

國立中央大學

地球科學學系  
碩士論文

山腳斷層再活動對大台北地區地形變化及  
相鄰斷層庫倫應力之探討

研究生：蔡家民

指導教授：黃文正 博士

中華民國 一百零三 年 五 月



## 國立中央大學圖書館 碩博士論文電子檔授權書

(101 年 9 月最新修正版)

本授權書授權本人撰寫之碩/博士學位論文全文電子檔(不包含紙本、詳備註 1 說明), 在「國立中央大學圖書館博碩士論文系統」。(以下請擇一勾選)

- ( ) 同意 (立即開放)  
(  ) 同意 (請於西元 2016 年 5 月 1 日開放)  
( ) 不同意, 原因是: \_\_\_\_\_

在國家圖書館「臺灣博碩士論文知識加值系統」

- ( ) 同意 (立即開放)  
(  ) 同意 (請於西元 2016 年 5 月 1 日開放)  
( ) 不同意, 原因是: \_\_\_\_\_

以非專屬、無償授權國立中央大學、台灣聯合大學系統圖書館與國家圖書館, 基於推動「資源共享、互惠合作」之理念, 於回饋社會與學術研究之目的, 得不限地域、時間與次數, 以紙本、微縮、光碟及其它各種方法將上列論文收錄、重製、與利用, 並得將數位化之上列論文與論文電子檔以上載網路方式, 提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名: 蔡彙民 學號: 100624016

論文名稱: 山腳斷層在活動對大台北地區地形變化及相鄰斷層庫倫應力之探討

指導教授姓名: 黃文正

系所: 地球科學研究 所  博士班  碩士班

備註:

1. 本授權書之授權範圍僅限電子檔, 紙本論文部分依著作權法第 15 條第 3 款之規定, 採推定原則即預設同意圖書館得公開上架閱覽, 如您有申請專利或投稿等考量, 不同意紙本上架陳列, 須另行加填聲明書, 詳細說明與紙本聲明書請至 <http://thesis.lib.ncu.edu.tw/> 下載。
2. 本授權書請填寫並親筆簽名後, 裝訂於各紙本論文封面後之次頁(全文電子檔內之授權書簽名, 可用電腦打字代替)。
3. 請加印一份單張之授權書, 填寫並親筆簽名後, 於辦理離校時交圖書館(以統一代轉寄給國家圖書館)。
4. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文, 應遵守著作權法規定。

國立中央大學碩士班研究生

論文指導教授推薦書

地球科學 學系/研究所 蔡家民 研究生所提之論文  
山腳斷層再活動對大台北地區地形變化及相鄰斷  
層庫倫應力之探討

係由本人指導撰述，同意提付審查。

指導教授 蔡文正 (簽章)

103年5月11日

國立中央大學碩士班研究生  
論文口試委員審定書

地球科學 學系/研究所 蔡家民 研究生

所提之論文

山腳斷層再活動對大台北地區地形變化及相鄰斷層庫倫應力之探討 經本委員會審議，認定符合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人

委

員

鄭錦桐

張子翔

張文正

張文正

中華民國 一百零三 年 一 月 八 日

# 山腳斷層再活動對大台北地區地形變化及相鄰斷層庫倫應力之探討

蔡家民

## 摘要

大台北地區為台灣政經中心，整體人口達七百萬人，為世界前五十大大都會區。而位於此都會區內之山腳斷層為一條有活動疑慮的斷層，若其發生地震，對大台北地區可能造成嚴重的地震災害。

山腳斷層位於台北盆地西緣，為一條帶有左移分量東傾的正斷層，地表為第四紀未固結地沉積物所覆蓋，推估的斷層長度超過40公里；由鑽探資料顯示，在關渡地區斷層兩側第三紀基盤頂部的落差可達七百公尺，顯示台北盆地的陷落形成和山腳斷層的活動有關，而目前台灣北部處於伸張的應力環境，在此應力環境下，山腳斷層仍有再次活動的可能性。本研究主要著重於下列目的：(一) 藉由地質、地物資料建立山腳斷層面的幾何分布。(二) 利用三角形錯動理論模擬山腳斷層活動時可能造成的地層下陷及淹水危害。(三) 以庫倫應力觀念探討大台北地區數條不同斷層應力改變狀況以及重新活動之可能性。模擬結果顯示在規模 7.5 的地震下可能造成的最大沉陷量可達 3 公尺，在此沉陷狀況下，盆地內約有 50 平方公里之區域可能產生淹水危害，金山區域沿岸有約 2 平方公里區域有海水倒灌的可能性；若將斷層長度延伸至花瓶嶼，斷層長度接近 80 公里，以此斷層長度可推得之最大地震規模 8 進行模擬，最大沉陷量更可達 5 公尺，此情況下盆地內幾乎皆有淹水之可能性，而金山區域沿岸幾乎皆已陷落至海平面之下。而北部舊有斷層面的最大剪應力方向結果顯示，大部分斷層面上最大

剪應力方向為走滑之形式，與北部目前應力環境不符，說明山腳斷層活動觸發相鄰斷層活動的可能性較低。

**關鍵字：**臺北盆地，山腳斷層，錯動理論，庫倫破壞應力、地表同震變形，淹水趨勢。

# **Study of the Topographic Change and Coulomb Stresses on Neighboring Faults induced by of the Reactivation of Shanchiao Fault on Taipei Area**

Chia-Min, Tsai

## **Abstract**

The Taipei Metropolis with a population of more than 7 million is economic and political center of Taiwan. Shanchiao Fault within this Metropolis is considered as to be an active fault. Thus, if its associated earthquake struck, Taipei Metropolis might result in great loss.

The Shanchiao Fault, located along the western margin of Taipei basin, is an east-dipping normal fault with left-lateral component. On top of the fault is covered in Quaternary unconsolidated sediments. Its length is estimated over 40 km. According to the drilling data in Taipei Basin, there is an elevation difference of at least 700 m on tops of the tertiary basement across the fault. It indicates that Shanchiao fault's movement related to the formation of Taipei Basin and implies that under present extensional regime of northern Taiwan, Shanchiao fault may be activated in the future.

In this study, I apply triangular dislocation to calculate the surface settlement and estimate possible flood areas assuming the activation of Shanchiao fault. The results show if the seismic moment-magnitude of associated earthquake reaches 7.5, the maximum settlement is over 3 m. Under this settlement, possible flood area at Taipei Basin reaches 50 km<sup>2</sup>,

and possible sea water encroachment area approaches 2 km<sup>2</sup> at Jinshan. According to updated information, Shanchiao fault might be extended east-northward close to Huaping Isle, Thus, the fault length could be more than 80 km, and the possible generated seismic moment-magnitude approaches 8. In such a case, the maximum settlement could reach 5 m and almost all areas of Taipei Basin and Jinshan coasts would be flooded.

I also calculate Coulomb Failure stresses (CFS) on neighboring faults. The results show the CFS has high dependence on earthquake's hypocenter, most of maximum CFS on these neighboring faults are sense of strike-slip and the status of the induced stress is not favored in an extensional regime of northern Taiwan in short, these neighboring faults are un-likely to be triggered by a reactivation of Shanchiao fault.

Key words : Taipei Basin, Shanchiao Fault, dislocation model, Coulomb Failure Stress, coseismic deformation, inundation model.



## 致 謝

能夠完成本篇論文並修得碩士學位，首先必須感謝我的兩位指導教授黃文正老師以及陳建志老師，不論在專業學術上抑或是平時的做事態度皆不吝給予指導及建議，並且在我陷入低潮時仍十分有耐心的引導我走出低谷，也感謝陳浩維老師提供並教導我使用製圖軟體進行研究，十分感謝老師們的教導。同時也感謝張午龍老師以及鄭錦桐學長在公務繁忙之際，撥冗審閱論文參加口試並且給予本論文指正及建議，使本論文更加完善。

在研究室的這段日子，雖然艱辛卻也帶有許多愉快的回憶，首先要感謝的就是研究室裡的每一位成員。三位美麗大方的助理：紅妙，小草以及小貝，謝謝你們的各種鼓勵；研究室的大學長阿根、老是攻擊我的劭禎、從同學變助理的意茹、越來越像意茹的小學姊詩婷、差不多該簽博的芊翔、根本直屬學弟的家祥，以及其他學弟妹們，在研究室中有你們的陪伴讓我的研究生生涯有了許多愉快的記憶。也要感謝那些和我一路從大學念上中央研究所的好朋友們：小英、小韓、小康、小管、白白、雜摳、化學…等，素果、小綜等學長，選擇去台大的甜甜、Blue等人，還有研究所認識的楊鈞，李子川，劉冠亮。謝謝你們在我壓力山大的時候能帶給我歡樂。

特別要感謝的就是奶瓶，在我各種情緒失控崩潰的時候願意在我身邊陪伴我、支持我並且給我鼓勵，令我在不堪負荷的時候能有人讓我堅持下去，因為有妳我才能堅持到底。

最後要感謝我的家人，讓我能沒有後顧之憂的好好把學業完成，一直以來你們都支持我的決定，給予我許多建議與幫助，並守護著我，也因此我才有向前的動力以及毅力，你們是我的最愛。

# 目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要(Abstract) .....	iii
致謝.....	v
目錄.....	vi
圖目錄.....	viii
表目錄.....	x
第一章 緒論.....	1
1-1 前言.....	1
1-2 前人研究.....	2
第二章 研究區域概述.....	21
2-1 地質背景.....	21
2-1-1 林口臺地.....	21
2-1-2 大屯火山群.....	21
2-1-3 西部麓山帶.....	22
2-1-4 台北盆地.....	23
2-2 區域斷層構造 .....	25
2-2-1 山腳斷層.....	26
2-2-2 金山斷層.....	26

2-2-3	新莊斷層.....	27
2-2-4	崁腳斷層.....	27
2-2-5	台北斷層.....	28
2-2-6	新店斷層.....	28
2-2-7	南崁斷層.....	29
第三章	研究方法.....	31
3-1	錯動模擬.....	32
3-1-1	斷層面幾何形態建立.....	33
3-1-2	斷層活動之滑移量分布.....	34
3-2	庫倫破壞應力.....	37
第四章	模擬結果.....	45
4-1	斷層活動與地表同震變形.....	45
4-2	盆地內斷層庫倫應力變化.....	47
4-3	沉陷可能造成淹水區域.....	48
第五章	討論.....	67
5-1	山腳斷層長度與深部構造變化對模擬結果之影響.....	67
5-2	北部地區斷層重新活動可能性評估.....	68
5-3	景美層深度與地震活動之關係.....	70
第六章	結論.....	90

參考文獻.....	92
-----------	----

## 圖 目 錄

圖 1.1 台北區域主要斷層分布圖.....	5
圖 1.2 台灣活動斷層分布圖(2012).....	6
圖 1.3 山腳斷層條帶地質圖(北段)(林啟文).....	7
圖 1.3(續) 山腳斷層條帶地質圖(南段)(林啟文).....	8
圖 1.4 台灣東北外海斷層分佈圖(黃雯苓).....	9
圖 1.5 (a)山腳斷層調查地質剖面圖—樹林剖面 (b) SCF-16 井 120~128 公尺岩心 (蘇泰維).....	10
圖 1.6 (a) 關渡平原震測結果 (測線 04P-SCO-BT01) (b) 金山地區 震測結果(測線 04P-SCO-JS01)(石瑞銓).....	11
圖 1.7 戴榮興震測研究測線位置圖.....	12
圖 1.7(續) 戴榮興震測研究—泰山、五股測線.....	13
圖 1.7(續) 戴榮興震測研究—蘆洲、關渡測線.....	14
圖 1.8 簡志宇震測研究測線位置圖.....	15
圖 1.8(續) 簡志宇震測研究震測剖面圖.....	16
圖 1.9 台北盆地第三紀基盤等深圖(陳文山).....	17

圖 1.10	台灣北部地區 PS 位移速度場 (2003 年 11 月至 2007 年 12 月; Chang et al., 2010).....	18
圖 1.11	2000 年至 2010 年台灣北部地震紀錄分布圖.....	19
圖 1.12	(a)台灣北部主應變速率圖(余水倍) (b)台北地區之 GPS 連續觀測站之應變速率場(邱紀瑜).....	20
圖 2.1	台北區域地質背景(鄧屬予).....	30
圖 2.2	台北盆地演化過程(鄧屬予).....	30
圖 3.1	山腳斷層網格圖.....	39
圖 3.2	山腳斷層斷層面上滑移量分布.....	39
圖 3.3	新店斷層網格圖.....	40
圖 3.4	台北斷層網格圖.....	40
圖 3.5	崁腳斷層網格圖.....	40
圖 3.6	南崁斷層網格圖.....	41
圖 3.7	新莊斷層網格圖.....	41
圖 3.8	金山斷層網格圖.....	42
圖 4.1	山腳斷層地表同震位移,震源設定 A(南段).....	50
圖 4.2	山腳斷層地表同震位移,震源設定 B(北段).....	51
圖 4.3	山腳斷層地表同震位移,震源設定 C(中央).....	52
圖 4.4	山腳斷層地表同震位移—深度改變,規模 6.0.....	53

圖 4.5	山腳斷層地表同震位移—深度改變,規模 6.5 .....	54
圖 4.6	山腳斷層地表同震位移—深度改變,規模 7.0 .....	55
圖 4.7	山腳斷層錯動後鄰近斷層庫倫破壞應力改變量,震源設定 A(南段) .....	56
圖 4.8	山腳斷層錯動後鄰近斷層庫倫破壞應力改變量,震源設定 B(北段) .....	59
圖 4.9	山腳斷層錯動後鄰近斷層庫倫破壞應力改變量,震源設定 C(中央) .....	62
圖 4.10	台北盆地可能淹水區域.....	65
圖 4.11	金山地區可能淹水區域.....	66
圖 5.1	山腳斷層海外延伸圖.....	73
圖 5.2	山腳斷層長度延伸至花瓶嶼地表同震位移,震源設定 A(南 段) .....	74
圖 5.3	山腳斷層長度延伸至花瓶嶼地表同震位移,震源設定 C(中 央) .....	75
圖 5.4	山腳斷層長度延伸至花瓶嶼地表同震位移,震源設定 B(北 段) .....	76
圖 5.5	台北盆地可能淹水區域—山腳斷層形貌改變後結果差異..	77
圖 5.6	金山地區可能淹水區域—山腳斷層形貌改變後結果差異..	78

圖 5.7	新店斷層面上最大剪應力方向.....	79
圖 5.8	台北斷層面上最大剪應力方向.....	80
圖 5.9	崁腳斷層面上最大剪應力方向.....	81
圖 5.10	南崁斷層面上最大剪應力方向.....	82
圖 5.11	新莊斷層面上最大剪應力方向.....	83
圖 5.12	金山斷層面上最大剪應力方向.....	84
圖 5.13	台灣北部地震紀錄分布圖.....	85
圖 5.14	台灣北部地震紀錄分布圖—基隆外海區域.....	86
圖 5.15	台灣北部地震紀錄分布圖—七星山區域.....	87
圖 5.16	台灣北部地震紀錄分布圖—台北盆地區域.....	88
圖 5.17	圖 A：臺北盆地景美層等深圖及井位分布(陳致同)，圖 B： 垂直斷層方向沉陷量變化.....	89

## 表 目 錄

表 3.1	台灣北部主要斷層資料彙整.....	43
表 3.2	模擬參數表.....	44
表 5.1	山腳斷層參數表彙整.....	74

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機與目的

大台北地區為台灣政經中心，同時也是台灣人口分布最為密集的區域，整體人口達七百萬人，為世界前五大都會區。而台灣位於歐亞板塊以及菲律賓海板塊交界，由於造山活動及其一系列構造運動，使台灣有著相當大量的斷層構造並且有著頻繁的地震活動，而人口密集的大台北地區同樣有著數條斷層存在，若這些斷層產生地震活動，便可能對大台北地區造成災害。

根據地質調查以及鑽井資料的分析結果，山腳斷層被認為是台北都會區中最主要之活動斷層，鄧屬予(2000、2001)也提出台北盆地之形成與山腳斷層活動之關聯性。此外，1696 年發生的康熙台北湖以及 1867 年之基隆海嘯，也有研究認為這兩起事件與山腳斷層的活動有關，因此可以想見，山腳斷層之活動可能會造成台北地區之人民生命財產安全的損失。

邱俊儀於 2007 年曾經針對山腳斷層的活動其可能造成的地表沉陷抬升現象進行研究，並有相當程度的結果。然而由於近幾年針對山腳斷層的研究劇增，而在海外延伸的資料也不斷更新，在新的調查結果，山腳斷層的長度較過去有明顯的增長，故在山腳斷層可能發生的最大地震規模也相對增加，因此在本研究重新模擬山腳斷層活動對地表產生的沉陷行為，藉以重新評估山腳斷層活動時可能造成的危害。除此之外，在台北區域有數條中央地調所歸類於非活動斷層的斷層構造線(圖 1.1)；而這些舊有的斷層破裂面是否會因為山腳斷層的活動而有重新活動的趨勢，是個值得探討的問題。

本研究對於山腳斷層活動對台北區域之影響主要著重於下列目



的：(一) 藉由地表斷層線、震測剖面以及其他地物資料建立山腳斷層面的幾何分布。(二) 假設岩層為一連續彈性體，使用三角形錯動元素模擬山腳斷層活動時地表之變形行為及可能造成之危害。(三) 模擬台北區域數條不同斷層在山腳斷層活動之情況下，其應力改變現象，並以庫倫破壞應力改變之觀念討論其重新活動之可能性。

## 1.2 前人研究

在地調所的定義中，過去 100,000 年內曾活動，未來可能再度活動的斷層稱為「活動斷層」。而山腳斷層即為地調所定義中的活動斷層之一。活動斷層分布如圖 1.2。

根據中央地調所的活動斷層研究中，山腳斷層為一正移斷層，位態約呈北北東向，在台灣本島部分可以分為南北兩段：南段以新北市樹林向北延伸至台北市北投區，長約 13 公里，為第四紀沖積層所覆蓋；北段則由北投向北延伸至台北金山，長約 21 公里，由大屯山的火山岩覆蓋（丹桂之助，1939；林朝榮，1957；王執明等，1978；林朝宗，2005）（圖 1.3）。而在海外延伸的區域，在黃雯苓(2007)的研究中，在金山外海有一金山正斷層，此正斷層可能與山腳斷層有連接的關係，在海外約延伸 20 公里(圖 1.4)。在斷層深部構造的研究，地調所鑽井資料中顯示在 SCF-15 以及 SCF-16 號井之基盤面有較明顯的落差，並且在 SCF-16 號井深 120.3~123.2 公尺之岩心夾有斷層泥，斷層面約 70~80 度(圖 1.5)。石瑞銓(2003、2004)於關渡平原震測結果顯示斷層呈現向東南高角度傾斜(圖 1.6)；戴榮興(2007)在泰山、五股、蘆洲、關渡分別進行震測，結果顯示斷層傾角呈 75 度以上之高角度(剖面深度約 300 公尺)(圖 1.7)；而簡志宇(2008)針對關渡以

及五股蘆洲地區同樣進行震測研究，研究結果顯示斷層之傾角約呈 50 度向東南傾斜(剖面深度約 1 公里)(圖 1.8)。

針對山腳斷層的活動性的研究，鑽井資料顯示第三紀沉積岩基盤在山腳斷層附近可深達 700 公尺以上(陳文山等，2008)(圖 1.9)，表示山腳斷層的活動使盆地內第三紀沉積岩基盤持續下陷。Huang et al.(2007)也根據鑽井資料，認為一萬一千年以來，山腳斷層至少發生過三次的地震事件，而其垂直滑移量介於 2.3 公尺至 4.5 公尺之間。石瑞銓等(2004)於關渡地區的淺層震測資料也顯示山腳斷層有錯動淺層沉積物，並可能具有左向滑移的分量。饒瑞鈞等(2010)分析 2004 年至 2010 年台北地區水準測量，在跨越山腳斷層南段的士林—淡水測線及五股—台北側線的結果顯示在跨斷層處測點位有較大的沉陷量。Chang et al.(2010)利用永久散射體差分干涉技術(Persistent Scatterers Interferometric Synthetic Aperture Radar, PSInSAR)觀測台北地區於 2003 年至 2007 年之地表變形情況，結果顯示在台北盆地呈現下陷的趨勢，且在山腳斷層兩側顯示之速度有落差(圖 1.10)。侯進雄(2007)分析跨越台北斷層之水準測量，其結果顯示在山腳斷層之上盤有明顯的陷落地區。而在氣象局 2000-2010 年全台地震紀錄，在山腳斷層並沒有明顯的地震紀錄出現(圖 1.11)。

此外，有關目前台灣北部的應力狀態研究，在余水倍等(1999)於 1991 至 1996 年間之 GPS 測量結果顯示，整個台北 GPS 網大致呈 ESE—WNW 方向的伸張(圖 1.12a)，而邱紀瑜(2010)計算 2006 至 2010 年之台北地區應變速率場也顯示其最大主應變呈 ESE—WNW 方向，為伸張應變(圖 1.12b)，皆說明台灣北部目前處於一伸張型應力構造區域。

由於近年來對於山腳斷層的研究數量眾多，斷層的資訊也不斷在

更新，因此本研究參考邱俊儀(2007)之研究，並將近年來所獲得新的斷層資訊加入，期望能進一步了解山腳斷層對於大台北地區所能造成之影響。

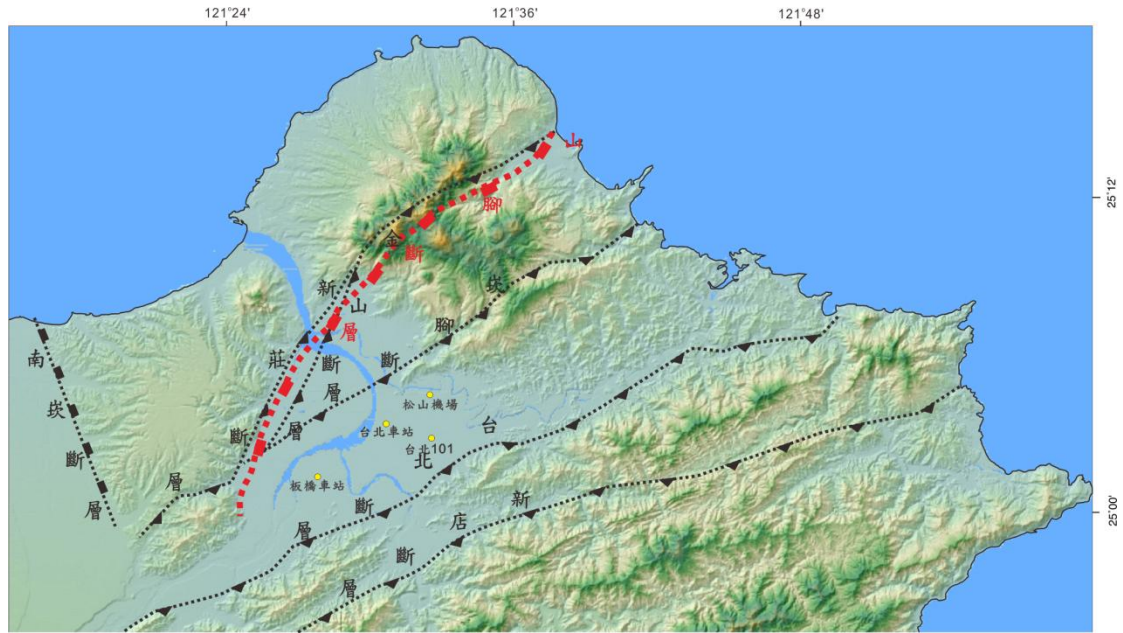


圖 1.1 台北區域主要斷層分布圖，金山斷層、新莊斷層、山腳斷層、南崁斷層參考自林啟文(2007)，崁腳斷層、台北斷層、新店斷層參考自張徽正(1999)。紅色線段為山腳斷層地表之投影線。根據地調所 2012 所公布的台灣活動斷層分布圖中，除了山腳斷層外皆已從活動斷層中除名(圖 1.2)。

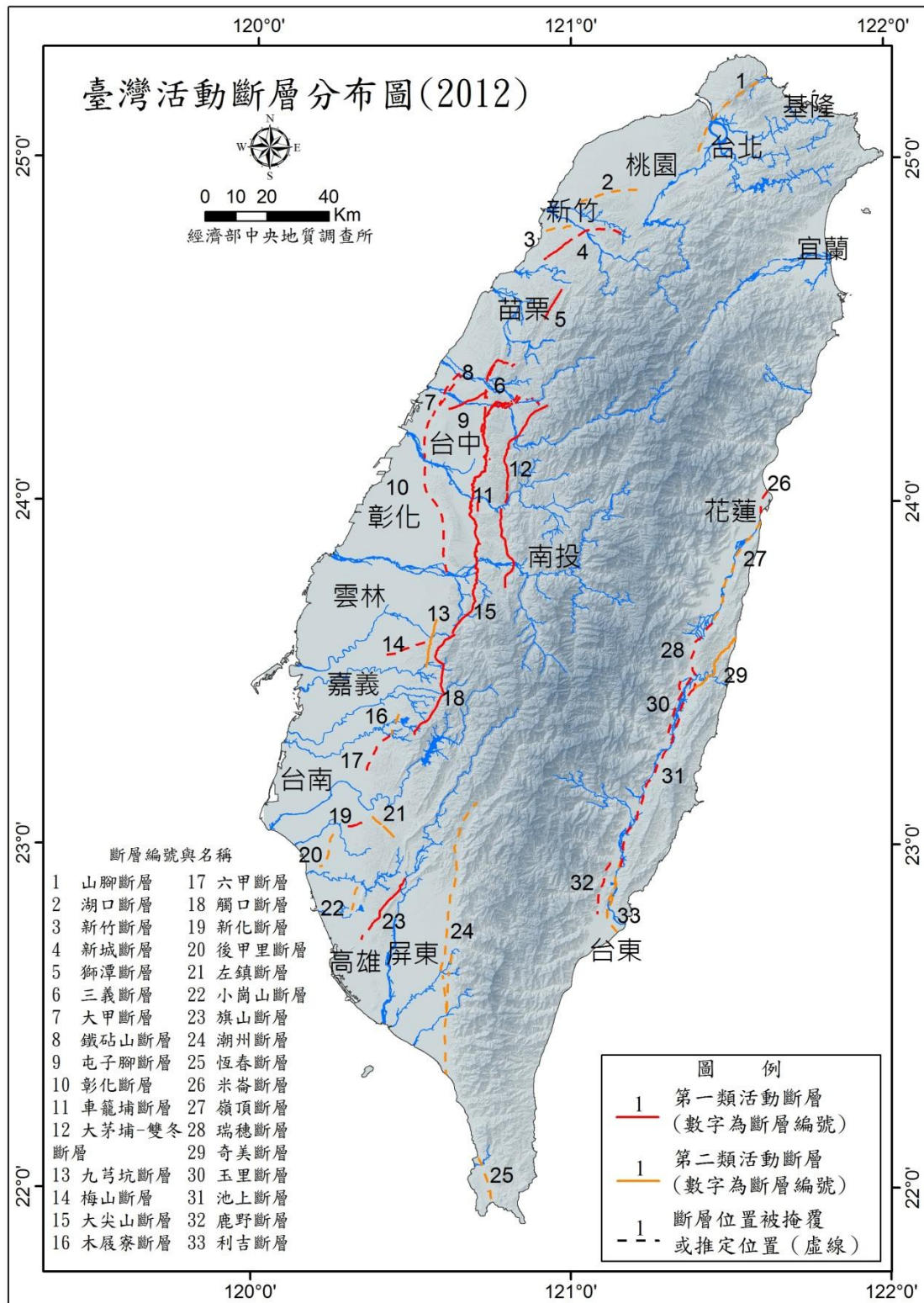


圖 1.2 台灣活動斷層分布圖(2012)。

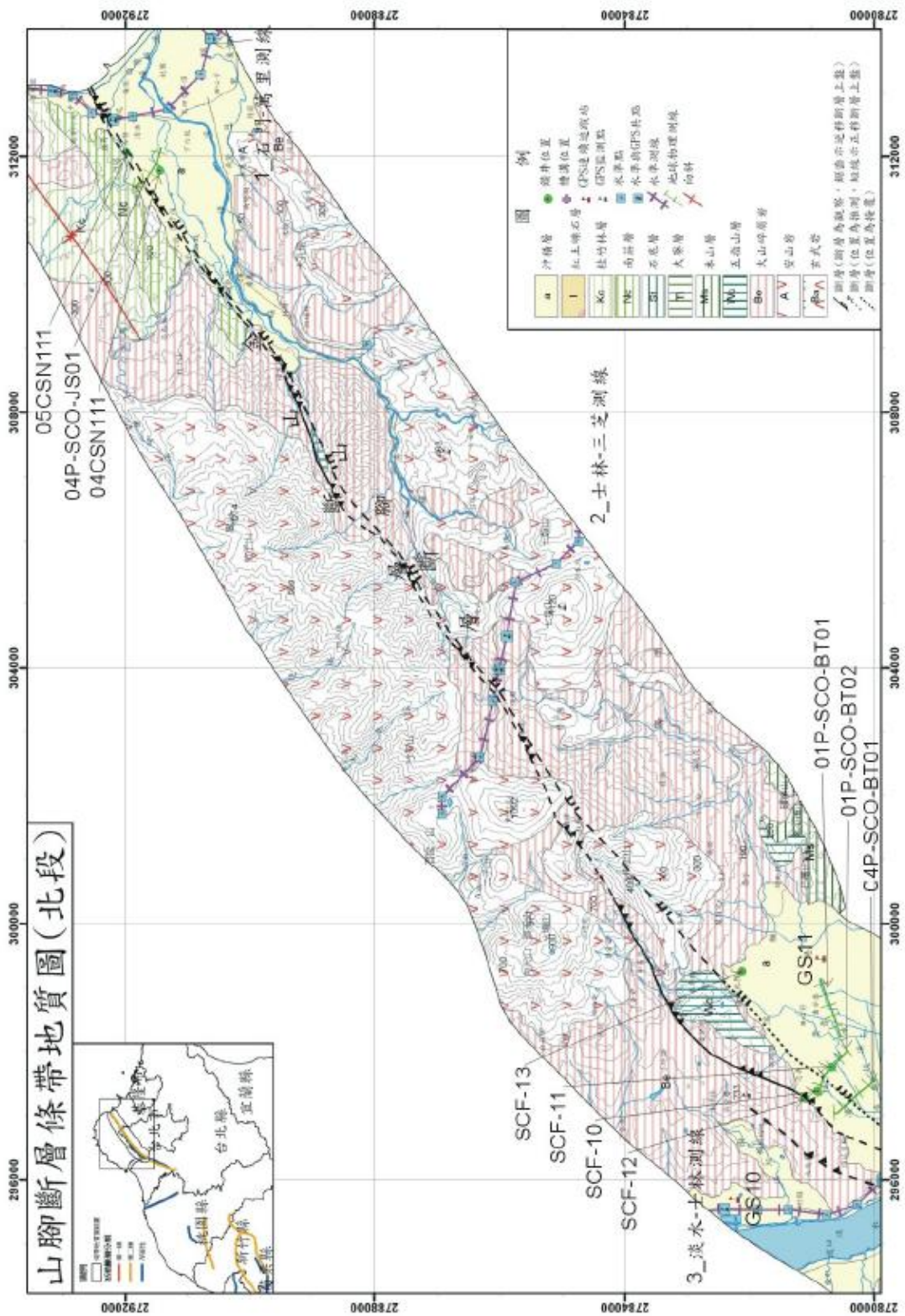


圖1.3 山腳斷層條帶地質圖(北段)。由北投向北延伸至新北市金山，長約21公里。(引自林啟文等，2007)

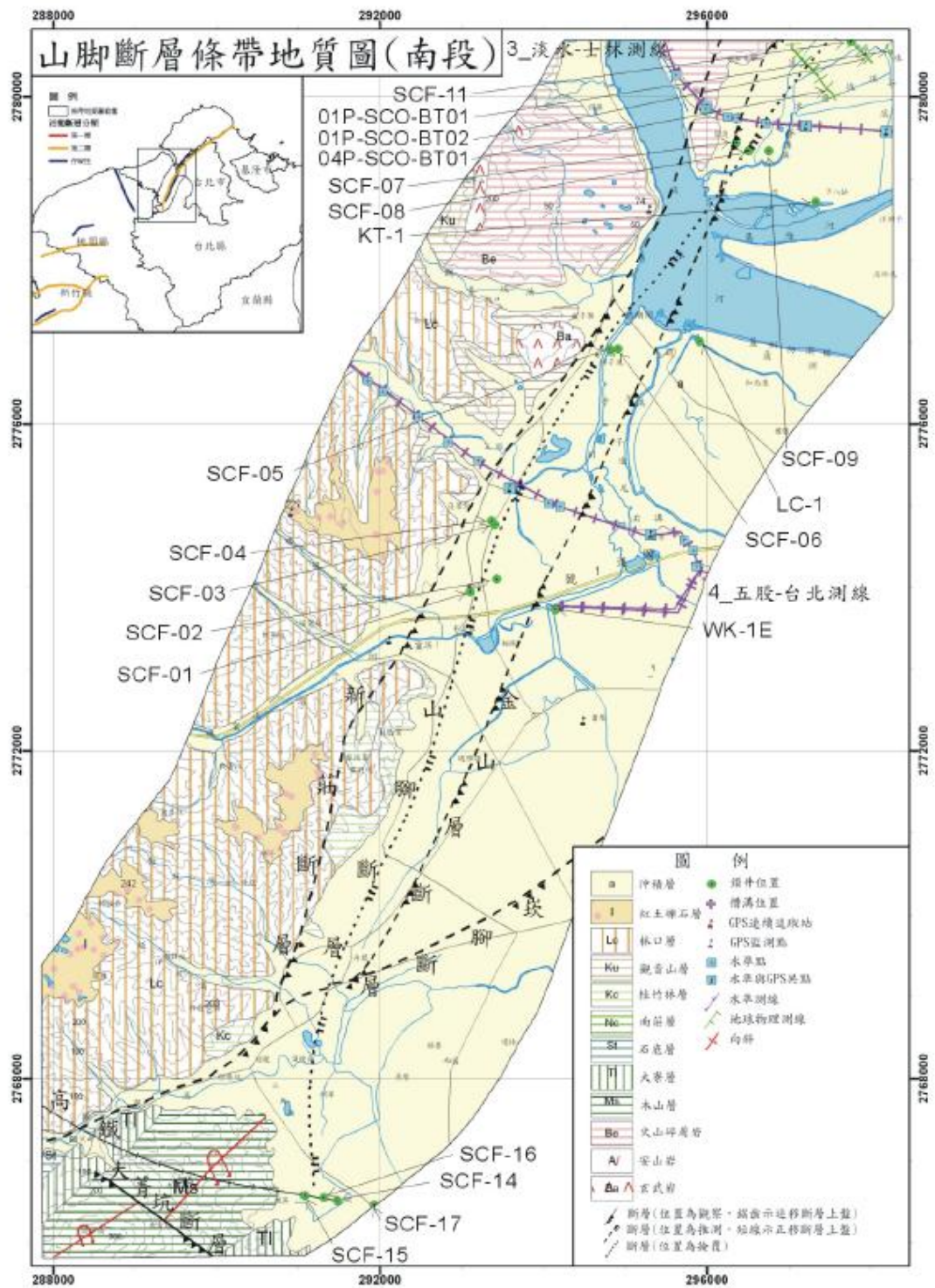


圖1.3(續) 山腳斷層條帶地質圖(南段)。自新北市樹林向北延伸至台北市北投區，長約13公里。(引自林啟文等，2007)

