

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(3/4)

Investigation of Important Active Faults, the Characteristics of Fault Structure.

The Analyze and Estimate of Fault Active.(3/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所

陳文山¹

游能悌²

楊小青³

Chen, Wen-Shan¹

Yu, Neng-Ti²

Yang, Hsiao-Ching³

¹ 國立臺灣大學地質系

² 國立新竹教育大學應用科學系

³ 國立臺東史前文化博物館

摘要

本年度（102 年度）研究主題針對山腳斷層北段與大甲斷層「活動斷層的精確位置」調查，以及三義斷層與梅山斷層的「斷層活動特性分析與評估」。「活動斷層的精確位置」已經完成山腳斷層北段與大甲斷層的 E-GPS 量測；其中山腳斷層北段斷層跡最明確的位置是金山平原北側的斷層崖之下，誤差範圍在 20 公尺以內，此區之外的則無法研判斷層跡確切位置。新北投至北礮溪區段山腳斷層都位在地滑區，斷層跡應已被地滑地塊掩埋，所以已無法從地表研判斷層跡的準確位置。大甲斷層北段從大安溪經大甲、清水至沙鹿的階地崖呈現線型崖的構造地形，斷層跡的誤差範圍約 20 公尺。中段從沙鹿經龍井至大肚北側區域是線型崖地形較不明顯區域，量測斷層跡的誤差範圍約 100 公尺。南段從大肚以南至大肚溪為崖線最不明顯的區段，依震測資料顯示大肚以南為摺皺構造形態。

「斷層活動特性分析與評估」針對三義斷層的調查，完成一處的古地震槽溝以及排鑽之調查與分析，三義斷層分為主斷層以及位於主斷層東側的支斷層（后里斷層），由鑽井資料可研判后里斷層之近地表傾角約在 40-50 度，從槽溝剖面顯示斷層已經截穿紅土礫石層至地表，由於紅土礫石層無法尋找到焦碳提供碳十四定年，所以還無法研判最近一次的活動時間以及變動速率。梅山斷層經過排鑽調查，從全新世沉積層受斷層作用產生的高差，獲得垂直錯移速率約為 2.5mm/yr。

關鍵詞：活動斷層、斷層跡、三義斷層、梅山斷層、山腳斷層、大甲斷層、后里斷層

Abstract

The goal of project is to investigate the precise measurement (Real Time Kinematic measurement) for fault trace of the Dachia and northeastern part of the Sanchiao faults and to understand fault behavior for considering in deformation characteristics of the Sanyi, and Meishan faults. The study drilled well of 11 sites and 4 sites along the Meishan and Sanyi faults, respectively, which the whole borehole length of 700 m, that focus on the investigation of fault trace and paleoseismic studies, and one paleoseismic trenched sites excavated along the Sanyi fault. Based on the well logging across the Meishan fault, the result shows the vertical uplift rate of 2.5mm/yr.

Keywords : precise measurement, fault trace, paleoseismic, Dachia fault, Sanchiao fault, Sanyi fault, Meishan fault.

一、前言

本年度(102年度)「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(3/4)」,研究主題針對山腳斷層北段與大甲斷層「活動斷層的精確位置」調查,以及三義斷層與梅山斷層的「斷層活動特性分析與評估」。

本年度「活動斷層的精確位置」調查以山腳斷層北段與大甲斷層為調查目標,進行斷層精確位置的調查與測繪,考量本研究成果將應用於地質敏感區的劃設,故工作內容係斷層跡精確位置的野外調查與收集既有資料,並於缺乏資料處補充地下調查,將斷層的精確位置繪於五千分之一比例尺的地形底圖,並依調查資料分段評估斷層跡位置的可能範圍。由於山腳斷層北段的斷層跡主要穿越大屯山山區,鑽探機具無法進入山區施作,以及斷層沿線有大規模的地滑區,本研究研判此區域大部分的斷層跡可能被地滑岩體覆蓋。而金山平原區域已有許多鑽探與地球物理探勘資料,所以此區段利用先前的研究資料來研判斷層跡位置(因山腳斷層北段山區部分鑽探成效有限,不進行鑽井及地下剖面調查)。大甲斷層的「活動斷層精確位置」調查同樣也因為北段區域斷層跡位置明確,而南段區域大多位在都會區內,或斷層變形可能為褶皺變形,地表沒有呈現明顯的線型崖地形,故大甲斷層沿線地下資料將以收集固有資料為主。

三義斷層與梅山斷層主要調查目標為「斷層活動特性分析與評估」,調查目標為獲得斷層活動參數,因此利用地質剖面、槽溝挖掘,或淺層鑽探等方式進行調查。地質剖面與槽溝挖掘剖面長度至少 20 公尺,或以總深 90 公尺排鑽取代,淺層鑽探以每場址有 2-3 口鑽井,總井深度 600 公尺。本年度進行三義斷層的古地震槽溝研究(利用台灣自來水股份有限公司中區工程處委託聯合大地工程公司在后里一帶所進行的三義斷層古地震槽溝挖掘剖面),以及三義斷層及梅山斷層的鑽井與排鑽研究。另外,本研究也採用淺層反射震測(S波、P波)方式進行勘查,協助精確研判斷層跡位置,以利鑽探調查,所以本研究在梅山斷層最西側的平原區域進行淺層反射震測(S波、P波)調查,以利鑽井位置的安排。

二、活動斷層的精確位置

2.1 大甲斷層

大甲斷層北從大安溪,南至大肚溪,全長約 30 公里,沿著大肚台地西側與海岸平原交會處的階地崖分布。北段區域從大安溪經大甲、清水至沙鹿的階地崖呈現線型崖的構造地形,由鑽井也表示崖線為斷層跡位置,顯示線型崖地形是大甲斷層截穿至地表的斷層跡位置。E-GPS 量測斷層跡的誤差範圍約 20 公尺。

