

重要活動斷層調查特性研究— 近斷層高精度地形資料之判釋與分析(2/4)

主管單位：經濟部中央地質調查所

盧詩丁¹、劉彥求¹、張國楨²、徐濬德³、陳柔妃⁴、詹瑜璋⁵、
葉恩肇⁶、賴光胤⁵

¹中央地質調查所；²臺北科技大學；³臺灣大學；

⁴中國文化大學；⁵中央研究院；⁶臺灣師範大學

摘要

台灣地區地震密集、構造發達，近百年來已發生多次嚴重的地震，造成生命財產重大損失。活動斷層的精確位置與斷層活動伴生的構造地形是斷層後續研究與活動斷層地質敏感區劃定的重要基礎。「重要活動斷層調查特性研究—近斷層高精度地形資料之判釋與分析(2/4)」，計畫中利用目前已有 LiDAR 數值地形模型資料基礎進行活動斷層及鄰近區域之構造地形分析。本年度(民國 101 年)根據現有之 LiDAR 資料庫，進行台灣南部區域的活動斷層調查工作，預估包含九芎坑、木屐寮、六甲、新化、後甲里、左鎮、小崗山、旗山及潮州等九條活動斷層之構造地形分析、構造線形位置數化，並藉以編修上述九條活動斷層之條帶地質圖。年度工作項目，一共完成下列數項工作：(1)運用 LiDAR 所呈現之原始地形資料來製作及呈現紅青及全彩之三維地形影像。(2)運用 LiDAR 資料來研判活動斷層及鄰近區域因構造活動產生之線形位置、地形異常與可能之構造活動性。(3)將過去調查成果、地質圖資料套疊投影於其上比對分析，編修現有活動斷層附近之構造線形位置。(4)依據 LiDAR 資料進行活動斷層沿線附近二萬五千分之一局部編修後之條帶地質圖三維紅青立體數值影像圖製作。透過本計畫，建立高精度地形資料庫中活動斷層之構造地形 GIS 圖層和屬性，以提供政府機關之自然災害防救護及國土規劃之參考。

關鍵詞：活動斷層、構造地形、活動斷層條帶地質圖、空載光達掃描資料、數值地形模型、三維紅青立體影像

ABSTRACT

Taiwan is situated on an active orogenic belt and therefore possesses high seismicity and frequent geological hazards. More than 9 severe inland earthquakes have been recorded since last century. Unfortunately, most of the seismogenic faults pass across dense population areas and cause severe damage. The morphotectonic analysis provides not only the precise location and the activity of the faults, but provides also the fundamental information for geologic hazard assessment. To better constrain the potential threat brought by fault movements, the active faults morphotectonic study is thus been analyzed by using the Airborne LiDAR data. Based on LiDAR data, we focus on morphotectonic features analysis of totally 9 active faults in southern Taiwan, including the Chiuchiungkeng Fault, the Muchiliao Falut, the Liuchia Fault, theHsinhua Fault, the Houchiali Fault, the Tsochen Fault, the Hsiaokangshan Falut, the Chishan Fault and the Chaochou Fault. For the moment, we reached the following objectives, results and conclusions: (1) generate 3D anaglyph images based on existed high resolution 1m LiDAR-derived data; (2) analysis the detail structural characteristics by applying the LiDAR data; (3) to digitize the fault traces of active faults and its associated structures; (4) evaluate and modify the strip geologic map within the study area, and generate near fault 3D geologic anaglyph images. Based on this analysis, the results may suggest some possible sites for field investigation and provide GIS dataset for other further applications.

KEYWORDS: Active Faults, Morphotectonics, Strip Map of Active Faults, Airborne LightDetection And Ranging (LiDAR), Digital Terrain Model, 3-D Anaglyphimage

一、計畫概述

台灣位處於活動造山帶上，構造活動發達，因此活動斷層不可避免地廣泛分布於人口稠密地區(張徽正等，1998；林啟文等，2000)；近百年來已經發生多次嚴重的地震與地表破裂，造成民眾生命與財產的重大損失。因此長久持續且廣泛的研究方能對活動斷層特性有更深入的了解，也是達成地震防減災的不二法門。過去斷層的研究常受限於地形資料解析度不足或因台灣地區地表植生茂密且地表作用快速、野外露頭出露不易，因而影響研究工作進行，調查資料精度、數量與精細的斷層分析亦隨之受限。

鑑於這些活動斷層常因地表可供判斷的高程資料有限，其詳細的斷層跡分布與斷層特徵行為，仍有相當討論與臆測的空間。為了改善並增強辨識活動斷層的基本資料(Harding and Berghoff, 2000；Chan et al., 2004; Chang et al., 2010)，並更進一步瞭解構造地形相關的問題與思考其工程應用，我們需要測製更高解析度與精度的數值高程模型，作為未來活動構造地形研究的基礎。

