經濟部

契約編號：B10730
計畫編號：107-5226904000-02-01

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(4/4)

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

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
計畫主持人:張竝瑜
協同主持人:陳文山
研究員:黃文正、郭陳晧

中華民國一〇七年十二月

摘要

本計劃年度之工作首先針對觸口斷層與恆春斷層的近地表構造，進行淺地表地球物理研究，使用方法包含有地電阻、大地電磁法與淺層震測等地球物理探測方式，另外於獅潭斷層進行斷層長期滑移速率調查，並於池上大坡國小進行池上斷層之地變監測。

在觸口斷層調查中，主要工作目標放在斷層線跡之北段。在原有線跡上共施測五條地電阻測線及一條淺層震測測線。地電阻調查結果於八掌溪北岸施測 4 條地電阻測線 18E-CKU-01 至 18E-CKU-04，其剖面解析深度約為地表下 50 公尺，我們似乎都無法看出有斷層經過的地層層位差異出現，但藉由觀察淺層沖積層受到斷層擾動後產生的厚度變化似乎可以判斷出可能的地球物理不連續面延伸線位置。另外於八掌溪南岸施測地電阻測線一條 18E-CKU-05，其剖面可藉由電阻率變化判斷出地層分層，電阻率介於 50-100Ohm-m 為六重溪層，而 50Ohm-m 以下為桂竹林層，由剖面的電性地層變化可觀察到在測線 140-170 公尺之間有一個約 20 公尺的落差，推測可能為觸口斷層未出露的桂竹林層層位落差，並於測線 170 公尺後地層相對抬升，研判其斷層型態為一高角度的逆衝斷層接觸。淺層震測部分於竹崎鄉新寮坑施測測線一條 18S-CKU-01，在移位前雙程走時剖面上，西側地層為水平層狀地層，剖面 CDP 239 至 CDP 600 左右，層面變得稍微混亂且不太連續，推測為斷層擾動帶，並於東側斷層上盤可以清楚看到地層轉為高角度向東傾斜。移位後深度剖面與前人資料進行比對，可以發現其斷層擾動帶之寬度與形貌都略為相似。

另外於恆春斷層之調查，本研究團隊於測區內共施測 4 條地電阻測線，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，如 18E-HCN-01 剖面之沖積層與階地堆積層，18E-HCN-02 至 18E-HCN-04 剖面之沖積層與馬鞍山層，其皆可判釋出明顯之地球物理不連續面，並可與地調所提供之恆春斷層線跡作比對。大地電磁法測勘部份共施測兩測站，其分別位於恆春斷層南段之西斷層兩側，18M-HCN-02 測站由電阻率高低變化可將地層以 36 公尺作為分界界定出砂、礫岩層與墾丁層，而 18M-HCN-04 測站則可推測出約 257 公尺下為砂、礫岩層，將其結果與鼻頭子一號井地質剖面圖進行比對，發現 18M-HCN-02 及 18M-HCN-04 測站之電性地層變化似乎可與剖面圖之地層邊界作比對。

斷層長期滑移速率分析本計畫年度目標為獅潭斷層，經由野外調查發現，前人發現之斷層剖面現今都已遭河堤覆蓋，而其他斷層跡可能通過的地點也大都

位於邊坡被崩積層所覆蓋，因此在槽溝挖掘上有所困難，本計畫針對獅潭斷層長期滑移速率研究，因沒有適合地點可供古地震槽溝挖掘，而無法估算長期滑移速率。

大坡國小場址的地變監測，為了進一步了解地下斷層幾何構造及地變機制，我們陸續進行了兩條地表地電阻測勘、四口井孔的岩心鑽取及測斜儀的設置，於本計畫年度另增加三孔的岩心鑽取，綜合結果池上斷層於台東縣大坡國小的地表淺部位置，是乎與以往認定的位置約有 50 至 60 公尺的差異，並不在國小校區東側隆升的山丘山腳處。同時該區的地表潛變變形，似乎以重力地滑為主，至於是否亦有斷層作用的貢獻及貢獻量為何，或許未來可以藉由井 8 中的測傾儀監測資料得到答案。

關鍵詞：活動斷層、地電阻、透地雷達、淺層震測

Abstract

We utilized the resistivity method, magnetotelluric survey and shallow seismic exploration to explore the characteristics of the near surface fault structures in Chukou and Hengchun fault zones. Other than that, we also conducted a research for a long-term slip rate of Shihtan fault and monitoring ground deformation in The Chihshang fault zone located in Dapo Elementry School, SE Taiwan.

A Shallow seismic exploration and five lines of resistivity method was conducted in the northern part of Chukou fault zones to know the trace extension of the fault. The resistivity profiles result which is located on the northern of pachang river shown that the displacement of the formation was difficult to identify. However, with 50m resolution depth, we can determine the boundary of the lithology in this area by the difference thickness of the alluvium. Based on resistivity value in the profile 18E-CKU-05, Liushang formation (50-100 Ohm.m) has greater than Kueichoulin formation (< 50 Ohm.m). The boundary between this formation shown in the 140-170m of the measurement line with 20m offset, which is the Chukou Fault crossed the Kueichoulin formation. Furthermore, by the shallow seismic exploration, we found that the eastern part of the area is steeper than the western part which tends to be horizontal and in the middle of this area as a separator i.e Chukou fault. Combined all of the results, we concluded that Chukou fault is a thrust fault with a steep angle.

Four Resistivity profiles and two Magnetotelluric stations was deployed in Hengchun fault zone. The resistivity results can identify the footwall and hanging wall of the Hengchun fault. Profile 18E-HCN-01 present the alluvium layer as a footwall while profile 18E-HCN-02 to 18E-HCN-04 shown the Maanshan formation as a hanging wall. by the MT method, we can determine the lithology consist of sand layer, conglomerate layer anf Kending formation which is correlate with Bitouzi-1 geological well. These geophysical surveys can identify the fault trace of Hengchun fault.

For the long-term slip rate, we tried to discover several outcrops of Shitan fault. However, most of them already eroded by the river or slumping. It was also difficult to find the appropriate location to excavate the trench. Therefore, we could not evaluate the long-term slip rate of Shihtan fault in this year. Further work is needed for verifying the outcrops and the slip rates.

In order to understand the further of geometric structure and mechanism of Chisang fault, we had successively carried out two resistivity surveys, four drilling well,

inclinometer setting, and also 3 wells have been completed this year. The results of this research presented that the fault plane of Chihshang fauklt is about 50-60 meters deeper than before, and the shallower part is dominated by a creeping fault. The further inclinometer work of well number 8 is still needed to verify the mechanism of the Chihshang fault.

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

目錄

摘要 II
Abstract IV
目錄 VI
圖目錄 VIII
表目錄 X
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
1.3 本年度測區之地質概述 14
第二章 計畫執行方法及進行步驟 16
2.1 地電阻剖面影像方法 16
2.1.1 地電阻調查原理 16
2.1.2 野外施測儀器 18
2.1.3 野外測線設計 19
2.2 淺層震測調查方法 20
2.2.1 淺層反射震測原理 20
2.2.2 反射震測法布線方式 21
2.2.3 反射震測法之精度 21
2.2.4 野外施測儀器 21
2.2.5 野外工作雜波測試步驟 22
2.2.6 野外測線選取 23
2.2.7 資料處理 23
2.2.8 資料解釋 24
2.3 大地電磁方法原理 26
第三章 觸口斷層 28
3.1 地質概述 28
3.2 觸口斷層調查工作 33
3.2.1 地電阻調查成果 36
3.2.2 淺層震測調查成果 37
3.3 觸口斷層測區施測結果之討論 44
第四章 恆春斷層 45
4.1 地質概述 45
4.2 恆春斷層調查工作 47
4.2.2 地電阻成果 50
4.3 大地電磁法成果 52
4.4 恆春斷層測區施測結果之討論 54

第五章 斷層長期滑移速率調查.....55
5.1 前言.....55
5.2 地質地形.....55
5.3 斷層跡調查與長期滑移速率.....58
5.3.1 大東勢(ST01、ST02).....59
5.3.2 小東勢(ST03).....61
5.3.3 六份(ST04、ST05).....63
5.3.4 上大窩(ST06、ST07、ST08).....64
5.3.5 下大窩(ST09、ST010).....66
5.3.6 北寮(ST11、ST12).....67
5.3.7 馬麟社(ST15).....68
5.4 結論.....68
第六章 池上斷層大坡國小場址之地變監測.....69
第七章 結論.....78
參考文獻.....81
附件一.....85
附件二.....87

圖目錄

圖 1.2-1 三義斷層地電阻調查結果與測線分布圖 3
圖 1.2-2 九芎坑斷層地電阻調查結果-過斷層跡 4
圖 1.2-3 九芎坑斷層地電阻調查結果-斷層下盤 4
圖 1.2-4 觸口斷層條帶地質圖及本年度重點施測區域 6
圖 1.2-5 觸口斷層測線規劃 7
圖 1.2-6 恆春斷層條帶地質圖及本年度重點施測區域 9
圖 1.2-7 恆春斷層測線規劃 10
圖 3.1-1 觸口斷層地形圖 29
圖 3.1-2 觸口斷層番路地區測線 03S-CKU-FL01 震測剖面圖 30
圖 3.1-3 觸口斷層蕃路地區測線 03E-CKU-FL01 地電阻影像剖面圖 30
圖 3.1-4 觸口斷層蕃路地區測線 03E-CKU-FL02 地電阻影像剖面圖 31
圖 3.1-5 觸口斷層蕃路地區測線 03E-CKU-FL03 地電阻影像剖面圖 31
圖 3.1-6 觸口斷層測線 03E-CKU-FL0307 與 03S-CKU-FL01 整合圖 32
圖 3.2-1 觸口斷層測區地電阻測線分佈 34
圖 3.2-2 18E-CKU-01 電阻率模型 36
圖 3.2-3 18E-CKU-02 電阻率模型 36
圖 3.2-4 18E-CKU-03 電阻率模型 36
圖 3.2-5 18E-CKU-04 電阻率模型 37
圖 3.2-6 18E-CKU-05 電阻率模型 37
圖 3.2-7 觸口測線 (18S-CKU-01) 野外施測幾何 39
圖 3.2-8 觸口測線 (18S-CKU-01)剖面位置圖 40
圖 3.2-9 觸口測線 (18S-CKU-01)移位前雙程走時剖面與解釋 41
圖 3.2-10 觸口測線 (18S-CKU-01) 移位後深度剖面與解釋 42
圖 3.2-11 觸口測線(18S-CKU-01) 移位前雙程走時剖面與觸口舊測線比較圖 43
圖 4.1-1 恆春斷層地球物理探勘結果 46
圖 4.2-1 恆春斷層測區地電阻測線分佈 48
圖 4.2-2 18E-HCN-01 電阻率模型 50
圖 4.2-3 18E-HCN-03 電阻率模型 50
圖 4.2-4 18E-HCN-02 電阻率模型 50
圖 4.2-5 18E-HCN-04 電阻率模型 51
圖 4.3-1 (A)18M-HCN-02 測站、(B)18M-HCN-04 測站於 TM 方向變化之結果 53
圖 4.3-2 鼻頭子一號井地質剖面圖 54
圖 5.2-1 獅潭斷層與鄰近地質 57
圖 5.2-2 獅潭斷層與鄰近地形 57
圖 5.3-1 調查地點(ST01-ST16) 58
圖 5.3-2 ST01 點朝南拍攝 59

圖 5.3-3 ST02 點朝北拍攝.....60
圖 5.3-4 ST03 點朝北拍攝.....61
圖 5.3-5 ST03 點朝南拍攝.....62
圖 5.3-6 小東勢朝西拍攝 62
圖 5.3-7 ST04 點朝北拍攝。.....63
圖 5.3-8 ST05 點朝南拍攝.....63
圖 5.3-9 ST06 點朝南拍攝.....64
圖 5.3-10 ST07 點朝北拍攝.....64
圖 5.3-11 ST08 點朝西拍攝.....65
圖 5.3-12 上圖朝北拍攝，下圖為東京帝國大學地震研究所拍攝 66
圖 5.3-13 河岸剖面 67
圖 5.3-14 馬麟社朝北拍攝 68
圖 6.1-1 池上斷層於大坡國小鄰近處的位置及周遭的地形地貌 71
圖 6.1-2 跨花東縱谷的 GPS 速度場.....72
圖 6.1-3 大坡國小場址的井位及地面地電阻測勘線的位置圖 73
圖 6.1-4 岩心照片彙整 74
圖 6.1-5 兩年期間測傾儀月累積變位量 75
圖 6.1-6 井 7 的岩心 76
圖 6.1-7 大坡國小的構造解釋垂直剖面圖 77

表目錄

表 1.3-1 交付項目表 15
表 3.2-1 觸口斷層測區地電阻野外施測參數及剖面反演參數表 35
表 3.2-2 觸口測線 (18S-CKU-01) 施測幾何參數 39
表 4.2-1 恆春斷層測區地電阻野外施測參數表 49
表 7.1-1 地球物理測線二度分帶座標 79
表 7.1-2 預期進度甘梯圖(Gantt Chart)：計畫進度控制及檢討之依據.....80

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地質敏感區；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：

1. 進行標的活動斷層的位置、可能影響範圍之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。
2. 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。
3. 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。

本計畫之調查部分分成二年，逐年分批針對獅潭斷層、木屐寮斷層、六甲斷層、觸口斷層、恆春斷層等標的斷層，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

本計畫以兩年時間，完成台灣地區 5 條重要活動斷層地球物理精查工作。地電阻施測方式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。

第一年計畫完成獅潭斷層、木屐寮斷層以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。

第二年計畫則將針對觸口斷層、恆春斷層進行地球物理施測工作，並嘗試進行獅潭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) 本團隊過去工作成果

過去三年本團隊針對三義斷層、旗山斷層、玉里斷層、瑞穗斷層、九芎坑斷層、梅山斷層、奇美斷層、獅潭斷層、木屐寮斷層，以及六甲斷層進行斷層近地表構造之地球物理探測工作，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。團隊部分成員曾參與過去十年執行貴所的『新期構造、古地震與槽溝開挖研究』、『地震地質與地變動潛勢分析－斷層長期滑移速率與再現週期研究』、『重要活動斷層構造特性調查研究計畫-斷層活動特性分析與評估』以及『活動斷層近地表構造特性調查(1/4)、活動斷層近地表構造特性調查(2/4)以及活動斷層近地表構造特性調查(3/4)』計畫等計畫，針對 25 條斷層進行古地震以及斷層長期垂直變動速率研究，具有成果的斷層共有 18 條，有山腳斷層、湖口斷層、新竹斷層、新城斷層、大甲斷

層、彰化斷層、車籠埔斷層、木屐寮斷層、六甲斷層、新化斷層、小岡山斷層、旗山斷層、恆春斷層、米崙斷層、瑞穗斷層、奇美斷層、池上斷層、鹿野斷層。並根據溝槽、鑽井岩芯以及地球物理等資料進行斷層參數的求取，整合各斷層的長期活動速率(垂直速率)、大地震周期、古地震年代、上次大地震發生年代。本年度計畫，乃基於以上先期計畫與前三年計畫執行之成果，延續進行標的斷層之高解析度近地表之地球物理探勘，取得近地表斷層破裂行為之更進一步了解，並增加斷層線跡分布通過之控制點，評估相關可能影響範圍與誤差程度。

過去在斷層之調查中，在無法直接施作於市區道路之地電阻測線，本團隊在搭配預判之斷層線跡位置，於線跡兩側一段距離外施作地電阻測線，亦可標定地下岩層之位置，推論斷層線跡之經過。例如三義斷層的調查結果(圖 1.2-1)中，我們可以明顯看到在 SY19、SY16、SY14 三條地電阻測線之電性差異，藉此夾擠三義斷層應經過 SY16 與 SY14 測線之間。

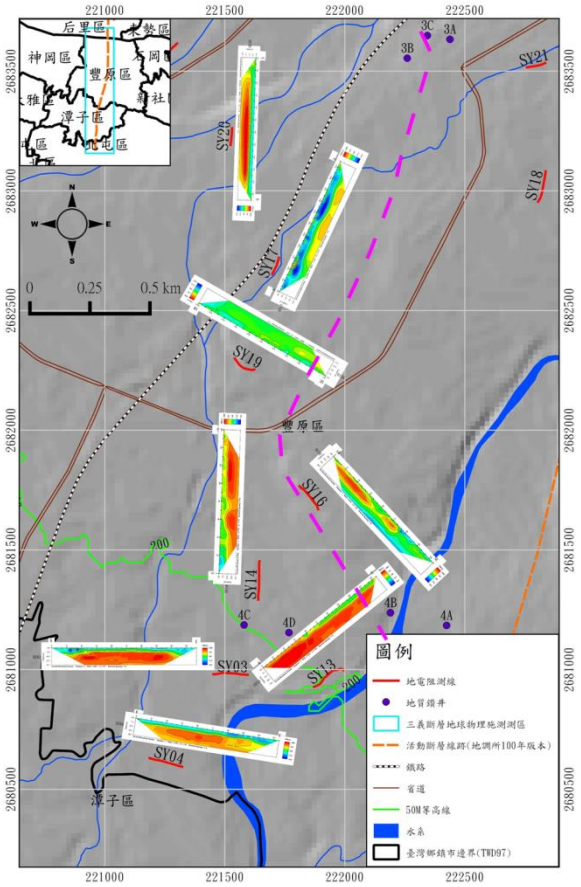


圖 1.2-1 三義斷層地電阻調查結果與測線分布圖(藍框區域，TWD97)

本團隊在九芎坑斷層之北段，穿越斷層線跡之一調查可發現，位於上盤之低阻岩層與下盤之高阻岩層有一漸變之斷層擾動帶(圖 1.2-2)，除了指出斷層位置應往東修正，還可訂出上下盤之電性差異，以此推論附近另一處過九芎坑斷層線跡之調查結果(圖 1.2-3)。斷層跡經過測線 124 公尺位置，但因整體電阻率顯示為高阻岩層，故可明顯確定調查測線皆位於下盤岩層中。故判釋斷層應位於調查測線之東側外。

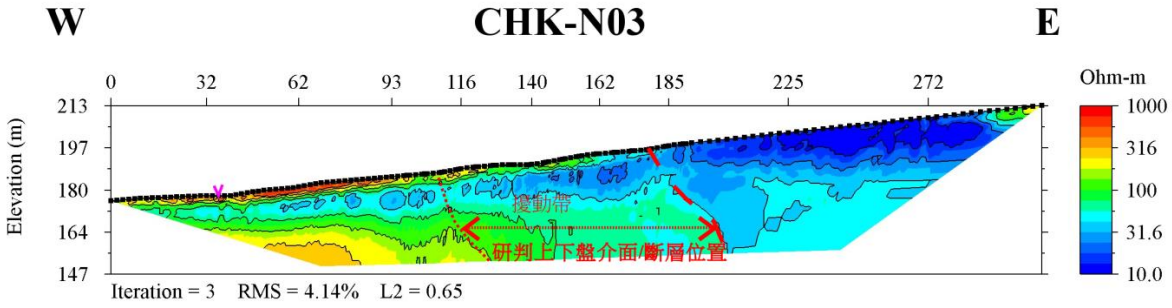


圖 1.2-2 九芎坑斷層地電阻調查結果-過斷層跡

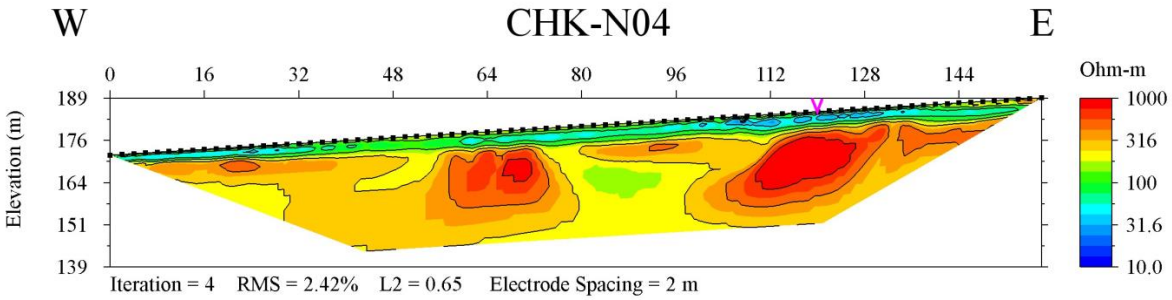


圖 1.2-3 九芎坑斷層地電阻調查結果-斷層下盤

(二) 本年度近地表地球物理調查工作項目

本研究計畫為兩年期計畫，第二年度之工作以觸口斷層、恆春斷層為調查標的。完成位於地質調查所標示之區域內之地球物理調查工作。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 3200 公尺以上。其中地電阻測線及透地雷達測線總長至少在 2400 公尺以上，淺層震測總長則至少在 800 公尺以上。每條斷層至少進行 1200 公尺之地電阻調查。淺層震測以觸口斷層進行調查施測，測線長度至少 800 公尺。以下是本年度兩條斷層之地球物理調查範圍及預定測線規劃：

1. 觸口斷層

本研究希望在垂直斷層線跡經過處，進行 3 條以上之地電阻測線調查。規劃之測線分布如圖 1.2-5 藍線。每個測線區域由至少一條 200 公尺以上移動施測的高解析地電阻測線組成，以 1 米至 5 米之較小之電極間距施測提高解析度。但因跨越斷層線之地電阻若無法直接展開，將改以每條 1-2 條 200 公尺以上長度之地電阻測線夾擠測線組成，估計至少獲得 3 個跨斷層之地電阻影像，標示出地球物理不連續帶/斷層帶線跡，將可提供斷層敏感帶劃設之參考。

高解析淺層震測測線規劃沿嘉義縣道 123-1 施測，測線長度為 800 公尺以上，以斷層預定線為中心向東西兩側展開，測站間距縮至 4 米以下，可以得到高解析度的地下構造影像。

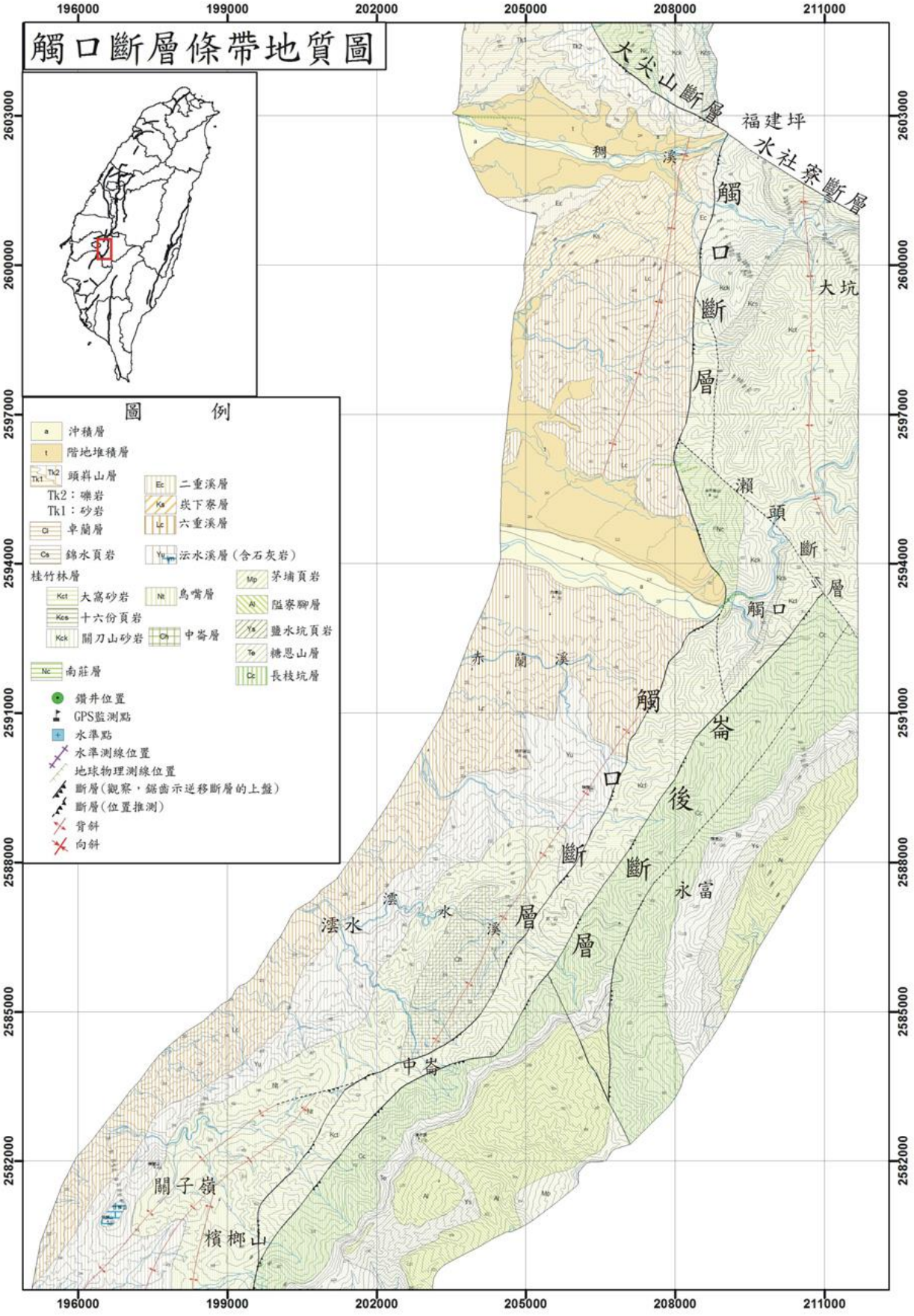


圖 1.2-4 觸口斷層條帶地質圖及本年度重點施測區域(TWD67，摘自地調所)

