經濟部

經濟部中央地質調查所

107年度委託技術服務執行期末報告書

(定稿本)

「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(2/4)」

（第二年度）

全 程 計 畫：自106年2月至109年12月止
本年度計畫：自107年2月至107年12月止

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行單位：財團法人中興工程顧問社
中 華 民 國 107 年 12 月

經濟部中央地質調查所

107年度委託技術服務執行期末報告書

「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(2/4)」

（第二年度）

全 程 計 畫：自106年2月至109年12月止
本年度計畫：自107年2月至107年12月止

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行單位：財團法人中興工程顧問社

中 華 民 國 107 年 12 月

臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估 (2/4)

（第二年度）

計畫主持人： 顏銀桐

協同主持人： 邵國士、徐澔德

計畫督導： 張玉彝

研 究 員： 林柏伸、李易叡、謝寶珊、謝銘哲、莊怡蓉

委託機關：經濟部中央地質調查所

執行單位：財團法人中興工程顧問社

中 華 民 國 107 年 12 月

目錄

目錄 I
表目錄 IV
圖目錄 V
名詞解釋 XI
摘要 XIII
Abstract XVIII
第一章、緒論 1
1-1 計畫整體概述 1
1-2 計畫目的 4
1-3 本(107)年度工作內容概述 7
1-3-1 本年度工作項目 7
1-3-2 本(年度)計畫期中交付以下工作項目 8
1-3-3 本(年度)計畫期末交付以下工作項目 8
第二章、山腳斷層潛勢評估 9
2-1 山腳斷層參數更新 9
2-1-1 前階段計畫成果 9
2-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 11
2-1-3 孕震深度分析 15
2-2 邏輯樹更新 16
2-3 規模與年發生率之關係 20
2-4 發震機率之推估 22
第三章、湖口斷層潛勢評估 23
3-1 湖口斷層參數更新 23
3-1-1 前階段計畫成果 23
3-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 25
3-1-3 孕震深度分析 26
3-2 邏輯樹更新 28
3-3 規模與年發生率之關係 32
3-4 發震機率之推估 34
第四章、新竹斷層潛勢評估 35
4-1 新竹斷層參數更新 35
4-1-1 前階段計畫成果 35
4-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 36

4-1-3 孕震深度分析 40
4-2 邏輯樹更新 42
4-3 規模與年發生率之關係 44
4-4 發震機率之推估 46
第五章、新城斷層潛勢評估 47
5-1 新城斷層參數更新 47
5-1-1 前階段計畫成果 47
5-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 48
5-1-3 孕震深度分析 48
5-2 邏輯樹更新 49
5-3 規模與年發生率之關係 52
5-4 發震機率之推估 53
第六章、獅潭-屯子腳斷層系統潛勢評估 54
6-1 斷層參數更新 54
6-1-1 前階段計畫成果 54
6-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 56
6-1-3 孕震深度分析 57
6-2 邏輯樹更新 59
6-3 規模與年發生率之關係 62
6-4 發震機率之推估 65
第七章、三義斷層潛勢評估 66
7-1 三義斷層參數更新 66
7-1-1 前階段計畫成果 66
7-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 68
7-1-3 孕震深度分析 71
7-2 邏輯樹更新 73
7-3 規模與年發生率之關係 77
7-4 發震機率之推估 80
第八章、制定各活動斷層參數說明書 81
8-1 說明書章節概述 81
8-2 活動斷層潛勢圖成果 82
8-3 活動斷層現地照片蒐集與呈現 86
8-4 彙整成果至活動斷層查詢平台 101
第九章、活動斷層潛勢圖公布相關問題研析 105
第十章、本年度成果與後續工作 109
10-1 本年度成果 109

10-2 後續工作及建議事項 110
參考文獻 111
委員審查意見 117
（附錄請參閱光碟）
[附錄 1] 臺南前緣構造之震源參數設定 ..... 附錄 1-1
[附錄 2] 右昌構造之震源參數設定 ..... 附錄 2-1
[附錄 3] 龍船構造之震源參數設定 ..... 附錄 3-1
[附錄 4] 邏輯樹專家諮詢會議記錄 ..... 附錄 4-1
[附錄 5] 台灣中北地區斷層活動機率圖 ..... 附錄 5-1
[附錄 6] 潛勢圖公布問題研析因應策略建議書 ..... 附錄 6-1

表目錄

表 A：本年度預期進度甘梯圖（GANTT CHART）。 VIII
表 B：預期進度查核點（CHECK POINT）。 IX
表 C：期末交付之各項工作項目。 X
表 1.1：全程計畫預期進度甘梯圖(GANTT CHART)。 3
表 2-1.1：山腳斷層傾角及深度資料與文獻列表(胡植慶等，2016)。 12
表 2-2.1：山腳斷層長期滑移速率相關文獻。 17
表 2-2.2：山腳斷層模型擬合結果。 18
表 2-2.3：山腳斷層之各破裂事件規模及權重。 19
表 2-4.1：山腳斷層發生機率評估。 22
表 3-1.1：湖口斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)。 25
表 3-2.1：本計畫湖口斷層長期滑移速率推估結果。 30
表 3-2.2：湖口斷層之各破裂事件規模及權重。 31
表 3-4.1：湖口斷層發生機率評估。 34
表 4-1.1：新竹斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)。 37
表 4-1.2：新城斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)。 37
表 4-2.1：本計畫新竹斷層長期滑移速率推估結果。 42
表 4-2.2：新竹斷層各破裂事件規模及權重。 43
表 4-4.1：新竹斷層發生機率評估。 46
表 5-2.1：新城斷層長期滑移速率相關文獻（灰色表示年代老於 10 萬年）。 50
表 5-2.2：本計畫新城斷層長期滑移速率推估結果。 50
表 5-2.3：新城斷層各破裂事件規模及權重。 51
表 5-4.1：新城斷層發生機率評估。 53
表 6-1.1：獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件規模計算(胡植慶等，2016)。 55
表 6-1.2：屯子腳斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)。 56
表 6-1.3：獅潭斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)。 56
表 6-2.1：本計畫屯子腳斷層及獅潭斷層長期滑移速率推估結果。 60
表 6-2.2：獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件規模及權重。 61
表 6-4.1：獅潭-屯子腳斷層系統發生機率評估。 65
表 7-2.1：本計畫三義斷層長期滑移速率推估結果。 75
表 7-2.2：三義斷層各破裂事件規模及權重。 76
表 7-4.1：三義斷層發生機率評估。 80
表 8-3.1：照片欄位規劃。 88
表 10-1.1：北部地區活動斷層參數修改情形(O 表示有修改)。 109
表 10-1.2：北部地區活動斷層之發生機率表。 110

圖目錄

圖 1.1：106-109 年度各年度評估地區與斷層及孕震構造分布 2
圖 1.2：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估之專業分工架構 3
圖 1.3：美國加州地區活動斷層與孕震構造潛勢評估之四大流程(摘錄自 WG07, 2008) 4
圖 1.4：加州地區孕震構造之三維幾何形貌(WG07, 2008) 5
圖 1.5：加州地區地震潛勢評估之專家討論成果邏輯樹(摘錄自 WG07, 2008) 5
圖 1.6：加州地區未來 30 年發生地震規模為 5、6.7、7.7 以上之機率分布圖。 5
圖 1.7：日本主要孕震構造未來 30 年之活動潛勢評估成果 6
圖 2-1.1：大屯山地區之 LIDAR DTM 及構造地形分析及判釋（張國楨等，2011） 10
圖 2-1.2：山腳斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016) 10
圖 2-1.3：前階段山腳斷層邏輯樹(胡植慶等，2016) 11
圖 2-1.4：構造平衡剖面 P1 與 3D 地形圖 12
圖 2-1.5：新莊斷層與山腳斷層關係之各種學說圖示 13
圖 2-1.6：SSHAC LEVEL 3 計畫台灣北部主要活動斷層幾何形貌設定 13
圖 2-1.7：SSHAC LEVEL 3 計畫山腳斷層幾何形貌邏輯樹及權重設定 14
圖 2-1.8：山腳斷層地震分布與深度剖面圖 14
圖 2-1.9：山腳斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：WU ET AL., 2017) 15
圖 2-2.1：底質剖面以及震測剖面顯示 ST-I 及 ST-II 斷層具有擾動現象 17
圖 2-2.2：海域線形震測剖面之垂直離距分布 18
圖 2-2.3：山腳斷層更新邏輯樹 19
圖 2-3.1：山腳斷層各破裂事件特徵地震模式 20
圖 2-3.2：山腳斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖 21
圖 2-3.3：山腳斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 21
圖 2-3.4：(A)山腳斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B)山腳斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 22
圖 3-1.1：湖口斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016) 24
圖 3-1.2：前階段湖口斷層邏輯樹(胡植慶等，2016) 24
圖 3-1.3：湖口斷層幾何面破裂模式及權重修改情形 25
圖 3-1.4：湖口斷層幾何面破裂模式及權重專家會議後修改情形 26
圖 3-1.5：湖口斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：WU ET AL., 2017) 27
圖 3-1.6：左圖為湖口斷層西元 1900-2015 地震分布圖，右圖為地震深度-數量統計圖 27
圖 3-2.1：新竹苗栗外海構造分布圖（黃旭燦等，1996） 29
圖 3-2.2：新竹地區海域震測剖面（沈玟劭，2008） 29
圖 3-2.3：本計畫湖口斷層海域延伸 30
圖 3-2.4：本計畫湖口斷層破裂事件 30
圖 3-2.5：湖口斷層更新邏輯樹 31
圖 3-3.1：湖口斷層各破裂事件特徵地震模式 32
圖 3-3.2：湖口斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖 33
圖 3-3.3：湖口斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 33
圖 3-3.4：（A）湖口斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）湖口斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 34
圖 4-1.1：新竹斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016) 36
圖 4-1.2：前階段新竹斷層邏輯樹(胡植慶等，2016) 36
圖 4-1.3：跨新竹及新城斷層之震測剖面 38

圖 4-1.4：新竹區域地震分布與平衡剖面圖(黃宣維，2012).....39
圖 4-1.5：新竹及新城斷層幾何面破裂模式及權重修改情形 40
圖 4-1.6：新竹及新城斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：WU ET AL., 2017) 41
圖 4-2.1：新竹斷層更新邏輯樹 43
圖 4-3.1：新竹斷層各破裂事件特徵地震模式.....44
圖 4-3.2：新竹斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖.....45
圖 4-3.3：新竹斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 45
圖 4-3.4：(A) 新竹斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 新竹斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 46
圖 5-1.1：新城斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016) 48
圖 5-1.2：前階段新城斷層邏輯樹(胡植慶等，2016).....48
圖 5-2.1：新城斷層更新邏輯樹 51
圖 5-3.1：新城斷層各破裂事件之特徵地震模式 52
圖 5-3.2：新城斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖.....52
圖 5-3.3：新城斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 53
圖 5-3.4：(A) 新城斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 新城斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 53
圖 6-1.1：獅潭-屯子腳斷層系統破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016).....55
圖 6-1.2：獅潭-屯子腳斷層系統邏輯樹 56
圖 6-1.3：獅潭斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：WU ET AL., 2017) 57
圖 6-1.4：跨獅潭斷層地震分布地圖及地震深度分布剖面 58
圖 6-1.5：屯子腳斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：WU ET AL., 2017) 58
圖 6-2.1：本計畫修改之獅潭-屯子腳斷層系統破裂模式及權重分配.....60
圖 6-2.2：獅潭-屯子腳斷層系統更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件權重、滑移速率).....61
圖 6-3.1：獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件特徵地震模式.....62
圖 6-3.2：獅潭—屯子腳斷層系統 6 種破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖.....63
圖 6-3.3：獅潭-屯子腳斷層系統 6 種破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖.....64
圖 6-3.4：(A) 獅潭—屯子腳斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 獅潭—屯子腳斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 64
圖 7-1.1：三義斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016) 67
圖 7-1.2：前階段三義斷層邏輯樹(胡植慶等，2016).....68
圖 7-1.3：楊耿明等(2007)跨三義斷層之震測及地質平衡剖面圖.....69
圖 7-1.4：HUNG AND WILTSCHKO (1993)三義斷層大安溪以北之構造剖面圖.....69
圖 7-1.5：本計畫三義斷層(車籠埔斷層以北)幾何形貌設定.....70
圖 7-1.6：跨三義斷層之地質平衡剖面圖 70
圖 7-1.7：本計畫三義斷層(車籠埔斷層以南)幾何形貌設定.....71
圖 7-1.8：三義斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：WU ET AL., 2017).....71
圖 7-1.9：三義—卓蘭地區微震震央分布及投影情況(LIN ET AL., 1989).....72
圖 7-1.10：跨三義斷層地質剖面及微震投影。剖面線位於圖 7-1.6 之ΩΩ’ 72
圖 7-2.1：本計畫修改三義斷層之分段及破裂模式.....74
圖 7-2.2：三義斷層沿線構造線形平面位置及野外點位分布 74
圖 7-2.3：三義斷層沿線地形剖面圖 75
圖 7-2.4：三義斷層更新邏輯樹 77
圖 7-3.1：三義斷層各破裂事件特徵地震模式.....78
圖 7-3.2：三義斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖.....79
圖 7-3.3：三義斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 79

圖 7-3.4：（A）三義斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）三義斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 80
圖 8-2.1：台灣中北部水平速度場及斷層活動機率圖 84
圖 8-2.2：台灣中北部垂直速度場及斷層活動機率圖 85
圖 8-3.1：資料上傳系統介面 87
圖 8-3.2：圖臺照片及照片資訊 87
圖 8-3.3：山腳斷層之斷層特徵照片彙整 90
圖 8-3.4：湖口斷層之斷層特徵照片彙整 91
圖 8-3.5：新竹斷層之斷層特徵照片彙整 92
圖 8-3.6：新城斷層之斷層特徵照片彙整 94
圖 8-3.7：獅潭斷層之斷層特徵照片彙整 97
圖 8-3.8：三義斷層之斷層特徵照片彙整 98
圖 8-3.9：屯子腳斷層之斷層特徵照片彙整 100
圖 8-4.1：中央地質調查所既有活動斷層查詢系統 101
圖 8-4.2：網站功能架構圖 102
圖 8-4.3：活動斷層查詢網站示意圖 102
圖 8-4.4：活動斷層查詢網頁新增連結 103
圖 8-4.5：活動斷層查詢網頁連結「斷層資訊與活動參數」 103
圖 8-4.6：活動斷層查詢網頁連結「分析潛勢與評估成果」 104
圖 9.1：專家座談會會議情況 106

表 A：本年度預期進度甘梯圖（Gantt Chart）。

計畫名稱：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(2/4)													
月次 / 月份 / 工作項目	第1月(1)	第2月(2)	第3月(3)	第4月(4)	第5月(5)	第6月(6)	第7月(7)	第8月(8)	第9月(9)	第10月(10)	第11月(11)	第12月(12)	備註
工作計畫書繳交、契約書簽訂	■	■											
建立山腳斷層、湖口斷層之活動斷層參數邏輯樹		■	■										
建立新竹斷層、新城斷層之活動斷層參數邏輯樹				■	■								
召開第 1 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議						■							
建立獅潭斷層、屯子腳斷層、三義斷層之活動斷層參數邏輯樹							■	■	■				
召開第 2 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議										■			
建立台南前緣構造之震源參數設定				■	■	■							
建立右昌構造、龍船構造之震源參數設定							■	■	■				
建立北部地區 7 條活動斷層視覺化三維斷層模型			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
蒐集推估北部地區 7 條活動斷層之孕震深度分布圖			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
北部地區 7 條活動斷層潛勢評估									■	■	■		
撰寫臺灣南部及東部活動斷層參數說明書								■	■	■	■		
蒐集北部地區 7 條活動斷層相關特徵照片至活動斷層查詢平台				■	■	■	■	■	■	■	■		
彙整北部地區 7 條活動斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果至活動斷層查詢平台				■	■	■	■	■	■	■	■		
活動斷層查詢平台的協調會議				■		■		■		■			
研析美日等國活動斷層潛勢圖公布經驗資料				■	■	■	■						
活動斷層潛勢圖公布專家座談會							▬	▬	▬	▬			
期中報告繳交及期中審查						■	■						
期末報告繳交及期末審查											■	■	
驗收												■	

表 B：預期進度查核點（Check Point）。

序號	查核點(交付項目)	預定達成日期	完成狀態
1	工作計畫書繳交、契約書簽訂	2 月 15 日	工作計畫書修正與契約書簽訂
2	期中報告繳交	6 月 30 日	繳交期中報告書面與簡報資料
3	期中審查會議	7 月 31 日	1. 召開期中審查會議，依據會議紀錄回覆委員意見辦理狀況。 2. 第一期款請款
4	期末報告繳交	11 月 30 日	繳交期末報告書面初稿與簡報資料
5	期末審查會議	12 月 15 日	召開期末審查會議，依據會議紀錄回覆委員意見辦理狀況
6	驗收	12 月 31 日	1. 提送成果報告書 30 份、活動斷層說明書光碟 50 份及斷層活動潛勢圖 500 份 2. 尾款請款

註：依計畫需求，與業主辦理工作進度會議

表 C：期末交付之各項工作項目。

	工作項目		章節
北部活動斷層斷層參數及潛勢圖更新	1. 精進活動斷層參數：依最新地質研究資料，檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新劃設北部地區 7 條活動斷層(01 山腳斷層、02 湖口斷層、03 新竹斷層、04 新城斷層、05 獅潭斷層、06 三義斷層、09 屯子腳斷層)邏輯樹。		2-2 3-2 4-2 5-2 6-2 7-2
	2. 召開 2 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議，進行邏輯樹架構與參數權重之合理性探討。		附錄 4
	3. 建立北部地區 7 條活動斷層視覺化三維斷層模型。		附件光碟
	4. 精進孕震深度評估方法：蒐集推估北部地區 7 條活動斷層之孕震深度分布圖。		2-1-3 3-1-3 4-1-3 5-1-3 6-1-3 7-1-3
	5. 產製北部地區 7 條活動斷層潛勢圖。		8-2
孕震構造之震源參數設定	台南前緣構造	1. 評估震源參數，如幾何形貌、斷層面孕震深度、滑移速率等。	附錄 1
		2. 劃設台南前緣構造邏輯樹。	
	右昌構造	1. 評估震源參數，如幾何形貌、斷層面孕震深度、滑移速率等。	附錄 2
		2. 劃設右昌構造邏輯樹。	
	龍船構造	1. 評估震源參數，如幾何形貌、斷層面孕震深度、滑移速率等。	附錄 3
		2. 劃設龍船構造邏輯樹。	
制定各活動斷層參數說明書	1. 建立前一階段(2013~2016)臺灣南部及東部活動斷層參數說明書。		附件光碟
	2. 北部地區 7 條活動斷層蒐集彙整之相關照片。		8-3
	3. 彙整潛勢評估成果，繪製並出版臺灣活動斷層潛勢圖。		附錄 5
	4. 將前階段蒐集之活動斷層成果包含斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果彙整至活動斷層查詢平台。		8-4
斷層活動潛勢圖公布相關問題研析	1. 參考美、日等國之經驗，研擬配合地質法活動斷層潛勢圖公布後之可能衍生問題因應策略。		第 9 章
	2. 辦理相關專家座談會。		附錄 6

名詞解釋

活動斷層	Slemmons and Mckinney(1977)曾收集世界各地共31種不同定義加以分析後指出，基本上具有下列四項共通之原則： (1)活動斷層曾在當今之造震地體架構下移動過。 (2)活動斷層具有將來再活動的潛能。 (3)活動斷層具有近期活動的證據，例如地形上之證據。 (4)活動斷層與地震活動有關聯。
斷層潛勢	活動斷層潛勢評估，要了解活動斷層可能引發之最大地震規模，並且評估未來發生大地震之機率。斷層可能引發之最大地震規模可藉由斷層長度或是斷層面積以尺度經驗公式推估；斷層未來發震之機率，則需了解斷層發生大規模地震之週期，以及最後一次發生地震的時間，才能以合適之統計模式評估活動斷層未來一段時間內之發震機率。
邏輯樹	可將含有大量複雜且多種可能性假設條件的問題，轉換為有條理少量且簡單的運算。邏輯樹包含一系列的節點(nodes)與分支(branches)，每一個節點代表任一不確定參數，由此節點延伸出的每一分支，代表此不確定參數可能發生的各種模式/狀況的分配機率或權重。當資訊不足無法針對參數進行統計分析而給予不同模式發生/存在的機率值時，專家可以適切地給予參數或模式存在/發生的權重。
孕震深度	岩層在累積受力超過其彈性限度後釋放其累積應力能量導致岩層快速破裂錯動進而引起地震。由於岩性、溫度、壓力等多因素的影響，在某一深度後，岩石會由脆性向塑性發生轉變，變得難以累積應力能量，地震次數就會減少，該深度即定義為孕震深度。
滑移速率	斷層滑移速率是單位時間內斷層錯動的距離，一般是指平均滑移速率。長期斷層滑移速率的測定，一般藉由地形、地物及地貌標幟的錯移量來計算。例如：由錯移的水系、河階崖、山脊線及歷史上的構造物等，或被抬昇的海階、海蝕洞及夷平面等加以定年資料來計算。現今斷層滑移速率的測定，一般採用精密大地三角測量或三邊測量及水準測量，經數年之重複觀測後計算得之。
DEFNODE	為 Rob McCaffrey 提出的三維塊體模型，假設每條斷層都位於兩個轉動塊體（block）的邊界上。塊體旋轉意指將地球表面切割成多個剛性塊體，每一個塊體皆圍繞其歐拉軸於地表面上旋轉，歐拉軸與地表面的交點稱為歐拉極(Euler pole)。藉由各塊體歐拉極的位置及其角速度，即能夠描述該塊體的運動行為。另外，兩塊體運動型態的差異亦會使得位於塊體交界處的斷層發生錯動，若斷層面有鎖定(locking)的情形，其在地表即會產生漸變的速度梯度。
BLOKES	此模型為 Meade 與 Loveless 所開發的 Block Model（Meade and Hager.,2009），主要的計算原理為將區域視為各斷層作為邊界所劃

	分而成的塊體，並以地表速度去反推斷層面滑移速度，再以求得之斷層滑移速度推求地表變動速度，使得與真實地表變動速度相互比較驗證模型。相對於基本的錯位模型（Dislocation Model），Block Model 可以較容易的建構三維斷層幾何與較快速的計算，又 Block Motion 只考慮塊體之旋轉，故模擬中無需垂直向資料。
基線應變反演模型 (Baseline Inversion)	為 Johnson（2013）基於 Okada（1985，1992）彈性半無限空間斷層錯位模型所開發。基本原理和塊體模型近乎一致。為了簡化模型之建置，模型先透過應變速率的推求（Shen et al.，1996），移除非斷層鎖定造成之地表速度梯度。再計算測站間之基線應變值，最後逆推地表基線應變值估算滑移虧損率分布（Johnson，2013）。
滑移虧損率 (Slip deficit rate)	假設斷層位於兩個剛性轉動塊體（block）的邊界上，則斷層面之長期滑移速率應為兩塊體之間的相對角速度。然而從實際大地測量資料中，由於斷層面有鎖定(locking)的情形，會得到較低的間震期滑移速率，這兩者之間的差值即為斷層之滑移虧損率。
Poisson 模式	大地震在時間上的分布常以 Poisson 模式來解釋，此模式假設地震在時間上會有群聚現象，且群聚間是互不相關的。一系列地震事件時間之分布狀況由長期平均發震速率控制。當未知上一次斷層錯動與大規模地震之發生時間得採用 Poisson 模式 (假設發生率固定，不隨時間變化)。
BPT 模式	考慮當地震在一斷層區發生地震後，除非這個區域再度累積一定時間之能量，不然不大可能發生另一地震。已知上一次斷層錯動與大規模地震之發生時間得採用 BPT 模式(假設發生率會隨時間變化)。
特徵地震模式	特徵地震是指在同一活動斷層段上重復發生同震位移量或震級相近的地震。Youngs and Coppersmith (1985)首先採用斷層滑移速率來建立地震的發生次數與規模關係式，稱為特徵地震模式(characteristic earthquake model)，特徵地震模式在中小規模的地震活動度較低，主要的地震矩率是由大規模地震貢獻。
地震矩	地震震源本身之大小與造成地層錯動的作用力有直接的相關。震源機制之總力矩稱為地震矩（Seismic Moment），造成單一斷層之地震的地震矩可簡化為：$M_0 = \mu \times A \times \bar{D}$。其中 μ：斷層上物質的剛性係數（rigidity 或 shear modulus）；A：斷層面積；$\bar{D}$：斷層的平均滑動量。
地震矩規模	是從地震矩演算而來的地震規模標度，現在常用來比較大型地震的強度。
地震危害度分析	可分為定值法(deterministic method)，係經由古地震學(paleoseismology) 之研究推求大地震發生之位置、規模、回復週期及其對場址之可能影響。機率法(probability method)，以機率統計方法推求結構物在使用年限下，超過各程度強地動值的機率及可能性或回復週期。

臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估

摘要

依據歷史相關文獻記載，大多數致災地震與臺灣島內活動斷層脫離不了關係。地調所自西元 1998 年起即陸續發布臺灣活動斷層圖。直至 2012 年為目前最新版本，含括 33 條活動斷層，而該版本的調查資料精進主要以 1999 年集集地震之後所啟動一系列的活動斷層調查研究計畫所匯集。本計畫參酌美國、日本對於斷層引發地震潛勢評估方法，從文獻資料致力收集相關斷層參數。首先，嘗試依據文獻資訊轉化為重要的斷層參數，包含斷層幾何(斷層長、斷層寬、斷層傾角)、斷層分段及長期滑移速率。使用彙整的斷層參數計算斷層面積之後，進一步估算特徵地震規模，於此每個斷層對應的回歸週期即可被予以估算。最後，選擇適當的機率模型估算活動斷層在未來 30 年、50 年和 100 年之發震潛勢。而彙整的斷層參數不僅對於衍生的地震危害度分析工作有相當的幫助之餘，從地震災害防範與減災的觀點上，斷層潛勢機率評估的成果所評估高潛勢的活動斷層，勢必為後續政府相關單位所必須之關注重點。本年度計畫重點為檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新劃設北部地區 7 條活動斷層(01 山腳斷層、02 湖口斷層、03 新竹斷層、04 新城斷層、05 獅潭斷層、06 三義斷層、09 屯子腳斷層)邏輯樹與斷層潛勢機率評估，以及台南前緣構造、右昌構造及龍船構造之震源參數彙整。

關鍵詞：斷層潛勢分析、孕震深度、邏輯樹、震源構造、活動斷層參數說明書、網頁查詢平臺

一、前言

經濟部中央地質調查所於 102 至 105 年度執行「斷層活動性觀測研究第三階段-斷層整合性觀測與潛勢分析」計畫，其中效法美、日等國的經驗，於既有活動斷層分布圖中導入斷層活動機率概念，建立適合於臺灣之活動斷層潛勢評估程序，其成果為將原本活動斷層分布圖進化為活動斷層潛勢圖。該計畫亦召集地質地震專家對於活動斷層潛勢評估進行專家會議與斷層特性討論，藉由前期計畫專家會議討論後可知仍有尚待解決之問題。因此，在前期計畫的基礎上納入專家建議，提出臺灣活動斷層潛勢圖改版之精進方案。

近幾年，學術界陸續有新的活動斷層調查證據資料，加上台電公司針對鄰近核電廠之活動斷層加強調查與評估所得之資料等，應可充分運用以彙整成為本計畫之最新參考資料。基於前階段完成之成果，參考目前國際間最新相關研究，除蒐集最新斷層活動參數以更新計算斷層潛勢外，也將大地測量研究之數值模擬成果加入計算評估的依據。擬分中、北、南、東四區逐年完成活動斷層潛勢圖之精進。

二、背景與目的

台灣位於菲律賓海板塊及歐亞板塊之交界處,活躍的板塊運動使台灣的地震頻仍,依據過去一百多年的紀錄,臺灣地區主要的災害性地震大多是斷層活動所引起,加上 1999 年集集地震造成的經濟與社會衝擊,以及公共工程耐震評估需求活動斷層潛勢資訊殷切,因此活動斷層相關的調查與研究,近年來是我國地球科學界熱門的研究主題之一。

另外,依災害防救法第 22 條:「各級政府平時應依權責實施災害潛勢、危險度、境況模擬與風險評估之調查分析,及適時公布其結果。」活動斷層為地調所主要負責之項目之一,有責任對於活動斷層進行調查並評估其潛勢。

同樣位於高地震風險之日本與美國加州,近年來已針對活動斷層逐步進行了詳細的參數研究及地震發生機率評估,並將成果廣泛應用於防災計畫與工程耐震設計。然而,在台灣將活動斷層調查成果應用於潛勢評估仍屬起步階段,且各項斷層參數尚未系統性地整合,相對於美、日等國已晚了十幾年之進展。近年來,中央地質調查所致力於活動斷層之調查,已累積許多研究成果,若將這些成果資料彙整為斷層活動性分析所需之參數,即可進行活動斷層之潛勢評估工作。

地調所在 2012 年公布之全台活動斷層共有 33 條(林啟文等,2012),前階段計畫已經完成全台灣 33 條活動斷層參數蒐集及斷層發生機率評估之工作,該工作參考了美國、日本之經驗及方法,發展台灣活動斷層潛勢評估之方法流程。在執行計畫期間,除了每條斷層都有一些參數上之不確定性尚待解決之外,同時國內也針對活動斷層之調查研究持續進行,而國外也持續地改良斷層潛勢評估之方法流程,因此本計畫在精進部分,針對斷層參數需蒐集近年之研究成果納入,並考慮前階段計畫提出之各活動斷層尚待解決之問題,思考解決之道,在斷層潛勢評估方法上,也需持續了解國外,如美國及日本的改進方法,使本次評估結果可以更科學化,並符合實際觀察之結果。

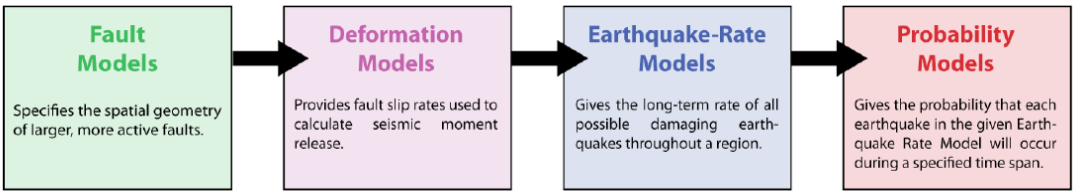
三、方法與工項

根據美國 Working Group on California Earthquake Probabilities (2008) (WG07, 2008)針對加州地區之活動斷層及孕震構造所做的地震潛勢評估經驗,可將孕震構造活動潛勢評估工作分為四大流程:斷層幾何形貌(Fault Models)、斷層變形模式(Deformation Models)、地震發生率模型(Earthquake-Rate Models)及總體機率模型(Probability Models),如圖一所示。

1. 斷層幾何形貌:即為活動斷層之空間三維幾何形貌。
2. 斷層變形模式:即斷層滑移速率及潛移速率。
3. 地震發生率模型:為長期可能造成災害性地震之發生率。
4. 總體機率模型:主要是藉由各種機率密度函數評估活動斷層未來特定時間內之發生地震機率。

上述活動斷層地震潛勢評估之參數及模型，需考慮資料的不確定性，包含資料本身的隨機性及離散性，以及目前科學知識尚未克服之問題。對於潛勢評估過程中之參數不確定性，我們是採用專家意見及邏輯樹方式進行評估，藉由專家諮詢會議來決定邏輯樹中斷層參數的權重。

本計畫工作可分為三個部分：一為活動斷層資料蒐集，主要工作為(a)撰寫活動斷層參數說明書，(b)三維斷層模型建置，(c)斷層特徵照片蒐集彙整。二為活動斷層潛勢評估，主要工作為(a)精進活動斷層參數表及邏輯樹，(b)進行斷層潛勢之分析，估算活動斷層在未來 30 年、50 年和 100 年之發震潛勢，(c)建立活動斷層潛勢圖。三為網頁查詢平台資料彙整，主要工作為將前階段蒐集之活動斷層成果包含斷層資訊、活動參數、潛勢分析評估成果彙整至活動斷層查詢平台，透過圖形化互動介面，公開相關研究成果，滿足民眾知的權利。



圖一、美國活動斷層與孕震構造潛勢評估之四大流程(摘錄自 WG07, 2008)

四、計畫成果

本計畫針對北部地區活動斷層進行新資料蒐集，並諮詢相關專家後，進行參數更新及邏輯樹重新劃設。

山腳斷層除了幾何面之修改外，滑移速率新增了中興公司(2015)台灣東北外海海域延伸段滑移速率推估部分，可供評估山腳斷層北段之滑移速率。

湖口斷層在分段破裂模式上，新增了外海延伸之長度，斷層幾何則是考慮斷坡及斷坪獨立破裂之情形。

新竹斷層及新城斷層更新主要是在幾何上，根據地質剖面進行合理之修改。

獅潭-屯子腳斷層系統主要是滑移速率上，我們蒐集了 Shyu et al. (2016)及景國恩等（2018）之結果，分別給予權重並加總得到邏輯樹之下界、上界及中值。另微調分段破裂模式之權重，斷層幾何則無變動。

三義斷層分段破裂模式依據本計畫專家會議之結論修改，幾何則分車籠埔斷層以北及車籠埔斷層以南分別給其不同之參數，長期滑移速率主要參考 Shyu et al. (2014)野外地形崖高差及年代推估及景國恩等(2018)模型反演之結果而得。

本年度孕震構造之震源參數設定，針對台南前緣構造、右昌構造及龍船構造評估其震源參數，如破裂模式、長度、幾何形貌、滑移速率等，並建立各孕震構造之參數表及邏輯樹。

以機率法評估北部地區七條活動斷層未來 30、50、100 年特徵地震規模之發生機

率，更新後各斷層發生機率詳如表一所示，本年度孕震構造之震源參數設定如表二所示，參數旁的括號為權重。

制定各活動斷層參數說明書方面，活動斷層參數說明書為整理前階段計畫之斷層參數及潛勢分析成果，內容包括：(a)斷層幾何形貌參數、(b)斷層機制與滑移速率參數，以及(c)斷層地震潛勢參數三大類別。本年度完成(下冊)南東地區活動斷層參數說明書。本年度並蒐集北部地區七條活動斷層之照片，並建立活動斷層照片資訊欄位，提供給資訊廠商建置於網頁查詢平臺上。

斷層活動潛勢圖公布相關問題研析方面，本計畫規劃活動斷層潛勢圖公布相關問題研析之執行流程，本年度邀請對象包括產險業者、內政部營建署、建築系教授及相關執業技師，辦理一次斷層潛勢圖公布問題研析座談會，後續計畫再考慮擴大座談會之對象範圍。透過說明座談會方式讓與會專家充分表達圖資公布後的可能問題為何?請專家們提出合理可行的因應對策，作為編撰「問題因應策略建議書」之參考。

表一、北部地區活動斷層未來 30、50、100 年發生機率

斷層名稱	最近一次發生時間	統計模式	規模 6.5 以上發生機率		
			未來 30 年	未來 50 年	未來 100 年
山腳斷層	北段：西元 1867 年 南段：西元 1694 年	BPT	4.6%	7.4%	13.7%
湖口斷層	未知	Poisson	3.6%	5.8%	10.9%
新竹斷層	未知	Poisson	4.3%	7.0%	13.3%
新城斷層	約 300 年前	BPT	4.1%	6.9%	13.8%
獅潭-屯子腳斷層系統	西元 1935 年	BPT	2.5%	4.3%	8.8%
三義斷層	未知	Poisson	10.5%	16.5%	28.5%

表二、孕震構造之震源參數表

構造名稱	破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	傾角 (度)	Wells & Coppersmith, 1994 (破裂面積中值-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011 (破裂面積-規模關係式) (Mw)	長期滑移速率 (mm/yr)
					-σ	中值	+σ		
臺南前緣構造	整段	39	8(0.3) 10(0.4) 12(0.3)	15(0.3) 20(0.4) 25(0.3)	6.8	7.1	7.4	7.1	1.7(0.3) 3.3(0.4) 5.0(0.3)
右昌構造	整段	16.6	10(0.3) 12(0.4) 14(0.3)	65(0.3) 75(0.4) 85(0.3)	6.1	6.4	6.7	6.3	2.2(0.3) 4.6(0.4) 7.0(0.4)
龍船構造	整段	23	10(0.3) 12(0.4) 14(0.3)	50(0.3) 60(0.4) 70(0.3)	6.3	6.6	6.9	6.5	0.6(0.3) 4.2(0.4) 7.8(0.5)

五、結論與建議

本計畫現階段業已完成中部與北部地區活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估，未來兩年將陸續對臺灣南部及東部地區 17 條活動斷層參數持續進行資料蒐集及精進之工作，期能提供最新之斷層活動性參數及潛勢評估成果。而斷層參數、參數說明及相關資料則彙整於網頁資料庫平臺。

彙整之斷層參數預期可應用於後續之地震危害度分析及地震模擬等衍生性研究與防災實務應用上。另，預期本計畫未來完整的斷層參數供衍生之地震危害度評估成果，可進一步應用於國土計畫、地震安全規定的建築規範、災害防救、緊急應變、地震保險等。工程實務上，則可作為工程師設計橋樑、重要設施及維生管線時則需要用於計算最大耐震度，而教育議題上提供推廣教育民眾減災觀念提昇。

Improvement of Earthquake Probability Assessment for the Active Faults and the Analysis of the parameters for the Seismogenic Structures in Taiwan

Abstract

From the information of historical literature, the most destructive earthquake events to occur in Taiwan are mainly caused by inland active faults. The Central Geological Survey (CGS) has been publishing active fault maps in Taiwan since 1998. There are 33 active faults published in the 2012 version of the active fault map. The CGS launched a series of projects to investigate the details to better understand each active fault after the Chi-Chi earthquake. Referred to experiences from Japan and the United States to establish a methodology for earthquake probability assessment via active faults, we gathered these collected data from published documents for compiling active fault parameters. First, we tried to collect the fault parameters, which include fault geometry (length, rupture depth, and dip), segmentation, and long-term slip rate. We further calculated the characteristic earthquake magnitude of each fault by its rupture area via fault parameters. Toward every possible case considered, we needed to divide the fault segment to establish potential rupture models. Each fault rupture model is a weighted combination of the rupture cases of a fault. Furthermore, the long-term slip rate data can be applied to the characteristic earthquake model to obtain the recurrence interval. We calculated the recurrence interval of an earthquake by the characteristic earthquake model. Finally, we adopted the appropriate “probability model” to estimate the 30-, 50- and 100-year conditional probability of earthquakes for the 33 active faults in Taiwan. The compiled parameters of active faults are critical information which can be widely applied in the following seismic hazard analysis. In view of prevention and mitigation for the earthquake disaster, we also suggest that a fault with high earthquake probability should be paid more attention. In the 2018 project, we focused on the improvement of fault parameters and earthquake probability assessment of Sanchiao fault, Hukou fault, Hsinchu fault, Hsincheng fault, Shihtan fault, Tunntzuchiao fault and Sanyi fault and gathered parameters of Tainan frontal structure, Youchang structure and Lungchuan structure.

KEYWORDS: Earthquake Potential of Active Faults, Seismogenic depth, Logic tree, Seismogenic structure, Active Fault Parameter Explanatory Text, Web Query Platform

1. Preface

In the four years (2013-2016) project “Observation of Fault Activity (III): Integrated Monitoring of Active Faults and Earthquake Probabilities Analysis”, the Central Geological Survey (CGS) has established a procedure to estimate the earthquake probabilities for active faults in Taiwan. The procedure referred to certain experiences from Japan and the United States to establish a methodology for

earthquake probability assessment via active faults published by CGS. The goal is to build up the earthquake probability map for the 33 active faults. In previous project, geological and seismological experts were invited in the expert meeting to discuss the fault characteristics for earthquake probability assessment. In previous four years project, there are still some problems to be solved. Therefore, based on the suggestions left from the previous project, we would like to propose an improvement plan for the revision of earthquake probability map.

Recently, the academic communities keep proposing new investigation and survey of active faults. In addition, the Taiwan Power Company investigation data and evaluation results of active faults near nuclear power plants are also available for this project to utilize as the latest reference material. Based on the results of the previous four years projects, this project would like to collect the latest parameters to re-evaluate the earthquake probabilities for the active faults in Taiwan. We also want to include the results of the numerical simulations of geodecy analyses for calculating the active potential of each fault. The improvement works of earthquake probability assessment for the 33 active faults in Taiwan were divided into four regions (Central, Northern, Southern, Eastern) in our project, and we will complete it year by year.

2. Background and Objective

Taiwan is located at the boundary between the Philippine Sea Plate to the east and the Eurasian Plate to the west. Due to the fast plate motions, it is a country with high seismic activities. According to the past 100 year records, the most destructive earthquakes in Taiwan were mainly caused by inland active faults. In addition, the active fault potential information were required strongly after the huge impacts of economy and society due to the 1999 Chi-chi earthquake for the hazard seismic assessment requirement of public construction. Therefore, the investigations and researches related to the active faults has been one of the hot topics in the earth science community in Taiwan in recent years.

Besides, according to the Article 22 of the Disaster Prevention and Protection Act, “Government at all levels should, according to the powers and responsibilities, conduct investigation and analysis of disaster potential, scenario simulation and risk assessment, and publish the results in time.” Active fault is one of work items in CGS, and CGS has responsibilities for investigating the active faults and their seismic potential.

In recent years, Japan and California, the high seismic risk area, are working on the detailed active fault parameters research and seismic probability assessment, and the results have been widely used in disaster prevention planning and engineering seismic design. However, applying the active fault investigations results on hazard potential assessment is still in the early stage in Taiwan. The fault parameters have not been systematically integrated yet, and it is still far behind the United States and Japan. Recently, the Central Geological Survey is committed to investigating active faults, and plentiful research results have been revealed. When these results are integrated into parameters for fault activity analysis, then the relevant works for the potential assessment of active faults can be carried out

In the previous project, the parameter collection of 33 active fault and the probability of fault occurrence have been completed preliminarily. This work has learned the experiences and methods from the United States and Japan to follow

their developed procedure for active fault potential assessment of Taiwan. During the project execution, there are still uncertainties of parameters of each fault. Besides, Investigation and research on active faults still continues in Taiwan. Furthermore, the fault potential assessment from other countries is also continuously improving. Therefore, in the improvement of the project, it is necessary to collect the research of recent years for the fault parameters and consider the solution of problems that rose in previous stage project. In the fault potential assessment method, it is also necessary to keep understanding the improvement methods from other countries, like the United States and Japan, and this helps the assessment more scientific and meets the actual observation results.

3. Method and Content

The Working Group on California Earthquake Probabilities (2008) (WG07, 2008) used uniform methodology for the earthquake probabilities on entire state of California. The framework of WG07 comprises four models: 1. fault model; 2. deformation model; 3. earthquake rate model; and 4. probability model (Figure 1).

1. The fault model gives the physical geometry of the larger, known, and more active faults.
2. The deformation model gives slip-rate and creep estimates for each fault.
3. The earthquake rate model gives the long-term rate of all earthquakes throughout the region.
4. The earthquake probability model gives the likelihood that each event will occur during a specified time span, perhaps conditioned on additional information such as date of the last event.

The mentioned parameters and models include aleatory uncertainties and epistemic uncertainties. Aleatory uncertainty refers to the random variability that occurs in the natural world. Epistemic uncertainty refers to knowledge limitation about the natural world. We adopted expert opinions and a logic tree to account for the uncertainty in each step of the probability assessments. Expert consultation meetings were held to determine the fault parameter weights in the logic tree.

The contents of this project can be divided into three parts. The first part is the collection of active fault data, including (a) writing the parameter explanatory texts of each active fault, (b) to establish the fault geometry model, and (c) to collect the field photographs of the active faults. The 2nd part is the earthquake probability assessment for active faults. The main task is (a) to update the active fault parameters and logic trees, (b) to calculate the 30-, 50-, and 100- year conditional probability of each fault, and (c) to establish the Active Fault Probability Map. The 3rd part is the data collection for web page query platform. The main task is to integrate the previous project results into the web page query platform. The previous project results include fault information, activity parameters, and evaluation results of earthquake probability. Communicate research results through a map view interactive interface to meet the rights of the public.

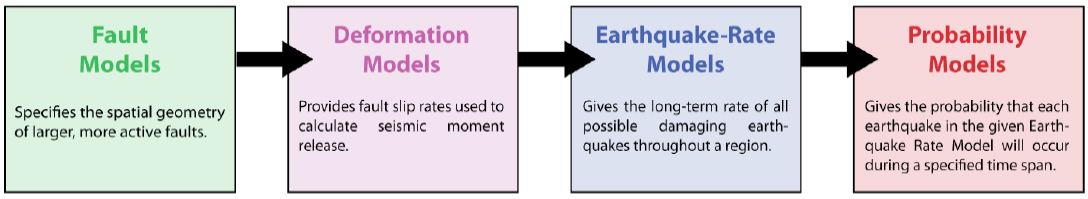


Figure 1. Four models adopted by earthquake probability assessment for active faults (excerpted from WG07, 2008)

4. Project Result

In this year project, we reviewed the parameters of the seven active faults in northern Taiwan. The logic trees of these faults also have been renewed based on experts' comments.

For the Sanchiao fault, in addition to the modification of the fault geometry, the slip rate has added the result in the extension segment at the offshore of Northeast Taiwan estimated by Sinotech (2015). This result can be used to evaluate the slip rate of the northern segment of the Sanchiao fault.

For the Hukou fault, we added the offshore extension in our rupture model. Additionally, we considered the rupture case of independent rupture of ramp and flat in fault geometry model.

For the Hsinchu fault and Hsincheng fault, the update is mainly on fault geometry. We modified the fault geometry of these two faults to fit the geological profiles.

For the Shihtan-Tuntzuchiao fault system, the update is mainly on fault slip rate. We collected the results of Shyu et al. (2016) and Ching et al. (2018), and then gave both results weights to calculate the lower bound, upper bound and mean value of the logic tree branches. We also adjusted the weighting of the rupture cases in rupture model. Yet, the fault geometry of both two faults was not changed.

For the Sanyi fault, the segmentation and rupture model were modified based on the comments in expert consultation meeting. For the fault geometry, different from the previous project, we have different parameters of the north and the south of the Chelungpu fault. For fault slip rate, we collected the results of Shyu et al. (2014) and Ching et al. (2018), and then gave both results weights to calculate the lower bound, upper bound and mean value of the logic tree branches.

We have collected the seismic source parameters (rupture model, length, fault geometry, slip rate) of the seismogenic structures (Tainan frontal structure, Youchang structure, Lungchuan structure). The parameter table and the logic tree of each seismogenic structure have also been established.

The renewed 30-, 50-, and 100- year conditional probability for M ≥ 6.5 earthquakes of each fault in Northern Taiwan are shown in Table 1. The seismic source parameters of this year's seismogenic structures are shown in Table 2.

For active fault parameter explanatory text, the parameter descriptions in this project include (a) the fault geometry, (b) the active parameters, and (c) the earthquake probability assessment of each active fault in Taiwan. This year, we have written the parameter explanatory texts of each active fault in southern and eastern Taiwan. This information will be integrated into a web page query platform. In addition, we collected the field photographs of the seven active faults in northern Taiwan. These photographs will also be uploaded on the web page query platform

map.

For dealing with the possible problems or questions for map publishing, we have already held one expert forum to gather the possible problems or questions while publishing the earthquake probabilities map. This year, we invited the property insurance companies, the section chief in the Construction and Planning Agency (CPA), the professor of architecture, and three licensed technicians to join our discussion. The practicable strategies also have been proposed from this forum. We referred to the records and conclusions of the expert forum to propose a proposal of coping strategies.

Table 1. The 30-, 50-, and 100-year conditional probability for M ≥ 6.5 earthquakes of each fault in Northern Taiwan

Fault name	The latest event time	Probability model	Mw≧6.5 earthquake probability		
			30 years	50 years	100 years
Sanchiao fault	N: 1867 A.D. S: 1694 A.D.	BPT	4.6%	7.4%	13.7%
Hukou fault	Unknown	Poisson	3.6%	5.8%	10.9%
Hsinchu fault	Unknown	Poisson	4.3%	7.0%	13.3%
Hsincheng fault	300 years ago	BPT	4.1%	6.9%	13.8%
Shihtan-Tuntzuchiao fault system	1935 A.D.	BPT	2.5%	4.3%	8.8%
Sanyi fault	Unknown	Poisson	10.5%	16.5%	28.5%

Table 2. The seismic source parameters of this year's seismogenic structures (The number in parentheses is the weight of each parameter in logic tree)

Name	Rupture Model	Length (km)	Depth (km)	Dip (degree)	Wells & Coppersmith, 1994 (Area - Mw Relationship) (Mw)			Yen and Ma, 2011 (Area - Mw Relationship) (Mw)	Long-term Slip Rate (mm/yr)
					-σ	Mean	+σ		
Tainan frontal structure	Full	39	8(0.3) 10(0.4) 12(0.3)	15(0.3) 20(0.4) 25(0.3)	6.8	7.1	7.4	7.1	1.7(0.3) 3.3(0.4) 5.0(0.3)
Youchang structure	Full	16.6	10(0.3) 12(0.4) 14(0.3)	65(0.3) 75(0.4) 85(0.3)	6.1	6.4	6.7	6.3	2.2(0.3) 4.6(0.4) 7.0(0.4)
Lungchuan structure	Full	23	10(0.3) 12(0.4) 14(0.3)	50(0.3) 60(0.4) 70(0.3)	6.3	6.6	6.9	6.5	0.6(0.3) 4.2(0.4) 7.8(0.5)

5. Conclusion and Suggestions

At the present stage, this project has completed the improvement of earthquake probability assessment for the active faults in Central and Northern Taiwan. In the following two years for the next stage, data collection and model improvement work will be carried out continuously on the 17 active faults in Southern and Eastern Taiwan. The goal of this four-year project is to provide the latest activity parameters and the earthquake probability result of each active fault. The results of this project will be integrated into a database for the use of web page query platform.

The compiled parameters of active faults are the critical information which can be applied into the following probability seismic hazard analysis (PSHA) and seismic scenario simulation. And, the PSHA results also can further be utilized in land-use planning, the seismic safety provisions of building codes, disaster preparation and recovery, emergency response, and earthquake insurance. For the practice in engineer application, it can be needed to estimate of maximum seismic intensities for the design of buildings, critical facilities and lifelines. For the application of public education, it can expand public education to strengthen the perspective for earthquake hazard and risk mitigation.

第一章、緒論

1-1 計畫整體概述

經濟部中央地質調查所已於 102~105 年度執行「斷層活動性觀測研究第三階段-斷層整合性觀測與潛勢分析計畫」，其中效法美、日等國的經驗，於既有活動斷層分布圖中導入斷層活動機率概念，建立適合於臺灣之活動斷層潛勢評估程序，其成果為將原本活動斷層分布圖進化為活動斷層潛勢圖。

該計畫亦召集國內地質地震專家對於活動斷層潛勢評估進行專家會議與斷層特性討論，並給予相當務實的改進建議，包括：(1)建立分段破裂模式的準則，而分段破裂模式則需加入孕震構造進行潛勢評估。(2)建議斷層孕震深度的方法，可以用地溫梯度為依據，地震深度分布為佐證，並參考地質平衡剖面設定參數探討。(3)在長期滑移速率評估上，共用基底滑脫面之斷層滑移速率應如何分配？南部泥岩地區泥貫入體是否會影響滑移速率評估之正確性？藉由潛移釋放能量之斷層該如何折減滑移速率？利用 GPS 塊體模型是否可幫助判斷缺少長期滑移速率資料之活動斷層的潛勢？是否有其他模型可加入比較？藉由前期計畫專家所提之問題可知仍有尚待解決之問題。因此，在前期計畫的基礎上納入專家建議，提出臺灣活動斷層潛勢圖初稿改版之精進方案。

近幾年，學術界陸續有新的活動斷層調查證據資料，加上台電公司針對鄰近核電廠之活動斷層加強調查與評估所得之資料等，應可充分運用以彙整成為本計畫之最新參考資料。

基於前階段完成之成果，參考目前國際間最新相關研究，納入 The Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 3 (UCERF3)評估方法，建立新的斷層潛勢評估流程。除蒐集最新斷層活動參數以更新計算斷層潛勢外，也將數值模擬成果加入計算評估的依據。本計畫擬分中、北、南、東四區逐年完成活動斷層潛勢圖之精進(圖 1.1)。

本計畫架構針對斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估可分為三個組(圖 1.2)，一為活動斷層資料蒐集組，主要工作為建立活動斷層參數說明書，包含三維斷層模型、斷層特徵照片蒐集彙整。二為活動斷層潛勢評估組，主要工作為精進活動斷層參數表並劃設邏輯樹，進行斷層潛勢之分析，估算活動斷層在未來 30 年、50 年和 100 年之發震潛勢，並更新活動斷層潛勢圖。三為活動斷層查詢系統組，主要工作為將前階段蒐集之活動斷層成果包含斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果彙整至活動斷層查詢平台，透過圖形化互動介面，公開相關研究成果，滿足民眾知的權利。

預期進度甘梯圖請見表 1.1，並配合參考圖 1.1。第一年選擇中部地區 9 條斷層及兩條孕震構造；第二年選擇北部地區 7 條斷層及三條孕震構造；第三年和第四年則分別是南部地區 9 條斷層及東部地區 8 條斷層，逐步完成全臺灣活動斷層潛勢評估之工作。

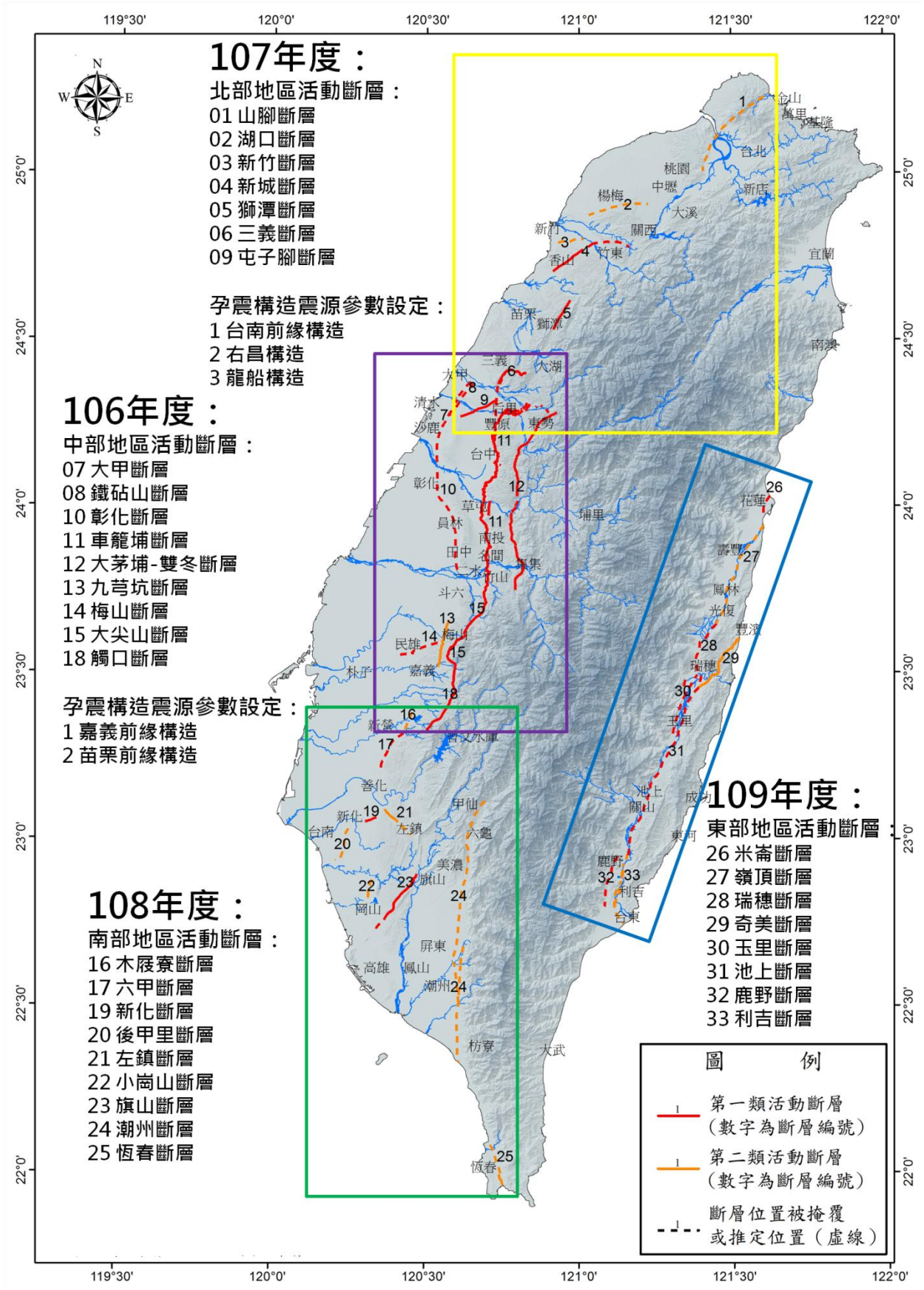


圖 1.1：106-109 年度各年度評估地區與斷層及孕震構造分布

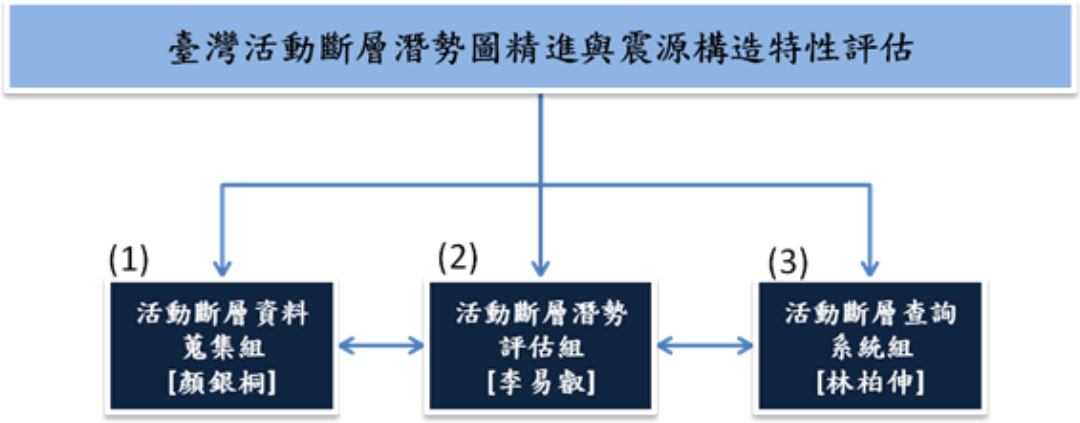


圖 1.2：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估之專業分工架構

表 1.1：全程計畫預期進度甘梯圖(Gantt Chart)。

計畫名稱：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估						
工作項目 ＼ 年次			第 1 年 (106 年度)	第 2 年 (107 年度)	第 3 年 (108 年度)	第 4 年 (109 年度)
活動斷層斷層參數及潛勢圖更新	● 精進活動斷層參數表及邏輯樹 ● 建立活動斷層視覺化三維斷層模型 ● 活動斷層之孕震深度分析 ● 更新活動斷層潛勢圖	中部地區	■			
		北部地區		■		
		南部地區			■	
		東部地區				■
孕震構造之震源參數設定			■	■		
制定活動斷層參數說明書	● 活動斷層參數說明書	中、北部地區	■			
		南、東部地區		■		
	● 斷層特徵照片蒐集彙整 ● 活動斷層參數及照片匯入網頁查詢平台	中部地區	■			
		北部地區		■		
		南部地區			■	
		東部地區				■
斷層活動潛勢圖公布相關問題研析	辦理相關專家與使用者座談會		■	■	■	■
	因應策略建議書		■	■	■	■
預定進度(累積數)			25%	50%	75%	100%

1-2 計畫目的

根據美國 Working Group on California Earthquake Probabilities (2008) (WG07, 2008)針對加州地區之活動斷層及孕震構造所做的地震潛勢評估經驗，可將孕震構造活動潛勢評估工作分為四大流程：斷層幾何形貌(Fault Models)、斷層變形模式(Deformation Models)、地震發生率模型(Earthquake-Rate Models)及總體機率模型(Probability Models)，如圖 1.3 所示。

(1) 斷層幾何形貌：即為活動斷層之空間三維幾何形貌，如圖 1.4 所示為加州地區建立之斷層幾何模型。整段的活動斷層需依據分段準則或分段特性進行分段，而各段破裂模式之權重及比例分配則由專家會議評估給定。

(2) 斷層變形模式：結合斷層滑移速率及 GPS 地殼變形測量以估算地震矩釋放，此滑移速率係指斷層之長期滑移速率。

(3) 地震發生率模型：為長期可能造成災害性地震之發生率，即推估各地震規模之年發生次數。

(4) 總體機率模型：主要是藉由各種機率密度函數評估活動斷層未來特定時間內之發生地震機率。

在進行活動斷層地震潛勢評估時，需考慮斷層資料的不確定性，包含資料本身的隨機性及離散性，以及目前科學知識尚未克服之問題。對於活動斷層資料之不確定性，可建構專家意見交換與討論機制，邀請各專家進行最新研究現況(state of the art)模式之討論，將各種斷層參數及專家模式給予合理的邏輯樹(logic tree)權重以進行評估。圖 1.5 為美國加州地區地震評估所採用之邏輯樹，可明確地將斷層幾何形貌、斷層變形模式、地震發生率模型及總體機率模型四大流程之不確定性予以合理地掌握。

以美、日兩國活動斷層地震潛勢之展示方式而言，美國 WG07(2008)同時考慮了活動斷層與孕震構造，建立了如圖 1.6 之網格式機率分布圖。另外日本活動斷層的潛勢分析成果圖(摘自日本全國地震動預測地圖，2018)如圖 1.7 所示，圖中包含了各活動斷層之位置分布、發生機率及可能引致之地震規模，各活動斷層潛勢以不同顏色表示。本計畫之目的乃產製如圖 1.7 之活動斷層地震潛勢成果，以供我國地震防災相關分析所需之基礎應用資料。