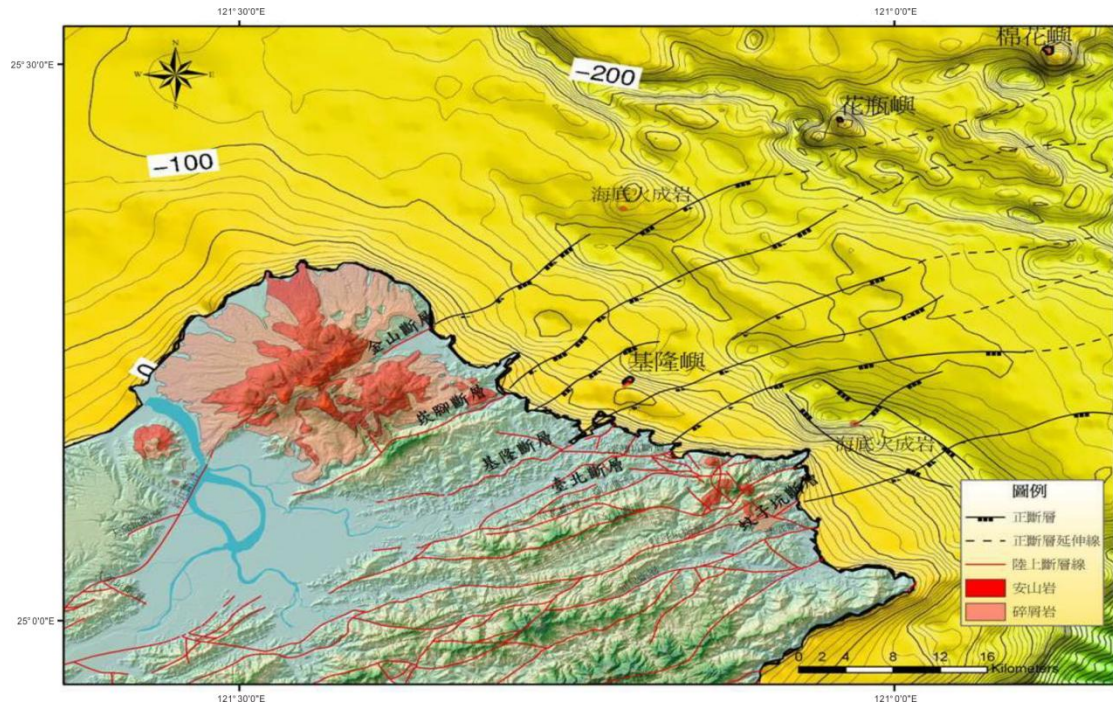


圖1.4 台灣東北外海斷層分佈圖。圖中紅色線段為台灣東北部陸上斷層線的分佈位置圖（資料來源：中央地質調查所），而黑色線段為斷層線延伸的位置。（引自黃雯苓，2007）



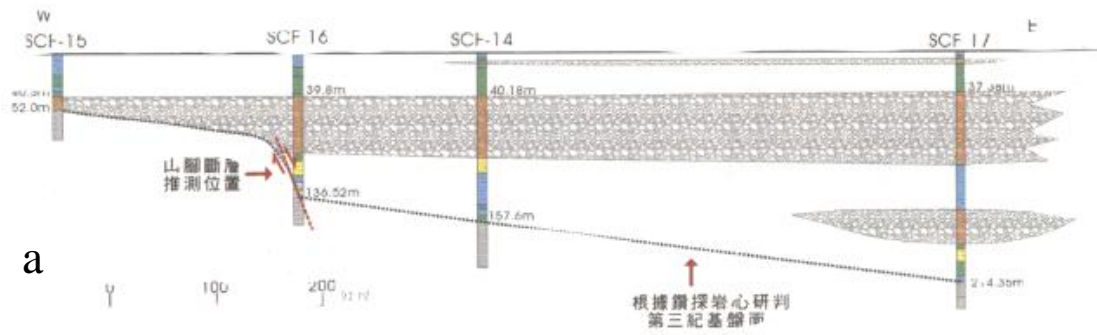


圖 1.5 (a)山腳斷層調查地質剖面圖—樹林剖面。在 SCF-16 號井基盤面上與其上覆未固結沉積物為斷層接觸。(b) SCF-16 井 120~128 公尺岩心，120.3~123.2 公尺為斷層泥。(引自蘇泰維，2003)

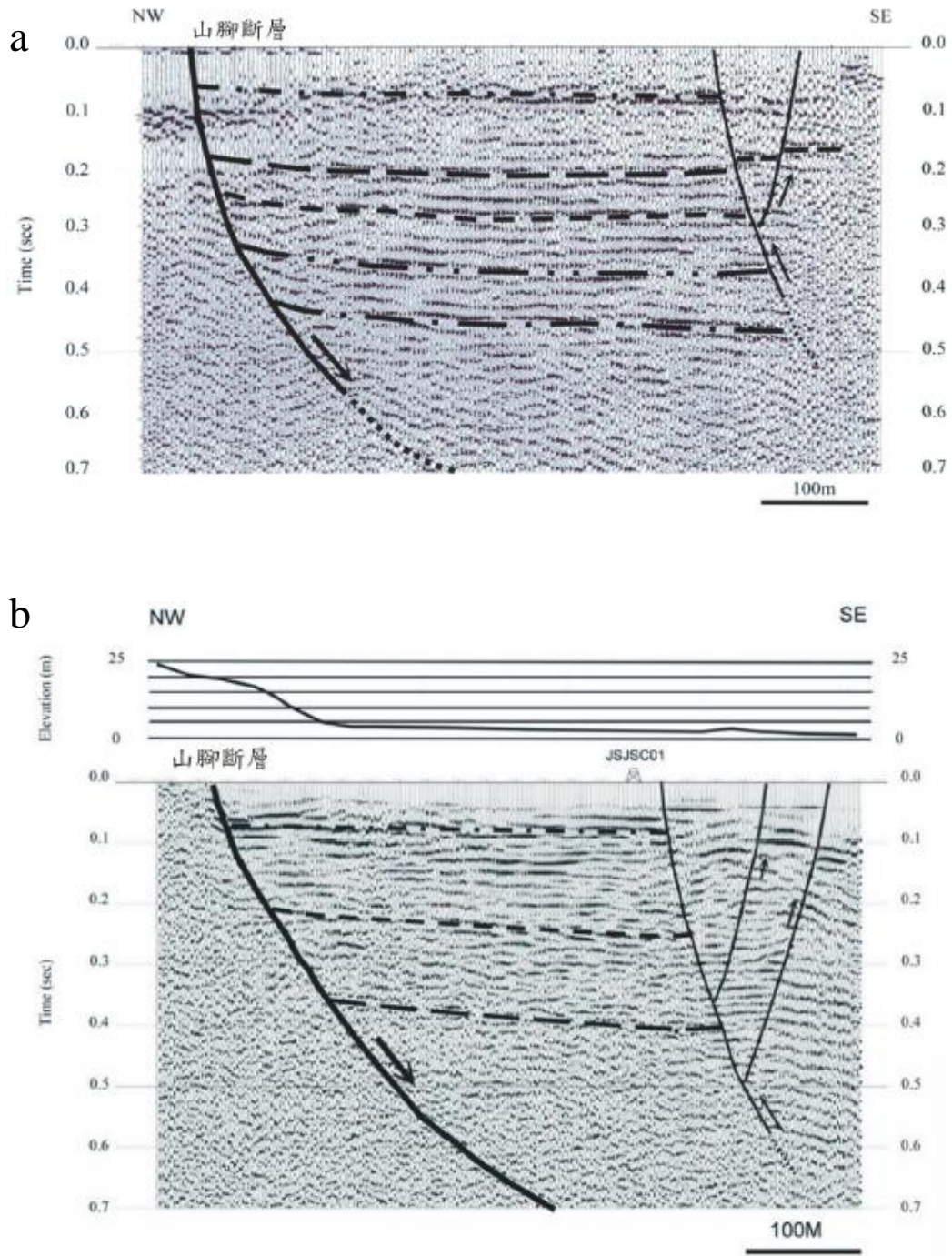


圖 1.6 (a) 關渡平原震測結果 (測線 04P-SCO-BT01)。(b) 金山地區震測結果 (測線 04P-SCO-JS01)。(引自石瑞銓，2003)



圖 1.7 戴榮興(2007)震測研究測線位置圖。綜合泰山、五股、蘆洲、關渡測區之斷層所在位置推測，山腳斷層走向由泰山至五股地區約為北偏東二十度，經五股一帶則有沿盆地邊緣偏轉向東之趨勢，而斷層傾角則為七十五度以上之高角度向東南傾斜。

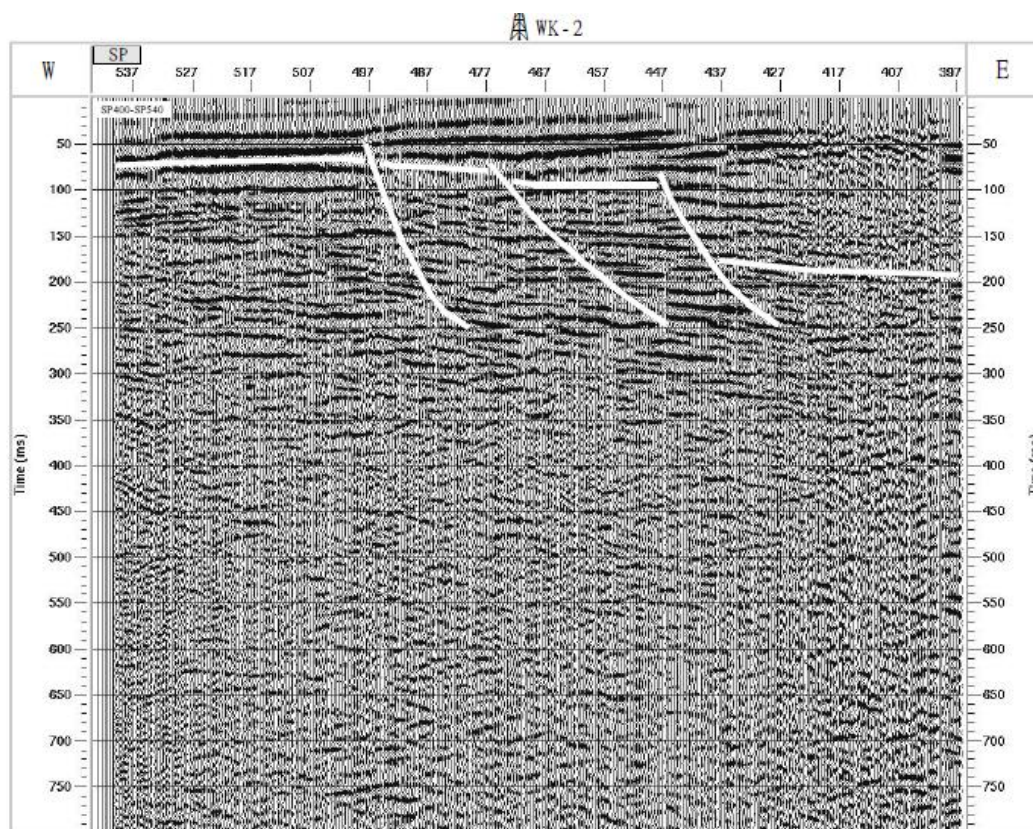
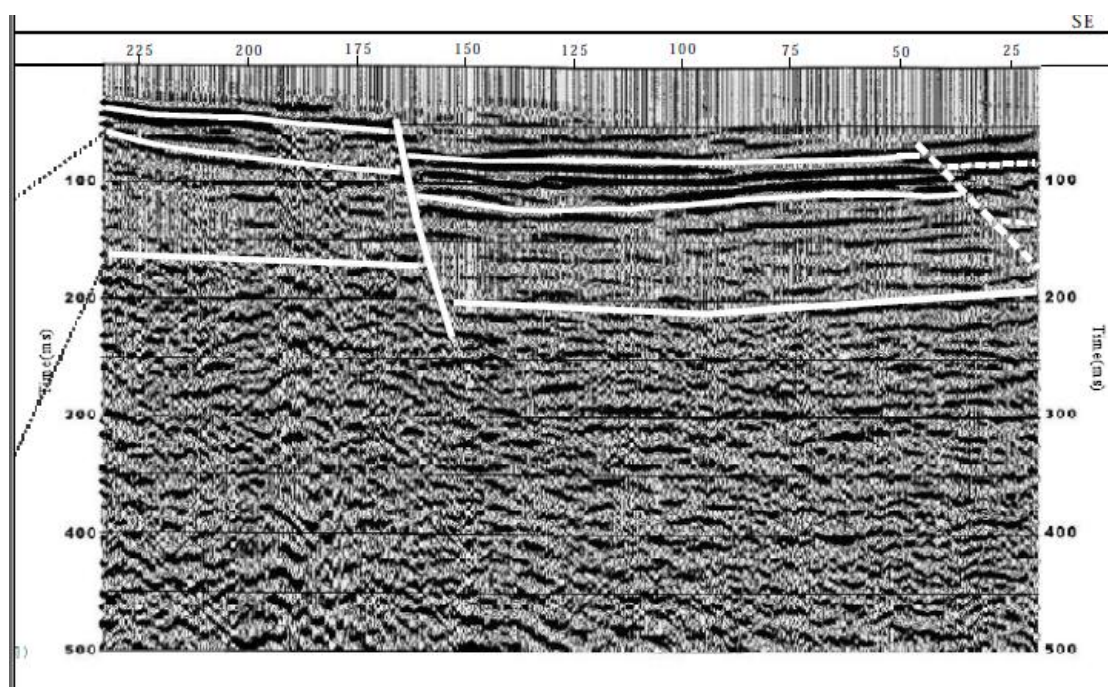


圖 1.7(續) 戴榮興(2007)震測研究—泰山、五股測線。

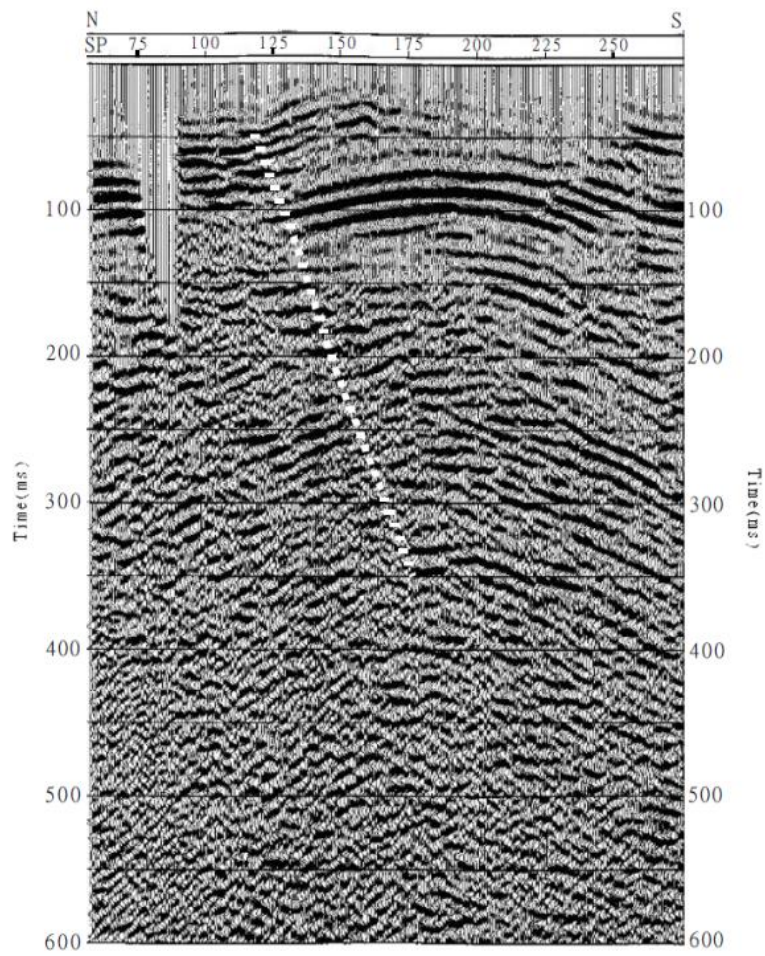
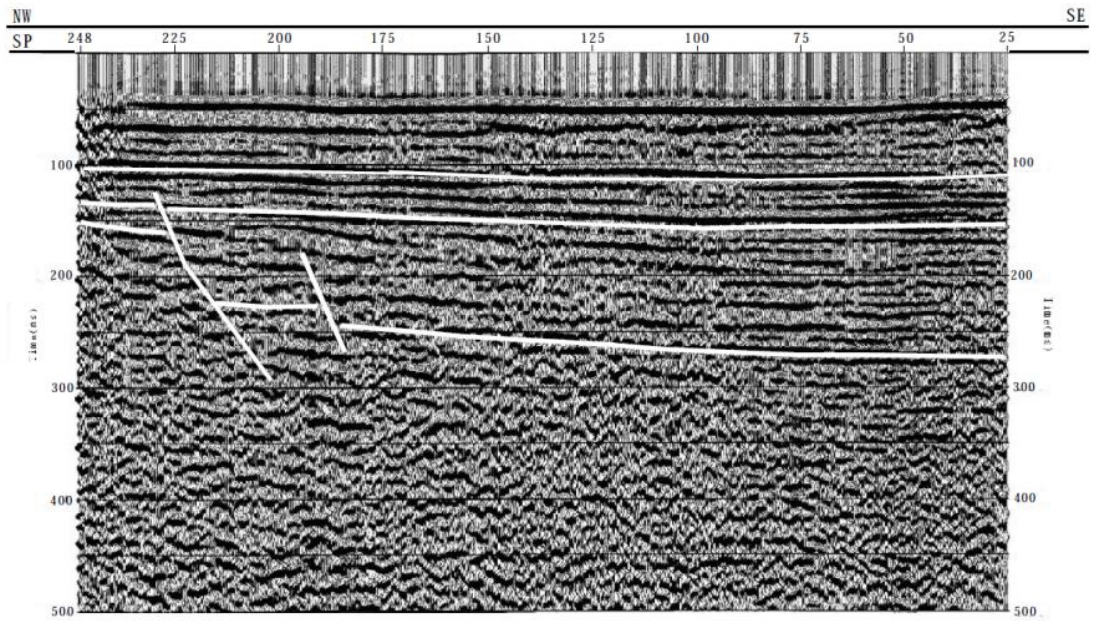


圖 1.7(續) 戴榮興(2007)震測研究—蘆洲、關渡測線。

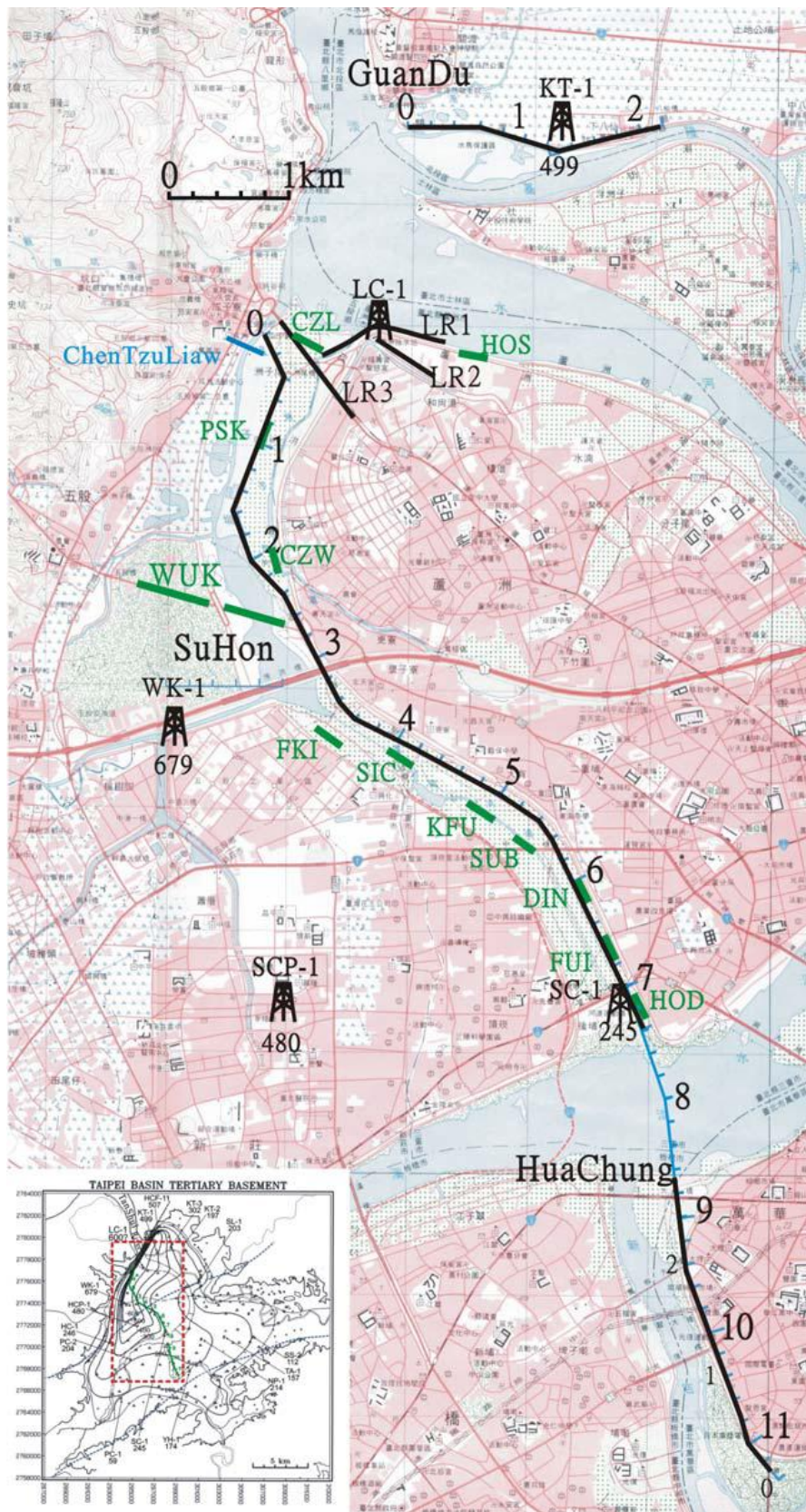


圖 1.8 簡志宇(2008)震測研究測線位置圖。

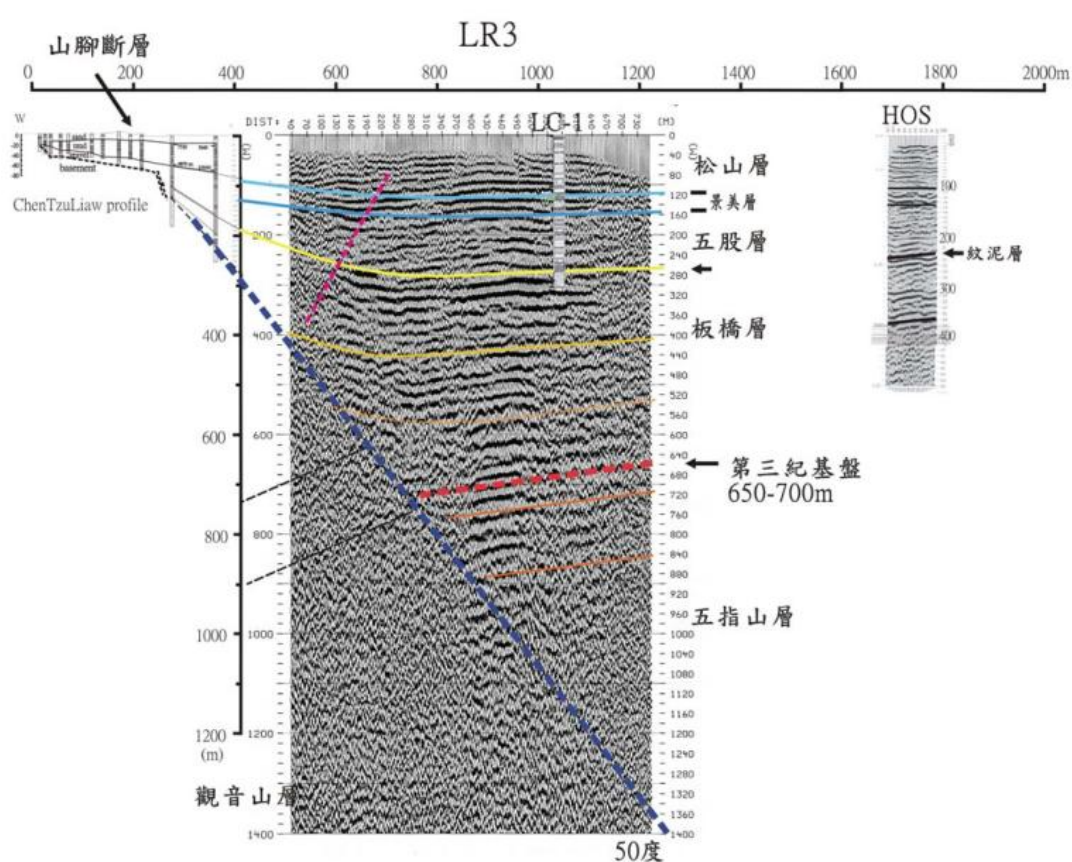
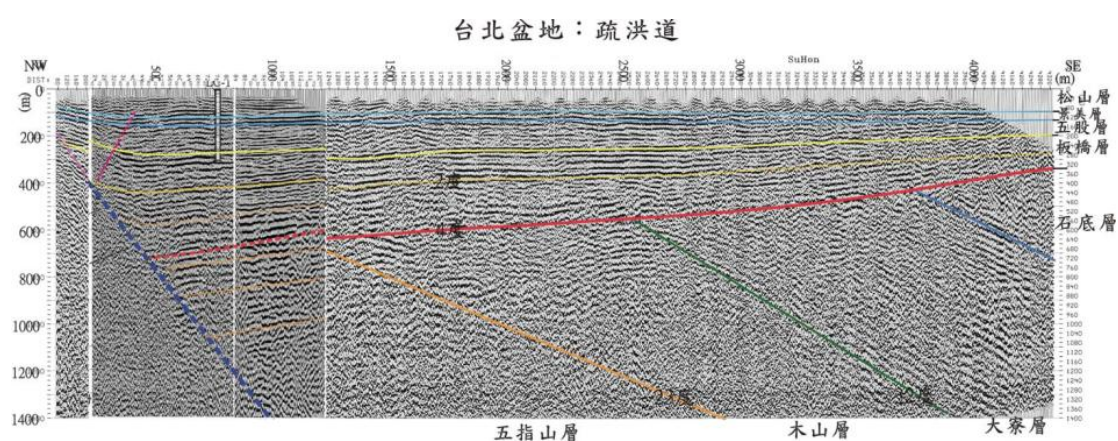
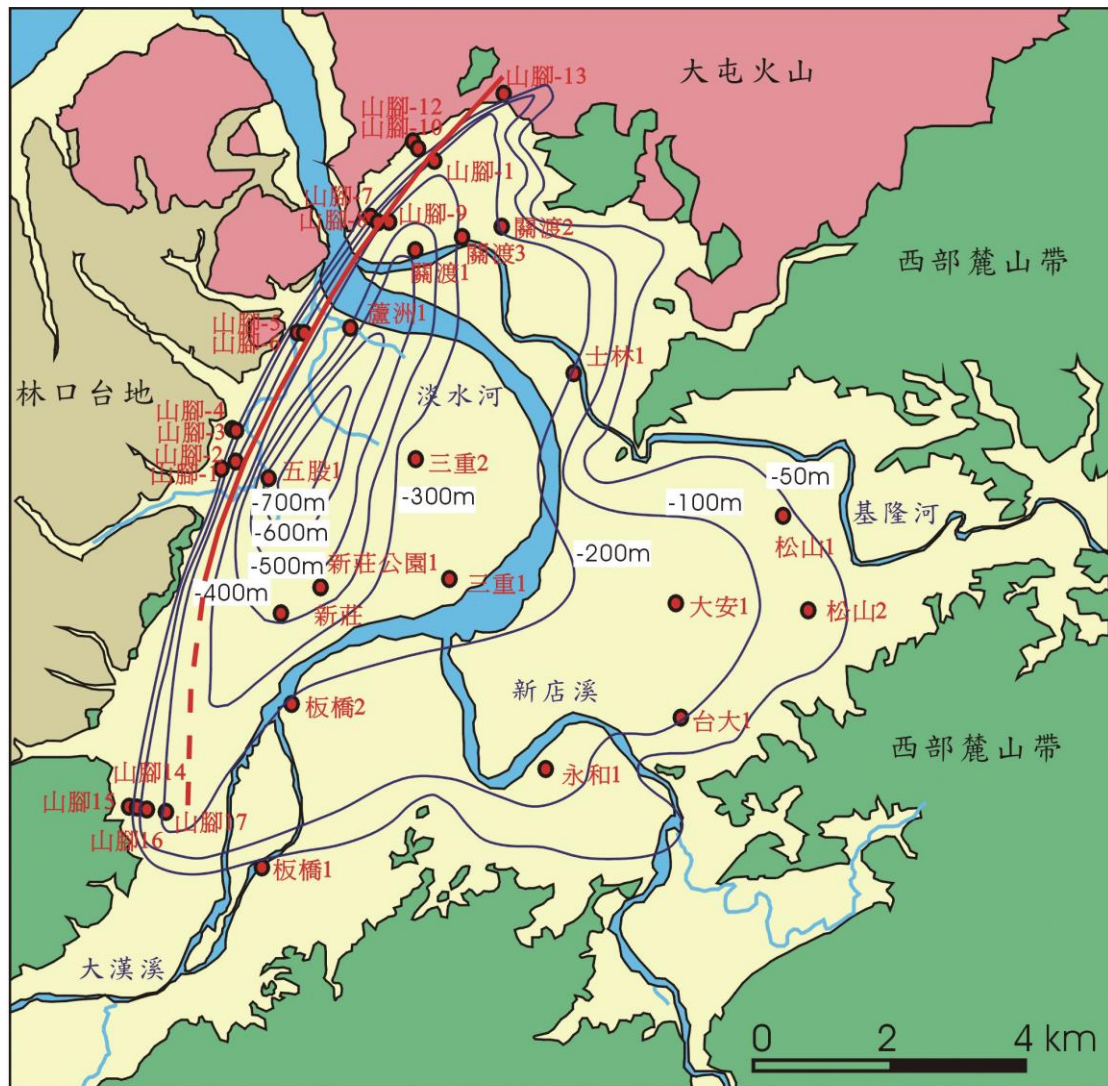


圖 1.8(續) 山腳斷層為正斷層，斷層上盤可看到明顯的盆地陷落所造成的地層拖曳，斷層傾角約 50~60 度(引自簡志宇，2008)。



中新統沉積岩
  更新統火成岩
  更新統礫岩
  沖積層  
 井位
  山腳斷層
  推測斷層位置
  基盤等深線

圖 1.9 台北盆地第三紀基盤等深圖(引自陳文山，2008)，圖中顯示盆地西緣近山腳斷層處深度可達 700 公尺，表示山腳斷層的活動使盆地內第三紀沉積岩基盤持續下陷。



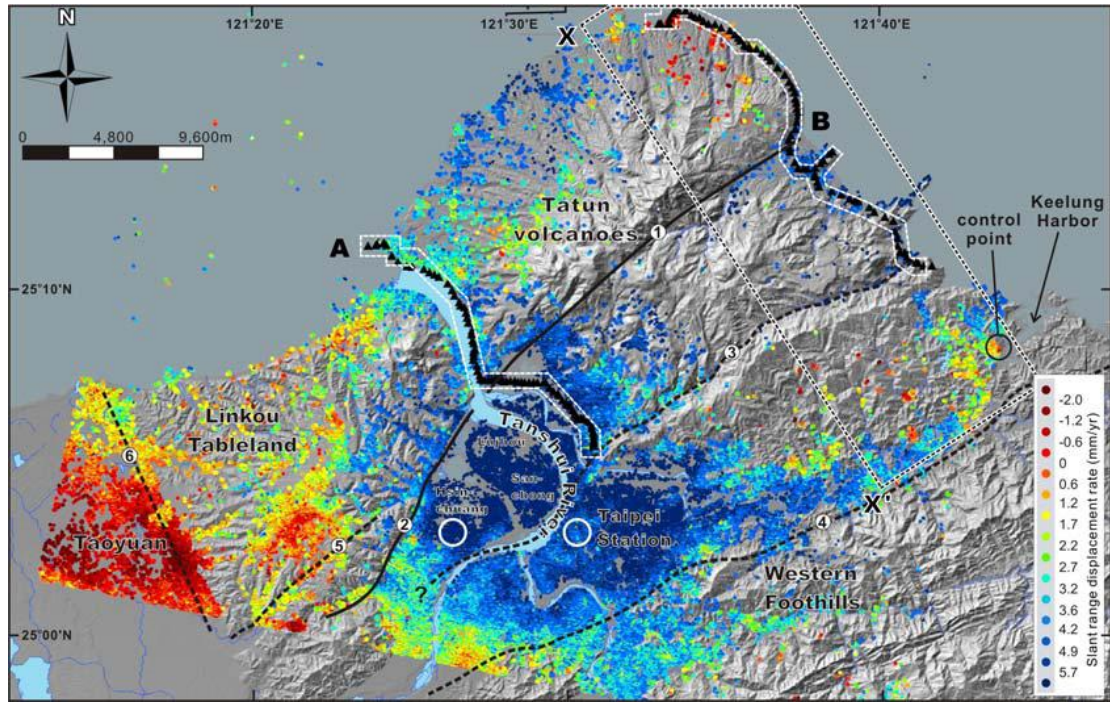


圖 1.10 台灣北部地區 PS 位移速度場 (2003 年 11 月至 2007 年 12 月；Chang et al., 2010)。圖中暖色系是相對控制點抬昇，冷色系是相對下降之 PS 點。