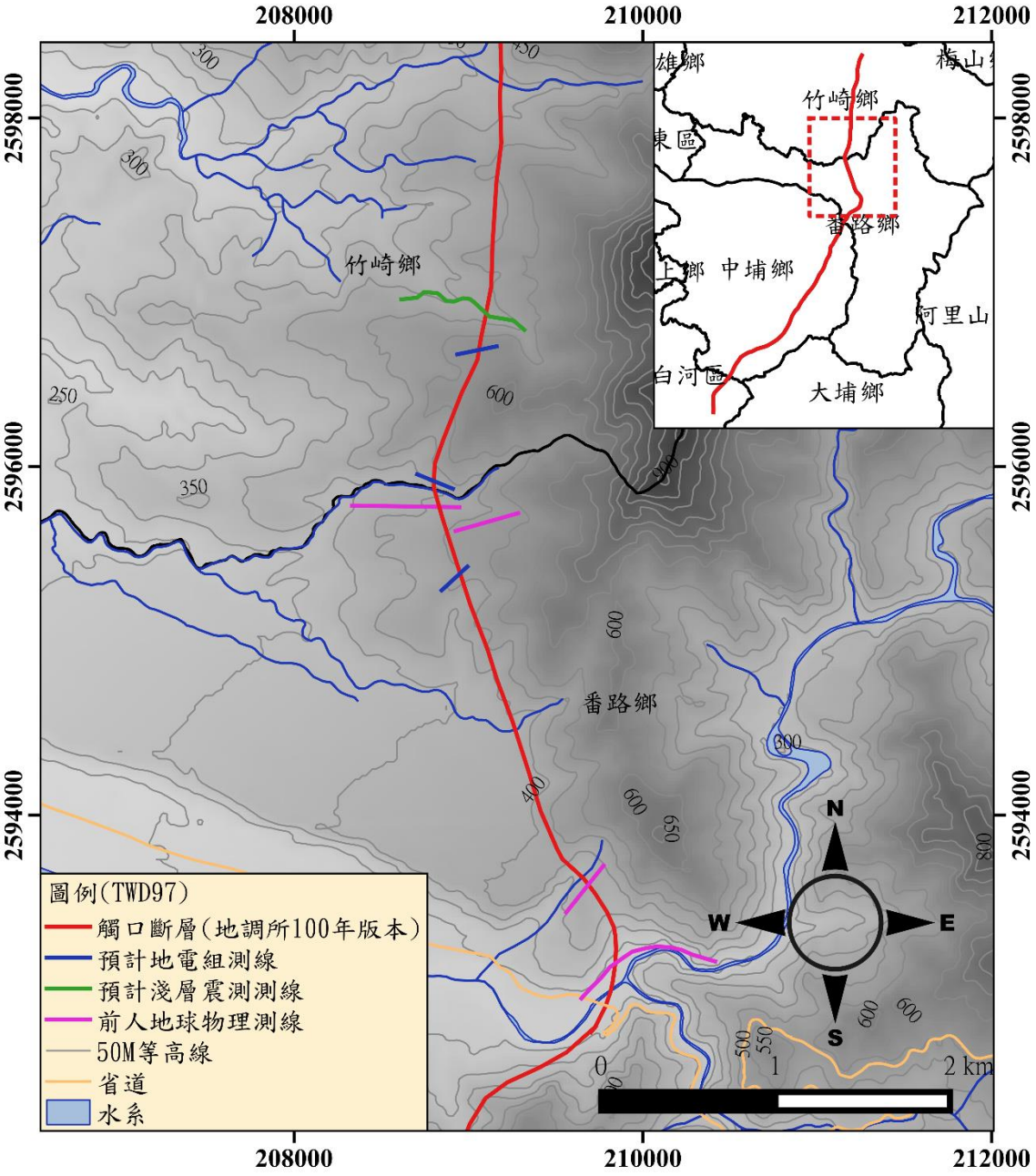


圖 1.2-5 觸口斷層測線規劃

2. 恆春斷層

恆春斷層為逆斷層(圖 1.2-6)，由屏東車城鄉海口向南延伸至恆春鎮南灣，長約 16 公里(詹新甫，1974)。由於斷層北段調查資料較多以及地形較為明確，因此本年度目標以恆春斷層中段、及南段為主。本區地球物理測線規劃如圖 1.2-7，測線設計最大測深可能需以 70-100 公尺為目標，方能了解本區斷層線跡之延伸分布，單一地電阻陣列長度需在 300-400 公尺左右。大展距測線預計將以 10 米電極間距，進行地電阻施測。但因跨越斷層線之地電阻若無法直接展開，將改以每條 1-2 條 300 公尺以上長度之地電阻測線夾擠測線組成，預計可增加至少 4 個不連續帶/斷層控制點。

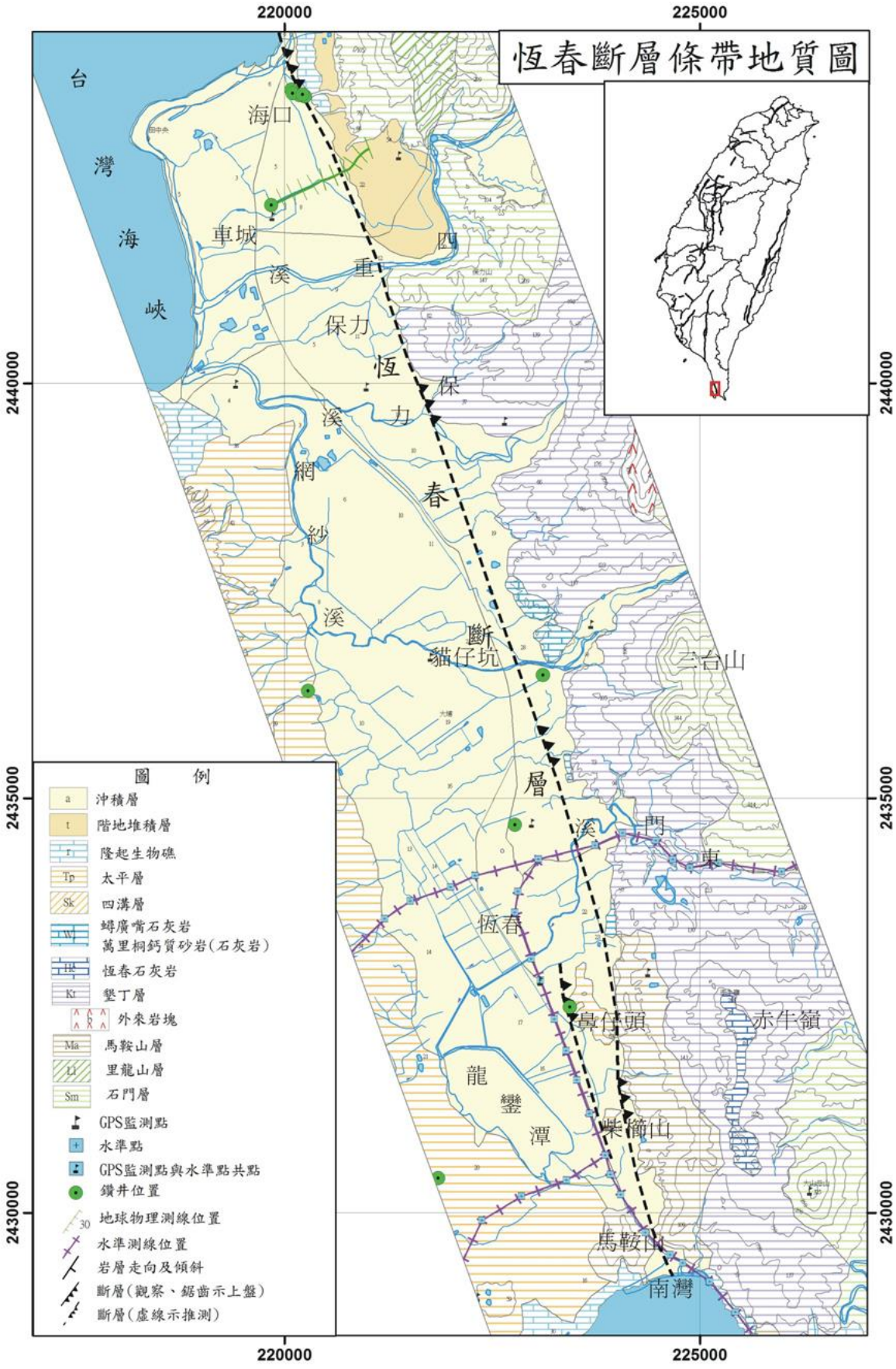


圖 1.2-6 恆春斷層條帶地質圖及本年度重點施測區域(TWD67，摘自地調所)

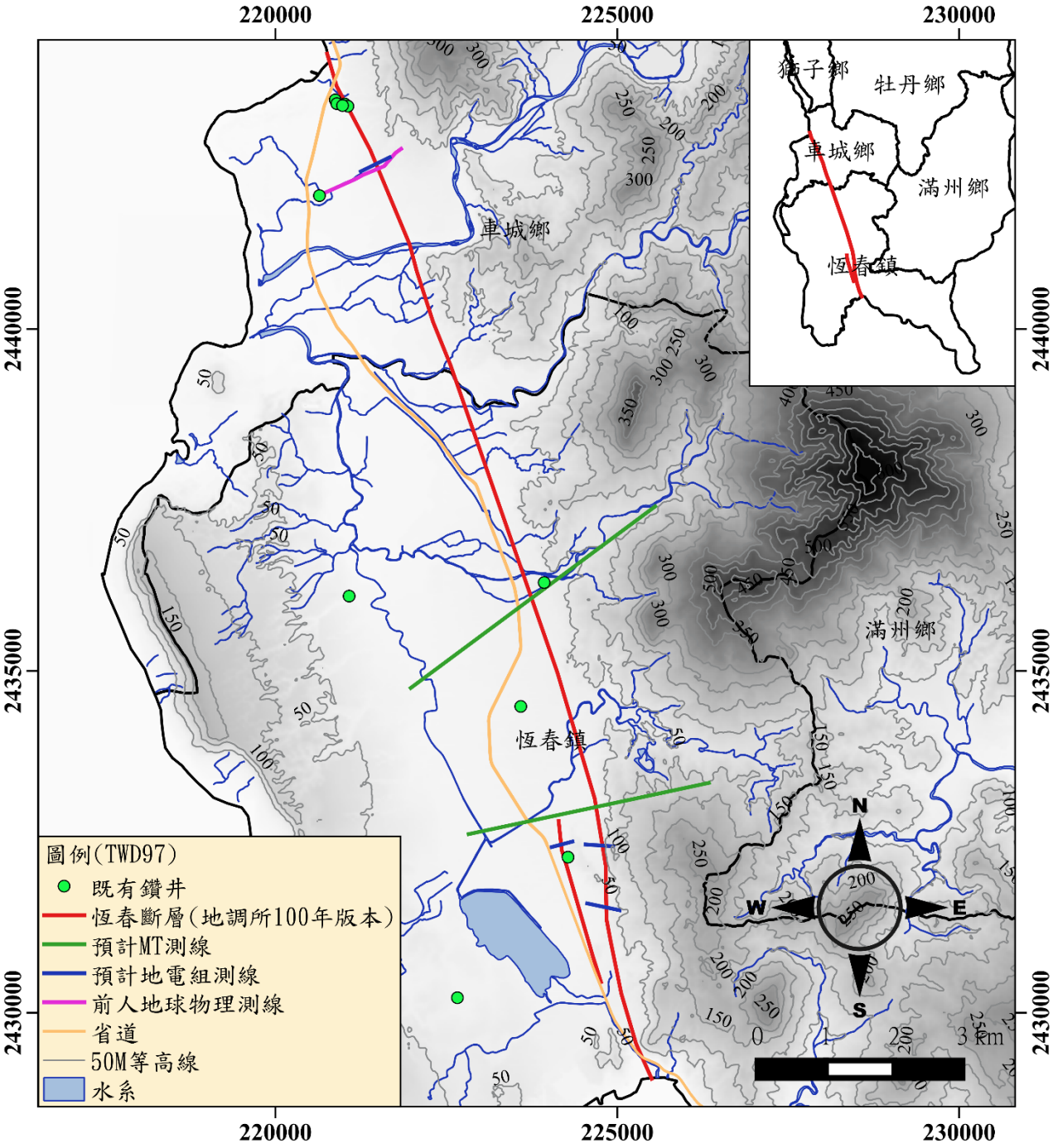


圖 1.2-7 恆春斷層測線規劃

(三) 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(Lidar)，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、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。

(四) 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個月掃描一次的密度，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。

(五) 預期成果及具體績效

本計畫第二年(107)預期成果如下：

1. 觸口斷層、恆春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。

(六) 交付項目

1. 觸口斷層、恆春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. 觸口斷層、恆春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 2400 公尺以上，交付成果如表 1.3-1。
3. 觸口斷層測區之淺層震測剖面與資料分析，測線總長度在 800 公尺以上。
4. 獅潭斷層之長期滑移速率推估研究，交付成果如表 1.3-1。
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或國際研討會一場，交付成果如表 1.3-1。
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 已上清晰圖檔(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。
9. 彙整 104 至 107 年歷年重要成果，撰寫 4 個年度整合成果報告書 30 本，報告書光碟 10 份，資料光碟 5 份。

(七) 技術轉移項目(國內活動斷層近地表調查技術研討會)

本計畫將可以作為大學生與研究生的野外訓練之用，地球物理調查之成果或建立之模型，可以提供成為學術團體與職業團體的教育訓練材料，與進一步之運用，並可以將技術轉移給職業團體；因此本計畫已經規劃舉辦國內學術界的教育訓練會。二年期程中，將至少舉辦一次國內活動斷層近地表調查技術研討會。

1.3 本年度測區之地質概述

(一) 觸口斷層

觸口斷層為一東北-西南走向的逆斷層，北段呈南北走向，由嘉義縣竹崎鄉金獅村向南延伸至番路鄉觸口村；南段約呈北北東走向，由觸口村向南延伸至台南縣白河鎮關嶺里(吉田要，1931)；兩段長度合計約 28 公里。

斷層北端在福建坪附近與大尖山斷層以水社寮斷層連接，斷層南端在關子嶺附近與崙後斷層連接。觸口斷層上盤出露的地層包括南莊層與桂竹林層，下盤則出露中崙層、鳥嘴層、濛水溪層、六重溪層、崁下寮層、二重溪層、階地堆積層與沖積層。(Stach, 1957；紀文榮，1982；吳樂群和王源，1989；葉明官和楊健一，1994；邵屏華和高銘健，2009；黃緯誠，2011)。關於斷層調查方面，耿文溥(1974)調查西南部地質時，估算觸口斷層兩側的層位落差有數百公尺。黃鑑水等(1994)由觸口附近斷層上盤出露的南莊層與下盤出露六重溪層接觸，推算層位落差超過 2,000 公尺。其上下盤層位落差由北向南逐漸縮小，因此洪日豪等(Hung et. al., 1999)由平衡剖面的建立，研判在關仔嶺地區觸口斷層可能在地下淺部即併入崙後斷層。觸口斷層兩側的岩性差異大，由地形上相當容易判斷其位置，在牛稠溪上游斷層上盤存在局部小型斷層剪動帶(林啟文等, 2007)。位於獺頭斷層南北兩側觸口斷層的層位落差不同，研判在該處為觸口斷層的一個重要區段界線(陳文山等，2004a)。

(二) 恆春斷層

恆春斷層，為逆斷層，由屏東車城鄉海口向南延伸至恆春鎮南灣，長約 16 公里(詹新甫，1974)。岩層分佈屬於中新世－晚更新世沉積岩；地層分層採用陳文山等(1985)的地層劃分有晚中新世的石門層與里龍山層、上新世－早更新世的馬鞍山層、更新世墾丁層、晚更新世恆春石灰岩與全新世隆起珊瑚礁；斷層下盤岩層計有上新世－早更新世馬鞍山層、晚更新世恆春石灰岩、四溝層與太平層，以及全新世隆起珊瑚礁與沖積層。恒春斷層依照地形特徵以及地層的分布，斷層走向約為北西 20 度，與上盤中央山脈的構造線走向大致呈 50-60 度斜交(陳文山等，2007)。由地層的對比結果，研判恆春西台地是在萬里桐石灰岩沉積後才開始傾動，由萬里桐石灰岩在中央山脈與恆春西台地的分佈特性，估計恆春斷層的錯距約在 200 公尺，而恆春谷地是屬於下降的構造環境，(陳文山等，2004a)。由恆春半島南方海域的反射震測結果(Reed et. al., 1992)顯示，恆春半島向南延伸至巴士海峽形成一條南北走向的凸起山脊，此山脊可以觀察得到一系列向西逆衝的逆斷層，研判此逆斷層造成恆春西台地的傾斜，以及恆春谷地的相對下陷。

表 1.3-1 交付項目表

編號	工作完成項目	章節	附註
1.	觸口斷層區域野外施測地電阻測線 5 條，總長度 1220 公尺。	第三章	目前完成地電阻測線總長度共 2605 公尺，契約書規定之交付施測總長度為 2400 公尺。
2.	恆春斷層區域野外施測地電阻測線 4 條，長度 1385 公尺。	第四章	
3.	觸口斷層區域完成淺層震測野外施測之測線一條，總長度 1964 公尺。	第四章	契約書規定之交付施測總長度為 800 公尺。
4.	獅潭斷層長期滑移速率調查。	第五章	
5.	池上斷層大坡國小場址之地變監測	第六章	
6.	於 107/10/3-107/10/6 舉辦 2018 台日韓地下環境探勘與評估技術聯合研討會	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，需劃設活動斷層地質敏感區，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。

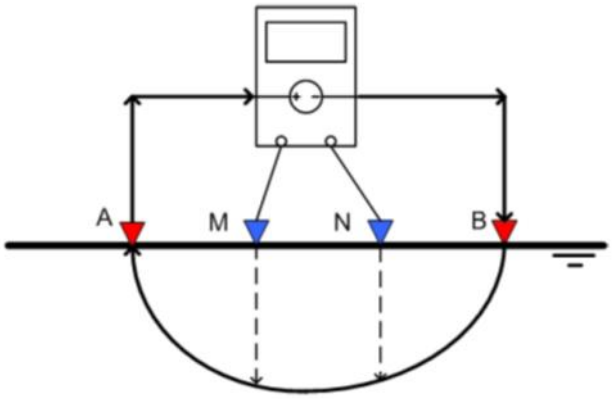


圖 2.1-1 地電阻探測儀器示意圖

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。

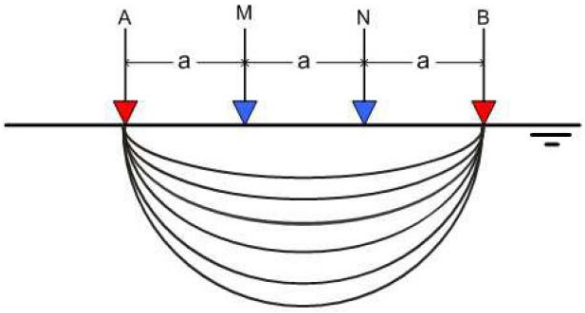


圖 2.1-2 溫奈排列(Wenner Array)示意圖

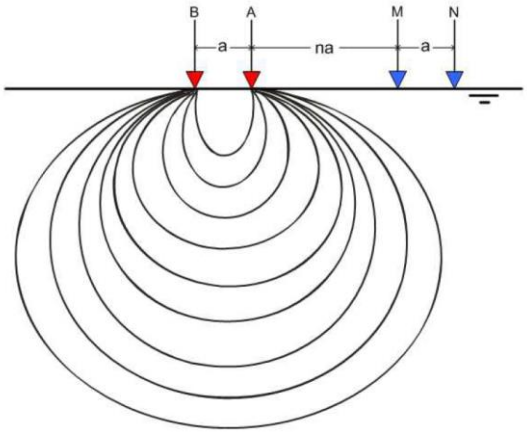


圖 2.1-3 雙偶極排列(Dipole-dipole Array)示意圖

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。

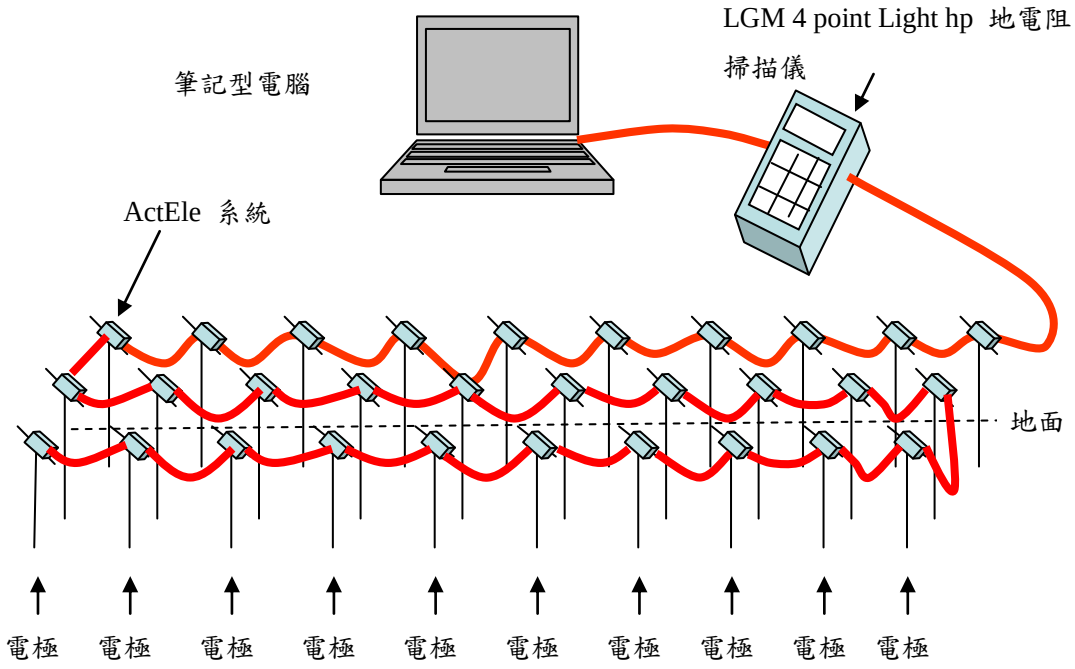


圖 2.1-4 地電阻剖面影像探測示意圖

2.1.3 野外測線設計

1. 觸口斷層：

詳見第一章(圖 1.2-4 至圖 1.2-5)，主要規劃岩仔後南北側，進行 3 條垂直斷層線跡之地電阻測線調查，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. 恆春斷層：

詳見第一章(圖 1.2-6 至圖 1.2-7) ，測線選擇在鼻頭仔南北側，以東西向跨過斷層線跡進行 2 至 3 條延續之短間距精密地電阻量測。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。

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。

若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。

2.2.7 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 大地電磁方法原理

大地電磁探測方法(Magneto-Telluric Method, 簡稱 MT 法)，最初為 50 年代初期，由曾任法國地球物理研究所所長的 Louis Cagniard 教授提出。在 60 和 70 年代，大地電磁測深方法得到進一步的發展。目前，它與地震探勘方法一起，已成為深部地球物理探勘的重要手段，由於 MT 法比地震方法能在許多地震法不能應用的地區，協助解決難以解析的地層構造，因此近幾年來，大地電磁探測方法在油氣田探勘、火山地質和地熱等方面有廣泛的應用，並且配合地震的探勘資料，發現了一些以前難以確認的的大地構造或礦床(石應駿 et al., 1985)，在台灣，大地電磁法也被廣泛運用於一些地殼構造(陳建志, 1998)與淺部斷層構造(徐漢倫, 2007)，以及沉積層續變遷之探勘工作上(游峻一, 2003)。然而由於鄰近都會地區雜訊的影響，因此例如台灣地區的大地電磁訊號，多帶有大量的隨機(incoherence)與同調(coherence)雜訊，一般的做法，係利用遠程參考站(remote reference)對隨機雜訊進行消除，但此種作法無法消除同調雜訊。Egbert (1997)建議可以利用同時序多站方法，利用 Robust multivariate errors-in variate (RMEV)法，可以消除都會地區間隔的同調雜訊。過去此種作法，需要同時佈設多個同時序的大地電磁測站，但這種作法需要多套昂貴的大地電磁設備系統。由於技術的成熟，目前已可以購置相關之寬頻大地電磁感測器，並根據需求與多波道資料紀錄儀進行機電整合，製成為兼具收集大地電磁與天然地震訊號機型，並佈設於現地施測。

大地電磁方法的測深，取決於不同頻率的電磁場集膚深度(Skin Depth)：不同頻率的電磁場訊號，具有不同的穿透深度，所以可依照此特性，知道不同深度下範圍內的地殼物質電阻率大小。δ為集膚深度(m)， $\omega = 2\pi f =$ angular frequency，$\mu =$ physical constant，$\sigma =$conductivity，$\rho =$ Apparent resistivity

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \cong 503\sqrt{\rho T}$$

而電阻率的推算，則來自與電磁場的阻抗張量(Impedance tensor)：

$$Z_{xy} = \left|\frac{E_x}{H_y}\right|; Z_{yx} = \left|\frac{E_y}{H_x}\right|$$

由阻抗張量，進一步推算地殼物質的視電阻率(Apparent resistivity)：。

$$\rho_{xy} = \frac{1}{\omega\mu}\left|\frac{E_x}{H_y}\right|^2 = \frac{1}{\omega\mu}\left|\frac{E_y}{H_x}\right|^2 = \rho_{yx}$$

式中，ρ為視電阻率(ohm・m)。

另外由相位(Phase)(為電場與磁場的相位差)也可推導出不同頻率之地層視

電阻率:

$$P_{xy} = \tan^{-1}\frac{imag(\frac{E_x}{H_y})}{real(\frac{E_x}{H_y})} \; ; P_{yx} = \tan^{-1}\frac{imag(\frac{E_y}{H_x})}{real(\frac{E_y}{H_x})}$$

各測站的電磁場量測結果，經過本研究自行發展的處理程序，可得出視電阻率與相位曲線。進一步透過俄國的免費軟體 IPI2win_MT 軟體，我們可計算得到測站下的一維地電阻模型

第三章 觸口斷層

3.1 地質概述

觸口斷層為逆移斷層，位於丘陵區與麓山帶的交接界，依地質特性可以分為 2 段：北段呈南北走向，由嘉義縣竹崎鄉福建坪至番路鄉觸口附近；南段約呈北北 東走向，由觸口延伸至台南縣關子嶺東方；兩段長度合計約 28 公里。斷層北端在 福建坪附近與大尖山斷層以水社寮斷層連接，斷層南端在關子嶺附近與崙後斷層連接(林啟文等，2007)。關於地球物理方面的研究，依觸口斷層地層電阻率譜研判(圖 3.1-3 至圖 3.1-5)，西端上部之高電阻率層是礫層，底部低電阻率層是以泥岩、粉砂岩與細砂岩為主的地層。上部的中電阻率層是以中至粗砂岩為主的地層。依此岩性分布，圖 3.1-5 研判位置 70 公尺處是觸口斷層經過之處。觸口斷層面向東傾斜，近地表處之斷層面較陡，大約是 60°，向下漸緩為 40°～30°。斷層前緣疊合面甚陡，向西傾斜。斷層前緣疊合面之西側淺部地層以礫夾砂層為主，東側地層以砂質與泥質為主。斷層面以西的上部是礫砂層，斷層以東的地層屬於桂竹林層。石瑞銓等(2003)曾於觸口斷層施測一條震測測線(圖 3.1-1)。震測線位於八掌溪河床上(天長地久橋下)，長約 730 公尺。接近觸口斷層帶的岩層受拖曳褶皺與剪切作用，整個斷層帶出現 4 條破裂帶，破裂帶傾角由西向東有增加趨勢。由震測剖面可以看出，觸口斷層為高角度向東傾斜，斷層帶內的岩層受到強烈的擠壓變形作用(圖 3.1-2)，震測剖面中反射信號主要出現於 200ms 以上(圖 3.1-2；圖 3.1-6)，地層呈多次褶皺狀。剖面中觸口斷層以高角度逆衝，斷層並呈帶狀出現，斷層帶內的地層則受到激烈的擠壓變形，經比較地電與震測的調查結果，兩者的結果極為相似。