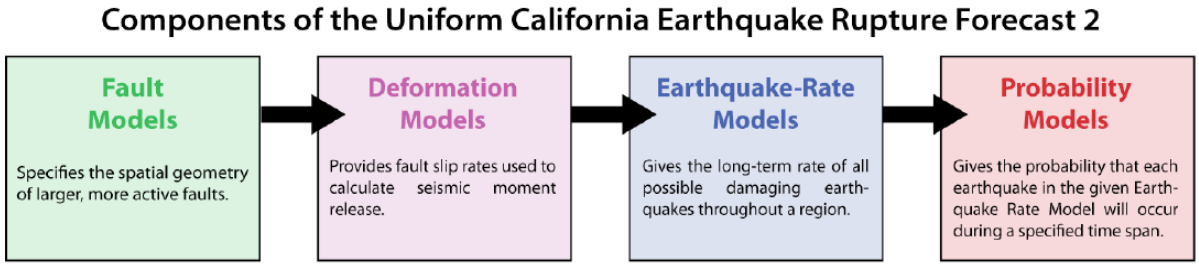


圖 1.3：美國加州地區活動斷層與孕震構造潛勢評估之四大流程(摘錄自 WG07, 2008)

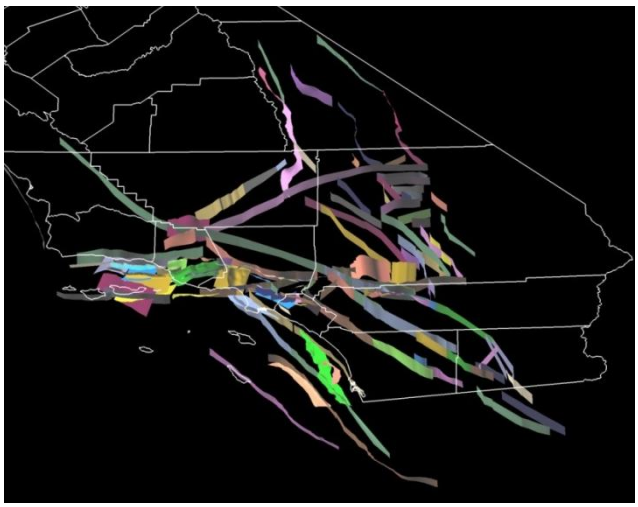


圖 1.4：加州地區孕震構造之三維幾何形貌(WG07, 2008)

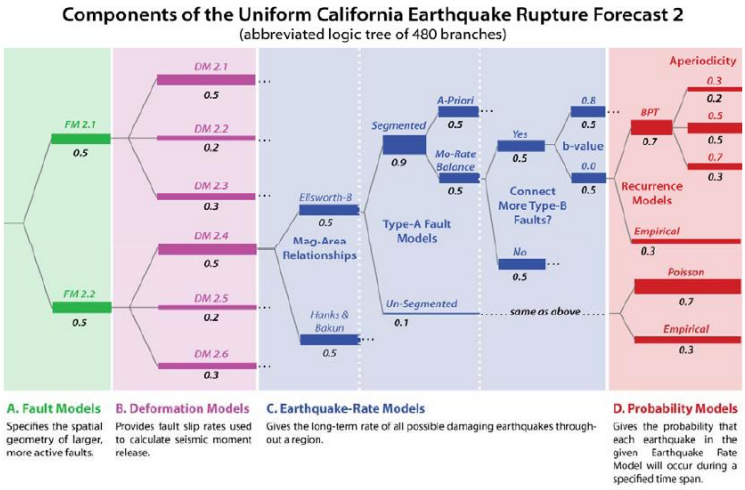


圖 1.5：加州地區地震潛勢評估之專家討論成果邏輯樹(摘錄自 WG07, 2008)

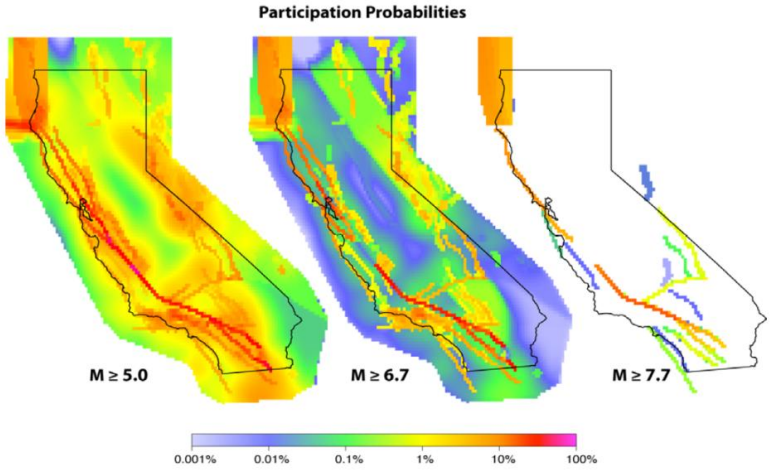


圖 1.6：加州地區未來 30 年發生地震規模為 5、6.7、7.7 以上之機率分布圖。網格為 0.1×0.1 度，此圖為整合各類型之孕震構造(區域震源+活動斷層)所呈現之機率分布圖(摘錄自 WG07, 2008)

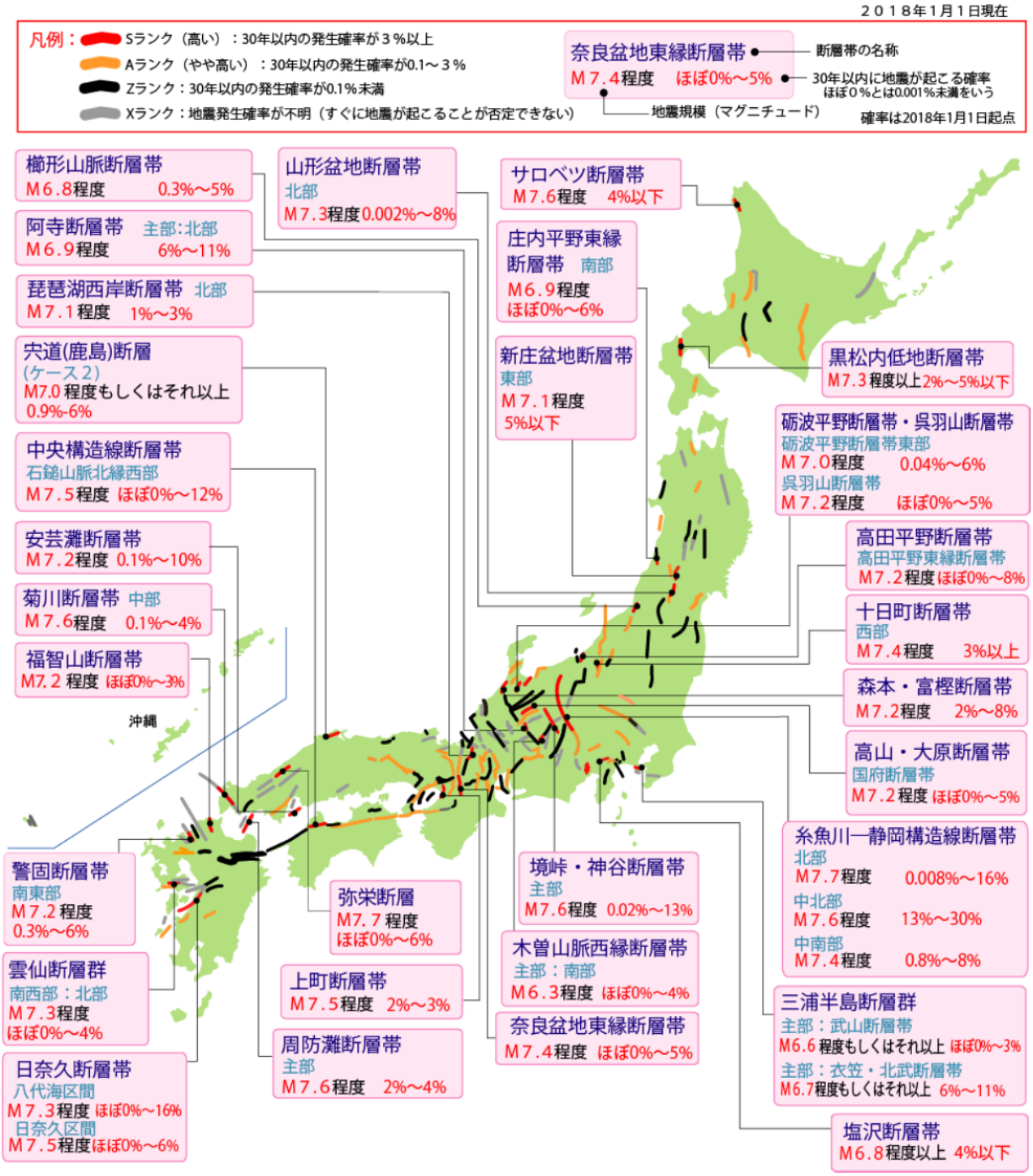


圖 1.7：日本主要孕震構造未來 30 年之活動潛勢評估成果(日本全國地震動預測圖，2018)

1-3 本(107)年度工作內容概述

1-3-1 本年度工作項目

(1)北部活動斷層斷層參數及潛勢圖更新：

A. 精進活動斷層參數:依最新地質研究資料(如台電公司針對鄰近核電廠之活動斷層調查、臺灣地震模型(Taiwan Earthquake Model)斷層參數……等)，檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新劃設北部地區 7 條活動斷層(01 山腳斷層、02 湖口斷層、03 新竹斷層、04 新城斷層、05 獅潭斷層、06 三義斷層、09 屯子腳斷層)邏輯樹。

B. 召開 2 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議，針對斷層分段特性、三維幾何形貌、最近一次活動時間、長期滑移速率、可能引致地震規模等參數不確定性，進行邏輯樹架構與參數權重之合理性探討。

C. 建立北部地區 7 條活動斷層視覺化三維斷層模型。

D. 精進孕震深度評估方法：蒐集推估北部地區 7 條活動斷層之孕震深度分布圖。

E. 部分斷層缺少可用於計算長期滑移速率之地質資料，本計畫擬採用「地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估」計畫推估之斷層滑移速率及滑移虧損率之成果，選取合適之參數加入斷層潛勢評估中。

F. 考慮活動斷層潛移之震矩折減方式。

G. 產製北部地區 7 條活動斷層潛勢圖。

(2)孕震構造之震源參數設定：

A. 對於其他未列於地調所公布的活動斷層之外的活動構造(右昌構造、龍船構造、台南前緣構造)，評估其震源參數，如幾何形貌、斷層面孕震深度、滑移速率等。

(3)制定各活動斷層參數說明書：

A. 撰寫臺灣南部及東部活動斷層參數說明書。

B. 臺灣北部斷層相關特徵照片蒐集彙整。

C. 彙整潛勢評估成果，繪製並出版臺灣活動斷層潛勢圖。

D. 將前階段蒐集之活動斷層成果包含斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果彙整至活動斷層查詢平台，透過圖形化互動介面，公開相關研究成果，滿足民眾知的權利。

(4)斷層活動潛勢圖公布相關問題研析：

A. 參考美、日等國之經驗，研擬配合地質法活動斷層潛勢圖公布後之可能衍生問題因應策略。

B. 辦理相關專家座談會。

1-3-2 本(年度)計畫期中交付以下工作項目

A. 台南前緣構造之震源參數說明書。

B. 前一階段(2013~2016)南部活動斷層參數說明書。

C. 北部地區 4 條活動斷層(01 山腳斷層、02 湖口斷層、03 新竹斷層、04 新城斷層)蒐集彙整之相關照片。

D. 期中報告書面資料 15 份與簡報資料。

1-3-3 本(年度)計畫期末交付以下工作項目

A. 右昌、龍船構造之震源參數說明書。

B. 前一階段(2013~2016)東部活動斷層參數說明書。

C. 北部地區 7 條活動斷層視覺化三維斷層模型。

D. 北部地區 3 條活動斷層(05 獅潭斷層、06 三義斷層、09 屯子腳斷層)蒐集彙整相關照片。

E. 彙整斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果至活動斷層查詢平台。

F. 107 年度潛勢圖公布問題因應策略建議書。

G. 期末報告書面資料 15 份與簡報資料。

第二章、山腳斷層潛勢評估

102~105 年度「斷層活動性觀測研究第三階段-斷層整合性觀測與潛勢分析計畫」中斷層潛勢評估工項為本團隊負責，以下會將該階段計畫稱為「前階段計畫」，本章 2-1 節會先介紹前階段計畫本團隊劃設之山腳斷層邏輯樹成果，然後說明本計畫參數更新之項目，2-2 節則針對山腳斷層更新之參數進行邏輯樹重新劃設，2-3 節為利用特徵地震模式計算各邏輯樹節點之地震復發間隔結果，2-4 節為斷層未來 30、50 及 100 年的發震機率評估結果。

2-1 山腳斷層參數更新

2-1-1 前階段計畫成果

在山腳斷層分段點選定上，從歷史文獻記載中，西元 1694 年的地震似未對金山或外海地區造成影響，西元 1867 年的地震也未在臺北盆地區造成影響，間接地顯示了山腳斷層分段破裂的行為。山腳斷層分段點設定於大屯火山區中斷層線形呈現雁形排列及明顯跳階處，即圖 2-1.1 中竹子湖地區。

前階段計畫在評估山腳斷層之破裂，分為 3 種破裂事件來探討，A 為整段破裂，B 為北段破裂，C 為南段破裂。整段之破裂，比北段及南段之破裂可能性低，因此給予較低之權重，權重分配為 A（0.2）、B（0.4）、C（0.4）如圖 2-1.2 所示。

山腳斷層之傾角及破裂深度，根據所蒐集到之震測剖面、平衡剖面及地震深度分布等資料，前階段計畫認為傾角權重為 50 度（0.2）、65 度（0.6）、80 度（0.2），破裂深度權重為 10 公里（0.2）、12.5 公里（0.6）、15 公里（0.2）。

山腳斷層之滑移速率，臺北盆地中主要是利用鑽井剖面計算層位落差，或是推估古沉積環境之高度及年代，計算地層垂直滑移速率，將垂直滑移速率以 65 度換算至斷層面之長期滑移速率，可得到長期滑移速率範圍，南段介於 0.8~2.6 mm/yr，前階段計畫設定南段參數及權重為 0.8（0.3）、1.7（0.4）、2.6（0.3）。北段根據火山區線崖與噴發年代推估，介於 0.02~0.17 mm/yr，前階段計畫取 0.1 mm/yr 做為下限值，中興公司（2012）鑽井最高約 0.7 mm/yr，作為計畫之上限值，因此北段參數及權重設為 0.1（0.3）、0.4（0.4）、0.7（0.3）。整段 0.1（0.3）、1.3（0.4）、2.6（0.3）。

前階段計畫山腳斷層各節點權重的分配詳如圖 2-1.3 所示。

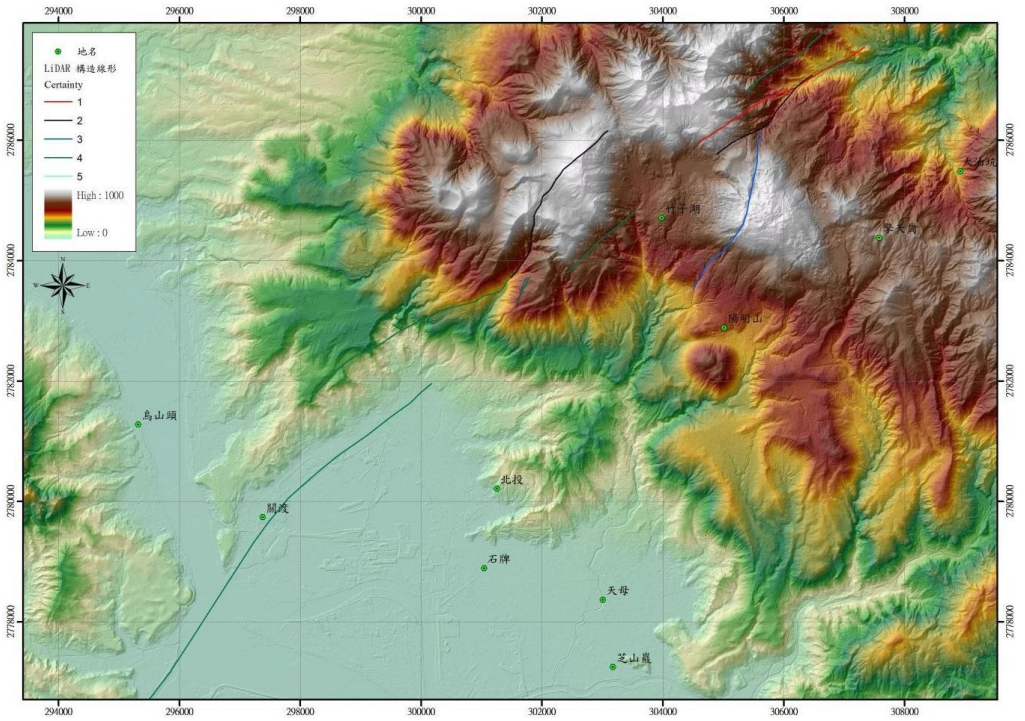


圖 2-1.1：大屯山地區之 LiDAR DTM 及構造地形分析及判釋（張國楨等，2011）

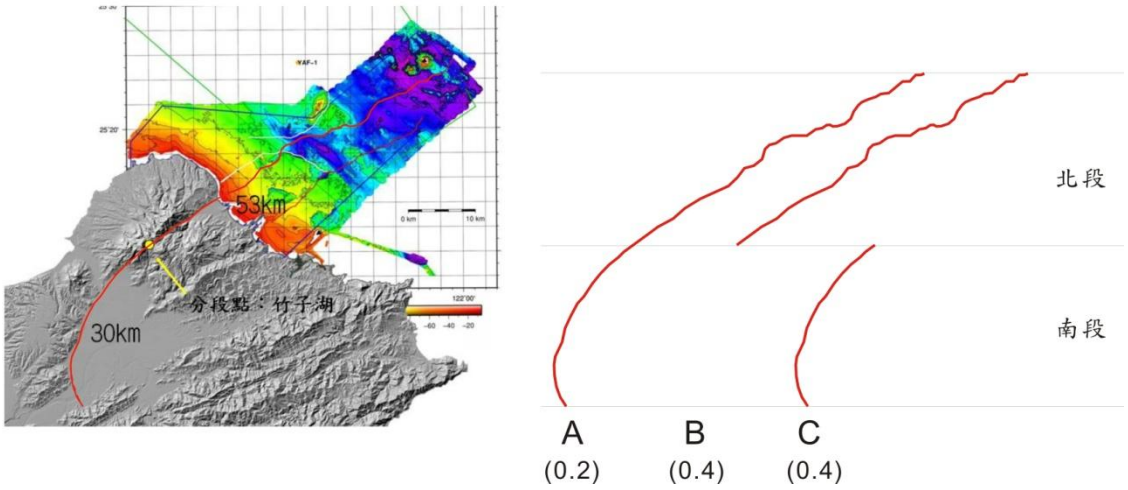


圖 2-1.2：山腳斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)

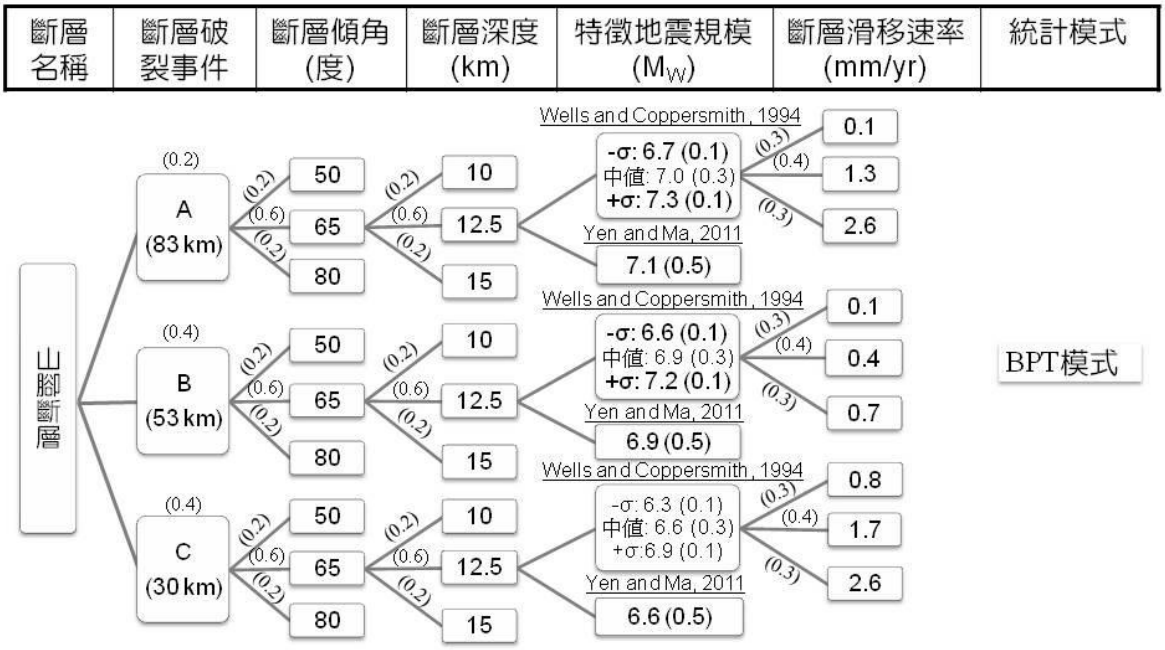


圖 2-1.3：前階段山腳斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)

2-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

前期計畫山腳斷層之幾何參考資料詳如表 2-1.1 所示。以下將說明山腳斷層幾何形貌之修改。

陳冠宇(2014)平衡剖面顯示，北部地區滑脫面深度約為5公里，剖面中金山斷層(山腳斷層北段)為獨立於褶皺造山帶系統之正斷層(圖 2-1.4)。然而，從陳致同等(2012)根據景美礫石層頂部深度變化模擬解析山腳斷層之幾何形貌，得到山腳斷層可能會在淺部接基底滑脫面。海域震測剖面則顯示山腳斷層外海屬同張裂時期之半地塹盆地(蕭力元等，1998；王天愷等，2007；陳冠宇，2014；中興公司，2015)。

前階段計畫中提到，山腳斷層與新莊斷層之幾何形貌有三種可能性(圖 2-1.5)，而前階段中僅考慮山腳斷層高角度破裂之幾何。在台電公司核能設施地震危害度重新評估計畫(Senior Seismic Hazard Analysis Committee Level 3, 簡稱 SSHAC Level 3 計畫)中，針對山腳斷層之幾何面參數，參考了地調所前階段計畫蒐集之資料、Taiwan Earthquake Model (簡稱 TEM)孕震構造參數以及專家會議討論之結論，將台灣北部主要活動斷層之幾何考慮三種情形，如圖 2-1.6 所示，以山腳斷層而言，Case 1 為山腳斷層接基底滑脫面之情形，60˚(深度 0-6 km)，25˚(深度>6 km)；Case 2 為山腳斷層為匙狀幾何之情形，70˚(深度 0-9 km)，35˚(深度>9 km)；Case 3 為山腳斷層為獨立高角度斷層之情形，80˚。權重分別為 Case 1 (0.3)；Case 2(0.4)；Case 3(0.3)，SSHAC 計畫中山腳斷層之破裂深度及權重為 10 公里（0.3）、15 公里（0.4）、20 公里（0.3）。邏輯樹參數及權重分配示意如圖 2-1.7 所示。

從 LCI (2015)蒐集之地震分布顯示，北台灣陸域小地震主要與大屯火山群相關，從山腳斷層上盤兩個地震深度剖面顯示，地震深度集中於 15 公里內(圖 2-1.8)，本計

畫第一次專家諮詢會議中，專家認為山腳斷層採用 SSHAC Level 3 計畫之 20 公里深度太深，建議仍沿用前期之 15 公里作為山腳斷層之破裂深度最大值。

表 2-1.1：山腳斷層傾角及深度資料與文獻列表(胡植慶等，2016)。

作者	方法	傾角	深度
劉桓吉等，2000； 蘇泰維等，2003	臺北盆地鑽井剖面	高角度	
蕭力元等，1998； 王天愷等，2007	海域震測剖面	高角度	
石瑞銓等，2003	關渡平原的淺層震測	高角度	
簡志宇，2008	五股蘆洲地區震測剖面	50-60	
陳致同等，2012	根據景美礫石層頂部深度變化模擬解析山腳斷層之幾何形貌	0-3 km：70~85 度 3-8 km：15 度 （9km 以下：60 度）	
中興公司，2012	金山地區鑽井剖面	82	
黃柏壽等，2007	微震深度分布		15 公里以內

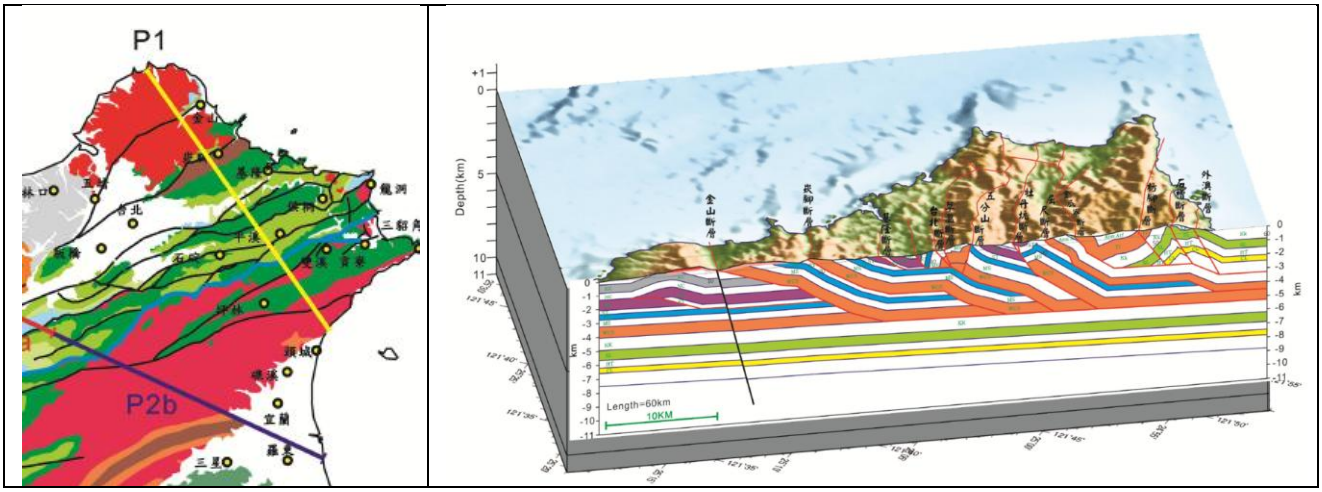


圖 2-1.4：構造平衡剖面 P1 與 3D 地形圖。左圖為構造平衡剖面位置圖，右圖為構造平衡剖面 P1 與 3D 地形圖。地層名稱，KC：桂竹林層；NC：南莊層；NK：南港層；ST：石底層；TL：大寮層；MS：木山層；WCS：五指山層；Atm：澳底層媽岡段；Atf：澳底層枋腳段；Tt：大桶山層；KK：乾溝層；SL：四稜砂岩；HT：西村層；CL：中嶺層(陳冠宇，2014)

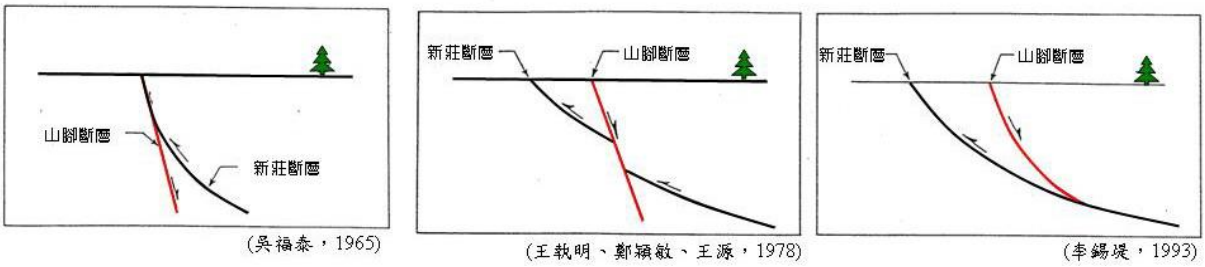


圖 2-1.5：新莊斷層與山腳斷層關係之各種學說圖示(摘自：吳福泰，1965；王執明等人，1978；李錫堤，1993)

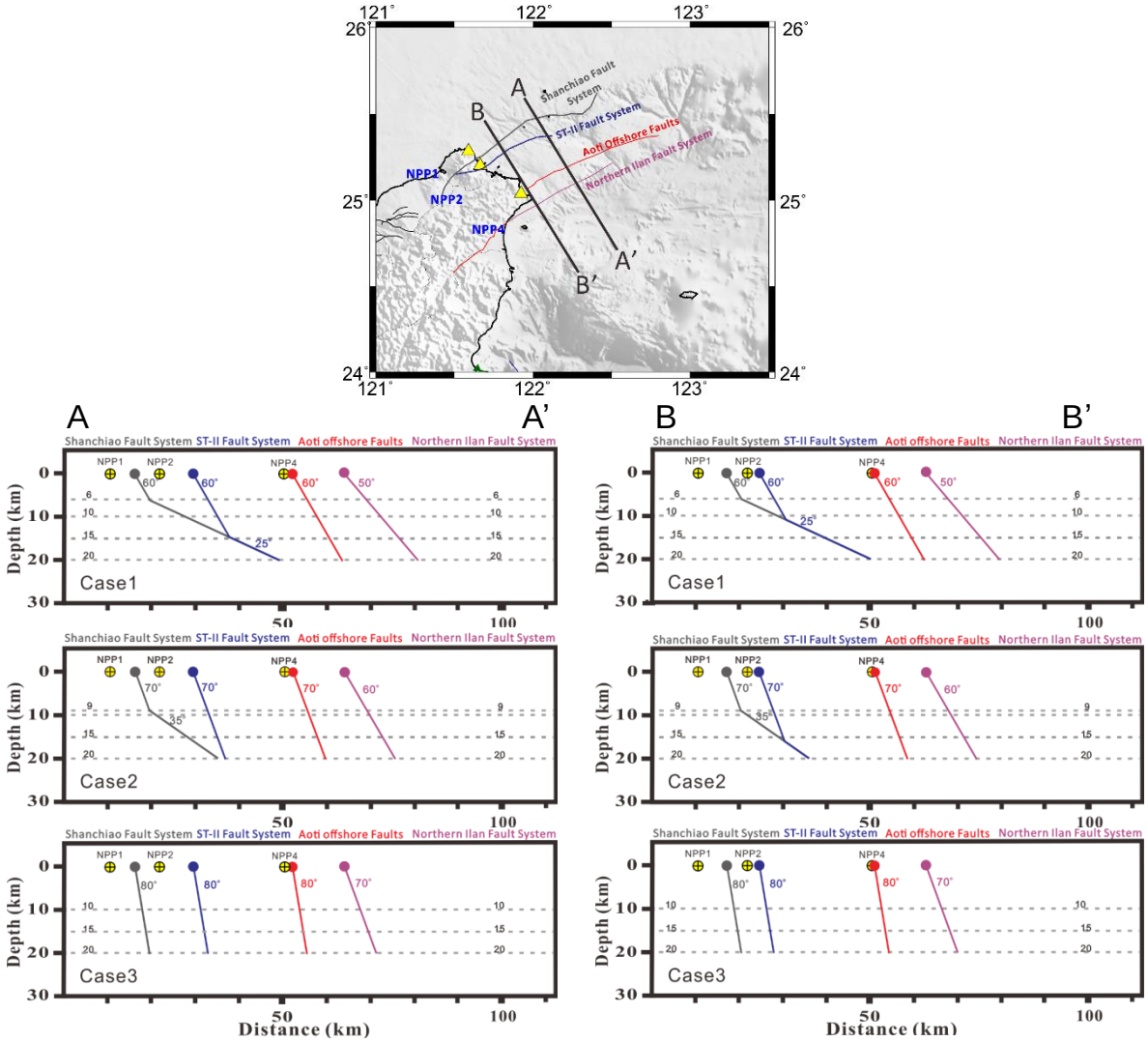


圖 2-1.6：SSHAC Level 3 計畫台灣北部主要活動斷層幾何形貌設定。上圖為主要活動斷層分布圖，包括山腳斷層、ST-II 斷層、澳底斷層及北宜蘭斷層，下圖左為台灣北部主要活動斷層 AA’ 剖面之幾何形貌，下圖右為 BB’ 剖面之幾何形貌。

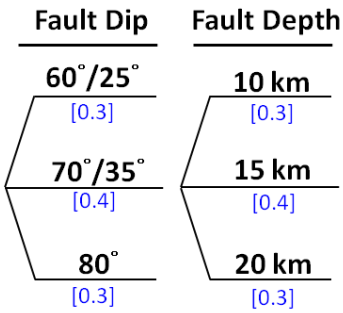


圖 2-1.7：SSHAC Level 3 計畫山腳斷層幾何形貌邏輯樹及權重設定

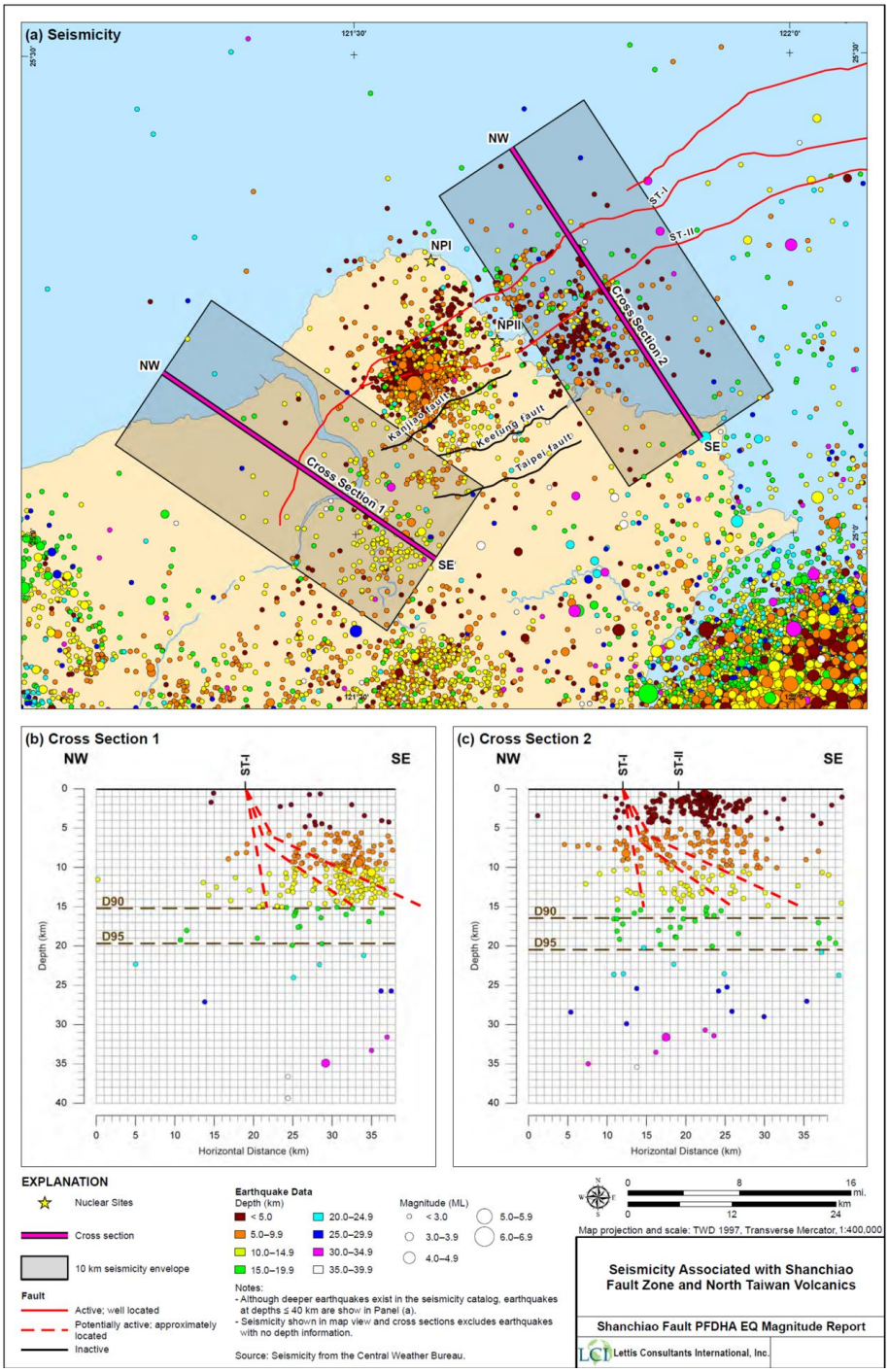


圖 2-1.8：山腳斷層地震分布與深度剖面圖。地震深度剖面中紅色虛線為山腳斷層三種幾何形貌(LCI, 2015)

2-1-3 孕震深度分析

臺灣豐富的地震紀錄建構之臺灣地區孕震帶(sesimogenic zone)深度模型，可作為三維斷層模型底部延伸的控制參考依據。Wu et al. (2017)使用台灣區域 1990-2015 之地殼地震目錄呈現孕震帶之空間分布，以地震矩累計量來做為孕震深度判斷依據。

本計畫蒐集了 Wu et al. (2017)之 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度空間分布資料，針對北部地區活動斷層進行孕震深度分析，圖 2-1.9 為山腳斷層 D90 孕震深度分布圖。

結果顯示山腳斷層上盤 D90 之孕震深度大多位於 10-16 公里深，大屯山區深度僅 10-12 公里，與本計畫邏輯樹最大 15 公里之設定差異不大。

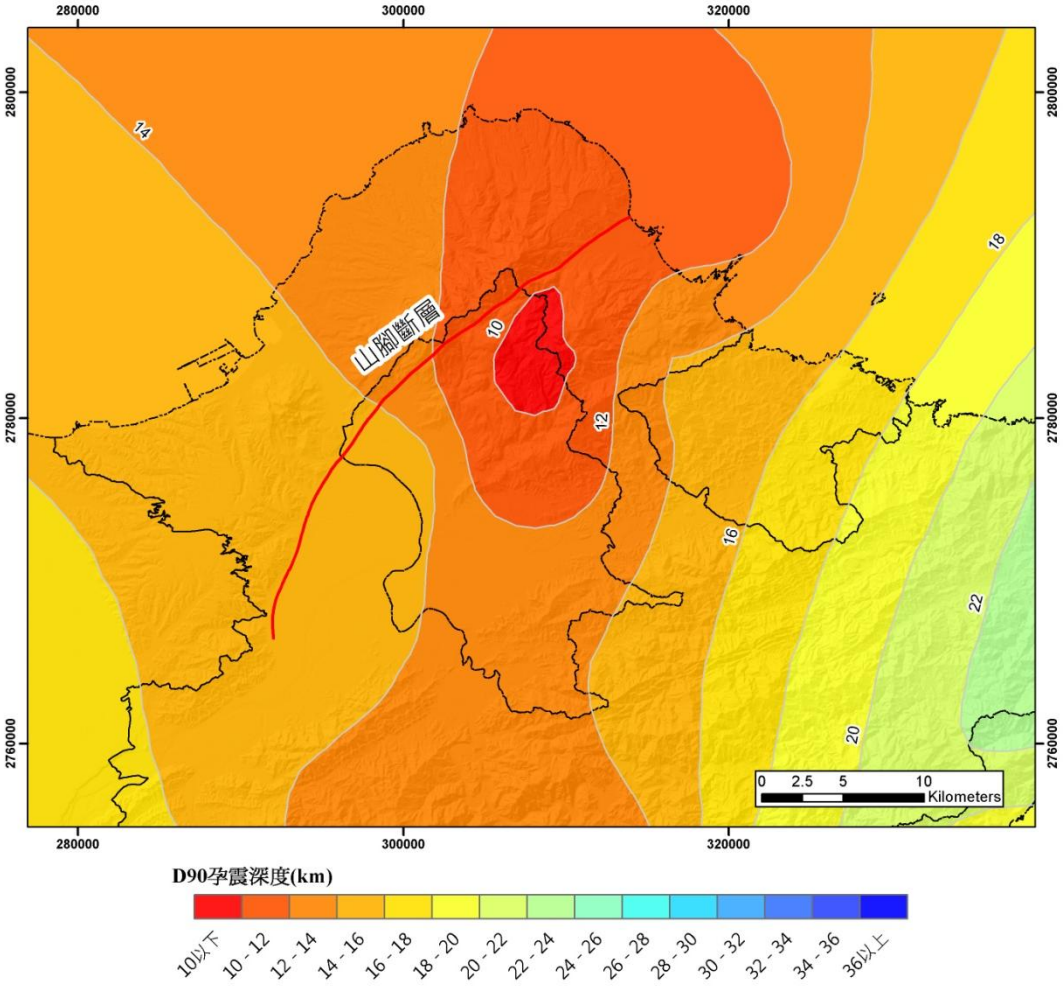


圖 2-1.9：山腳斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：Wu et al., 2017)

2-2 邏輯樹更新

山腳斷層分段破裂模式無修改，同圖 2-1.2。

山腳斷層之傾角及破裂深度，根據 2-1-2 節之幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 a. 60˚(深度 0-6 km)，25˚(深度>6 km)；b. 70˚(深度 0-9 km)，35˚(深度>9 km)；c. 80˚。從山腳斷層上盤兩個地震深度剖面顯示，地震深度集中於 15 公里內，因此本計畫不採用 SSHAC 計畫之 20 公里深度，仍沿用前期之 15 公里作為山腳斷層之破裂深度最大值。本計畫破裂深度及權重為 10 公里（0.3）、12.5 公里（0.4）、15 公里（0.3）。

山腳斷層之滑移速率相關參數及文獻詳如表 2-2.1 所示，新增海域滑移速率推估部分，敘述如下：中興公司(2015)於台灣東北外海進行調查。其中 ST-I 與 ST-II 底質剖面資料則可見兩線型之上盤反射訊號有擾動變形現象(圖 2-2.1)。若以震測訊號垂直離距作為滑移速率計算之依據，則 ST-I-1 震測訊號垂直離距最大為 600 公尺，ST-I-2 震測訊號垂直離距最大為 750 公尺(圖 2-2.2)；假設斷層活動年代與台北盆地形成或山腳斷層形成年代相當，熱螢光定年結果認為台北盆地形成年代不老於 0.4 百萬年(Wei et al., 1998)，陳文山等(2008)由林口臺地面與台北盆地最深基盤間之高差估算山腳斷層形成年代約為 0.75 百萬年前，則 ST-I-1 之長期滑移速率估算為 0.81~1.52mm/yr，ST-I-2 之長期滑移速率估算為 1.02~1.92 mm/yr(中興公司，2015)。

本計畫參考景國恩等（2018）「斷層活動性觀測研究第四階段-地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估（2/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOKES 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較，表 2-2.2 為該計畫三種模型反演得到之結果。山腳斷層平均滑移虧損速率下界為 0.8 mm/yr，上界為 4.0 mm/yr，平均值為 1.9 mm/yr。

根據表 2-2.1，將垂直速率換算至斷層面 (dip = 60˚,70˚,80˚)上，可得到長期滑移速率範圍，南段介於 0.7~3.8 mm/yr，平均值為(0.7+3.8)/2 =2.3 mm/yr，計畫設定南段參數及權重為 0.7 mm/yr（0.3）、2.3 mm/yr（0.4）、3.8 mm/yr（0.3）；北段介於 0.8~2.2 mm/yr，平均值為(0.8+2.2)/2 =1.5 mm/yr，計畫設定北段參數及權重設為 0.8 mm/yr（0.3）、1.5 mm/yr（0.4）、2.2 mm/yr（0.3）。

根據表 2-2.2，山腳斷層整段之平均滑移虧損速率下界為 0.8 mm/yr， 上界為 4.0 mm/yr，平均值為 1.9 mm/yr，計畫設定整段參數及權重設為 0.8 mm/yr（0.3）、1.9 mm/yr（0.4）、4.0 mm/yr（0.3）。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 2-2.3 所示為斷層以邏輯樹中值計算之各破裂事件地震矩規模，其中 Yen and Ma (2011)為臺灣本土之經驗公式，因此給予較高之權重 0.5。

山腳斷層系統各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 2-2.3 所示。

表 2-2.1：山腳斷層長期滑移速率相關文獻。

區域	長期滑移速率(公厘/年)	資料		參考文獻
南段	1.1~2.4(垂直)	五股 1 號井		Wei et al., 1998
	1.2~2.1(垂直)	五股 1 號井板橋層		
	1.8(垂直)	盆地基盤落差 700 公尺 /山腳斷層開始活動年代 0.4Ma		Teng et al., 2001
	0.69~1.8(垂直)	SCF-1, 2, 5, 6, 14, 15, 16, 17 鑽井地層對比		Huang et al., 2007
	1.3~1.7	火山泥流沉積層 500-680 公尺落差/形成年代 0.4 Ma		Song et al., 2007
	1.2~1.5(垂直)	蘆洲 1 號，五股 1 號		陳文山等，2008
	3.3(垂直)	SCF-1，SCF-2，五股 1 號		Chen et al., 2010
北段(海域)	0.81~1.52	ST-I-1	● 震測訊號垂直離距/山腳斷層形成年代	中興公司，2015
	1.02~1.93	ST-I-2	● 震測訊號垂直離距/台北盆地形成年代	

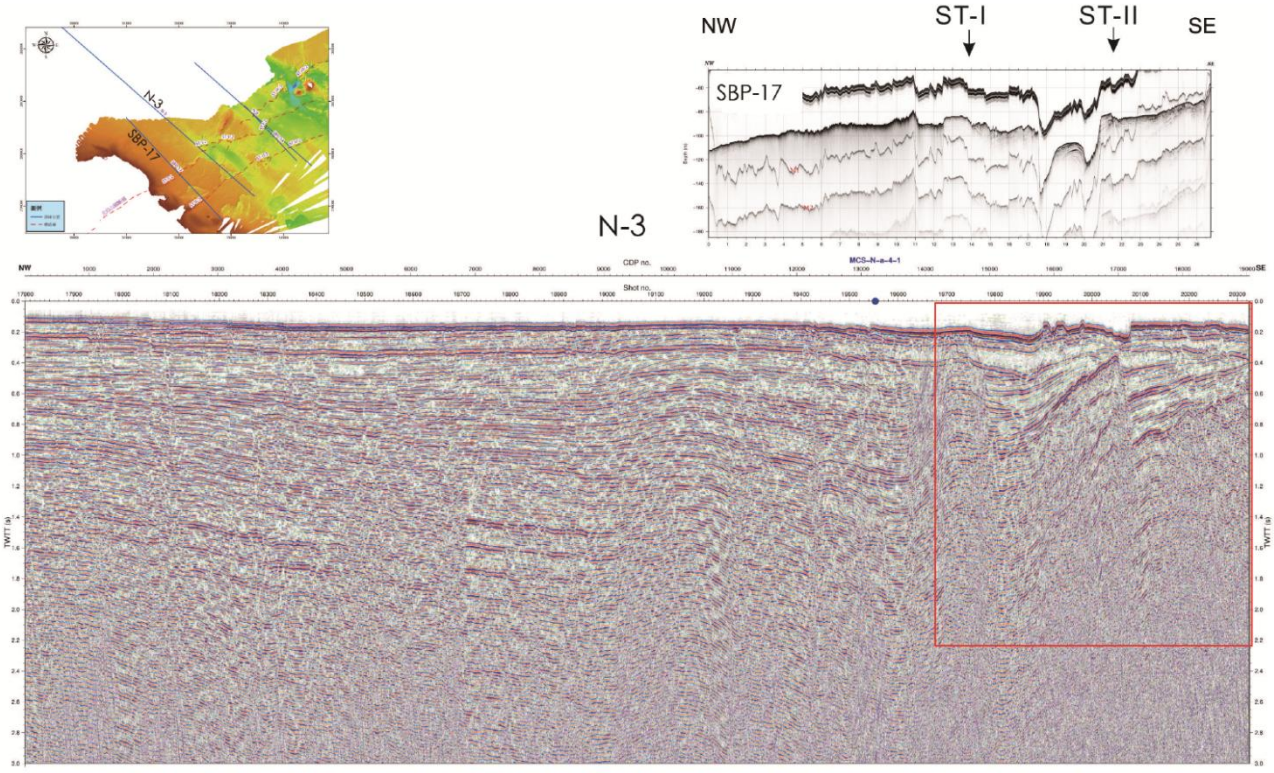


圖 2-2.1：底質剖面以及震測剖面顯示 ST-I 及 ST-II 斷層具有擾動現象(摘自：中興公司，2015)

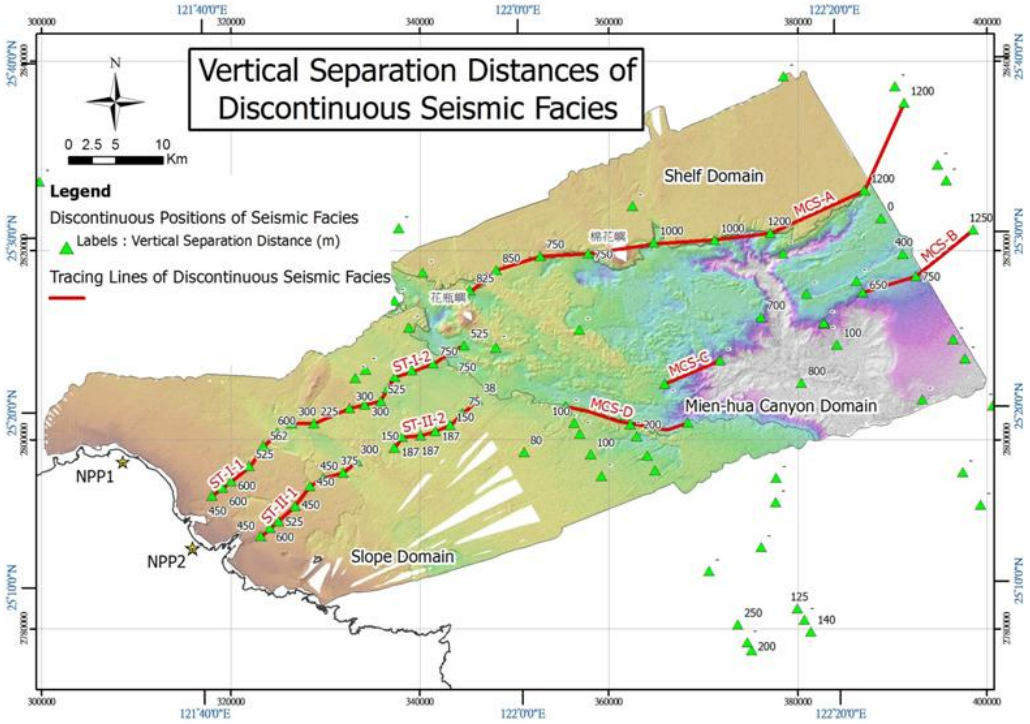


圖 2-2.2：海域線形震測剖面之垂直離距分布。圖中綠色三角形為震測剖面中地層錯移之位置，數字為垂直錯移量(公尺)(摘自：中興公司，2015)

表 2-2.2：山腳斷層模型擬合結果。

斷層名稱 \ 模型		BLOCKS	DEFNODE	Baseline Inversion	平均滑移虧損速率 (mm/yr)
山腳斷層	上界	2.5	3.6	7.6	4.0
	平均	2.3 ± 0.1 (權重 0.4)	0.8 ± 1.4 (權重 0.4)	3.4 ± 2.1 (權重 0.2)	1.9
	下界	2.1	0.0	0.0	0.8

表 2-2.3：山腳斷層之各破裂事件規模及權重。

	破裂事件	長度 (km)	斷層幾何	深度 (km)	寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式) (Mw)
							-σ	中值	+σ	
整段	A	83	深度 0-6 km, 傾角 60° 深度>6 km, 傾角 25°	12.5	22.3	1851	7.0	7.3	7.6	7.3
			深度 0-9 km, 傾角 70° 深度>9 km, 傾角 35°	12.5	15.7	1303	6.8	7.1	7.4	7.1
			傾角 80°	12.5	12.7	1054	6.7	7.0	7.3	7.0
北段	B	53	深度 0-6 km, 傾角 60° 深度>6 km, 傾角 25°	12.5	22.3	1182	6.8	7.1	7.4	7.1
			深度 0-9 km, 傾角 70° 深度>9 km, 傾角 35°	12.5	15.7	832	6.6	6.9	7.2	6.9
			傾角 80°	12.5	12.7	673	6.5	6.8	7.1	6.8
南段	C	30	深度 0-6 km, 傾角 60° 深度>6 km, 傾角 25°	12.5	22.3	669	6.5	6.8	7.1	6.8
			深度 0-9 km, 傾角 70° 深度>9 km, 傾角 35°	12.5	15.7	471	6.4	6.7	7.0	6.7
			傾角 80°	12.5	12.7	381	6.3	6.6	6.9	6.6

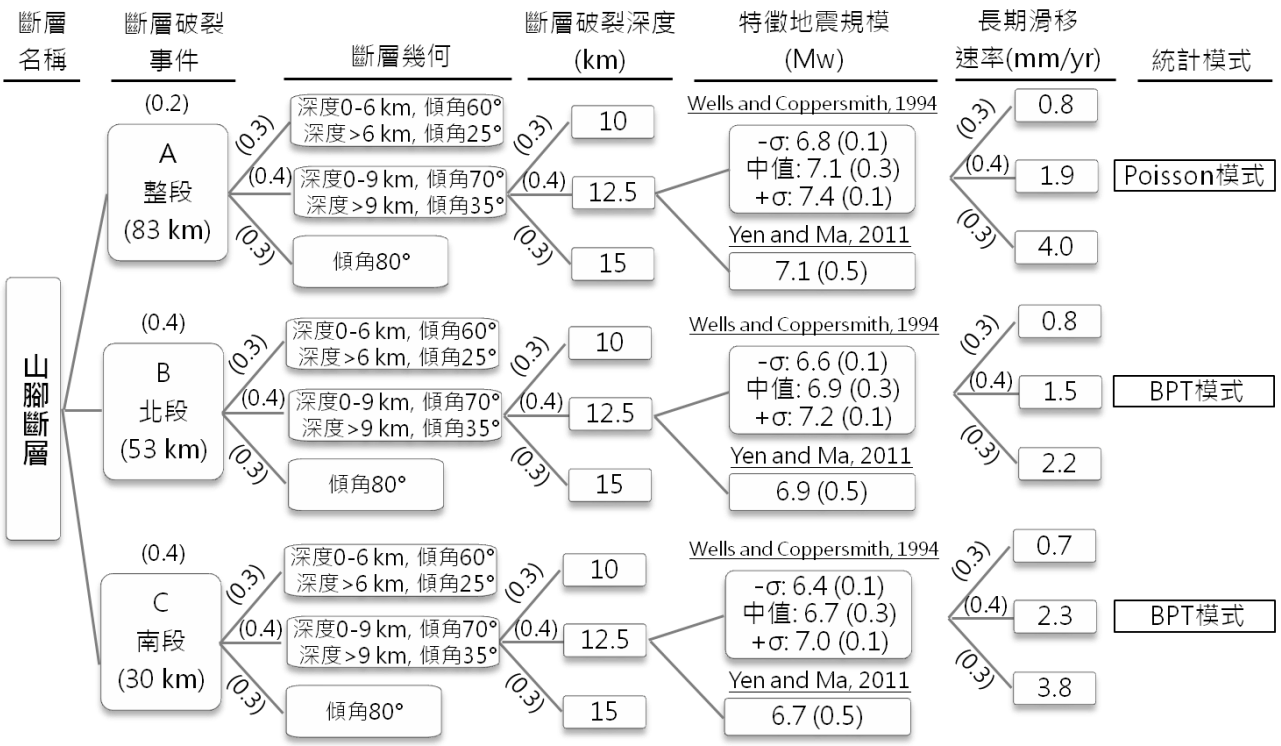


圖 2-2.3：山腳斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)

2-3 規模與年發生率之關係

山腳斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 2-3.1 為 3 個破裂事件取表 2-2.3 中參數計算特徵地震模式分布情形。

圖 2-2.3 之山腳斷層邏輯樹可得到 324 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 2-3.2 為 3 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 7.2 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.0 之權重最高；破裂模式 C 以規模 6.7 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 2-3.3 為 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。

將三種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 2-3.4（a）之山腳斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 2-3.4（b）之山腳斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

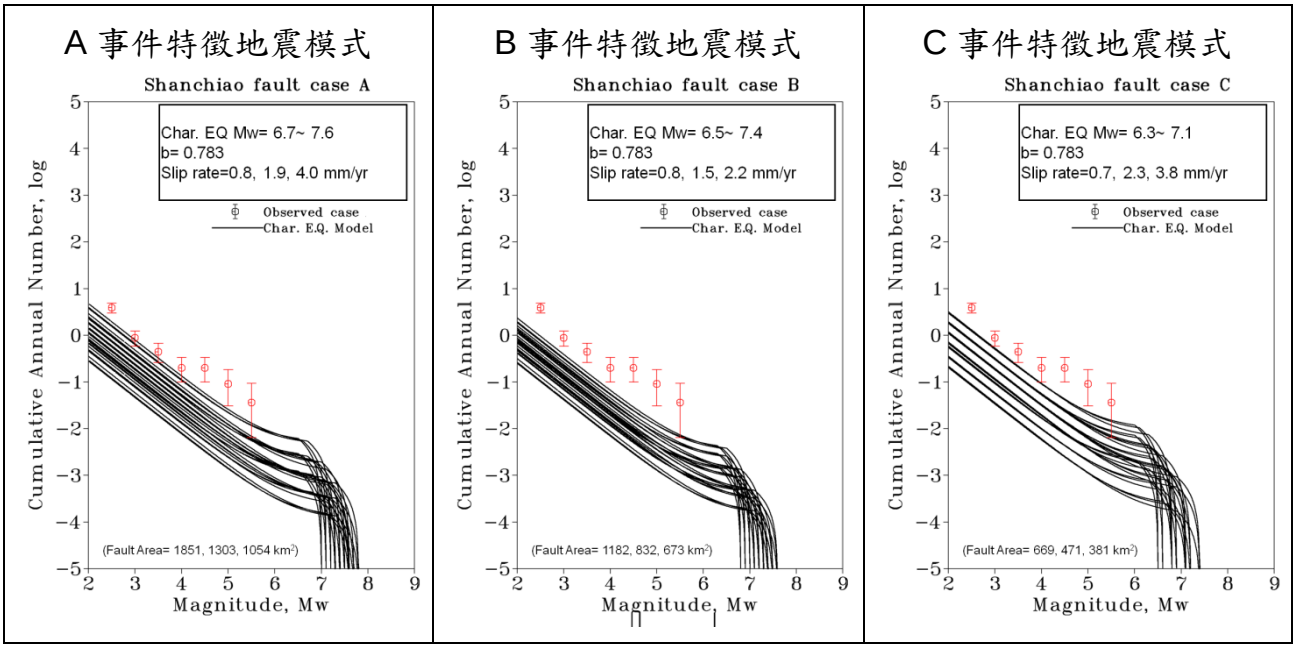


圖 2-3.1：山腳斷層各破裂事件特徵地震模式

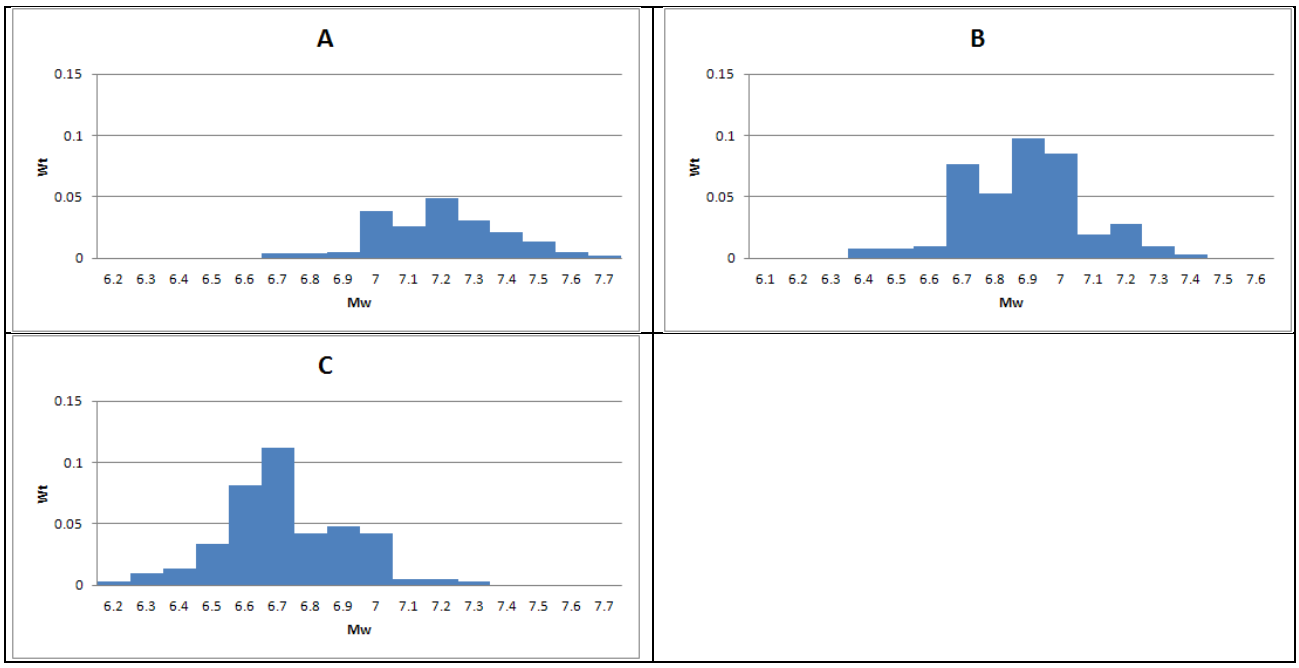


圖 2-3.2：山腳斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和

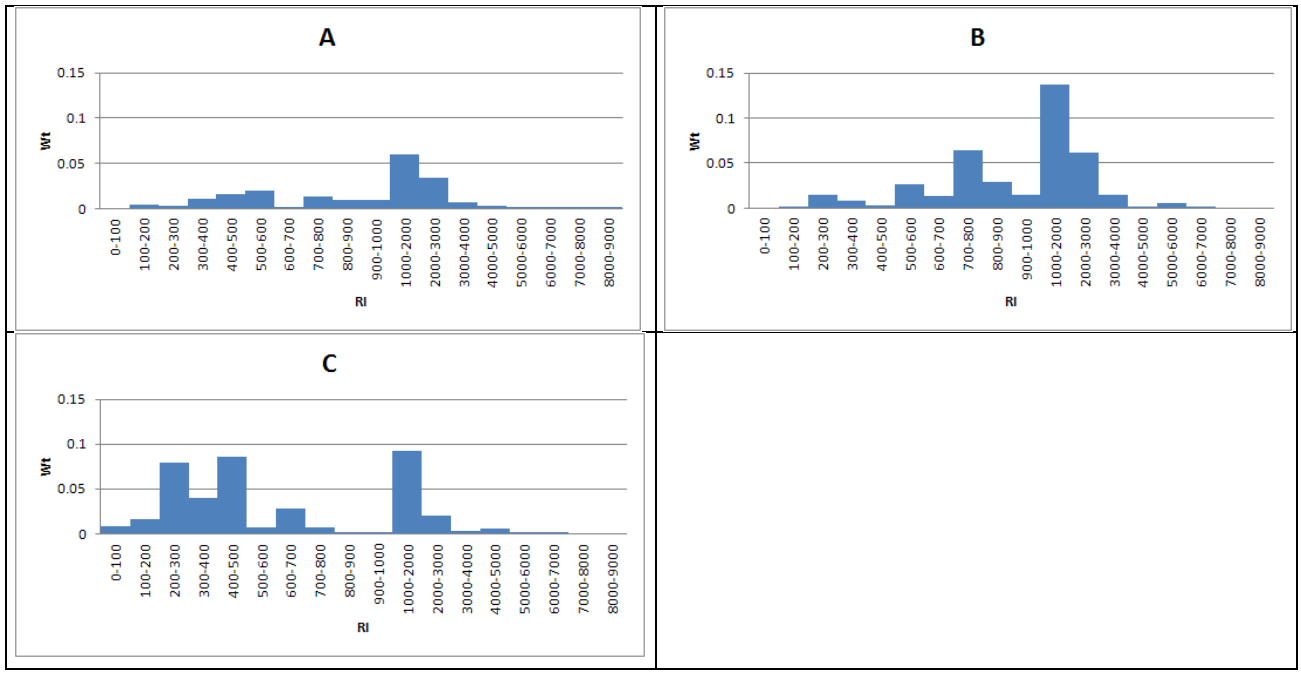


圖 2-3.3：山腳斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和

（a）　　（b）

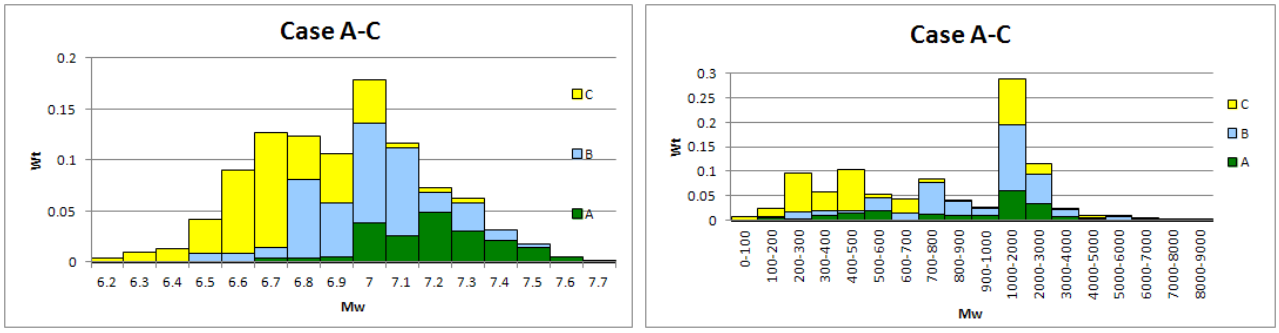


圖 2-3.4：(a)山腳斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(b)山腳斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

