經濟部

計畫編號：106-5226904000-02-01

重要活動斷層構造特性調查二期—活動斷層近地表構造特性調查(3/4)

Survey the near ground deformation induced by active faulting (3/4)

期末報告

本報告內容為階段性之區域地質調查成果，內容包括依據現階段資料之假設與推論，參考時請注意相關基本條件及其限制。

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行單位：社團法人中華民國地質學會
中華民國一〇六年十二月

摘要

本研究工作首先針對獅潭斷層、木屐寮斷層與六甲斷層的近地表構造，進行淺地表地球物理研究，使用方法包含有地電阻、透地雷達與淺層震測等地球物理探測方法。獅潭斷層今年度同時完成了地電阻與透地雷達等調查成果，建立一電性地層模型，清楚分辨西側上福基砂岩與東側的東坑層與西側的關刀山砂岩。在木屐寮斷層中，主要工作目標放在斷層線跡是否有往北與往南延伸。在原有線跡上，地電阻模型看來可以分辨出斷層上下盤地層之差異。但在斷層線跡延伸線外側的量測，不論是北區頭前溪南北岸以及南端點六重溪南岸，我們似乎都無法看出有斷層經過的層位差異出現。推論斷層線跡的南北端點都沒有在往外做延伸。

另外於六甲斷層之調查，測線的規劃從東山里東側開始，末端在台南藝術大學南段結束，由於沿線有國道三號分佈，而國道三號沿線有許多高壓電塔，故施做測線需盡量避開電塔影響。地電阻剖面的反演算結果顯示，在原有線跡上，地電阻模型可以分辨出斷層上下盤地層之差異，但在斷層線跡延伸線外側的量測，我們在台南藝術大學附近的測線無法看出有電性不連續面出現。推論斷層線跡沒有往外延伸。

關鍵詞：活動斷層、地電阻、透地雷達、淺層震測

Abstract

We used the Resistivity method, Ground penetrating radar, and Shallow seismic exploration to investigate the Shitan Fault, Muchiliao Fault and Liujia Fault. We combined Resistivity method and Ground penetrating radar on Shitan Fault investigation. We build the Resistivity model of different formations. In Muchiliao fault, we are interested in the fault trace extension in the north and south area. We made one Shallow seismic exploration and seven Resistivity profiles. Our results showed that there are different resistivity image and shallow seismic exploration results in the fault upper and lower plate and no obvious change out of the Muchiliao Fault trace. Our result found that there is no fault activity out of Muchiliao Fault trace. In the south, we focused on the Liujia Fault trace along national highway no. 3, which distributed many high-voltage towers, therefore, we need to adjust our survey line to avoid the impact of electricity tower. We made eleven Resistivity profiles perpendicular to Liujia Fault. The model showed that there are different resistivity image results in the Liujia fault upper and lower plate and no electrical stratigraphic difference in the survey line near Tainan National University of the Arts.

Keywords: Active fault, Resistivity, Ground penetrating radar, Shallow seismic exploration

目錄

摘要.....I
Abstract.....II
目錄.....III
圖目錄.....V
表目錄.....VIII
第一章 計畫內容.....1
1.1 整體計畫概述.....1
1.2 本年度計畫概述.....2
第二章 計畫執行方法及進行步驟.....12
2.1 地電阻剖面影像方法.....12
2.1.1 地電阻調查原理.....12
2.1.2 野外施測儀器.....14
2.1.3 野外測線設計.....15
2.2 淺層震測調查方法.....15
2.2.1 淺層反射震測原理.....16
2.2.2 反射震測法布線方式.....16
2.2.3 反射震測法之精度.....16
2.2.4 野外施測儀器.....17
2.2.5 野外工作雜波測試步驟.....17
2.2.6 野外測線選取.....18
2.2.7 資料處理.....19
2.2.8 資料解釋.....19
2.3 透地雷達法.....21
2.3.1 透地雷達原理.....21
2.3.2 野外測線設計.....24
第三章 獅潭斷層.....25
3.1 地質概述.....25
3.2 獅潭斷層調查工作.....29
3.2.2 地電阻調查成果.....31
3.2.3 透地雷達調查成果.....32
3.3 獅潭斷層測區施測結果及討論.....35
第四章 木屐寮斷層.....36
4.1 地質概述.....36
4.2 木屐寮斷層調查工作.....40
4.2.2 地電阻調查成果.....41
4.3 淺層震測探勘成果.....46

4.3.1 前人研究.....46
4.3.2 淺層震測探勘.....52
4.4 木屐寮斷層測區施測結果之討論.....57
第五章 六甲斷層.....59
5.1 地質概述.....59
5.2 六甲斷層調查工作.....65
5.2.2 地電阻成果.....66
5.3 六甲斷層測區施測結果之討論.....69
第六章 斷層長期滑移速率調查.....70
6.1 前言.....70
6.2 地質地形.....70
6.3 桶頭橋河階.....72
6.4 蜈蜞坪扇階（群）.....74
6.5 長期滑移速率.....74
第七章 池上斷層地下掃描時序監測.....77
7.1 區域背景資料.....77
7.2 量測方法.....78
7.3 大坡國小監測.....80
第八章 結論.....90
參考文獻.....95
期中審查意見回覆表.....100
透地雷達教育訓練.....104

圖目錄

圖 1.2-1 測區內之獅潭斷層線跡分布 4
圖 1.2-2 測區內之木屐寮斷層線跡分布 6
圖 1.2-3 測區內之六甲斷層線跡分布 8
圖 2.1-1 地電阻探測儀器示意圖 13
圖 2.1-2 溫奈排列（Wenner Array）示意圖 13
圖 2.1-3 雙偶極排列（Dipole-dipole Array）示意圖 13
圖 2.1-4 地電阻剖面影像探測示意圖 14
圖 2.3-1 透地雷達系統組成示意圖 21
圖 2.3-2 透地雷達測勘方法天線排列方式 23
圖 3.1-1 獅潭斷層條帶地質圖及本年度重點施測區域 27
圖 3.1-2 獅潭斷層馬麟社地區測線 05E-STN-ML01 地電阻影像剖面圖 28
圖 3.1-3 獅潭斷層上大窩地區測線 05E-STN-DW01 地電阻影像剖面圖 28
圖 3.2-1 獅潭斷層測區地球物理測線分佈(北段)，黑色虛線代表電性不連續面 29
圖 3.2-2 獅潭斷層測區地球物理測線分佈(南段) 30
圖 3.2-3 ST-05 電阻率模型 31
圖 3.2-4 ST-06 電阻率模型 31
圖 3.2-5 ST-01 電阻率模型 31
圖 3.2-6 ST-02 電阻率模型 31
圖 3.2-7 ST-04 電阻率模型 32
圖 3.2-8 ST-03 電阻率模型 32
圖 3.2-9 GPR-08 透地雷達剖面 32
圖 3.2-10 GPR-12、GPR-13、GPR-14 透地雷達剖面 33
圖 3.2-11 利用 Voxler 3D model 建立立體模型 34
圖 3.2-12 GPR-11 透地雷達剖面 34
圖 4.1-1 木屐寮斷層條帶地質圖及本年度重點施測區域 39
圖 4.2-1 木屐寮斷層測區地球物理測線分佈 40
圖 4.2-2 105-MCL-01 電阻率模型 41
圖 4.2-3 105-MCL-02 電阻率模型 41
圖 4.2-4 105-MCL-03 電阻率模型 42
圖 4.2-5 105-MCL-04 電阻率模型 42
圖 4.2-6 105-MCL-05 電阻率模型 42
圖 4.2-7 105-MCL-06 電阻率模型 43
圖 4.2-8 105-MCL-07 電阻率模型 43
圖 4.2-9 105-MCL-08 電阻率模型 43
圖 4.2-10 106-MCL-10 電阻率模型 44
圖 4.2-11 106-MCL-11 電阻率模型 44

圖 4.2-12 106-MCL-12 電阻率模型 44
圖 4.2-13 106-MCL-13 電阻率模型 45
圖 4.2-14 106-MCL-14 電阻率模型 45
圖 4.2-15 106-MCL-15 電阻率模型 45
圖 4.2-16 106-MCL-16 電阻率模型 45
圖 4.2-17 105-MCL-09 電阻率模型 46
圖 4.2-18 106-MCL-17 電阻率模型 46
圖 4.3-1 木屐寮舊測線反射震測探測結果 47
圖 4.3-2 木屐寮舊測線反射震測探測結果 48
圖 4.3-3 木屐寮舊測線反射震測探測結果比較 49
圖 4.3-4 白河一號井岩芯紀錄 50
圖 4.3-5 白河二號井岩芯紀錄 51
圖 4.3-6 白河場址鑽井柵狀剖面圖 52
圖 4.3-7 木屐寮測線 (17P-MCL-MCL01) 野外測線路徑 53
圖 4.3-8 木屐寮測線 (17P-MCL-MCL01) 野外施測幾何 54
圖 4.3-9 木屐寮測線 (17P-MCL-MCL01)移位前雙程走時剖面與解釋 55
圖 4.3-10 木屐寮測線 (17P-MCL-MCL01) 移位後深度剖面與解釋 56
圖 4.3-11 木屐寮測線(17P-MCL-MCL01) 移位前雙程走時剖面局部放大圖 57
圖 5.1-1 六甲斷層條帶地質圖及本年度重點施測區域 62
圖 5.1-2 楊志成等（2005）繪製之地質剖面(P-P')位置 63
圖 5.1-3 楊志成等（2005）繪製之地質剖面(P-P') 63
圖 5.1-4 前人地電阻探測結果 64
圖 5.2-1 六甲斷層測區地球物理測線分佈 65
圖 5.2-2 LC-10 電阻率模型 66
圖 5.2-3 LC-11 電阻率模型 66
圖 5.2-4 LC-01 電阻率模型 66
圖 5.2-5 LC-02 電阻率模型 67
圖 5.2-6 LC-03 電阻率模型 67
圖 5.2-7 LC-04 電阻率模型 67
圖 5.2-8 LC-05 電阻率模型 67
圖 5.2-9 LC-08 電阻率模型 68
圖 5.2-10 LC-09 電阻率模型 68
圖 5.2-11 LC-06 電阻率模型 68
圖 5.2-12 LC-07 電阻率模型 68
圖 6.2-1 大尖山斷層沿線地質 71
圖 6.2-2 斷層沿線的階地地形 72
圖 6.3-1 桶頭橋東側的階地剖面 73
圖 6.3-2 桶頭橋東側，大尖山斷層上盤河階，岩盤為大窩砂岩。 73
圖 6.3-3 大尖山斷層經桶頭橋北端，右側青灰色地層為晚期中新世大窩砂岩，左側

的土黃色地層為更新世頭嵙山層 74
圖 6.5-1 蜈蚣坪地區扇階堆積層 75
圖 7.2-1 第一期觀測電極配置圖 79
圖 7.2-2 本年度新設井與觀測電極配置圖 80
圖 7.3-1 大坡國小場址的構造示意圖 81
圖 7.3-2 井 4 至井 6 井下二維地電阻量測結果 82
圖 7.3-3 岩心照片彙整 83
圖 7.3-4 池上斷層多點式傾斜儀自動監測系統網頁畫面及資料判釋 84
圖 7.3-5 本年度一月、四月及六月的井下電極地電阻量測結果 85
圖 7.3-6 傾斜儀 2017-11-15 累積位移結果 86
圖 7.3-7 大坡國小場址使用地電阻儀進行井-地聯合量測結果 87
圖 7.3-8 井 6 不同深度之自然電位 105 年 6 月至 106 年 6 月量測結果。 88
圖 7.3-9 傾斜儀 105 年 6 月至 106 年 6 月南北向分量測結果 88

表目錄

表 1.2-1 交付項目表 11
表 2.3-1 建議之適用天線頻率與探測深度參考表 24
表 3.1-1 獅潭斷層前人施測資料整理 26
表 3.3-1 106 年獅潭斷層測區地球物理測線長度對照表 35
表 4.1-1 木屐寮斷層前人施測資料整理 38
表 4.3-1 木屐寮測線 (17P-MCL-MCL01) 施測幾何參數 54
表 4.4-1 105 年木屐寮斷層測區地電阻測線長度對照表 58
表 4.4-2 106 年木屐寮斷層測區地球物理測線長度對照表 58
表 5.1-1 六甲斷層前人施測資料整理 61
表 5.3-1 六甲斷層測區地電阻測線長度對照表 69
表 6.5-1 碳十四定年。 76
表 8.1-1 地球物理測線二度分帶座標 92
表 8.1-2 地球物理測線二度分帶座標 93
表 8.1-3 預期進度甘梯圖（Gantt Chart）：計畫進度控制及檢討之依據 94

第一章 計畫內容

1.1 整體計畫概述

(一) 研究目的、計畫背景、整體構想

地質法實施後，主管機關須配合地質敏感區的劃設，活動斷層的位置判斷，直接影響了地質敏感區的劃定，由於地質敏感區之劃定，將影響未來的土地開發行為；因此調查更精確的斷層位置，及了解斷層可能的影響範圍，成為目前階段活動斷層調查的主要重點。然而，台灣平原地區的人口稠密與城鎮開發成熟，使得活動斷層調查受到鑽井與挖溝土地取得不易，以及缺乏地表露頭等限制影響，無法取得較多的控制點，以更精確的劃設活動斷層敏感地質區帶；近年來由於近地表地球物理技術的進步，例如地電阻影像方法與透地雷達等，大大提高了對100 公尺深度範圍內調查的精度與解析度，因此，採取近地表地球物理精查的作法，配合有限的鑽井與挖溝控制點，將更為有效的取得斷層帶通過與分布之資訊。

因此，本計畫的目的主要為：

進行標的活動斷層的位置、可能影響範圍及誤差程度等之評估；因應地質法活動斷層地質敏感區的劃定。於活動斷層可能通過位置，以地球物理方式為主，進行斷層位置精進調查，將成果數化於至少 1/5000 比例尺精度之圖資上，並評估調查成果斷層位置、影響範圍與誤差程度，掌握斷層位置與可能影響範圍的分布情況。

配合地質鑽井資料，補充收集斷層長期的變動速率。嘗試評估每年至少一條標的活動斷層之長期滑移速率。

每年召開至少一次活動斷層調查技術與評估之教育訓練，本計畫執行之四年期程中，舉辦一場活動斷層調查技術與評估專家研討會議。

關於本計畫過去之執行成效，104 年完成三義斷層、玉里斷層、瑞穗斷層、旗山斷層等四條斷層之地球物理調查工作以及三義斷層長期變動(滑移)速率分析。105 年完成九芎坑斷層、梅山斷層、木屐寮斷層以及奇美斷層等四條斷層之地球物理調查工作以及嶺頂斷層長期變動(滑移)速率分析。藉由探測工作所得到之地球物理性質之不連續帶，協助標定未來地質鑽井位置與劃設活動斷層敏感區之參考。

本計畫之調查部分，預計分成二年，逐年分批針對獅潭斷層、木屐寮斷層、六甲斷層、屯子腳斷層、恆春斷層、嶺頂斷層等標的斷層，以對地下 50-100 公尺深度範圍內淺部解析度較佳的地電阻影像方法為主，進行標的活動斷層的補充精查工作。並視現地狀況，配合使用低頻透地雷達與淺層震測調查方法為輔，選擇適當地點，以橫跨先前調查結果所研判之斷層線作為地球物理測線施測為原則，

建立地下 100 公尺內活動斷層帶分布。

(二) 工作內容概述

本計畫預計以兩年時間，完成台灣地區 6 條重要活動斷層地球物理精查工作。地電阻施測方式預計採取地電阻剖面影像方法(Electrical Resistivity Imaging Method)，進行夾擠式施測，亦即視測區狀況，選擇適當地點先於研判之斷層線兩側進行背景岩層的地電阻施測，而後沿靠近斷層方向，逐步移動測線，直至位於斷層錯動帶之上，或夾擠出地層的不對稱變動界線為止。而於部分無法施作地電阻，或是可以進行淺層震測或透地雷達施測之地區，將使用淺層震測與透地雷達方法進行施測，以作為輔助判識地下地層的延伸與錯動情形。

第一年計畫預計完成獅潭斷層、木屐寮斷層及六甲斷層之地球物理施測工作，並嘗試進行大尖山斷層之長期滑移速率分析研究。

第二年計畫則預計針對屯子腳斷層、恆春斷層及嶺頂斷層進行地球物理施測工作，並嘗試進行米崙或屯子腳斷層之長期滑移速率分析研究。

(三) 計畫成果效益及其應用

本計畫預計運用淺層地球物理調查方式，提供標的斷層分布之控制點，並進一步評估標的斷層指定區域中之位置之精確程度、可能影響範圍與誤差程度。做成調查成果數值檔案與報告書。每年度並根據現有地質資料與鑽井資料之收集與整合，完成選定之標的斷層之斷層參數評估，完成至少 1 條斷層之斷層長期變動速率之評估，用以更新活動斷層之斷層參數表。預計將可提供更詳確知斷層帶分布狀況，增進對活動斷層近地表構造特性及分布位置之了解。每年度並舉辦 1 次的教育訓練，以提供計畫參與人員以及活動斷層調查相關人員、團體，認識目前國內外活動調查先進技術與最新成果之介紹。全期計畫之二年期程過程中，舉辦至少 1 次之國內學界與工程界之學術研討會，增進國內學界與工程界相互交流與資訊交換。

1.2 本年度計畫概述

(一) 本年度近地表地球物理調查工作項目

本研究計畫第三年度之工作預計以獅潭斷層、六甲斷層以及木屐寮斷層為調查標的。完成位於地質調查所標示之區域內之地球物理調查工作。預計於上述斷層地區，將視現場狀況，完成包括地電阻測線、淺層震測測線，以及透地雷達測線至少 6000 公尺以上。其中地電阻測線及透地雷達測線總長至少在 5000 公尺以上，淺層震測總長則至少在 1000 公尺以上。

1. 獅潭斷層

獅潭斷層又稱紙湖斷層，屬於逆衝斷層，呈北北東走向，由苗栗縣獅潭鄉竹木村向北延伸至三灣鄉大河村的上十股，長約 12 公里(圖 1.2-1)（大江二郎，1936），獅潭斷層為斷層面向西傾約 70~85 度的逆移斷層，此斷層在地表並未造成地層的錯移，而是在上福基砂岩中的錯移現象。位在苗栗縣百壽與獅潭東方，南端由大東勢開始向北延伸經小東勢、圳頭、北寮、紙寮下至上十股，約呈北北東走向，地形特徵為一系列具線形的鞍部及小丘；上十股以北地區，地表破裂以開裂為主斷續出現，直至峨嵋一帶仍有地裂現象（大塚彌之助，1936；大江二郎，1936；顏滄波，1985）。關於地球物理調查方面，余水倍等（1977）與葉義雄等（Yeh et al, 1984；1985）綜合微震資料認為獅潭斷層目前仍有相當顯著的地震活動。許華杞（1985）利用大地測量配合 1935 年的地震震波資料認為新竹-台中大地震中主要有南、北兩段地震斷層，以北段斷層（即獅潭斷層）為主，斷層面為北 23 度東走向的逆移斷層。王乾盈等（Wang, 1991；1994）由淺層反射震測，指出斷層的位置與地貌特徵相吻合，並認為地震的橫向壓力使垂直的上福基砂岩向上擠出，因而推擠其上的沉積物，導致地表的破裂。由地球物理探勘資料研判，斷層在地下可能截切不同的地層，斷層造成的移距約數十公尺。由以往的開挖調查則顯示，在地表淺處斷層的移距約 5 公尺，超過 1935 年地震所造成的移距，因此獅潭斷層可能有多次的活動紀錄。獅潭斷層列為第一類活動斷層。獅潭斷層測線沿線有許多出露良好的農地或旱田，在社寮北端的山坡地上甚至有斷層錯動的跡象，至於是否為獅潭斷層的延伸則為因此今年地球物理探測的目的，主要為驗證獅潭斷層北段的出露狀況，並補充獅潭斷層在上福基砂岩中的錯移現象。因此地電阻測線於此區的設計，可以最大測深 50 公尺為目標，即能了解本區斷層或岩層接觸淺部之延伸分布，單一地電阻陣列長度可以設計在 200-300 公尺左右，如此則可以利用本區內的林地與旱田進行地電阻影像探勘。預計將以 10 米電極間距，進行至少 200 公尺長之地電阻施測。與經過初步篩選後，大致可以在此區域由北至南進行數條東西向的跨越斷層線之地電阻控制線施測，每條控制線由 200 公尺以上長度之地電阻夾擠測線組成，預計可進一步精查獅潭斷層之淺部構造。

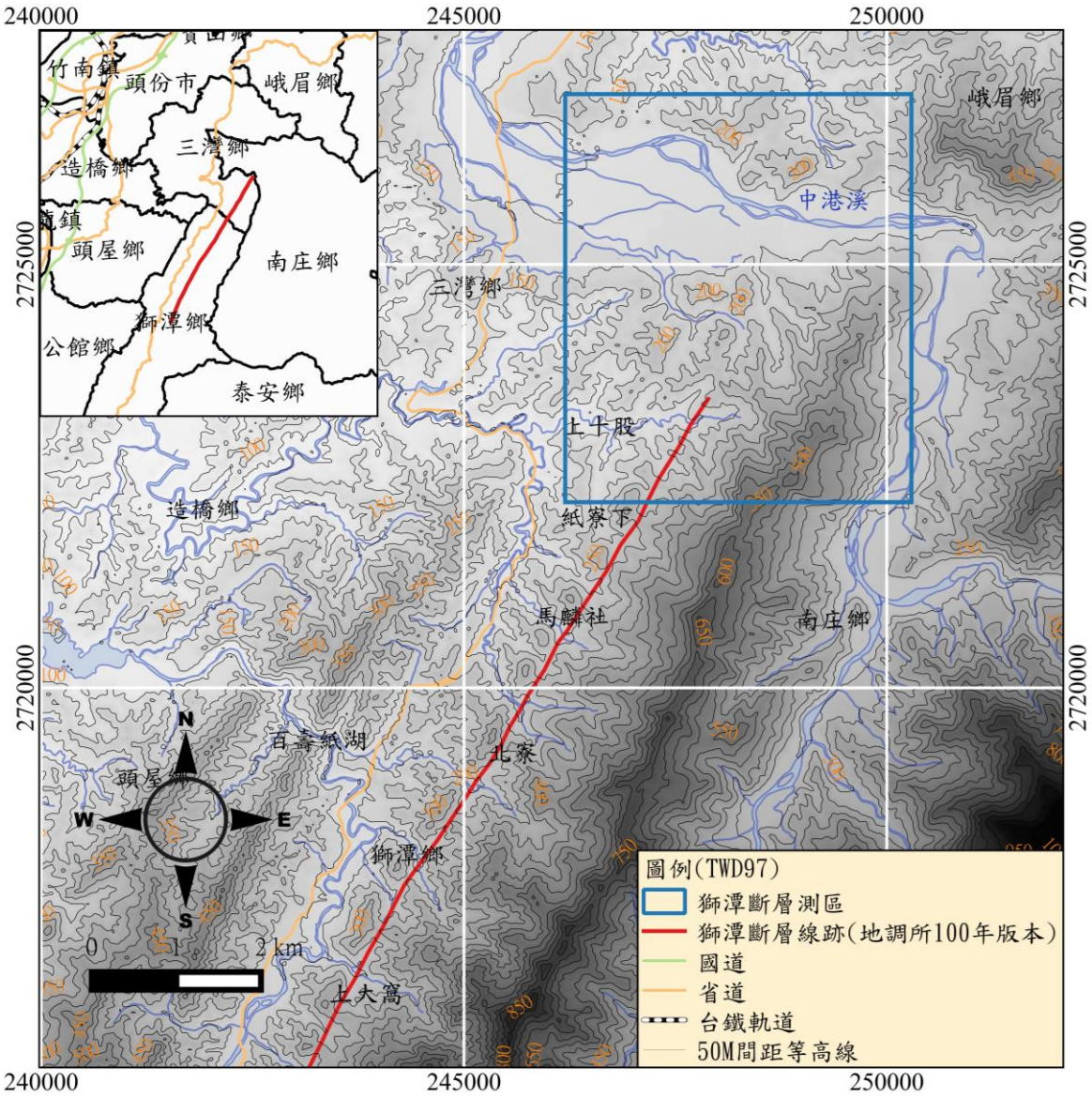


圖 1.2-1 測區內之獅潭斷層線跡分布

2. 木屐寮斷層

木屐寮斷層為位於嘉南平原與丘陵交接帶的一個逆移斷層，斷層沿線一帶出露的地層包括崁下寮層、二重溪層、六雙層、階地堆積層與沖積層，斷層帶走向呈北北東向，由台南縣白河頭崎內向南延伸至六重溪北岸(Sun, 1970, 1971；石再添等，1986；林啟文等，2000；林啟文，2007；張徽正，1998；陳文山，2004)，目前被暫列為第二類活動斷層(林啟文等，2007)。木屐寮斷層最早為 Sun (1970)於航照判釋中發現白河東方有一長約 7 公里呈北北東走向的線形構造，認為存在一斷層構造(圖 1.2-2)。石再添等(1986)判斷斷層跡可能經過左岸河階，由白水溪的河流流向與小崖呈正交的現象，研判該處有斷層之存在。

由於此斷層在去年執行計劃時已經良好成果，因此今年地球物理探測的目的，主要為補充木屐寮斷層在其他區域的出露狀況，並補充全新世地層與更新世六雙層之接觸形式。因此地電阻測線於此區的設計可以最大測深 50 公尺為目標，即能了解本區斷層或岩層接觸淺部之延伸分布，單一地電阻陣列長度可以設計在 200-300 公尺左右，如此則可以利用本區內的林地與旱田進行地電阻影像探勘。預計將以 10 米電極間距，進行至少 200 公尺長之地電阻施測。與經過初步篩選後，大致可以在此區域由北至南進行數條東西向的跨越斷層線之地電阻控制線施測，每條控制線由 2-3 條 200 公尺以上長度之地電阻夾擠測線組成，預計可進一步精查木屐寮斷層之淺部構造，以及釐清更新世地層與全新世階地礫石層之接觸關係。

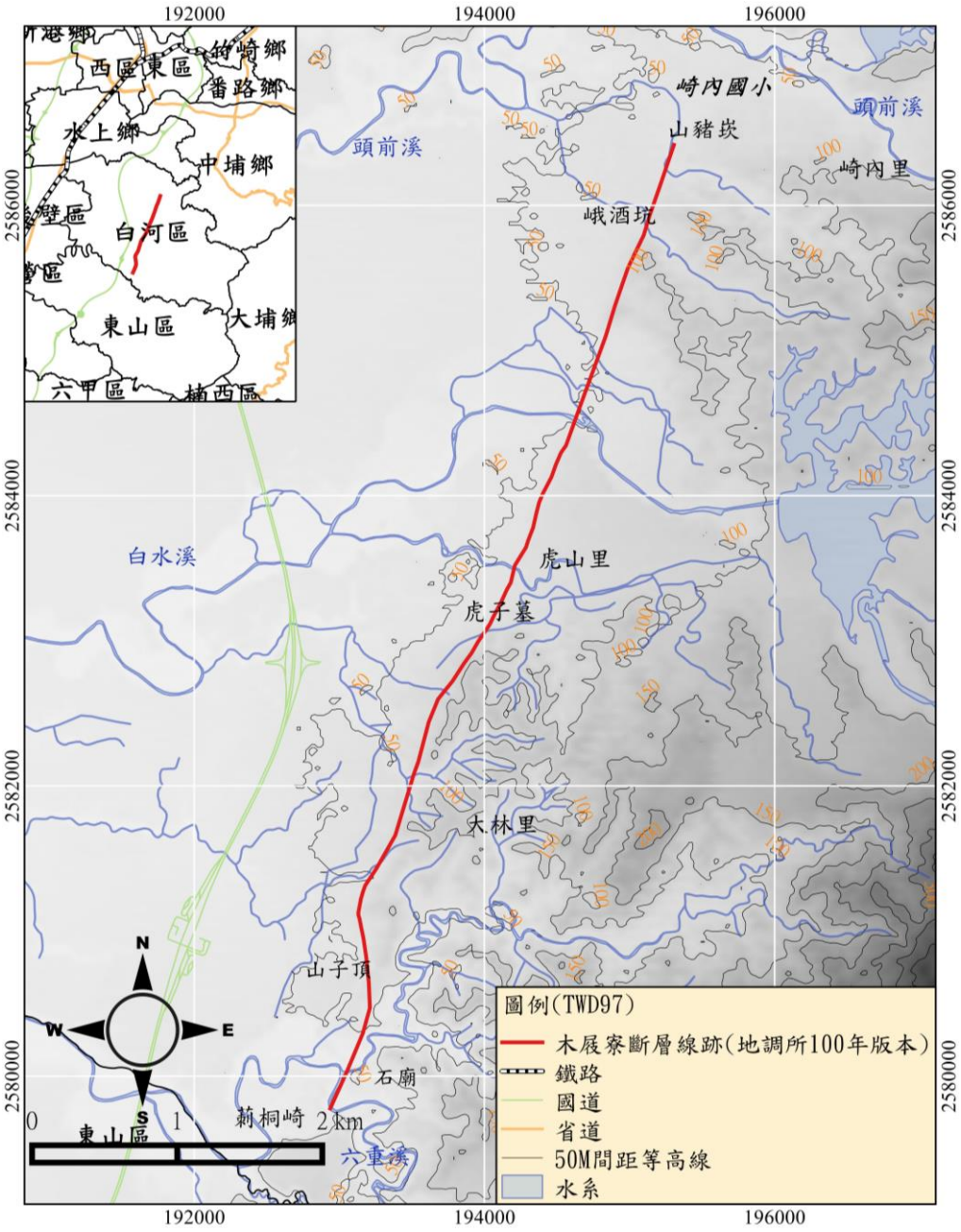


圖 1.2-2 測區內之木屐寮斷層線跡分布

3. 六甲斷層

六甲斷層為逆移斷層，在地形上呈現明顯的線形，由鑽探結果證實六甲斷層的存在，在近地表處為一向東傾斜 30 度的斷層，呈北北東轉南北走向，由台南縣白河鄉頭崎內里的六重溪南岸向南延伸至台南縣官田鄉社子村，長約 21 公里(圖 1.2-3)（張徽正等，1998；林啟文等，2000；楊志成等，2005）。石再添等（1986）在六甲東方 3 公里檨仔腳與果毅東方 2 公里的新吉庄，發現更新世六雙層向西引曳的構造，傾角約 50~90 度，斷層西側較低之小丘群與東側較高之丘陵，在地層分布和谷系排列都相類似，可能屬於同一地形面，因此推定本斷層為東側相對上升，西側相對下沉之逆斷層，崖高約 50 公尺。另在龜重溪南方的旭山村階地有 10 公尺高的斷層小崖。但此斷層可能尚未穿出地表，而斷層的形成方式可能是沿著向斜軸部發育的逆移斷層。由野外露頭、鑽井及定年資料的分析結果，六甲斷層的長期垂直滑移速率約為 5.5~6.3 公厘/年，長期水平滑移速率約為 11.0~12.7 公厘/年。六甲斷層確認截切更新世晚期地層，在地下淺部截切全新世地層，暫列為第一類活動斷層。

因此今年地球物理探測的目的，主要為驗證六甲斷層的出露狀況，並補充全新世地層與更新世六雙層之接觸形式。因此地電阻測線於此區的設計可以最大測深 50 公尺為目標，即能了解本區斷層或岩層接觸淺部之延伸分布，單一地電阻陣列長度可以設計在 200-300 公尺左右，如此則可以利用本區內的林地與旱田進行地電阻影像探勘。預計將以 10 米電極間距，進行至少 200 公尺長之地電阻施測。與經過初步篩選後，大致可以在此區域由北至南進行四條東西向的跨越斷層線之地電阻控制線施測，每條控制線由數條 200 公尺以上長度之地電阻夾擠測線組成，預計可進一步精查六甲斷層之淺部構造。

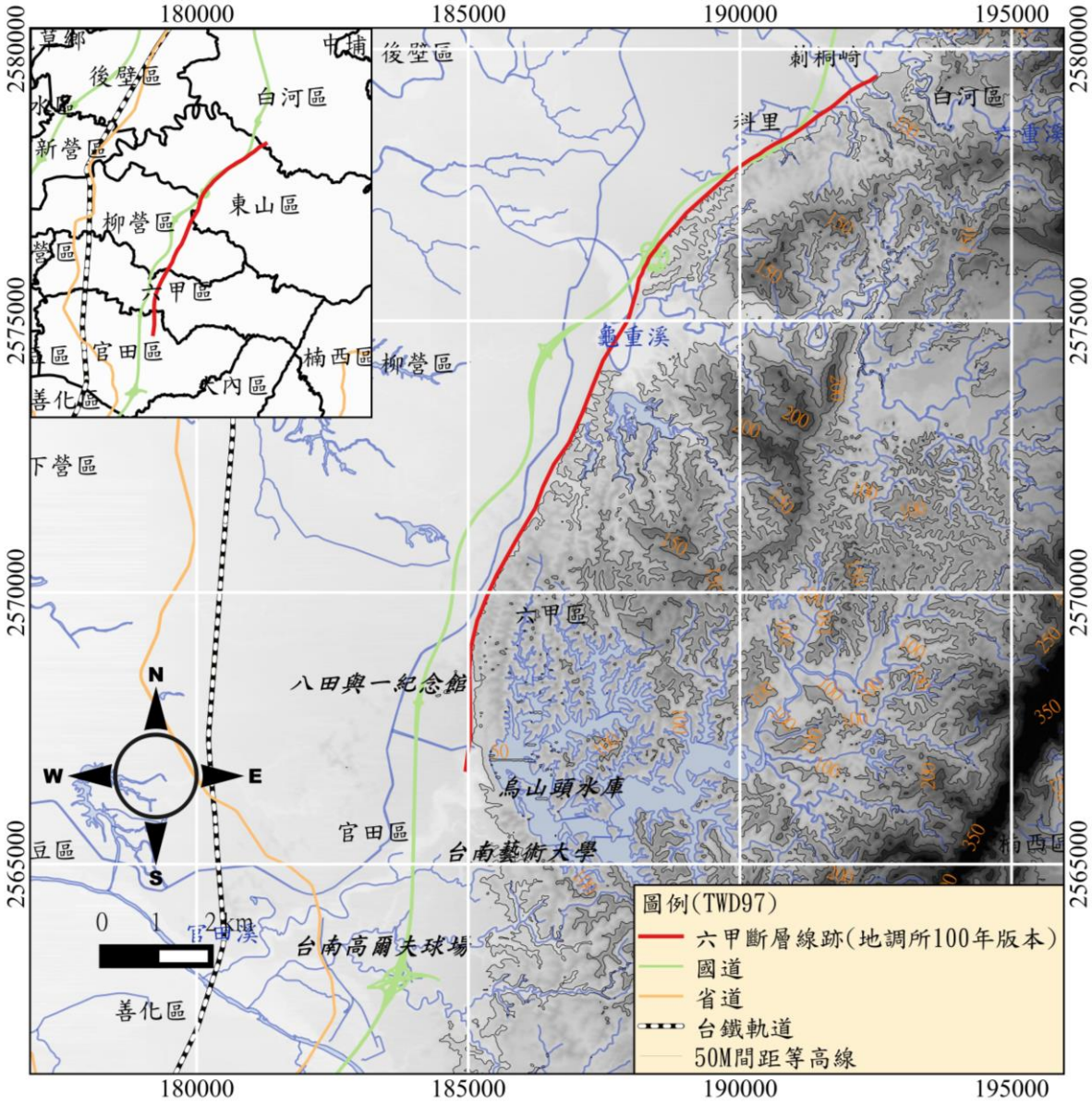


圖 1.2-3 測區內之六甲斷層線跡分布

(二) 斷層長期變動(滑移)速率分析評估

整體研究過程的調查方法與步驟如下，(1)野外地質調查與地形資料分析，(2)地質鑽探資料分析，(3)討論與解釋。各種調查的執行方法與工作進行步驟如下：

1. 野外地質調查：本團隊首先必須針對斷層跡進行精查，最重要的勘察依據為斷層兩側地層差異與近期活動斷層地形。由於斷層跡經常被第四紀沖積層覆蓋，或因人為開發造成地形改變，出露地表的斷層露頭非常有限，且無法精確訂定斷層跡位置。因此，本計畫的調查方式，先依據可收集到之光達資料，作為前述「斷層兩側地層差異」與「近期活動斷層地形」的依據，判斷斷層跡位置。若在逼近範圍內，被第四紀沖積層或人造物覆蓋時，則進行微地形分類，如崖錐堆積層、河流沖積層、土壤層、道路、鐵道、建築物等等。最後依據野外勘察與鑽探結果，依照斷層位置分布範圍之程度分級為「觀察」、「隱伏」、「推測」，說明研判斷層位置的精度。分級依據如下，「觀察」：得於野外觀察斷層露頭，或得以利用斷層上下盤岩層差異，逼近出斷層位置。「隱伏」：指斷層位置為薄層沖積層覆蓋，無法直接於野外觀察，其位置已透過地下調查之方法確認，其圖上位置為斷層之垂直或延伸投影位置。「推測」：指斷層位置為厚層沖積層覆蓋，無法直接於野外觀察，其位置難以透過地下調查之方法確認，其圖上位置為依學理推斷之斷層位置。斷層精確位置測繪利用五千分一比例尺地形圖作為野外調查之工作底圖。

2. 地質鑽探資料分析：本計畫將配合地質調查所目前之淺層地質鑽探工作，進行岩芯分析，並分析近地表地球物理工作完成之資料，協助提出未來之可能鑽探與溝槽剖面挖掘調查位置。分析之重點為以下兩項調查工作，(a)斷層跡位置，(b)提出可能的古地震研究的排鑽位置或溝槽剖面挖掘調查位置。斷層跡位置勘查在大面積沖積層覆蓋區域時，可以利用地球物理調查資料，配合有限的鑽探岩芯分析資料，縮小研判斷層跡的範圍。而為推求長期滑移速率，須先進行古地震研究。排鑽的資料可獲得淺部斷層面傾角，與斷層跡位置，若由斷層上下盤地層對比，可估算斷層的長期滑移速率；尤其斷層下盤大都被厚層的全新世沖積層覆蓋，如新城斷層、新化斷層、新竹斷層、米崙斷層、三義斷層、大甲斷層、梅山斷層、山腳斷層北段、旗山斷層、利吉斷層、恆春斷層、屯子腳斷層等。

3. 討論與解釋：本研究將建立鑽探岩芯的地層柱狀圖，紀錄岩性、沉積構造、剪切構造、岩層位態，同時進行可能的碳定年樣品採樣。之後，判讀岩芯的地層層位與岩性，以及沉積環境解釋。若有兩孔以上鑽井，定年資料完成後，須作地層對比，解讀斷層的活動性。

本研究過程中長期滑移速率之推算，決定於是否有適當的鑽探岩芯，可供有效的分析以及定年樣本採樣。預期可能的困難有以下數點：(a)依照過去經驗，顯示斷層跡位置大都位於農業用地與建物，若缺乏事先之地球物理資料，往往難以選擇適當地點進行鑽探工作。(b)鑽探岩芯並未穿越斷層帶，或均位於斷層帶之一側。由於用地取得與過去資訊有限，鑽探岩芯也可能未穿越研判之斷層帶，或均位於斷層之一側，因此缺乏有效資料，計算斷層之滑移速率。(c)斷層兩側全新世沉積物都為礫石層或岩盤，難以取得定年樣本與有效判識岩芯的差異度。若面臨上述問題時，無法取得適當資料，解決途徑建議經由甲方同意另尋其他重要的斷層，或選擇其他年度規劃的斷層先行調查研究。

(三) 活動斷層之地下掃描時序監測分析研究

本年度團隊將進行活動斷層之地下掃描時序監測分析研究，密切且連續地自動監測活動斷層帶的大地自然電位與地下電阻率變化情形。本計畫預期將為國內首度針對高度活動斷層在活躍滑移下，頻繁監測其大地電位與斷層面材料電阻率的研究首例。在第一年計畫中已建置一站擁有三十二波道之發射電流極與四十八波道之電場接收極的監測站。監測站之電阻率剖面掃描頻率，基本上至少可達到每兩星期掃描一次的密度，並視斷層活動性改變之需要可每天掃描一次橫跨斷層帶之電阻率剖面。自然電位則可以至少 15 赫茲的採樣頻率，連續紀錄背景大地電場，甚至在臨震階段，近距離接觸斷層帶，達到捕捉臨震訊號之可能性。

(四) 預期成果及具體績效

本計畫第一年(106)預期成果如下：

1. 獅潭斷層、木屐寮斷層與六甲斷層的斷層位置圖數化修正點以及控制點位置檔（比例尺至少為 1/5,000），並就調查成果評估斷層位置之可能分布範圍，以及斷層帶分布之可能誤差範圍評估。
2. 大尖山斷層的長期滑移或變動速率，最後一次活動時間，及活動斷層再現週期的求取研究。
3. 預期在國際地科期刊及國際會議上發表相關研究成果，成為國際上研究活動斷層的重要參考。

(五) 交付項目

1. 獅潭斷層、木屐寮斷層與六甲斷層的斷層位置圖數化修正點以及控制點位置檔（比例尺至少為 1/5,000），並就調查成果評估斷層位置之可能分布範圍，以及斷層帶分布之可能誤差範圍評估。
2. 獅潭斷層、木屐寮斷層與六甲斷層測區之地電阻影像剖面與資料分析、透地雷達剖面與資料分析，測線總長度在 5000 公尺以上。
3. 木屐寮斷層之淺層震測剖面，資料分析測線總長度在 1000 公尺以上。

4. 大尖山斷層之長期滑移速率推估研究。
5. 提供地球物理測線與施測結果的數位電子檔案(含位置的GIS電子檔案)。
6. 舉辦本研究之教育訓練一場。
7. 重要活動斷層構造特性調查2期-活動斷層近地表構造特性調查成果報告書30本，報告書光碟10份，資料光碟5份。
8. 提供成果報告書內圖片「300dpi以上清晰圖檔(電子檔)」以及計畫參與人員運用計畫執行成果所發表之相關著作電子檔。