中段從沙鹿至大肚區域是線型崖地形較不明顯區域,此段 E-GPS 量測斷層跡的誤差範圍約 100 公尺。此區階地崖呈緩隆起狀,遭人為開發或河流侵蝕,部分階地往東側消退,消退崖線形成坡度較陡的線型崖地形,但據鑽井資料(沙鹿 1-5 號井)顯示斷層位於此線型崖的西側,其應位於西側緩隆起階地崖的前緣。

南段從大肚至大肚溪為崖線最不明顯的區段，可能為褶皺構造，斷層跡可能尚未出露地表(圖 1)。

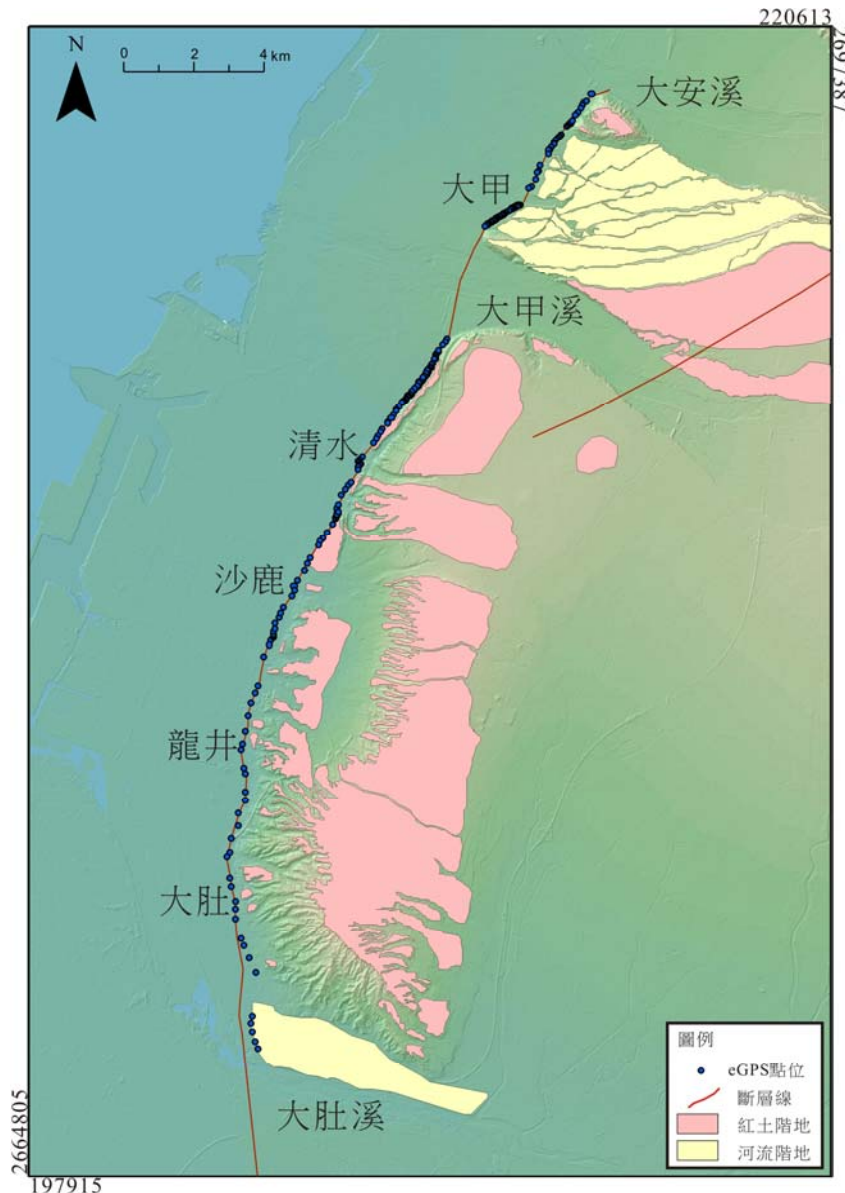


圖 1、大甲斷層跡位置的 E-GPS 量測，大肚以南為褶皺軸位置(TWD97)。

2.2 山腳斷層(北段)

山腳斷層北段由新北投經大屯山竹子湖，再沿北磺溪至金山平原北側的斷層崖下，最後進入東北海域。此調查結果，認為山腳斷層北段斷層跡最明確的位置是金山平原北側的斷層崖之下。之後，沿北磺溪進入大屯山區至新北投區域，斷層跡地形並不明確，主要原因是此區域內可能受到斷層活動的影響，呈現大規模地滑，將斷層跡覆蓋。所以 E-GPS 量測主要在金山平原的斷層崖，誤差範圍在 20 公尺以內(圖 2)，此區之外的山腳斷層跡，可能掩覆於大規模地滑之下，以目前的調查技術及方法，尚無法研判斷層跡確切位置(圖 3)。