2-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算山腳斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，根據歷史文獻，假設山腳斷層北段最後一次發生時間為西元 1867 年，南段為 1694 年，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

表 2-4.1 為山腳斷層 BPT 模式評估之結果，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.2~7.7 之機率為 5.5%、8.7%及 15.5%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 4.6%、7.4%及 13.7%。另以 POISSON 模式計算之結果也列於表 2-4.1 中以供比較。

表 2-4.1：山腳斷層發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POISSON	BPT	POISSON	BPT	POISSON
6.2≦ M ≦7.7	5.5%	4.8%	8.7%	7.7%	15.5%	14.4%
M ≧ 6.5	4.6%	4.3%	7.4%	7.0%	13.7%	13.2%

第三章、湖口斷層潛勢評估

本章 3-1 節會先介紹前階段計畫本團隊劃設之湖口斷層邏輯樹成果，然後說明本計畫參數更新之項目，3-2 節則針對湖口斷層更新之參數進行邏輯樹重新劃設，3-3 節為利用特徵地震模式計算各邏輯樹節點之地震復發間隔結果，3-4 節為斷層未來 30、50 及 100 年的發震機率評估結果。

3-1 湖口斷層參數更新

3-1-1 前階段計畫成果

地調所劃設之湖口斷層，東起桃園縣平鎮，西至新竹縣湖口，全長約 21 公里（林啟文等，2007；花井重次，1930；中國石油公司，1978）。潘玉生（Pan, 1965）依據重力及震測資料結果認為湖口斷層延伸至坑子口海岸附近。湖口斷層在地形上存在線性崖，線性崖最遠亦可延伸至坑子口海岸附近，其西部延伸段長約 9 公里。

前階段計畫在評估湖口斷層之破裂，可分為 2 種破裂事件來探討，A 為湖口斷層（東段）單獨破裂，B 為湖口斷層與西部延伸段同時破裂，權重為 A（0.6）、B（0.4），如圖 3-1.1 所示。

湖口斷層之傾角及破裂深度，根據所蒐集到之震測剖面、平衡剖面、野外露頭、鑽井等資料進行評估。儘管平衡剖面解釋湖口斷層為發育於向斜軸部的逆移盲斷層，斷層滑移尚未發育至地表，但淺層震測資料（林良安，1999）顯示向斜軸部地層並不連續，仍有擾動跡象，且鑽井資料及野外露頭顯示斷層已發育至地表（朱傚祖等，2012），因此計畫認為，斷層可能沿軸面破裂至地表，而非僅侷限於滑脫面的破裂。因此，計畫認為破裂面設定為 7 公里（五指山層深度，參考黃旭燦等，2004）以上為 60 度（向斜軸角度，參考 Tang, 1963），7 公里以下為 10 度（整體滑脫面傾角）。斷層深度由前人文獻（王昱，2003；黃旭燦等，2004）得知為 5~7.5 km，受限於地物探測深度的極限，無法得知斷層更深部的樣貌，因此斷層深度以保守值 7 km 為下界，權重為 0.2；11 km 為上界，權重為 0.2；9 km 為中間值，權重為 0.6。換算破裂面寬度分別為 8.1 km（權重 0.2）、19.6 km（權重 0.6）、31.1 km（權重 0.2）。

湖口斷層之滑移速率，是利用鑽井資料，計算其抬升速率而得，其抬升速率為 1.7±0.8 mm/yr。鑽井資料位於湖口背斜軸部，代表褶皺軸之垂直抬升速率；而湖口背斜屬斷層彎曲褶皺，褶皺是因受滑脫面斷坡影響而隆起，因此計畫採用滑脫面斷坡角度 30 度換算沿斷層面之滑移速率為 3.4±1.6 mm/yr。取其誤差上下限為邏輯樹參數上下界，分別為 1.8 mm/yr 權重 0.3；5.0 mm/yr 權重 0.3；中間值 3.4 權重 0.4。

前階段計畫湖口斷層各節點權重的分配詳如圖 3-1.2 所示。

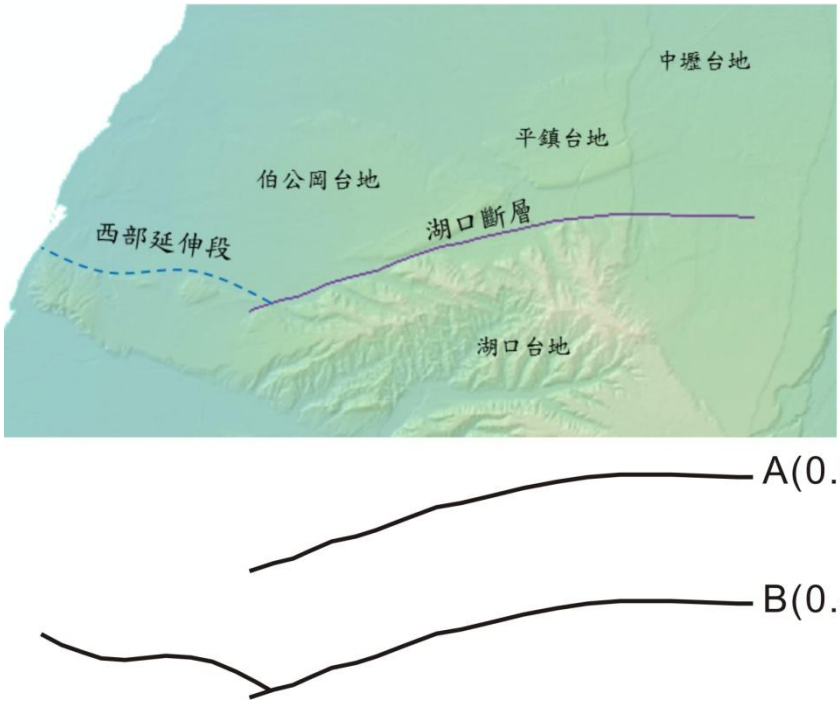


圖 3-1.1：湖口斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)

斷層名稱	斷層破裂事件	斷層傾角(度)	斷層寬度(km)	特徵地震規模(M_W)	斷層滑移速率(mm/yr)	統計模式

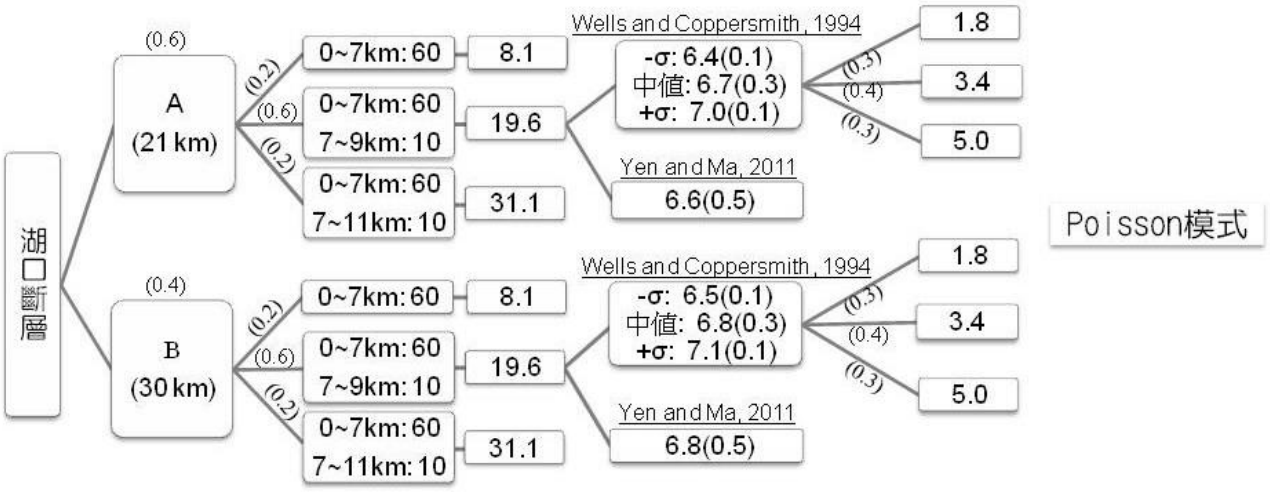


圖 3-1.2：前階段湖口斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)

3-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

前期計畫湖口斷層之幾何參考資料詳如表 3-1.1 所示。湖口斷層由於有震測資料及鑽井資料的控制，在幾何面上並未進行修改，在本期計畫中則是考慮基底滑脫面單獨破裂之可能性新增兩種可能之破裂模式，分別為「深度 7-9 km, 傾角 10°」及「深度 7-11 km, 傾角 10°」，如圖 3-1.3 所示。在本計畫第一次專家諮詢會議中，認為考慮五種幾何之破裂模式過於複雜，因此建議移除破裂至 9 公里深度的模式，簡化為三種破裂模式，如圖 3-1.4 所示。

表 3-1.1：湖口斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)。

作者	方法	傾角	深度
Tang, 1963	震測剖面	60 度	
林良安，1999	淺層震測		
Suppe and Namson, 1979	平衡剖面	滑脫面斷坡 28-29 度	
林啟文等，2007	地表露頭與鑽井資料，以斷層擴展褶皺推測。	40 度	
王昱，2003	平衡剖面	滑脫面斷坡 32 度	5 km
黃旭燦等，2004	平衡剖面	60 度	6-7.5 km

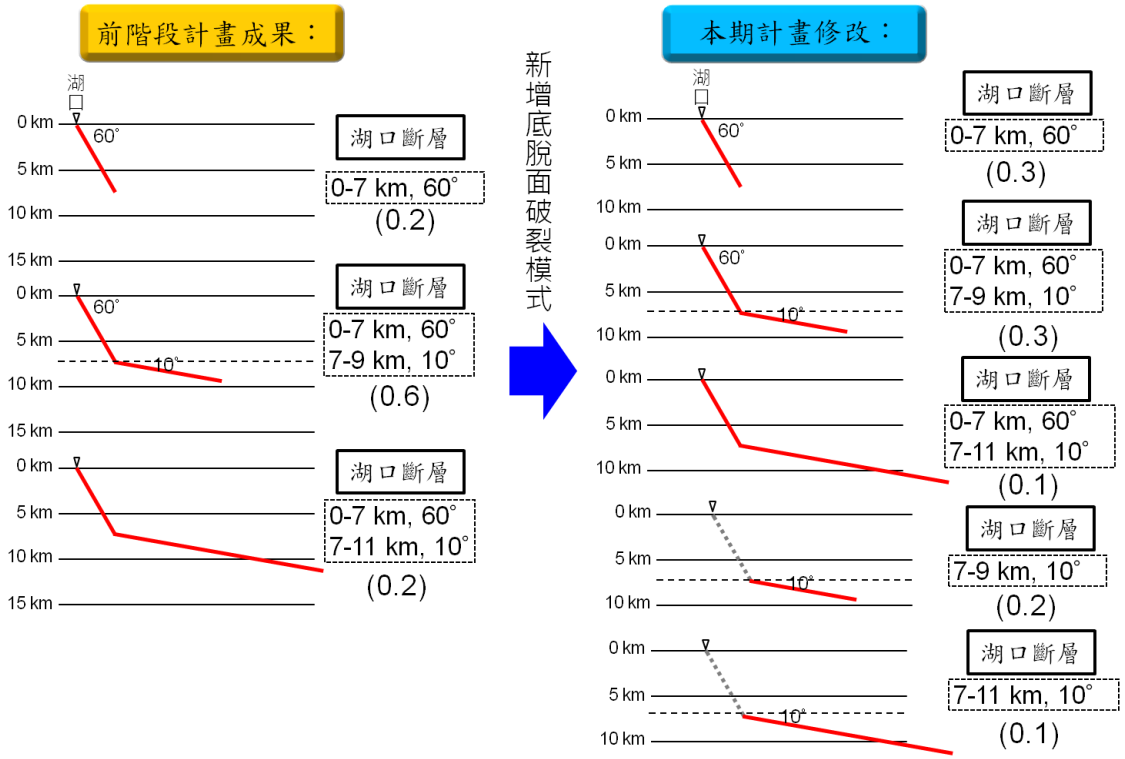


圖 3-1.3：湖口斷層幾何面破裂模式及權重修改情形

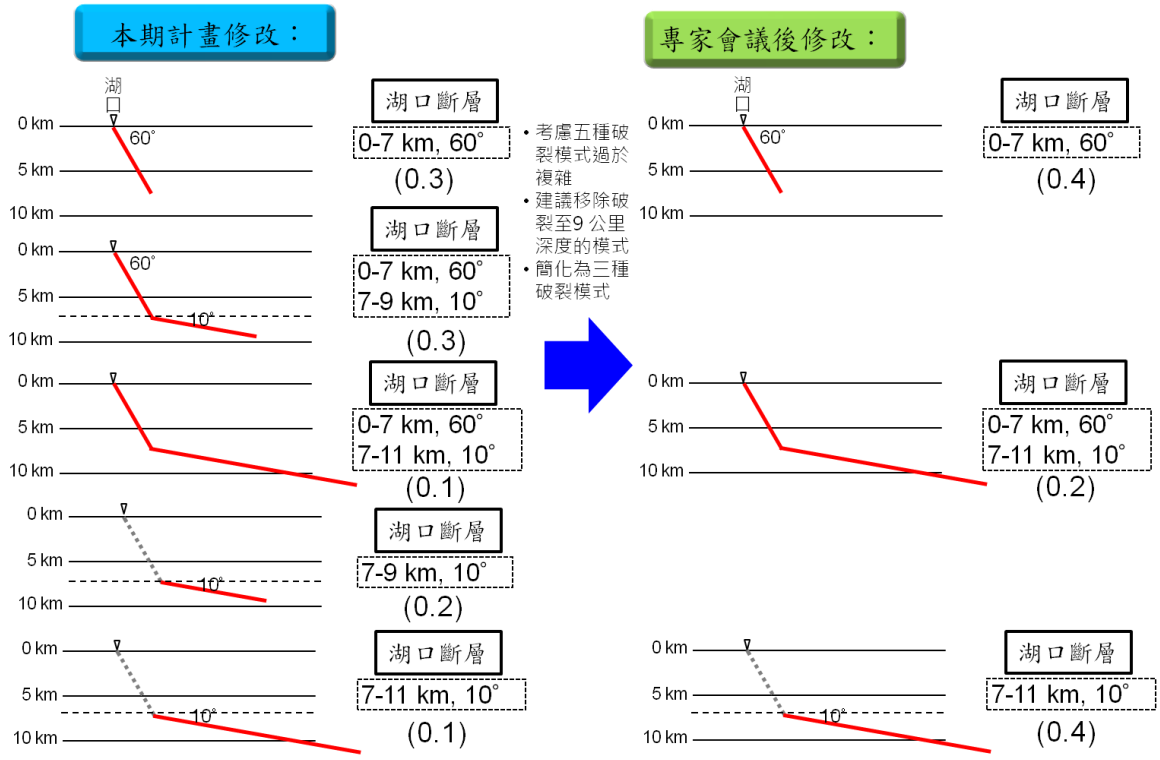


圖 3-1.4：湖口斷層幾何面破裂模式及權重專家會議後修改情形

3-1-3 孕震深度分析

本計畫蒐集了 Wu et al. (2017)之 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度空間分布資料，針對湖口斷層進行孕震深度分析，圖 3-1.5 為湖口斷層 D90 孕震深度分布圖。

結果顯示湖口斷層上盤 D90 之孕震深度約在 18-20 公里，部分區域可達 20 公里以上，比本計畫蒐集之地質平衡剖面深。

根據湖口斷層上盤西元 1900~2015 年地震深度分布剖面，在深度 10 公里左右地震次數是最多的(圖 3-1.6)，然而在深度 20 公里以下仍有地震，推測是由深部構造產生之地震。

後續工作需釐清區域地震是否為分析目標活動斷層所造成對應背景地震，本計畫考量嘗試以專家討論意見及其他輔助資訊綜合判斷，針對各斷層進行分析探討，期能提出活動斷層最合理之孕震深度，作為活動斷層三維深度建立的依據。

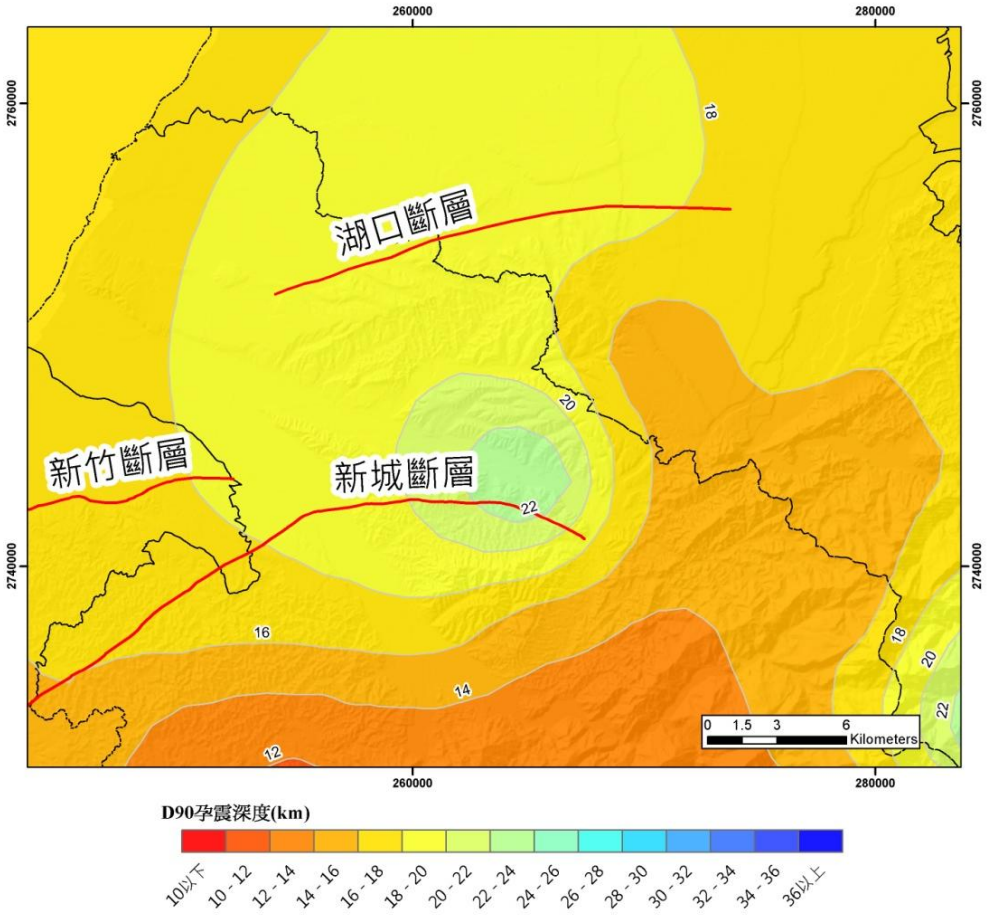


圖 3-1.5：湖口斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：Wu et al., 2017)

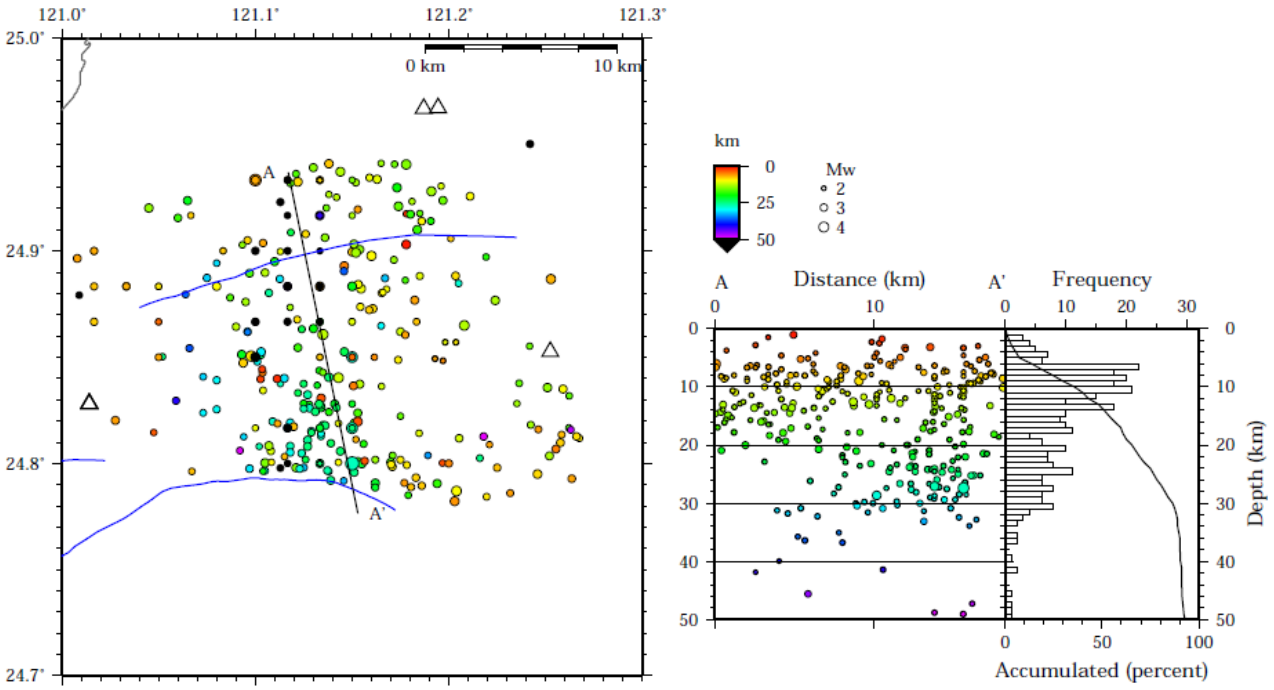


圖 3-1.6：左圖為湖口斷層西元 1900-2015 地震分布圖，右圖為地震深度-數量統計圖

3-2 邏輯樹更新

本計畫針對湖口斷層邏輯樹更新，詳述如下：

前階段破裂事件考慮了湖口斷層本身以及西部延伸段的部分。然而，根據黃旭燦等(1996)描繪之新竹苗栗外海構造分布圖，顯示湖口斷層有往外海延伸之可能性(圖 3-2.1)，延伸長度約 20 公里。沈玟劭（2008）於新竹外海之震測剖面則顯示湖口斷層外海延伸處地層雖有擾動，但延伸長度約在 18 號剖面擾動情形就已趨於平緩（圖 3-2.2)，因此其描繪之湖口斷層海域延伸部分止於 18 號剖面之位置（圖 3-2.2)。本計畫參考沈玟劭（2008）海域構造線形描繪之湖口斷層分布如圖 3-2.3 所示。破裂事件則新增海域延伸段，長度為 17 公里，分別為 A. 湖口斷層（東段）單獨破裂，B. 湖口斷層+西部延伸段，C. 湖口斷層+西部延伸段+海域延伸段，權重為 A(0.5)、B(0.3)、C(0.2)，如圖 3-2.4 所示。

湖口斷層之傾角及破裂深度，根據 3-1-2 節之幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 a. 60˚(深度 0-7 km)；b. 60˚(深度 0-7 km)，10˚(深度 7-11 km)；c. 10˚(深度 7-11 km) ，由於 b 之破裂模式為斷坡+斷坪破裂，本計畫認為可能性較斷坡或斷坪單獨破裂低，因此權重給予 a(0.4)、b(0.2)、c(0.4)。

湖口斷層之滑移速率無發現新事證，陳文山（2010）由湖口背斜軸部的南寮國小井計算垂直抬升速率為 1.7±0.8 mm/yr，即 0.9~2.5 mm/yr，以傾角 60 度換算至斷層面上之滑移速率為 1.0~2.9 mm/yr。參考景國恩等（2018)「斷層活動性觀測研究第四階段-地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估（2/4)」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOKES 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較，三種模型反演得到之結果，湖口斷層平均滑移虧損速率下界為 0.8 mm/yr， 上界為 3.9 mm/yr，平均值為 1.8 mm/yr。其中地質鑽探之方法由於僅從褶皺軸部一口井推估抬升速率，信心度並沒有模型反演高，因此給予的權重低於模型反演結果， 表 3-2.1 為本計畫湖口斷層邏輯樹計算之結果，本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 0.9 mm/yr (0.3)、平均 1.9 mm/yr (0.4)、上界 3.5 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith （1994）及 Yen and Ma （2011）之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith （1994）之標準差作為上下之分支，表 3-2.2 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模，其中 Yen and Ma （2011）為臺灣本土之經驗公式，因此給予較高之權重 0.5。

湖口斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 3-2.5 所示。

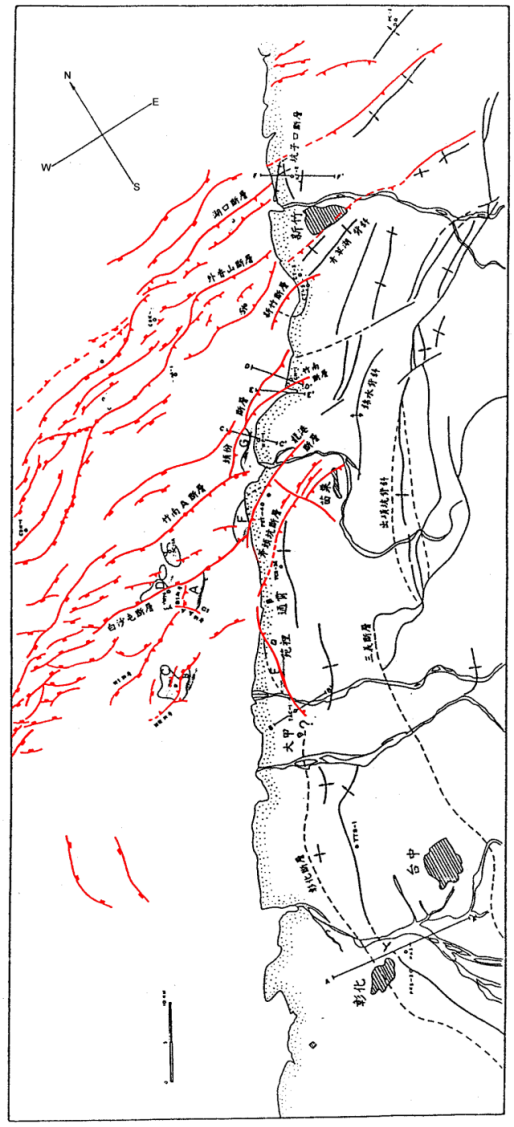


圖 3-2.1：新竹苗栗外海構造分布圖（黃旭燦等，1996）

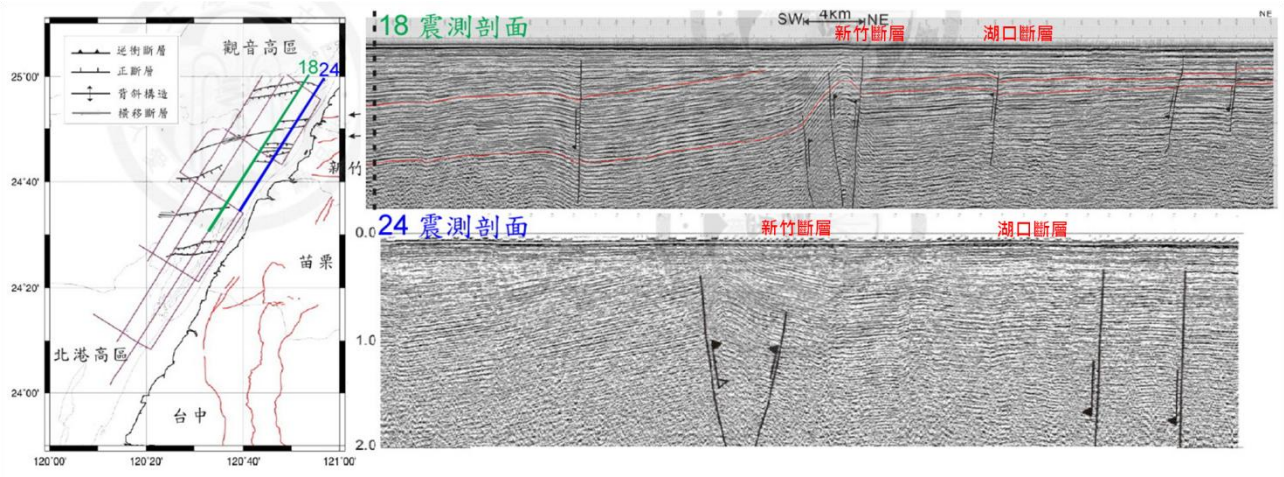


圖 3-2.2：新竹地區海域震測剖面（沈玟劭，2008）

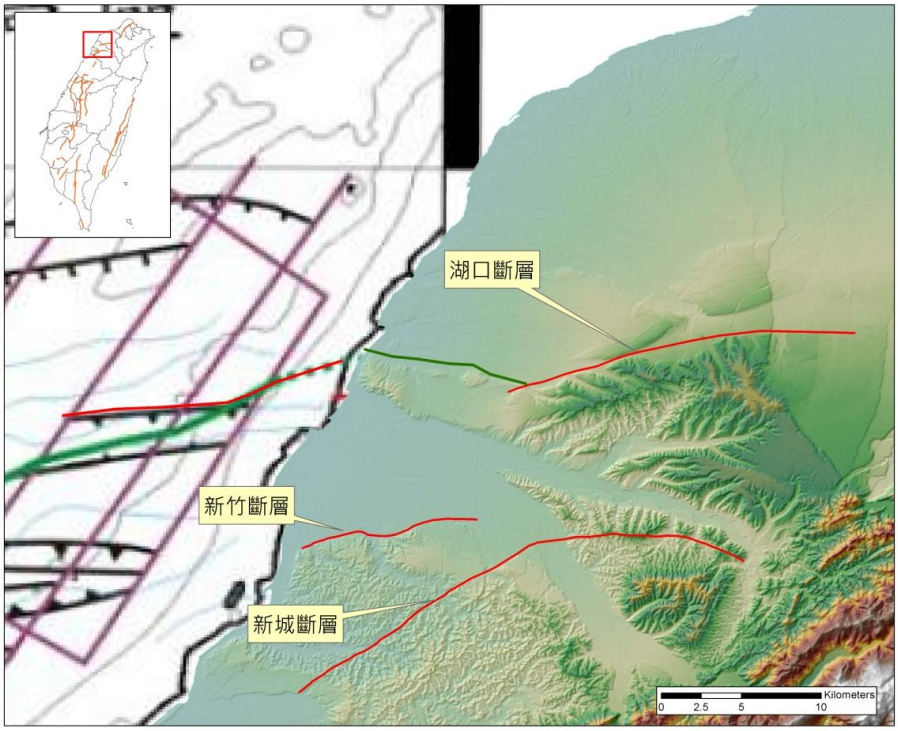


圖 3-2.3：本計畫湖口斷層海域延伸

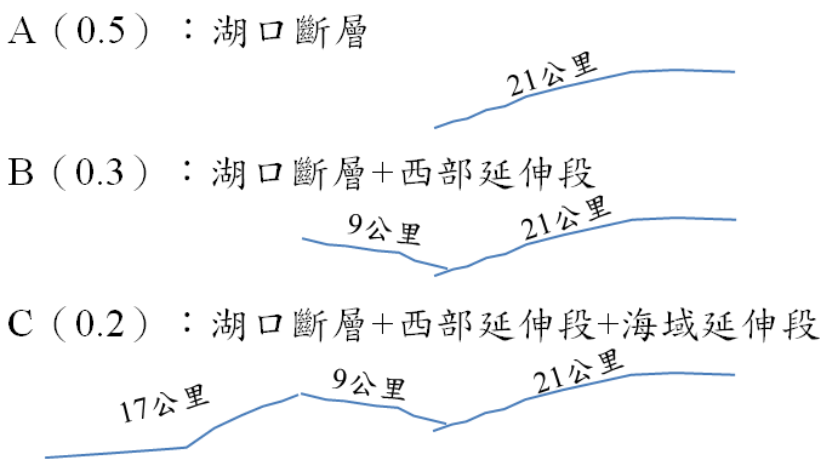


圖 3-2.4：本計畫湖口斷層破裂事件

表 3-2.1：本計畫湖口斷層長期滑移速率推估結果。

斷層名稱	參考資料	方法	權重	下界 (mm/yr)	平均 (mm/yr)	上界 (mm/yr)
湖口斷層	陳文山，2010	地質鑽探	0.4	1.0	2.0	2.9
	景國恩等，2018	1. BLOCKS 2. DEFNODE 3. Baseline Inversion	0.6	0.8	1.8	3.9
	權重加總結果			0.9	1.9	3.5

表 3-2.2：湖口斷層之各破裂事件規模及權重。

破裂事件	長度 (km)	斷層幾何	寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式) (Mw)
					-σ	中值	+σ	
A	21	深度 0-7 km, 傾角 60°	8.1	170	6.0	6.3	6.6	6.2
		深度 0-7 km, 傾角 60° 深度 7-11 km, 傾角 10°	31.1	653	6.6	6.9	7.2	6.8
		深度 7-11 km, 傾角 10°	23.0	483	6.4	6.7	7.0	6.7
B	30	深度 0-7 km, 傾角 60°	8.1	243	6.2	6.5	6.8	6.4
		深度 0-7 km, 傾角 60° 深度 7-11 km, 傾角 10°	31.1	933	6.7	7.0	7.3	7.0
		深度 7-11 km, 傾角 10°	23.0	690	6.6	6.9	7.2	6.8
C	47	深度 0-7 km, 傾角 60°	8.1	381	6.4	6.7	7.0	6.6
		深度 0-7 km, 傾角 60° 深度 7-11 km, 傾角 10°	31.1	1462	6.9	7.2	7.5	7.2
		深度 7-11 km, 傾角 10°	23.0	1081	6.8	7.1	7.4	7.0

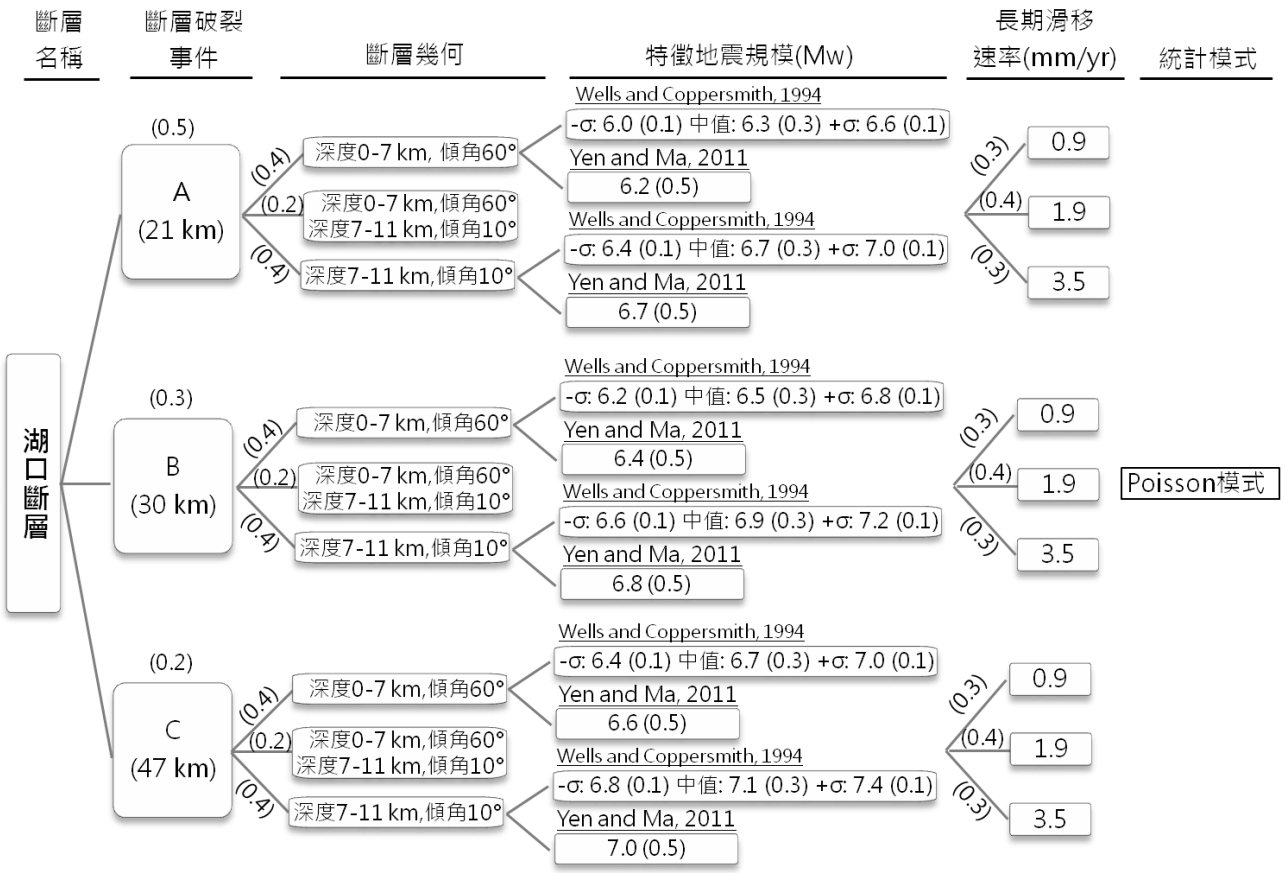


圖 3-2.5：湖口斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)

3-3 規模與年發生率之關係

湖口斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 3-3.1 為 3 個破裂事件之特徵地震模式分布情形。

圖 3-2.5 之湖口斷層邏輯樹可得到 108 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 3-3.2 為 3 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.7 之權重最高；破裂模式 B 以規模 6.9 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.1 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 3-3.3 為 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

將 3 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 3-3.4（a）之湖口斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 3-3.4（b）之湖口斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

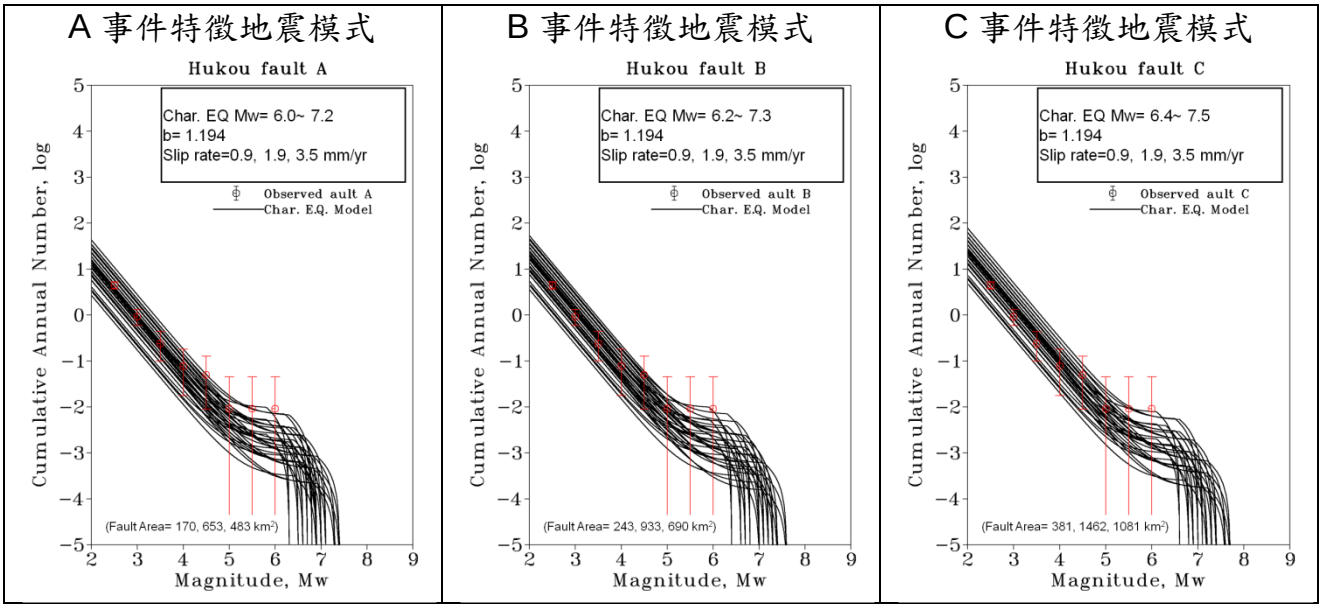


圖 3-3.1：湖口斷層各破裂事件特徵地震模式

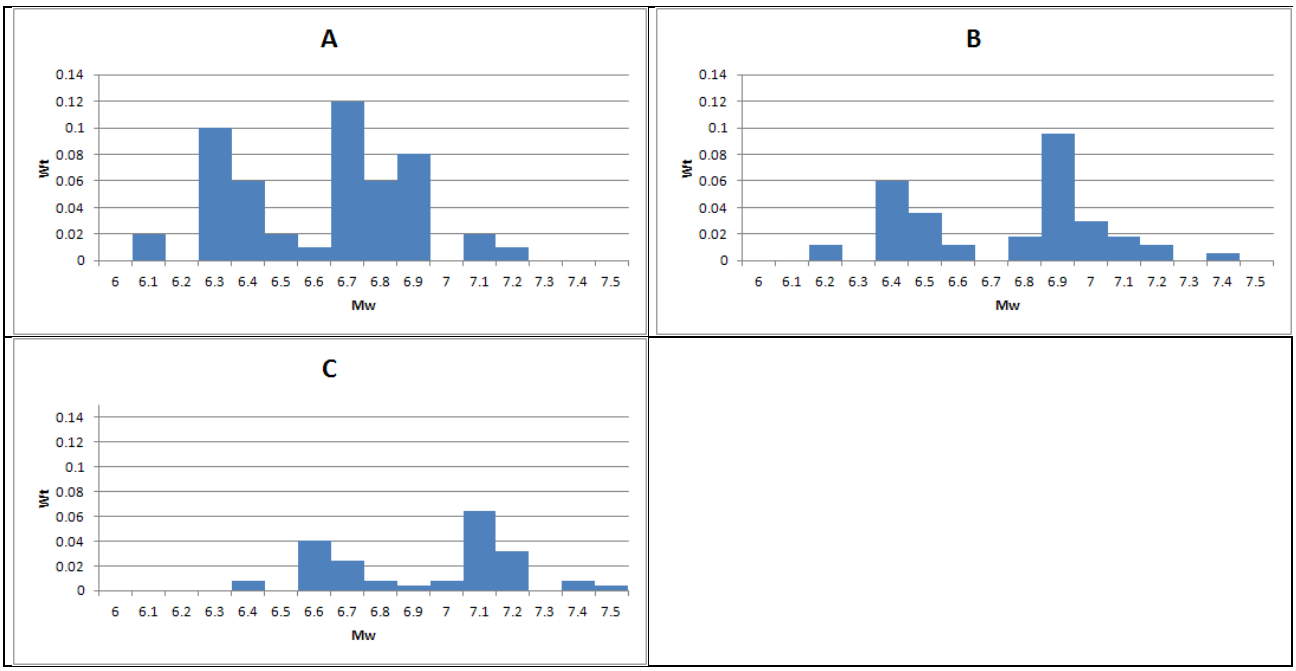


圖 3-3.2：湖口斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和

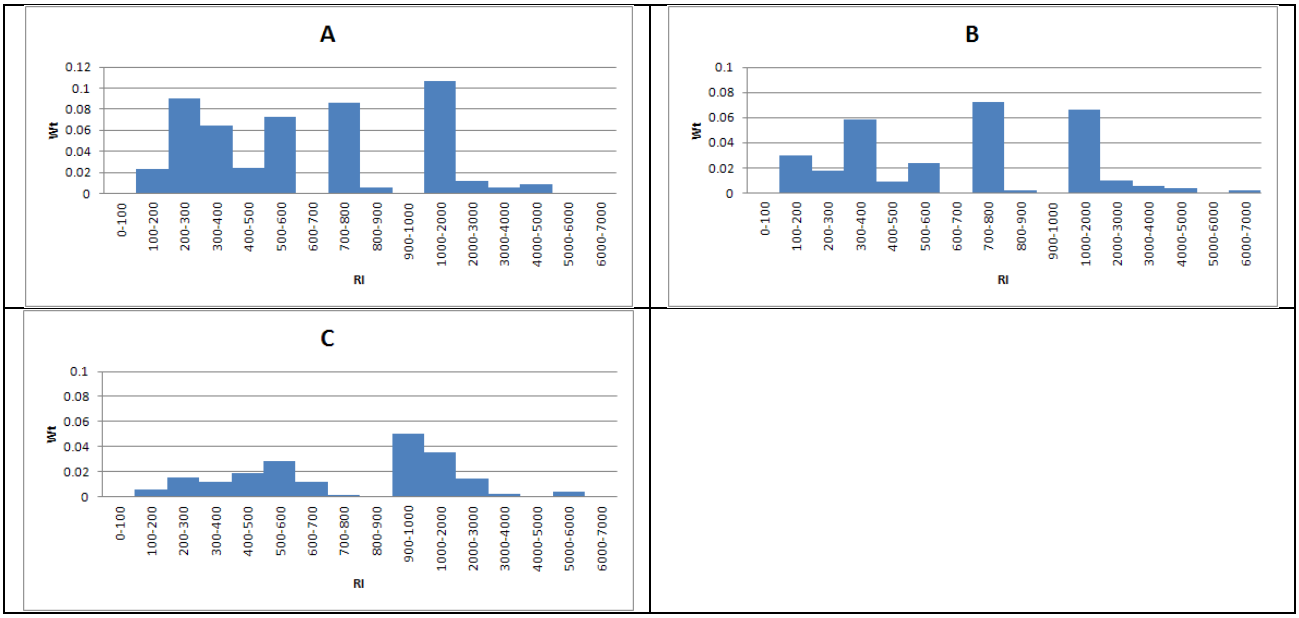


圖 3-3.3：湖口斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和

（a）　　（b）

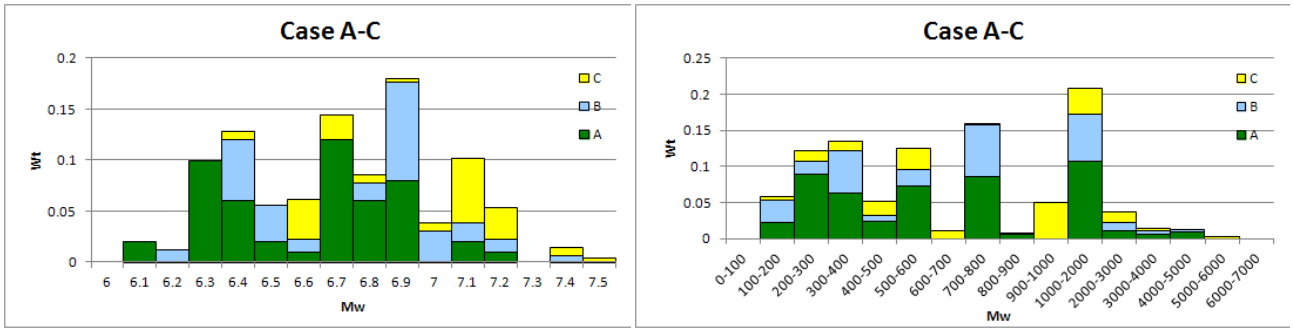


圖 3-3.4：（a）湖口斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）湖口斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖

3-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算湖口斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，湖口斷層最後一次發生時間為未知，因此本計畫採用 Poisson 模式進行評估。

表 3-4.1 為湖口斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2018 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.1~7.5 之機率為 5.9%、9.5%及 17.6%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 3.6%、5.8%及 10.9%。

表 3-4.1：湖口斷層發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.1≦ M ≦7.5	5.9%	9.5%	17.6%
M ≧ 6.5	3.6%	5.8%	10.9%

第四章、新竹斷層潛勢評估

本章 4-1 節會先介紹前階段計畫本團隊劃設之新竹斷層邏輯樹成果，然後說明本計畫參數更新之項目，4-2 節則針對新竹斷層更新之參數進行邏輯樹重新劃設，4-3 節為利用特徵地震模式計算各邏輯樹節點之地震復發間隔結果，4-4 節為斷層未來 30、50 及 100 年的發震機率評估結果。

4-1 新竹斷層參數更新

4-1-1 前階段計畫成果

根據地調所條帶地質圖（林啟文等，2007），新竹斷層由新竹市西方向東延伸至頭前溪南岸，長約 9 公里。另外，根據陳于高等人（Chen et al., 2004）描繪的階地及斷層崖，認為新竹斷層向東應通過頭前溪北岸與新城斷層相連。沈玟劭（2008）於新竹外海之震測剖面則顯示有褶皺及高角度的逆斷層，推測為新竹斷層之海域延伸。綜合上述，推估新竹斷層之位置如圖 4-1.1，主斷層長度為 17 公里（紅色線段），東側新城斷層北段可為新竹斷層之西部延伸段，長度 12 公里（黃色虛線），西側海域延伸為 17 公里（藍色虛線）。

前階段計畫在評估新竹斷層之破裂，由於東側延伸及西側海域的延伸與否可分為 4 種破裂事件來探討，A 為中段破裂，B 為中段破裂+東側延伸，C 為海域延伸+中段破裂，D 為海域延伸+中段破裂+東側延伸破裂，權重分配為 A（0.5）、B（0.2）、C（0.2）、D（0.1），如圖 4-1.1 所示。

推估斷層傾角（權重）為 40 度（0.2）、50 度（0.6）、60 度（0.2），破裂深度（權重）為 8 公里（0.2）、10 公里（0.6）、12 公里（0.2）。

新竹斷層之滑移速率有丁權（2012）利用上下盤鑽井定年之結果，換算至斷層面上為 1.9~3.5 mm/yr，前階段計畫取其為上下限值以及平均值，權重設定為 1.9（0.3）、2.7（0.4）、3.5（0.3）。

前階段計畫新竹斷層各節點權重的分配詳如圖 4-1.2 所示。

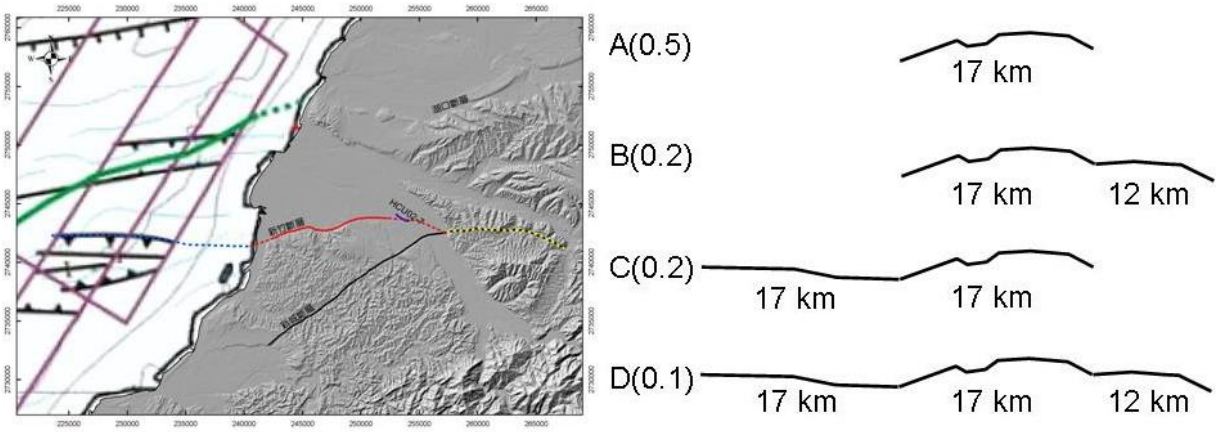


圖 4-1.1：新竹斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)

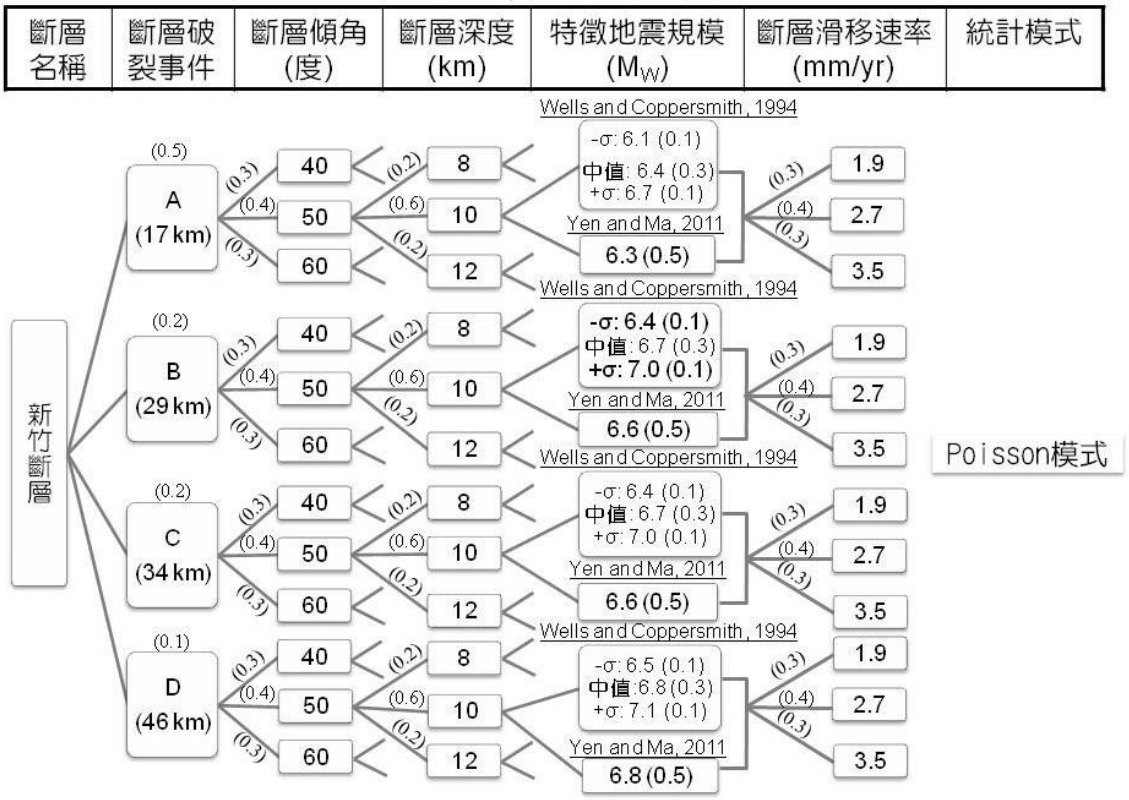


圖 4-1.2：前階段新竹斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)

4-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

由於新竹斷層與新城斷層在幾何上有關聯，因此本節會一併討論此兩條斷層之幾何更新。前期計畫新竹斷層與新城斷層之幾何參考資料詳如表 4-1.1 及表 4-1.2 所示。以下將說明新竹及新城斷層幾何形貌之修改。

楊耿明等人（Yang et al., 1994）在新竹地區之震測剖面如圖 4-1.3 所示，新竹斷層面是由 2~3 個穿插的剪切面，沿著一先前存在的正斷層發育。斷坡之傾角約為 40~50 度向南傾，深度至少 5 公里。圖中也顯示新城斷層在淺部是發育於新竹斷層之上。

黃宣維（2012）使用吳逸民處理之強地動觀測網與中央氣象局重定位的地震，時

間區間為 1991~2009 年。選取剖面兩側 10 公里以內的地震，投影至平衡剖面上，結果顯示軟橋斷層南端有一小團地震，主要位在斷層深部轉折處，暗示此處可能有應力累積。整體而言，新竹地區地震活動分布深度主要在集中在 10 公里，暗示基底滑脫面可能延伸至 10 公里（圖 4-1.4）。

以上資料顯示，新竹斷層和新城斷層傾角是同一方向，而新竹斷層傾角高於新城斷層，在本計畫第一次專家諮詢會議中，認為新城斷層孕震深度 5 公里左右太淺，因此本計畫將新竹斷層和新城斷層之孕震深度延伸至基底滑脫面，修改斷層幾何如圖 4-1.5。在斷層幾何形貌邏輯樹中，本計畫除了前階段單一傾角之模型外，另外考慮基底滑脫面，新增兩種可能的斷層幾何模型。新竹斷層幾何面有三種情形：Case 1 為深度 0-10 km，傾角 50°；Case 2 為深度 0-7 km，傾角 50°，深度 7-10 km，傾角 10°；Case 3 為深度 0-6 km，傾角 45°，深度 6-10 km，傾角 10°。新城斷層幾何面有三種情形：Case 1 為深度 0-10 km，傾角 40°；Case 2 為深度 0-4 km，傾角 35°，水平延伸 7 公里後，深度 4-9 km，傾角 35°；Case 3 為深度 0-3.5 km，傾角 30°，水平延伸 7 公里後，深度 3.5-9 km，傾角 30°。

表 4-1.1：新竹斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)。

作者	方法	傾角	深度
Tang and Hsu, 1970	鑽井剖面	50~60	
Chiu, 1970	鑽井剖面	50S	
Yang et al.,1994; 1996	震測剖面	40~50 度	斷坡至少 5 公里
黃旭燦等，2004	平衡剖面	Line 5：65 度 Line 6：50 度	至少 8 公里(推測)
蒲新杰，2010	微震分布		~12 km
丁權，2012 江婉綺與陳柏村，2012	淺層鑽井剖面	BB'剖面 40S CC'剖面 20~30S	-

表 4-1.2：新城斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)。

文獻	方法	傾角	深度
郭泰融，1990	震測剖面		
Wang et al., 1991	淺層反射震測	60 度	
Yang et al., 1994; 1996	平衡剖面	40~50 度	
Namson, 1984	平衡剖面	30~40 度	>6 km
黃旭燦等，2004	平衡剖面		>6 km
蒲新杰，2010	微震分布		~12 km
黃宣維，2012	地震分布		10~14 km

