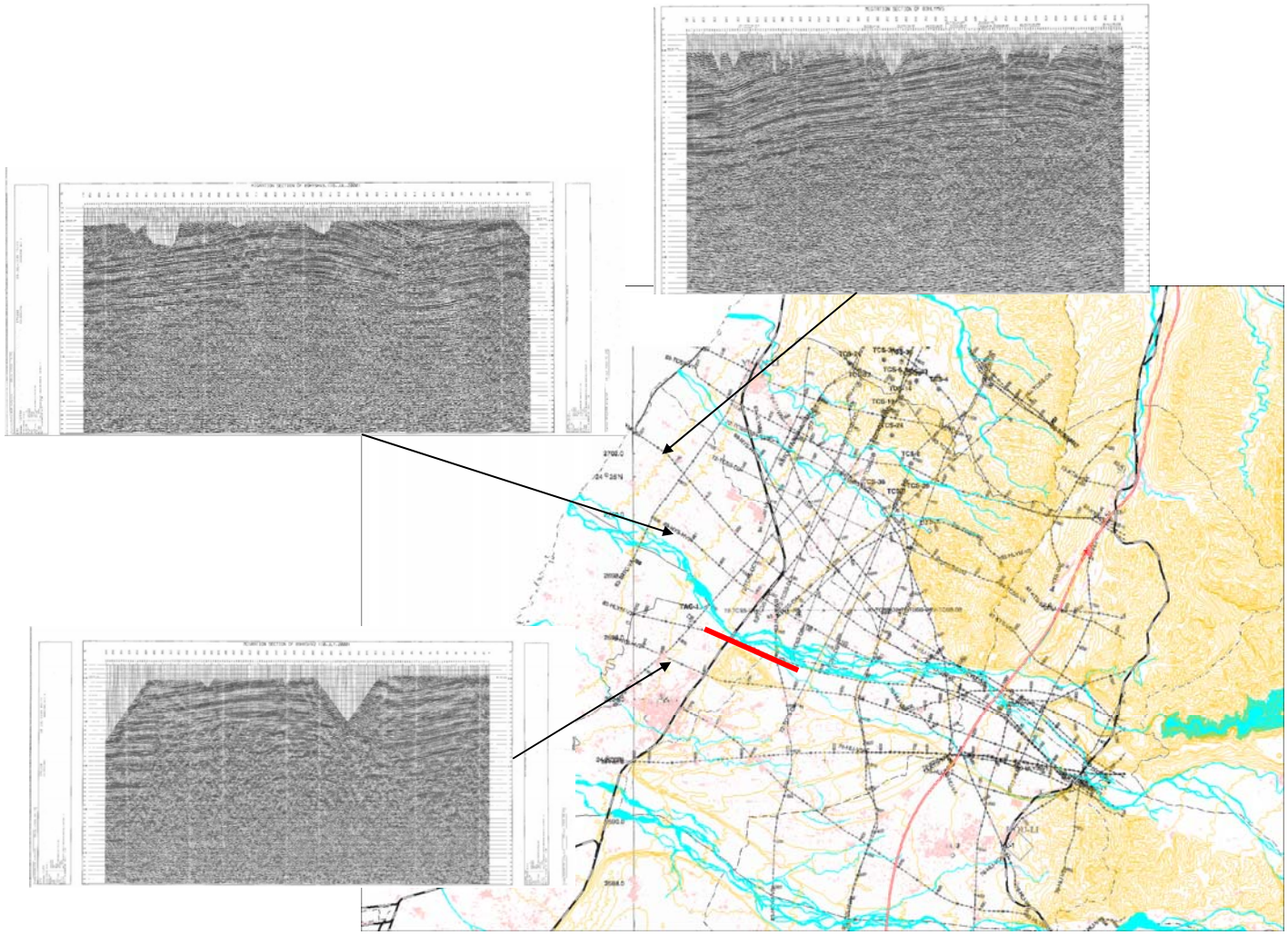


圖 3-32、中油於大甲以東油氣探勘震測剖面線

（紅色測線為 06P-TCA-TC01 測線位置；資料來源：中油公司）

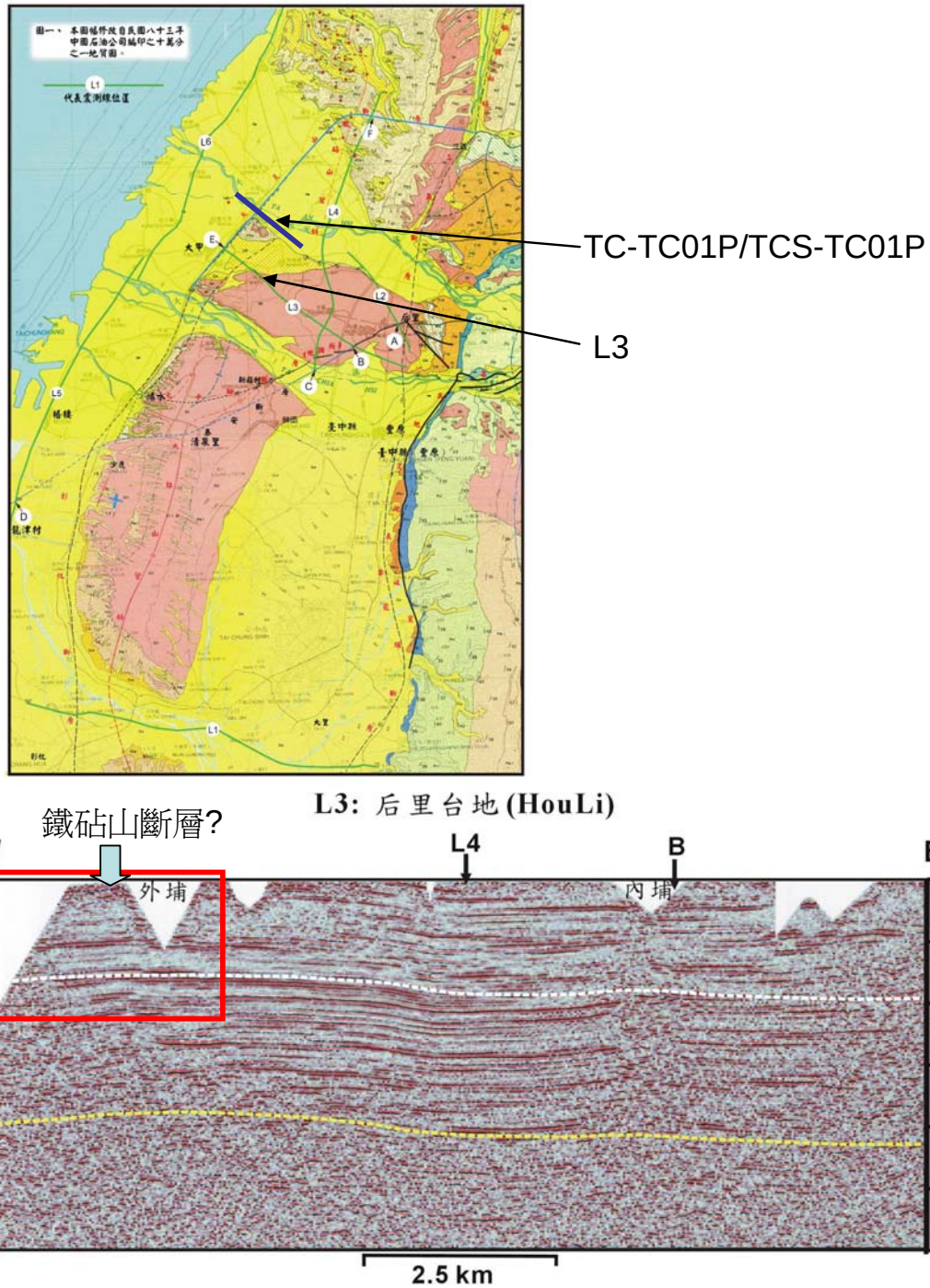


圖 3-33、中油后里地區震測剖面圖

（紅框對應測線 06P-TCA-TC01 範圍；外埔以西地層仍連續，無鐵砧山斷層徵候；資料來源：中油公司）

3-3-4 地電資料解釋

鐵砧山斷層鐵砧山測線（06E-TCS-TC01 及 06E-TCS-TC02）經二維逆推處理後之地電阻影像剖面如圖 3-34 所示，均方根誤差分別為 2.26 與 2.06 Ohm-m，除淺部 10 公尺內有局部高電阻層外，地下深度約 450 公尺範圍內地層之電阻率約介於 4 至 158 Ohm-m 間，且地層電阻率變化不大。由圖 3-34 箭頭所指處地下約 90 公尺以下，具顯著的側向電阻變化（如圖中虛線處），其東側地層電阻率約 100 Ohm-m 上下，但西側地層電阻率則約僅 20 Ohm-m 上下。此位置約距地質圖所繪斷層位置西移約 200 公尺，但與鐵砧山高地上的東北－西南線型位置一致，與石再添等（1983）所指之大甲東斷層位置一致（圖 3-35）。但由圖 3-34 並未發現深度約 40 公尺內有明顯的電阻側向變化，有可能係因上覆堆積物沉積後斷層便不再活動，或者因錯動量極小而無法顯現。

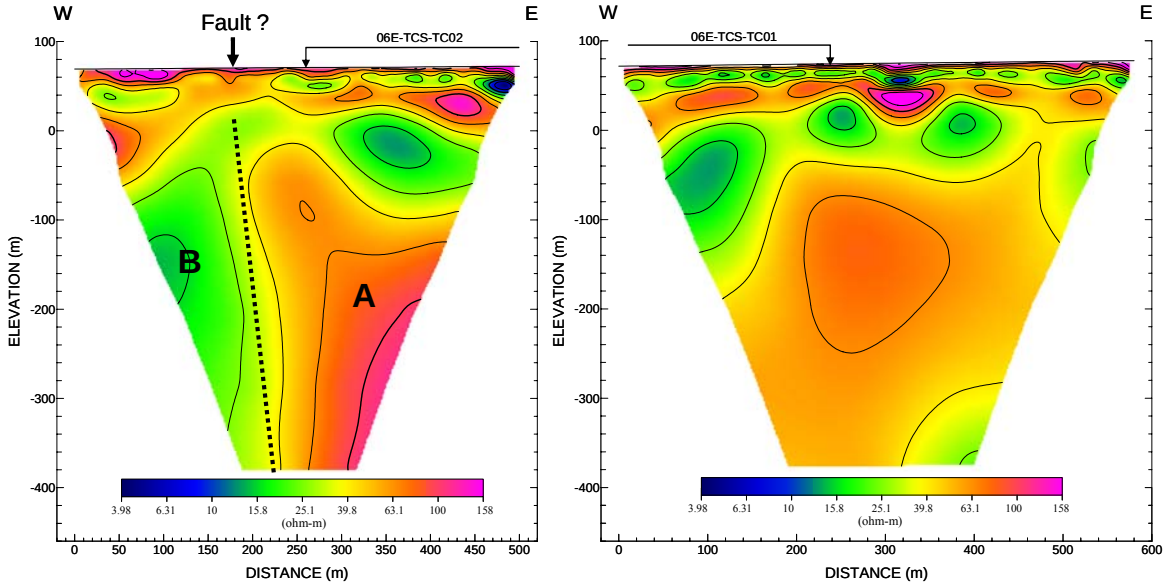


圖 3-34、鐵砧山斷層鐵砧山測線 06E-TCS-TC01、06E-TCS-TC02 地電阻影像剖面圖
（左：測線 06E-TCS-TC01；右：測線 06E-TCS-TC02）

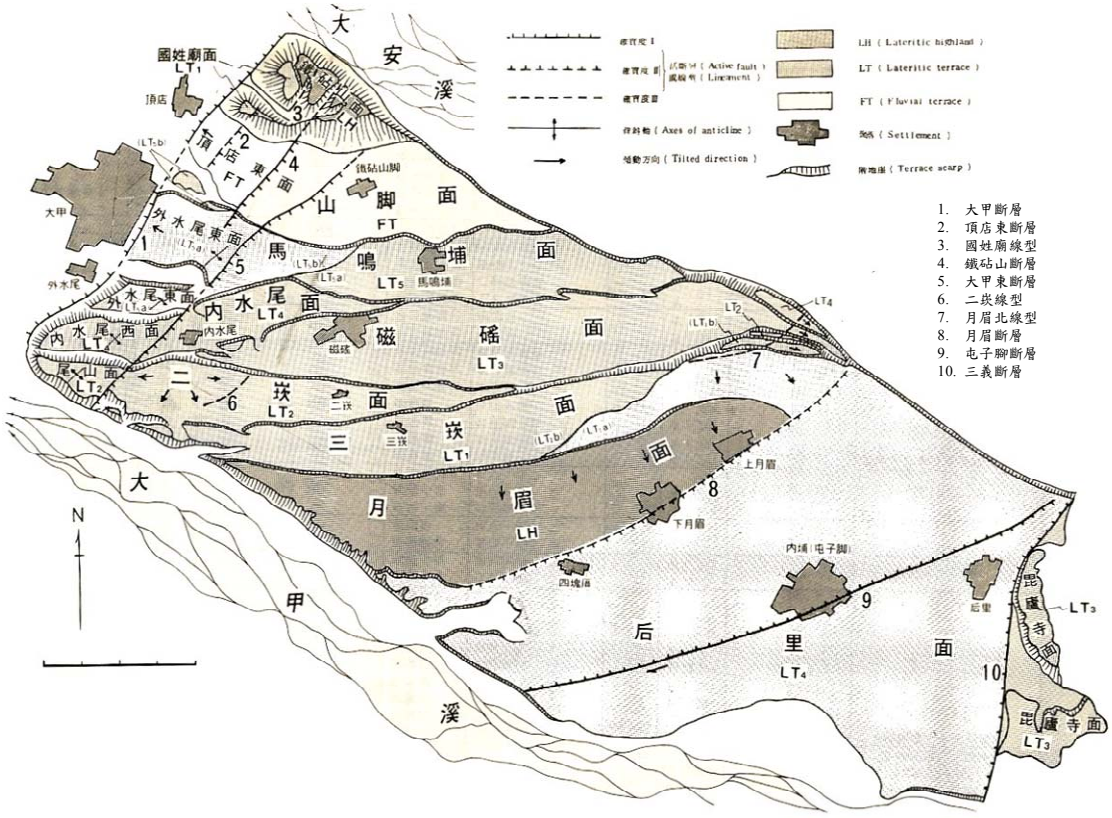


圖 3-35、后里台地的活斷層與地形面
（摘自：石再添等，1983）

3-4 池上斷層

3-4-1 區域地質與地體架構

花東縱谷斷層為菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的縫合帶，位於花東縱谷，為現代沖積層所覆蓋。依據中央地質調查所於 2000 年公佈之台灣活動斷層分布圖，縱谷地區之活動斷層為池上斷層。池上斷層最南延伸至萬安附近，更往南則蹤跡不明。至瑞源地區（圖 3-36 中粗線方框範圍），利吉層與縱谷沖積層之交界應存在一斷層，可能為池上斷層向南延之處。

池上斷層位於花東縱谷，屬於縱谷斷層之一。斷層北由瑞穗東南方之能雅向南南

西方向延伸，經觀音、玉里大橋、富里、池上東方、至錦園南方萬安附近，總長約 47 公里。本斷層包括以往所稱之玉里東斷層（游明聖，1997）、東興斷層、池上斷層與錦園斷層（楊貴三，1986）。

在斷層性質上，池上斷層為一兼具有逆移性質與左移性質之斷層，富里南方富池橋東方約 200 公尺的鱉溪南岸的斷層露頭顯示，斷層位態為北偏東 20 度向東傾斜 60 度（Barrier and Chu, 1984），斷層帶寬約 10 公分，上盤為層面幾乎直立的青灰色利吉層。在大坡附近之斷層露頭發現，斷層東側之利吉層向東傾斜 60 度，西側之沖積層則呈水平，斷層面向東傾 16 度（楊貴三，1986）。陳文山於錦園附近進行地質鑽探，分別鑽在斷層上盤與下盤，但均未鑽遇斷層帶，顯示此區之斷層面傾角十分大。

在斷層的活動性上，楊蔭清（1953）指出 1951 年玉里-池上地震時，地震斷層線通過富里國小，慶豐村及錦園村等位於池上斷層之結構物。根據大地測量資料(余水倍, 1988)，玉里池上地區有穩定而持續的快速垂直潛移現象與水平潛移現象，潛移率以富里地區最大，向南北兩端逐漸變小。鍾令和（2003）根據池上－玉里地震地表破裂特性與現今大地測量結果之比較推論兩者屬於互補現象，池上段在間震期有較大的位移量與明顯潛移且小地震頻繁，玉里段則位移量較小，小地震也較少。

在地形上，池上斷層的南段，即石牌村往南經大坡至萬安村西南方，有一長達 12 公里的斷層崖，且東側較西側高約 2-15 公尺。在東竹地區，沿斷層線有一明顯之壓力脊（楊貴三，1986），其餘地區斷層大部份均掩蓋於現代沖積層之下。工研院能資所過去亦曾於錦園附近進行地電阻影像剖面探測及反射震測探測。94 年度中央地質調查所曾委託工業技術研究院針對瑞源新良地區進行反射震測探勘，並明確找出斷層之位置。經由中央地質調查所於現場地質與地形調查認為此區出露之利吉層西方仍有兩處崖階，極可能由斷層造成，但此二崖階是否均為斷層所造成？那一個崖階才與斷層線有關？則為本年度調查的重點。

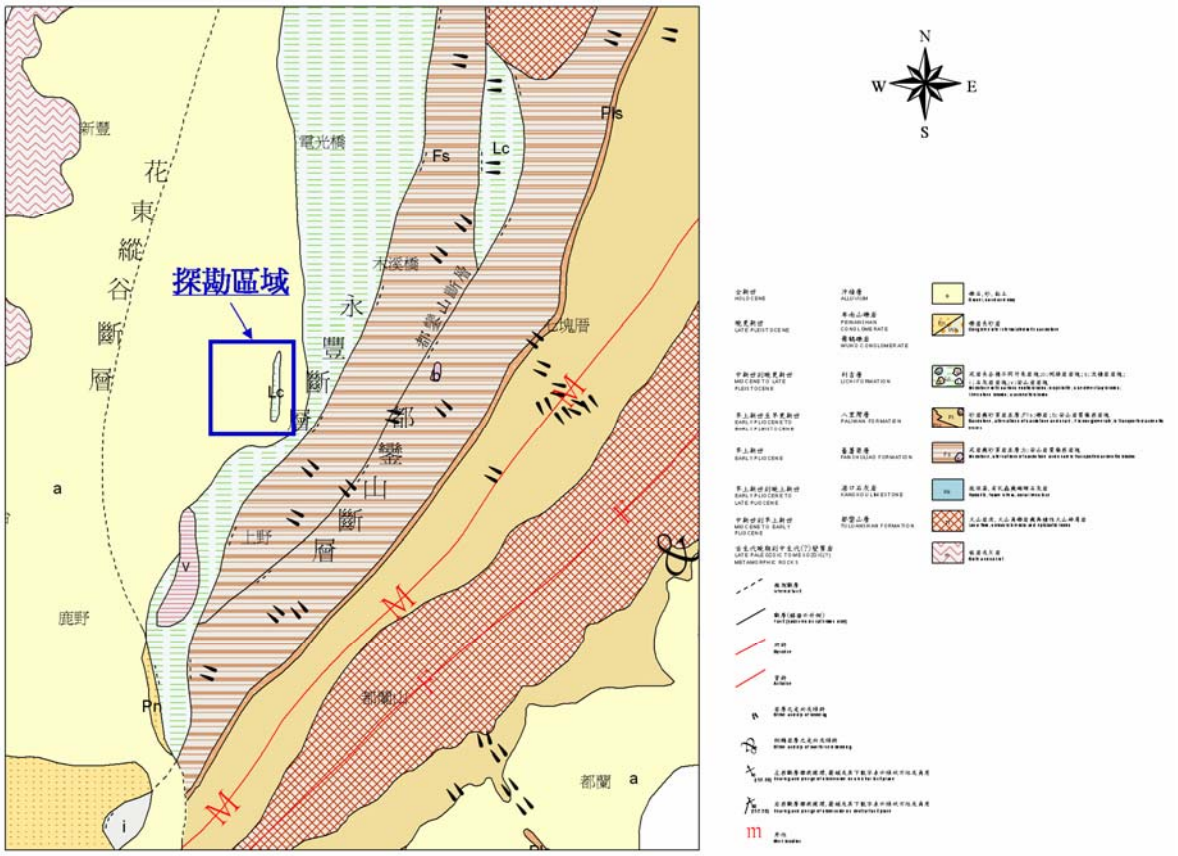


圖 3-36、瑞源附近地質圖

3-4-2 測線配置

本計畫於瑞源東南測佈置三條地電阻測線（06E-CSC-JY01、06E-CSC-JY02、06E-CSC-JY03），位置分佈如圖 3-37 所示，各測線座標及相關施測參數如表 3-5 所列，測線長度共計 1,5200 公尺。06E-CSC-JY01 測線長 950 公尺，自地形平緩之農田向東南爬昇至由利吉層所形成的小山丘，共跨越 A、B 兩條線型（圖 3-38），測線兩端地形落差約 40 公尺。06E-CSC-JY02 測線位於 06E-CSC-JY01 測線南方約一公里處，長 270 公尺，係為追蹤斷層向南之延伸而配置，但卻於完成資料處理後發現斷層位置可能更偏向西側，故再於 06E-CSC-JY02 測線南側約 150 公尺處再補一條 06E-CSC-JY03 測線，長度為 300 公尺。

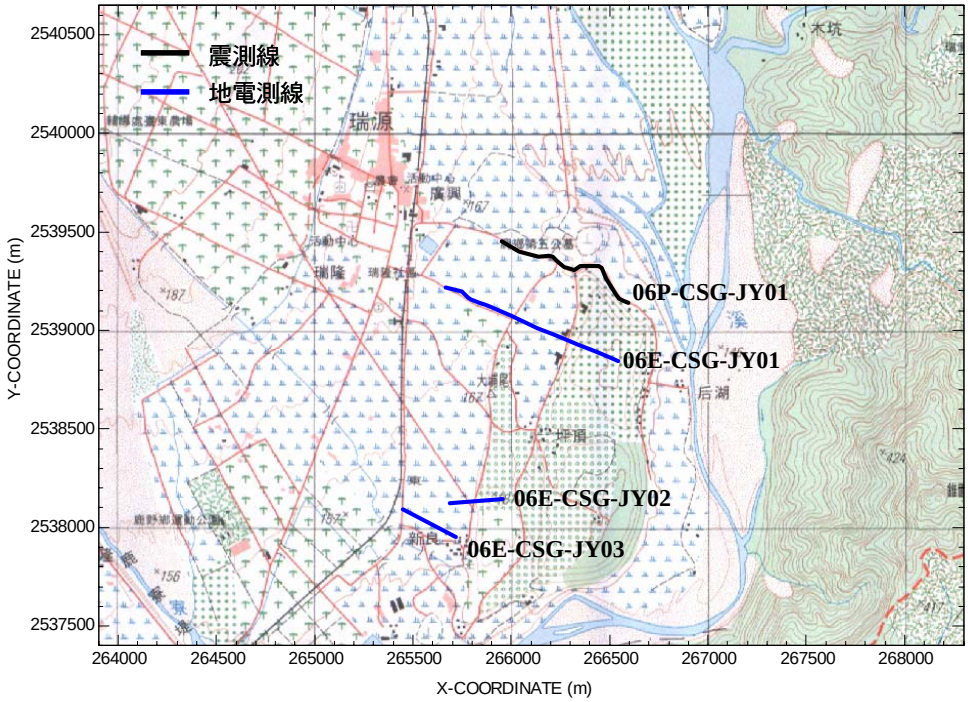


圖 3-37、池上斷層瑞源地區測線位置圖

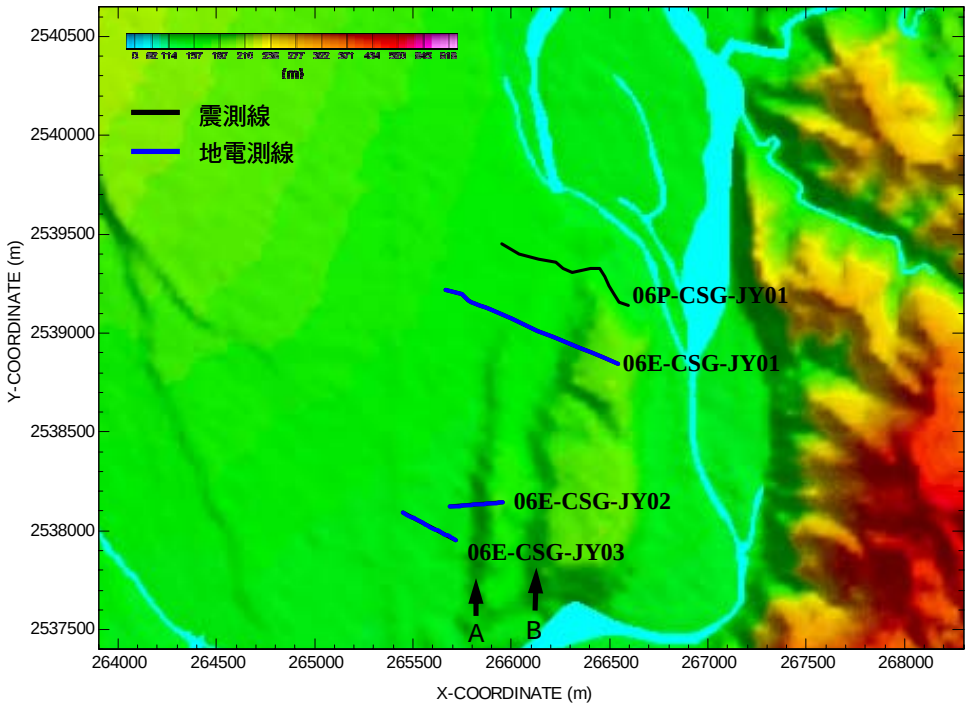


圖 3-38、池上斷層瑞源地區地形圖

表 3-5、池上斷層測區地電阻測線參數一覽表

測線參數	測線代號		
	06E-CSC-JY01	06E-CSC-JY02	06E-CSC-JY03
起點座標 (m)	(265668, 2538847)	(265689, 2538121)	(265450, 2537954)
終點座標 (m)	(266544, 2539218)	(265958, 2538144)	(265717, 2538091)
電極配置	Pole-pole Array	Pole-pole Array	Pole-pole Array
測線長度 (m)	950	270	300
測點間距 (m)	10	5	5
施測日期	2006/05/28	2006/07/11	2006/08/01