本計畫利用現有空載光達掃描技術(Airborne Light Detection and Ranging, 簡稱為LiDAR)所獲取的高解析度與高精度數值地形模型資料庫，應用於研究分析台灣中、南、東部，以及北部局部區域之構造地形分析，以判釋研究區域的活動構造之地形特徵，進行斷層所在精細位置之研判，並進行野外查驗。另運用高精度LiDAR資料構造地形判釋成果來編修及建置活動斷層線形位置之GIS圖層和屬性表。本計畫研究分析台灣地區現已公佈之三十三條活動斷層。本年度(民國101年)依據建置完成之台灣南部區域八八水災後LiDAR數值地形模型資料庫，進行台灣南部區域的活動斷層調查工作，預估包含新化、後甲里、左鎮、小崗山、旗山、潮州、木屐寮、六甲及九芎坑等九條活動斷層的精細構造地形分析及地質圖資料庫之建置工作。

全程四年計畫目標有四項：(1)運用LiDAR所呈現之原始地形資料來製作及呈現三維地形影像。(2)運用LiDAR資料，以構造地質學與構造地形學之研究經驗與方法，來研判構造活動產生之線形位置、地形異常與構造可能之活動性。(3)將過去調查成果、地質圖資料套疊投影於其上比對分析，修正現有之活動斷層條帶地質圖與構造線形位置圖。(4)運用三維影像技術，建立相關圖層之三維紅青立體影像圖，以方便後續其他工作的研判及分析。

透過本計畫之執行，預期達成下列數項成果：(1)建立運用LiDAR資料所判釋之活動構造地形特徵判釋，並評估活動斷層微地形所在精細位置；(2)運用LiDAR資料數化活動斷層位置及構造地形相關之GIS圖層和屬性表；(3)運用LiDAR資料製作三維紅青立體數值地形圖及地質圖影像。本計畫可以較精確評估活動斷層位置分布、並提供條帶地質圖等相關資料之編修。本計畫引用最新科學技術，可促進國內學術發展與技術升級，並且結合及培育國內地球科學、遙測科學、與工程應用等跨領域科技人才。此外，本計畫可提供精確地形數值資訊，提升土地利用規畫效益，並可提供政府與民間各層面相關資訊，以達成事先防範災害與環境保育。

二、研究方法

為求取精確之活動斷層所在及可能受影響之構造地形所在位置，我們收集相關參考文獻，以及地質圖、地形圖與航空照片，並購買各年度地質研究重點地區相關的衛

星與航照影像。運用 LiDAR 資料庫中數值高程模型(Digital Elevation Model, 簡稱 DEM)及數值地表模型(Digital Surface Model, 簡稱 DSM)資訊, 結合現有之地質圖, 首先建立及整合斷層及斷層附近精細三維之地形、地質影像資料; 依據活動構造地形及地貌上所呈現之活動地形及地形異常之特徵, 為更清晰地分析研究地區的構造地形, 我們藉由已有之雷射掃描數值高程模型, 利用 3D 影像處理來凸顯活動構造地形特徵, 並直接於三維影像上研判構造線形所在之位置。

構造地形調查內容包括定性的地形特徵描述繪圖, 例如, 褶皺、斷層、地形線形、水系分布及異常、河階分布及其傾斜狀況。另一方面, 結合現有之地質圖資料庫, 並同樣把現有之地質圖及活動斷層線形資料庫投影至三維之地形面上, 以相互印證所判識之結果。此外, 參考前人相關研究後, 選定數條截切過斷層之地形剖面, 利用雷射掃描數值高程模型, 配合使用 ArcGIS 地理資訊系統中之地形分析功能, 辨識更詳細之微地形起伏面。在製作構造地形剖面圖階段, 將已知地質資料(構造與岩層之分布、位態以及相對應之層位資料等)轉繪至剖面圖上, 以呈現各地形面之特性與地表地質相對應的關係。經由整合地質資料及構造地形分析結果, 依據 LiDAR 資料呈現二維或三維立體影像, 同時檢測及建置活動斷層附近之二萬五千分之一條帶狀地質圖及構造線形位置圖。

本計畫主要研究分析工作於室內完成, 並視實際需要, 進行野外地質查核工作, 包括在野外檢驗室內所做之地形構造分析結果、野外勘查活動構造地形特徵、分析活動構造的地表變形等。兩者相互配合及印證; 同時不僅可以查核所判釋之活動斷層之地表特徵, 也可提供及建議地面上地表地質調查工作之進行及未來進行地面查核所在點之參考依據, 並提供到達現地之方式及交通資訊。