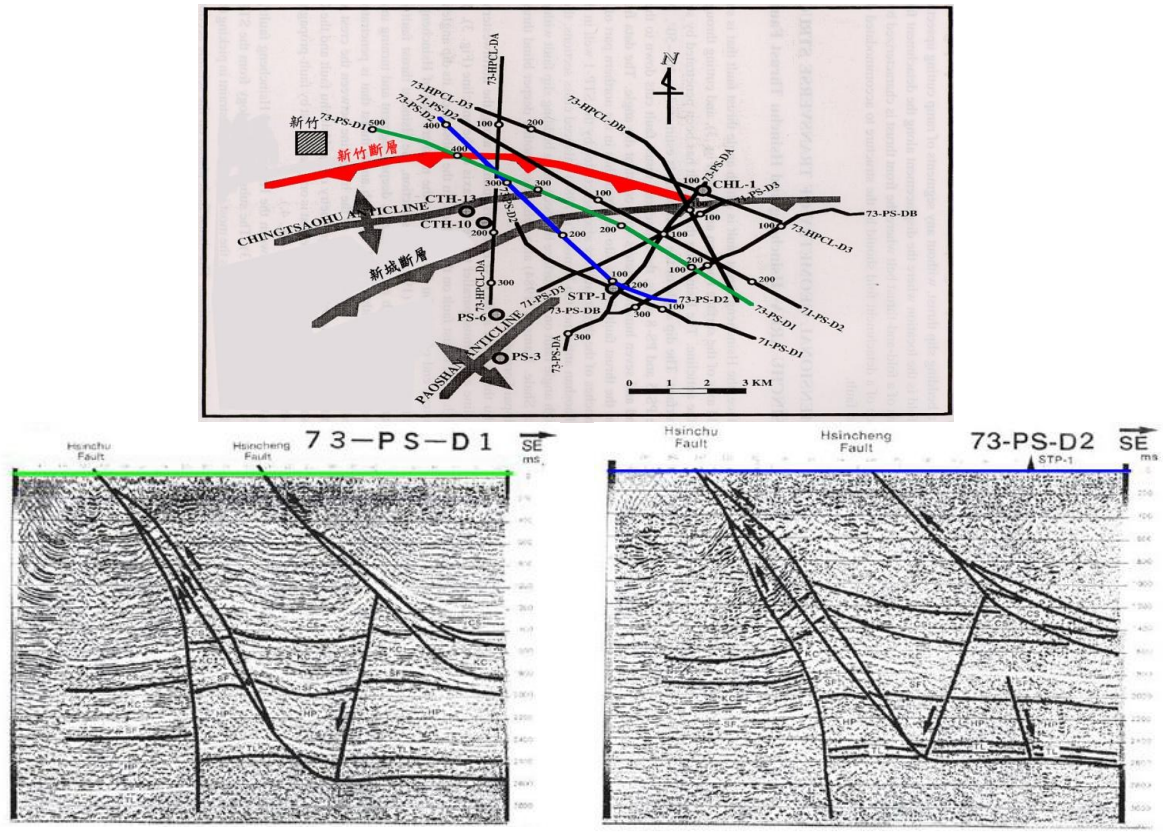


圖 4-1.3：跨新竹及新城斷層之震測剖面。上圖為新竹斷層（紅線）及震測剖面分布圖，下圖為 73-PS-D1（位置如上圖綠線）及 73-PS-D2（位置如上圖藍線）震測剖面（摘自 Yang et al., 1994; 1996）

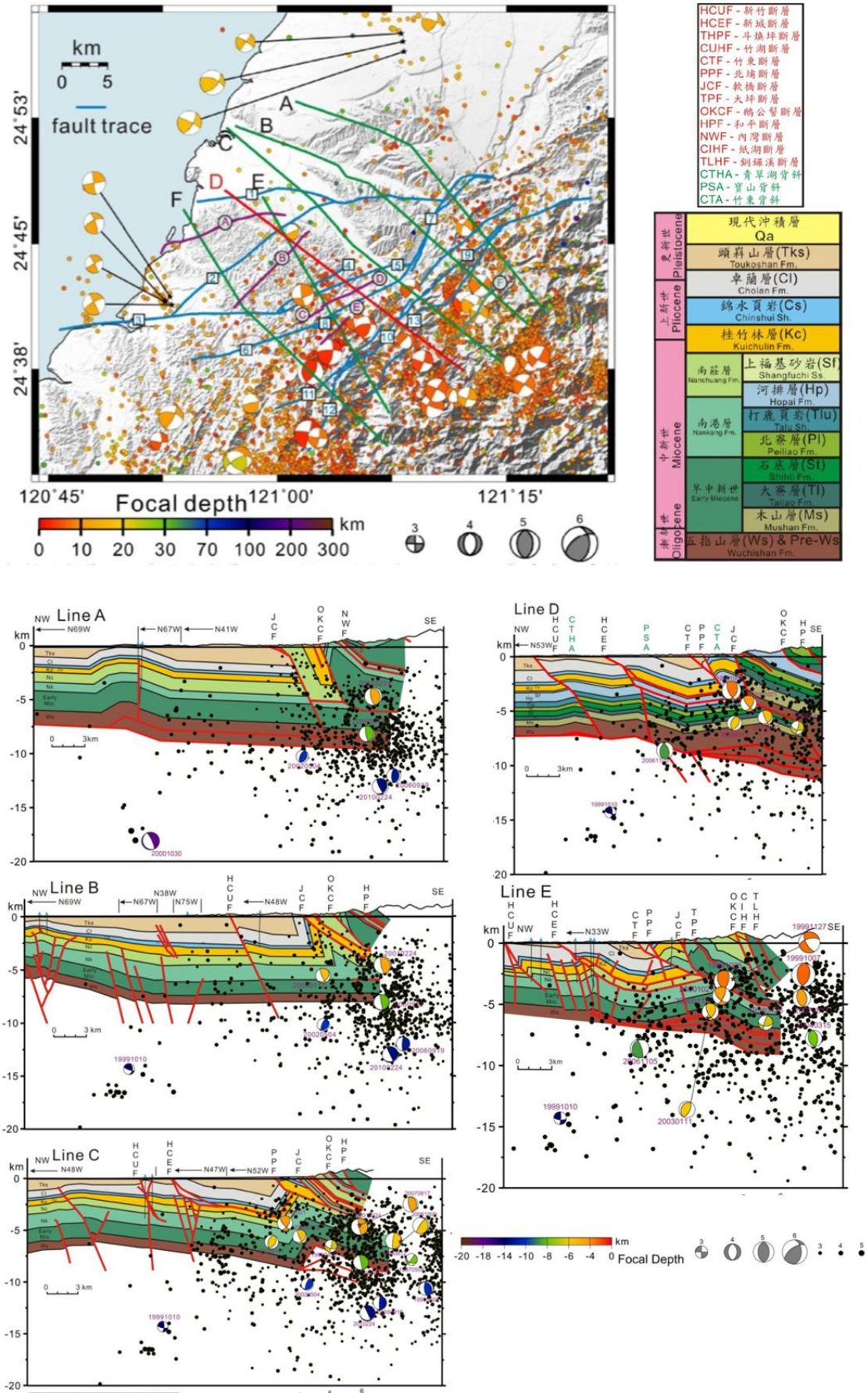
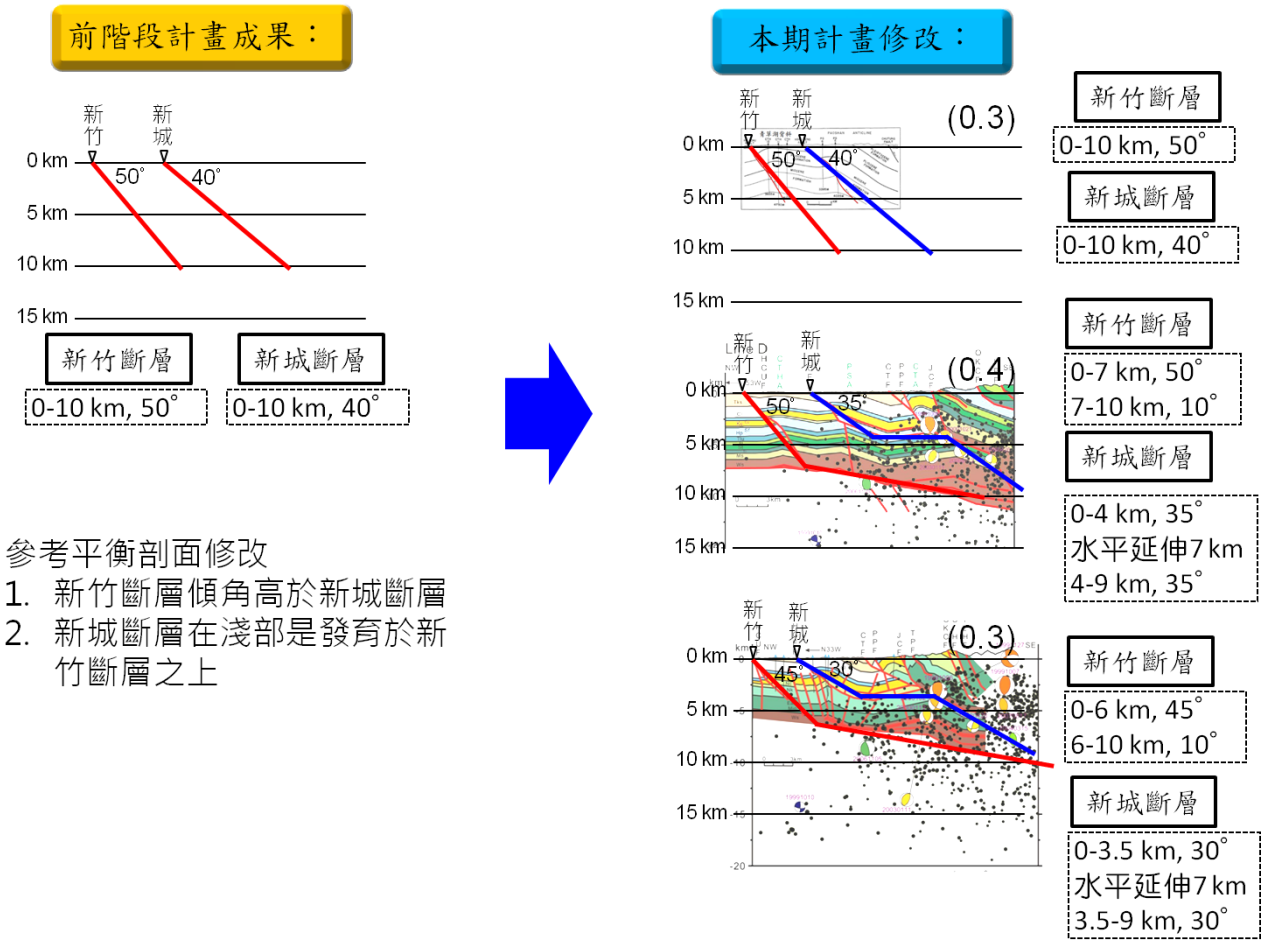


圖 4-1.4：新竹區域地震分布與平衡剖面圖(黃宣維，2012)



參考平衡剖面修改

1. 新竹斷層傾角高於新城斷層
2. 新城斷層在淺部是發育於新竹斷層之上

圖 4-1.5：新竹及新城斷層幾何面破裂模式及權重修改情形

4-1-3 孕震深度分析

本計畫蒐集了 Wu et al. (2017)之 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度空間分布資料，針對新竹及新城斷層進行孕震深度分析，圖 4-1.6 為新竹及新城斷層 D90 孕震深度分布圖。

結果顯示新竹斷層 D90 之孕震深度約在 14-18 公里，比本計畫蒐集之平衡剖面深。新城斷層上盤 D90 之孕震深度則由靠近斷層之 16-18 公里，往南漸減為 12-16 公里，仍比本計畫蒐集之平衡剖面深。

根據黃宣維（2012）平衡剖面與地震深度分布(圖 4-1.4)，新竹地區地震活動分布深度主要在集中在 10 公里左右。

後續工作需釐清區域地震是否為分析目標活動斷層所造成對應背景地震，本計畫考量嘗試以專家討論意見及其他輔助資訊綜合判斷，針對各斷層進行分析探討，期能提出活動斷層最合理之孕震深度，作為活動斷層三維深度建立的依據。

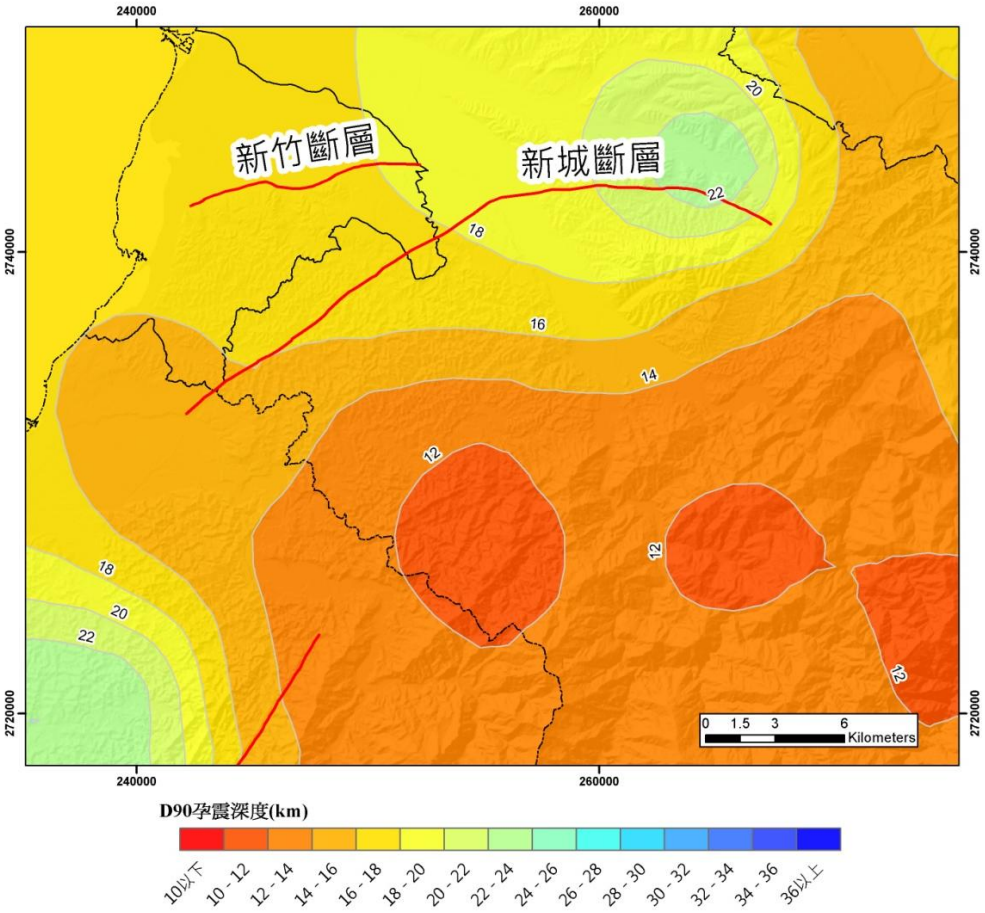


圖 4-1.6：新竹及新城斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：Wu et al., 2017)

4-2 邏輯樹更新

新竹斷層分段破裂模式無修改，同圖 4-1.1。

新竹斷之傾角及破裂深度，根據 4-1-2 節之幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 Case 1. 深度 0-10 km，傾角 50°(權重 0.3)；Case 2. 深度 0-7 km，傾角 50°，深度 7-10 km，傾角 10°(權重 0.4)；Case 3. 深度 0-6 km，傾角 45°，深度 6-10 km，傾角 10°(權重 0.3)，詳圖 4-1.5 所示。

新竹斷層之滑移速率無發現新事證，丁權（2012）利用上下盤鑽井定年之結果，換算至斷層面上為 1.9~3.5 mm/yr。參考景國恩等（2018）「斷層活動性觀測研究第四階段-地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估（2/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOKES 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較，三種模型反演得到之結果，新竹斷層平均滑移虧損速率下界為 0.3 mm/yr， 上界為 2.8 mm/yr，平均值為 1.1 mm/yr，與地質推估之速率差異不大。本計畫給予地質鑽探結果和模型反演權重相同，分別為 0.5 和 0.5，表 4-2.1 為本計畫新竹斷層邏輯樹計算之結果，據此設定邏輯樹權重為下界 1.1 mm/yr (0.3)、平均 1.9 mm/yr (0.4)、上界 3.2 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith （1994）及 Yen and Ma （2011）之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith （1994）之標準差作為上下之分支，表 4-2.2 所示為新竹斷層各破裂事件地震矩規模，其中 Yen and Ma （2011）為臺灣本土之經驗公式，因此給予較高之權重 0.5。

新竹斷層各節點權重的分配詳如圖 4-2.1 所示。

表 4-2.1：本計畫新竹斷層長期滑移速率推估結果。

斷層名稱	參考資料	方法	權重	下界 (mm/yr)	平均 (mm/yr)	上界 (mm/yr)
新竹斷層	丁權，2012	上下盤鑽井定年	0.5	1.9	2.7	3.5
	景國恩等，2018	1. BLOCKS 2. DEFNODE 3. Baseline Inversion	0.5	0.3	1.1	2.8
	權重加總結果			1.1	1.9	3.2

表 4-2.2：新竹斷層各破裂事件規模及權重。

破裂事件	長度(km)	斷層幾何	寬度(km)	面積(km^2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式)(Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式)(Mw)
					-σ	中值	+σ	
A	17	深度 0-10 km, 傾角 50°	13.1	223	6.1	6.4	6.7	6.3
		深度 0-7 km, 傾角 50° 深度 7-10 km, 傾角 10°	26.4	449	6.4	6.7	7.0	6.7
		深度 0-6 km, 傾角 45° 深度 6-10 km, 傾角 10°	31.5	536	6.5	6.8	7.1	6.7
B	29	深度 0-10 km, 傾角 50°	13.1	380	6.4	6.7	7.0	6.6
		深度 0-7 km, 傾角 50° 深度 7-10 km, 傾角 10°	26.4	766	6.6	6.9	7.2	6.9
		深度 0-6 km, 傾角 45° 深度 6-10 km, 傾角 10°	31.5	914	6.7	7.0	7.3	7.0
C	34	深度 0-10 km, 傾角 50°	13.1	445	6.4	6.7	7.0	6.6
		深度 0-7 km, 傾角 50° 深度 7-10 km, 傾角 10°	26.4	898	6.7	7.0	7.3	7.0
		深度 0-6 km, 傾角 45° 深度 6-10 km, 傾角 10°	31.5	1071	6.8	7.1	7.4	7.0
D	46	深度 0-10 km, 傾角 50°	13.1	603	6.5	6.8	7.1	6.8
		深度 0-7 km, 傾角 50° 深度 7-10 km, 傾角 10°	26.4	1214	6.8	7.1	7.4	7.1
		深度 0-6 km, 傾角 45° 深度 6-10 km, 傾角 10°	31.5	1449	6.9	7.2	7.5	7.2

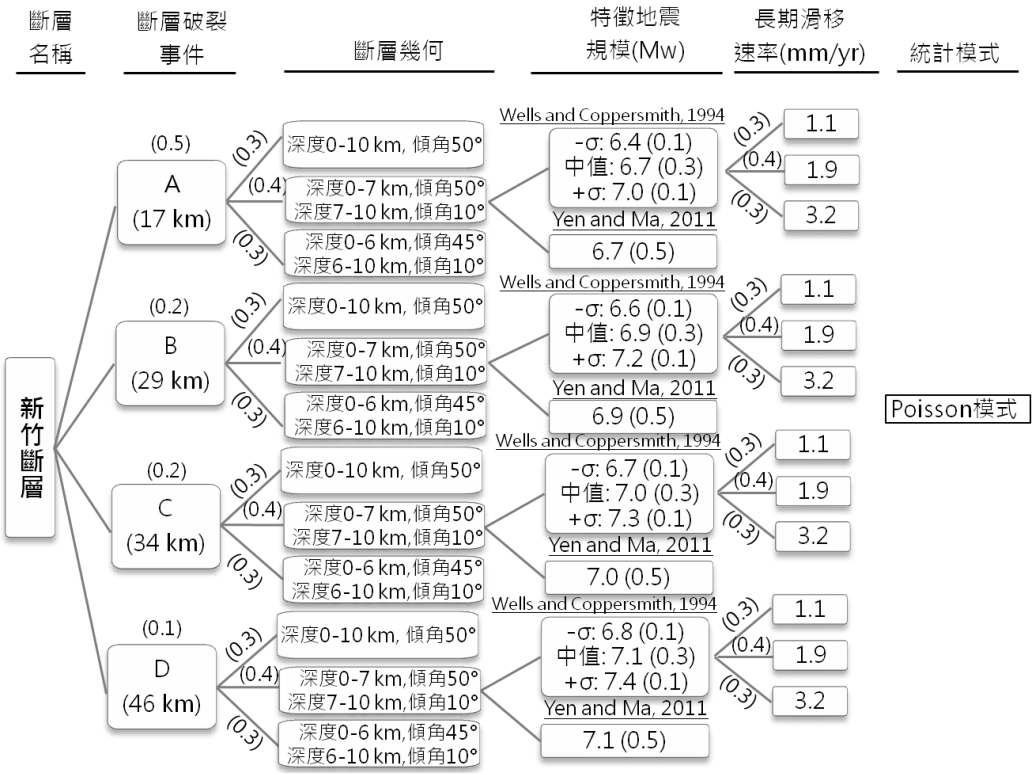


圖 4-2.1：新竹斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)

4-3 規模與年發生率之關係

新竹斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 4-3.1 為 4 個破裂事件之特徵地震模式分布情形。

圖 4-2.1 之新竹斷層邏輯樹可得到 144 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 4-3.2 為 4 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.8 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.0 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.0 之權重最高；破裂模式 D 以規模 7.2 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 4-3.3 為 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。

將四種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 4-3.4（a）之新竹斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 4-3.4（b）之新竹斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

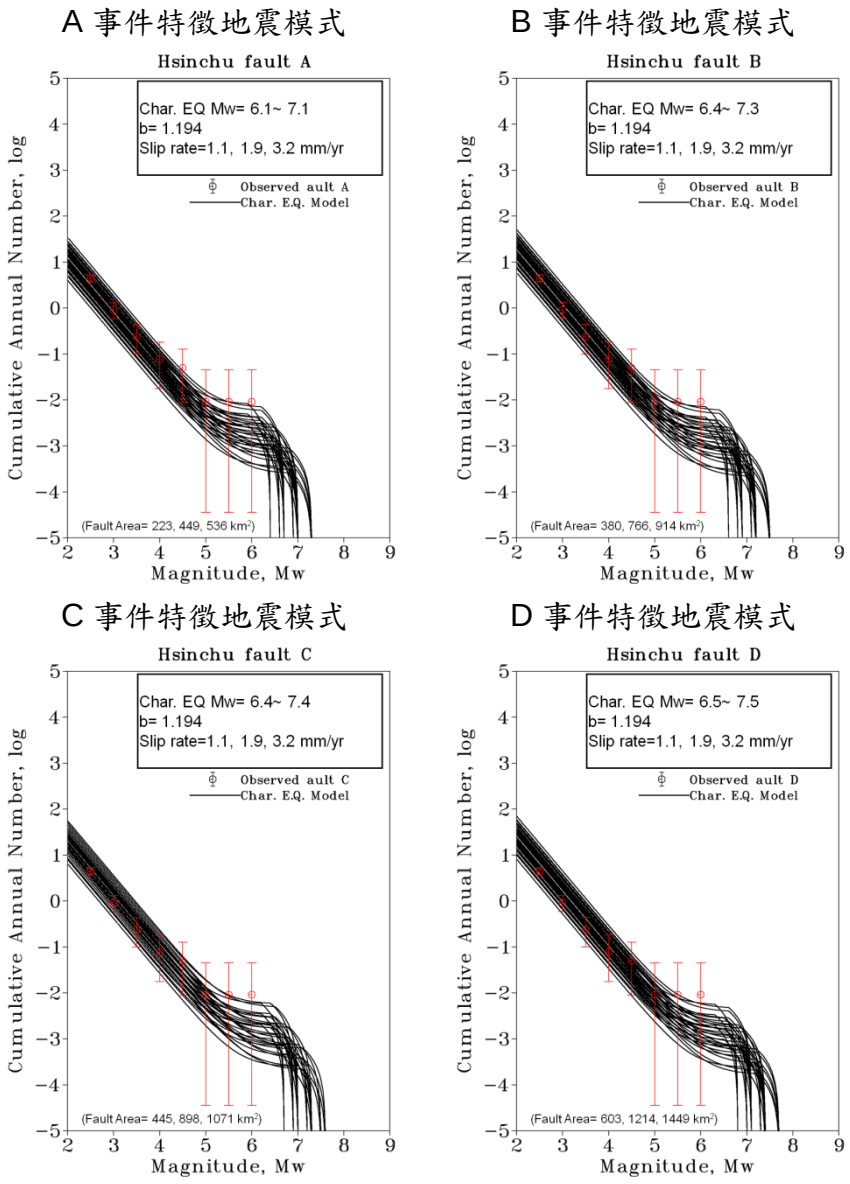


圖 4-3.1：新竹斷層各破裂事件特徵地震模式

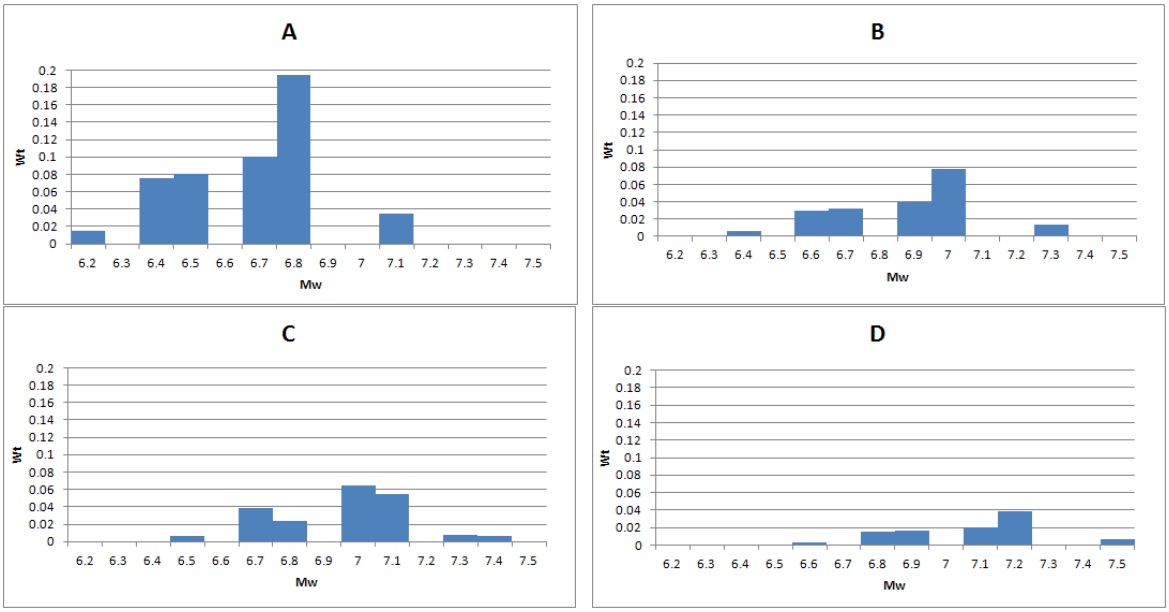


圖 4-3.2：新竹斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和

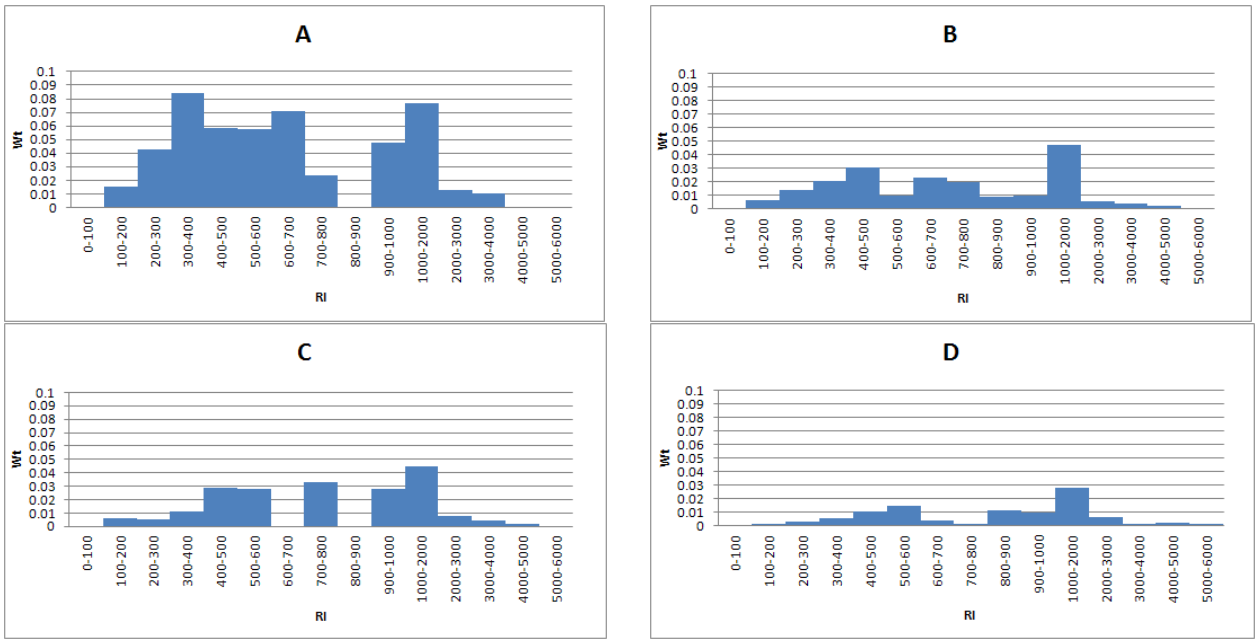


圖 4-3.3：新竹斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和

（a）　　（b）

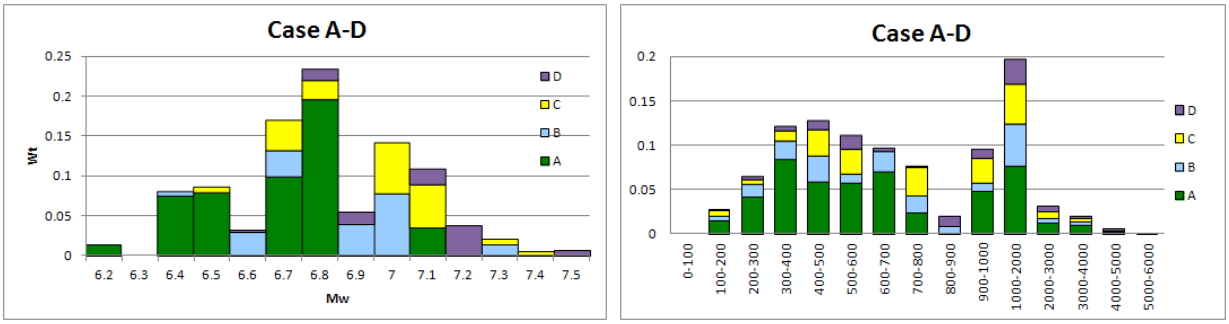


圖 4-3.4：（a）新竹斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）新竹斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖

4-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算新竹斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，新竹斷層最後一次發生時間為未知，因此本計畫採用 Poisson 模式進行評估。

表 4-4.1 為新竹斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2018 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.2~7.5 之機率為 5.2%、8.5%及 15.9%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 4.3%、7.0%及 13.3%。

表 4-4.1：新竹斷層發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.2 ≦ M ≦7.5	5.2%	8.5%	15.9%
M ≧ 6.5	4.3%	7.0%	13.3%

第五章、新城斷層潛勢評估

本章 5-1 節會先介紹前階段計畫本團隊劃設之新城斷層邏輯樹成果，然後說明本計畫參數更新之項目，5-2 節則針對新城斷層更新之參數進行邏輯樹重新劃設，5-3 節為利用特徵地震模式計算各邏輯樹節點之地震復發間隔結果，5-4 節為斷層未來 30、50 及 100 年的發震機率評估結果。

5-1 新城斷層參數更新

5-1-1 前階段計畫成果

前階段計畫在評估新城斷層之破裂模式，綜合地調所（林啟文等，2007）與 Shyu et al.（2005）的看法，將新城斷層以頭前溪為界分為南段及北段。頭前溪以南，頭前溪南岸階地群及中港溪北岸階地皆有錯動跡象，確實度較高，有獨立破裂之可能性；頭前溪以北，地形上無斷層錯動跡象，但仍可能沿著岩性邊界錯動，獨立破裂之可能性較低，因此視為斷層之延伸段。斷層南端位置地調所（林啟文等，2007）與丁權（2012）雖有不同看法，但兩者距離僅相差 1 公里，總長度一樣，因此視為同一種破裂模式。因此前階段計畫評估新城斷層破裂模式，共分為 2 種事件來探討，A 為整段破裂（權重為 0.4），B 為南段破裂（權重為 0.6），如圖 5-1.1 所示。

前階段計畫評估新城斷層之幾何形貌，是彙整前人研究利用震測資料、平衡剖面、地震深度分布等資料進行評估。淺層震測資料顯示斷層傾角為 60 度，但根據平衡剖面資料，斷層應在深處轉為層間滑動，傾角轉緩至約 20~30 度。對整體斷層而言，傾角大致上應為 30~50 度，因此計畫設定傾角 30 度權重 0.2、40 度權重為 0.6、50 度權重為 0.2；另外，破裂深度權重為 8 公里（0.2）、10 公里（0.6）、12 公里（0.2）。

新城斷層之滑移速率，是彙整前人研究利用階地定年、鑽井資料、層位落差等方法計算所得，其中部分年代老於 10 萬年的資料（石同生等，2003；Chen et al., 2004），不足以代表活動斷層現今的活動速率，因此不納入邏輯樹參數設定中；另外，位於斷層末端之滑移速率值（丁權，2012）明顯低於斷層其他位置，不足以代表整段斷層之滑移速率，因此也不納入邏輯樹參數設定中；而石同生等（2003）由鑽井資料推估滑移速率，僅得到保守估計之下限值，僅作參考對照用。因此，計畫依據丁權（2012）、劉力豪（2004）、陳文山等（2003）利用頭前溪階地定年所得之滑移速率設定邏輯樹之參數值，其速率為 1.8~2.5 mm/yr，取其最慢 1.8 mm/yr 為邏輯樹下界，權重佔 0.3，最快 2.5 mm/yr 為上界，權重佔 0.3，中間值 2.1 mm/yr，權重佔 0.4。

前階段計畫新城斷層各節點權重的分配詳如圖 5-1.2 所示。

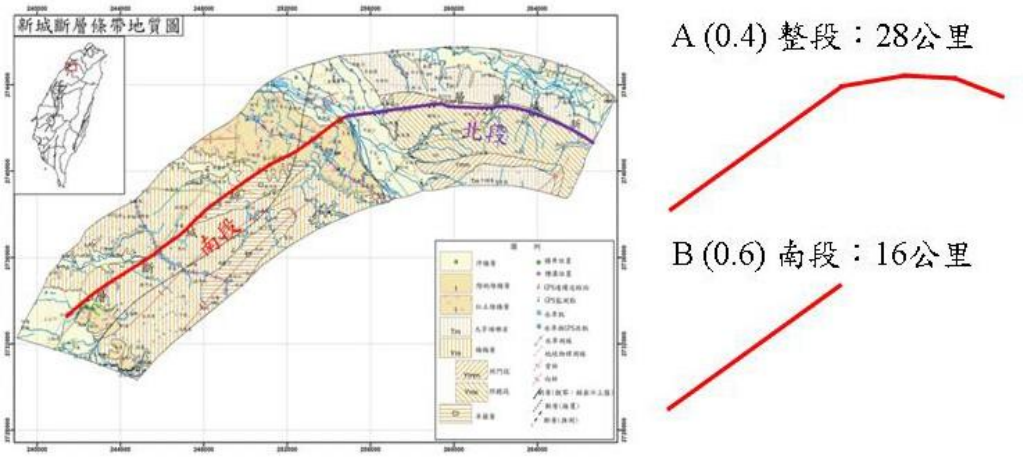


圖 5-1.1：新城斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)

斷層名稱	斷層破裂事件	斷層傾角(度)	斷層深度(km)	特徵地震規模(M_W)	斷層滑移速率(mm/yr)	統計模式

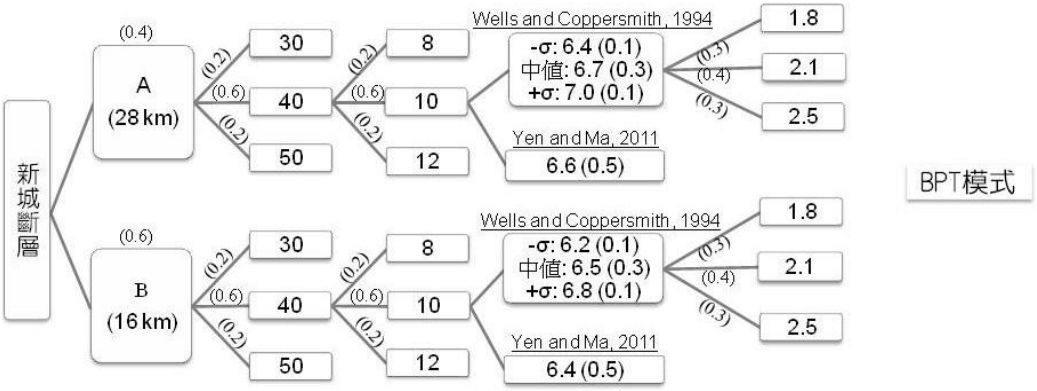


圖 5-1.2：前階段新城斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)

5-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

新城斷層幾何形貌之修改詳 4-1-2 節，新竹斷層和新城斷層傾角是同一方向，而新竹斷層傾角高於新城斷層，兩斷層之孕震深度應在 10 公里左右。

新城斷層幾何面有三種情形：Case 1 為深度 0-10 km，傾角 40°；Case 2 為深度 0-4 km，傾角 35°，水平延伸 7 公里後，深度 4-9 km，傾角 35°；Case 3 為深度 0-3.5 km，傾角 30°，水平延伸 7 公里後，深度 3.5-9 km，傾角 30°。如圖 4-1.5 所示。

5-1-3 孕震深度分析

新城斷層孕震深度分析詳 4-1-3 節。新城斷層上盤 D90 之孕震深度則由靠近斷層之 16-18 公里，往南漸減為 12-16 公里，比本計畫蒐集之平衡剖面深。

根據黃宣維（2012）平衡剖面與地震深度分布(圖 4-1.4)，新竹地區地震活動分布深度主要在集中在 10 公里左右。

5-2 邏輯樹更新

本計畫針對新城斷層邏輯樹更新，詳述如下：

新城斷層分段破裂模式無修改，同圖 5-1.1。

新城斷之傾角及破裂深度，根據 4-1-2 節之幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 Case 1：深度 0-10 km，傾角 40°(權重 0.3)；Case 2：深度 0-4 km，傾角 35°，水平延伸 7 公里後，深度 4-9 km，傾角 35° (權重 0.4)；Case 3：深度 0-3.5 km，傾角 30°，水平延伸 7 公里後，深度 3.5-9 km，傾角 30°(權重 0.3)，詳圖 4-1.5 所示。

新城斷層長期滑移速率相關研究資料彙整於表 5-2.1。另外，參考景國恩等（2018）「斷層活動性觀測研究第四階段-地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估（2/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOKES 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較，三種模型反演得到之結果，新城斷層平均滑移虧損速率下界為 0.5 mm/yr， 上界為 3.7 mm/yr，平均值為 1.3 mm/yr，與地質推估之速率差異不大。新城斷層長期滑移速率在地質調查資料較為充足，本計畫給予階地槽溝定年資料權重 0.3，階地定年權重 0.3，鑽井資料推估權重 0.2，模型反演權重為 0.2，表 5-2.2 為本計畫新城斷層邏輯樹計算之結果，據此設定邏輯樹權重為下界 1.5 mm/yr (0.3)、平均 1.8 mm/yr (0.4)、上界 2.4 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith （1994）及 Yen and Ma （2011）之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith （1994）之標準差作為上下之分支，表 5-2.3 所示為新城斷層各破裂事件地震矩規模，其中 Yen and Ma （2011）為臺灣本土之經驗公式，因此給予較高之權重 0.5。

新城斷層各節點權重的分配詳如圖 5-2.1 所示。

表 5-2.1：新城斷層長期滑移速率相關文獻（灰色表示年代老於 10 萬年）。

文獻	方法	位置	年代	垂直滑移速率 (mm/yr)	淨滑移速率 (mm/yr)
劉力豪，2004；陳文山等，2003	階地槽溝定年	頭前溪 Lt3	66.9 ka	1.27	2.3[1]
丁權，2012	階地定年	頭前溪 Ft2	23 ka	1.0	1.8[1]
丁權，2012	階地定年	頭前溪 Lt1	33.3 ka	1.1	2.0[1]
丁權，2012	階地定年	頭前溪 Lt3	66.9 ka	1.4	2.5[1]
石同生等，2003	階地定年	頭前溪 Lt2	400 ka	0.088-0.88	0.16-1.6[1]
石同生等，2003	鑽井資料	科學園區	28.5 ka	0.73	>1.3[1]
石同生等，2003	鑽井資料	科學園區	28.5 ka	0.37	>0.65[1]
石同生等，2003	震測資料		1.24 Ma	0.88	1.0[1]
石同生等，2003	震測資料		0.8 Ma	0.56	1.6[1]
丁權，2012	鑽井資料	中港溪 Lt1	43.7 ka	0.32	0.76[2,3]
Chen et al., 2004	震測資料		2 Ma		0.7

註 1：淨滑移速率以頭前溪露頭斷層傾角 34 度換算。

註 2：淨滑移速率以鑽井資料斷層傾角 25 度換算。

註 3：調查位置為新城斷層線南端，滑移速率相較頭前溪階地區域低，推測因位在斷層末端而速率減低，不足以代表斷層整段之滑移速率，固不採入邏輯樹參數設定中。

表 5-2.2：本計畫新城斷層長期滑移速率推估結果。

斷層名稱	參考資料	調查方法	權重	下界 (mm/yr)	平均 (mm/yr)	上界 (mm/yr)
新城斷層	劉力豪，2004；陳文山等，2003	階地槽溝定年	0.3	2.3	2.3	2.3
	丁權，2012	階地定年	0.3	1.8	2.2	2.5
	石同生等，2003	鑽井資料	0.2	0.7	1.0	1.3
	景國恩等，2018	1. BLOCKS 2. DEFNODE 3. Baseline Inversion	0.2	0.5	1.3	3.7
	權重加總結果			1.5	1.8	2.4

表 5-2.3：新城斷層各破裂事件規模及權重。

破裂事件	長度 (km)	斷層幾何	寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coppersmith, 1994(破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式) (Mw)
					-σ	中值	+σ	
A	28	深度 0-10 km, 傾角 40°	15.6	437	6.4	6.7	7.0	6.6
		深度 0-4 km, 傾角 35° 水平延伸 7 km 深度 4-9 km, 傾角 35°	22.7	636	6.6	6.9	7.2	6.8
		深度 0-3.5 km, 傾角 30° 水平延伸 7 km 深度 3.5-9 km, 傾角 30°	25.0	700	6.6	6.9	7.2	6.8
B	16	深度 0-10 km, 傾角 40°	15.6	250	6.2	6.5	6.8	6.4
		深度 0-4 km, 傾角 35° 水平延伸 7 km 深度 4-9 km, 傾角 35°	22.7	363	6.3	6.6	6.9	6.6
		深度 0-3.5 km, 傾角 30° 水平延伸 7 km 深度 3.5-9 km, 傾角 30°	25.0	400	6.4	6.7	7.0	6.6

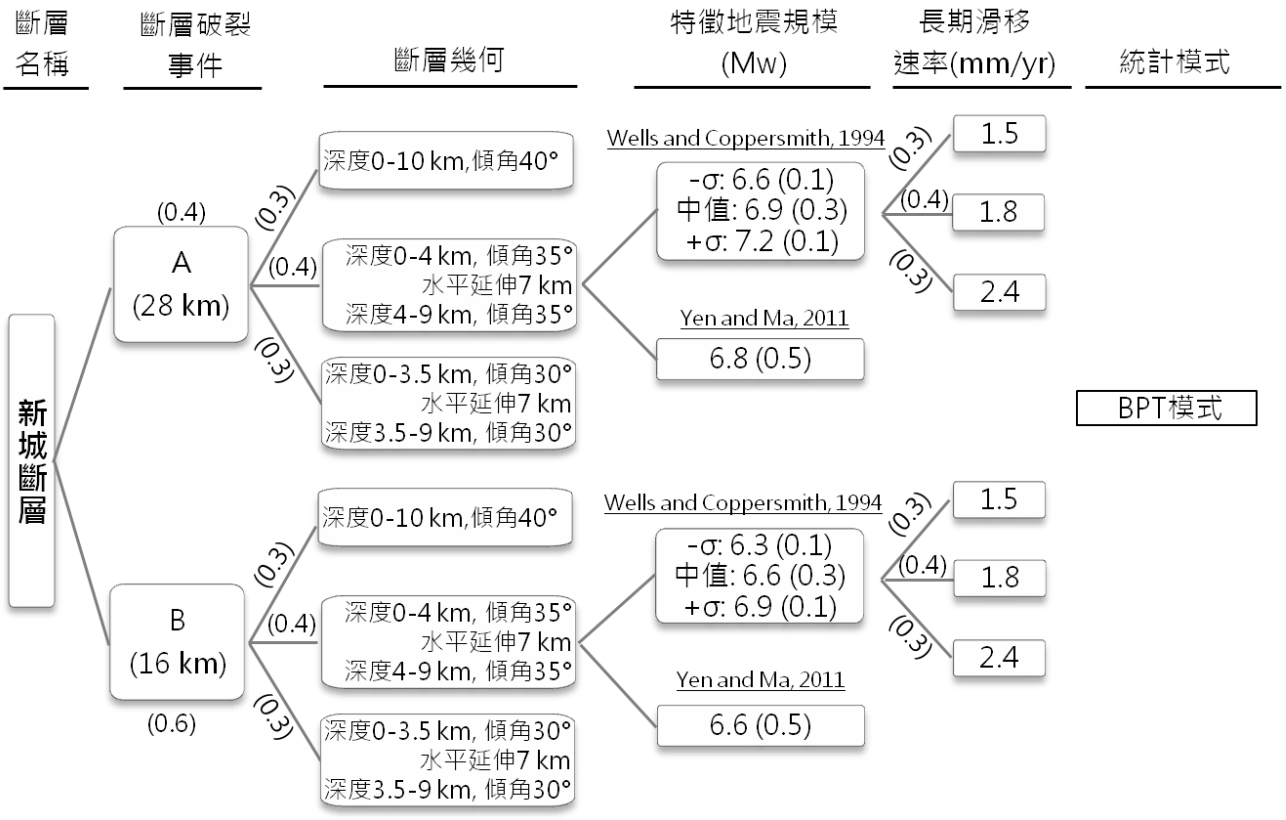


圖 5-2.1：新城斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)

5-3 規模與年發生率之關係

新城斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 5-3.1 為 2 個破裂事件取表 5-2.3 之參數值計算之特徵地震模式分布情形。

圖 5-2.1 之新城斷層邏輯樹可得到 72 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 5-3.2 為 2 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.9 之權重最高；破裂模式 B 以規模 6.7 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 5-3.3 為 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖，破裂模式 A 在地震復發間隔時間 600 年~700 年間有較高之權重，破裂模式 B 在地震復發間隔時間 600~700 年間有較高之權重。

將 2 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 5-3.4（a）之新城斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 5-3.4（b）之新城斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

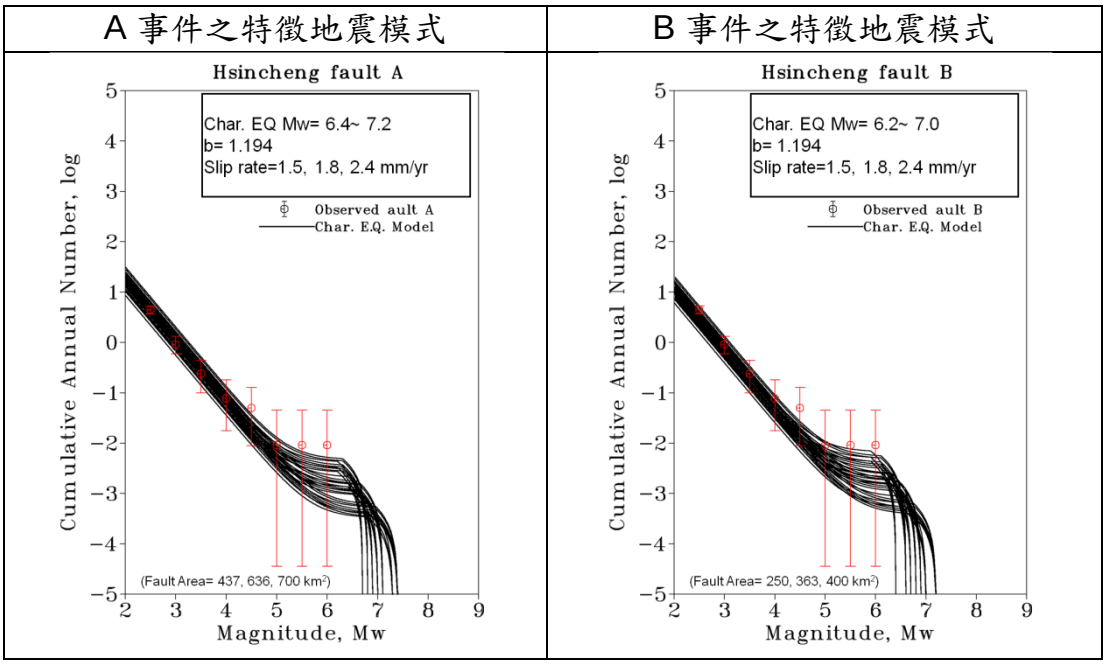


圖 5-3.1：新城斷層各破裂事件之特徵地震模式

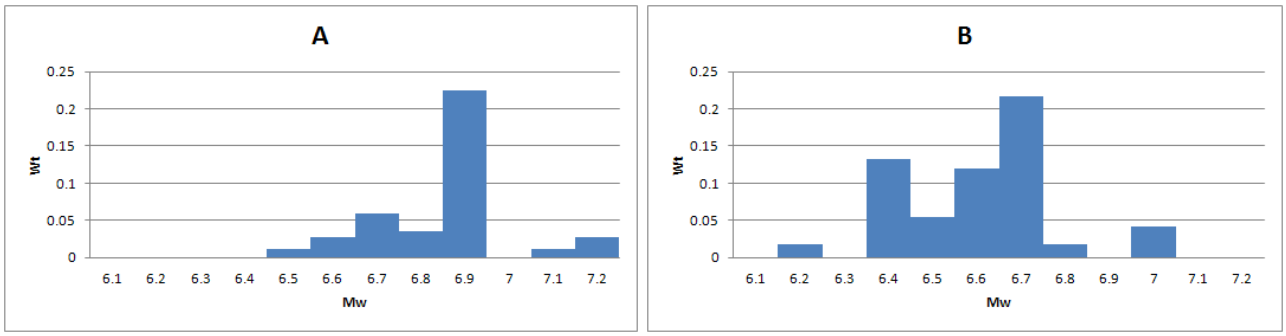


圖 5-3.2：新城斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

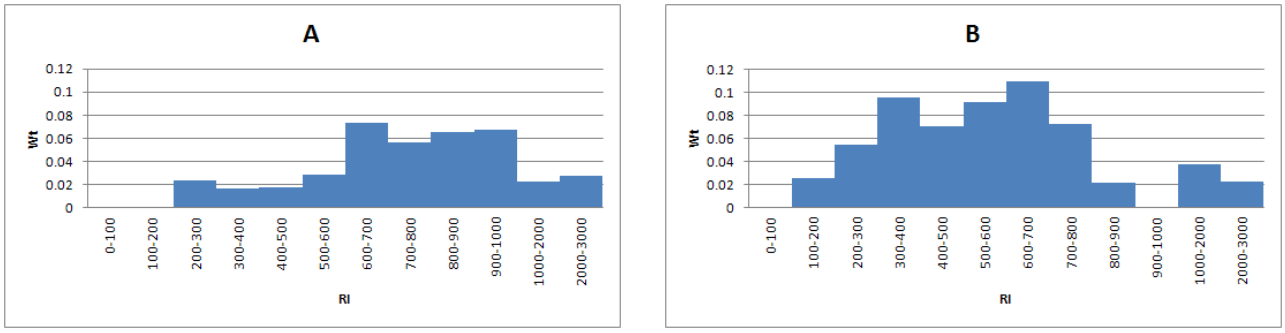


圖 5-3.3：新城斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　　（b）

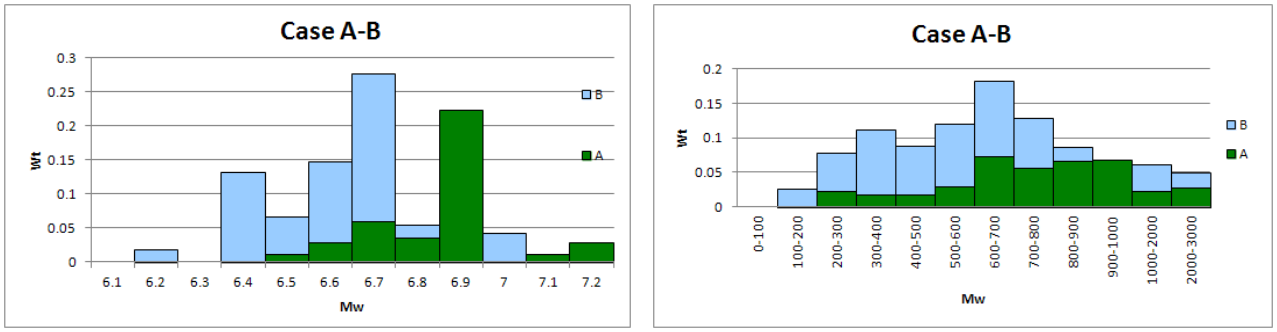


圖 5-3.4：（a）新城斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）新城斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖

5-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算新城斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，新城斷層最後一次發生時間為 300 年前左右，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

表 5-4.1 為新城斷層評估之結果，以西元 2018 年為基準，採用 BPT 模式計算得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.2~7.2 之機率為 6.8%、11.2%及 21.1%，發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 4.1%、6.9%及 13.8%。另以 POISSON 模式計算之結果也列於表 5-4.1 中以供比較。

表 5-4.1：新城斷層發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	Poisson	BPT	Poisson	BPT	Poisson
6.2≦ M ≦7.2	6.8%	5.4%	11.2%	8.7%	21.1%	16.5%
M ≧ 6.5	4.1%	3.9%	6.9%	6.3%	13.8%	12.1%

第六章、獅潭-屯子腳斷層系統潛勢評估

本章 6-1 節先介紹前階段計畫本團隊劃設之獅潭-屯子腳斷層系統邏輯樹成果，然後說明本計畫參數更新之項目，6-2 節則針對獅潭-屯子腳斷層系統更新之參數進行邏輯樹重新劃設，6-3 節為利用特徵地震模式計算各邏輯樹節點之地震復發間隔結果，6-4 節為斷層未來 30、50 及 100 年的發震機率評估結果。

6-1 斷層參數更新

6-1-1 前階段計畫成果

獅潭斷層與屯子腳斷層為西元 1935 年新竹、臺中烈震之地震斷層，考慮兩條斷層為一個系統同時破裂的可能性，在邏輯樹中，破裂模式分為三種，分別為屯子腳斷層單獨破裂、獅潭斷層單獨破裂及獅潭-屯子腳系統破裂。其中由於獅潭斷層屬於背衝形式之逆斷層，是被地震誘發形成之地震斷層，單獨破裂之可能性較低，因此權重上給其 0.2，獅潭-屯子腳系統雖然有系統連動破裂之可能性，但是兩條斷層機制不同，斷層幾何面也難以連接，發生系統破裂的可能性低，因此權重上給其 0.1，屯子腳斷層單獨破裂的權重則給其 0.7，如圖 6-1.1 所示。在評估屯子腳斷層之破裂，是以長度不確定性來區分破裂事件，分別為 A 主斷層段破裂（長度 17 公里），以及 B 主斷層段+延伸段破裂（長度 40 公里），權重設定為 A（0.6）、B（0.4）。獅潭斷層之破裂模式可簡化為三種斷層模型之長度，分別為（C）西元 1935 年地表破裂 15 公里、（D）Huang and Yeh（1992）模擬之 25 公里及（E）往南延伸至屯子腳斷層之 35 公里，權重比為 C（0.6）、D（0.2）、E（0.2）。獅潭-屯子腳系統則是獅潭斷層往南延伸達 35 公里及屯子腳斷層往東延伸達 40 公里，分段破裂模式及權重如圖 6-1.1 所示。

屯子腳斷層之傾角及破裂深度，根據所蒐集到之震測剖面、地物剖面及地震深度分布等資料，前階段計畫認為傾角權重為 65 度（0.2）、75 度（0.6）、85 度（0.2），破裂深度權重為 11 公里（0.2）、13 公里（0.6）、15 公里（0.2）。獅潭斷層之傾角及破裂深度，根據所蒐集到之平衡剖面資料及地震深度分布等資料，前階段計畫認為傾角權重為 40 度（0.2）、50 度（0.6）、60 度（0.2），破裂深度權重為 6 公里（0.2）、8 公里（0.6）、10 公里（0.2）。

前階段未有相關地質調查資料可供計算屯子腳斷層及獅潭之長期滑移速率。前階段計畫參考塊體模型分析結果，屯子腳斷層長期平均滑移速率為 4.08 mm/yr，滑移虧損率為 1.40 mm/yr，將邏輯樹滑移速率數值設定為 4.08 mm/yr（權重 0.5）、1.40 mm/yr（權重 0.5）。獅潭斷層長期平均滑移速率為 2.82 mm/yr，滑移虧損率為 2.17 mm/yr，將邏輯樹滑移速率數值設定為 2.82 mm/yr（權重 0.5）、2.17 mm/yr（權重 0.5）。

各破裂事件之特徵地震規模則代入 Wells and Coppersmith（1994）及 Yen and Ma（2011）之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith

（1994）之標準差作為上下之分支，表 6-1.1 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模，其中 Yen and Ma（2011）為臺灣本土之經驗公式，因此給予較高之權重 0.5。

前階段計畫獅潭-屯子腳斷層系統各節點權重的分配詳如圖 6-1.2 所示。

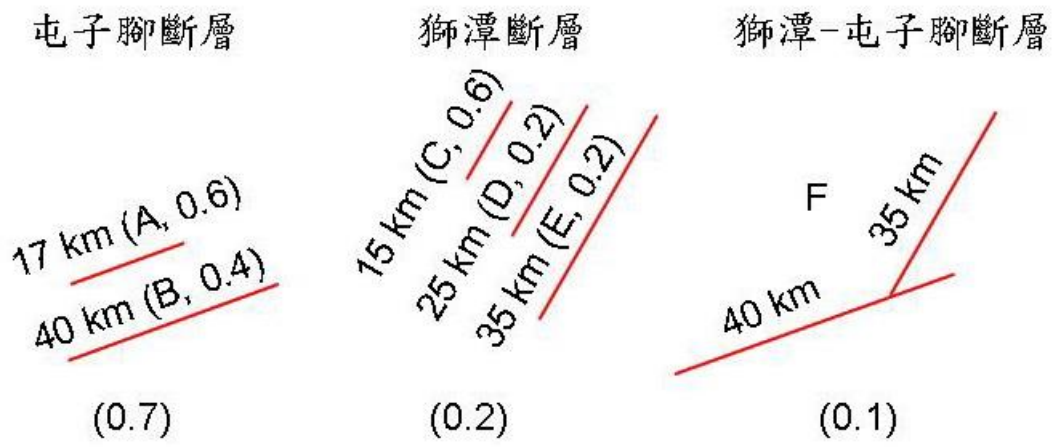


圖 6-1.1：獅潭-屯子腳斷層系統破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)

表 6-1.1：獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件規模計算(胡植慶等，2016)。

	破裂事件	長度(km)	深度(km)	寬度(km)	傾角(度)	面積(km2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式)(Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式)(Mw)
							-σ	中值	+σ	
屯子腳斷層	A	17	13	13.5	75	229	6.2	6.4	6.6	6.4
	B	40	13	13.5	75	538	6.6	6.8	7.0	6.7
獅潭斷層	C	15	8	10.4	50	157	6.0	6.3	6.6	6.2
	D	25	8	10.4	50	261	6.2	6.5	6.8	6.4
	E	35	8	10.4	50	366	6.3	6.6	6.9	6.6
	破裂事件	長度(km)					兩條斷層 Mw 轉換為 M0，相加後再轉換為地震矩規模(Mw)			
獅潭-屯子腳斷層	F	屯子腳斷層 40 km 獅潭斷層 35 km					6.7	7.0	7.3	7.0

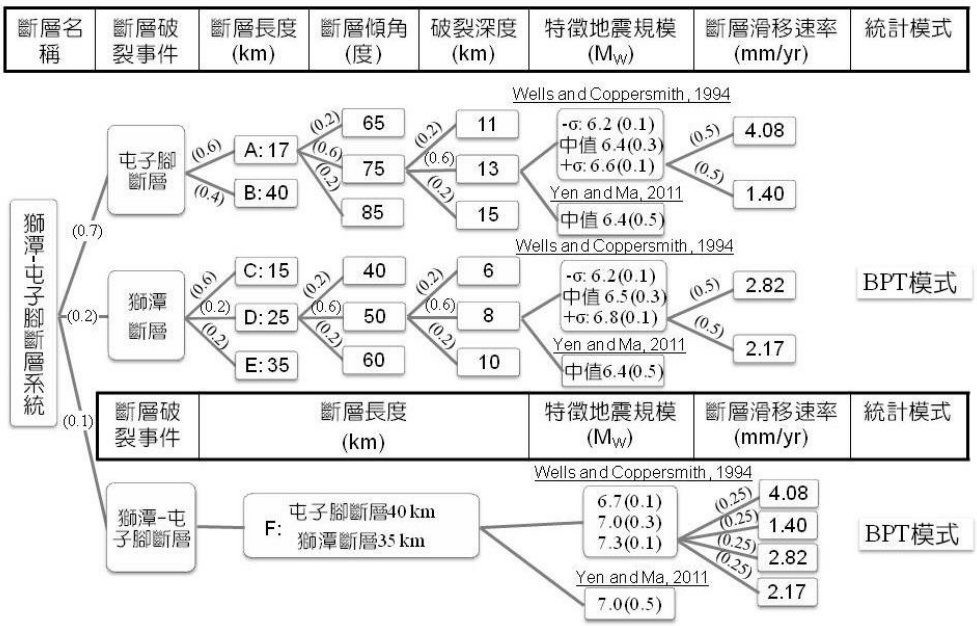


圖 6-1.2：獅潭-屯子腳斷層系統邏輯樹

6-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

前階段計畫屯子腳斷層及獅潭斷層之幾何參考資料詳如表 6-1.2 及表 6-1.3 所示。這兩條斷層由於近期未有新的調查事證，在幾何面上並未進行修改，屯子腳斷層之傾角維持為 75±10 度向南傾，深度為 13±2 公里，獅潭斷層之傾角為 50±10 度向西傾，深度為 8±2 公里。