註：座標採用 TWD67，二度分帶座標系統。

3-4-3 地電資料解釋

池上斷層瑞源測線（06E-CSC-JY01、06E-CSC-JY02、06E-CSC-JY03）經二維逆推處理後之地電阻影像剖面分別如圖 3-39、圖 3-40、圖 3-41 所示，均方根誤差分別為 9.811 Ohm-m、8.11 Ohm-m、3.62 Ohm-m，依據電性地層電阻高低分為三層，分別以 A、B、C 表示，解釋如下：

一、A 層具顯著低電阻率特徵，平均電阻率約為 10 Ohm-m 上下，應可對應利吉層。

二、B 層位於 A 層西側，具顯著高電阻率特徵，電阻率約介於 100 至 1000 Ohm-m 間，推測對應縱谷沖積層，局部可能因黏土質含量較高或礫石顆粒較小故顯現相對較低的電阻率。

三、C 層普遍分布於近地表處，厚度約 20 公尺上下，小山丘處之淺層高電阻層則減為 10 公尺以下，其電阻率多超過 500 Ohm-m 以上，推測對應近代沖積層。

四、根據在池上地區所發現的池上斷層露頭，顯示斷層東側為利吉層，斷層西側則為縱谷沖積層；因此，由地電阻影像剖面圖上的 A 層與 B 層接觸位置應可解釋為斷層，以箭頭符號標示於圖 3-39、圖 3-40、圖 3-41。顯示池上斷層在測線 06E-CSC-JY01 處與 A 線型一致，但在測線 06E-CSC-JY02 與 06E-CSC-JY03 處，則不完全與 A 線型一致，而有略向西偏移約 100 公尺的情形（圖 3-42）。

五、圖 3-43 為花東縱谷南段剩餘重力異常圖，圖上同時標示地質圖上所標示池上斷層線位置，顯示在池上以北地區斷層線與重力異常線型一致，且該重力異常線型更

向南延伸至鹿野，且與前述根據地電阻影像剖面研判的斷層位置一致（圖 3-44），因此推測前述之解釋斷層應為池上斷層向南方之延伸。

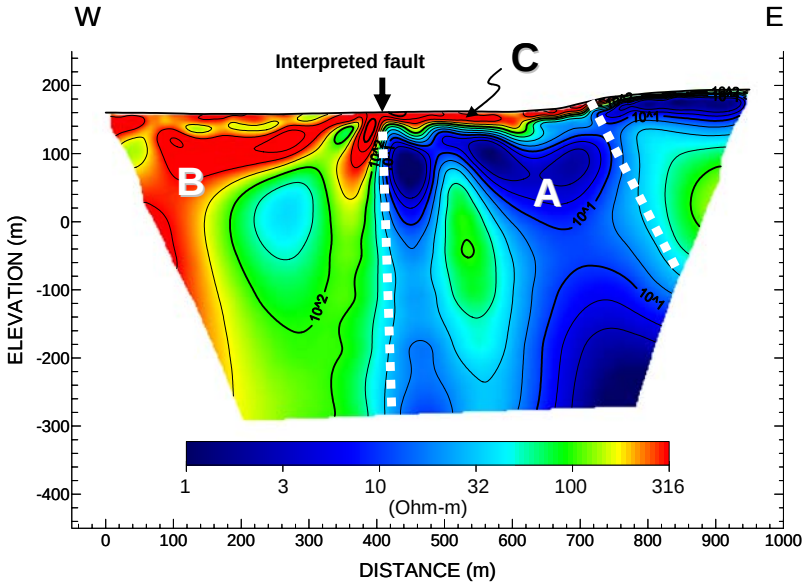


圖 3-39、池上斷層瑞源測線 06E-CSG-JY01 地電阻影像剖面圖

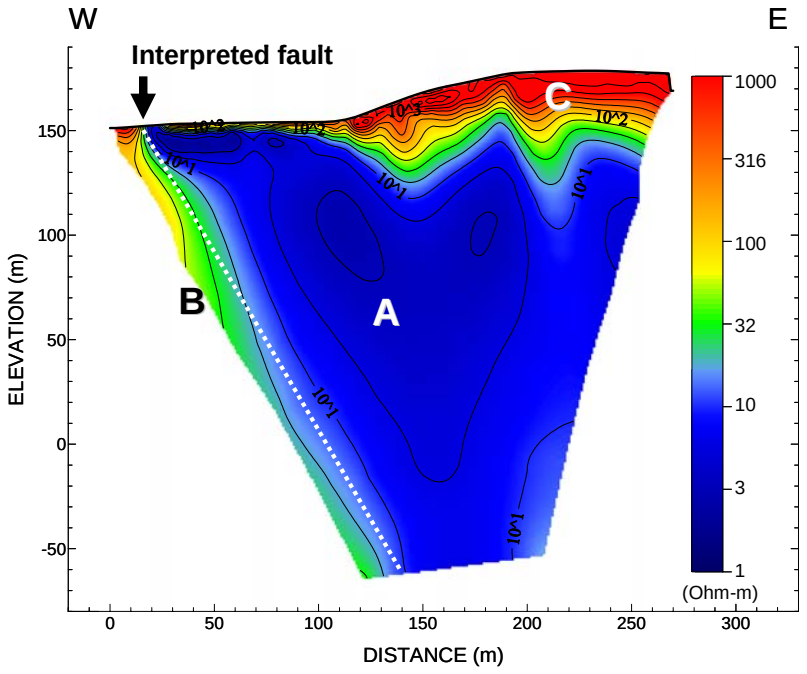


圖 3-40、池上斷層瑞源測線 06E-CSG-JY02 地電阻影像剖面圖

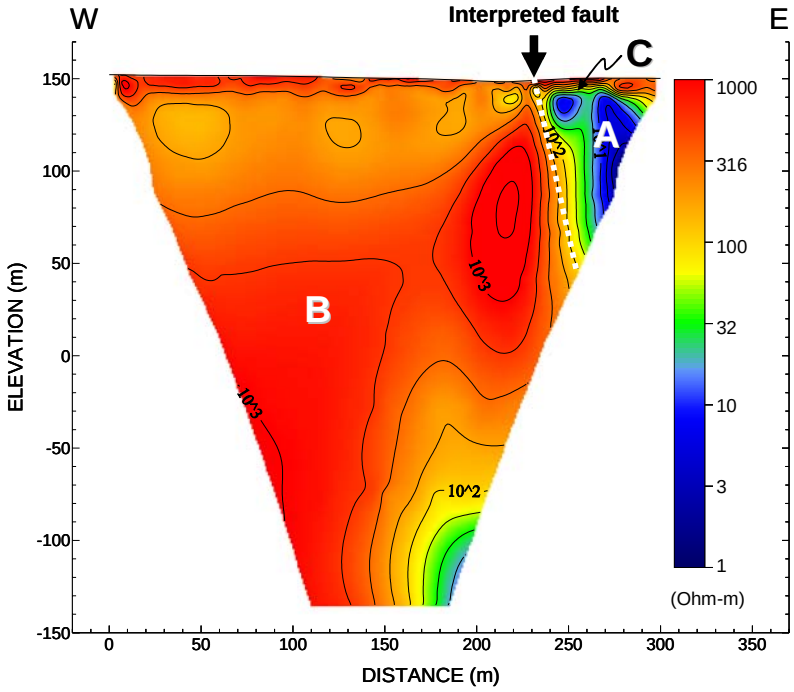


圖 3-41、池上斷層瑞源測線 06E-CSG-JY03 地電阻影像剖面圖

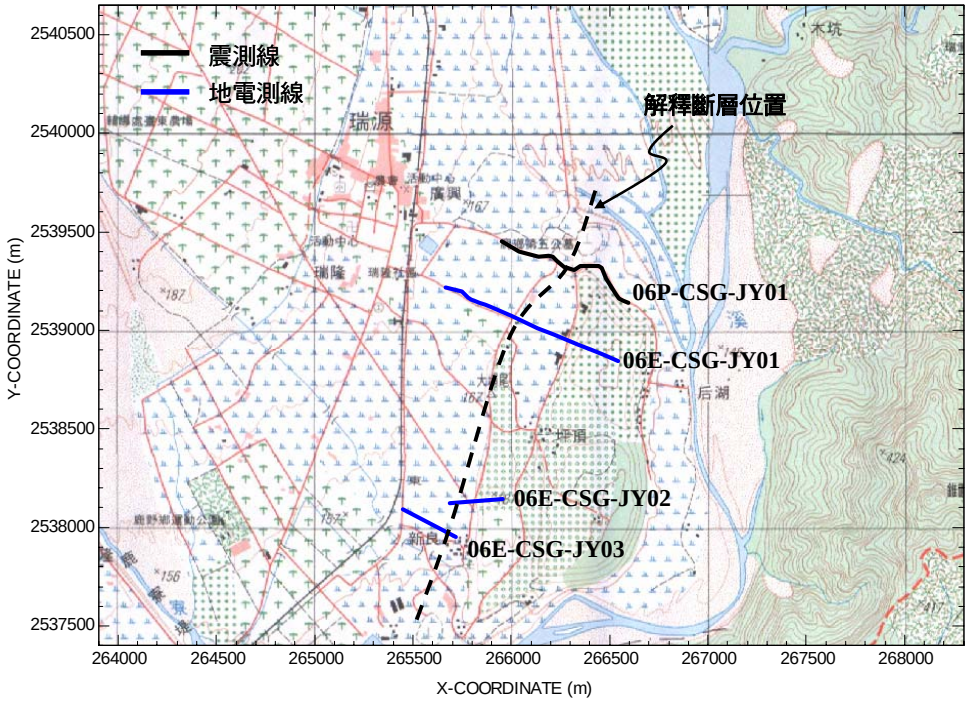


圖 3-42、依據地物資料解釋之池上斷層位置圖

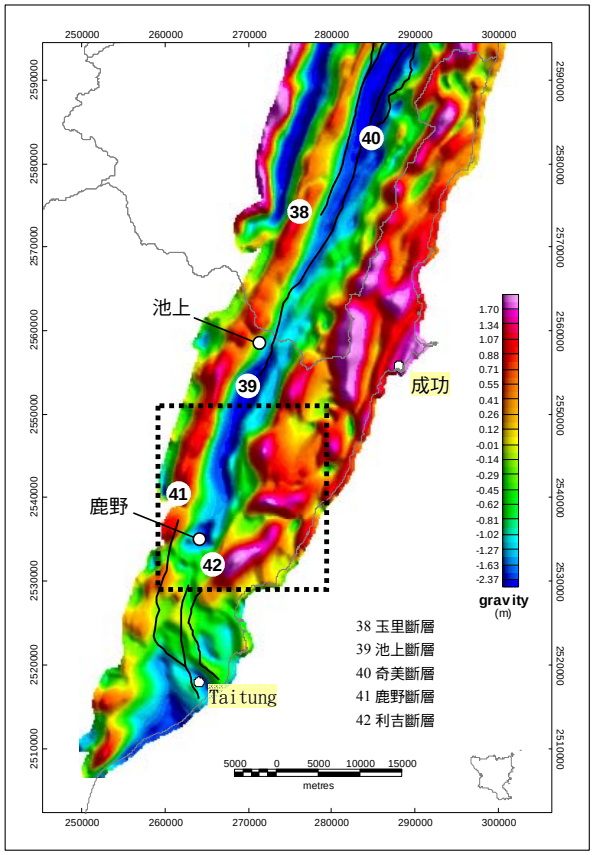


圖 3-43、台東縱谷南段重力異常圖

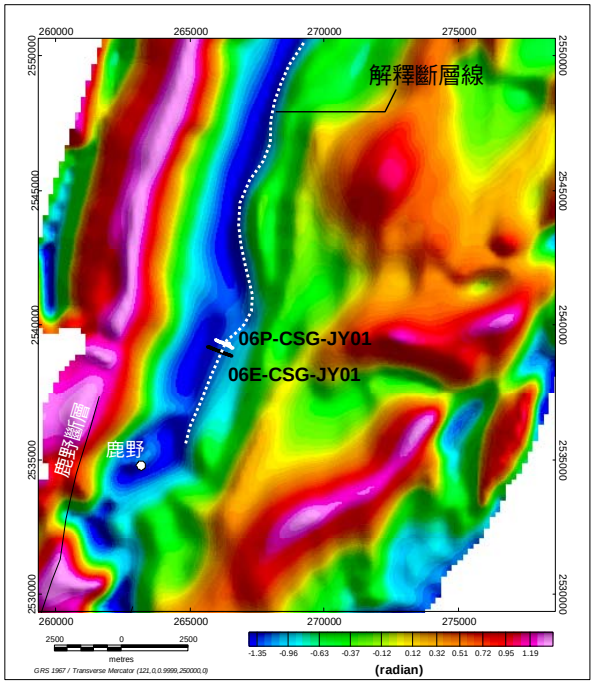


圖 3-44、瑞源鄰近地區經傾斜微分處理後之重力異常圖

3-5 利吉斷層

3-5-1 區域地質與地體構造

利吉斷層為一逆移斷層（林啟文等，2000；圖 3-51），此斷層分為兩支，分別為東側之利吉斷層及西側之卑南山斷層。兩斷層之走向大致與其西側之鹿野斷層相當。利吉斷層由利吉村北方沿海岸山脈西緣向東南延伸，至台東市北方轉東南方向至海濱，長約 13 公里，本斷層包括位於其東側之分支斷層－卑南山斷層（Hsu, 1956）。利吉斷層具有極好的斷層崖地形，斷層崖的高度在斷層北端約為 15 公尺，向南則逐漸降低（楊貴三，1986）。野外露頭調查於利吉國小附近發現此斷層由東向西以 40 至 65 度逆衝至水平的河階礫石層之上（Hsu, 1976a）。在斷層的活動性上，中央地質調查所將之歸類為第二類活動斷層。

卑南山斷層為西南轉南北走向之橫移斷層，斷層由利吉北方之榕山向西南延伸至山里後，轉向南延伸沿卑南山台地東緣至卑南附近併入鹿野斷層，全長 13 公里。榕山下方卑南大溪河谷、山里地區及卑南山地區之斷層露頭均顯示利吉層向西逆衝於卑南山礫岩之上，斷層面走向北偏東 20 度，向東傾斜約 60-70 度（Hsu, 1956；1976b）。

根據地調所調查（林啟文等，2000）顯示，由於利吉層本身即具有斷層帶之特性，卑南山斷層與利吉斷層平行排列且斷層上盤均為利吉層，顯示卑南山斷層至利吉斷層之間均為斷層帶。

3-5-2 大地電磁探測

為瞭解台東地區大區域之地下地質構造，以做為後續研擬地球物理測線之參考，本計畫共完成 20 個大地電磁測點，測點位置分佈如圖 3-45 所示，測點平均間距約 1 公里。考慮測區主要構造為東南－西北走向，因此大地電磁測點以東北－西南佈置，由中央山脈跨越整個台東沖積扇至海岸山脈南端。各測點經一維 Bostick 轉換之電阻剖面如圖 3-46；圖 3-47 則為經二維逆推處理所獲得的電阻剖面圖所示，解釋如下：

一、測點 13 以東地區，地層具有顯著之低電阻特徵，與其西側高電阻層間之界面，呈現向東傾之現象，因此推測利吉斷層位於鄰近測點 13 處。

二、測點 6 與測點 10 間地層電阻率約介於 100 至 200 Ohm-m 間，較其東、西兩側地

層電阻為低，且由等值線走勢顯示地層可能為緩慢向東傾斜，代表在此低電阻層兩側具有電性地層側向差異，與本區之重力異常圖（圖 3-7）比較，顯示有可能為斷層構造所引起。

三、在測點 2 以東深度約 700 公尺間地層電阻明顯較其東側為高，因此推測在測點 3 與 4 之間，可能存在電性不連續。

表 3-6、台東地區大地電磁測點座標一覽表

測點編號	X-座標(m)	Y-座標(m)	高程 (m)
1	251,619	2,518,534	159.92
2	252,644	2,518,304	135.62
3	254,050	2,518,019	113.09
4	255,146	2,518,314	102.50
5	256,186	2,518,320	89.00
6	257,419	2,518,592	72.80
7	258,089	2,518,635	63.10
8	259,002	2,518,782	52.95
9	259,504	2,519,145	47.00
10	260,597	2,519,480	36.08
11	261,450	2,519,551	31.00
12	262,155	2,519,629	28.73
13	262,741	2,520,158	29.05
14	263,674	2,520,792	22.68
15	264,285	2,521,227	29.00
16	265,260	2,521,656	94.70
17	266,116	2,521,904	93.66
18	266,961	2,522,674	92.64
19	268,080	2,523,459	52.00
20	268,678	2,524,012	35.52

註：座標採用 TWD67 二度分帶座標系統

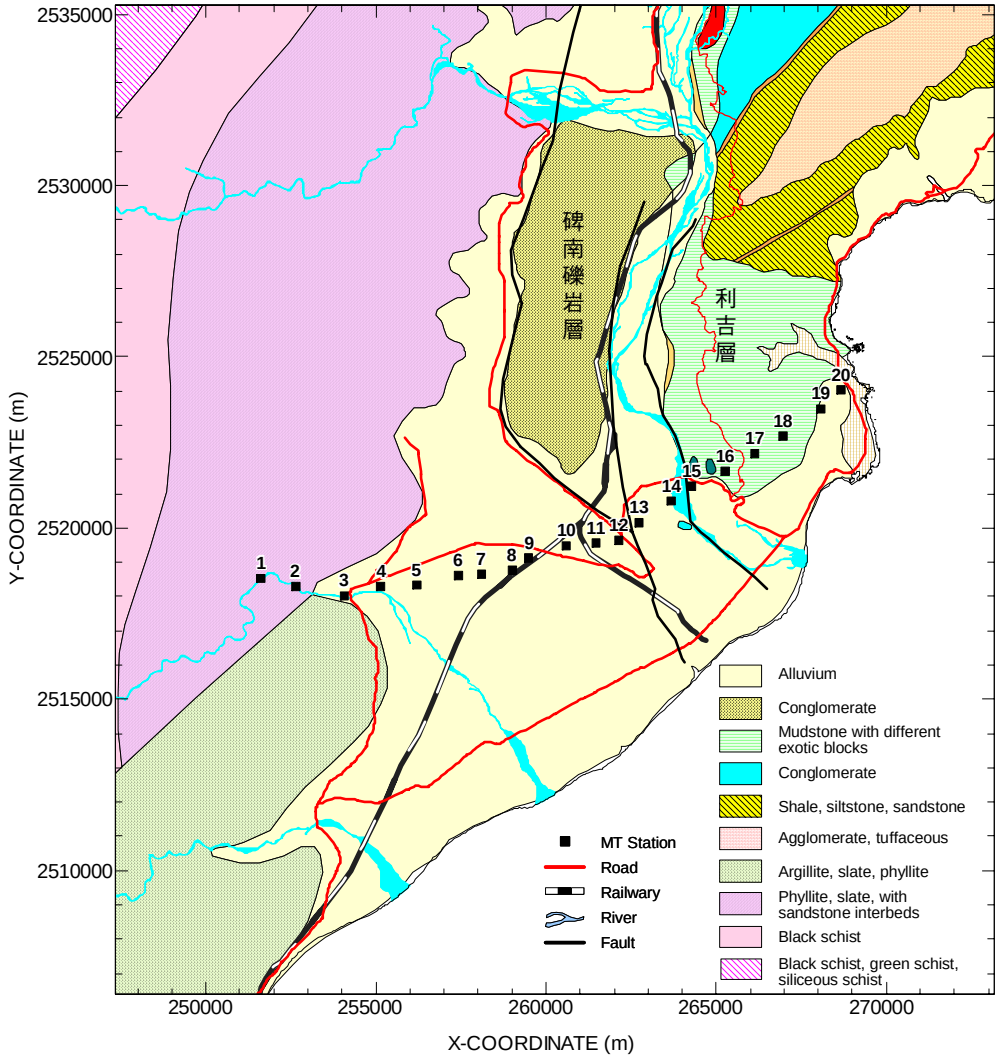


圖 3-45、台東地區大地電磁測點分佈圖

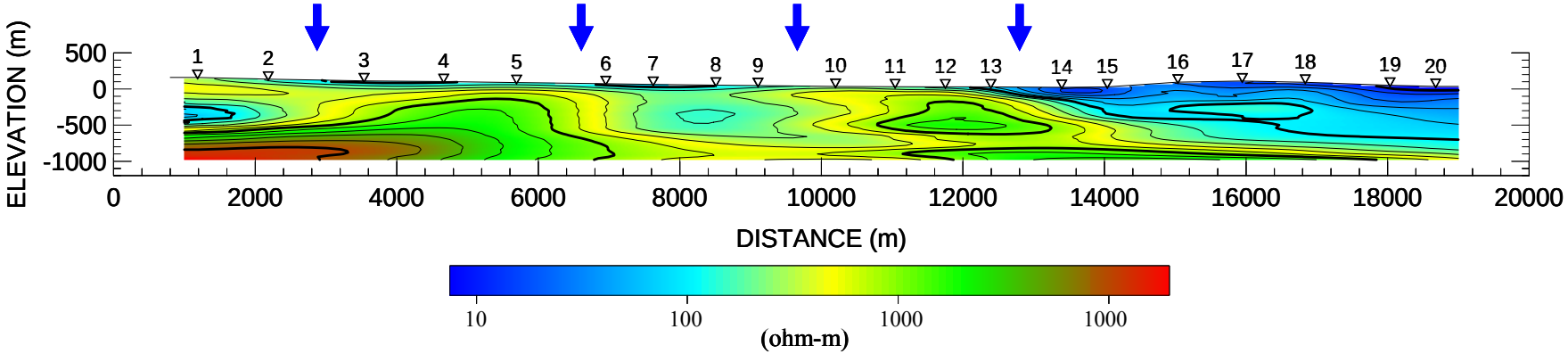


圖 3-46、大地電磁資料經一維逆推所獲得的電阻率剖面圖

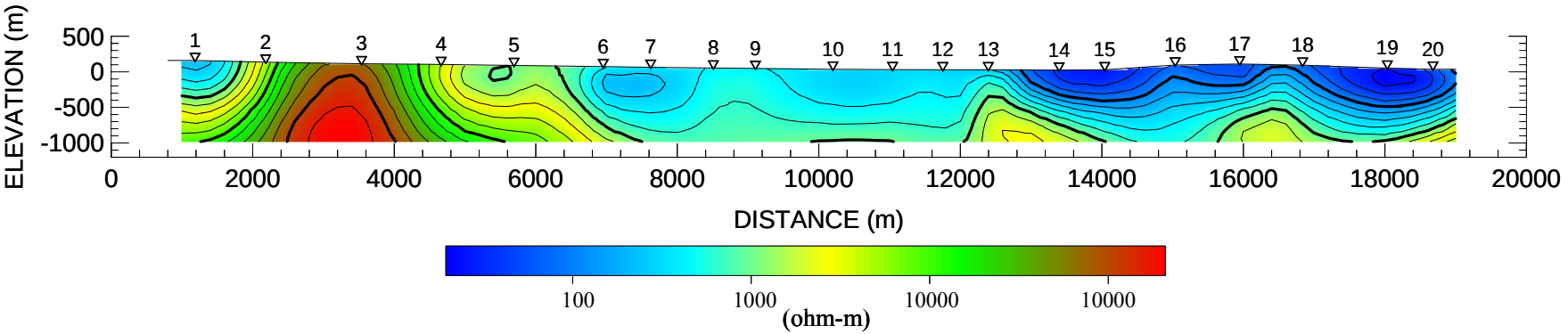


圖 3-47、大地電磁資料經二維逆推所獲得的電阻率剖面圖

3-5-3 測線配置

由於貓山所出露的岩層屬於利吉層，因此本計畫依地調所指示在貓山鄰近地區尋找合適地點進行施測，但是由於該區域農民多種植茗葉，農田四週以鐵網圈圍無法進入，最後乃於貓山西北方約 250 公尺處佈置一條地電阻測線（06E-LCU-TD01），位置分佈如圖 3-48 所示，測線長 500 公尺。但於測線 06E-LCU-TD01 完成資料後發現斷層位置可能更偏向西側，故再於卑南南側大平溪河床北岸佈置一條 06E-LCU-TD02 測線，該測線長度為 630 公尺。各測線座標及相關施測參數如表 3-5 所列。