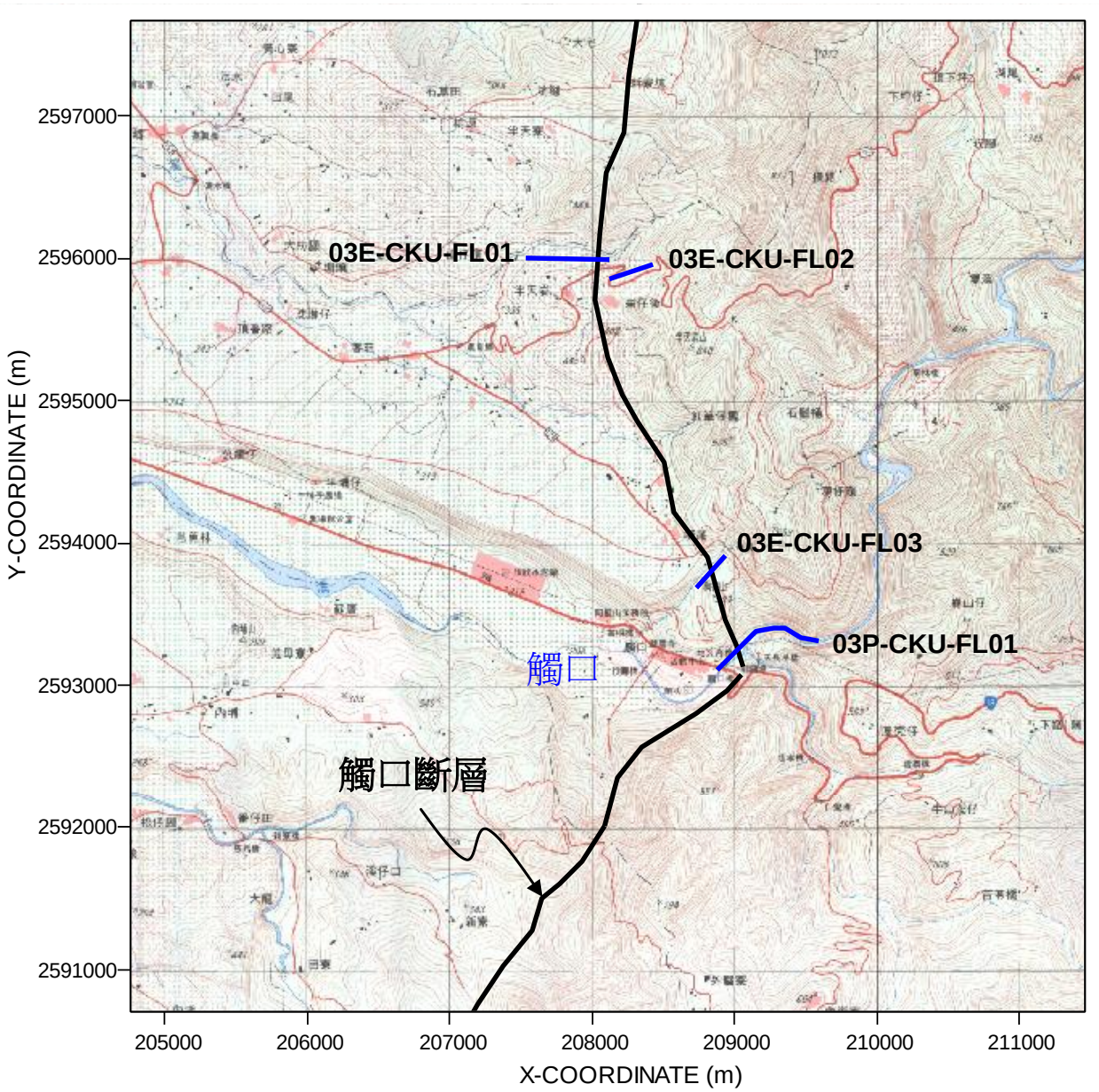


圖 3.1-1 觸口斷層地形圖

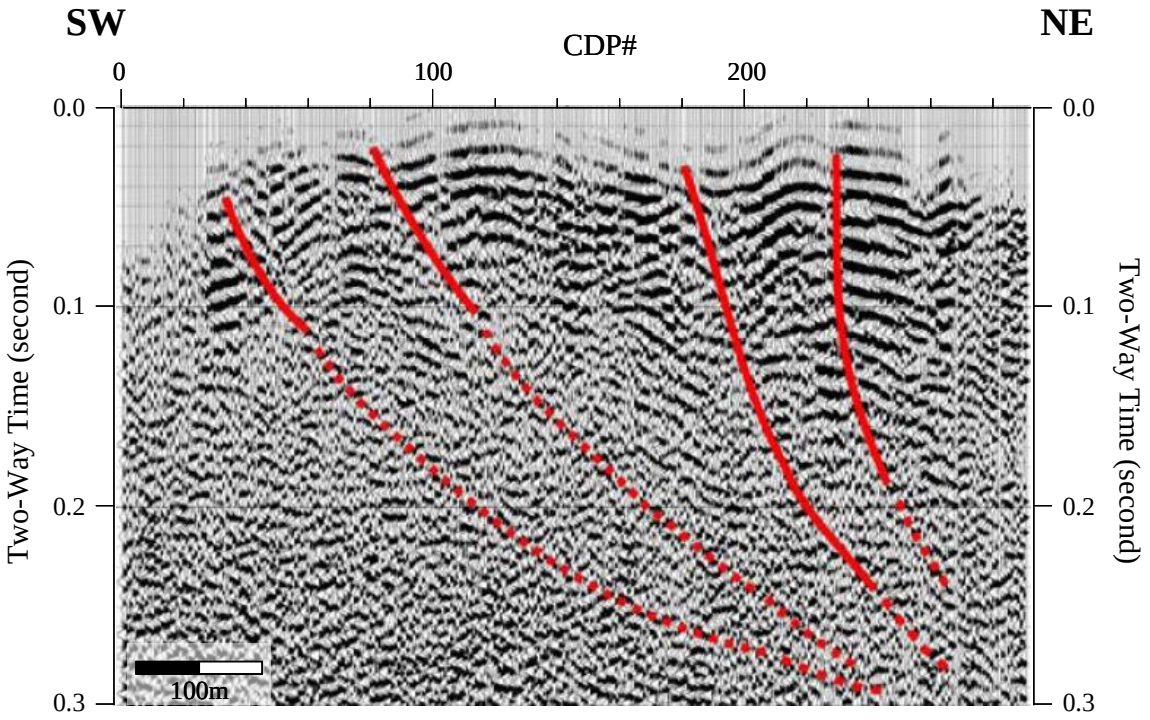


圖 3.1-2 觸口斷層番路地區測線 03S-CKU-FL01 震測剖面圖 (石瑞銓等，2003)

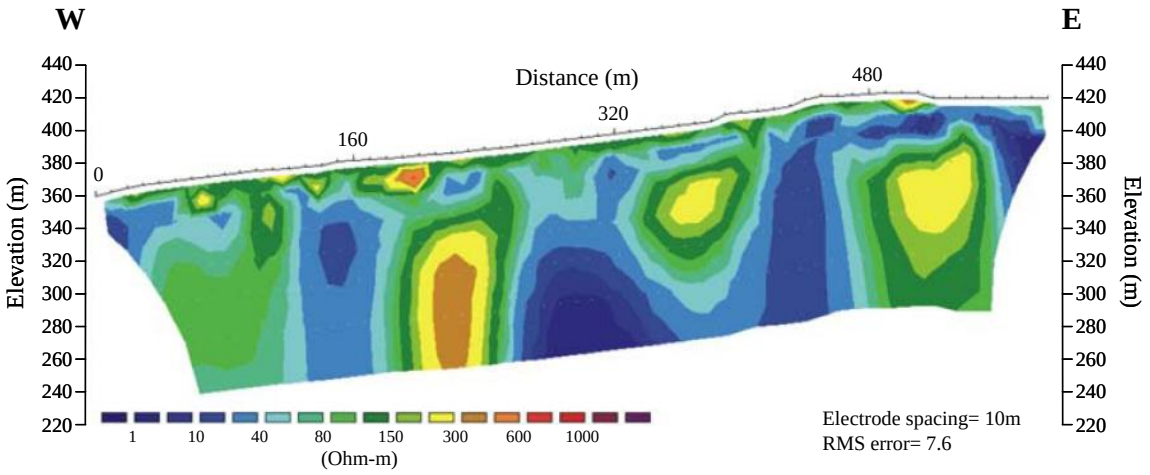


圖 3.1-3 觸口斷層蕃路地區測線 03E-CKU-FL01 地電阻影像剖面圖(電阻率層之位態甚陡，觸口斷層可能在本部面西端附近)(石瑞銓等，2003)

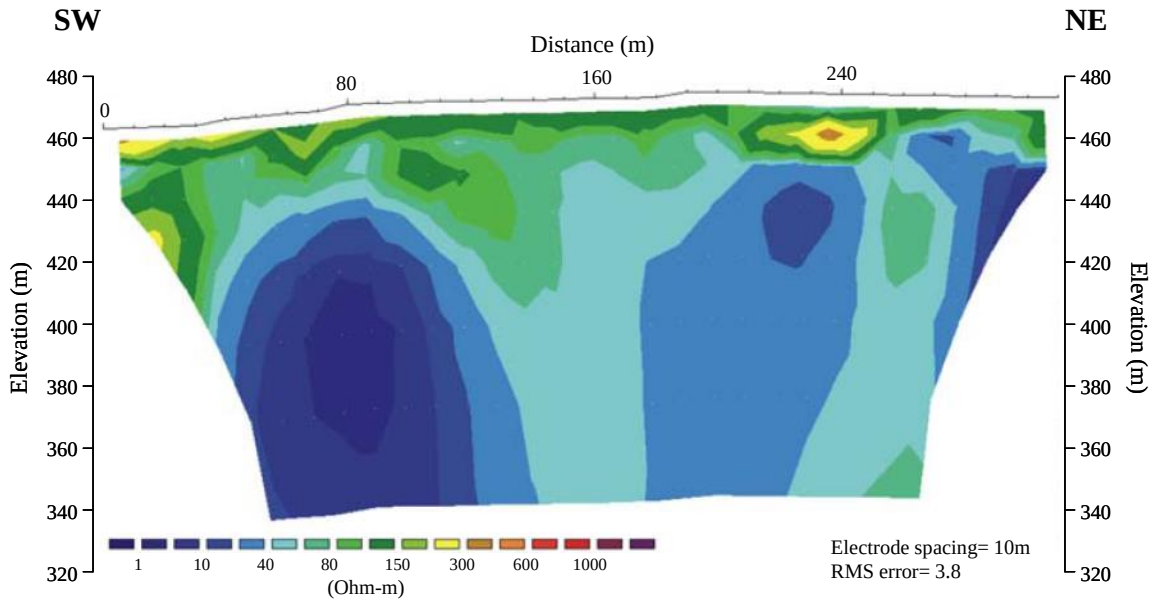


圖 3.1-4 觸口斷層蕃路地區測線 03E-CKU-FL02 地電阻影像剖面圖(石瑞銓等，2003)

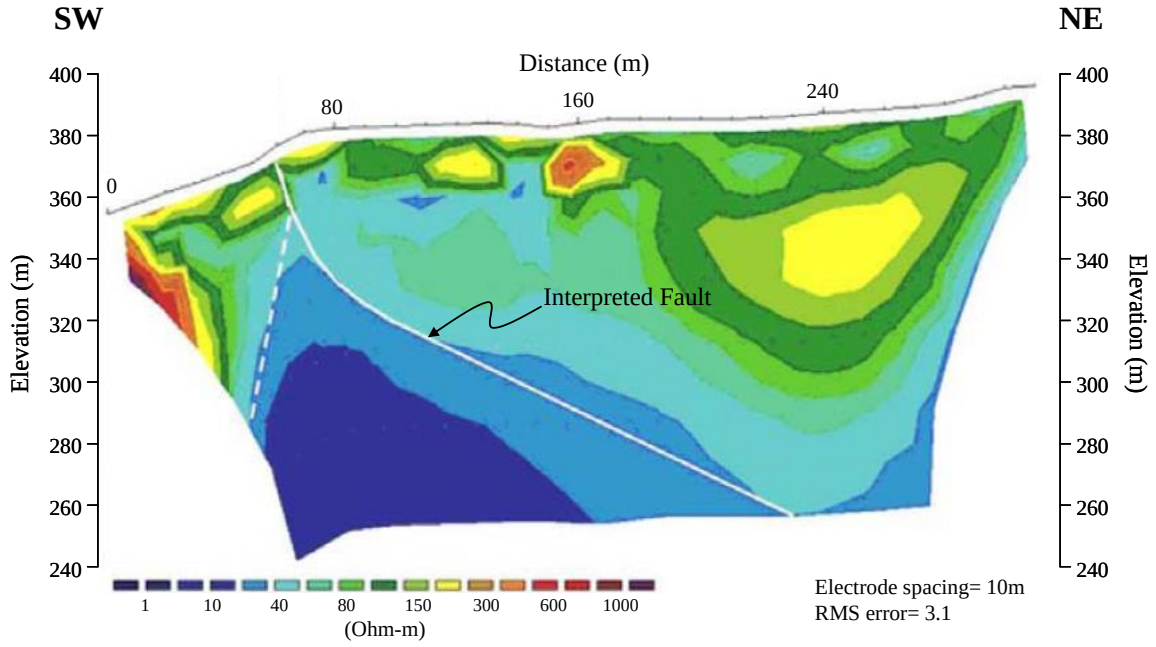


圖 3.1-5 觸口斷層蕃路地區測線 03E-CKU-FL03 地電阻影像剖面圖(白實線示觸口斷層面。白虛線示多次斷裂之斷層前緣疊合面)(石瑞銓等，2003)

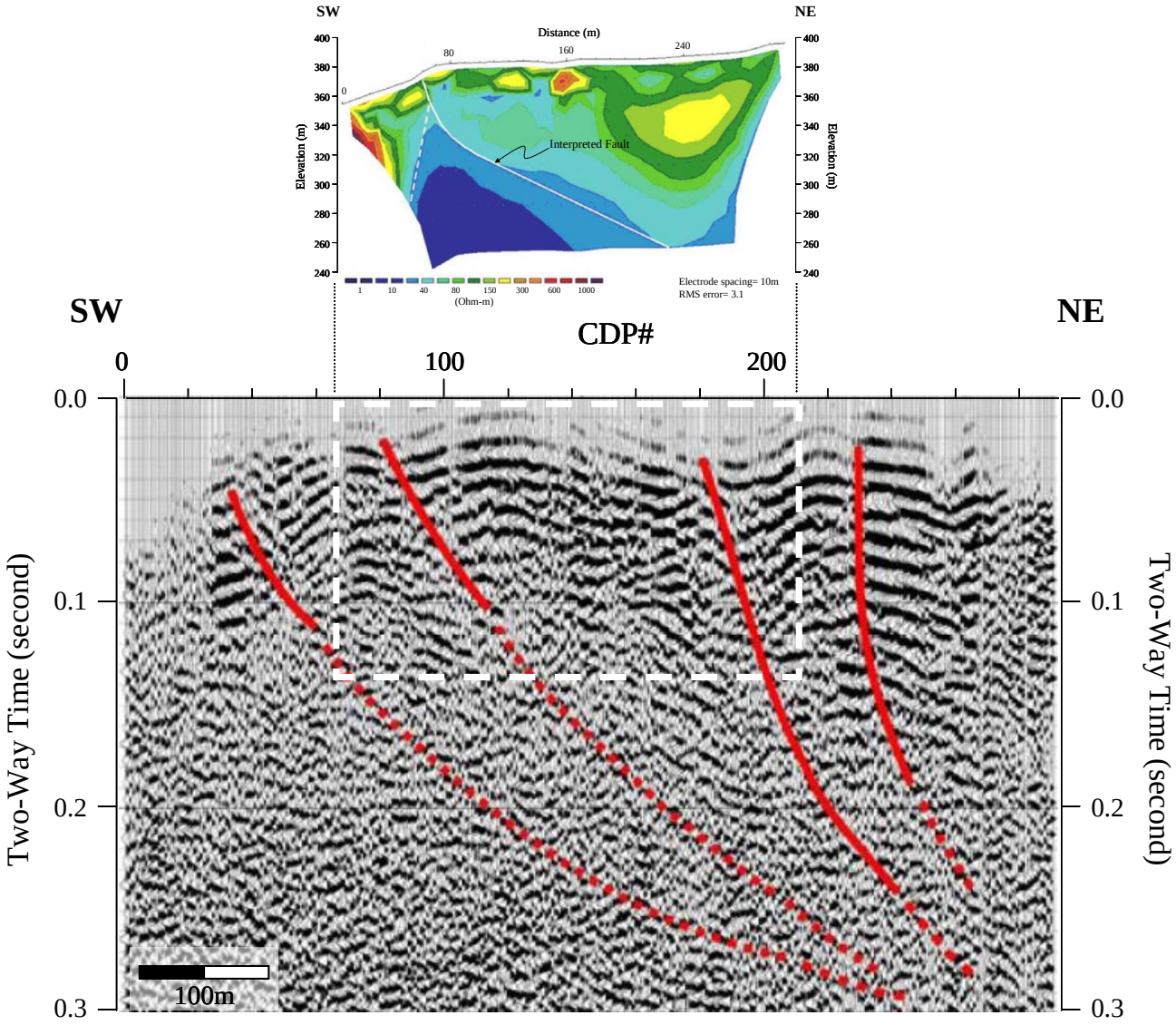


圖 3.1-6 觸口斷層測線 03E-CKU-FL0307 與 03S-CKU-FL01 整合圖(圖中震測剖面裡紅色虛線框的位置即為地電剖面所涵蓋的有效位置)(石瑞銓等，2003)

3.2 觸口斷層調查工作

本研究團隊於觸口斷層測區共施測 5 條地電阻測線如圖 3.2-1，測線的選擇以橫跨斷層線跡為原則，並考量進行野外實驗時需遠離電塔、電線杆接地線以及置有鐵架、鐵欄杆等容易影響施測成果之場地進行佈線，故多選擇田地、果園或是道路邊進行施測。18E-CKU-01、18E-CKU-02 全線施測於開墾過之果園，剖面解析深度約為 50 公尺，18E-CKU-03 於測線位置 120 公尺前為果園，100-105 測線跨越道路，並於 105 公尺後沿著道路進行佈線，剖面解析深度約為 42 公尺，18E-CKU-04 施測於一石板鋪設之登山步道旁，剖面解析深度約為 36 公尺，18E-CKU-05 位於八掌溪南岸沿著道路邊進行佈線，剖面解析深度約為 66 公尺，各項野外施測參數如表 3.2-1。進行反演算計算時，初始設定將迭代次數設定為 10 次，在計算完成後選擇其誤差(RMS)趨近穩定時的那次迭代次數之結果作為反演算結果。在第一次反演算完成後，會利用 EarthImager data misfit histogram 功能將計算後結果與資料所計算出的相對誤差較大的資料剃除，再進行反演算，其效果為降低雜訊對資料品質的影響，地電阻剖面反演共同參數如表 3.2-1。

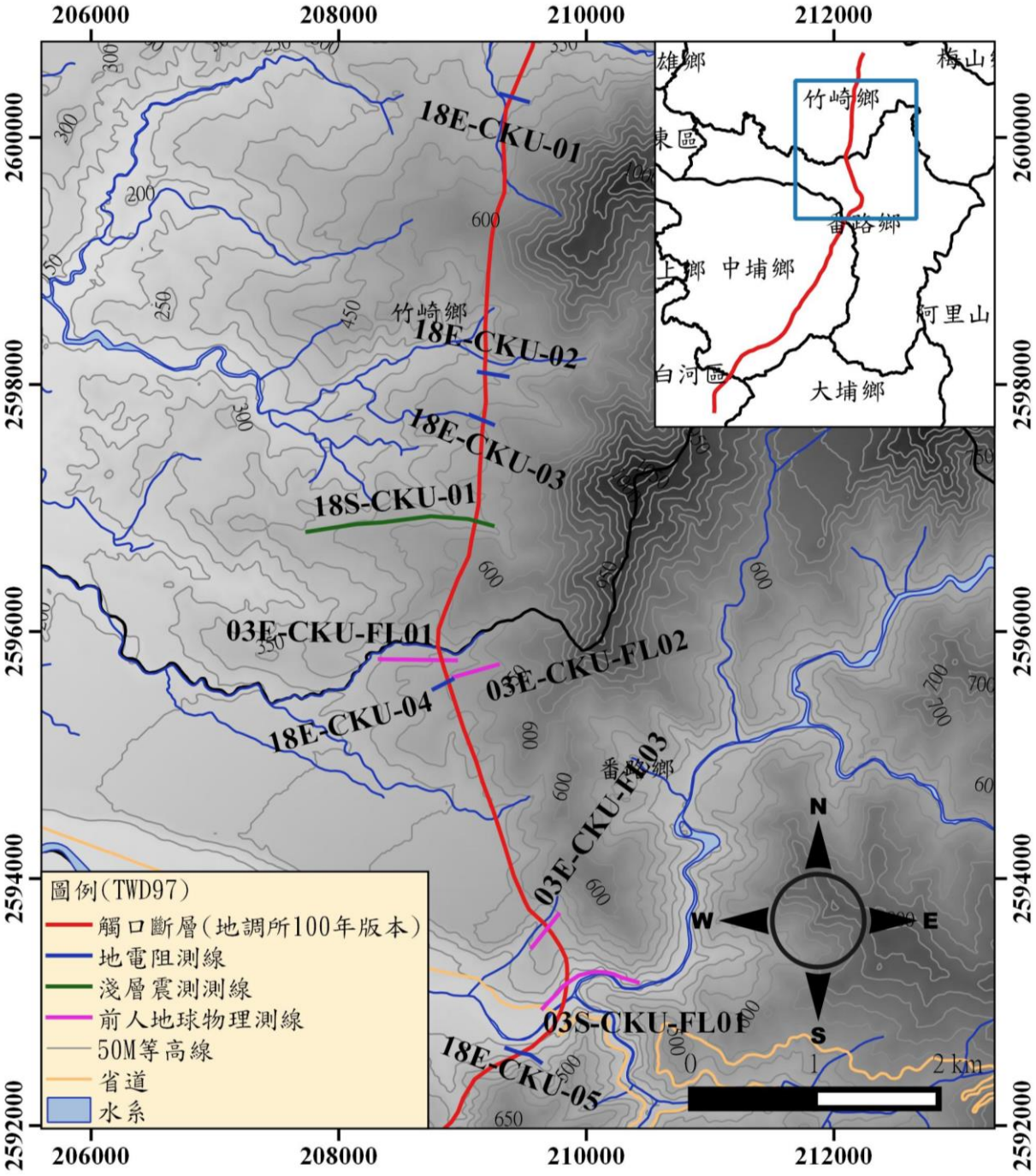


圖 3.2-1 觸口斷層測區地電阻測線分佈

表 3.2-1 觸口斷層測區地電阻野外施測參數及剖面反演參數表

測線施測共同參數 Current range:1~50mA, Measure mean limit:2%, Measure mode:RMT, Fequence:4.16, Voltage range:10~300mV						
剖面反演共同參數 Method: Robust Inversion, Starting model: Avg. AppRes, Smoothness factor & Damping factor: 10, Number of iteration:10						
測線名稱	施測方向	反演方向	施測陣列(正、反向)	施測長度	電極數	電極間距
18E-CKU-01	W→E	W→E	Schlumberger、Wenner	250m	51 個	5m
18E-CKU-02	W→E	W→E	Schlumberger、Wenner	250m	50 個	5m
18E-CKU-03	E→W	W→E	Schlumberger、Wenner	210m	43 個	5m
18E-CKU-04	E→W	W→E	Schlumberger、Wenner	180m	37 個	5m
18E-CKU-05	W→E	W→E	Schlumberger、Wenner	330m	67 個	5m

3.2.1 地電阻調查成果

18E-CKU-01(圖 3.2-2)、18E-CKU-02(圖 3.2-3)位於觸口斷層的北段(圖 3.2-1)，本區域有許多的果園開墾，反應在地電阻剖面的地形上，本區域的電性地層剖面多為為水平分佈，推測深度約 20 公尺範圍皆為沖積層等並受到人為開墾的土地，下部之低電阻率地層則可能屬於桂竹林層。18E-CKU-01 於 50 至 75 公尺間淺層沖積層厚度有一明顯厚度變化，推論可能為斷層活動後造成剖面 50 公尺以東的地層遭抬升並受侵蝕作用的結果，藉此可推論此處可能為地球物理不連續面之延伸線。18E-CKU-02 於 40 公尺至 50 公尺間同樣可藉由淺層沖積層受到斷層擾動後產生的厚度變化推論此處可能為地球物理不連續面之延伸線。

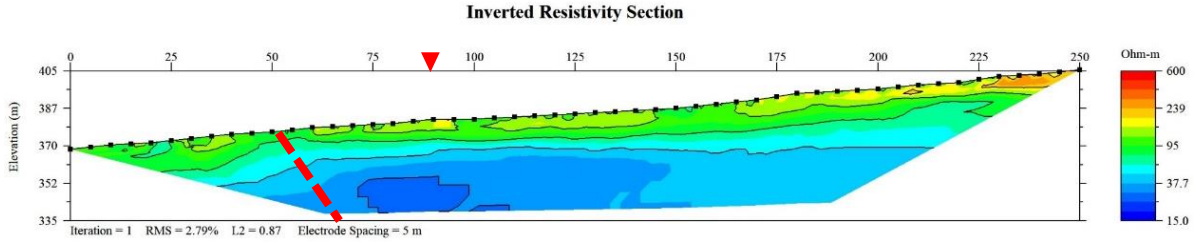


圖 3.2-2 18E-CKU-01 電阻率模型(紅色虛線為判釋之地球物理不連續面，紅色三角形為地調所 100 年版本觸口斷層線跡通過位置)