表 6-1.2：屯子腳斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)。

參考文獻	方法	傾角	深度
Lin et al., 1989	三義-卓蘭地區微震震央分布及投影		苗栗、臺中地區滑脫面約 10 公里
董倫道等，2006	震測剖面；地電剖面	淺部呈開花狀構造	
李奕亨，2009	震測剖面	淺部呈開花狀構造	

表 6-1.3：獅潭斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)。

參考文獻	方法	傾角	深度	寬度
Sheu et al., 1982	1917-1937 的三角測網及水準資料反演	約 50 度		10 km
林燈河，1987	震波資料逆推地下速度構造	傾角約 40 度		15 km
Huang and Yeh, 1992	大地測量	約 30-55 度		11 km
Lin, 2005	平衡剖面	傾角約 45 度	10km	7.5~11.7 km

6-1-3 孕震深度分析

本計畫蒐集 Wu et al. (2017)之 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度空間分布資料，進行孕震深度分析，圖 6-1.3 為獅潭斷層 D90 孕震深度分布圖，顯示獅潭斷層 D90 之孕震深度約在 16-22 公里，比本計畫設定深。比對 Lin(2005)地震深度分布，主要地震仍集中於 10 公里內，如圖 6-1.4 所示。

圖 6-1.5 為屯子腳斷層 D90 孕震深度分布圖，顯示屯子腳斷層 D90 之孕震深度約在 26-28 公里，比本計畫設定深。

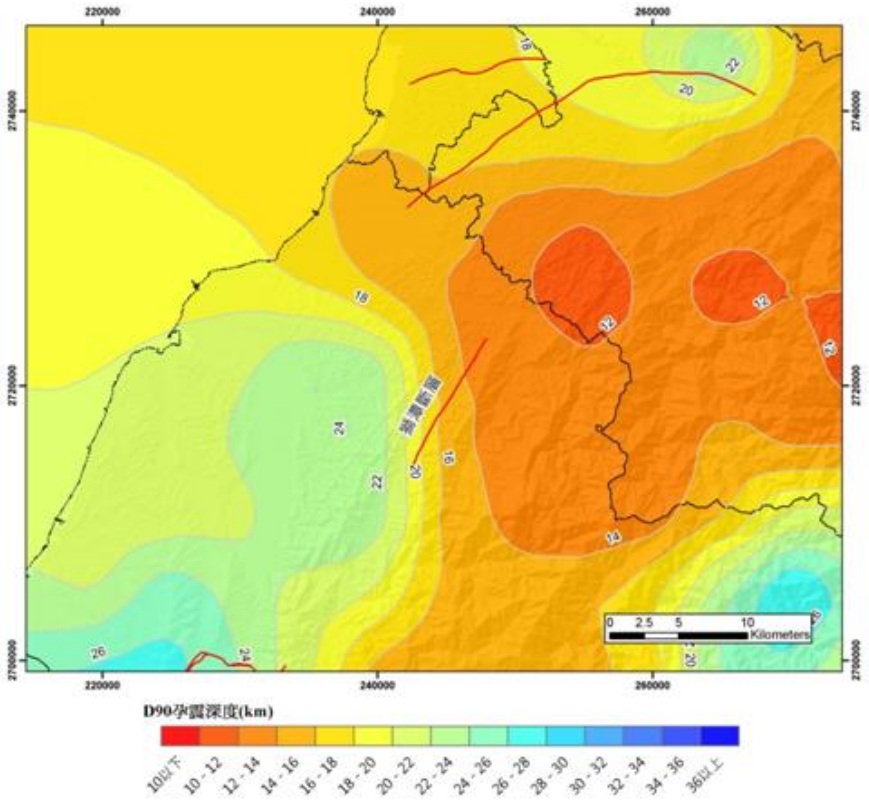


圖 6-1.3：獅潭斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：Wu et al., 2017)

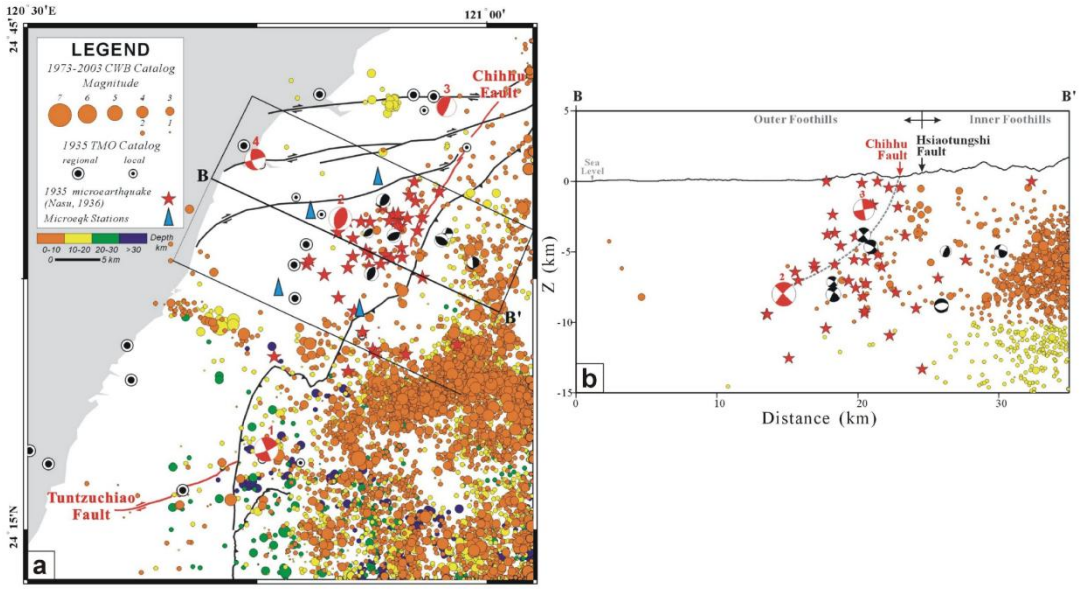


圖 6-1.4：跨獅潭斷層地震分布地圖及地震深度分布剖面。（a）地震分布地圖，圖中圓圈符號為 1973-2003 中央氣象局地震目錄分布，白-黑之圓圈符號為 1935 台北天氣觀測所(TMO)地震目錄，紅色星號為 1935 年餘震紀錄 Nasu(1936)，黑色震源機制為 TMO 規模大於 4 之地震震源機制解，紅色震源機制為 1935 年主震及餘震（鄭世楠，1995; 林燈河，1987）（b）沿著 BB’ 剖面之地震分布（Lin, 2005）

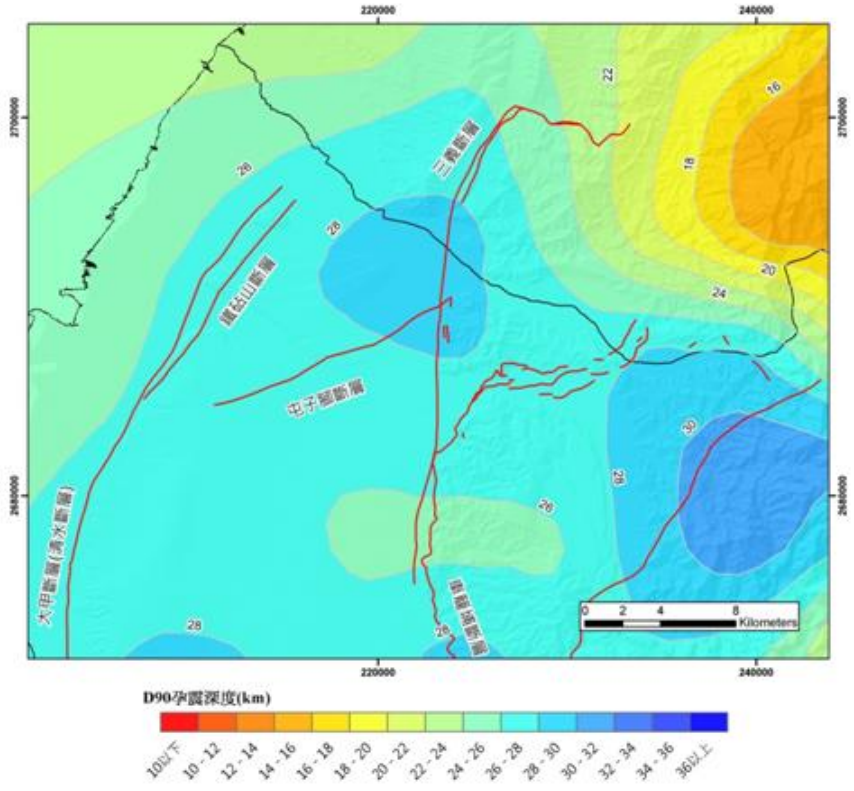


圖 6-1.5：屯子腳斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：Wu et al., 2017)

6-2 邏輯樹更新

本計畫針對獅潭-屯子腳斷層系統邏輯樹更新，詳述如下：

在本計畫第二次專家會議後，修改獅潭-屯子腳斷層系統之分段破裂模式，如圖 6-2.1 所示，由於 1935 年之主震是走向滑移機制，且位於屯子腳斷層東側延伸處，本計畫認為屯子腳斷層單獨破裂之可能性仍是最高，然而仍需提高獅潭斷層獨立破裂及獅潭+屯子腳系統破裂之可能性，因此屯子腳斷層單獨破裂的權重 0.7→0.5；圖 6-2.1 左圖可看到 2 號規模 6.8 之地震位於獅潭斷層之上盤，為逆斷層機制，推測為獅潭斷層破裂引發之第二個主震，本計畫提高獅潭斷層單獨破裂權重 0.2→0.3；第二次專家會議中，專家認為 1935 年之儀器尚不足以解析雙主震，不排除是單一主震所引起，且 1935 年之地震顯示了獅潭及屯子腳斷層均有地表破裂，應考慮提高系統破裂之可能性，因此獅潭+屯子腳系統破裂權重 0.1→0.2。

獅潭及屯子腳傾角及破裂深度無修改，屯子腳斷層之傾角權重為 65 度（0.2）、75 度（0.6）、85 度（0.2），破裂深度權重為 11 公里（0.2）、13 公里（0.6）、15 公里（0.2）。獅潭斷層之傾角權重為 40 度（0.2）、50 度（0.6）、60 度（0.2），破裂深度權重為 6 公里（0.2）、8 公里（0.6）、10 公里（0.2）。

前階段計畫獅潭斷層及屯子腳斷層滑移速率是參考 DEFNODE 分析結果，本計畫則蒐集 Shyu et al. (2016)根據地形崖高差及崖面土壤年代推估之滑移速率，屯子腳斷層為 1.00 ± 0.68 mm/yr，獅潭斷層為 1.86 ± 1.24 mm/yr。另外，參考景國恩等（2018）「斷層活動性觀測研究第四階段-地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估（2/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOKES 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較，三種模型反演得到之結果，屯子腳斷層平均滑移虧損速率下界為 0.4 mm/yr，上界為 5.0 mm/yr，平均值為 1.7 mm/yr；獅潭斷層平均滑移虧損速率下界 3.2 mm/yr，上界為 11.1 mm/yr，平均值為 5.2 mm/yr。本計畫認為利用地形崖高差推估斷層之長期滑移速率，受地表侵蝕因素、地形崖地點之侷限及土壤年代推估之誤差，不確定性仍高，因此給予較低之權重(0.3)，斷層模型反演給予較高之權重(0.7)，表 6-2.1 為本計畫屯子腳斷層及獅潭斷層邏輯樹計算之結果，本計畫據此設定屯子腳斷層邏輯樹權重為下界 0.4 mm/yr (0.3)、平均 1.5 mm/yr (0.4)、上界 4.0 mm/yr (0.3)；獅潭斷層邏輯樹權重為下界 2.4 mm/yr (0.3)、平均 4.2 mm/yr (0.4)、上界 8.7 mm/yr (0.3)。獅潭+屯子腳斷層長期滑移速率則根據能量累計公式計算，如下式：

$$v_{獅潭+屯子腳} = \frac{\mu \cdot A_{屯子腳} \cdot v_{屯子腳} + \mu \cdot A_{獅潭} \cdot v_{獅潭}}{\mu(A_{屯子腳} + A_{獅潭})}$$

由於屯子腳斷層之滑移速率低於獅潭斷層，因此以屯子腳斷層面積上界，獅潭斷層面積下界及兩斷層之滑移速率下界帶入上式計算，可得到 $v_{獅潭+屯子腳}$ 下界為 0.9 mm/yr；以屯子腳斷層面積下界，獅潭斷層面積上界及兩斷層之滑移速率上界帶入上式計算，可得到 $v_{獅潭+屯子腳}$ 上界為 6.6 mm/yr；以屯子腳斷層面積中值，獅潭斷層面積中值及兩

斷層之滑移速率中值帶入上式計算，可得到 v $_{獅潭+屯子腳}$ 中值為 2.6 mm/yr。邏輯樹權重為 0.9 mm/yr (0.3)、2.6 mm/yr (0.4)、6.6 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith （1994）及 Yen and Ma （2011）之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith （1994）之標準差作為上下之分支，表 6-2.2 所示為獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件地震矩規模，其中 Yen and Ma （2011）為臺灣本土之經驗公式，因此給予較高之權重 0.5。

獅潭-屯子腳斷層系統各節點權重的分配詳如圖 6-2.2 所示。

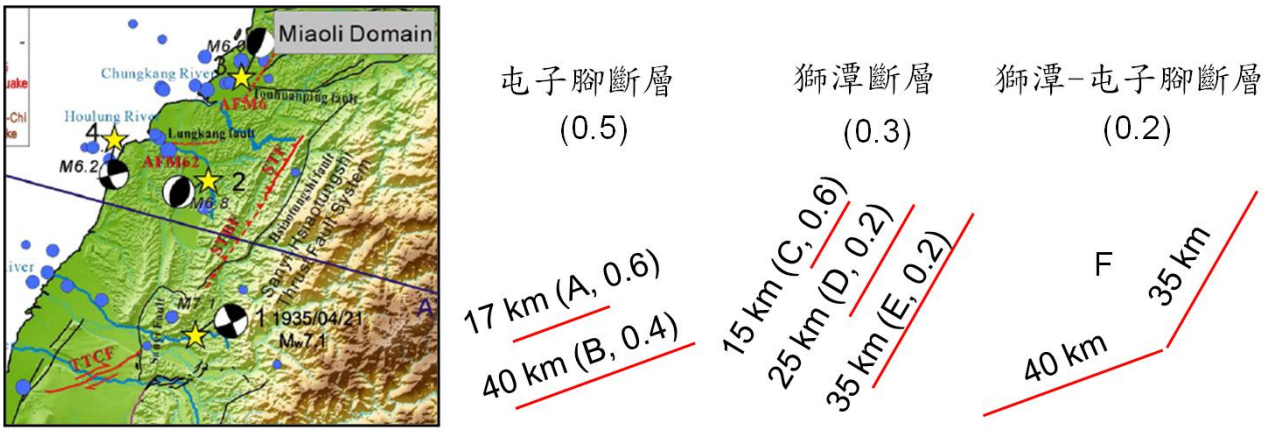


圖 6-2.1：本計畫修改之獅潭-屯子腳斷層系統破裂模式及權重分配

表 6-2.1：本計畫屯子腳斷層及獅潭斷層長期滑移速率推估結果。

斷層名稱	參考資料	方法	權重	下界 (mm/yr)	平均 (mm/yr)	上界 (mm/yr)
屯子腳斷層	Shyu et al., 2016	地形崖高差及崖面土壤年代	0.3	0.32	1.0	1.68
	景國恩等，2018	1. BLOCKS 2. DEFNODE 3. Baseline Inversion	0.7	0.4	1.7	5.0
	權重加總結果			0.4	1.5	4.0
獅潭斷層	Shyu et al., 2016	地形崖高差及崖面土壤年代	0.3	0.62	1.86	3.1
	景國恩等，2018	1. BLOCKS 2. DEFNODE 3. Baseline Inversion	0.7	3.2	5.2	11.1
	權重加總結果			2.4	4.2	8.7

表 6-2.2：獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件規模及權重。

斷層名稱	破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	寬度 (km)	傾角 (度)	面積 (km2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式) (Mw)
							-σ	中值	+σ	
屯子腳	A	17	13	13.5	75	229	6.2	6.4	6.6	6.4
	B	40	13	13.5	75	538	6.6	6.8	7.0	6.7
獅潭	C	15	8	10.4	50	157	6.0	6.3	6.6	6.2
	D	25	8	10.4	50	261	6.2	6.5	6.8	6.4
	E	35	8	10.4	50	366	6.3	6.6	6.9	6.6
獅潭+屯子腳	F	TTCF: 40 km STF: 35 km	TTCF: 傾角 75˚,深度 13 km STF: 傾角 50˚,深度 08 km			904	6.7	7.0	7.3	7.0

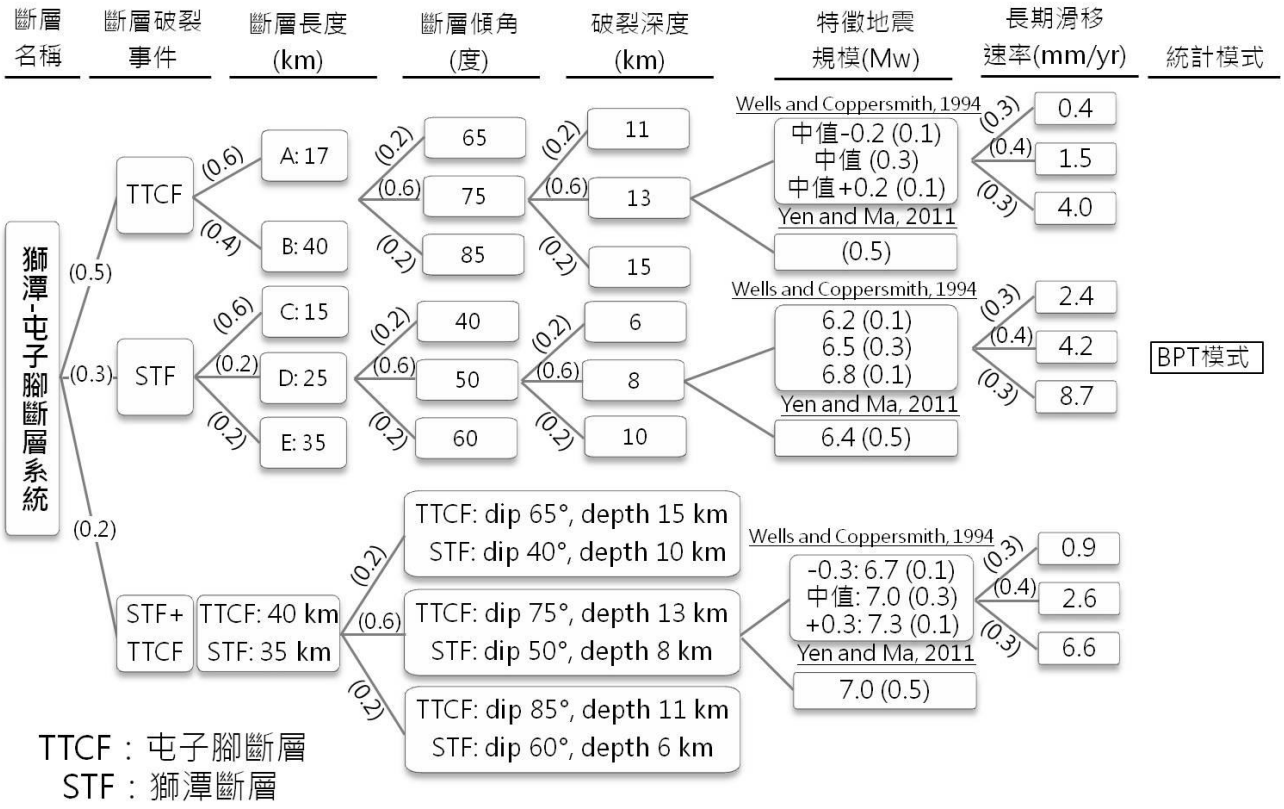


圖 6-2.2：獅潭-屯子腳斷層系統更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件權重、滑移速率)

6-3 規模與年發生率之關係

獅潭—屯子腳斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 6-3.1 為 6 個破裂事件取表 6-2.2 的參數值之特徵地震模式分布情形。

圖 6-2.2 之獅潭—屯子腳斷層邏輯樹可得到 576 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 6-3.2 為 6 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.4 之權重最高;破裂模式 B 以規模 6.8 之權重最高;破裂模式 C 以規模 6.2 之權重最高；破裂模式 D 以規模 6.5 之權重最高；破裂模式 E 以規模 6.6 之權重最高；破裂模式 F 以規模 7.0 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 6-3.3 為 6 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。

將 6 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 6-3.4（a）之獅潭—屯子腳斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 6-3.4（b）之獅潭—屯子腳斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

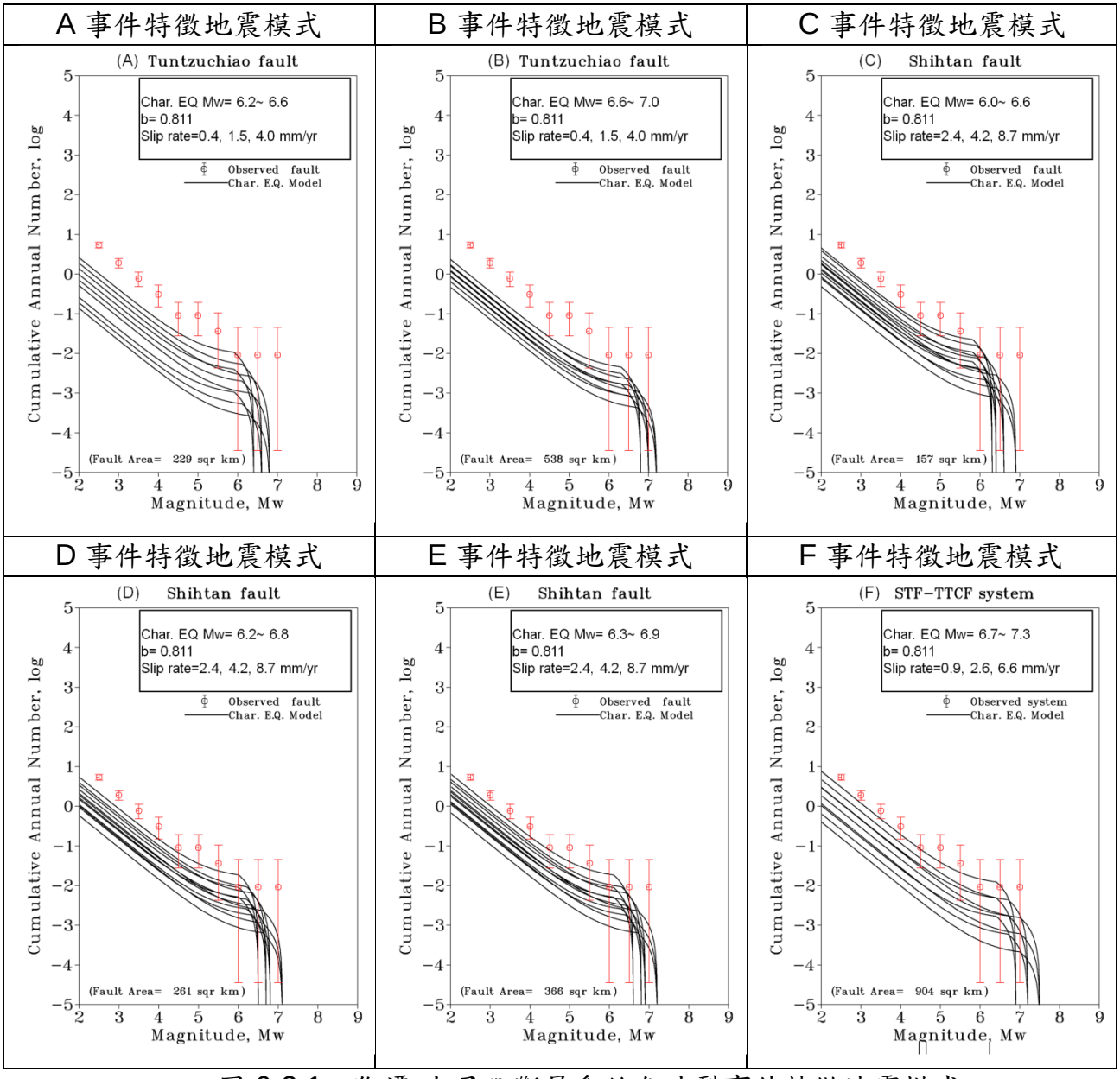


圖 6-3.1：獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件特徵地震模式

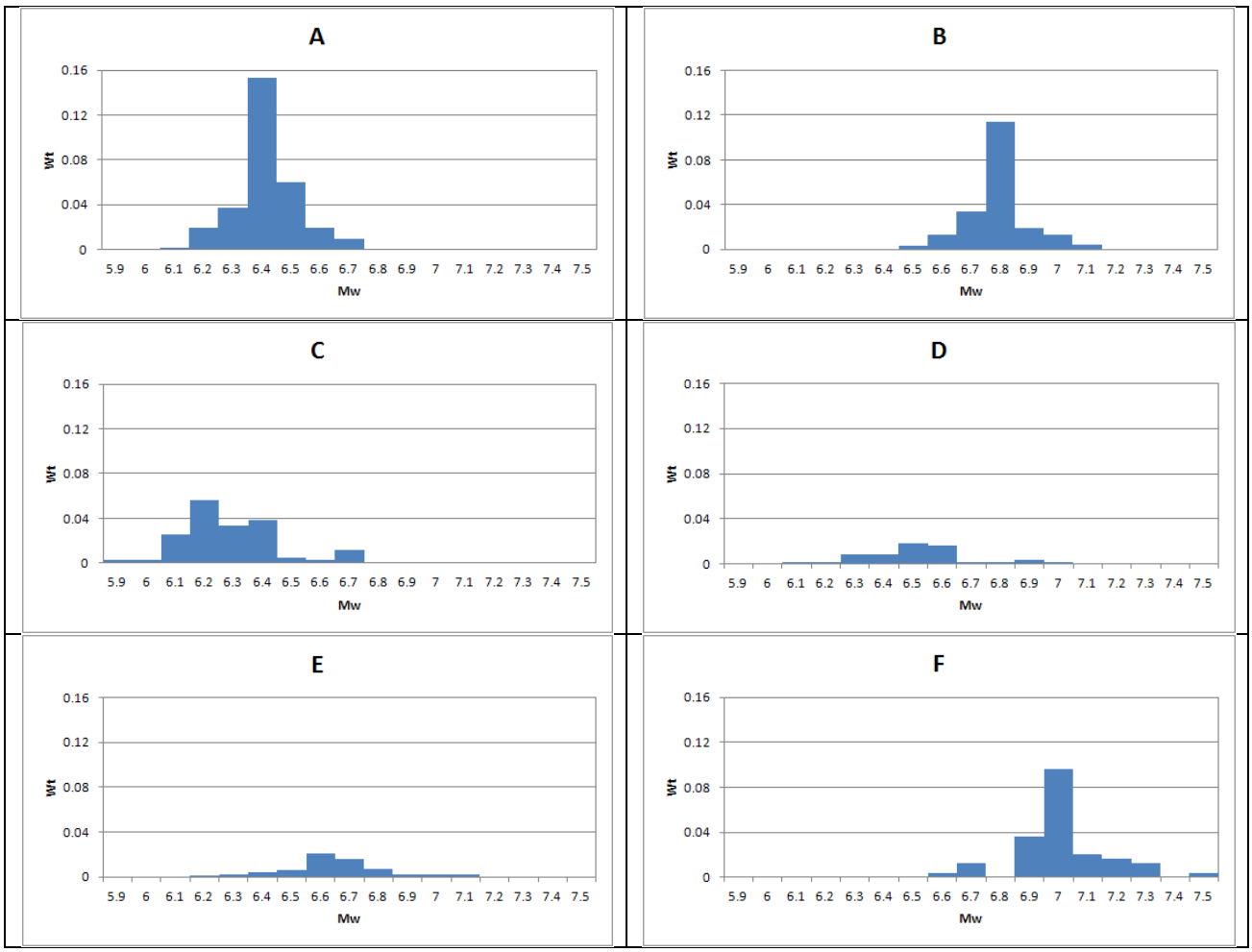


圖 6-3.2：獅潭—屯子腳斷層系統 6 種破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和

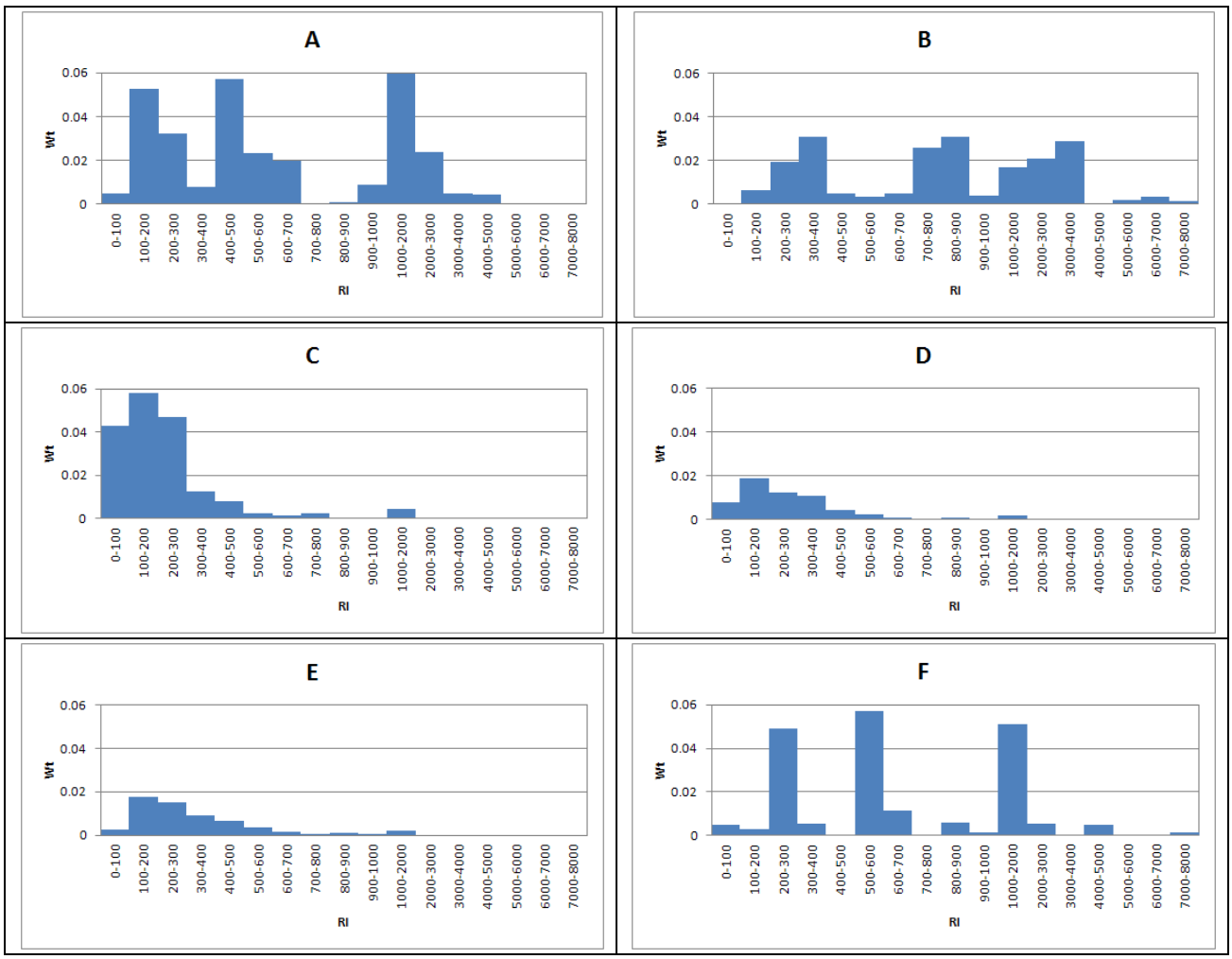


圖 6-3.3:獅潭-屯子腳斷層系統 6 種破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間區間之權重總和

（a）　　（b）

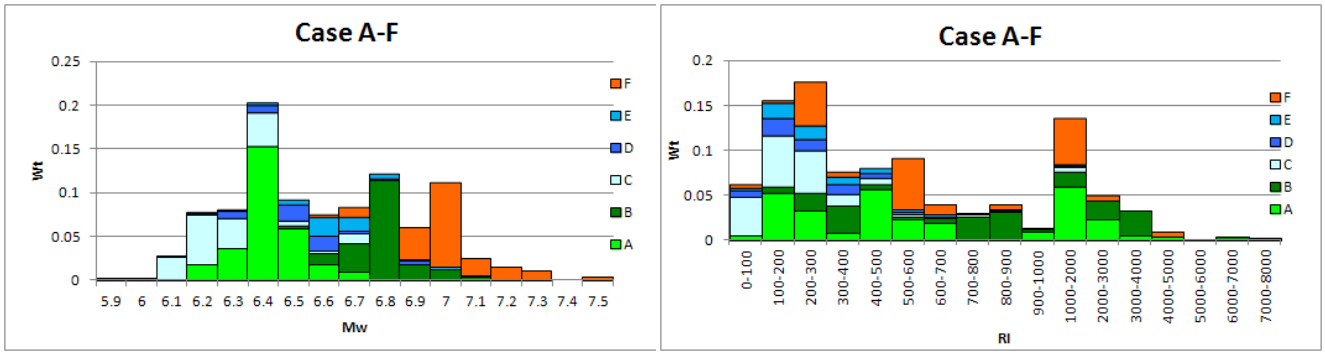


圖 6-3.4：（a）獅潭—屯子腳斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）獅潭—屯子腳斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖

6-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算獅潭─屯子腳斷層系統未來 30、50 及 100 年的發生機率，獅潭─屯子腳斷層系統最後一次發生時間為西元 1935 年，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

表 6-4.1 為獅潭─屯子腳斷層系統評估之結果，以西元 2018 年為基準，採用 BPT 模式得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 5.9~7.5 之機率為 9.3%、14.4%及 25.0%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 2.5%、4.3%及 8.8%。另以 POISSON 模式計算之結果也列於表 6-4.1 中以供比較。

表 6-4.1：獅潭-屯子腳斷層系統發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	Poisson	BPT	Poisson	BPT	Poisson
5.9~7.5	9.3%	9.7%	14.4%	15.2%	25.0%	26.2%
M ≧6.5	2.5%	4.0%	4.3%	6.5%	8.8%	11.8%

第七章、三義斷層潛勢評估

本章 7-1 節先介紹前階段計畫本團隊劃設之三義斷層邏輯樹成果，然後說明本計畫參數更新之項目，7-2 節則針對三義斷層更新之參數進行邏輯樹重新劃設，7-3 節為利用特徵地震模式計算各邏輯樹節點之地震復發間隔結果，7-4 節為斷層未來 30、50 及 100 年的發震機率評估結果。

7-1 三義斷層參數更新

7-1-1 前階段計畫成果

前階段計畫在評估三義斷層之破裂，由於北段及南段的延伸與否可分為 4 種破裂事件來探討，A 為中段破裂，B 為北+中段破裂，C 為中+南段破裂，D 為北+中+南段破裂，權重分配為 A（0.5），B（0.2），C（0.2），D（0.1），如圖 7-1.1 所示。

三義斷層之傾角及破裂深度，根據所蒐集到之震測剖面、平衡剖面及地震深度分布等資料，認為傾角權重為 20 度（0.3），25 度（0.4），30 度（0.3），破裂深度權重為 7 公里（0.2），9 公里（0.6），11 公里（0.2）。

三義斷層之滑移速率上節中提到有平衡剖面推估及野外地形崖/階地年代推估兩種方法，前階段計畫將此兩種方法所得到的滑移速率上下限值給予相同的權重，分別為 0.4（0.25），1.9（0.25），2.0（0.25），3.6（0.25）。

各破裂事件之特徵地震規模則代入 Wells and Coppersmith （1994）及 Yen and Ma（2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith（1994）之標準差作為上下之分支，表 7-1.1 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模，其中 Yen and Ma（2011）為臺灣本土之經驗公式，因此給予較高之權重 0.5。

前階段計畫三義斷層各節點權重的分配詳如圖 7-1.2 所示。

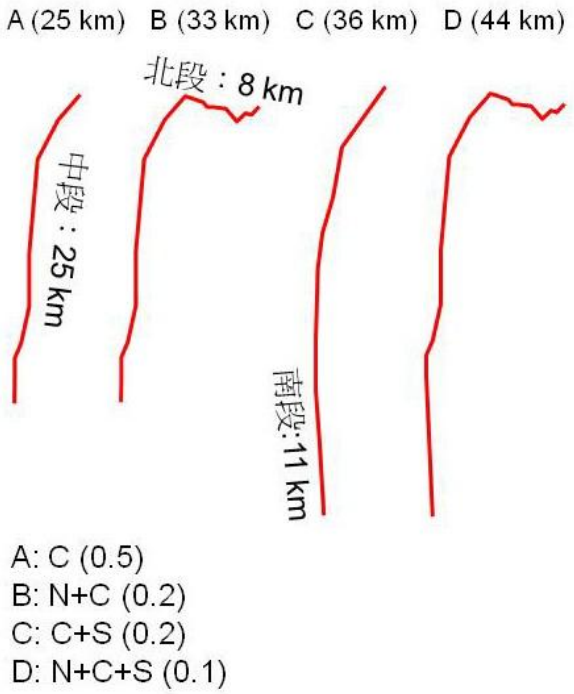


圖 7-1.1：三義斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)

表 7-1.1：三義斷層之中值各破裂事件規模及權重(胡植慶等，2016)。

破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	寬度 (km)	傾角 (度)	面積 (km2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式) (Mw)
						-σ	中值	+σ	
A	25	9	21.3	25	532	6.5	6.8	7.1	6.7
B	33	9	21.3	25	703	6.6	6.9	7.2	6.8
C	36	9	21.3	25	767	6.6	6.9	7.2	6.9
D	44	9	21.3	25	937	6.7	7.0	7.3	7.0
權重						0.1	0.3	0.1	0.5

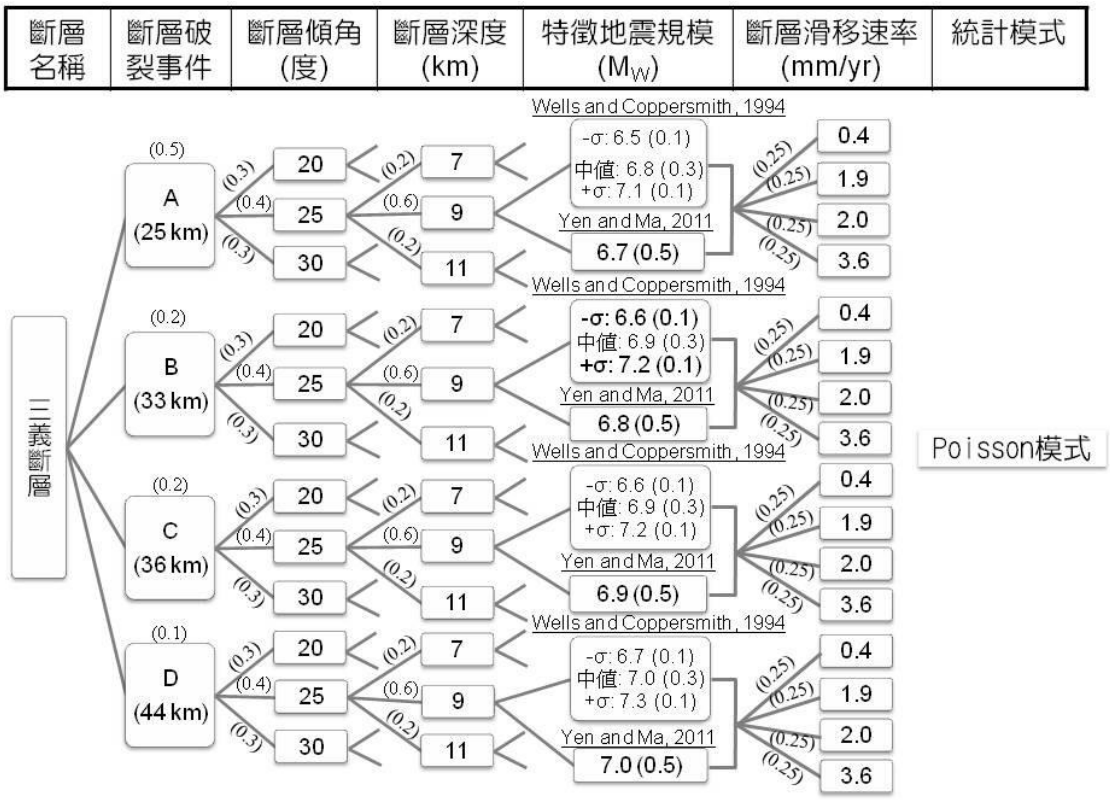


圖 7-1.2：前階段三義斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)

7-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

由於三義斷層南段是與車籠埔斷層平行，兩斷層距離僅 0~3 公里，因此本計畫在考慮三義斷層的幾何面，分為車籠埔斷層以北(三義斷層為獨立斷層)，及車籠埔斷層以南(車籠埔斷層與三義斷層平行之處)。

車籠埔斷層以北三義斷層的幾何面，參考楊耿明等(Yang et al., 2007)之震測剖面及地質平衡剖面，三義斷層為低角度逆衝斷層，傾角約為 15 度(圖 7-1.3)，而在大安溪以北之剖面，顯示出磺坑背斜於此處隱伏於三義斷層之下，使得三義斷層呈現不平滑之斷層面，如圖 7-1.4 所示，其趨勢約為 25 度。本計畫考慮車籠埔斷層以北三義斷層的傾角有 15 度及 25 度兩種情形，破裂深度皆為 10 公里，如圖 7-1.5 所示。

車籠埔斷層與三義斷層平行之處，從 Yue et al. (2005)剖面中，三義斷層之幾何與車籠埔斷層是近乎平行的往地下延伸，如圖 7-1.6 所示，為使中部地區活動斷層幾何面不會有互相穿插之不合理情形，本計畫考慮此段三義斷層的幾何面平行於車籠埔斷層。而中部地區車籠埔斷層之幾何形貌及權重已於第一年之計畫中設定完成，如圖 7-1.7 所示，因此本計畫參考圖 7-1.7 之剖面設定三義斷層三種情形之傾角與車籠埔斷層一致，分別為 25 度，35 度及 40 度，破裂深度則止於基底滑脫面。

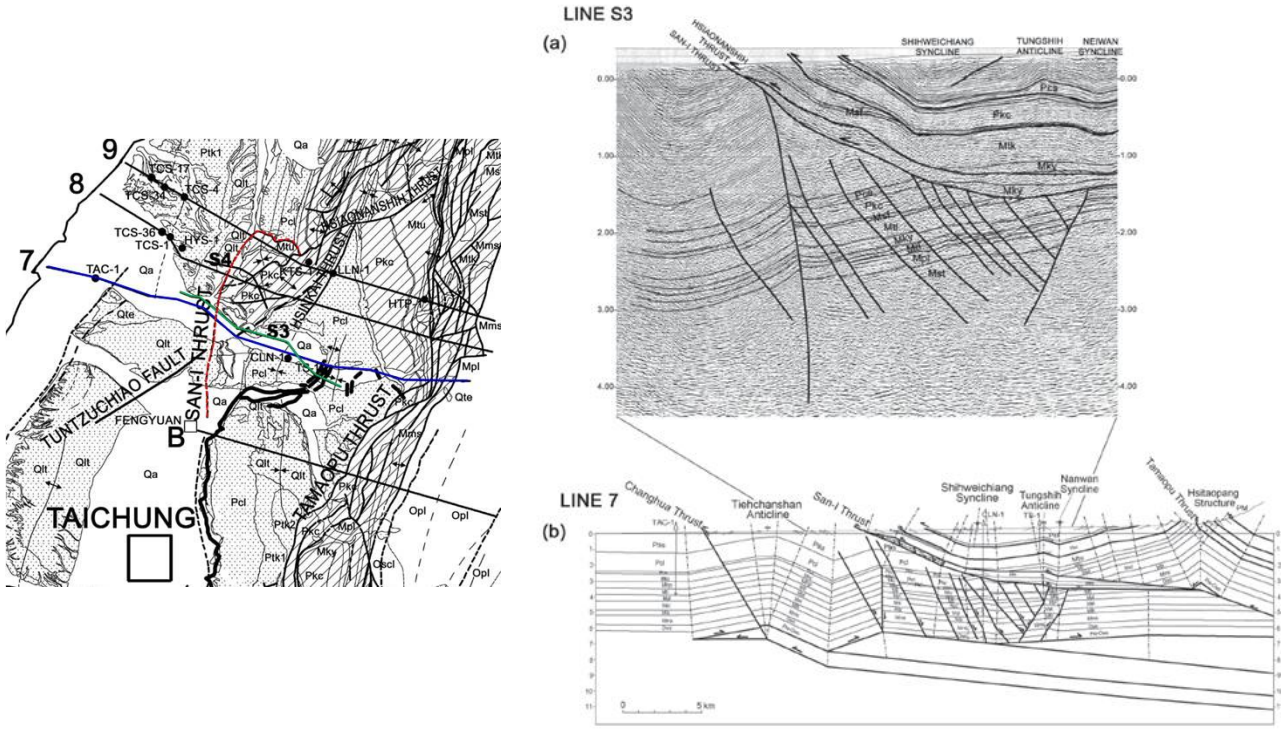


圖 7-1.3：楊耿明等(2007)跨三義斷層之震測及地質平衡剖面圖。左圖為三義斷層附近區域地質圖，紅色線段為三義斷層位置，綠色線段為震測線 S3 位置，藍色線段為平衡剖面線 Line 7 位置。右圖上為震測剖面 S3，右圖下為平衡剖面 Line 7 (Yang et al., 2007)

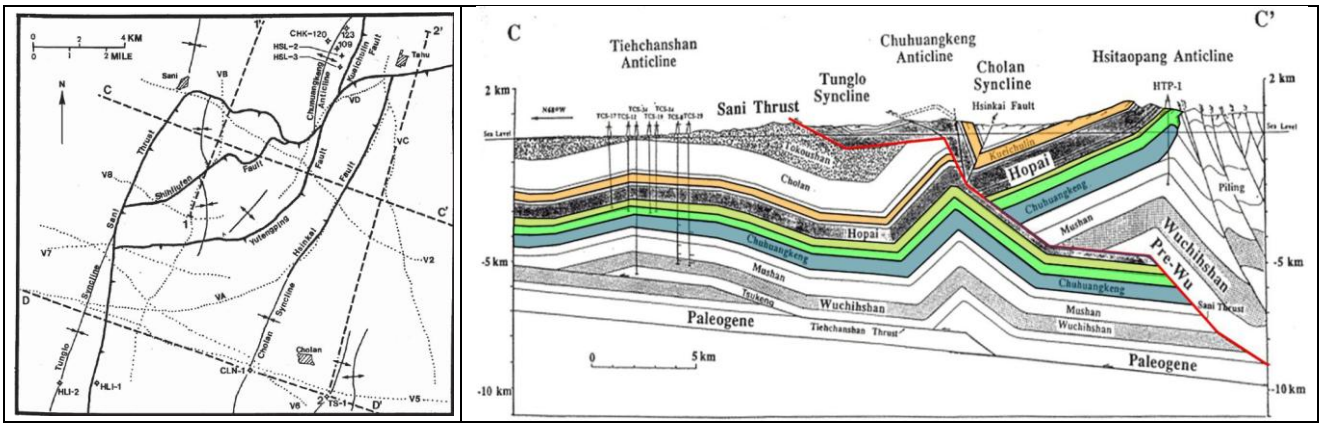


圖 7-1.4：Hung and Wiltschko (1993)三義斷層大安溪以北之構造剖面圖。左圖為三義斷層北部震測(點線)及構造剖面(虛線)位置分布圖。右圖為 CC’ 構造剖面圖(Hung and Wiltschko, 1993)

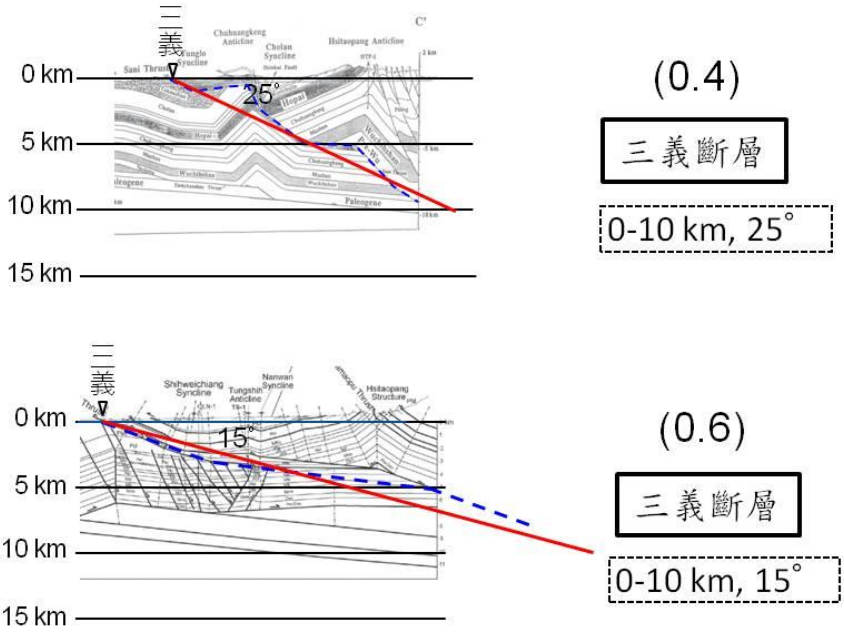


圖 7-1.5：本計畫三義斷層(車籠埔斷層以北)幾何形貌設定。藍線為三義斷層於地質剖面中之形貌，紅線為本計畫設定之幾何形貌

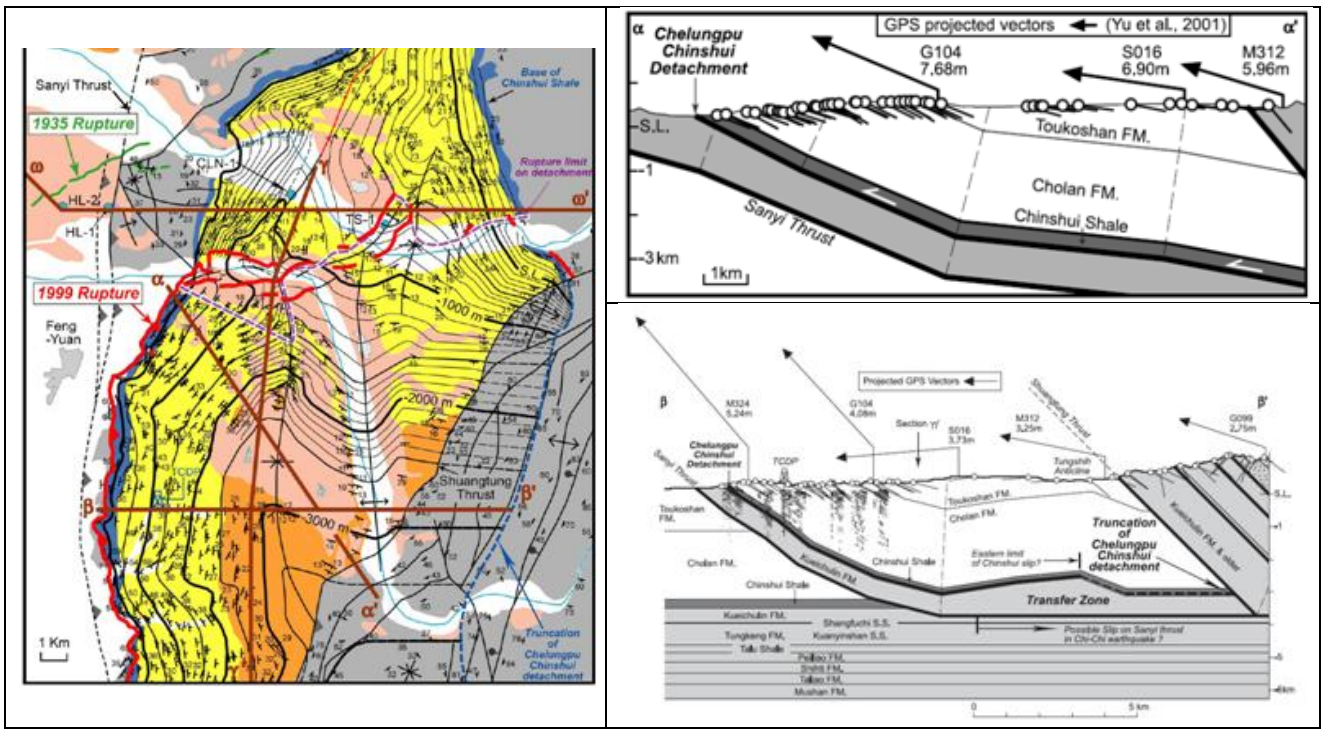


圖 7-1.6：跨三義斷層之地質平衡剖面圖。左圖為車籠埔斷層北段附近區域地質圖，紅色線段為車籠埔斷層位置，褐色線段為地質構造剖面線位置。右圖上為構造剖面$\alpha\ \alpha$’，右圖下為構造剖面$\beta\ \beta$’ (Yue et al., 2005)

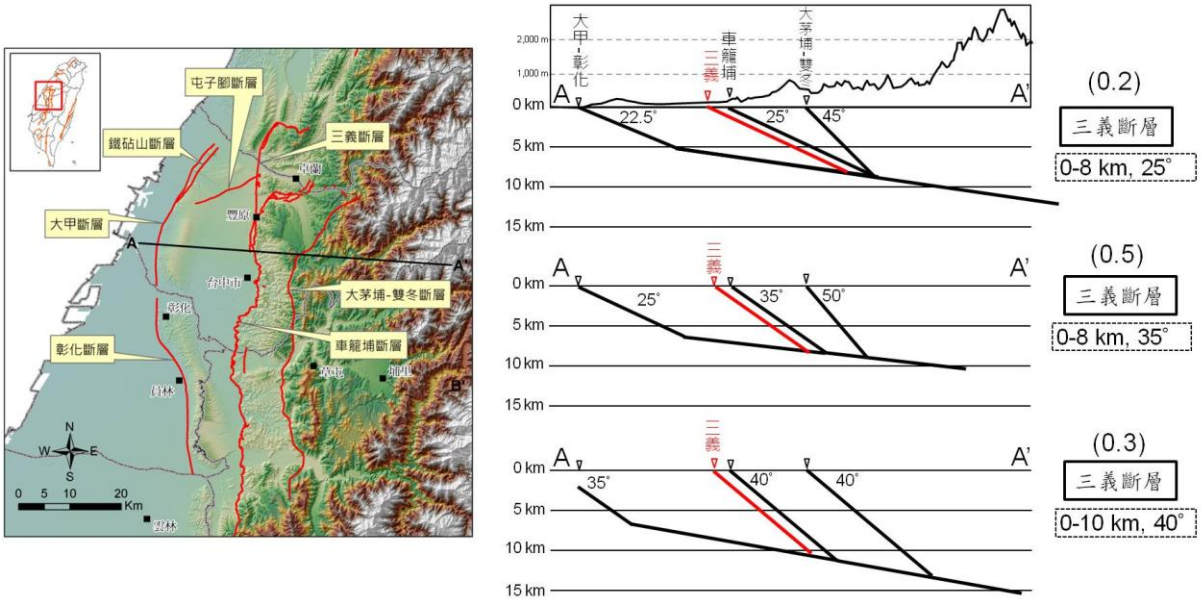


圖 7-1.7：本計畫三義斷層(車籠埔斷層以南)幾何形貌設定

7-1-3 孕震深度分析

本計畫蒐集 Wu et al. (2017)之 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度空間分布資料，針對三義斷層進行孕震深度分析，圖 7-1.8 為三義斷層 D90 孕震深度分布圖。結果顯示三義斷層 D90 之孕震深度約在 22-28 公里，比本計畫蒐集之平衡剖面深。

根據三義、卓蘭地區微震分布推測，區域之基底滑脫面位於深度約 9-10 公里處(圖 7-1.9)，在深度 20 公里以下仍有零星地震，推測是由深部構造產生之地震。Yu et al. (2005)結合地質剖面和地震深度分布，也顯示三義斷層滑脫面集中於約 10 公里深度(圖 7-1.10)。

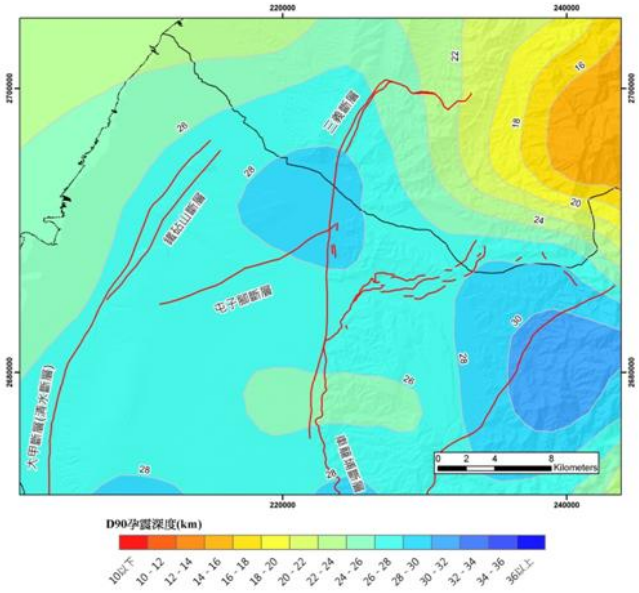


圖 7-1.8：三義斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：Wu et al., 2017)

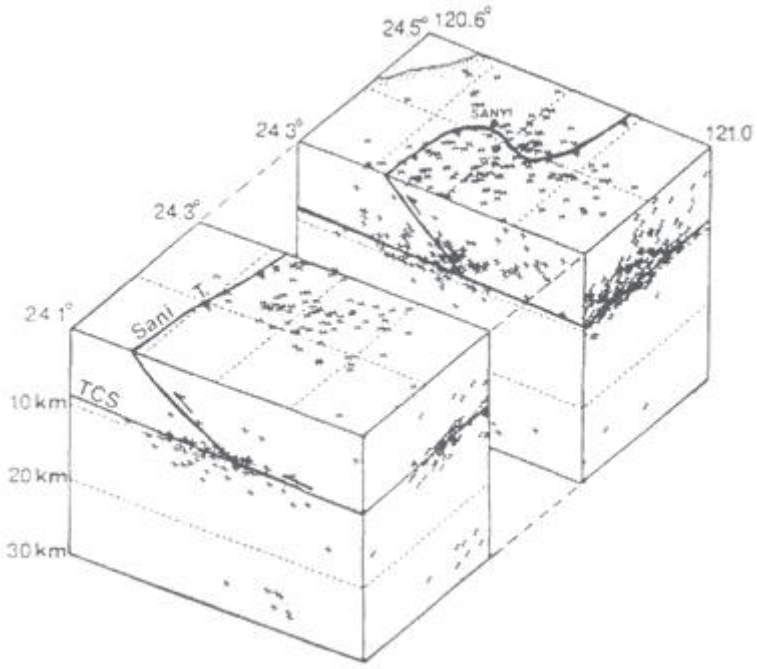


圖 7-1.9：三義一卓蘭地區微震震央分布及投影情況(Lin et al., 1989)

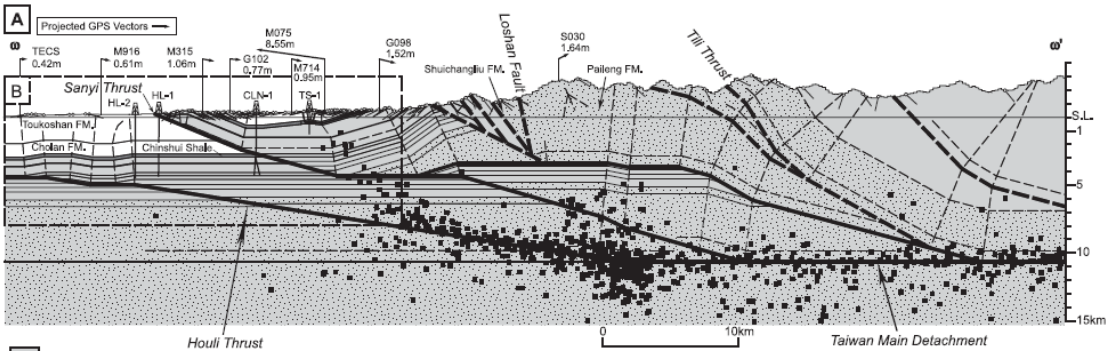


圖 7-1.10：跨三義斷層地質剖面及微震投影。剖面線位於圖 7-1.6 之ω ω’(Yu et al., 2005)

7-2 邏輯樹更新

本計畫針對三義斷層邏輯樹更新，詳述如下：

三義斷層分段破裂模式修改如圖 7-2.1，共分為四種破裂模式。A：三義斷層於大安溪以北，斷層下方因出磺坑背斜通過，斷層幾何上形成階梯狀，使得其獨立破裂不易，此處也是三義斷層與屯子腳斷層交會之處，建議分段點設於此，權重較低，設為 0.2；B：三義斷層與車籠埔斷層不重疊之處，較易獨自累積能量並傳導至北段，權重較高，設為 0.5；C：三義斷層與車籠埔斷層重疊部分，其能量易被車籠埔斷層瓜分，因此降低其權重，設為 0.2；D：三義斷層整段破裂，可能性低於以上三種模式，權重設為 0.1。