三、構造線形判釋與分析成果

本計畫運用 1 公尺雷射掃描空載光達數值高程模型, 利用三維紅青立體影像技術來凸顯地形地貌, 分析活動構造之地形特徵, 並直接於三維影像上研判構造線形所在之位置, 來建置數值資料庫。本年度計畫總涵蓋面積範圍約 1184 平方公里, 其分佈位置及構造線形判釋成果如圖 4-1 所示。以下針對各斷層及鄰近區域次生構造之分析成果簡述如下:

新化斷層:本斷層主呈東北東走向, 長度約 5 公里, 主呈右移形式。本斷層於 1946 發生錯動, 造成規模 6.3 之地震, 記錄之位移量為右移量 2.0 公尺, 傾向移動 0.76 公尺, 斜移量 2.14 公尺, 東南側為降側(張麗旭等, 1947)。李錫堤等人(2000)於槽溝開挖中, 指出本斷層為一走向滑移之斷層, 伴隨形成花狀構造, 另於槽溝內找出四層古土壤面, 指示可能有四次古地震事件。跨斷層剖面的速度場變化分析結果顯示, 1999-2006 年間, 新化斷層呈右移為主兼具壓縮形式(饒瑞鈞等, 2006)。本區域內多處植生茂盛, 故透過 LiDAR 資料之運用, 當可呈現較完整之地表線跡及 1946 年之地表破裂線位置。

利用 LiDAR 影像資料顯示, 新化斷層線形東起那拔林附近, 往西經畜產試驗所, 再往西至新化市區北側, 主要地形特徵為西側之平坦沖積平原區及東側之低緩丘陵帶, 兩類地形交界不甚明顯。台地面上可見北北東走向之地形崖, 尤其主見於畜產試驗所

南側，本地形崖和深坑子溪近乎直交，應可排除為沿著河流發育之河蝕崖，指示其受地質構造主控，及其活動之可能性，野外實際查核，斷層分支之變形帶有明顯的撓曲崖。相較於上述地形崖，傳統上所指示之斷層位置其構造地形反而不甚清晰明顯。斷層再往東，於那拔林南側 1 公里處之新化第六公墓，似可見另一錯斷山脊及斷層鞍部等活動構造地貌。高速公路以東，可能受人為開發、斷層帶變寬及地形面平坦等影響，精細之數值高程模型無法呈現出地形異常。

後甲里斷層：本構造線形位於台南台地東緣，長度約 12 公里。林朝榮(1957)首先指出台地東緣有一直線狀崖，且其地層向東傾斜 15-30 度，故推測為一高角度正斷層。大部分學者推估斷層面向東傾，為一高角度逆斷層(Hsieh, 1972；陳于高,1993；郭炫佑,1999)，然亦有部分的學者認為屬一為斷面傾向西的逆斷層(Sun, 1964；李錫堤, 2002)；因地表無斷層出露，尚未有定論。近期以來，Fruneau 等人(2001) 利用合成孔徑雷達差分干涉測量法，測量台南台地在 1996 至 1998 年間的地表變位量，發現本區附近呈抬昇。饒瑞鈞(2003)亦從 1999 至 2003 年間之 GPS 與精密水準測量資料求得台地近期的抬升速率為 11 mm/yr，指出本區之活動性。

LiDAR 影像資料顯示，後甲里斷層線形北起台南永康市附近，往南經崑山、仁德，再往南至蔦松西側，主要地形特徵平坦沖積之平原區，中段為微傾向西側之台南台地，地形由西南東漸高，於台地東緣，地形突然陡降；邊緣中段局部區域並呈兩階變化。台地東緣東側地形再度平坦、一致。構造地形特徵，其中台南台地東翼明顯地較西翼陡峭，從高差上可以判釋至少存在兩階面，在北端永康至後甲一帶，除了原有的斷層線形之外，位於西側 100 公尺處，在地形上具有更為明顯的線形崖，反應了斷層活動的跡象。由於本斷層位於平原區內，相較於周圍的平原地形，台南台地的輪廓顯得份外清晰，台地東緣後甲里斷層之線形崖，北起永康向南延伸至虎山一帶。

左鎮斷層：本構造線形位於台南縣新莊至三角潭之間，長度約 11 公里。本斷層最早由衛星影像辨認出線形，因此研判斷層存在之可能性(Wang, 1976)，饒瑞鈞等(2006)的跨斷層剖面速度場變化分析結果顯示，1999-2006 年間左鎮斷層的運動為逆移兼具右移分量。但野外指出之斷層或斷層之擾動帶不甚清晰，且野外地層岩性分辨不易，故斷層之活動性仍存疑；透過 LiDAR 精細之地表特徵，相信更能清楚指出斷層之性質及活動性。