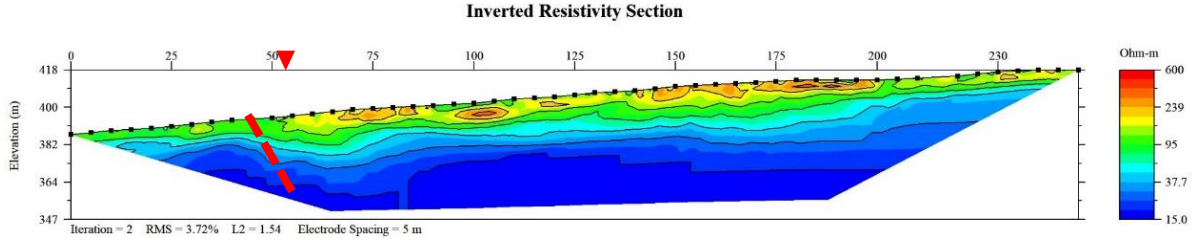


圖 3.2-3 18E-CKU-02 電阻率模型(紅色虛線為判釋之地球物理不連續面，紅色三角形為地調所 100 年版本觸口斷層線跡通過位置)

18E-CKU-03、18E-CKU-04 位於觸口斷層北段東西向縣道附近(圖 3.2-1)，本區域同樣有許多的廟宇與果園開墾，因此地表深度在 10 公尺附近皆受到影響，例如：18E-CKU-03 測線(圖 3.2-4)120-125 間反應測線跨越水塔；18E-CKU-04(圖 3.2-5)則反應石頭公廟之石板路步道，而 10 公尺以下，則反應桂竹林層之低阻電性地層訊號。

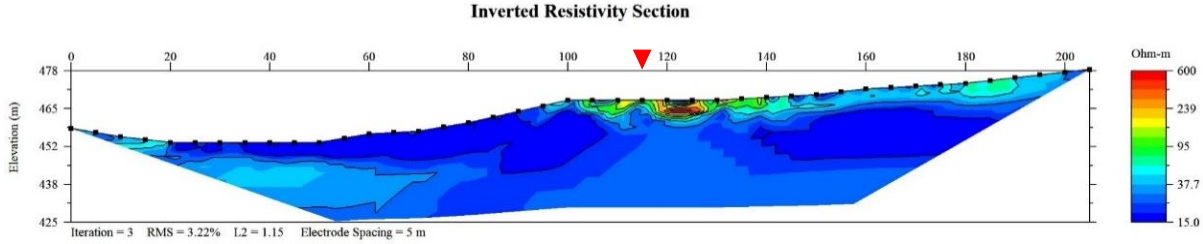


圖 3.2-4 18E-CKU-03 電阻率模型(紅色虛線為判釋之地球物理不連續面，紅色三角形為地調所 100 年版本觸口斷層線跡通過位置)

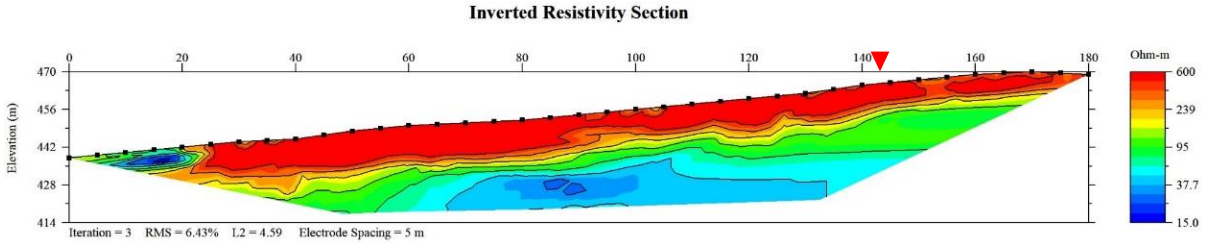


圖 3.2-5 18E-CKU-04 電阻率模型(紅色三角形為地調所 100 年版本觸口斷層線跡通過位置)

18E-CKU-05(圖 3.2-6)全線皆屬於低阻的電性訊號，但從上而下，大致上可以分成 2 層，電阻率介於 50-100Ohm-m 的為六重溪層，而電阻率在 50Ohm-m 以下的則為桂竹林層，測線在 140-170 公尺之間有一個約 20 公尺的落差，推測可能為觸口斷層的未出露的桂竹林層層位落差，由剖面上白色點線作為地層分界，測線 170 公尺後地層相對抬升，其斷層形態研判為一高角度的逆衝斷層接觸。

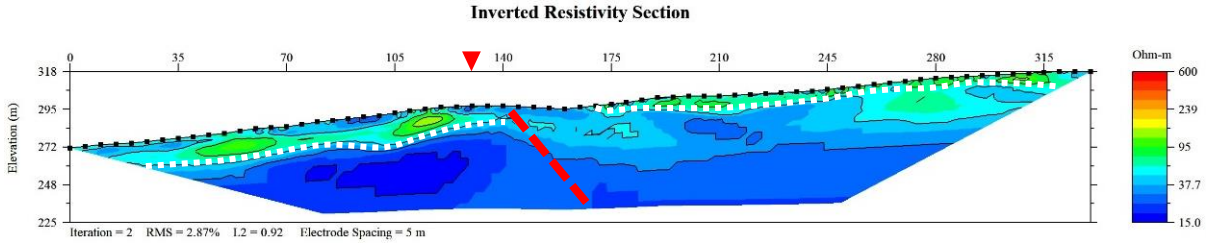


圖 3.2-6 18E-CKU-05 電阻率模型(紅色虛線為判釋之地球物理不連續面，白色點線為六重溪層與桂竹林層之分界，紅色三角形為地調所 100 年版本觸口斷層線跡通過位置)

3.2.2 淺層震測調查成果

觸口斷層為逆移斷層，其形貌可以分成南北兩段，北段呈南北走向，由嘉義縣竹崎鄉金獅村向南延伸至番路鄉觸口村；南段約呈北北東走向，由觸口村向南延伸至台南縣白河鎮關嶺里(吉田要，1931)；兩段長度合計約 28 公里。斷層北端在福建坪附近與大尖山斷層以水社寮斷層連接，斷層南端在關子嶺附近與崙後斷層連接。

(一) 淺層震測(18S-CKU-01)野外施測

使用雙震盪震源車，測線總長度為 1964 公尺，共施測 90 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 3 .2-7)。原本預計為 60 炸點，但因測線末端訊號不甚清楚，於測線末端追加 30 反炸炸點增加訊號強度。其詳細野外施測幾何參數列於表 3.2-2。

(二) 淺層震測(18S-CKU-01)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 1528m(圖 3.2-8)。由於順炸與反炸炸點並沒有重疊，在圖中 CDP 439 至 CDP 639 淺部可以看到資料缺失處形成的空白三角形，其下方之地層因此稍微變形。在移位前雙程走時剖面上(圖 3.2-9)，西側地層為水平層狀地層，從剖面原點 400 公尺後(CDP 239)，一直到 CDP 600 左右，層面變得稍微混亂且不太連續，推測為斷層擾動帶。東側斷層上盤可以清楚看到地層轉為高角度向東傾斜。

移位後深度剖面(圖 3.2-10)一樣可以看到剖面中段層面變得較為破碎，推測為斷層擾動帶。觸口斷層位態為高角度向東傾斜之層面，延伸到地表投影點位於斷層預定線西側約 250 公尺(圖 3.2-8 紅色箭頭處)。從前人資料比對(圖 3.2-11)可以發現其斷層擾動帶寬度與形貌都略為相似。

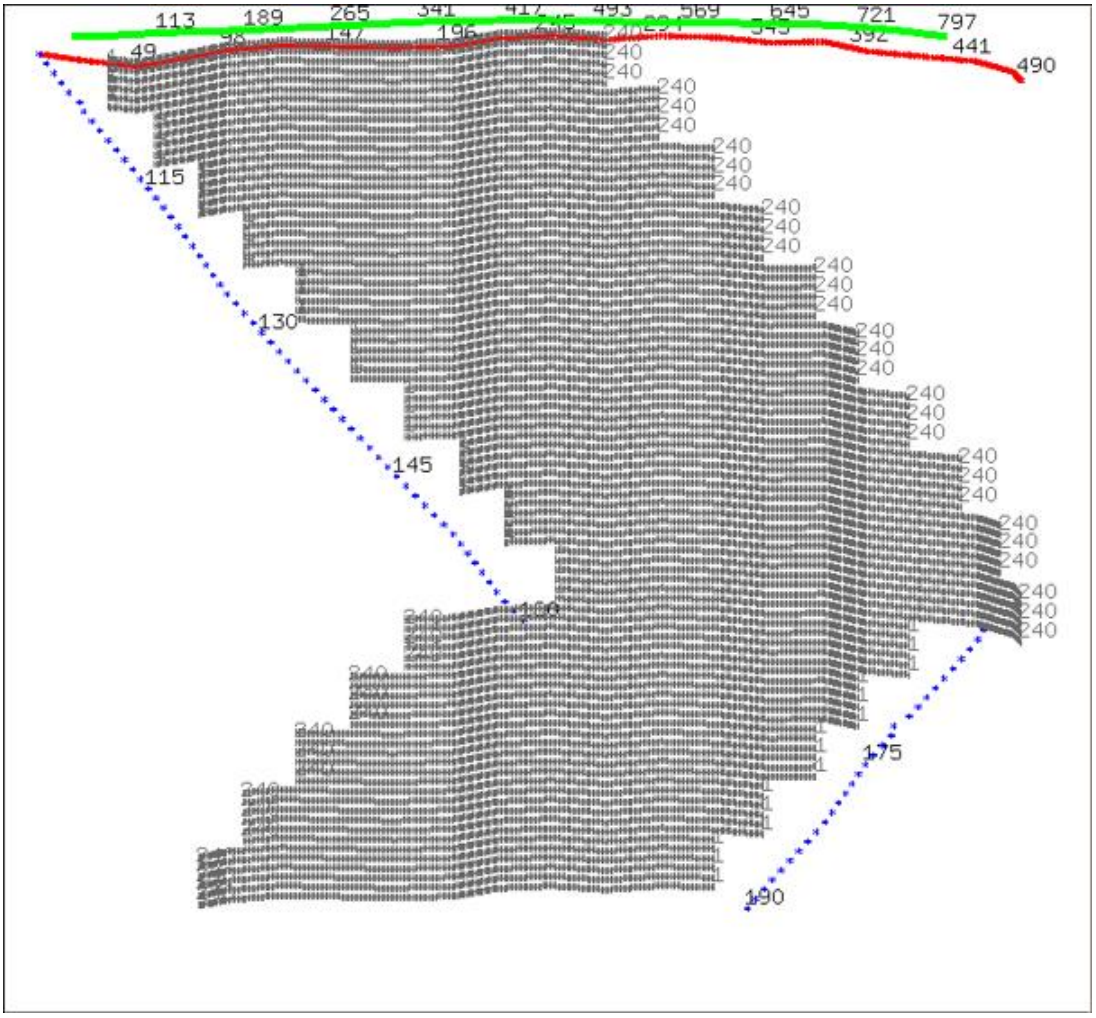


圖 3.2-7 觸口測線 (18S-CKU-01) 野外施測幾何

表 3.2-2 觸口測線 (18S-CKU-01) 施測幾何參數

測區：	嘉義縣觸口斷層	取樣率：	1ms
測線名稱：	18S-CKU-01	測站間距：	4m
測線方向：	由西向東	炸點間距：	16m
測站位置：	144m - 1964m	重合數：	30
炸點位置：	0m - 944m 順炸 1820m - 1356m 反炸	檔案編號：	101 – 160 順炸 161 – 190 反炸
剖面總長：	1528m	震源：	Mini Vib x 2
近支距：	144m	紀錄器：	筆電
遠支距：	1100m	頻道數：	240
紀錄長度：	3s	低切頻率：	35Hz

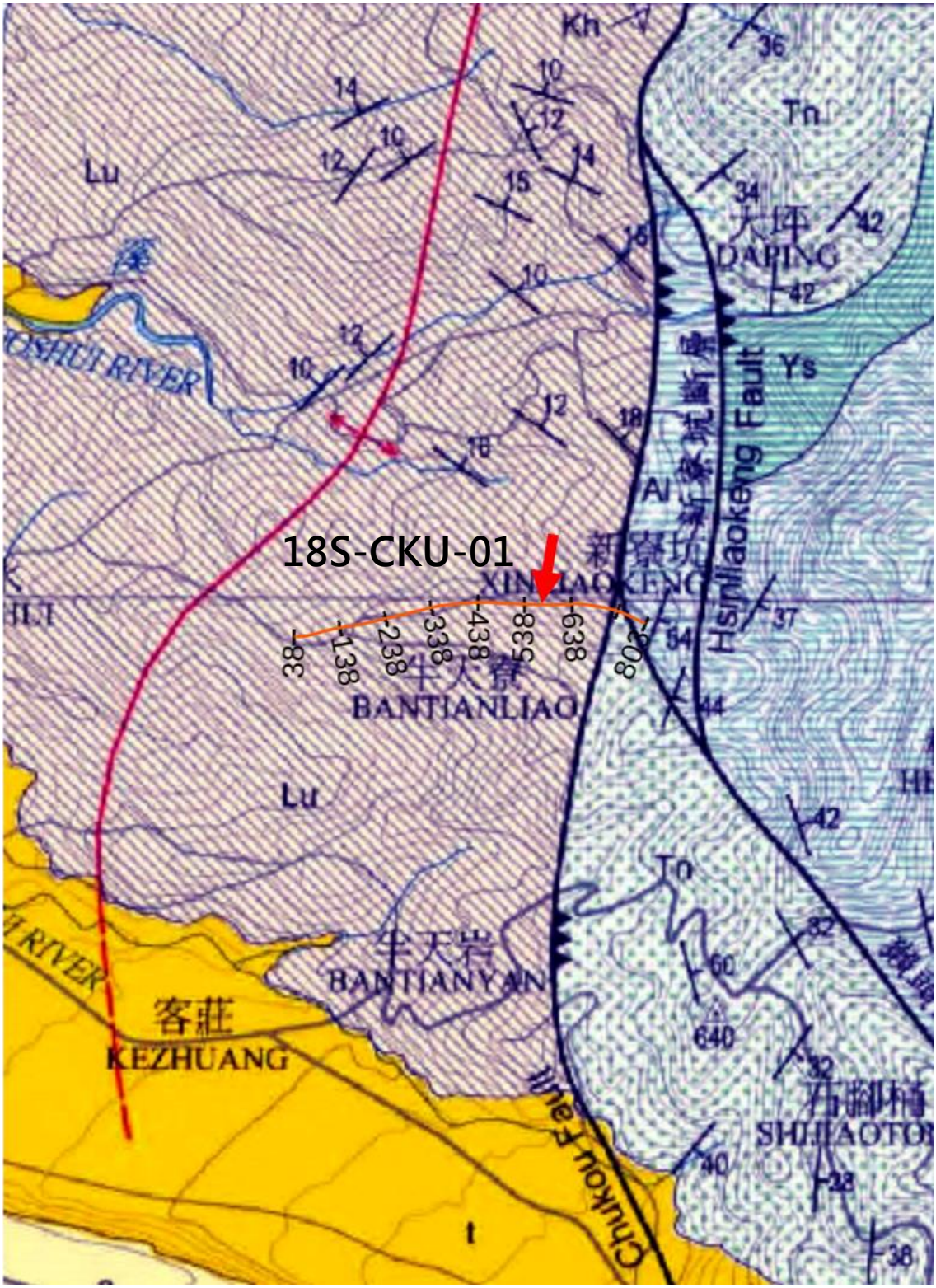


圖 3.2-8 觸口測線 (18S-CKU-01)剖面位置圖，本圖為五萬分之一中埔圖幅地質圖的局部放大圖，橘線為觸口測線 (18S-CKU-01) 的 CDP 線，紅色箭頭為剖面解釋之斷層投影點。

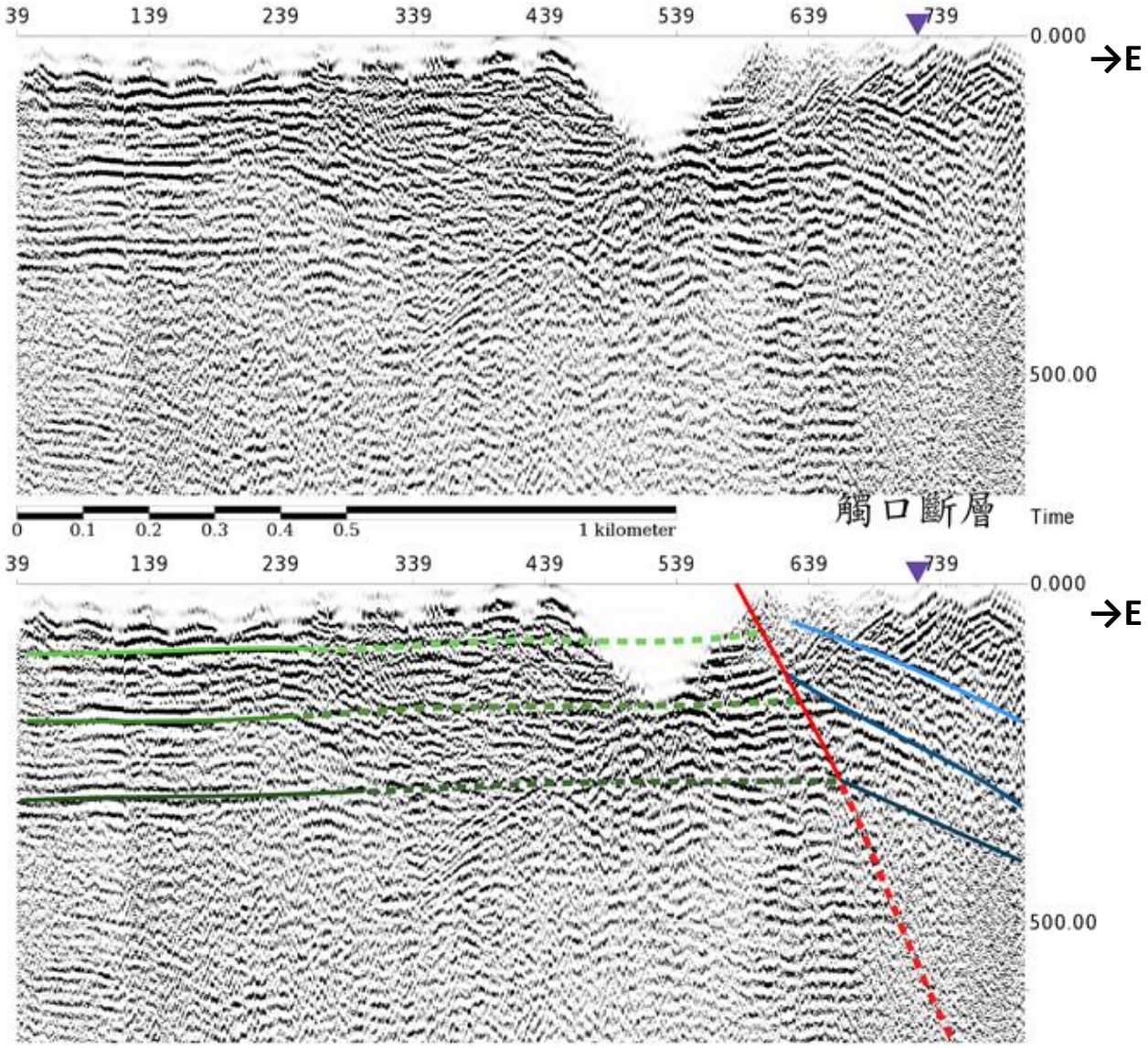


圖 3.2-9 觸口測線 (18S-CKU-01)移位前雙程走時剖面(上圖)與解釋(下圖)

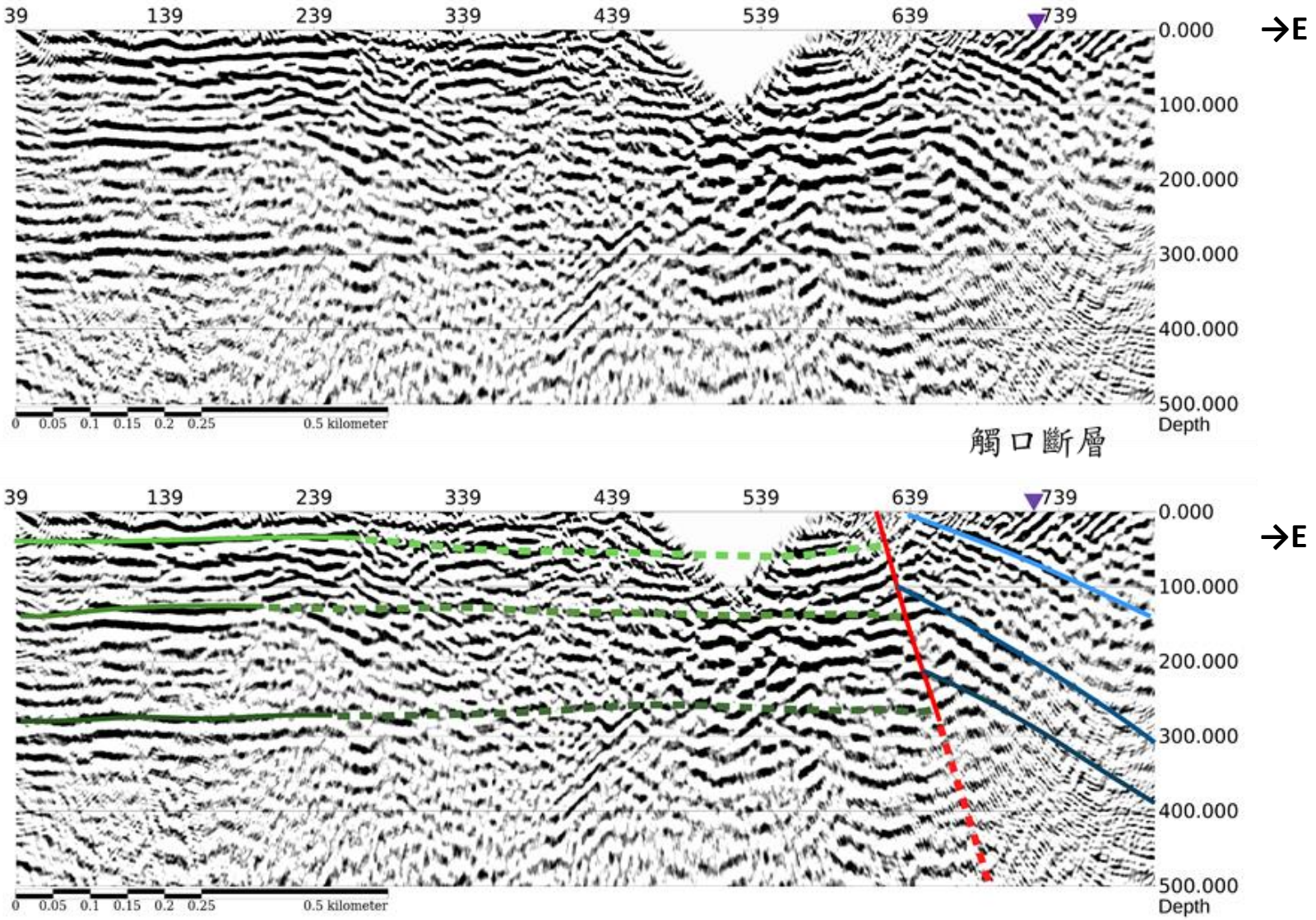


圖 3.2-10 觸口測線 (18S-CKU-01) 移位後深度剖面(上圖)與解釋(下圖)

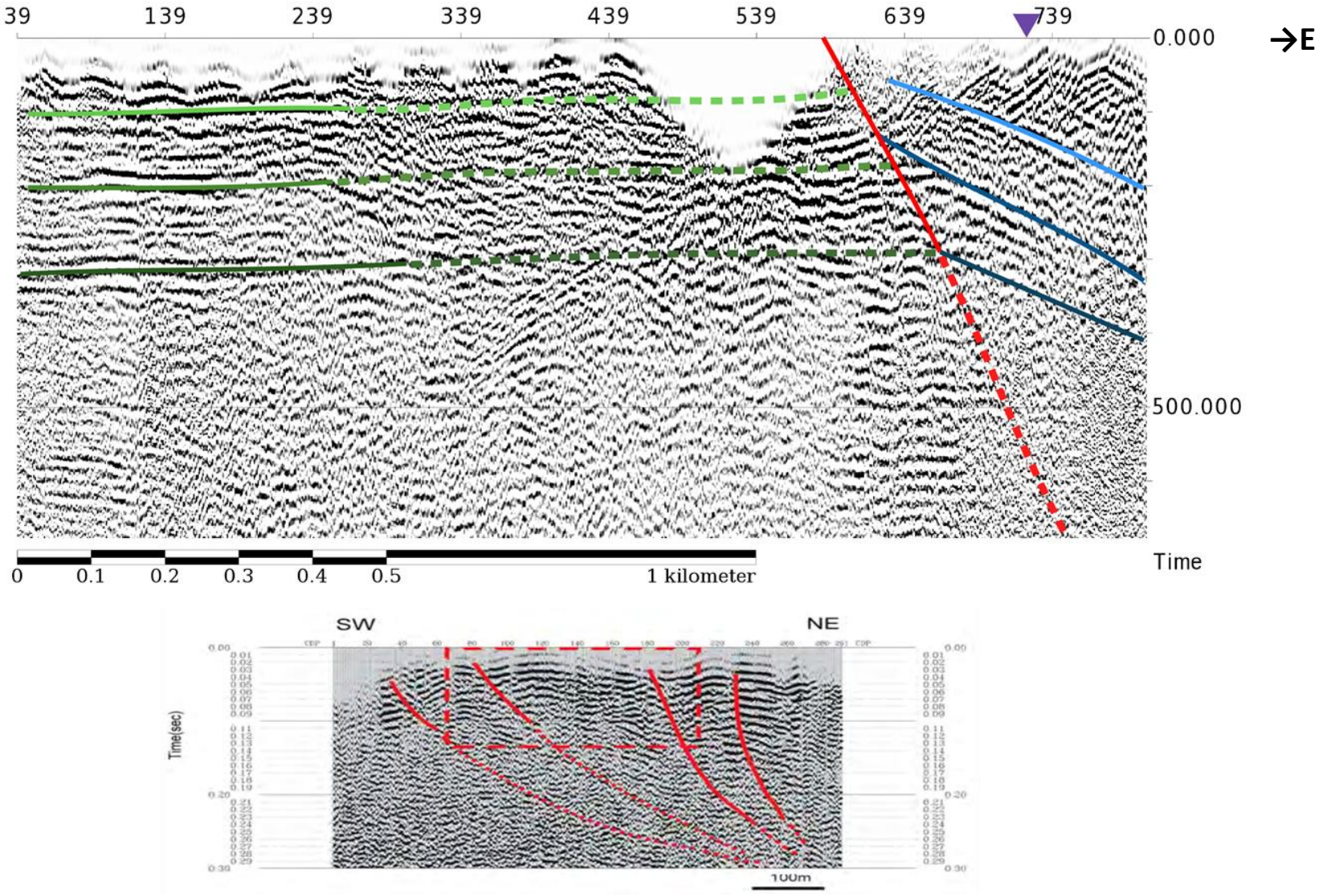


圖 3.2-11 觸口測線(18S-CKU-01) 移位前雙程走時剖面(上圖)與觸口舊測線(上圖)(石瑞銓等，2003)比較圖

3.3 觸口斷層測區施測結果之討論

本研究團隊在觸口斷層北段共施測 5 條地電阻測線，總長 1220 公尺。其中桂竹林層與六重溪層可以藉由電性的差異判斷，在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地層經斷層活動後之層位差異如測線 18E-CKU-05。但測線 18E-CKU-01 至 18E-CKU-04 剖面解析深度約地表下 50 公尺，我們似乎都無法看出有斷層經過的層位差異出現，推論斷層活動所造成的擾動應位於更深部的位置。淺層震測探勘部分於觸口斷層北段施測 1 條測線，總長 1964 公尺，其剖面可觀察到斷層活動之擾動帶，且與前人資料比對後擾動帶之寬度及形貌都略為相似。