三義斷層之傾角及破裂深度，本計畫考慮車籠埔斷層以北三義斷層的傾角有參考 Yang et al. (2007)平衡剖面之 15 度及 Hung and Wiltschko (1993)地質剖面之 25 度兩種情形，破裂深度皆為 10 公里，因 Yang et al. (2007)之剖面有參考震測，本計畫給予較高之權重 0.6，而 Hung and Wiltschko (1993)地質剖面之 25 度權重為 0.4，如圖 7-1.5 所示。車籠埔斷層與三義斷層平行之處，本計畫考慮此段三義斷層的幾何面平行於車籠埔斷層。參考圖 7-1.7 之剖面設定三義斷層三種情形之傾角與車籠埔斷層一致，分別為 25 度(權重 0.2)，35 度(權重 0.5)及 40 度(權重 0.3)，破裂深度則止於基底滑脫面。

三義斷層長期滑移速率可從野外地形崖及階地年代推估，后里槽溝位於圖 7-2.2（a）中點 1 之處，從圖 7-2.2（b）照片顯示其紅土化程度，推估年代約 10 萬年到 50 萬年間，另后里馬場位於圖 7-2.2（a）中點 2 之處，該處地形崖如圖 7-2.2（c）照片所示，從 DEM 地形剖面中可量得地形崖約 80 公尺高（圖 7-2.3），利用地形崖高度除以上盤之紅土化階地年代，得到抬升速率介於 0.2~0.8 mm/yr，以斷層面傾角 15~25 度換算，則斷層面長期滑移速率約為 0.4~3.1 mm/yr。另外，參考景國恩等（2018）「斷層活動性觀測研究第四階段-地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估（2/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，三義斷層平均滑移虧損速率下界為 0.9 mm/yr，上界為 12.4 mm/yr，平均值為 5.9 mm/yr。本計畫認為利用地形崖高差推估斷層之長期滑移速率，受地表侵蝕因素、地形崖地點之侷限及土壤年代推估之誤差，不確定性仍高，因此給予較低之權重(0.3)，斷層模型反演給予較高之權重(0.7)，表 7-2.1 為本計畫三義斷層邏輯樹計算之結果，本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 0.8 mm/yr (0.3)、中值 4.7 mm/yr (0.4)、上界 9.6 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith （1994）及 Yen and Ma （2011）之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith （1994）之標準差作為上下之分支，表 7-2.2 所示為三義斷層各破裂事件地震矩規模，其中 Yen and Ma （2011）為臺灣本土之經驗公式，因此給予較高之

權重 0.5。

三義斷層各節點權重的分配詳如圖 7-2.4 所示。

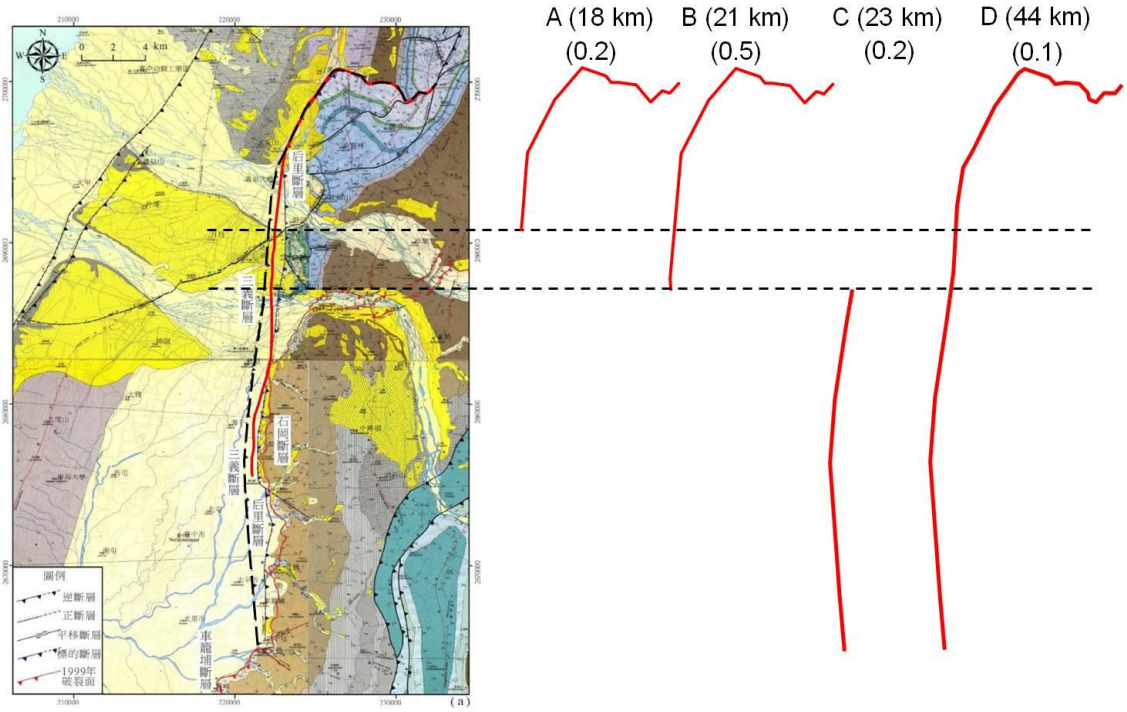


圖 7-2.1：本計畫修改三義斷層之分段及破裂模式

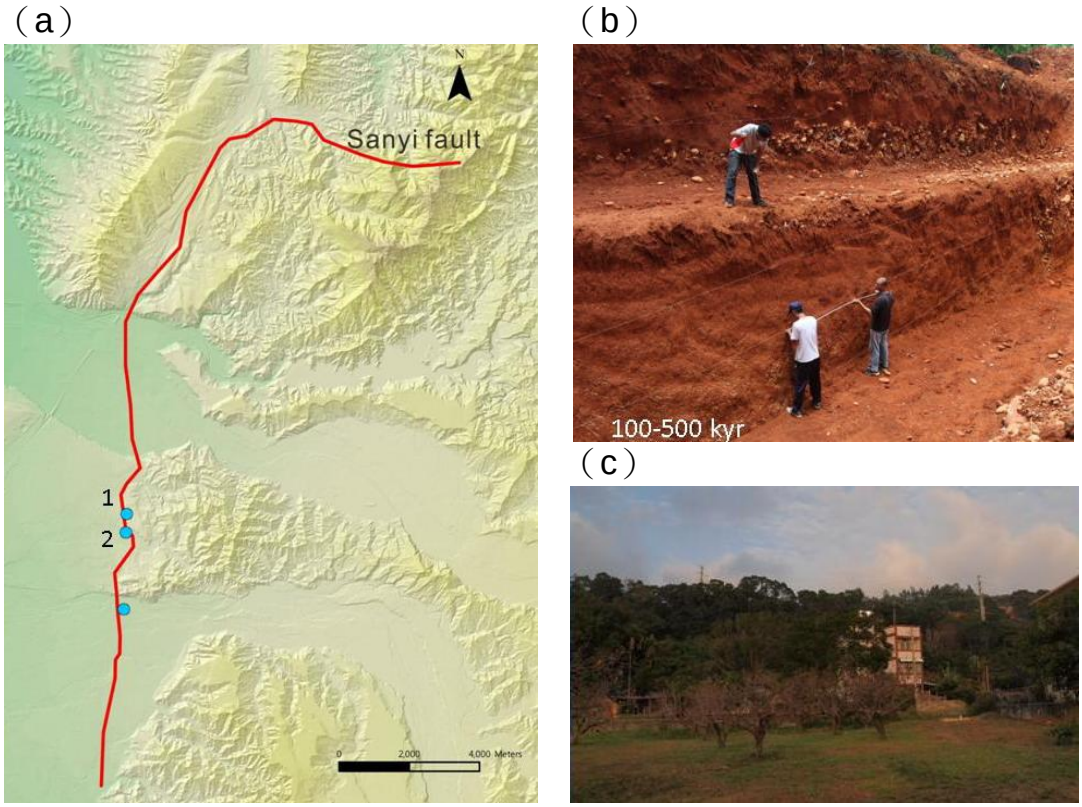


圖 7-2.2：三義斷層沿線構造線形平面位置及野外點位分布。（a）紅色實線為三義斷層，藍色實心圓圈為野外照片點位分布；（b）后里槽溝照片，位於(a)之點 1 中；（c）后里馬場地形崖，位於(a)之點 2 中(Shyu et al., 2014)。

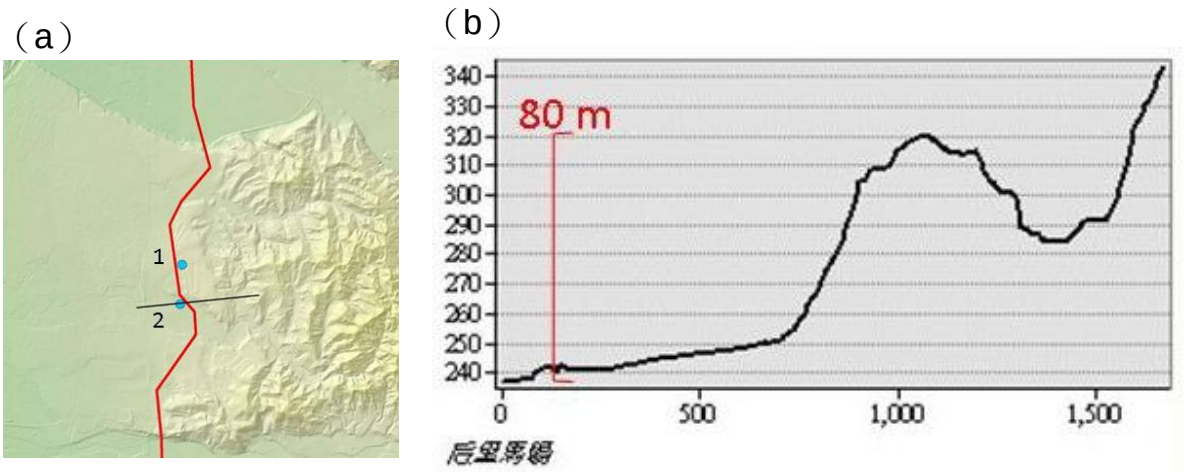


圖 7-2.3：三義斷層沿線地形剖面圖。（a）紅色實線為三義斷層，黑色實線為地形剖面線位置；（b）地形剖面圖，剖面位置為（a）中之黑色實線(Shyu et al., 2014)。

表 7-2.1：本計畫三義斷層長期滑移速率推估結果。

斷層名稱	參考資料	方法	權重	下界 (mm/yr)	平均 (mm/yr)	上界 (mm/yr)
三義斷層	Shyu et al., 2016	地形崖高差及崖面土壤年代	0.3	0.4	1.8	3.1
	景國恩等，2018	1. BLOCKS 2. DEFNODE 3. Baseline Inversion	0.7	0.9	5.9	12.4
	權重加總結果			0.8	4.7	9.6

表 7-2.2：三義斷層各破裂事件規模及權重。

破裂事件	長度 (km)	斷層幾何		寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式)(Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式)(Mw)
		車籠埔斷層以北	車籠埔斷層以南			-σ	中值	+σ	
A	18	深度 0-10 km, 傾角 25°	-	23.7	426	6.4	6.7	7.0	6.6
		深度 0-10 km, 傾角 15°	-	38.6	695	6.6	6.9	7.2	6.8
B	21	深度 0-10 km, 傾角 25°	-	23.7	497	6.5	6.8	7.1	6.7
		深度 0-10 km, 傾角 15°	-	38.6	811	6.6	6.9	7.2	6.9
C	23	-	深度 0-8 km, 傾角 25°	18.9	435	6.4	6.7	7.0	6.6
		-	深度 0-8 km, 傾角 35°	13.9	321	6.3	6.6	6.9	6.5
		-	深度 0-10 km, 傾角 40°	15.6	358	6.3	6.6	6.9	6.6
D	44	深度 0-10 km, 傾角 25°	深度 0-8 km, 傾角 35°	-	818	6.7	7.0	7.3	6.9
		深度 0-10 km, 傾角 15°	深度 0-8 km, 傾角 35°	-	1132	6.8	7.1	7.4	7.1

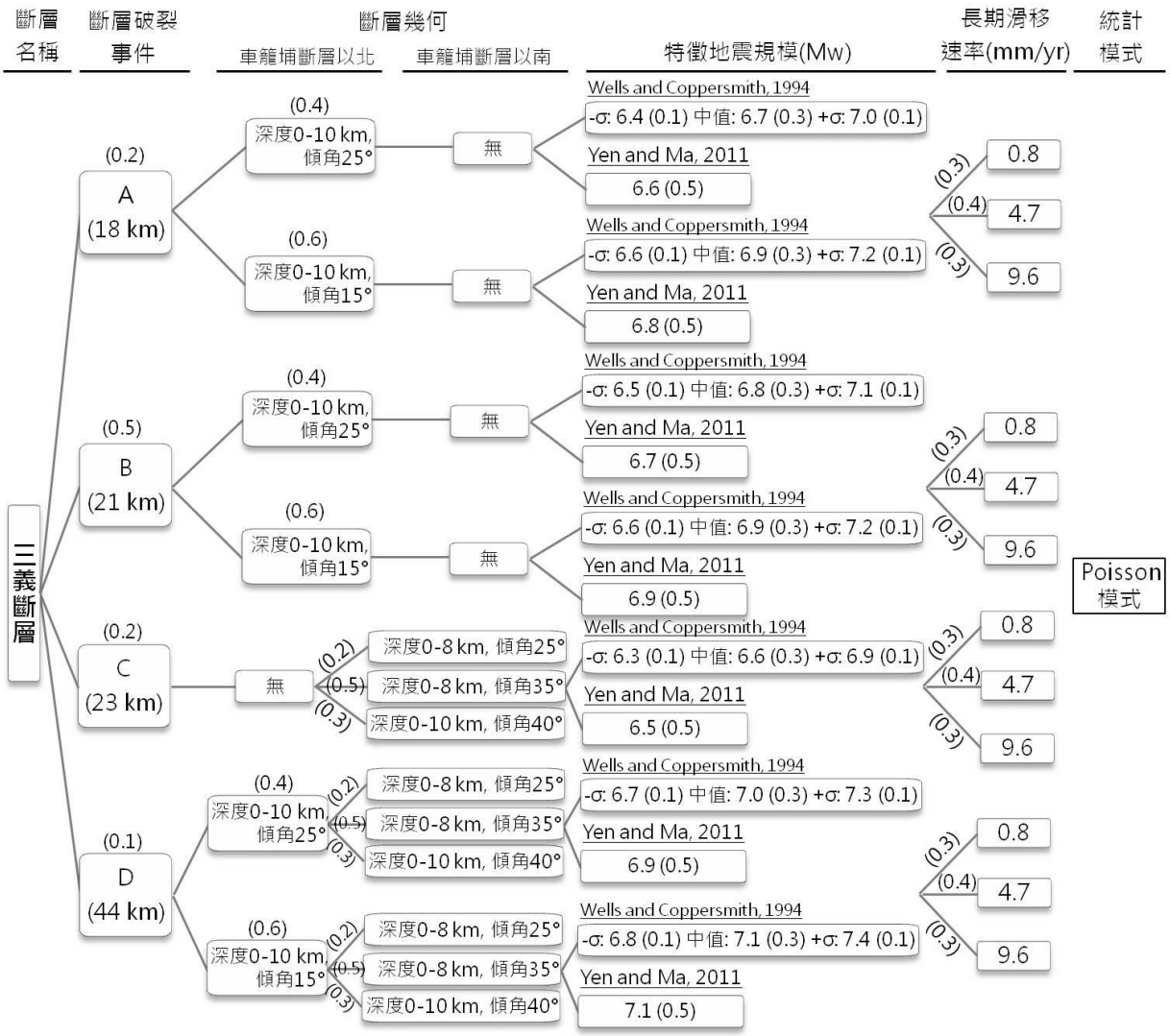


圖 7-2.4：三義斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)

7-3 規模與年發生率之關係

三義斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 7-3.1 為 4 個破裂事件取邏輯樹傾角及深度中間值之特徵地震模式分布情形。

圖 7-2.4 之三義斷層邏輯樹可得到 156 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 7-3.2 為 4 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.9 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.0 之權重最高；破裂模式 C 以規模 6.6 之權重最高；破裂模式 D 以規模 7.1 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 7-3.3 為 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。

將四種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 7-3.4（a）之三義斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 7-3.4（b）之三義斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

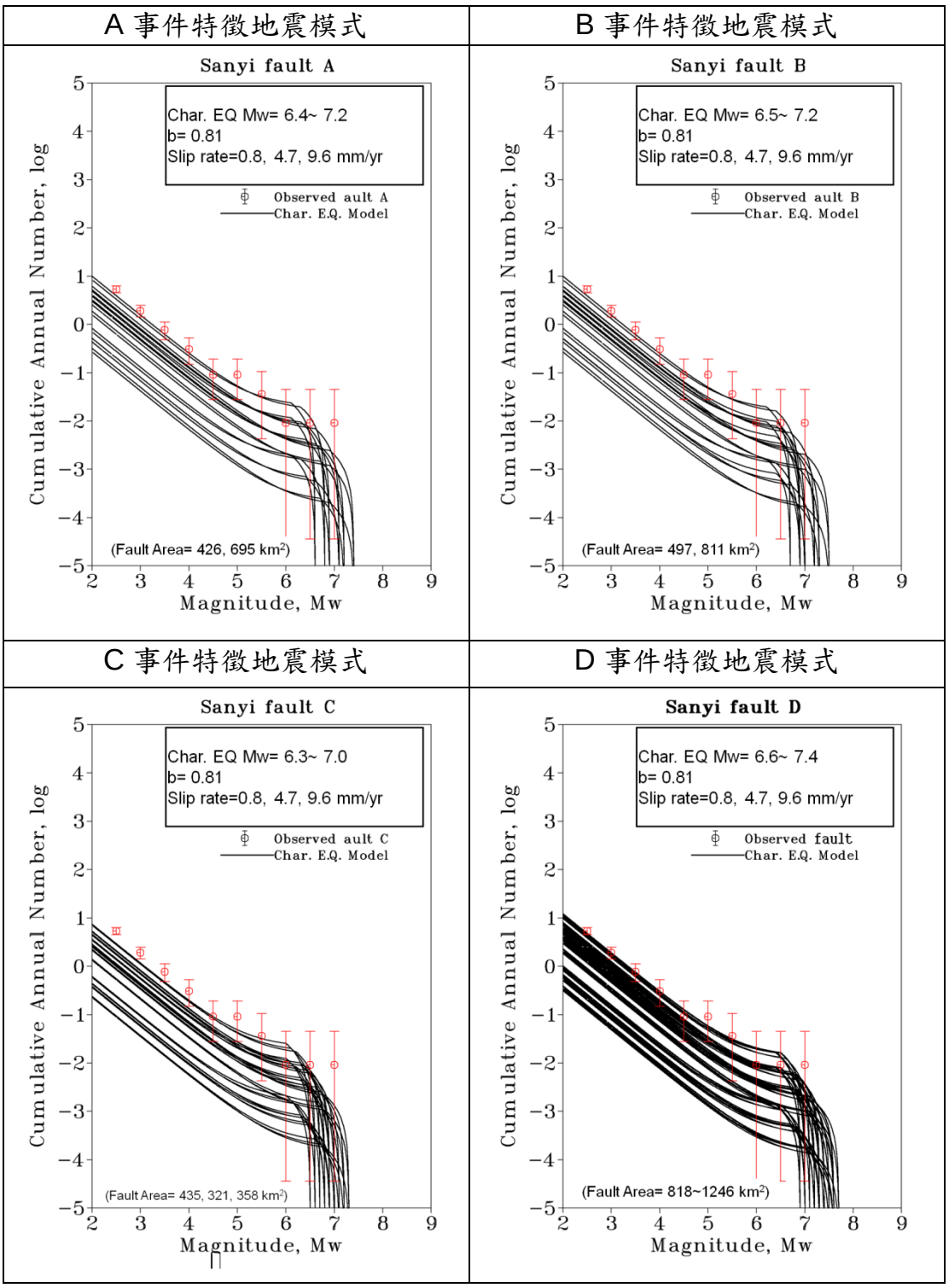


圖 7-3.1：三義斷層各破裂事件特徵地震模式

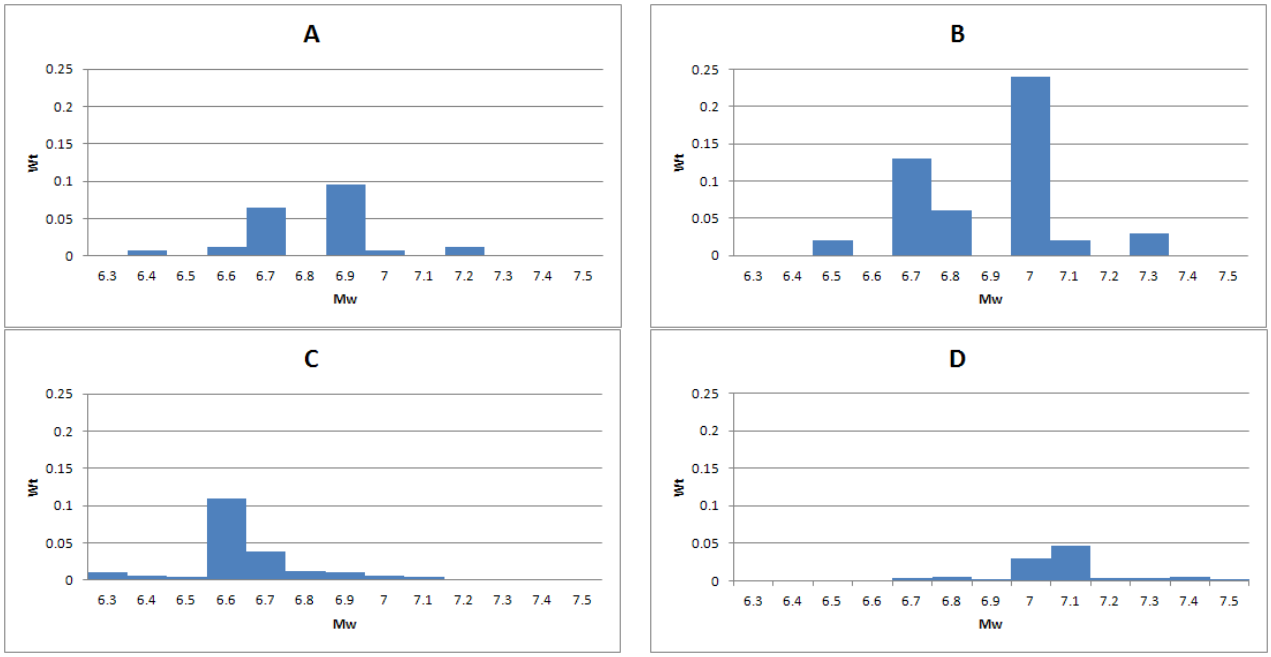


圖 7-3.2：三義斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和

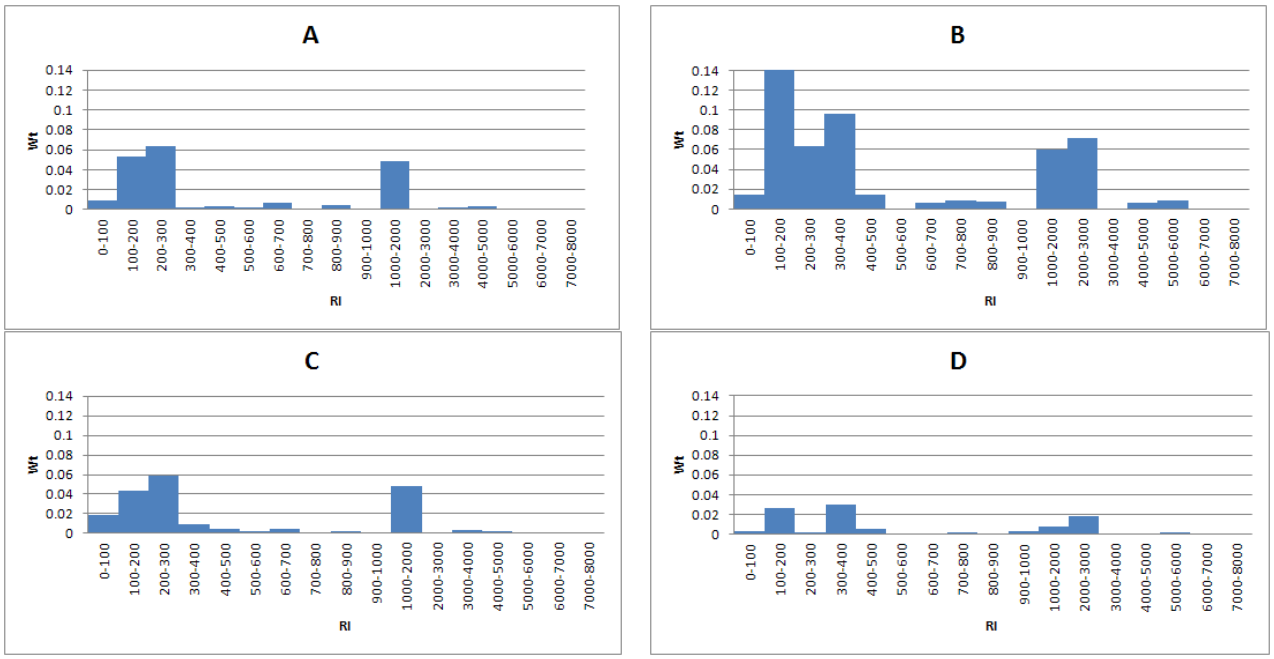
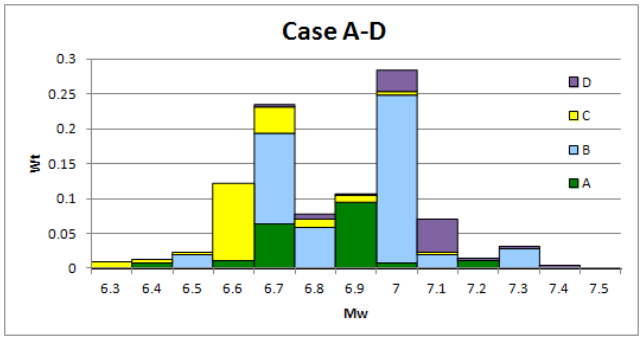


圖 7-3.3：三義斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和

（a）



（b）

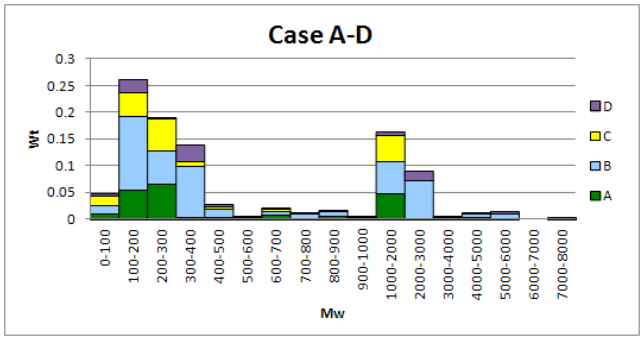


圖 7-3.4：（a）三義斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）三義斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖

7-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算三義斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，三義斷層最後一次發生時間為未知，因此本計畫採用 Poisson 模式進行評估。

表 7-4.1 為三義斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2018 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.3~7.5 之機率為 11.2%、17.5%及 29.9%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 10.5%、16.5%及 28.5%。

表 7-4.1：三義斷層發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.3 ≦ M ≦7.5	11.2%	17.5%	29.9%
M ≧ 6.5	10.5%	16.5%	28.5%

第八章、制定各活動斷層參數說明書

本期計畫目標之一為公布活動斷層潛勢結果，其公布資料包含(1)活動斷層參數說明書、(2)活動斷層潛勢圖、(3)活動斷層現地照片。公布的管道有(a)網頁查詢平台、(b)製作光碟分送各級學校。網頁查詢平台之網頁架設於中央地質調查所，中興社負責提供活動斷層潛勢資料，使活動斷層參數說明書、活動斷層潛勢資料、活動斷層現地照片公布於網路上，未來可供一般社會大眾查閱。分送給各級學校之光碟將包含(1)活動斷層參數說明書，將全台灣斷層分為(上冊)北中地區及(下冊)南東地區兩份文件，以及(2)活動斷層潛勢圖，由地質、水土保持、地理資訊、地政等各領域專家監督指導製作而成。以下章節將說明各資料細部內容。

8-1 說明書章節概述

活動斷層參數說明書為整理前階段計畫之斷層參數及潛勢分析成果，內容包括：(a)斷層幾何形貌參數、(b)斷層機制與滑移速率參數，以及(c)斷層地震潛勢參數三大類別。

(a) 斷層幾何形貌參數：包括斷層之分段破裂事件、長度、寬度、破裂深度、面積、走向、傾斜角度等，這部份參數的取得主要來自於地表地質調查、地形分析、航照判釋、地質剖面等方法得到。

(b) 斷層機制與滑移速率參數：包括斷層機制、短期滑移速率、長期滑移速率與滑移虧損率(slip deficit rate)。斷層機制主要依據震源機制解得到，短期滑移速率則藉由大地測量資料計算，長期滑移速率通常會採用槽溝調查所得到的古地震事件抬升量及定年資料，若有分段滑移速率，則會利用階地高差之定年結果計算。滑移虧損率(slip deficit rate)則藉由 GPS 觀測網所觀測而得的平均水平速度場建立三維塊體模型估算之。

(c) 斷層地震潛勢參數：包括單一事件變位量、最大可能地震規模、地震重複週期及最近一次活動時間。單一事件變位量乃參考歷史地震調查資料得到，最大可能地震規模擬採用 Wells and Coppersmith (1994)、Yen and Ma (2011)之公式，將斷層長度與面積帶入計算得到概估值。地震重複週期主要需依靠槽溝的古地震事件定年結果得到，最近一次活動時間則是採用歷史地震資料。

106 年度已完成(上冊)北中地區活動斷層參數說明書，本年度完成(下冊)南東地區活動斷層參數說明書(詳期末報告附件光碟)。

8-2 活動斷層潛勢圖成果

經濟部中央地質調查所已於 102~105 年度執行「斷層活動性觀測研究第三階段-斷層整合性觀測與潛勢分析計畫」，評估全臺 33 條活動斷層之潛勢。本年度斷層潛勢圖為 106~107 年北部與中部地區活動斷層潛勢圖精進之成果，分為兩種版型，分別為「台灣中北部水平速度場及斷層活動機率圖」(圖 8-2.1)以及「台灣中北部垂直速度場及斷層活動機率圖」(圖 8-2.2)。

「台灣中北部水平速度場及斷層活動機率圖」是以 GPS 測站點位及 2002-2018 年水平速度場為底圖，套疊地調所北部及中部地區 16 條活動斷層及每條活動斷層未來 50 年地震矩規模 6.5 以上之發生機率圖框，潛勢圖右下角之說明文字圖框中包含：

一、 使用者須知，共三點：

1. 活動斷層之復發間隔是根據斷層滑移速率之研究與調查成果所推估，進一步再計算活動斷層發生大地震之機率。斷層滑移速率之推估受限於有限之地質調查資料，仍有不確定性，故發生機率需謹慎參考使用。
2. 活動斷層錯動與大規模地震時間受限於觀測時間不足及統計之不確定性，本機率圖不宜作為地震預測之用途。機率較低之斷層不代表不會優先發生地震。
3. 本機率圖只推估各活動斷層錯動之大地震規模，有關地震動之評估必須進一步進行地震危害度分析 (seismic hazard analysis) 始能獲得。

二、 圖版說明，包含以下內容：

- 製圖日期：中華民國 107 年 12 月
- 地形底圖：臺灣四十公尺數值地形模型
- 活動斷層：活動斷層參考中央地質調查所臺灣活動斷層分布圖第三版(2012)
- 參考點位：為了呈現臺灣造山帶的地表變形型態，在選擇速度場參考點位時，希望能選擇造山帶外圍但是又接近造山帶的點位，所以採用位於澎湖 S01R 的測站當成臺灣地區速度場之參考點
- 水平速度場：由 GPS 移動站與 GPS 連續站的坐標變化量推求出臺灣地表相對 S01R 測站之水平運動量與方向
- 斷層活動機率起算時間：西元 2018 年
- 統計模式：已知上一次斷層錯動與大規模地震之發生時間得採用 BPT 模式(假設發生率會隨時間變化)；未知上一次斷層錯動與大規模地震之發生時間得採用 Poisson 模式 (假設發生率固定，不隨時間變化)
- 考慮折減：玉里-池上斷層系統由於間震期會藉由潛移釋放部分能量，需考慮折減地震矩率以符合目前觀測之現況

三、 圖例，包含斷層線形、GPS 測站、水平速度場 30 mm/yr 箭頭、水平速度場色階、斷層發生機率圖框之說明

潛勢圖左上角則為計畫參與團隊之單位 logo，logo 之下則提供地調所官網首頁之網址及 QR code，方便民眾查詢。

「台灣中北部垂直速度場及斷層活動機率圖」是以水準點、GPS 測站點位及

2002-2018 年垂直速度場為底圖，套疊地調所北部及中部地區 16 條活動斷層及每條活動斷層未來 50 年地震矩規模 6.5 以上之發生機率圖框，潛勢圖右下角之說明文字圖框中包含：

一、 使用者須知，共三點：(同上)

二、 圖版說明，包含以下內容：

- 製圖日期：(同上)
- 地形底圖：(同上)
- 活動斷層：(同上)
- 參考點位：(同上)
- 垂直速度場：由精密水準測量、GPS 移動站與 GPS 連續站的坐標變化量推求出臺灣地表相對 S01R 測站之垂直運動量與方向
- 斷層活動機率起算時間：(同上)
- 統計模式：(同上)
- 考慮折減：(同上)

三、 圖例，包含斷層線形、GPS 測站、水準點位、垂直速度場 5 mm/yr 長條示意圖、垂直速度場色階、斷層發生機率圖框之說明

潛勢圖左上角則為計畫參與團隊之單位 logo，logo 之下則提供地調所官網首頁之網址及 QR code，方便民眾查詢。

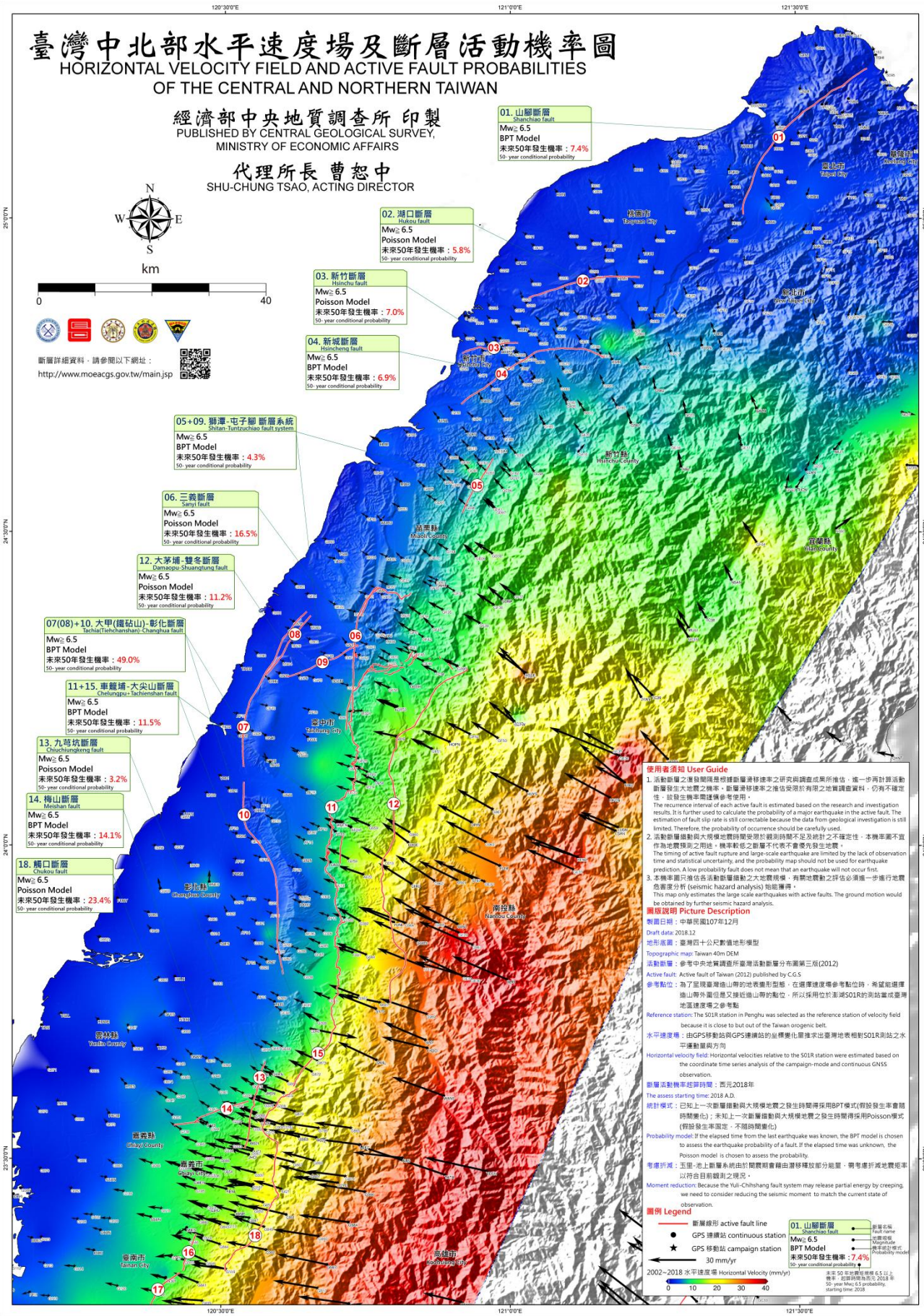


圖 8-2.1：台灣中北部水平速度場及斷層活動機率圖

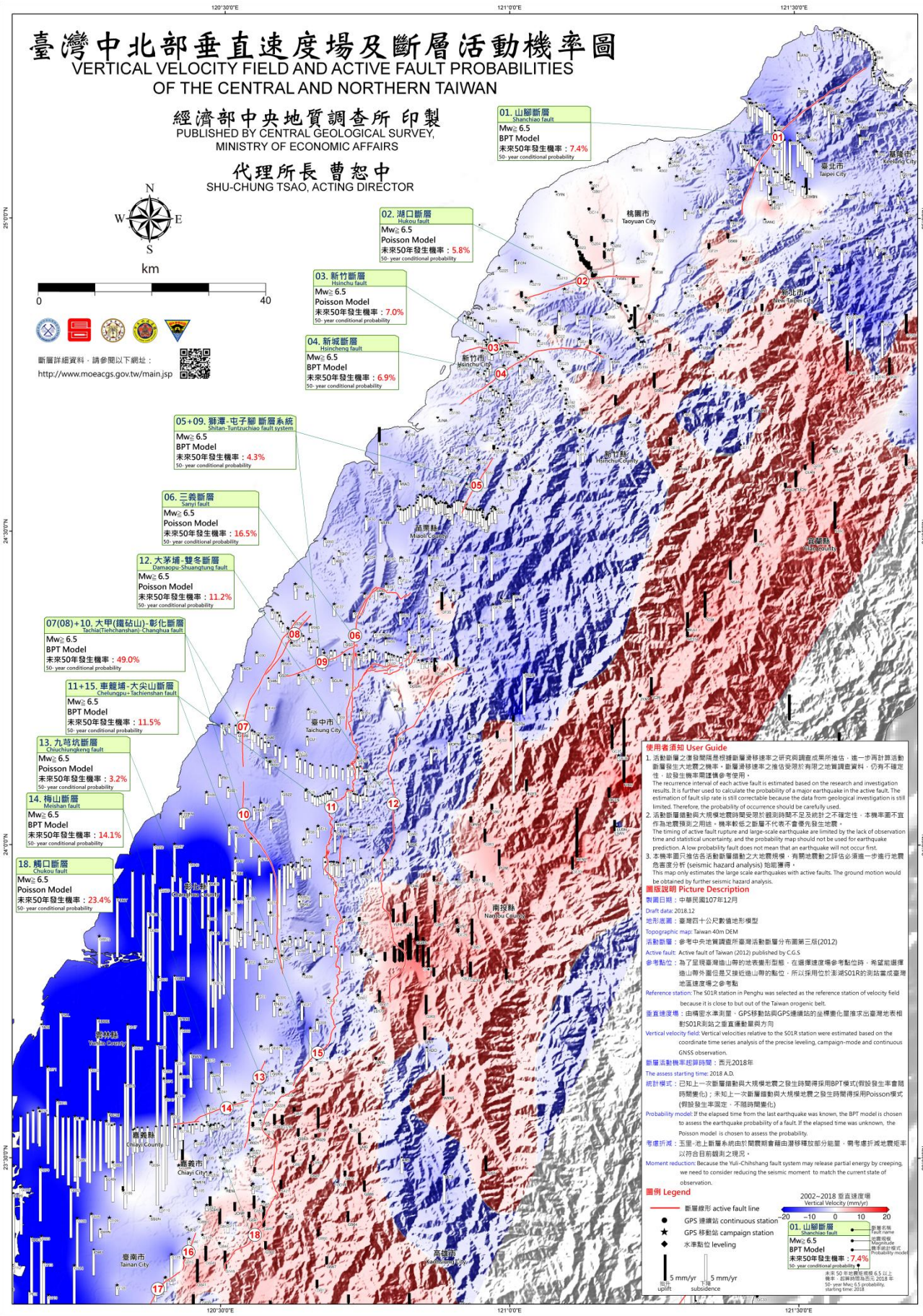


圖 8-2.2：台灣中北部垂直速度場及斷層活動機率圖

8-3 活動斷層現地照片蒐集與呈現

上一年度本計畫制定活動斷層照片蒐集資訊，同時蒐集台灣中部活動斷層之斷層特徵照片。本計畫今年度持續蒐集台灣北部七條活動斷層照片，並將蒐集之照片檔案及照片說明表格建置於網路介面圖臺上，照片來源主要為(1)地調所野外活動斷層露頭照片、(2)中央大學野外調查照片、(3)其他願意提供野外照片之專家學者、(4)本計畫野外調查照片。本計畫與圖臺資訊廠商（巨思科技）合作討論，後續藉由圖臺系統上傳照片資料，圖臺上傳系統網址為 http://fault.moeacgs.gov.tw/Importtest/login.aspx（圖 8-3.1）。經資料上傳，可在圖臺(http://fault.moeacgs.gov.tw/MgFault/Home/pageMap?LFun=2)之觀測資料的調查資料圖層中查詢（圖 8-3.2）。圖臺底圖為 Google 提供之地圖，底圖上以照相機圖樣呈現照片點位，點擊照相機圖樣可開啟照片及照片描述功能。

照片資訊欄位如表 8-3.1 所示，說明如下：

1. 流水號：圖臺廠商提供。
2. 活動斷層代號：以中央地調所最新公佈之活動斷層圖代號為主。
3. 活動斷層名稱：以中央地調所最新公佈之活動斷層圖名稱為主。
4. 相片檔名：相片原始檔名，無特別命名原則，需與原始相片檔案吻合。
5. 相片標題：命名原則為活動斷層名稱_拍攝鄉鎮_拍攝地點(例如：車籠埔斷層_南投縣草屯鎮_隘寮溪堤防)。
6. 相片描述：需針對相片中之斷層露頭或是斷層破裂進行詳細的說明。
7. 拍攝鄉鎮：為拍攝所在鄉鎮，包含縣市(例如南投縣草屯鎮)。
8. 拍攝地點：為拍攝之標地物(例如隘寮溪堤防、東山路、一江橋)。
9. 拍攝地點緯度及拍攝地點經度：座標資訊採 WGS84 經緯度，方能於網頁圖臺之上標示照片位置。
10. 相片拍攝人員：拍攝人員姓名，若拍攝人員無從考察，則填入提供相片之單位。
11. 相片拍攝時間：格式為日/月/年。拍攝日未知，則填拍攝月/年；拍攝月未知，則填拍攝年；若拍攝日期不知，則不填。

本年度蒐集台灣北部七條活動斷層，山腳斷層、湖口斷層、新竹斷層、新城斷層、獅潭斷層、三義斷層、屯子腳斷層之斷層特徵照片。蒐集成果彙整如圖 8-3.3~圖 8-3.9。

除蒐集舊有文獻外，本計畫亦執行野外調查進行野外照片蒐集，參考文獻刊登斷層照片之地點，進而複勘並拍攝現況，與文獻舊照片做今昔對比，如獅潭斷層之 3、4、6 號地點（圖 8-3.7）。

為配合地質調查所網站地圖比例尺不能無限放大之限制，本計畫將相鄰之照片地點合併為一圖檔，呈現一個點位包含兩張照片，成果如山腳斷層 1 號地點（圖 8-3.3）。

照片欄位規劃中新增 fault_code 欄位，一個代號對應一個圖檔，以方便管理斷層照片資訊。

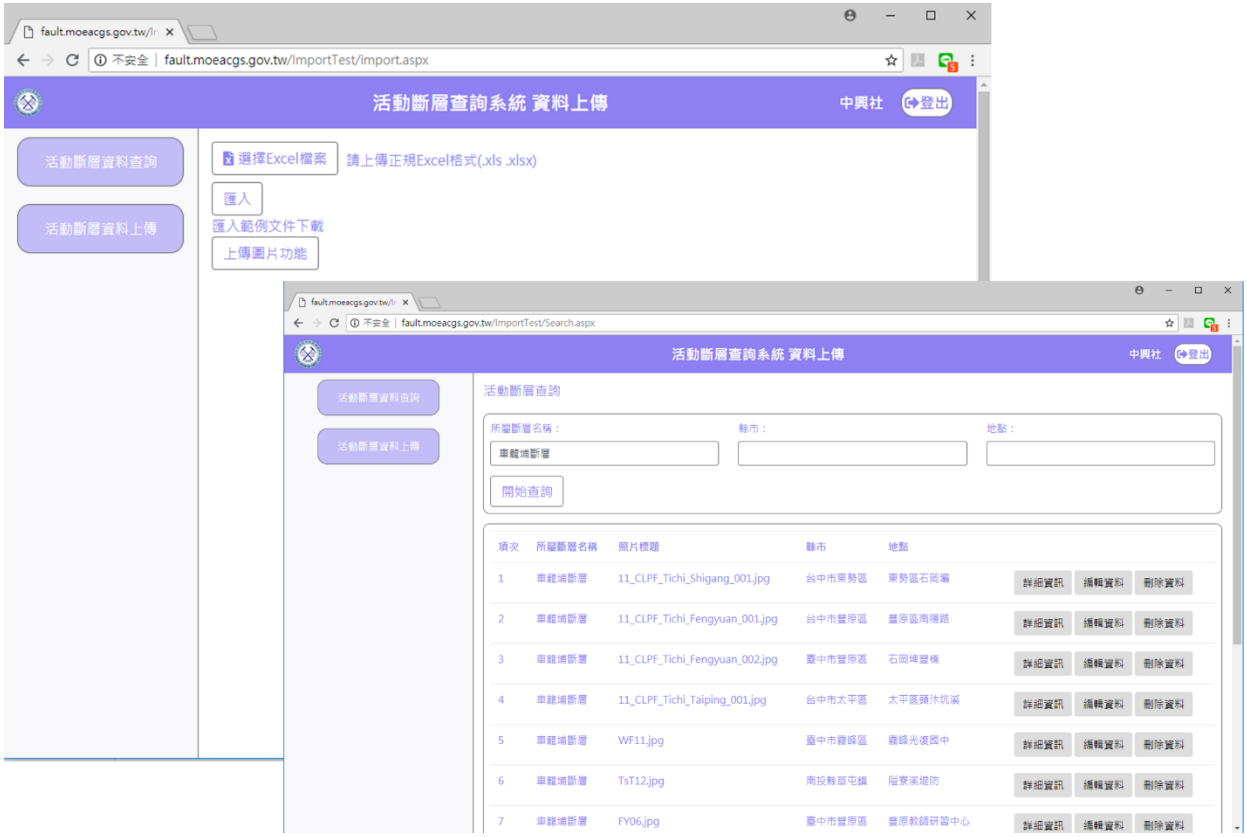


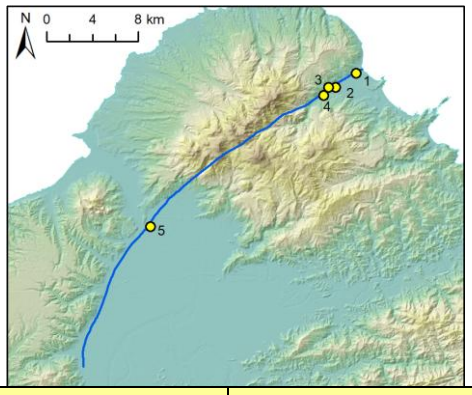
圖 8-3.1：資料上傳系統介面



圖 8-3.2：圖臺照片及照片資訊

表 8-3.1：照片欄位規劃。

欄位名稱	資料類型	圖臺欄位名稱	欄位說明	備註
Fault_code	txt		流水號	primary key
fault_id	float		對應的活動斷層代號	
fault_name	nvarchar(50)	所屬斷層	對應的活動斷層名稱	
file_name	nvarchar(50)		相片檔名	
title	nvarchar(50)	標題	相片標題	
description	nvarchar(MAX)	描述	相片描述	
village	nvarchar(50)	位在村里	拍攝鄉鎮	
location	nvarchar(50)	地點	拍攝地點	
lat	float		拍攝地點緯度	
lng	float		拍攝地點經度	
thumbnail	nvarchar(MAX)		縮圖連結	external link
link	nvarchar(MAX)		外部連結	external link
photographer	nvarchar(50)	拍攝者	相片拍攝人員	
uploader	nvarchar(50)		相片上傳人員	
photo_time	datetime	拍攝時間	相片拍攝時間	
upload_time	datetime		相片上傳時間	

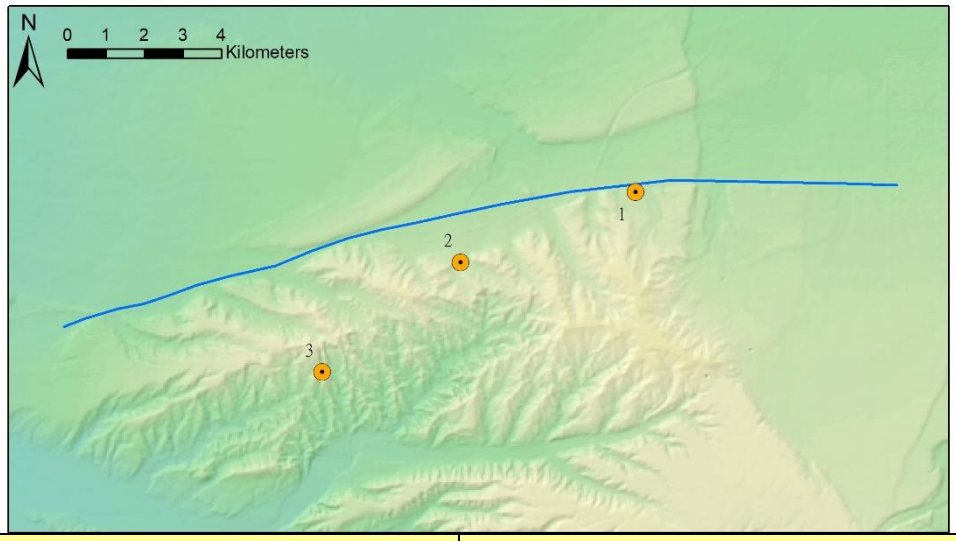


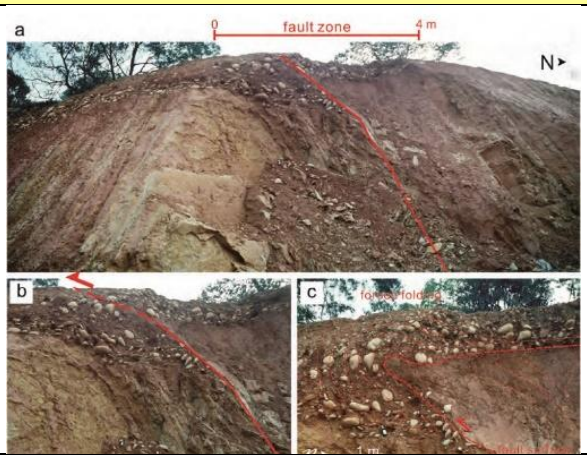
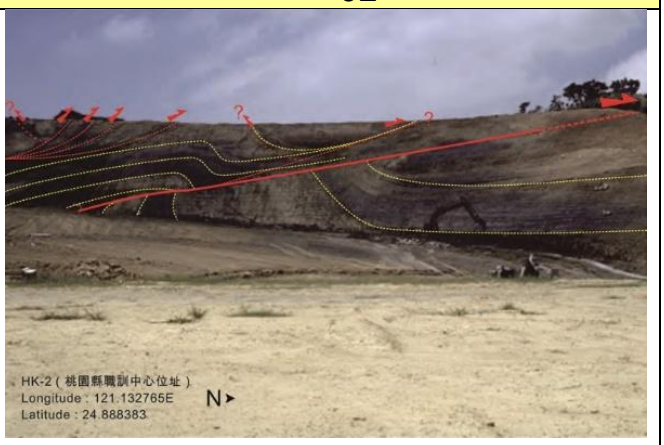
01	02
 	
上圖：右側山脈可觀察到山腳斷層之斷層線崖及斷層三角面。中間為金山平原，為一陷落平原，左側為大屯火山群之一部分。下圖：山脈與平地交會之處即為斷層線崖，圖為向東北方拍攝。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	向東北拍攝斷層線崖。前方山脈為大屯火山群，山脈前方為金山平原，平原陷落而形成斷層線崖。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)
03	04
	
照片中間之金山平原為一陷落平原，其右側山脈可觀察到斷層線崖以及三角面等地形特徵。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	山脈與平地交會之處即為斷層線崖，圖為向東北方拍攝。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)

05

山腳斷層之山前緣的斷層崖。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)

圖 8-3.3：山腳斷層之斷層特徵照片彙整

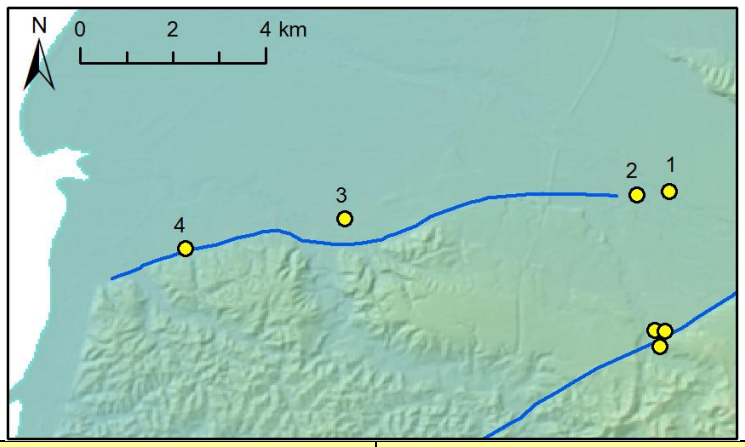


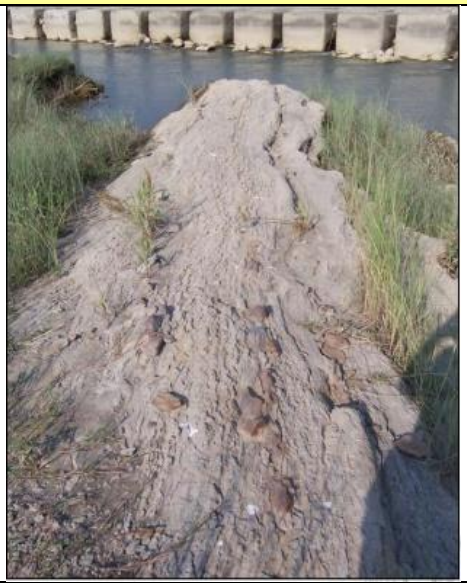
01	02
	
其沉積岩性組成可分為兩部分，下部為泥岩和粉砂岩互層之楊梅層；上部為礫石層。可觀察到一逆斷層(背斜斷層)，沿著斷層面，楊梅層以 40-45 度傾角逆衝擠上地表之礫石層(b)，並形成強迫褶皺(c) (資料來源：朱傚祖)	在研究露頭西側數公里處發現之湖口斷層分支斷層露頭。位置接近桃園職訓中心。 (資料來源：朱傚祖)

03

湖口背斜軸部附近北翼向北高角度傾斜的小型斷層，露頭位於羊喜窩東南約 1 公里。大金山下產業道路旁出露楊梅層照門段，岩層為東西走向，向北傾斜 80 度至倒轉，上覆店子湖層。(資料來源：地質調查所，特刊 19 號)

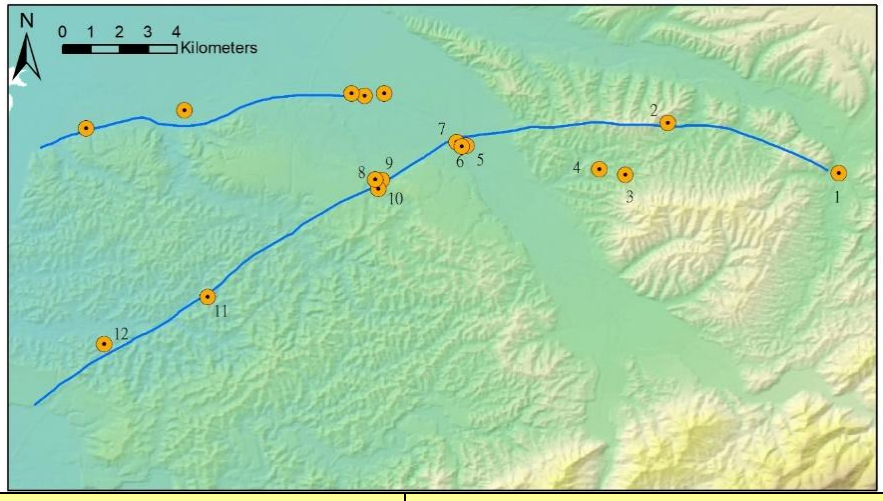
圖 8-3.4：湖口斷層之斷層特徵照片彙整



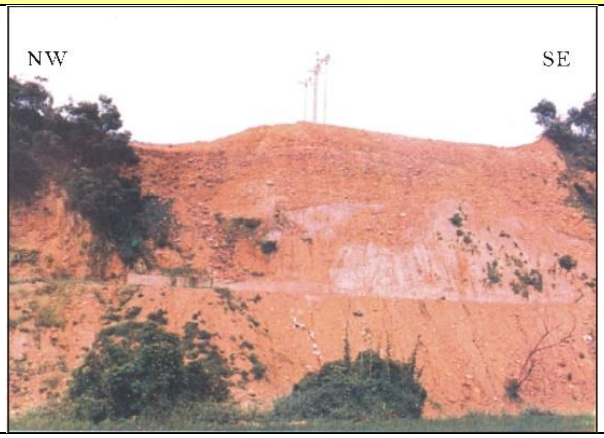
01	02
	
出露於頭前溪隘口至六家堤防一帶的地層急斜帶，地層位態為 N79E, 48N，推測新竹斷層應在此附近經過。(資料來源：劉力豪)	地層位態 N87E 50N，本層可見厚度至少在 200 公尺以上，推測新竹斷層可能在隘口附近以東西走向跨越頭前溪。(資料來源：劉力豪)

03	04
	
西大路上的斷層崖。 (資料來源：臺灣地震模型 Taiwan Earthquake Model)	牛埔南路上的斷層崖。 (資料來源：臺灣地震模型 Taiwan Earthquake Model)

圖 8-3.5：新竹斷層之斷層特徵照片彙整



01	02
	
東光國小北側線形崖可能為新城斷層的斷層崖。 (資料來源：陳文山)	飛鳳山丘陵上的新城斷層露頭。下盤為厚層砂岩夾礫岩層，岩層向北緩傾斜並構成向斜。上盤厚層砂岩夾薄頁岩的擾動帶，岩層向北呈高角度傾斜。 (資料來源：林啟文)

03	04
	
新城江寮山附近的新城斷層露頭，位態為 N16°E, 24°S。 (資料來源：劉力豪)	出露於飛鳳山丘陵區中坑附近的斷層擾動帶，近擾動帶的地層高角度傾斜，位態為 N71°E, 73°S。 (資料來源：劉力豪)
05	**06**
	
頭前溪北岸新斷層露頭，形成一寬約 5 公尺斷層帶。上盤卓蘭層逆衝至層面近乎水平的香山向砂岩之上。 (資料來源：陳文山)	頭前溪河床內中正大橋西側新城斷層露頭。本相片攝於 2010，受中正大橋防洪工程的影響使下游加速差異侵蝕，現在露頭已不復見。 (資料來源：丁權)
07	**08**
	
頭前溪河床上新竹斷層向東延伸的小型褶皺構造。由砂頁互層所構成的背斜，軸線向北北東傾斜。 (資料來源：林啟文)	新城斷層位於柯湖里的野外露頭。 (資料來源：丁權)