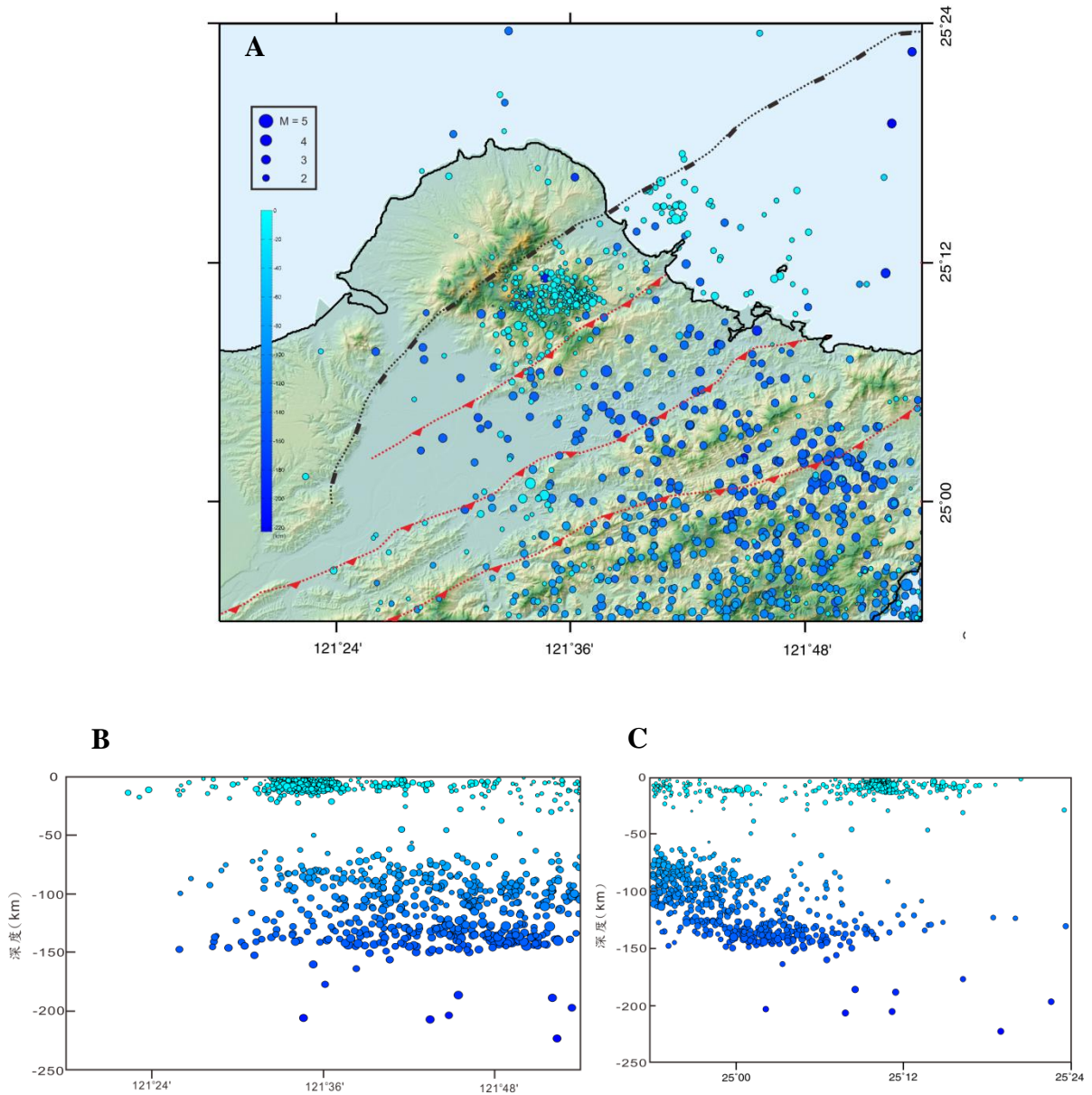


圖 1.11 2000 年至 2010 年台灣北部地震紀錄分布圖。圖 A 為地震分布鳥瞰圖；圖 B 為東西向地震深度分布；圖 C 為南北向地震深度分布。黑色線段為山腳斷層，紅色線段由北至南分別為崁腳斷層、台北斷層、新店斷層。地震的分布與斷層並無明顯相關。

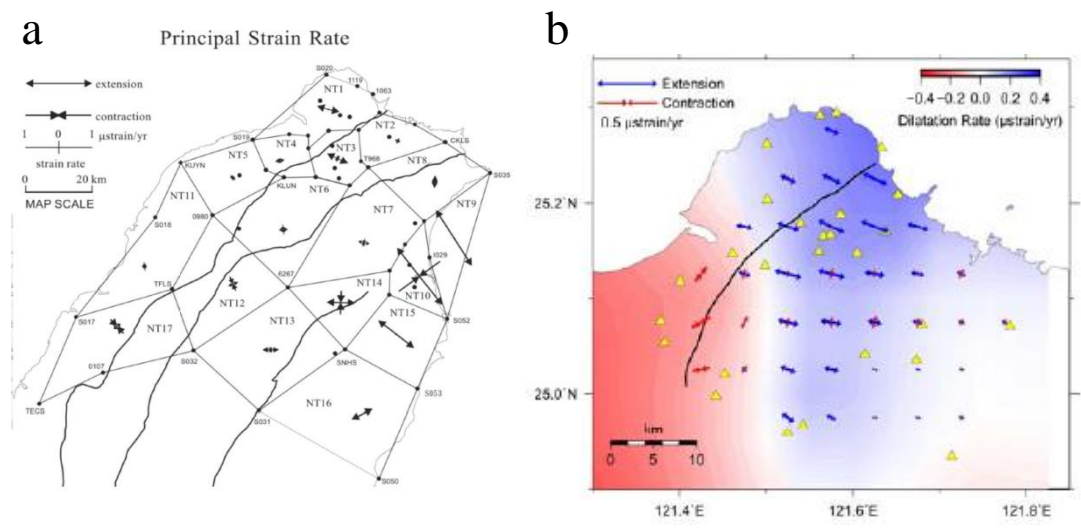


圖 1.12 (a)根據 GPS 測量結果，整個台北 GPS 網大致呈 ESE—WNW 方向的伸張(引自 Hu, 2002)。(b)台北地區之 GPS 連續觀測站之應變速率場 (引自邱紀瑜，2010)。

## 第二章 研究區域概述

本研究主要探討之區域為大台北地區，包含台北盆地以及鄰近的其他地質區皆屬於本研究之探討範圍，本章針對大台北地區以及鄰近的斷層之地質狀況做一回顧以及整理。

### 2.1 地質背景

大台北地區約略可分為四個區域：林口台地、大屯火山群、西部麓山帶的丘陵地以及許多研究及關注的台北盆地。

#### 2.1.1 林口台地

林口台地因位於台北林口而得名，外型呈不等邊五角形，面積約 137 平方公里，頂部平坦面高度約 240-250 公尺。林口臺地上的台地堆積層稱為林口層，由礫石層及紅土層所組成，也包含了林朝榮(1963)所指的大南灣層的泰山相(何春蓀，1986)。台地東側坡降最大，與台北盆地西緣約呈一直線，林朝榮(1957)推論林口台地與臺北盆地相接處，有一正斷層存在，即為今日所稱之山腳斷層。

#### 2.1.2 大屯火山群

大屯火山群位於台灣最北端，為台灣三大火山群之一，由約 20 座安山岩質的火山所組成，其中以七星山最高且為最新的火山。本火山群噴發時因熔岩流黏度很高，故多具有錐狀外形，主要由安山岩流、火山灰和粗粒碎屑噴發物的連續交替構成，主要火山種類為層狀火山，覆蓋在時代不同的中新世沉積岩基盤之上。根據同位素定年研究

(Wang and Chen, 1990; Juang, 1993; 曹恕中, 1994; 李淑芬, 1996), 本火山群活動最早約在兩百五十萬年前, 而於此後的一百萬年內並未有活動的情形, 直到約一百五十萬年前至八十萬年前間, 才有零星的噴發事件。在八十萬年前至二十萬年前, 噴發量達到最大, 並因此形成大屯火山群的主體, 而最後一期的噴發約在十萬年前結束, 並沉寂至今。

在大屯火山群中, 觀音山與本火山群的主體以淡水河分隔, 位於淡水河的西側, 火山岩以安山岩為主, 也有少量的玄武岩。大屯火山群中只有觀音山和烘爐山兩者為具有少量高鋁玄武岩的火山錐(陳正宏, 1975)。

### 2.1.3 西部麓山帶

西部麓山帶是一系列呈東北—西南走向的山嶺和谷地, 高度低於1000公尺。它的岩盤以褶曲的第三系沉積岩為主, 夾少許火山岩。本節主要針對西部麓山帶位於台灣北部的區域進行整理。

在台灣北部出露最老之地層為漸新世之五指山層以及木山層, 同時也是本地質區最老的地層, 以含有煤層的白砂岩夾灰黑色頁岩為主要岩性特徵, 為濱海相沉積物。中新世地層主要可分為三個沉積循環, 分別為野柳群、瑞芳群、三峽群, 每一個循環都由一個含煤地層開始, 接著沉積的是富於化石的海相碎屑沉積岩層, 如此一個含煤地層和一個海相地層就成為一個沉積循環。上新世地層於台灣北部出露較少, 約到大漢溪以南才有較寬廣的出露。

#### 2.1.4 台北盆地

台北盆地略呈三角形，晚期中新世至早期更新世的造山運動在台灣北部產生一系列朝西北逆衝的逆斷層，其中靠近台北盆地的有新店斷層、台北斷層、崁腳斷層以及新莊—金山斷層(黃鑑水, 1988)。中期更新世，大地構造環境由造山運動的擠壓環境轉變為後造山運動的拉張環境，新莊—金山斷層由逆斷層再活化轉變為正斷層的活動，山腳斷層便於此時形成。此條斷層的活動使上盤下陷形成台北盆地(Teng and Lee, 1996)。

台北盆地內之基盤以第三紀沉積岩為主，基盤之上為第四紀沖積層所覆蓋。盆地內第四紀沖積層之地層特性根據鄧屬予等人(1995)所提出之區別，從上至下可細分為松山層、景美層、五股層以及板橋層。以下就各層特性分別詳述：

##### (1) 松山層

松山層沉積物以河相為主，沉積時由於水位高低變化影響，砂層間夾雜著薄泥層以及礫石層，地質年代約為三萬年前。砂的顆粒大小以粗至中顆粒為主，淘選度佳；礫石層以安山礫岩為主，混雜石英礫岩；薄泥層則以細粒黏土為主，含有平行紋理、碳屑以及藍鐵礦。

##### (2) 景美層

景美層主要成分以沖積扇相之後層紅土礫石層為主，其間偶夾河相之青灰色礫石。以石英礫岩為主，砂岩次之，偶有火山礫岩。盆地內大部分區域都可發現此層，深度多在 70~160 公尺之間。地質年代介於十至二十五萬年前。

### (3)五股層

五股層主要成分為河相之砂層，夾雜礫石層、河湖相之泥層與沖積扇相之洪土礫層。砂層以中細粒為主，礫石層以石英岩礫組成，並夾有少量安山岩塊；泥層則以細粒黏土為主。地質年代約二十五至四十萬年前。

### (4)板橋層

板橋層成分為河湖相的砂泥層、河相的礫石，以及沖積扇相的紅土礫石，西北部有火山碎屑岩。下段多礫和砂層；上段則以泥層居多，具有緻密的平行紋理，與上部的五股層呈一交角不整合。地質年代約為四十萬年前。

根據 Teng et al. (2001) 所提出的台北盆地演化過程(圖 2.2)，在中新世之前，台北地區位於中國大陸邊緣的大陸棚上，並持續的堆積濱海相到淺海相的沉積物。

更新世早期(約 80 萬年前)，由於台灣北部的構造隱沒作用產生反轉的現象，使造山運動停止，而區域應力場也由擠壓轉變為伸張的環境，而構造運動也轉變成造山帶的崩塌作用，於現今大屯山區形成一張裂低地，導引古淡水河向北流，這也令林口沖積扇的沉積作用停止。

更新世中期(約 40 萬年前)，新莊斷層反轉產生山腳斷層，並以正移斷層的形式開始活動，此活動使位於斷層下盤的林口沖積扇因而抬升成為林口台地，同時台北盆地開始沉積。此時大屯火山地區以及觀音火山地區仍有火山活動。

更新世晚期(約 20 萬年前)，大屯火山某次強烈的噴發事件，產生大量的火山碎屑流，這些碎屑流堵塞了淡水河口，使台北盆地形成

淹塞湖。此時由河川所挾帶的沉積物大多堆積在湖邊，僅較細的泥沙被帶入湖中央而形成湖相沉積的紋泥層。到了約 15 萬年前，由於位於關渡的湖堤潰決，使湖水面急速下降，在湖邊的沉積物於此時向前堆積，盆地內形成一沖積扇，堆積了景美礫石層（鄧屬予等，2004）。

全新世早期（約六千年前），因全球海水面上升，盆地內受海水入侵而成一半淡水的海灣，此海灣在全新世晚期也被河川推積物填滿。在這些沉積的過程中，山腳斷層上盤同時以緩慢的沉降作用下陷，逐漸演變成今日台北盆地的形貌。

除了鄧屬予所提出的構造陷落盆地說，針對台北盆地的形成也有不同看法，如李錦發等（1999）利用斷層楔盆地之觀點，探討台北盆地的成因及洪奕星等（2006）提出的火山陷落盆地說，然此非本研究之研究重點，故不逐一描述。

## 2.2 區域斷層概述

根據地調所之定義，在過去十萬年內曾經活動，且未來可能再度活動的斷層稱為「活動斷層」。其中又可細分為第一類活動斷層，為過去一萬年內曾有活動紀錄；第二類活動斷層，在過去一萬年至十萬年內有活動紀錄者；存疑性活動斷層，指過去 500,000 年有活動，但不確定過去 100,000 年內是否有活動的斷層。

由於板塊活動造山運動，台灣北部有著數條斷層的存在，本節針對北部地區數條被定義或曾被定義為活動斷層的斷層其地質背景概略描述，由西至東分別為盆地西北側的金山斷層，西南側的新莊斷層、盆地西緣的山腳斷層、往東南方的崁腳斷層、台北斷層、新店斷層，以及位在林口台地西南緣的南崁斷層。



### 2.2.1 山腳斷層

山腳斷層最早是日據時代由丹桂之助(1939)所提出，他根據地形與地質的變化認為在盆地西北緣與林口台地的交界有一正斷層存在，並稱為山腳斷層。

根據中央地調所活動斷層研究，山腳斷層為一正移斷層，約呈北北東走向，大致可分為南北兩段：南段自新北市樹林向北延伸至台北市北投區，長約 13 公里，由第四紀沖積層所覆蓋；北段則由北投向北延伸至新北市金山，長約 21 公里，由大屯山的火山岩所覆蓋（丹桂之助，1939；林朝榮，1957；王執明等，1978；林朝宗，2005）。由鑽井資料顯示，山腳斷層確實造成台北盆地第三紀基盤的陷落(劉桓吉等，2000、2002；林朝宗，2005)，基盤的深度由西北向東南逐漸變淺。王乾盈等(1999)於新莊地區進行震測，結果顯示山腳斷層較一般預測的位置更靠近盆地邊緣，且分為南北兩段。

針對山腳斷層活動性之研究已於前一章描述，在此便不再描寫。

### 2.2.2 金山斷層

金山斷層為一逆移斷層，斷層由北海岸的金山向西南延伸，經大屯火山群、台北盆地至山子腳西北方塔寮坑，長約 34 公里。於金山地區，斷層的走向約呈東北東，向東南傾斜，斷層的東南為五指山層，西北為南莊層。根據地調所之研究，金山斷層在基盤的斷跡通過關渡自然公園之西北角後，略呈北 20 度東走向，向西南延伸通過五股一號 E 井之西側，繼續延伸與崁腳斷層會合。

由鑽探結果研判，在關渡以北，金山斷層位於山腳斷層之下盤，而在關渡以南，金山斷層可能位於山腳斷層的上盤，且兩斷層位置相當接近。金山斷層初次活動可能在大屯火山群噴發以前，也就是上新

世晚期。約距今 40 萬年前，山腳斷層的正移斷層作用開始，也逐漸形成台北盆地。金山斷層可能在距今 40 萬年前以來未有活動跡象，故暫由活動斷層中移除(林啟文等，2007)。

### 2.2.3 新莊斷層

新莊斷層為市川雄一(1930)調查桃園圖幅時首先命名。新莊斷層為一斷面向東南傾斜的逆移斷層，由台北市北投區貴仔坑西北方向南延伸至台北縣新莊市丹鳳迴龍附近，位於金山斷層的西側。根據地調所鑽探結果，新莊斷層上盤南莊層有劇烈剪切現象，下盤則為水平層態的大南灣層。

對於新莊、山腳以及金山斷層之相對關係，學者提出許多不同的看法。Wu(1995)利用中央鑽井資料推測，新莊斷層與山腳斷層近地表位置相符，同屬高傾角之斷面，至地下 13-14 公里處，新莊斷層傾角便緩而與山腳斷層分離。鄧屬予(1998)認為山腳斷層是新莊斷層活動化成的正斷層。王執明等(1978)認為新莊斷層被山腳斷層錯開。李錫堤(1993)則認為山腳斷層是發展在舊有逆斷層上的新期正斷層。

根據劉桓吉等(2000)之研究，透過地質鑽採岩心判斷，山腳斷層發展在舊有逆斷層的上盤。在關渡自然公園以北，山腳斷層發展在金山斷層的上盤。在關渡自然公園以南，山腳斷層則發展在新莊斷層的上盤，金山斷層的下盤。

### 2.2.4 炭腳斷層

炭腳斷層從台北東北部海岸萬里開始，沿馬練溪向西南延伸至台北盆地東緣士林外雙溪一帶。並在劍潭附近延伸進台北盆地，長約二

十餘公里，唯一規模較大的逆掩斷層(黃鑑水，1988)。斷層走向約呈北 60 度東，向東南傾斜，黃鑑水等(1991)推斷在東北段之傾角較大，約 40 至 60 度之間，往西南則傾角漸趨平緩；東南側部分為上盤，出露於五指山層，西北側之下盤出露於木山層、大寮層以及石底層，皆為第三紀地層(Ho, 1974)。由於地表之活動斷層地形特徵並不明顯，且斷層位於盆地之下的部分不易判斷，仍有待更多研究，此斷層目前也已在全台活動斷層分布圖中移除。

### 2.2.5 台北斷層

台北斷層為一逆移斷層，走向約呈東北東，斷面向東南傾斜。台北斷層由北海岸的深澳向西南西延伸，經台北盆地東南緣至中和，再沿大漢溪沖積平原之東南邊緣向西南延伸，經過土城、橫溪，再到達三峽。其後沿三峽與大溪間鄰接大漢溪沖積平原之山邊溪南緣直達大溪鎮，再向西越過大漢溪，與金山—新莊斷層相交，全長約 60 公里。本斷層再進地表為高角度傾斜(黃鑑水，1998)，至深部則為低角度傾斜。在台北盆地以東，斷層上盤為木山層及大寮層，下盤為南莊層與桂竹林層；台北盆地以南，則為石底、南港、南莊層逆衝至下盤的南莊、桂竹林層；而在三峽以南，下盤為沖積層覆蓋，上盤則為南港層。各地地層落差不同(何春蓀，1983)。

### 2.2.6 新店斷層

新店斷層為逆移斷層，走向呈東北東，斷面向東南傾斜。本斷層由景美溪上游往西南延伸，經雙溪、木柵、新店地區往西南延伸經大溪、石門西南方與新莊斷層會合，全長約在一百公里以上。由於新店斷層兩側由不同岩性之地層互相接觸，層位落差相當大，在新店往西

南，斷層沿線多有明顯斷層線崖。新店斷層斷層帶寬約 100 至 300 公尺，斷面傾角約 65 至 70 度(何春蓀，1983)

### 2.2.7 南崁斷層

南崁斷層位於林口台地和桃園台地的交界，由桃園縣蘆竹鄉向南延伸至新北市鶯歌鎮，全長約 14 公里，為一第四紀正斷層(花井重次，1930)。主斷層帶的走向約呈西北—東南向，斷面傾角約為 90 度，斷層上盤為桃園台地，下盤則為林口台地。然而在地球物理探勘及地質調查中，並沒有直接證據能證明南崁斷層的存在，因此對於南崁斷層的存在與否仍無法確定。

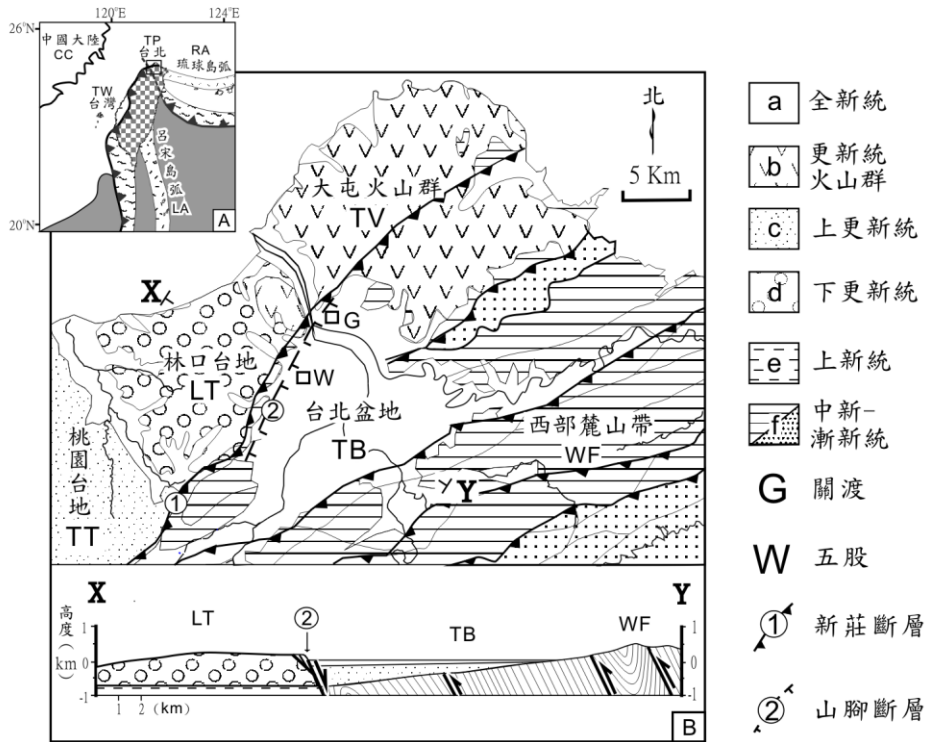


圖 2.1 台北區域地質背景。擷取自鄧屬予，2006。

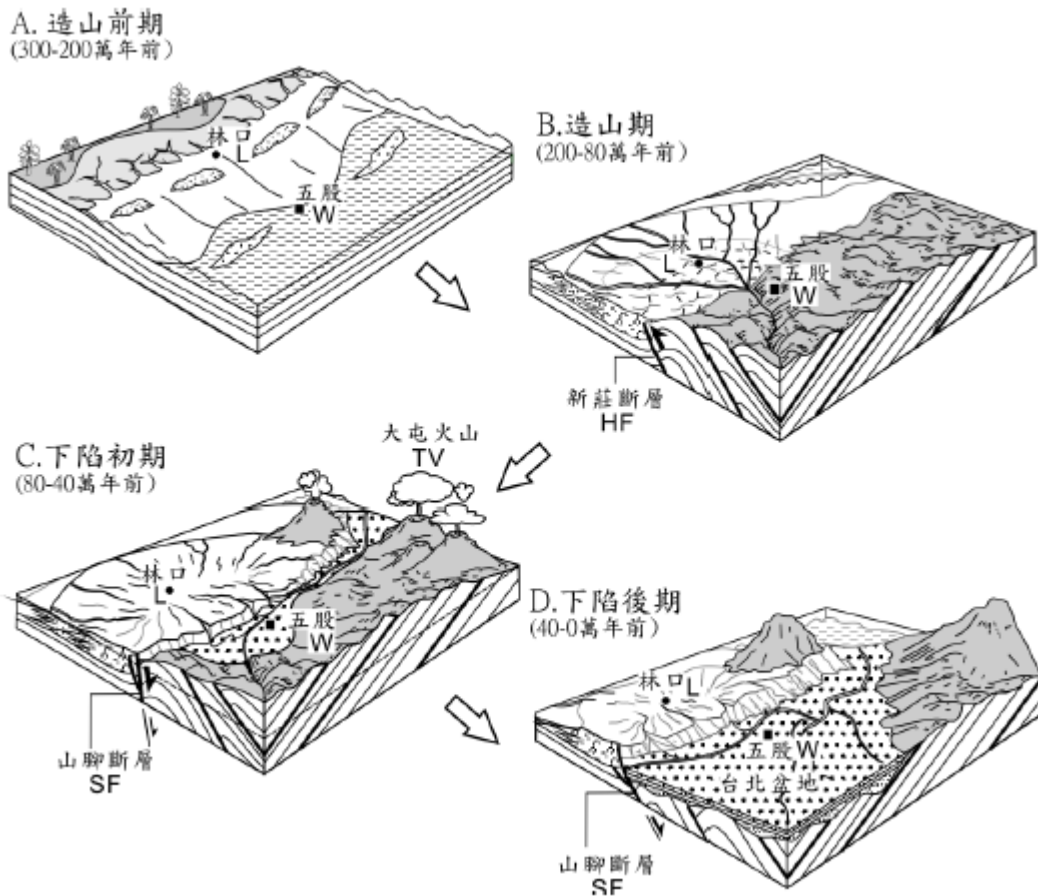


圖 2.2 台北盆地演化過程。擷取自鄧屬予，2006。

### 第三章 研究方法

地震的發生，在目前的認知中，是由於斷層的滑動行為產生的現象。由於斷面上的摩擦阻力使斷層的滑動會出現一次性的劇烈滑動行為，而當滑動過後斷層會進入一段沒有運動的時期，在這段時間內，應力會重新累積並在其後造成另一次的斷層滑動。而地震的造成的破裂與滑移會侷限在某個範圍內，由於斷層活動而造成的滑移量在理想的狀況應為靠近破裂面中心時，其量值為最大，而隨著靠近破裂面的尖端，其值會逐漸接近於零。這是因為斷層是處在一個半封閉的空間中，其受圍岩所封閉，所以斷層的活動會受到限制。

為了要了解山腳斷層活動時地表的變形行為，本研究利用斷層錯移模型，將岩體視為一彈性半空間之模型，斷層面為空間中一位移不連續面，而利用角錯動的觀念以求得空間中某座標受斷層面錯動而產生的位移向量。而在本研究中破裂面的幾何型態是以三角型元素所建構，在此種由三角型所建構之斷層面，相較於矩形元素之模型，更能忠實呈現斷層之形貌，對於地表位移之計算可以有更精確的結果。

除了地表的變形行為，在臺北盆地內有許多已經不再活動的斷層，這些非活動斷層在岩層中可能是一弱面之存在，而山腳斷層之活動對於這些弱面之影響也是本研究欲探討之目標。在本研究中利用庫倫破壞應力之概念針對這些弱面進行再活動可能性之研判。

### 3.1 錯動模擬

我們假設在自然界中，斷層面是一個連續的面，而斷層兩側的岩石則視為一完整的彈性體，這整個變形場的空間我們稱為彈性半無限空間(elastic half-space)。此時當斷層活動時，岩石受錯動產生的變形行為會近似線性的彈性關係。而當斷層錯動時，可視為在此半無限空間中某個連續的面產生了位移不連續的現象，而探討此位移不連續面與其位移向量這兩者和彈性半無限空間中位移場關係的模擬則稱為錯動模型(dislocation model)。過去有許多研究曾經利用此模型進行空間中一位移不連續面之錯動與地表位移之關係(Okada, 1985)。本研究利用 Brendan(2007)所編寫的錯移模擬之程式碼，該程式碼建立在位移不連續面是使用三角多邊形所建構而成，而透過利用三角多邊形建構不連續面，我們更能有效的模擬出在實際情況下斷層面的複雜形貌，而這對於最後模擬地表位移場的結果是有相當的幫助的。

除了在位移場的模擬之外，同時也可以利用錯移理論計算在彈性半無限空間中應力以及應變的改變量。透過模擬，可以計算在空間中，一位移不連續面在空間中所產生的位移梯度，透過梯度便可求出在空間中應力以及應變的改變量，這些應力以及應變的改變有助於我們觀察當錯移面產生錯動後空間中可能產生的行為。

### 3.1.1 斷層面幾何形態建立

為了對山腳斷層進行地表變形以及庫倫破壞應力改變之模擬，首先必須將三角斷層在三維空間中之斷層面數化，地表斷層線可以提供斷層在走向的變化，震測剖面則可以提供斷層在傾角方向的改變。根據這些前人研究之資料，便可建立斷層在三維空間中的幾何形態。在本研究中利用 Cubit 此程式進行斷層幾何形態的網格化，將山腳斷層之斷層面以大量的三角形平面元素組合成，利用此種三角形的網格可以很好的模擬曲面的幾何形態，使模擬能有更精確的結果。

在地表斷層線的分布，在台灣本島的部分參考林啟文等人(2007)之研究(圖 1.3)；而在外海之部分，考慮山腳斷層可能與海外之金山正斷層有所連接，本研究參考黃雯苓(2007)所繪製之台灣東北外海斷層分佈圖，將金山斷層外海延伸之部分視為山腳斷層向外海所延伸之部分。斷層線全長約 55 公里。斷層傾角之變化，我們參考在淺部震測所得出之山腳斷層傾角(簡志宇，2008)，將其向下延伸，並在深部給予一傾角變緩之變化。這段傾角變化的假設則是考慮正斷層在底部會產生匙狀構造之現象，因此在深部改變其傾角由 60 度變化為約 30 度。圖 3.1 為使用 Cubit 所繪製出之山腳斷層網格圖，共由 7182 個三角形網格所組成。

此斷層面視為山腳斷層於岩石圈中的已存在之斷層，而在此假設山腳斷層活動後不產生新的斷層面，也就是說不論山腳斷層產生的地震規模多大，在斷面邊緣的滑移量仍必須為 0。



### 3.1.2 斷層活動時之滑移量分布

斷層活動時，其斷面上產生快速滑動，地震便是這個現象造成的結果。然而可想見的，斷層的活動並不可能在整條斷面上產生相同的滑移量，而會隨著在斷面的不同區域有著不同的滑移量。因此在模擬中必須考慮此現象。本研究採用 Kim 以及 Sanderson(2005)的破裂模型，當斷層活動產生地震時，斷層面上會有一個最大的滑移量發生在破裂中心的位置，而隨著越遠離中心，滑移量會逐漸減少並逐漸趨近於 0。一般來說此種破裂行為之幾何型態會趨近於一對稱橢圓，然而由於對地質材料的了解不足，且我們也無法確定滑移分布的長短軸比值，故在本研究中，進行模擬時皆採用一同心圓的方式。

#### 滑移量與地震規模之推算

在不同地震規模下，滑移量的大小會有所不同，這裡我們利用地震矩量( $M_0$ )(Hanks and Kanamori, 1979)來計算地震滑移量。地震矩量以及滑移量可以用下式表示：

$$M_0 = \mu \times A \times \bar{D}$$

同時也可以換算成地震規模M：

$$M = \frac{2}{3} \times \log M_0 - 10.7$$

在式 3 中的  $\mu$  為剪力模數(shear moduls)，通常我們在岩石圈中會將其設為  $3 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$  (Hanks and Kanamori, 1979)；A 為斷層破裂面積( $\text{cm}^2$ )，也就是在斷面上有滑移量產生的區域面積。而根據

Wells 和 Coppersmith(1994)的文章，提出地震規模與正斷層破裂面積的關係式：

$$M = 3.93 + 1.02 \times \log(RA)$$

其中  $RA$  便為正斷層破裂面積。透過式 3 到式 5 便可以求得在不同的地震規模下產生的平均滑移量。由於在本研究中之破裂面積假設為一橢圓形，假設斷層面上橢圓形破裂面積  $RA$  之長短軸比值為  $r$ ，則可利用橢圓形面積公式約略計算破裂面積與地下破裂長度之關係：

$$RA = \pi \times \left(\frac{L}{2}\right) \times \left(\frac{rL}{2}\right)$$

其中  $L$  代表斷層面的地下破裂長度，也就是橢圓形破裂面積  $RA$  之長軸。透過式五及式六，便可推算出在不同地震規模下，斷層產生之破裂面積及破裂長度。

### 滑移量於斷層面上之分布形態

透過在前一節的公式計算，可求得地震規模與破裂面積、破裂長度以及平均滑移量之關係。而在前一節也有提到，在斷層活動產生地震時，斷層面上會有一個最大的滑移量發生在破裂中心的位置，而隨著越遠離中心，滑移量會逐漸減少並逐漸趨近於 0。而在斷層面上我們利用許多三角多邊形進行斷層面之網格化，這些三角多邊形都代表了在斷層面上的其中一小片段，我們將每塊三角多邊形都分別代入不同的滑移量值，滑移量的大小與該三角多邊形和地震破裂中心之距離有關，透過此種方式模擬在斷層面上滑移量隨著遠離破裂中心遞減的現象。

要計算每個三角多邊形之滑移量，首先需先得到每個三角形與破

裂中心沿斷層面的距離，由於斷層面在三維空間中為一曲面，因此必須先將原本位於三維空間中之斷層面轉換至走向與傾角的二維空間座標系統中，如此可簡化每一個三角形元素與破裂中心的距離關係。在此座標系統中，破裂中心為  $(p, q)$ ，而三角形元素之座標為  $(x, y)$ ，則破裂中心與三角形元素之距離  $S$  可表示成：

$$S = \sqrt{(p-x)^2 + (q-y)^2}$$

由於破裂面積為一橢圓形之模式，故考慮橢圓形長短軸之比值  $r$  修改距離公式為：

$$S' = \sqrt{(p-x)^2/r^2 + (q-y)^2}$$

透過此公式，可計算出三角形元素是否包含在破裂範圍之內，當  $S'$  大於破裂面積之短軸長  $H$  時，則表示此三角形元素位於破裂範圍外，其滑移量為零。而當  $S'$  小於  $H$  時，則表示該三角型元素位於破裂範圍內，假設其遞減行為與其距離長短為線性關係，則可將滑移量表示為下列公式：

$$D(x, y) = D_{max} \times \left( 1 - \frac{2\sqrt{(p-x)^2/r^2 + (q-y)^2}}{H} \right)$$