LiDAR 影像資料，並對比前人研究成果，左鎮斷層線形西北起石子崎附近，往西南經後、左鎮、睦光、三角潭、坑口，再往東西南延伸約 1 公里，主要地形為一系列起伏之低緩丘陵，於中間區域為發育於低緩丘陵帶內之菜寮溪河床所在位置，可能受岩性影響，發育一系列曲流，並於河岸兩側形成一系列河階台地。

全台 5 公尺解析度之數值地形模型中，其地表線形之特徵極不清晰，僅中段區域可能呈現一點地形異常。1m 解析度之 LiDAR DEM 資料，於山上一坑口之間，沿菜寮溪主流及支流河床所在位置，於兩岸發育一系列曲流，及至少三階、不同高度之河階，其中睦光一內庄之間，河階所在高度最高。除了河階台地外，受岩性影響，其他主要地形為一系列高低起伏之低緩丘陵區。針對所謂活動構造地形，本研究區內所謂之左鎮斷層，除了西北側，位於石仔崎—卓猴之間，或許可發現局部異常之地形外，其餘地方未見活躍之地形特徵；另外針對石仔崎—卓猴間之可能異常地形，因線形近乎東

西向延展，且線形長度最長者，僅約 2.1 公里，似乎未能成為重要線形。本區域之側視三維地形特徵及相對應之構造地形判釋，可能受人為開發、斷層帶變寬及地形面平坦等影響，精細之數值高程模型無法呈現出地形異常。

小崗山斷層：本斷層呈北北東走向，北起阿蓮南蓮村南至燕巢瓊林村，全長約 6.5 公里。孫習之(Sun, 1964)依據航照判釋，推論本構造線為一逆斷層。沈淑敏等人(2006)亦從航照判釋，指出六段線形小崖。由地下鑽探結果顯示，小崗山斷層可能屬於盲斷層(林啟文等，2010；陳文山等，2010)，因斷層尚未出露至地表，故斷層特性尚未有定論。

LiDAR 影像資料顯示，小崗山斷層線形北起阿蓮—建國之間，往南經營盤、土庫、田厝，再往南至小崗山、大莊。主要地形特徵為西側平坦之沖積平原，東側則為起伏低緩之丘陵帶，兩者地形交界處，可見一突出之高區—大崗山及小崗山，其地形變化較大；東北側牛寮溪附近及南側阿公店水庫下游亦在低緩傾向西側之台地面上發育曲流。小崗山主要地形特徵為西側平坦之沖積平原，東側則為起伏低緩之丘陵帶，主要地形特徵為可見一隆穹高區—大崗山及小崗山，兩者地形交界處，可見一呈北北東走向之地形小崖，其高差約 4~6m。

LiDAR DEM 判釋結果指示小崗山斷層地表線形位於平原與低緩之丘陵交界處，呈北北東走向，主要之構造地形特徵為構造小崖，以及崖線上方附近伴生之緩起伏面(小褶皺或壓力脊)，線形位置大致和地調所活動斷層位置相近。於大崗山北段，可見一系列之東北—西南向之節理發育，節理長者可達 1.5 公里。於大、小崗山前緣平坦地近公里處，可見一北北東走向之地形小崖，此坡高約 4~6m，線崖兩側地形平坦，但下邊坡近崖處，地形面凹向上，於線崖上形成一地形反曲點，過地形崖後，地形面坡度漸緩，並呈一南北沿長之凸起，形成所謂之褶皺，此地形崖和區內主要溪流流向直交，反應地形崖非河流所造成，另外線形沿長，但和區內之農田規劃方向不一致，亦可排除人為開發之干擾；基於上述觀點，推論此地形崖為構造活動所引致，並展現其構造之活動性。經由野外實際的調查，我們亦可發現可能之斷層之變形帶有明顯的撓曲崖。然而目前尚未直接發現野外實際斷層露頭，還無法判定斷層是否已切至地表。

旗山斷層：本斷層北起杉林、甲仙、向西南經旗山，以至燕巢，長約 46 公里。為一斷層面向東傾之逆斷層，並帶左移分量。其中，由西南段地表線形特徵較清楚，且野外露頭指出，主斷層帶為一寬度約 10 公尺之斷層泥及破碎岩所組成，且在上盤破碎帶甚寬，並伴隨分支斷層；斷層擦痕及剪動顯示該斷層為一逆衝左移斷層；近來大地測量結果顯示本區附近壓縮量達 10 mm/yr 以上，指示本區之活躍性。

LiDAR 影像資料顯示，旗山斷層線形北起南寮，往西南經上洲里、武鹿坑、田草寮、烏山、南勢湖、千秋寮、奧深水，再往西南至橫山附近。主要地形特徵為西北側為高低起伏之丘陵帶，東南側為受高屏溪沖積之平坦沖積平原區。其中較高陡而沿長之丘陵，呈東北—西南走向，橫互了圖面中段區域，為最明顯之地形特徵。西北側低矮丘陵，因受控於岩性之影響，地形雖不高，但起伏明顯。