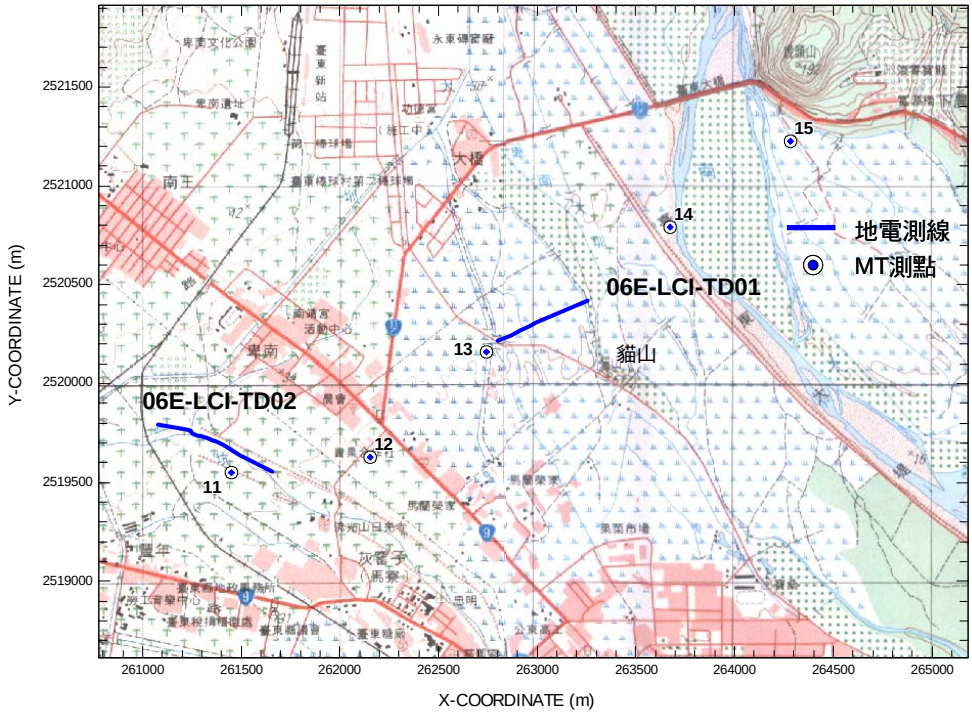


圖 3-48、池上斷層貓山及卑南等地區地電測線位置圖

表 3-7、利吉斷層測區地電阻測線參數一覽表

測線參數	測線代號	
	06E-LCU-TD01	06E-LCU-TD02
起點座標 (m)	(262798, 2520218)	(261080, 2519558)
終點座標 (m)	(263255, 2520421)	(261658, 2519795)
電極配置	Pole-pole Array	Pole-pole Array
測線長度 (m)	500	630
測點間距 (m)	10	10
施測日期	2006/08/31	2006/10/16

註：座標採用 TWD67，二度分帶座標系統。

3-5-4 地電資料解釋

利吉斷層貓山地電測線（06E-LCU-TD01）與利吉斷層卑南地電測線（06E-LCU-TD02）經二維逆推處理後之地電阻影像剖面分別如圖 3-49、圖 3-50 所示，均方根誤差分別為 4.01 Ohm-m 與 3.38 Ohm-m，依據電性地層電阻高低分為二層，分別以 A、B 表示，解釋如下：

一、A 層具顯著低電阻率特徵，平均電阻率約為 10 Ohm-m 上下，應可對應利吉層。

二、B 層具顯著高電阻率特徵，平均電阻率大於 100 Ohm-m 以上，局部區域電阻率可高達約 1000 Ohm-m，推測可對應沖積層。

三、由圖 3-49 顯示測線 06E-LCU-TD01 近地表平均厚約 50 餘公尺之高電阻層外，其下均為低電阻層，因此推測利吉斷層位置應還在測線 06E-LCU-TD01 之西側。

四、圖 3-50 整體而言並未發現如 A 層顯著的低電阻層，因此測線 06E-LCU-TD02 應位於 B 層內，其中 B1 層為 B 層內局部之低電阻帶，可能因局部黏土質含量較高或礫石顆粒較小所致。因此，推測利吉斷層位置應還在測線 06E-LCU-TD02 之東側。

五、由於測線 06E-LCU-TD01、06E-LCU-TD02 均未能跨越利吉斷層，顯示利吉斷層應位於此兩側線中間，則根據大地電磁探測結果（圖 3-46、圖 3-47），推測利吉斷層應位於大地電磁測點 13 附近。

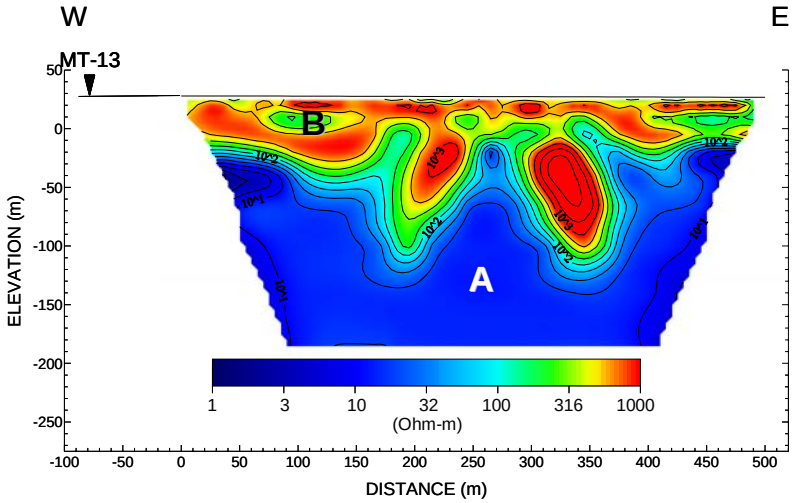


圖 3-49、利吉斷層貓山測線 06E-LCI-TD01 地電阻影像剖面圖

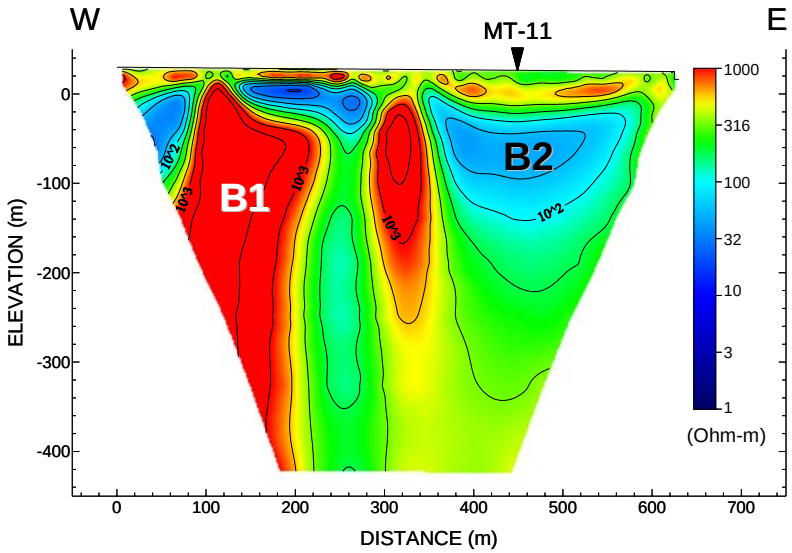


圖 3-50、利吉斷層卑南測線 06E-LCI-TD02 地電阻影像剖面圖

3-6 鹿野斷層

3-6-1 區域地質與地體構造

鹿野斷層位於台東地區，為一呈南北走向轉東南走向之逆移斷層（圖 3-51），另

外，由野外調查與航照叛釋，亦顯示其具有左移方向之運動。斷層範圍由鹿寮向南延伸，經初鹿至檳榔轉向東南延伸，經卑南、台東至東海國中附近，全長約 24 公里。鹿野斷層為卑南山礫岩西側的邊界斷層，向南進入卑南市區後與卑南山礫岩東側的利吉斷層（即卑南山斷層）合而為一。鹿野斷層上盤之卑南山礫岩向西逆衝至中央山脈板岩之上（York, 1976）。斷層的傾角根據不同之調查，分別主張為一高角度逆衝斷層（Chen, 1976）及低角度逆衝斷層（王執明與王乾盈，1991）。根據地質調查所調查（2000），鹿野斷層具有極明顯之線形。斷層北段在上鹿寮溪沖積扇上呈反斜斷層小崖，隆起側伴有背斜狀隆起；中段為斷層線谷；南段鹿野河階群之兩段低位河階形成反斜斷層小崖（石再添，1983）。林啟文等（2004）根據縱谷南側地質調查、地形與地球物理探勘結果，認為鹿野斷層為一高角度斷層，斷層西側為中央山脈地層，地層傾角向東，而斷層東側則為卑南山礫岩層，傾角向西（圖 3-52）。

鹿野斷層通過鹿野高臺西側的馬背谷地，向北延伸至永安沖積扇，在扇階上形成 3~5 公尺高的反斜坡；往南經龍田階面，階面上形成高 10 公尺的斷層崖。卑南山台地西側被抬升 100 公尺以上，斷層東側紅土面呈現背斜構造。檳榔村附近斷層崖轉為北北西向，檳榔村以南斷層崖地形消失，而以向西南傾斜 15° 的紅土面直接與現生沖積層接觸。鹿野高臺到檳榔村之間跨過鹿野斷層 GPS 水平位移變化量 10~14mm/yr。永安沖積扇北端 GPS 水平位移變化量與地形特徵都不明顯，鹿野斷層應於永安沖積扇向北尖滅；斷層往南未留下地形特徵，推測斷層應順著地形轉為北北西走向，之後往南逐漸停止活動（紀權宥等，2006）。

在斷層的活動性上，目前中央地質調查所將之歸類為第二類活動斷層，根據台東地區的水平三角網量測結果（Yu and Lee, 1986），鹿野地區向東移動，顯示鹿野斷層可能以逆移作用為主。此外，1951 年縱谷地震亦對此區造成相當程度的破壞，其震央即位於鹿野斷層北段龍田之西南方約 1 公里左右，顯示此斷層應為十分活躍之斷層。

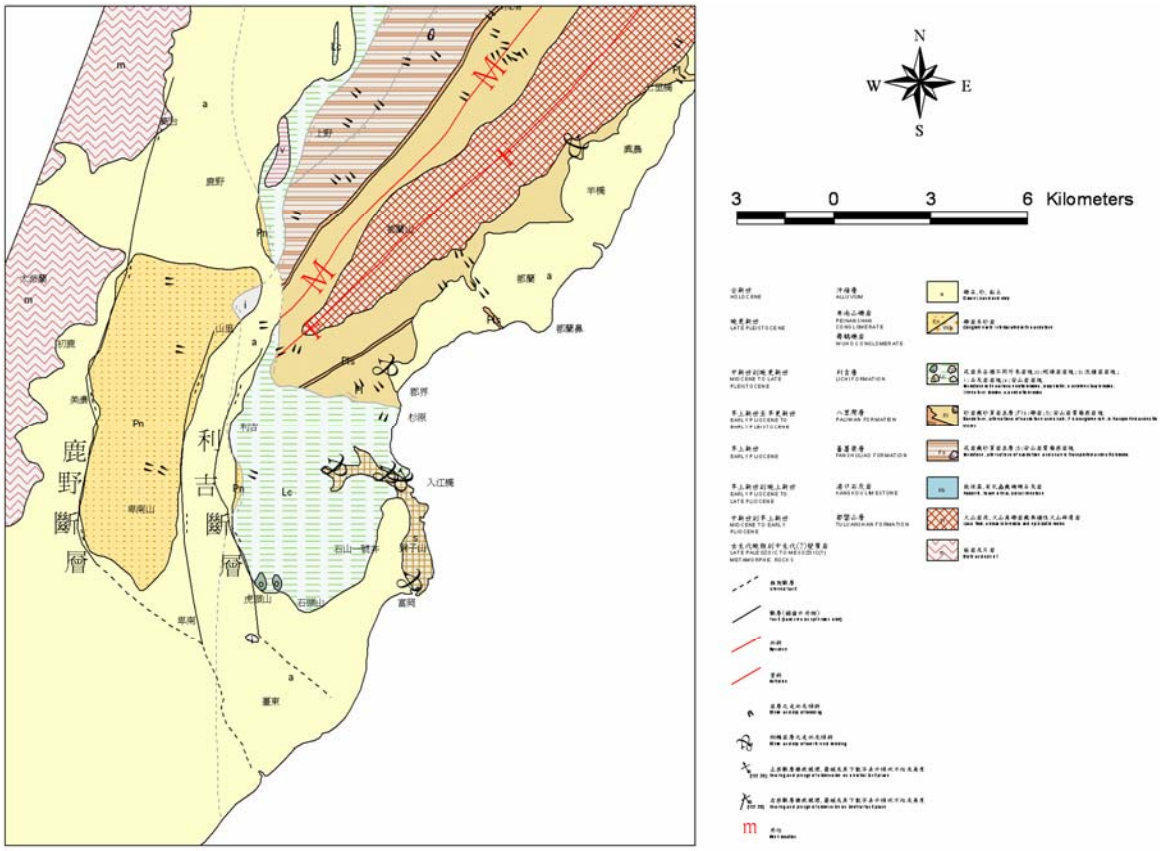


圖 3-51、鹿野斷層及利吉斷層附近地表地質圖

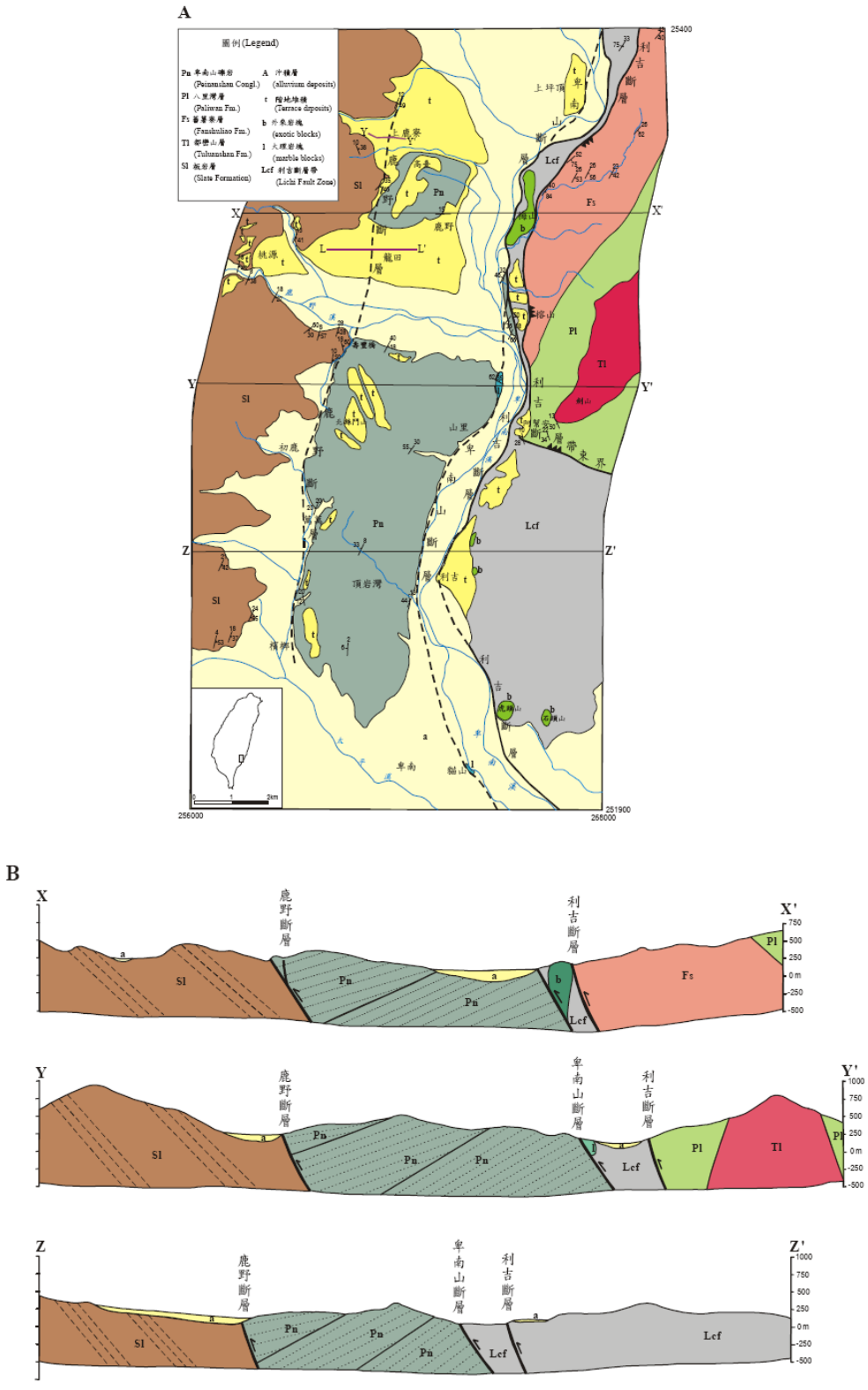


圖 3-52、台東縱谷南段地質圖
（摘自：林啟文等，2004）

3-6-2 測線配置

檳榔斷層（鹿野斷層一支）位於檳榔村西方，走向南北東側有背斜狀隆起，在太平溪與舊斑鳩溪沖積扇上呈反斜斷層小崖（活動斷層概論 1998）。本年度鹿野斷層調查計畫，震測線規劃以縱谷南段檳榔地區為調查目標。根據地調所表示可能為斷層活動之地形線型，故本計畫於該地區佈置反射震測測線圖 3-53 所示。測線 06P-LYH-BL01 長度達 1500 公尺，自西側中央山脈山腳向東延伸至太平溪，然而在進行現場炸測作業時，該測線東側因種植蘭花之農舍，24 小時啟動大型馬達造成震動干擾施測，導致該部份訊號品質不良。因此，乃於測線 06P-LYH-BL01 南側約 150 公尺處，另補一條測線 06P-LYH-BL02，長度為 700 公尺，各測線座標及相關施測參數分別如表 3-8 所列。

此外，依據大地電磁探測結果（圖 3-46、圖 3-47），大地電磁測點 6 至測點 7 間，地層電阻率具有側向差異，由重力異常圖研判懷疑為鹿野斷層向南的延伸，因此本計畫乃於該地區配置一條地電阻測線（06E-LYH-TD01），位置分佈如圖 3-54 所示，測線長度為 1100 公尺。

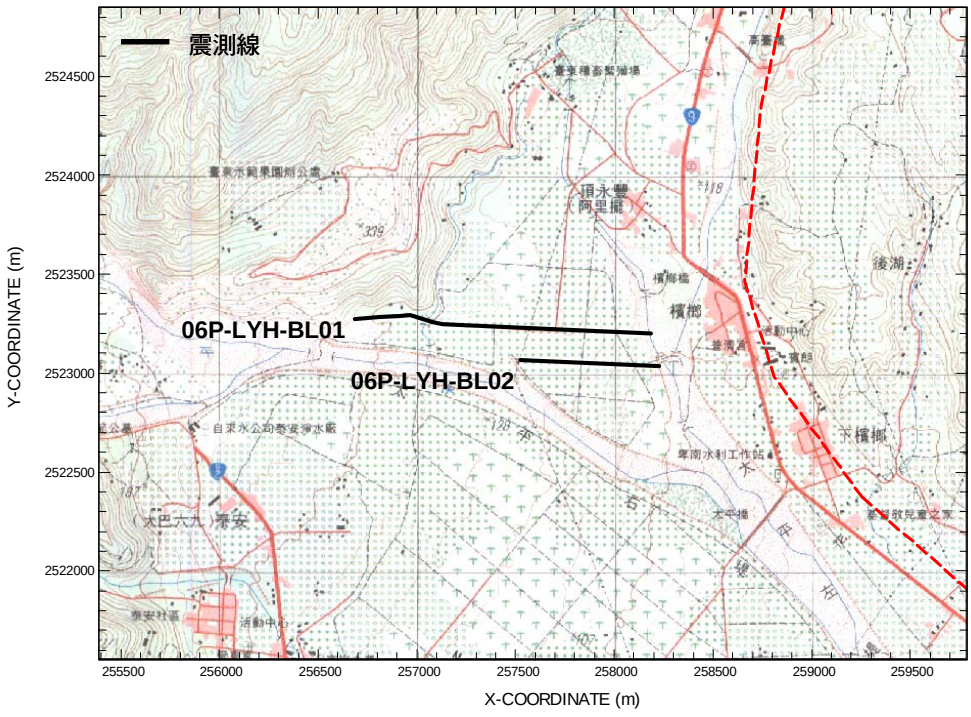


圖 3-53、鹿野斷層檳榔地區震測測線位置圖

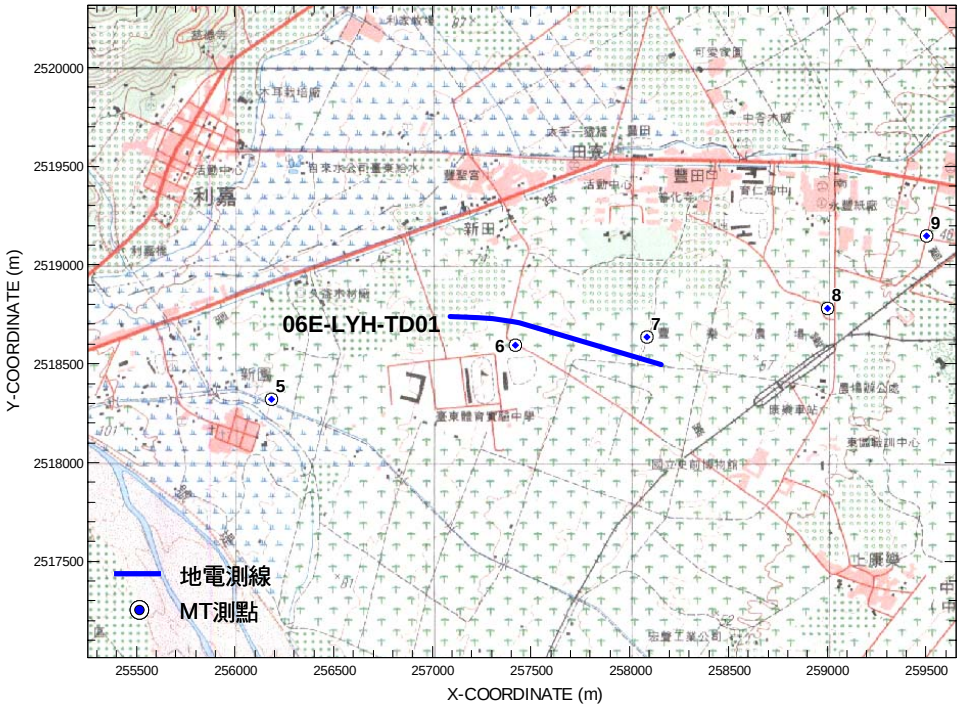


圖 3-54、鹿野斷層田寮地區地電測線位置圖

表 3-8、鹿野斷層檳榔地區反射震測測線參數一覽表

測線參數	測線代號	
	06P-LYH-BL01	06P-LYH-BL02
起點座標 (m)	(258153,2523123)	(258225, 2522943)
終點座標 (m)	(256683, 2523275)	(257533, 2523031)
測線長度	1500 公尺	700 公尺
測站間距	2 公尺	2 公尺
重 合 數	24 重合	24 重合
疊 加 數	12-16	12-16
取樣間隔	0.125 ms	0.125 ms
紀錄時間	1024 ms	1024 ms
施測日期	2006/09	2006/09