$D(x, y)$  即為所求之不同座標三角形元素滑移量。而  $D_{max}$  為滑移中心之最大滑移量。在式九中， $D_{max}$  仍為一未知數，但如果將所有滑移量積分後除以後再除以橢圓面積，會發現  $D_{max}$  為平均滑移量  $\bar{D}$  的三倍。而在前一節中我們已經得到平均滑移量  $\bar{D}$  的估算方式，故透過上面式一至式九之計算，我們便可用最常用來評估地震大小的參數：地震規模  $M$ ，來計算在不同三角形元素上之滑移量(邱俊穎，2007)。圖 3.2 顯示在不同地震規模下所產生之滑移量值分布。在規模 7 的情況可以產生的最大滑移量大於 3 公尺，當規模為 5 時產生之最大滑移量約為 0.5 公尺。

## 滑移量於斷層面上之滑移方向

近年來在台北設立了許多 GPS 觀測點，透過 GPS 觀測，台灣北部地區目前的大地構造應力主要方向為西北西—東南東向的張力型態，方位角約為 103 度。假設在斷層面上的滑移方向其水平投影即為此方向，經過計算後，在斷層面上之滑移方向指示山腳斷層為一具有左移分量之正滑斷層，這與石瑞銓等(2004)以及其他前人的研究中，認為山腳斷層是一左向正滑斷層的結論一致。

## 3.2 庫倫破壞應力

庫倫破壞應力(Static Coulomb failure stress)為近數十年來相當多人探討的一套理論。在地震過後，斷層的錯動會對空間中的岩體產生應力的改變，透過這些應力的改變，我們可以估計在一地震過後，其鄰近的地區或其他斷層面上是否會產生觸發效應，使另一區域受前地震影響而有較高機率發生地震。庫倫破壞應力的計算方式如下：

$$\Delta CFS = \Delta\tau_{slip} + \mu(\Delta\sigma_n + \Delta P)$$

其中 $\Delta\tau_{slip}$ 為受到地震後產生的剪應力改變量； $\Delta\sigma_n$ 為受到地震後產生的正應力改變量； $\mu$ 為摩擦係數； $\Delta P$ 為孔隙液壓改變量。而透過計算後可以將上式轉變為下式：

$$\approx \Delta\tau_{slip} + \mu'\Delta\sigma_n$$

其中 $\mu'$ 為視摩擦係數(apparent coefficient of friction)。透過計算後，如果 $\Delta CFS > 0$ ，則說明該區域發生後續地震的可能性增加，而

當 $\Delta CFS < 0$ ，則該區域發生後續地震的可能性則會降低。本研究透過庫倫破壞應力來了解當山腳斷層活動時，對於既存的數條斷層可能造成的影響。

### 觸發斷層面幾何形態建立

由於我們進行庫倫破壞應力計算時，是在觀測之斷層面上進行計算，因此我們必須將欲觀測之斷層面網格化，藉此進行斷面上 CFS 之計算。本研究中總共考慮了六條不同的斷層，建立的斷層面如圖 3.3 至 3.8。其中我們將金山斷層分為南北兩段，分別位於山腳斷層上盤以及下盤，其餘斷層參數設定參考前人研究，列於表 3.1 及表 3.2 中。

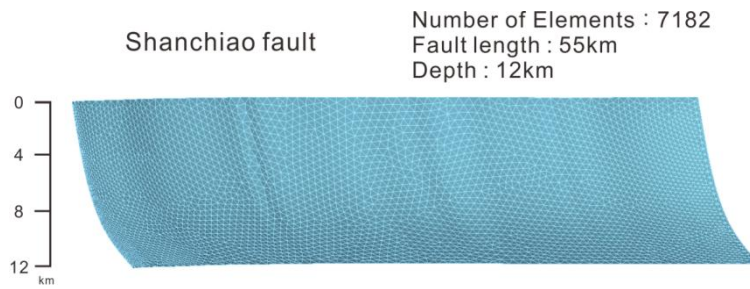


圖3.1 山腳斷層網格圖。

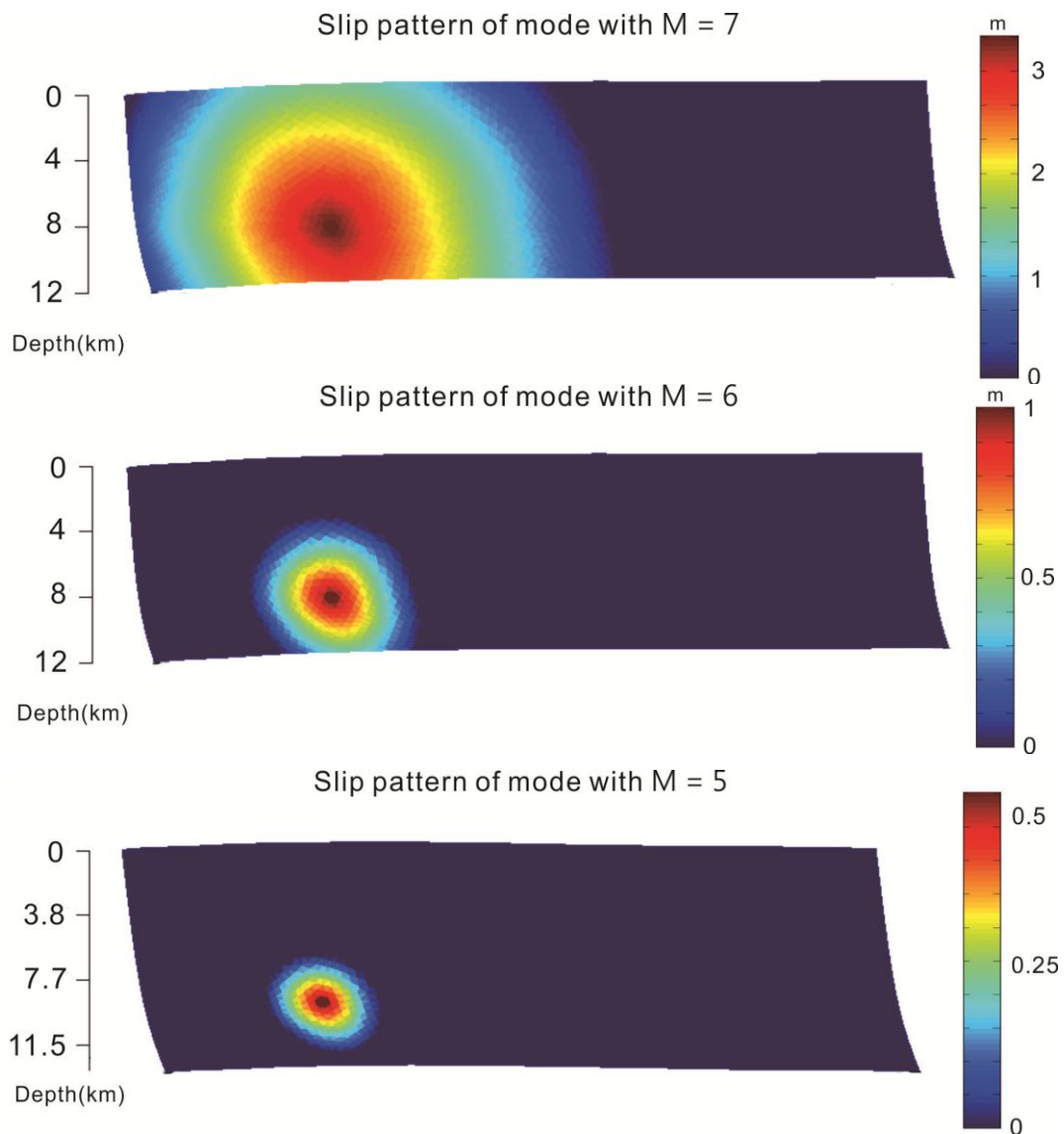


圖 3.2 山腳斷層斷層面上滑移量分布。在不同的地震規模下所產生之斷面上滑移量分布，規模 7 的情況可以產生的最大滑移量大於 3 公尺，而當規模為 5 時產生之最大滑移量約為 0.5 公尺。

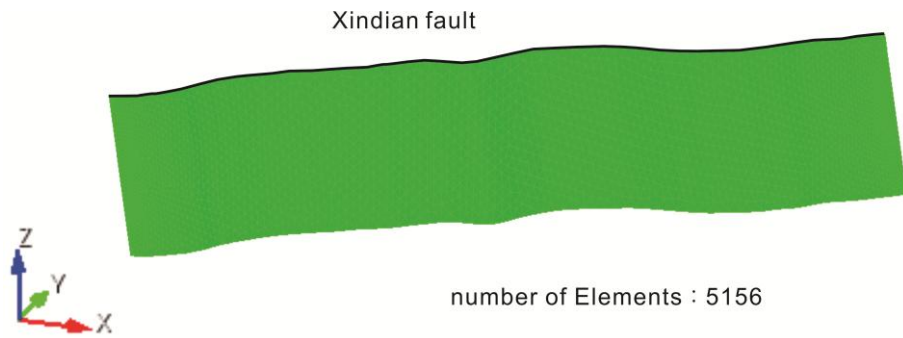


圖 3.3 新店斷層網格圖。斷層資料參照表 3.1，由 5156 個三角形元素組成。

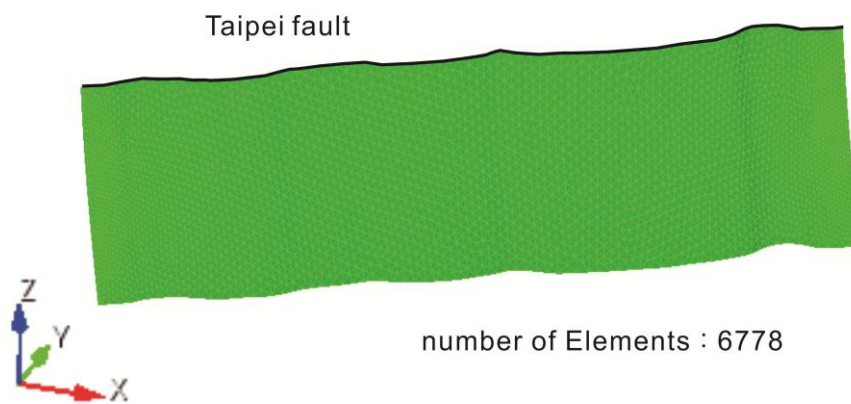


圖 3.4 台北斷層網格圖。斷層資料參照表 3.1，由 6778 個三角形元素組成。

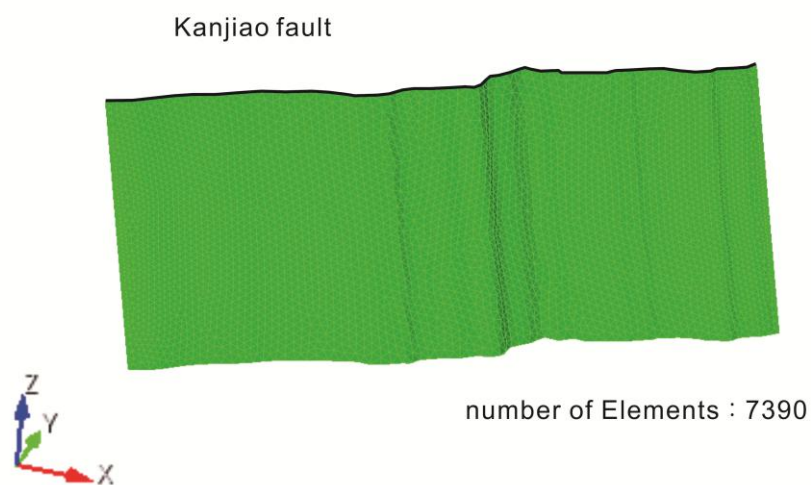


圖 3.5 坎腳斷層網格圖。斷層資料參照表 3.1，由 7390 個三角形元素組成。

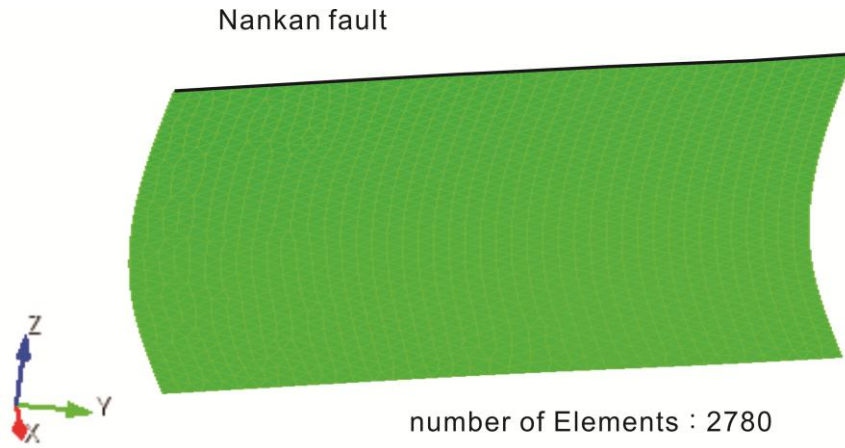


圖 3.6 南崁斷層網格圖。斷層資料參照表 3.1，由 2780 個三角形元素組成。

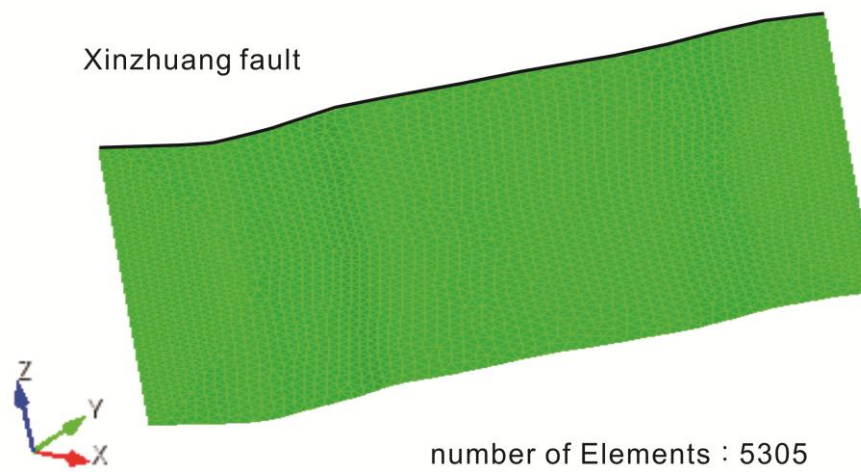


圖 3.7 新莊斷層網格圖。斷層資料參照表 3.1，由 5305 個三角形元素組成。



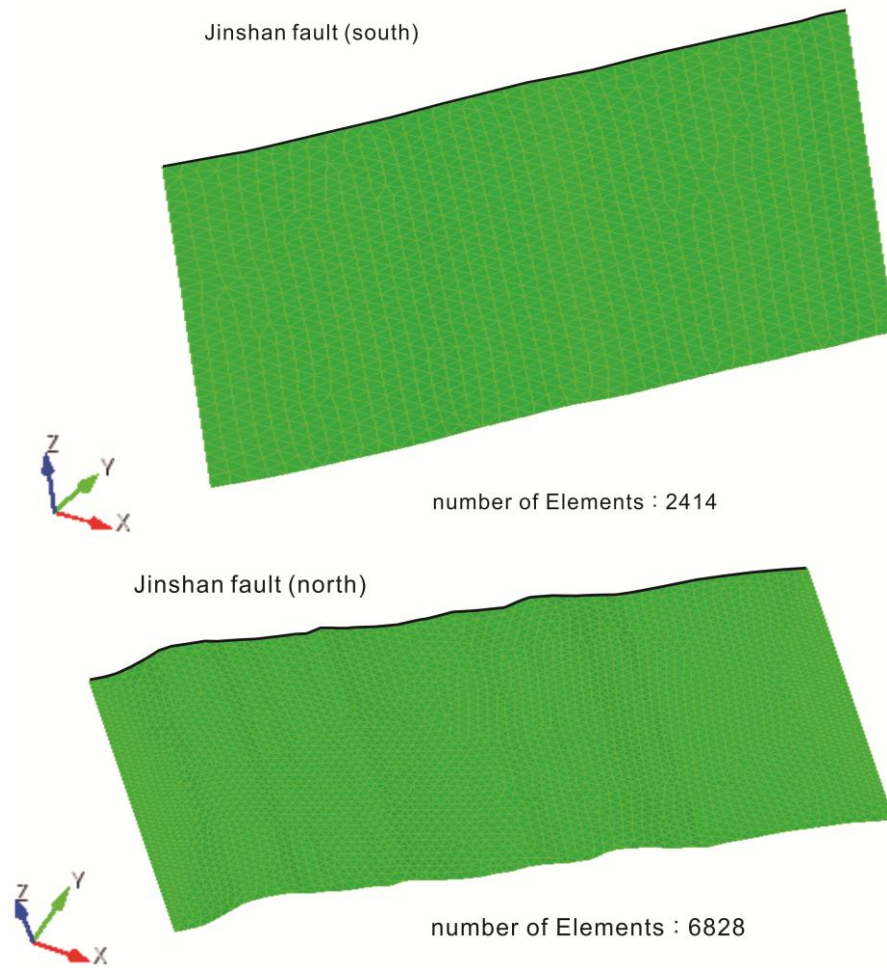


圖 3.8 金山斷層網格圖。斷層資料參照表 3.1。由於金山斷層南北兩段分屬山腳斷層之上下盤，因此在本研究中將此斷層分為南北兩段分別進行模擬，北段由 6828 個三角形網格組成，斷層長度約 25 公里。南段由 2414 個三角形組成，斷層長度約 12 公里。

斷層	方位	斷面傾角	斷層長度
金山斷層	東北 <sup>[1]</sup>	30°E~45°E <sup>[2]</sup>	34Km <sup>[1]</sup>
新莊斷層	東北 <sup>[1]</sup>	30°E~45°E <sup>[2]</sup>	20Km <sup>[1]</sup>
崁腳斷層	N60°E <sup>[3]</sup>	東北段 40°E ~60°E 崁腳以南 22°E <sup>[3] [4]</sup>	20Km <sup>[3]</sup>
台北斷層	N60~70°E <sup>[5]</sup>	60°E 深部為低角度 <sup>[6]</sup>	60Km <sup>[7]</sup>
南崁斷層	北北西 <sup>[8]</sup>	90°E(>80°E) <sup>[9] [10]</sup>	14Km <sup>[8]</sup>
新店斷層	東北東 <sup>[11]</sup>	65~70°E <sup>[7]</sup>	>70Km <sup>[7] [11]</sup>

表 3.1 台灣北部主要斷層資料彙整。<sup>[1]</sup>市川雄一(1930)、<sup>[2]</sup>邱華燈 (Chiu, 1968)、<sup>[3]</sup>黃鑑水等(1991)、<sup>[4]</sup>何春蓀(Ho, 1974)、<sup>[5]</sup>何春蓀等(Ho et al., 1963)、<sup>[6]</sup>黃鑑水(1998)、<sup>[7]</sup>何春蓀(1983)、<sup>[8]</sup>花井重次(1930)、<sup>[9]</sup>陳文福等(1994)、<sup>[10]</sup>葉義雄等(1985)、<sup>[11]</sup>黃鑑水等(1994a, b)。

山 腳 斷 層	斷層參數	參數		參考文獻
	斷層長度	南段（樹林向北延 伸至台北市北投 區）	13km	林啟文等，2007
		北段（北投向北延 伸至新北市金山）	21km	林啟文等，2007
		海外延伸	約 20km	黃雯苓，2007；
	寬度	深度/sin 傾角	18.4km	
	深度	深度參考莫荷面深 度(岩石圈深度)	13km	Shyu et al, 2005
	面積	長度×寬度	1012km <sup>2</sup>	
	走向		西南向東北	林啟文等，2007
	傾角	60 度；深部傾角變 緩	60 度； 深部轉為 30 度	戴榮興，2007； Shyu et al, 2005； 簡志宇，2008； 石瑞銓等，2003、2004
其他參數				
剪力模數	1.5Gpa			
泊松比	0.25			
視摩擦係數	0.4			

表 3.2 模擬參數表

## 第四章 模擬結果

### 4.1 斷層活動與地表同震變形

本研究透過模擬山腳斷層發震後對於地表沉陷及抬升影響，以及錯動後對於鄰近斷層之應力改變，因此需要設定地震規模、震源位置及深度。震源規模的設定，根據本研究中山腳斷層長度的設定，其可能產生的最大規模約為規模 7.4，考慮斷層模型並非完全精確，故使用規模 7.5 作為模擬中山腳斷層可能產生的最大規模。而當地震規模小於規模 5.5 之後，模擬所得的結果只有不足一公分的沉陷量，由於此變形量相對較小，對於台北地區造成之危害度較低，故本研究探討之最小規模為 5.5，而在最大與最小規模之間，分別使用規模 6、6.5 以及規模 7 進行模擬，觀察在不同規模下之變化情形。

而震源的設定，首先考慮前人研究中所認定，在山腳斷層南段五股一帶有持續活動之可能性，故在該區域設為一可能的震源位置，震源深度的考慮，則參考在 2004 年所發生之台北四獸山地震，將震源的深度設定在約 9 公里深處，本文中將以震源 A 代表此震源設定。另外，考慮 1867 年之金山海嘯所產生的地震，其震源推測為東北外海，說明在東北外海有產生大地震之可能性，故在本研究中同時在山腳斷層向外海延伸處設置了第二個可能的震源位置，而震源深度同樣設定為 9 公里深。本文中將以震源 B 代表此震源設定。除了上述兩震源，我們考慮整條斷層皆產生錯動的現象，而由於本研究中錯動量分布之假設為一圓形向外遞減的模式，故設定一震源在斷層中央，在此情況下錯動量之分布可以完整的傳播到斷層的兩端，藉以模擬整條斷層錯動之情形。本文中將以震源 C 代表此斷層設定。

在不同的震源以及不同地震規模之下，結果如圖 4.1 至圖 4.3 所示。在地震規模小於 6 的情況，地表產生的沉陷不足 0.5 公尺，而當規模大於 6.5 之後，地表所產生的沉陷可以達 1 公尺以上。而圖中也可以看出沉陷的範圍在近南側的部分沉陷的範圍較寬廣，這與我們在設定斷層滑移時，給予其左滑性質有所關聯。如果將震源 A 所得結果與台北第三紀基盤深度圖(圖 1.2)進行比較，可以發現在規模小於 6.5 的情況，其沉陷的範圍和沉陷最大集中區域和第三紀基盤深度相當接近。在模擬結果中，可以看到在斷層的上盤較遠離斷層處，有明顯的抬升現象，這是由於在模擬中，我們將岩體視為彈性體，而當斷層錯動後產生彈性回彈的結果。

而在三個不同的震源點，其模擬得出之結果，在沉陷量上有些微的不同，當震源在南端的時候，規模達到 6.5 時，最大沉陷量可以接近一公尺，而震源在中央時相同規模所造成之最大沉陷量只有約 0.5 公尺；而規模 7.0 時，當震源在中央以及北端時可以造成大於 1.5 公尺之沉陷量，在南端時造成之沉陷量卻相對較小。這可能是當發震在不同震源時，斷層幾何形貌改變造成反應在地表的沉陷量有所不同。

另外，我們針對在不同深度的情況，相同規模的地震對於地表變形的影響，在這邊使用震源 C 的設定，規模設定為 6.0、6.5 以及 7.0 三種狀況，模擬深度從 6 公里增加至 12 公里深，其造成之改變(圖 4.4 至圖 4.6)。結果顯示，隨著震源深度之增加，沉陷範圍逐漸變廣，而最大沉陷深度有略為減少。而在規模 6.5 之情況，可以明顯看出當深度在 8 公里之上時，斷層的破裂行為有延續至地表的現象；而當深度在 8 公里以下，破裂的現象便無延續至地表，故下陷的現象並未出現不連續。同樣的破裂現象在規模 7.0 的情況下也可看出，當規模為 7.0 時，不論深度的改變，在地表都有破裂的行為出現。換言之，在

相同的震源深度下，地震規模越大其產生地表斷層破裂的可能性越高，且破裂的長度越長；而在同樣的地震規模下，震源的深度會決定地表產生破裂與否以及破裂的長度。

## 4.2 盆地內斷層面上庫倫應力變化

本研究另外針對整個北部區域主要的斷層構造進行應力改變的模擬，藉以觀察在山腳斷層活動的情況下，對於鄰近的數條非活動斷層是否有驅使其活動的可能性。

本文中採用的六條斷層分別為新店斷層、台北斷層、崁腳斷層、新莊斷層、金山斷層以及南崁斷層。斷層的設定根據在第二章中所整理出的斷層資訊，並同樣利用 Cubit 此程式進行斷層幾何形態的網格化，將此六條斷層分別以大量三角形平面元素組合成，藉著此種方式，能有效的模擬出在觀測斷層面上其位態之變化對於應力所造成之影響。與前一小節相同，震源設定為震源 A、震源 B 以及震源 C 三個不同震央，模擬在不同震源下，鄰近六條斷層所產生的結果。而震源規模的設定則皆設定為 7.0，採用此規模之原因是地震規模將會影響產生的結果，故用較大之規模地震較能明顯看出造成之影響。

圖 4.7 至圖 4.9 為模擬之結果，其中金山斷層考慮其南北兩端分別位於山腳斷層之上下盤，故將金山斷層分別以南北兩段進行模擬。考慮目前台北區域處於一伸張應力之情況(圖 1.3)，故我們假定這六條非活動斷層以正斷層活動之方式，計算其庫倫破壞應力之改變量，圖中暖色系為庫倫破壞應力增加之區域，冷色系為庫倫破壞應力減少之區域。根據模擬結果，除了南崁斷層幾乎整個斷層面皆處於應力上

升的區域外，其餘的斷層皆有應力增加與減少的區域。而在三個不同的震源可以看出，隨著震源的位置改變，應力改變高區亦會隨之遷移；而在不同的震源下，應力的改變量也有所不同，在震源 A 的情況為應力增加的區域，當震源改變為 B 或是 C 時，則有可能變為應力減少的區域。根據模擬結果，可以得知，在山腳斷層鄰近的斷層面，會隨著山腳斷層本身發震的位置而在不同的區域產生不同的應力增減的結果。

### 4.3 沉陷造成可能之淹水區域

山腳斷層的活動，對於台灣北部有相當大的危害，其中，淹水的危害對於台北盆地以及金山地區會是相當大的重點，在山腳斷層活動後造成地表的變形，會令某些區域降至海平面以下，而這些區域會成為河水潰堤或是海水倒灌產生淹水的高危險區域。本研究將地震產生之沉陷資料與地形高程資料進行對比，評估在山腳斷層活動後可能會產生淹水危害之高危險區域。

#### (1) 臺北盆地可能之淹水區域

臺北盆地內主要為淡水河切穿，斷層活動後造成之地形影響可能使盆地內部份區域沉陷至海平面之下，在此情況下，淡水河的潰堤、盆地內的暴雨抑或海水倒灌都有可能造成盆地內淹水。為了瞭解盆地內可能淹水之危險區域，我們假定在盆地內發生規模 7.5 之地震，將此資料結合台北盆地地表高程資料，繪出地震後台北盆地之地形如圖 4.10，其中藍色區域為海平面以下之區域，整體淹水面積約為 50 平

方公里。在沉陷範圍圖中我們可以看到在同樣的地震規模級震源位置下，沉陷區域主要集中在五股蘆洲一帶，而在淹水可能地區中同樣以五股、蘆洲、士林、北投以及新莊為主，說明沉陷集中的範圍與淹水的可能地區大致相符。

## (2) 金山地區可能之淹水區域

山腳斷層截切過的地區也包含了金山區域，當山腳斷層發生地震後，金山區域可能會由於地震造成之沉陷而使沿海地區降至海平面以下，並因此造成淹水災情。圖 4.11 為金山區域在地震後可能沉陷至海平面下之區域，由於此區域地震紀錄較少，因此我們假設震源位於金山區域，假定在此情況下會造成的災情為最大，並給予規模 7.5 之地震規模，結合模擬結果與地形高程，計算在震後可能會有淹水災情的地區，其結果顯示在金山沿海地區約有 2 平方公里之地區有淹水的危險。