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。初步估算本計畫觸口斷層之誤差值為 13 公尺。

第四章 恆春斷層

4.1 地質概述

恆春斷層位於屏東縣車城鄉海口向南延伸至恆春鎮南灣，長約 16 公里(詹新甫，1974)，屬於逆移斷層，呈北北西走向。由西向東主要地形包括恆春西台地、恆春谷地與中央山脈，附近的地形特徵顯示有一明顯的斷層崖(陳文山等，2005)。

恆春半島的地層劃分包括石門層、里龍山層、馬鞍山層、墾丁層、恆春石灰岩、四溝層、太平層、隆起生物礁、階地堆積層與沖積層(陳文山等，1985)。根據野外調查結果，海階崖由尖山延伸至車城東側，階面為隆起珊瑚礁與沖積扇堆積層，均不整合於石門層之上，崖面的西側沒有石門層出露，因此研判斷層位於海階與沖積扇的階地下側。中段區域斷層上盤出露墾丁層，上覆萬里桐石灰岩。在網紗溪溪谷出露鈣質砂岩(萬里桐石灰岩)岩層向西傾斜，而在其西緣此鈣質砂岩受到斷層作用，因此判斷恆春斷層可能在恆春谷地之中。南段區域，在恆春鎮東門東南方受擾動的石灰岩覆蓋於墾丁層之上，研判斷層的前緣已延伸至恆春谷地，斷層沿著屏鵝公路向南經南灣進入海域。

此外，陳文山等(2004a)由地層的對比結果研判，恆春西台地是在萬里桐石灰岩沉積後才開始傾動，估計恆春斷層的斷距約 200 公尺。西台地北部持續有較高的抬升速率，而東側恆春谷地則是屬於相對下降的構造環境，由恆春半島南方海域的反射震測結果(Reed et al., 1992)顯示，恆春半島向南延伸至巴士海峽形成一條凸起山脊，山脊西側有一系列向西逆衝的逆移斷層，研判此斷層造成恆春西台地的傾斜，以及恆春谷地的相對下陷。

關於地球物理探測方面，李奕亨(2001)在恆春半島跨越馬鞍山層的震測結果，深處泥岩與泥岩所夾岩塊的地層不易解析，研判恆春斷層由許多高角度傾斜的分支斷層所組成，斷層前緣約在屏鵝公路東側與地形崖之間。此外，另一條車城西南方的反射震測剖面(06P-HCN-CC01)指出有一向東傾斜的斷層(圖 4.1-1)在近地表處的斷層上盤還有岩層擾動現象，在測線距離 850 公尺處岩層變形十分明顯，由震測剖面顯示斷層在地表的延伸約在距離測線 460 公尺附近。

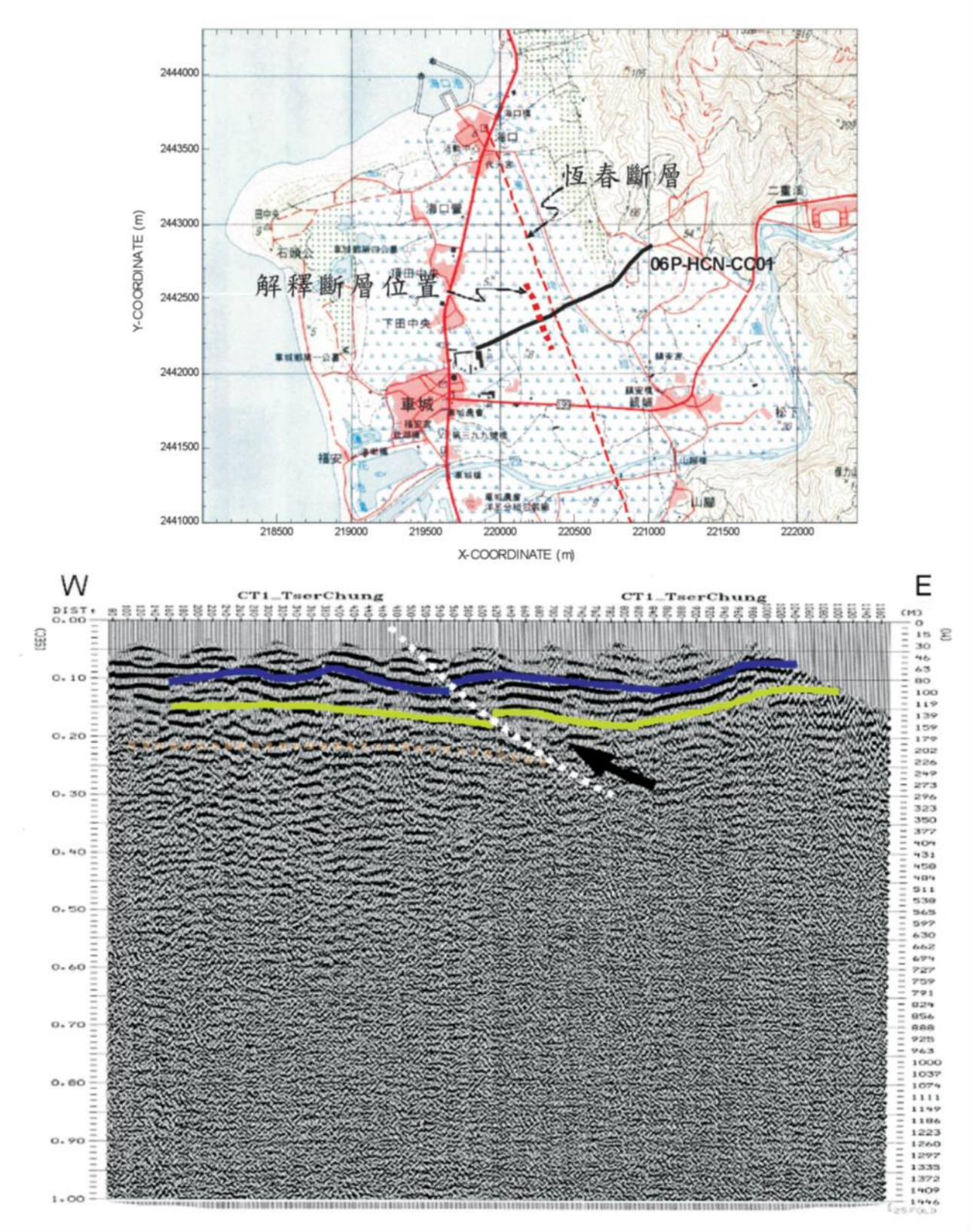


圖 4.1-1 恆春斷層地球物理探勘結果(董倫道等，2006)

4.2 恆春斷層調查工作

本研究團隊於恆春斷層測區共施測 4 條地電阻測線如圖 4.2-1，測線的選擇以橫跨斷層線跡為原則，並考量進行野外實驗時需遠離電塔、電線杆接地線以及置有鐵架、鐵欄杆等容易影響施測成果之場地進行佈線，故多選擇田地、果園或是道路邊進行施測。18E-HCN-01 施測於恆春斷層北段並靠近董倫道等，2006 所施測之震測測線，測線位置選於休耕之洋蔥田地並於測線 165-170 公尺處跨越道路，剖面解析深度約為 72 公尺，18E-HCN-02、18E-HCN-04 施測於恆春斷層南段之分支斷層，測線位置皆為空地，剖面解析深度分別約為 60 公尺及 66 公尺，18E-HCN-03 位於恆春斷層南段之主斷層，測線於 170 公尺前為農地，170-175 公尺處跨越道路並於 175 公尺後沿著道路進行佈線，剖面解析深度約為 79 公尺，各項野外施測參數如表 4.2-1。進行反演算計算時，初始設定將迭代次數設定為 10 次，在計算完成後選擇其誤差(RMS)趨近穩定時的那次迭代次數之結果作為反演算結果。在第一次反演算完成後，會利用 EarthImager data misfit histogram 功能將計算後結果與資料所計算出的相對誤差較大的資料剃除，再進行反演算，其效果為降低雜訊對資料品質的影響，地電阻剖面反演共同參數如表 4.2-1。

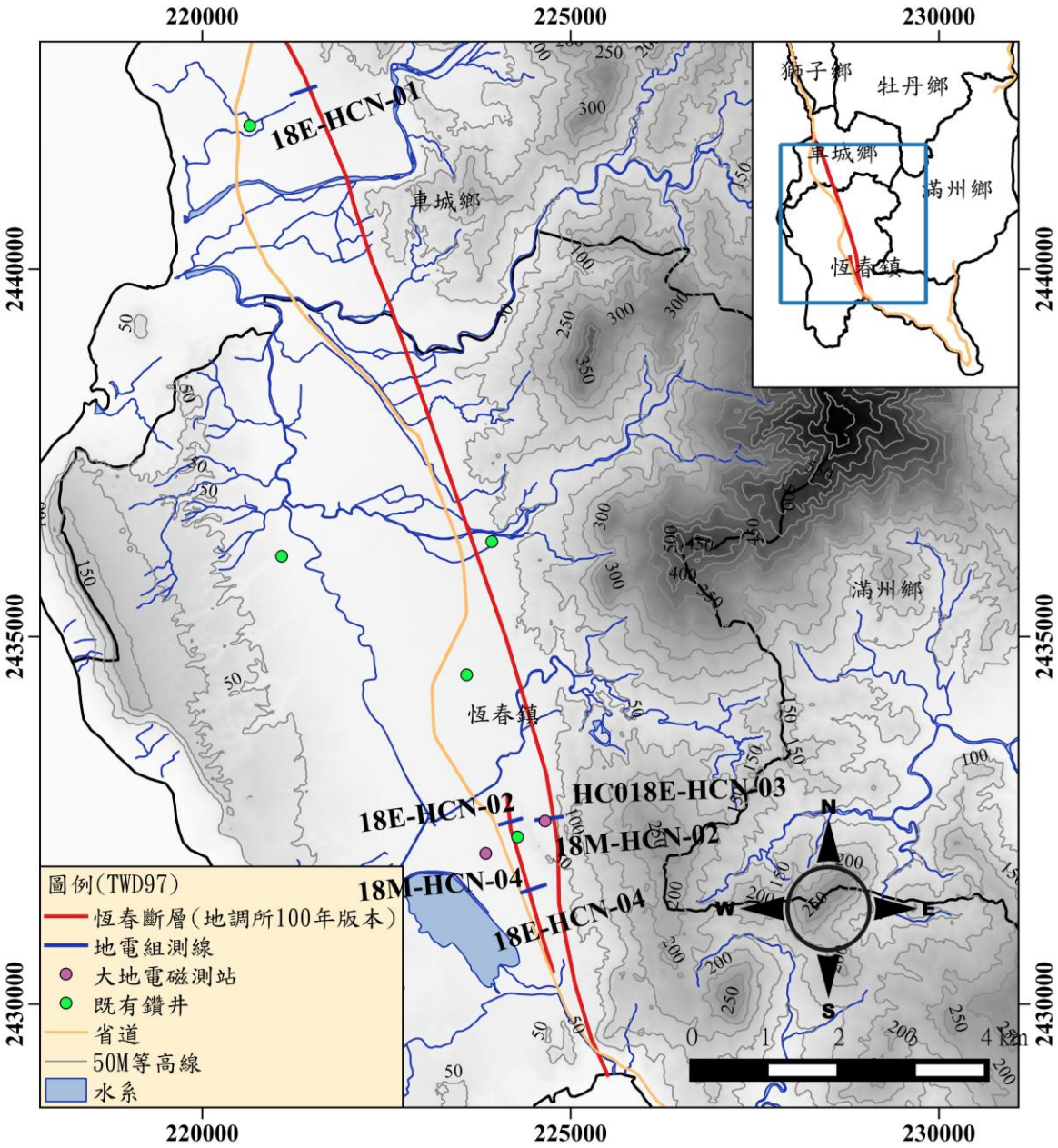


圖 4.2-1 恒春斷層測區地電阻測線分佈

表 4.2-1 恆春斷層測區地電阻野外施測參數表

測線施測共同參數 Current range:1~50mA, Measure mean limit:2%, Measure mode:RMT, Fequence:4.16, Voltage range:10~300mV						
剖面反演共同參數 Method: Robust Inversion, Starting model: Avg. AppRes, Smoothness factor & Damping factor: 10, Number of iteration10						
測線名稱	施測方向	反演方向	施測陣列(正、反向)	施測長度	電極數	電極間距
18E-HCN-01	W→E	W→E	Schlumberger、Wenner	360m	71 個	5m
18E-HCN-02	W→E	W→E	Schlumberger、Wenner	300m	61 個	5m
18E-HCN-03	W→E	W→E	Schlumberger、Wenner	395m	79 個	5m
18E-HCN-04	E→W	W→E	Schlumberger、Wenner	330m	67 個	5m

4.2.2 地電阻成果

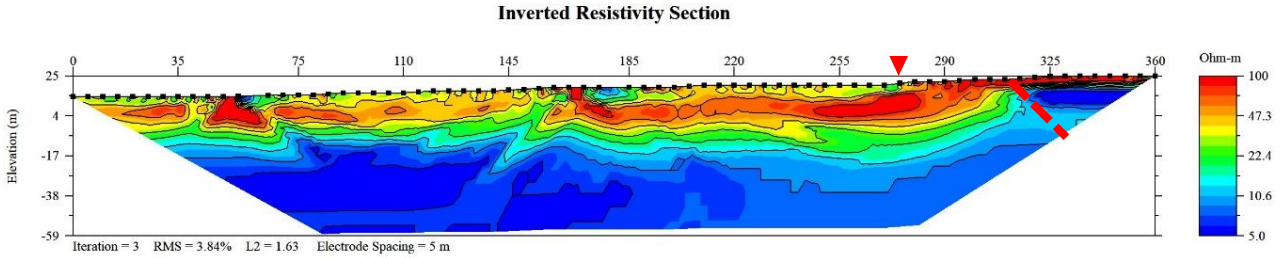


圖 4.2-2 18E-HCN-01 電阻率模型(紅色虛線為判視之地球物理不連續面，紅色三角形為地調所 100 年版本恆春斷層線跡通過位置)

18E-HCN-01(圖 4.2-2)位於恆春斷層的北段(圖 4.2-1)，全段皆由深度在 20 公尺左右的沖積層覆蓋，目前為許多洋蔥田等人為土地開發，在電性地層的反應則為高阻的電性地層，東側有一相對低阻的電性地層出露在測線約 310 公尺處，參考海口一號井岩芯紀錄比對，可以對比於地質圖上的階地堆積層(0~1 公尺)與墾丁層(11 公尺以下)，其中有一個明顯的電性地層上的差異，判斷可能為活動斷層的線跡。

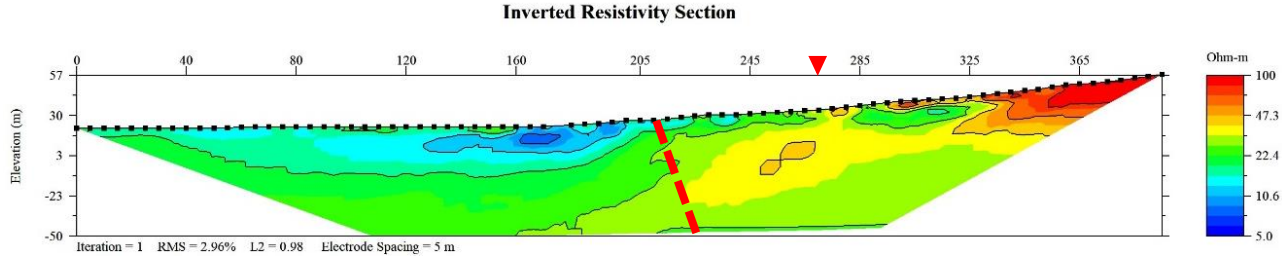


圖 4.2-3 18E-HCN-03 電阻率模型(紅色虛線為判視之地球物理不連續面，紅色三角形為地調所 100 年版本恆春斷層線跡通過位置)

18E-HCN-03(圖 4.2-3)位於恆春主斷層的南段，西側低電阻率的電性地層可以對比為沖積層，東側相對高阻的電性地層出露則可對比為馬鞍山層，其中明顯的電性地層上的差異，判斷可能為活動斷層的線跡。

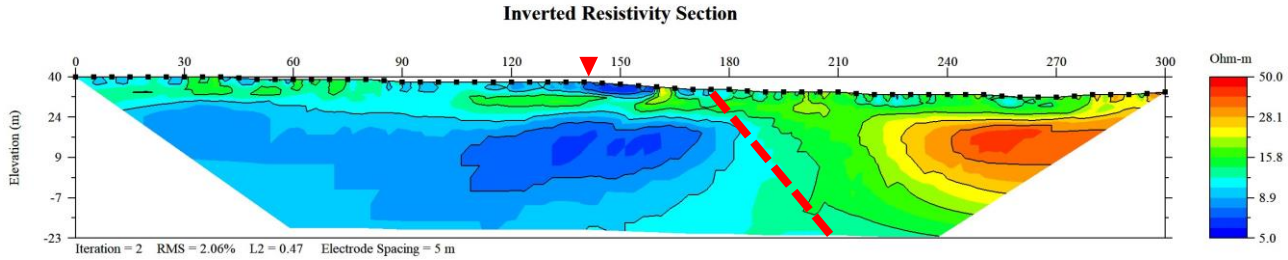


圖 4.2-4 18E-HCN-02 電阻率模型(紅色虛線為判視之地球物理不連續面，紅色三角形為地調所 100 年版本恆春斷層線跡通過位置)

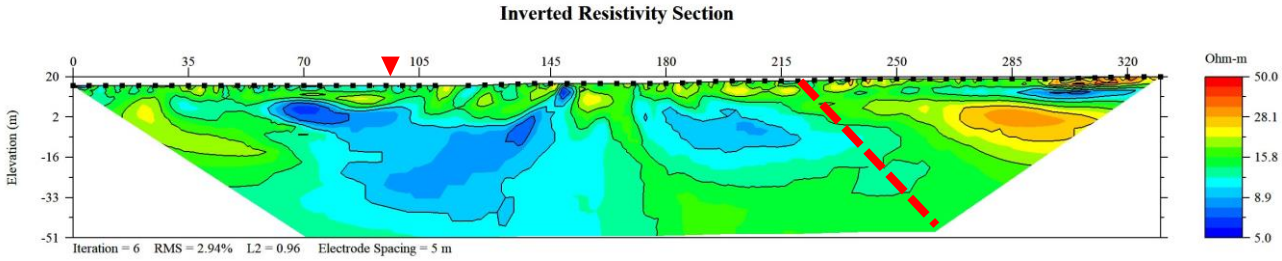


圖 4.2-5 18E-HCN-04 電阻率模型(紅色虛線為判視之地球物理不連續面，紅色三角形為地調所 100 年版本恆春斷層線跡通過位置)

18E-HCN-02(圖 4.2-4)、18E-HCN-04(圖 4.2-5)位於恆春分支斷層的南段(圖 4.2-1)，位置在龍鑾潭東側，參考鼻仔頭一號井岩芯紀錄比對，雖然此兩條測線在分佈上皆屬於沖積層(未膠結之砂與礫石或崩積物)的低阻電性地層，但仍可發現約在地表面下 5 公尺處，仍有相對高阻的電性地層覆蓋在低阻的電性地層之上，推測為東側的馬鞍山層逆衝至沖積層或墾丁層之上，而此電性不連續面則為恆春斷層的線跡。

4.3 大地電磁法成果

大地電磁測站位置如圖 4.2-1，兩測站分別位於恆春斷層南段西斷層之兩側，18M-HCN-02 由電阻率高低變化可將地層大致分成三層，第一層深度約為 0-36 公尺，電阻率為 40~47 歐姆米，粗判為砂、礫岩層。第二層深度為 36-243 公尺，電阻率為 36 歐姆米，粗判為礫岩層，推測為墾丁層。第三層深度為 243-384 公尺，電阻率為 13 歐姆米，粗判組成為泥質成分為主的岩層。18M-HCN-04 依據電阻率變化可將地層分為分為兩層，第一層深度約為 0-257 公尺，電阻率約為 0.75 歐姆米。第二層深度為 257-321 公尺，電阻率為 93 歐姆米，推測為砂、礫岩層。將其結果與陳柏村等人（2008）鼻頭子一號井地質剖面圖進行比對(圖 4.3-2)，發現 18M-HCN-02 深度約 36 公尺與 18M-HCN-04 深度約 257 公尺之電性變化似乎可與剖面圖之地層邊界作比對。

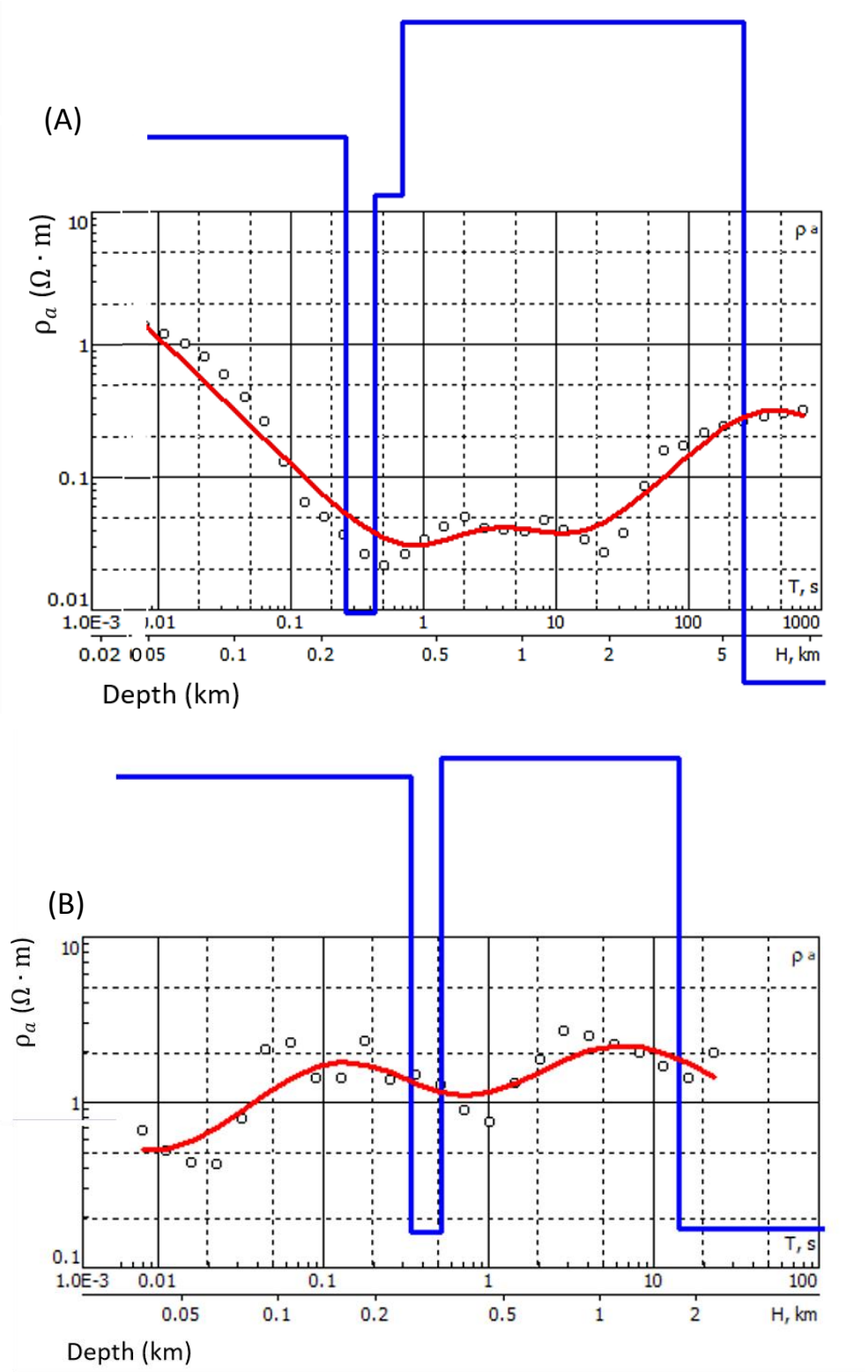


圖 4.3-1 (A)18M-HCN-02 測站、(B)18M-HCN-04 測站於 TM 方向變化之結果，黑色圓點為實際視電阻率隨時間改變變化，紅色實線為模擬線(fitting line)，為一維演算兩測站在電場和磁場方向改變結果，藍色實

線為演算結果。

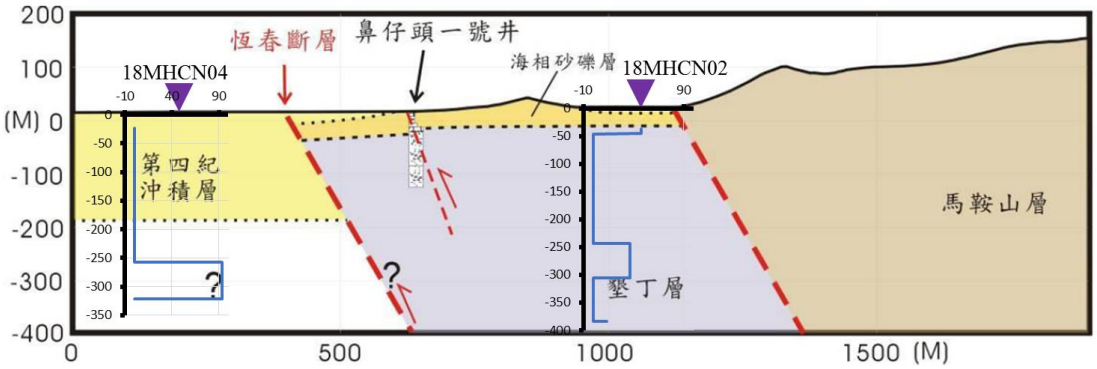


圖 4.3-2 鼻頭子一號井地質剖面圖(修改至陳柏村等人，2008)