表 1.2-1 交付項目表

編號	工作完成項目	章節	附註
1.	獅潭斷層區域野外施測地電阻測線6條，總長度1249公尺。	第三章	目前完成地電阻測線總長度共5733公尺;透地雷達測線總長度共725公尺，契約書規定地電阻及透地雷達測線總長度需達5000公尺以上。
2.	木屐寮斷層區域野外施測地電阻測線8條，總長度1533公尺。	第四章	
3.	六甲斷層區域野外施測地電阻測線11條，長度2951公尺。	第五章	
4.	獅潭斷層區域野外施測透地雷達測線5條，總長度725公尺。	第三章	
5.	木屐寮斷層測區野外施測淺層震測測線1條，總長度1460公尺。	第四章	契約書規定測線總長度需達1000公尺以上。
6.	大尖山斷層之長期滑移速率推估研究	第六章	
7.	池上斷層之地下掃描時序監測分析研究。	第七章	
8.	舉辦三義斷層透地雷達教育訓練	附件	

第二章 計畫執行方法及進行步驟

地質法實施後，主管機關須配合地質敏感區的劃設，需劃設活動斷層敏感區，以提供主管機關進行國土規劃之參考依據。由於過去一般活動斷層劃設之調查工作，均依據野外地質露頭與地形、溝槽與地質鑽探等資料進行，配合少數的大展距地球物理施測，得到初步的資料。但因觀測井與槽溝為單點或小區域之數據，鑽井地點受用地取得與經費之限制影響，雖然可以得到相當高解析度的實證資料，卻無法密集布設。而過去所進行之大展距地球物理施測，目的在於了解大深度、大範圍的斷層帶延伸分布，卻因此在近地表呈現較低的解析能力，無法配合鑽井與地質槽溝露頭，由密集之實證資料與地球物理的空間延伸資料，判斷出斷層帶在近地表線跡通過分布之確切範圍，容易造成爭議。因此，本計畫之地球物理施測工作，乃為計畫使用多種過去已經使用在近地表(50-100 公尺深度範圍內)地球物理調查之成熟技術，包括高密度地電阻影像剖面方法、低頻透地雷達技術、以及淺層震測技術，配合既有的調查資料，配合解析度的要求設計測線與施測工作，進行高解析度的地表地球物理調查。

2.1 地電阻剖面影像方法

2.1.1 地電阻調查原理

一般影響地下地層電阻的因素有岩性、礦物組成、含水量、孔隙率、孔隙水組成及溫度等，當地層層序變化造成有明顯的層間電阻率對比，或是欲探測地下不同電阻率目標之存在，例如隧道、埋藏金屬物、未爆彈(UXO)等，就適用於地電阻方法作為探測工具。地電阻法之測勘原理，乃利用直流電或低頻交流電流經由一對電極(A、B)通入地下，於地下建立人工電場。並利用另一對電極(M、N)測量電場在 M、N 間之電位差(如圖 2.1-1)，而據此計算地層的視地電阻率(Apparent Resistivity)。

但往往視電阻率並不能代表地下地層的真實電阻率(True Resistivity)，而是表示在對應之電極排列下，所有小於此深度的電性地層的綜合效應，而要求得地下地層的真實電阻率及深度需經過反演計算（逆推）的軟體處理才可求得，並繪出地層的電性分布。

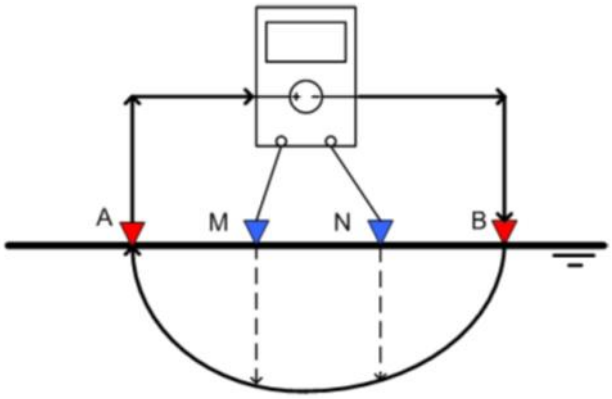


圖 2.1-1 地電阻探測儀器示意圖

地電阻量測可以藉由改變上述電極排列方式以及施測之位置與順序，以測得不同解析度、不同測深範圍之地電阻率剖面。常見的地電阻測勘的電極排列法甚多，各有其探測上的優點與限制，野外施測所選定使用的方法，則視欲探測目標及施測地點的地形而異。一般基本之常用電極陣列有：施蘭卜吉排列（Sch1umberger Array）、溫奈排列（Wenner Array）(圖 2.1-2)、雙偶極排列（Dipole-dipole Array）(圖 2.1-3)及雙極排列（Pole-pole Array）等。

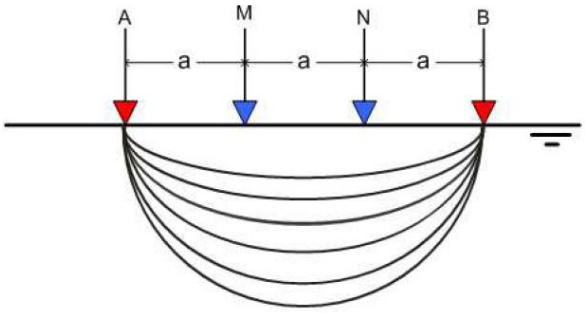


圖 2.1-2 溫奈排列（Wenner Array）示意圖

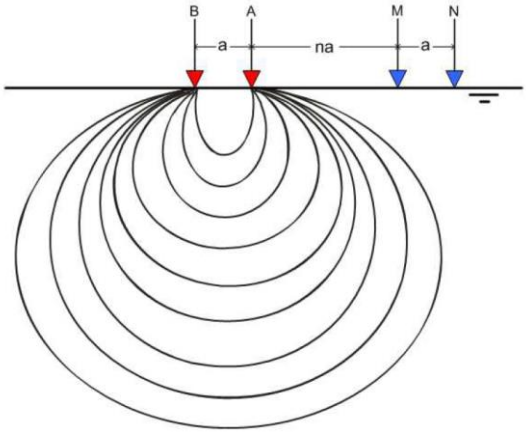


圖 2.1-3 雙偶極排列（Dipole-dipole Array）示意圖

目前一般現地地電阻測量方式則是運用上述之電極排列原則，於地表沿一直線測線，順序改變電極間距與電極位置，如此可以測得沿測線之不同深度、不同位置之視電阻率分布，此種方法稱之為(二維)地電阻影像剖面法(Electrical

Resistivity Imaging Method)。由於地電阻影像剖面法需逐次移動電流與電位之電極，因此施測上往往極為耗費時間。對於中小範圍的環境監測與地下測勘，可以於地表以一定間距布設電極，運用地電阻儀器內建之自動調變頻道功能，依預先選定之順序，逐次選用不同位置之四處電極分別作為電流與電位極，如此可大幅減少移動電極之時間，本計劃採用施蘭卜吉排列（Sch1umberger Array）與溫奈排列（Wenner Array）兩種對層狀構造解析度較佳的電極陣列，另外由於可以運用反饋疊加訊號，因此可減少訊號中之雜訊並提高解析度與增加施測深度，大幅提高影像解析度。

2.1.2 野外施測儀器

本工作所採用的儀器為德國 Lippmann 公司之 4pointlight 10W 地電阻探測儀及 ActEle 主動電極系統，最多可串接 256 個主動電極(圖 2.1-4) ，進行快速、高密度之地電阻影像剖面量測。本研究所採用的反演算數值軟體為 AGI 所開發出之二維地電阻影像逆推反算程式 EarthImager2DTM。EarthImager2DTM 之反演算程式可根據各種不同電極排列，與施測位置順序等資料，自動反推計算出半球面空間中的二維地電阻模型，並可根據已知資料如透地雷達測勘資料等，設定起始模型，最後產生地電阻影像剖面模型。

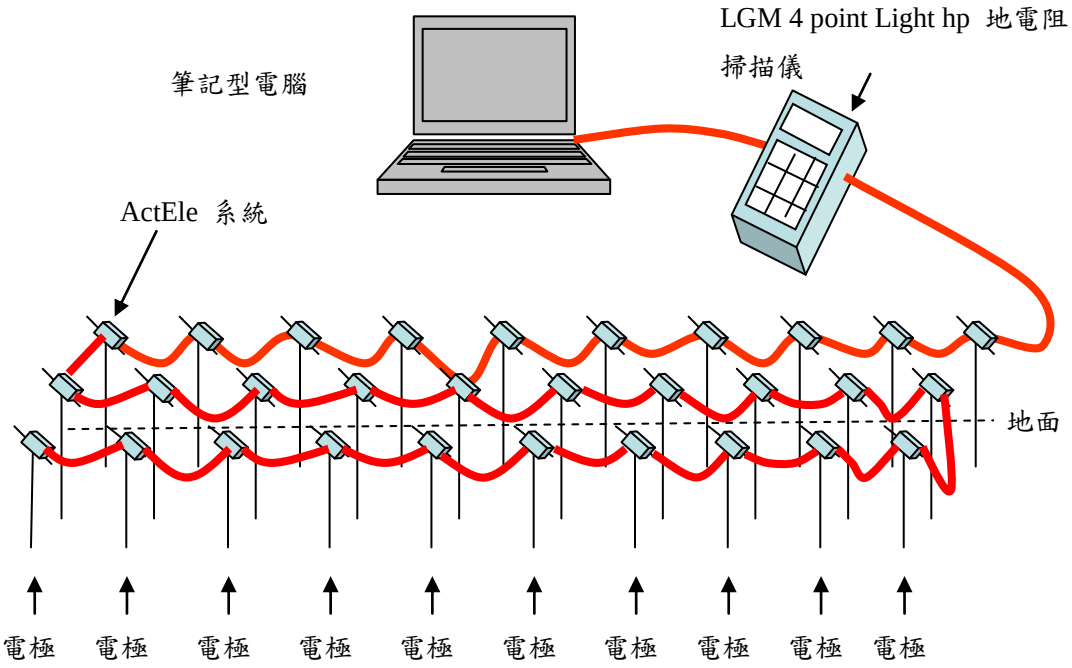


圖 2.1-4 地電阻剖面影像探測示意圖

2.1.3 野外測線設計

1. 獅潭斷層：

主要規劃獅潭斷層線跡經過處，進行 6 條以上垂直斷層線跡之地電阻測線或於斷層兩側以夾擠測線形式進行調查，補強舊有資料之間空點，惟規劃測線之處無適當場址供進行地電阻施測時，將無法取得適當資料，解決途徑建議經由甲方同意另尋其他重要的斷層，或選擇其他年度規劃的斷層先行調查研究。

2. 木屐寮斷層：

測線選擇在跨過斷層線跡進行 6 條以上之短間距精密地電阻量測或於斷層兩側以夾擠測線形式進行調查。若規劃測線之處無適當場址供進行地電阻施測時，無法取得適當資料，解決途徑建議經由甲方同意另尋其他重要的斷層，或選擇其他年度規劃的斷層先行調查研究。

3. 六甲斷層：

本研究將在六甲斷層線跡經過處，進行 6 條以上東西向跨斷層之大展距地電阻量測或於斷層兩側以夾擠測線形式進行調查。惟規劃測線之處無適當場址供進行地電阻施測時，無法取得適當資料，解決途徑建議經由甲方同意另尋其他重要的斷層，或選擇其他年度規劃的斷層先行調查研究。

2.2 淺層震測調查方法

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，被視為直接探勘法。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，屬於地球物理探勘法中解析力較高的一種。但是，反射震測法儀器複雜，施測困難，價格昂貴，資料處理需較高技術等因素，過去只在高成本高利潤之探油工業始得採用。

至 1990 年代因電腦科技一日千里，儀器價格大幅調降，且開發出更多功能，致使淺層反射震測法得以發展。淺層反射震測法係於 1990 年之後，利用電腦科技製造出物美價廉的震測儀器，將傳統探油工業使用的反射震測法加以調整，應用於地工或環境地質問題的淺部構造調查。由於探油的需求，反射震測法是地球物理方法中較為先進、發展較為完整的方法，曾為全世界找到大量的油藏，因此淺層反射震測法應亦擁有相當的實用潛能，縱使其價格比折射法稍高（約高 50%），但若應用得宜，它提供的資料是其他地物方法所難以比擬的。目前淺層反射震測法已經可以解析到 20 公尺或更淺的地層，最深也可達到地表下 1000 公尺以上，因探測目標較淺，頻率較高，此法被稱為「高解析度淺層反射震測法」（High resolution shallow reflection seismics）。與傳統探油工業之反射震測法比

較，淺層反射震測法之尺寸要縮小 10 倍，價格則縮小 100 倍。

2.2.1 淺層反射震測原理

反射震測的原理是在地表附近放置一人工震源，其所產生的震波往地底下傳播，當遇到地層特性不連續（聲波阻抗的不連續面），震波部份的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。

反射震測之原理與攝影很相似，故俗稱為地下構造照相術。一般攝影時，係利用光為介質來攝取影像，但對於地下的構造則利用震波為媒介。構成反射震測法主要有四個部分：(1)震源：照亮地層、(2)震波反射：被照物回光、(3)震波接收：攝入底片、(4)資料處理：洗相片。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，並往前移動成串之受波器，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。

2.2.2 反射震測法布線方式

端點展開 (震源在 192 個接收器之一端)施測參數為：

測站間距：2 公尺，震源間距：8 公尺，近站支距：40 公尺（或依施測情況改變），重合數：24，低切頻率：40Hz，時間取樣：0.5 msec，時間總長：1,024 msec。

端點展開可拉大震源至受波器的距離範圍，相對的增加探測的深度，當需要有較大深度範圍之資料時，可以採用。中間展開則適用於地形起伏較大，構造較為複雜的區域，也因此依狀況配合採用 24 重合的施測法，就淺層反射震測而言，這是比較高級的做法。鑒於本研究已是精測的工作，對信號品質需有較高的要求，高重合的施測方式值得採用。

2.2.3 反射震測法之精度

反射震測法之精度，可分為水平軸（水平距離）及垂直軸（深度）。垂直深度之精度與震波波長有關，本計畫採用時間取樣率為 0.5 msec，可取出 1000Hz 之信號，由於地表沖積層或台地堆積層之影響，本島一般淺層反射震測之有效頻率很少高於 300Hz（故 0.5 msec 取樣率已足夠），主要頻率集中在 60Hz 至 150Hz 之間，取 120Hz 為準。震波速度在淺部（100 公尺以上）、中深部（100 至 300 公尺）及深部（300 公尺以下），分別約為 1200m/sec、1500m/sec 及 2000m/sec，故主要波長為 10m 至 16m，一般取波長之 1/4 為深度軸之解析度，也就是在深

度之精度可到達 2.5m（淺部）至 4m（深部）。至於水平軸之精度也與 Fresnel zone 有關，也就是地下一反射點，假設為 50 公尺深之目標物，波長為 10m，其 Fresnel zone 約為 32m,，本計畫採用測站間距 2m，其產生剖面之 CDP 間距為 1m，水平軸已足夠解析。

2.2.4 野外施測儀器

高解析度淺層反射震測是以探測地表下 1000 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：(1)高頻震源、(2)高頻受波器、(3)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，才可能得到一足堪使用的震測剖面。本計畫採用之儀器分述如下：

1. 震源：Mini Vib 震盪震源車。本小組在野外常用的震源有震盪震源車、撞擊式震源、炸藥、榔頭等，依照不同的地質狀況選用不同類型的震源。本研究中使用的震源是兩台 Mini Vib 震盪震源車，訊號較撞擊式震源強，對環境的影響又較傳統炸藥式震源小，送出訊號頻段為 30-200Hz。
2. 受波器：40Hz 受波器。地下地層就像是一個低通濾波器，震波在岩層中傳播時，高頻訊號會因衰減而失去，相對的低頻的雜波就強許多（地面波）。本研究所使用的受波器為 OYO 或 Mark 出產，其響應頻率為 40Hz 以上，可將低頻之地面波雜訊適度的衰減抑壓。
3. 震測儀：NZ 震測儀與 GEODE（24 波道分散記錄器）所組成的「分散式震測記錄系統」，本研究將採用 192 波道數。一部好的震測儀有下列幾項基本功能：a.較大的動態範圍，可提高訊號記錄的有效位數。b.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。c.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。本研究採用的震測儀為 NZ 震測儀，該震測儀記錄器為 24 位元，可有效收錄微弱之反射震波信號。
4. 沿移開關：在施測時使用此裝置，可保持一固定的測線展開，增加野外施測的效率及一致性，並使 CDP 資料處理較為一致，品質也可相對改進。
5. 其他：包括有啟動器（trigger）、啟動器傳輸線、電纜線（cable）、皮尺、橡膠錘等等。

2.2.5 野外工作雜波測試步驟

當到達一新測區時，必須先做雜波測試（noise test），以瞭解這個測區反射訊號以及各種雜波的特性，找出最佳的施測參數。所謂雜波測試係在測區範圍內，找一典型區域，以 1 公尺為測站間距，布置 96 個測站（96m 範圍），再將震源

安排在離開第 1 個測站 1m、97m、193m、289m 及 385m 之位置，施炸後，將此 5 個剖面連接起來，可以模擬一寬達 480m，幾乎連續之大的炸點剖面，分析此炸點剖面可以瞭解該測區震波信號之特性。通常需在測線展開之兩端都進行同樣之工作，以獲得雙方向之資料，用於判斷較佳之施測方向，或者測線展開方式。

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，決定之速度亦愈佳。若地下地層傾斜，則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：

1. 近站支距（near offset）：也就是震源至第一個受波器之距離，其越靠近震源，地面波也越強，所以經由雜波測試可決定一最佳近站支距，以避開地面波的干擾。但近站支距也不能太大，以免失去極淺部之資料。
2. 遠站支距（far offset）：也就是震源至第 192 個受波器之距離，此距離愈遠，能探測到的深度愈大，而且對需要展距來協助呈現之速度分析，亦愈為有利。不過，遠站支距亦不能大至收不到信號的程度，其實，因測站數固定，近站支距加測站間距已決定了遠站支距。遠站支距並不被視為獨立之參數。
3. 測站間距（receiver interval）：即每一測站間之距離。在本調查中，每一測站將祇安插 1 個受波器。對淺層震測而言，因範圍太小又需要較高頻率，並不適合使用受波器陣列。
4. 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，壓抑雜訊。當要求較高資料品質時，需要使用較高的重合數。本研究使用的重合數為 24。
5. 取樣率（sampling rate）：取樣率決定資料解析度以及檔案的大小。

2.2.6 野外測線選取

若測線選取不好，在施測時所得的資料品質會受到很大的影響，所以測線的選取與資料品質息息相關。測線選取需注意下列幾點：

1. 根據前人相關研究和地質圖尋找構造存在的位置，另配合最新的地形圖進行現場勘查，找出合適的測線位置。
2. 施測時要注意背景雜訊是否過大，避免受其干擾。背景雜訊如：工廠運作、人車經過等所產生的噪音，若是無法避免的話，則應該考慮夜間施測，避免這些人為雜訊。
3. 盡量避開高壓電線與電台發射站，測線位在馬路上的時候，需注意兩側的水溝以及地下的管線，不要直接在上面施測。
4. 測線的直線展開最好可以滿足施測的需求，且地形的起伏不宜過大，以免震

波失散。

2.2.7 資料處理

資料處理的目的是要把雜訊去除，忠實地將反射訊號表現出來，在本研究中可以分為三大部分：

1. 重合前：這步驟是把野外資料轉入工作站，並建立幾何關係，做靜態修正（含高程修正及風化層修正），並執行許多濾波的工作，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 60Hz 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，把一些不需要的雜波濾掉，以提高訊號雜訊比（S/N）。其主要任務是要將雜訊盡量的壓抑，並加強反射訊號。
2. 重合中：此一步驟主要包括速度分析及殘餘靜態修正，包括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。
3. 重合後：此步驟，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。

資料處理的目的在於將野外收集到的資料，經由各種程序處理，將不良的雜訊去除，並加強所要的反射訊號。但是反射震測結果好壞，常取決於野外資料品質，在野外收集資料時就必須注意，我們不能期望利用資料處理來挽救品質過於不良的資料（即所謂 garbage in, garbage out）。室內資料處理時，需要細心來做，包含幾項重點：(1)建立施測幾何時，要特別小心，因為幾何一旦建錯，再好的資料處理最後的震測剖面也一定不對，(2)濾波次數不宜太多，一般約為 3 至 4 次，因為當濾波時相對得也會破壞到地層反射訊號，(3)適時運用靜態修正，因地表多為風化層所覆蓋，使得反射訊號到達的時間有誤差，可利用此方法修正回來，(4)在速度分析上必須要精確，因為淺層對速度要求較敏銳，必須提供一個較佳速度，可以加強信號疊加後之呈現能力。

2.2.8 資料解釋

1. 構造解釋

震測資料的構造解釋主要利用震波反射時間、同相性和速度等特徵的運動學訊息，把震測時間剖面轉化爲深度剖面，通過繪製地質構造圖進行構造解釋，釐清岩層之間的界面、斷層和褶皺的位置和方向。

震測資料的構造解釋主要包括以下幾個步驟。

(1) 相關數據體瀏覽。

(2) 層位標定：在通過井位之震測剖面上標定井點內某一地層界面，並確定井旁震測反射的地質含義。若在沒有井位的控制地區，會選擇剖面上連續性較強的反射訊號當作主要的地層界面，命名為地層 1、地層 2 等進行繪製區域型的地層標定。

(3) 層位追蹤(波的對比): 運用震波傳遞的原理，分析研究時間剖面，識別真正來自地下各反射界面的反射波，且在一條或多條剖面上識別屬於同一界面的反射波。

(4) 震測剖面的地質解釋：根據反射波在震測剖面上的特徵，結合各種典型構造樣式類比與分析，利用解釋剖面上信號的連續性所反映的各種地質現象及其相關的震波響應與成因機制等(如背斜、斷層、地層尖滅等構造現象) 。

(5) 速度分析：根據鄰近井位資料繪製區域性時深轉換的速度函數。

(6) 繪製地下構造成圖：根據研究區內震測剖面解釋，繪製地下某個層次的構造起伏變化圖即震測地下構造圖。

(7) 構造分析：根據地質學、構造地質學等理論，對構造圖上封閉類型、斷層要素以及斷裂系統的劃分作進一步解釋。

2. 震測岩性解釋和震測地層解釋

震測岩性解釋主要利用動力學訊息(震波的振幅、頻率、極性等) ，結合層速度、鑽井等資料提供岩性參數，如流體成分、厚度、速度、密度、孔隙度等。震測的岩性訊息，除了縱波反射資料外，還需有橫波資料，橫波的速度和反射係數與縱波聯合應用，可得到多種岩性的訊息。可以說，縱、橫波聯合測勘是岩性震測的重要手段。

利用震測剖面上反射波的特徵，如信號的連續性、反射波的內部結構和外部幾何形態等，可以提供非常有用的地層訊息，這是 20 世紀 80 年代發展起來的一種分析技術，稱之爲震測地層學。20 世紀 90 年代發展起來的層序地層學，通過對震測層序和震測相的分析，建立地層架構等，恢復盆地的古沉積環境，結合震波的動力學訊息，對整個盆地進行岩性預測。

由於本研究僅施測一條震測剖面作為斷層追蹤用，不必繪出地下構造等深圖與詳細的層序的層分析。

2.3 透地雷達法

2.3.1 透地雷達原理

透地雷達探測方法係透過一組雷達天線向地底目標物發射一個頻率在 10 MHz 至 1GHz 之間之電磁波脈衝，藉由偵測並處理電磁波在地下岩石或土壤內傳遞之反射與折射後所接收之電磁波波速與振幅，來了解地底之地質構造與岩石或土壤之物理或水文性質。原理類似於飛航在用的雷達相仿，差別在於透地雷達的頻率較高，其頻率通常介於 10 MHz～1500 MHz 的電磁波，將其發射天線與接收天線朝地下做施測。利用天線以一定的頻率來會震盪產生的電磁波脈衝進行探測，而此種電磁波由發射源的偶極 (Dipole Source)向外傳布，並隨距離衰減。雷達波射入地層或是建物體，由於遇到物質的介電常數(Dielectric Constant)不同的關係，所產生的反射波訊號進行分析，依據訊號的波形、強度、雙程走時等參數來推斷地層或是建物的空間位置、形貌、電性與幾何態達到探勘之目的。透地雷達探勘系統共可分四部份(如圖 2.3-1)，分別為：

1. 發射天線(Transmitter)
2. 接收天線(Receiver)
3. 控制台(同步器 Synchronizer、 頻閃器 Stroboscopic converter)
4. 電腦(Computer)等

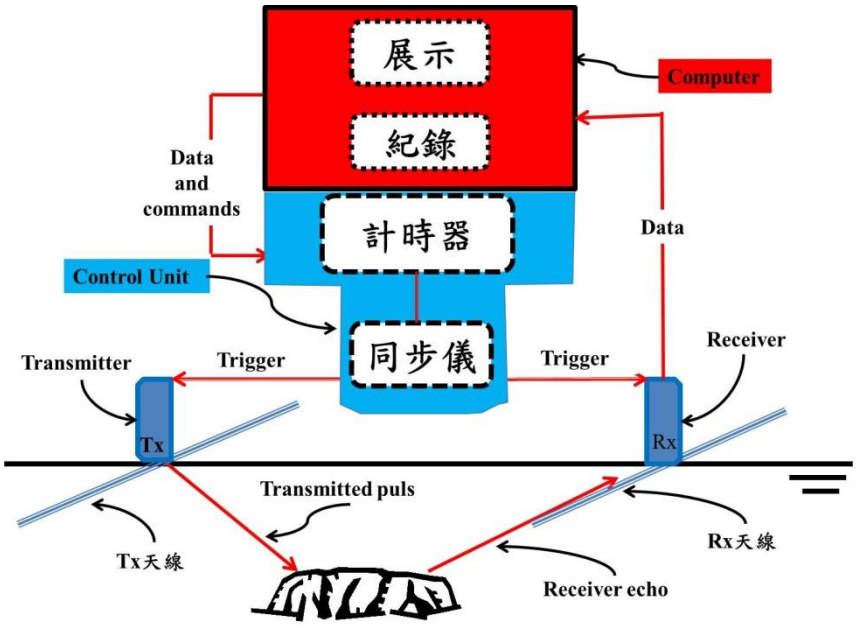


圖 2.3-1 透地雷達系統組成示意圖

Davis 與 Annan(1989)研究指出，對於一般之未飽和岩石與土壤，其電導率

均在 10mS/m 以下。因此電磁波在地底之波速可以表示為：

$$v \approx \frac{c}{\sqrt{k_a}} \quad (1)$$

而電磁波的振幅衰減率則可以表示為

$$\alpha \approx \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\frac{\sigma}{\sqrt{k_a}}. \quad (2)$$

在式(1)中，參數 c 為真空中之光速，可以表示為：

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = 3 \times 10^8 m/s \ , \quad (3)$$

式(1)至式(3)中，ε_0, μ_0 分別為真空介電傳導率(8.85×10^{-12} F/m)以及磁通率($4\pi\times10^{-7}$ H/m)，ε 為介質之介電傳導率，σ 為介質之電導率。k_a 則為介質之介電係數，可以表示為：

$$k_a = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (例如空氣中\ k_a=1，而在水中\ k_a=80) \quad (4)$$

在式(1)與式(2)中，雷達波之波速決定於通過介質之介電係數，而雷達波之振幅衰減率則與介電係數與通過介質之電導率有關。一般而言，在孔隙介質中之含水量與粘土含量若增加，將造成介質之介電係數與導電率增加。減緩電磁波之傳遞速度並增加訊號之衰減，因此造成透地雷達探測深度與距離之限制。另外，若電磁波通過一介電係數顯著變化之物質介面，除波前進之方向產生折射之外，也將產生反射波反射回發射源位置。根據此一原理，一般之透地雷達施測方式可以分為三種主要方式(圖 2.3-2) (1)反射法(Reflection)，(2)共同中點法(Common Mid Point, CMP)，(3)透射法(Transillumumination)。

一般的商用透地雷達系統，可依據欲測勘之地層構造深度上，以下列之經驗公式判斷適用之最高天線頻率(Annan, 1996):

$$f < \frac{1200\sqrt{K_a - 1}}{D} MHz \quad (5)$$

式中 f 代表天線之中間頻率(Center frequency)，D 為欲探測之深度，而 K_a 為地層之介電係數。

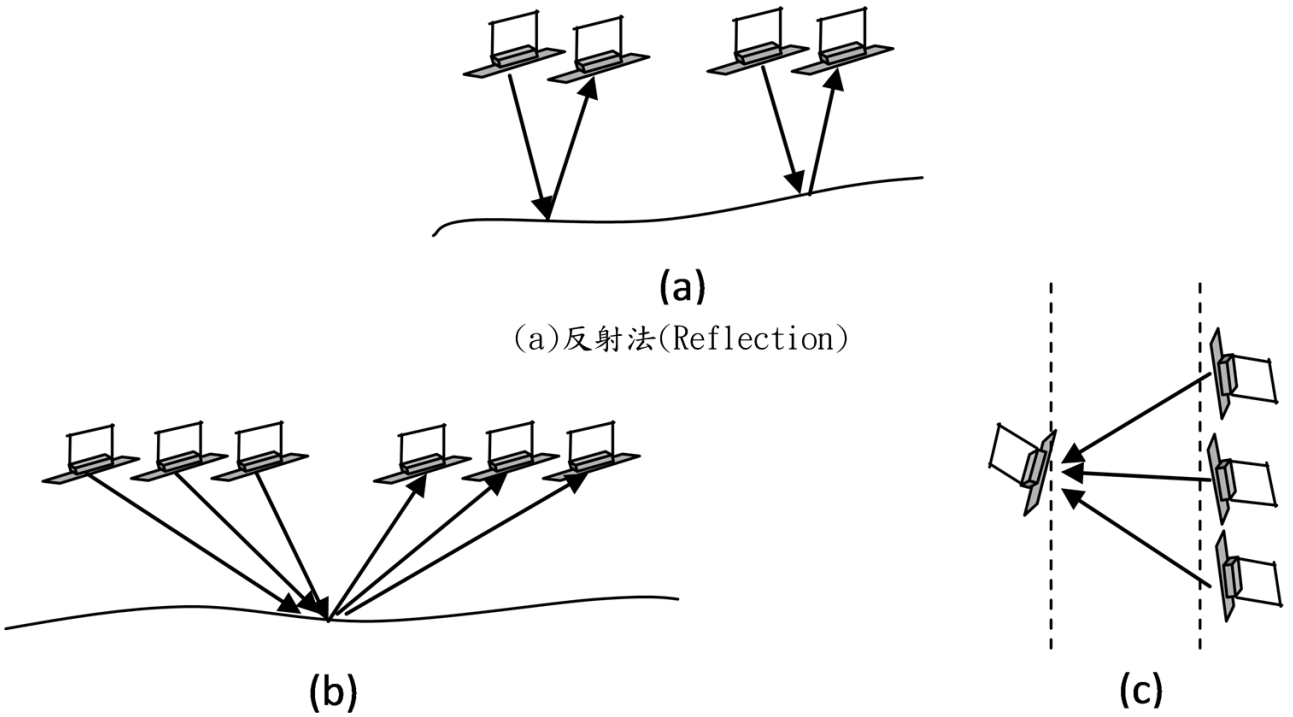


圖 2.3-2 透地雷達測勘方法天線排列方式

式(5)表示，欲探測之深度越大，所需之天線頻率應越低以取得足夠之能量回波。除此之外，由於天線頻率/電磁波長影響物體之解析度，因此最高天線頻率應另考量回波解析度，而透地雷達天線頻率與回波解析度之關係，可以下式估算(Annan, 1996):

$$f > \frac{30}{\sigma L\sqrt{K_a}}\,MHz \qquad (6)$$

上式中，L 為欲解析之物體空間長度。

因此，同時考量上述因素，表 2.3-1 為一經整理後所建議之適用天線頻率與探測深度參考表(Annan, 1996)

表 2.3-1 建議之適用天線頻率與探測深度參考表

探測深度(m)	天線中間頻率(MHz)
0.5	1000
1.0	500
2.0	200
7.0	100
10.0	50
30.0	25
50.0	10

由上表判斷，若欲以透地雷達之探測資料驗證地電阻之探測結果，透地雷達之有效探測深度應在 10~20 公尺以上，因此本研究選用 100MHz 天線進行一般探測(估計探測深度約 5~7 公尺)外，另採用低頻透地雷達(天線之發射設定頻率 38~75MHz)系統進行地下探測，以涵蓋 10~20 公尺深之地下探測範圍，並與地電阻資料進行驗證比對。

2.3.2 野外測線設計

本研究計畫預計採用固定天線展距之反射法進行透地雷達施測工作，測點移動間距預計為 1 公尺，各野外測線惟斷層位置若在高度開發或都市化之位置，或者規劃測線之處無適當場址供進行透地雷達施測時，無法取得適當資料，解決途徑建議經由甲方同意另尋其他重要的斷層，或選擇其他年度規劃的斷層先行調查研究。

上述的三種地球物理探測法有不同的測深，依待測目標的深度與大小而定，一般來說，透地雷達法測深在 10 公尺內；地電阻測深約在 100 公尺以內，而淺層反射震測則在數公里以內。測深越深的，解析度越差。端看目標與上覆沉積物的厚度來決定採用哪一種方法施測。

第三章 獅潭斷層

3.1 地質概述

獅潭斷層接近南北向分佈，位於苗栗縣獅潭鄉紙湖(百壽)東方，由大東勢向北延伸，經小東勢、北寮、紙寮至上十股，長約 15 公里(林啟文等，2000a)。在斷層性質上為一逆移斷層呈北北東走向，斷層面向西傾斜約 72-85 度。斷層平行於關刀山砂岩構成的小山脊(Bonilla, 1975)，潘國樑(1985)則認為斷層發生在上福基砂岩中，經侵蝕形成斷層鞍部，關刀山砂岩則形成斷側丘。由於斷層平行地層，故在磁力測勘時兩者所產生的磁力效應不易區分，難以藉此推斷斷層位置及性質(林敏一，1985)。王乾盈等(Wang et al., 1994)由反射震測結果指出地震的橫向壓力使鉛直層態的上福基砂岩向上擠出，推擠其上覆沉積物而導致地表破裂（表 3.1-1）。

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(2000a)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。

關於斷層的活動性大江二郎(1936)及大塚彌之助(1936)指出此斷層為 1935 年 4 月 21 日新竹-台中地震所伴生之地震斷層，該次地震使斷層西側隆起 3 公尺長約 12 公里，於鳥居敬造與吉田要(1931)的地質圖中並未有此斷層顯示獅潭斷層可能是由該次地震才形成之斷層。然而潘國樑等(1983, 1985)於野外發現礫石層下之層位落差為 4.7 公尺，另於百壽附近之斷層帶有一長 15 公尺之反斜斷層小崖，崖南端的河岸剖面中位於礫石層下的上福基砂岩層落差為 6.4 公尺，均比 1935 年地震所產生的落差為大，顯示此斷層在 1935 年前曾有活動。此外葉義雄等(1985)由重力資料估算此斷層之垂直位移量為 84 公尺亦說明斷層在 1935 年前曾活動過，微震測勘資料顯示目前此斷層仍有相當顯著的地震活動(余水倍等，1977)。

關於地球物理探測方面，94 年度由工研院團隊分別於馬麟社及上大窩兩地區共計完成 2 條長度分別為 315 公尺(05E-STN-ML01)及 235 公尺(05E-STN-DW01)之地電阻測線，測線結果如圖 3.1-2、圖 3.1-3，馬麟社地區可見約在近地表約十公尺的深度，出露一高阻的電性地層可對應沖積層；電阻率介於 30-70Ohm-m 間可對應與上福基砂岩；電阻率介於 10-30 Ohm-m 間可對應與關刀山砂岩；電阻率小於 10 Ohm-m 則可對應為東坑層，其中存在許多電性的不連續面，可與獅潭斷層線跡比對（表 3.1-1）。

表 3.1-1 獅潭斷層前人施測資料整理

前人施測資料	文獻來源	結果及解釋
震測	王乾盈等(Wang, 1991；1994)	由淺層反射震測，指出斷層的位置與地貌特徵相吻合，並認為地震的橫向壓力使垂直的上福基砂岩向上擠出，因而推擠其上的沉積物，導致地表的破裂。
地電阻	董倫道、陳文山、李奕亨(2005)，地震地質調查及活動斷層資料庫建置計劃-地球物理探勘計劃(4/5)。	本計畫分別於獅潭斷層南、北兩側之大窩與馬麟社兩地，各規劃一條長度分別為 315 公尺與 235 公尺之地電阻影像剖面測線。 馬麟社地區(ST-ML01E)：本測線地電阻影像剖面可明顯觀察到在上福基砂岩層中，電阻率有顯著錯移現象，推測此即為獅潭斷層位置。斷層延伸至地表位置位於測線 60 公尺處，與地表發現之斷層露頭位置大致相符。 大窩地區(ST-DW01E)：本測線地電阻影像剖面可明顯觀察到在上福基砂岩層中，電阻率有顯著錯移現象，推測此即為獅潭斷層位置。斷層延伸至地表位置位於測線 135 公尺處。

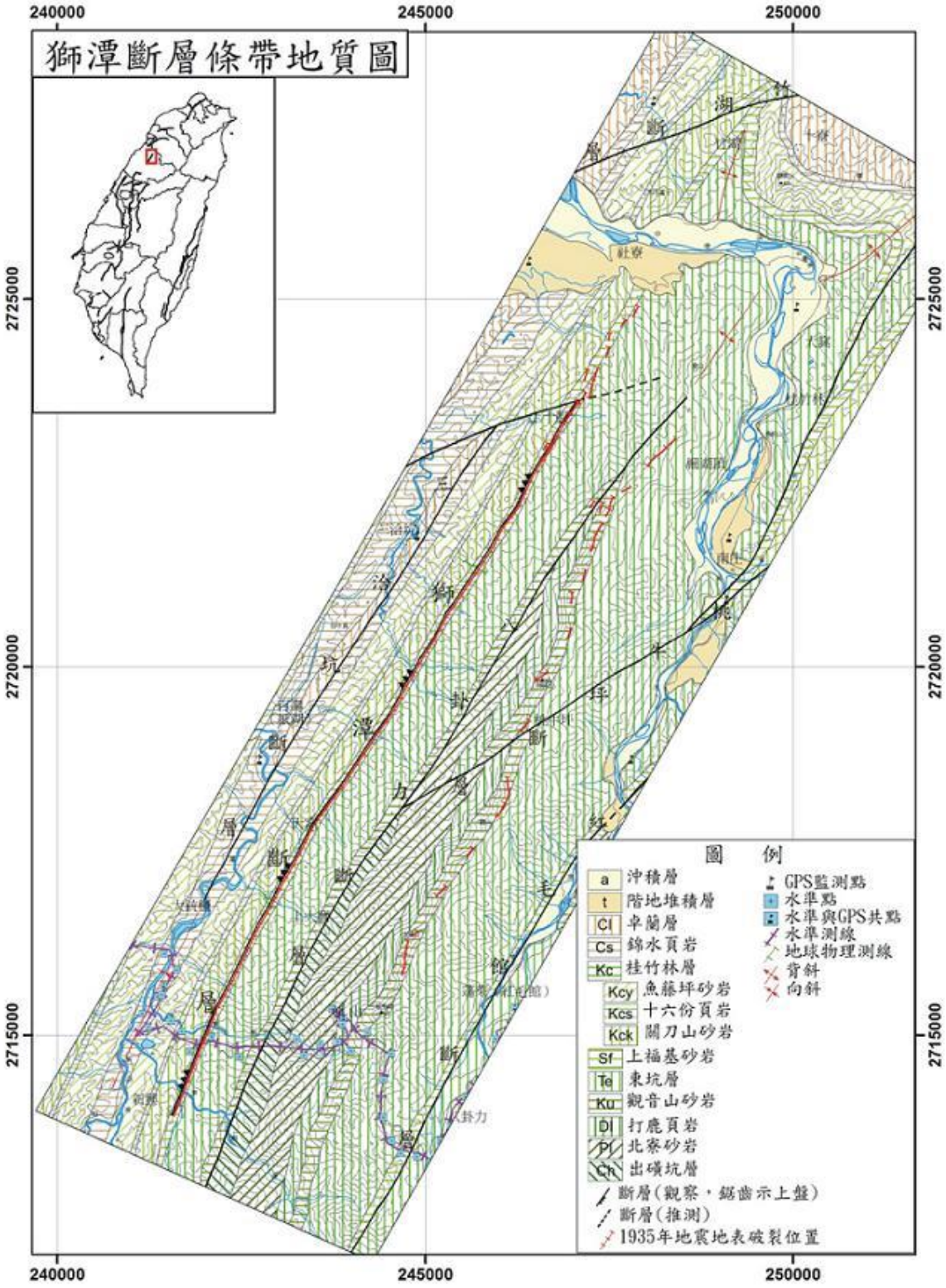


圖 3.1-1 獅潭斷層條帶地質圖及本年度重點施測區域(TWD67，摘自地調所)