註：座標採用 TWD67，二度分帶座標系統。

表 3-9、鹿野斷層田寮地區地電阻測線參數一覽表

測線參數	測線代號
	06E-LYH-TD01
起點座標 (m)	(257091, 2518495)
終點座標 (m)	(258160, 2518737)
電極配置	Pole-pole Array
測線長度 (m)	1100
測點間距 (m)	10
施測日期	2006/08/29

註：座標採用 TWD67，二度分帶座標系統。

3-6-3 震測資料解釋

圖 3-55 為鹿野斷層檳榔震測線（06P-LYH-BL01）炸測紀錄，經速度分析獲得之地層速度如表 3-10 所示。測線 06P-LYH-BL01 與 06P-LYH-BL02，原始震測剖面分別如圖 3-56 及圖 3-57 所示。本地區由於地質狀況主要為礫石及砂礫的沖積扇河相堆積，層序較不明顯，同時地表地層表面波速度相當高，遮蓋許多微弱的地層信號，在地質狀況限制下，較深的部份無法解析。兩測線影像透過同中點對應疊合成較佳影像（圖 3-58），以便進行構造解釋及較細部的構造描繪（圖 3-59）。

根據中央大學委託中油在卑南山南側跨越縱谷進行的卑南震測剖面（王執明與王乾盈，1991；圖 3-60），雖然該震測剖面所顯現的層面並不明顯，但由該震測影像仍可判識出花東縱谷為一夾在海岸山脈地質區與中央山脈地質區之間沉積盆地（圖 3-61），由該剖面之速度分析結果發現在縱谷下有一速度界面，兩側地層速度差異非常大，此界面應為菲律賓板塊碰撞入中央山脈的界線，即縱谷斷層，海岸山脈一直向西北進行擠壓，同時西側中央山脈及受擠壓抬昇之海岸山脈，一直由兩側向中間相對低陷的狹長盆地進行堆積，而大地應力擠壓及河流發育其上的同時作用，發育許多河流沖積及崩瀉等沉積相於縱谷區，同時也受到大地應力的作用，因此較年輕的地層產生許多斷層及地形上的構造特徵（如卑南礫岩之初鹿台地、鹿野斷層及其分支）。檳榔斷層亦為其中分支斷層之一。本測區附近除地表後期堆積地層外，下部地層為向東傾。

由檳榔地區測線觀察整個地層型態與「卑南山剖面」大致類似，較深部地層仍以向東傾斜為主，淺部有一凹陷之不整合面，在其上堆積近水平地層，可能為侵蝕後再堆積之構造，再堆積之水平地層東側有些許被抬昇拱起的現象，仍受到應力擠壓形變，與地表地形表現相當一致，在測線附近仍可觀察到地表起伏的地形。當地因構造活動仍十分活躍，地表除了變形外，劇烈的地震活動亦會造成地表錯動形成斷層。在檳榔地區所觀察到之構造現象應屬此類地表變形或破裂，此現象可由剖面 06P-LYH-BL01 與 06P-LYH-BL02 震測剖面（圖 3-59）觀察。但由震測剖面觀察並未發現大規模之斷層構造出現。綜合過去調查成果及地質資料研判（圖 3-61、圖 3-52），研判鹿野斷層應在測線東側檳榔村與初鹿台地之區間，依地形觀察可能位於卑南山礫岩台地西側地形界線。同時林啟文（2004）針對台東縱谷南段活動斷層特性研究所描繪之地質模式及該地區跨越檳榔與台地間之 GPS 水平位移變化量（10~14mm/yr）推估(紀權宥等，2006)，鹿野斷層應位於初鹿台地西緣。

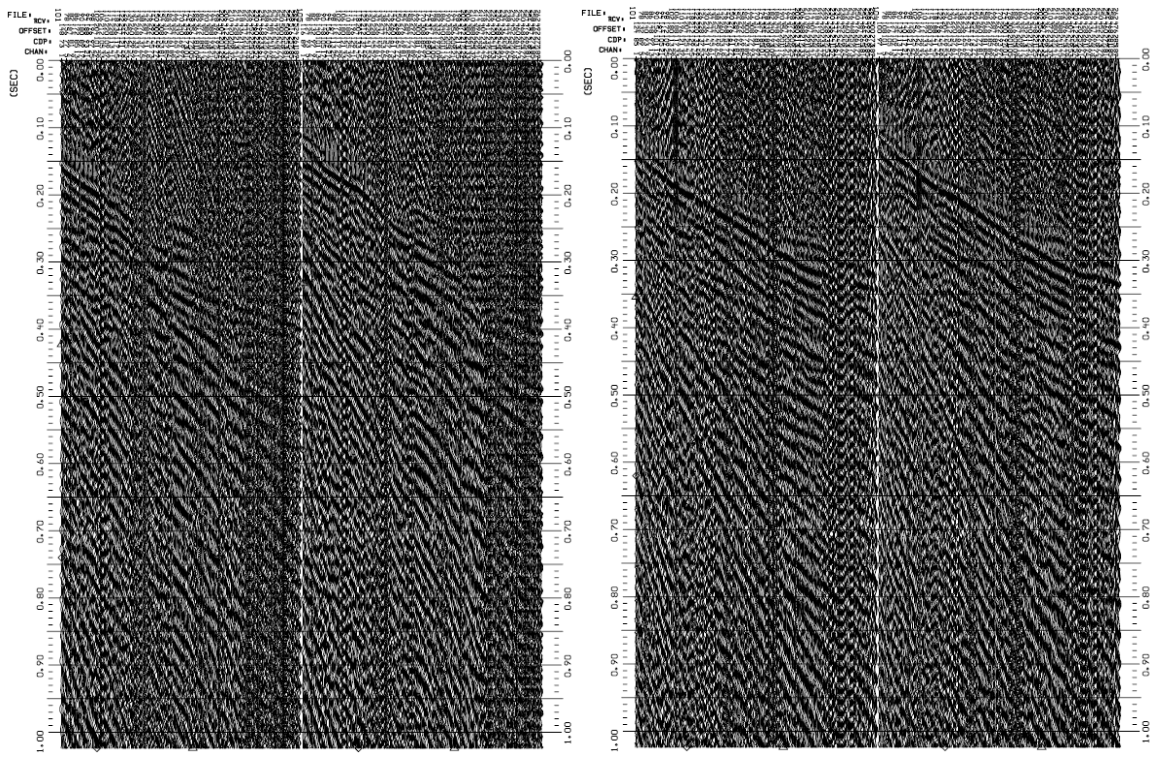


圖 3-55、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01 及 06P-LYH-BL02 炸測紀錄

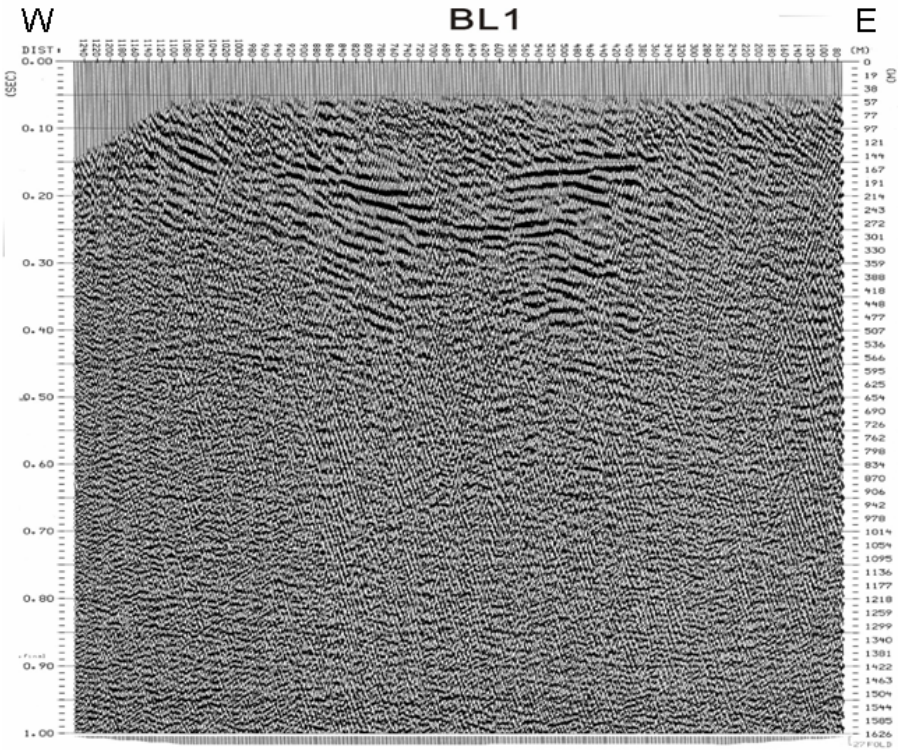


圖 3-56、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01 原始震測剖面

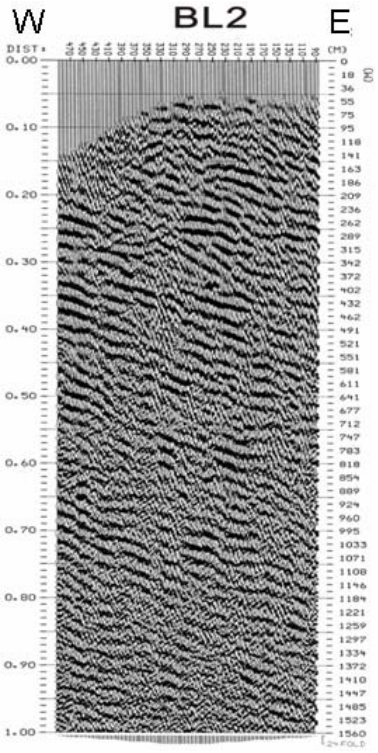


圖 3-57、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL02 原始震測剖面

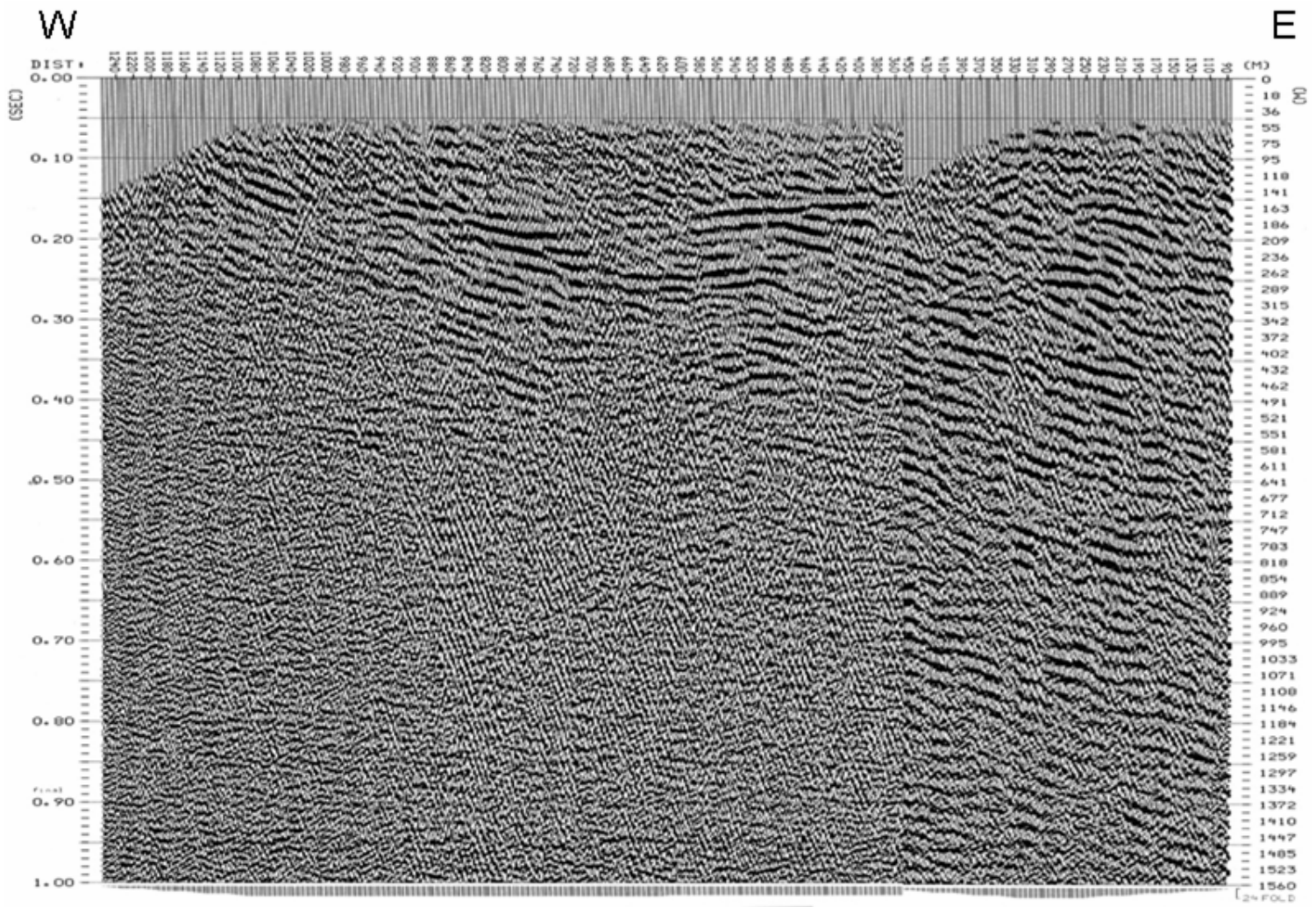


圖 3-58、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01、06P-LYH-BL02 合併震測剖面

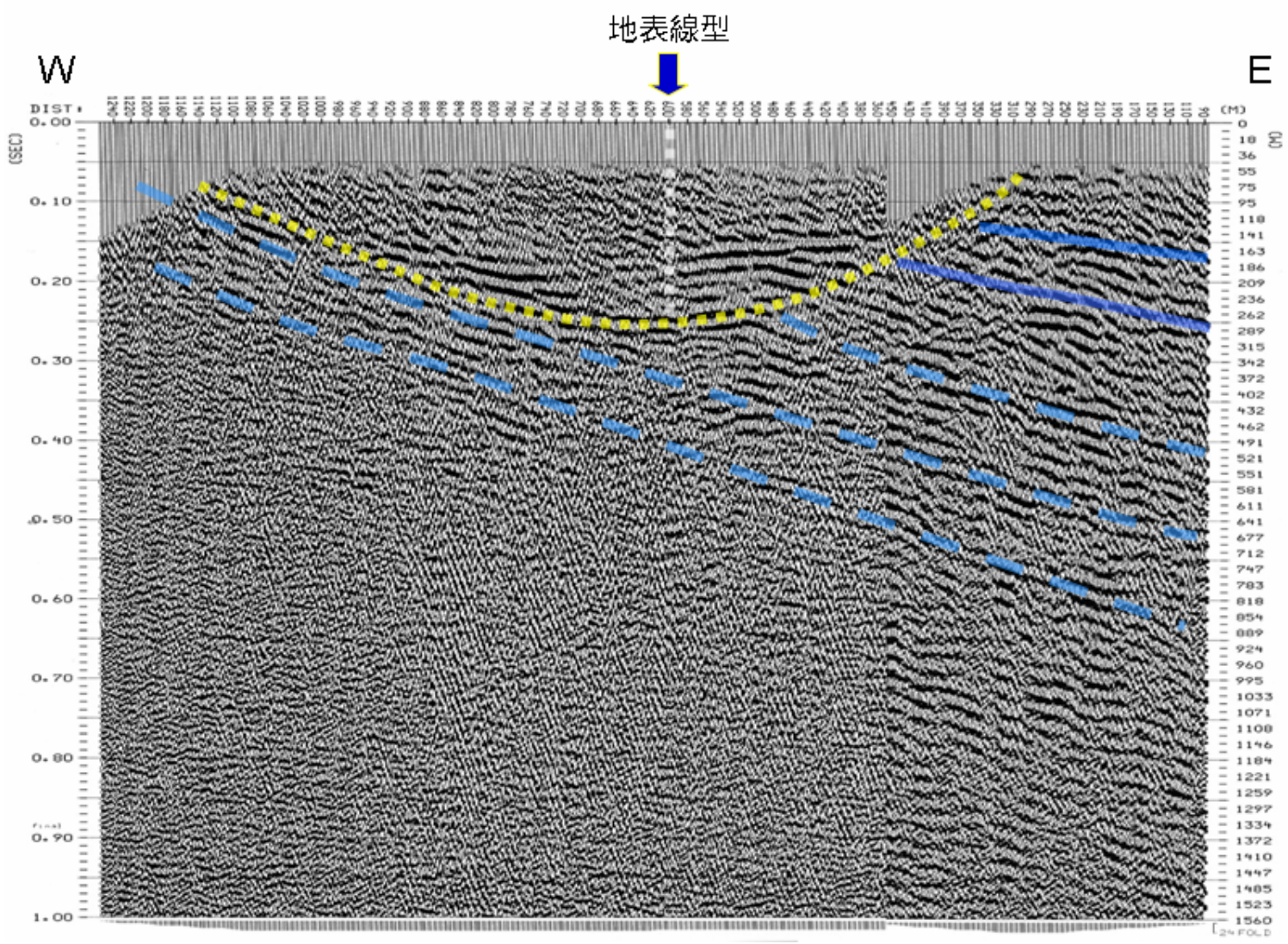


圖 3-59、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01、06P-LYH-BL02 合併震測剖面解釋圖

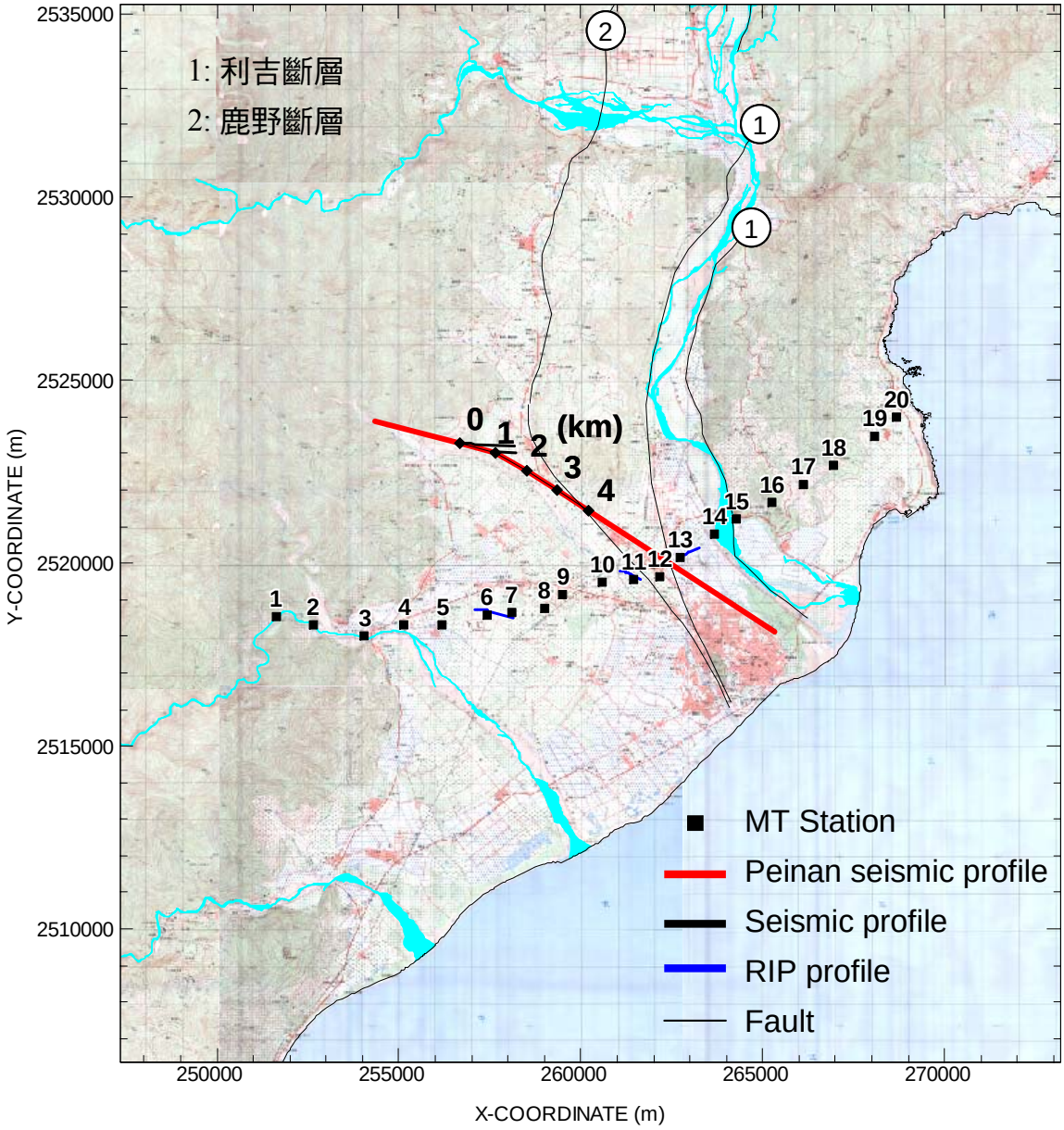


圖 3-60、台東地區卑南山震測線位置圖

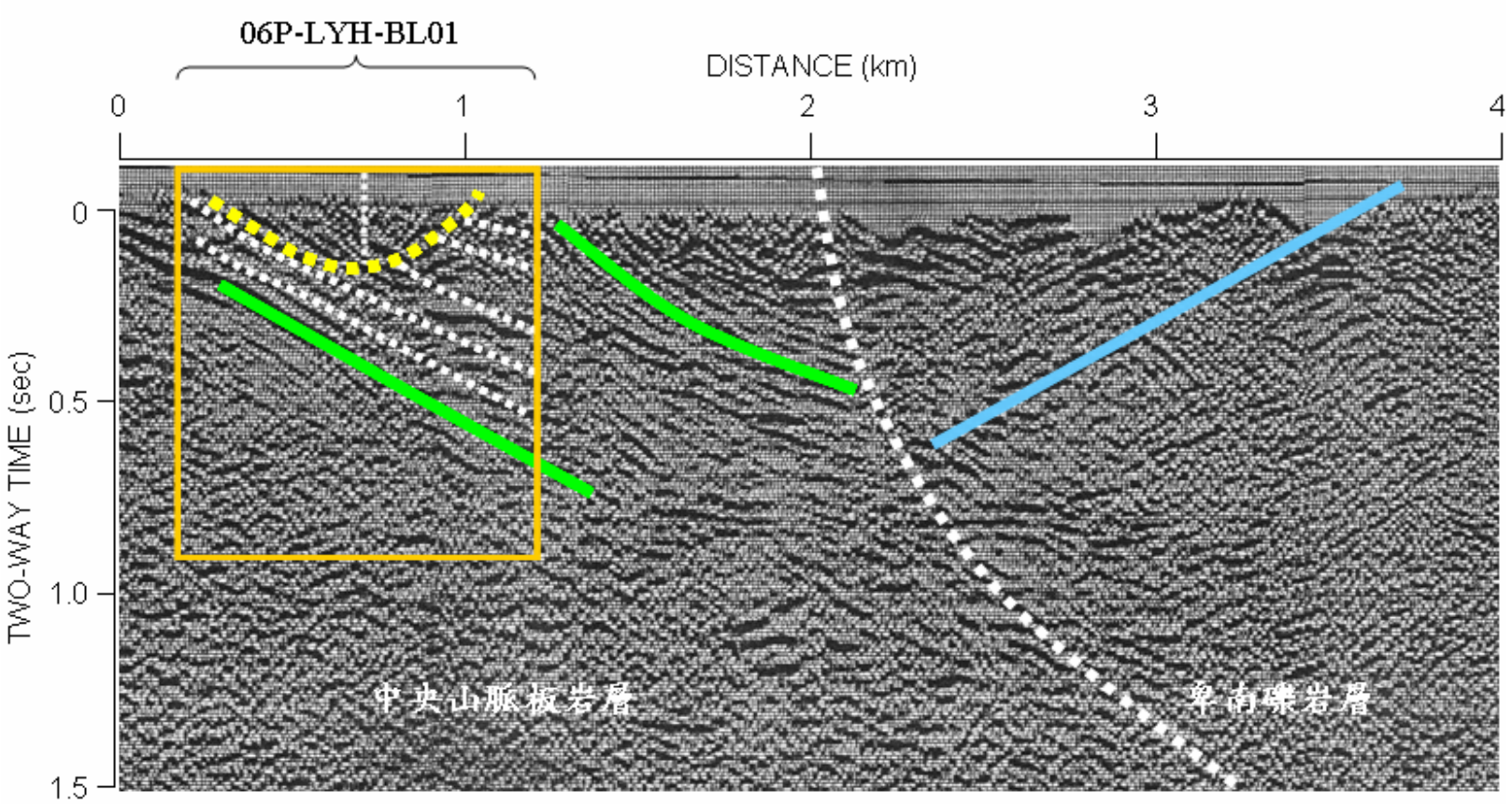


圖 3-61、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01 與鹿野縱谷大尺度震測影像套疊解釋

表 3-10、鹿野斷層檳榔測線 06P-LYH-BL01 震波速度一覽表

	測線編號 CDP# (m)	06P-LYH-BL01		
		100	260	400
走時範圍 (ms)	0-50	1800	1900	1850
	50-100	1995	2095	1949
	100-200	2283	2383	2283
	200-300	2655	3012	2783
	300-500	2994	2975	2935
	500-700	3540	3643	3540
	700-1000	3768	4135	4031