4.4 恆春斷層測區施測結果之討論

本研究團隊在恆春斷層測區共施測 4 條測線，總長 1385 公尺。在恆春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，如 18E-HCN-01 的沖積層與階地堆積層，18E-HCN-02 至 18E-HCN-04 的沖積層與馬鞍山層，皆可判釋出明顯之地球物理不連續面，並可與地調所提供之恆春斷層線跡作比對。大地電磁法探測成果 18M-HCN-02 測站可依電阻率的變化劃分出三層地層，18M-HCN-02 測站可劃分出兩層地層，且與鼻仔頭一號井地質剖面圖比對後結果其地層分層略為相似。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。初步估算本計畫恆春斷層之誤差值為 100 公尺。

第五章 斷層長期滑移速率調查

5.1 前言

1935 年 4 月 21 日臺灣中部發生規模 7.1 地震，震央位於台中市北北東 30 公里(120°49‘E, 24°21’N)，在苗栗山區形成長約 12 公里地表破裂，稱獅潭斷層或稱紙湖地震斷層。另一地表破裂位於后里的屯子腳斷層。

獅潭斷層屬於逆衝斷層(朝東)，位在苗栗縣百壽與獅潭東側，南端由大東勢向北延伸上十股，呈北北東走向，長度約 12 公里。斷層位於關刀山砂岩底部，與南莊層頂面(上福基砂岩)。地形特徵為一系列具線形的河谷；上十股以北地區至峨嵋一帶仍有地裂現象(圖 5.2-1；大塚彌之助，1936；大江二郎，1936；顏滄波，1985)。

本調查主要針對獅潭斷層與東西走向河流交匯處的斷層跡，以及河流沖積層或山麓崩積層是否受到斷層的截切。

5.2 地質地形

獅潭斷層又稱紙湖地震斷層，屬於逆衝斷層，位於苗栗縣東側山區(台三線省道東側)，南端由大東勢向北延伸經小東勢、六份、上大窩、下大窩、北寮、三洽坑、馬麟社、紙寮下至上十股，呈北東 30 度走向，全長約 12 公里(圖 5.2-1)。

本區地質構造以緊密的褶皺構造型態為主，地層傾角多大於 60 度(乃至倒轉)，未呈現較大錯距的斷層，大多呈現褶皺軸部破裂形成錯距較小的斷層；如西側出磺坑背斜軸部的出磺坑斷層與祭山斷層，與獅潭向斜軸部的獅頭山斷層(圖 5.2-1)。獅潭斷層位在獅潭向斜東翼，獅潭向斜西翼地層朝東傾斜約 60-70 度，東翼地層傾角呈現倒轉現象，朝東傾斜約 80-86 度(苗栗圖幅)。由於地層傾角多大於 60 度，因此山脈走向亦與地層走向平行。獅潭斷層跡位在獅潭向斜東翼的晚中新世關刀山砂岩底部，或南莊層頂部(上福基砂岩)，地震斷層跡全長約 12 公里(大塚彌之助，1936；大江二郎，1936；顏滄波，1985)。獅潭斷層跡的地形呈現明顯線型構造，在關刀山砂岩與南莊層(上福基砂岩)介面呈現一與地層走向平行的凹谷地形，依據前人調查斷層跡位於凹谷的西側(圖 5.2-2)，顯示斷層面朝西傾斜約 60-80 度(潘國樑等，1983；顏滄波 1985；林玉儂等，2006)。斷層面與地層位態相似，呈現層間滑移構造，長約 12 公里的斷層跡都鄰近於關刀山砂岩底部與上福基砂岩頂部之間。大江二郎(1936)表示垂直變位 3 公尺，西側上升，顏

滄波(1985)認為獅潭斷層為逆斷層，向西傾斜 70 度，小東勢至三洽坑具明顯垂直落差，最大 3 公尺，平均 0.6 公尺。

本區域河流多呈現東西走向，大致與地層及獅潭斷層(紙湖地震斷層)走向垂直，斷層跡所處凹谷的小支流與主流匯流口，有幾處地點形成小型河階，如上大窩與北寮。這些河階都被獅潭斷層截切，因此之前報導的斷層露頭就位在此兩處地點(潘國樑等，1983；楊貴三，1986；林玉儂等，2006)；其它的斷層跡大多位在山麓沖積扇的環境，但都已經開墾成為農地或聚落，河岸兩側都築有河堤；包括前述兩處斷層露頭也都已被河堤覆蓋。

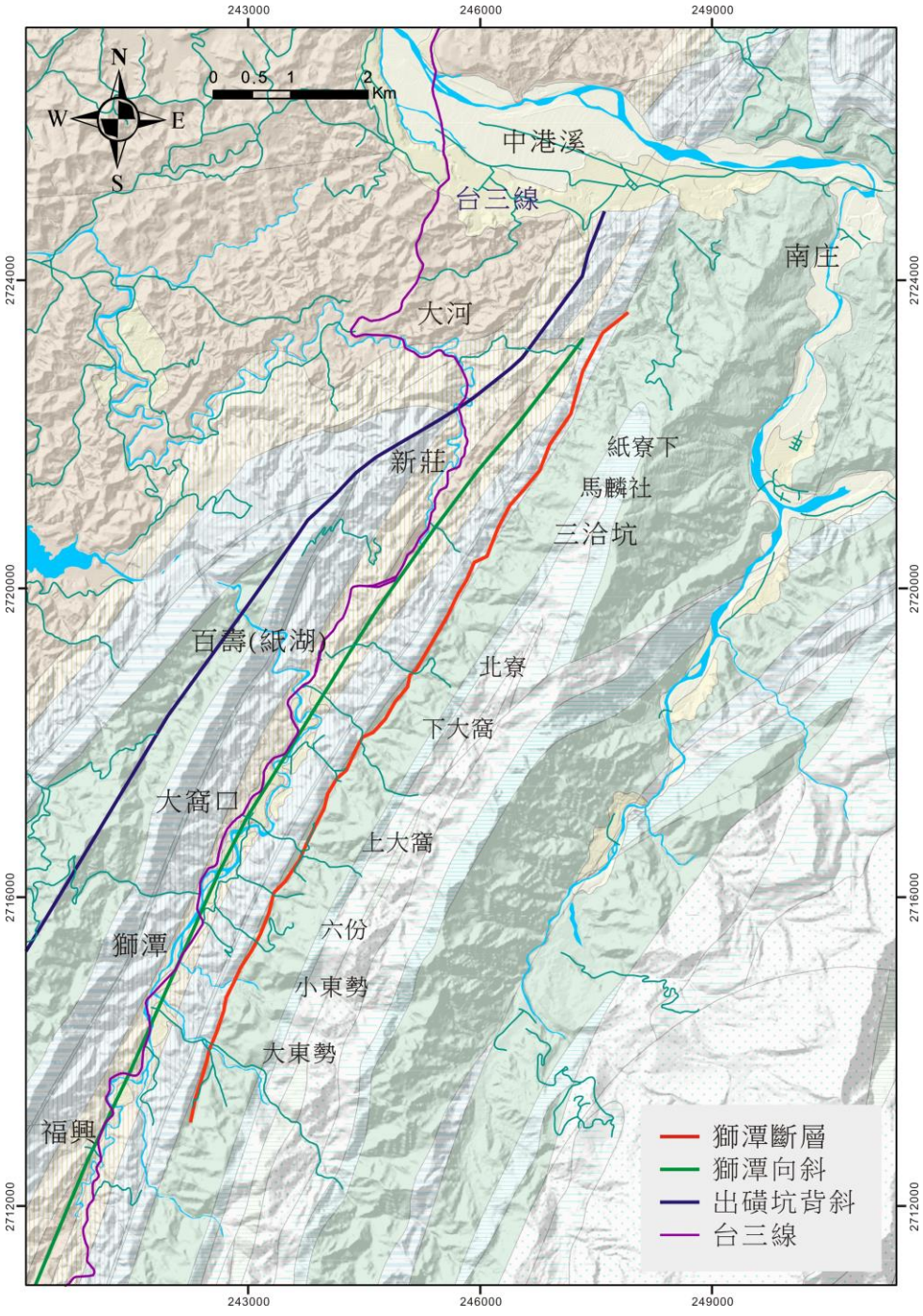


圖 5.2-1 獅潭斷層與鄰近地質。

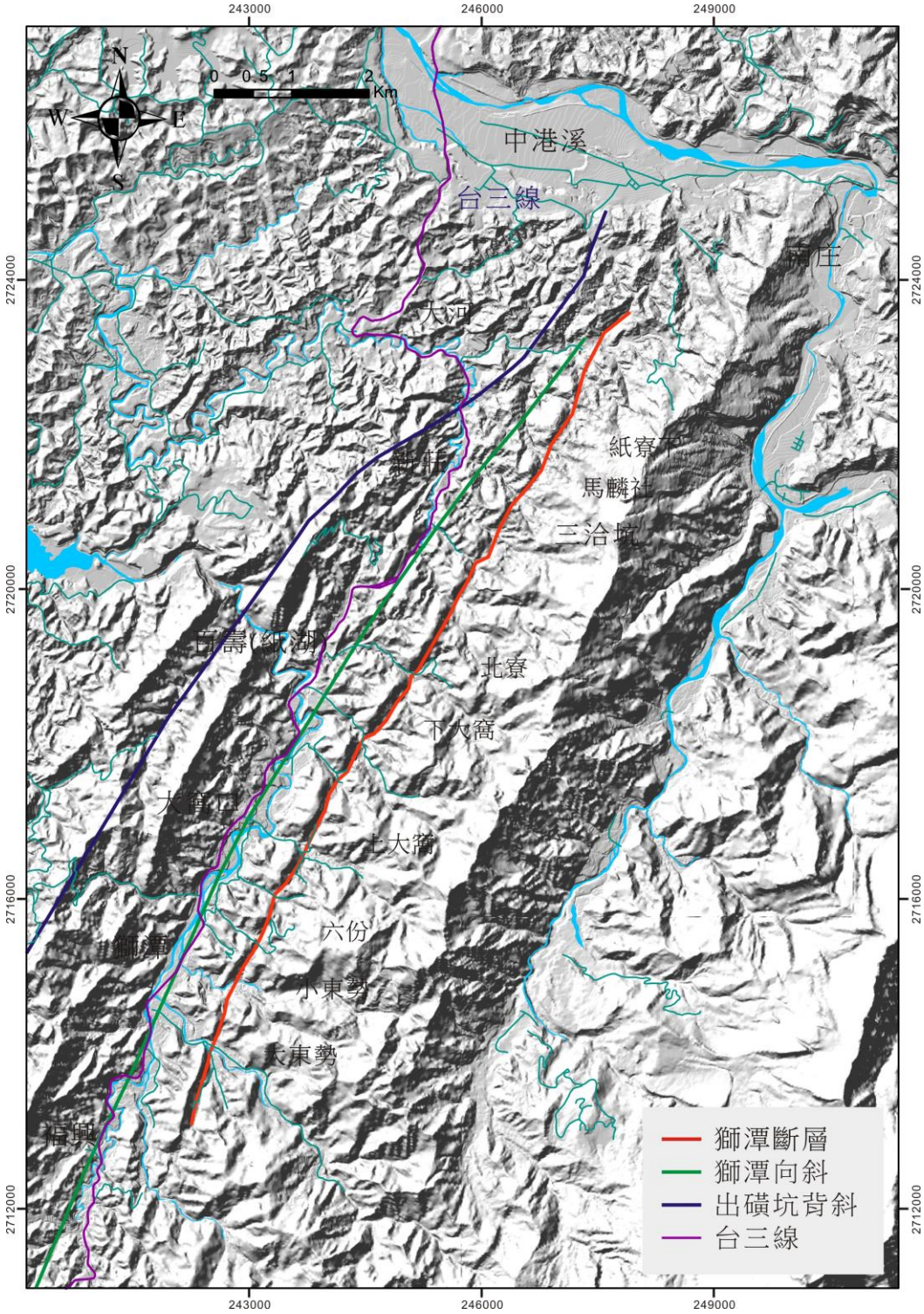


圖 5.2-2　獅潭斷層與鄰近地形。

5.3 斷層跡調查與長期滑移速率

本計畫的斷層跡調查由南往北，經由台三線道路(南北向，約略位於獅潭向斜軸部)朝東沿著東西走向支流，進入軸部東翼。本計畫調查地點共計有 16 處(圖 5.3-1)。

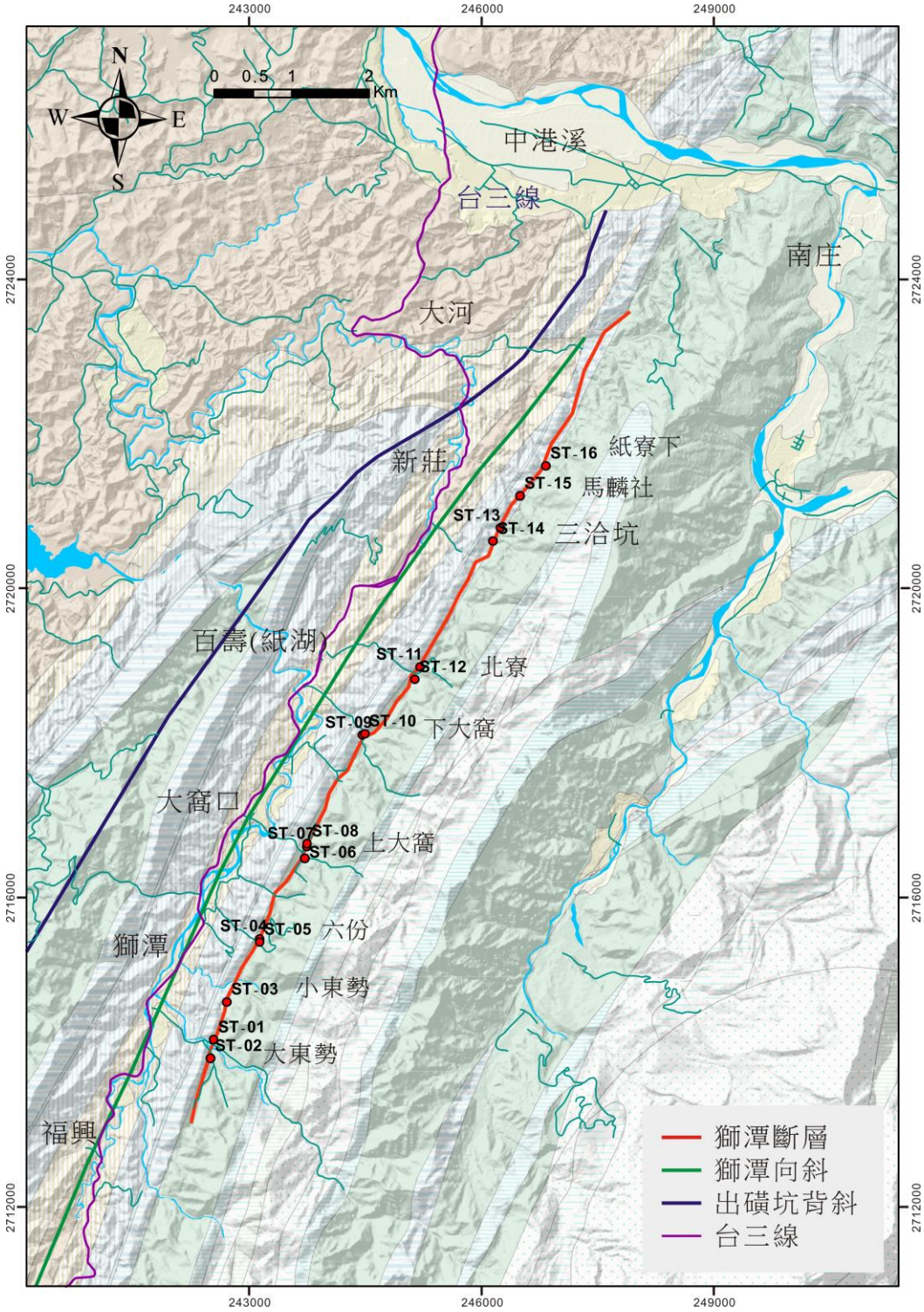


圖 5.3-1 調查地點(ST01-ST16)。

5.3.1 大東勢(ST01、ST02)

斷層跡南端位在大東勢南側，最南側的斷層跡出露於大東勢。斷層跡位於關刀山砂岩與南莊層(上福基砂岩)邊界與河流交匯處，呈現南北走向的凹谷地形(圖 5.3-2)。圖 5.3-2 右側崖坡下農地可能為斷層跡位置；依據大塚彌之助(1936)所繪的斷層跡位置，可能通過圖 5.3-3 的拍攝地點，此處為一河階。



圖 5.3-2 ST01 點朝南拍攝，箭頭右側(西)出露關刀山砂岩，左側為南莊層(上福基砂岩)，箭頭處為兩地層介面，可能為斷層跡位置。

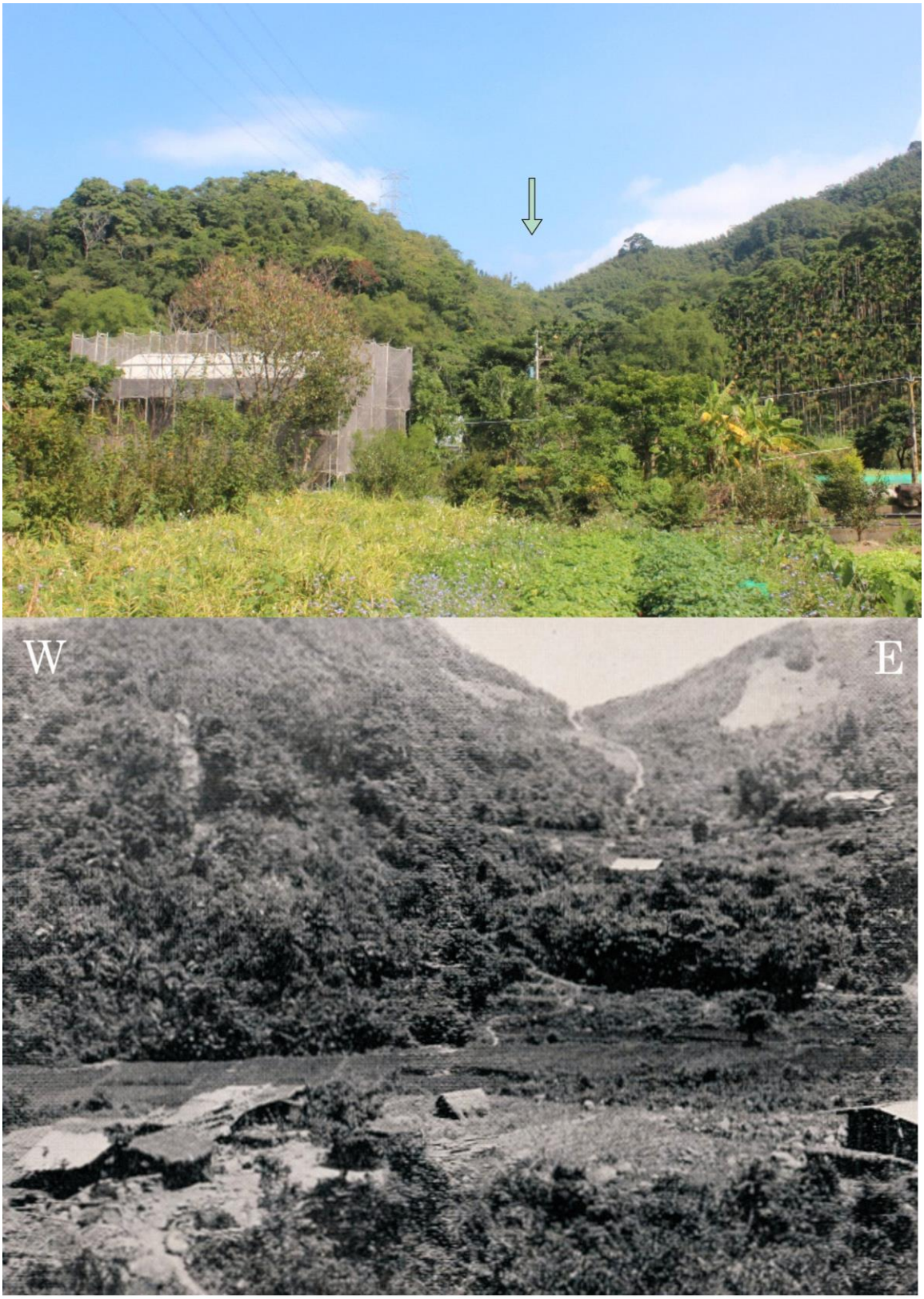


圖 5.3-3 ST02 點朝北拍攝，凹谷左側(西)為關刀山砂岩，右側為南莊層(上福基砂岩)，箭頭處為斷層跡位置。上圖為現今地形，下圖為東京帝國大學地震研究所(1936)攝，斷層跡通過凹谷左側。

5.3.2 小東勢(ST03)

小東勢出露的斷層跡亦在關刀山砂岩與南莊層(上福基砂岩)邊界，也呈現凹谷地形(圖 5.3-4、圖 5.3-5)，東京帝國大學地震研究所(1936)亦紀錄一斷層崖，西側為上升側(圖 5.3-6)。從圖 5.3-6 地形研判，農地西側與邊坡交會處可能是斷層跡位置；圖 5.3-6 位置已不可考。



圖 5.3-4 ST03 點朝北拍攝，斷層跡位於左側(西)崖坡下，可能位在左側道路。



圖 5.3-5 ST03 點朝南拍攝，斷層跡可能位於右側(西)崖坡下道路。



圖 5.3-6 朝西拍攝，地點為小東勢(東京帝國大學地震研究所，1936)。

5.3.3 六份(ST04、ST05)

六份的斷層跡亦在關刀山砂岩與南莊層(上福基砂岩)邊界，可能位在凹谷西側坡地與谷地交會處(圖 5.3-7、圖 5.3-8)。



圖 5.3-7 ST04 點朝北拍攝，斷層跡可能位於左側(西)崖坡下。



圖 5.3-8 ST05 點朝南拍攝，斷層跡可能位於右側(西)崖坡下。

5.3.4 上大窩(ST06、ST07、ST08)

上大窩河流兩側凹谷的地形(圖 5.3-9、圖 5.3-10)，斷層跡亦位在關刀山砂岩底部。潘國樑等(1983)調查，在上大窩河流北岸，發現一斷層露頭(圖 5.3-11 下圖)，斷層兩側皆屬於上福基砂岩，砂岩層之上堆積崩積層(？)，岩盤錯距 6.4 公尺高。河岸剖面上方，呈現一隆起土丘(圖 5.3-11 上圖)，土丘高度約 2.3 公尺，現今出露剖面呈現崩積層的結構。從岩盤垂直錯距以及土丘的高度來看，應至少兩次古地震事件(潘國樑等，1983)。



圖 5.3-9　ST06 點朝南拍攝，斷層跡可能位於道路左側河溝。



圖 5.3-10 ST07 點朝北拍攝，斷層跡位於凹谷。



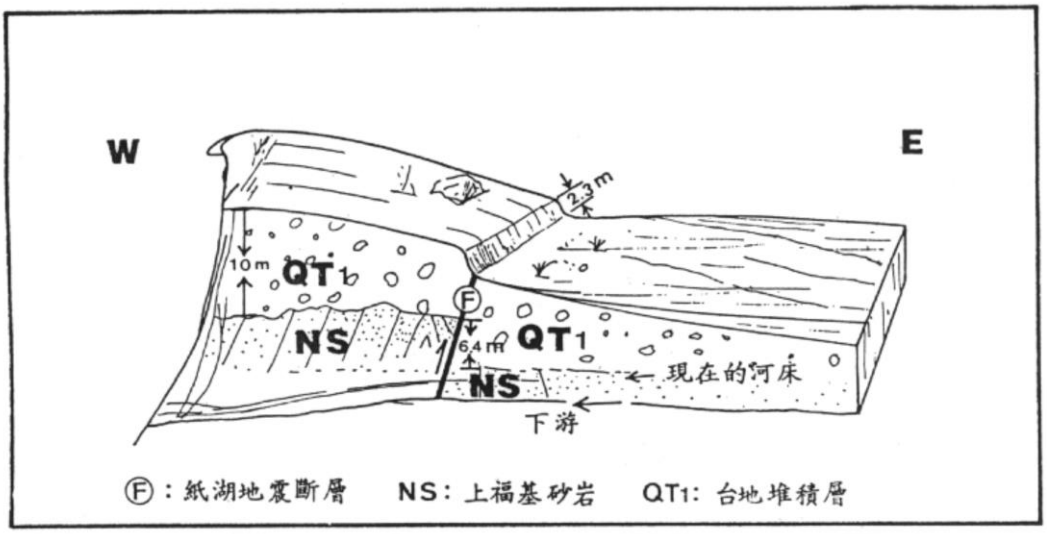


圖3-6 出露於上大窩附近之紙湖地震斷層露頭略圖（取自潘國樑等人，1983）

圖 5.3-11 ST08 點朝西拍攝，斷層跡位於小土丘東側與草莓園之間。下圖為潘國樑等(1983)於土丘左側下方河岸剖面繪製的斷層露頭剖面。

5.3.5 下大窩(ST09、ST010)

下大窩北側河谷為一較大的支流，斷層跡可能位於支流河道中(圖 5.3-12 上圖)，東京帝國大學地震研究所(1936)拍攝的照片可能位在支流上游的西側(左)山坡(圖 5.3-12 下圖)。



圖 5.3-12 上圖朝北拍攝，下圖為東京帝國大學地震研究所(1936)拍攝。

5.3.6 北寮(ST11、ST12)

北寮在斷層跡與河流交匯處，呈現寬廣的河階地形，斷層截切河階，但此階地在 2004 年經整地之後，地形已經改變。但此處在主流與支流交匯處的主流河岸剖面，出露斷層露頭(圖 5.3-13 右圖 A 處)。林玉儂等(2006)詳細記錄此露頭的產狀，斷層呈北北東走向，斷層面朝西 80 度傾斜，東側下盤堆積河流礫石層，上盤為砂岩岩盤，兩側岩盤高差至少 6 公尺，認為至少兩次古地震事件(圖 5.3-13 左圖)。