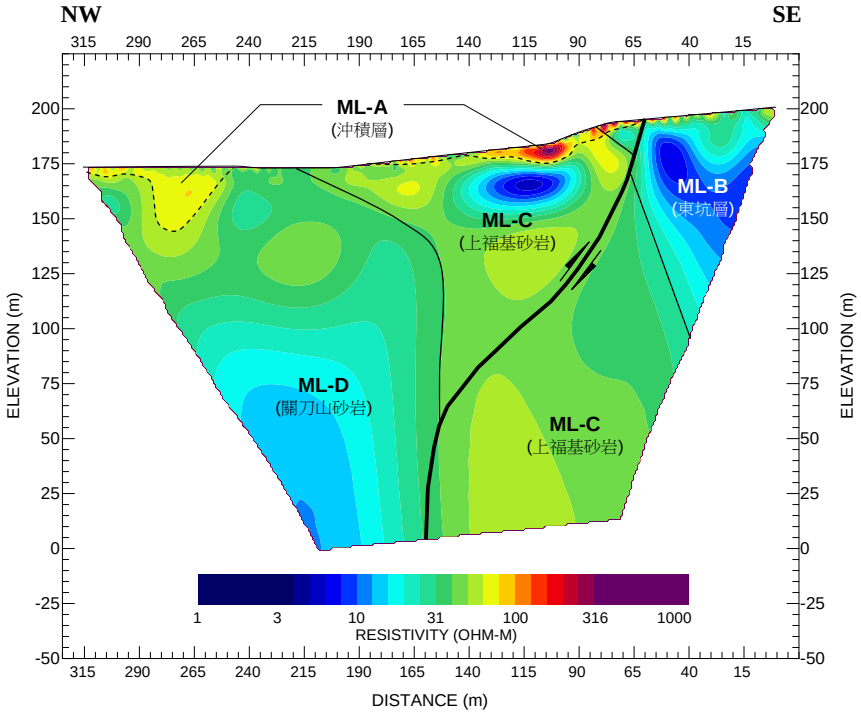


圖 3.1-2 獅潭斷層馬麟社地區測線 05E-STN-ML01 地電阻影像剖面圖(董倫道等，2005）

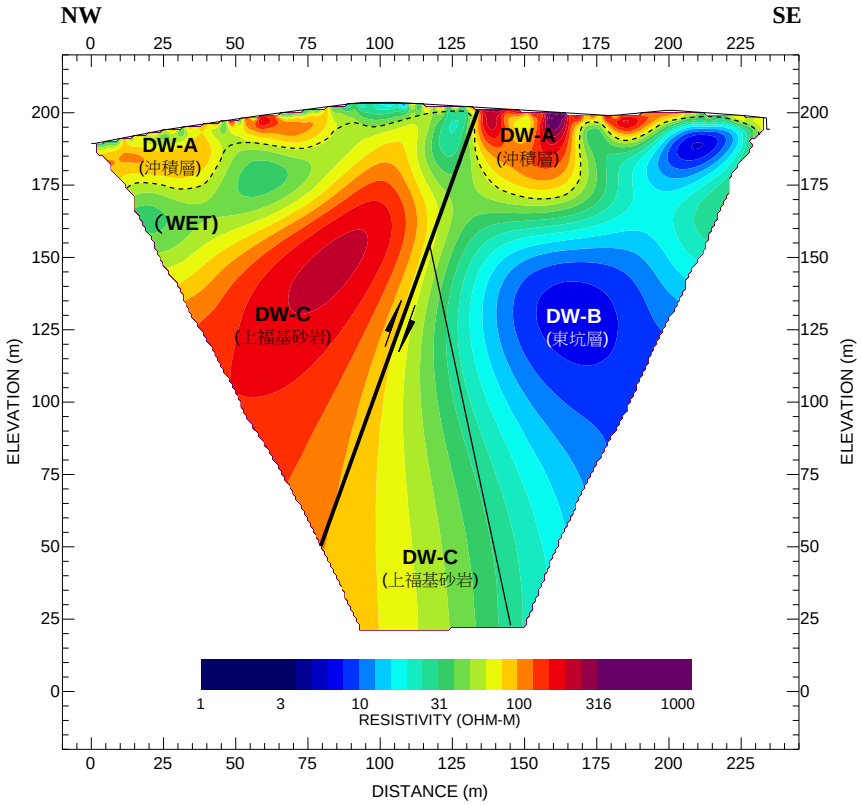


圖 3.1-3 獅潭斷層上大窩地區測線 05E-STN-DW01 地電阻影像剖面圖(董倫道等，2005）

3.2 獅潭斷層調查工作

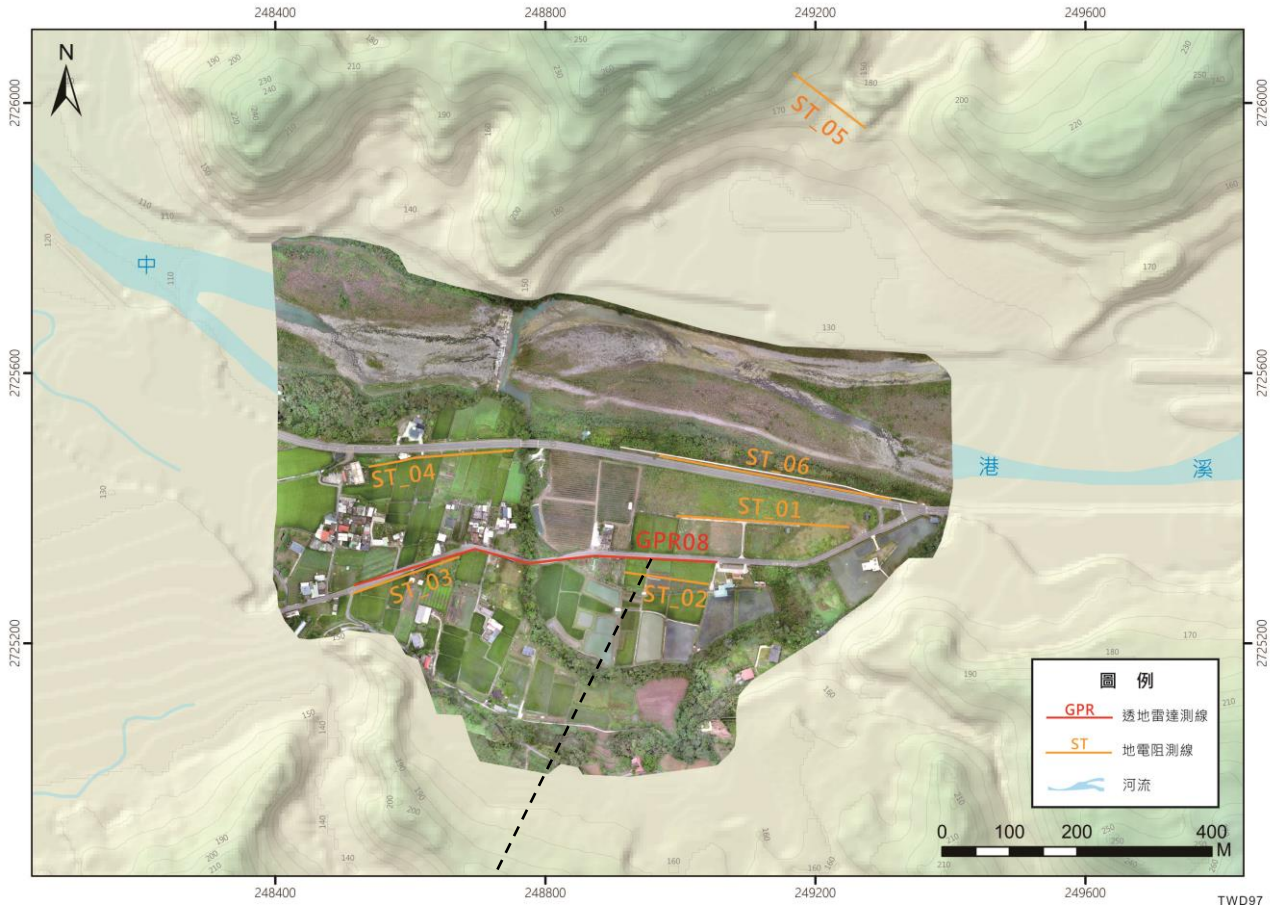


圖 3.2-1 獅潭斷層測區地球物理測線分佈(北段)，黑色虛線代表電性不連續面

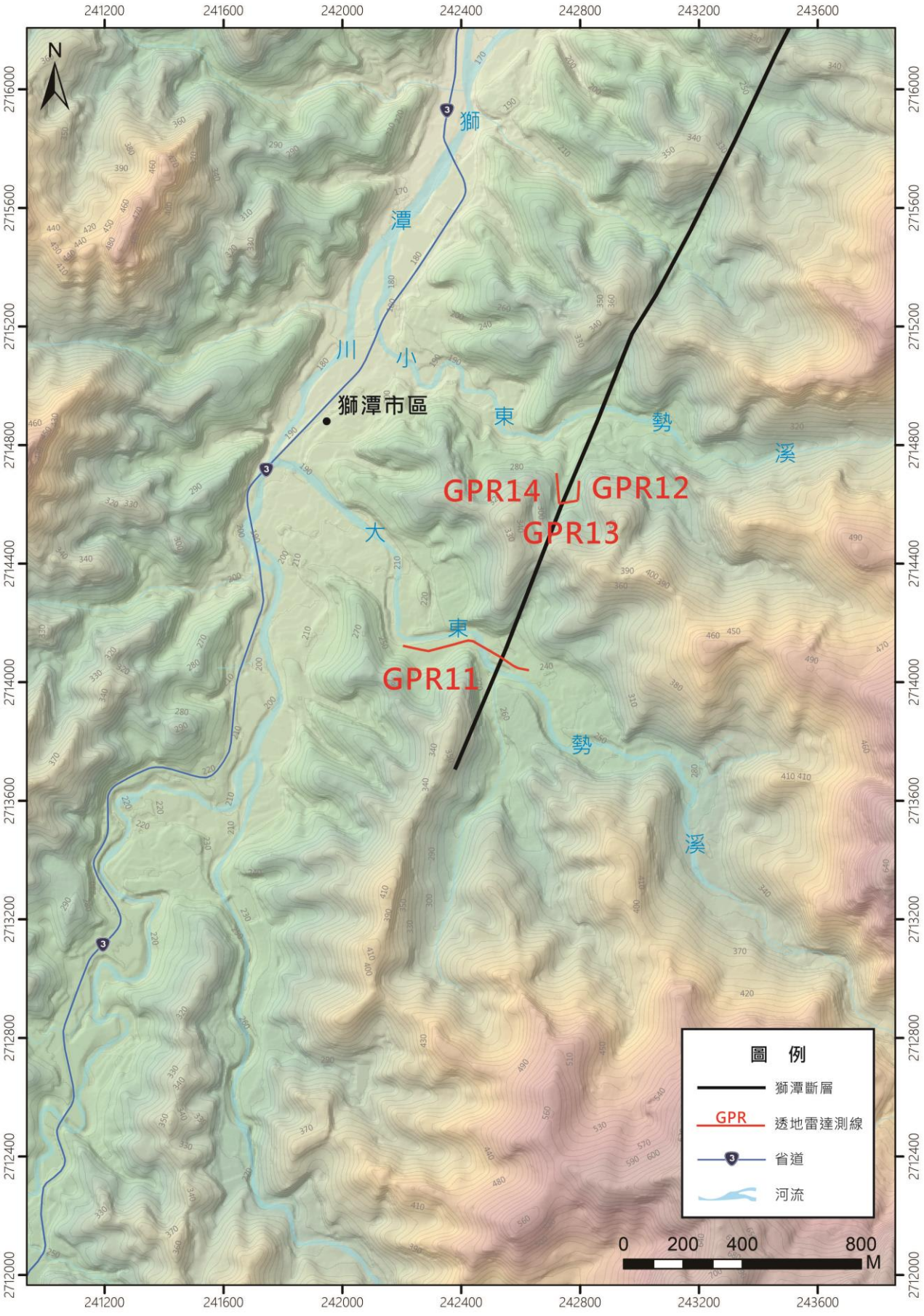


圖 3.2-2 獅潭斷層測區地球物理測線分佈(南段)

3.2.2 地電阻調查成果

ST-05 測線位於中港溪北岸，同樣為測線的最北端，苗 19 道路附近有一個出露良好的上福基砂岩露頭，因此在有露頭控制點的情況下，我們發現電性地層上有很好的對比，測線結果如圖 3.2-3，即上福基砂岩為電阻率在 30Ohm-m 以下的電性地層，而東側的沖積層則存在 150Ohm-m 以上的電性地層。

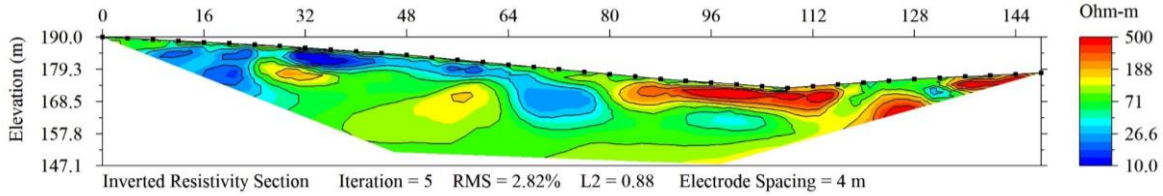


圖 3.2-3 ST-05 電阻率模型

ST-06、ST-01、ST-02 為與中港溪南側的三道剖面，由北到南依序分佈在農地上面，表層受到農田耕作的影響，因此 ST-06、ST-02 測線(圖 3.2-4、圖 3.2-6)表層顯示一個高阻的電性訊號，顯示為沖積層。而 ST-01 測線(圖 3.2-5)則反應一個低阻的電性訊號，本區域由 ST-06、ST-01 兩條測線可以發現在 10 米以下的位置有一 20Ohm-m 以下的相對低阻的電性地層，推測為東坑層的出露。

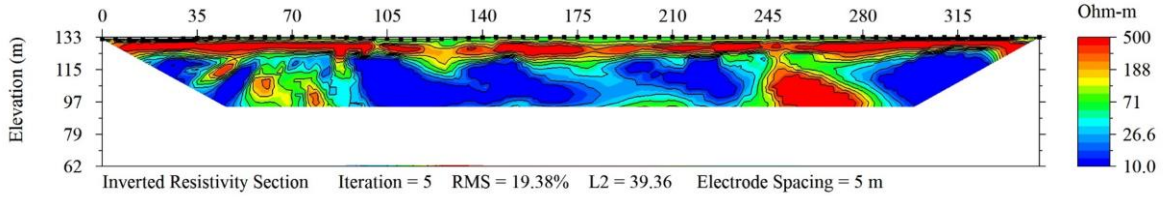


圖 3.2-4 ST-06 電阻率模型

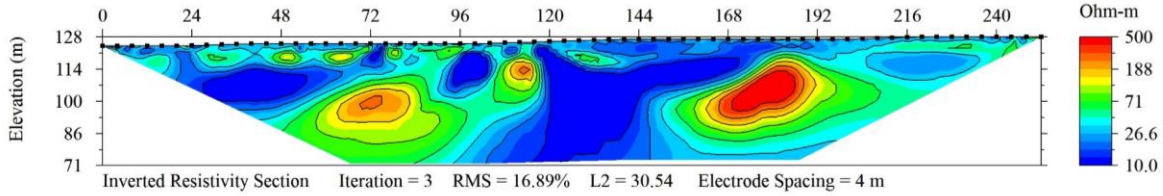


圖 3.2-5 ST-01 電阻率模型

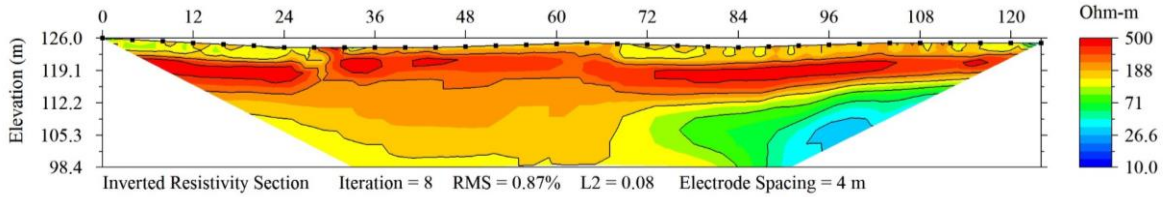


圖 3.2-6 ST-02 電阻率模型

ST-04 測線與 ST-03 測線(圖 3.2-7、圖 3.2-8)位於中港溪南側的農地上面，因此同樣可以發現普遍在 5 米深以內的地方存在一個高電阻的訊號，對照現地的記錄可以發現皆位於乾燥的農耕地上面，顯示為沖積層。持續分析深部的電性地層結構，則不難發現有數道相對高低阻的電性地層界面，推測即為西側的關刀山砂岩與東側的上福基砂岩。

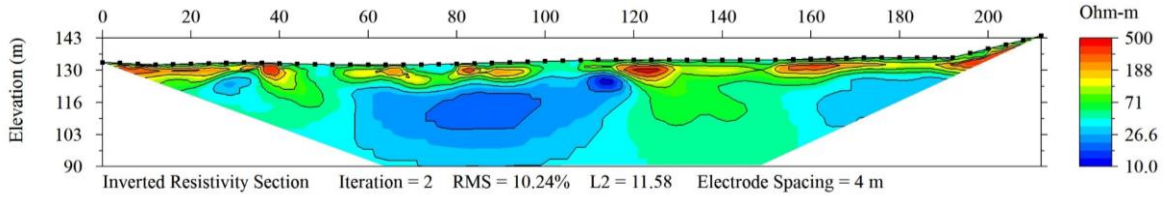


圖 3.2-7 ST-04 電阻率模型（紅色虛線為電性不連續面）

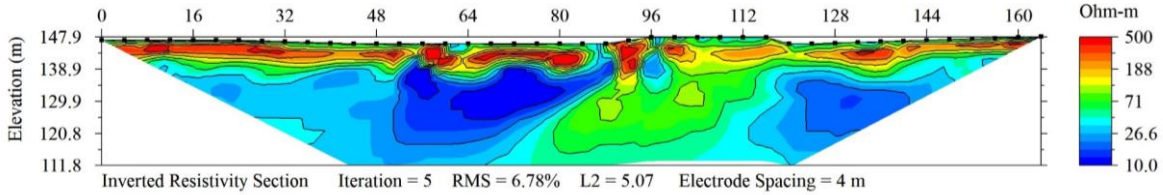


圖 3.2-8 ST-03 電阻率模型（紅色虛線為電性不連續面）

3.2.3 透地雷達調查成果

經過地電阻的調查成果顯示本地區的岩層大約在十公尺以內開始出露，上覆沖積層，因此在獅潭斷層章節新增透地雷達調查成果，藉此以高精度的地表精查比對獅潭斷層鄰近的破裂帶與鄰近地層出露情形。

測線 GPR-08(圖 3.2-9)位於中港溪南側，地表面有一明顯的地形變化，因此利用農田附近的道路進行透地雷達的施測，此測線平行 ST-03 與 ST-02 等地電阻測線，GPR-08 透地雷達的調查成果發現測線西側反應連續性相當良好的電磁波地層，與地電阻比對結果為上福基砂岩，並發育數道錯距較小的破裂面；東側連續性較佳，與地電阻比對結果為東坑層，而介於中間有一道明顯訊號的錯距，判斷為透地雷達的不連續面（紅色 V 處），可與獅潭斷層比對。

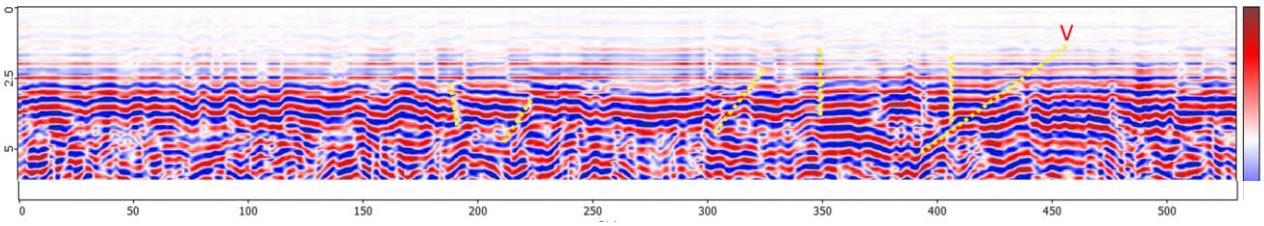


圖 3.2-9 GPR-08 透地雷達剖面

測線 GPR-12、GPR-13、GPR-14(圖 3.2-10)位於獅潭斷層跡的南段，往仙山的 123 縣道，由於道路在此有一個 U 字形的轉彎，因此嘗試完成三條的透地雷達施測，並嘗試利用 Voxler 3D model 建立立體模型(圖 3.2-11)，判識結果顯示，U 字形測線的透地雷達訊號整體來說相當連續，其中有西部（GPR-14）發育許多小的破裂面(黃色虛線處)，相對來說東側地層連續性較佳（GPR-12），判斷為上福基砂岩與東坑層的電磁波地層結果，然而在 Voxler 3D model 中追蹤岩層的連續性同樣可以看到東側的東坑層具有較佳連續性(黃褐色面)。其中東北方向延伸的透地雷達不連續面（圖 3.2-11，紅色虛線處），可與獅潭斷層比對。

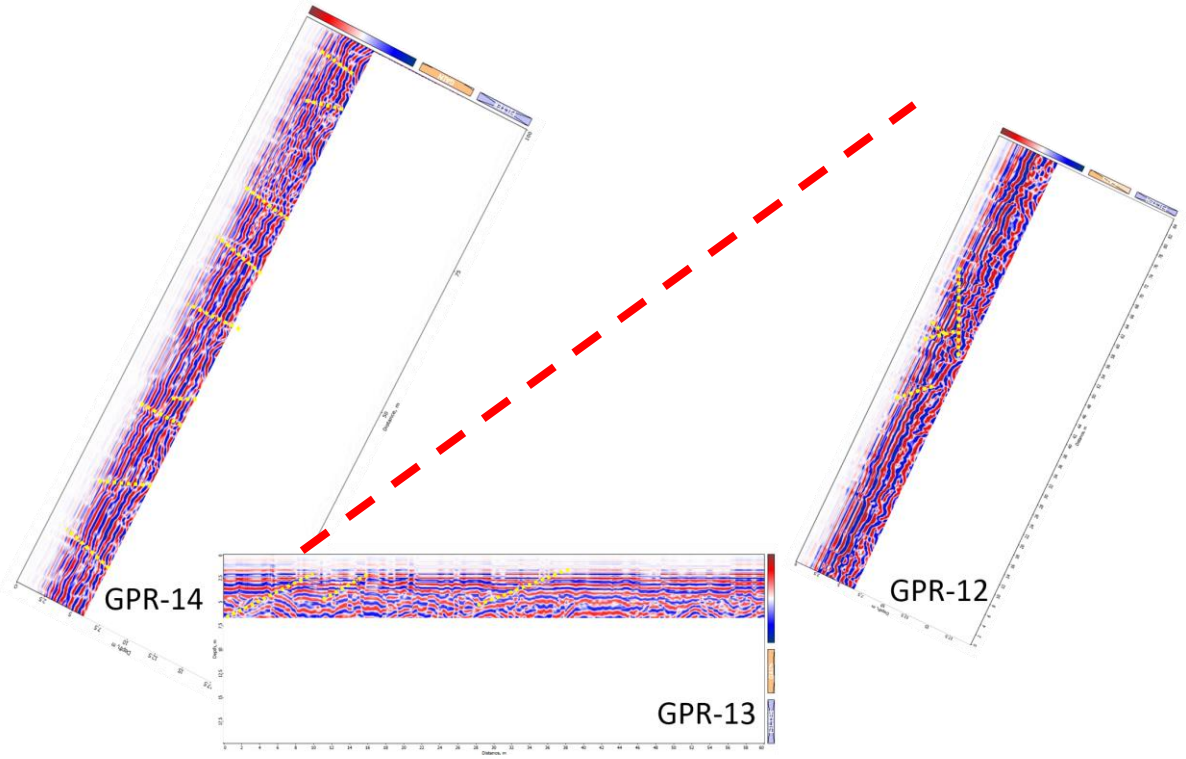


圖 3.2-10 GPR-12、GPR-13、GPR-14 透地雷達剖面

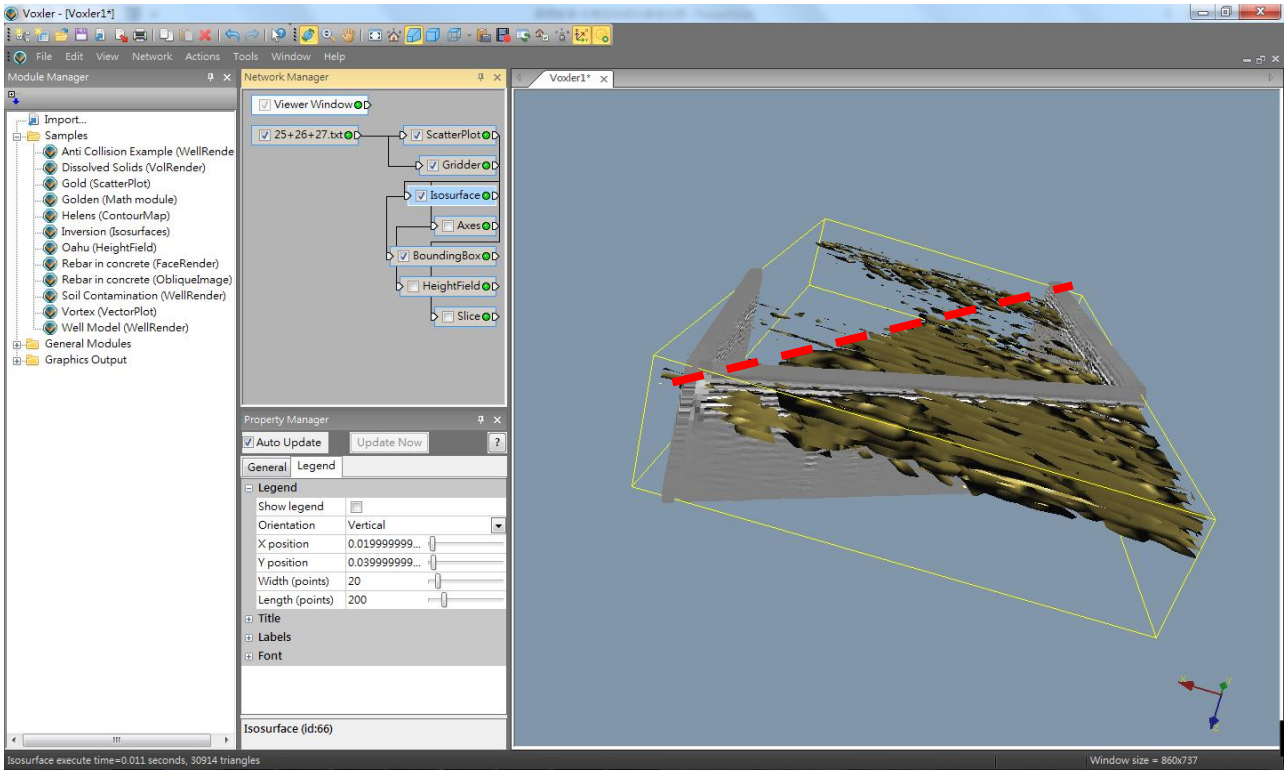


圖 3.2-11 利用 Voxler 3D model 建立立體模型

位於苗 66 道路往大東勢的測線 GPR-11(圖 3.2-12)，測線為東西走向，為了確認獅潭斷層南段的分佈特性，本計劃完成測線 GPR-11，此測線的訊號東西方向有著相當明顯的差異，大東勢一號橋以東的訊號亦相當連續，研判為東坑層的出露，而大東勢一號橋西側有數道明顯的透地雷達不連續面，研判為上福基砂岩的破裂面，其中較為明顯的破裂面（紅色 V 處）則判斷為兩地層的不連續面，可與獅潭斷層線跡比較。

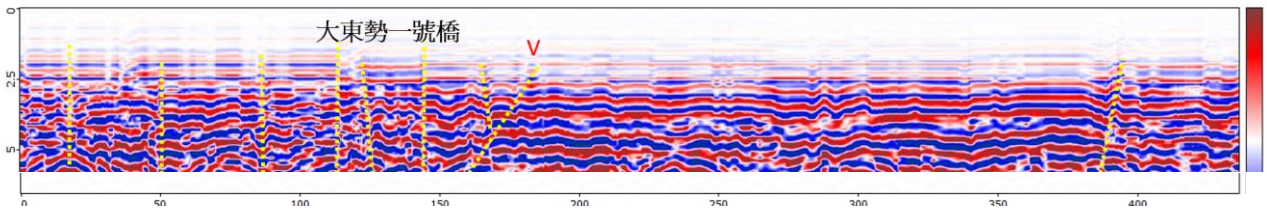


圖 3.2-12 GPR-11 透地雷達剖面

3.3 獅潭斷層測區施測結果及討論

施測長度表格如表 3.3-1，本研究團隊在獅潭斷層線跡共施測 6 條地電阻測線與 5 條透地雷達測線，總長 725 公尺。在獅潭斷層的施測結果來看在原有線跡上地電阻模型可以分辨出斷層上下盤地層之差異（ST-06、ST-01）。並可建立一電性地層模型，即上福基砂岩為電阻率在 30Ohm-m 以下的電性地層，而東側的東坑層電阻率更低。而在斷層線跡的評估本計劃在地電阻的調查成果中發現斷層跡出露較淺，大約分布在 10 公尺以內的沉積物之下，因此本計劃採用透地雷達進一步精查斷層線跡。GPR-08、GPR-11、GPR-12、GPR-13、GPR-14 亦存在一透地雷達不連續面。而此不連續面可從大東勢延伸至中港溪南岸，並與獅潭斷層線跡比對。並加入工程鑽井的判釋結果與地質調查所提供之 100 年活動斷層分布跡線估算其最長距離作為誤差值。初步估算本計畫獅潭斷層之誤差值為 64 公尺。

表 3.3-1 106 年獅潭斷層測區地球物理測線長度對照表

獅潭斷層測區	地電阻(m)	透地雷達(m)
ST-01	256	
ST-02	124	
ST-03	164	
ST-04	212	
ST-05	148	
ST-06	345	
GPR-08		330
GPR-11		245
GPR-12		45
GPR-13		45
GPR-14		60
總長	1249	725

第四章 木屐寮斷層

4.1 地質概述

木屐寮斷層接近北北東-南南西走向，有數條東西向河流及道路與其正交，因此過去地質調查所利用數條剖面進行地形及地層分布的調查。甘宅二號橋上游側之白水溪河床兩側出露的地層以細砂或泥質砂為主，其間夾部份泥層，膠結差且疏鬆，應為六雙層，其上覆岩層為河階之礫石堆積(圖 4.1-1)，河階礫石堆積亦已向西傾斜 10~20 度；然而木屐寮斷層西側地層的傾斜則逐漸變緩，至甘宅二號橋下地層已接近水平。協進橋上游側為以疏鬆細砂為主的地層，其間夾鐵灰色泥質岩層，岩層走向約為北東 25 度、向西傾斜約 20 度；下游側則為礫石堆積，雖並未觀察到兩者間的接觸關係，亦無明顯的地表斷層證據。由於木屐寮線形的位置恰位於丘陵區與平原地區相接之處，在地形上落差相當大，因此呈現出相當清楚的地形特徵，在地形圖及航照上線形亦相當明顯，目前被暫列為第二類活動斷層（林啟文等，2007）。

木屐寮斷層最早為 Sun（1970）於航照判釋中發現白河東方有一長約 7 公里呈北北東走向的線形構造，認為存在一斷層構造。石再添等（1986）在白水溪河床斷層跡可能經過處的左岸河階，由白水溪的河流流向與小崖呈正交的現象，研判該處有斷層之存在。木屐寮線形走向約為北東 20 度，線形東側六雙層的走向約為北東 25~30 度左右，即線形東側地層走向和線形走向大致符合。石瑞全等人(2008)結合六重溪與白河地區的鑽井資料研判木屐寮斷層應位於白河 1 號井與白河 2 號井之間（表 4.1-1）。木屐寮線形東側的地層為六雙層，此處之六雙層為砂質為主的地層，抗侵蝕較強，因此木屐寮線形的地形特徵主要由六雙層構成。木屐寮線形因為東側觸口斷層的抬升，造成觸口斷層以西的地層呈現向西單斜，並且形成傾斜角度由東向西逐漸變緩的情況，而線形東側六雙層的分布，則使得此一良好的線形得以存在。林啟文等（2000）的地質調查結果亦顯示木屐寮附近沖積扇緣雖具有地形抬升的高差變化，然在這些具有高度落差的位置附近，並未直接觀察到斷層露頭。位於協進橋東側，出露疏鬆細粒砂岩為主的六雙層，與協進橋西側出露全新世礫石層之間，也並未觀察到兩者間的接觸關係。因而研判斷層可能未出露地表。

地球物理的前人調查方面，黃旭燦等(2004)在中油震測剖面中，並未發現此一木屐寮線形存在有明顯斷層訊號。石瑞銓等(2008) 沿台南縣 194 縣道木屐寮附近進行之震測剖面顯示，距原點 90 公尺與 190 公尺之間，數處不連續擾動得相當劇烈，推測木屐寮斷層最可能通過此區域（表 4.1-1）。

木屐寮斷層在中研院提供的台灣堡圖中可見相當明顯之線形，此線形北起

頭前溪橋南側之山豬崁，經過白水溪，南至六重溪北岸，劃分東側較高之丘陵區與西側較為平緩的平原區，落差約數十公尺。從河道的分佈狀況來看，頭前溪與白水溪在經過木屐寮斷層後均有向南發育河道的情形，白水溪南岸發育河階，此河階面由東向西緩傾，坡度約 3%，至木屐寮斷層附近坡度突然變陡為 10%左右，落差約十幾公尺，再向西坡度又恢復平緩，可能即為孫習之（Sun, 1970 ; Sun, 1971）及石再添等（1986）所謂之斷層小崖。

表 4.1-1 木屐寮斷層前人施測資料整理

前人施測資料	文獻來源	結果及解釋
鑽井	石瑞銓、王維豪、李元希(2008) 地震地質與地變動潛勢分析 斷層帶地下構造調查研究（2/4）六重溪 1 號井、2 號井。	六重溪 1 號井傾角約 5-10 度，30 公尺以下具有層間滑動或與層面夾低角度之剪切現象，未鑽遇斷層。 六重溪 2 號井地層可與 1 號井比對，未鑽遇斷層。
震測	石瑞銓、王乾盈、謝昭輝（1998）	測線涵蓋範圍沿台南縣 194 縣道木屐寮附近進行，共長 420 公尺。此測線原始炸點資料之反射訊號相當清晰，資料經處理後得到之同中點重合剖面有很明顯的反射訊號。解釋後之震測剖面，以相對應的速度約為 1550 公尺/秒，在距原點 90 公尺前，反射層極清楚，而在距原點 90 公尺與 190 公尺之間，數處不連續擾動得相當劇烈，往右(東)信號變佳。於木屐寮以西有寬約 100 公尺之地層擾動，推測木屐寮斷層最可能通過此區域。
震測	黃旭燦等(2004)	在中油震測剖面中，並未發現此一木屐寮線形存在有明顯斷層訊號。



圖 4.1-1 木屐寮斷層條帶地質圖及本年度重點施測區域(TWD67，摘自地調所)

4.2 木屐寮斷層調查工作

在木屐寮斷層區域，本研究團隊選擇在線跡經過中段，施做測線以供往外延伸區的地層差異作背景比較。主要工作目標放在斷層線跡是否有往北與往南延伸。故本研究團隊於木屐寮斷層之地電阻調查，以線跡南北終點外為施測重點，其中 MCL-01 至 MCL-09 為去年執行計劃結果，106-MCL-10 至 106-MCL-17 則為今年執行計劃結果，在此納入一併討論，測線分佈圖如圖 4.2-1。

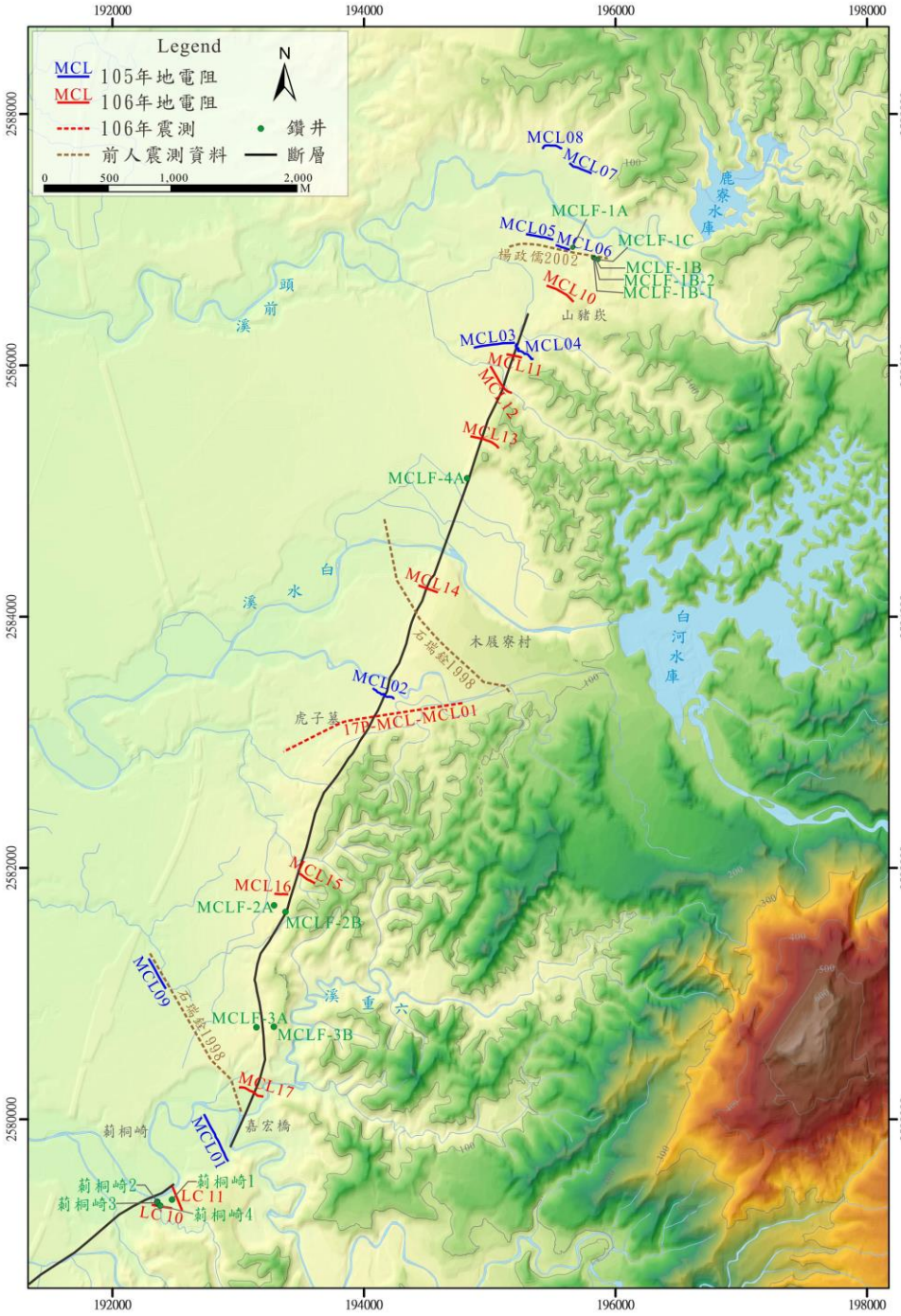


圖 4.2-1 木屐寮斷層測區地球物理測線分佈

4.2.2 地電阻調查成果

本研究團隊由南往北檢視木屐寮斷層線跡之地電阻調查結果。在斷層線跡最南側外，我們施做一條 420 公尺長測線 105-MCL-01。整段測線看來都是砂泥層的低電阻反應，推測本區並無明顯斷層經過之反應。

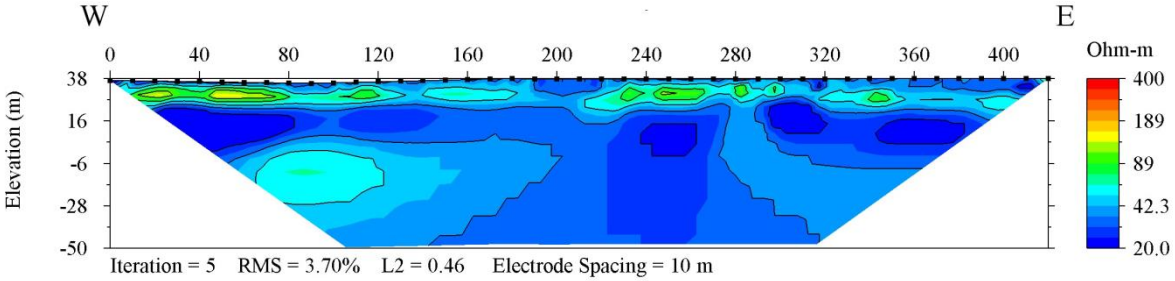


圖 4.2-2 105-MCL-01 電阻率模型

在斷層線跡中間，本研究團隊施測一條測線（105-MCL-02）位於縣道 172 北邊。隨著地形起伏與斷層線跡的經過，我們可以看到位於上盤的東側地層中，下方低阻層在斷層經過後不繼續往西延伸。而西側的下盤區域則附蓋有較高阻的電性地層存在。這是我們以電性可以清楚定義木屐寮斷層的上下盤實例。斷層應位於下方低電阻不連續往西延伸位置。

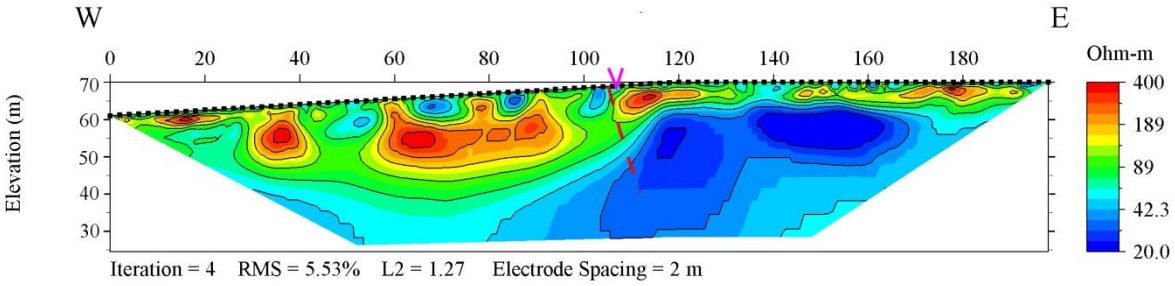


圖 4.2-3 105-MCL-02 電阻率模型(紅色虛線為判視之地球物理不連續面)

在木屐寮斷層線跡北端結束點的南側地區（山豬崁南側），本研究團隊在線跡的東西兩側各施做一條測線，檢視其之間的差異。在西側的 105-MCL-03 測線位於平坦的草地上施測，而線跡東側的 105-MCL-04 則在山地斜坡進行量測。105-MCL-03（圖 4.2-4）的結果中，我們並沒有看到明顯如 105-MCL-02 位於下盤的高阻岩層出現，地層呈現簡單的水平層，地表 20 公尺下有一低阻層存在，整體看來皆屬於砂泥互層的電性反應。而在線跡東側，地表反而有明顯的高、低阻層片斷的間隔，凌亂的表層厚約 10 至 15 公尺，在其下方存在低阻層，可能對應於 105-MCL-03 深部 20 公尺的低阻層。本段測線不如 105-MCL-02 的上下盤區隔，但斷層線跡兩側確實存在著不同的電性分佈情形。