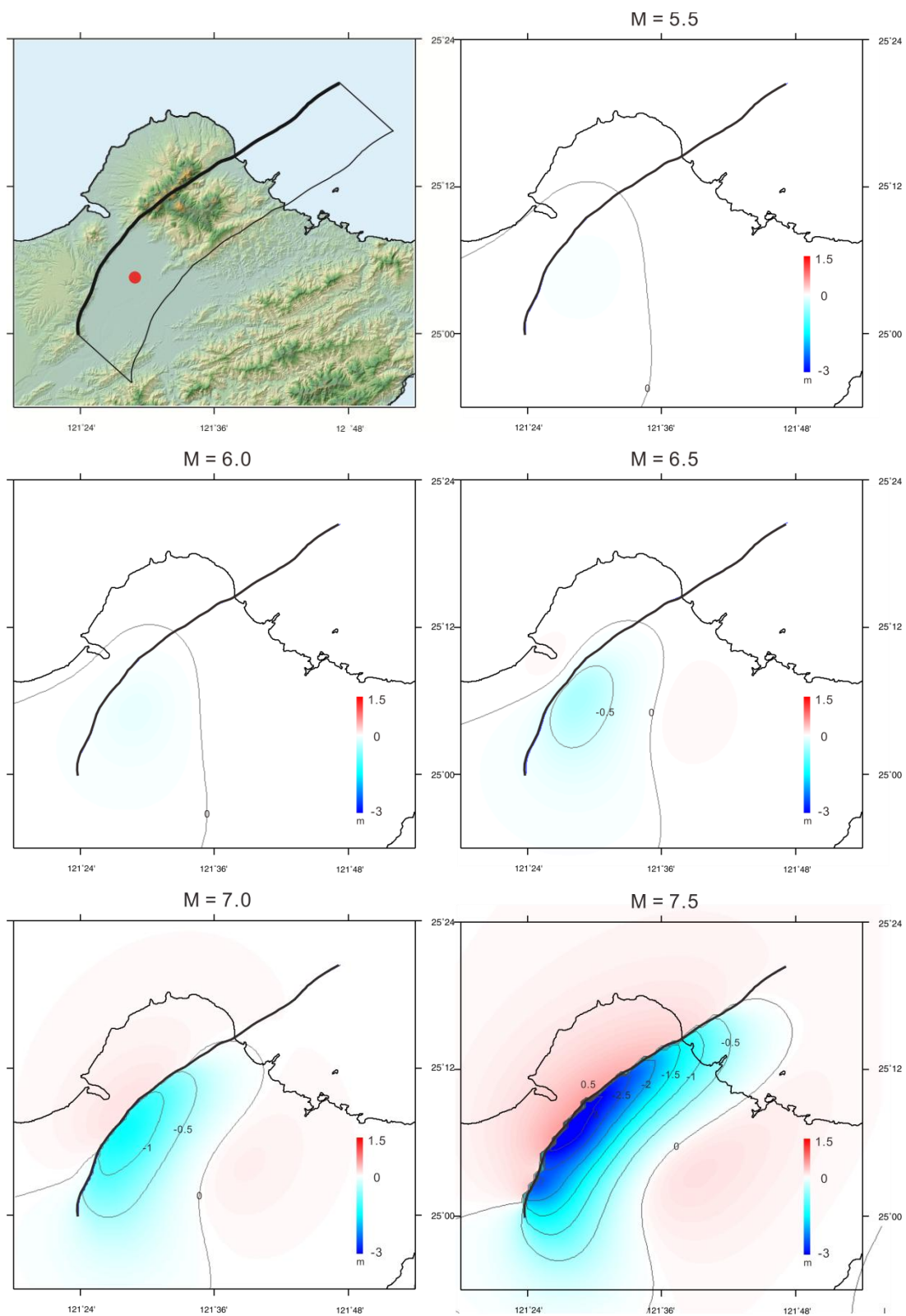


圖 4.1 山腳斷層地表同震位移，震源設定 A(南段) 規模 5.5 至 7.5 所產生之地表變形行為。

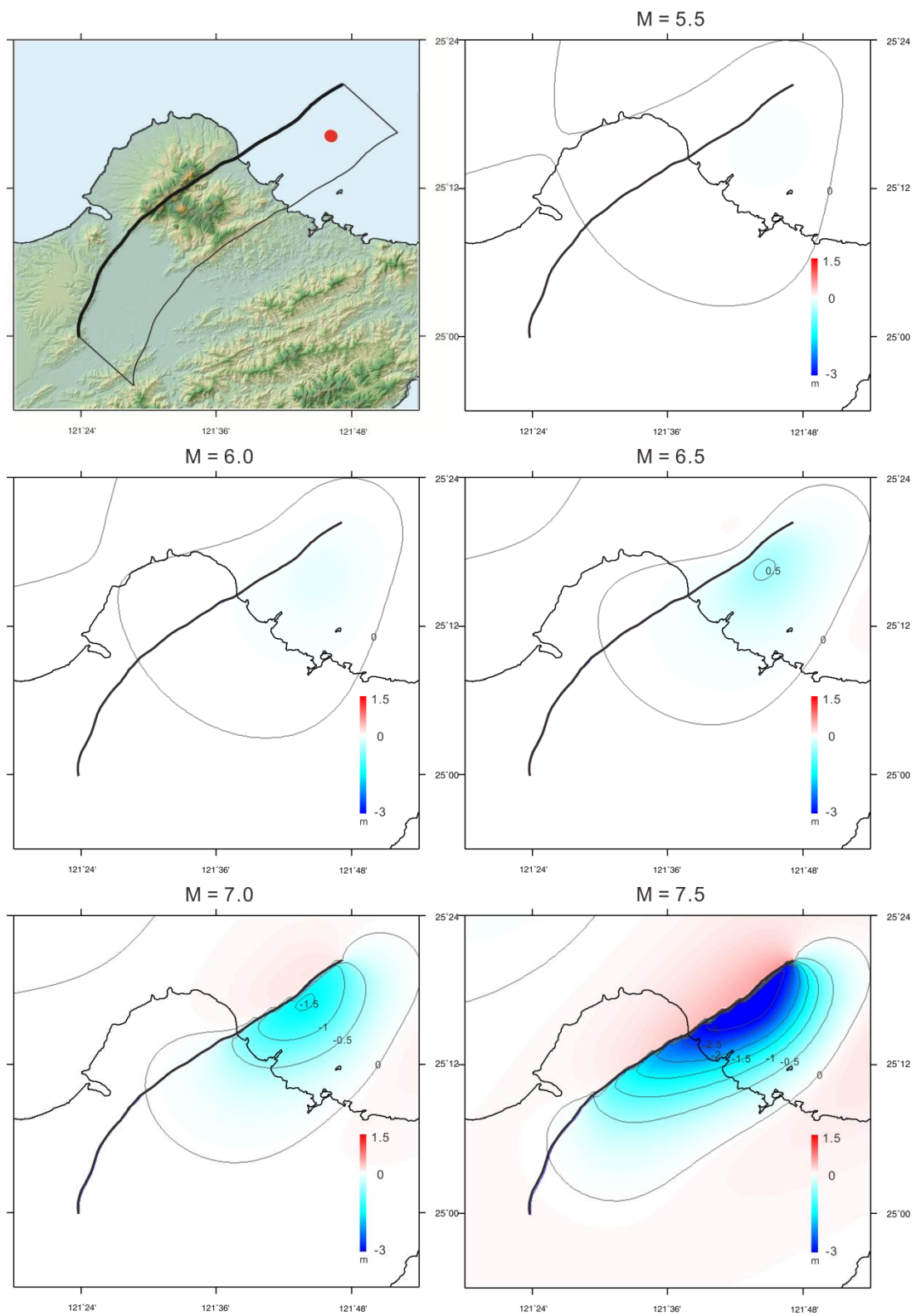


圖 4.2 山腳斷層地表同震位移，震源設定B(北段)規模 5.5 至 7.5 所產生之地表變形行為。

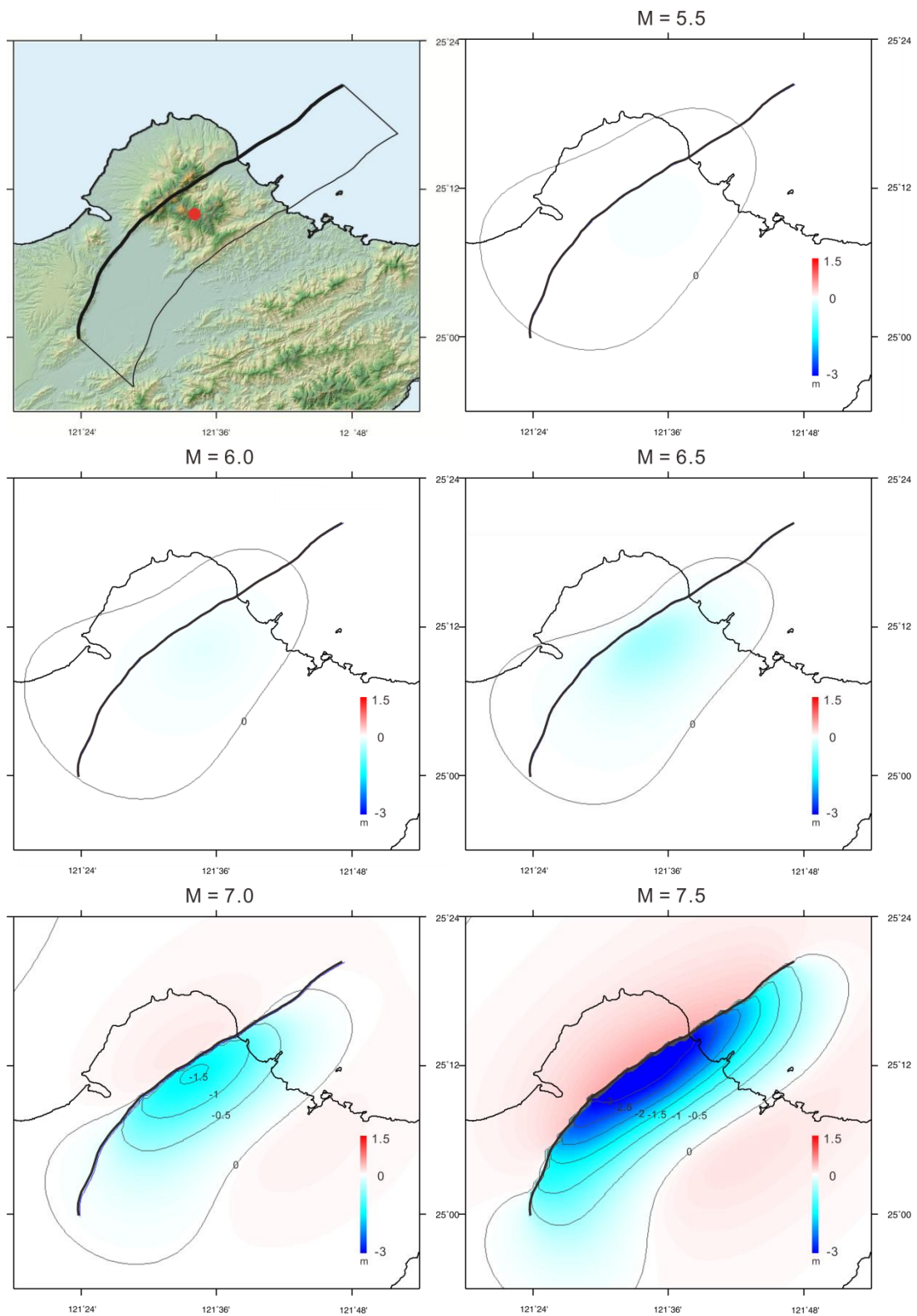


圖 4.3 山腳斷層地表同震位移，震源設定C(中央)規模5.5至7.5所產生之地表變形行為。

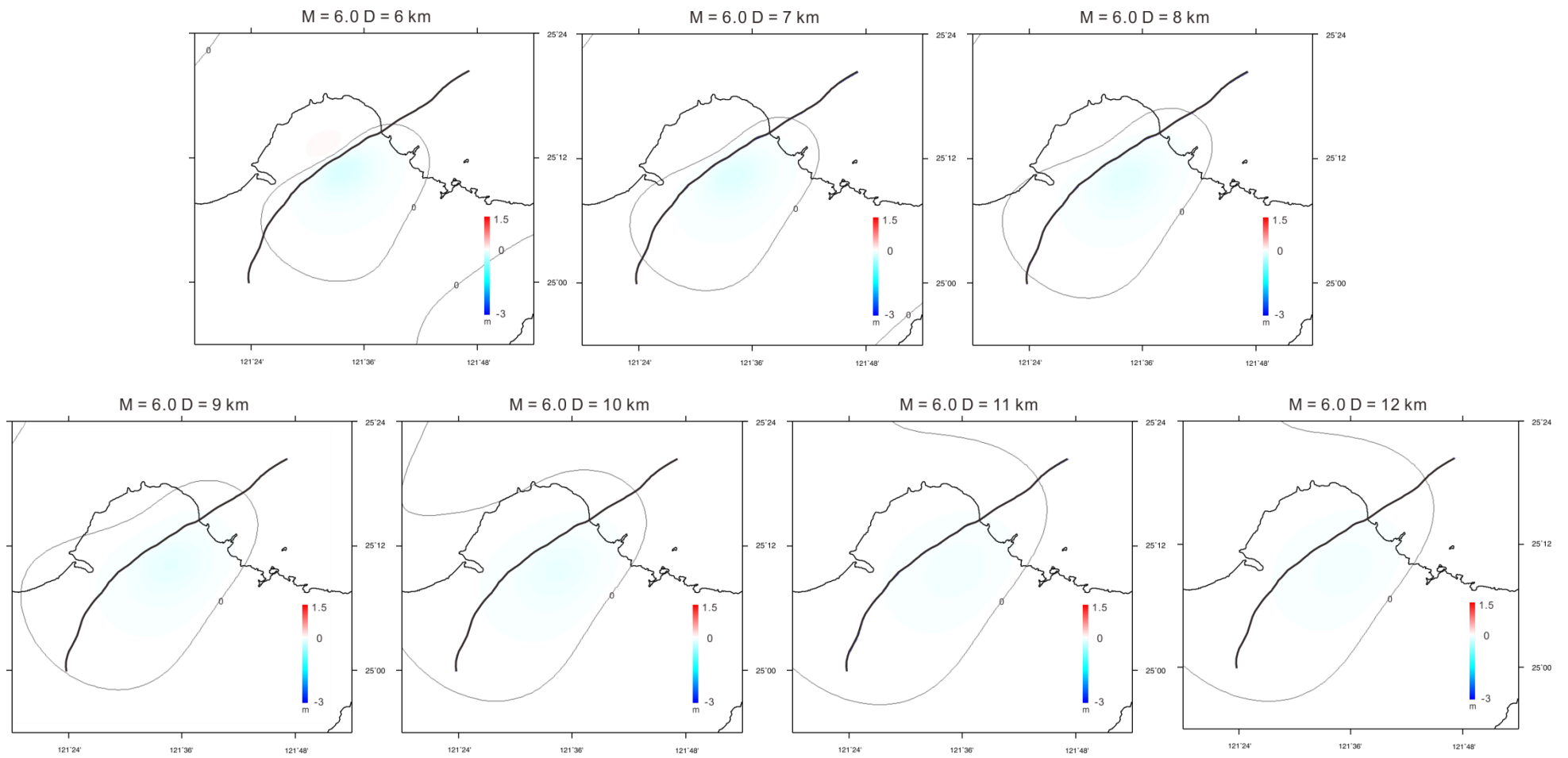


圖 4.4 山腳斷層地表同震位移—深度改變。規模 6.0，改變深度從 6 公里至 12 公里深。

隨著深度增加，沉陷範圍逐漸增加，但整體而言並無太大改變。

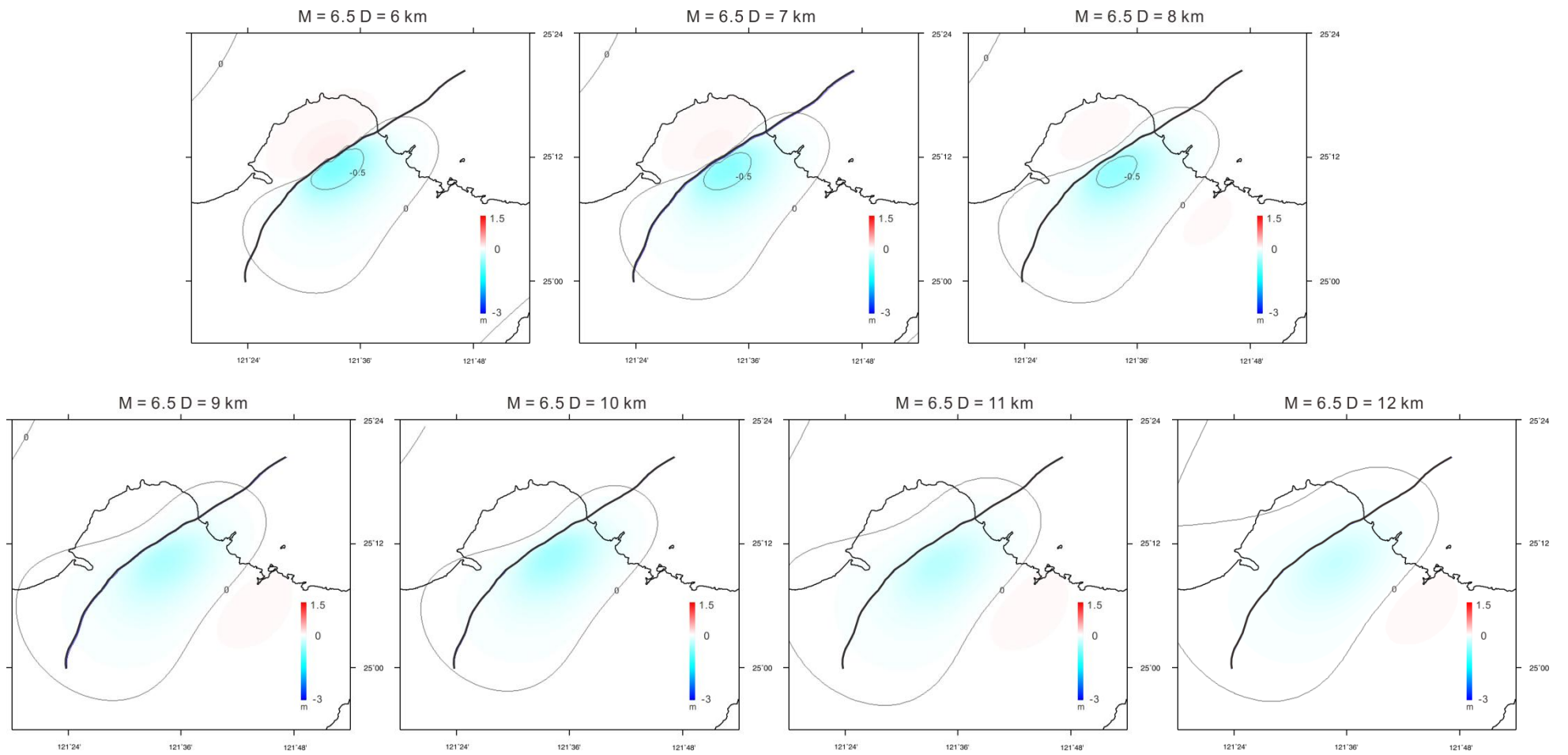


圖 4.5 山腳斷層地表同震位移—深度改變。規模 6.5，改變深度從 6 公里至 12 公里深。結果顯示在深度小於八公里時，斷層的破裂行為有延續至地表的情況。

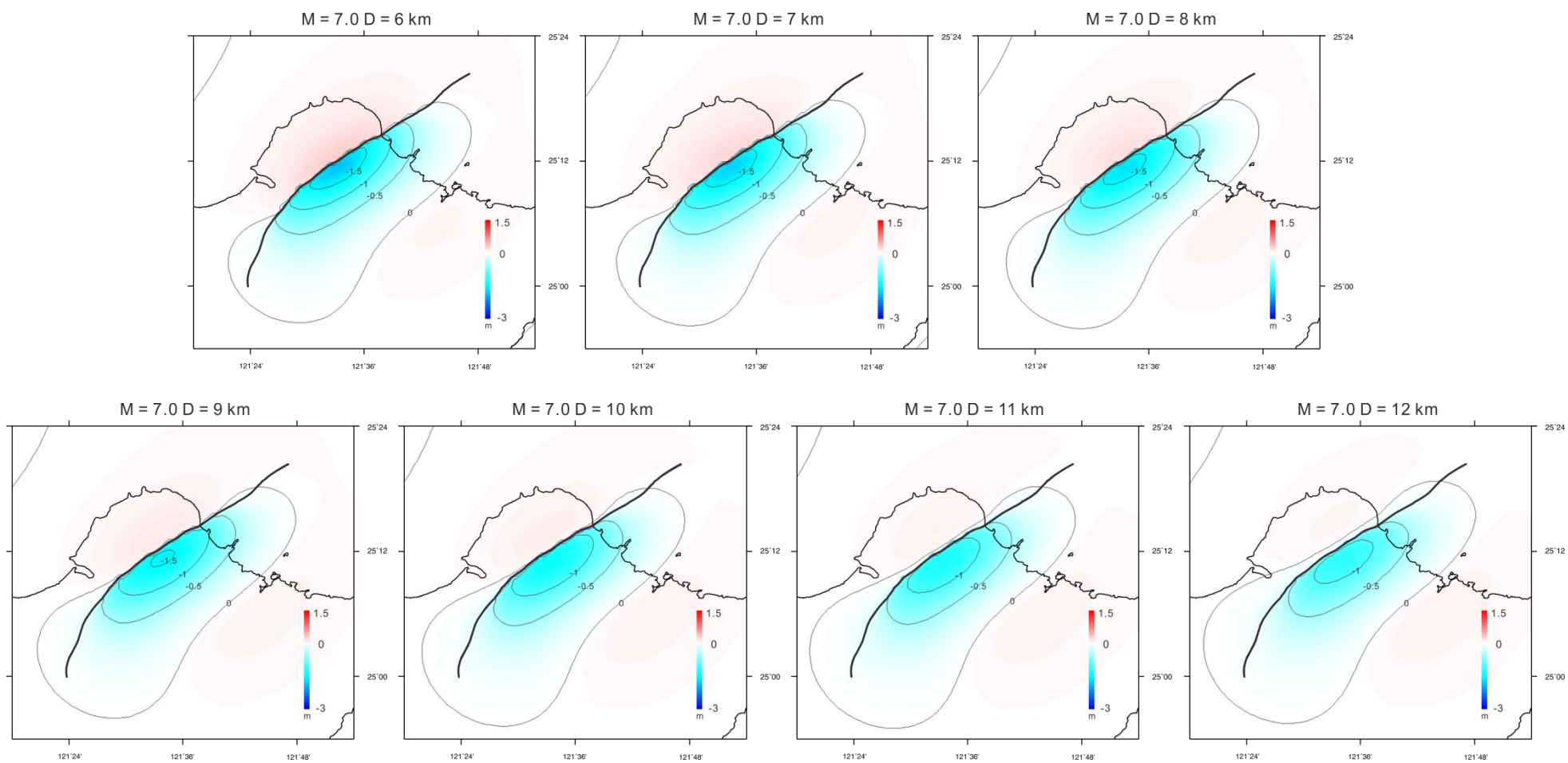


圖 4.6 山腳斷層地表同震位移—深度改變。規模 7.0，改變深度從 6 公里至 12 公里深。整體而言並無明顯變化。

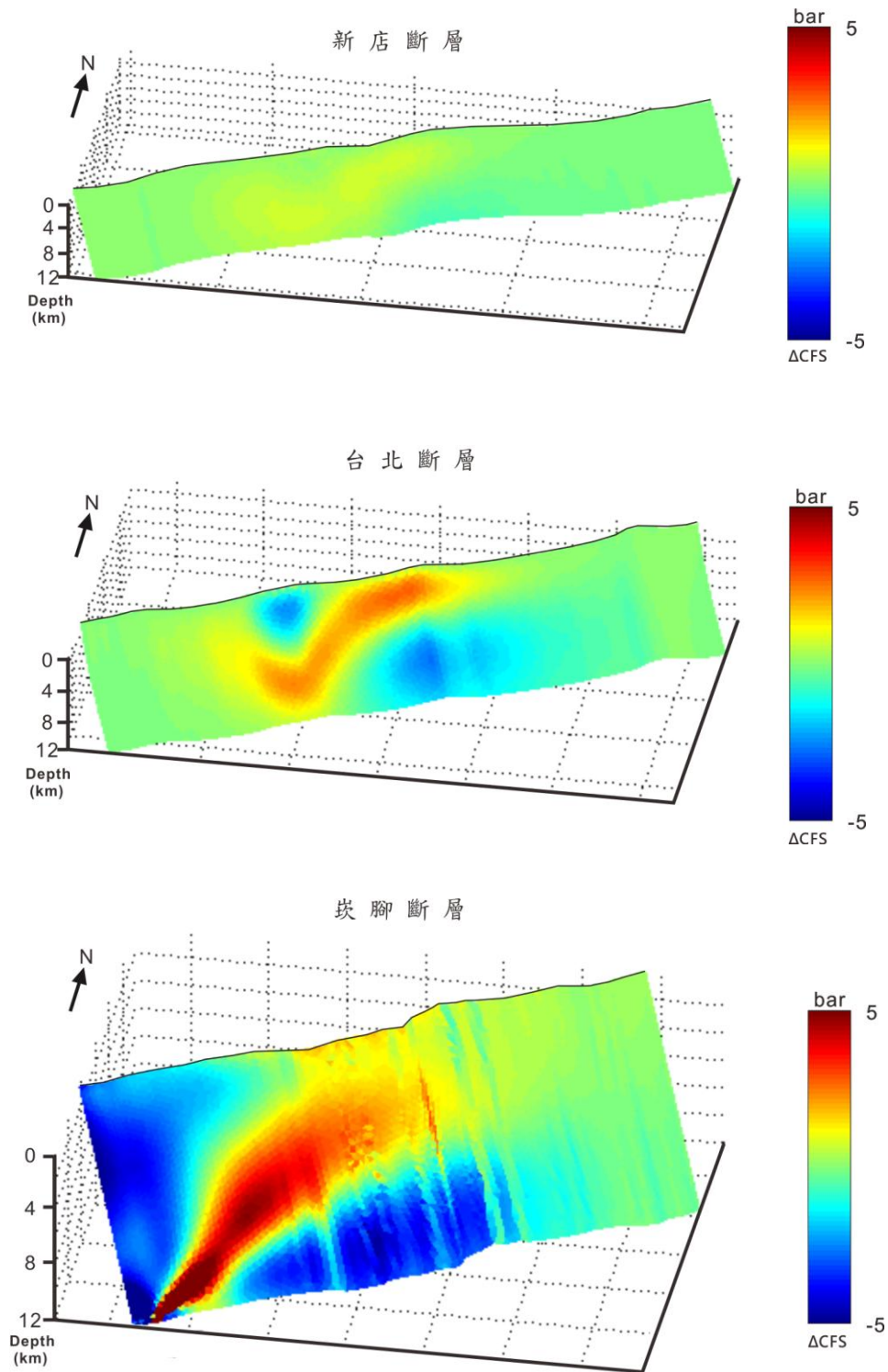


圖 4.7 山腳斷層錯動後鄰近斷層庫倫破壞應力改變量( $\Delta CFS$ )。震源設定為震源 A(南端)，規模為 7.0。圖中暖色系區域為應力上升區，冷色系區域為應力下降區。顏色對應的值根據不同斷面略有不同。

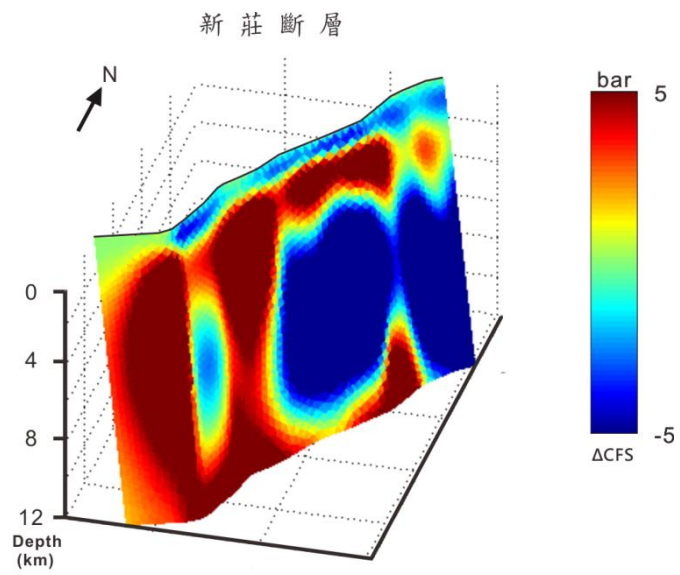
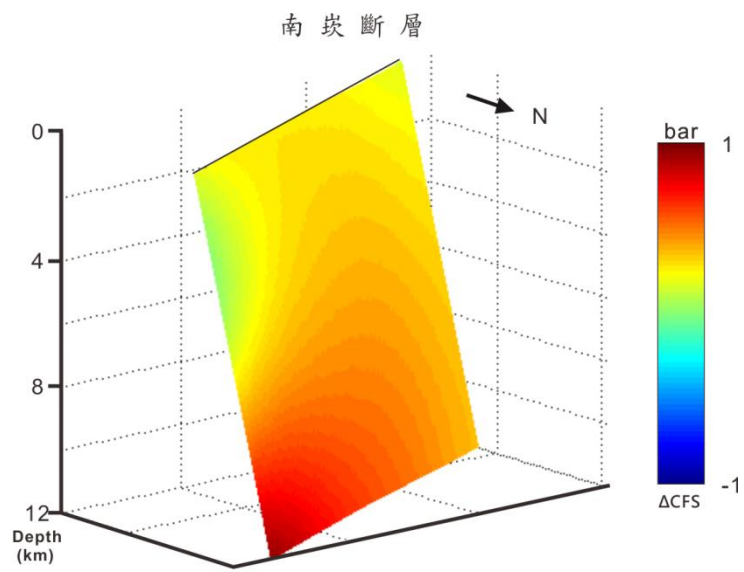


圖 4.7 (續)



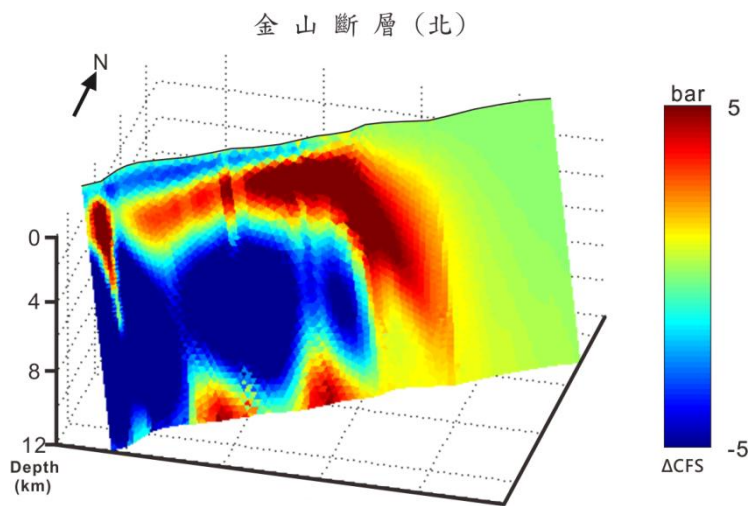
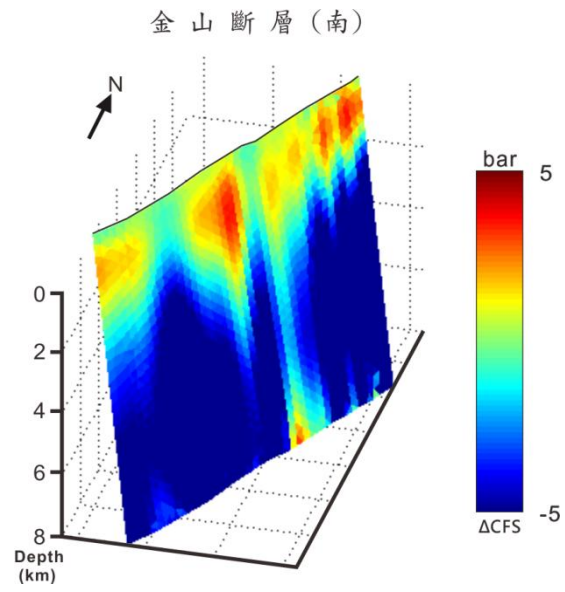


圖 4.7 (續)

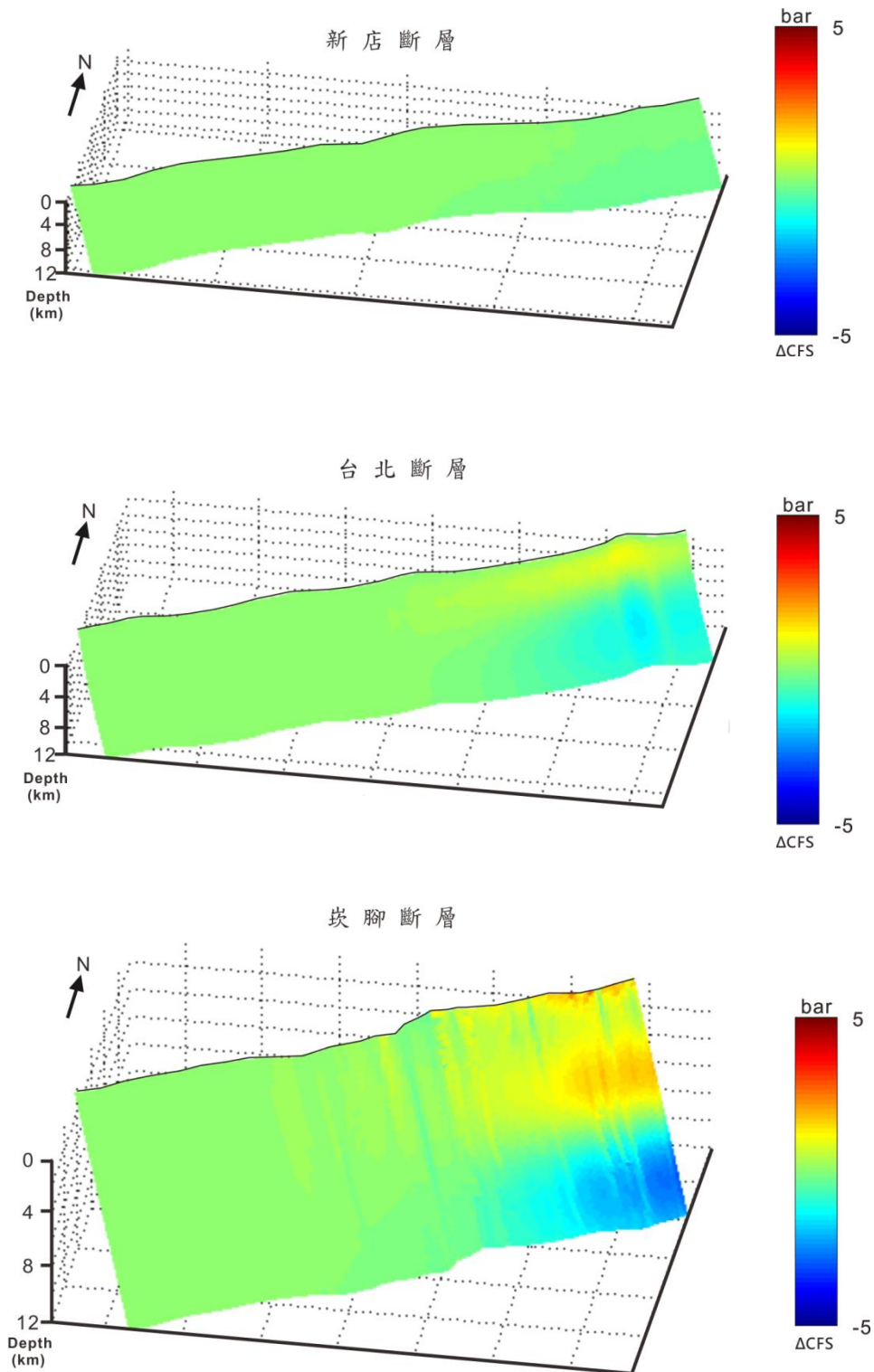


圖 4.8 山腳斷層錯動後鄰近斷層庫倫破壞應力改變量( $\Delta CFS$ )。震源設定為震源 B(北端)，規模為 7.0。圖中暖色系區域為應力上升區，冷色系區域為應力下降區。顏色對應的值根據不同斷面略有不同。

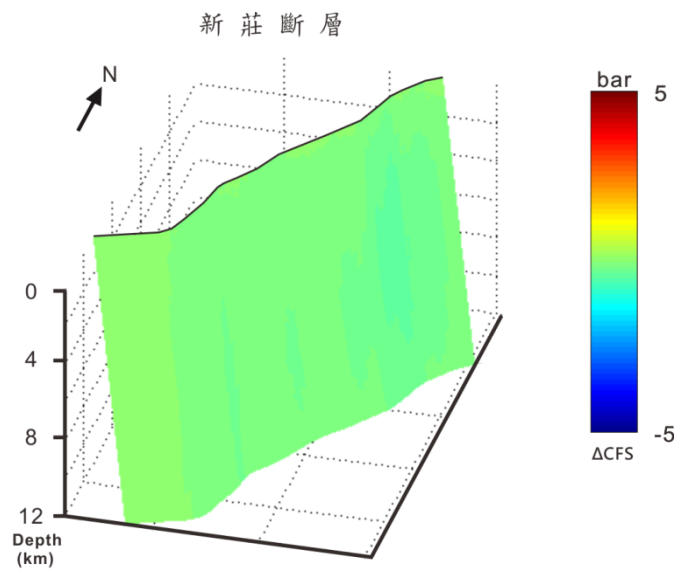
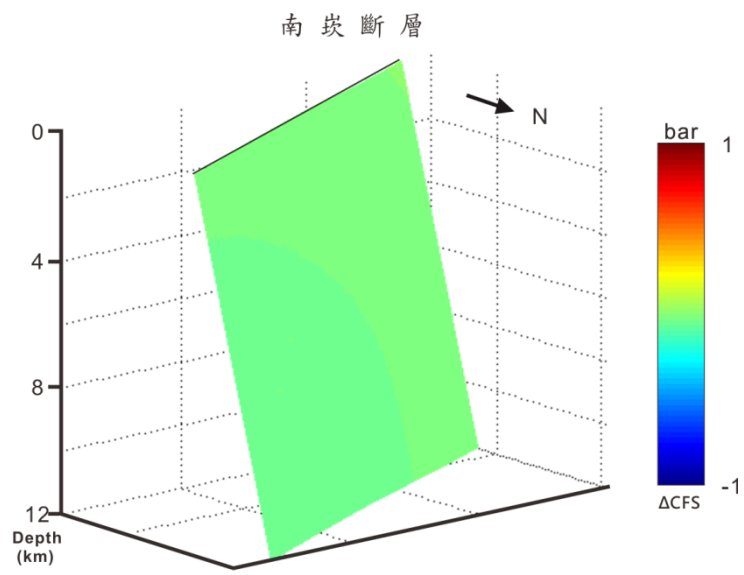


圖 4.8 (續)