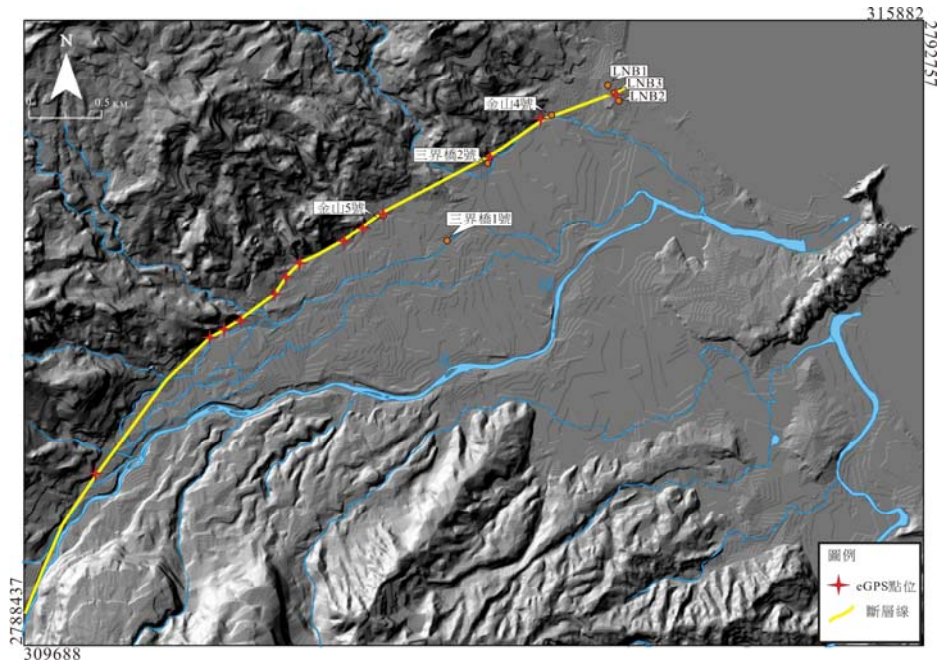


圖 2、金山平原地區的山腳斷層北段斷層跡位置與 E-GPS 量測點(TWD97)。

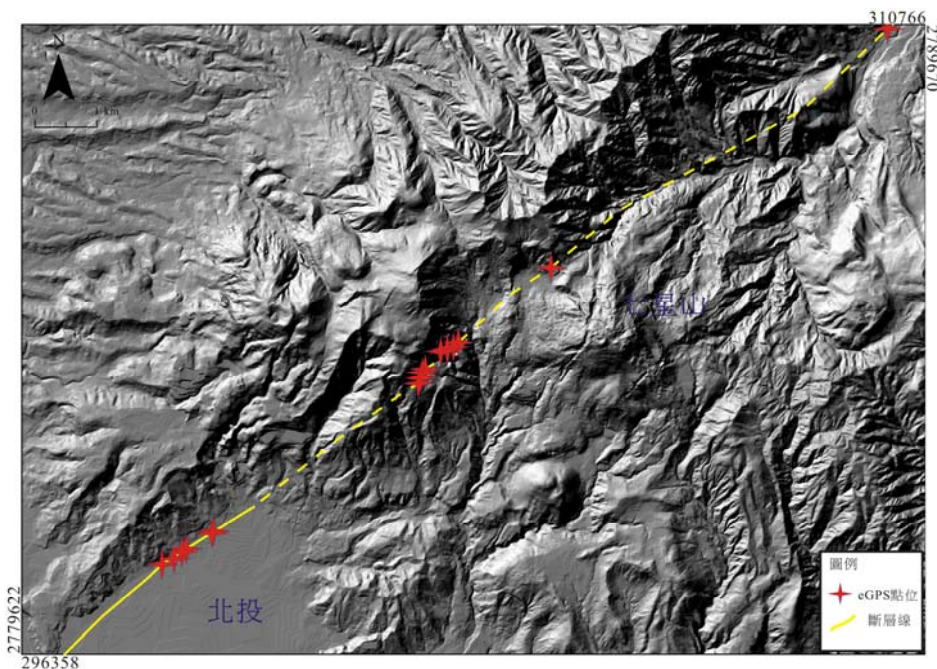


圖 3、七星山至新北投地區的山腳斷層北段斷層跡位置與 E-GPS 量測點(TWD97)。

三、斷層活動特性分析與評估

3.1 三義斷層

三義斷層主斷層通過后里台地東側(圖 4)，為桂竹林層逆衝至頭嵛山層之上，但被后里台地的晚更新世紅土階地礫石層覆蓋，紅土面沒有產生變形，顯示在紅土階地礫石層沉積之後，三義斷層主斷層沒有活動跡象(圖 5)。而從后里台地區的地質剖面(大甲溪北岸)、槽溝以及鑽探岩心資料，顯示三義支斷層(后里斷層)截切晚更新世紅土台地礫石層，並在后里台地東側形成一斷層崖地形(圖 6)。因此，三義