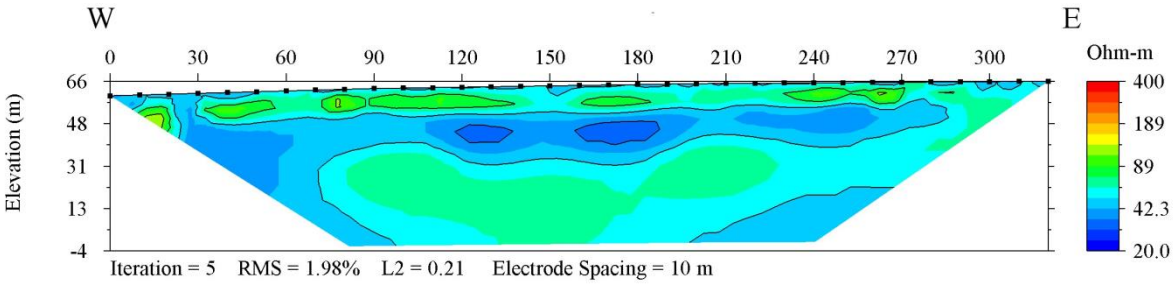


圖 4.2-4 105-MCL-03 電阻率模型

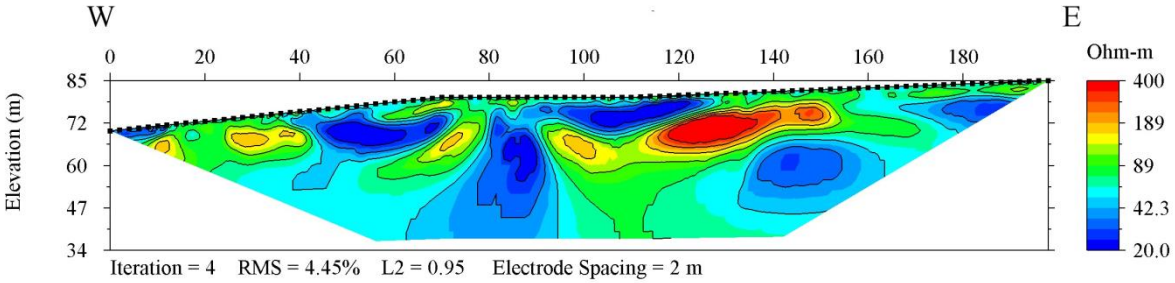


圖 4.2-5 105-MCL-04 電阻率模型

在崎內國小西側至崎內國小內，本研究團隊施做兩條測線。斷層線跡延伸線約在兩測線之間的道路。105-MCL-05 位於校區西側農地上，測線長度有 220 公尺，105-MCL-06 直接於校區內施做，長度 118 公尺。105-MCL-05 測線的地電阻模型（圖 4.2-6），整體反應是 20 至 40 歐姆的偏低阻反應。而 MCL-06 位於崎內國小操場上，圖 4.2-7 可以看到電阻率模型比西側的 105-MCL-05 測線多了一層厚 2 公尺左右的高阻地層，電阻率約 100 歐姆米，本計劃依據中央地質調查所委託的鑽井工作，將 105-MCL-06 與木屐寮-1C 鑽井比對，結果顯示在地表約 4 公尺為沖積層，以下則為礫石層與砂岩的結果，因此反應下方電阻率較低，但一樣屬於簡單的水平層位態，沒有明顯的起伏。故推論木屐寮斷層應沒有經過兩測線之間。

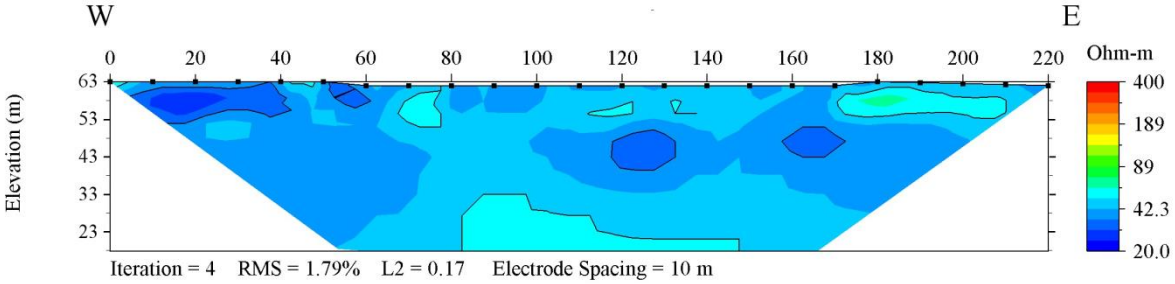


圖 4.2-6 105-MCL-05 電阻率模型

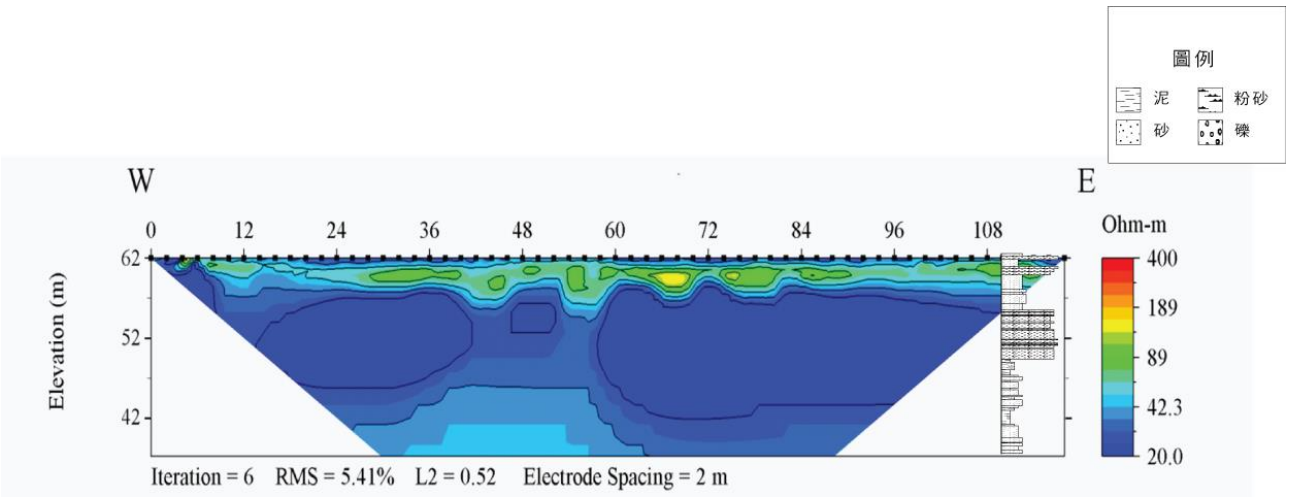


圖 4.2-7 105-MCL-06 電阻率模型

在崎內國小與頭前溪的北側山區內，在斷層線跡往北延伸可能經過的東西兩側，本研究團隊另外進行兩條地電阻探測，位於東側的 105-MCL-07 與西側的 105-MCL-08 測線結果如圖 4.2-8 與圖 4.2-9。但除了 105-MCL-08 有多覆蓋高阻層存在，兩側地層並沒有明顯抬升或傾斜。故推論斷層延伸線可能也沒有延伸至頭前溪北側。

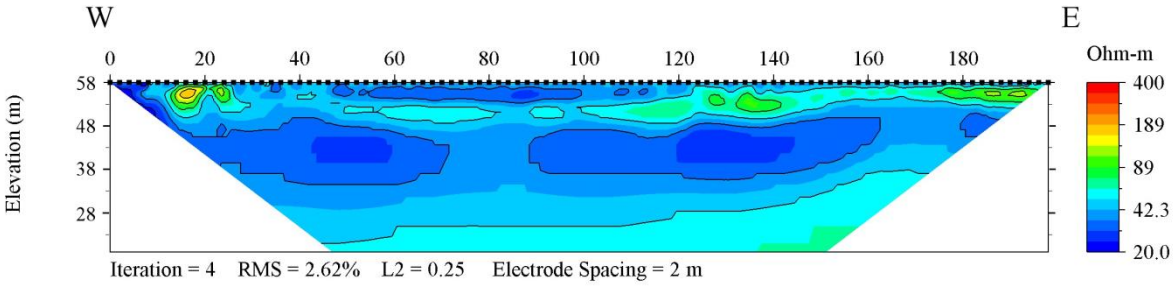


圖 4.2-8 105-MCL-07 電阻率模型

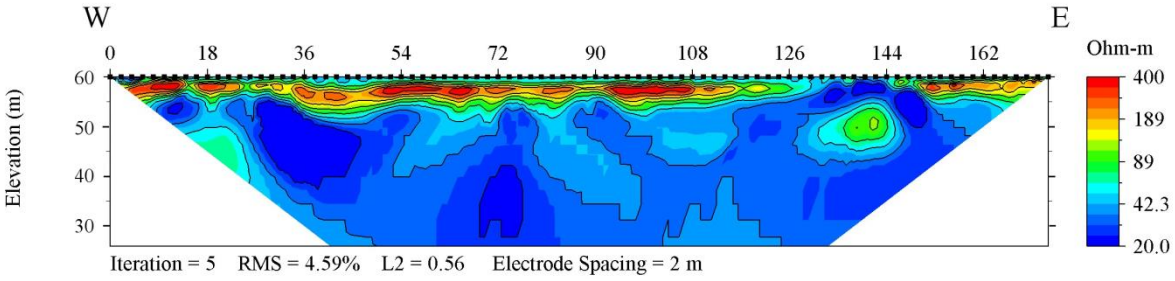


圖 4.2-9 105-MCL-08 電阻率模型

在木屐寮斷層線跡北端的山豬崁附近，本研究團隊在跨越線跡的兩側施做二條測線。位於北側的 106-MCL-10 與南側的 106-MCL-11 測線結果如圖 4.2-10 與 4.2-11。木屐寮斷層通過 106-MCL-11 約 63 公尺位置，但仍發育數條位態不同之破裂面。106-MCL-10 的結果中，我們並沒有看到明顯如 106-MCL-11 的傾斜地層出現，地層呈現簡單的水平層，淺層出露高阻的沖積層，地表 20 公尺下有一低阻層存在，整體看來皆屬於砂泥互層的電性反應。故推論木屐寮斷層應僅通過經過 106-MCL-11 測線。

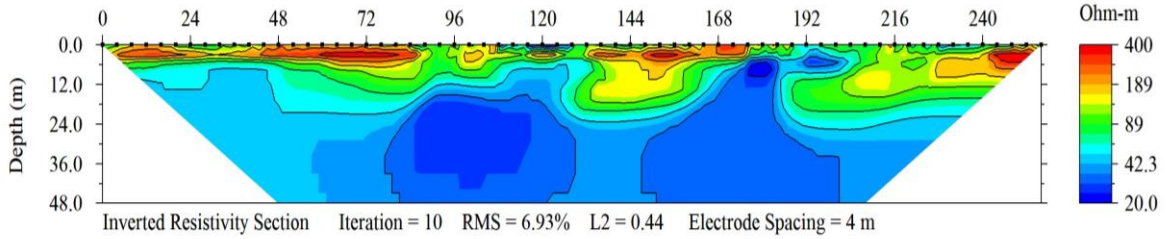


圖 4.2-10 106-MCL-10 電阻率模型

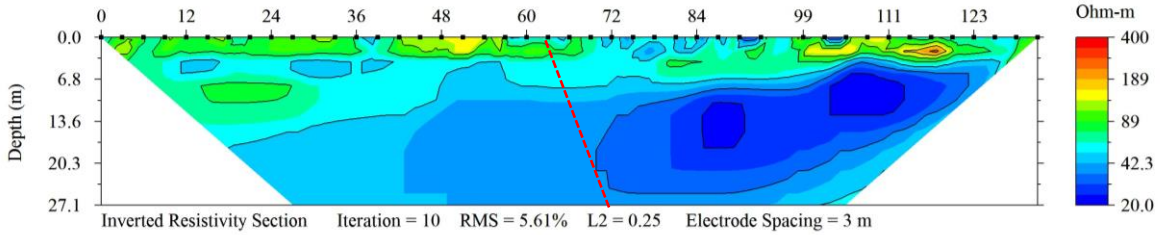


圖 4.2-11 106-MCL-11 電阻率模型(紅色虛線為判視之地球物理不連續面)

在木屐寮斷層線跡的峨酒坑南端田地，本研究團隊在跨越線跡的兩側施做二條測線。位於北側的 106-MCL-12 與南側的 106-MCL-13, 106-MCL-14 測線結果如圖 4.2-12 與圖 4.2-13, 圖 4.2-14。木屐寮斷層的電性不連續面通過 106-MCL-12 的 185 公尺位置與 106-MCL-13 的 80 公尺位置。我們發現在地表 15 公尺下有一低阻層存在，而這一層略向西隱沒的低阻層在經過斷層後不繼續延伸，從 106-MCL-14 可以發現地表淺層則以相對高阻的沖積層為主，從電性地層的差異我們可以清楚地鑒別斷層線跡兩側六雙層與沖積層的差異。另外本計劃依據中央地質調查所委託的鑽井工作，將 106-MCL-13 測線與木屐寮-4A 鑽井比對，結果顯示在地表約 6 公尺為沖積層，以下則為礫石層與砂岩的結果，中間有數道剪切面，可以 106-MCL-13 之電性不連續面比對。

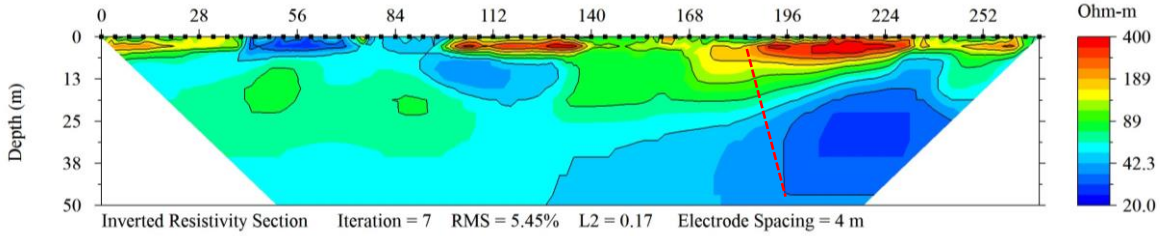


圖 4.2-12 106-MCL-12 電阻率模型(紅色虛線為判視之地球物理不連續面)

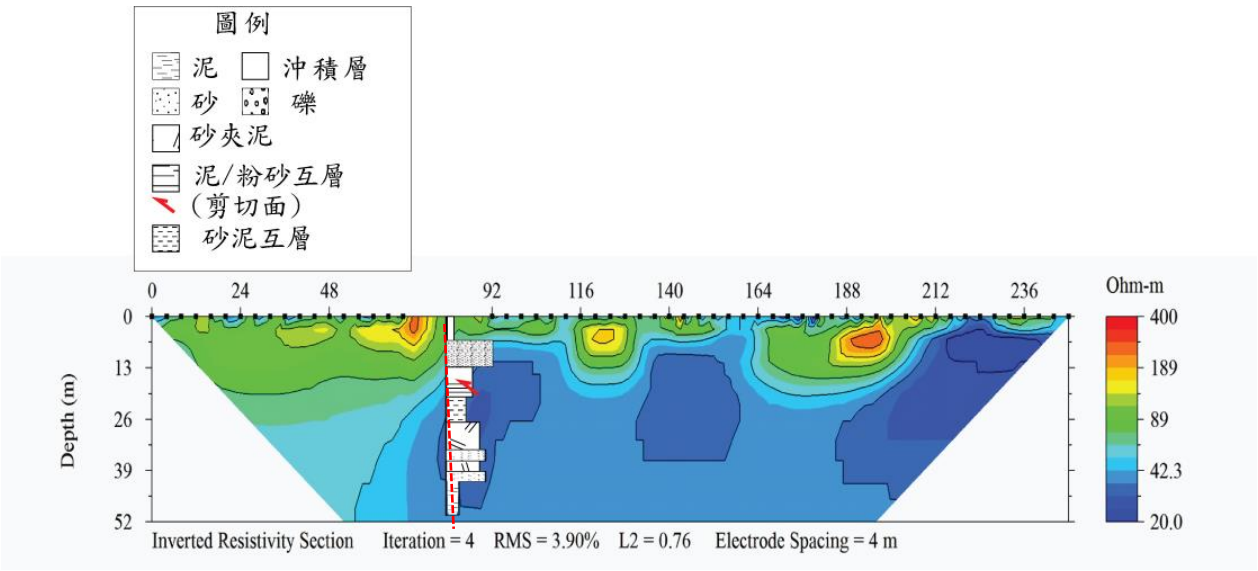


圖 4.2-13 106-MCL-13 電阻率模型(紅色虛線為判視之地球物理不連續面)

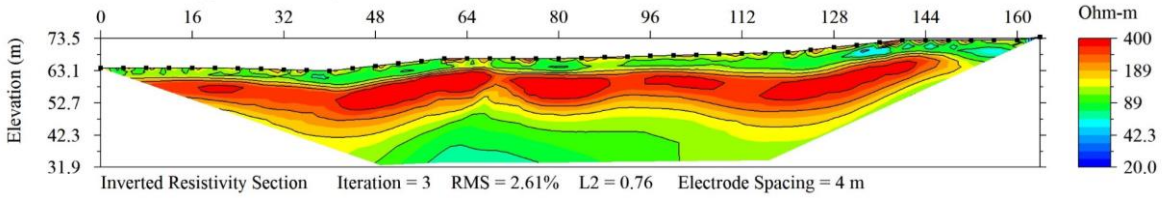


圖 4.2-14 106-MCL-14 電阻率模型

在大林里西側，在斷層線跡延伸可能經過的東西兩側，本研究團隊另外進行兩條地電阻探測，位於東側的 106-MCL-15 與西側的 106-MCL-16 測線結果如圖 4.2-15 與圖 4.2-16。106-MCL-15 整段測線看來都是六雙層的低電阻反應，僅有表層出現薄層的高電阻反應之沖積層，推測本測線並無明顯斷層經過之反應；106-MCL-16 地層呈現簡單的水平層，除了地表深 20 公尺處有出露六雙層的低阻電性地層外，淺層皆為電阻率較高的電性地層，推測為沖積層的電性反應，而木屐寮斷層恰好通過 106-MCL-15 與 106-MCL-16 測線中間。

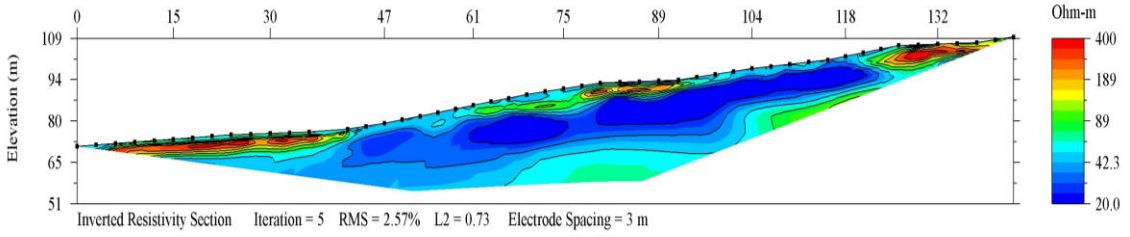


圖 4.2-15 106-MCL-15 電阻率模型

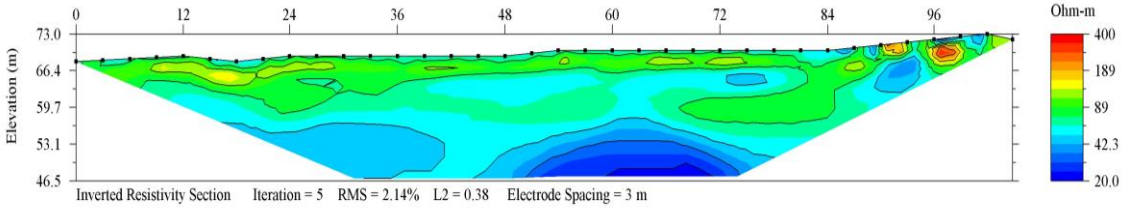


圖 4.2-16 106-MCL-16 電阻率模型

本研究團隊在木屐寮斷層的最南端規劃兩條測線 105-MCL-09 與 106-MCL-17，其中 105-MCL-09 測線，位於過去石瑞銓 2008 年震測研究測線上。地電阻模型如圖 4.2-17 與 4.2-18，整段測線看來一樣都是砂泥層的低電阻反應，推測本區也並無斷層經過。

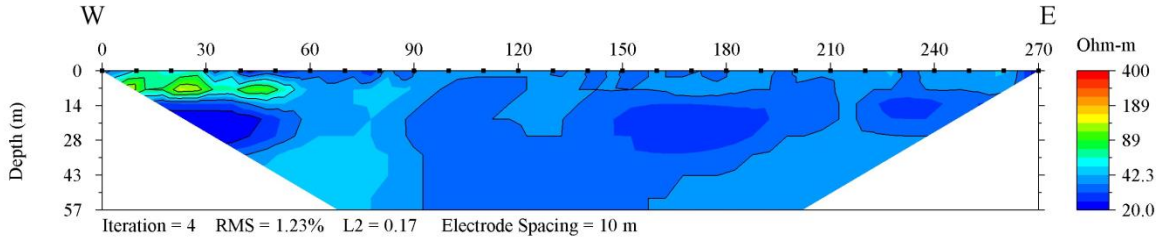


圖 4.2-17 105-MCL-09 電阻率模型

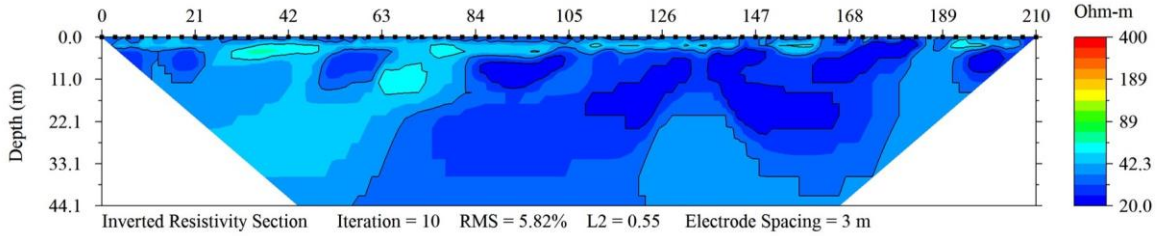


圖 4.2-18 106-MCL-17 電阻率模型

4.3 淺層震測探勘成果

4.3.1 前人研究

(一) 淺層震測探勘

石瑞銓等（1998）曾於木屐寮斷層施測一條震測測線，（圖 4.2-1）。震測線位於虎子墓北方，長約 420 公尺。剖面距離原點 90-190 公尺間，岩層有多處擾動現象，研判為木屐寮斷層可能通過的地方，然而擾動帶與斷層預定線相距 150 公尺，若此擾動帶為斷層，則可能是從未發現的斷層（圖 4.3-1）。

王宏霖等（2006）曾於木屐寮斷層與附近構造進行詳細的震測調查，共施測了 37 條測線，其中 E2 測線與石瑞銓等（1998）的位置相同，地層由水平層急轉為高角度西傾地層。（圖 4.3-2）兩張剖面相比之下都有隱約相同的訊號，但右圖較為清晰。（圖 4.3-3）

陳文山等（2008）曾於木屐寮斷層北側，沿 172 市道虎子墓地區取兩口 100 公尺的岩芯，分別為白河 1 號與 2 號井。其中 1 號井約 35 公尺以下有許多剪切構造，剪切面傾角約 30-55 度，而井下地層向西傾斜（圖 4.3-4），而 2 號井岩芯內剪切面較少（圖 4.3-5）。地層對比如圖 4.3-6 所示。

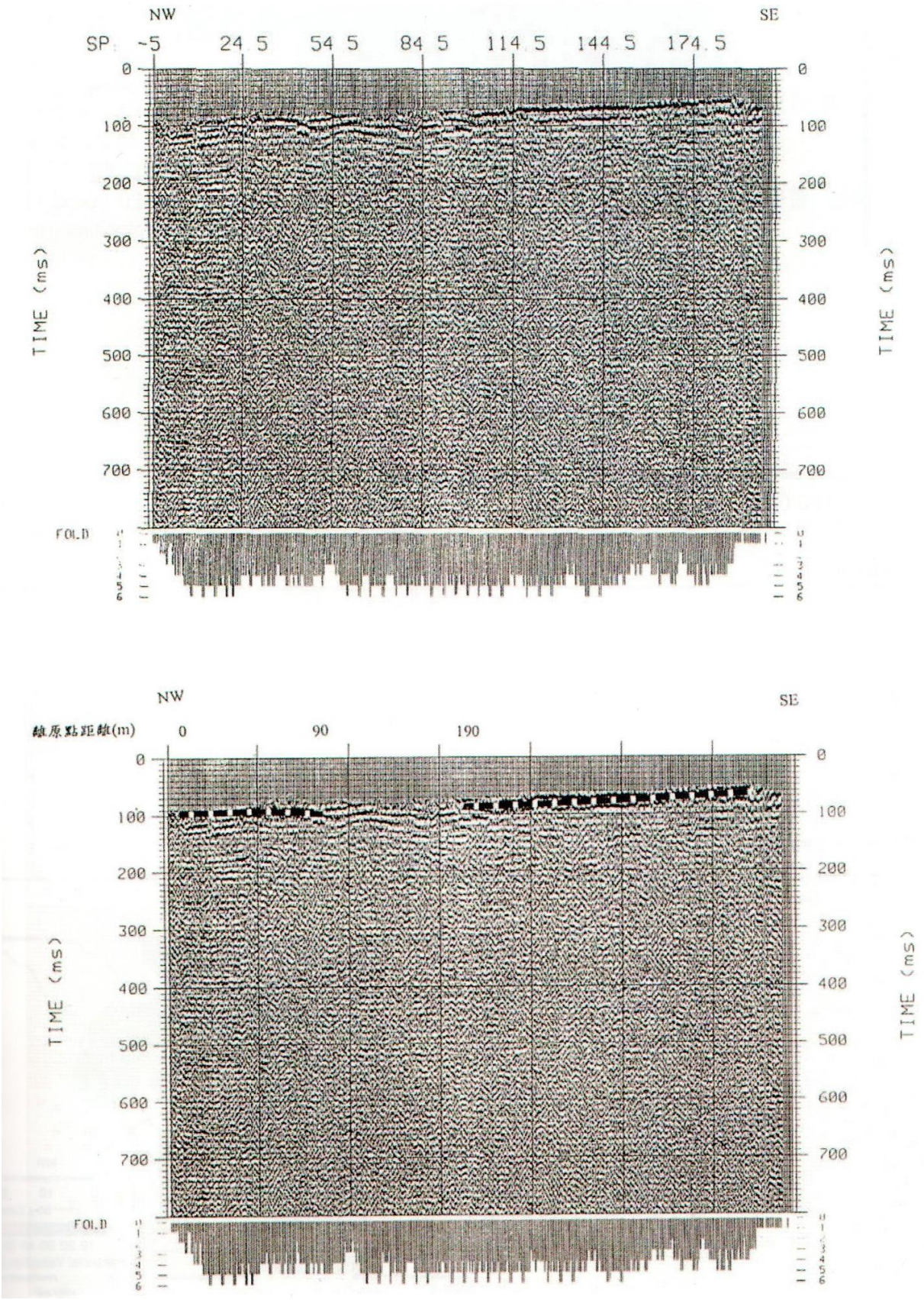


圖 4.3-1 木屐寮舊測線反射震測探測結果 （石瑞銓等，1998）

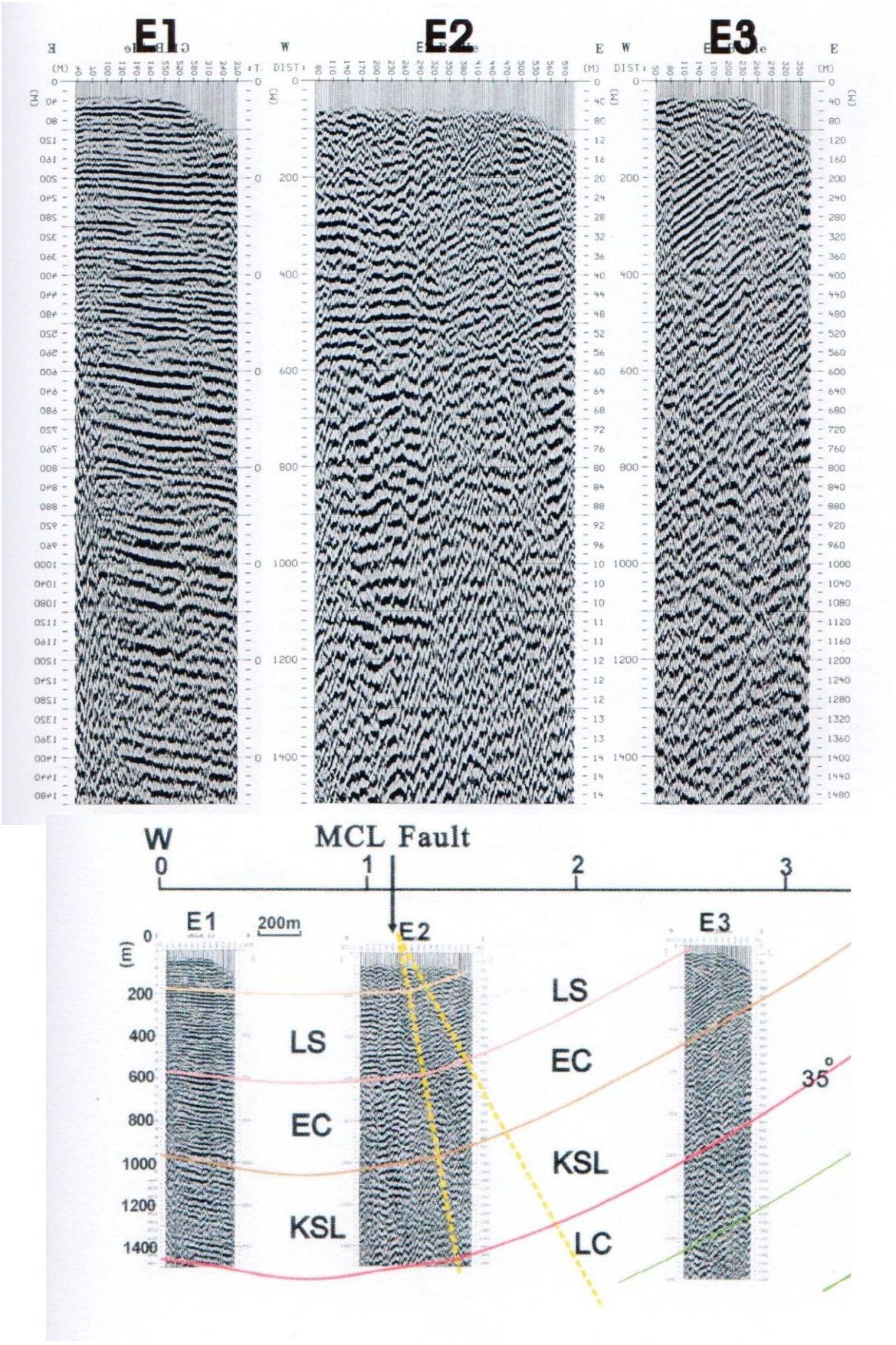


圖 4.3-2 木屐寮舊測線反射震測探測結果（王宏霖等，2006）

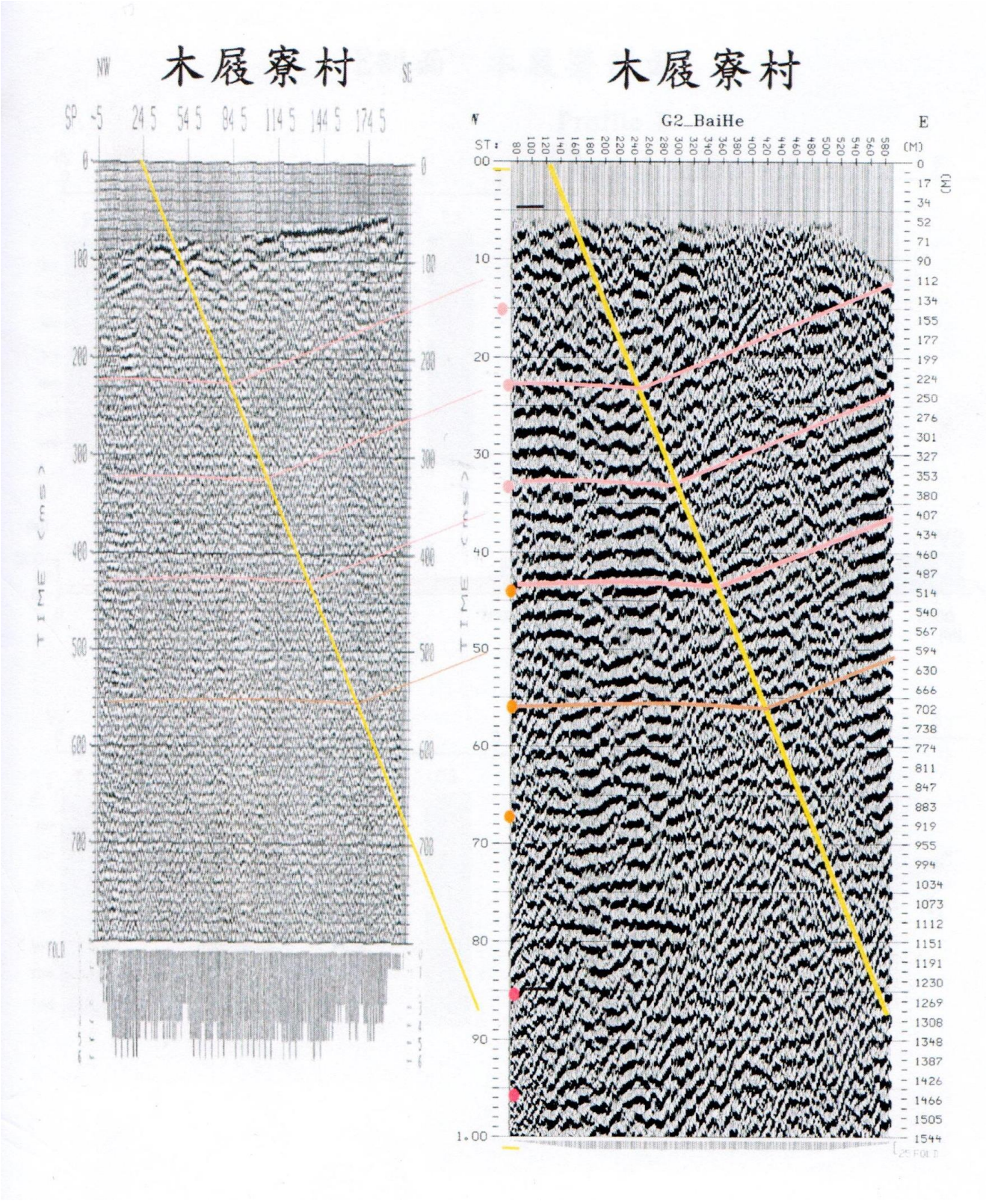


圖 4.3-3 木屐寮舊測線反射震測探測結果比較（王宏霖等，2006）



圖 4.3-4 白河一號井岩芯紀錄（陳文山等，2008）

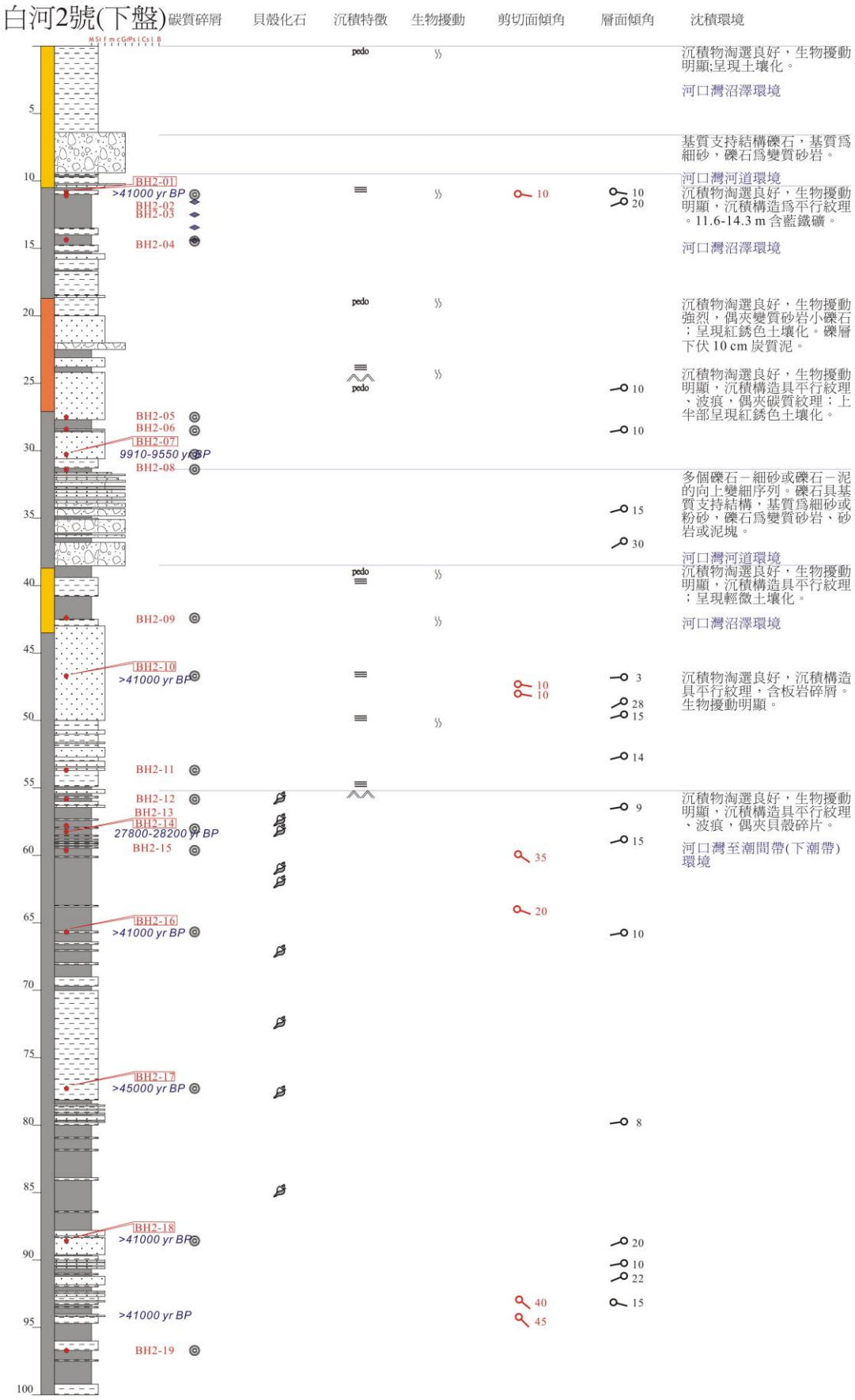


圖 4.3-5 白河二號井岩芯紀錄（陳文山等，2008）

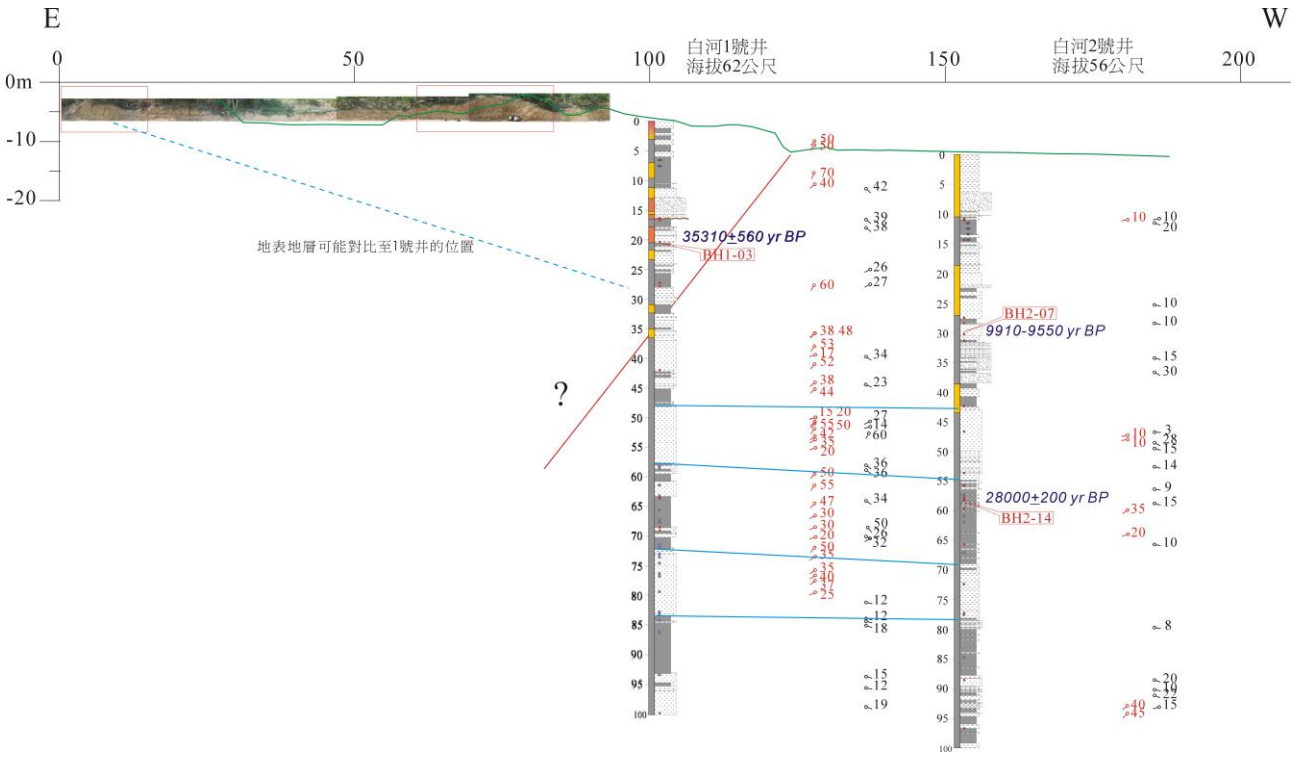


圖 4.3-6 白河場址鑽井柵狀剖面圖(剖面方位由東至西)（陳文山等，2008）

4.3.2 淺層震測探勘

木屐寮斷層為逆移斷層，呈北北東走向，由台南縣白河鄉頭崎內里向南延伸至六重溪北岸崁內里，長約 7km（Sun, 1970；張徽正等，1998）。此次選線位於國道 3 號白河交流道東側，沿台南市 172 市道上向東施測，垂直於斷層走向（圖 4.3-7）。