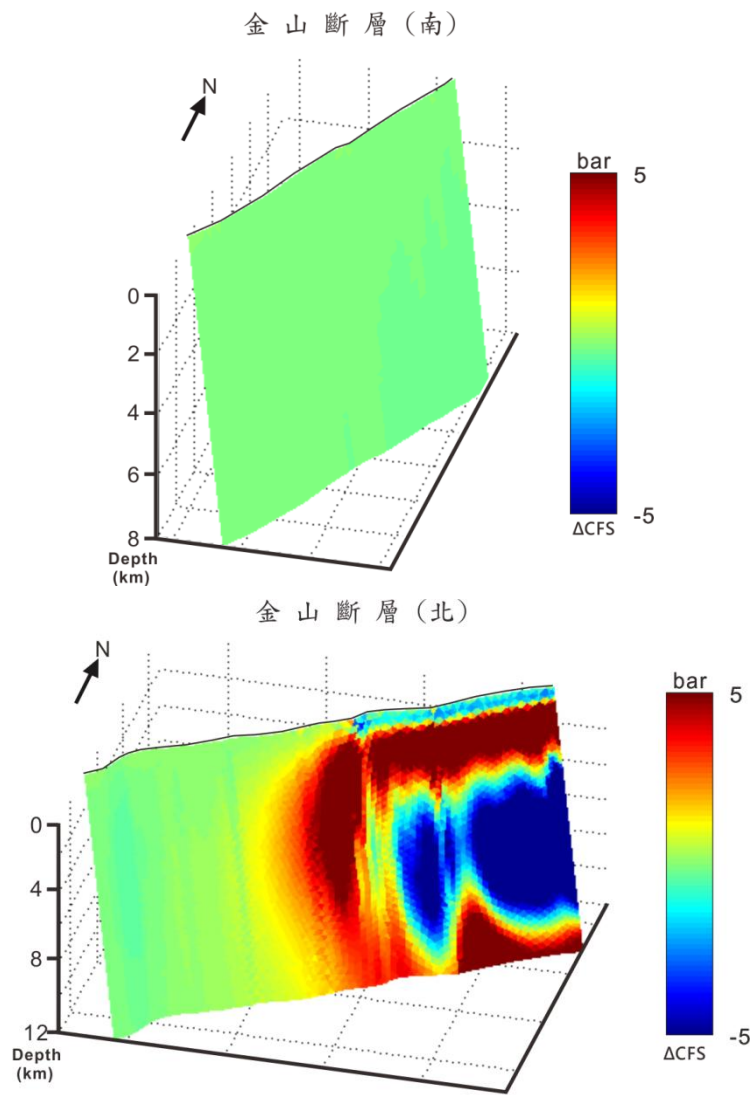


圖 4.8 (續)

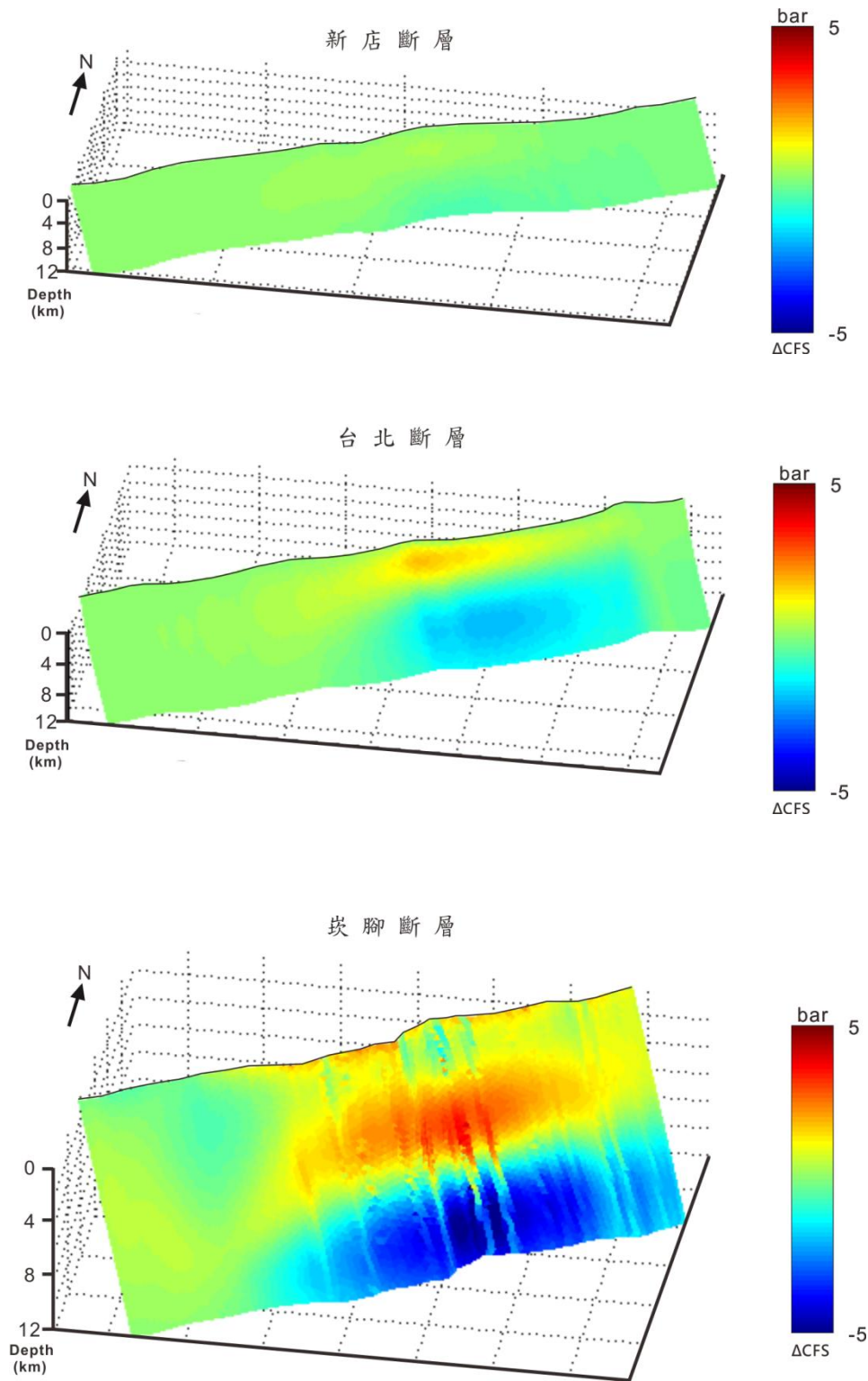


圖 4.9 山腳斷層錯動後鄰近斷層庫倫破壞應力改變量( $\Delta CFS$ )。震源設定為震源 C(中央)，規模為 7.0。圖中暖色系區域為應力上升區，冷色系區域為應力下降區。顏色對應的值根據不同斷面略有不同。

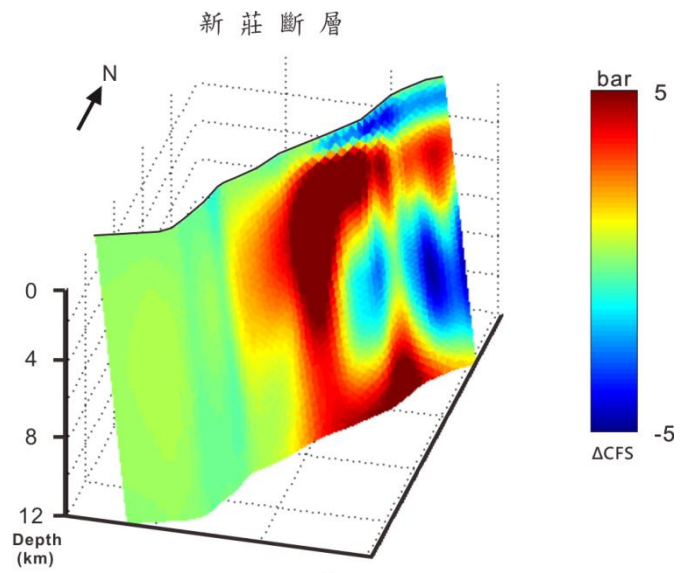
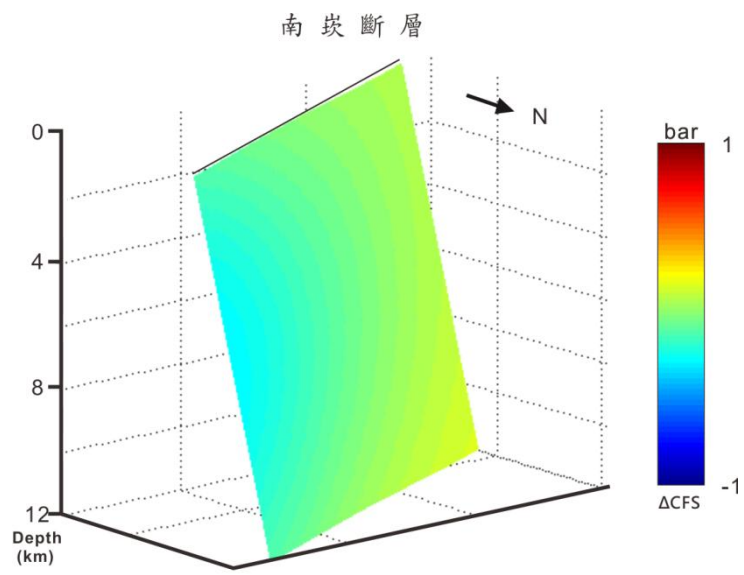


圖 4.9 (續)

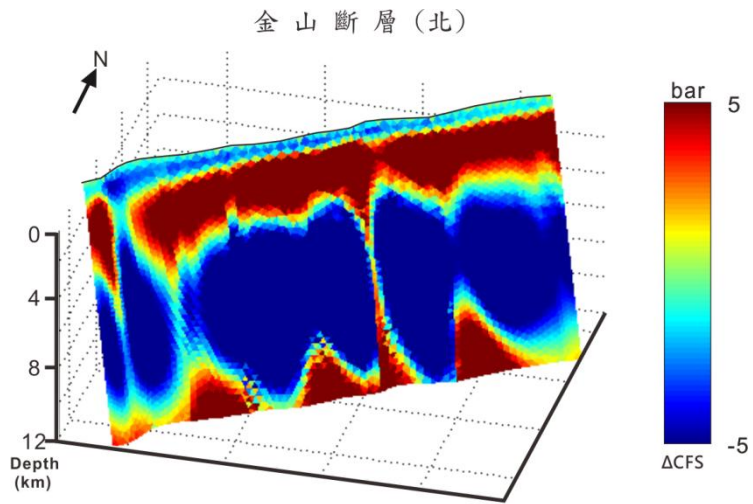
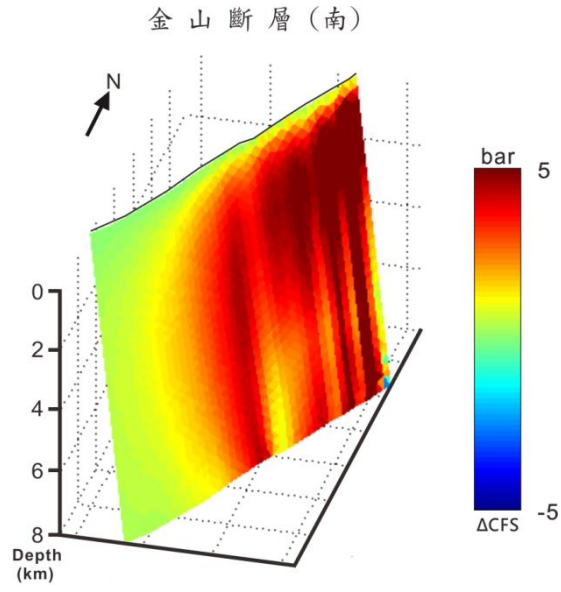


圖 4.9 (續)

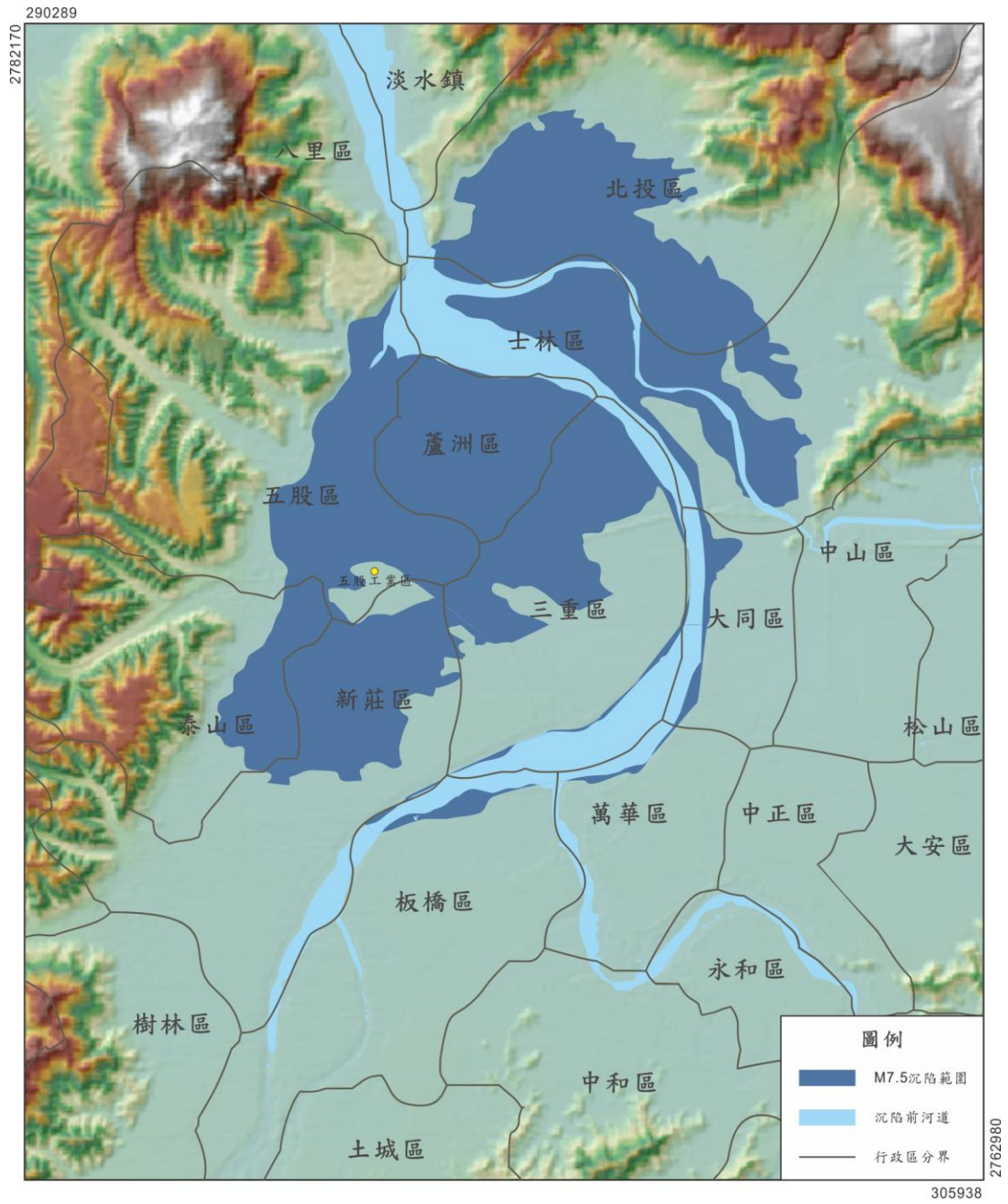


圖 4.10 台北盆地可能淹水區域。



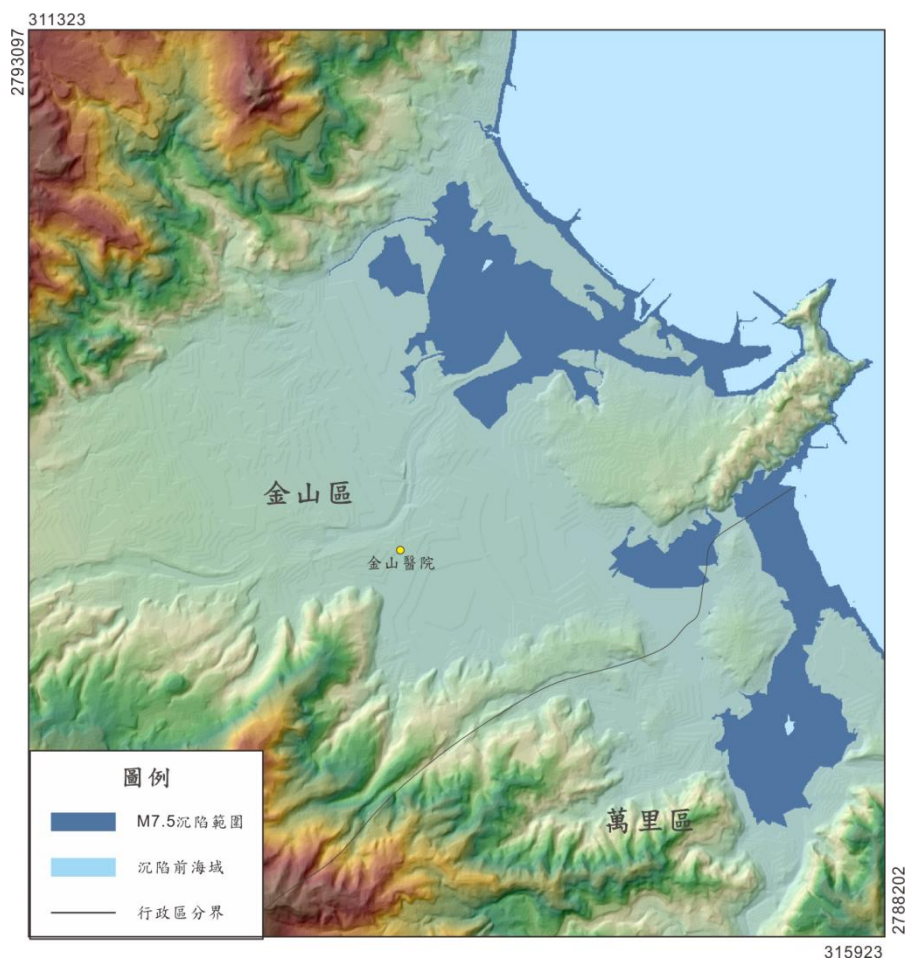


圖 4.11 金山地區可能淹水區域。

## 第五章 討論

### 5.1 山腳斷層長度與深部構造變化對模擬結果之影響

本研究中，山腳斷層之斷層海外延伸長度採用黃雯苓(2007)於台灣東北部海域之研究，將海外之金山正斷層可能延伸長度與山腳斷層進行連接，全長約 55 公里，以此做為模擬之斷層長度。此條件與邱俊儀(2007)研究中所採用的斷層長度以及海外之斷層位置有些許差異，然而本研究模擬之結果與邱俊儀之研究所得之成果其沉陷量以及沉陷之範圍相去不遠。說明本研究所採用之模型與邱俊儀之研究模型能有相近的結果。

而在近期地調所於台灣東北外海海外調查報告中，山腳斷層可能往外海延伸約 40 公里至花瓶嶼附近。於此條件下，斷層之全長約可達 80 公里，此長度下，可能產生之最大地震規模約為規模 7.8，因此在最大的地震規模選擇或許可將規模 8.0 列入我們的考慮中。

於深部構造之變化，由於缺乏資料，有許多不同學者提出不同的模型，吳福泰(1965)推測山腳斷層在淺層沿著新莊斷層下滑，於深度 13 至 14 公里處，新莊斷層的斷面傾角變緩，而山腳斷層則維持高角度，兩斷層分開。王執明等(1978)認為山腳斷層截切新莊斷層，斷層東側的地層沿著山腳斷層下滑。李錫堤(1993)認為山腳斷層是發展在舊有逆斷層上的新期正斷層，山腳斷層發展至新莊斷層後二者合而為一。徐浩德(2005)利用地溫梯度的方式估計岩石由破裂行為轉為塑性行為的轉換帶，並將其定為斷層可能的最深部。而陳致同(2012)則針對山腳斷層提出一 double ramp 之模型，認為在山腳斷層淺部為約 75 度之高傾角斷面，其後轉折為一約 15 度較平緩之斷面，而在深度約 8 公里處再次轉為高傾角斷面。而在不同的深部構造下，其結果反

應也略有不同。

參考前人的研究，針對斷層深度，我們採用莫荷面的深度，並考慮在岩石圈下部已經有部分融溶的狀態，將斷層的深度定在莫荷面之上。此處我們參考徐魁江(2009)定出的全台莫荷面深度，其中台北區域之莫荷面深度約 30 公里，而根據氣象局 2000 年至 2010 年台灣北部地震紀錄(圖 1.11)，可見在山腳斷層附近的地震紀錄可達 25 公里深，我們基於這些深度的資料，將斷層的深度向下延伸至 25 公里處，並將斷層之長度依照地調所調查結果延長至花瓶嶼區域，重新進行同震位移之模擬，模擬結果如圖 5.2 至 5.4 所示。比較斷層長度深度改變前後的結果，結果顯示在同樣規模的地震，深度設定較深的情況下沉陷的範圍較大。此外我們模擬了規模 8.0 情況，在此種地震規模下，造成的沉陷量遠大於三公尺。基於此種斷層幾何，我們重新模擬沉陷可能造成的淹水區域，並將地震規模改為此種斷層幾何下最大的情況，即規模 8.0，並與先前模擬得出之結果進行比較，圖 5.5 以及圖 5.6 顯示模擬的結果。由於地震規模較大，可能淹水的區域因此也明顯增加，相較於規模 7.5 之情形，中山、板橋、萬華等地區也有淹水的可能情形。

## 5.2 北部地區斷層重新活動可能性評估

在本研究中，為了探討台灣北部舊有之斷層面其受山腳斷層重新活動而觸發之可能性，加入了庫倫破壞應力的概念並進行不同斷層面的模擬，然而在利用庫倫破壞應力進行斷層重新觸發的模擬時，必須先決定其斷層活動方式，方能進行庫倫破壞應力改變量的計算，故這

種方式並無法得知其斷面最有可能活動的方向。因此我們考慮了另一種方式，藉以模擬山腳斷層活動後鄰近斷面最可能產生的活動方式。在計算庫倫破壞應力時，剪應力是影響整個庫倫破壞應力改變量值最大的一個變數，在此概念之下，我們假設在觀測斷層面上其最大剪應力之方向為此觀測斷層傾向的活動方式，並將此活動方式與大地應力場進行比較，模擬結果如圖 5.7 至圖 5.12。目前台灣北部的應力場為一伸張應力之狀態(圖 1.3)，根據模擬結果，在新店斷層部分，三種不同震源所表現之最大剪應力向皆為逆滑之型式並帶些許右滑性質。在台北斷層部分，三種不同震源所表現之最大剪應力向皆為正滑之型式，並帶有些許右滑之性質。台北斷層模擬的結果則顯示其最大剪應力之方向大致呈現為正滑並帶些許右滑性質。在崁腳斷層的部分，最大剪應力方向呈現右滑之形式，而當震央為南邊或北邊時，最大剪應力方向呈現正移形式。南崁斷層面上最大剪應力方向根據模擬結果顯示，當震源為北端時，最大剪應力方向約呈左滑形式，而震源為中央及南端時，最大剪應力約呈右滑形式。在新莊斷層的部分，當震源為北端及中央時，最大剪應力方向為右滑形式，而震源為南端時，最大剪應力方向轉為左滑形式。金山斷層由於南北兩段分屬山腳斷層之上盤與下盤，因此可看出在斷層面上有明顯的南北不同之現象，當震源設為北段時，金山斷層之北段最大剪應力方向呈現左滑之形式，而南段則為左滑並帶有些許正滑之分量；當震源為中央時，無論南北兩段其最大剪應力方向皆呈現左滑之形式；而當震源為南段時，金山斷層南段呈現較明顯之左滑現象，北段則較無明顯之最大剪應力方向。

在此六條斷層中，大部分斷層面上最大剪應力方向為走滑之形式，對比台灣北部目前應力狀況，可發現此種活動之形式與北部伸張應力狀態並不相符，此結果顯示山腳斷層之活動對於鄰近斷層之影響可能

較不顯著。

此外，我們使用 2001 年至 2012 年於北部之地震紀錄，並且沿山腳斷層劃分三個區域(圖 5.13 至圖 5.15)，分別為基隆外海區域、七星山區域以及台北盆地區域，並觀察地震紀錄之分布與北部斷層的關聯性。考慮斷層可能延伸的深度範圍，我們將深度三十公里以上的地震取出，並繪製深度剖面圖觀察其地震趨勢。由圖 5.13 至 5.15 可見，在北部有紀錄之地震次數相當少，較難得到一明顯趨勢，但大致可見在山腳斷層下盤產生的地震次數是相當稀少的，而上盤部分，在基隆外海的區域(圖 5.13)有少數地震群聚在山腳斷層之上盤，且該區域與 1867 年基隆海嘯可能之地震震源區域相近；沿剖面向東南也有零星地震分布，然由於資料過於稀少，且海外地震之定位精確度較差，並無法確定是否有地震的群聚行為。在七星山區(圖 5.14)，可以見到上判有相當數量的地震群聚，考慮地震位置的區域，這些地震可能與大屯火山群活動有關。沿剖面向東南，幾乎沒有地震的紀錄，此說明沿此剖面之舊有斷層活動的機會可能較低。而在台北盆地區域(圖 5.15)，近十年的地震紀錄相當稀少，且分布也相當零散，較難判斷地震活動與鄰近斷層之關係。

### 5.3 景美層厚度變化與地震活動之關係

在進行地表沉陷之模擬時，將震源設在南段的模擬結果顯示在台北區域的沉陷現象似乎與台北盆地第三紀基盤深度相似，為了進一步了解本研究使用之模型對於地形沉陷模擬與實際可能情況之誤差。陳致同(2012)之研究指出景美層在台北盆地具有廣泛的分布範圍，並且由於其沖積扇的特性，而具有一平整的頂層，因此能做為一較佳的指

準層。本研究使用在陳致同研究中所採用之 105 口工程井其景美層厚度資料與本研究之模擬結果進行比對，假定景美層厚度變化為山腳斷層活動影響之結果，比較在台北盆地中垂直山腳斷層之沉陷變化與景美層沉積厚度之關係，藉此以推測盆地可能發生的事件。圖 5.16a 為此 105 口工程井位置及描繪之範圍(擷取自陳致同、2012)，圖中黑色虛線框為垂直山腳斷層所取範圍，全長約 13 公里。根據此鑽井資料，在本研究所使用之模型上取相同位置並記錄沉陷量變化。

圖 5.16b 中井位點(藍色點)顯示景美層厚度越靠近山腳斷層部分，其厚度越厚，且厚度增加之幅度隨著靠近斷層越大。在模擬中，設定震源位置位於我們所取的區域下方，並改變不同的震源深度以及地震規模，得到的沉陷量變化如圖 5.16b。在震源深度較深的區域，沉陷量趨勢在離斷層約 1 公里處最深，整體影響範圍約可達 11 公里，而震源深度越淺，沉陷最深之區域便越靠近斷層，此外，規模越小的地震所能造成的影響範圍則越小，沉陷範圍也較侷限在靠近斷層的區域。此結果呈現沉陷量的變化與模型內所給予的滑移量分布有關，因此產生淺部震源在近斷層的沉陷幅度較深部震源符合景美層厚度變化，而較深的震源則在遠離斷層的沉陷趨勢較為契合，故在離斷層 12 公里遠處由於模型滑移量之設定便明顯難以契合。

假定景美層之厚度可能為山腳斷層多次活動後，不斷沉陷而成。在本研究中所採用到之景美層最深厚厚度約達 82 公尺，根據地震規模與最大沉陷量之關係，規模 7 之地震可能產生約 1.5 公尺的沉陷，假設造成景美層厚度變化之地震皆為規模 7 之地震，前後約需 50 次事件才可達到 80 公尺之厚度，考慮景美層之地質年代約在十至二十五萬年前，故可推算此種大規模事件的平均活動周期約在兩千年至五千年間。然而考慮厚度之變化並非單一地震規模可形成，且只有同一地

震規模也不符事實，推測要形成如今所見之厚度需要數百次不同之地震事件才可形成。

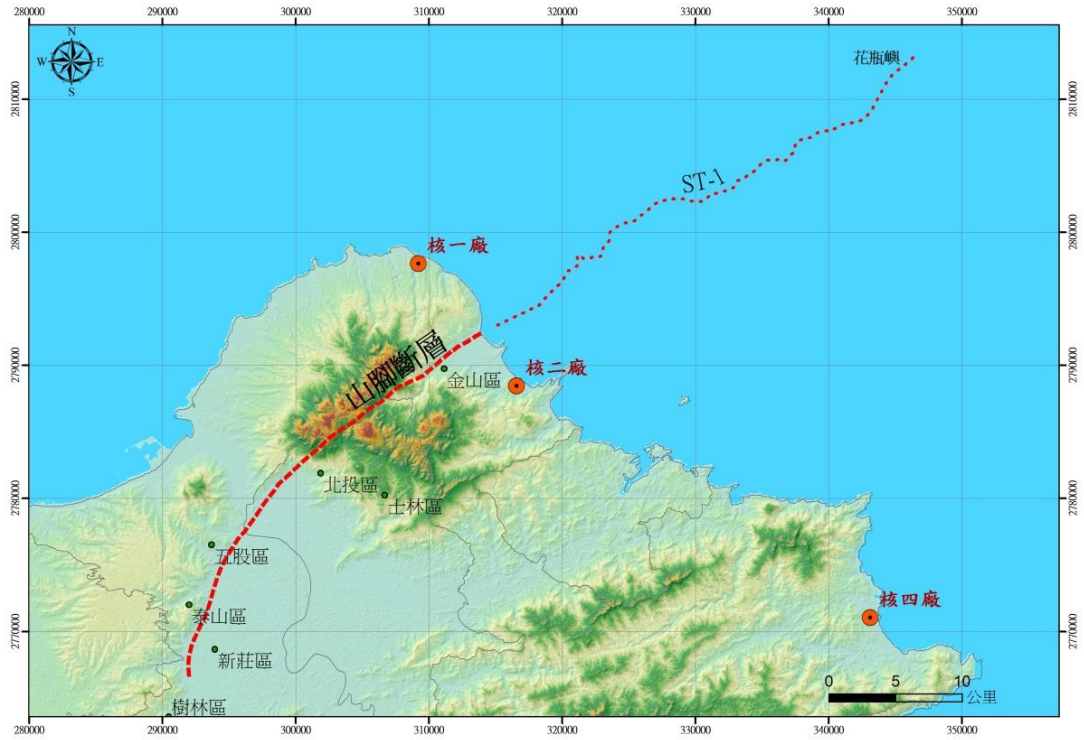


圖 5.1 山腳斷層分布圖。海域範圍之斷層軌跡轉繪自台電公司核電廠補充地質調查總報告，目前確認山腳斷層至少往外海延伸 40 里至花瓶嶼附近。



山腳斷層	斷層參數	參數		參考文獻
	斷層長度	南段(樹林向北延伸至台北市北投區)	13km	
北段(北投向北延伸至新北市金山)		21km		林啟文等, 2007
海外延伸		約 40km		台電公司核電廠補充地質調查總報告
寬度	深度/sin 傾角	42.3km		
深度	深度參考莫荷面深度(岩石圈深度)	25km		徐魁江, 2004
面積	長度×寬度	3130km <sup>2</sup>		
走向		西南向東北		林啟文等, 2007
傾角	60 度;深部傾角變緩	60 度; 深部轉為 30 度		戴榮興, 2007; Shyu et al, 2005; 簡志宇, 2008; 石瑞銓等, 2003、2004
<b>其他參數</b>				
剪力模數		1.5Gpa		
泊松比		0.25		
視摩擦係數		0.4		