斷層近期的構造活動帶應位於支斷層（后里斷層）處。由於古地震槽溝中沒有發現焦炭可供定年，所以目前尚無法估算斷層的長期變動速率。

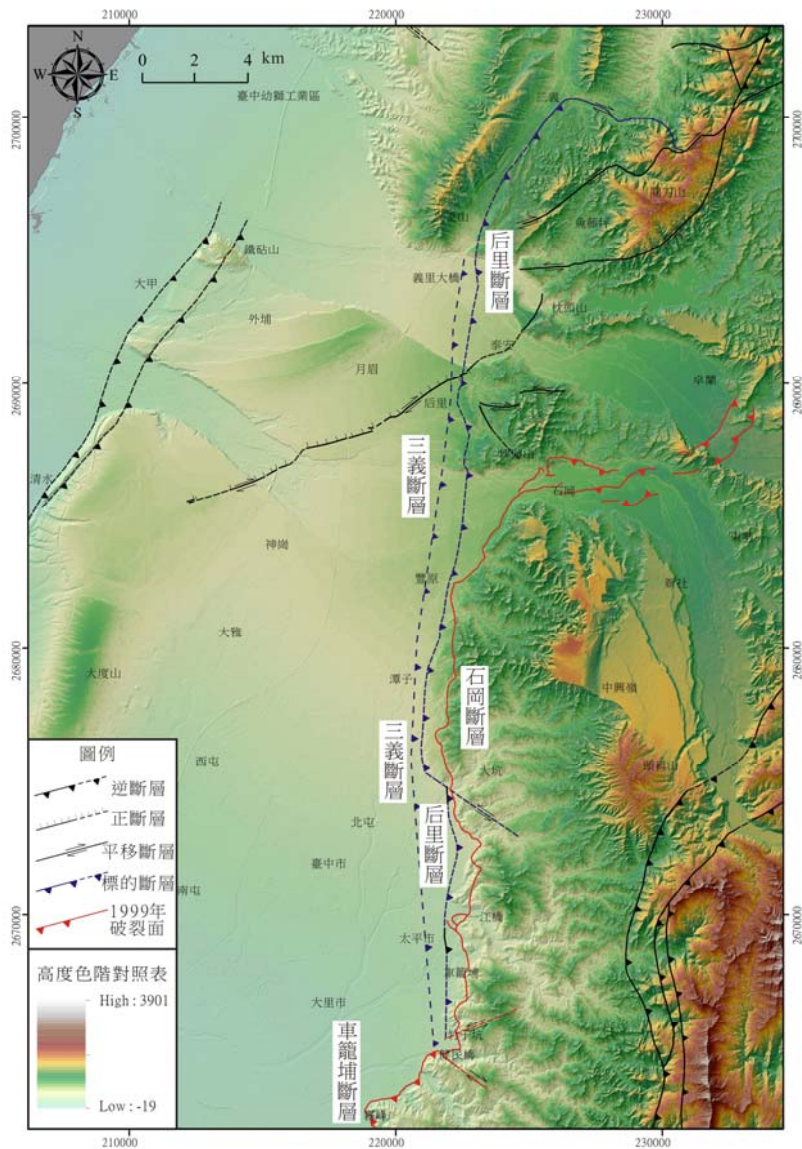


圖 4、重繪三義斷層與后里斷層位置(TWD97)。

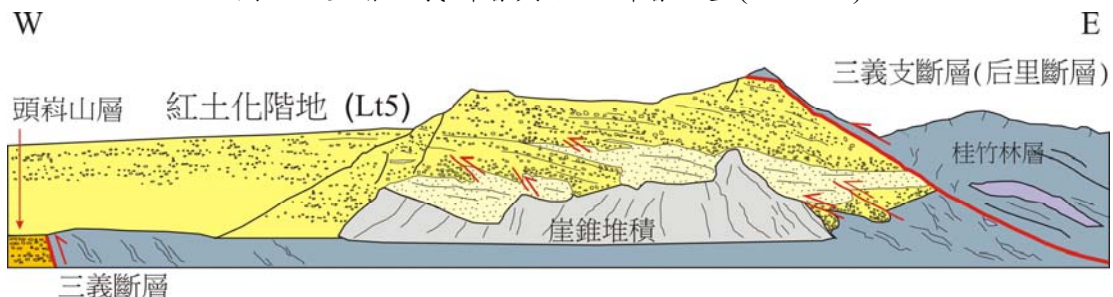


圖 5、大甲溪北岸剖面，三義支斷層截切晚更新世紅土階地礫石層，中新世桂竹林層逆衝在紅土階地礫石層之上，位置見圖 6。

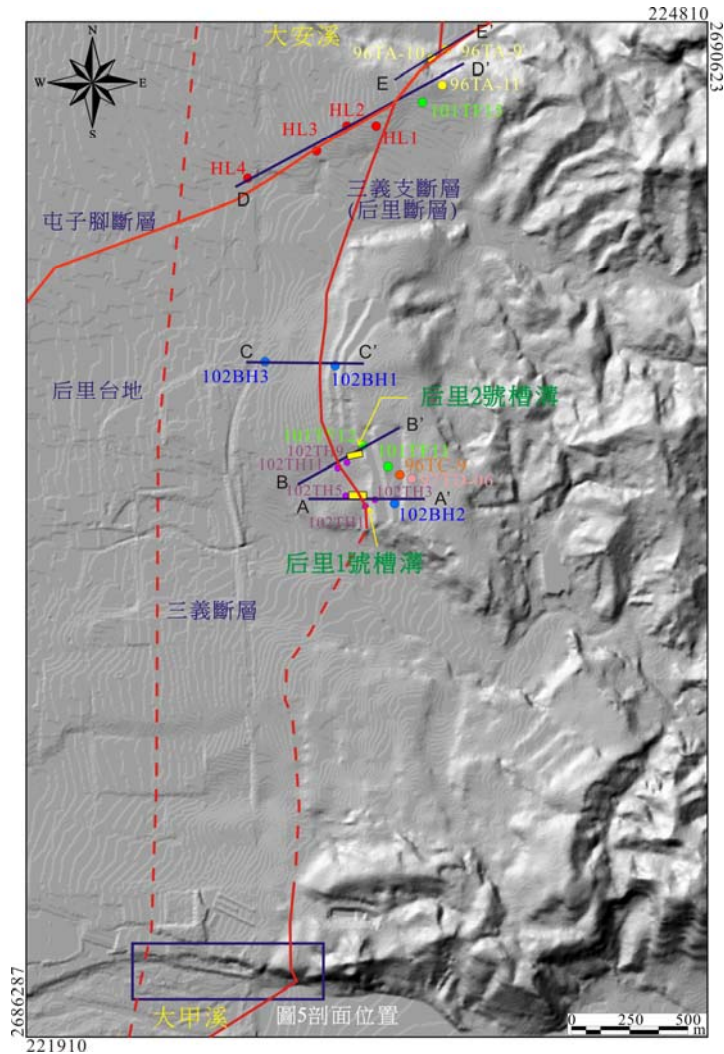


圖 6、三義斷層與支斷層(后里斷層)、鑽井、槽溝、柵狀剖面(藍線)與野外露頭剖面(藍框)位置(TWD97)。

3.2 梅山斷層

從淺層鑽井的好收場址 A-A' 岩心柵狀剖面與中坑場址 B-B' 岩心柵狀剖面的地層對比，顯示斷層南側相對屬於上升盤，北側相對屬於沉降盤，此變動與現今紅土台地地形的變化相同，紅土台地的高程在斷層南側都較高(圖 7、8)。