P 波速度單位：m/s

3-6-4 地電資料解釋

鹿野斷層田寮測線（06E-LYH-TD01）經二維逆推處理後之地電阻影像剖面分別如圖 3-62 所示，均方根誤差為 10.26 Ohm-m；依據電性地層電阻高低分為四層，分別以 A、B、C、D 表示，解釋如下：

一、A 層電阻率相當均勻，平均約 300 Ohm-m。

二、B 層具顯著高電阻特徵，平均電阻率約在 1000 Ohm-m 以上，由於本測線西緣距離西側中央山脈山腳僅 1.5 公里，故推測本層對應中央山脈岩層。

三、C 層電阻率約 800 Omh-m 上下，分佈於近地表處，推測對應為沖積層，厚度約 50 至 100 公尺不等。

四、D 層具異常之低電阻率，且呈現垂直的帶狀分佈，由於本測線西側距離約 120-320 公尺間，由種植芼葉的農田旁通過，因受農地四週接地且相互串連的鐵絲網干擾，造成該區塊量測之阻抗顯著降低，由本測線電壓降曲線亦可觀察到該異常變化，如圖 3-63 白色範圍及箭頭所指處。因此，本層在解釋時不予考慮。

五、A 層與 B 層的接觸位置如圖 3-62 白色虛線所示位置，綜合大地電磁探測結果（（圖 3-46、圖 3-47）與重力異常線型分佈（圖 3-7），推測前述接觸位置有可能為鹿野斷層向南的延伸。

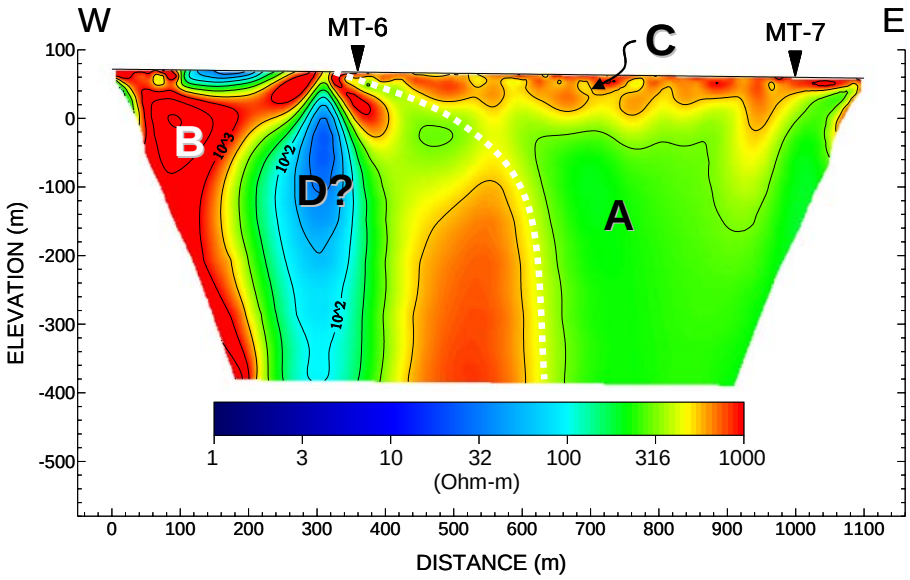


圖 3-62、鹿野斷層田寮測線 06E-LYH-TD01 地電阻影像剖面圖

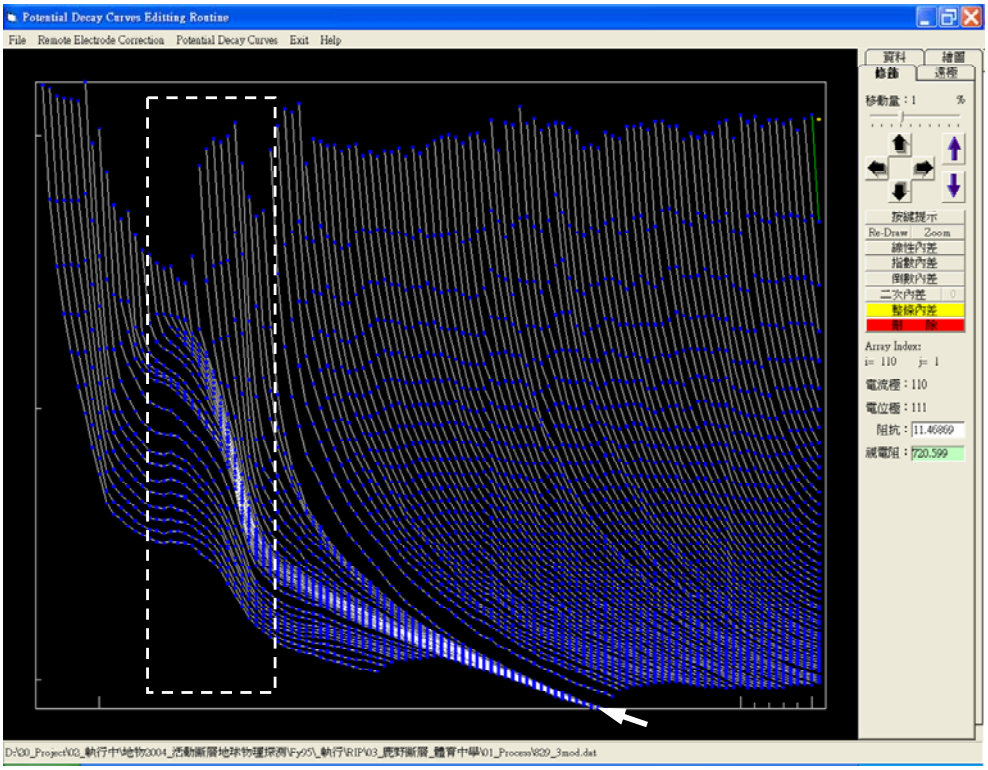


圖 3-63、鹿野斷層田寮測線 06E-LYH-TD01 電壓降曲線圖

3-6-5 鹿野斷層與地震震央關係

2006 年 4 月 1 日在台東地區發生 2 個規模 6 以上地震序列，第 1 個（4 月 1 日，規模 6.4）地震震央在卑南與台東市之間，震動較大，台東市有 6 級的震度，造成 37 人受傷及台東市區部分建物受損；相隔約半個月，又發生第 2 個地震（4 月 16 日，規模 6.2），此地震因震央在台東近海，震撼雖大，幸未造成災害。2 個地震皆帶出一些餘震活動，約 7 天左右即回復正常。

中央氣象局地震測報中心即時地震觀測網 95 年 04 月份於台東地區共監測到 1386 個地震，圖 3-64 所示為地震震央分佈套疊重力異常圖，顯示震央主要集中在鹿野一帶，由震央分佈推測本次地震可能與鹿野斷層活動有關，而由震央向南主要分布在中央山脈山腳一帶，配合重力圖上鹿野斷層向南延伸的線型分布，則鹿野斷層有可能在檳榔以南以向西南方向延伸（圖 3-64）。

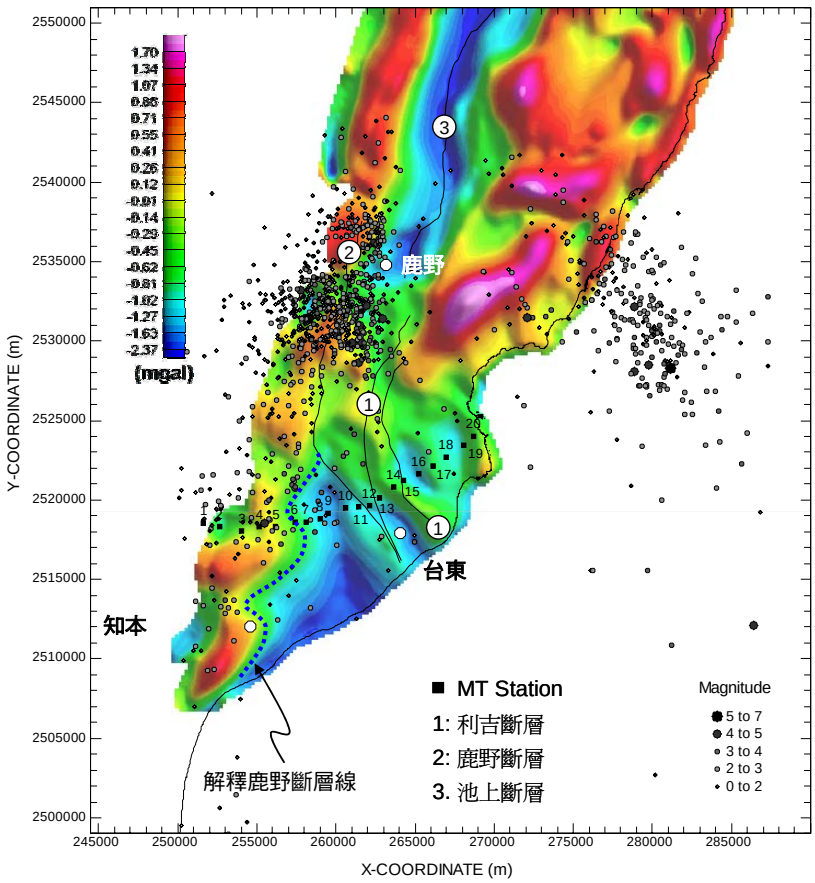


圖 3-64、台東地區重力異常圖與 95 年 4 月份台東地震震央分佈圖

3-7 恆春斷層

3-7-1 區域地質與地體架構

恆春半島的主體為中央山脈南延部分，為呂宋島弧與歐亞大陸板塊相碰撞的產物。蓬萊運動於數百萬年前開始，所形成的增積岩體逐漸擴大，並向南發展，目前已達恆春半島以南。恆春半島恰位於此增積岩體剛露出水面的位置，大地構造上屬於一個正在活動隆起的褶皺造山帶。恆春半島地區被屏東谷地東緣潮州斷層南延的恆春斷層一分為二，東側為中央山脈南延之山區，西側則為一整套中期更新世以後的地層，覆於早期更新世的基盤之上，恆春地區隆起珊瑚及海相地層出露極廣，足見更新世以來，恆春地區的構造運動一直十分活躍。恆春斷層為本區最主要的新構造線，其界線兩側的新構造特性不同。單以地形特徵觀之，潮州斷層以西為平坦之平原或深海，而恆春斷層以西卻是一向東傾斜的台地，此地形上的差異，是否意味著潮州斷層延至恆春發生了構造特性上的轉變？抑或是恆春斷層並非潮州斷層的南延，而僅是其一分支而已，值得深入探討。此外，根據許中民(1986)的研究，認為潮州斷層近期來的活動性已降低，而潮州斷層南延的恆春斷層周邊近期的活動性似乎仍高，故沿恆春斷層活動性之差異，應值得進一步去探討。

恆春斷層於恆春西台地與其東丘陵之間的河谷平原之上，它可能是在它北方屏東平原東緣的潮州斷層向南延伸的部分。因第四紀地層覆蓋無法直接觀察，恆春斷層可能為向東作高角度傾斜之逆斷層。此斷層可能在紅土礫石層沈積後尚繼續活動，使恆春西台地向東作傾動作用。恆春半島的主要構造運動應發生於墾丁層沈積同時或之後，也就是更新世，與蓬萊運動時代相當。在主要造山運動期之後，恆春半島逐漸淺化，沈積了恆春石灰岩。隨即在恆春半島發生最新期的地殼運動，恆春半島緩慢上升發生傾動、褶曲和斷層現象，而恆春斷層也在這期運動中活動過。恆春半島晚更新世以來海相沈積層分佈廣泛，有豐富的全新世隆起珊瑚礁可供定年，故有利於對此碰撞造山帶新構造運動的研究。Konish 等人於 1986 年針對恆春地區之珊瑚礁進行了碳十四法及鈾系法的定年研究，得到恆春地區的上升速率約 1.8 至 4.8mm/yr；彭宗宏等人於 1977 年分析了數個碳十四年代，迴歸出恆春區全新世之上升速率約為 5.3mm/yr；林久芳於 1989 年發表了 9 個碳十四年代，以及近 30 個鈾系定年的結果；同時石再添等人也在恆春半島最南端的龍坑地區完成數個碳十四年代的分析，得知此處的最小上

升速率為 2.9 mm/yr。陳于高於 1993 年綜合前人及其本身所分析的 22 個碳十四定年資料，發表恆春半島各地區之絕對上升速率，認為恆春斷層以東地區全新世後期的上升速率，有北高南低的趨勢；而恆春斷層以西地區則顯示全新世後期仍在抬升，且台地的西邊東邊都在抬升，亦即並非以西升東降的型式運動，而以整體抬升的方式運動。根據恆春地區向西逆衝的構造環境判斷，西台地很可能因逆衝斷層在其下發育，而以向西向上的方式運動。

由以上資料顯示恆春斷層的活動性很高，根據工研院 2001 年在恆春地區所進行震測調查（李，2001），成果顯示恆春斷層切過更新世地層並造成傾動。而恆春斷層雖位置離人口稠密區較遠，但我國之核三廠離斷層距離相當近，因此恆春斷層活動性及構造型態規模值得進一步探究。

3-7-2 測線配置

恆春斷層在經過南灣附近切入災害敏感度相當高之核三廠附近，近年之研究發現更新世以來之沉積地層有構造變形或錯動現象，因此相當值得探究及釐清。恆春斷層依過去地質調查及鑽探的經驗，地表常覆蓋非常厚之泥質沖積層，因此在恆春所佈置之測線以反射震測為主。本所曾於龍鑾潭東側進行約三公里之長跨距震測調查，顯示恆春斷層為一系列之斷層所組成之斷層帶，並切過第四紀石灰岩地層。過去恆春斷層研究大部分集中於恆春地區，本計畫於車城西北方，沿產業道路佈置一條反射震測測線 06P-HCN-CC01，跨越斷層東側之上盤及進入平原之下盤位置（圖 3-65），測線長度預計為 1100 公尺。

表 3-11、恆春斷層車城地區反射震測測線參數一覽表

測線參數	測線代號
	06P-HCN-CC01
起點座標 (m)	(219831, 2442169)
終點座標 (m)	(221018, 2442852)
測線長度	1400 公尺
測站間距	2 公尺
重 合 數	24 重合
疊 加 數	12-16
取樣間隔	0.125 ms
紀錄時間	1024 ms
施測日期	2006/08

註：座標採用 TWD67，二度分帶座標系統。

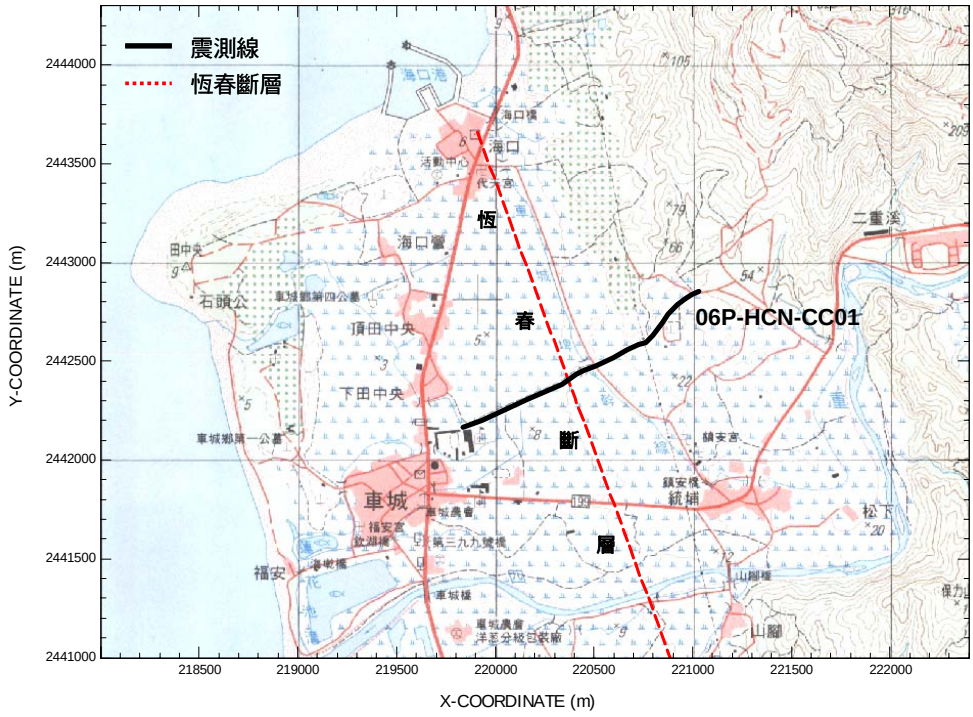


圖 3-65、恆春斷層震測測線 06P-HCN-CC01 位置圖

3-7-3 震測資料解釋

一般認為為中新世的恆春層（墾丁層）與更新世或上新-更新世地層以恆春斷層接觸，斷層上盤為墾丁層受階地堆積或現代沖積層所覆蓋，下盤應為更新世以後之地層，同樣受現代沖積層掩蓋。地下地層主要為階地堆積或現代沖積層覆蓋在層序不明顯之為石灰岩、礫石層、泥岩層與泥岩夾外來岩塊之地層，同時沉積相側向變化十分大，震測較難解析。圖 3-66 為工研院於 2001 年在恆春南測跨馬鞍山泥岩層測線震測剖面，較深之泥岩及泥夾外來岩塊之地層均難解析，僅地表表部分可辨識出地層構造情況（李奕亨，2001），恆春斷層基本型態為若干高角度之分支斷層所組成，斷層前緣約在屏鵝公路東側與地形面之間。

圖 3-67 為恒春斷層車城震測線（06P-HCN-CC01）炸測紀錄，由於本測區地表表面波速度非常快，炸測紀錄需經細膩之濾波處理程序，才能將地層信號由炸測紀錄中粹取出來。本測線經速度分析所獲得之地層速度如表 3-12 所示。圖 3-68 為恆春斷層測線 06P-HCN-CC01 原始震測剖面，圖 3-69 為經構造解釋之剖面，可觀察出斷層由西向東逆衝，斷層上盤在近地表地層可觀察到受到扭曲，尤其在測線距離 850 公尺處，地層受到變形情況十分明顯，與斷層下盤迥然不同。在測線距離 630 公尺處地形開始抬昇，與地下斷層前緣地層拱起形貌位置對應，此似乎也隱含斷層線位於附近近的信息，過去地質圖所劃定之斷層線位置相當接近地形變化處，由於斷層崖受侵蝕後退之故，斷層線應更向西邊，由震測剖面觀察斷層線由地下向地表延伸之斷層出露位置應向西推移至約測線距離 460 公尺附近（圖 3-70）。