淺層震測（17P-MCL-MCL01）野外施測

使用雙震盪震源車，測線總長度為 2140 公尺，共施測 66 個炸點。使用 240 波道數，以 4 公尺測站間距與 16 公尺的炸點間距，由西為起點向東施測，每經過 6 個炸點將最近的一條線移至後方（圖 4.3-8）。其詳細野外施測幾何參數列於表 4.3-1 。

淺層震測（17P-MCL-MCL01）剖面解釋

野外資料經過彎線回歸與資料處理後，CDP 線會比施測長度略短，最終剖面長度為 1460m。在移位前雙程走時剖面上（圖 4.3-9），主要反射能量穿透達 3000ms，西側地層為水平層狀地層，東側地層急轉向西傾斜。深部 1500ms 以下訊號約略可以觀察到水平地層。移位後深度剖面(圖 4.3-10)有效反射層達 1500m，一樣可以看見明顯的地層轉折，東側地層訊號有中止的現象。由於此訊號接近剖面邊緣，資料可信度下降，需要用鑽井資料做確認。經由白河場址鑽井柵狀剖面圖（圖 4.3-11）比對後，可以推測訊號不連續的現象應為斷層經過所造成，而淺部地層傾角也與鑽井資料吻合。

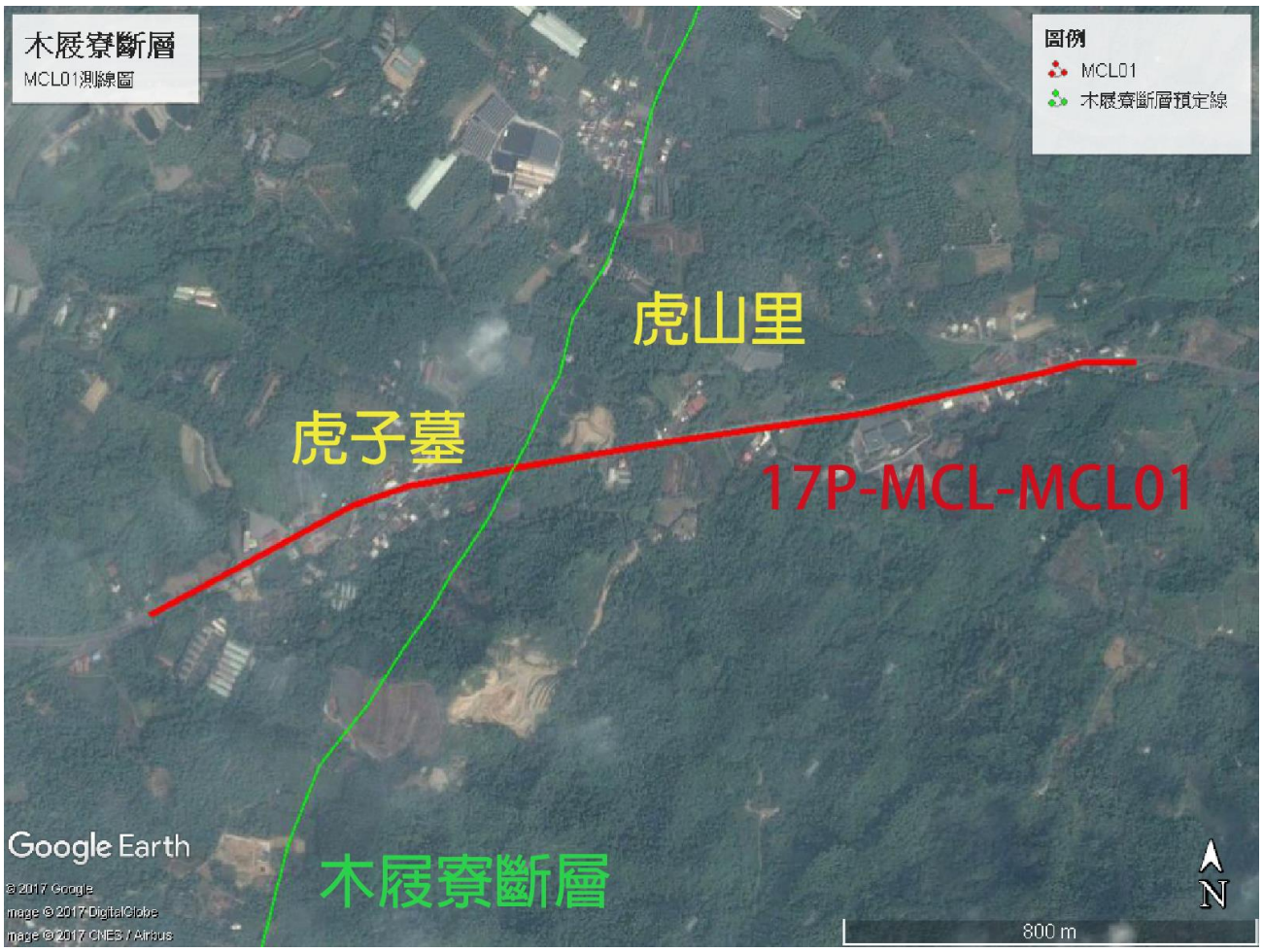


圖 4.3-7 木屐寮測線 (17P-MCL-MCL01) 野外測線路徑

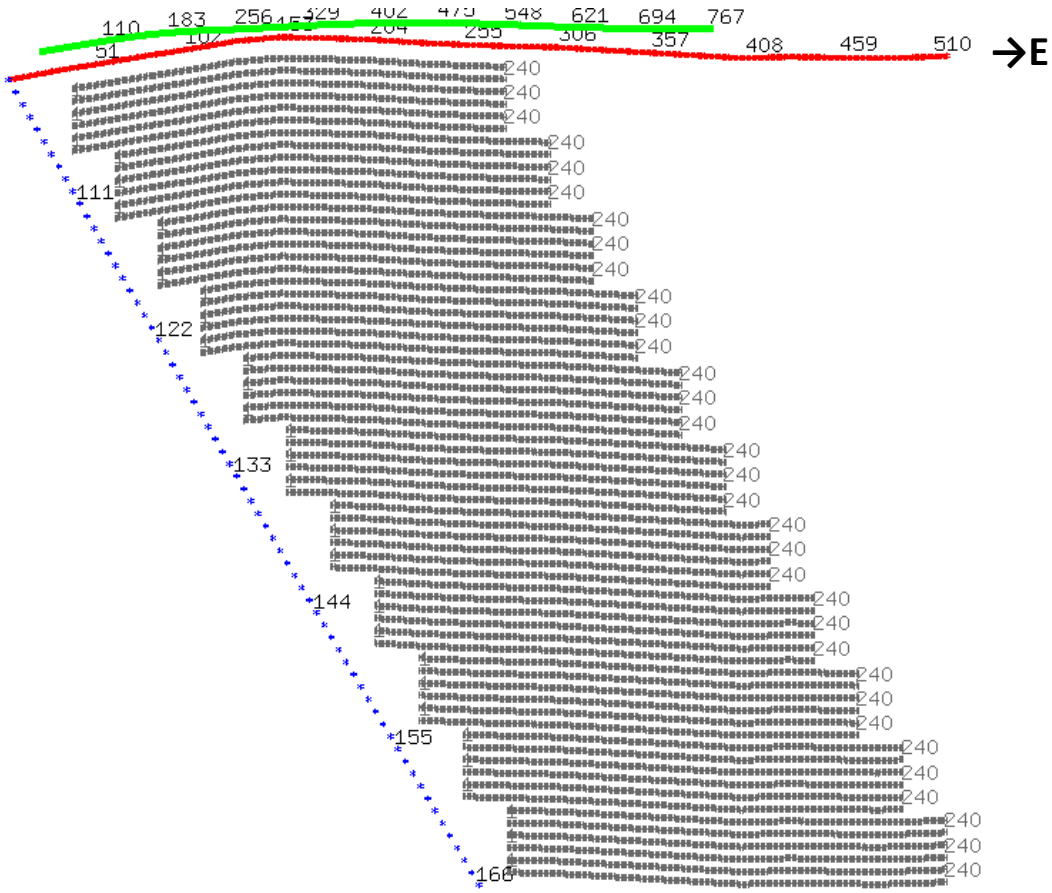


圖 4.3-8 木屐寮測線 (17P-MCL-MCL01) 野外施測幾何

表 4.3-1 木屐寮測線 (17P-MCL-MCL01) 施測幾何參數

測區：	台南木屐寮斷層	取樣率：	1ms
測線名稱：	17P-MCL-MCL01	測站間距：	4m
測線方向：	由西向東	炸點間距：	16m
測站位置：	144m - 2140m	重合數：	32
炸點位置：	0m – 1040m	剖面總長：	1460 m
檔案編號：	101 - 166	震源：	雙震盪震源車
近支距：	144m – 96m	紀錄器：	筆記型電腦
遠支距：	1052m – 1100m	頻道數：	240
紀錄長度：	3s	低切頻率：	35Hz

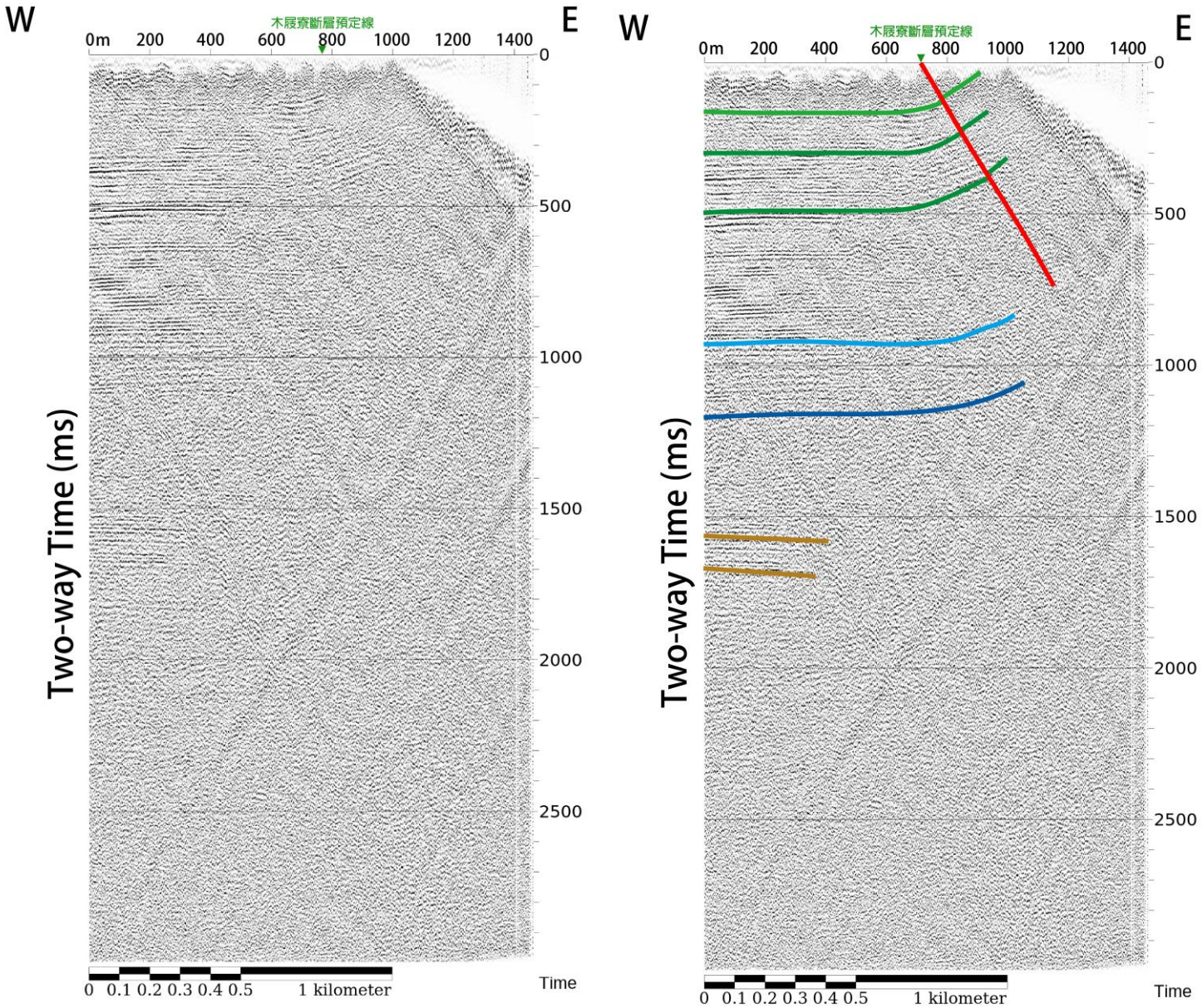


圖 4.3-9 木屐寮測線 (17P-MCL-MCL01)移位前雙程走時剖面（左圖）與解釋（右圖）

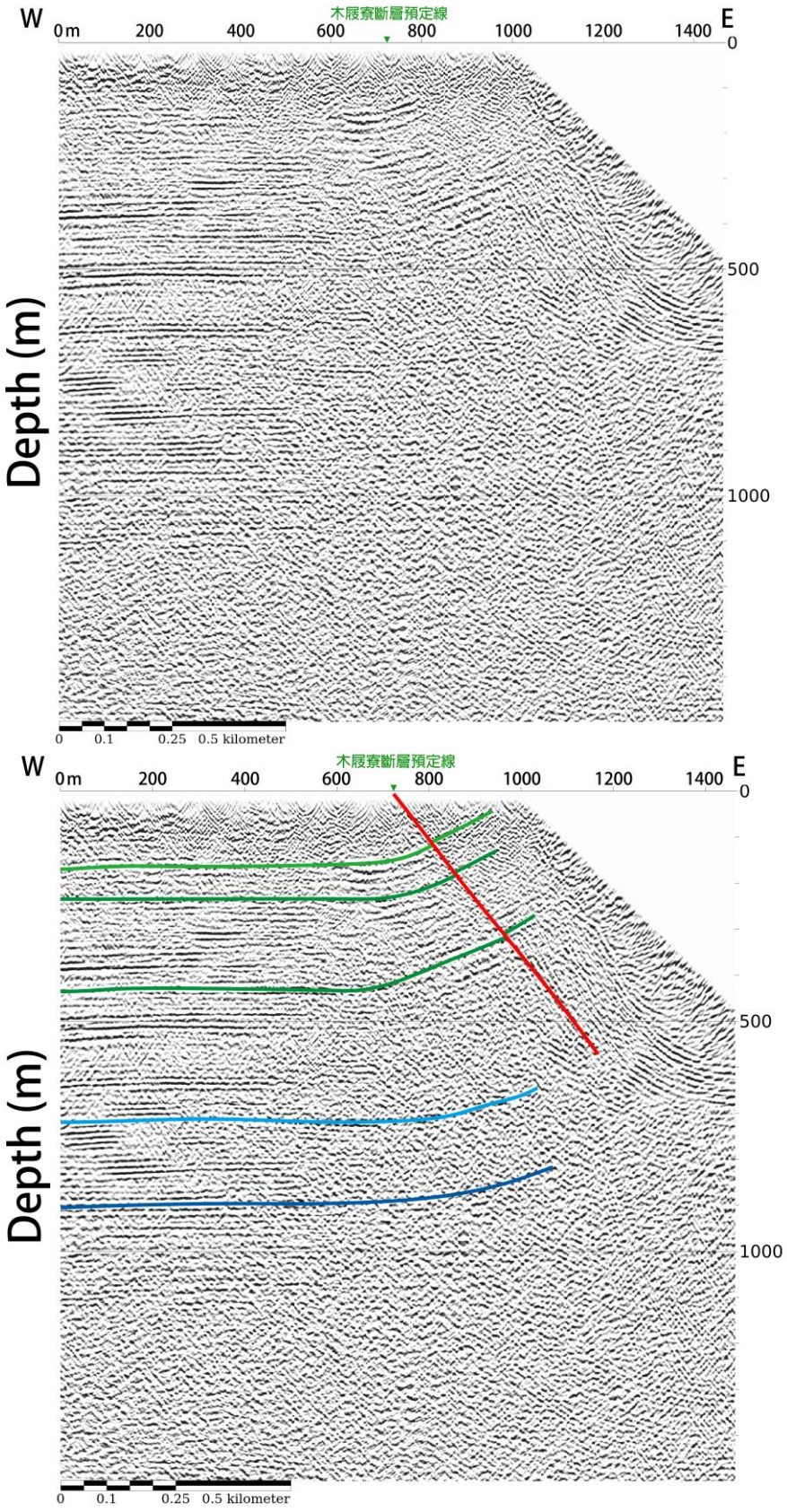


圖 4.3-10 木屐寮測線 (17P-MCL-MCL01) 移位後深度剖面（上圖）與解釋（下圖）

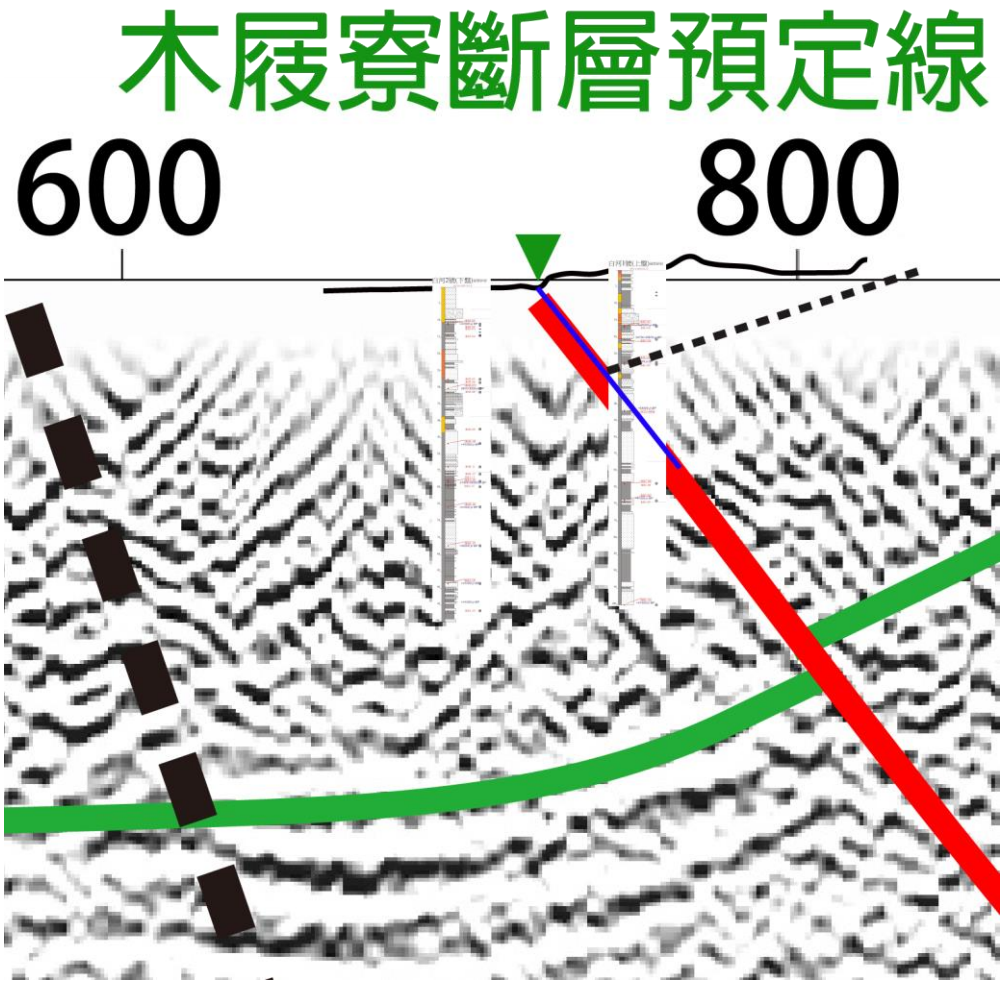


圖 4.3-11 木屐寮測線(17P-MCL-MCL01) 移位前雙程走時剖面局部放大圖

4.4 木屐寮斷層測區施測結果之討論

測線施測長度表格如表 4.4-1、表 4.4-2，本研究團隊在木屐寮共施測 17 條地電阻測線，總長 3649 公尺。其中六雙層與沖積層可以藉由電性的差異判斷，在木屐寮斷層沿線的施測結果來看，在原有線跡上，地電阻模型看來可以分辨出斷層上下盤地層之差異。但在斷層線跡延伸線外側的量測，不論是北區頭前溪南北岸以及南端點六重溪南岸，我們似乎都無法看出有斷層經過的層位差異出現。推論斷層線跡沒有再往外做延伸，未來將規劃數條測線反復查證，增加可信度。而淺層震測結果經由白河場址鑽井柵狀剖面圖比對後，可以推測訊號不連續的現象應為斷層經過所造成，而淺部地層傾角也與鑽井資料吻合。

關於調查成果之可能誤差範圍，本計畫透過地電阻探測方法，針對每一條測線之電性反應定義其上下盤關係，並加入工程鑽井的判釋結果與地質調查所提供之 100 年活動斷層分布跡線估算其最長距離作為誤差值。初步估算本計畫木屐寮斷層之誤差值為 70 公尺。

表 4.4-1 105 年木屐寮斷層測區地電阻測線長度對照表

測線	地電阻(m)
105-MCL-01	420
105-MCL-02	198
105-MCL-03	320
105-MCL-04	198
105-MCL-05	220
105-MCL-06	118
105-MCL-07	174
105-MCL-08	198
105-MCL-09	270
總計	2116

表 4.4-2 106 年木屐寮斷層測區地球物理測線長度對照表

木屐寮斷層測區	地電阻(m)	淺層震測(m)
106-MCL-10	256	
106-MCL-11	132	
106-MCL-12	268	
106-MCL-13	248	
106-MCL-14	164	
106-MCL-15	150	
106-MCL-16	105	
106-MCL-17	210	
17P-MCL-MCL01		1460
總計	1533	1460

第五章 六甲斷層

5.1 地質概述

六甲斷層為逆斷層，由臺南市白河區頭崎內里地六重溪南岸向南延伸至官田區社子村，呈北北東轉南北走向，斷層傾角約為 30 度，長約 16 公里。斷層東南側為上盤，主要出露為六雙層，西側下盤則為沖積層或階地堆積層(圖 5.1-1)。斷層於地下淺部可能截切全新世地層(楊志成等，2005)，由大地測量結果，上下盤仍有明顯的壓縮量,顯示其為一逆滑形式兼具右移分量(饒瑞鈞等,2006)，屬於第一類活動斷層(林啟文等，2012)。由楊志成等（2005）繪製之地質剖面（P-P'）來看（圖 5.1-2、圖 5.1-3），其認為牛山背斜與前大埔向斜之特殊形貌，乃六甲斷層為發育於斷坪（flat）與斷坡（ramp）的構造。從中油公司之 NS-27 鑽井資料（中國石油公司，1989）與六甲斷層下盤全新世岩層對比圖（O-O '）顯示，井下 3,350 公尺具有傾角約 43 度之斷層面，顯示斷坡大致以 30°~45°的傾角向西逆衝至地表，而斷坪則約位於地下 4~5 公里處，而不對稱之牛山背斜的發育可能與六甲斷層的擴展有關。

石瑞銓等人(2008)於六甲斷層上盤(池口 1 號)及下盤(池口 2 號)各鑽 1 口井，兩口井的岩層層序可以比對，淺部礫石層兩口井差 15 公尺，深部礫石層和古土壤 層兩口井的高程差降至 5-6 公尺，岩層對比高程差的變化可以用褶皺解釋：六甲斷層池口 1 號井深度 55 公尺處岩層傾角改變，故以此為向斜軸(軸面東傾)通過位置，此點 以上之岩心將愈遠離褶皺軸，故二口井之同一對比岩層之高程差將向上逐漸增大(下盤 岩層緩傾)。石瑞銓等人(2008)於柳營地區完成 1 條淺層震測測線，剖面東側可見地層的傾斜，研判可能是關子嶺背斜西翼的向斜軸變形所致之地表線形（表 5.1-1）。

台灣嘉南農田水利會（2015），為評估烏山頭水庫壩基的安全影響，針對疑似六甲斷層跡延伸位置，由八田紀念館之停車場附近往南延伸至台南藝術大學南側門附近，進行六條地電阻影像剖面調查(圖 5.1-4)。除 RIP-2 剖面可區分為三層外，其他剖面則皆可區分出兩層近似水平之電性地層，I 層大致為水平延伸之特性，分布在高程-50 公尺以上，電阻率約為 1-80Ω-m，偶有高電阻率出現；Ⅱ層，分布在高程-50 公尺以下，電阻率約為 40-1000Ω-m，具有幾處電性不連續帶存在（如圖 5.1-4 黃色箭頭所示）。將各剖面電性不連續位置比對中央地質調查所之六甲斷層跡與本計畫線形分布，電性不連續面位置大致位於或接近斷層跡或線形西側。而鑽井資料也發現斷層的兩側也發現了不一樣的層面位態及剪動面位態，因此認為六甲斷層可能延伸至烏山頭水庫西側，其長度至少增加 2.4 公里。

本區位於臺灣西部外麓山帶與海岸平原的交接帶，線形東側為高低起伏的嘉義丘陵區，西側則為平緩的嘉南隆起海岸平原（林朝棨，1957），兩者間存在相當地落差。此區的地勢東高西低，因此河川大致由東向西流，在丘陵區西緣亦發育部份古沖積扇。然而從中研院提供的台灣堡圖中，六甲斷層沿線從北到南有六重溪、龜重溪與官田溪，其中官田溪在烏山頭水庫完工後水量逐漸減少而變成以灌溉為主的渠道，我們發現這些河流不單純是由東向西流，而是在接近六甲斷層跡位置時有南北方向的河道發育，研判與六甲斷層發育時造成的地表變形有關，建議未來亦可以利用古地形圖的河道變化情形來增加活動斷層判斷的資料。

本區域位於西部麓山帶前緣，屬於更新世地層，主要出露地層由老至年輕依序為二重溪層、六雙層、階地堆積層以及現代沖積層（何信昌等，2005、楊志成等，2005）(圖 5.1-1)，其特性分述如下：

二重溪層：分布於烏山頭水庫壩址東側區域，本層岩性以塊狀泥質砂岩之出現為最大特徵，常為泥質砂岩和泥岩相互交替出現為主，局部有透鏡狀石灰岩出露。厚層砂岩連續延展成豬背狀山脊，是野外良好之指準層。砂岩膠結疏鬆，普遍含貝類化石，常呈密集帶出現，泥岩則含豐富微體化石和部分貝類化石。

六雙層：分布於烏山頭水庫大壩壩軸線兩側，岩性主要為黃棕色厚層砂岩與青灰色粉砂岩或泥岩互層，兩者之間常為侵蝕面接觸，面上常見泥球或礫石。砂岩淘選度佳，具低角度交錯層理或平行紋理，泥岩常受到生物擾動影響，沉積環境屬於海岸環境至遠濱環境。陳文山等(1994)亦指出本層內的棕黃色砂岩的成因為板岩岩屑減少所致，研判六雙層沉積當時東側已有沉積岩的山塊抬升。本層假整合於二重溪層之上，岩層厚度最厚達 1,250 公尺，根據超微化石分析，地層應屬於中期至晚期更新世（Chi, W.R, 1980；洪崇勝，1991；謝凱旋與黃敦友，2003）。

階地堆積層：本層分布於烏山頭水庫西側山麓之前緣地帶，地形呈現平緩向西傾斜之地形面，岩性為風化土壤層及砂、泥層，上覆於六雙層之上。

現代沖積層：本層主要分布於現生河道內及平原區，由泥、沙或礫石等地質材料所組成。

表 5.1-1 六甲斷層前人施測資料整理

前人施測資料	文獻來源	結果及解釋
鑽井	石瑞銓、王維豪、李元希(2008) 地震地質與地變動潛勢分析 斷層帶地下構造調查研究(2/4)池口 1 號井、2 號井。	於六甲斷層上盤(池口 1 號)及下盤(池口 2 號)各鑽 1 口井,兩口井的岩層層序可以比對，淺部礫石層兩口井差 15 公尺，深部礫石層和古土壤 層兩口井的高程差降至 5-6 公尺，岩層對比高程差的變化可以用褶皺解釋。
震測	石瑞銓等(2008)	針對六甲斷層施測淺層震測測線—柳營測線，所得震測剖面訊號清晰且連續，剖面東側可見地層傾斜，研判可能是關子嶺背斜西翼的向斜軸變形所致之地表線形。
鑽井與地電阻	台灣嘉南農田水利會（2015）	以地電阻測線 RIP-2、RIP-3、RIP-4 與 RIP-5 剖面中疑似斷層跡通過附近進行地質鑽孔，每孔深度在 50~150 公尺不等，共 13 孔。由岩心紀錄，依其岩性與產狀分為表土回填層、沖積層、岩盤以及剪切構造，其中沖積層深度於 45 公尺以內，以泥、泥質砂以及砂為主。岩盤深度約在 44.15 公尺以下，以泥岩、砂岩及泥質砂岩為主。鑽井岩心呈現淺部地層傾角約為 50 ~ 60 度，深度愈往下之岩層傾角漸緩，約為 10 ~ 20 度。下部之平緩地層應屬於下盤；上部高角度傾斜地層應受斷層作用而傾斜，則為上盤。 進行六條地電阻影像剖面調查，除 RIP-2 剖面可區分為三層外，其他剖面則皆可區分出兩層近似水平之電性地層。將各剖面電性不連續位置比對中央地質調查所之六甲斷層跡與本計畫線形分布，電性不連續面位置大致位於或接近斷層跡或線形西側。

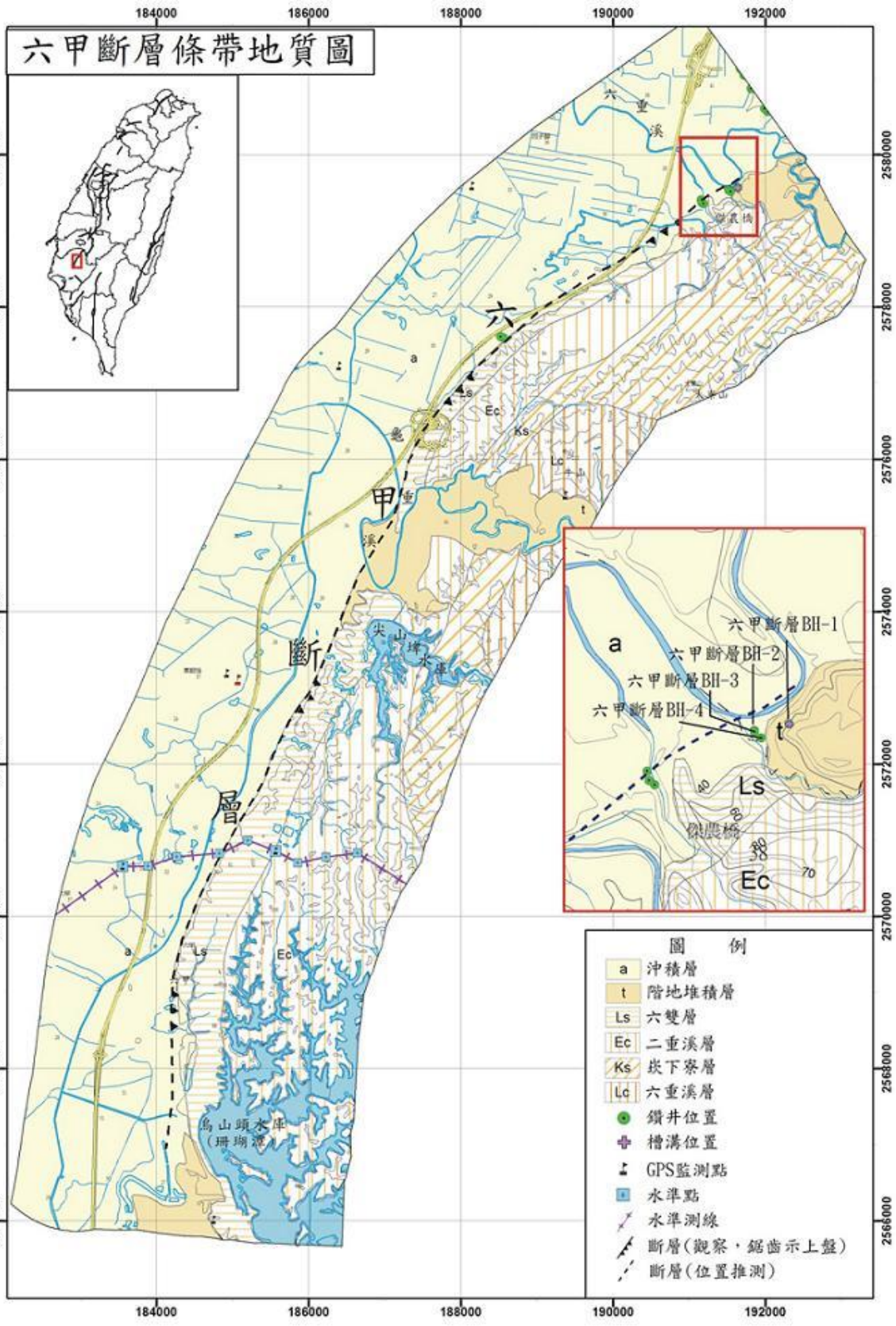


圖 5.1-1 六甲斷層條帶地質圖及本年度重點施測區域(TWD67，摘自地調所)

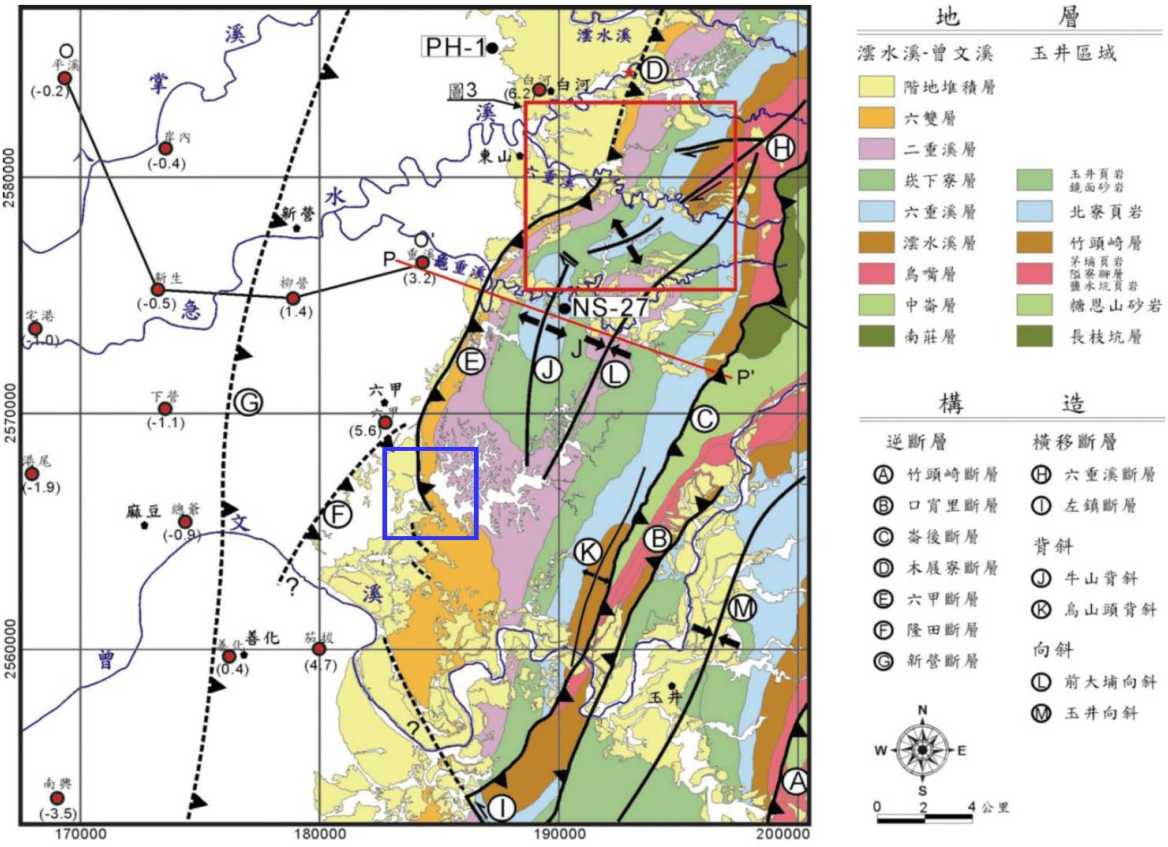


圖 5.1-2 楊志成等（2005）繪製之地質剖面(P-P')位置

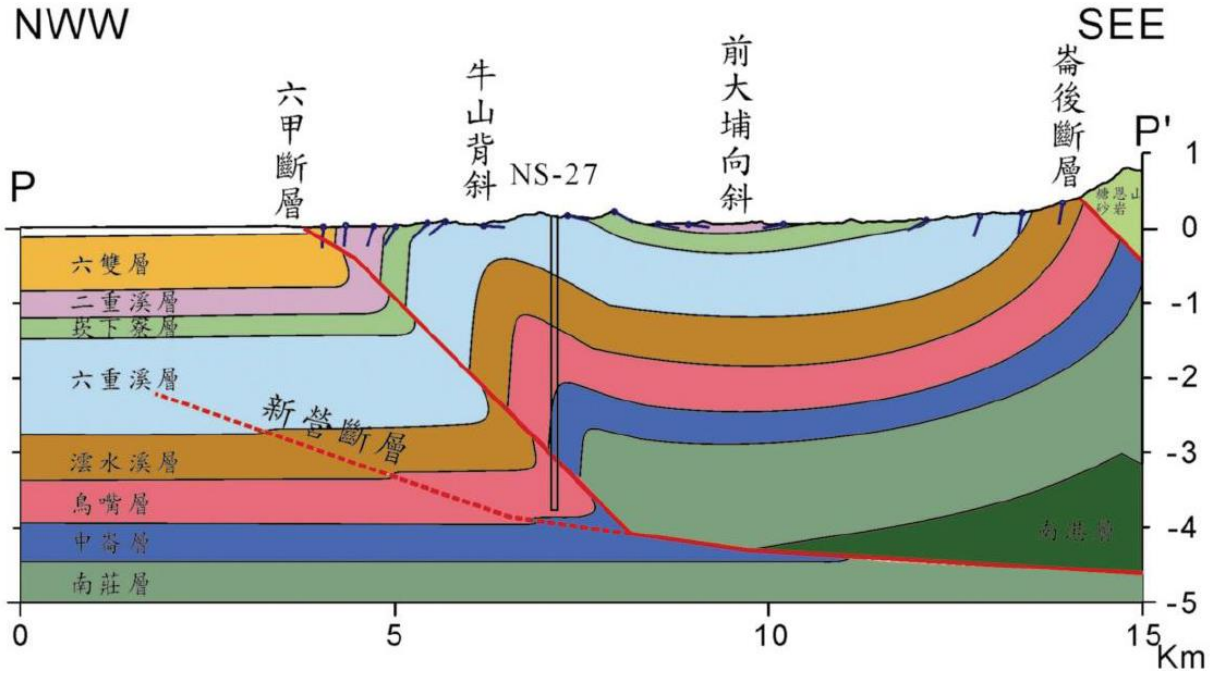


圖 5.1-3 楊志成等（2005）繪製之地質剖面(P-P')

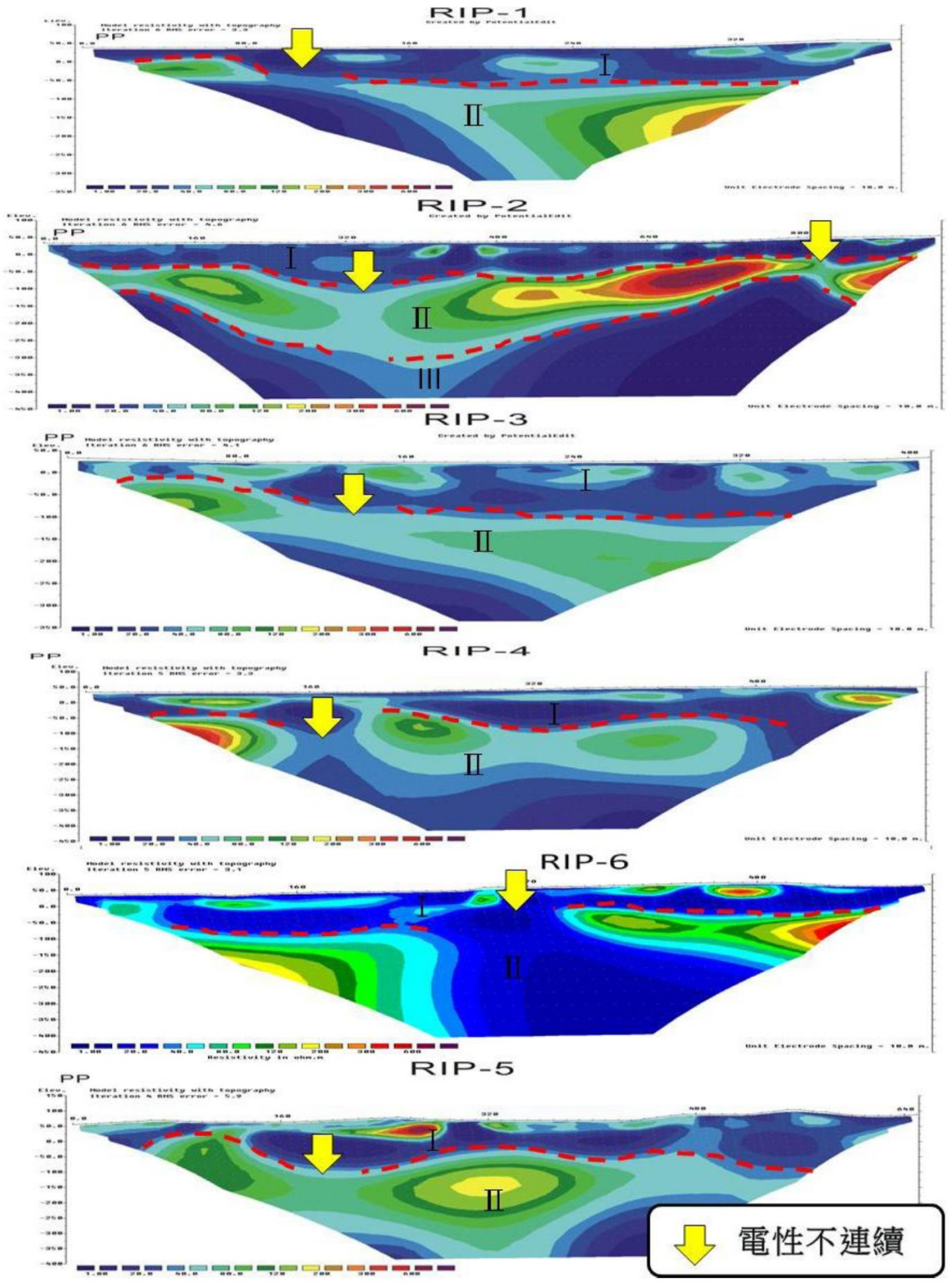


圖 5.1-4 前人地電阻探測結果（台灣嘉南農田水利會，2015）

5.2 六甲斷層調查工作

在六甲斷層區域，本團隊選擇在斷層線跡沿線，北側資料從蔦桐崎開始（LC-11），末端在台南藝術大學南段結束（LC-07），由於六甲斷層分佈平行國道三號，而國道三號沿線有許多高壓電塔，故施做測線需盡量避開電塔影響，並垂直斷層線跡，以供往外延伸區域的地層差異作背景比較。主要工作目標放在斷層線跡是否有與往南延伸。本研究團隊於六甲斷層之地電阻調查，以線跡沿線為施測重點，測線分佈圖如圖 5.2-1。