本研究在好收場址的全新世沖積層有進行碳十四定年，在與六雙層不整合面之上 Hc 層的最老年代為 7880-8020 yr BP (HS05 井，深度 18.3 公尺，非在底部)，推測 Hc 層底部年代可達 9000 年前。A-A' 剖面中全新世沖積層的 Hb 層延伸最佳，出露在 HS01 井至 HS05 井中，其頂面的碳十四年代為 3360-3450 yr BP (HS01 井，深度 5.9 公尺)，Hb 層頂面延伸至 HS02、HS03、HS04、HS05 井的深度各為 29.9 公尺、29.6 公尺、29.5 公尺、27.8 公尺(圖 9)。而斷層上升盤(南)的 HS01 井與沉降盤(北)的 HS05 井的高程差約為 8.5 公尺，從兩井 Hb 層頂面的高差與年代估算，此剖面梅山斷層的長期垂直變動(錯移)速率約為 2.5mm/yr。

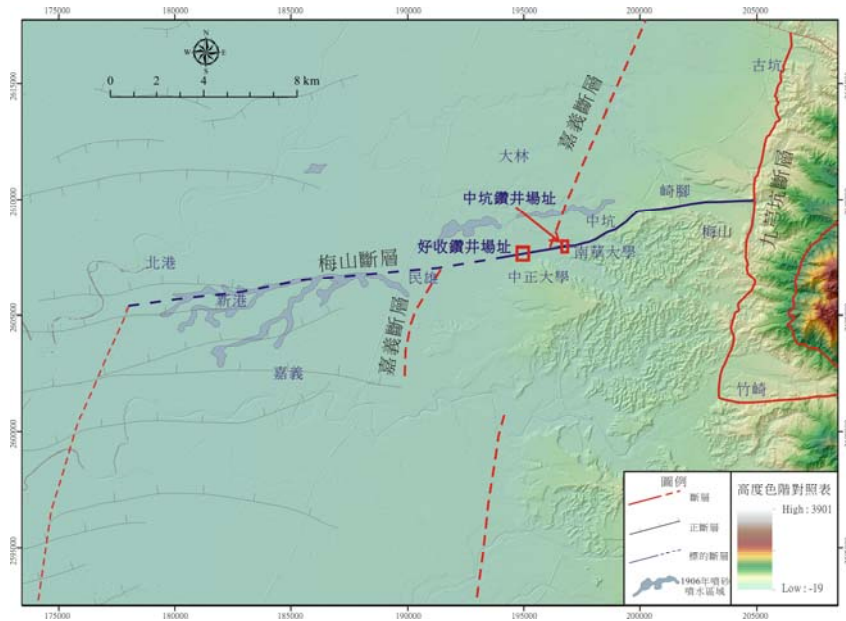


圖 7、1906 年梅山地震斷層與噴砂帶，以及鑽井場址位置(TWD97)。

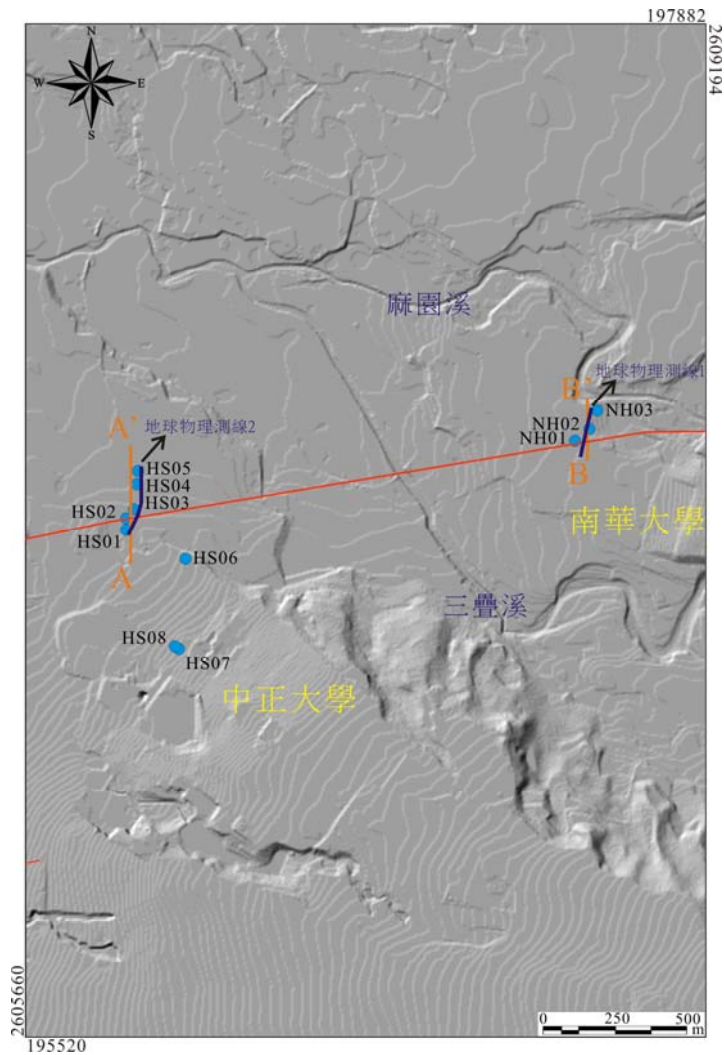


圖 8、好收場址與中坑場址的鑽井位置圖，紅線為斷層線、橘線為鑽井剖面線、藍線為淺層震測測線(TWD97)。

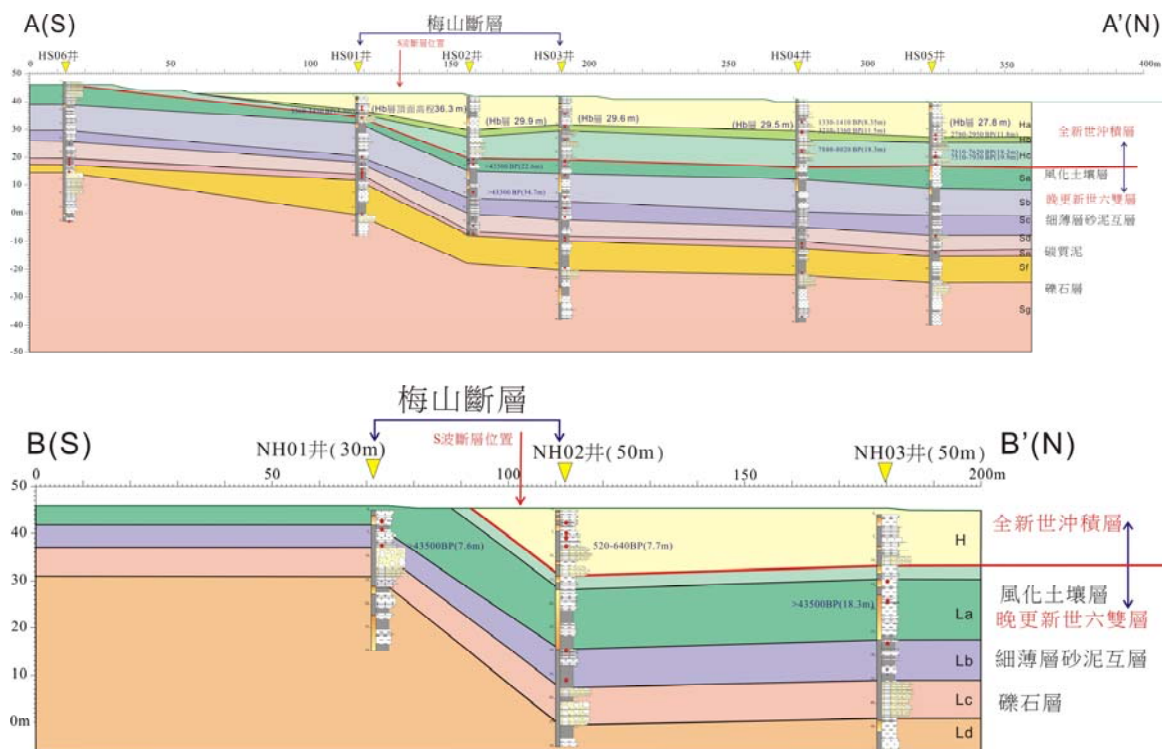


圖 9、好收場址與中坑場址的鑽井剖面圖。

四、結論與建議

大甲斷層北從大安溪，南至大肚溪，全長約 30 公里，沿著大肚台地西側與海岸平原交會處的階地崖分布。北段區域從大安溪經大甲、清水至沙鹿的階地崖呈現線型崖的構造地形，由鑽井也表示崖線為斷層跡位置，顯示線型崖地形是大甲斷層截穿至地表的斷層跡位置。E-GPS 量測斷層跡的誤差範圍約 20 公尺。中段從沙鹿至大肚區域是線型崖地形較不明顯區域，此段 E-GPS 量測斷層跡的誤差範圍約 100 公尺。此區階地崖呈緩隆起狀，遭人為開發或河流侵蝕，部分階地往東側消退，消退崖線形成坡度較陡的線型崖地形，但據鑽井資料（沙鹿 1-5 號井）顯示斷層位於此線型崖的西側，其應位於西側緩隆起階地崖的前緣。南段從大肚至大肚溪為崖線最不明顯的區段，可能為褶皺構造，斷層跡可能尚未出露地表。