LiDAR DEM 資料指示斷層北段線形於三桃山附近，似可見斷層鞍部線形；於三桃山—武鹿坑之間，線形分叉為二，可能指示為斷層鞍部線形，但本區因地層似和斷層位態一致，且岩性差異等，無法排除非構造活動因素所造成之影響，由野外實際的

調查，我們亦可發現可能之斷層變形帶，礫石堆積層下方可見一疑似破碎之斷層角礫堆積區。旗山斷層中段區域，武鹿坑—千秋寮附近，斷層線形清晰，本段線形位置和前人分析結果差異不大，主要線形特徵為斷層鞍部、兩側岩層位態些微差異及地形地貌不一等特徵，野外實際的調查，我們亦可發現清楚之斷層泥及斷層變形帶，其中局部區域之斷層泥厚度超過3公尺，或可指示為一重要斷層，另外於新養女湖附近，亦似可見一厚層斷層泥，唯因野外露頭無法直接到達，只能以遠觀方式為之，此兩露頭或可指示斷層之延伸性。旗山斷層南段，千秋寮—深水之間，本段區域即為斷層分叉區(含深水坑斷層)，構造線形和前人研究結果差異較大，西側線形，因人為開發影響，無法連續追蹤，故線形連續性不佳。西側線形，尤其本線形之南段部份，和前人判釋結果差異最大，本線形位置主要判定依據為線形兩側岩層位態直交，且局部區域似可見斷層鞍部。深水西南側，因斷層進入平原區，受人為開發影響，且斷層可能漸次尖滅，未見明顯之地表線形跡象。

斷層往東北跨過旗山溪(楠梓仙溪)，經由5m DTM判釋，可見線形似乎往東北延伸，長度超過7公里，本線段和前人所述之內英斷層位置一致。由LiDAR資料，似亦可見斷層鞍部線形，但本區因地層似和斷層位態一致，且岩性差異等，無法排除岩性差異所致、並非構造活動因素所造成之可能性。

潮州斷層：本斷層位於中央山脈及屏東平原交界帶，呈南北走向，長度超過75公里，為一逆衝、並具左移分量斷層。石再添(1984)由航照及地形判釋指出一系列地形反斜崖，另陳文山等人(2004b)由線狀崖彎曲度及板岩分佈，研判斷層所在位置位於西側之線狀崖，而非石再添等人所指示之東側線形崖。斷層北段因階地或沖積扇所掩蓋，推論為盲斷層形式，南段則造成沖積層之撓曲，推論晚近可能有活動過之跡象。

研究區域中，前人文獻指出潮州斷層北段線形北起綠茂、寶來，往南大致延著荖濃溪溪谷走，經荖濃、苦苓腳、新發，至六龜附近。LiDAR資料指示寶來—六龜之間，及位於新發、六龜、新威，至新寮之間主要地形特徵，其兩側同為高陡之山嶺，中間夾一低矮狹長之荖濃溪溪谷。原先地調所劃定的潮州斷層位置圖中，斷層自六龜切過荖濃溪階地後，主要沿著中央山脈前緣西側往南延伸，經沖積扇西側階崖或切過部分沖積扇。在斷層北段中唯一較清楚之可能線形，出現於頂新發—苦苓腳—新發之間，推測可能屬一反斜崖，但亦無法完全排除為荖濃溪河道侵蝕後，再改道而遺留此一地形崖，由野外的觀查可指出此一地形崖；但於同一線形位置上亦可見疑似為構造變形所引致之人工結構物變形，呈線狀排列，唯其變形量仍小。再往南，可能肇因於荖濃溪沉積物的掩蓋，構造地形特徵即不明顯，如圖4-106之三維地形特徵所示。

往南，斷層中北段線形位於大津、長興，之後似分叉為二，東段經青葉、大埔頂、安坡、馬兒，至口社溪溪口，西段經拐仔手、鹿場頂、寮地、中埔腳、至泰山；地形特徵區域東緣為高聳之山岳地區，西側則為開闊平坦之沖積平原，兩者交界處，發育不少山麓前緣之扇階。構造線形分析中山麓前緣及山麓前緣沖積扇之間，呈現一清晰之線形，並於青山附近再次分叉為二，此兩線形均清晰、並延長。圖中可見北半部(沙漠溪以北)的沖積扇其西側呈現明顯的河蝕崖，而南半部(沙漠溪以南)的沖積扇其西側則有明顯的構造線形，據此可推測斷層線形往北延伸應在北半部沖積扇河蝕崖更西側的位置；沖積扇東側與山脈西緣，構造線形通過，構造地形特徵明顯，例如在沙漠溪