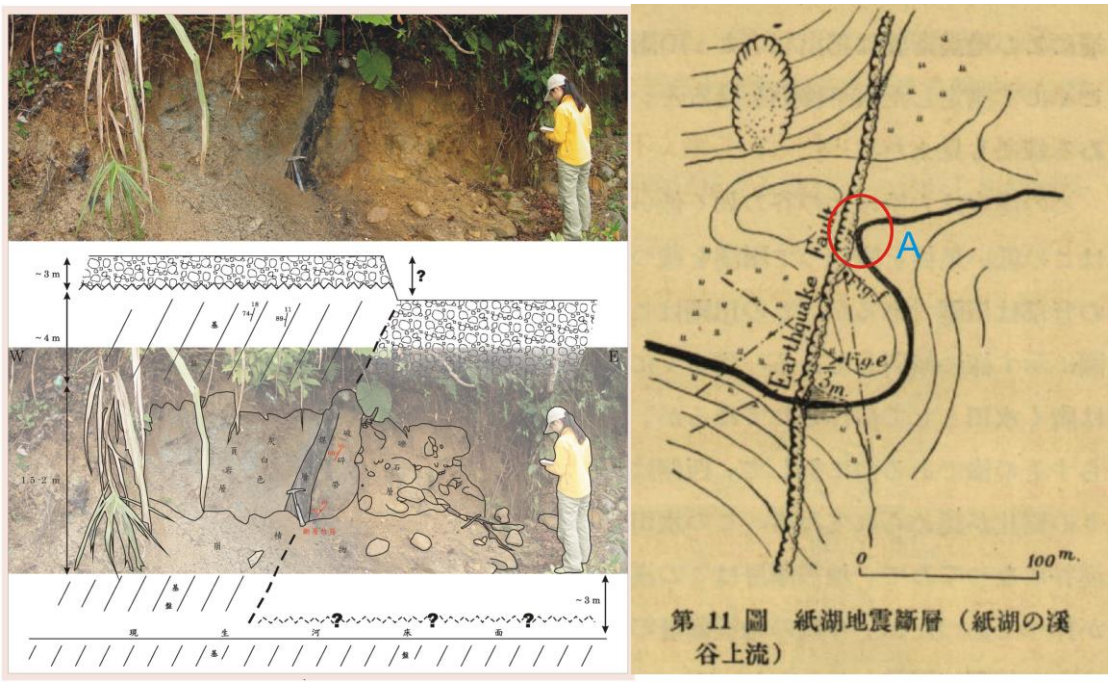


圖 5.3-13 河岸剖面，右圖(大塚彌之助，1936)A 處為斷層露頭出露地點。左圖為林玉儂等(2006)描繪的斷層剖面圖。

5.3.7 馬麟社(ST15)

此河流的河谷較為狹窄，植被茂密，支流不明顯，但可見到凹谷地形(圖 5.3-14)。



圖 5.3-14 朝北拍攝，馬麟社。

5.4 結論

本計畫初與地調所商討結果針對左鎮斷層進行調查，但經野外勘查結果，並無適當的斷層場址可供古地震槽溝挖掘，或有階地經斷層錯斷現象。因此，再商討改為獅潭斷層的長期活動性調查。

本計畫針對獅潭斷層(紙湖地震斷層)長期滑移速率進行研究，經由野外調查結果，前人發現的斷層剖面(本人於 2004 年進行此斷層之調查，上大窩與北寮斷層剖面曾進行觀察)，現今都已被河堤覆蓋。其它可能斷層跡通過地點，大都位於邊坡被崩積層覆蓋；從 1935 年照片記錄亦可發現斷層跡大都位在由關刀山砂岩構成山脊東側邊坡上。因此在槽溝挖掘上有所困難，邊坡崩積層通常堆積巨大岩塊，且若有破裂帶也不易認定。因此，本計畫針對獅潭斷層(紙湖地震斷層)長期滑移速率研究，因沒有適合地點可供古地震槽溝挖掘，而無法估算長期滑移速率。

第六章 池上斷層大坡國小場址之地變監測

池上斷層

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊交接處，花東縱谷更是屬於兩個板塊的交界上，根據 GPS 觀測結果，兩板塊的相對水平位移，每年約為 8.2 公分(見圖 6.1-1)，其中花東縱谷兩側每年即吸收了 3 到 4 公分的水平位移量(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，為世界知名的潛移斷層(creeping fault)，其地表潛移的行為，亦可從 GPS 速度場的梯度在跨池上斷層的急促變化知曉(圖 6.1-2)。根據地調所的活動斷層調查報告描述，池上斷層為北北東走向，斷層露頭僅一處被發現，位在富里鄉富池橋旁(位置見圖 6.1-1)，西側為利吉層的泥岩層與東側則為第四紀礫石，以斷層關係相接觸(陳文山，1993)，斷層傾角為向東傾斜 60 度(游明聖等，1994)。陳文山等(2008)所執行的地調所計畫，於萬安地區，進行三口取岩芯的井，集中兩口鑽穿池上斷層主斷層面，推算所得的斷層傾角約為 65 度向東傾。此外，法國與台灣學者進行的地表變形的長期觀測(Angelier et al., 2000；Lee et al., 2003)，發現池上斷層具有長期的逆斷層滑移現象，且地表潛移現象與季節可能相關，在乾季時(十月至二月)斷層潛移幾乎停止，而到了雨季時則觀測到了明顯的地表潛移。

大坡國小

池上斷層中段的地表破裂帶(見圖 6.1-1)，以往被認為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(Lee et al., 2003)。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; 張中白等，2003)，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。

為了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，包括兩條地表地電阻測勘、四口井孔的岩心鑽取及測斜儀(inclinometer)的設置，本年度另增加三孔的岩心鑽取，地調所的活動斷層補充鑽井計畫的兩口，及科技部經費贊助的一口，各別的位置如圖 6.1-3 上所標示。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。彙整的岩心照片參見圖 6.1-4，三口 30 米岩心的鑽孔，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，其上皆覆蓋黃棕色安山岩質為主的礫石崩積層，井 4 及井 1 除此無其他岩性。井 6 則有利吉層的含礫泥岩應上覆於崩積層之上。井 7 為裝設測傾儀而鑽，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 皆出現兩處利吉層上覆於崩積層的接觸關係，其高程分別在兩口井中約相當，若為斷層接觸，則傾角近乎水平。本年度的三口井孔的位置更為東邊，由西往東分別為井 7B、井 8 及井 7A，其中井 8 與井 7A 中利吉層的含礫泥岩掩覆在變質砂岩質礫石層之上以斷層相接觸，由這兩口井的水平距離及井中斷層出現的高程，推算斷層傾角約 78 度。

10 米長的定置式測傾儀(In Place Inclinometer, IPI)架設於井 7 的工程，已於西元 2016 年四月底完成，需經一段時間確保回填的穩定，監測時間長達兩年多。於西元 2018 年 10 月底移置於井 8，目前仍在回填的穩定期。測傾儀的變位紀錄資料以 5 分鐘更新一筆，於井 7 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，兩個感應器(senors)，分別測量南北向及東西向的水平變位量。從西元 2016 年七月到 2018 年六月的兩年資料，以一年為基準，以月累積變位量，呈現於圖 6.1-4。往北的變位分量明顯較往西的分量顯著，往北約每年 18.0 公厘左右，往西第一年約 5 公厘，第二年有很大的變異，除變位量變小外，亦有反向的情形發生，初步研判此反向變位的發生，可能與連續降水及地震的觸發有關。利用這兩整年的變位資料，可以研判出至少有三段活動剪動帶(圖 6.1-5)，分別為-13.5~-13.0 米、-12.5~-12.0 米及-8.5~-8.0 米，其中較淺的兩段，亦可在岩心中找到相對應的可能剪切帶，然而剪切面的傾角僅 3~4 度，見圖 6.1-6。

綜合以上，池上斷層於台東縣大坡國小的地表淺部位置，是乎與以往認定的位置約有 50 至 60 公尺的差異(圖 6.1-7)，並不在國小校區東側隆升的山丘山腳處。同時該區的地表潛變變形，似乎以重力地滑為主，至於是否亦有斷層作用的貢獻及貢獻量為何，或許未來可以藉由井 8 中的測傾儀的監測資料得到答案。

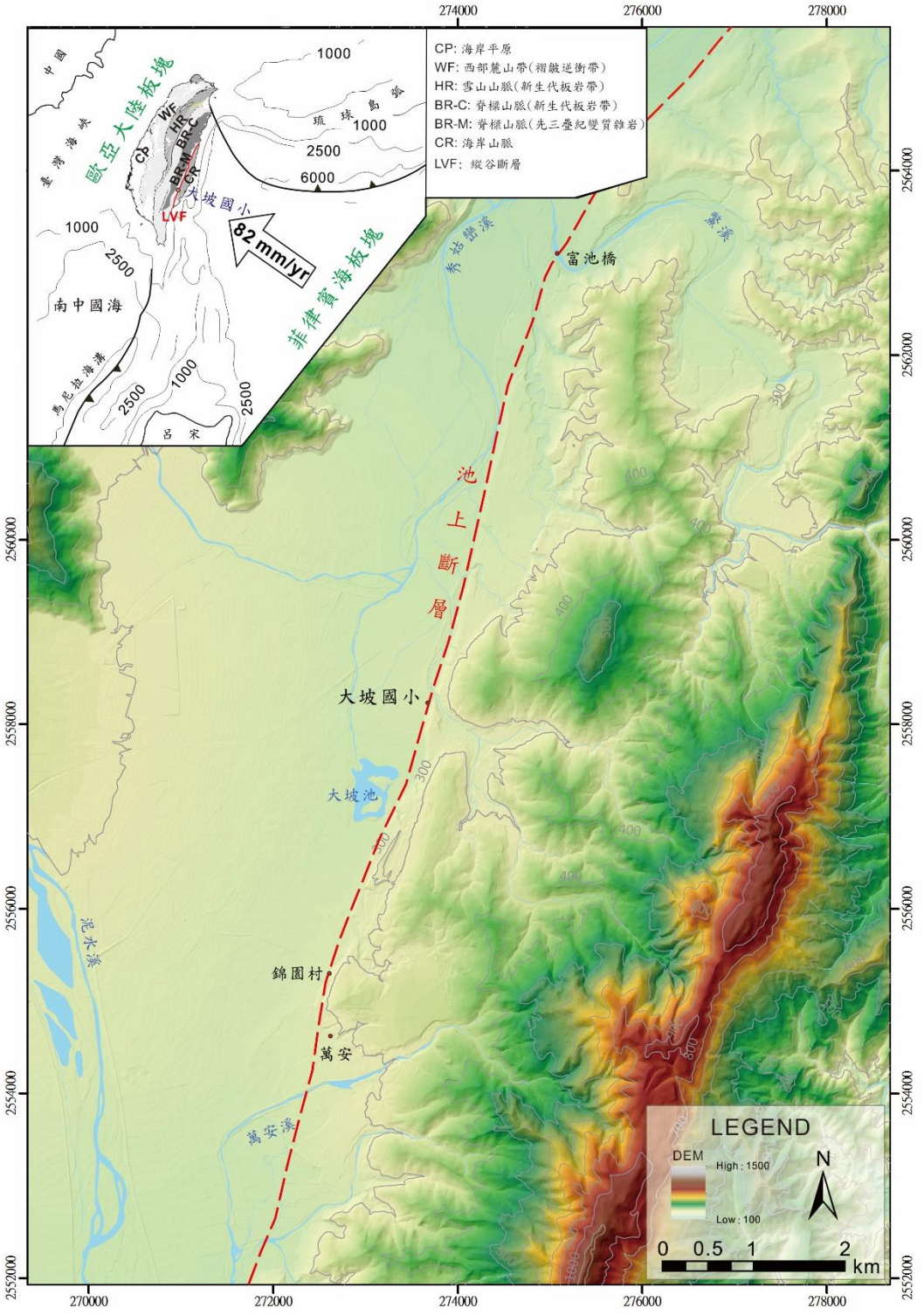


圖 6.1-1 池上斷層於大坡國小鄰近處的位置及周遭的地形地貌。左上角的插圖為台灣島周遭的大地構造，LVF 為縱谷斷層，池上斷層亦即為縱谷斷層的部分。

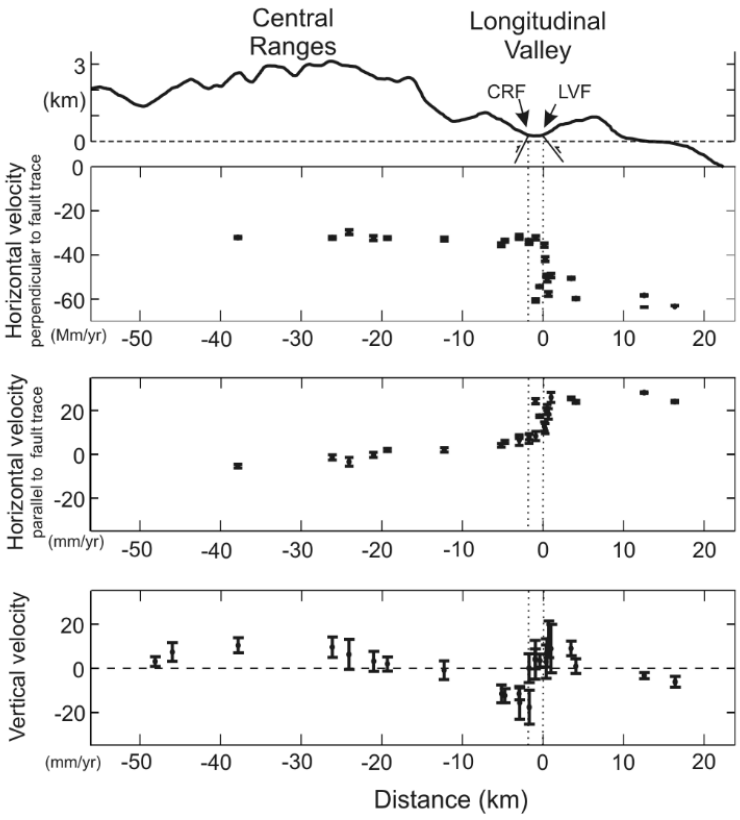


圖 6.1-2 跨花東縱谷的 GPS 速度場。採用之資料(Yu and Kuo, 2001)的南北範圍約略與池上斷層相當。LVF 為縱谷斷層，池上斷層亦即為縱谷斷層的部分；CRF 為中央山脈斷層。(圖摘錄自 Huang et al., 2010)

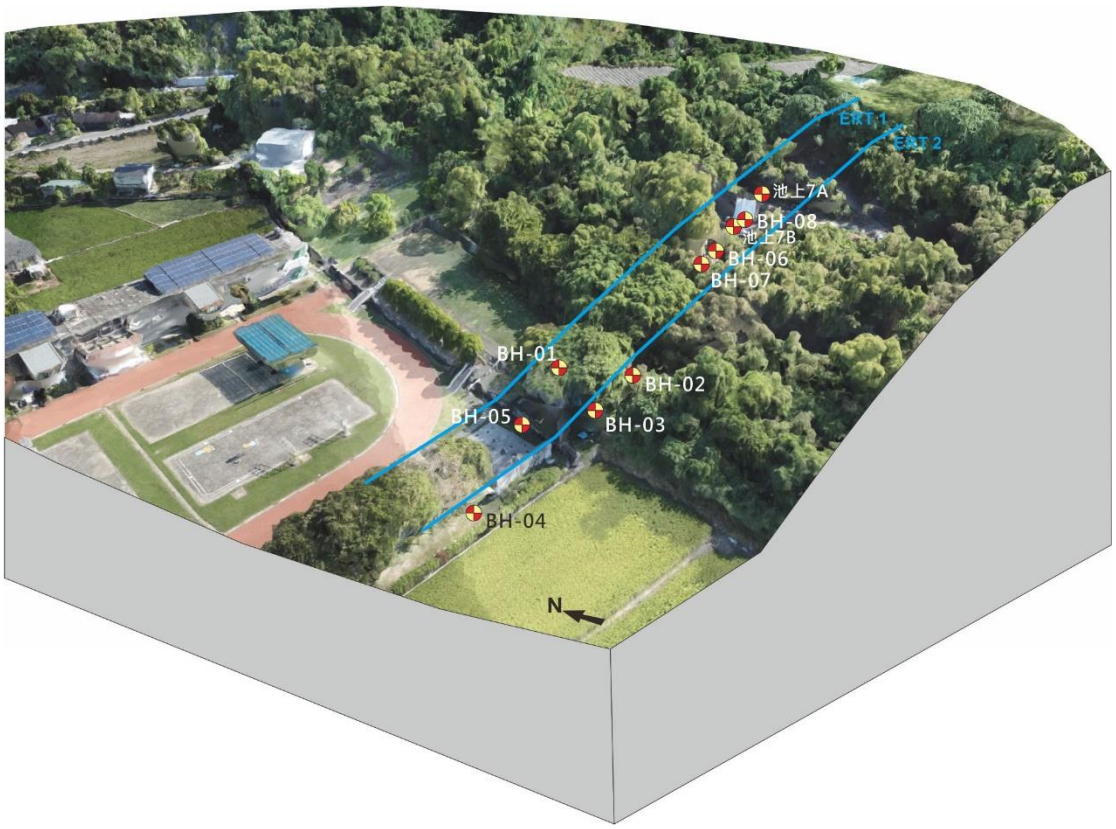


圖 6.1-3 大坡國小場址的井位及地面地電阻測勘線的位置圖。底圖為無人載具所拍攝的空照圖，標示有 ERT 的線段為地面地電阻測勘線的位置。

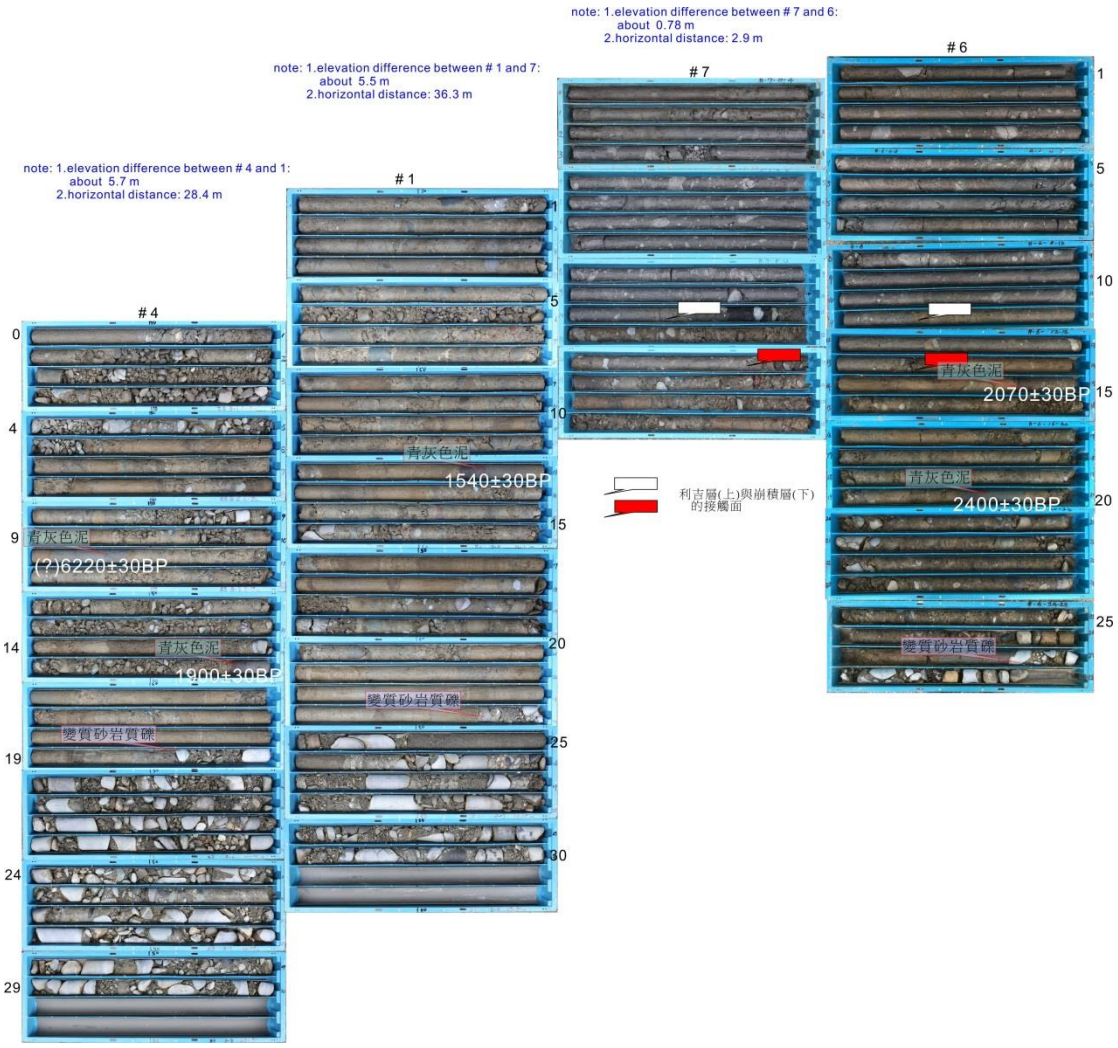


圖 6.1-4 岩心照片彙整。依各井孔的相對位置及高程併置，以利判讀。緊鄰青灰色泥的數字為其碳十四定年的結果。

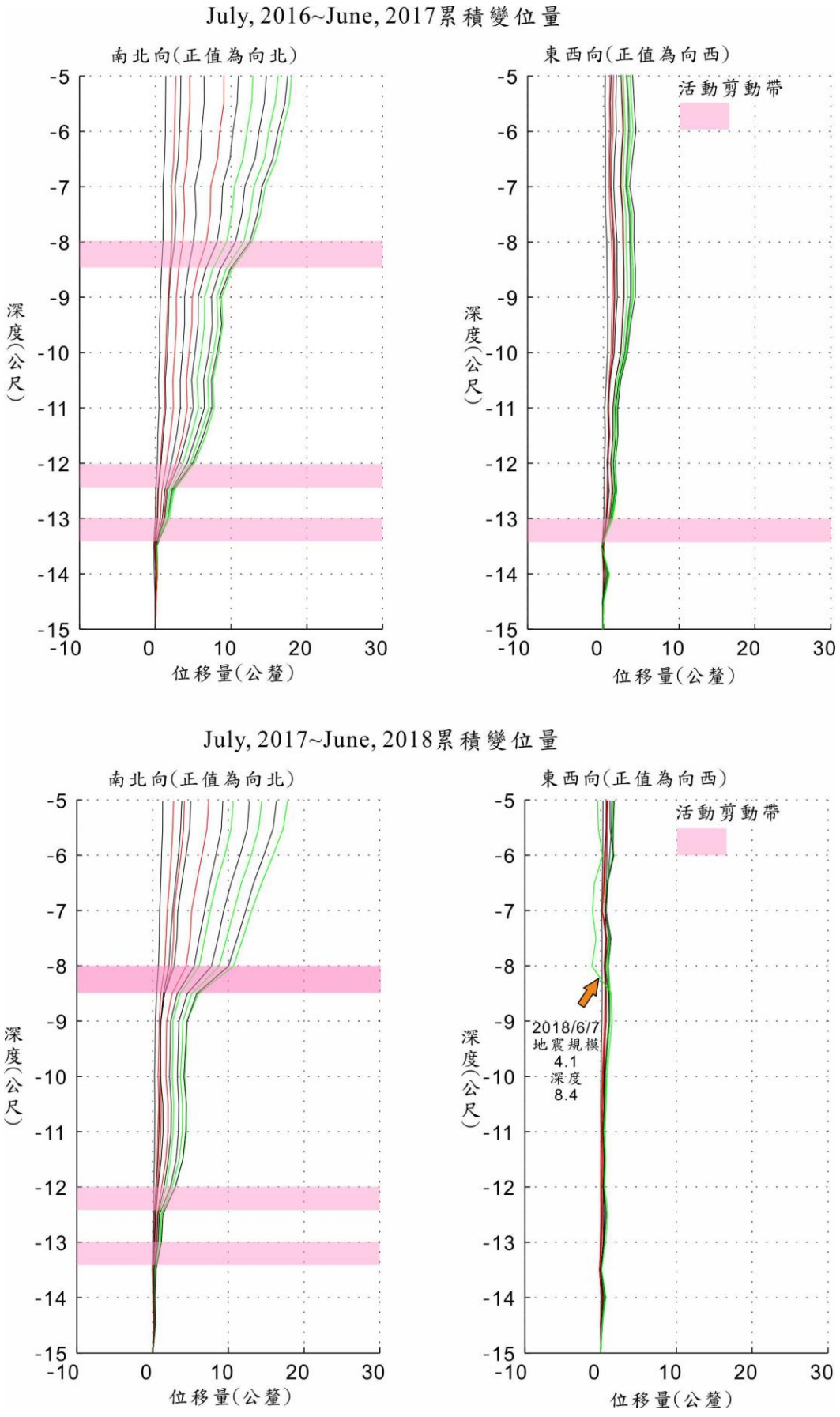


圖 6.1-5 兩年期間測傾儀月累積變位量。

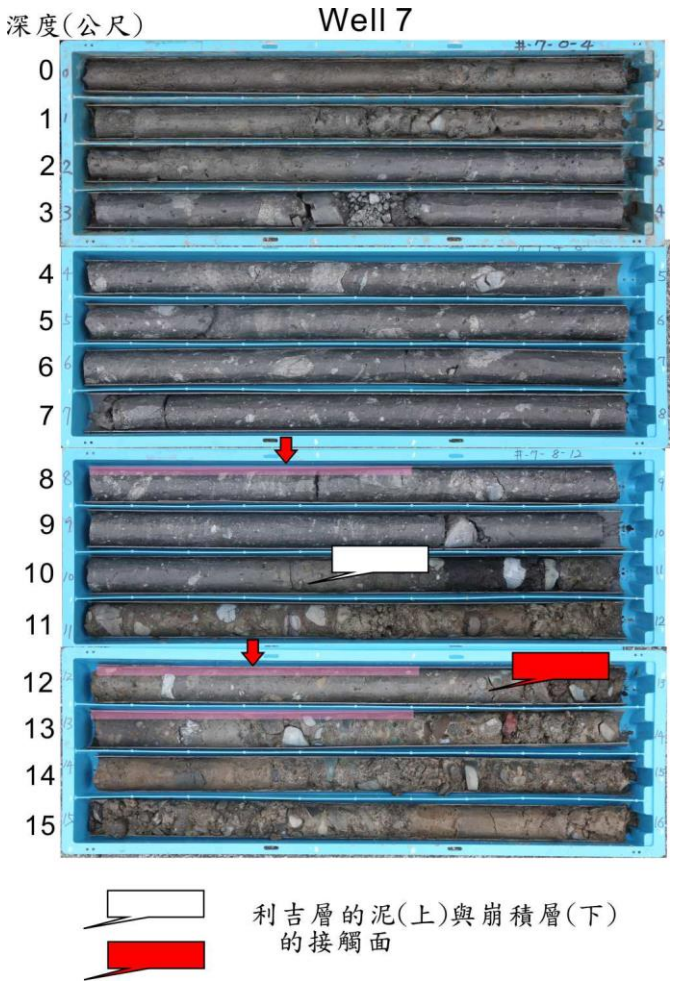


圖 6.1-6 井 7 的岩心。半透明顏色所標示之岩段與圖 5 中的活動剪動帶之位置相當，紅色箭頭指示處為判釋為剪切帶的位置。

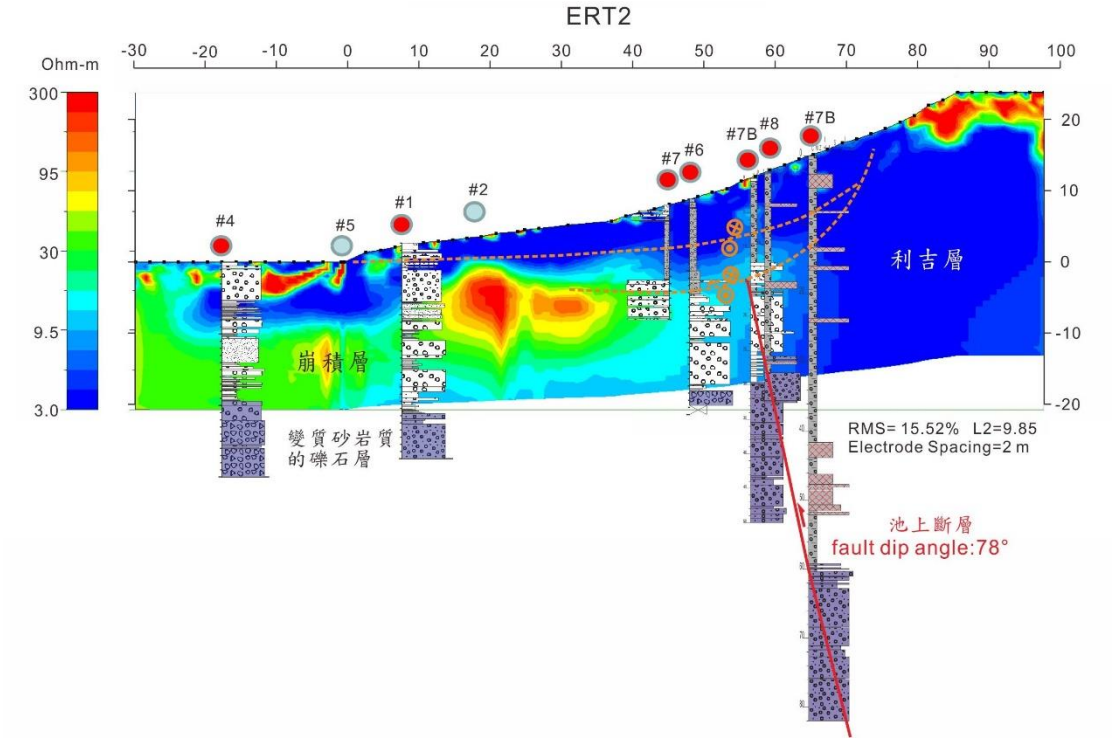


圖 6.1-7 大坡國小的構造解釋垂直剖面圖。

第七章 結論

本研究計畫第四年度之工作預計以觸口斷層與恆春斷層為調查標的。完成地表地球物理調查工作。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 3200 公尺以上。其中地電阻測線及透地雷達測線總長至少在 2400 公尺以上，淺層震測總長 800 公尺以上。我們已完成於觸口斷層以及恆春斷層測區，共 2605 公尺之地電阻測線工作。於觸口斷層區域完成淺層震測施測工作之測線一條，總長度 1964 公尺。