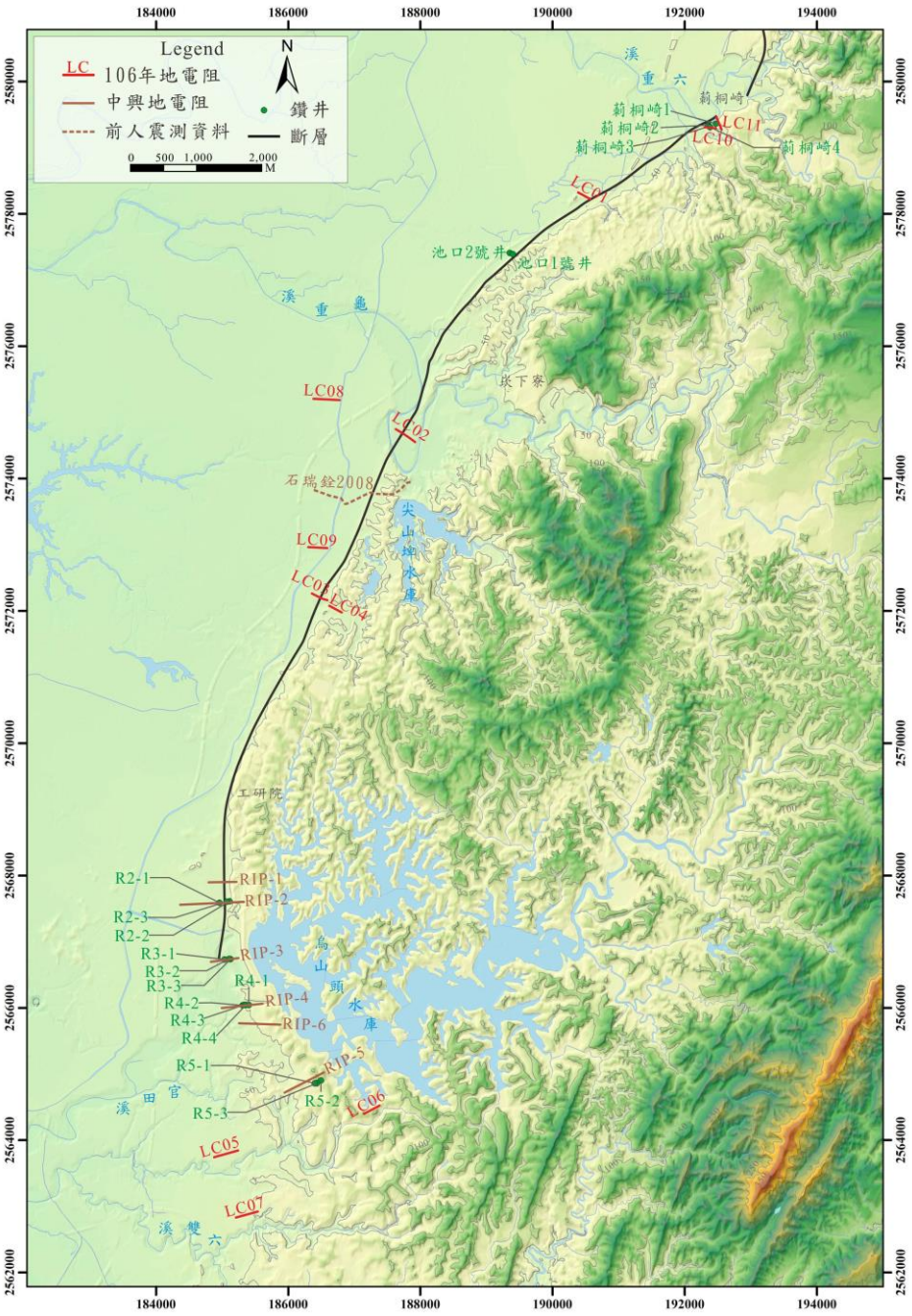


圖 5.2-1 六甲斷層測區地球物理測線分佈

5.2.2 地電阻成果

位於莿桐崎附近的 LC-10 與 LC-11 測線，總長約 360 公尺，測線結果如圖 5.2-2、圖 5.2-3。反演模型顯示測線 105-200 公尺處，深度約 20 公尺存在一個低阻的電性地層，研判為六雙層，而西側則皆為沖積層，此電性不連續面約在 LC-10 測線 75 公尺處；LC-11 測線 125 公尺處，可與六甲斷層線跡比對。

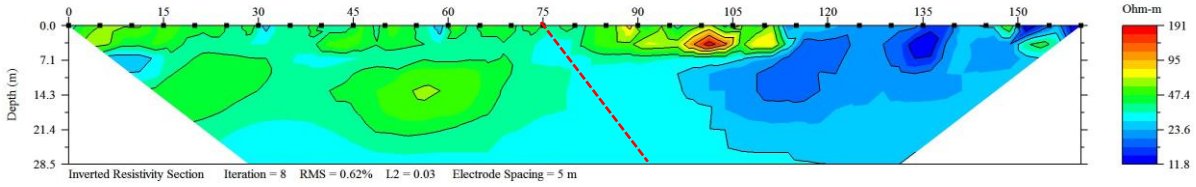


圖 5.2-2 LC-10 電阻率模型（紅色虛線為電性不連續面）

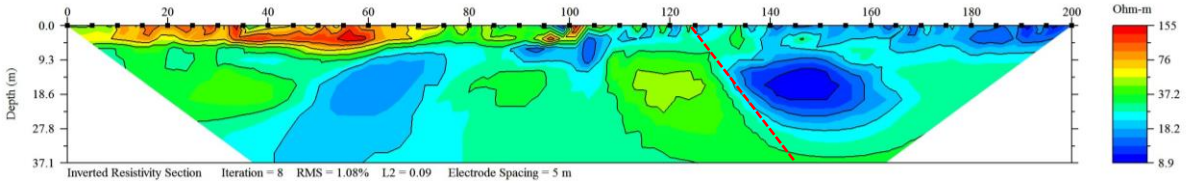


圖 5.2-3 LC-11 電阻率模型（紅色虛線為電性不連續面）

位於東山里東側的科里附近的 LC-01 測線，長 200 公尺，測線結果如圖 5.2-4。 反演模型顯示測線 140-200 公尺處，深度約 20 公尺同樣存在一個低阻的電性地層，研判可能位於六甲斷層的變形前緣，實際的六甲斷層線跡應向東側延伸，而此相對低阻的地層可能為六雙層。

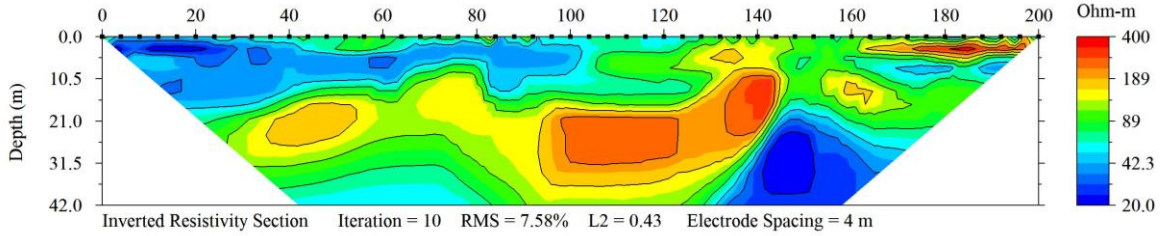


圖 5.2-4 LC-01 電阻率模型

在六甲斷層線跡中段的二重溪南北岸，本研究團隊在跨越線跡的兩側施做二條測線。位於北側的 LC-02 與南側的 LC-03 測線結果如圖 5.2-5 與圖 5.2-6。地表深度約 10 公尺以內出露一淺層的高阻電性地層，研判為沖積層；深度在 10 公尺以下處可見一低阻電性地層，研判為六雙層，其中 LC-02 測線通過楊志成（2005）測線的中段，顯示地層位態的變化（由陡轉為水平），可與剖面結果相符。LC-03 地電阻剖面約在 140-150 公尺處有一電性不連續面，根據現場施測報告，應是本測線使用跨越道路導致。

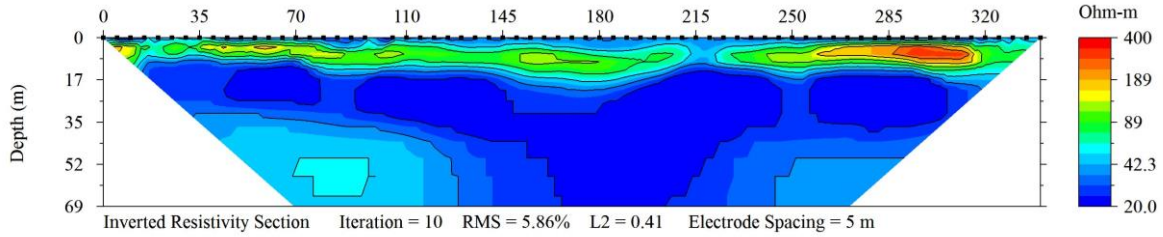


圖 5.2-5 LC-02 電阻率模型(紅色虛線為判釋之地球物理不連續面)

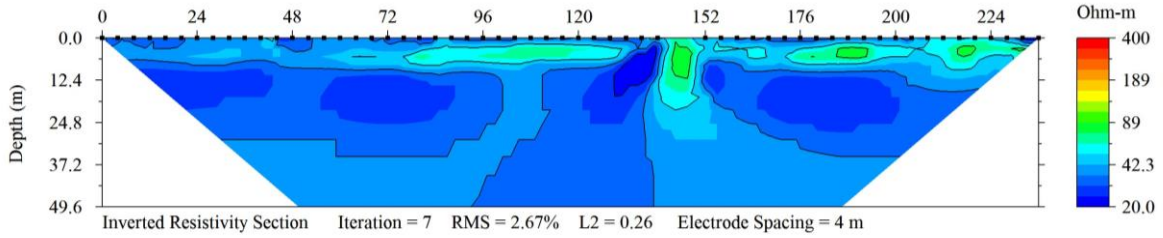


圖 5.2-6 LC-03 電阻率模型

位於六甲斷層線跡東側的 LC-04 測線，長 192 公尺，測線結果如圖 5.2-7。LC-04 測線位於佛山觀音殿西南方的農地上，未有明顯的地形起伏，反演模型顯示測線為一個低阻的電性地層，研判為六雙層，六甲斷層應該在西側的 LC-03 測線經過。

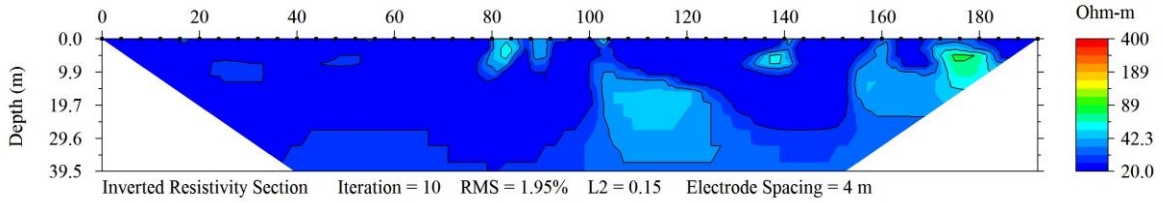


圖 5.2-7 LC-04 電阻率模型

於台南藝術大學附近的 LC-05 測線，長 365 公尺，測線結果如圖 5.2-8。LC-05 測線位於六甲斷層南端的線跡以外，野外施測時為一平坦的農地，反演模型顯示測線同樣為一個低阻的電性地層，研判為六雙層，六甲斷層未通過本測線。

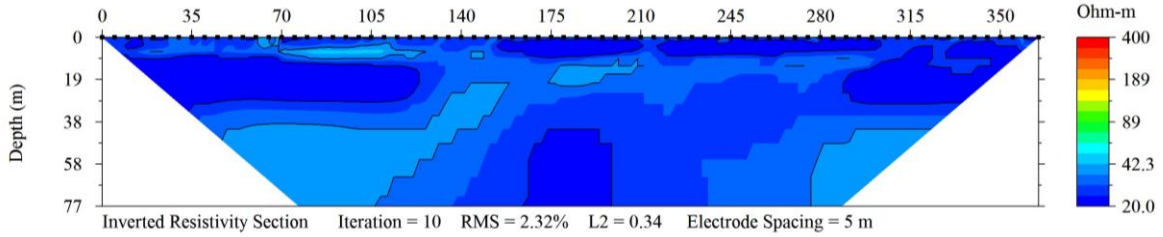


圖 5.2-8 LC-05 電阻率模型

測線 LC-08 與 LC-09 位於國道三號西側的農地上面，LC-08(圖 5.2-9) 相當單純的反應一系列低阻的訊號，推測為六雙層，而 LC-09(圖 5.2-10) 則可見一由高轉低的電性界面，推測可能為沖積層覆蓋在六雙層上面。

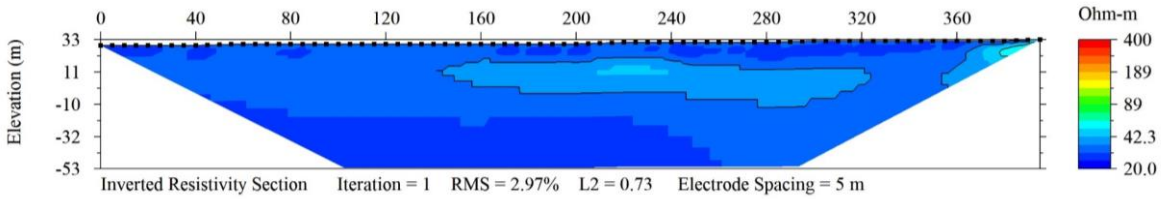


圖 5.2-9 LC-08 電阻率模型

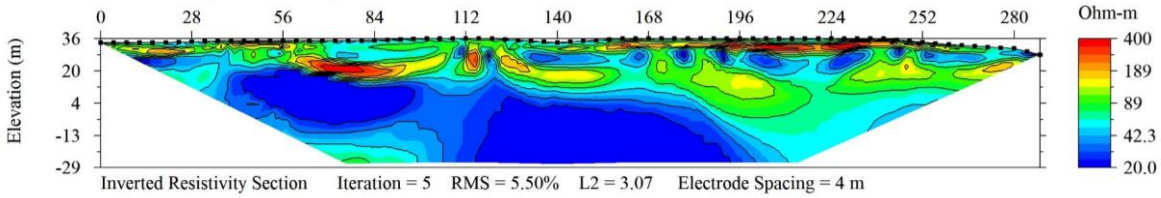


圖 5.2-10 LC-09 電阻率模型

於台南藝術大學南側後門的 LC-06 與 LC-07 測線，長 580 公尺，測線結果如圖 5.2-11、圖 5.2-12。LC-06 相當靠近烏山頭水庫集水區，反演模型顯示測線 LC-06 存在一個由高轉低的電性不連續面。LC-07 靠近台南高爾夫球場附近的平坦的農地，反演模型顯示測線為一個低阻的電性地層，研判皆為六雙層，六甲斷層未通過本測線。

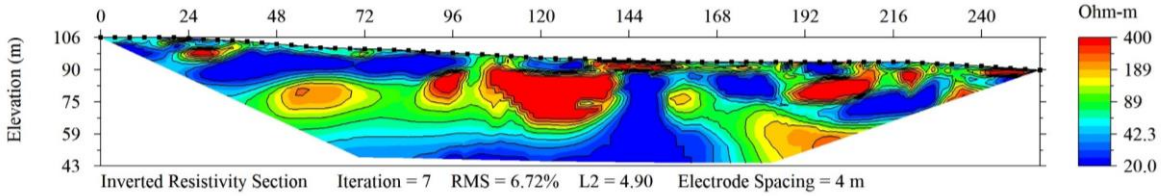


圖 5.2-11 LC-06 電阻率模型

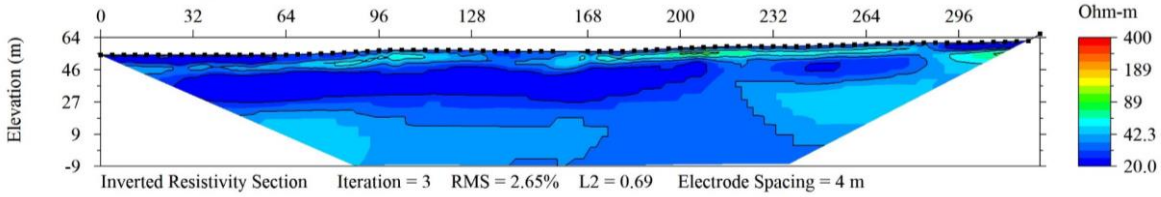


圖 5.2-12 LC-07 電阻率模型

5.3 六甲斷層測區施測結果之討論

施測長度表格如表 5.3-1，本研究團隊在六甲斷層測區共施測 11 條測線，總長 2591 公尺。在六甲斷層的施測結果來看，在原有線跡上，地電阻模型可以分辨出斷層上下盤地層之差異（LC-01、LC-10、LC-11）。但在斷層線跡的評估，例如台灣嘉南農田水利會，在評估烏山頭水庫壩基的安全影響評估報告中，研判六甲斷層應向南延伸 2.4 公里，本計劃在台南藝術大學附近的 LC-05、 LC-06 和 LC-07 等測線無法看出有斷層經過的層位差異出現。推論斷層線跡沒有往南延伸 。關於調查成果之可能誤差範圍，本計畫透過地電阻探測方法，可清楚的定義東測高阻的六雙層與西側低阻的沖積層，而此不連續面僅在 LC-10、LC-11 中可以觀察得到。

表 5.3-1 六甲斷層測區地電阻測線長度對照表

六甲斷層測區	地電阻(m)
LC-01	200
LC-02	335
LC-03	236
LC-04	192
LC-05	365
LC-06	256
LC-07	324
LC-08	395
LC-09	288
LC-10	160
LC-11	200
總長	2591

第六章 斷層長期滑移速率調查

6.1 前言

集集地震在中台灣地區造成至少一百公里長的地表破裂，依據斷層活動特性與地質特性可以分為三個斷層區段，由北而南為石岡斷層、車籠埔斷層以及大尖山斷層。過去斷層活動性與古地震研究主要針對石岡斷層與車籠埔斷層，但是大尖山斷層的活動性（滑移速率）則沒有明確的地質相關資料，所以本研究乃針對此斷層進行長期滑移速率的調查研究。

大尖山斷層屬於逆斷層兼具左移，921 集集地震時產生地表破裂，地表抬升約 10-100 公分，斷層跡位置由南投縣竹山鎮頂林至嘉義縣竹崎鄉觸口，長約 25 公里。斷層北端為鹿寮斷層截切，以北為車籠埔斷層，中段被古坑斷層（左移斷層）截切，古坑斷層以南延伸至觸口（八掌溪）轉為西北走向，古坑斷層以南區段又稱為觸口斷層（圖 6.2-1；李元希等人，2002；李彥良，2001；林啟文等人，2000；陳文山等人，2010；黃鑑水等人，1994；劉彥求等人，2004）。

本研究預期沿斷層跡進行地形調查，查看斷層沿線的斷層是否截切近代堆積層（階地），再進行碳十四定年。目前於本區域研究，僅在桶頭橋東側階地有產狀描述（圖 6.2-2），但尚無階地年代。所以本調查工作除了斷層沿線從竹山鎮頂林至嘉義縣竹崎鄉觸口進行地質與地形調查之外，希望在此階地採取可定年材料進行碳十四定年，來估算大尖山斷層的長期滑移速率。

6.2 地質地形

大尖山斷層跡位置由南投縣竹山鎮頂林（抄封）至雲林縣古坑鄉樟湖山北側的利通橋（內寮林道），被西北走向的古坑斷層截切。繼續朝西南延伸至嘉義縣竹崎鄉觸口，之後再轉為西北走向。斷層全長約 40 公里（含南側西北走向的斷層跡），斷層面朝東傾斜約 50 度（Yang et al., 2006），屬於第一類活動斷層。

從頂林（抄封）至利通橋的斷層區段在 921 地震當時，地表抬升約 10-100 公分。斷層上盤地層主要為晚期中新世的大窩砂岩，部分為關刀山砂岩，下盤為頭嵙山層火炎山相礫岩。古坑斷層以南區段，921 地震當時未產生錯動，斷層上盤地層主要為南莊層，下盤為頭嵙山層火炎山相礫岩層。斷層經觸口之後轉為西北走向，成為斷層的側向斷坡構造（lateral ramp）。

由於西南部地區諸多的活動構造（斷層與褶皺），因此在麓山帶中形成許多的階地地形，分為河階與扇階（圖 6.2-2）。大尖山斷層沿線在北段由頂林（抄封）至利通橋之間，僅在桶頭橋有截切河階；而南段至觸口之間的蜈蚣坪，部分斷層似有截切兩處的扇階（圖 6.2-2）。以下將描述桶頭橋河階與蜈蚣坪區域的

扇階產狀。

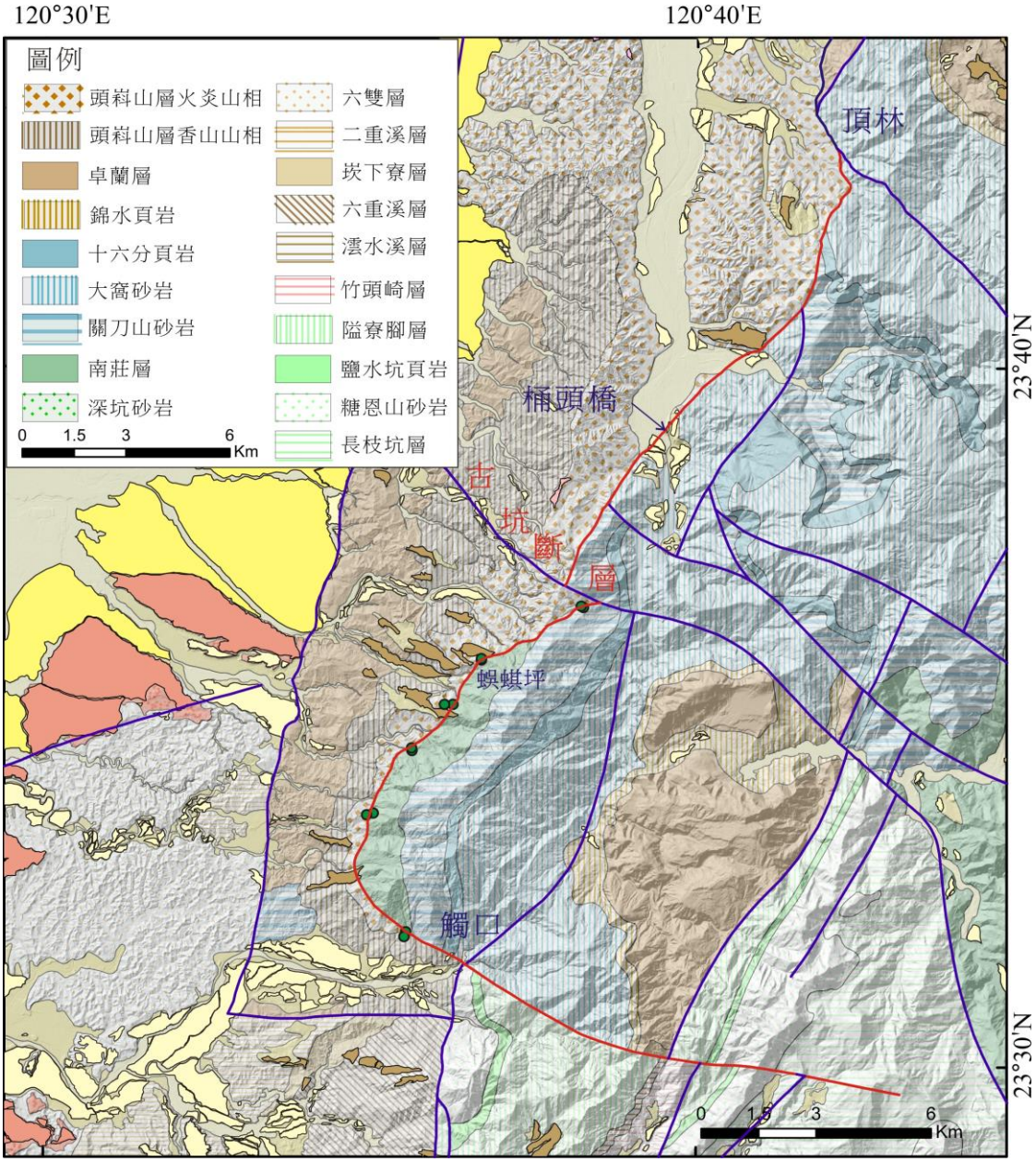


圖 6.2-1 大尖山斷層（紅色線）沿線地質，藍色線為鄰近的斷層，綠色圓圈為顏一勤（2013）鑽井位置。

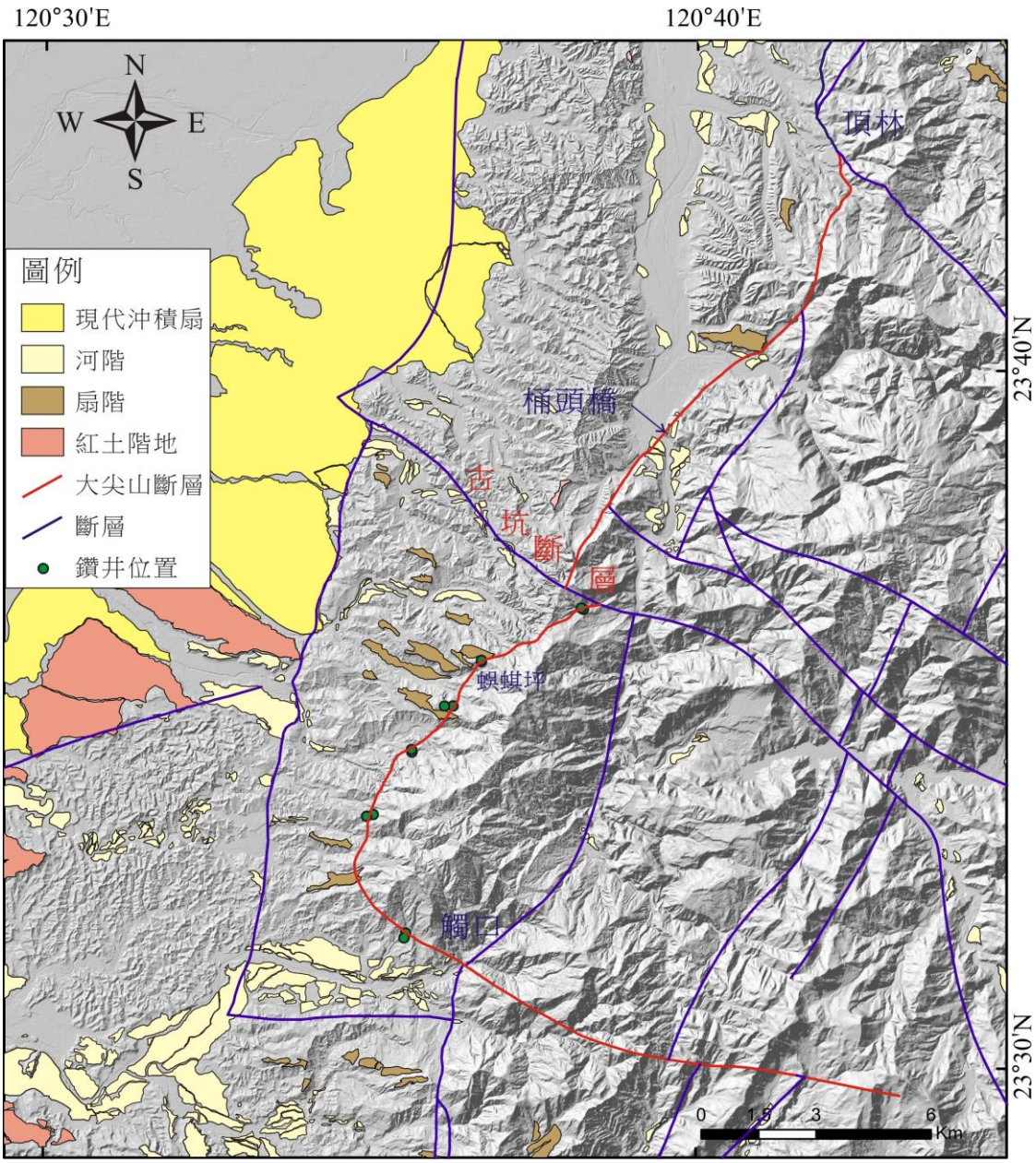


圖 6.2-2 斷層沿線的階地地形，綠色圓圈為顏一勤（2013）鑽井位置。

6.3 桶頭橋河階

桶頭橋的河階位於大尖山斷層的上盤（圖 6.3-1，圖 6.3-2），依階地高度分為兩階，河階礫石層不整合在斷層剪切帶之上，地層屬於晚期中新世大窩砂岩，下盤為更新世頭嵙山層火炎山相礫岩（圖 6.3-3）。河階礫石層之下的大窩砂岩岩盤均受到強烈的斷層剪切作用（圖 6.3-1），岩盤之上河階堆積層未見到被錯移的跡象。本研究在第二階河階層中採集一個碳化樣本。

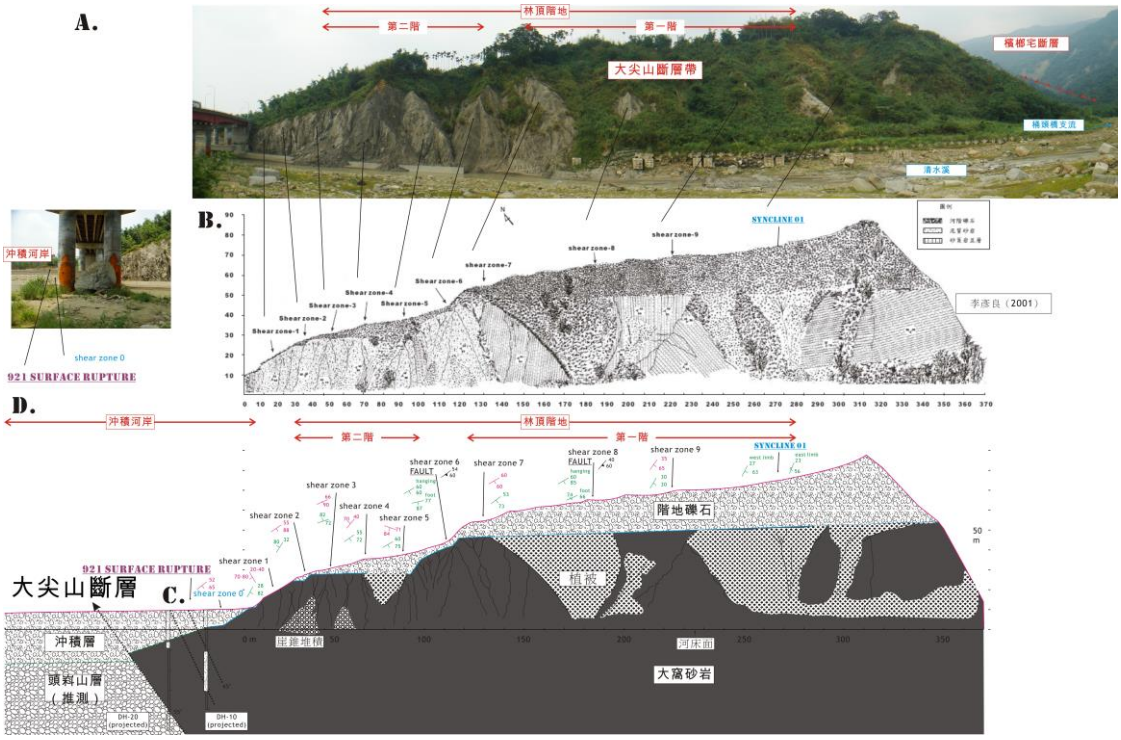


圖 6.3-1 桶頭橋東側的階地剖面（李彥良，2001）。

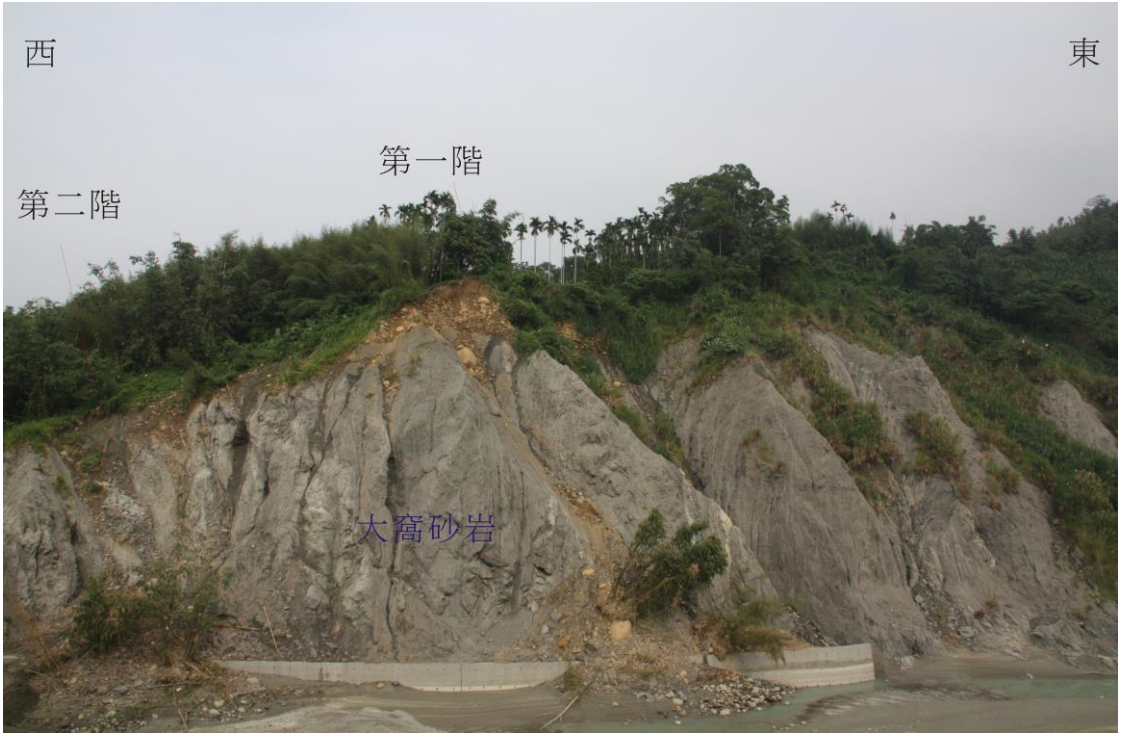


圖 6.3-2 桶頭橋東側，大尖山斷層上盤河階，岩盤為大窩砂岩。



圖 6.3-3 大尖山斷層經桶頭橋北端，右側（東）青灰色地層為晚期中新世大窩砂岩，左側（西）的土黃色地層為更新世頭嵙山層。

6.4 蜈蜞坪扇階（群）

蜈蜞坪地區在大尖山斷層的下盤分布有許多的扇階地形，扇階（群）分布走向皆與鄰近的河流平行，呈北西約 80 度，階地堆積層厚度非常厚，約 15-25 公尺（圖 6.2-2，圖 6.5-1），與此地區的河階堆積層厚度有很大差異，其厚度大致 10 公尺以下。從數值地形圖研判，有兩處扇階的階地頂端（東）在接近斷層跡位置可能被大尖山斷層截切，但目前此扇階群尚無年代資料，本研究於野外調查期間亦無發現可供定年的材料。

6.5 長期滑移速率

本研究經野外調查結果，僅在桶頭橋東側斷層上盤的第一階河階中發現一個碳化樣本，但經碳十四定年結果，年代小於 300 年（表 6.5-1）。因此本研究上尚無法獲得大尖山斷層的長期滑移速率。

此外本研究亦針對 貴所在 102 年度鹿野斷層與大尖山斷層補充地質調查案（顏一勤，2013）中在蜈蜞坪地區的鑽探進行評估，欲由鑽探與定年資料結果了解是否可以提供此扇階群的年代。從大尖山-1 號井至從大尖山-6 號井（共 10 孔鑽井）位置來看，大尖山-2 號 A 與 B 井，以及大尖山-3 號 A 與 B 井位置鄰近扇階的頂端。另由，鑽井岩心的岩性來看，大尖山-1 號 B 井、大尖山-3 號 B 井以及大尖山-5 號 B 井都鑽穿斷層帶，並且在斷層帶之下，分別在各井的深度 21.7 公尺、32.1 公尺，以及 10.1 公尺處鑽入扇階堆積層（圓度佳的礫石層），但這些礫石層中未發現碳化樣本。因此也無法由鑽井岩心獲得扇階的沉積年代。



圖 6.5-1 蜈蚣坪地區扇階堆積層。

表 6.5-1 碳十四定年。

國立台灣大學地質科學系加速器質譜實驗室
The NTUAMS Lab
Department of Geosciences, National Taiwan University
106 台北市羅斯福路四段 1 號
No.1, Sec.4, Roosevelt Road, Taipei 106, Taiwan
Tel: +886-2-33662929 Fax: +886-2-23636095

AMS ^{14}C Dating Report

Date: 29/09/2017
Reporter: Hong-Chun Li

Dear 陳文山教授:
The results of your AMS ^{14}C dating samples are below:

Lab Code	Sample ID	C12 current (A)	C14 counts	C14 statistical error (%)	pMC (%)	error (±)	Δ^{14}C (‰)	error (±)	^{14}C Age (year BP)	error (±)	Calendric age (year BP)	error (±)
NTUAMS-3959-1	桶頭橋-01	6.76E-06	64430	0.39	108.74	3.69	87.42	2.97	modern			

Instrument: The AMS model: HVE 1.0MV Tandetron Model 4110 BO. Settings for C3+ mode: Termination Voltage = 1000KV; Stripper gas = 2.5X10^{-2} mbar; Cs temperature = 95°C; All slits are open; GIC gas pressure = 11.0 mbar. Transmission rate: ~20%. pMC = % of modern C14 activity. Dates between 50.000 and 1 BP were calibrated using the calibration curve CalPal2007_HULU. (http://www.calpal-online.de/). All ratio measurements have 2σ uncertainty. The calibrated ages have 1σ error.
BP: Before Present. The present is AD 1950 in the C-14 dating method.