的河階上可發現一與河流垂直的線崖，推測應與構造活動有關。野外查核中，亦可見相關之地形特徵。

再往南在隘寮溪兩側，位於三地門、泰武、古樓，以致七佳，地形上同為東高西低，西側為開闊平坦之沖積平原，東緣為高聳之山岳地帶。隘寮溪北側的沖積扇，除了西側有構造線形外，沖積扇的東半部上有很多分支的構造線形分布，地表變形特徵較為複雜。再往南，位於古樓—玉泉之間，分叉之潮州斷層可能重新匯集於嚮潭—獅潭附近後；大致上來說，潮州斷層南段區域的線形，可能都因為河流的作用而被侵蝕與掩蓋，僅於零星之山麓邊緣或可見到一點線形特徵，但證據並不明顯。

木屐寮斷層：本斷層由孫習之(Sun, 1970)利用航照判釋發現，線形呈北北東走向，延伸約 7 公里，具有斷層小崖、三角切面等地形特徵。楊貴三(1986)由地形特徵亦推測斷層存在的可能。沈淑敏等人(2006)指出本斷層線形因位於平原及丘陵交界處，地形落差大。唯斷層可能因未出露至地表，相關論證尚存爭論。

LiDAR 數值地形模型資料指示本斷層北起八掌溪上游鹿寮溪水庫，經汴頭、白河水庫西側、木屐寮、東河，以至荊桐崎；附近地形特徵東側為低緩丘陵地，西側為平坦之河階及沖積平原。LiDAR 資料判釋，木屐寮斷層的變形帶主要沿西南部麓山帶的前緣分布；自崎內往南在平原與丘陵的相接處有明顯的構造崖形成的線形，斷層穿過白水溪也在其河階造成明顯的構造崖，野外調查中，亦可清楚指出構造崖可能所在位置。在木屐寮以南，除了沿丘陵前緣的顯著線形外，在其西側平原有另一線形分支，造成丘陵前緣的扇階，此與利用地球物理探勘和鑽井資料推測有分支斷層的存在一致，且此線形可往南延伸至六重溪北岸，其再往南過六重溪後或可與六甲斷層相接，經由野外實際的調查，我們發現木屐寮斷層變形帶有明顯的撓曲崖，然而目前尚未發現野外實際斷層露頭，還無法判定斷層是否已切至地表。

六甲斷層：本斷層位於台南東山至六甲附近的山麓，呈北北東走向，長度約 13 公里(石再添等，1986)。六甲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，且岩層位態和構造走向一致，因此無論在地形圖上或航空照片上均呈現出相當明顯的地形線形。林啟文等(2000)指出本斷層可能是沿著向斜軸部發育的逆移斷層，斷層可能尚未穿出地表；另楊志成等(2005)則推論斷層在地下淺部可能截切全新世地層。饒瑞鈞等(2006)亦由大地測量結果，指出六甲斷層上下盤有明顯的壓縮量，並兼具右移分量。然而因缺乏地表的地層錯動證據，斷層之存在及活動性仍存爭議。

LiDAR 影像資料顯示，六甲斷層線形北起荊桐崎、經急水溪、尖山埤水庫，再往南至烏山頭水庫附近，研究區附近東南側地形為較低緩之丘陵區，西北側為急水溪所沖積而成之平坦河階地及平原；兩類地形交界處，其地形變化快速、且地形變化明顯，此交界即為常見之地質構造所在或岩性邊界，此外亦可見河流發育於低緩丘陵帶內，呈曲流形態發育，並於河岸兩側形成一系列河階台地。LiDAR 資料所顯示出來的地形特徵，大致上來說，本斷層的變形帶較為單純，構造線形主要位於丘陵地區與平原地區交界，即沿著西南部麓山帶的西緣分布，北起台南東山，南至六甲附近的山麓，其北段或可與木屐寮斷層相連。南二高東山服務區附近之構造地形分析結果，顯示急水溪南側有較清楚的地形崖發育。由野外實際調查，在二重溪可發現抬升的基盤岩層與

上覆的河階堆積，其南岸在平原與丘陵相接的位置也發現明顯的撓曲崖，顯示六甲斷層在地表造成的變形，但實際斷層露頭目前並未發現。

九芎坑斷層：本斷層北起古坑、南至嘉義縣竹崎，全長約 16 公里。野外露頭指示斷層面呈北北東走向，傾向東約 30~35 度，斷層擦痕指出呈逆衝、並具有右移的分量(林慶偉等人，1999；許晉耀，2003)。河流剖面分析及近期之大地測量結果，指示了此一構造具相當之活動性(陳柔妃，1999；饒瑞鈞等，2006； Yang et al.)。