山腳斷層北段由新北投經大屯山竹子湖，再沿北磺溪至金山平原北側的斷層崖下，最後進入東北海域。此調查結果，認為山腳斷層北段斷層跡最明確的位置是金山平原北側的斷層崖之下。之後，沿北磺溪進入大屯山區至新北投區域，斷層跡地形並不明確，主要原因是此區域內可能受到斷層活動的影響，呈現大規模地滑，將斷層跡覆蓋。所以 E-GPS 量測主要在金山平原的斷層崖，誤差範圍在 20 公尺以內，此區之外的則無法研判斷層跡確切位置。

三義斷層主斷層通過后里台地東側，為桂竹林層逆衝至頭嵙山層之上，但被后里台地的晚更新世紅土階地礫石層覆蓋，紅土面沒有產生變形，顯示在紅土階地礫石層沉積之後，三義斷層主斷層沒有活動跡象。而從后里台地區域的地質剖面（大甲溪北岸）、槽溝以及鑽探岩心資料，顯示三義支斷層（后里斷層）截切晚更新世紅土台地礫石層，並在后里台地東側形成一斷層崖地形。因此，三義斷層近期的構造活動帶應位

於支斷層（后里斷層）處。由於古地震槽溝中沒有發現焦碳可供定年，所以目前尚無法估算斷層的長期變動速率。

梅山斷層區域，從好收場址 A-A' 岩心柵狀剖面與中坑場址 B-B' 岩心柵狀剖面的地層對比，顯示斷層南側相對屬於上升盤，南側相對屬於沉降盤，此變動與現今紅土台地地形的變化相同，紅土台地的高程在斷層南側都較高。利用好收場址 A-A' 剖面中 Hb 層頂面的碳十四定年資料（3360-3450 yr BP，HS01 井，深度 5.9 公尺），及 Hb 層頂面於 HS01 井（斷層上升盤）及 HS05 井（斷層沉降盤）的分布深度（HS01 井，深度 5.9 公尺；HS05 井，深度 27.8 公尺），再配合 HS01 井與 HS05 井的高程差約為 8.5 公尺，從兩井 Hb 層頂面的絕對高差與年代估算，此剖面梅山斷層的長期垂直變動（錯移）速率約為 2.5mm/yr。而梅山斷層的橫移速率，由於缺乏明確指標層變形量及定年資料，目前尚無法評估。