表 5.1 山腳斷層修訂後參數表彙整。紅字為修改過之斷層參數。

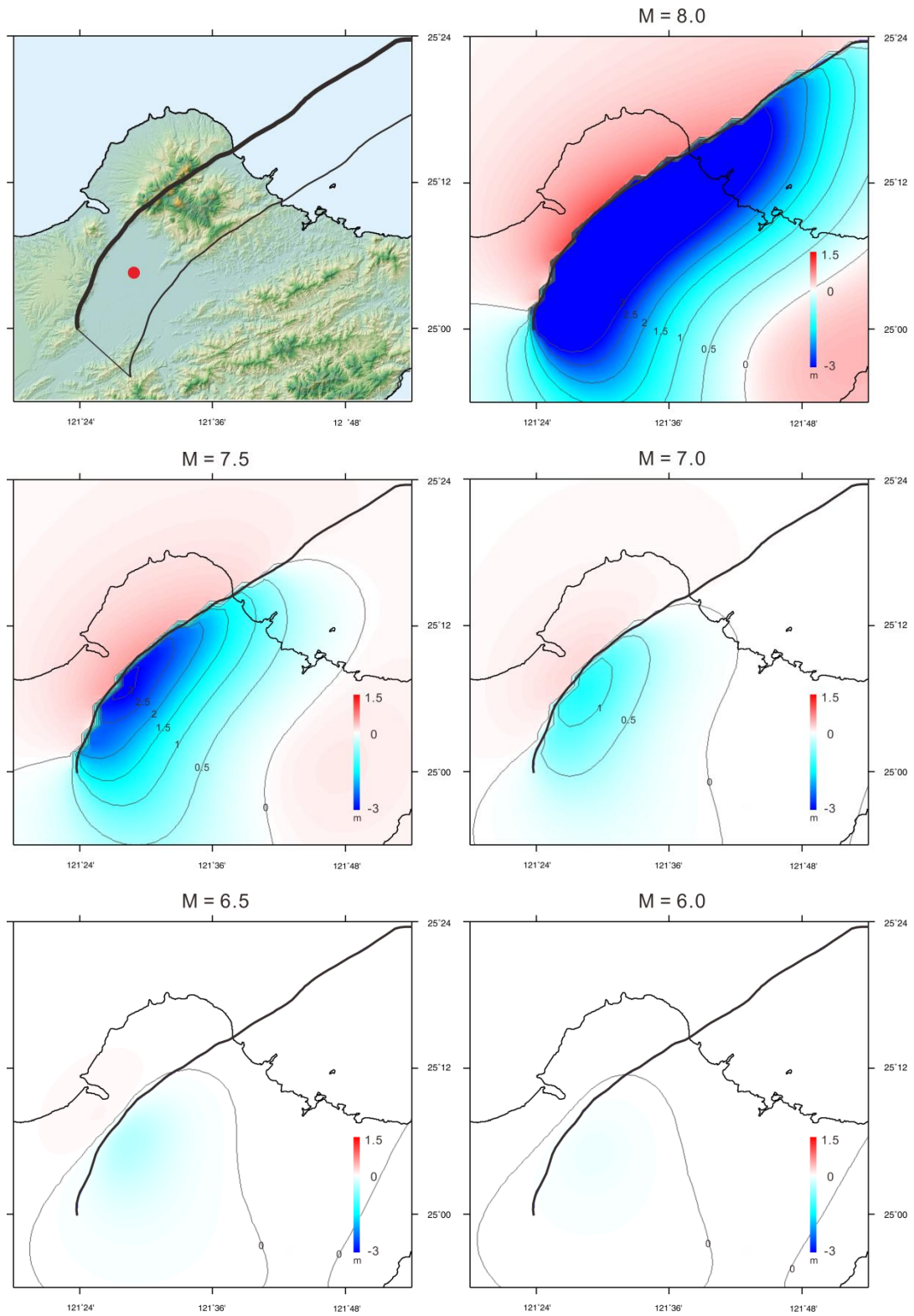


圖 5.2 山腳斷層地表同震位移，震源設定 A(南段)規模 5.5 至 7.5 所產生之地表變形行為。

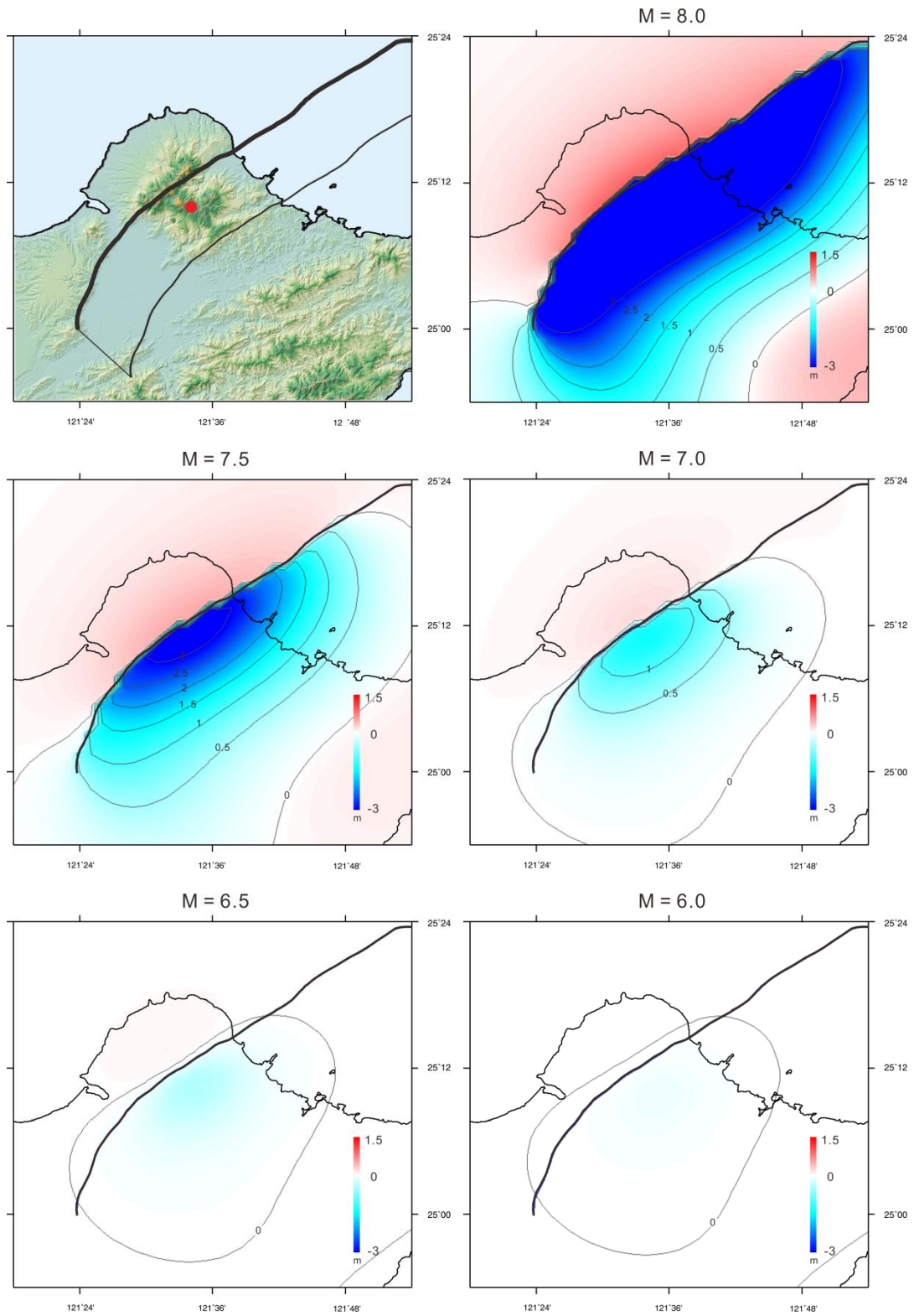


圖 5.3 山腳斷層地表同震位移，震源設定 C(中央) 規模 5.5 至 7.5 所產生之地表變形行為。

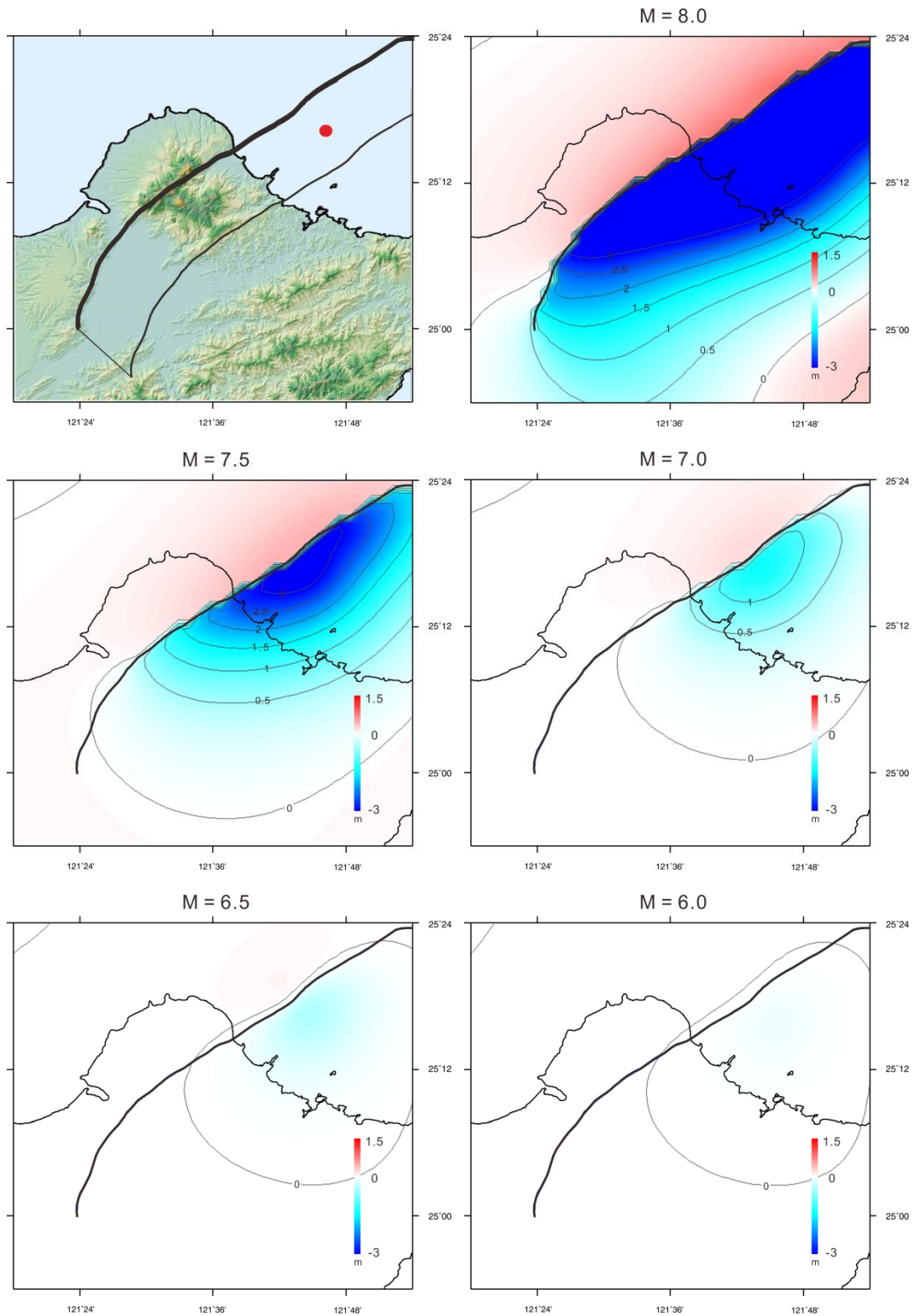


圖 5.4 山腳斷層地表同震位移，震源設定B(北段)規模 5.5 至 7.5 所產生之地表變形行為。

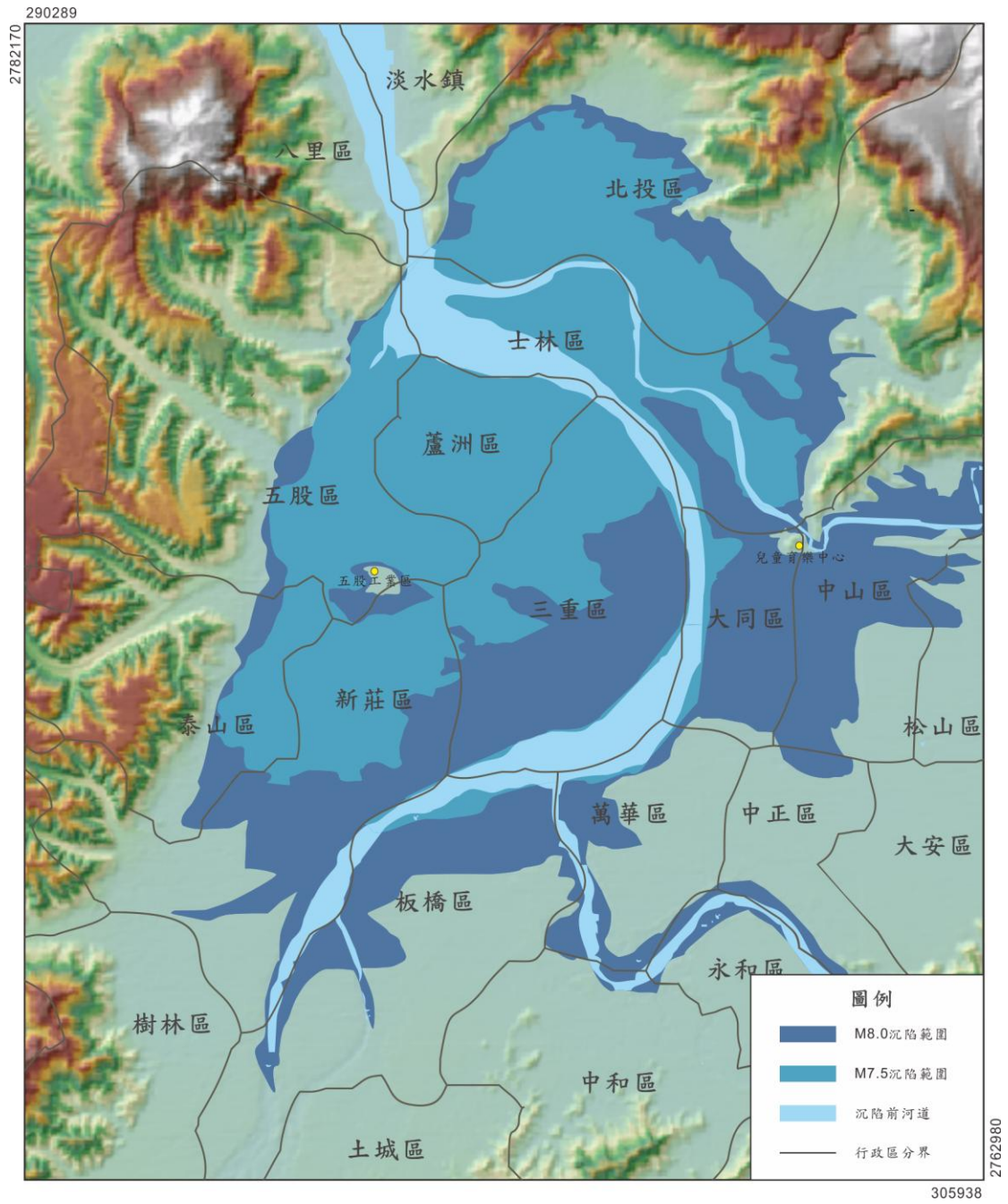


圖 5.5 台北盆地可能淹水區域—山腳斷層形貌改變後結果差異。

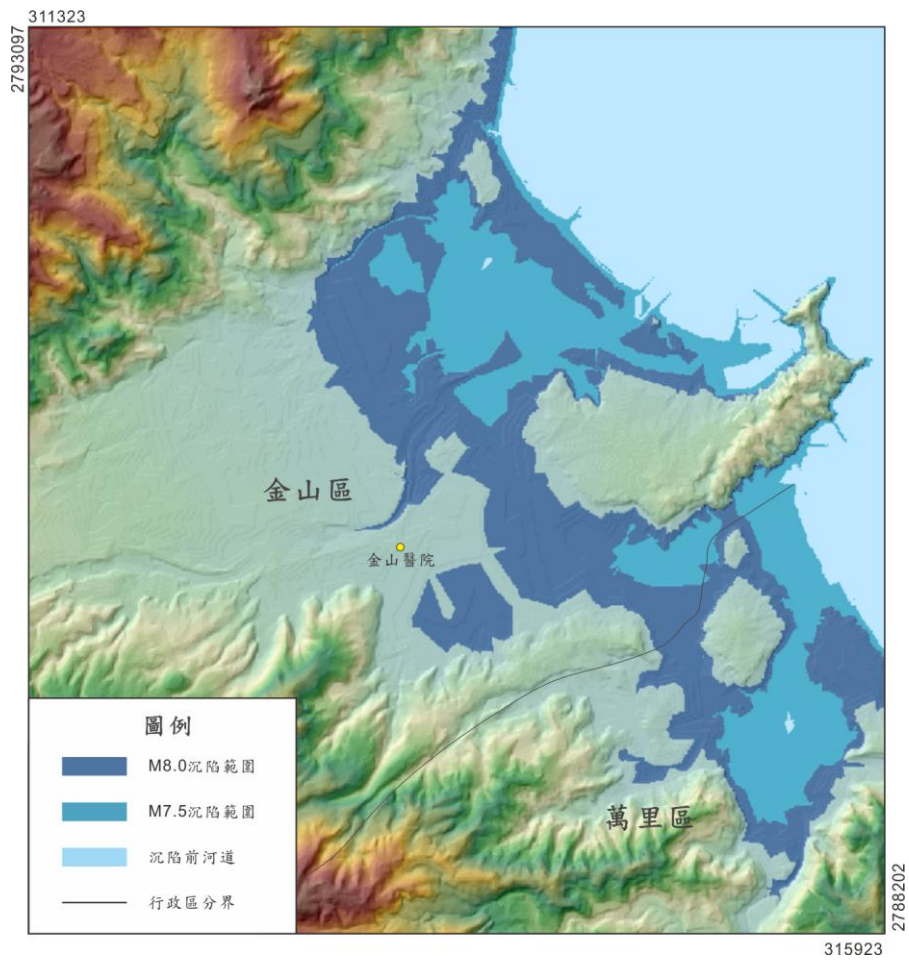


圖 5.6 金山地區可能淹水區域—山腳斷層形貌改變後結果差異。

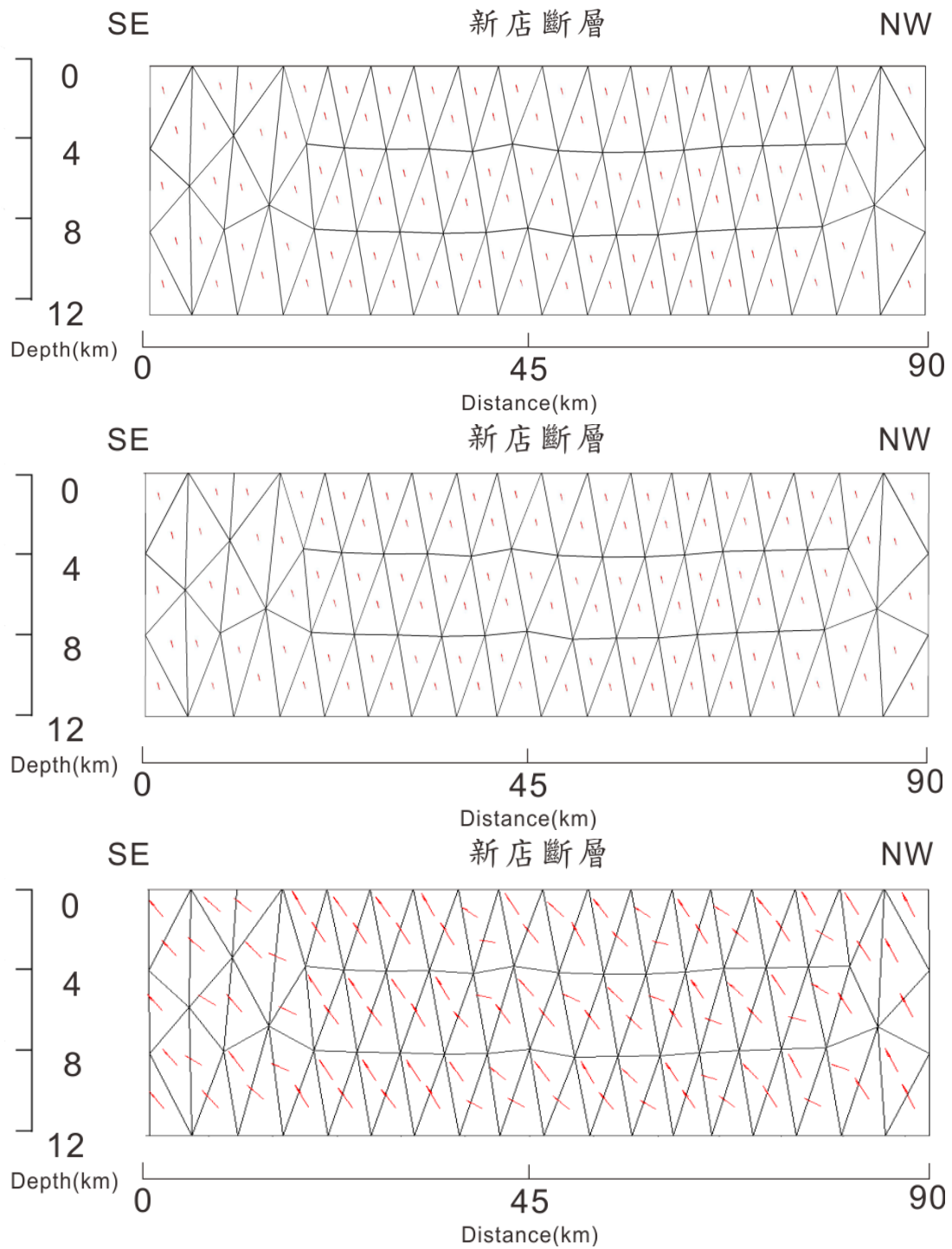


圖 5.7 新店斷層面上最大剪應力方向。由上而下分別為北、中、南三個不同震源所模擬之結果，其最大剪應力之方向大致呈現為逆滑並帶些許右滑性質。

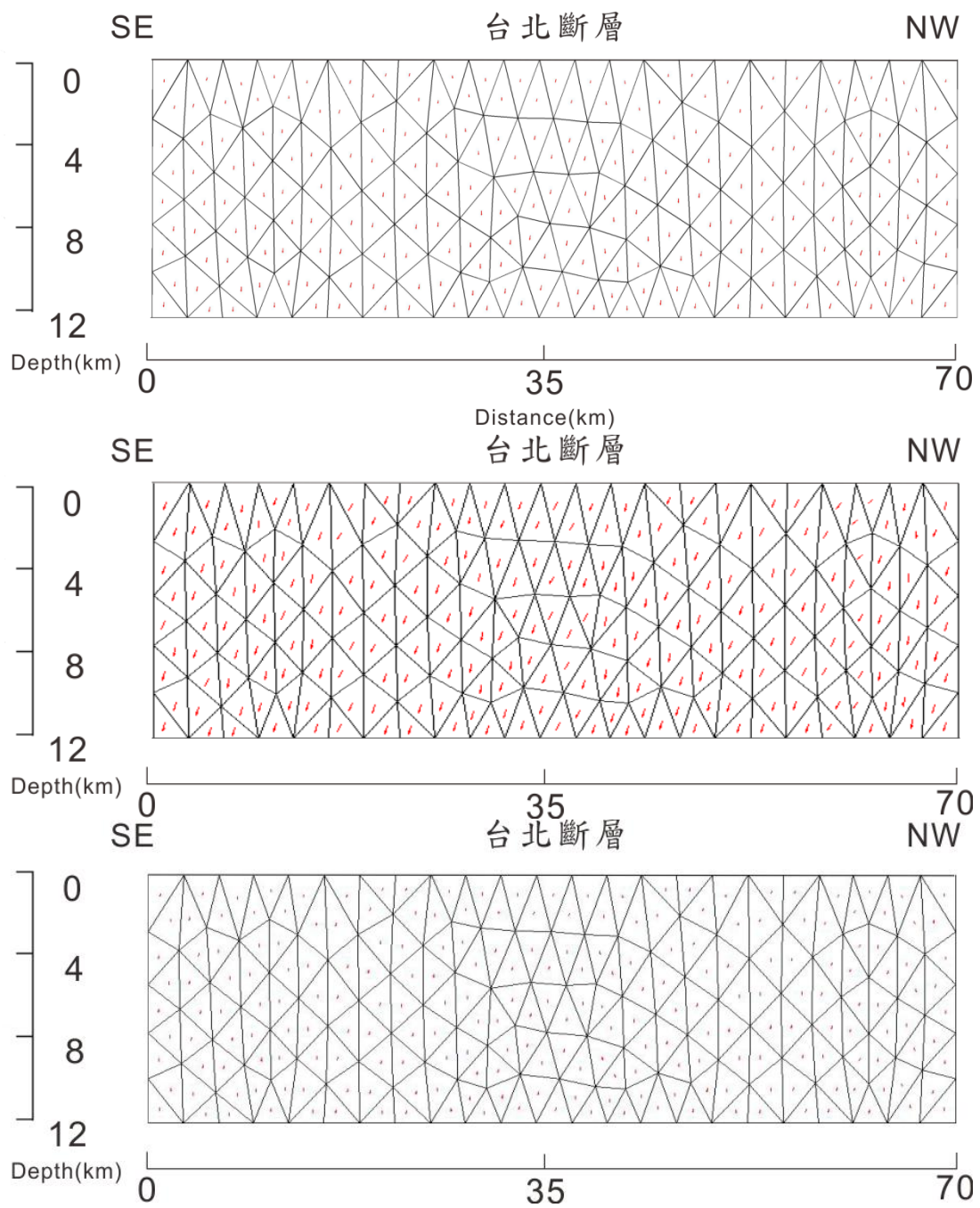


圖 5.8 台北斷層面上最大剪應力方向。由上而下分別為北、中、南三個不同震源所模擬之結果，其最大剪應力之方向大致呈現為正滑並帶些許右滑性質。



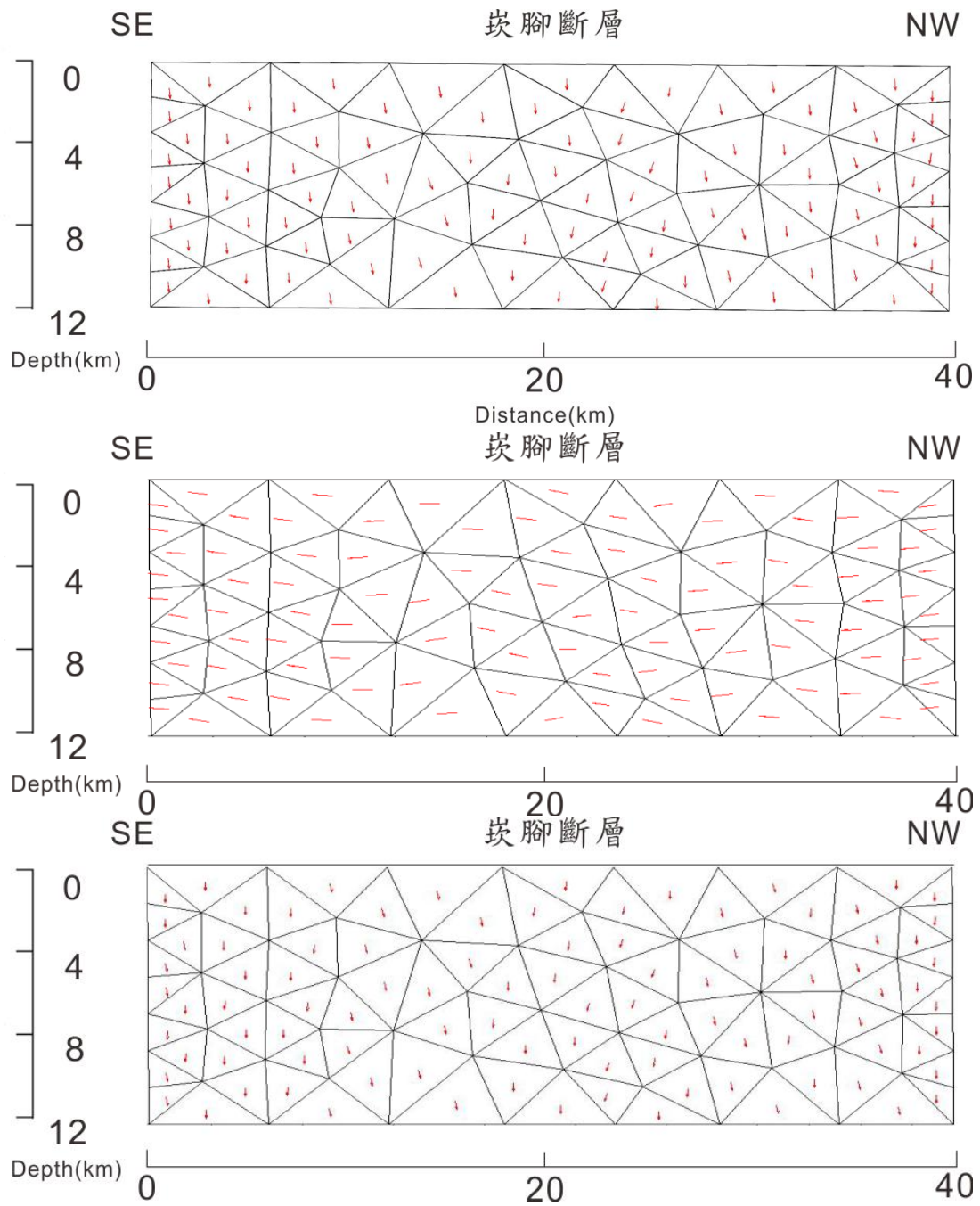


圖 5.9 崁腳斷層面上最大剪應力方向。由上而下分別為北、中、南三個不同震源所模擬之結果，在震源為中央時，最大剪應力方向呈現右滑之形式，而當震央為南邊或北邊時，最大剪應力方向呈現正移形式。

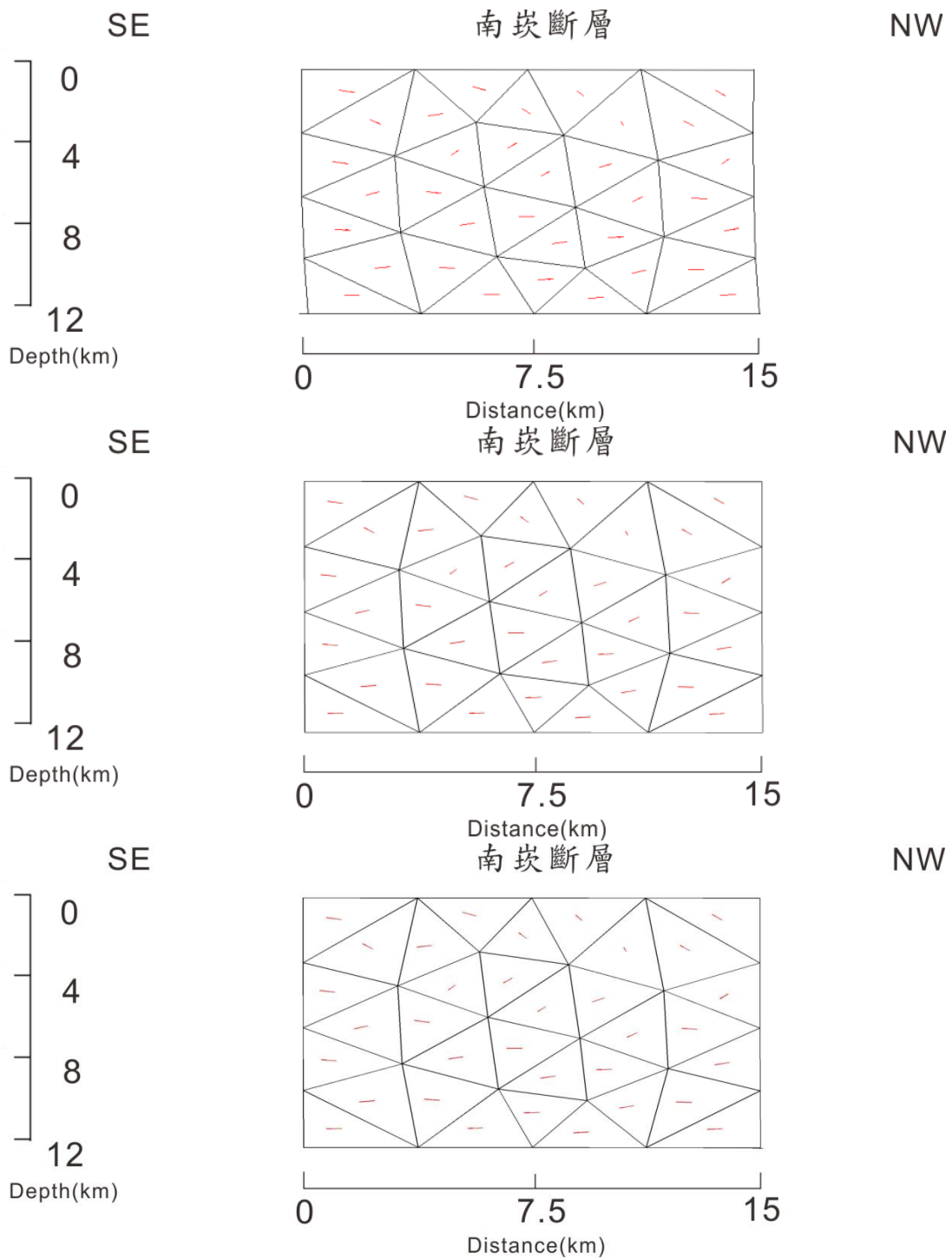


圖 5.10 南崁斷層面上最大剪應力方向。由上而下分別為北、中、南三個不同震源所模擬之結果，震源為北端時，最大剪應力方向約呈左滑形式，而震源為中央及南端時，最大剪應力約呈右滑形式。

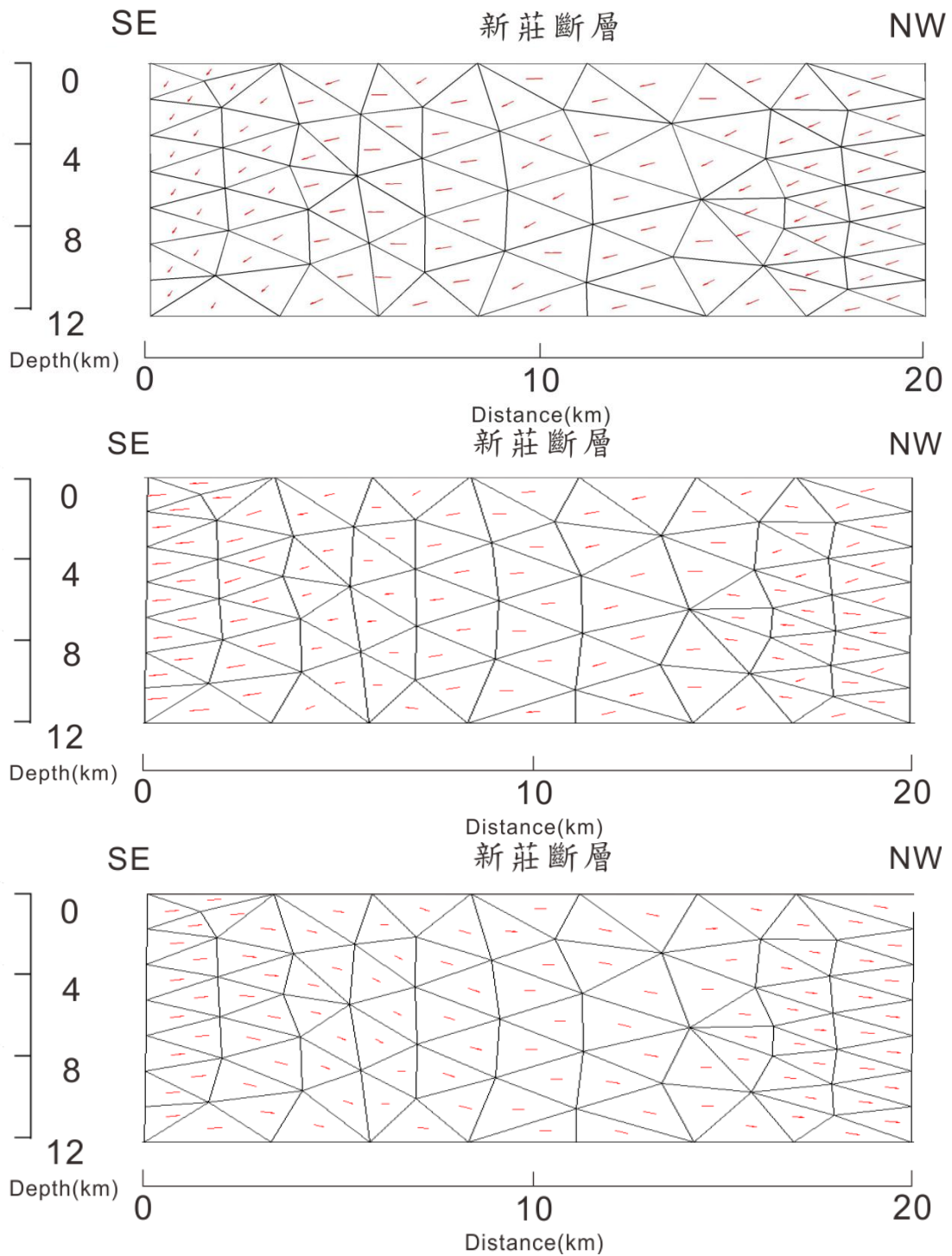


圖 5.11 新莊斷層面上最大剪應力方向。由上而下分別為北、中、南三個不同震源所模擬之結果，震源為北端及中央時，最大剪應力方向為右滑形式，而震源為南端時，最大剪應力方向轉為左滑形式。