李紅春 教授

國立臺灣大學 NTUAMS LAB 加速器質譜實驗室

第七章 池上斷層地下掃描時序監測

7.1 區域背景資料

(一) 池上斷層

花東縱谷位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊交接處，根據 GPS 針對地表變形的觀測結果，縱谷兩側每年約有 3 公分的相對位移（Yu and Kuo, 2001）。花東縱谷上的斷層由北往南可分為花蓮、玉里、池上與台東等四個斷層區段，其中斷層活動最為明顯的就屬池上斷層。透過法國與台灣學者進行的地表變形的長期觀測（Angelier et al.,2000；Lee, 2003），讓我們看到了池上斷層長期的逆斷層滑移現象。其研究發現該區地表潛移現象與季節可能相關，在乾季時（十月至二月）潛移現象不明顯近乎停止，而到了雨季時，則可觀測到明顯的地表潛移。

(二) 大坡國小

池上斷層中段的地表破裂帶，通過位於台東池上大坡國小校區東側隆升的山丘山腳處。此山腳處受地殼長期擠壓移動，有明顯的地表破裂，長期的潛變監測也發現，池上斷層大約一年約有 21 毫米的縮短量。然而，此廣為認定的斷層跡緊鄰坡地，加上斜坡面上可見擋土牆及水泥溝渠傾側，類似邊坡重力地滑的特徵，因此也曾有多位學者(如 Angelier et al., 2000)，對大坡國小處的地變機制，提出非單純斷層作用所引致的論點。

(三) 國外電磁觀測

全本研究將在現有的地表潛變觀測位置附近，進行長期連續的地下電性構造監測，並量測自然電場隨時間之變化，以捕捉可能之臨震地電場訊號。全球目前針對地震活動分析已建立許多電磁波監測站，用以研究電磁場擾動與地震活動之關聯性，例如美國加州（Fraser-Smith et al., 1990）、墨西哥（Kotsarenko 2007；Ram´ırez-Rojas et al., 2008）、希臘地區（Varotsos et al., 1984）、中國（湯吉，2010）以及日本（Uyeda et al., 2000），皆有許多的電磁觀測文章，主要的監測有地電場監測、地磁場監測以及電磁波監測。

美國加州地區由於地震發生頻繁，一直是地球物理學家研究地震的觀測實驗場址，沿著周遭區域理所當然地佈下了各種可行的物理觀測，電磁場觀測自然含括在內，較多被發表的是超低頻磁場觀測（ultra-low frequency magnetic field, ULF）。提到有關地震活動前後與磁場開始擾動的時間關聯（Fraser-Smith et al., 1990）。此類超低頻磁場的異常，通常是在大地震前 5 至 12 天會出現一天內振幅的異常，甚至是數小時內。另外在日本、義大利、希臘、墨西哥等地區，也都

有類似的觀測與分析研究。

最早在 1984 年提出高頻的地震引發電場擾動（Seismic Electric Signals, SES）的是希臘的學者 Varotsos（Varotsoset al., 1984），其團隊（VAN group）認為有些高頻的（1 赫茲(Hz)）電場觀測擾動，可能可以作為短期的地震預測指標，在震央 10 公里範圍內能被觀察到。此方法也在 1990 年開始應用於日本地區，雖然這樣高頻的訊號被之後的學者質疑，還陸續有很多的文章提出了高頻（VHF）與低頻（VLF）等不同頻率上，電磁場擾動與地震活動可能的關聯（Hayakawa, 1996a, b；Yoshida and Nishi, 2002），更有一些例子應用在火山區地震活動的監測（Uyeda et al., 2002）。目前電磁觀測提及與地震活動相關的研究，尚以討論觀測異常數據與地震時間的關聯性為多，通常在數十天以前或更長的時間以上，會有電磁場強度增強或高頻擾動行為的出現。也有觀測於震後或同震時間點的同步電磁場擾動資料（Widarto, 2009），這類震後訊號被歸咎於壓電效應或震動與地下水的交互作用。

7.2 量測方法

地電阻法是被廣泛應用的地球物理探勘方法之一，通過一對電極對地下通以直流電，並由附近一處之電極對量測其電位差，以瞭解地下地層的電性分佈。本研究將建立在應用傳統直流電阻法與自然電位法的基礎下，進行跨孔式的井下地電阻量測與長期的自然電位監測。透過科技部地球物理中心所購置之遠端地電阻系統，將可連續紀錄大地電場的變化，並在整理每兩星期至少一個直流電法量測結果，透過長期固定的掃描，以監測活動斷層附近之地下電性的改變。

第一期觀測之地下電極陣列埋設於 5 口井，其井位分佈如圖 7.2-1，井內電極藍色標示為自然電位監測與地電阻電位量測用電極，紅色為地電阻法放電電極。目前有三口井深 20 米；兩口 30 米，各井下電極垂直間距為 2 米，故每口 20 米之深井設置有 5 個電流極與 5 個電位極，而兩口 30 米之深井則設置有 7 個電流極與 8 個電位極，量測電位之參考電極位於井 1 之 30 米深的位置。

第一期跨孔地電阻量測預計將可計算五個分析模型（井 4-3-2、井 4-5-1、井 5-3、井 1-3 與井 1-2），長期量測的地電阻剖面，將可提供地下電性構造隨時間的改變。在非直流電法觀測時，將使用每口井的電位極，以 25 赫茲採樣率進行長期的連續自然電位觀測，紀錄自然電場隨時間之變化。研究將比對本年度在觀測區域附近所發生之地震活動，期望能找到地電場異常訊號與地震活動之關聯性。第二期，則搭配新設量測孔及測請管，最新之井位與電極配置如圖 7.2-2，於 2016 年 5 月 19 日開始新記錄。井 6 下配置如其他第一期井，垂直間距為 2 米，從深度從 2 至 30 米深共 15 個電極。因多增加 15 個電極可量測與放電，所

有觀測電極配至更換如圖 7.2-2，放電電流極統一由各井最下方開始配至，依序往上配至兩個電位觀測極，如此三個一組由下至上配置。

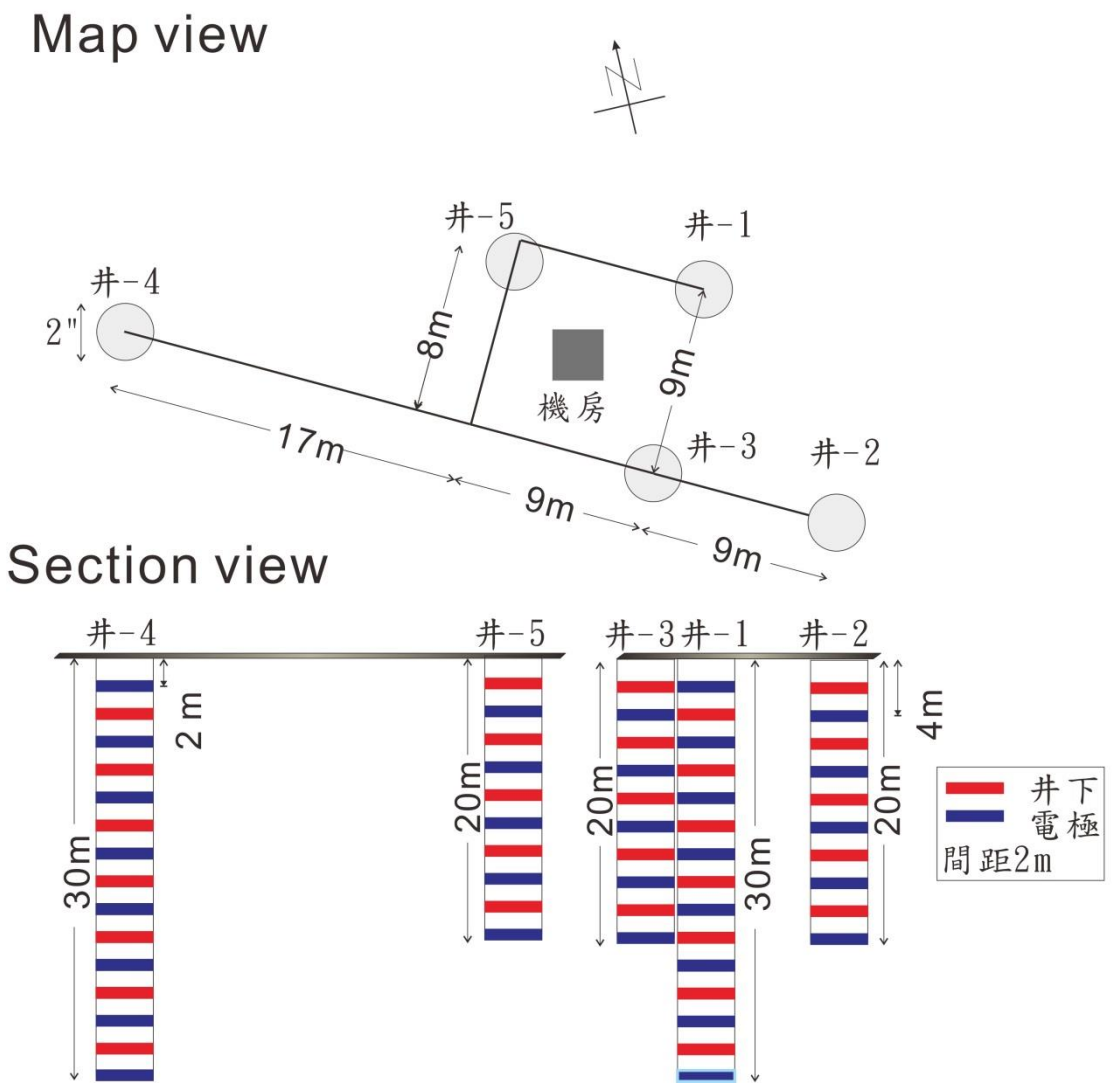


圖 7.2-1 第一期觀測電極配置圖。

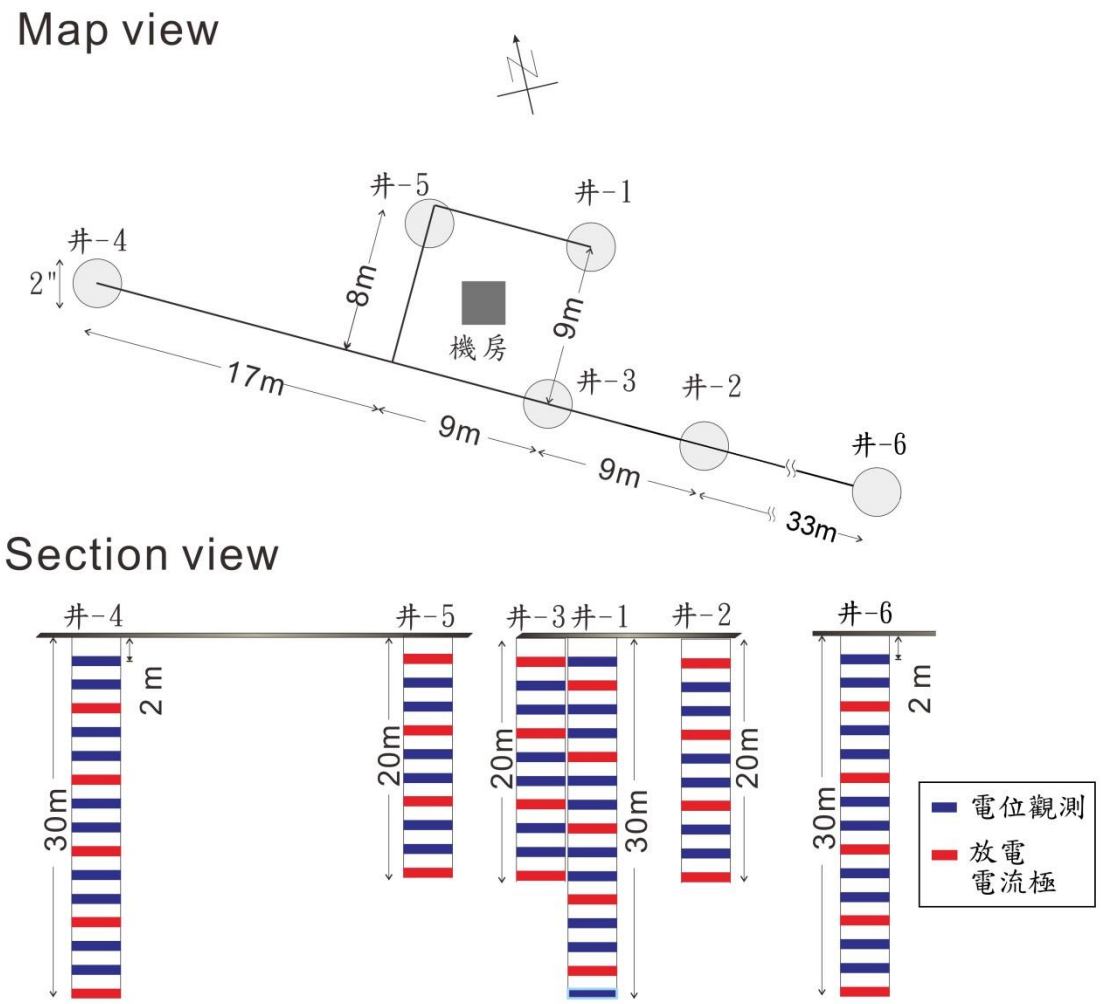


圖 7.2-2 本年度新設井與觀測電極配置圖。

7.3 大坡國小監測

在 105 年於測區進行了兩次地表地電阻量測(測線位置如圖 7.3-1A 所示)，用以瞭解池上斷層之分布情形。而為了驗正地電阻資料正確性，以及對大坡國小場址的地下斷層幾何構造及地變機制進行更深入的瞭解，我們陸續進行了四口井孔的岩心鑽取及傾斜儀的設置，相關測線與井位的位置如圖 7.3-1A 上所標示。圖 7.3-1A 為地表地質構造示意圖，底圖為無人載具所拍攝的空照圖，標示有 ERT 的線段為地面地電阻測勘線的位置。圖 7.3-1B 為兩垂直剖面的構造示意圖，底圖為地面地電阻測勘的反演模型。兩條地電阻測線，皆垂直橫跨坡腳，水平展距約為 128 米，約略相互平行，30 米於坡腳前的平地，98 米於坡面上。四口取岩心的井孔，為搭配裝設井下地電阻測量儀的鑽孔同時進行，由西往東分別為井 4、井 1、井 7 及井 6，井 4 在坡腳前約 14 米處，井 1、井 7 及井 6 在斜坡上，離坡

腳分別為 7 米、45 米及 48 米，除井 7 為設置傾測儀用，僅鑽取岩心 16 米外，其他三孔皆鑽至地面下 30 米深處，但井 6 於 28 米處卡鑽，僅取得 28 米深以上的岩心。二維地表地電阻調查我們使用地球物理中心之遠端地電阻系統監測系統進行地電阻量測，測線總長為 128 米，採用電流與電位極交錯排列進行量測。各電極間距 2 米共 32 個電流極與 33 個電位極。由量測的 24 萬筆複雜陣列數據數據中篩選出強訊號之 16 萬筆數據後，再經過 10 次隨機挑選其中 2.6 萬筆數據方進行逆推反演。我們使用 AGI 所發展之 EarthImager2D 軟件進行二維地電阻模型反演，最後平均 10 次反演結果所得之最佳模型如圖 7.3-1B 所示。

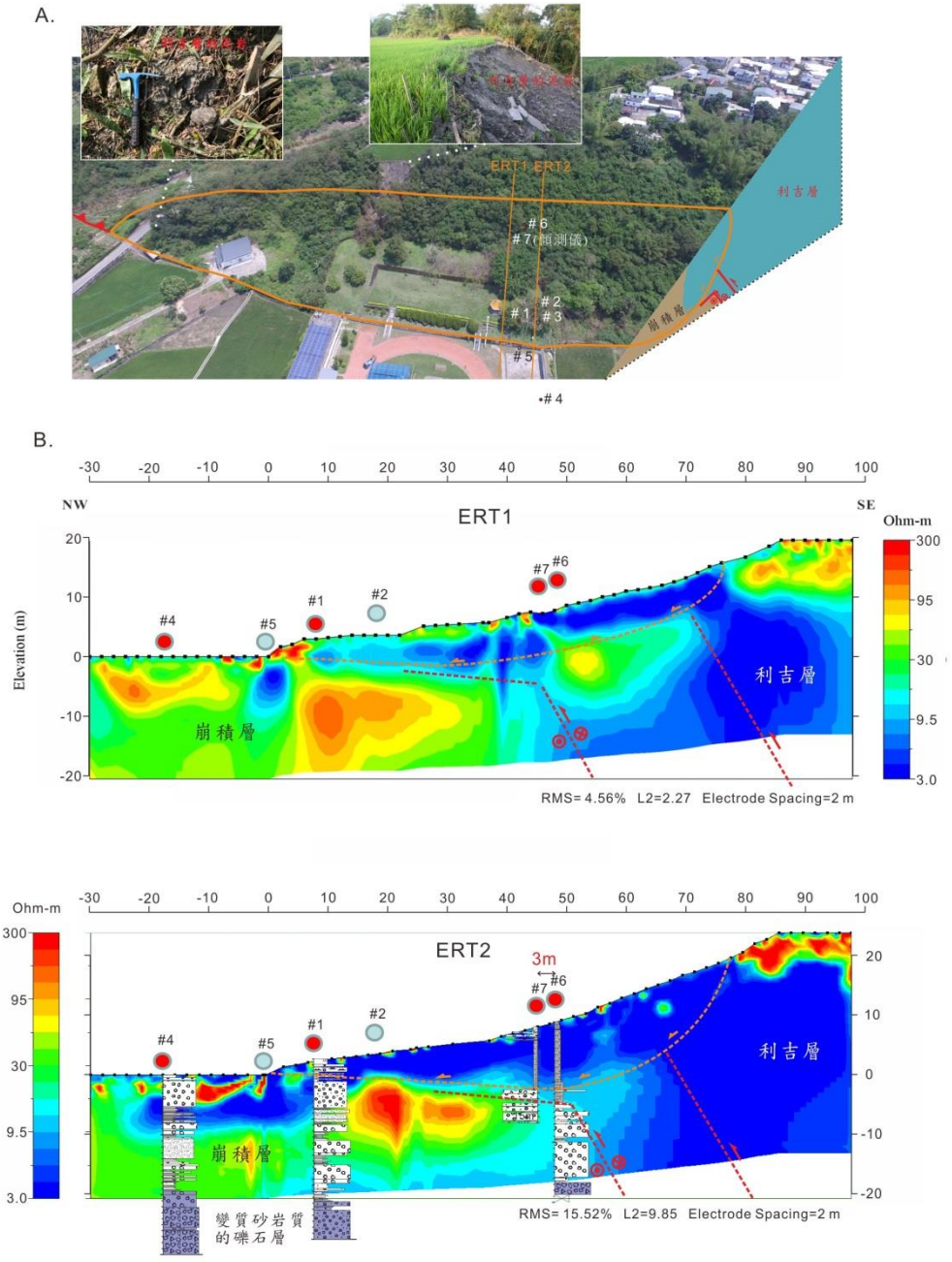


圖 7.3-1 大坡國小場址的構造示意圖。

在圖 7.3-1B 之逆推模型可以看到，兩次的調查結果顯示了明顯的電性不連續位置。而圖 7.3-2B 模型中水平位置 32 至 7 米下方中間有一層綠色過渡帶，為淺層低電阻區與深部之高阻層之分界。此綠色過渡帶反應的可能是池上斷層的一個破裂分支，此分支為一約 10 度傾角之低角度錯動帶。60 至 80 米附近下方另有一高低電阻之分界，此約 60 度之高角度分界可能為池上斷層主要錯動帶。

本研究於第二年度進行第二次地電阻調查後，並於南測線 48 米位置鑽井 30 米深，於 105 年 5 月 19 日開始新設觀測電極進行本斷層活動監測研究。使用的六口井中，我們可將井 4-3-2-6 連成一線最為一下盤至上盤之二維剖面，這與先前之地表調查測線類似，使用井下電極量測結果如圖 7.3-2，可對比圖 7.3-1B 下圖，我們可以看到在東側，井下電極量測結果顯示，井 2 與井 6 間地下 0 至 15 公尺存在有一個淺層低阻與下方高阻的明顯邊界。

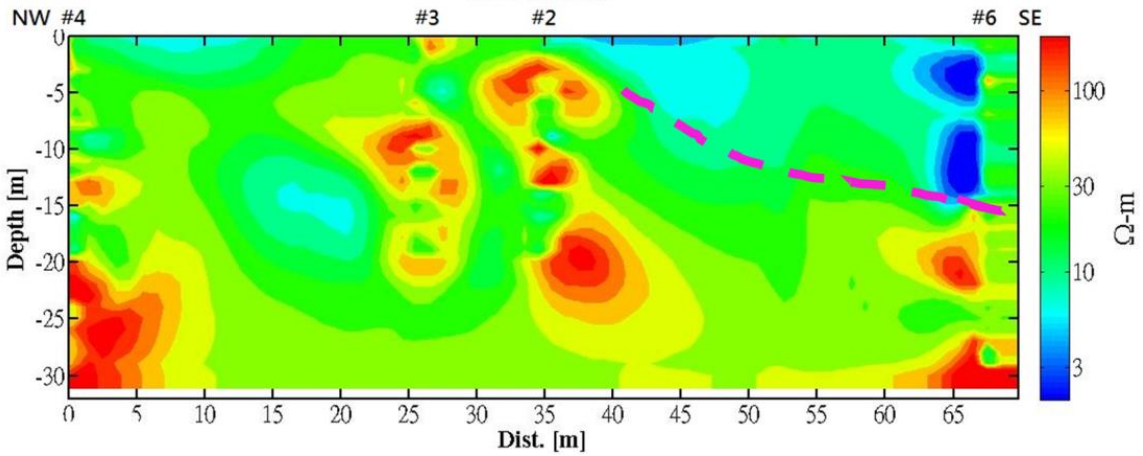


圖 7.3-2 井 4 至井 6 井下二維地電阻量測結果。

彙整本計畫於大坡國小的岩心照片參見圖 7.3-3：圖中依各井孔的相對位置及高程併置，以利判讀。緊鄰青灰色泥的數字為其碳十四定年的結果。三口長岩心的鑽孔，底部皆為中粒到粗粒(其中一軸最寬可達 20 公分)的變質砂岩質礫石層，各孔此礫石層頂部約略在同一高程，僅一、兩米的高差。其上皆覆蓋黃棕色安山岩質礫石的崩積層，井 4 及井 1 除此無其他岩性，井 6 與井 7 則有利吉層的含礫泥岩以斷層接觸上覆於崩積層之上。

本研究於井 7 為了裝設傾測儀而鑽，也特別規劃搭配井 6，作為斷層傾角的判定之用，兩井僅離約 3 米遠。於井 6 及井 7 皆出現兩處利吉層與崩積層的斷層接觸，由於其高程約相當，因此判定此兩斷層於井 6、井 7 間，應皆近乎水平。10 米長的定置式傾斜儀(In Place Inclinometer, IPI)架設於井 7 的工程，已於 105 年 4 月底完成，經過約一周的回填穩定，將初始值日期時間設定為[2016-05-05 11:20:00]，目前可以以底下的連結 http://220.128.111.34:20030/chishang/直接線上

即時觀看量測結果，5 分鐘更新一筆資料，其畫面如圖 7.3-4，此傾斜儀裝設於井 7 內，總長 10 米。監測的井位深度為地面下 15 米到 5 米，15 米處設為不動的參考點，半米一個量測結點，測量水平變位量，並拆解成南北向及東西向兩分量，分別依各節點的深度及兩變位分量。

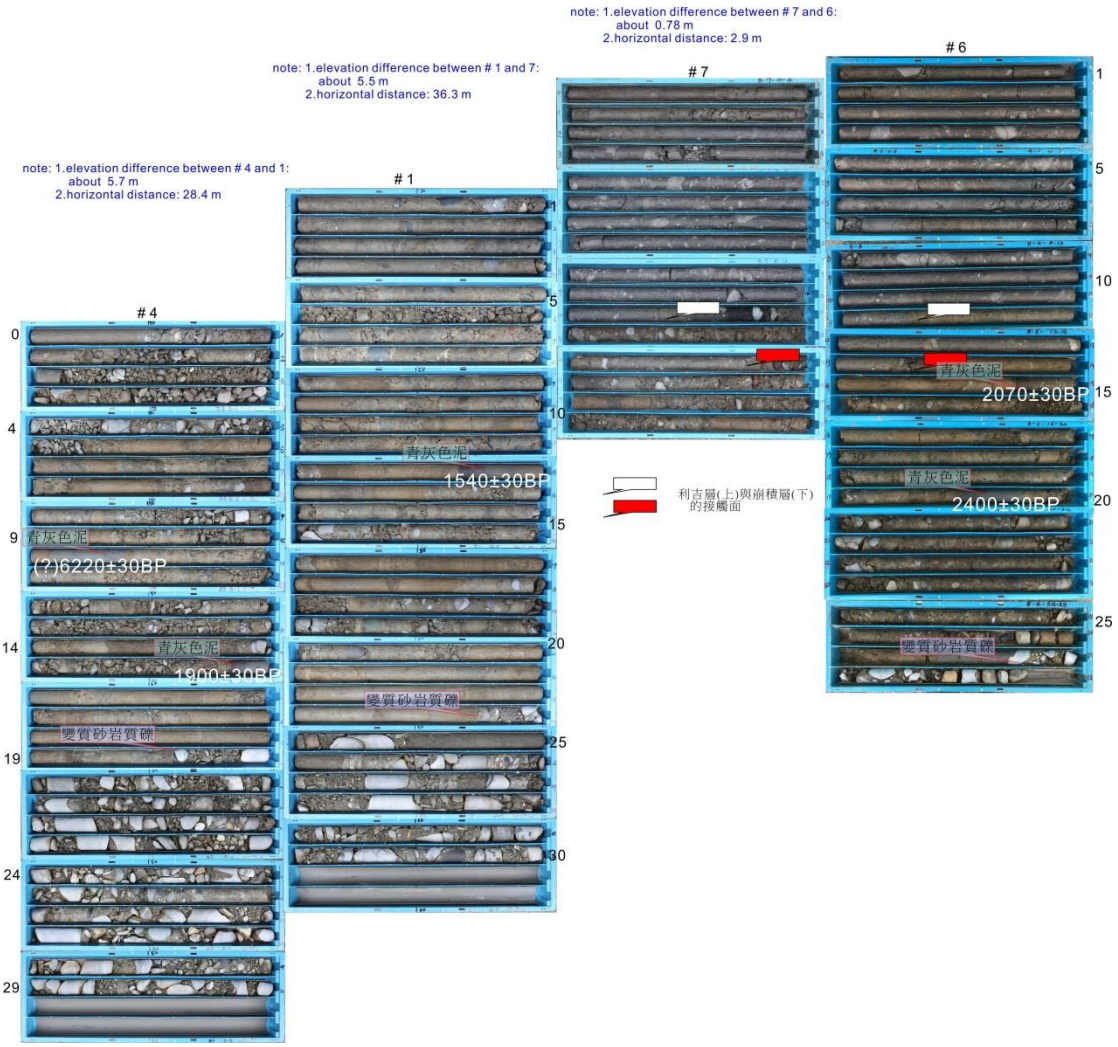


圖 7.3-3 岩心照片彙整。

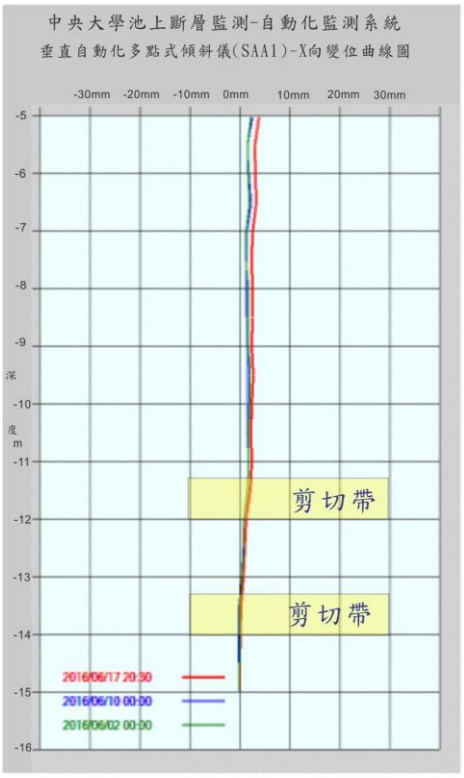
量測時間 : 2016/06/17 20:30:00

網頁更新時間 : 2016/06/17 21:15:35



下載數據
顯示工程地理位置圖

中央大學池上斷層監測-自動化監測系統
CR1000記錄器_ST1-----2016/06/17 20:30
SAA1垂直多點式傾斜儀-----2016/06/17 20:30
ST1_MBattery--------- 12.66-----(Vdc)
ST1_Pannel_Temp------ 31.55-----(℃)
SAA1_5.0-X---------- 3.87------(mm)
SAA1_5.5-X---------- 2.94------(mm)
SAA1_6.0-X---------- 3.07------(mm)
SAA1_6.5-X---------- 3.34------(mm)
SAA1_7.0-X---------- 2.51------(mm)
SAA1_7.5-X---------- 2.41------(mm)
SAA1_8.0-X---------- 2.60------(mm)
SAA1_8.5-X---------- 2.58------(mm)
SAA1_9.0-X---------- 2.47------(mm)
SAA1_9.5-X---------- 2.69------(mm)
SAA1_10.0-X---------- 2.48------(mm)
SAA1_10.5-X---------- 2.23------(mm)
SAA1_11.0-X---------- 2.44------(mm)
SAA1_11.5-X---------- 2.09------(mm)
SAA1_12.0-X---------- 1.25------(mm)
SAA1_12.5-X---------- 1.04------(mm)
SAA1_13.0-X---------- 0.75------(mm)
SAA1_13.5-X---------- 0.22------(mm)
SAA1_14.0-X---------- 0.20------(mm)
SAA1_14.5-X---------- 0.00------(mm)
SAA1_15.0-X---------- 0.00------(mm)
SAA1_5.0-Y---------- 1.02------(mm)
SAA1_5.5-Y---------- 1.25------(mm)
SAA1_6.0-Y---------- 1.09------(mm)
SAA1_6.5-Y---------- 0.89------(mm)
SAA1_7.0-Y---------- 1.20------(mm)
SAA1_7.5-Y---------- 1.09------(mm)
SAA1_8.0-Y---------- 0.98------(mm)
SAA1_8.5-Y---------- 1.25------(mm)
SAA1_9.0-Y---------- 0.98------(mm)
SAA1_9.5-Y---------- 0.87------(mm)
SAA1_10.0-Y---------- 0.62------(mm)
SAA1_10.5-Y---------- 0.31------(mm)
SAA1_11.0-Y---------- 0.06------(mm)
SAA1_11.5-Y---------- 0.11------(mm)
SAA1_12.0-Y---------- -0.03-----(mm)
SAA1_12.5-Y---------- -0.04-----(mm)
SAA1_13.0-Y---------- -0.11-----(mm)
SAA1_13.5-Y---------- -0.32-----(mm)
SAA1_14.0-Y---------- -0.12-----(mm)
SAA1_14.5-Y---------- -0.25-----(mm)
SAA1_15.0-Y---------- 0.00------(mm)



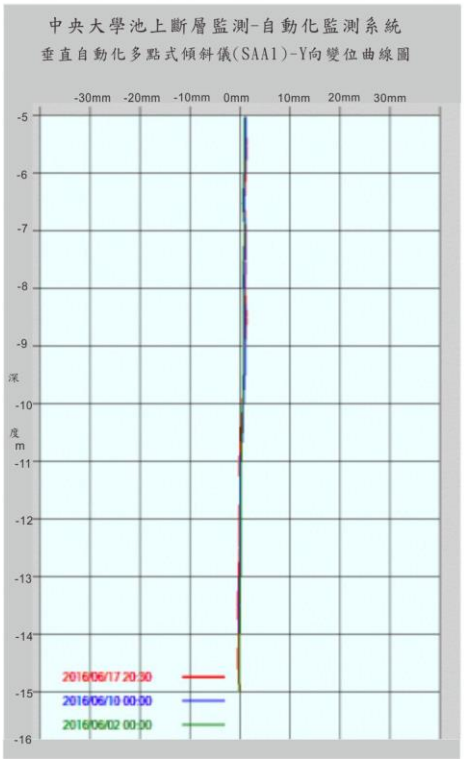


圖 7.3-4 池上斷層多點式傾斜儀自動監測系統網頁畫面及資料判釋。

106 年度觀測結果

106 年度一月至六月，我們取每一月、四月與六月的地電阻量測結果比較（圖 7.3-5），我們可以看到四月與六月逆推模型之差異不大。一月可能因地下水灌入水平位置在 35 公尺電極附近(井 2)，使得井周圍電阻變得異常低，之後可能因此受到極大接地電壓（雷擊）影響，造成了一次儀器的故障。若關注有搭配傾斜儀之井 6(水平 68 公尺位置)，我們可以看到 10 至 15 米有一明顯之邊界存在。可能與斷層剪切活動相關。

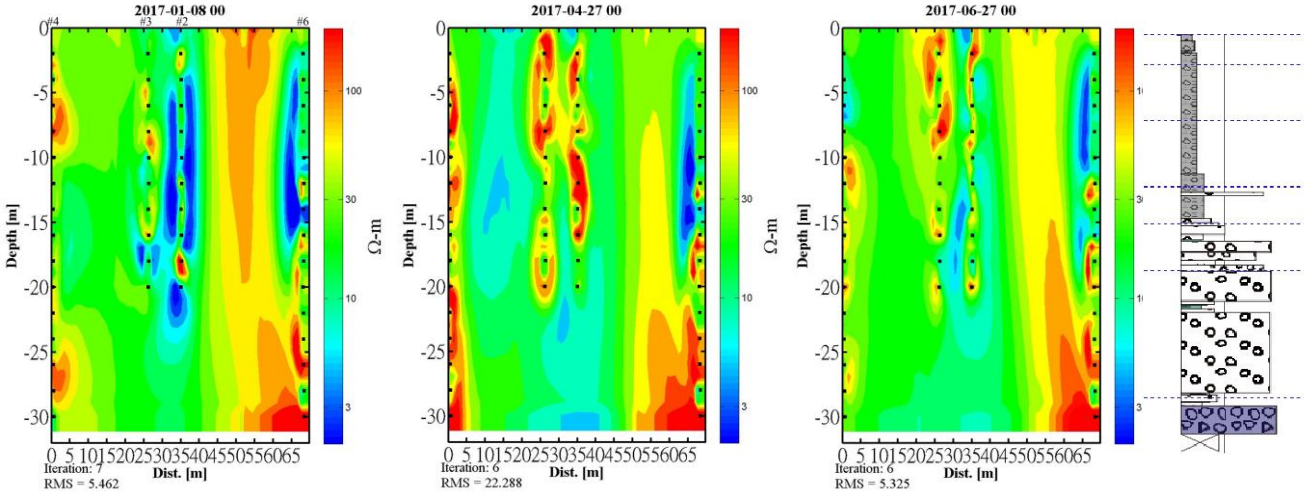


圖 7.3-5 本年度一月、四月及六月的井下電極地電阻量測結果

透過傾斜儀的連續觀測，累積一年半的資料我們發現有兩個明顯的剪切位置在-9.0~-8.0 與-13 至-11 公尺深（圖 7.3-6）。由兩分量一整年的資料(圖 7.3-6)約可以判釋出三段明顯的活動剪動帶，其中-13.5~-13.0 米、-9.0~-8.0 米這兩段，以往北變位分量相較為顯著，-11.0~-10.5 米向西的分量明顯增多，但向北變位約為西向之三倍，其位置約略相當於利吉層的泥(上)與崩積層(下)的斷層接觸面。-11 公尺之剪切位置，也可能與圖 7.3-5 最右側之電阻低轉高邊界有關。井孔內的累積變位量，往北約 23 公厘，往西約 5 公厘，水平變位量約 23.5 公厘，此值約略相當於潛變儀監測的年平均量 21 公厘(Lee et al., 2000)，但必須注意潛變儀僅記錄垂直於崖坡走向的變位量。

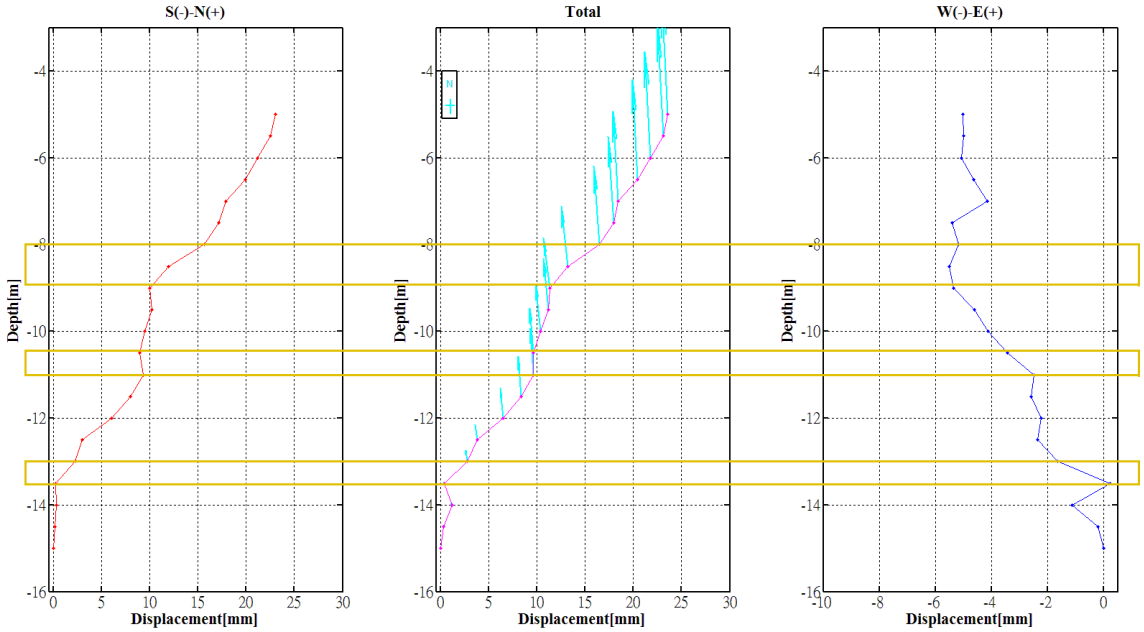


圖 7.3-6 傾斜儀 2017-11-15 累積位移結果

然自然電位觀測因儀器故障，自動監測最後被迫結束於 106 年 6 月 18 日。搭配活動斷層野外調查時程，本團隊日後將使用野外調查地電阻儀器進行量測工作。於 106 年 10 月進行了一次最上側兩口井(井 2、井 4)間的地電阻量測。不同於初期自動的井下跨孔量測，本次量測中搭配 20 個間距 2 公尺之地表電極於兩井間直線上，如此能提供較高之井間解析能力。未來預計將以一個月一次的量測進行重覆調查，10 月份之量測結果如圖 7.3-7。

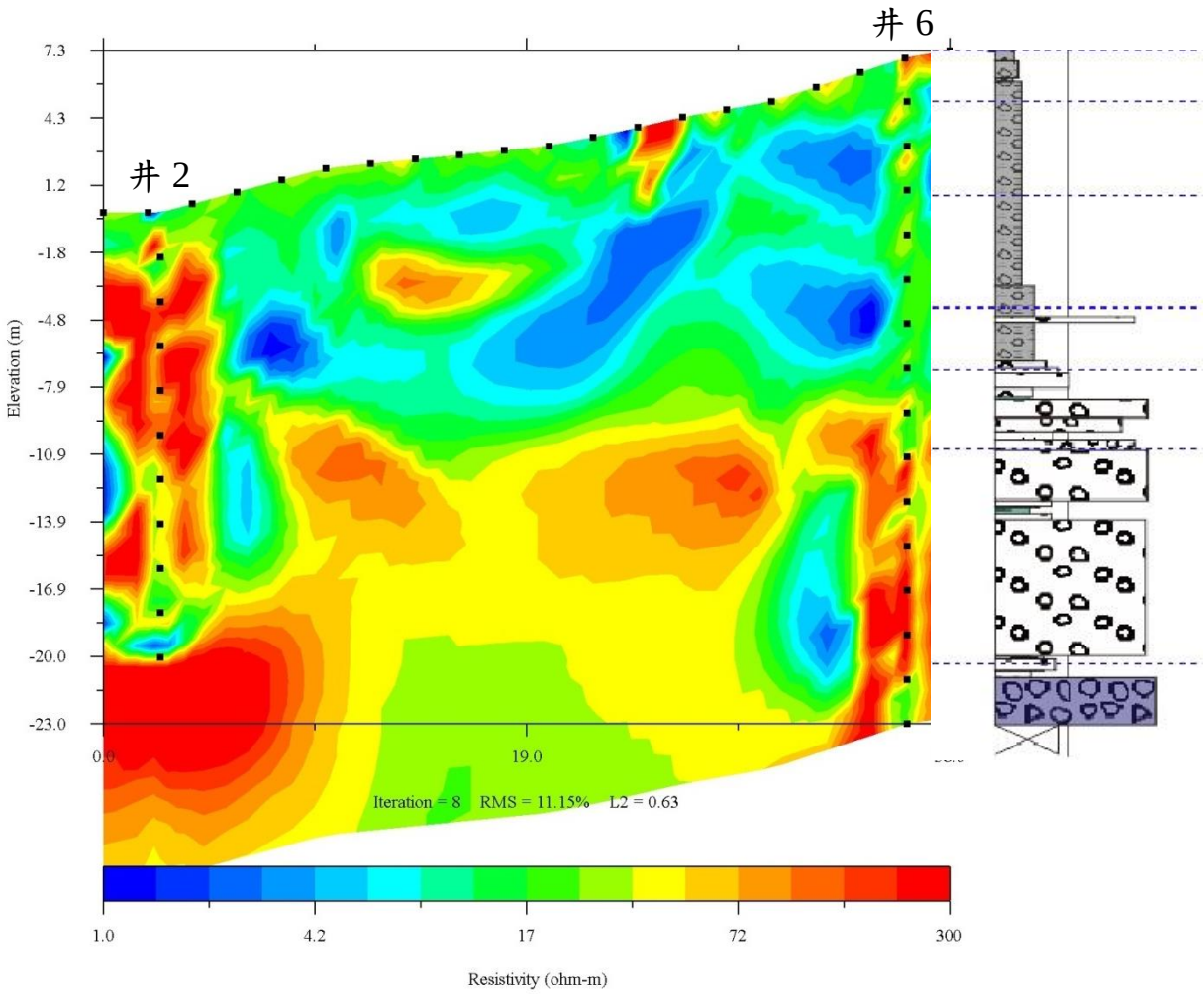


圖 7.3-7 大坡國小場址使用地電阻儀進行井-地聯合量測結果

相對於圖 7.3-5 我們可以看到除了井周圍的明顯小構造變化，地表以下 30 公尺模型有明顯的改善，這顯示增加了地表電極明顯了改善井對井之間的量測。從位於模型右側井 6 位置周圍的電阻模型來看，我們可以看到靠近井左側低電阻位於地表下 8 公尺與 14 公尺有明顯的不連續介面存在。地下 8 公尺位置應與傾斜儀發現的剪切帶有關。我們另外可以看到地表低阻有明顯多處的不連續斷面，顯示其中應有複雜的構造行為。

針對自然電位觀測結果，我們只能停在 106 年 6 月，我們將 105 至 106 年井 6 的最後觀測結果繪於圖 7.3-8。對應於傾斜儀在明顯剪切帶上下的觀測變化圖 7.3-9，我們可以看到 105 年 12 月、106 兩次的自然電位明顯變化，可以與傾斜儀量測趨勢的改變相關。顯示了自然電位明顯的可以對應傾斜儀所量測之變化時間。