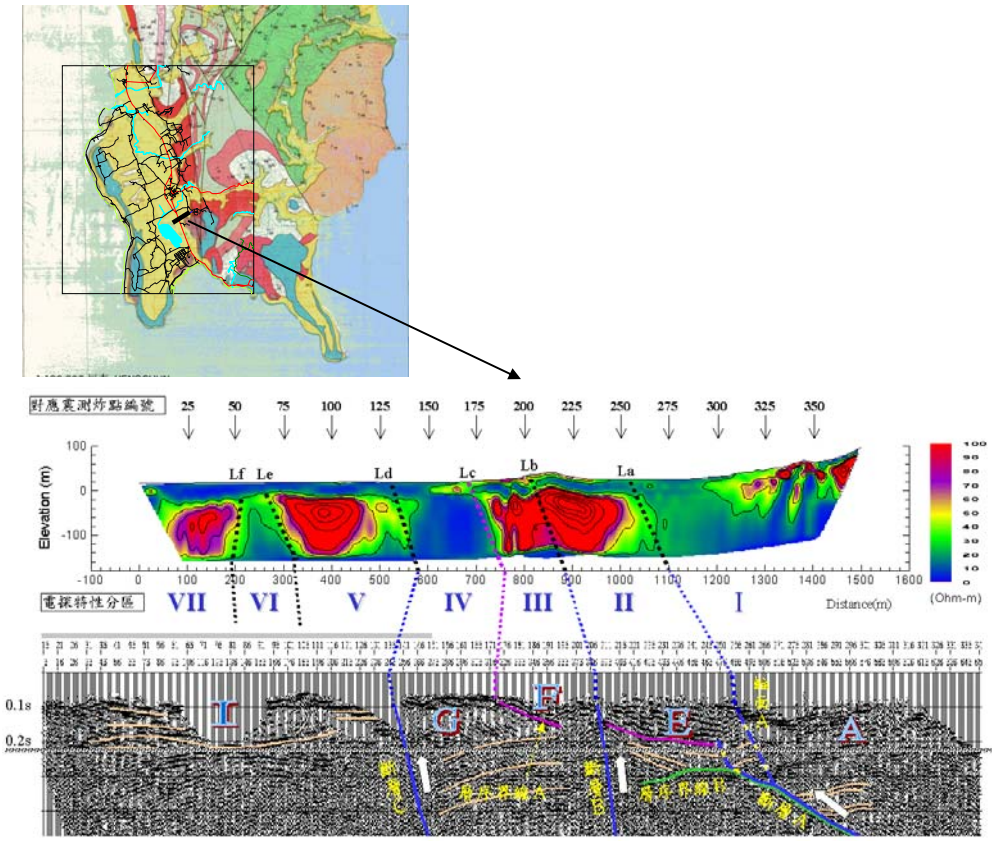


圖 3-66、恆春斷層南段地球物理探測成果

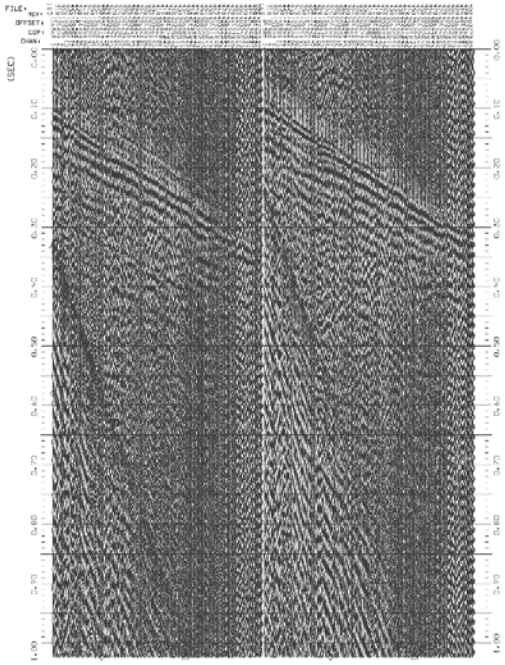


圖 3-67、恆春斷層車城測線 06P-HCN-CC01 炸測紀錄

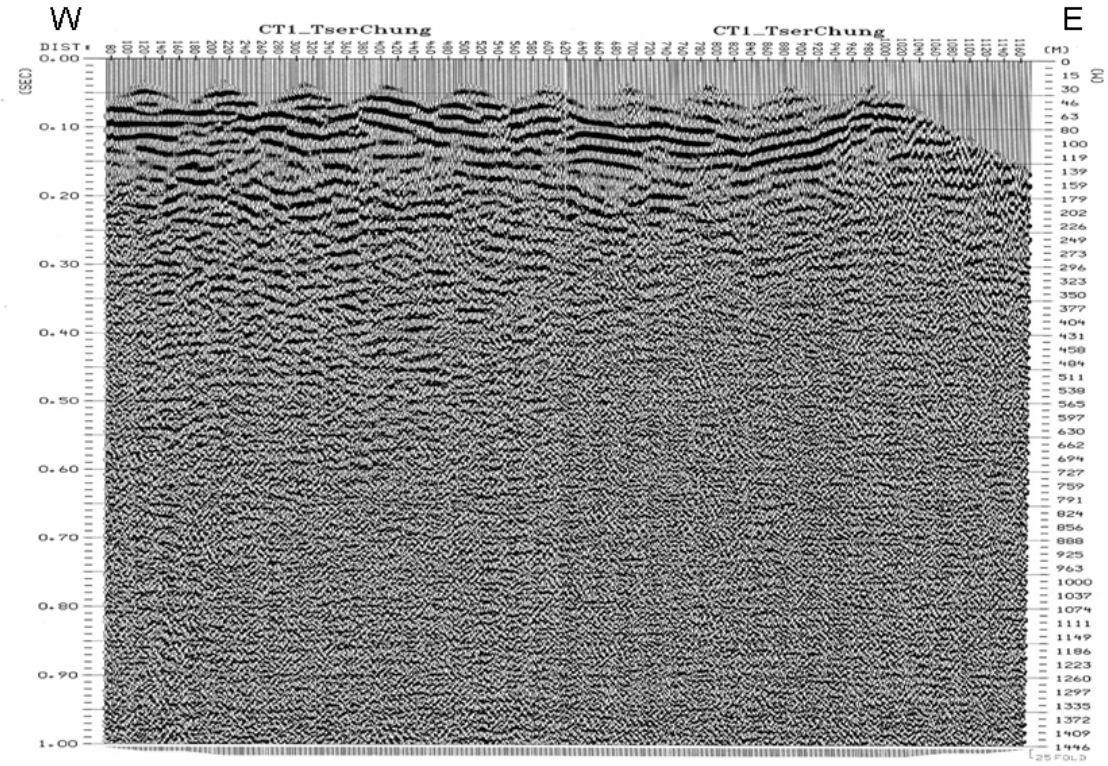


圖 3-68、恆春斷層車城測線 06P-HCN-CC01 原始震測剖面

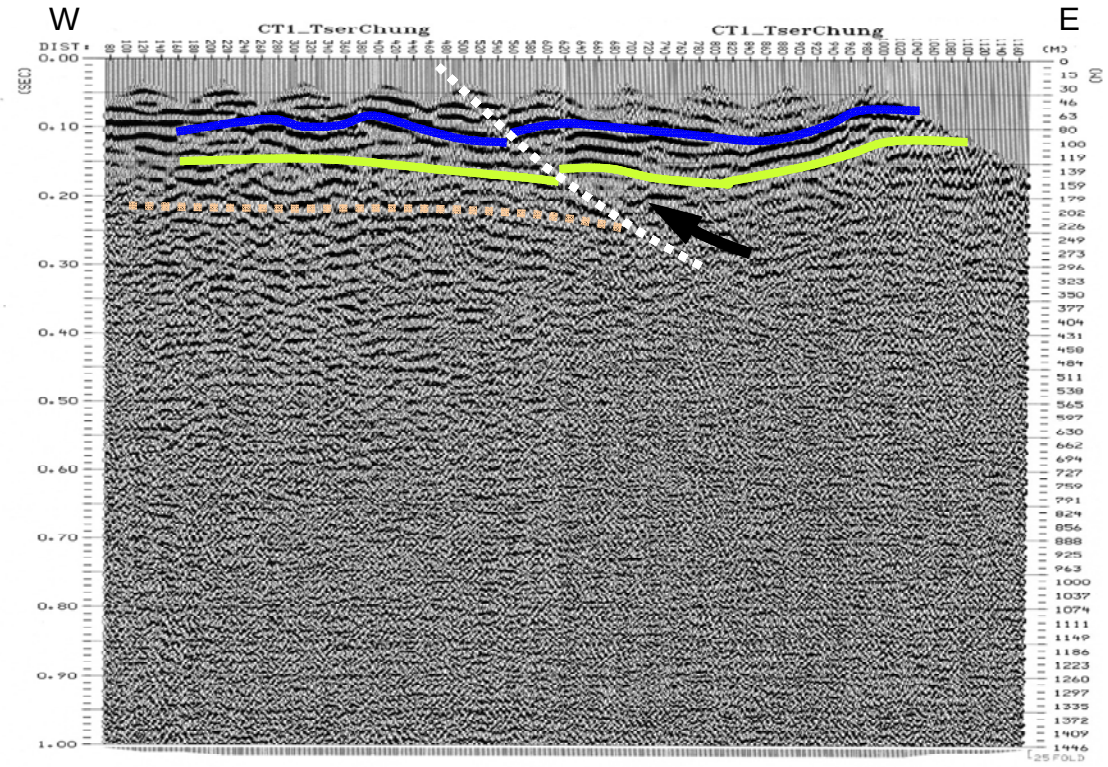


圖 3-69、恆春斷層車城測線 06P-HCN-CC01 震測剖面解釋圖

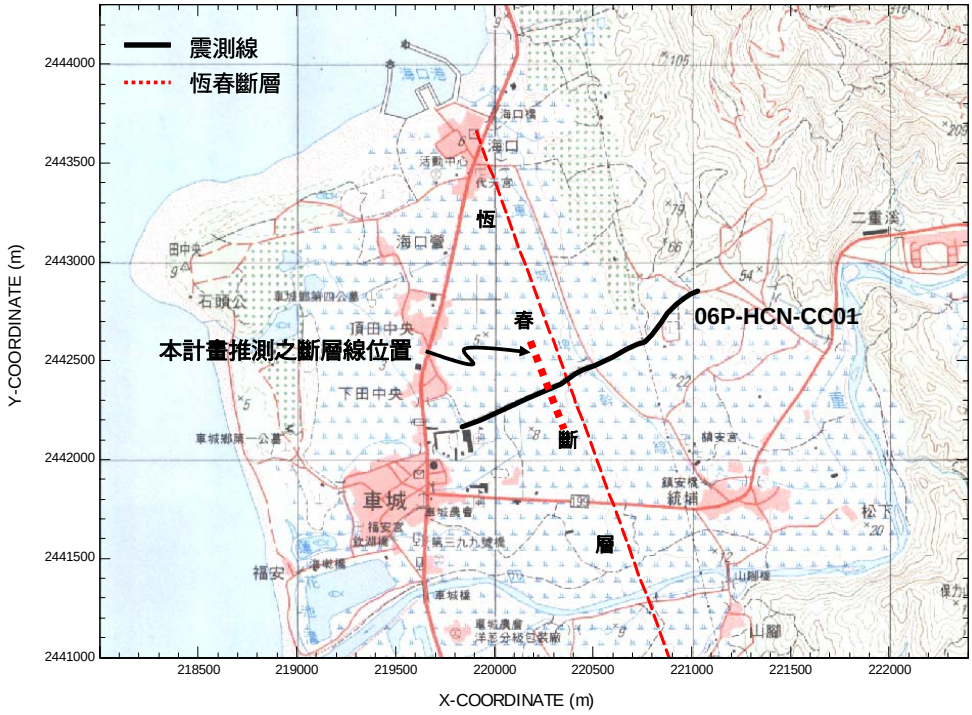


圖 3-70、依據反射震測結果推測恆春斷層位置圖

表 3-12、恆春斷層測線 06P-HCN-CC01 震波速度一覽表

	測線編號	06P-HCN-CC01
	CDP# (m)	100
走時範圍 (ms)	0-50	1500
	50-100	1694
	100-200	1980
	200-300	2349
	300-500	2688
	500-700	3230
	700-1000	3721

P 波速度單位：m/s

第 4 章、地球物理探勘成果英文網頁製作

本計畫整理過去已完成之各斷層之地球物理探測成果，摘要說明調查目的、測線配置與主要調查成果，以供國外民眾瀏覽探勘成果。採取靜態網頁設計，將畫面分割成左、右兩部份，左側畫面條列各已完成調查的斷層名稱，點選欲查詢成果之斷層後，將探測成果呈現在右側畫面。典型斷層之網頁列印請參見附錄 E。

第 5 章、結論與建議

5-1 結論

一、三義斷層

本計畫沿大甲溪北岸佈置 10 個大地電磁測點，整合本區歷年已完成之反射震測與地電阻影像剖面資料，推測本斷層係由主斷層及許多分支斷層形成寬數十至數百公尺之斷層帶，且斷層位置應較地質圖上之斷層線位置向西偏移約 300 至 400 公尺。

二、大甲斷層

本計畫在大安溪南案佈置一條長達 2400 公尺震測線，該震測剖面的品質相當好，根據反射震測探測結果，顯示大甲斷層可能為盲斷層，且具有顯著的背斜型態之斷層彎曲摺皺，斷層由東向西逆衝，斷層面約 45 度。斷層下盤地層平緩，斷層上盤地層因應力而向上彎曲褶皺。

三、鐵砧山斷層

本計畫在大安溪南岸佈置二條地電阻測線，根據地電阻探測結果顯示，在深度約 90 公尺以下，地層電阻率具有顯著的側向變化，與石再添等（1983）所指之大甲東斷層位置一致。

四、池上斷層

在台東縣瑞源村東南側有兩條相互平行的地形線型，推測可能為斷層作用造成的斷層崖，本計畫主要針對此二線型進行探測，共佈置三條地電測線。由地電阻探測結果明顯地指出利吉層與其西側沖積層的接觸位置，其上覆堆積層厚度約 20 公尺上下，搭配重力異常圖之線型特徵，推測本區解釋之斷層應為池上斷層向南的延伸。

五、利吉斷層

因受限於現場地物狀況，使得本計畫所配置的二條地電阻測線均未能跨越斷層線，但綜合地電阻與大地電磁探測結果，推測利吉斷層應位於測點 13 附近。

六、鹿野斷層

綜合本計畫完成的反射震測，與先前中油完成的卑南山震測剖面，研判鹿野斷層

應在本計畫完成之測線東側，檳榔村與初鹿台地之區間，依地形觀察可能位於卑南山礫岩台地西側地形界線。此外，根據台東地區重力異常圖、大地電磁探測及地電阻影像剖面探測結果，推測鹿野斷層向南延伸可能通過台東體育實驗中學東側。

七、恆春斷層

本計畫在車城東方佈置一條反射震測測線，根據反射震測探測結果，顯示斷層位於測線距離 460 公尺附近，較以往地質圖所推定位置約向西推移約 170 公尺，推測因斷層崖受侵蝕後退之故。

5-2 建議

一、本計畫所解釋之斷層位置，係依據地層物性變化判定，因此後續建議選擇重要地區，以鑽探或明溝開挖方式加以驗證。

二、本計畫反射震測採用長剖面方式施測，顯示較能獲得較完整的地下地質資訊，可改善以往短測線因函蓋範圍不夠而導致解釋的不確定。因此，建議將來進行地球物理探測時，測線長度宜適度地加長。

三、由本計畫大地電磁波探測結果，顯示大地電磁波法因具有大深度探測的優點，因此對於提昇對區域構造的瞭解相當有幫助，但是在人口稠密地區，因人為雜訊干擾導致降低訊號品質，本計畫於三義斷層第二次進行探測時，每一測點連續量測 24 小時以上，同時於宜蘭清水地熱佈置一遠參考站，資料品質因而提昇不少，故能獲得相當不錯的成果，因此未來進行大地電磁探測時，應考慮進行長時間記錄以增進資料品質。

四、本計畫在進行利吉斷層探測時，雖然二條剖面都未能跨越斷層，但已縮小了斷層可能的位置，因此建議後續可考慮在其鄰近位置以短測線施測來確認斷層的位置。

第 6 章、參考文獻

Barrier, E. and Chu, H. T., 1984, Field trip guide to the Longitudinal Valley and the Coastal Range in eastern Taiwan: *Field Guidebook, Sino-French Colloquium on Geodynamics of the Eurasian-Philippine Sea Plate Boundary*, p. 27-49.

Berdichevsky, M. N., 1968, Electrical prospecting by the method of magnetotelluric profiling: *Moscow, Nedra Publ. House.*

Bonilla, M.G., 1975, A review of recently active faults in Taiwan. *U.S. Geological Survey Open-File Report*, no.75~41, 58pp.

Brund, V., J.D. Fairhead, C.H. Green, G. Leed, and C. MacKenzie, 2004, New insights into magnetic derivatives for structural mapping: *The Leading Edge*, No. 2, 116-119.

Cagniard, L., 1953, Theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting: *Geophysics*, 18, 605-635.

Chang, Stanley, 1971, Subsurface geologic study of the Taichung Basin, Taiwan: *Petroleum Geology of Taiwan*, No. 8, 21-45.

Cheng, P.H., 1984, A geoelectric resistivity survey in Puli Basin: *Bull. Geophys., NCU*, 26, 107-124.

Chen, W. S., Huang, M. T., and Liu, T. K., 1991, Neotectonic significance of the Chimei fault in the Coastal Range, eastern Taiwan: *Proc. Geo. Soc. China*, vol. 34, no 1, 43-56.

Cogbill, A. H., 1990: Gravity terrain corrections calculated using digital elevation models: *Geophysics*, 55, 102–106.

Davis and Reynolds, 1996, Structure geology of rocks and regions. p.365-371.

Hammer, S., 1939: Terrain corrections for gravimeter stations: *Geophysics*, 4, 184-194.

Hsiao, Pao Tsung, 1968, Seismic study of the Taichung area, Taiwan: *Petroleum Geology of Taiwan*, No. 6, 209-218.

Hsieh, S. H. and Hu, C. C., 1972, Gravimetric and magnetic studies of Taiwan: *Petroleum Geology of Taiwan*, no. 10, p. 283-321.

Hsu, Tieh-Liang, 1956, Geology of the Coastal Range, eastern Taiwan: *Bull. Geol. Surv. Taiwan*, no. 8., p. 39-64.

Hsu, Tieh-Liang, 1974, Fluvial landforms of northern Taiwan and their neotectonic significance: *Bull. Geol. Surv. Taiwan*, vol. 24, 109-118.

Hsu, Tieh-Liang and Chang, H.C., 1979, Quaternary faults in Taiwan: *Mem. Geol. Soc. China*, no. 3, 155-165.

Hu, C. C. and Chen, W. S., 1986, Gravity and magnetic anomalies of eastern Taiwan: *Mem. Geol. Soc. China*, no. 7, p. 341-352.

Hung, J. H. and Wiltschko, D. W., 1993, Structure and kinematics of arcuate thrust faults in the Miaoli-Cholan area of western Taiwan: *Petro. Geol. Taiwan*, 28, 59-96

Hung, J. H., 1994, Analysis of Deformation Fabrics in the Sani Thrust Sheet and the Chuhuangkeng Anticline of Weatern Taiwan: *Petro. Geol. Taiwan*, 29, 105-126.

Hwang, C. W., C. G. Wang, and Y. S. Hsiao, 2003: Terrain correction computation using Gaussian quadrature: *Computers & Geosciences*, 29, 1259-1268.

Kane, M. F., 1962: A comprehensive system of terrain corrections using a digital computer: *Geophysics*, 27, 455-462.

Keller, G. V., and Frischkneght, F. C., 1966, Electrical Methods in Geophysical Prospecting: *Pergamon Press Inc.*, 517 pages.

Keller, G.V., 2002, Magnetotellurics in the context of the theory of ill-posed problems. *Society of Exploration Geophysicists*, 215p.

Lee, C.T. & Wang, Y., 1988, Quaternary stress changes in northern Taiwan and their tectonic implication: *Proc. Geol. Soc. China*, vol. 31 (1), p. 154-168.

Loke, M. H. and Barker, R.D., 1996, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method: *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.

Meng, Chao-Yi, 1963, The San-i overthrust: *Petroleum Geology of Taiwan*, No. 2, 1-20.

Neves, A. S., 1957, The magnelotelluric method in two-dimensional structures: *Ph.D. thesis. Mass. Inst. Tech.*

Pan, Y. S., 1965, Interpretation and seismic coordination of the Bouguer gravity anomalies obtained in northwestern Taiwan: *Dr. Sun Yat-Sen's 100th Birthday Jubilee Volume: Petroleum Geology of Taiwan*, no. 4, p. 287-301.

Pan, Y. S., 1967, Interpretation and seismic coordination of the Bouguer gravity anomalies over west-central Taiwan: *Petroleum Geology of Taiwan*, no. 5, p. 99-115.

Reddy, I.K., D. Rankin, and R.J. Phillips, 1977, Three-dimensional modeling in magnetotelluric and magnetic variational sounding. *Geophysics Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol. 51, p. 313-325.

Rodi, W. and R. L. Mackie, 2001, Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion: *Geophysics,* 66, 174-187.

Shaw, J.H., Conners, C., Suppe, J., 2005, Seismic interpretation of contractional fault-related folds: *AAPG Studies in Geology,* no. 50.

Tikhonov, A. N., 1950, On determining electrical characteristics of the deep layers of the earth's crust: *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 73, 2, 295-297.

Teng, L.S. and Lee, C.T., 1996, Geomechanical Apprisal of Seismogenic Faults in Northeast Taiwan：*Journal of the Geological Society of Chian*, vol. 39, no.2, 125-142

Tong, L.T., and Yang, C.H., 1990, Incorporation of topography into two dimensional resistivity inversion: *Geophysics*, 55, 354-361.

Tong, Lun-Tao, 2006, Gravity terrain effect of seafloor topography in Taiwan area *(draft paper).*

Vozoff, K., 1972, The Magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins: *Geophysics*, 37, 98-141.

Vozoff, K., 1991, The magnetotelluric method: in Nabighian M. N., Ed., Electromagnetic methods in applied geophysics: *Soc. Expl. Geophys.*, 2, 641-711.

Wang C.Y., Yang R.K. and Tsai D.T., 1991, Shallow reflection seismics using firecrackers as the source II: fielding experiments: *TAO*, Vol.2, No.3, 163-185.

Wang, C.Y., Chen, G.P. and Jong, D.T., 1994, The detection of active faults on Taiwan using shallow reflection seismics: *TAO*, Vol. 5, no. 2, p. 177-193.

Yang, C.H., and Tong, L.T., 1990, Combined application of dc and TEM to sea water intrusion mapping: *Soc. Expl. Geophys. 60th Ann. Internat*. Mtg., V.1, 402-405.

Yang, K.M, Huang, S.T, Ting, H.H, Wu, J.C.,Lin, Yu-Nong Nina, Lee, M.. 2004. The Role of Normal Faulting in the Most Recent Tectonics of Werstern Taiwan, *Abstracts of International Conference in Commemoration of 5th Anniversary of the 1999 Chi Chi Earthquake, Taiwan 2004 Sep*. 8th-9th, p23-24.

Yeh Y.H., Yen H.Y. and Tsai Y.B., 1984, A study of the 1935 earthquacke faults in central Taiwan by microearthquake and gravity surveys: *Bull. Geoghys. Natl. Central Univ., ROC*, No.25 1984.

York, James E.; 1976, Quaternary faulting in eastern Taiwan: *Bulletin of the Geological Survey of Taiwan*, No. 25, 63-72.

Yu, Shui-Beih and Lee, C.W., 1986, Geodetic measurement of horizontal crustal

deformation in eastern Taiwan: *Western Pacific Earth Sciences*, No. 7, 161-172.

大塚彌之助，1936，昭和 10 年 4 月 21 日臺灣中部地方發生之地震所伴生之地震斷層，附地震斷層之諸特徵：東京大學地震研究所彙報別冊，第三號，22-74 頁。（日文）

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

工業技術研究院能源與礦業研究所，1983，台灣中部 1935 年地震斷層之航照地質研究：能礦所 202 號，70 頁。

工業技術研究院能源與礦業研究所，1984，台灣中部 1935 年地震斷層之地電阻探查研究：能礦所 213 號，70 頁.

工業技術研究院能源與礦業研究所，1993，中二高甲南至豐原段遙測地質判識報告：能資所 06-3-82-200 號，15 頁。

中央氣象局，1999，台灣十大災害地震圖集，87-123 頁。

中國石油公司，1989，台灣西部地質圖。

王執明、王乾盈，1991， 卑南文化公園基地附近地質調查。國立臺灣史前文化博物館報告，共 74 頁。

王乾盈、洪智賢，2001，三義斷層是活動斷層？：九十年度中國地球物理研討會論文集，220-223 頁。

石再添、鄧國雄、許民陽、楊貴三，1988，臺灣花東部海岸海階的地形學研究：國立師範大學地理研究所，地理研究報告，50 頁。

石再添、張瑞津、楊貴三，1983，后里台地的活斷層與地形面：中國地理學會會刊第 11 期。

石再添等，1989，墾丁國家公園地區的珊瑚礁定年及地形研究，墾丁國家公園管理處保育研究報告，第 57 號，共 58 頁。

石瑞銓、黃宏文、林啟文，2003，池上斷層中南段之淺層反射震測調查：經濟部中央地質調查所副刊，第十四號，第 193-201 頁。

台灣總督府，1936，昭和 10 年台灣震災誌：台北，532 頁。

朱傚祖、游明盛，1997，花東縱谷活動斷層調查研究：行政院國家科學委員會專題研

究計畫成果報告，NSC83-0202-M-047-001，186 頁。

余水倍、侯財源、蔡義本，1977，苗栗地區地震研究報告：中央研究院地球科學研究所籌備處出版，48 頁。

何春蓀，1986，台灣地質概論-台灣地質圖說明書：經濟部中央地質調查所，共 169 頁。

沈嘉蕙，2000，以波線追跡法研究西北線形地震帶之速度構造：中央大學碩士論文，89 頁。

李奕亨，2001，恆春地區地四紀地層構造地球物理初探，中國地球物理年會論文集。

李奕亨，2002，后里 Est 場址地質調查及地球物理探測工作報告：工業技術研究院調查研究報告，77 頁。

李奕亨，2002，中科屯子腳斷層及三義斷層反射震測調查：工業技術研究院調查研究報告，57 頁。

李錦發，1994，三義斷層及其在新構造上的意義：地質，14，73-96 頁。

李錦發，1994，台灣地質圖說明書，圖幅第一十八號，東勢：經濟部中央地質調查所，69 頁。

宋國城，1987，恆春半島地質研究，台灣大學地質學研究所，博士論文，共 190 頁。

宋國城，1991，台灣地質圖說明書，圖幅第六九、七十、七二號，恆春半島，經濟部中央地質調查所，77 頁。

林啟文，張徽正，盧詩丁，石同生，黃文正，2000，台灣活動斷層概論：經濟部中央地質調查所特刊，第 13 號，122 頁。

林啟文、石瑞銓、林燕慧，2004，台東縱谷南段的活動斷層特性研究，經濟部中央地質調查所特刊第十五號，第 161-174 頁。

林敏一，1985，利用地磁資料分析一九三五年地震斷層：一九三五年新竹－台中大地震五十周年紀念研討會論文集，93-102 頁。

邱華燈，1962，台中縣大安背斜震波測勘之結果及解釋：中國地質學會專刊，第一號，第 187-188 頁。

林朝棨，1957，台灣地形：台灣省通誌稿，卷一，第一冊，423 頁。

洪日豪、魏其珂，1993，臺灣西部麓山帶苗栗及卓蘭地區之構造演化：台灣石油地質，第 28 號，第 59-96 頁。

洪智賢，2001，三義斷層之逆衝構造研究：中央大學碩士論文，95 頁。

紀權宥、陳文山、陳勇全、顏一勤、陳志壕，2006，南段花東縱谷區域的新期構造研究—利吉斷層與鹿野斷層的活動特性，九十五年度地球物理學會年會暨 2006 年台灣地區地球物理學術研討會，頁。

孫習之，1965，臺灣省清水至員林地區石油地質之研究：台灣石油地質，第 4 號，第 161-173 頁。

陳培源，1991，野外及礦業地質學（第二版），566 頁。

陳文山、王源，1996，臺灣東部海岸山脈地質：經濟部中央地質調查所編印，101 頁。

陳文山、陳于高、劉聰桂、黃偉能、林清正、宋時驊、李昆杰等，2000，九二一集集大地震的地震斷層特性與構造意義：經濟部中央地質調查所特刊十二號，139-154 頁。

陳太山、蘇福欽，2002，彰化斷層北端之構造型態：中油公司。

許文立，2001，彰化斷層及其附近構造，中央大學碩士論文，共 95 頁。

許華杞，1985，利用大地測量成果研究 1935 年新竹—台中地震之斷層模型與今後檢測斷層位移之方法：一九三五年新竹－台中大地震五十周年紀念研討會論文集，45-58 頁。