參考文獻

- 石同生、盧詩丁、李元希、林燕慧、劉彥求、黃存慧、林偉雄、蕭力元、林啟文（2002）梅山斷層。經濟部中央地質調查所施政計畫報告—活動斷層調查報告。
- 石再添、張瑞津、黃朝恩、石慶得、楊貴三、孫林耀明（1983）臺灣北部與東部活斷層的地形學研究。臺灣師範大學地理研究所地理研究報告，第 9 期，20-72 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，共 130 頁。
- 石瑞銓、陳平護、呂明達、陳文山（2002）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫—淺層地球物理探勘（1/5），經濟部中央地質調查所 91 年度研究報告，共 166 頁。
- 石瑞銓、王維豪、李元希（2010）地震地質與地變動潛勢分析-斷層帶地下構造調查研究(4/4)，經濟部中央地質調查所 99 年度報告第 99-11 號，共 132 頁。
- 李錦發（1994）三義斷層及其在新構造上的意義。地質，第 14 卷，第 1 期，73-96 頁。
- 李錦發（2000）東勢圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖，第 18 號。經濟部中央地質調查所出版，共 117 頁。
- 沈淑敏、張瑞津、楊貴三（2005）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計劃—活動構造地形判釋及資料庫建置分析（1/2）。經濟部中央地質調查所研究報告 94-13 號，共 80 頁。何信昌、陳勉銘（2000）臺中圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖第 18 號。經濟部中央地質調查所，共 65 頁。
- 林啟文、盧詩丁、石同生、陳致言、林燕慧（2007）臺灣北部的活動斷層。活動斷層條帶圖說明書。
- 林啟文、盧詩丁、石同生、林偉雄、劉彥求、陳柏村（2008）台灣中部的活動斷層，兩萬五千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 21 號，共 148 頁。
- 林朝宗（1991）三芝圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖，第 1 號。經濟部中央地質調查所出版。
- 林朝宗（2005）山腳斷層與台北盆地西緣的地質構造。大台北地區火山活動與山腳斷層研討會論文集，191-197 頁。

- 邵屏華、高銘健（2009）中埔圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖第 45 號。經濟部中央地質調查所，共 87 頁。
- 陳文山、楊志成、黃柏壽、陳于高、石瑞銓、李元希、張徽正、黃能偉、林清正、宋時驊、李昆杰（2001）從台灣中部地區西部麓山帶的地質構造來看集集地震斷層的特性。地質，第 21 期，1 卷，第 19-36 頁。
- 陳文山、楊志成、楊小青、劉進金（2003a）從火山地形探討大屯火山群的地層層序與構造。經濟部中央地質調查所彙刊，第 16 號，99-123 頁。
- 陳文山、石瑞銓、楊小青、楊志成、葉明官、李龍昇、劉力豪、顏一勤、彭秋雯、張徽正、林啟文、陳于高、李元希、林偉雄、石同生、盧詩丁（2003b）梅山斷層的構造特性與古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，第十四號，150-160 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、石同生、盧詩丁（2004）從構造地形探討嘉南地區的活動構造。經濟部中央地質調查所彙刊，第十七號，53-77 頁。
- 陳文山、陳于高、楊志成、顏一勤、楊小青（2006）地震地質與活動斷層資料庫建置—槽溝開挖與古地震研究（5/5）。經濟部中央地質調查所研究計畫報告與總報告。
- 陳文山、楊志成、楊小青、劉進金、詹瑜璋、謝凱旋、謝有忠（2007）從 LiDAR 的 2 公尺 × 2 公尺數值模擬地形分析大屯火山群的火山地形。經濟部中央地質調查所彙刊，第二十號，101-128 頁。
- 陳文山、林朝宗、楊志成、費立沅、謝凱旋、龔慧敏、林佩儀、楊小青（2008）晚期更新世以來台北盆地沉積環境與構造演化的時空演變。經濟部中央地質調查所彙刊，第二十一號，61-106 頁。
- 陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2009）地震地質與地變動潛勢分析計畫斷層長期滑移速率與再現週期研究（3/4）—期末報告書。經濟部中央地質調查所研究報告第 98-9 號。
- 陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2010）地震地質與地變動潛勢分析計畫斷層長期滑移速率與再現週期研究—總報告。經濟部中央地質調查所。
- 陳肇夏、吳永助（1971）臺灣北部大屯地熱區之火山地質。中國地質學會會刊，第 14 號，5-20 頁。
- 張憲卿（1994）大甲圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖第 17 號。經濟部中央地質調查所，共 63 頁。
- 張憲卿（2008）嘉義圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖第 44 號。經濟部中央地質調查所，共 81 頁。
- 彭秋玟、石瑞銓、張徽正、林啟文、陳文山、石同生、盧詩丁（2004）梅山斷層與其淺部剪切帶構造特徵。經濟部中央地質調查所特刊，第 15 號，85-98 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。
- 黃明哲、王文龍、潘國樑、顏滄波（1985）活動斷層之航照地研究（二）：嘉義梅山地震斷層研究。行政院國家科學委員會防災科技研究報告 73-29 號。
- 黃鑑水、李錦發、劉桓吉（1991）台灣北部金山斷層之地質調查與探勘研究。行政院國家科

學委員會防災科技研究報告 80-17 號，共 23 頁。

黃鑑水、張憲卿 (1994) 臺中縣大甲溪右岸之三義斷層露頭。地質，第 14 卷，第 1 期，248-250 頁。

黃鑑水、張憲卿、劉桓吉 (1994) 臺灣南部觸口斷層之地質調查與探勘。經濟部地質調查所彙刊，9 號，51-76 頁。

黃鑑水 (2005) 台北圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖，第 4 號，第三版。經濟部中央地質調查所出版。