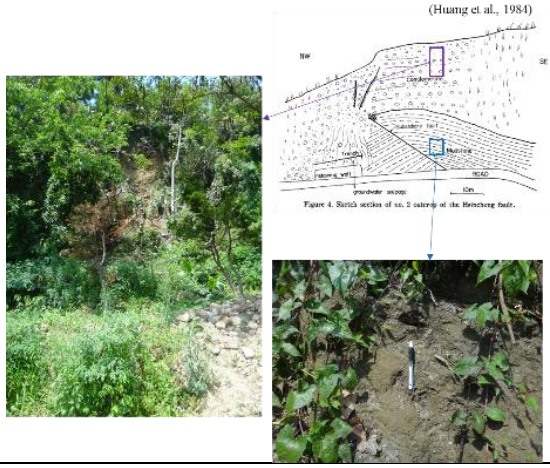
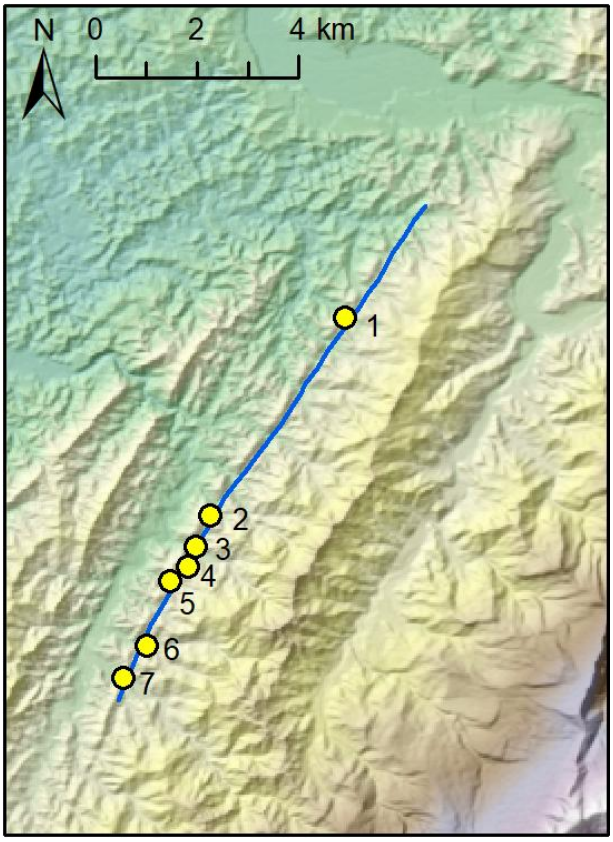
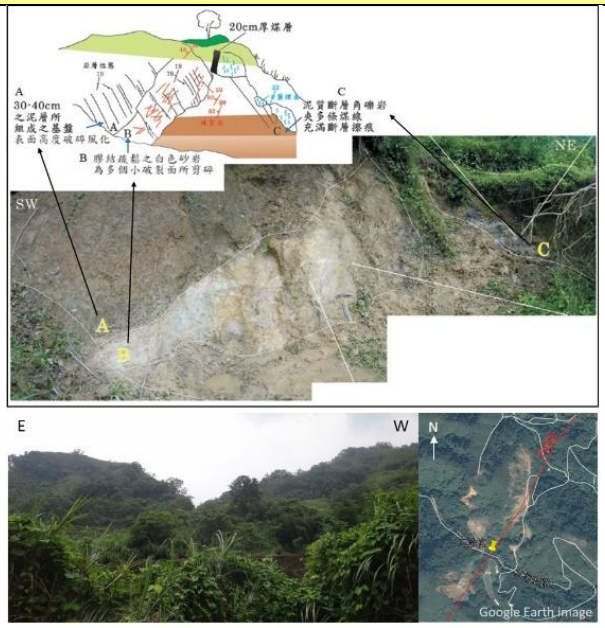
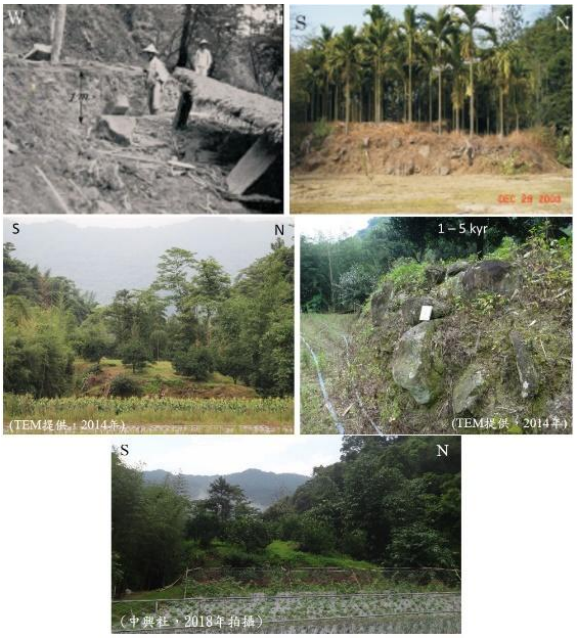
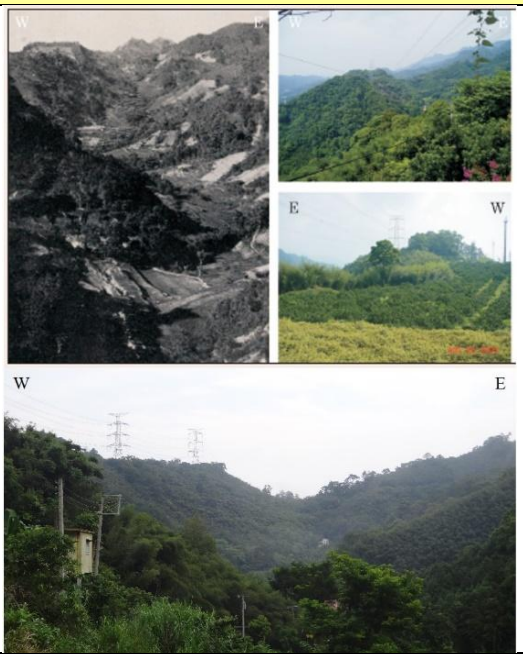
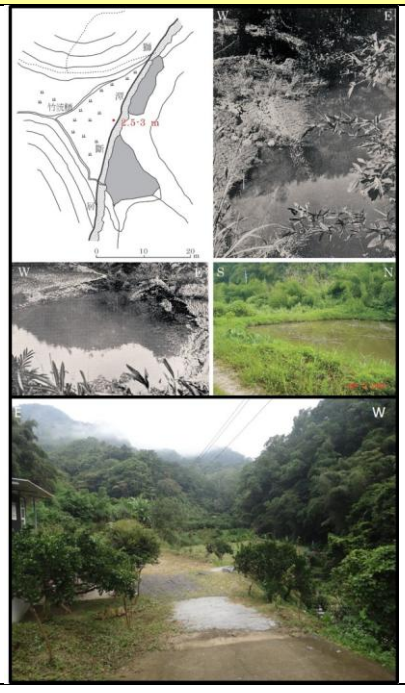
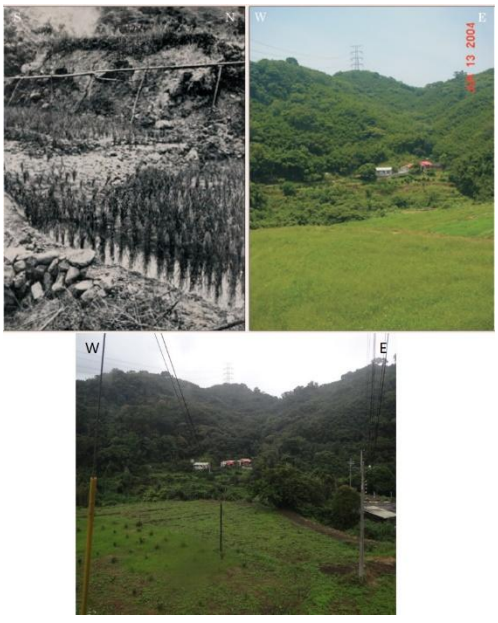
09	10
	
可觀察到明顯的線性斷層崖，並且在約 50 公尺高度截切及錯移了紅土階地沉積物。目前，崖坡傾角約為向西北傾 40 度，且部分崖坡由於侵蝕的原因沿著幾條沖蝕溝有後撤現象。 (資料來源：黃鑑水)	參考 Huang et al. (1984)的野外露頭地點，該露頭目前現況為上部出露礫岩之一小部分如紫框所示，下部出露泥岩之一小部分如藍框所示。然而當年露頭大部分皆為植披所覆蓋，斷層特徵已不復見。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)
11	12
	
Huang et al. (1984)發表的露頭附近的新露頭。新露頭是由當地農夫開墾而成，可觀察到頁岩層(黃虛線)摺曲後被中間的砂層所截斷，為新城斷層活動的證據。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	新城斷層上盤之次生斷層，頁岩層被砂頁互層所截斷，斷層為高角度如紅虛線所示。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)

圖 8-3.6：新城斷層之斷層特徵照片彙整



01	02
	
上圖為三洽坑斷層鞍部靠北側之露頭。此露頭位在道路下方，露頭中斷層破碎帶寬約 4 至 5 公尺，露頭位置位在於三洽坑東南部約 800 公尺處。出自林玉儂(2006)發表於《地質》期刊之野外調查結果。2018 年中興社於三洽坑野外調查，未能找到林玉儂描述之露頭。左下圖為三洽坑砂石場內拍攝之斷層鞍部地形。右下圖之衛星影像可看到斷層線附近有大量山崩之跡象。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	左上圖為 1935 年拍攝下大窩近北側斷層鞍部之斷層錯動。右上圖為 2005 年下大窩南側斷層鞍部朝北攝之照片，位於山外山淨慈寺，北側斷側丘明顯可見。以上兩張圖皆出自林玉儂(2006)發表於《地質》期刊之野外調查結果。下圖為中興社 2018 年朝北拍攝之斷側丘，與右上圖拍攝角度相同。位於山外山淨慈寺。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)

03	04
	
左上圖為大塚彌之助於上大窩調查之地震地表破裂，垂直位移 1 公尺，右上圖為 2003 年於上大窩高位階地上之斷層崖，崖高 3 公尺。以上兩張圖皆出自林玉儂(2006)發表於《地質》期刊之野外調查結果。左中圖為 2014 年拍攝之高位階地斷層崖，位置與右上圖相同。右中為崖之近照，崖高約 3 公尺。以上兩張圖皆出自 TEM 野外調查成果。下圖為中興社 2018 年拍攝，位置與右上及左中圖相同，仍可見到 3 公尺高之斷層崖。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	左上圖為 1935 年大塚彌之助於上大窩拍攝之斷側丘—斷層鞍部之影像。中上圖及中下圖為林玉儂於 2003 年自上大窩向陽坪朝北及朝南拍攝之照片，從中可見到該頂部之地形面相當平整。以上兩張圖皆出自林玉儂(2006)發表於《地質》期刊之野外調查結果。下圖為中興社 2018 年於上大窩拍攝斷側丘—斷層鞍部地形，圖為朝北拍攝。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)
05	06
	

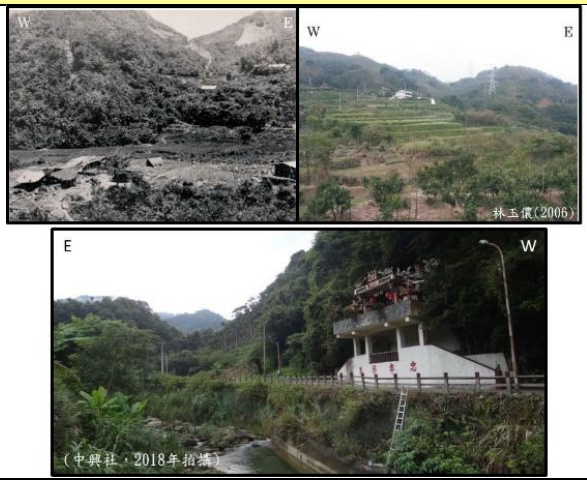
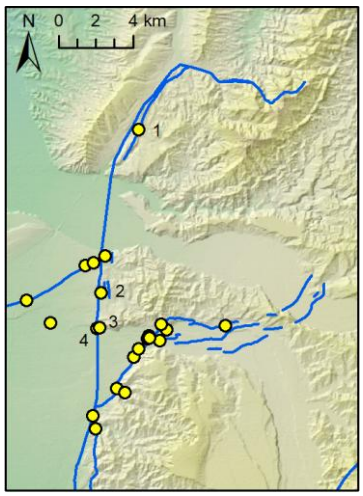
左上圖為大塚彌之助所繪之竹銃櫃地區地表破裂與斷層堰塞湖。右上與左中黑白照片為北側及南側之兩斷層堰塞湖。右中照片為林玉儂 2004 年於竹銃櫃地區調查觀測到之水塘，疑為斷層堰塞湖原址之上。以上四張圖皆出自林玉儂(2006)發表於《地質》期刊之野外調查結果。 下圖為 2018 年中興社於竹銃櫃調查之照片，未能找到水塘或堰塞湖，但發現河道旁有一平坦營地，疑為堰塞湖水位退去後留下之平坦階地。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	左上圖為 1935 年大塚彌之助於大東勢谷地內所攝之照片，地表位移量相當大，但目前已看不到此一斷層崖。右上圖小東勢朝北攝之照片，斷層鞍部—斷側丘之地形極為明顯，但谷地中與階地上均找不到任何殘留之地表破裂特徵。以上兩張圖皆出自林玉儂(2006)發表於《地質》期刊之野外調查結果。 下圖為中興社於 2018 年至大東勢谷地拍攝之照片，與林玉儂拍攝角度相同，同樣可見到斷層鞍部地形。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)
07	
	
左上圖為 1935 年時於大東勢朝北攝之斷層沿線，右上圖為 2005 年同方向之照片，角度略為不同，但均可清楚看到斷層鞍部之地形。以上兩張圖皆出自林玉儂(2006)發表於《地質》期刊之野外調查結果。 2018 年中興社至大東勢野外調查，未能找到林玉儂當時所拍之位置，然而於大東勢一橋往南也可觀察到同樣之斷側丘地形，左側東邊為斷層之下盤，右側西邊為斷層之上盤，屬抬升側。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	

圖 8-3.7：獅潭斷層之斷層特徵照片彙整



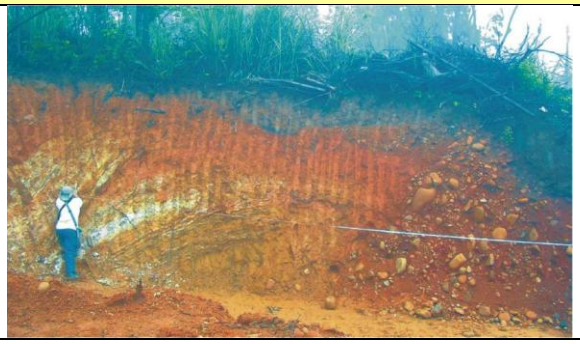
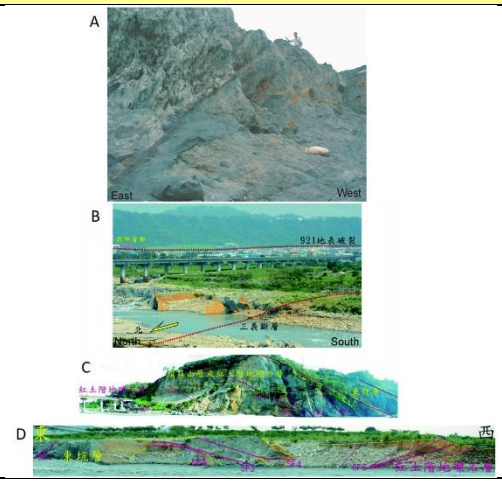
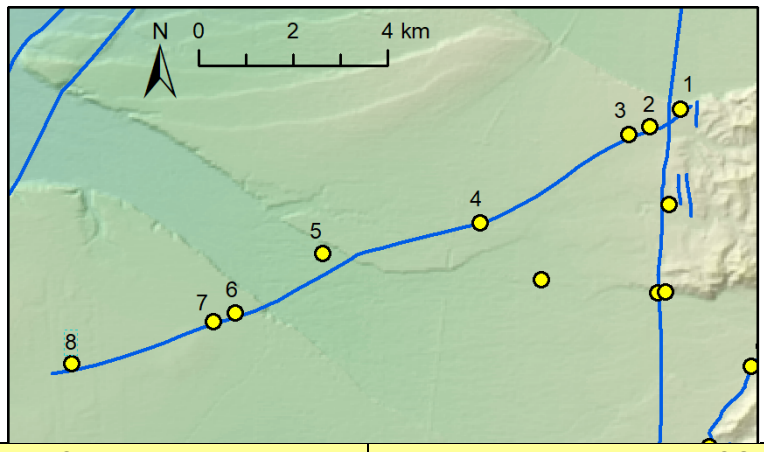
01	02
	
三義鄉上湖西南方的三義斷層分支斷層。斷層上盤出露上福基砂岩，下盤為紅土台地堆積層。出自《經濟部中央地質調查所特刊》。	三義斷層之斷層線崖。位於天山馬場附近。出自 TEM 野外調查成果。
03	**04**
	
大甲溪北岸之三義斷層露頭照片。出自 TEM 野外調查成果。	A 圖為大甲溪新隧道口鐵橋下三義斷層之露頭。斷層帶寬約 30 公尺，有斷層泥帶與斷層角礫。 B、C、D 圖為三義斷層大甲溪兩岸之露頭。(B 圖)由大甲溪北岸向西南看三義斷層與 921 地表破裂合照。(C 圖)大甲溪北岸露頭照片。(D 圖)大甲溪南岸露頭照片。以上三張圖皆出自《經濟部中央地質調查所特刊》。

圖 8-3.8：三義斷層之斷層特徵照片彙整



01	02
	
屯子腳地震斷層，位於舊第 8 號隧道西側。相片由斷層的東南向西北方看。無法查證目前現況，照片出自《震研彙報別冊，第三號，報告圖版》。	此處馬路出現緩坡地形，疑似屯子腳之斷層崖，總垂直錯移約 6.4 米。出自 TEM 野外調查成果。
03	**04**
	
后里內埔庄。斷層橫切后里車站西北方之甘蔗田，走向東西向。從斷層北側看，北側下沉 30 公分，向東移 55 公分。無法查證目前現況，照片出自《震研彙報別冊，第三號，報告圖版》。	內埔庄舊社水田中的斷層。無法查證目前現況，資料出自《震研彙報別冊，第三號，報告圖版》。

05	06
	
位於舊社堤西方 1 公里處，鐵路被屯子腳斷層錯動出現明顯水平及垂直向位移。位於大甲溪北岸。無法查證目前現況，照片出自《震研彙報別冊，第三號，報告圖版》。	斷層橫斷田埂，走向東西向，水平位移 40 公分，垂直位移 10 公分，北側下沉向東移動。位於神岡庄新庄子，無法查證目前現況，資料出自《震研彙報別冊，第三號，報告圖版》。
07	08
	
斷層通過甘蔗田，走向 N80° W，斷層南側約隆起 20 公分，向西位移 20 公分。位於神岡庄新庄子，無法查證目前現況，資料出自《震研彙報別冊，第三號，報告圖版》。	麥田中為屯子腳斷層的末端，位於神岡大突寮附近(今清水東方區域)，圖中麥田受到斷層之右移錯動。無法查證目前現況，資料出自《震研彙報別冊，第三號，報告圖版》。

圖 8-3.9：屯子腳斷層之斷層特徵照片彙整

8-4 彙整成果至活動斷層查詢平台

中央地質調查所既有活動斷層查詢網頁以 Google 地圖與 Google 衛星影像為底圖，結合 ESRI ArcGIS JavaScript API 與全國門牌地址定位 API，提供活動斷層空間位置展現，行政區暨門牌地址定位與活動斷層定位及環域分析(圖 8-4.1)。活動斷層查詢網站之功能架構主要可以分為基本圖台、定位功能、圖層套疊功能、活動斷層資訊查詢與活動斷層資訊匯出等五項功能模組(圖 8-4.2)。

既有活動斷層查詢網頁之斷層資訊以條帶地質圖及說明文字形式呈現(圖 8-4.3)。本計畫參酌既有活動斷層查詢功能，加入本計畫擴充之斷層資訊，包含斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果，透過圖形化互動介面，公開相關研究成果，滿足民眾知的權利。

以山腳斷層為例，既有活動斷層查詢網頁之斷層資訊除了條帶地質圖及說明文字外，在最下方會新增「斷層資訊與活動參數」及「分析潛勢與評估成果」之連結(圖 8-4.4)，「斷層資訊與活動參數」格式如圖 8-4.5 所示，「分析潛勢與評估成果」格式如圖 8-4.6，今年度已上傳前階段北部地區七條活動斷層之資料至網頁查詢平台中。各斷層參數詳細內容可參閱本計畫附錄之斷層參數說明書。



圖 8-4.1：中央地質調查所既有活動斷層查詢系統

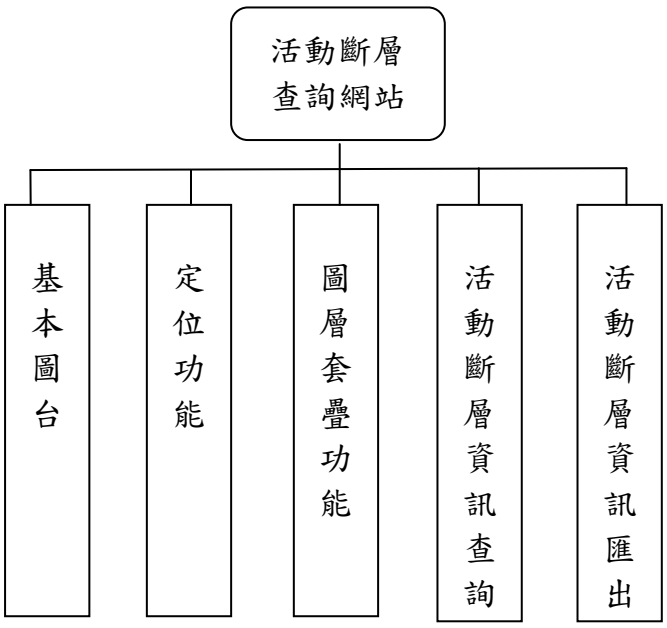


圖 8-4.2：網站功能架構圖



圖 8-4.3：活動斷層查詢網站示意圖

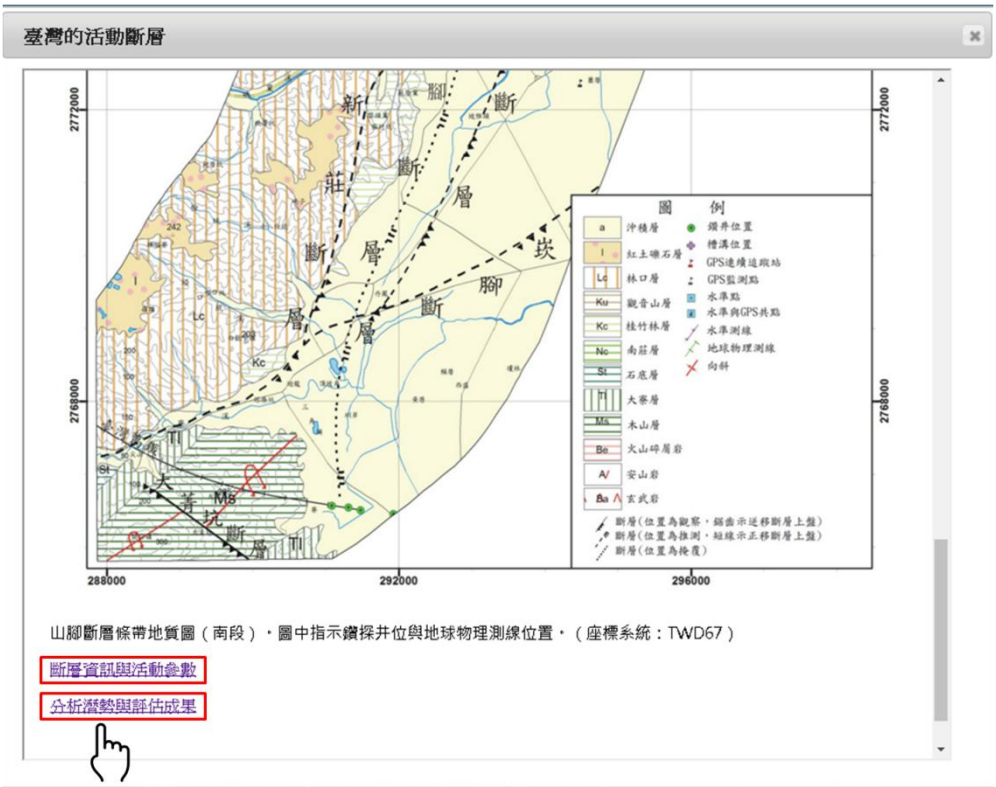
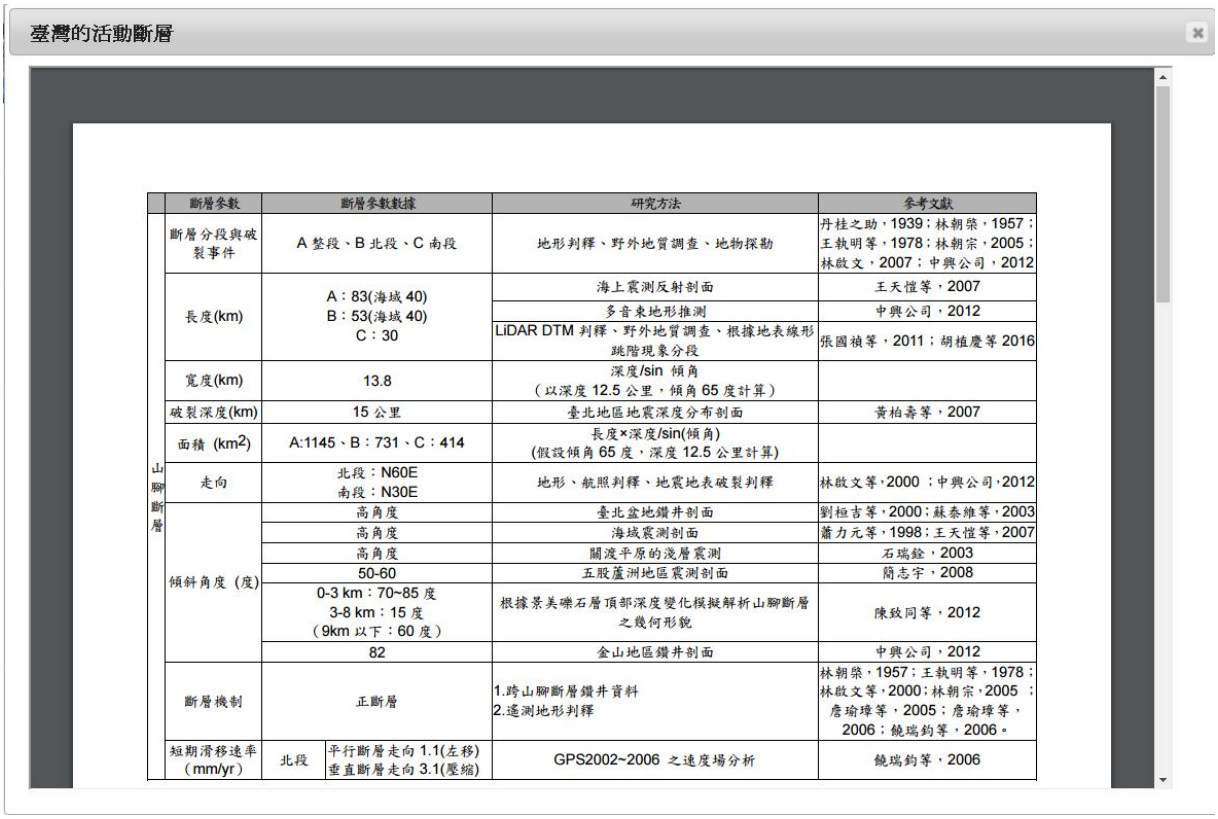
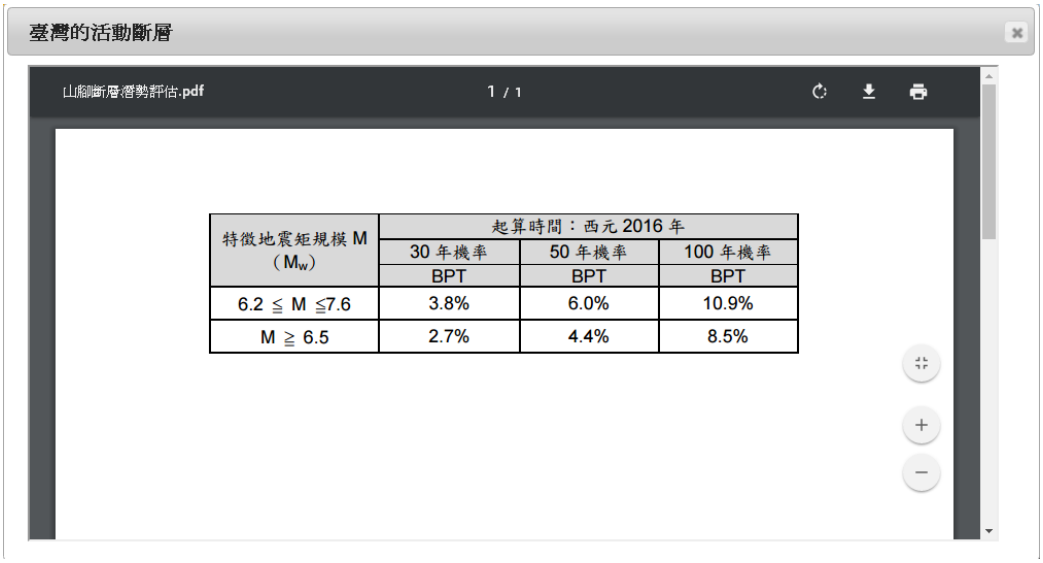


圖 8-4.4：活動斷層查詢網頁新增連結



	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
山腳斷層	斷層分段與破裂事件	A 整段、B 北段、C 南段		地形判釋、野外地質調查、地物探勘	丹桂之助，1939；林朝棨，1957；王執明等，1978；林朝宗，2005；林啟文，2007；中興公司，2012
	長度(km)	A：83(海域 40) B：53(海域 40) C：30		海上震測反射剖面	王天愷等，2007
				多音束地形推測	中興公司，2012
				LiDAR DTM 判釋、野外地質調查、根據地表線形跳階現象分段	張國楨等，2011；胡植慶等 2016
	寬度(km)	13.8		深度/sin 傾角 （以深度 12.5 公里，傾角 65 度計算）	
	破裂深度(km)	15 公里		臺北地區地震深度分布剖面	黃柏壽等，2007
	面積 (km^2)	A:1145、B：731、C：414		長度×深度/sin(傾角) (假設傾角 65 度，深度 12.5 公里計算)	
	走向	北段：N60E 南段：N30E		地形、航照判釋、地震地表破裂判釋	林啟文等，2000 ；中興公司，2012
	傾斜角度（度）	高角度		臺北盆地鑽井剖面	劉桓吉等，2000；蘇泰維等，2003
		高角度		海域震測剖面	蕭力元等，1998；王天愷等，2007
		高角度		關渡平原的淺層震測	石瑞銓，2003
		50-60		五股蘆洲地區震測剖面	簡志宇，2008
		0-3 km：70~85 度 3-8 km：15 度 （9km 以下：60 度）		根據景美礫石層頂部深度變化模擬解析山腳斷層之幾何形貌	陳致同等，2012
		82		金山地區鑽井剖面	中興公司，2012
	斷層機制	正斷層		1.跨山腳斷層鑽井資料 2.遙測地形判釋	林朝棨，1957；王執明等，1978；林啟文等，2000；林朝宗，2005 ；詹瑜璋等，2005；詹瑜璋等，2006；饒瑞鈞等，2006。
	短期滑移速率（mm/yr）	北段	平行斷層走向 1.1(左移) 垂直斷層走向 3.1(壓縮)	GPS2002~2006 之速度場分析	饒瑞鈞等，2006

圖 8-4.5：活動斷層查詢網頁連結「斷層資訊與活動參數」



特徵地震矩規模 M（M_w）	起算時間：西元 2016 年		
	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.2 ≦ M ≦7.6	3.8%	6.0%	10.9%
M ≧ 6.5	2.7%	4.4%	8.5%

圖 8-4.6：活動斷層查詢網頁連結「分析潛勢與評估成果」

第九章、活動斷層潛勢圖公布相關問題研析

目前中央地質調查所已公布全台陸域 1/25,000 比例尺之 33 條活動斷層分布圖，並依地質法劃設了活動斷層敏感區圖且逐年公布之。但這些圖資多為文字性說明，所呈現的訊息為告知民眾台灣陸地上何處有活動斷層、屬於第幾類活動類型、臨近活動斷層之開發案需要加強調查等資訊；但這些訊息大多屬於定性的描述。回顧國外具有多地震災害的先進國家，如日本、美國(加州)等，均早已將定性描述的活動斷層圖改版為可呈現斷層活動機率之活動斷層潛勢圖(如圖 1.7)，這類圖資亦將斷層錯動後可能引發的地表震動值也一併提供給民眾知悉。除了讓民眾知道住所附近有斷層之外，更讓民眾瞭解斷層活動是具有時間及空間上的機率特性，須注意但也不必過於恐慌，這是以正面的態度來看待地震災害問題。

本計畫為國內首次引進「斷層活動機率」的概念，將原本活動斷層圖更新為具有「斷層活動機率潛勢」及「引致地震規模」之進一步量化圖資，這樣的圖資對於常發生地震的日本及美國加州來說，已經是必須讓社會大眾知悉的公開資料且社會上亦有一定的接受度；政府及民間企業並以此類「活動斷層潛勢圖」作為地震防災對策之參考依據。因此，同樣位於地震帶的臺灣，理應遵循美、日先進國家的腳步，提升傳統活動斷層圖的呈現方式且公布同等類型的圖資給社會大眾知悉。

從民眾的角度來看，政府單位若將具有災害潛勢的圖資向社會公布通常會引起民眾過度關心甚至是不必要的擔心，例如 105 年 2 月 6 日美濃地震發生後公告全國土壤液化區潛勢圖即是一例。然而，為避免此新版活動斷層潛勢圖公布後，社會大眾誤用或不必要之疑慮，於本計畫特別規劃「斷層活動潛勢圖公布相關問題研析」，以瞭解社會大眾提出疑慮及預先準備因應對策。

對於此議題，本計畫認為應先逐步釐清以下事項，以利執行本工項。

一、 瞭解哪些單位或民眾會直接受到本潛勢圖之影響

因為活動斷層線形跡很長、所橫跨的縣市分布廣泛，故與活動斷層潛勢圖有關之關係人範圍很廣。若從職業類型來說，會使用到活動斷層資料的職業有：相關科系之專業學者、土地開發業者、執業技師、不動產交易業者、金融保險業者等。

計畫第一年主要針對地質、水土保持、地理之相關產官學召開兩次專家座談會議，初步了解潛勢圖公布後可能面臨之問題。計畫第二年則邀請專業學者、產險業者、相關執業技師及官方單位，了解潛勢圖公布後可能產生之影響。專家座談會議於本年度 11 月 1 日召開，邀請對象如下：

專業學者：建築系教授。

產險業者：新光產物保險公司、怡安保險經紀人股份有限公司。

執業技師：與地質法明定之相關技師如應用地質、大地工程、土木工程、水土保持工程、水利工程、採礦工程等技師進行意見交流，以瞭解執行地質

法相關技師之直接意見。

官方單位：邀請內政部營建署相關執行單位長官參與座談。

會議討論內容詳見附錄 6，會議照片如圖 9.1。



圖 9.1：專家座談會會議情況

二、 召開說明會，瞭解這些單位之意見與問題

本計畫透過專家座談會說明美國及日本潛勢圖圖資之網站平台、地質調查所現有圖資內容、國內相關法規。與會者了解現況後，可依據執業經驗說明圖資公布後可能面臨的問題及對產業可能產生的影響。而本計畫未來也將根據歷次與會者的建議向地質調查所提出改善方案，撰寫「活動斷層潛勢圖公布問題因應策略建議書」。

三、 彙整問題，提出答覆及解決對策

本計畫彙整與地質法相關的學者與技師之各類問題與建議後，撰寫「活動斷層潛勢圖公布問題因應策略建議書_(107 年度版)」，以供地調所之參考依據，詳細內容請參見附錄 6。重點節錄如下：

- 應思考地調所單位屬性，是定位為調查研究還是業務執行? 建議地調所改組前先回歸調查研究之角色，以資訊揭露為主。
- 目前圖資比例尺精細度不足以指導建築，也不足以指導都市計畫，只適用國土計畫，要可以指導都市計畫之比例尺需精細到一萬分之一比例尺。

- 應思考如何與民眾風險溝通，公布後與不同的溝通對象有不同的語言，因此要釐清風險溝通的對象，鎖定風險溝通對象。勿輕易把潛勢圖丟給讀不懂或是無法理解的民眾，風險溝通錯誤會導致更大風險。
- 圖必須轉換有一層防災教育意義，用境況模擬震度及不同建物損毀程度，較能發揮業務上的權責，又能達到風險溝通的意義。
- 潛勢圖的公布，政策上應不會影響地震基本保險費率的變動，然而，有可能影響商業上住宅地震險費率之變動。
- 目前老屋應會需要潛勢圖資訊幫助啟動老屋健檢計畫，然而仍需要更明確的資訊，例如更精細化或是可以轉成震度等資訊。
- 潛勢圖應儘快公布，提供民眾知的權利。公布時機很重要，應在平常沒災害時就公布，才能提供民眾緩衝時間，也提供技師在安全評估時納入考量。
- 使用者需知中可補充：未鄰近斷層區域不代表不會受災。
- 公布應有相關配套措施，如提供諮詢的窗口。
- 應提供民眾版及專業版給不同的風險溝通對象。
- 潛勢圖可做為地質敏感區優先調查之指導。
- 潛勢圖可做為防災設施及重大工程配置之參考，防災設施不能離危害度高之區域太遠，但又不能近到自己也受災。
- 潛勢圖可做為各縣市補助防災設備分配之參考。
- 應有相關的教育宣導來教育民眾如何解讀。
- 是否可提供不同規模之發生機率或是不同版本，而不是只有規模 6.5 以上?
- 斷層發生機率是否可協助耐震設計？如車籠埔斷層因剛活動過，機率已降低，位於斷層兩公里內之擋土牆是否還需要那麼高的耐震度。

四、 滾動式調整或增加說明會邀請對象

藉由本計畫階段之說明會經驗與回饋意見，滾動式調整增加說明會之邀請對象。以車籠埔斷層或彰化斷層為例，向中部地方政府說明清楚鄰近各條斷層之活動性並不相同，讓地方政府先瞭解活動斷層潛勢圖之代表意義，搭配地質法活動斷層敏感區之執行現況，以利地方政府預先初擬未來活動斷層潛勢圖公布後之土地開發審核程序，並預備告知民眾使用此圖資時之注意事項，減少民眾不必要之疑慮。

於地方政府舉辦說明會時，基本上以六都為優先，原因為各地方政府對於中央法令在習性上會以鄰近直轄市的處理方式為其參考依據。例如，以台中市政府為中部地區活動斷層潛勢圖之說明對象。藉由舉辦說明會，逐步瞭解各地方單位之意見及想法，以增進政府對圖資使用者之溝通。

從以往政府與民眾溝通的經驗來看，民眾相信政府的公權力，但卻不滿意政府對民眾的說明，其原因不外乎是「溝通不足」，這部分除了靠政府宣傳之外，根本解決方式仍必須：先進行政府對政府或專業人士的溝通、再透過各級政府對民間的溝通、最後讓民間瞭解後自行溝通。這可能會是一條漫長之路，但確必須如此做。

希望本斷層潛勢圖之公布，不僅不會讓民眾恐慌，而是以積極的態度讓民眾認知

到身處於地震發生頻率高的台灣，地震的發生是自然現象，重要的是人民因應地震發生時如何提前做好防災的準備工作，以達到本計畫之目標：

1. 「配合地質法活動斷層地質敏感區範圍之公告，讓大眾了解活動斷層有各自的發生機率特性，基地雖位於敏感區內，但考量使用年限內之發生機率，加強認知對於活動斷層敏感區可不必過於驚慌。並從政府服務層面盡到提醒、告知且讓民眾了解所處之地質環境，以達居安思危之目的。」
2. 「各項斷層及孕震構造資料可供六都防災計畫修撰之參考，以達主動式地震防災之成效。」

第十章、本年度成果與後續工作

10-1 本年度成果

1. 本計畫針對北部地區七條活動斷層(山腳、湖口、新竹、新城、獅潭、三義及屯子腳)進行新資料蒐集，並諮詢相關專家後，進行參數更新及邏輯樹重新劃設，各斷層參數更新之狀況詳表 10-1.1 所示。
2. 本計畫蒐集 Wu et al. (2017)之 D90 孕震深度空間分布資料，針對北部地區活動斷層進行孕震深度分析，結果顯示除了山腳斷層，其它斷層區域之 D90 孕震深度均高於地質平衡剖面之深度，推測區域中應有其他深部構造之影響。
3. 本計畫新增景國恩等（2018）「斷層活動性觀測研究第四階段-地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估（2/4）」計畫推估之斷層滑移速率，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOKES 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較，並加入斷層潛勢評估中。
4. 以機率法評估活動斷層未來 30、50、100 年特徵地震規模之發生機率。北部地區各斷層發生機率詳如表 10-1.2 所示。
5. 本計畫建立臺南前緣構造、右昌構造及龍船構造之參數表及邏輯樹節點之劃設，詳附錄 1~附錄 3。
6. 召開 2 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議，針對斷層分段特性、三維幾何形貌、最近一次活動時間、長期滑移速率、可能引致地震規模等參數不確定性，進行邏輯樹架構與參數權重之合理性探討，會議記錄詳附錄 4。
7. 本計畫已建立活動斷層照片資訊欄位，並蒐集北部地區七條活動斷層照片及斷層參數表，提供給資訊廠商建置於圖臺上。
8. 本計畫規劃活動斷層潛勢圖公布相關問題研析之執行流程，並舉辦一次專家座談會議，邀請對象包括產險業者、內政部營建署、建築系教授及相關執業技師，瞭解活動斷層潛勢圖公布後之相關問題及對策，記錄詳附錄 6。

表 10-1.1：北部地區活動斷層參數修改情形(O 表示有修改)。

斷層參數 / 斷層名稱	分段破裂模式	斷層幾何	特徵地震規模	滑移速率 (mm/yr)
山腳斷層		O	O	O
湖口斷層	O	O	O	O
新竹斷層		O	O	O
新城斷層		O	O	O
獅潭-屯子腳斷層系統	O			O
三義斷層	O	O	O	O

表 10-1.2：北部地區活動斷層之發生機率表。

斷層名稱	最近一次發生時間	統計模式	規模 6.5 以上發生機率		
			未來 30 年	未來 50 年	未來 100 年
山腳斷層	北段：西元 1867 年 南段：西元 1694 年	BPT	4.6%	7.4%	13.7%
湖口斷層	未知	Poisson	3.6%	5.8%	10.9%
新竹斷層	未知	Poisson	4.3%	7.0%	13.3%
新城斷層	約 300 年前	BPT	4.1%	6.9%	13.8%
獅潭-屯子腳斷層系統	西元 1935 年	BPT	2.5%	4.3%	8.8%
三義斷層	未知	Poisson	10.5%	16.5%	28.5%

10-2 後續工作及建議事項

1. 考慮湖口斷層東西段地表性質不同，因此斷層幾何可能不同之問題。
2. 考慮臺南前緣構造與右昌構造是否有泥貫入體的影響，對長期滑移速率之推估之影響如何加入評估。
3. 考慮右昌構造潛移的貢獻量及和車瓜林構造的連結關係。
4. 考慮龍船構造是否有潛移或是同震誘發的貢獻量。
5. 後續針對臺灣南部及東部地區 17 條活動斷層參數持續進行資料蒐集及精進之工作。
6. 建議作各參數之敏感度分析，瞭解各項參數變動對斷層潛勢影響狀況，挑選出敏感參數後，可將計畫重點放在較為重要的參數作更進一步的探討。
7. 對於未列入地調所活動斷層之活動構造，提出建議新增活動構造之參數蒐集及潛勢評估工作。首先建議大地測量觀測到明顯有活動現象之活動構造，如車瓜林、北宜蘭及鳳山構造，之後陸續參考地調所過去劃設之存疑性活動斷層、Shyu et al. (2016)劃設之孕震構造及鄭錦桐(2002)活動斷層等版本，進行篩選，提出建議新增參數蒐集及潛勢評估之活動構造。

參考文獻

丁權（2012）新竹地區活動斷層特性研究。國立臺灣大學地質科學系碩士論文，共 182 頁。

日本地震調查研究推進本部地震調查委員會(2018)全國地震動預測地圖 2018 年版。

中國石油公司（1978）十萬分之一台灣地質圖─桃園圖幅，中國石油公司台灣油礦探勘總處出版。

中國石油公司（1989）十萬分之一台灣地質圖─台南圖幅，中國石油公司台灣油礦探勘總處出版。

中興公司（2012）營運中核能電廠補充地質調查工作-地質調查成果總結報告，台灣電力公司報告。

中興公司（2015）營運中核能電廠擴大地質調查工作-成果總結報告，臺灣電力公司報告，共 293 頁。

王天楷、徐春田、李昭興、許樹坤、黃怡陵（2007）大台北地區特殊地質災害調查與監測：地熱流與海域火山活動調查與監測（4/4）。經濟部中央地質調查所報告，96–05 號，共 190 頁。

王昱（2003） 桃園–新竹臺地區構造活動與地形特徵。國立台灣大學地質科學系碩士論文，共 105 頁。

王執明、鄭穎敏、王源（1978）台北盆地之地質及沈積物研究。台灣鑛業，第 30 卷，第 4 期，第 78–108 頁。

石同生、盧詩丁、林偉雄、李元希（2003） 新城斷層定位與斷層活動性研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 14 號，第 37–52 頁。

石瑞銓、詹益湘、劉桓吉（2003）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 15 號，1–11 頁。

地質調查所（2016）20160206 地震地質調查報告，共 103 頁。

江婉綺、陳柏村（2012）新竹斷層構造特性研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 26 號，53–74 頁。

朱傚祖、梁勝雄、李建成、陳建良（2012）湖口斷層新釋：上盤活動背衝斷層之新發現及露頭構造分析。經濟部中央地質調查所特刊，第 26 號，第 31–51 頁。

吳福泰(1965)臺北盆地新莊構造地下地質之研究。台灣石油地質，第 4 號，第 271–282 頁。

李奕亨（2009）以中尺度反射震測法研究屯子腳斷層活動機制及構造上的意義，國立中央大學地球物理研究所博士論文，共 125 頁。

李錫堤（1993）活斷層工程評估新發展。地工技術，第 44 期，第 5–18 頁。

李錫堤、翁淑卿、鄭錦桐、廖啟雯 (2001)台南後甲里斷層的構造發育及古地震研究之初步成果，九十年度中國地球物理年會暨學術研討會論文集，第 226-231 頁。

沈玟劭（2008）新竹外海構造研究，國立台灣大學海洋研究所碩士論文，共 46 頁。

林良安（1999）湖口斷層淺層反射震測之研究。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 109 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─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 19 號，共 130

頁。
林啟文、游鎮源、洪國騰、周稟珊（2012）臺灣南部臺南-高雄泥岩區的地質構造研究。經濟部中央地質調查所彙刊，第二十五號，第 143-174 頁。
林啟文（2013）五萬分之一臺灣地質圖—旗山圖幅。經濟部中央地質調查所。
林燈河（1987）1935 年新竹、台中烈震之震源機制。國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
花井重次（1930）台灣桃園台地之活斷層。地理學評論，vol.6，no.7，226–237 頁。
洪日豪（2006）台灣西南部前陸地區斷層演化與具油氣潛能之地塊構造。行政院國家科學委員會經濟部能源局九十五年度能源科技學術研討暨成果發表會。
胡植慶、黃孟涵、景國恩、饒瑞鈞（2006）利用差分合成孔徑雷達干涉及大地測量觀測臺南台地之地殼變形，1906 梅山地震百週年紀念研討會。
胡植慶、劉啟清、楊燦堯、景國恩、鄭錦桐（2016）斷層活動性觀測研究第三階段-斷層整合性觀測與潛勢分析。經濟部中央地質調查所第三階段總結報告書(二)，共 468 頁。
徐澔德、莊怡蓉、崔秀國（2016）臺灣地區斷層模型參數建置。核能設施地震危害重新評估計畫之專業委辦計畫，共 29 頁。
徐慶雲（1975）台南縣坑內、龍船及高雄縣小滾水構造地質查核報告。中油內部報告。
孫習之（1959）高雄縣及台南縣小滾水、坑內及龍船構造地質調查報告。中油內部報告。
郭泰融（1990）新城斷層之地球物理探勘。國立中央大學碩士論文，共 81 頁。
郭鶯萍（2017）探討泥岩區對臺灣西南部褶皺逆衝帶的高異常變形量之影響。國立臺灣大學理學院地質科學研究所碩士論文，共 137 頁。
鳥居敬造（1931）龍船附近地形及地質圖。臺灣總督府殖產局縮尺壹萬五千分之一地質圖。
陳文山、劉力豪、顏一勤、楊小青、李龍昇、游能悌、張徽正、石瑞銓、陳于高、李元希、林偉雄、石同生、盧詩丁（2003）新城斷層的古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊第十四號，第 11–23 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，17 期，53-77 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 21 號，61–106 頁。
陳文山（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報告第 99–09 總號，共 141 頁。
陳文山、黃能偉、楊志成（2011）臺灣西南部更新世沈積層序特性與前陸盆地演化。經濟部中央地質調查所特刊，第二十五號，第 1-38 頁。
陳文山、游能悌、楊小青（2012）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(2/4)。經濟部中央地質調查所報告，第 101-9 號，共 130 頁。
陳冠宇（2014）台灣北部由造山帶至弧後張裂之陸域及海域構造研究。國立中央大學地球科 學系，博士論文，共 183 頁。
陳柏村（2005）旗山斷層南段變形特性之研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 125 頁。

陳致同、李建成、詹瑜璋、盧佳遇、鄧屬予（2012）台北都會區山腳斷層之地下形貌建構與分析：先存構造之再活化？101 年地質學會及地球物理學會年會暨學術研討會論文集，第 84 頁。

張李群（2014）以大地測量資料進行龍船斷層與旗山斷層行為分析之研究。成功大學測量及空間資訊研究所碩士論文，共 110 頁。

張國楨等人（2011）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（1/4）。經濟部中央地質調查所報告第 100–10 號，共 289 頁。

黃旭燦、沈顯全、童英銓、紀文榮（1996）苗栗、新竹海域及濱海地區之構造逆轉與油氣聚積關係，中國石油公司探採研究彙報第 19 期，第 266-297 頁。

黃旭燦、楊耿明、吳榮章、丁信修、李長之、梅文威、徐祥宏（2004） 斷層活動性觀測與地震潛勢評估調查研究 台灣陸上斷層帶地質構造與地殼變形調查研究（5/5）–台灣西部麓山帶地區地下構造綜合分析。經濟部中央地質調查所報告第 93–13 號，共 59 頁。

黃宣維（2012）以三維構造幾何形貌和大地測量分析台灣西北部新竹地區之新期構造活動。國立台灣大學地質科學系碩士論文，共 139 頁。

黃柏壽、陳國誠、劉忠智、溫國樑、黃文紀、林正洪（2007）大台北地區特殊地質災害調查與監測：地球物理微震調查與監測（4/4）期末總結報告書，經濟部中央地質調查所報告; 96–04 號。

景國恩、胡植慶、陳宏宇、張午龍、鄭凱謙、莊昀叡（2018）斷層活動性觀測研究第四階段-地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估（2/4）。經濟部中央地質調查所報告。

溫國樑、謝昭暉（2002）高雄都會區地動特性分析及地層震測研究計畫(1/2)。經濟部中央地質調查所計畫 91EC2A380303。

楊耿明、洪日豪、饒瑞鈞、吳榮章、黃旭燦（2001）斷層活動性觀測與地震淺勢評估調查研究－台灣陸上斷層帶地質構造與地殼變動調查研究(2/5)六甲、新化地區，經濟部中央地質調查所報告，第 90-4 號。

董倫道、李奕亨、陳文山（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（5/5），經濟部中央地質調查所報告第 95–09 號，共 187 頁。

蒲新杰（2010）藉由高密度地震網之監測資料探討新竹地區地殼構造的特性。國立中央大學地球物理研究所博士論文，共 159 頁。

劉力豪（2004）竹東丘陵的活動斷層古地震及相關活動性研究。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，共 90 頁。

劉彥求（2013）龍船斷層地質調查。經濟部中央地質調查所 101 年度業務成果發表會手冊，第 32 頁。

劉桓吉、蘇泰維、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 年度研究發展專題，共 30 頁。

鄭錦桐（2002）臺灣地區地震危害度的不確定性分析與參數拆解。國立中央大學地球物理研究所博士論文，共 141 頁。

盧建中（2006）台灣西南平原末次冰期以來之地層及構造運動。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，共 143 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，第 32 期，133–153 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、劉桓吉、劉憲德、黃健政（2003）台北盆地西緣山腳斷層調查研究初步成果─環境與工程地質調查研究。91 年度經濟部中央地質調查所年報，第 118–121 頁。
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。經濟部中央地質調查所特刊，第十四號，第 161-171 頁。
Bonilla, M.G. (1975) A review of recently active faults in Taiwan: U. S. Geological Survey Open File Report 75-41, 58 p.
Bonilla, M.G. (1977) Summary of Quaternary faulting and elevation changes in Taiwan: Geological Society of China Memoir 2, p. 43-55.
Chen, C.T., Lee, J.C., 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., 21(3), p.409–428.
Chen, Y.G., Shyu, J.B.H., Ota, Y., Chen, W.S., Hu, J.C., Tsai, B.W., and Wang, Y.(2004) Active structures as deduced from geomorphic features: a case in Hsinchu Area, northwestern Taiwan. Quat. Int., pp.189–199.
Cheng, C. T., S. J. Chiou, C. T. Lee, and Tsai, Y. B. (2007) Study on probabilistic seismic hazard maps of Taiwan after Chi-Chi earthquake. J. GeoEngineering, 2, 19-28.
Chiu, H.T. (1970) Structure Features of the area between Hsinchu And Taoyuan, northern Taiwan, Memoir of the Geological Society of China, no. 13, 63-75.
Field, Edward H., Glenn P. Biasi, Peter Bird, Timothy E. Dawson, Karen R. Felzer, David D. Jackson, Kaj M. Johnson, Thomas H. Jordan, Christopher Madden, Andrew J. Michael, Kevin R. Milner, Morgan T. Page, Tom Parsons, Peter M. Powers, Bruce E. Shaw, Wayne R. Thatcher, Ray J. Weldon, II, and Yuehua Zeng (Working Group on California Earthquake Probabilities) (2013) The Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 3 (UCERF3). USGS Open-File Report 2013–1165, 115 pp.
Hsu, T. L. and Chang, H. C. (1979) Quaternary faulting in Taiwan. Memoir Geol. Soc. China, No. 3, p. 155-165.
Huang, B.S., Yeh, Y.T. (1992) Source geometry and slip distribution of the April 21, 1935 Hsinchu–Taichung, Taiwan earthquake. Tectonophysics, 210, 77–90.
Huang, Mong-Han, Jyr-Ching Hu, Kuo-En Ching, Ruey-Juin Rau, Chia-Sheng Hsieh, et al. (2009) Active deformation of Tainan tableland of southwestern Taiwan based on geodetic measurements and SAR interferometry. Tectonophysics, 466, pp.322-334.
Huang, S.Y., Rubin, C.M., Chen, Y.G., and Liu, H.C. (2007) Prehistoric earthquakes along the Shanchiao fault, Taipei Basin, northern Taiwan. Journal of Asian Earth Sciences, 31, p265–276.
Hung, J.H., and Wiltschko, D.V. (1993) Structure and kinematics of arcuate thrust faults in the Miaoli-Cholan area of western Taiwan: Petrol. Geol. Taiwan, 28, 59–96.
Lacombe, O., Mouthereau, F., Deffontaines, B., Angelier, J., Chu, H.-T., Lee, C.-T., (1999) Geometry and Quaternary kinematics of fold-and-thrust units of southwestern Taiwan. Tectonics 18, 1198–1223.
Lettis Consultants International, Inc. (LCI) (2015) Preliminary Seismic Source Characterization and Earthquake Magnitude Approach (Phase 1) to

Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis of the Shanchiao Fault for the Jinshan and Kuosheng Nuclear Power Plants Northern Taiwan, Taiwan (Revision 1), August 5, 2015, 110 p.
Lin, A. T. and A. B. Watts (2002) Origin of the West Taiwan basin by orogenic loadin and flexure of a rifted continental margin. JGR, VOL. 107, NO. B9, 2185.
Lin, C.H., Yeh, Y.H., and Roecker, S.W. (1989) Seismic velocity structures in the Sanyi-Fengyuan area, central Taiwan: Proc.Geol. Soc. China, 32, 101–120.
Lin, Y.N., (2005) Surface Deformation and Seismogenic Structure Model of the 1935 Hsinchu–Taichung Earthquake (MGR = 7.1), in Miaoli, Northwestern Taiwan. Master Thesis National Taiwan University, 77 pp.
Namson, J. (1984) Structure of the western foothills belt, Miaoli-Hsinchu area, Taiwan (III): central part. Petrol. Geol. Taiwan, no.20, 35–52.
Pan, Y.S. (1965) Interpretation and seismic coordination of the Bouguer gravity anomalies obtained in northwestern Taiwan. Petroleum Geology of Taiwan, 4, 287–301.
Pan, Y.S. (1968) Interpretation and seismic coordination of the bouguer gravity anomalies obtained in southwester n Taiwan, Petrol. Geol. Taiwan, no. 6, p.197-208.
Sheu, H.C., Kosuga, M., and Sato, H. (1982) Mechanism and fault model of the Hsinchu–Taichung (Taiwan) earthquake of 1935. Zisin, 2 (35), 567–574 (in Japanese).
Shyu, J. B. H., Sieh, K., Chen, Y.G., and Liu, C.S. (2005) Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes: J. Geophys. Res., Vol.110, B08402.
Shyu, J. B. H., Chuang, Y.-R., Chen, Y.-L., Lee, Y.-R., Cheng, T. C.-T. (2014) Progress of constructing a new seismogenic structure source model for the Taiwan Earthquake Model (TEM). 2014 Taiwan-Japan-New Zealand Seismic Hazard Assessment Meeting, NCREE, Taipei, Taiwan.
Song, S. R., Chen, T. M., Tsao, S., Chen, H. F., & Liu, H. C. (2007) Lahars in and around the Taipei basin: Implications for the activity of the Shanchiao fault.Journal of Asian Earth Sciences, 31(3), 277-286.
Sun, S. C. (1964) Photogeologic study of the Tainan-Kaohsiung coastal plain area, Taiwan, Petrol. Geol. Taiwan, no.3, P.35-51.
Suppe, J., and Namson, J. (1979) Fault-bend origin of frontal folds of the Western Taiwan Fold-and-Thrust belt. Proceedings of the Geological Society of China, No. 16, 1–18.
Tang, C.H. (1963) Geology and oil potentialities of the Hukou anticline, Hsinchu. Petroleum Geology of Taiwan, No. 2, 241–252.
Tang, C. H. and Hsu, C. H. (1970) Subsurface geology and petroleum deposits in the Hsinchu area. Petrol. Geol. Taiwan, no.7, 89-101.
Teng, L. S., Lee, C. T., Peng, C. H., Chen, W. F., & Chu, C. J. (2001) Origin and geological evolution of the Taipei basin, northern Taiwan. Western Pacific Earth Sciences, 1(2), 115-142.
Wang, C.Y., Yang, R.K., and Tsai, D.T. (1991) Shallow reflection seismics using firecrackers as the source II: field experiments. TAO, 2(3), 163–185.
Wei, K., Chen, Y.G., and Liu, T.K. (1998) Sedimentary history of the Taipei basin with constraints from thermoluminescence dates. Jour. Geol. Soc. China, 41, 109–125.

Wells, D.L., and Coppersmith, K.J. (1994) New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bull. Seism. Soc. Am., 84, 974-1002.

Working Group On California Earthquake Probabilities (2008) The Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 2. USGS Open-File Report 07-1437.

Wu, W. N., Y. T. Yen, Y. J. Hsu, Y. M. Wu, J. Y. Lin, S. K. Hsu (2017) Spatial variation of seismogenic depths of crustal earthquakes in the Taiwan region: Implications for seismic hazard assessment. Tectonophysics 708, 81–95.

Yang, C. C. (2007) Seismogenic Structure of the Chiayi-Tainan Area and the Long-term Slip Rates of Frontal Thrusts in Southwestern Taiwan. Department of Geosciences NTU Doctoral Dissertation, pp. 116.

Yang, K. M., Wu, J. C., Ting, H. H., Wang, J. B., and Chi, W. R. (1994) Sequential deformation in foothills belt, Hsinchu and Miaoli areas: Implications in hydrocarbon accumulation: Petrol. Geol. Taiwan, no.29, 47–74.

Yang, K. M., Wu, J. C., Wickham, J. S., Ting, H. H., Wang, J. B., and Chi, W. R. (1996) Transverse structures in Hsinchu and Miaoli areas: Structure mode and evolution in the foothills belt, northwestern Taiwan. Petrol. Geol. Taiwan, no.30, 111–150.

Yang, K.-M., Huang, S.-T., Wu, J.-C., Ting, H.-H., Mei, W.-W., Lee, M., Hsu, H.-H., and Lee, C.-J. (2007) 3D Geometry of the Chelungpu thrust system in central Taiwan: Its implications for active tectonics. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 18(2), 143–181.

Yen, Y.T., and Ma, K.F. (2011) Source-Scaling Relationship for M 4.6–8.9 Earthquakes, Specifically for Earthquakes in the Collision Zone of Taiwan. Bull. Seismo. Soc. Am., 101(2), 464–481.

Yue, L.F., Suppe, J., and Hung, J.H. (2005) Structural geology of a classic thrust belt earthquake: the 1999 Chi-Chi earthquake Taiwan (Mw=7.6). J. Struct. Geol., 27, 2058–2083.