鳥居敬造與吉田要，1931，新竹苗栗及竹東油田調查報告：臺灣總督府殖產局出版，第 585 號，81 頁。

張憲卿，1994，台灣地質圖說明書，圖幅第一十七號，大甲：經濟部中央地質調查所，63 頁。

張徵正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁，1998，台灣活動斷層概論（第二版）：地調所特刊，第十號，47-48 頁。

張麗旭，1951，三叉衝上斷層及其附近之地質構造：台灣省地質調查所彙刊，第 3 號，23-34 頁。

游明盛，1994，台東縱谷活動斷層研究：國立台灣大學地質學研究所博士論文，141 頁。

董倫道、黃炎聰、陳金郎，1992a，電探切換器應用於地電阻探勘：第四屆台灣地區地球物理研討會論文集，第 297～304 頁。

董倫道、黃炎聰、陳金郎、蔡金泉、1992b，地球物理探測技術應用於地下水污染場址調查：第六屆水利工程研討會論文集，1062-1072。

董倫道、黃炎聰、陳金郎，1994，地電阻影像剖面法在地層探測之應用：經濟部中央地質調查所特刊，第八號，第 319～327 頁。

楊耿明，2002，台灣西部平原和麓山帶的地質構造，台灣之活動斷層與地震災害研討會論文集，143-153 頁。

楊耿明、吳榮章、丁信修、梅文成、蔡錦椿、葉明官，2001，台灣西北部三義逆衝斷層系統的地下形貌：中國地質學會九十年年會暨學術研討會，15-18 頁。

楊蔭清，1953，四十一年來之花蓮地震：花蓮文獻，創刊號，67-71 頁。

楊貴三，1986，台灣活動斷層的地形學研究-特論活動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，178 頁。

葉義雄、顏宏元、蔡義本，1985，利用地震與重力資料分析一九三五年地震斷層：一九三五年新竹－台中大地震五十周年紀念研討會論文集，68-82 頁。

劉平妹等，1988，墾丁國家公園及鄰近地區地質古生物調查-低階台地地質與變動地形，墾丁國家公園管理處保育研究報告，第 51 號，5-68 頁。

潘國樑、王文能、胡國興、顏滄波，1983，台灣中部 1935 年地震斷層之航照地質研究。工業技術研究院能源與礦業研究所，44 頁。

潘國樑，1985，利用遙測、地質與地震資料分析一九三五年地震斷層：一九三五年新竹－台中大地震五十周年紀念研討會論文集，83-92 頁。

賴文基，1995，台灣東部海岸山脈中段地質構造特性研究：國立成功大學地球科學研究所碩士論文，122 頁。

蕭瑞文，2002，清水斷層之淺部構造：國立中央大學碩士論文，104 頁。

鍾令和，2003，1951 年池上－玉里地震地表破裂與其所指示之新構造意義。

聯合大地工程顧問公司，1993，高速鐵路沿線通過之新莊、屯子腳、新化斷層地球物理探測報告。

謝孟龍，1990，臺灣花東海岸晚第四紀沉積層海階地形暨新構造運動的研究鍾令和國立臺灣大學地質研究所碩士論文，168 頁。

顏滄波，1985，一九三五年新竹－台中地震調查之回顧鍾令和一九三五年新竹－台中

大地震五十周年紀念研討會論文集，11-17 頁。

附錄 A　94 年度計畫期中報告審查意見回覆

委員意見		回覆處理情形
項目	內　　容	
一. 測線	1. 不論震測或地電阻測線長度都太短依據剖面解釋整個測線分布在斷層帶內如何得知斷層帶之外的震測訊號或地電阻訊號分布與斷層帶不同？測線長度雖符合契約書要求仍應以解決實際問題為導向請考慮解決方案。	1. 實際測線規劃乃根據本所於后里地區2000-2003年研究計畫於累積之數千公尺地物調查成果及資料，進行本階段斷層研究之測線最佳化布置及後續之構造解釋。測線規劃均於施測前與施測中與地調所相關人員密切聯繫及討論，以獲得計畫目標之需求。測線長度及位置將視情況進行調整加長及補充，可獲得區域性完整之斷層構造解釋之需求。
	2. 請斟酌屯子腳斷層帶地表寬度是否真能達 500 公尺?	2. 根據目前所獲得成果及剖面資料研判，屯子腳斷層地下構造為一壓力環境下之多併走向滑移構造，地層變形帶寬度可能超越數百尺，與梅山斷層之構造機制類似。而 1935 年屯子腳地震斷層可視為一次構造活動在接近變形邊界之地表破裂。
	3. 關於未來奇美、池上斷層有關測線請先與本所相關人員安排討論後再進行施測。	3. 第二階段地物測線定線與第一階段相同，已於7月5日與地調所相關人員（石同生、劉彥求、鍾令和等人）進行細部討論及定線。
二. 參數及資料展示	1. 報告中應加入電阻及震測有關技術資料，以供資料解釋及比對參考。	1. 於期末報告提供施測參數及技術資料。
	2. 應列出 p 波或 s 波速度構造。	2. 期末報告震測剖面將列出速度資料。
	3. 震測及地電結果之解析度，請加以探討敘述。	3. 震測解析度已於報告中節 3-1-5 詳述。期末報告將對地電解析度進行進一步探討。
	4. 地物探勘剖面請保持水平及垂直二方向相同比例。	4. 震測剖面均已 1:1 比例呈現；期末報告地電剖面比例將調整至 1:1。
	5. 除地物探勘的深度剖面展示，建議製作等深度切片圖以輔助構造的判讀解釋。	5. 因測線密度及分佈因素，故無法製作較具構造解釋意義之橫切面圖。故仍以測線 2D 剖面進行構造解釋為主。未來若探勘資料密度足夠將考慮進行區域深度切面輔助三維構造之判釋工作。
三. 剖面解釋	1. TTC-HL05P 測線 0.1 秒附近信號連續良好為何不受 1935 年地震的錯動。獅潭斷層地層結果的解釋向西傾，地層向東傾似乎和認知的層間斷層有所差異?	1. 1935 年地震斷層最大錯動量為 65 公分（泉州厝東方），根據文獻紀錄 TTC-HL05P 測線位置之垂直錯移均小於 60 公分，無法形成明顯之錯動特徵。觀察 TTC-HL05P 測線細部剖面近地表 0.1 秒以上震測相為相當典型之礫石層，深度應在 70-100 公尺上下有一不整合面。此礫石階地堆積十分連續但在細部仍可觀察到微小錯動。期中報告獅潭斷層地電阻剖面為初步成果，後續

委員意見		回覆處理情形
項目	內　　容	
		將整合現地踏勘及地質調查資料進行比對及分析其構造模式。
	2. 后里台地下方應有不整合面。甚或多次不整合但似乎未在剖面中顯現出來。	2. 后里台地之測線將於第二階段對其下之不整合面進行探討及解析，並修訂於期末報告中。
	3. 斷層通過測線剖面的位置在 100-200 公尺間，但獅潭斷層的位置卻在 40-80 公尺間，兩者不一致，剖面的解釋是否須重新考量。	3. 報告中測點編號方向錯誤所致，已修訂於期末報告。
	4. 地電結果與地質構造之比對解釋的根據為何，請加以敘述。	4. 依據及原理詳述已修訂於期末報告。
四. 網頁及其他	1. 本年度網頁以介紹地物探勘的方法為主，請配合方法做實務說明，多舉些台灣的例子，其中亦可含括前三年另一團隊的成果。	1. 將配合地調所規範進行網頁撰寫。
	2. 奇美斷層電探時也請注意銅礦賦存之可行性。	2. 同意。將注意奇美斷層探勘異常低電阻之研析。此外，由於本年度規劃奇美斷層測線移至縱谷區（泰林），由於覆蓋層深厚且僅有一地電阻測線，對於區域銅礦之賦存較難評估。

附錄 B　94 年度計畫期末報告審查意見回覆

委員意見		回覆處理情形
項目	內　　容	
一. 地物測線及地物方法	1. 請敘述測線安排（選擇）之理由。	1. 測線設計是以區域過去相關文獻及歷年調查成果以 mapinfo 進行斷層位置套疊並加以研判斷層位置進行初步配置。測線安排均以斷層位置尚待釐清的區域為原則，以避免資源重複浪費。並依據現地地質地形狀況及目標構造深度進行探測方法選擇及最佳幾何參數。在重要斷層位置以不同地球物理方法共線配置綜合解釋以獲得可性度較高之斷層型態及位置。野外施測前至地質調查所進行測線及工作簡報，與地調所相關專案人員進行充分討論及最終測線修訂。
	2. 建議震測與地電剖面測線儘量靠近，以便整合解釋。	2. 將於下年度計畫中參考規劃。
	3. 大地電磁法（MT）可以在深度上有解析能力，未來應可考慮增加 MT 的測量數目，並請與震測結果相比對。	3. 同意，將於下一年度計畫依斷層型態增加 MT 調查數量。
二. 地物參數及資料展示	1. 測點附近之速度構造表（含深度、Vp 或 Vs），請整理列出。	1. 同意將原剖面下方附錄之速度分層整理於期末報告中表列。
	2. 所有地圖請加座標，二度分帶座標的部分請採 TW67 系統。	2. 同意將於期末報告中修訂。
	3. 採用日照陰影的繪圖，請說明光源方向及仰角，部份圖缺比例尺。	3. 同意將於期末報告中修訂。
三. 剖面解釋	1. 「地電結果」和「地質解釋」要區分清楚。	1. 同意將於期末報告中修訂。
	2. 地物剖面希望能再增加與地質資料相對應的解釋。	2. 同意將於期末報告中修訂。
	3. 建議多與相關地質調查工作團隊溝通，尤其是在資料之解釋。	3. 同意，因各分項工作團隊進程難以一致，未來將主動協調諮詢其他工作團隊之調查成果加入調查成果資料整合解釋。
	4. 地電、震測之搭配解釋部份宜說明清楚。（因探測的範圍（深度）不同）。	4. 同意；將於期末報告中修訂。
	5. 花狀構造會收束於較窄的一主斷層上（如花之莖柄）。圖 3-31 劃了 2 條線（1 實線、1 虛線），如果是這種繪法，以「斷層帶」來說明即可。建議變更解釋（用詞）或重繪	5. 同意將於期末報告中修訂。屯子腳斷層近地表呈現剪壓變形部份位置造成地表破裂及小規模錯移（1935 年地震破裂位置大部份位於地表變形帶北側地層曲率開始變化位置）。
	6. 地電之低阻層，請考慮其可能反應礦脈（圖 3-55），或地下水（圖 3-65）	6. 將考慮礦脈或地層原生含鹽分高地下水形成縱谷深部低電阻之可能性。
四. 網頁	1. 報告書加中英文摘要、討論及結論。	1. 同意；將於期末報告中修訂。

委員意見		回覆處理情形
項目	內　　容	
及報告格式	2. 網頁部份，如能加入實例說明將更清楚。	2. 同意；將於期末報告中修訂。
	3. 封面格式、文字、圖片錯漏處，請修正。	3. 同意；將於期末報告中修訂。

附錄 C　95 年度計畫期中報告審查意見回覆

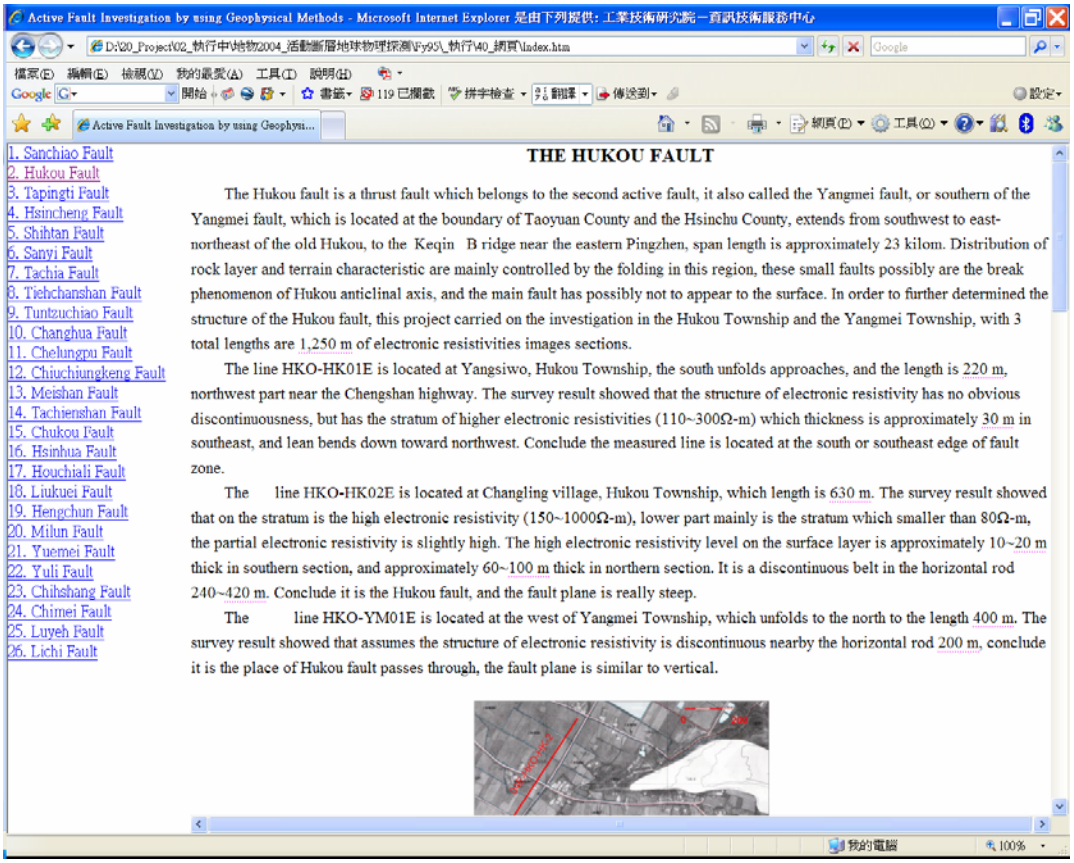
委員意見		回覆處理情形
項目	內　　容	
一	專有名詞如視電阻、大地電磁波法及岩石地層等及甘梯圖進度請重新修定。	遵照委員意見修訂。
二	剖面解釋如三義及鐵砧山斷層地物探勘剖面，請重新核查及解釋。	遵照委員意見修訂。
三	未來斷層測線規劃，請與本所討論後再行施測。	測線位置均與地調所相關人員討論後施測。
四	期末報告書，請系統性整合 5 年來成果及編撰英文長摘要。	將於總結報告中說明。

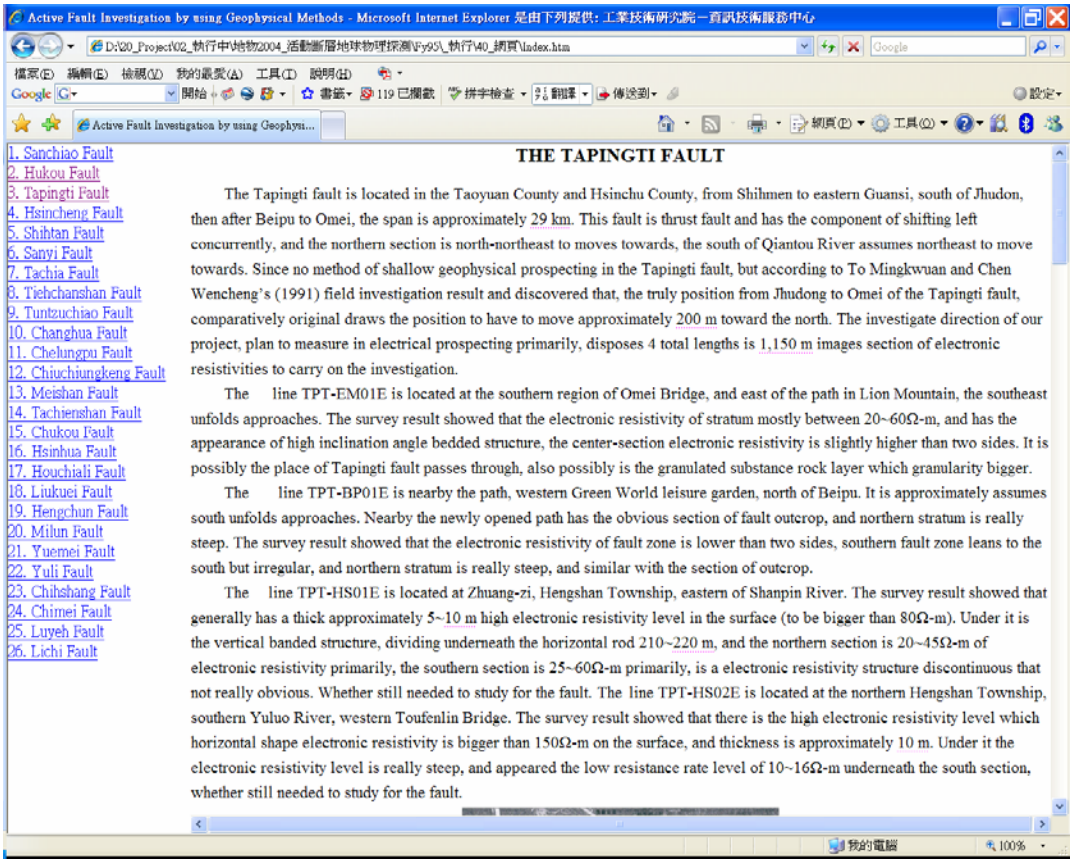
附錄 D　95 年度計畫期末報告審查意見回覆

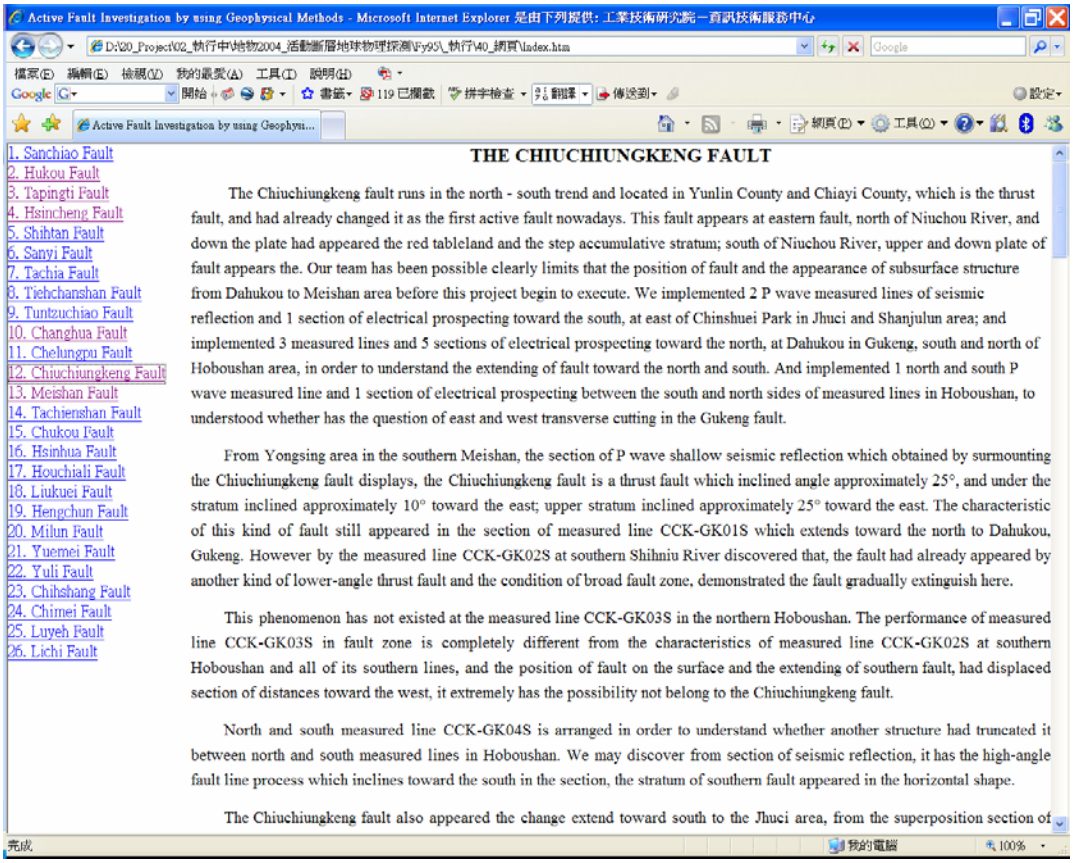
委員意見		回覆處理情形
項目	內　　容	
一. 原始資料	1. 請提供歷年各種地球物理方法探勘原始資料及處理分析成果的電子檔。	1. 本計畫前三年原始資料檔已傳送地調所，第 4、5 年將整理後隨同光碟片提供給地調所。
二. 總報告	1. 斷層探勘結果的論述請節要列表。	1. 遵照委員意見修訂。
	2. 各種探勘測線及測點請將座標列表。	2. 遵照委員意見修訂。
	3. 探勘成果請先增列整體索引圖，然後再依各斷層分立測線索引圖。	3. 遵照委員意見修訂。
	4. 前言章節中請說明不同時期不同團隊進行測勘，並闡述兩者調查方式的異同。	4. 遵照委員意見修訂。
	5. 金山斷層的描述請修正為山腳斷層。	5. 遵照委員意見修訂。
三. 本年度期末報告	1. 震測剖面圖比例建議增大以利參閱，並於電子檔存放較高解析的影像。	1. 電子檔相關圖檔的解析度均高於 300 dpi，紙本部份將遵照委員意見，修正部份較字型較小的部份。
	2. 請說明不同斷層探勘所採用的地物方法選擇標準。	2. 探勘方法的選定除需考量經費、時程及委方要求之外，一般而言需考量待測地層特徵與地形地物狀況，選擇合適的方法進行施測。例如：因利吉斷層上盤為利吉層，下盤為沖積層，沒有明顯層面，故相對較不適合反射震測施測，因此優先選擇地電阻法；而大甲斷層兩側地層層面明顯，且對探測深度之要求較大，因此優先考慮使用反射震測法施測；重力法的精度雖不高，但由於可以獲得全區的地質構造概況，故適用於大區域地下地質構造解釋。
	3. 斷層與褶皺的解釋不同，建議可以考慮盲斷層的可能。	3. 遵照委員意見修訂。
	4. 地質圖中符號亂碼請修正。	4. 遵照委員意見修訂。
	5. 英文網頁請潤稿。	5. 遵照委員意見修訂。
	6. 報告書中錯漏字處請修正。	6. 遵照委員意見修訂。
	7. 58 頁圖的說明，岩石與地層名稱混用，請補正。	7. 遵照委員意見修訂。
	8. 地物探勘的解釋圖應與原始資料圖排比對照。	8. 遵照委員意見修訂。
	9. 測線名稱請依斷層名稱及測勘地名順序排列命名，最後於括號中加上測線代號，如鹿野田寮測線（測線代號）。	9. 遵照委員意見修訂。
	10. 關於剩餘重力的推求及精度應加以說明誤差可能來源。	10. 本報告所使用的重力資料來自中油公司以往所發表的重力異常圖，經過數化後重新以現代的處理技術進行處理分析。本研究採用多種方法計算區域