於觸口斷層測區，我們主要規劃八掌溪以北 4 條以及八掌溪南岸 1 條地電阻測線，我們發現在八掌溪南岸測線 18E-CKU-05，其剖面由上至下大致上可以分為 2 層，電阻率介於 50-100Ohm-m 的六重溪層，而電阻率在 50Ohm-m 以下的桂竹林層，而測線在 140-170 公尺位置前後發現有一個約 20 公尺的落差，推測可能為觸口斷層的未出露的層位落差。但測線 18E-CKU-01 至 18E-CKU-04 測線我們似乎都無法看出有斷層經過的層位差異出現。推論剖面解析深度約為地表下 50 公尺，故斷層活動造成的擾動應位於更深部的位置。淺層震測探勘結果顯示剖面 CDP239 至 CDP600 之範圍內為斷層擾動帶，且與前人資料比對後，擾動帶寬度及形貌都略為相似。

在恆春斷層測區，本研究團隊於斷層北段規劃地電阻測線 1 條及南段規劃測線 3 條。位於斷層北段的 18E-HCN-01 測線結果顯示，表層在 20 公尺左右反應為高阻之沖積層覆蓋，在測線約 310 公尺處之低阻反應為階地堆積層，並可以觀察到其為一個明顯電性地層上的差異，由此判斷可能為活動斷層的線跡。18E-HCN-03 測線施測於恆春斷層南段之主斷層，明顯可觀察到電性地層之差異，西側低電阻率可以對比為沖積層，東側相對高阻可對比為馬鞍山層，由此電性地層上之差異判斷可能為活動斷層的線跡。18E-HCN-02 及 18E-HCN-04 測線施測於斷層南段之支斷層，其分別於 175 公尺及 220 公尺處可觀察到明顯電性地層之差異，研判此電性不連續面則為恆春斷層的線跡。

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。初步估算本計畫觸口斷層之誤差值為 13 公尺;恆春斷層之誤差值為 100 公尺。未來我們將進行上述測區部分補測工作，更精確的釐清斷層線跡之通過位置。

斷層長期滑移速率調查本計畫針對獅潭斷層(紙湖地震斷層)進行研究，經由野外調查結果，前人發現的斷層剖面現今都已被河堤覆蓋。其它可能斷層跡通過的地點，大都位於邊坡已被崩積層覆蓋。因此槽溝挖掘上有所困難，邊坡崩積層

通常堆積巨大岩塊，且若有破裂帶也不易認定。因此，本計畫針對獅潭斷層長期滑移速率研究，因沒有適合地點可供進行古地震槽溝挖掘，而無法估算長期滑移速率。

至於大坡國小場址的池上斷層活動度監測工作，池上斷層於台東縣大坡國小的地表淺部位置，是乎與以往認定的位置約有 50 至 60 公尺的差異，並不在國小校區東側隆升的山丘山腳處。同時該區的地表潛變變形，似乎以重力地滑為主，至於是否亦有斷層作用的貢獻及貢獻量為何，或許未來可以藉由井 8 中的測傾儀的監測資料得到答案。

表 7.1-1 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
18E-CKU-01	23.505818	120.601554	23.505264	120.603713
18E-CKU-02	23.485478	120.599875	23.485156	120.602153
18E-CKU-03	23.482355	120.599230	23.481637	120.601026
18E-CKU-04	23.462285	120.596388	23.463015	120.597863
18E-CKU-05	23.436067	120.602213	23.435034	120.604932
18P-CKU-18E-CKU-01	23.473770	120.586356	23.474263	120.601008
18E-HCN-01	22.079361	120.721034	22.080413	120.724175
18E-HCN-02	21.989779	120.748549	21.990446	120.751379
18E-HCN-03	21.990309	120.753376	21.990707	120.756786
18E-HCN-04	21.981414	120.751547	21.982333	120.754544
18M-HCN-02	21.990190	120.754530		
18M-HCN-04	21.986251	120.746812		

計畫名稱：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(4/4)												
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
簽約	■	■										
第一季查核點		■										3/31
恆春斷層地球物理調查	■	■	■	■	■	■	■	■				
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			■									4/30
觸口斷層地球物理調查(地電阻)			■	■	■	■	■	■	■	■		
觸口斷層地球物理調查(淺層震測)			■	■	■	■	■	■	■	■		
期中報告						■						7/31
第三查核點								■				9/30
活動斷層教育訓練或國際研討會								■	■	■		
期末報告										■		11/30
第四查核點與驗收											■	12/31
預定進度(累積數)	5	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)。

表 7.1-2 預期進度甘梯圖(Gantt Chart)：計畫進度控制及檢討之依據

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.

Davis, J.L. and Annan, A.P.(1989) Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting 37, 531-551.

Egbert, G.D. (1997) Robust multiple-station magnetotelluric data processing. Geophys.J Lnt. 130, 475-496.

Huang, W. J., Kaj, M. Johnson, J. Fukuda and S. B. Yu (2010) Insights into eastern Taiwan tectonics from analyses of geodetic and geologic data using a plate-block viscoelastic model, Journal of Geophysical Research, 115, B03413, doi:10.1029/2008JB006208.

Hung J. H., Wiltschko, D. V., Lin, H. C., Hickman, J. B., Fang, P., Bock, Y. (1999) Structure and motion of the southwestern Taiwan fold and thrust belt, terr. Atmos. Ocean. Sci. 10, 543-568.

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

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.

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.

Reed, D. L., Lundberg, N. Liu, C. S., Kuo, B.Y. (1992) Structural relations along the margins of the offshore Taiwan accectionary wedge: Implication for accretion and crustal kinematics, Acta Geol. Taiwan., 30, 105-122.

Stach, L. L. (1957) Stratigraphy subdivision and correlation of Cenozoic sequence in the foothills region east of Chiayi and Hsinying, Taiwan: Symposium on Petrology Geology of Taiwan, 177-230.

Uyeda, S., Hayakawa, M., Nagao, T., Molchanov, O., Hattori, K., Orihara, Y., Tanaka, H.(2002)Electric and magnetic phenomena observed before the volcano-seismic activity in 2000 in the Izu Island Region, Japan. Proceedings of the National Academy of Sciences, 99(11), 7352-7355.

Wang, S. (1976) ERTS-1 satellite imagery and its application in regional geologic study of southwestern Taiwan: Petrol. Geol. Taiwan, 13, 37-57.

Yu, S. B., Kuo, L. C.(2001)Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley aera, eastern Taiwan. Tectonophysics, 333, 199-217.

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研究報告，第 202 號，共 48 頁。

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)

大塚彌之助(1936)昭和 10 年 4 月 21 日台灣中部地方に起った地震に伴へる地震斷層、附地震斷層の諸特徵。東京大學地震研究所彙報別冊：第 3 號，第 22-74 頁。

董倫道、陳文山、李奕亨(2006)地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－地球物理探勘計畫總報告。經濟部中央地質調查所報告第 95-09 號，第 148-152 頁。

東京帝國大學地震研究所(1936)昭和 10 年臺灣中部地震論文及報告，地震研究所彙報別冊，第 3 號，共 238 頁。

李奕亨(2001)恆春地區第四紀地層構造地球物理初探。中國地球物理年會論文集。

林玉儂、衣德成、鍾令和、太田陽子、陳于高(2006)獅潭斷層的昨日與今日。地質，25 卷，4 期，50-61 頁。

林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正(2000a)臺灣活動斷層概論第二版，五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖說明。經濟部中央地質調查所特刊，第 13 號，共 122 頁。

林啓文、盧詩丁、石同生、張徽正、石瑞銓(2000b)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，77-101 頁。

林啓文、盧詩丁、石同生、劉彥求、林偉雄、林燕慧(2007)臺灣西南部的活動斷層：二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，

第 17 號，共 141 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、陳文山(2012)臺灣活動斷層分布圖 2012 年版說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第 26 號，1-30 頁。
耿文溥(1974)台灣西南部之南莊層，台灣省地質調查所彙刊，第二十四號，75-79。
黃緯誠 (2011) 臺灣西南部前陸盆地遠端地層層序構造和全球海水面變化交互作用模型，國立成功大學地球科學系碩士論文，共 125 頁。
吉田要(1931)所謂觸口山層。臺灣地學記事，第 2 卷，第 2 號，第 27-29 頁。
中國石油公司(1989)十萬分之一臺灣地質圖，臺南分幅。中國石油公司臺探總處出版。
詹新甫(1974)恆春半島之地層與構造並申論中新世傾瀉層 。臺灣省地質調查所彙刊，第 24 號，第 99-108 頁。
張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁(1998)台灣活動斷層概論，五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖說明書，經濟部中央地質調查所特刊，第 10 號，共 103 頁。
張中白、張翠玉、劉政、李建成、蔡義本、姜國彰、黃信介、吳善薇(2003)台東縱谷池上地區之地表變形的營力機制，經濟部中央地質調查所特刊，第十四號，第 203-214 頁。
石瑞銓 (2003) 地震地質調查及活動斷層資料庫建置:地球物理探勘計畫(2/5),經濟部中央地質調查所報告 92-8 號,99-121.
石應竣、劉國棟、吳慶耀、王加映、王華竣、王光鍔、吳乃爵(1985)大地電磁測深法教程，地震出版社，中國北京，271 頁。
陳文山、鄭穎敏與黃奇瑜(1985)台灣南部恆春半島之地質。地質，6 卷 2 期，21-38 頁。
陳文山(1993)花東縱谷斷層的活動性淺談，地工技術，第四十四期，第 52-57 頁。
陳文山、李偉彰、黃能偉、顏一勤、楊志成、楊小青、陳勇全、宋時驊(2005)恆春半島增積岩體的構造與地層特性：全新世恆春斷層的活動性。西太平洋地質科學(Western Pacific Earth Science)，第 5 卷，129-154 頁。
陳文山(2016)台灣地質概論。中華民國地質學會，共 204 頁。
陳文山、黃能偉、楊志成(2011)臺灣西南部更新世沉積層序特性與前陸盆地演化。經濟部中央地質調查所特刊，第 25 號，1-38 頁。
陳文山, 黃能偉, 顏一勤, 楊志成和楊小青(2004)地震地質調查及活動斷層資 料庫建置計畫槽溝開挖與股地震研究計畫(3/5)--三、恆春斷層條帶地質圖 說明書. 經濟部中央地質調查所報告第 93-6 號: 共 39 頁。

陳柏村、紀權宥、劉彥求、郭育安（2008）恆春斷層之調查成果經，濟部中央地質調查所 97 年度業務成果發表會手冊。第 37-38 頁。
陳建志(1998)大地電磁法應用於台灣地區地殼電性構造之研究，國立中正大學應用地球物理研究所碩士論文，台灣中壢。
邵屏華、高銘健 (2009) 臺灣地質圖說明書，中埔圖幅(五萬分之一)，經濟部中央地質調查所。
徐漢倫(2007)大地電磁法探查台灣清水地熱區，中央大學地球物理研究所學位論文。
饒瑞鈞、胡植慶、洪日豪、余致義(2005)地震地質調查及活動斷層資料庫建置－活動斷層監測系統計畫(4/5)。經濟部中央地質調查所研究報告 94-10 號，共 147 頁。
饒瑞鈞、胡植慶、洪日豪、余致義(2006)地震地質調查及活動斷層資料庫建置－活動斷層監測系統計畫(5/5)。經濟部中央地質調查所研究報告 95-10 號，共 256 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。
紀文榮 (1982) 嘉義、新營麓山帶地區新第三系之生物地層對比，中油探採研究彙報，第 5 期，第 13-38 頁。
楊貴三(1986)臺灣活斷層的地形學研究-特論活斷層與地形面的關係。私立中國文化大學地學研究所博士論文，共 178 頁。
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。
游竣一(2003)應用直流電阻法與人控音頻大地電磁波法研究台灣西南海岸平原環境變遷，中央大學地球物理研究所學位論文。
游明聖、朱傚祖、侯進雄、李建成(1994)1992 年 5 月 29 日成功 5.4 級地震與池上斷層之關係，經濟部中央地質調查所彙刊，第九號，第 107-121 頁。
葉明官、楊健一 (1994) 臺灣嘉義中埔地區上部中新統至更新統沉積環境之研究，臺灣石油地質，第 29 號，第 193-224 頁。
吳樂群、王源 (1989) 台灣南部嘉義地區濛水溪剖面上新統之沉積環境，地質，第 9 卷，第 1 期，第 15-44 頁。

附件一

編號	審查意見	意見回覆
1.	期末報告摘要僅列出地表地球物理調查成果,請增補斷層長期滑移速率與池上斷層監測調查成果。	感謝委員建議，摘要已重新修正。
2.	所有測線請依地質調查所現行編碼原則命名。	各斷層章節測線編碼已修正。
3.	第 30 頁觸口斷層之地質概述第一段與第二段有關觸口斷層分布與長度不一致，與第 14 頁第一段描述也不一致，請參考本所特刊「臺灣西南部的活動斷層」作修正。	觸口斷層章節斷層長度及分布已修正。
4.	觸口斷層震測剖面請補充解釋右側傾斜信號背景及斷層面。	感謝委員意見，會補充說明於觸口斷層章節。
5.	請補充說明觸口斷層地電阻剖面的背景資料,地電阻顯示沖積層厚度變化之處不代表受構造因素影響，降水亦可造成其變化。	我們在施測時均為三日內無降雨之天候狀況下進行地電阻施測。由於根據過往經驗，降雨所造成之短暫電性影響，於三日內會逐漸消退，因此可排除降雨所造成之變化。
6.	請補充說明恆春斷層地電阻剖面所顯示之斷層傾角及其意義。	地電阻剖面可提供地下因地層材料不同而產生的電性變化，但無法提供確切的斷層傾角，內文剖面上的解釋線僅為地球物理不連續面，其表示電性邊界。
7.	建議透過模擬以進一步了解施測成果之解析度。	本計劃施測的解析度已於現有的地下鑽井或地質調查所公告之地質敏感區比對，並估算誤差與各斷層章節。
8.	建議補充說明地電阻方法剖面之地形資料為何。	本計劃進行地電阻剖面施測時，是利用 GPS 進行地表高程的量測，相關說明已於期末報告中補充
9.	建議加強說明「大地電磁法」資料處理使用之軟體、儀器及施測詳情。	感謝委員意見，已加入大地電磁法相關原理與反演算軟體於第二

		章第三節。
10.	第 54 頁請補充說明圖 4.3-1、4.3-2 中 N、S（H）、Alt 等參數為何。	感謝委員意見，大地電磁法小節內文已修正。
11.	請補充說明圖 4.3-1 中 0.04km 處為何逆推模型並無相對應之觀測資料。	感謝委員意見，大地電磁法之成果已重新撰寫於恆春斷層章節。
12.	交付成果項目中「舉辦本研究之教育 1 訓練或國際研討會一場」，期末報告書中僅在最後附上研討會議程和一些活動照片，建議在報告書中加以描述並說明本計畫在該國際會議中扮演的角色。	感謝委員意見，已修正於附件二。
13.	第 1 頁第 6 行「活動斷層地質敏感帶」修正為「活動斷層地質敏感區」。	感謝委員意見，第一頁第六行已修正為活動斷層地質敏感區。
14.	第 4 頁倒數第 2 行「本年度三條斷層」請修正為「2 條斷層」。	感謝委員意見，第五頁已更正。
15.	第 5 頁觸口斷層建議比照恆春斷層增加一小段斷層的簡要敘述。	感謝委員意見，已修正如內文。
16.	第 55 頁第 2 段第 3 行「沖基層」應為「沖積層」。	感謝委員意見，第 55 頁已更新。
17.	參考文獻格式請統一並增補近期研究成果。	感謝委員意見，已增補近期研究成果。

附件二

會議名稱	2018 台日韓地下環境探勘與評估技術聯合研討會
日期	2018 年 10 月 3 號至 2018 年 10 月 6 號
地點	台中: 921 地震教育園區(10/3-921 Earthquake Museum of Taiwan)、南投:車籠埔斷層保存園區 (10/4-Chelungpu Fault Preservation Park)

(一) 緣起

經歷災情慘重的 Mw6.4 0206 花蓮強震，餘震仍不停歇，提醒著我們關於台灣活動構造的研究與調查刻不容緩，同樣位於太平洋西緣的日本以及韓國兩地，從歷史記錄 2011 年 3 月 11 日發生於日本 Mw9.0 宮城外海地震，一直到近期 2016 年 4 月 16 日同樣發生於日本 ML7.3 的熊本地震、2017 年 11 月 15 日 ML5.5 南韓浦項強震等皆顯示活動斷層會因為產生地震而造成生命財產的損失並對社會經濟造成衝擊。有著相似環境的日韓兩國，今年特別邀請台灣舉辦本屆的台灣-日本-韓國三國的聯合研討會議，此研討會在過去 20 年日韓兩國的經營下已經具有相當程度的規模，主旨是結合工程地質學、地震學、活動構造與相關調查技術等的學術交流與經驗分享。今年是首度來到台灣考察研討，並且將本屆的會議移師到台灣的九二一地震教育園區與車籠埔斷層保存園區舉辦，研討會日期經過三個國家共六所機構的討論下，決議於今年 10 月 3 日至 10 月 6 日舉辦。

(二) 舉辦目的

本屆台日韓聯合研討會議的主要目的，在於透過台日韓三方研究工作的交流、經驗的交換以及遭遇共同課題的討論，建立針對各類型工程地質學、地震學、活動構造與相關調查技術等地表變形研究所需的理論發展及分析方法開發，透過實際案例的分析與討論，期能對於後續斷層活動相關工作建立更密切的合作關係。

(三) 預期效益

1. 台日韓三方針對地表變形與地震相關研究進行成果發表。
2. 台日韓三方進行都會區的發展規劃、土木結構設計之實務經驗分享。
3. 台日韓三方針對花蓮強震、熊本地震、浦項強震等相關研究進行成果發表。
4. 台日韓三方針對歐亞板塊與鄰近板塊之構造演化研究進行相關研究進行成果發表。
5. 達成台日韓三方對此地震研究的合作協議與後續研討會規劃。

(四) 會議議程表及野外考察行程

10/2 Build-up and Conference Registration(at the hotel lobby)	
12:00-21:00	Build-up and Conference Registration
10/3 Pre-Field trip and Opening (at 921Earthquake Museum)	
8:30-9:00	Check-in at the hotel lobby
9:00-12:00	Field trip at 921Earthquake Museum
12:00-13:20	Lunch
13:30-13:20	Opening
13:30-15:00	Invited speech (30 mins x 3 speakers) 1. **Yoshihiko Ito** - Geological Disasters in Japan 2. **Tae-Seob Kang** - Investigation of subsurface faults responsible for the intraplate seismicity of Korea 3. **Kuo-Fong Ma** - Resolving earthquake fault zone dynamics from Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project (TCDP) and Borehole Seismometers
15:00-15:20	Break
15:20-16:50	Invited speech (30 mins x 3 speakers) 1. **Young-Seog Kim** - Fault damage zones and fault evolution: Application to active fault systems 2. **Koji Okumura** - Fault displacement at the surface and beneath 3. **Cheng Chin-Tung** - Smart technologies for emergency response and disaster management of hillslope community
18:00-20:30	Icebreaker Banquet

10/4 Joint Symposium (at Chelungpu Earthquake Preservation Park)		
09:00-9:30	Registration	
09:30-10:45	Oral Session – Earthquake (15 mins x 5)	Oral Session – Surface Deformation and Environmental geology (15 mins x 5)
10:45-11:00	Break	
11:00-12:00	Invited speech (30 mins x 2 speakers) 1. **Byrne, Timothy** - Revisiting the Tulungwan-Chaochou fault system: Crustal structure and possible seismic potential 2. **Chyi-Tyi Lee** - Critical Issues in Developing a Uniform Hazard Response Spectrum for Engineering Design and Safety Evaluation of Existing Structures	
12:00-13:30	Lunch	
13:30-15:00	Oral Session – Related Survey Technology (15 mins x 6)	Oral Session – Active Structure (15 mins x 6)
15:00-15:20	Break	
15:20-17:00	Poster Session	
17:00-17:30	Museum Tour - The Chelungpu Trench	
17:30-20:30	Museum Banquet	

野外考察行程：

10/05：(A)九二一震災紀念鐵塔→(B)台灣水資源館→(C)集集攔河堰→午餐→(D)集集武昌宮→(E)九份二山傾斜屋→(F)霧峰民生故事館→台中(A)Chi-Chi earthquake tilting tower →(B)Taiwan Water Resources Museum →(C)Chi-Chi Weir→Lunch→(D)Wuchang Temple in Chi-Chi →(E)Tilting house →(F)Minsheng House of Microhistory →Taichung

10/06：(A)火炎山→(B)龍騰斷橋→午餐→(C)石岡壩→(D)埤豐橋→(E)三義斷層露頭→台中(A)Huoyenshan Hill →(B)Longtengbridge →Lunch→(C)Shigang Dam →(D)Beifeng Bridge →(E)The Sanyi fault outcrop at Dachia river →Taichung

(五) 會議概述

本次會議共有 103 人出席，其中台灣 60 人、韓國 23 人、日本 10 人、印尼 4 人、中國 2 人、越南 2 人、美國 1 人、法國 1 人。發表論文總數為 65 篇，其中邀請演講有 8 場次，口頭報告有 22 場次，海報張貼則有 35 篇。論文主題包括：

(1) Earthquake

(2) Related Survey Technology

(3) Surface Deformation and Environmental geology

(4) Active Structure

這次會議的舉辦地點分為 10 月 3 日在國立自然科學博物館九二一地震教育園區(臺中市霧峰區)，10 月 4 日在國立自然科學博物館車籠埔斷層保存園區(南投縣竹山鎮)，10 月 5 日及 10 月 6 日分別在臺中、南投、苗栗進行野外考察，雖然會議地點移動這樣的安排會增加交通成本，但是卻讓與會人員充分感受到「地震」、「地下探勘」、「地質工程」、「活動構造」等大會議題與人類活動相聯結，而會議期間兩場館公告不收門票開放遊客免費參加，符合了本研討會社會教育及科學普及的另一層意義。

本研討會亦促進了許多國際間的合作關係，例如活動構造方面與 Prof.Young-Seog KIM 教授的合作；大地構造方面與 Prof. Koji Okumura 在諮詢地質資料方面的合作等，皆是透過本研討會帶來的正面學術合作收穫。而在國際交流方面，本次與會的國際學者皆對於台灣人的英文能力普及還有國際化程度感到相當輕鬆舒適，也給予主辦會議的台灣團隊高度肯定。檢視此次會議，達成以下目標:

(一)、在學術交流上，在特定議題分享彼此經驗，並就相關議題進行後續強化研究或謀求國際合作。

(二)、在文化交流上，不同國籍的人與會也體現了各國不同的人文風情。

(三)、藉由此次會議舉辦，增加台灣於國際間之能見度。

(四)、由韓國主辦的 2019 年研討會將繼續邀請台灣加入。