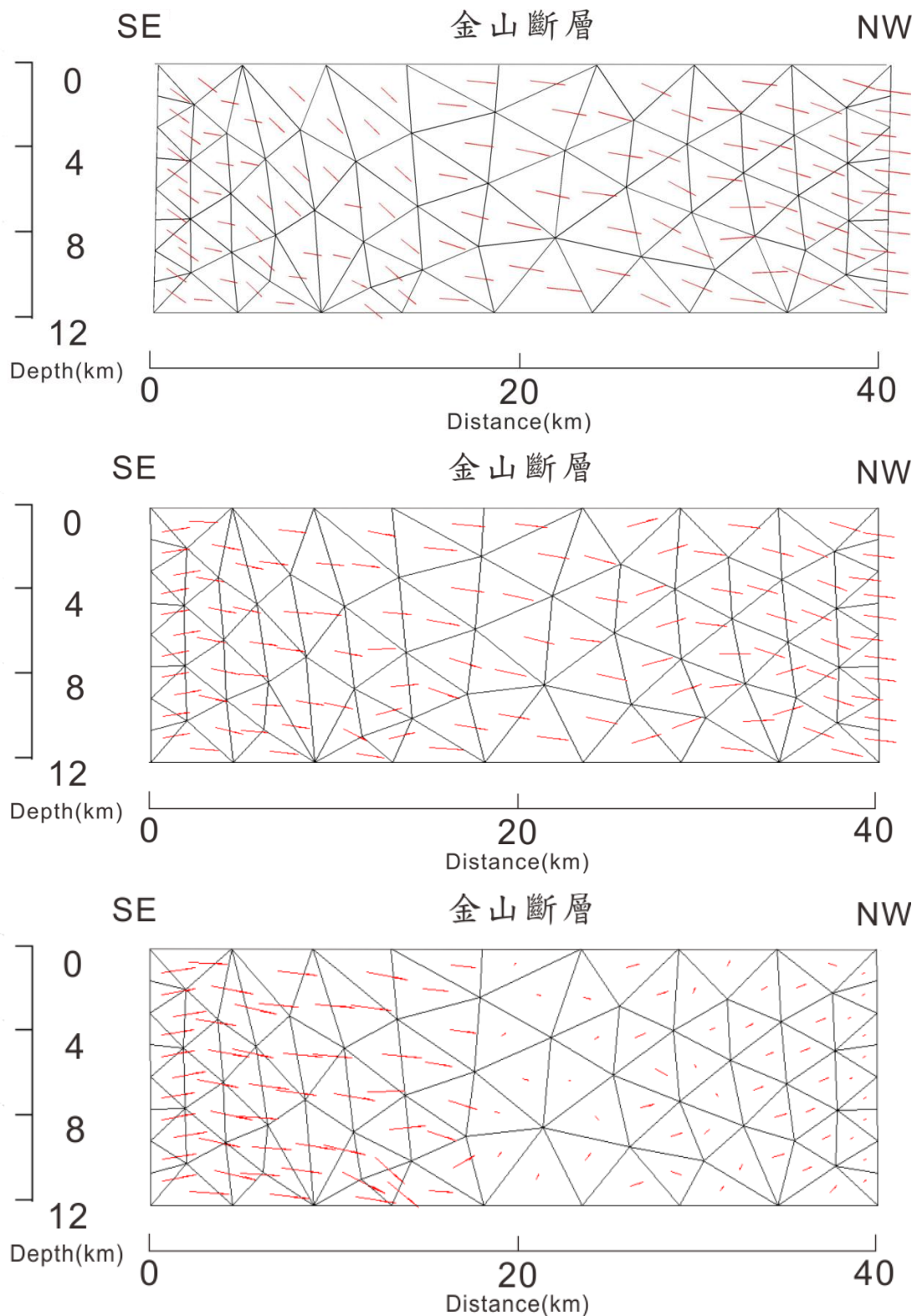


圖 5.12 金山斷層面上最大剪應力方向。由上而下分別為北、中、南三個不同震源所模擬之結果，依據不同的震源位置，可以看出金山斷層南北兩段分別有不同的最大剪應力向。

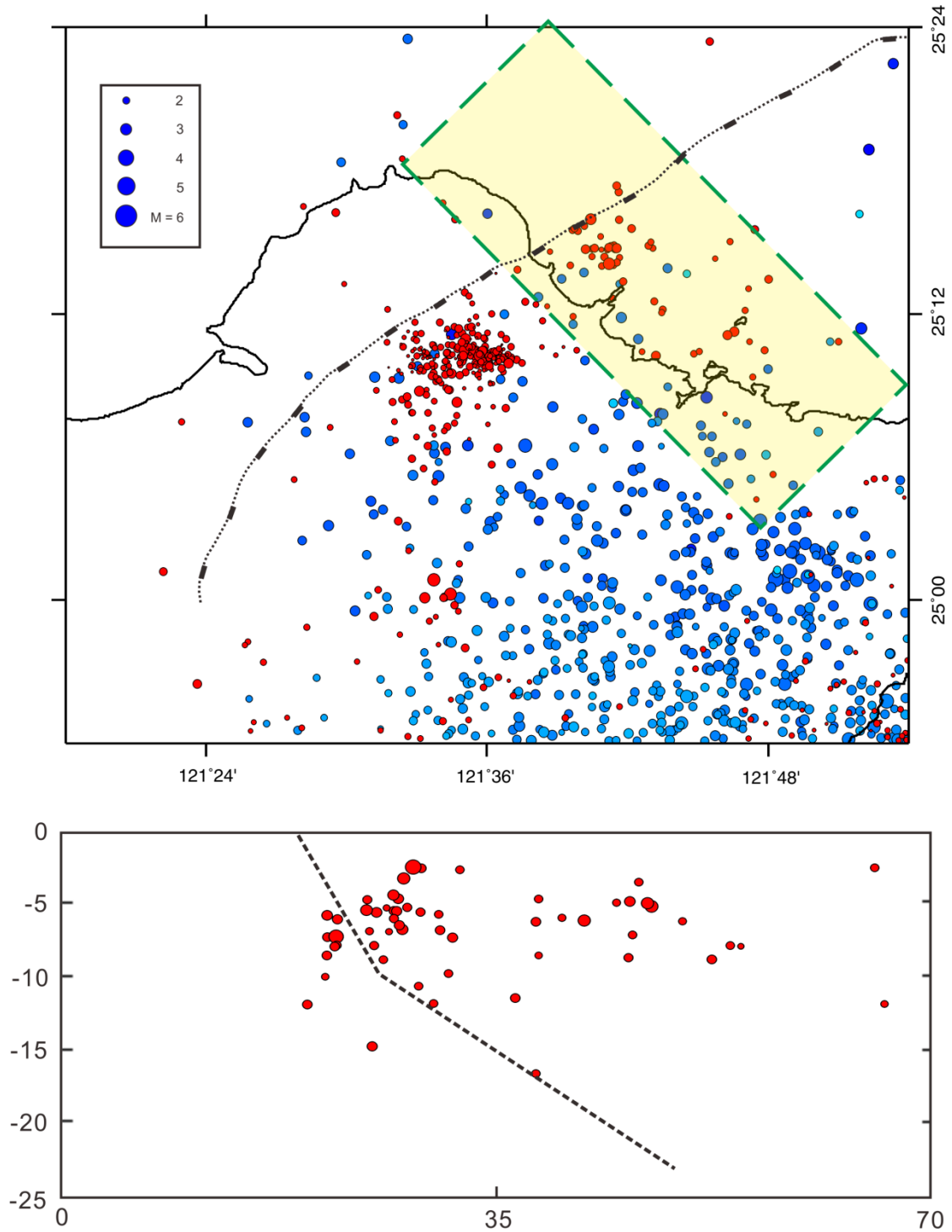


圖 5.13 台灣北部地震紀錄分布圖—基隆外海區域。紅色點為深度 25 公里以上之地震，黑色線段為山腳斷層。

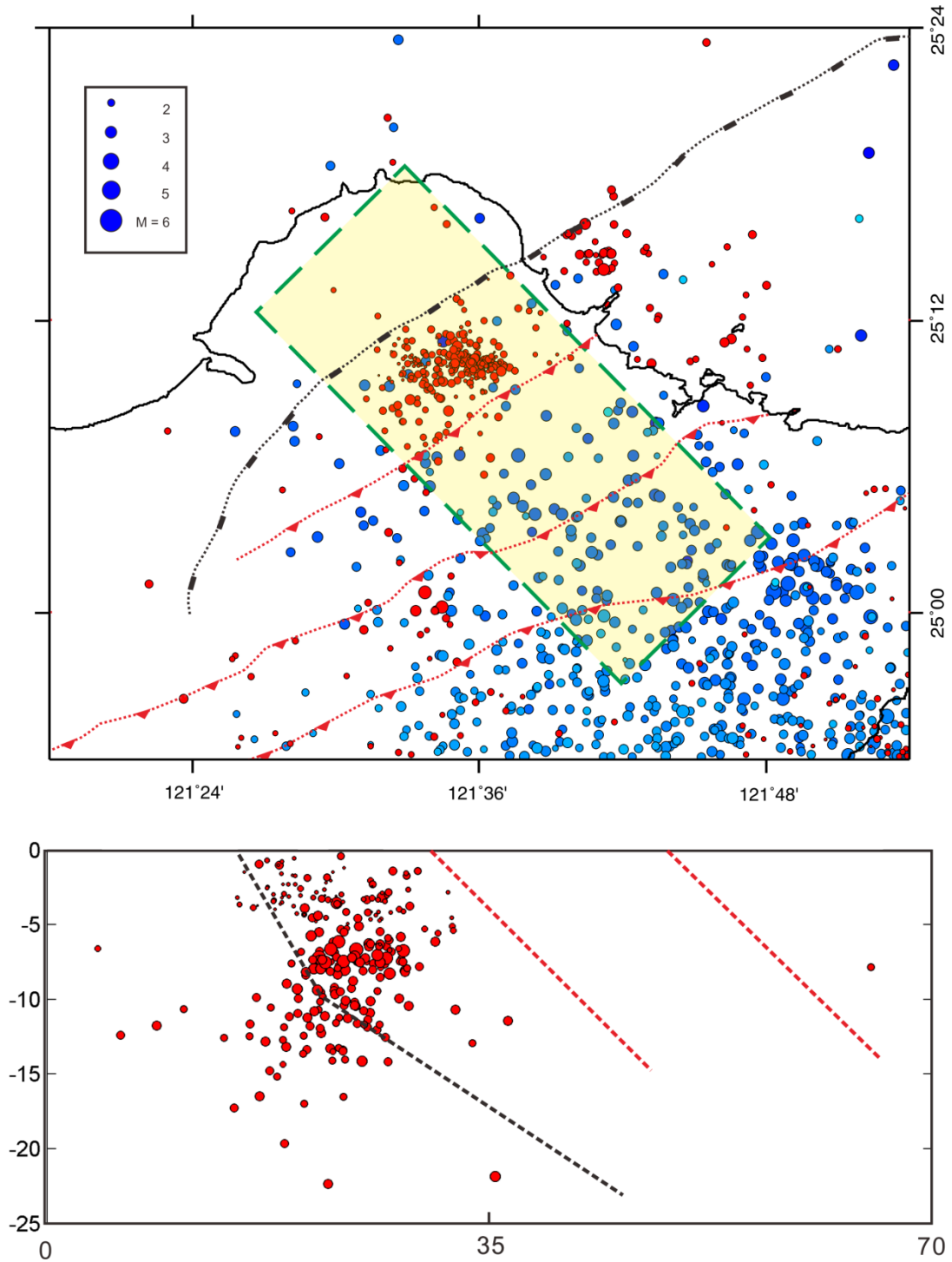


圖 5.14 台灣北部地震紀錄分布圖—七星山區域。紅色點為深度 25 公里以上之地震，黑色線段為山腳斷層，紅色線段由北至南分別為崁腳斷層、台北斷層、新店斷層。

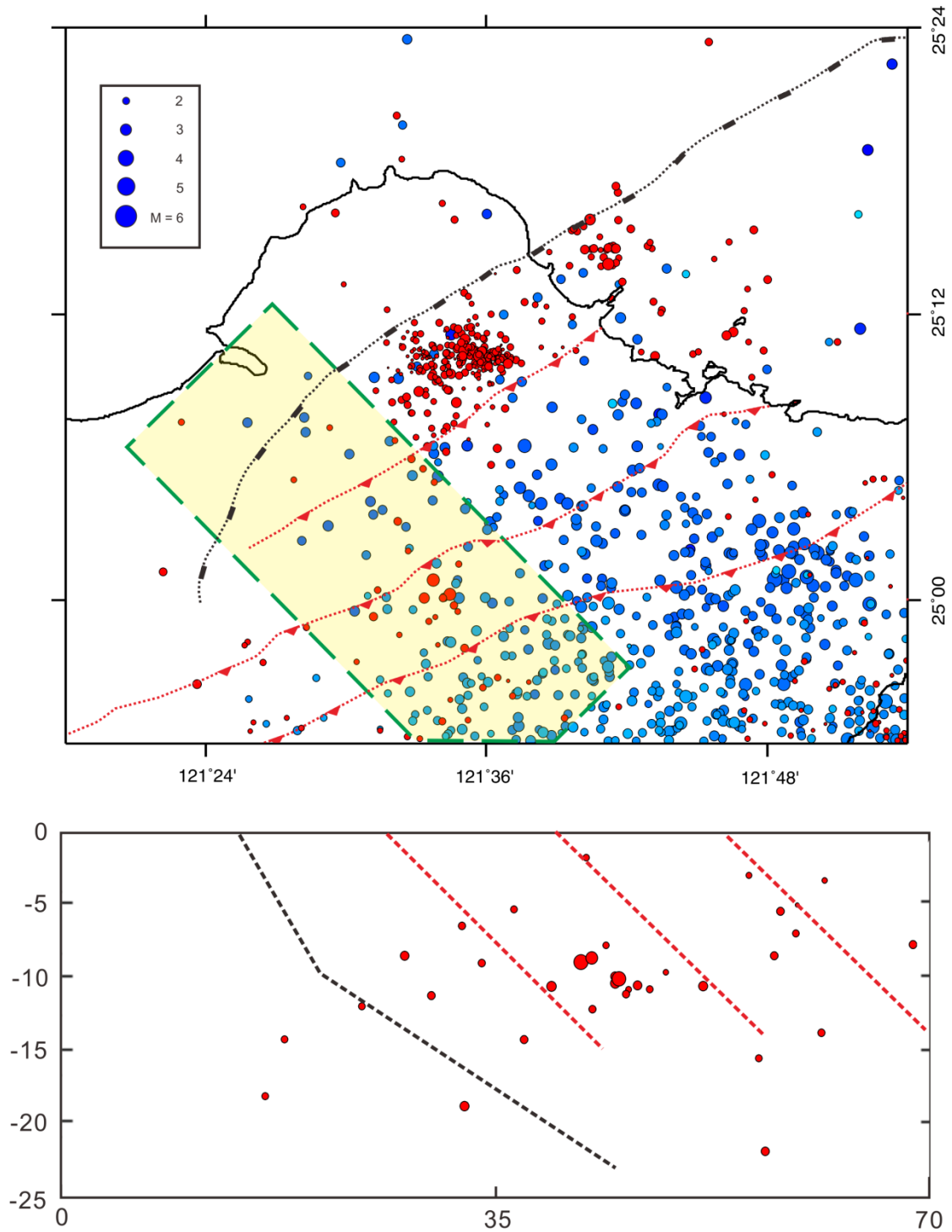


圖 5.15 台灣北部地震紀錄分布圖—台北盆地區域。紅色點為深度 25 公里以上之地震，黑色線段為山腳斷層，紅色線段由北至南分別為崁腳斷層、台北斷層、新店斷層。

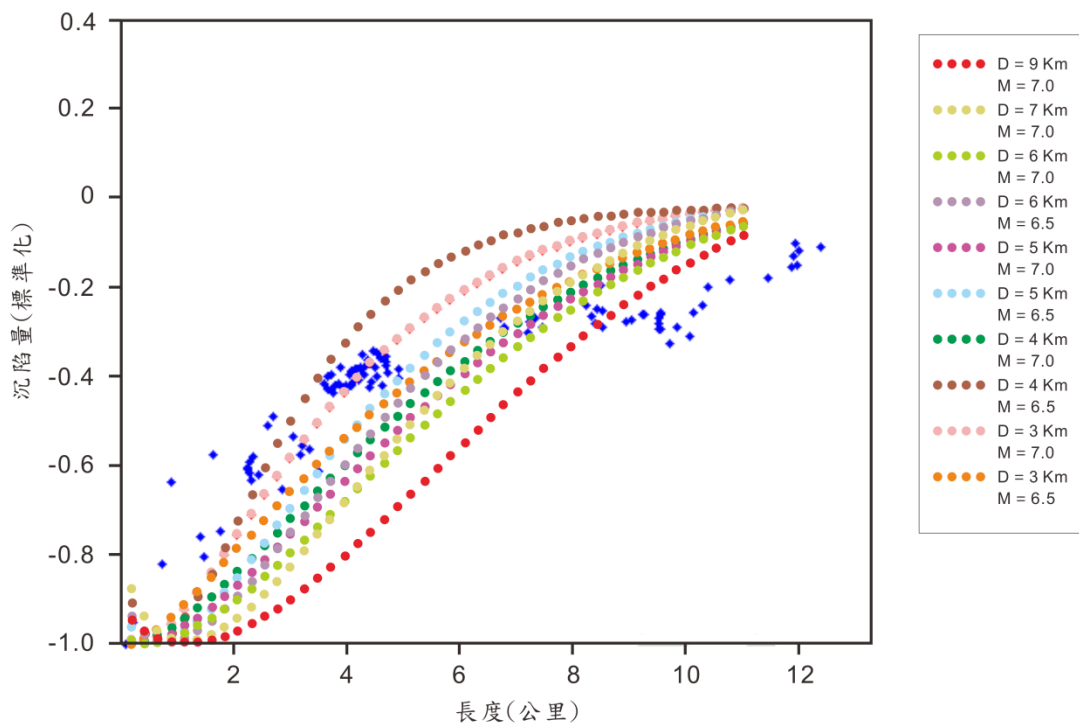
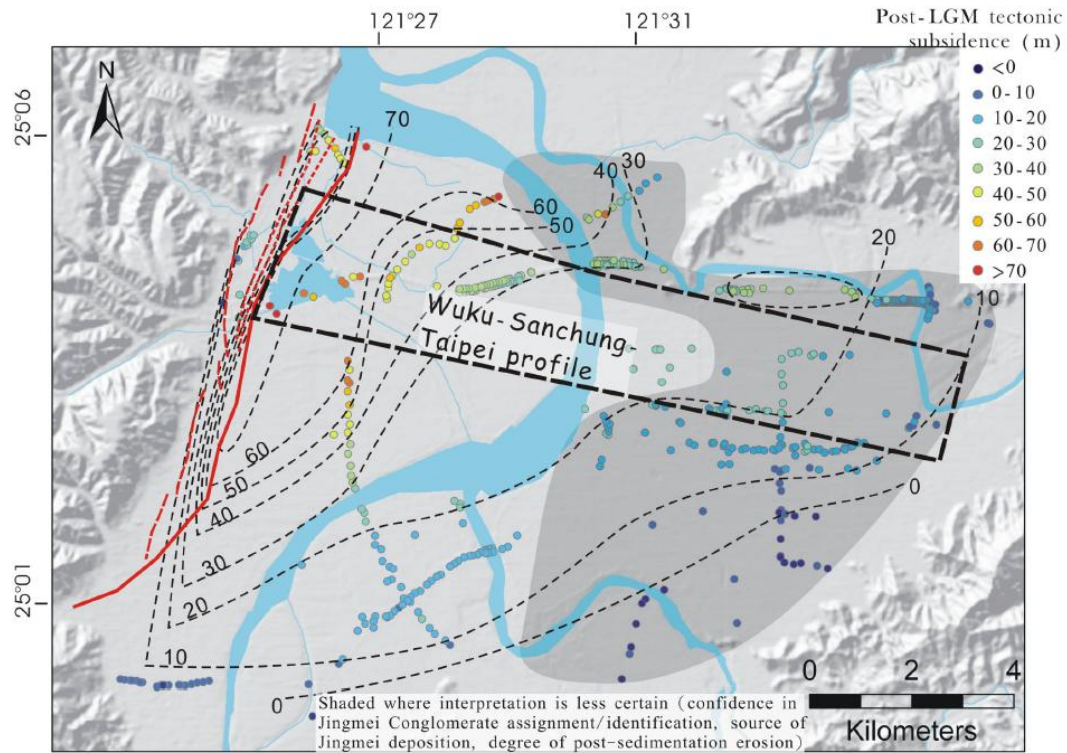


圖 5.16 圖 A：臺北盆地景美層等深圖及井位分布，圖中黑框區域為採用之區域。(擷取自陳致同，2012) 圖 B：垂直斷層方向沉陷量變化，藍色點為井孔資料，採用區域如圖 A 黑框區域。



## 第六章 結論

本研究利用彈性體錯動之方式，進行地震活動與地表變形行為關係之模擬，並加入庫倫破壞應力之觀念，探討鄰近斷層可能產生之影響。根據本研究結果，可以得出下面幾點結論：

1. 根據目前推論之山腳斷層長度，其可能產生之最大地震規模約為規模 7.5，在此規模下，可能產生的最大沉陷量接近 3 公尺，而在規模大於 6.5 之情況便可能產生大於 1 公尺之地表沉陷。
2. 震源位置的不同，對於地表所反應出之現象也略有不同，此外，震源深度的改變對於沉陷範圍的改變影響並不大，但卻與斷層延續至地表行為有關，震源越淺之地震，地表產生斷層破裂的現象越為明顯；此現象同時也反映在地表沉陷上，震源越淺之地震其產生沉陷量也相對較大。
3. 鄰近斷層的應力狀態改變情況，考慮大地應力之狀態，本研究假設斷層若有再活動之可能性，將以正斷層之機制進行活動。根據模擬結果，應力增加之區域大部分分布在較淺之地方，而應力減少之區域大部分分布在較深地區。隨著發震震源位置的不同，反應在斷層面上的應力狀態也有所不同。
4. 根據最大剪應力方向計算，在鄰近斷層大部分斷面上最大剪應力方向為走滑形式，此種活動形式與目前台灣北部應力狀態並不相符，此種情況下，山腳斷層的活動對於觸發鄰近斷層活動的影響可能較不顯著。
5. 比對景美層厚度與模擬結果之沉陷量，結果顯示本研究所使用之模型在斷層面滑移量分布的設定將會影響結果與景美層之厚度之契合性。若以本研究之結果推測形成景美層如今所見層厚，根據

地震規模與最大沉陷量關係，推測其活動周期約在兩千年至五千年間。

6. 在山腳斷層活動後可能造成的淹水危害，我們分別針對台北盆地以及金山地區河谷探討，考慮地震後造成的沉陷使地表降低到海平面以下可能會有淹水的危害，在規模 7.5 的地震下，台北盆地會有約 50 平方公里的區域有淹水危機，淹水地區集中於五股、蘆洲、北投一帶，而在金山地區則有約 2 公里的區域會降低至海平面以下；在規模 8.0 地震下，盆地大部分區域以及金山沿海一帶幾乎皆屬於淹水的高危險區域。

以上為本研究之結論，在未來若有更精確的山腳斷層地下形貌之研究，將對於同震位移模擬之結果有更佳的精確度。除了利用已知的斷層形貌外，我們也可利用地層的資料來推得斷層可能之形貌。此外，結合建築設計、海嘯模型等其他資料，我們也能利用此結果進行相關的地質災害的評估。

## 參 考 文 獻

- Brendan J.M., 2007, algorithms for the calculation of exact displacements, strains, and stresses for triangular dislocation elements in a uniform elastic half space, *Computers and geosciences*, 33, 1064-1075.
- Chen C.T., Hu J.C., Lu, C.Y., Lee, J.C., and Chan, Y.C., 2007, Thirty-year land elevation change from subsidence to uplift following the termination of groundwater pumping and its geological implications in the Metropolitan Taipei Basin, Northern Taiwan, *Engineering Geology*, 95, 30-47.
- Chen, C.T., Lee, C.J., Chan, Y.C., and Lu, C.Y., 2010, Growth Normal Faulting at the Western Edge of the Metropolitan Taipei Basin since the Last Glacial Maximum, Northern Taiwan, *Terr. Atmos. Ocean*, Vol. 21, No. 3, 409-428.
- Chen, W.F. and Tang, L.S., 1990, Depositional environment of Quaternary deposits of the Linkou Tableland, northwestern Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, 33, 39-63.
- Debi Kilb, Joan Gomberg, Paul Bodin, 2002, Aftershock triggering by complete Coulomb stress changes, *Journal of Geophysical Research*, 107, B42060.
- Hanks, T.C. and Kanamori, H., 1979, A moment-magnitude scale. *J. Geophys. Res.*, 84, 2348-2350.
- Ho, C. S., 1959, Thrust structure in Taichung and Nantou, central Taiwan. *Bull Geol. Surv. Taiwan*, no. 11, 65-79.
- Ho, C. S., Hsu, M. Y. and Jen, L. S., 1963, Fault structures in the Keelung coastal area, *Taiwan. Proc. Geol. Soc. China*, no. 6, 18-33.
- Ho, C.S., 1974, The Taipei fault and related structural feature in northern Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, no. 17, 95-109.
- Hsu, Y.J., Yu, S.B., Kuo, L.C., Tsai, Y.C., Chen, H.Y., 2011, coseismic deformation of the 2010 Jiashian, Taiwan earthquake and implications for fault activities in southwestern Taiwan, *Tectonophysics*, 502, 328-335.

- Huang, S.Y., C.M. Rubin, Chen, Y.G., and Liu, H.C., 2007, Prehistoric earthquakes along the Shanchiao fault, Taipei Basin, northern Taiwan, *Four. Asian Earth Sci.*, 31, 265-276.
- Kim, Y.S. and Sanderson, D.J., 2005, The relationship between displacement and length of faults: a review. *Earth Sci. Rev.*, 68, 317-334.
- Lee, C.T., 1999, Neotectonics and Active Faults in Taiwan, 1999 Workshop on Disaster prevention/Management and Green Technology, 61-74
- Rau, R.J., Ching, K.E., Hu, J.C., and Lee, J.C., 2008, Crustal deformation and block kinematics in transition from collision to subduction: Global positioning system measurements in northern Taiwan, 1995-2005, *Journal of Geophysical Research*, 113, B09404.
- Shyu, J.B.H., Chen, Y.G., and Liu, C.S., 2005, Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, 10, B08402.
- Teng, L.S., Lee, C.T., Peng, C.H., Chen, W.F., and Chu, C.J., 2001, Origin and geological evolution of the Taipei basin, northern Taiwan, *Western Pacific Earth Sciences*, vol. 1, No. 2, 115-142.
- Teng, L.S. and Lee, C.T., 1996, Geomechanical appraisal of seismogenic faults in northeast Taiwan. *Jour. Geol. Soc. China*, 39, 125-142.
- Wells, D.L. and Coppersmith, K.J., 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacements, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 974-1002.
- Wu, F.T., 1965, Subsurface Geology Of The Hsinchuang Structure In The Taipei Basin, *Petroleum Geology of Taiwan*, Vol. 4, 271-282.
- 丹桂之助，1939，臺北盆地之地質學考察。矢部教授還曆紀念論文集，第1卷，371~380頁。
- 王執明、鄭穎敏、王源，1978，臺北盆地之地質及沉積物之研究。台灣鑛業，3卷，第4期，78-108頁。

- 王執明、鄭穎敏、王源，1978，台北盆地之地質及沉積之研究，礦業技術，30，350-380。
- 王朝興，2005，金山地區活動斷層之淺層震測調查，國立中正大學應用地球物理研究所，碩士論文，共 61 頁。
- 市川雄一，1930，桃園圖幅說明書。台灣總督府殖產局，第 581 號，共 38 頁。
- 石瑞銓、詹益湘、劉桓吉，2004，山腳斷層於關渡平原之淺層震測調查，經濟部中央地質調查所特刊，第十五號，1-11。
- 何春蓀，1983，台灣基隆沿海區至桃園大溪間煤田地質及構造。經濟部中央地質調查所彙刊，地 2 號，17-70 頁。
- 何春蓀，1983，台灣基隆沿海區致桃園縣大溪間煤田地質及構造，經濟部中央地質調查所彙刊，第二號，17-70。
- 余水倍、陳宏宇、郭隆晨、侯進雄、李錦發，1999，台北盆地斷層活動之觀測研究，經濟部中央地質調查所特刊，第十一號，227-251。
- 李錫堤，1993，金山-新莊斷層的活動性評估。工程地質技術應用研討會，工業技術研究院能源與資源研究所。
- 和協工程技術顧問有限公司，1999，山腳斷層調查工作報告書。長生國際開發股份有限公司，中正國際機場至台北捷運系統建設計畫，共 51 頁。
- 林啟文、陳文山、饒瑞鈞，2007，臺灣活動斷層調查的近期發展，經濟部中央地質調查所特刊，第十八號，85-110。
- 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。
- 林朝宗，李錦發，1997，從鑽井資料看台北斷層在台北盆地的位置及活動性，地工技術，第六十四期，79-92。
- 林朝榮，1957，台灣地形。台灣省文獻委員會，共 424 頁。

- 花井重次，1930，台灣桃園台地活斷層。地理學評論，6(7)卷，778-789 頁。
- 邱俊穎、胡植慶、陳致言、劉桓吉，2007，山腳斷層再活動對於台北盆地內地形變化之探討，經濟部中央地質調查所特刊，第二十號，97-110。
- 邱紀瑜，2010，利用 GPS 觀測資料探討台北地區之地殼形變，國立中央大學地球物理研究所，碩士論文，共 139 頁。
- 邱華燈，1968，台灣北部桃園附近之新莊斷層。中國地質學會會刊，第 11 卷，60-73 頁
- 范凱婷，2011，臺北盆地及周圍山區之現今地表變形研究，國立中央大學地球物理研究所，碩士論文，共 100 頁。
- 張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁，1998，台灣活動斷層概論。五十萬分之一台灣活動斷層分布圖說明書，經濟部中央地質調查所特刊，第十號，共 103 頁。
- 陳文山、林朝宗、楊志成、費立沅、謝凱旋、鞏慧敏、林佩儀、楊小青，2008，晚期更新世以來台北盆地沉積層序架構與構造的時空演變，經濟部中央地質調查所彙刊，第二十一號，61-106。
- 陳文福、鄧屬予、安朔葉、李建成、朱微祖，1994，南崁斷層之觀察及意義初釋，地質，第 14 卷，第 1 期，63-71。
- 陳文福、鄧屬予、安朔葉、李建成、朱微祖，1994，南崁斷層之觀察及意義初釋。地質，第 14 卷，第 1 期，63-71 頁。
- 陳致同，2012，台北都會區山腳活斷層之地震地質研究，國立臺灣大學地質科學研究所，博士論文，共 195 頁。
- 黃雯苓，2007，台灣東北部海域斷層系統之研究，國立臺灣海洋大學應用地球研究所，碩士論文，共 90 頁。
- 黃鑑水，1998，五萬分之一臺灣地質圖說明書—台北圖幅第二版。經濟部中央地質調查所出版。

- 黃鑑水，1998，台北地質圖說明書。五萬分之一台灣地質圖說明書，圖幅第 4 號，經濟部中央地質調查所，共 46 頁。
- 黃鑑水、李錦發、劉桓吉，1991，台灣北部崁腳斷層之地質調查與探勘研究。國科會防災科技研究報告 80-17 號，共 24 頁。
- 黃鑑水、張憲卿、李元希，1994a，臺灣北部新店斷層之地質調查與探勘研究。國科會防災科技研究報告 83-11 號，共 24 頁。
- 黃鑑水、張憲卿、李元希、林真在，1994b，臺北近郊新店斷層及相關問題。地質，第 14 卷，第 1 期，1-18 頁。
- 葉義雄、袁時正、蔡義本，1985，桃園新竹地區活斷層之調查研究—重力與微震觀測(I)。國科會防災科技研究報告 74-20 號，共 102 頁。
- 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(LIDER)地形測製與構造地形分析(1/3)。經濟部中央地質調查所報告 94-06 號，共 143 頁。
- 詹瑜璋、李建成、鄭鼎耀、劉進金、陳文山、胡植慶、陳柔妃、徐偉城，2006，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(LIDER)地形測製與構造地形分析(2/3)。經濟部中央地質調查所 95 年度委辦計畫報告，共 123 頁。
- 劉桓吉、蘇泰為、李錦發、紀宗吉、林朝宗，2000，山腳斷層之活動性及其對工程安全之影響。經濟部 89 年度研究發展報告，共 30 頁。
- 劉桓吉、蘇泰為、邱禎龍、曾俊傑、紀宗吉、林文哲、李錦發、費立沅、賴典章、林朝宗、黃健政，2002，臺北盆地地下地質與工程地質研究。90 年度中央地質調查所年報，59-64 頁。
- 鄧屬予，2006，台北盆地之地質研究，西太平洋地質科學，第 6 卷，1-28。
- 鄧屬予、李錫堤、劉平妹、宋聖榮、曹恕中、劉桓吉、彭志雄，2004，台北堰塞湖考證，地理學報，第三十六期，77-100。

- 鄧屬予、袁彼得、陳培源，1995，八十四年度臺北盆地地下地質與工程環境綜合調查研究-地層及沉積環境研究。中央地質調查所報告，第 84-008 號，共 61 頁。
- 鄧屬予、袁彼得、陳培源、彭志雄、賴典章、費立沅、劉桓吉，1999，臺北盆地堆積層的岩性地層，經濟部中央地質調查所特刊，第十一號，41-66。
- 鄭錦桐、潘照芳、李易叡、黃宗良、潘嘉興、王登楓，2011，地區災害防救計畫利用最大可能地震進行山腳斷層災害損失評估，臺北市災害防救深耕計畫第二期研討會，229-243。
- 戴榮興，2000，臺北盆地西緣之山腳斷層震測調查研究，國立中央大學地球物理研究所，碩士論文，共 84 頁。
- 簡志宇，2008，台北盆地西北深部構造之研究，國立中央大學地球物理研究所，碩士論文，共 60 頁。
- 蘇泰維、黃健政、劉桓吉、劉憲德，2003，台北盆地西緣山腳斷層調查研究初步成果，經濟部中央地質調查所年報，九十一年度，118-121。
- 蘇泰維、劉桓吉、劉憲德、黃健政，2003，臺北盆地西緣山腳斷層調查研究初步成果。91 年度中央地質調查年報，118-121 頁。
- 饒瑞鈞、李元希、胡植慶，2010，地震地質與地變動潛勢分析-地變動監測分析(4/4) 期末報告，中央地質調查所報告第 99-10 號。經濟部中央地質調查所，共 400 頁。