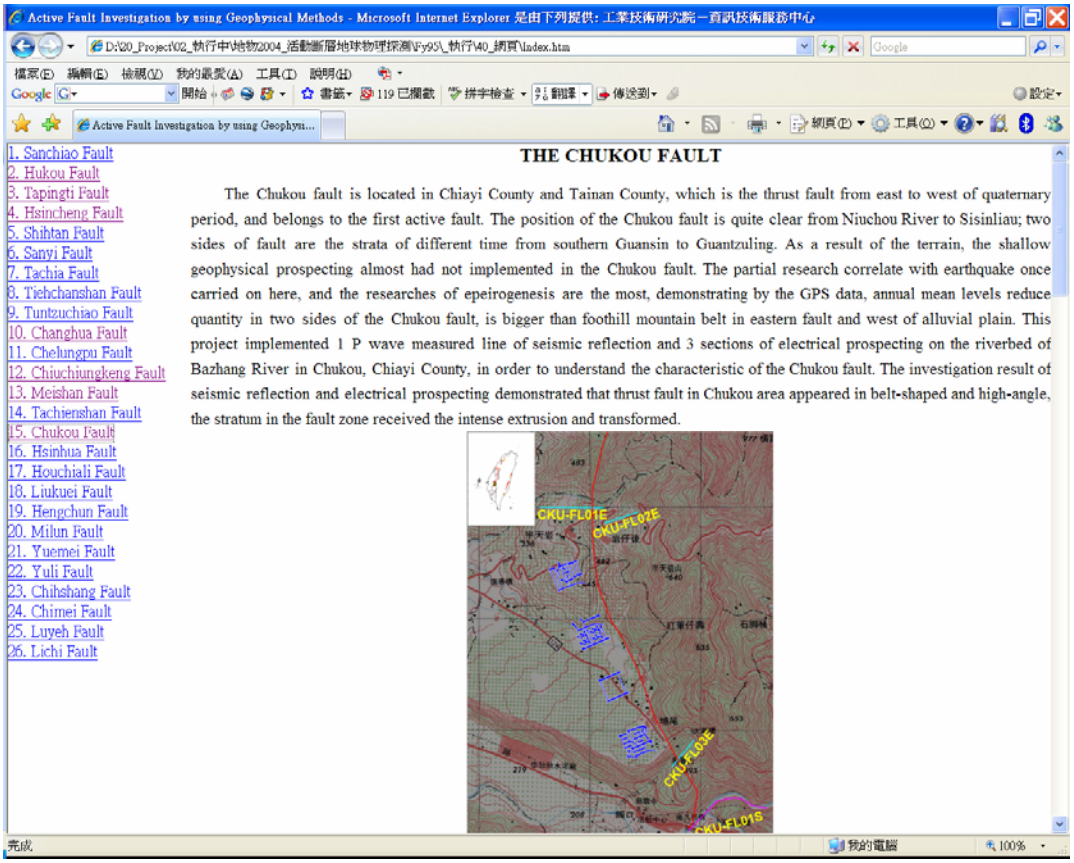
委員意見		回覆處理情形
項目	內　　容	
		重力，包括：低通濾波、向上延伸、多項次批配等，布蓋重力扣除區域重力後便得到剩餘重力。整個重力資料分析過程中的誤差來源，主要來自數化過程所可能導入的誤差，這部份本研究係透過等值線內插反求測點重力值方式，降低直接由等值線數化及網格化，所可能導入的線型誤差，經初步推估，其誤差量應可控制在百分之三以下，對應用於區域地質構造解釋應已足夠。
	11. 清將今年四月台東地震相關研究成果併入討論。	11. 遵照委員意見修訂。

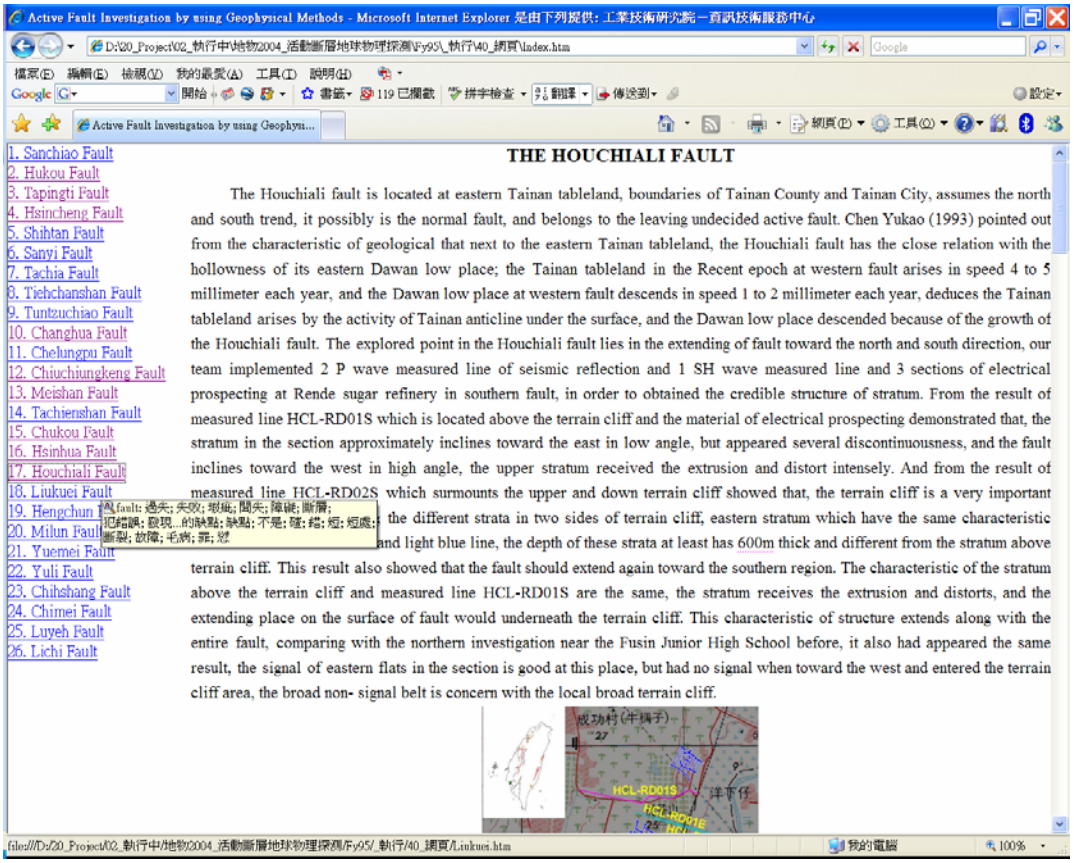
附錄 E　地球物理探勘成果英文網頁畫面

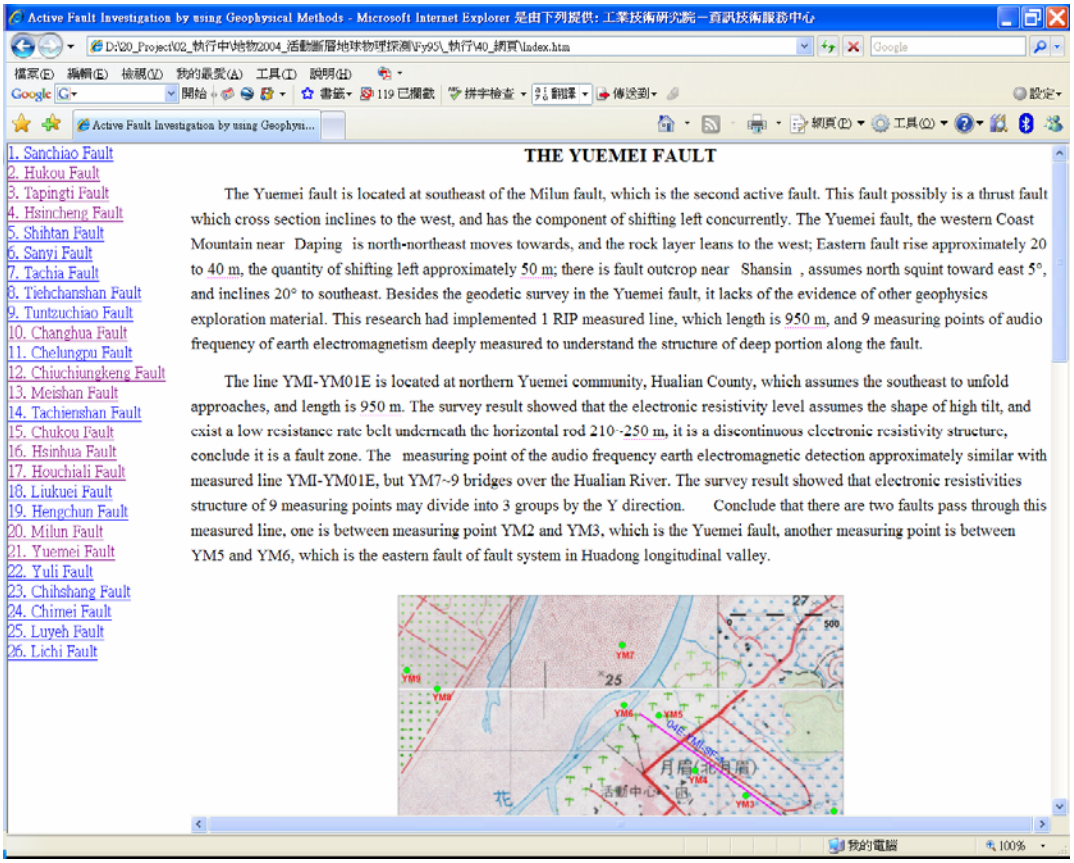

Active Fault Investigation by using Geophysical Methods - Microsoft Internet Explorer
1. Sanchiao Fault
2. Hukou Fault
3. Tapingti Fault
4. Hsincheng Fault
5. Shihtan Fault
6. Sanyi Fault
7. Tachia Fault
8. Tiehchanshan Fault
9. Tuntzuchiao Fault
10. Changhua Fault
11. Chelungpu Fault
12. Chiuchiungkeng Fault
13. Meishan Fault
14. Tachienshan Fault
15. Chukou Fault
16. Hsinhua Fault
17. Houchiali Fault
18. Liukuei Fault
19. Hengchun Fault
20. Milun Fault
21. Yuemei Fault
22. Yuli Fault
23. Chihshang Fault
24. Chimei Fault
25. Luyeh Fault
26. Lichi Fault
THE HUKOU FAULT
The Hukou fault is a thrust fault which belongs to the second active fault, it also called the Yangmei fault, or southern of the Yangmei fault, which is located at the boundary of Taoyuan County and the Hsinchu County, extends from southwest to east-northeast of the old Hukou, to the Keqin B ridge near the eastern Pingzhen, span length is approximately 23 kilom. Distribution of rock layer and terrain characteristic are mainly controlled by the folding in this region, these small faults possibly are the break phenomenon of Hukou anticlinal axis, and the main fault has possibly not to appear to the surface. In order to further determined the structure of the Hukou fault, this project carried on the investigation in the Hukou Township and the Yangmei Township, with 3 total lengths are 1,250 m of electronic resistivities images sections.
The line HKO-HK01E is located at Yangsiwo, Hukou Township, the south unfolds approaches, and the length is 220 m, northwest part near the Chengshan highway. The survey result showed that the structure of electronic resistivity has no obvious discontinuousness, but has the stratum of higher electronic resistivities (110~300Ω-m) which thickness is approximately 30 m in southeast, and lean bends down toward northwest. Conclude the measured line is located at the south or southeast edge of fault zone.
The line HKO-HK02E is located at Changling village, Hukou Township, which length is 630 m. The survey result showed that on the stratum is the high electronic resistivity (150~1000Ω-m), lower part mainly is the stratum which smaller than 80Ω-m, the partial electronic resistivity is slightly high. The high electronic resistivity level on the surface layer is approximately 10~20 m thick in southern section, and approximately 60~100 m thick in northern section. It is a discontinuous belt in the horizontal rod 240~420 m. Conclude it is the Hukou fault, and the fault plane is really steep.
The line HKO-YM01E is located at the west of Yangmei Township, which unfolds to the north to the length 400 m. The survey result showed that assumes the structure of electronic resistivity is discontinuous nearby the horizontal rod 200 m, conclude it is the place of Hukou fault passes through, the fault plane is similar to vertical.


Active Fault Investigation by using Geophysical Methods - Microsoft Internet Explorer
1. Sanchiao Fault
2. Hukou Fault
3. Tapingti Fault
4. Hsincheng Fault
5. Shihtan Fault
6. Sanyi Fault
7. Tachia Fault
8. Tiehchanshan Fault
9. Tuntzuchiao Fault
10. Changhua Fault
11. Chelungpu Fault
12. Chiuchiungkeng Fault
13. Meishan Fault
14. Tachienshan Fault
15. Chukou Fault
16. Hsinhua Fault
17. Houchiali Fault
18. Liukuei Fault
19. Hengchun Fault
20. Milun Fault
21. Yuemei Fault
22. Yuli Fault
23. Chihshang Fault
24. Chimei Fault
25. Luyeh Fault
26. Lichi Fault
THE TAPINGTI FAULT
The Tapingti fault is located in the Taoyuan County and Hsinchu County, from Shihmen to eastern Guansi, south of Jhudon, then after Beipu to Omei, the span is approximately 29 km. This fault is thrust fault and has the component of shifting left concurrently, and the northern section is north-northeast to moves towards, the south of Qiantou River assumes northeast to move towards. Since no method of shallow geophysical prospecting in the Tapingti fault, but according to To Mingkwuan and Chen Wencheng's (1991) field investigation result and discovered that, the truly position from Jhudong to Omei of the Tapingti fault, comparatively original draws the position to have to move approximately 200 m toward the north. The investigate direction of our project, plan to measure in electrical prospecting primarily, disposes 4 total lengths is 1,150 m images section of electronic resistivities to carry on the investigation.
The line TPT-EM01E is located at the southern region of Omei Bridge, and east of the path in Lion Mountain, the southeast unfolds approaches. The survey result showed that the electronic resistivity of stratum mostly between 20~60Ω-m, and has the appearance of high inclination angle bedded structure, the center-section electronic resistivity is slightly higher than two sides. It is possibly the place of Tapingti fault passes through, also possibly is the granulated substance rock layer which granularity bigger.
The line TPT-BP01E is nearby the path, western Green World leisure garden, north of Beipu. It is approximately assumes south unfolds approaches. Nearby the newly opened path has the obvious section of fault outcrop, and northern stratum is really steep. The survey result showed that the electronic resistivity of fault zone is lower than two sides, southern fault zone leans to the south but irregular, and northern stratum is really steep, and similar with the section of outcrop.
The line TPT-HS01E is located at Zhuang-zi, Hengshan Township, eastern of Shanpin River. The survey result showed that generally has a thick approximately 5~10 m high electronic resistivity level in the surface (to be bigger than 80Ω-m). Under it is the vertical banded structure, dividing underneath the horizontal rod 210~220 m, and the northern section is 20~45Ω-m of electronic resistivity primarily, the southern section is 25~60Ω-m primarily, is a electronic resistivity structure discontinuous that not really obvious. Whether still needed to study for the fault. The line TPT-HS02E is located at the northern Hengshan Township, southern Yuluo River, western Toufenlin Bridge. The survey result showed that there is the high electronic resistivity level which horizontal shape electronic resistivity is bigger than 150Ω-m on the surface, and thickness is approximately 10 m. Under it the electronic resistivity level is really steep, and appeared the low resistance rate level of 10~16Ω-m underneath the south section, whether still needed to study for the fault.


Active Fault Investigation by using Geophysical Methods - Microsoft Internet Explorer 是由下列提供: 工業技術研究院一資訊技術服務中心
1. Sanchiao Fault
2. Hukou Fault
3. Tapingti Fault
4. Hsincheng Fault
5. Shihtan Fault
6. Sanyi Fault
7. Tachia Fault
8. Tiehchanshan Fault
9. Tuntzuchiao Fault
10. Changhua Fault
11. Chelungpu Fault
12. Chiuchiungkeng Fault
13. Meishan Fault
14. Tachienshan Fault
15. Chukou Fault
16. Hsinhua Fault
17. Houchiali Fault
18. Liukuei Fault
19. Hengchun Fault
20. Milun Fault
21. Yuemei Fault
22. Yuli Fault
23. Chihshang Fault
24. Chimei Fault
25. Luyeh Fault
26. Lichi Fault
THE CHIUCHIUNGKENG FAULT
The Chiuchiungkeng fault runs in the north - south trend and located in Yunlin County and Chiayi County, which is the thrust fault, and had already changed it as the first active fault nowadays. This fault appears at eastern fault, north of Niuchou River, and down the plate had appeared the red tableland and the step accumulative stratum; south of Niuchou River, upper and down plate of fault appears the. Our team has been possible clearly limits that the position of fault and the appearance of subsurface structure from Dahukou to Meishan area before this project begin to execute. We implemented 2 P wave measured lines of seismic reflection and 1 section of electrical prospecting toward the south, at east of Chinshuei Park in Jhuci and Shanjulun area; and implemented 3 measured lines and 5 sections of electrical prospecting toward the north, at Dahukou in Gukeng, south and north of Hoboushan area, in order to understand the extending of fault toward the north and south. And implemented 1 north and south P wave measured line and 1 section of electrical prospecting between the south and north sides of measured lines in Hoboushan, to understood whether has the question of east and west transverse cutting in the Gukeng fault.
From Yongsing area in the southern Meishan, the section of P wave shallow seismic reflection which obtained by surmounting the Chiuchiungkeng fault displays, the Chiuchiungkeng fault is a thrust fault which inclined angle approximately 25°, and under the stratum inclined approximately 10° toward the east; upper stratum inclined approximately 25° toward the east. The characteristic of this kind of fault still appeared in the section of measured line CCK-GK01S which extends toward the north to Dahukou, Gukeng. However by the measured line CCK-GK02S at southern Shihniu River discovered that, the fault had already appeared by another kind of lower-angle thrust fault and the condition of broad fault zone, demonstrated the fault gradually extinguish here.
This phenomenon has not existed at the measured line CCK-GK03S in the northern Hoboushan. The performance of measured line CCK-GK03S in fault zone is completely different from the characteristics of measured line CCK-GK02S at southern Hoboushan and all of its southern lines, and the position of fault on the surface and the extending of southern fault, had displaced section of distances toward the west, it extremely has the possibility not belong to the Chiuchiungkeng fault.
North and south measured line CCK-GK04S is arranged in order to understand whether another structure had truncated it between north and south measured lines in Hoboushan. We may discover from section of seismic reflection, it has the high-angle fault line process which inclines toward the south in the section, the stratum of southern fault appeared in the horizontal shape.
The Chiuchiungkeng fault also appeared the change extend toward south to the Jhuci area, from the superposition section of
完成
我的電腦
100%


Active Fault Investigation by using Geophysical Methods - Microsoft Internet Explorer 是由下列提供: 工業技術研究院一資訊技術服務中心
1. Sanchiao Fault
2. Hukou Fault
3. Tapingti Fault
4. Hsincheng Fault
5. Shihtan Fault
6. Sanyi Fault
7. Tachia Fault
8. Tiehchanshan Fault
9. Tuntzuchiao Fault
10. Changhua Fault
11. Chelungpu Fault
12. Chiuchiungkeng Fault
13. Meishan Fault
14. Tachienshan Fault
15. Chukou Fault
16. Hsinhua Fault
17. Houchiali Fault
18. Liukuei Fault
19. Hengchun Fault
20. Milun Fault
21. Yuemei Fault
22. Yuli Fault
23. Chihshang Fault
24. Chimei Fault
25. Luyeh Fault
26. Lichi Fault
THE CHUKOU FAULT
The Chukou fault is located in Chiayi County and Tainan County, which is the thrust fault from east to west of quaternary period, and belongs to the first active fault. The position of the Chukou fault is quite clear from Niuchou River to Sisinliau; two sides of fault are the strata of different time from southern Guansin to Guantzuling. As a result of the terrain, the shallow geophysical prospecting almost had not implemented in the Chukou fault. The partial research correlate with earthquake once carried on here, and the researches of epeirogenesis are the most, demonstrating by the GPS data, annual mean levels reduce quantity in two sides of the Chukou fault, is bigger than foothill mountain belt in eastern fault and west of alluvial plain. This project implemented 1 P wave measured line of seismic reflection and 3 sections of electrical prospecting on the riverbed of Bazhang River in Chukou, Chiayi County, in order to understand the characteristic of the Chukou fault. The investigation result of seismic reflection and electrical prospecting demonstrated that thrust fault in Chukou area appeared in belt-shaped and high-angle, the stratum in the fault zone received the intense extrusion and transformed.
CKU-FL01E
CKU-FL02E
CKU-FL05E
CKU-FL01S
完成
我的電腦
100%


Active Fault Investigation by using Geophysical Methods - Microsoft Internet Explorer
1. Sanchiao Fault
2. Hukou Fault
3. Tapingti Fault
4. Hsincheng Fault
5. Shihtan Fault
6. Sanyi Fault
7. Tachia Fault
8. Tiehchanshan Fault
9. Tuntzuchiao Fault
10. Changhua Fault
11. Chelungpu Fault
12. Chiuchiungkeng Fault
13. Meishan Fault
14. Tachienshan Fault
15. Chukou Fault
16. Hsinhua Fault
17. Houchiali Fault
18. Liukuei Fault
19. Hengchun Fault
20. Milun Fault
21. Yuemei Fault
22. Yuli Fault
23. Chihshang Fault
24. Chimei Fault
25. Luyeh Fault
26. Lichi Fault
THE HOUCHIALI FAULT
The Houchiali fault is located at eastern Tainan tableland, boundaries of Tainan County and Tainan City, assumes the north and south trend, it possibly is the normal fault, and belongs to the leaving undecided active fault. Chen Yukao (1993) pointed out from the characteristic of geological that next to the eastern Tainan tableland, the Houchiali fault has the close relation with the hollowness of its eastern Dawan low place; the Tainan tableland in the Recent epoch at western fault arises in speed 4 to 5 millimeter each year, and the Dawan low place at western fault descends in speed 1 to 2 millimeter each year, deduces the Tainan tableland arises by the activity of Tainan anticline under the surface, and the Dawan low place descended because of the growth of the Houchiali fault. The explored point in the Houchiali fault lies in the extending of fault toward the north and south direction, our team implemented 2 P wave measured line of seismic reflection and 1 SH wave measured line and 3 sections of electrical prospecting at Rende sugar refinery in southern fault, in order to obtained the credible structure of stratum. From the result of measured line HCL-RD01S which is located above the terrain cliff and the material of electrical prospecting demonstrated that, the stratum in the section approximately inclines toward the east in low angle, but appeared several discontinuousness, and the fault inclines toward the west in high angle, the upper stratum received the extrusion and distort intensely. And from the result of measured line HCL-RD02S which surmounts the upper and down terrain cliff showed that, the terrain cliff is a very important
and light blue line, the depth of these strata at least has 600m thick and different from the stratum above terrain cliff. This result also showed that the fault should extend again toward the southern region. The characteristic of the stratum above the terrain cliff and measured line HCL-RD01S are the same, the stratum receives the extrusion and distorts, and the extending place on the surface of fault would underneath the terrain cliff. This characteristic of structure extends along with the entire fault, comparing with the northern investigation near the Fusin Junior High School before, it also had appeared the same result, the signal of eastern flats in the section is good at this place, but had no signal when toward the west and entered the terrain cliff area, the broad non- signal belt is concern with the local broad terrain cliff.
HCL-RD01S
HCL-RD01E
洋下仔


Active Fault Investigation by using Geophysical Methods - Microsoft Internet Explorer
1. Sanchiao Fault
2. Hukou Fault
3. Tapingti Fault
4. Hsincheng Fault
5. Shihtan Fault
6. Sanyi Fault
7. Tachia Fault
8. Tiehchanshan Fault
9. Tuntzuchiao Fault
10. Changhua Fault
11. Chelungpu Fault
12. Chiuchiungkeng Fault
13. Meishan Fault
14. Tachienshan Fault
15. Chukou Fault
16. Hsinhua Fault
17. Houchiali Fault
18. Liukuei Fault
19. Hengchun Fault
20. Milun Fault
21. Yuemei Fault
22. Yuli Fault
23. Chihshang Fault
24. Chimei Fault
25. Luyeh Fault
26. Lichi Fault
THE YUEMEI FAULT
The Yuemei fault is located at southeast of the Milun fault, which is the second active fault. This fault possibly is a thrust fault which cross section inclines to the west, and has the component of shifting left concurrently. The Yuemei fault, the western Coast Mountain near Daping is north-northeast moves towards, and the rock layer leans to the west; Eastern fault rise approximately 20 to 40 m, the quantity of shifting left approximately 50 m; there is fault outcrop near Shansin , assumes north squint toward east 5°, and inclines 20° to southeast. Besides the geodetic survey in the Yuemei fault, it lacks of the evidence of other geophysics exploration material. This research had implemented 1 RIP measured line, which length is 950 m, and 9 measuring points of audio frequency of earth electromagnetism deeply measured to understand the structure of deep portion along the fault.
The line YMI-YM01E is located at northern Yuemei community, Hualian County, which assumes the southeast to unfold approaches, and length is 950 m. The survey result showed that the electronic resistivity level assumes the shape of high tilt, and exist a low resistance rate belt underneath the horizontal rod 210~250 m, it is a discontinuous electronic resistivity structure, conclude it is a fault zone. The measuring point of the audio frequency earth electromagnetic detection approximately similar with measured line YMI-YM01E, but YM7~9 bridges over the Hualian River. The survey result showed that electronic resistivities structure of 9 measuring points may divide into 3 groups by the Y direction. Conclude that there are two faults pass through this measured line, one is between measuring point YM2 and YM3, which is the Yuemei fault, another measuring point is between YM5 and YM6, which is the eastern fault of fault system in Huadong longitudinal valley.
YM7
YM6
YM5
YM4
YM3
YM2
YM1
YMI
25
27
500