LiDAR 影像資料顯示，九芎坑斷層線形北起古坑荷苞山南側，向南經梅山到牛稠溪南岸崎頭附近；研究區附近東側地形為較高聳之丘陵區，西北側古坑鄉附近為由虎尾溪及三疊溪所沖積而成不同高度之平坦河階地，西南側則由較低矮、但地形起伏較大的丘陵地所組成。

前人研究指出本斷層北端止於石牛溪附近，被古坑斷層所截切，綿延數百公尺的斷層露頭由數條分支斷層所構成，卓蘭層逆衝至階地礫石層之上，並在河流階地上西北—東南向的線形構造；於石牛溪北岸可見三道西北向線形，往西北合併為一，位置近於所謂之內磅斷層，並於荷苞山前緣再匯合於桐樹湖斷層，值得注意的是本三條小線形，似乎有截斷過石牛溪北岸不同高度之河階，似可指示為更為晚近之事件，野外調查中，亦可清楚指出構造崖可所在位置並在線形位置上，直接於野外查核處可見斷層卓蘭層逆衝至階地礫石層之上。斷層再往南，地形崖明顯，並可於大湖口溪附近，再次相關之野外地形崖及斷層露頭。本斷層帶的寬度愈往南斷層帶的寬度逐漸減小。在地形上，於隘寮北側斷層造成數條平行的小崖，構造地形特徵亦明顯，尤其主見隘寮西側，野外調查中亦可清楚指出構造崖。再往南，斷層附近之地形稍不清楚，但仍可指示可能之構造線形位置，再往南至竹崎附近，於牛稠溪河床可見一清楚之地形崖，崖線垂直河流流向，指示本線形主受構造之活動所影響，再往南，地形特徵則漸不明顯，向南止於竹崎斷層。

參考文獻

1. 石再添、張瑞津、鄧國雄、石慶得、楊貴三、許明陽 (1984) 臺灣西部與南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 10 期，49-94 頁。
2. 石再添、鄧國雄、張瑞津、石慶得、楊貴三 (1986b) 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。
3. 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—活動構造地形及資料庫建置分析(1/2)。經濟部中央地質調查所研究報告 94-6 號，共 80 頁。
4. 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正 (2000) 台灣活動斷層概論第二版，五十萬分之一台灣活動斷層分布圖說明，經濟部中央地質調查所特刊，第十三號，共 122 頁。
5. 林慶偉、吳炫宗、蕭崇利 (1999) 嘉義地區活動斷層研究：梅山斷層與九芎坑斷層之初步研究。中國地質學會 88 年年會論文集，279-280 頁。
6. 林煌棋(1996) 嘉南地區麓山帶地質構造之研究。國立中央大學應用地質研究所碩

- 士論文，共 144 頁。
7. 林燕慧、劉彥求、石瑞銓、陳平護 (2004) 臺南臺地的淺部地下構造與後甲里斷層，經濟部中央地質調查所特刊，第 15 號，第 121-135 頁。
 8. 周飛宏 (2007) 從全新世沈積層序探討台南地區褶皺—逆衝斷層帶的構造特性，國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，共 頁。
 9. 陳文山、李錫堤、陳于高 (2002) 槽溝開挖與古地震研究計畫 (1/5) 經濟部中央地質調查所「地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫」，九十一年度報告 (上)，共 97 頁。
 10. 陳文山、李錫堤(2003) 槽溝開挖與古地震研究計畫 (2/5) 經濟部中央地質調查所「地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫」，後甲里斷層槽溝的古地震研究，九十二年度報告。
 11. 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 (2004b) 從構造地形探討嘉南地震活動構造及構造分區。經濟部中央地質調查所彙刊，第 17 號，53-77 頁。
 12. 陳文山、陳于高、楊小青 (2006) 地震地質調查及活動斷層資料庫建置—槽溝開挖與古地震研究計畫 (5/5) 與總報告。經濟部中央地質調查所研究報告 95-08 號，共 133 頁。
 13. 陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青 (2009) 斷層長期滑移速率與再現週期研究(3/4)，經濟部中地質查所報告第98-9號，共125頁。
 14. 陳于高 (1993)晚更新世以來南臺灣地區海水面變化與新構造運動研究。國立臺灣大學地質學研究所博士論文，共 158 頁。
 15. 陳柔妃(1999)嘉南地區活動斷層之地形計測指標研究。國文成功大學地球科學研究所碩士論文，共 146 頁。
 16. 陳柏村 (2005) 旗山斷層南段變形特性研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 109 頁。
 17. 陳志壕 (2009) 高雄北部海岸平原區末次冰期沈積環境分析—探討褶皺逆衝斷層帶前緣之滑移速率，國立臺灣大學地質科學所碩士論文，共 頁。
 18. 耿文溥 (1981) 台南以東丘陵區之地質，經濟部中央地質調查所彙刊第一號，1-32 頁。
 19. 郭炫佑 (1999)後甲里斷層及其附近構造。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 83 頁。
 20. 翁淑卿 (2002) 台南台地暨鄰近地區之台南層及其構造運動，國立中央大學應用地質研究所碩士論文，共 117 頁。
 21. 郭炫佑 (1999)後甲里斷層及其附近構造。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 83 頁。