詹瑜璋、李建成、鄭鼎耀、劉進金、陳文山、胡植慶、陳柔妃、徐偉城 (2005) 大台北地區特殊地質災害調查與監測—高精度空載雷射掃描 (LIDAR) 地形測製與構造地形分析 (1/3)。經濟部中央地質調查所研究報告 94-04 號，共 143 頁。

葉明官、陳文山、石文卿、陳若玲 (2000) 從震測剖面來看梅山斷層的特性。中國地質學會八十九年度年會，第 106-108 頁。

董德輝 (1987) 臺灣西南部梅山活動斷層的活週期及機制。台灣大學地質學研究所碩士論文，共 65 頁。

劉桓吉、李錦發、紀宗吉 (2004) 雲林圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖第 38 號。經濟部中央地質調查所，共 65 頁。

鄭世楠、張建興、吳健富、葉永田、辛在勤 (1997) 日據時期臺灣地區地震資料之整理 (I) (II)。中央研究院地球科學研究所與中央氣象局，IESCR-9703，1-1352 頁。

鄭俊昇 (1995) 大屯火山區的裂理系分析。國立中央大學應用地質研究所碩士論文。

盧詩丁、張徽正 (1999) 簡介地震與活動斷層調查案例—梅山斷層的調查與回顧。地質，第 18 卷，第 2 期，第 29-51 頁。

盧詩丁、劉彥求、衣德成、鍾令和 (2005) 山腳斷層調查與研究。經濟部中央地質調查所九十三年度報告書，第 100 頁。

蕭力元、黃旭燦、鄧屬予、林國安 (1998) 台灣新畿褶皺帶南段的構造特徵。台灣石油地質，32 期，133-153 頁。

賴慈華、賴典章 (2002) 麥寮、西螺、台西、北港圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖編號之第 29(麥寮)、30(西螺)、36(臺西)、37(北港)號圖幅。經濟部中央地質調查所，共 59 頁。

羅偉、吳樂群、陳華玟 (1999) 國姓圖幅及說明書，五萬分之一臺灣地質圖，第 25 號。經濟部中央地質調查所出版，共 71 頁。

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

Chen, W.S., Chen, Y.G., Shih, R.C., Liu, T.K., Huang, N.W., Lin, C.C., Sung, S.H., Lee, K.J. (2003) Thrust-related river terrace development in relation to the 1999 Chi-Chi earthquake ruptures, Western Foothills, central Taiwan. *J. Asian Ear. Sci.*, 21, 473-480.

Chen, Y.G., Hung, J.H., Lai, K.Y., Lin, Y.N., Wilcox, T., Mueller, K. (2007) River Terrace Development in Response to Folding above Active Wedge Thrusts in Houli, central Taiwan. *J. Asian Ear. Sci.*, doi: 10.1016/j.jseas.2006.07.023

Dominguez, S., Avouac, J.P., Michel, R. (2003) Horizontal coseismic deformation of the 1999 Chi-Chi earthquake measured from SPOT satellite images: Implications for the seismic cycle along the western foothills of central Taiwan. *J. Geophys. Res.*, 108, B2, 2083, doi:10.1029/2001JB000951

Delcaillau, B., Deffontaines, B., Floissac, L., Angelier, J., Deramond, J., Souquet, P., Chu, H.T., Lee, J.F. (1998) Morphotectonic evidence from lateral propagation of an active frontal fold; Pakuashan anticline, foothills of Taiwan. *Geomorphology*, 24, 263-290.

Hayashi, K. and Suzuki, H. (2004), CMP cross-correlation analysis of multi-channel surface-wave data, *Exploration Geophysics*, 35: 7-13.

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

Huang, S.Y. (2003) Prehistoric Earthquakes along the Shanchiao Fault, Taipei Basin, Northern

- Taiwan. *A Thesis Presented to the Graduate Faculty of Central Washington University*, 83pp.
- Omori, F. (1907a) Earthquake of Chiayi area, Taiwan, 1906. *Introduction of Earthquake*, 103-147.
- Omori, F. (1907b) Preliminary note on the Formosa earthquake of March 17, 1906. *Bull. Imp. Earthquake Investigation Committee*, Vol.1, no.2, 53-69.
- Park, C.B., Miller, R.D. and Xia, J. (1999), Multichannel analysis of surface waves, *Geophysics*, 64(3): 800-803.
- Shih, R.C., Lin, C.W., Liu, H.C., Lu, S.T. (2006) Northward extension of the Shanchiao fault in northern Taiwan from the shallow seismic reflection images. *West Pacific Earth Sciences*, 6, 150-168.
- Simoes, M., Avouac, J.P., Chen, Y.G., Singhvi, A.K. Wang, C.Y., Jaiswal, M., Chan, Y.C., Bernard, S. (2007) Kinematic analysis of the Pakuashan fault tip fold, west central Taiwan: Shortening rate and age of folding inception. *J. Geophys. Res.*, 112, B03S14, doi:10.1029/2005JB004198
- Suppe, J., Namson, J. (1979) Fault-bend origin of frontal folds of the western Taiwan fold-and-thrust belt. *Petrol. Geo. Taiwan*, 16, 1-18.
- Teng, L.S. (1996) Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt. *Geology*, 24, 950-952.
- Xia, J., Chen, C., Tian, G., Miller, R.D., and Ivanov, J. (2005), Resolution of high frequency Rayleigh-wave data, *Journal of Engineering and Environmental Geophysics, Special Issue: Seismic Surface Waves*, 10(2): 99-110.
- Xia, J., Miller, R.D. and Park, C.B. (1999), Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves, *Geophysics*, 64(3): 691-700.
- Yue, L.F., Suppe, J., Hung, J.H. (2005) Structural geology of a classic thrust belt earthquake: the 1999 Chi-Chi earthquake Taiwan ($M_w = 7.6$). *J. Struct. Geol.*, 27, 2058-2083.