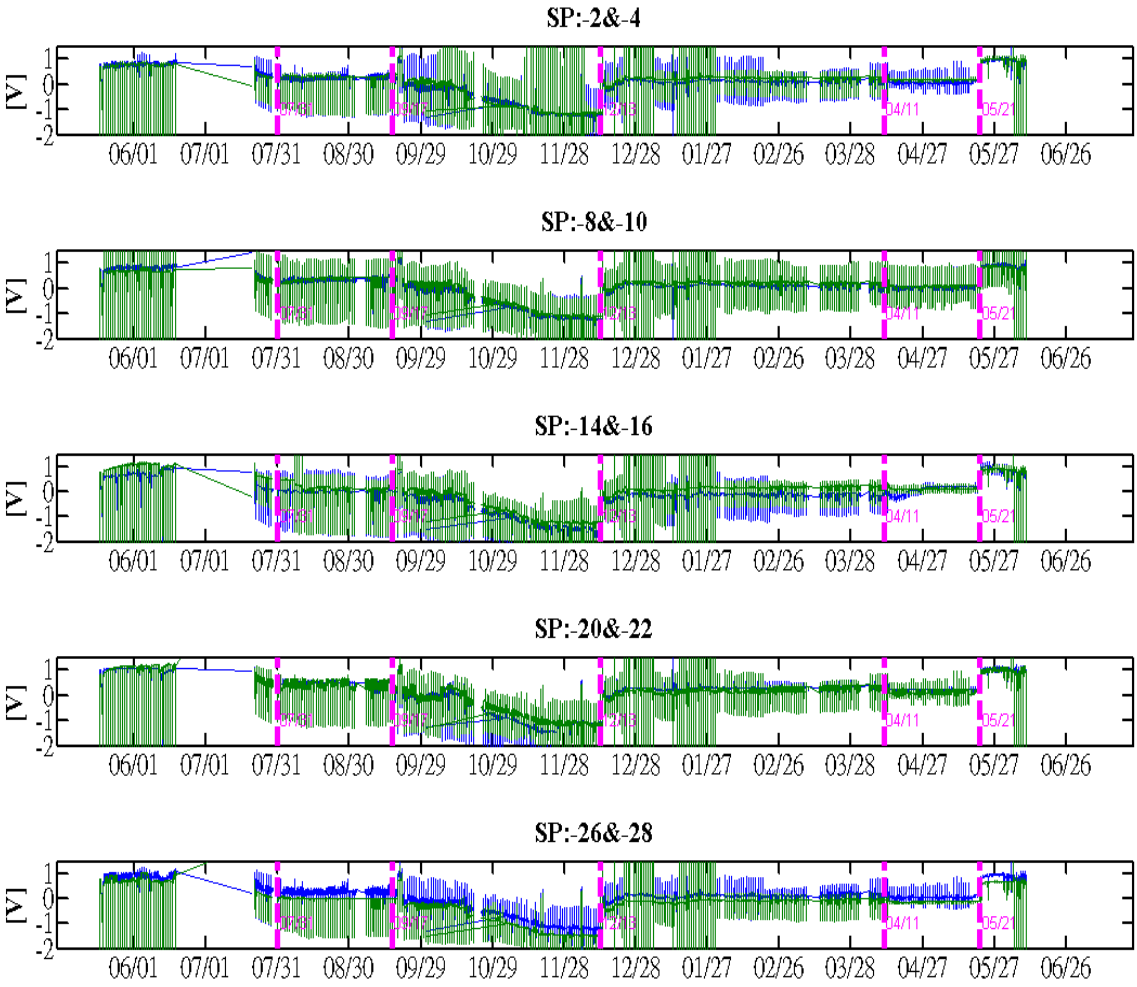


圖 7.3-8 井 6 不同深度之自然電位 105 年 6 月至 106 年 6 月量測結果。其中藍線為連續兩深度觀測中較淺的如-2、-8、-14、-20 與-26 公尺位置，而綠色為則為相鄰但較深兩米之觀測結果。紫色線與日期標示自然電位基線有明顯偏移的日期。

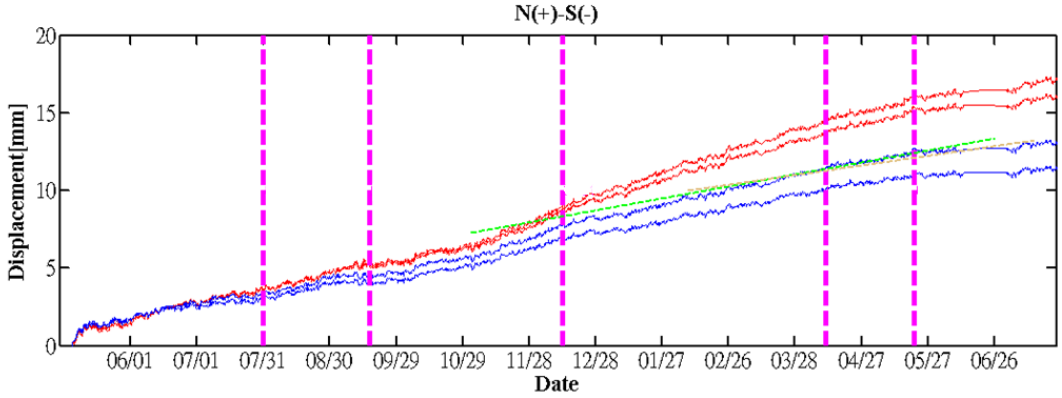


圖 7.3-9 傾斜儀 105 年 6 月至 106 年 6 月南北向分量測結果，由上至下依序為-8、-8.5、-9 與-9.5 公尺深之量測變化曲線。紫色線標示如圖 7.3-8 自然電位基線有明顯偏移的日期。

結論

根據今年的顯示，我們發現地層在不同深度有不同的水平滑移量出現，明顯的上下不同位置在-9 至-8.5 與-13 至-11 公尺深。地電阻亦在相對深度發現電阻特性有不連續的情形。井 7 與井 6 鑽井結果亦顯示沒有明顯的高程錯動，本處明顯的水平滑移量，與高角度池上斷層活動所造成之錯動，後續將經由地電阻法的重複量測持續監控其變化。另外，明年度可能加裝 GPS 衛星觀測，監控區域內之近地表變形，以此整合地表與地下之觀測結果，用以探討池上斷層在此處較全面之變形狀態。

另外是自然電位與傾斜儀的相對應時序資料顯示，對應地層的剪切速率改變自然電位的觀測基線亦有所不同。顯示自然電位的持續量測與傾斜儀都能對地下滑移進行分析探討。未來將持續進行相關研究。

第八章 結論

本研究計畫第三年度之工作預計以木屐寮斷層、六甲斷層與獅潭斷層為調查標的。完成地表地球物理調查工作。預計於上述斷層地區，將視現場狀況，完成包括地電阻測線、淺層震測測線，以及透地雷達測線至少 6000 公尺以上。其中地電阻測線及透地雷達測線總長至少在 5000 公尺以上，淺層震測總長則至少在 1000 公尺以上。我們已完成獅潭斷層，木屐寮斷層以及六甲斷層測區，共約 5373 公尺之地電阻測線；以及 725 公尺之透地雷達測線；以及木屐寮斷層測區，完成總長 1460 公尺的淺層震測工作。

於獅潭斷層測區，本研究團隊在獅潭斷層線跡共施測 6 條地電阻測線與 5 條透地雷達測線。在獅潭斷層的施測結果來看，在原有線跡上，地電阻模型可以分辨出斷層上下盤地層之差異，而 GPR-08、GPR-11、GPR-12、GPR-13、GPR-14 亦存在一透地雷達不連續面。而此不連續面可從大東勢延伸至中港溪南岸，並與獅潭斷層線跡比對。

於木屐寮斷層測區，我們藉由去年執行計劃結果，近一步規劃線跡上以及南北終點外之地電阻測線，我們發現在 106-MCL-11 剖面測線約 63 公尺位置；106-MCL-12 的 185 公尺位置與 106-MCL-13 的 80 公尺位置前後發現有電性不連續面，在表層高電阻率層下，深處存在一較明顯界面。配合經濟部中央地質調查所在木屐寮的鑽井工作結果（木屐寮-1C,4A）我們研判此一較明顯界面之不連續位置，可能代表斷層線跡之位置。而在木屐寮斷層中段測區，位於東側的 106-MCL-15 與西側的 106-MCL-16 測線結果顯示六雙層與沖積層可以藉由電性的差異判斷，而淺層震測探勘配合陳文山等（2008）之白河 1 號與 2 號井對比結果顯示，木屐寮斷層通過測線 700 公尺處。在木屐寮斷層沿線的施測結果來看，在原有線跡上，地電阻模型看來可以分辨出斷層上下盤地層之差異。但在斷層線跡延伸線外側的量測，不論是北區頭前溪南北岸以及南端點六重溪南岸，我們似乎都無法看出有斷層經過的層位差異出現。推論斷層線跡的南北端點都沒有再往外做延伸。

在六甲斷層線跡中段的二重溪北岸，本研究團隊在跨越線跡的兩側規劃測線。位於北側的測線結果顯示，六甲斷層通過 LC-10 的 75 公尺位置、LC-11 的 125 公尺位置。地表深度約 10 公尺處可見一低阻電性地層在斷層的兩測深度不一樣，另外深度在 10 公尺以內出露一淺層的高阻電性地層，研判為沖積層；位於東山里東側的科里附近的 LC-01 測線顯示深度約 20 公尺同樣存在一個低阻的電性地層，研判可能位於六甲斷層的變形前緣，實際的六甲斷層線跡應向東側延伸，而此相對低阻的地層可能為六雙層。在六甲斷層的施測結果來看，在原有線

跡上，地電阻模型可以分辨出斷層上下盤地層之差異（LC-01、LC-10、LC-11）。但在斷層線跡延伸的評估，本計劃在台南藝術大學的測線（LC-05、LC-06、LC-07）無法看出有斷層經過的層位差異出現。推論斷層線跡沒有往南延伸。

關於調查成果之可能誤差範圍，本計畫透過地電阻探測方法，針對每一條測線之電性反應定義其上下盤關係，並加入工程鑽井的判釋結果與地質調查所提供之 100 年活動斷層分布跡線估算其最長距離作為誤差值。初步估算本計畫木屐寮斷層之誤差值為 70 公尺;六甲斷層之誤差值為 6 公尺; 而獅潭斷層之誤差值為 64 公尺。

關於大尖山斷層的長期滑移速率，本計劃經野外調查結果，僅在桶頭橋東側斷層上盤的第一階河階中發現一個碳化樣本，但經碳十四定年結果，年代小於 300 年。因此本研究上尚無法獲得大尖山斷層的長期滑移速率。因此本計劃透過 102 年度鹿野斷層與大尖山斷層補充地質調查案（顏一勤，2013）中在蜈蚣坪地區的鑽探進行評估，欲由鑽探與定年資料結果了解是否可以提供此扇階群的年代。從大尖山-1 號井至從大尖山-6 號井（共 10 孔鑽井）位置來看，大尖山-2 號 A 與 B 井，以及大尖山-3 號 A 與 B 井位置鄰近扇階的頂端。另由，鑽井岩心的岩性來看，大尖山-1 號 B 井、大尖山-3 號 B 井以及大尖山-5 號 B 井都鑽穿斷層帶，並且在斷層帶之下，分別在各井的深度 21.7 公尺、32.1 公尺，以及 10.1 公尺處鑽入扇階堆積層，但這些礫石層中未發現碳化樣本。因此也無法由鑽井岩心獲得扇階的沉積年代。

至於大坡國小場址的池上斷層活動度監測工作，我們陸續完成鑽井與地表地電阻調查，以對於地下斷層幾何構造及地變機制進行更深入的瞭解，完成工作包括兩條地表地電阻測勘、四口井孔的岩心鑽取及傾斜儀的設置。截至[2017-06-06 00:00:00]一整年的資料，顯示井孔累積變位量，往北約 18.5 公厘，往西約 5 公厘，水平變位量約 19 公厘，搭配井 7(圖 7.3-3)的岩心，可以判釋出五段活動剪動帶，其中-13.5~-13.0 米、-12.5~-11.8 米、-9.0~-8.0 米及-7.0~-6.5 米這四段，以往北變位分量相較為顯著，-10.8~-10.2 米，則兩變位分量相當，其位置約略相當於利吉層的泥(上)與崩積層(下)的斷層接觸面。

表 8.1-1 地球物理測線二度分帶座標

測線編號	測線西端（TWD97）		測線東端（TWD97）	
	X	Y	X	Y
ST-01	248993	2725389	249251	2725370
ST-02	248917	2725304	249043	2725286
ST -03	248513	2725273	248674	2725328
ST -04	248538	2725461	248753	2725484
ST -05	249168	2726043	249275	2725962
ST-06	248968	2725476	249312	2725414
MCL-01	192728	2580035	192917	2579668
MCL-02	194073	2583428	194234	2583346
MCL-03	194874	2586139	195194	2586179
MCL-04	195215	2586169	195341	2586050
MCL-05	195291	2587042	195499	2587003
MCL-06	195527	2586952	195635	2586922
MCL-07	195423	2587724	195567	2587724
MCL-08	195635	2587607	195811	2587526
MCL-09	192290	2581274	192727	2581039
106-MCL-10	195452	2586637	195669	2586507
106-MCL-11	195132	2586087	195256	2586060
106-MCL-12	195006	2585992	195172	2585781
106-MCL-13	194849	2585437	195071	2585340
106-MCL-14	194435	2584246	194586	2584193
106-MCL-15	193489	2581955	193611	2581878
106-MCL-16	193289	2581795	193394	2581791
106-MCL-17	193008	2580255	193198	2580182

表 8.1-2 地球物理測線二度分帶座標

測線編號	測線西端（TWD97）		測線東端（TWD97）	
	X	Y	X	Y
LC-01	190387	2578322	190563	2578226
LC-02	187630	2574745	187917	2574554
LC-03	186363	2572257	186590	2572162
LC-04	186627	2572071	186800	2571981
LC-05	184887	2563741	185234	2563843
LC-06	187155	2564401	187372	2564522
LC-07	185217	2562830	185531	2562919
LC-08	186384	2575201	186781	2575187
LC-09	186303	2572960	186584	2572945
LC-10	192314	2579320	192471	2579292
LC-11	192478	2579461	192552	2579279
GPR-08	248516	2725284	249056	2725320
GPR-11	242204	2714122	242628	2714039
GPR-12	242793	2714612	242797	2714680
GPR-13	242730	2714602	242793	2714613
GPR-14	242729	2714602	242721	2714706
17P-MCL-MCL01	194775	2583305	193360	2582933

表 8.1-3 預期進度甘梯圖（Gantt Chart）：計畫進度控制及檢討之依據

計畫名稱：											
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	備 註
簽約	■										
第一季查核點		■									4/30
木屐寮斷層地球物理調查	■	■	■	■	■	■					
斷層長期變動(滑移)速率分析	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
池上斷層地下掃描時序監測	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
第二季查核點				■							6/30
六甲斷層地球物理調查		■	■	■	■	■	■				
期中報告					■						7/31
獅潭斷層地球物理調查			■	■	■	■	■	■			
第三查核點							■				9/30
活動斷層教育訓練						■	■	■			
期末報告									■		11/30
第四查核點與驗收										■	12/31
預 定 進 度 （ 累 積 數 ）	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

說明：
(1)工作項目請視計畫性質及需要自行訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期，期中報告與期末報告必須明列於本表中。
(2)預定進度百分比一欄係為配合追蹤考核作業所需，累計百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定：1.工作天數 2.經費之分配 3.工作量之比重 4.擬達成目標之具體數字。
(3)計畫進度控制若有分項協同計畫請分別列出整體計畫執行與各分項計畫執行之甘梯圖（表 5.1-1）與預期進度查核點（表 5.1-2）。

參考文獻

Angelier, J., Chu, H.T., Lee, J.C., Hu, J.C.（2000）Active faulting and earthquake hazard The case study of the Chihshang Fault, Taiwan. Geodynamics.

Annan, A.P. (1996) Transmission Dispersion and GPR, JEEG, vol.Q, 2, 125-136.

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

Chi,W.R. (1980) Calcareous nannoplankton biostratigraphic study and correlation of the late Neogene sequence in the Chiayi and Hsinying foothills, southern Taiwan. Pro. Geol. Soc. China, 23, 16-28.

Fraser–Smith, A. C., Bernardi, A., McGill, P., Ladd, M. E., Helliwell, R., Villard, O.（1990） Low–frequency magnetic field measurements near the epicenter of the Ms 7.1 Loma Prieta earthquake. Geophysical Research Letters, 17, 9, 1465-1468.

Hayakawa, M., Kawate, R., Molchanov, O. A., Yumoto, K. （1996）Results of ultra–low–frequency magnetic field measurements during the Guam Earthquake of 8 August 1993. Geophysical Research Letters, 23, 3, 241-244.

Hayakawa, M., Molchanov, O. A., Ondoh, T., Kawai, E. （1996） Anomalies in the Sub-ionospheric VLF Signals for the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake. Journal of Physics of the Earth, 44, 4, 413-418.

Horng, C.S. (1991) Magnetic Minerals And Magnetostratigraphy Of Two Plio-Pleistocene Sections In The Foothills Of Southwestern Taiwan, International Union for Quaternary Research, 357.

Kotsarenko, A.（2007）Volcano Popocatepetl, Mexico: ULF geomagnetic anomalies observed at Tlamacas station during March? July, 2005., Natural Hazards and Earth System Science, 7, 1, 103-107.

Lee, J.C., F.S. Jeng, H.T. Chu, J. Angelier and J.C. Hu (2000) A rod-type creepmeter for measurement of displacement in active fault zone, Earth Planets Space, 52, 331-328.

Lee, J.C., Angelier, J., Chu, H.T., Hu, J.C., Jeng, F.S., Rau, R.J.（2003）Active fault creep variations at Chihshang, Taiwan, revealed by creep meter monitoring, 1998 – 2001. Journal of Geophysical Research, 108, B11.doi: 10.1029/2003jb002394.

Ramírez-Rojas, A., Flores-Márquez, E., Guzmán-Vargas, L., Gálvez-Coyt, G., Telesca, L., Angulo-Brown, F. （2008）Statistical features of seismoelectric

signals prior to M7. 4 Guerrero-Oaxaca earthquake （México）. Natural Hazards and Earth System Science, 8, 5, 1001-1007.
Sun, S. C.（1970）Photogeologic study of the Tainan-Hsinying Coastal plain, Taiwan. Petrol. Geol. Taiwan, 7, 133-144.
Sun, S. C.（1971）Photogeologic study of the Hsinying-Chiayi coastal plain. Petrol. Geol. Taiwan, 8, 65-76.
Uyeda, S., Nagao, T., Orihara, Y., Yamaguchi, T., Takahashi, I.（2000）Geoelectric potential changes: Possible precursors to earthquakes in Japan. Proceedings of the National Academy of Sciences, 97, 9, 4561-4566.
Varotsos, P., K. Alexopoulos. （1984） Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes, I, Tectonophysics, 110, 1, 2, 73-98.
Widarto, Djedi S.（2009）Co-seismic geoelectrical potential changes associated with the June 4, 2000’s earthquake （Mw7. 9） in Bengkulu, Indonesia Physics and Chemistry of the Earth, 34, 6, 373-379.
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.
Yoshida, T., Yabu, K., Nishi, M.（2002）Observation of co-seismic electromagnetic waves associated with the Geiyo earthquake in 2001. In Antennas and Propagation Society International Symposium, 2002. IEEE, 4, 318-321
Yu, S.B., Kuo, L.C.（2001）Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley Fault, eastern Taiwan, Tectonophysics, 333, 199-217.
Yoshida, T.（2002）Observation of Co-seismic Electromagnetic Phenomena in VHF Associated with the Tottori-ken Seibu Earthquake in 2000 and the Geiyo Earthquake in 2001. Journal of the Seismological Society of Japan, 55, 2, 107-118.
Yang, K.M., Huang, S.T., Wu, J.C., Ting, H.H. and Mei, W.W. (2006) Review and insights on foreland tectonics in Western Taiwan. Int. Geol. Rev., 48, 910-941.
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。
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。

董倫道、陳文山、李奕亨（2005），地震地質調查及活動斷層資料庫建置計劃－地球物理探勘計劃（4/5）。經濟部中央地質調查所報告第 94-09 號，共 176 頁。

台灣嘉南農田水利會 (2015) 六甲斷層調查及對烏山頭水庫安全影響評估與因應對策。2015 委託技術服務成果報告。

潘國樑、顏滄波、王文能、胡國興（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，共 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－台中大地震五十週年紀念研討會論文集，83-92 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。

李彥良（2001）921 集集地震地震斷層研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文。

李元希、盧詩丁、石同生、饒瑞鈞（2002）集集地震南段地表破裂的變形機制－逆斷層－走向滑移斷－走向滑移斷層板塊（TFT）三接點模式。經濟部中央地質調查所彙刊，第十五號，87-101 頁。

汤吉、詹艳、王立凤、董泽义、赵国泽、徐建郎（2010）汶川地震强余震的电磁同震效应。地球物理学报，53，3，526-534 頁。

林朝棨（1957）台灣地形。台灣文獻委員會，423 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。

林啟文、盧詩丁、石同生、張徽正、石瑞銓（2000a）從野外觀察探討臺灣西南部四條存疑性活動斷層的存在。經濟部中央地質調查所彙刊，第 13 號，第 77-101 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、盧詩丁、石同生、劉彥求、林偉雄、林燕慧 (2007) 台灣西南部活動斷層，二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，17 頁。

林啟文、盧詩丁、黃文正、石同生、張徽正（2000）臺灣中部濁水溪以南地區的集集地震斷層與構造分析。經濟部中央地質調查所特刊，第十二號，89-112 頁。

陳文山、游能悌、楊小青（2010）斷層長期滑移速率與再現週期研究總報告，經濟部中地質查所報告第 99-9 號，共 125 頁。

陳文山、楊志成、楊小青、吳樂群、林啟文、張徽正、石瑞銓、林偉雄、李元希、

盧詩丁（2004）從構造地形探討嘉南震活動及分區。經濟部中 從構造地形探討嘉南震活動及分區。經濟部中 從構造地形探討嘉南震活動及分區。經濟部中 央地質調查所彙刊，第 17 號，53 -77 頁。

陳文山，何信昌，王源，楊昭男，高銘健，張益生，鄂忠信，陳勉銘 (1994) 臺灣西南部上新統至更新統的岩象學研究與地層對比。經濟部中央地質調查所特刊，第 8 號，83-99 頁。

何信昌、謝凱旋、高銘健、陳華玟 (2005) 五萬分之一臺灣地質圖及說明書-第 50 號，新化圖幅。經濟部中央地質調查所出版，77 頁。

黃旭燦、楊耿明、吳榮章、丁信修、李長之、梅文威、徐祥宏（2004）斷層活動性觀測與地震潛勢評估調查研究-台灣陸上斷層帶地質構造與地殼變動調查研究（5/5）。經濟部中央地質調查所報告，第 93-13 號，59 頁。

黃鑑水、張憲卿、劉桓吉（1994）臺灣南部觸口斷層地質調查與探勘。經濟部中央地質調查所彙刊，第九號，29-50 頁。

劉彥求、林啟文、石瑞銓、陳平護（2004）臺灣中部大尖山斷層的構造特性研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 15 號，69-83 頁。

顏一勤（2013）102 年度鹿野斷層與大尖山斷層補充地質調查。中央地質調查所。

謝凱旋、黃敦友 (2003) 台灣第三系的地層層序。臺灣鑛業，第 55 卷，第 4 期，17-32 頁。

張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁（1998）台灣活動斷層概論-五十萬分之一台灣地區活動斷層分布圖及說明書，中央地質調查所特刊，10。

中國石油公司（1986）比例尺 1:100,000 地質圖-嘉義幅。台灣油礦探勘總處。

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

石瑞銓、王維豪、李元希 (2008) 地震地質與地變動潛勢分析 斷層帶地下構造調查研究（2/4），中央地質調查所報告，第 97-11 號，154 頁。

石瑞銓、王乾盈、謝昭輝（1998）雲嘉南地區活動斷層震測調查。經濟部中央地質調查所活動斷層地球物理探勘計畫 87 年度報告，130 頁。

顏滄波（1985）一九三五年新竹、台中地震調查之回顧。一九三五年新竹-台中大地震五十周年紀念研討會論文集，11-17 頁。

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

饒瑞鈞、余致義、洪日豪、胡植慶、李建成、詹瑜璋、許麗文（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置-活動斷層監測系統計畫（5/5）。經濟部中央地質調查所研究報告 95-10 號，241 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。
王宏霖 (2006) 以反射震測法研究木屐寮斷層及其附近構造。國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
余水倍、侯財源、蔡義本（1977），苗栗地區地震研究報告：本央研究院地球科學研究所籌備處出版，48 頁。

期中審查意見回覆表

編號	審查意見	回覆內容
1	研究區域之前相關的研究成果，宜將其整合至期末報告中，再敘明研究之始末，及加強資料之說明。	感謝委員指正，已將整合資料於表 3.1-1、4.1-1 與 5.1-1，並加強資料說明於各章節中。
2	請研究團隊依據地質描述確認獅潭斷層、六甲斷層是逆斷層或逆衝斷層。	感謝委員指正，皆為逆斷層，已修正第 3 頁的描述。
3	不同的斷層區域使用不同的地球物理探測法來調查，請說明其原因。	感謝委員指正，已新增於第二章說明不同的地球物理探測法有不同的測深，依待測目標的深度與大小而定，一般來說，透地雷達法測深在 10 公尺內；地電阻測深約在 100 公尺以內，而淺層反射震測則在數公里以內。測深越深的，解析度越差。端看目標與上覆沉積物的厚度來決定採用哪一種方法施測。
4	各探測項目（如地電、淺層探測、透地雷達)需加入調查區域原有的資料來做斷層的描述，並整合各探測的結果加強說明。	感謝委員指正，將在各章節加強說明各探測的結果。
5	不同地球物理探測法的測線位置大多不同，無法相互比較映證，建議找一條主要剖面由淺至深使用不同方法驗證。	感謝委員建議，不同方法的測線選定限制不一（例如：淺層反射震測需要較大的展距、地電阻測深與透地雷達法則需要遠離人為的電磁波干擾）今年可以施做淺層反射震測的六甲木屐寮緊鄰高速公路，不易找到適當的測區，明年度將會考慮嘗試找到滿足適合上述測線原則的區域。
6	請加強說明地電阻、透地雷達及震測剖面之解釋基礎，並明列震測之施測	感謝委員建議，震測之施測參數已列於表 4.3-1。

	參數。	
7	地電阻剖面施測結果若能搭配鑽井岩心比對（如 106-MCL-13 與木屐寮 4A 井），更能提升地電剖面之可信度，建議未來調查時可多蒐集附近之鑽井調查成果。	感謝委員建議，今年恰逢鑽井工作與近地表地質調查完成時間相近，因此可以配合，未來也請所方在發包計劃的時候能夠協助配合。
8	請說明確立地層電阻率是根據對應於地表出露的地層，或有其他的依據。	感謝委員建議，在今年度三個測區中，若有地表出露地層者，將優先參考資料（例如獅潭斷層中港溪北岸的上福基砂岩露頭）若無，則參考前人文獻建立地層電阻率標準。
9	從測得的地電阻率的分布圖及推測的地層，請繪出獅潭斷層向北延伸的位置。	感謝委員建議，我們可以嘗試畫出電性不連續面的位置於獅潭斷層測區。
10	根據區域地質圖所展示地層的傾角，透地雷達在獅潭斷層測勘所得的資料是否可信？或是需要經過移位處理？	感謝委員指正，由於透地雷達的支距過小，僅能反應地層的不連續面，無法代表地層的傾角。
11	請補充震測資料、白河 1 號、2 號井下地質資料與地電阻資料的整合成果，並說明木屐寮斷層的形貌。	感謝委員建議，已修改內文於第 57 頁。
12	楊志成（2005）的測線位置與 LC-02 的測線位置很接近，但結果卻不同，請說明其原因。	感謝委員指正，雖然兩者位置相近，但是長度不一，其中 LC-02 測線通過楊志成（2005）測線的中段，顯示地層位態的變化（由陡轉為水平），可與剖面結果相符。
13	LC-05 與 LC-07 皆顯示接近六雙層之電性特徵，但以地理位置上看皆位於六甲斷層推測延伸位置或地形變化特徵之西側有一些距離，合理的地質解釋為何？	感謝委員指正，LC-05 與 LC-07 兩條測線在選定的時候，主要的目的是為了釐清六甲斷層在南端階地上出露的情形，然而調查的結果未有在此出露。
14	第 72 頁描述於第二階河階採集一個碳化標本，但第 74 頁描述於第一階發現一個碳化樣本，但僅檢附一個碳十四定年結果，二者係屬同一個標本	感謝委員，另一個碳化木經鑑定後研判可能為老於 50000 年的焦炭，因此沒有送出測定年代。

	或有採集到二個標本，請確認。	
15	建議所有測線編號宜統一格式,年度單位統一成西元或年度。	感謝委員，由於木屐寮斷層為執行兩年度的標的斷層，因此已將測線編號增加執行年度作為區分，另外六甲斷層及獅潭斷層僅今年度執行，考量測線圖版面上的呈現，因此測線名不再增加執行年度。
16	教育訓練是合約中工作項目之一,請補充說明訓練內容、訓練經過及成果。	感謝委員建議，教育訓練手冊已增加於附件。
17	第 31 頁第 6 行 ST-02 測線應為圖 3.2-6,第 7 行 ST-01 測線應為圖 3.2-5，請修正。	感謝委員指正,第 31 頁圖編號已修正。
18	第 33 頁、34 頁 GPR 剖面展示建議刪除 6m 以下無訊號部分。	感謝委員建議，剖面已刪除無訊號部分。
19	第 33 頁、34 頁請說明 GPR 剖面中，黃色虛線所代表的意義。	感謝委員,剖面中虛線已說明於內文。
20	加強說明第 34 頁圖 3.2-11 使用資料及判斷依據。	感謝委員意見,內文已新增至第 34 頁。
21	第 35 頁「六甲斷層」應為「獅潭斷層」，請修正。	感謝委員指正，第 35 頁已修正。
22	圖 4.1-1 缺漏，請增補。	感謝委員指正,第四章圖編號已修正。
23	第 43 頁第 3 行「斷層線跡約經過 105-MCL-08 的 90 公尺位置」，但第 40 頁的圖顯示斷層並未經過此測線,請釐清說明。	感謝委員指正，第 43 頁內文已修正。
24	第 43 頁第 4 行「除了 105-MCL-07 有多覆蓋高阻層存在」,是否為 105-MCL-08 測線，請確認。	感謝委員指正，第 43 頁測線編號已修正。
25	第 66 頁倒數第 2 行「使用跨越道路路」應為「跨越道路」。	感謝委員指正，第 66 頁已修正。
26	第 67 頁圖 5.2-5 圖說「判視之地球物理」應為「釋」。	感謝委員指正，第 67 頁已修正。
27	第 67 頁有關 LC-08 與 LC-09 之描述似乎與圖 5.2-9 與圖 5.2-10 顯示之剖	感謝委員指正，第 67 頁內容已修正。

	面不相符合，是否有誤植之現象，請再確認。	
28	第 72 頁第 1 行「統頭橋」應為「桶」。	感謝委員指正，第 72 頁已修正。
29	第 85 頁圖 7.3-5 請標示井位。	感謝委員指正，圖 7.3-5 已加入井位。
30	請加強說明第 87 頁圖 7.3-7。	感謝委員指正，圖 7.3-7 已加強說明。

透地雷達教育訓練

日期: 民國 106 年 9 月 25 日

地點: 三義斷層大甲溪露頭

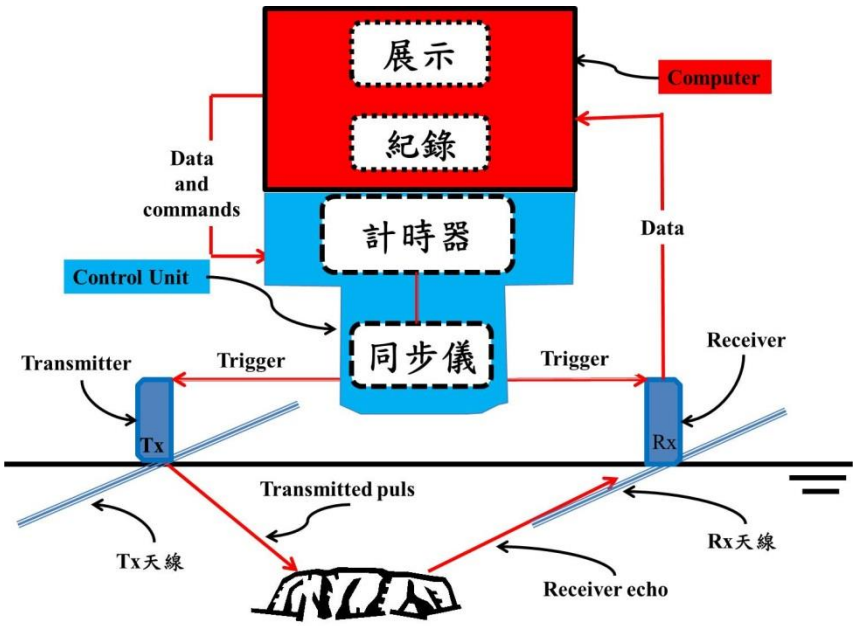
訓練流程: 1：20 pm-1：30 pm 透地雷達原理講解

1：30 pm-3：00 pm 透地雷達現場演示

透地雷達原理

透地雷達（Ground-Penetrating Radar，簡稱 GPR）探測方法係透過一組雷達天線向地底目標物發射一個頻率在 10 MHz 至 1GHz 之間之電磁波脈衝，藉由偵測並處理電磁波在地下岩石或土壤內傳遞之反射與折射後所接收之電磁波波速與振幅，來了解地底之地質構造與岩石或土壤之物理或水文性質。原理類似於飛航在用的雷達相仿，差別在於透地雷達的頻率較高，其頻率通常介於 10 MHz～1500 MHz 的電磁波，將其發射天線與接收天線朝地下做施測。利用天線以一定的頻率來會震盪產生的電磁波脈衝進行探測，而此種電磁波由發射源的偶極(Dipole Source)向外傳布，並隨距離衰減。雷達波射入地層或是建物體，由於遇到物質的介電常數(Dielectric Constant)不同的關係，所產生的反射波訊號進行分析，依據訊號的波形、強度、雙程走時等參數來推斷地層或是建物的空間位置、形貌、電性與幾何態達到探勘之目的。透地雷達探勘系統共可分四部份(如圖一、圖二)，分別為：

2. 發射天線(Transmitter)
3. 接收天線(Receiver)
4. 控制台(同步器 Synchronizer、 頻閃器 Stroboscopic converter)
5. 電腦(Computer)等



圖一、透地雷達系統組成示意圖



圖二、PulseEKKO 透地雷達

野外施測步驟

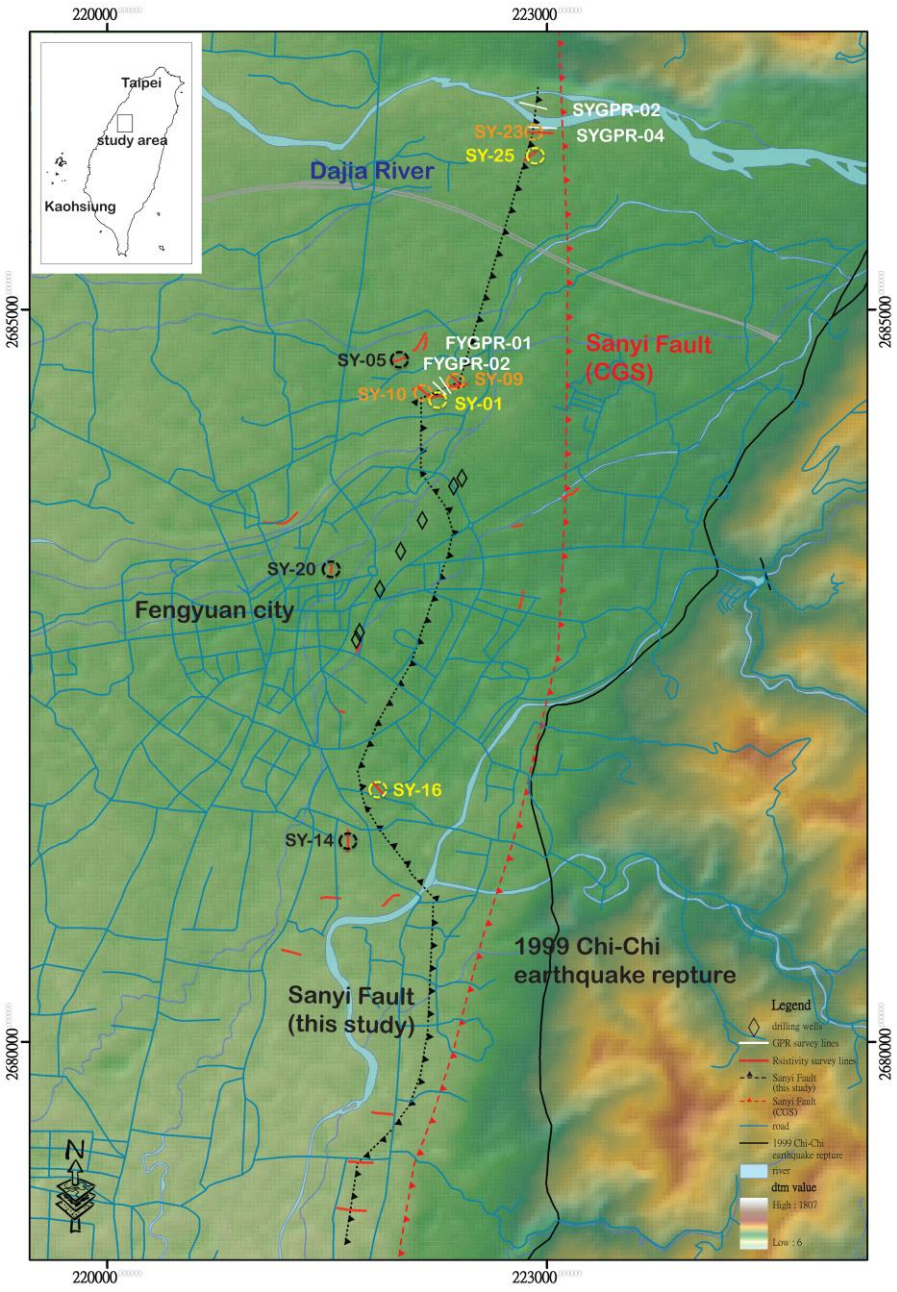
透地雷達現地施測步驟如下：

1. 電腦控制端以網路傳輸線相連控制台主機(Control Unit)傳輸訊號。
2. 控制台主機接連電源、發射天線(Transmitter)與接收天線(Receiver)。
3. 選擇天線的頻率，需要考量解析度與穿透深度。
4. 選擇取樣的間隔，配合所使用之天線頻率。
5. 選擇測點距離，考慮波長的長度。
6. 設計測線走向及方位，考量測線所呈現的地層或構造的最大變化，一般設計為垂直走向的方向。
7. 選擇天線排列方向，需要考慮所需要的解析度與訊號優劣度。

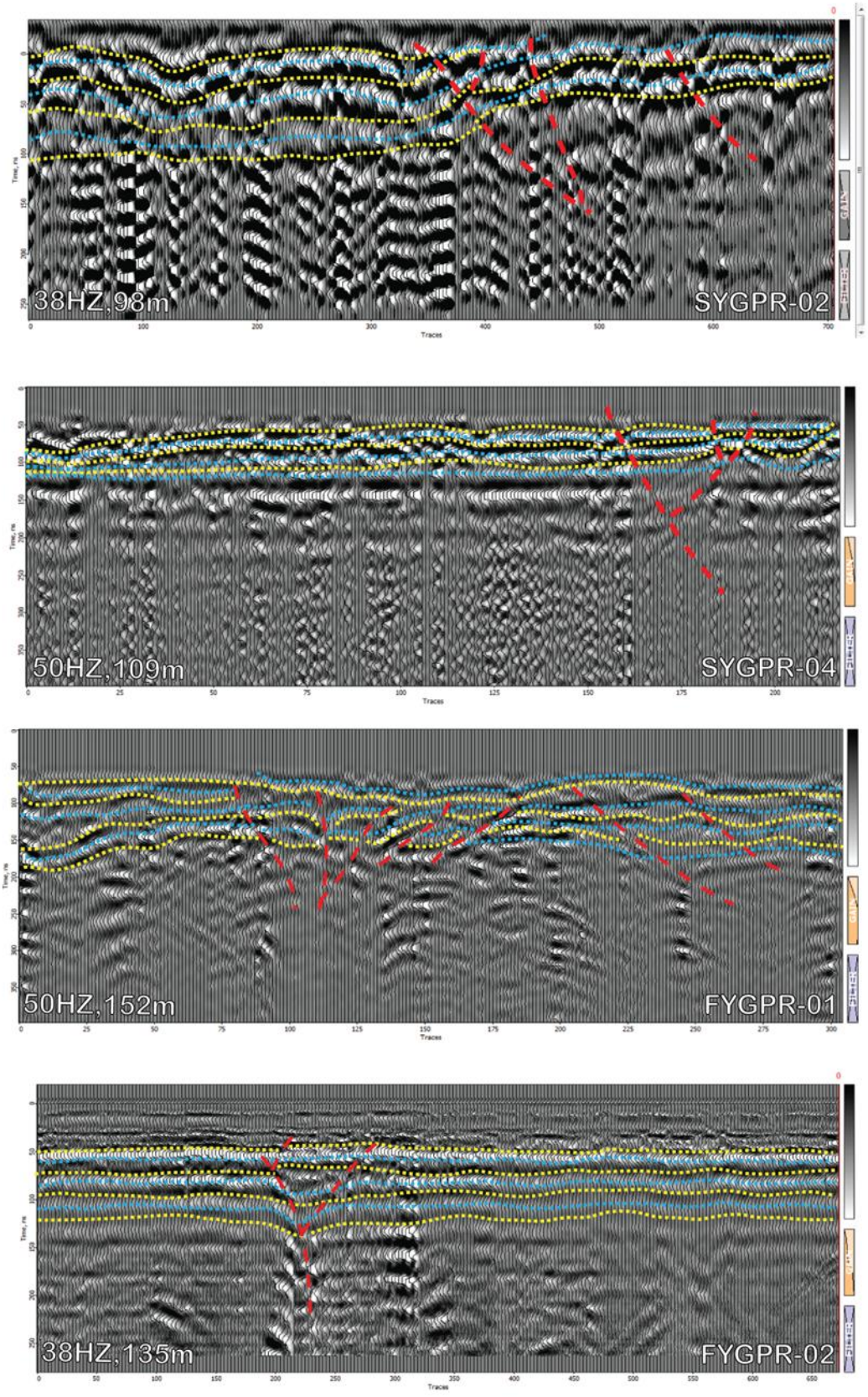
完成以上動作即可按下開始施測。

三義斷層施測成果

在三義斷層區域本研究團隊共完成四條透地雷達剖面的施測工作，測線分布位置如圖三所示，Sygpr-02、Fygpr-02 採用 35MHz 天線頻率進行施測，Sygpr-04、Fygpr-01 則採用 50MHz 天線頻率進行施測，礫石沖積層具有較為散亂狀的訊號，與西側的東坑層有明顯的差異如圖四，三義斷層跡亦可追蹤可能的位置。透過一系列透地雷達剖面亦可發現許多發育未出露地表的小斷層，如圖四紅色虛線所示。



圖三、三義斷層測區透地雷達測線分布(白線)



圖四、Sygpr-02、Sygpr-04、Fygpr-01、Fygpr-02 剖面