22. 許晉耀 (2003) 九芎坑斷層之研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 90 頁。
23. 張中白、陳錕山 (2003) 地殼變形研究計畫，經濟部中央地質調查所 93 年度研究報告，共 227 頁。
24. 張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁 (1998) 台灣活動斷層概論，五十萬分之一台灣活動斷層分布圖說明，經濟部中央地質調查所特刊，第十號，共 103 頁。
25. 張麗旭、周敏、陳培源 (1947) 民國 35 年 12 月 5 日台南之地震。臺灣省地質調查所彙刊，第 1 號，11-18 頁。
26. 黃鐘、詹瑜璋、胡植慶、李建成、史天元、陳于高 (2004) 空載雷射掃描技術製出之數值高程模型之簡介，地質，第二十三卷，第一期，43-54 頁。
27. 黃明哲、王文能、潘國樑、顏滄波 (1985) 活動斷層之航照地質研究(II)嘉南梅山地震斷層研究。國科會防災科技研究報告 73-29 號，共 42 頁。
28. 黃國聰 (1996) 台灣西南麓山帶構造地形之初步研究。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，共 114 頁。
29. 黃勝群、陳彥宏、石瑞銓、張徽正、林啟文、陳文山(2004)新化斷層帶之淺部構造特徵，經濟部中央地質調查所特刊，第十五號，99-110 頁。
30. 楊貴三 (1986) 台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。
31. 楊志成、顏一勤、宋時曄、黃能偉、陳勇全、陳文山、陳宇高、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 號，1-16 頁。
32. 饒瑞鈞、胡植慶、詹瑜璋、洪日豪 (2002) 活動斷層監測系統計畫 (1/5)，經濟部中央地質調查所「地震地質調查與活動斷層資料庫建置計畫」研究報告，共 100 頁。
33. 饒瑞鈞 (2003) 地震地質及活動斷層資料庫建置：活動斷層監測系統計畫 (2/5)，經濟部中央地質調查所，共 140 頁。
34. 饒瑞鈞、景國恩、謝宗訓、余致義、侯進雄、李元希、胡植慶、詹瑜璋、李建成、洪日豪 (2003) 台南台地的地表變形與地震潛能，活動斷層調查研究專刊，經濟部中央地質調查所特刊，第十四號，第 147-156 頁。
35. 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計畫—活動斷層監測系統計畫 (5/5)。經濟部中央地質調查所報告第 95—10 號，共 241 頁。
36. 饒瑞鈞、胡植慶、李元希(2008)地震地質與地變動潛勢分析—地變動監測分析 (1/4)。經濟部中央地質調查所研究報告第 96-11 號。
37. 饒瑞鈞、胡植慶、李元希 (2008) 地震地質與地變動潛勢分析—地變動監測分析

(2/4)。經濟部中央地質調查所報告第 97-10 號，共 270 頁。

38. Fruneau, B., E. Pathier, D. Raymond, B. Deffontaines, C. T. Lee, H. T. Wang, J. Angelier, J. P. Rudant, and C. P. Chang. (2001) Uplift of Tainan Tableland (SW Taiwan) revealed by SAR interferometry, *Geophysical Research Letters*, 28, 3071-3076.
39. Hsieh, S.H. (1972) Sub-surface geology and gravity anomalies of the Tainan and Chungchou structure of the coastal plain of southwestern Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no. 10, 323-338.
40. Omori, F. (1907a) Earthquake of the Chiayi area, Taiwan, 1906. Introduction of Earthquake, 103-147. (in Japanese)
41. Sun, S.C. (1964) Photogeologic study of the Tainan-Kaohsiung Coastal plain area, Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no. 3, 39-51.
42. Sun, S.C. (1970) Photogeologic study of the Tainan-Hsinying coastal plain, Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.7, 133-144.
43. Wang, S. (1976) ERTS-1 satellite imagery and its application in regional geologic study of southwestern Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no. 13, 37-57.
44. Yang, C.C.B., Chen, W.S., Wu, L.C., Lin, C.W. (2007) Active deformation front delineated by drainage pattern analysis and vertical movement rates, southwestern Coastal Plain of Taiwan. *J. Asian Earth Sci.*, 31, 251-264.