委員審查意見

期中委員審查意見

期中審查意見	處理情形
1. 有關斷層分段會影響情境設定與評估，建議針對各斷層之分段狀況作進一步說明	本年度斷層分段破裂模式無更新者(山腳、新竹、新城、獅潭、屯子腳)，會在前階段計畫成果中補充分段點及分段破裂模式之說明；有更新者(湖口、三義)，會在邏輯樹更新章節中說明更新之分段點及分段破裂模式。
2. 有關臺南前緣構造之長期滑移速率，利用河道下切速率除以河階年代而得，係假設此區域之地表抬升皆由斷層活動所貢獻，建議說明此項工作之資料限制性。	此工作資料限制性說明已補充於附錄 1 中。另本計畫新增楊志成(2007)透過平原區鑽井資料的層序地層分析及定年資料推估之長期滑移速率，本計畫認為可信度較高，並給予較高之權重。
3. 今年 0206 花蓮地震會影響米崙斷層的評估，建議納入今年斷層潛勢圖之檢討工作。	感謝委員建議，因米崙斷層規劃在 109 年度計畫中進行重新評估，本團隊將於該計畫中納入 0206 花蓮地震進行探討。
4. 計畫進行邏輯清楚，已獲致不錯的成果。	感謝委員意見。
5. 相關參數的定義，可以有更清楚的描述。	本計畫應用於斷層潛勢評估之長期滑移速率，主要是考慮孕震累積速率，特性則近似於塊體模型中提到的滑移虧損率，然此虧損率也需考慮長期區域之應力狀態穩定，因此從近十幾年之地表變形資料計算之虧損率未必可反映長期之虧損率。本計畫認為從槽溝資料中之地層錯移及年代推估最可信，因其直接反映地震造成之錯移，且百年~千年的時間尺度也反映了長期之應力累積狀態。
6. 建議將主要證據納入資料庫，提供查詢者參考。	感謝委員意見，目前地調所於活動斷層上之調查資料，包括鑽井、槽溝、地物測線、水準測線、GPS 站等之資料，皆可於網頁查詢平台點選並觀看，後續也會持續更新最新之調查結果。
7. 研究中引用資料宜儘量使用已發表之文獻。	感謝委員意見，本計畫會減少引用未發表之學生論文。
8. 原始證據與解釋證據宜分開，以避免混淆。	感謝委員意見，報告內文中原始證據均會引用參考文獻，解釋證據則會於文中強調為本計畫觀察及推估之結果。

9. 請嘗試更合理地進行文獻成果可靠度分析及參數可靠度分析來獲得更合理的成果估算。	感謝委員意見，本計畫主要是藉由邏輯樹方式給予證據力高之參數較高之權重，而參數權重也會與相關專家進行討論及訂定，本計畫會在報告內文中加強這方面的論述。
10. 請思考如何納入如 1999 年集集地震、2003 年成功地震及 2016 年美濃地震等資訊，進入到各參數之判斷。	感謝委員意見，目前本計畫中歷史地震對斷層潛勢評估之影響為「是否加入最近一次活動時間並採用與時間相依之機率模型」，本計畫將持續蒐集歷史地震資料，釐清斷層最近一次發震的時間。至於歷史地震是否會造成短期區域應力之變化，進而影響潛勢評估，建議於下一階段可作為主要研究的課題之一。
11. 建議可以開始思考須要增加哪些新的觀測資料，進行方法學的討論，如斷坡和斷坪扮演的角色；斷層和歷史地震的關係；斷層滑移速率的意義及其數值的意義等。	感謝委員意見，本計畫在檢視各斷層之調查資料後，針對參數需要新增調查的部分，會再提出後續需要研究及加強調查之建議。
12. 計畫成果相當不錯，宜強化後續成果推廣的工作規劃。	感謝委員意見，成果推廣的工作也是本計畫「活動斷層潛勢圖公布相關問題研析」工作中之主要議題，我們會在座談會議中提出探討，並於因應策略建議書中進行說明。
13. 斷層現地照片位置有些不在斷層線上，原因為何應特別標示說明。	有些照片是位於分支斷層，有些照片則是斷層帶中之地表變形現象，本計畫都會進行蒐集並標明照片來源。後續則會諮詢相關專家進行篩選。

期末委員審查意見

期末審查意見	處理情形
（一）潛勢評估：	
1. 第 24 頁有關山腳斷層之描述，似乎確認 1694 年地震及 1867 年地震時山腳斷層皆有地表破裂，並作為斷層分段之間接證據，但文獻中似乎僅提及地震(或海嘯)影響範圍，且依現有調查成果仍欠缺地質證據支持，建議調整相關描述。	修改內文論述如下：西元 1694 年的地震似未對金山或外海地區造成影響，西元 1867 年的地震也未在臺北盆地區造成影響，間接地顯示了山腳斷層分段破裂的行為。
2. 山腳斷層北段用 BPT 模式，並認為地震斷層於 1867 年活動，但由山腳斷層北段之鑽井顯示 10,000 年內未活動，請注意此資料。	西元 1867 年之地震破裂，可能來自於金山外海區域，因此在陸域鑽井不會發現錯動之記錄。本計畫後續對每一條斷層，均會考慮上一次發生時間未知之情形，除了避免對於上一次發生時間之爭議外，也可與 BPT 模式進行對照比較。
3. 第 29 頁圖 2-1.8 剖面 2 中鄰近 STII 構造之淺部數公里有一處微震密集區域，可能原因為何？	參酌 Tsai et al. (2017) The Keelung Submarine Volcano in the near-shore area of northern Taiwan and its tectonic implication 文章，該處應為海底火山活動造成之微震。
4. 第 43 頁描述新竹外海之震測剖面可顯示湖口斷層海域延伸段位置，請於圖 3-2.2 震測剖面中指出斷層的大致位置。	遵照辦理，於震測剖面中標示斷層的位置如圖 3-2.2 所示。
5. 第 50 頁設定新竹斷層傾角為 35-50 度，但由近期之鑽探結果顯示在三姓公橋一帶斷層傾角約 30 度，甚至更緩一些(江婉綺與陳柏村，2012)，是否考慮調整斷層傾角設定條件。	感謝委員建議，由江婉綺與陳柏村(2012)鑽井得到之斷層傾角可以有效控制淺部幾百公尺深度之幾何，然而根據中油於青草湖背斜深度接近 4 公里之鑽井結果顯示，新竹斷層傾角約為 50 度，若是考慮整個斷層面幾公里深度之破裂，本計畫仍是參考震測剖面或是地質剖面之解釋為主。
6. 第 73 頁設定獅潭斷層之傾角為 40-60 度，但野外調查結果斷層傾角多大於 60 度甚至 70 度(大塚彌之助，1936)，是否考慮調整斷層傾角設定條件。	感謝委員建議，野外露頭調查之斷層傾角僅能控制淺部幾公尺深度之幾何，若是考慮整個斷層面幾公里深度之破裂，本計畫仍是參考震測剖面或是地質剖面之解釋為主。

7. 後續需考慮湖口斷層東西段地表性質不同，因此斷層幾何可能不同之問題。	感謝委員建議，因湖口斷層西段缺少地下剖面資料，因此本計畫暫以湖口背斜之地質剖面當作整段之幾何，後續工作中建議搜尋是否有西段之地質剖面資料可作為修改斷層幾何面之依據。
8. 新竹斷層和新城斷層之間的幾何關係，請修正。	本計畫修改新竹斷層和新城斷層幾何形貌使符合現實剖面結果並合於邏輯，詳述於定稿版 4-1-2 節中。
9. 建議後續可考慮臺南前緣構造與右昌構造泥貫入體的影響。	感謝委員建議，泥貫入體的影響可採用折減滑移速率的方式進行潛勢評估，然而是否此兩構造有受到泥貫入體影響仍有爭議，建議後續可在邏輯樹中新增一個分支考慮。
10. 建議蒐集歷史地震資料，確認是否有與臺南前緣構造相關之地震。	感謝委員建議，臺南前緣構造鄰近地區相關歷史地震之蒐集補充於附錄 1 中。
11. 臺南前緣構造推求參數時，是假設有破到地表之情形，應說明其限制性。	此工作資料限制性說明已補充於附錄 1 之斷層破裂模式及邏輯樹權重分配中。
12. 建議後續可考慮右昌構造潛移的貢獻量及和車瓜林構造的關係。	感謝委員建議，右昌構造潛移的貢獻量可採用折減滑移速率的方式進行評估，建議後續可在邏輯樹中新增一個分支考慮。右昌構造和車瓜林構造是否可連結，目前本計畫尚未進行相關的蒐集與討論，本計畫會於後續工作中建議考慮。
13. 建議後續蒐集美濃地震誘發龍船構造的變形，釐清龍船構造是否為發震構造及是否有潛移作用。	感謝委員建議，美濃地震誘發龍船構造的變形補充於附錄 2 中，龍船構造是否為發震構造及是否有潛移作用，均會影響到長期滑移速率，可採用折減滑移速率的方式進行評估，然而應該折減多少比例目前本計畫尚未進行相關的蒐集與討論，會於後續工作中建議考慮。
14. 採用資料時，應說明清楚原由，為何採用該資料?分段時說明是地形分段、地質分段、地球物理分段或其他方式。	感謝委員意見，本計畫主要是藉由邏輯樹方式給予證據力高之參數較高之權重，而參數權重也會與相關專家進行討論及訂定，會於報告中加強論述。分段說明會詳細補充於斷層之分段破裂模式之描述中。

15. 斷層幾何部分，因不同調查方法是對應不同深度之解析能力，在描述上應說明清楚。	感謝委員意見，本計畫為了簡化斷層幾何之評估，不採用太複雜之幾何，因此主要會參考對於深部解析較佳之資料，如幾何上會參考地質剖面、平衡剖面，在破裂深度則會多參考地震深度分布。而對於資料不足以判斷斷層幾何的，則間接參考斷層機制、地溫梯度、速度構造剖面或是岩石流變學的方式推估。
16. 需思考孕震深度與其他地質資料之間關係，例如震測剖面、平衡剖面和微震分布的關係。	感謝委員建議，經評估近期透過地震隨深度之地震矩累計所推估之孕震深度資訊，比本計畫斷層幾何之深部延伸深度來的較深，搭配鄰近地體構造與背景地震資訊，深度大於 10 公里以下應有其他孕震構造存在，因此並不適宜直接採行地震矩累計評估之孕震深度，也表示不一定將此孕震深度連結地表淺部斷層。
17. 三義斷層深度 10 公里如何決定，是基底滑脫面深度還是孕震深度？	本計畫認為三義斷層屬於西部麓山帶之褶皺逆衝帶斷層，於深處接基底滑脫面，根據區域地震分布推估基底滑脫面深度約 10 公里，因此給予三義斷層破裂深度 10 公里。
18. 本計畫運用 BPT 及 Poisson 等 2 種方式評估斷層潛勢，二者得出之結果是否能相互比較？	本計畫後續對每一條斷層，均會考慮上一次發生時間未知之情形，可與 BPT 模式進行對照比較。
19. 建議後續作各參數之敏感度分析，瞭解各項參數變動對斷層潛勢影響狀況，挑選出最為敏感的參數後，可將計畫重點放在較為重要的參數作更進一步的探討。	感謝委員意見，本計畫會於後續工作中建議考慮。
20. 斷層滑移速率需考慮空間變化、錯誤、不同時期之差異所造成的影響，同時需注意是否遺漏走向滑移分量。	感謝委員建議，採用地質資料獲得活動斷層之長期滑移速率，在空間變化、誤差、不同時期之差異以及走向滑移分量之計算上，均會有其侷限性，因此建議加入「地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估（2/4）」計畫反演模型之方式評估斷層之滑移虧損率，可以全面考量上述之問題。
21. 特徵地震之規模是否可統一?	特徵地震之規模是針對不同斷層之長度及斷層面幾何，採用經驗公式計算而獲得，因此不同斷層會有不同的地震規模區間。

22. 採用圖資時，注意比例尺。	感謝委員建議。
（二）報告書內容及其他建議事項：	
1. 輸入資料計算時，應注意有效數字。	感謝委員建議，本報告中滑移速率值會修改至小數第一位。
2. 專有名詞的意義需說明清楚。	感謝委員建議，本計畫新增名詞解釋於定稿版報告內文之前。
3. 圖說的格式請修正，有關圖片內容之補充說明及參考文獻請放在圖號及圖名之後(應寫入圖說之中)。	遵照辦理，報告所有圖說均按要求之格式修改。
4. 第 22 頁第 2 行「Earthqauke」應為「Earthquake」。	遵照辦理修改。
5. 第 148 頁新竹斷層照片 03 似乎應與第 150 頁新城斷層照片 05 同為頭前溪河床之露頭，請再確認。	感謝委員意見，經確認為新城斷層露頭，已刪除新竹斷層照片03。
6. 第 150 頁照片 06 說明第 3 行「露頭以不復見」應為「已」。	遵照辦理修改。
7. 第 67 頁第二段缺漏字，”新”城斷層。	遵照辦理修改。
8. 圖 11-2.1 及圖 11-2.2 建議標題移至圖框外上方，右下側圖說可以移至圖框外下方位置，水平和垂直速率顏色以漸層方式呈現，是否考慮以分離式色階表示。	關於圖幅版面配置，基於延續第一年圖資之呈現方式考量，暫不作更動。待完整計畫完成後，再彙整意見進行全臺潛勢圖版面之配置修改。
9. 建議後續可嘗試改變思維，參考美、日斷層活動潛勢評估的新方法。	感謝委員建議，本計畫將會持續蒐集國內外最新研究成果，並規畫可於後續計畫應用於潛勢評估之新方法。

附錄 1 臺南前緣構造之震源參數設定

一、斷層參數表之建立及說明

1. 斷層長度與分段：

鄭錦桐(2002)在進行臺灣地震危害度評估時，加入了臺南盲斷層之斷層震源，長度為 36 公里，分布如附圖 1.1 所示。

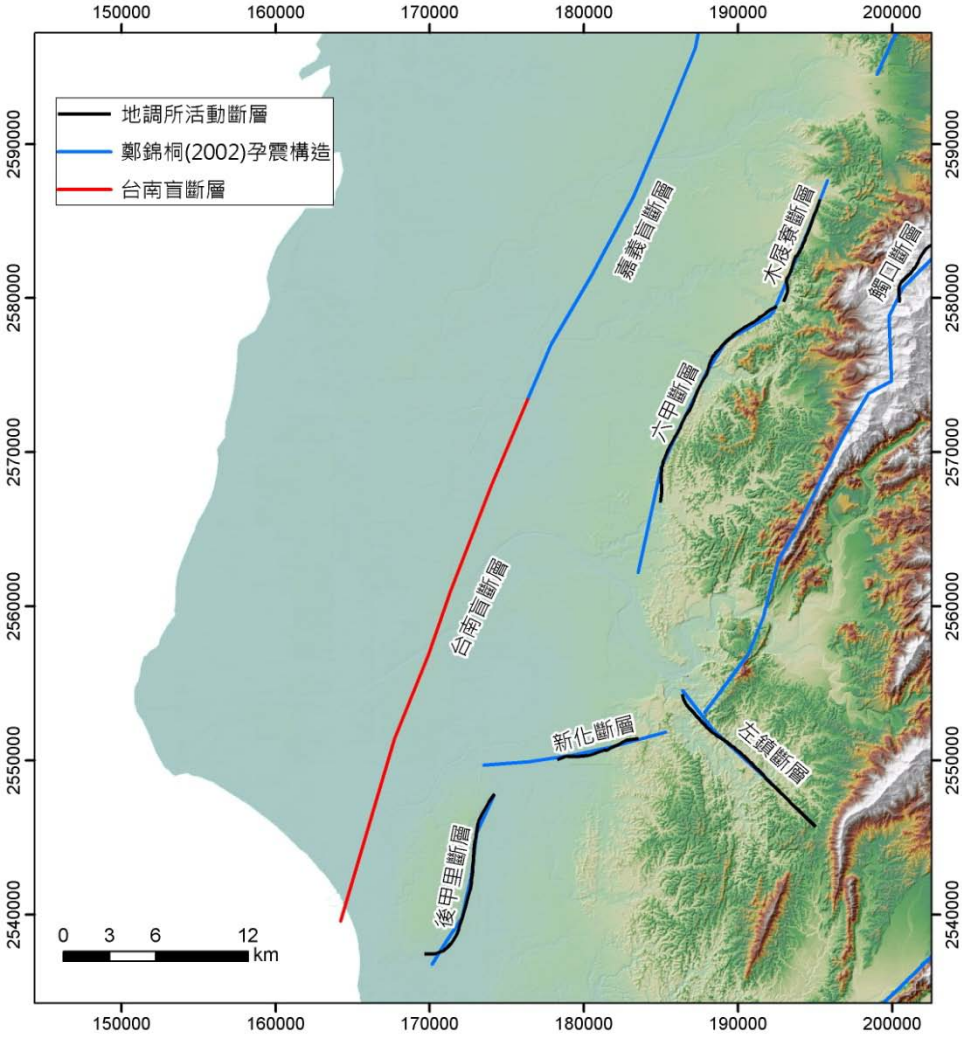
陳文山等(2004)依照地形與構造特性將嘉南地區劃分為三個構造地形帶，分別為海岸平原、隆起台地及麓山帶(附圖 1.2)，隆起台地區地形呈微微向西傾斜的緩起伏面，從 GPS 資料發現隆起台地區每年平均的向西水平位移量大於海岸平原區，兩構造區之間約有 10 公厘的地殼壓縮量。楊耿明等(2001)假設麓山帶底脫面延伸至隆起台地與海岸平原之下，陳文山等(2004)解釋隆起台地與海岸平原區的變形是新營斷層活動形成三角剪動變形帶所產生，並造成地表的隆起變形(附圖 1.2)，並描繪新營斷層之位置(附圖 1.3)。

隆起台地往南為臺南台地，從近期的臺南台地地殼變形量測中，多數學者認為後甲里斷層是屬於臺南斷層之背衝斷層（Lacombe et al., 1999；饒瑞鈞等，2003；胡植慶等，2006；Huang et al., 2009），根據李錫堤等人（2001）槽溝開挖結果，也推論後甲里斷層為背扭褶皺或背衝斷層。陳文山等(2004)認為臺南台地可能是受到盲斷層的作用而形成(附圖 1.4)。

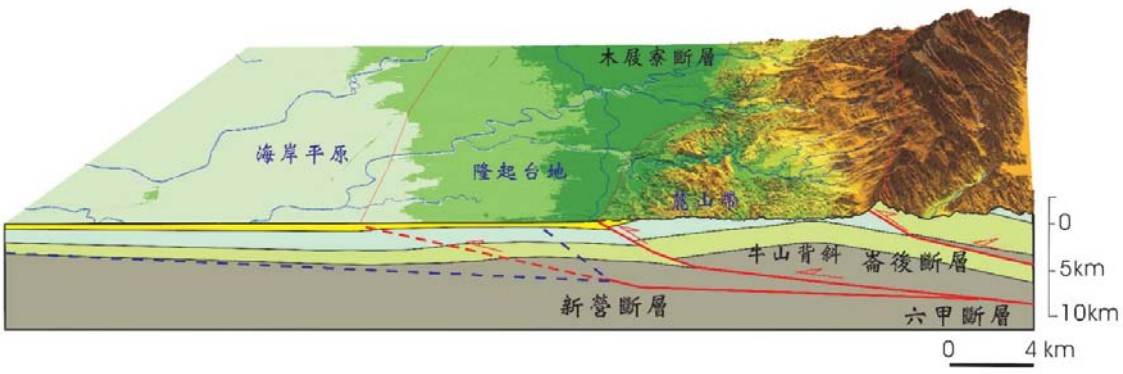
楊志成(Yang, 2007)根據震測剖面及地質構造剖面描繪新營斷層之位置，如附圖 1.5 代號 I 之斷層線形，其與嘉義斷層之間被義竹斷層所截切，與臺南斷層之間則被新化斷層所截切。

徐澔德等人(2016)為建立台灣核電廠地震危害度評估之孕震構造震源參數，描繪了 44 條陸域孕震構造(附圖 1.8)，臺南前緣構造是嘉南地區海岸平原下未出露之盲構造，長度為 32.9 公里，其分布如附圖 1.9 所示。參數詳如附表 1.1 所示。

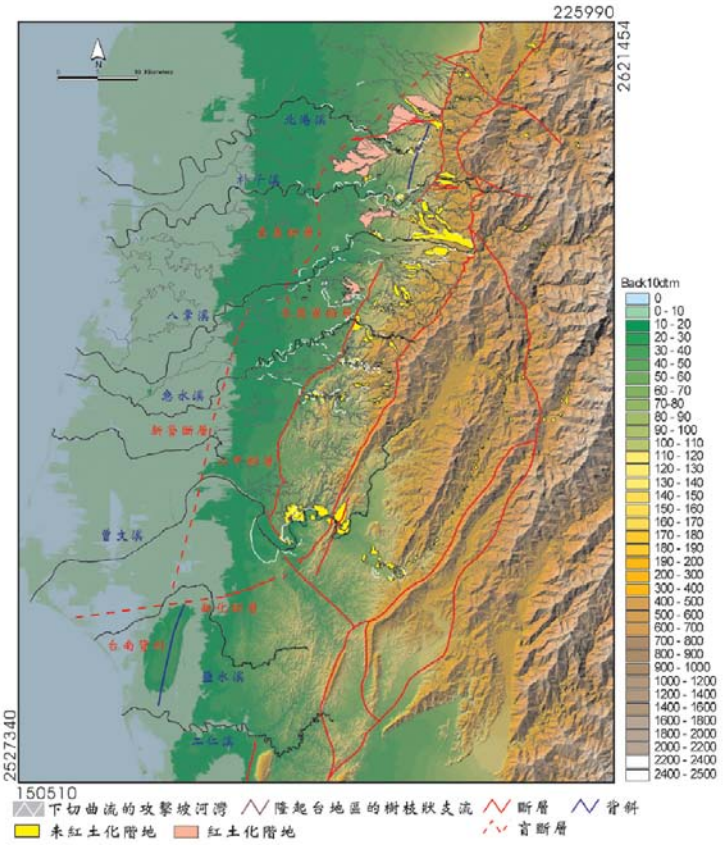
彙整各版本對於臺南前緣構造之線形分布如附圖 1.10 所示，本計畫評估臺南前緣構造之破裂模式，以楊志成(Yang, 2007)版本考慮臺南前緣構造會被新化斷層延伸段截切，而往北則止於義竹斷層。本計畫第一次專家諮詢會議中，專家提出新化斷層以南之部分在地形上以及 GPS 滑移速率(附圖 1.13)均和新化斷層以北有差異，認為應為兩條不同之斷層，新化斷層以南屬於臺南斷層，新化斷層以北屬於臺南前緣構造，而臺南斷層在後甲里斷層潛勢評估中會再討論。本計畫臺南前緣構造邏輯樹中僅考慮一種破裂模式，長度 39 公里。



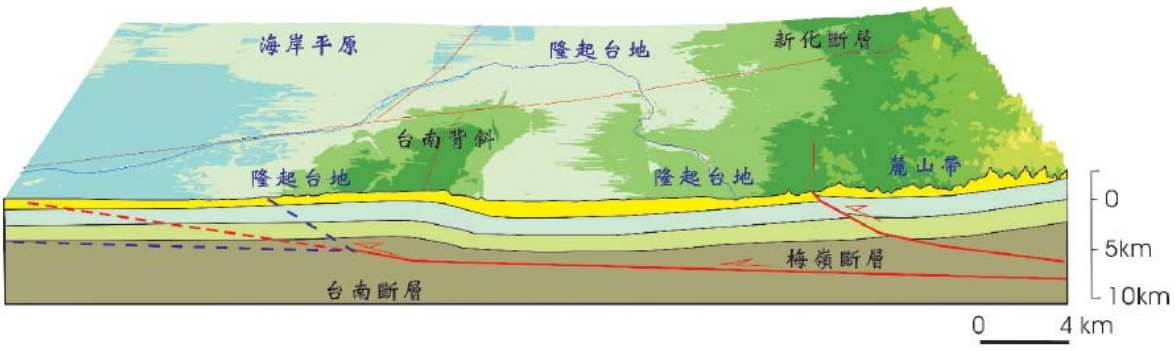
附圖 1.1：臺南盲斷層分布圖(鄭錦桐，2002)



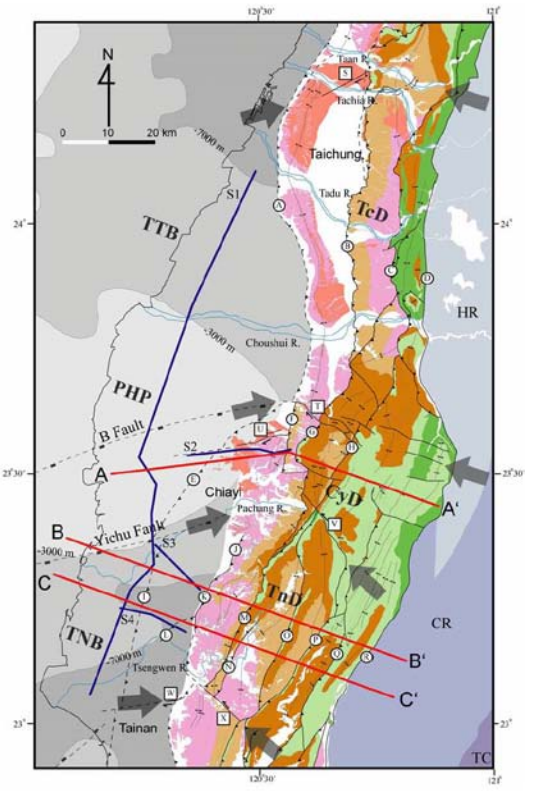
附圖 1.2：嘉南平原東西向地下構造剖面圖(陳文山等，2004)



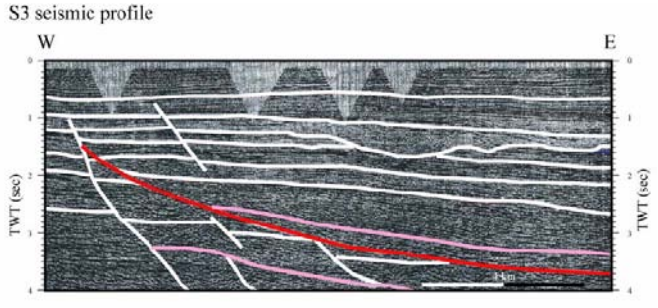
附圖 1.3：嘉南地區活動構造分布圖(陳文山等，2004)



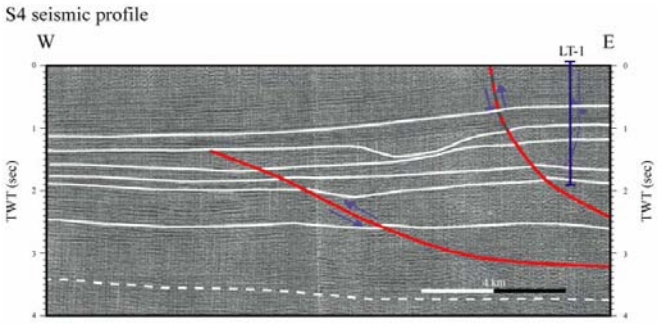
附圖 1.4：臺南市市區東西向地下構造剖面圖(陳文山等，2004)



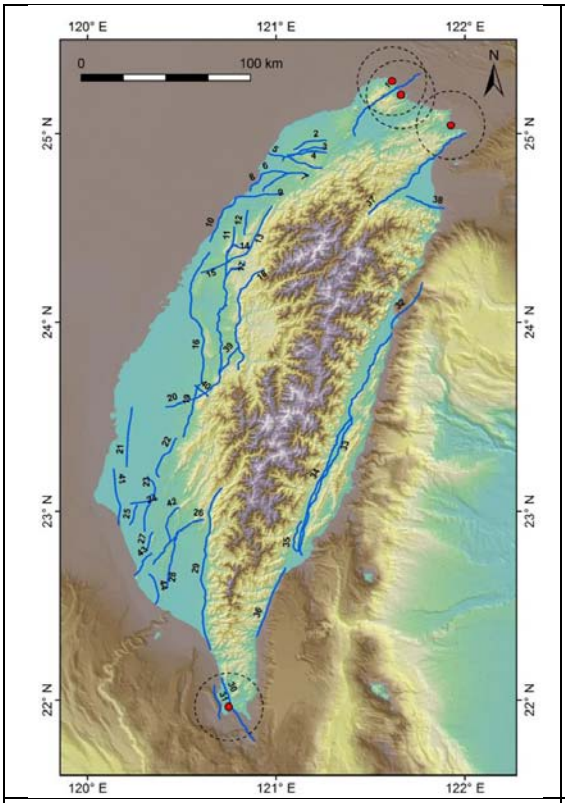
附圖 1.5：西部麓山帶地質圖及構造剖面圖。藍色線段為震測剖面線位置，紅色線段為平衡剖面位置，代號 E 為嘉義斷層，代號 I 為新營斷層(摘自 Yang, 2007)



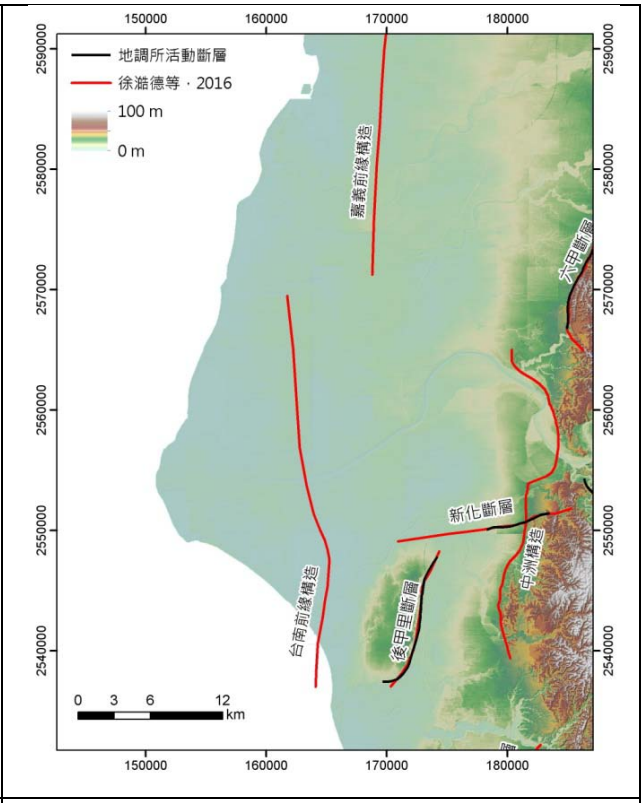
附圖 1.6：S3 震測剖面圖。剖面線位置如附圖 1.5 所示，剖面中可識別兩條逆衝斷層(Yang, 2007)



附圖 1.7：曾文溪北側 S4 震測剖面圖。剖面線位置如附圖 1.5 所示，剖面中可識別兩條逆衝斷層(Yang, 2007)



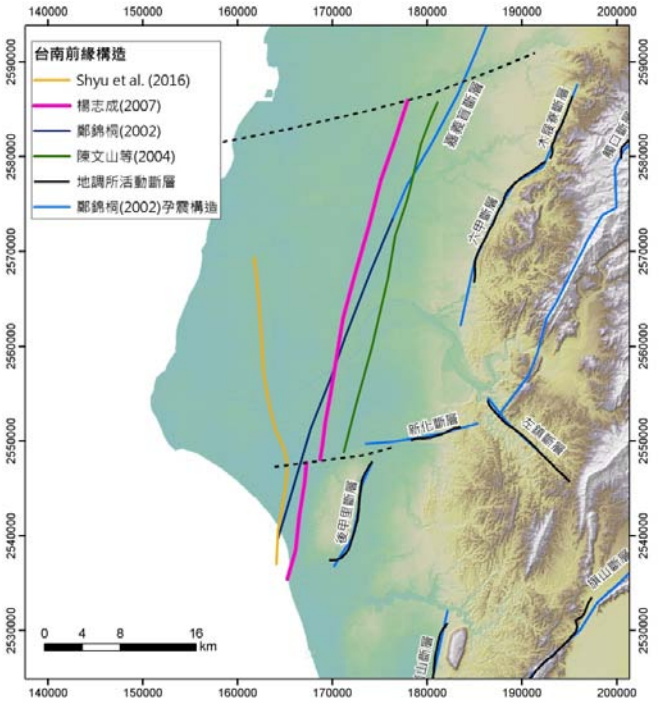
附圖 1.8：台灣陸域孕震構造分布圖(徐澔德等，2016)



附圖 1.9：臺南前緣構造分布圖(徐澔德等，2016)

附表 1.1：臺南前緣構造參數表(整理自徐澔德等人，2016)。

Fault Name:	**Tainan frontal structure**			
	Parameter		Weight	Method and Reference
Fault Type	Reverse			Shyu et al. (2017)
Length	32.9		1.0	Shyu et al. (2017)
Fault Dip (degree)	Min.	25(深度 2-4 km) 10(深度 10-14 km)	0.2	Shyu et al. (2017)
	Med.	30(深度 2-4 km) 15(深度 10-14 km)	0.6	
	Max.	35(深度 2-4 km) 20(深度 10-14 km)	0.2	
Rupture Depth (km)	Min.	2 km /10 km	0.2	Shyu et al. (2017)
	Med.	3 km /12 km	0.6	
	Max.	4 km /14 km	0.2	
Slip rate (mm/yr)	Min.	0.45	0.3	Shyu et al. (2016) Terrace measurement (TEM data)
	Med.	0.92	0.4	
	Max.	3.5	0.3	



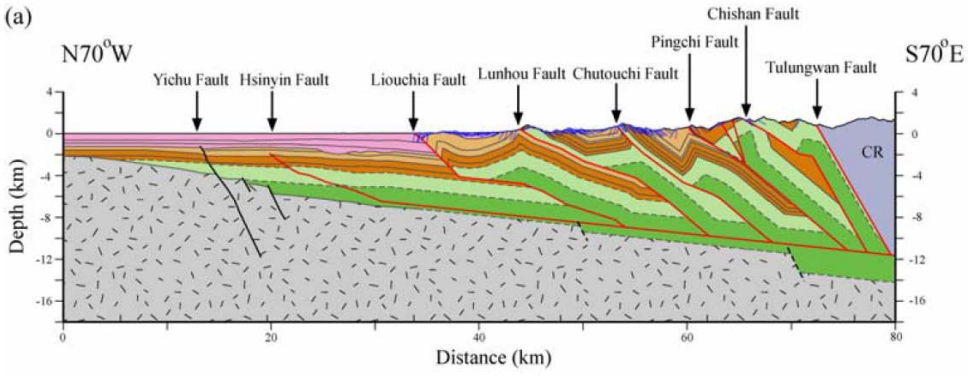
附圖 1.10：臺南前緣構造各版本線形分布圖

2. 斷層幾何形貌（傾角、深度）：

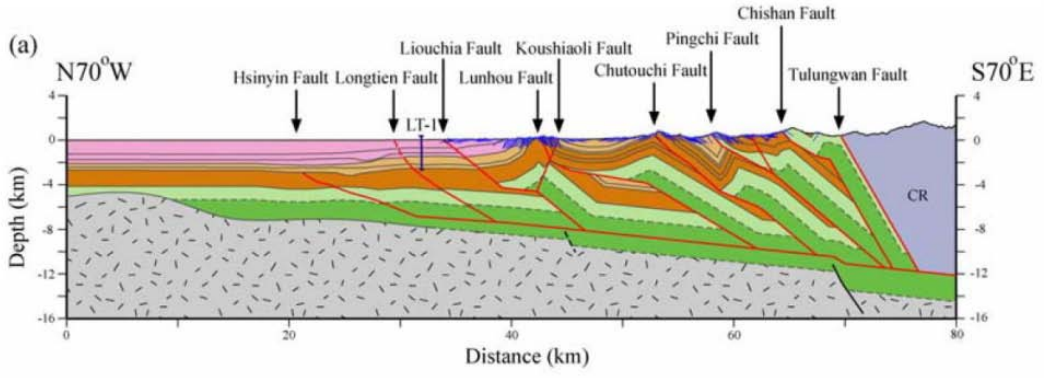
陳文山等(2004)地下構造剖面顯示新營斷層(本計畫稱為臺南前緣構造)為低角度逆衝斷層(附圖 1.2)，底脫面深度 8 公里。

附圖 1.6 及附圖 1.7 為楊志成(Yang, 2007)穿過隆起台地之 S3 及 S4 震測剖面，剖面線位置如附圖 1.5 所示，可識別兩條逆衝斷層，前緣斷層傾角為低角度。附圖 1.11 及附圖 1.12 為楊志成(Yang, 2007)之地質構造剖面，前緣斷層沿著基盤岩的頂面形成滑脫構造，斷坪向東連接至六甲斷層的斷坡，深度約 8~10 公里。

臺南前緣構造幾何參數彙整於附表 1.2 中。



附圖 1.11：B-B'構造平衡剖面。剖面線位置如附圖 1.5 所示，紅色線段 B-B' 為平衡剖面位置(摘自 Yang, 2007)



附圖 1.12：C-C'構造平衡剖面。剖面線位置如附圖 1.5 所示，紅色線段 C-C' 為平衡剖面位置(摘自 Yang, 2007)

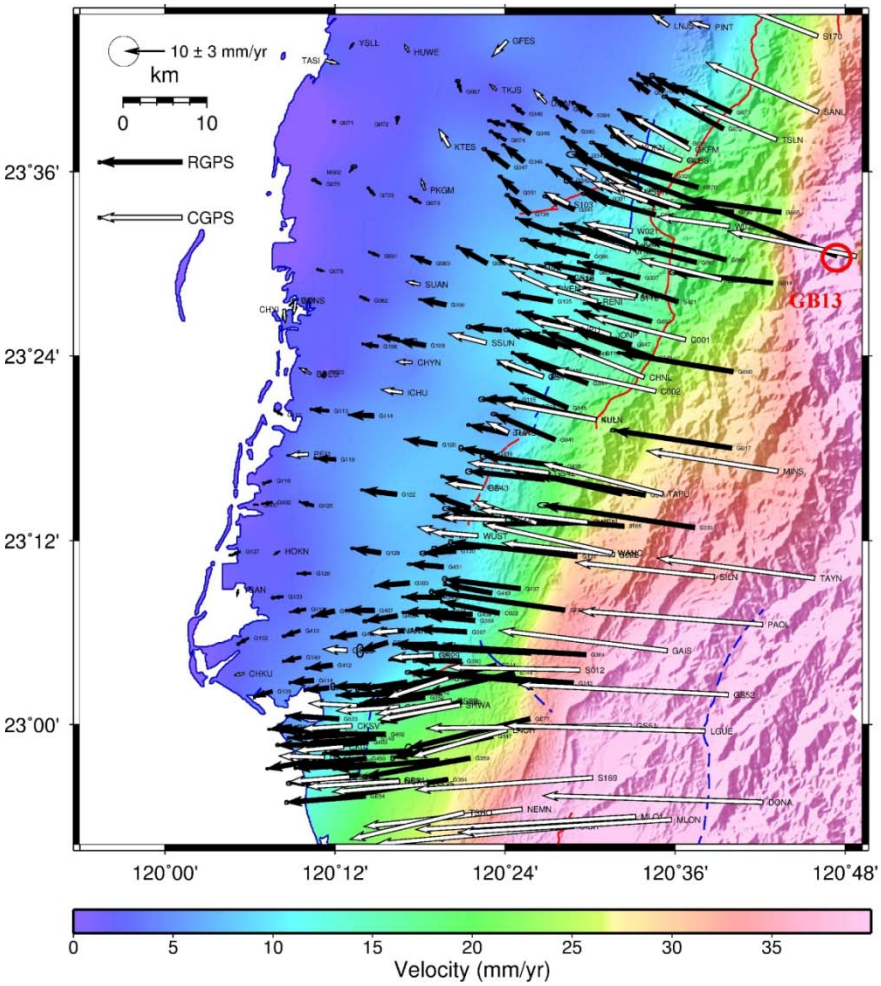
附表 1.2：臺南前緣構造傾角及深度資料與文獻列表。

參考文獻	方法	深度(公里)	傾角(度)
陳文山等，2004	地下構造剖面	底脫面深度 8 公里	-
Yang, 2007	震測剖面	-	低角度逆斷層
	構造平衡剖面	底脫面深度 8~10 公里	0-6 公里：20~25 度 6 公里以下：6 度
Cheng et al., 2007	臺南盲斷層 PSHA 參數	2-15	向東傾斜 30 度
徐澔德等，2016	Tainan frontal structure 參數	12±2 公里	深度 0~3±1 公里：25~35 度 深度 3±1~12±2 公里：10~20 度

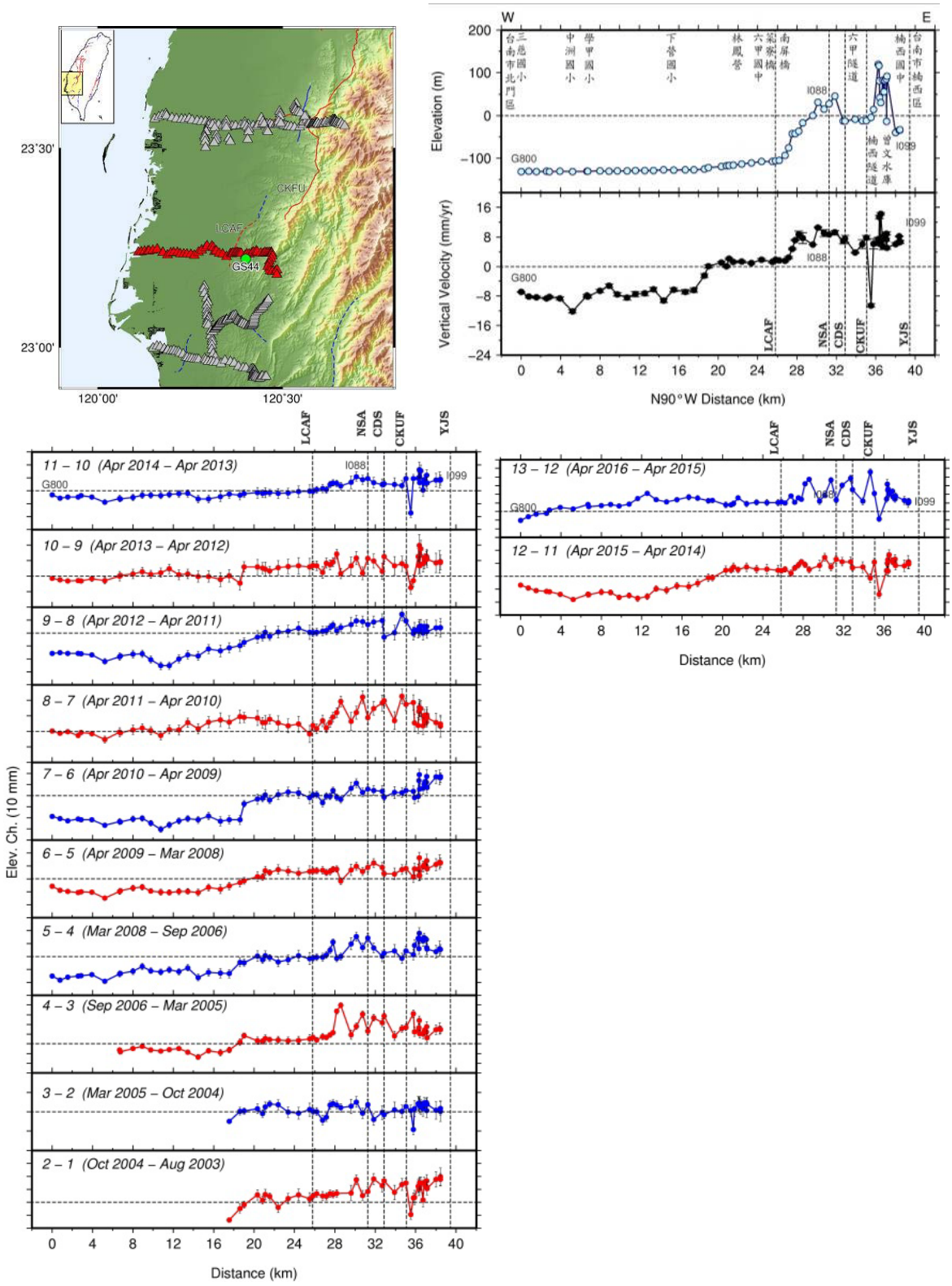
3. 斷層機制：鄭錦桐(2002)在地震危害度分析臺南盲斷層參數中設定為逆斷層，徐澔德等(2016) Tainan frontal structure 設定為逆斷層。
4. 近期地表變形：

附圖 1.13 為嘉南地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GPS 水平方向速度場，彩色色階為 2002~2016 年資料所解算之速度場分布色階圖。可得到麓山帶構造區的水平位移速率平均每年約 55-15 公厘，隆起台地區的水平位移速率平均每年約 20-10 公厘，海岸平原區的水平位移速率約 10-5 公厘。

胡植慶等(2016)縣 174_北門至楠西水準測線橫跨六甲斷層與觸口斷層，測線長約 40 公里，從 2003 年至 2016 年共計有 13 次施測。根據附圖 1.14，六甲斷層以西的高程地形變化雖較和緩，但垂直速率卻有逐步抬升的趨勢（約-16.0~4.0 mm/yr），可能是地下之構造之活動造成。



附圖 1.13：嘉南地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GPS 水平方向速度場。黑色箭號為 2002~2016 年移動站速度場，白色箭號為 2002~2016 年連續站速度場(胡植慶等，2016)

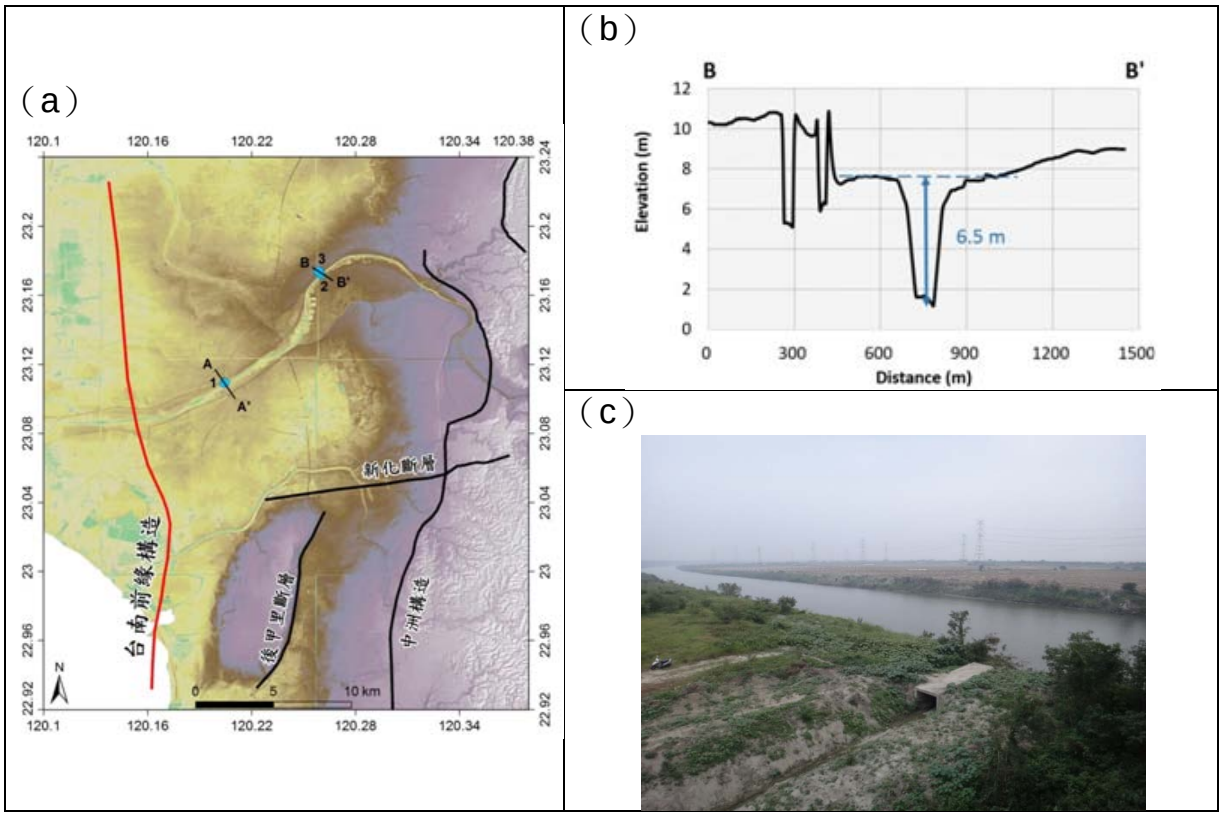


附圖 1.14：縣 174_北門至楠西測線水準高程變化圖。下欄中每個刻度代表 10 mm 的變化量。垂直虛線標示活動斷層之地表出露位置。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。LCAF 為六甲斷層、NSA 為牛山背斜、CDS 為前大埔向斜、CKUF 為觸口斷層、YJS 為玉井向斜(胡植慶等，2016)

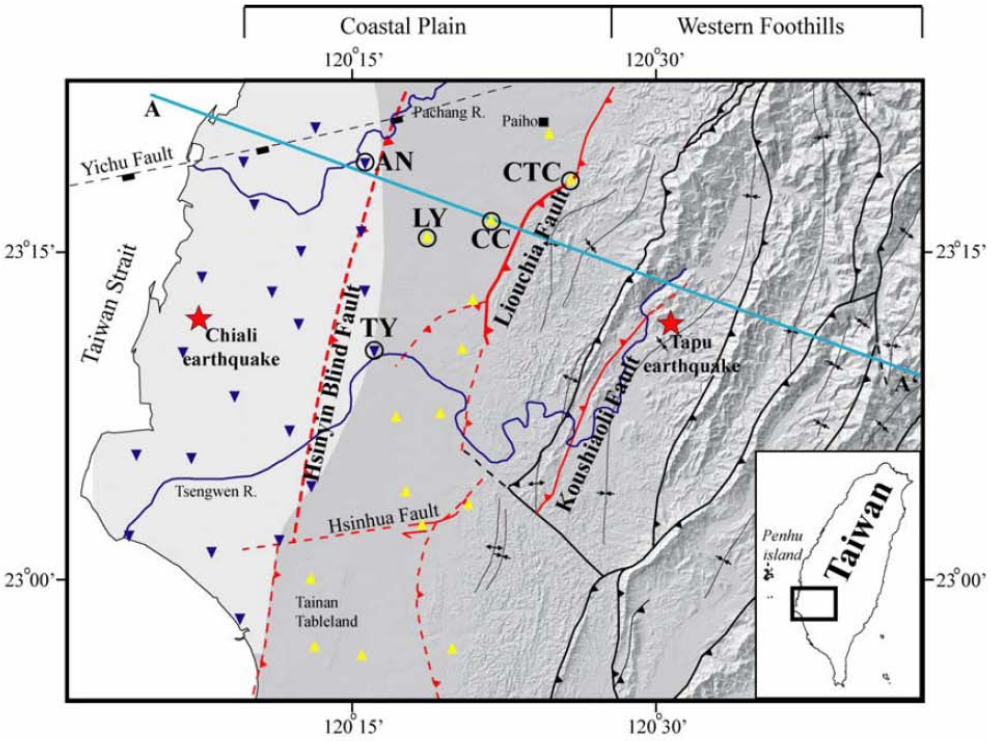
5. 長期滑移速率：

根據 TEM（Shyu et al., 2014）推估成果，附圖 1.15（a）中 B-B'剖面，從解析度 5 公尺數值地形剖面中可量得河道下切量為 6.5 公尺高(附圖 1.15（b）)，現地量測則有 7.4 公尺高(附圖 1.15（c）)，而嘉南平原沖積層，根據諮詢專家之意見(106 年第二次專家諮詢會議)，推估年代約三千年，不會超過一萬年。利用河道下切 6.5-7.4 公尺，除以河道之階地年代 3,000-10,000 年，得到抬升速率介於 0.7~2.5 mm/yr，以淺部斷層面傾角 15~25 度換算，則斷層面長期滑移速率約為 1.5~9.5 mm/yr。

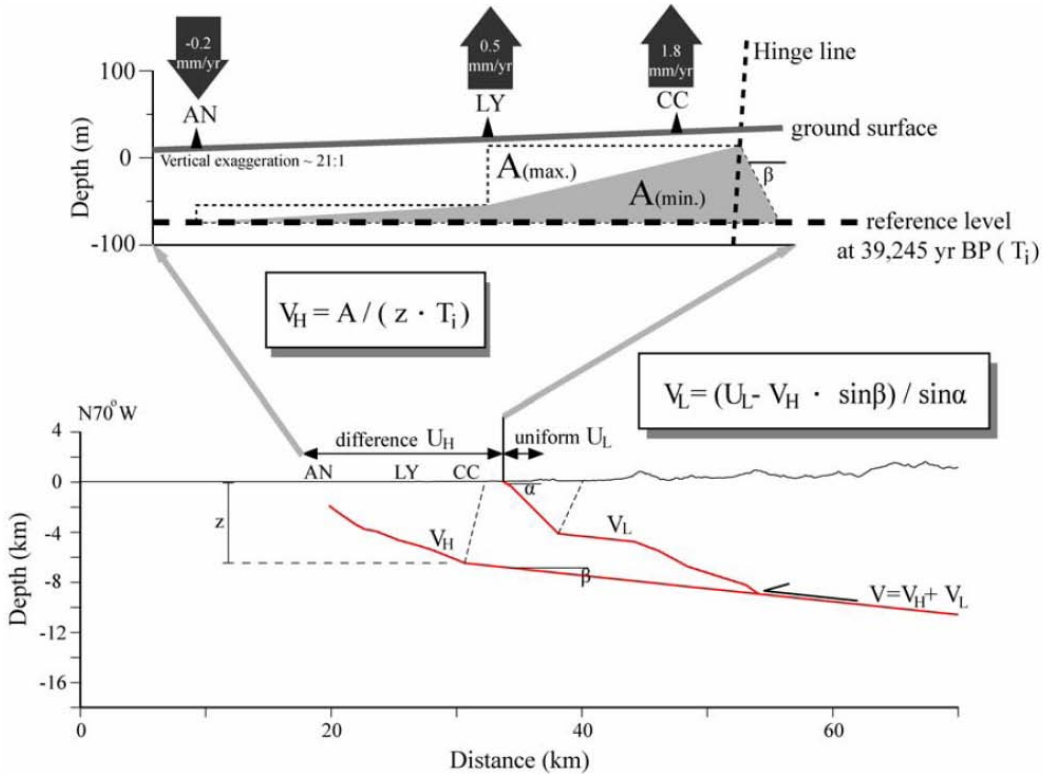
楊志成(Yang, 2007)透過平原區鑽井資料的層序地層分析及定年資料顯示，新營盲斷層開始活動的年代(Ti)為 39,245±215 yr BP，從海水面變化推估海平面參考深度(reference level)約-74 公尺。楊志成(Yang, 2007)假設平衡剖面中新營斷層上盤開始活動前後面積是固定的，其中 LY 及 CC 井位於新營斷層上盤，AN 則位於下盤(附圖 1.16)。LY 及 CC 計算得到之抬升速率不同，附圖 1.17 顯示 LY 為 0.5 mm/yr，CC 為 1.8 mm/yr，以此兩井做為控制點，並以滑脫面之傾角延伸至 hinge line，可計算新營盲斷層從開始活動之超越面積分別為 750,240 m^2 及 446,570 m^2，以公式 $V_H=A/(z.Ti)$，其中 z 為滑脫面及參考深度(reference level)之距離約 6400 公尺，Ti：新營斷層初始時間，39,245±215 yr BP，得到其長期的滑移速率為 2.4±0.6 mm/yr。



附圖 1.15：臺南前緣構造上盤河道剖面及現地照片。（a）紅色實線為臺南前緣構造，藍色實心圓為野外調查位置；（b）DEM 河道地形剖面圖，剖面線位於(a)中之 B-B' 剖面；（c）現地照片，照片位置位於(a)中之數字 3 處（Shyu et al., 2014）

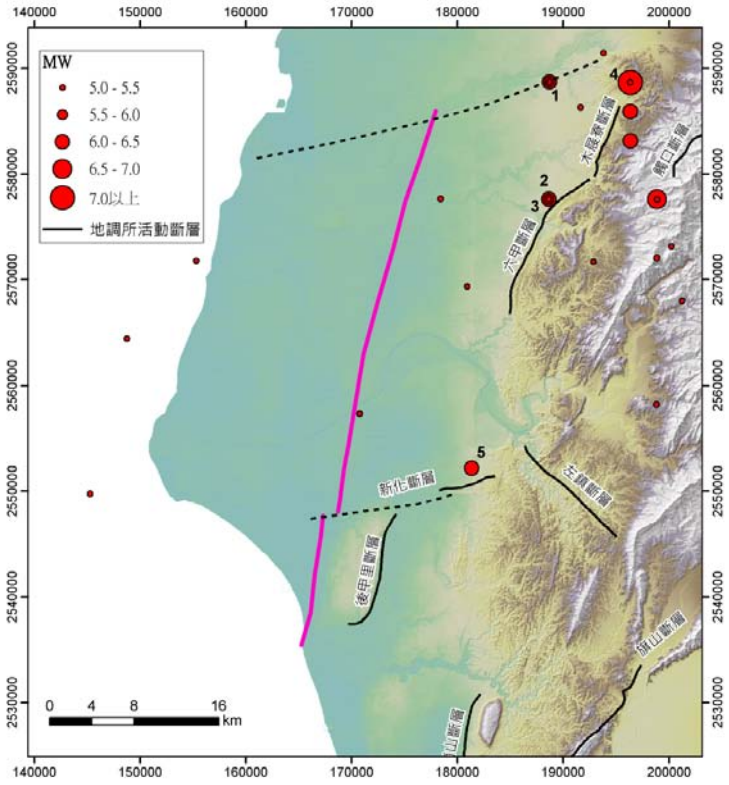


附圖 1.16：斷層及鑽井分布圖。紅色線段為斷層線，黃色三角形為鑽井計算之抬升區，藍色三角形為鑽井計算之沉降區，AA'剖面即附圖 1.11 平衡剖面(摘自 Yang, 2007)



附圖 1.17：楊志成(2007)計算新營斷層滑移速率示意圖。UH：新營斷層上盤之不同地點井位的抬升速率，z：滑脫面及參考面之距離，Ti：新營斷層活動初始時間，VH：新營斷層長期滑移速率(摘自 Yang, 2007)

6. 單一事件變位量：本計畫藉由 Wells and Coppersmith（1994）之規模-地表最大錯動量推估，地表錯動量為 1.66 公尺。
7. 斷層最大可能地震規模：藉由斷層尺度與地震規模之經驗公式可求得，此處經驗公式有 Wells and Coppersmith（1994）及 Yen and Ma（2011）等列於參數表中以供參考。本文提到之規模均為地震矩規模。
8. 最近一次活動時間：附圖 1.18 為西元 1900 年來於臺南前緣構造上盤發生之規模 5.0 以上之地震分布圖，其中規模 6.0 以上之地震相關資訊則列於附表 1.3 中，其中 2 號、3 號於 1930 年發生規模 6.3 及 6.1 之地震，4 號於 1941 年嘉義中埔發生規模 7.3 地震可能為臺南前緣構造破裂引發之地震。



附圖 1.18：1900 以來規模 5.0 以上地震分布圖

附表 1.3：臺南前緣構造上盤規模 6 以上歷史地震。

序號	西元年	月	日	經度 E	緯度 N	Mw	深度(km)	備註
1	1906	4	13	120.4	23.4	6.4	20	
2	1930	12	8	120.4	23.3	6.3	20	
3	1930	12	21	120.4	23.3	6.1	10	
4	1941	12	16	120.475	23.4	7.3	12	中埔地震
5	1946	12	4	120.33	23.07	6.1	5	新化地震

彙整對於臺南前緣構造的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如附表 1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也應在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

附表 1.4：臺南前緣構造參數表。

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
臺南前緣構造	斷層分段與破裂事件	新營斷層，南被新化斷層延伸段截切，而北則止於義竹斷層	地形(隆起台地與海岸平原區之間的變形)、地物探勘(震測剖面)	鄭錦桐，2002；陳文山等，2004；Yang, 2007；Cheng et al., 2007
	長度 (km)	39		
	寬度 (km)	29.2	深度/sin 傾角 （以深度 10 公里，傾角 20 度計算）	
	破裂深度 (km）	2-15	地震危害度參數	鄭錦桐，2002
		底脫面深度 8 公里	地下構造剖面	陳文山等，2004
		底脫面深度 8~10 公里	構造平衡剖面	Yang, 2007
		12±2 公里	臺南前緣構造參數	徐澔德等，2016
	面積 (km^2)	1140	長度×寬度 （以深度 10 公里，傾角 20 度計算）	
	走向	北北東—南南西走向	地表構造地形分布	鄭錦桐，2002；陳文山等，2004；Yang, 2007；Cheng et al., 2007
	傾斜角度 (度)	向東傾斜 30 度	臺南盲斷層 PSHA 參數	鄭錦桐，2002；Cheng et al., 2007
		低角度逆斷層	震測剖面	Yang, 2007
		0-6 公里：20~25 度 6 公里以下：6 度	構造平衡剖面	
		深度 0~3±1 公里：25~35 度 深度 3±1~12±2 公里：10~20 度	Tainan frontal structure 參數	徐澔德等，2016
	斷層機制	逆移斷層	地質剖面	鄭錦桐，2002；陳文山等，2004；Yang, 2007；Cheng et al., 2007；徐澔德等，2016

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	短期滑移速率 (mm/yr)	隆起台地區每年平均的向西水平位移量大於海岸平原區，兩構造區之間約有 10 公厘的地殼壓縮量	2002~2016 GPS 水平方向速度場	胡植慶等，2016
		六甲斷層以西的高程地形變化雖較和緩，但垂直速率卻有逐步抬升的趨勢（約-16.0~4.0 mm/yr）	縣 174_北門至楠西測線	
	長期滑移速率 (mm/yr)	1.5~9.5	斷層上盤河道下切量及沉積層年代推估	TEM (Shyu et al., 2014)
		2.4±0.6	平原區鑽井資料的層序地層分析及定年資料	Yang, 2007
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	-	-	-
	單一事件變位量 (m)	1.66	log D = 0.29 Mw - 1.84（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模 (Mw)	7.1	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.3 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
		7.1	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	-	-	-
	最近一次活動時間	可能為 1930 或 1941	1900 至今地震目錄	中央氣象局

二、斷層破裂模式及邏輯樹權重分配

彙整各版本對於臺南前緣構造之線形分布，本計畫評估臺南前緣構造之破裂模式，以楊志成(2007)版本考慮臺南前緣構造會被新化斷層延伸段截切，而北則止於義竹斷層(附圖 1.19)。邏輯樹中考慮一種破裂模式，長度 39 公里。

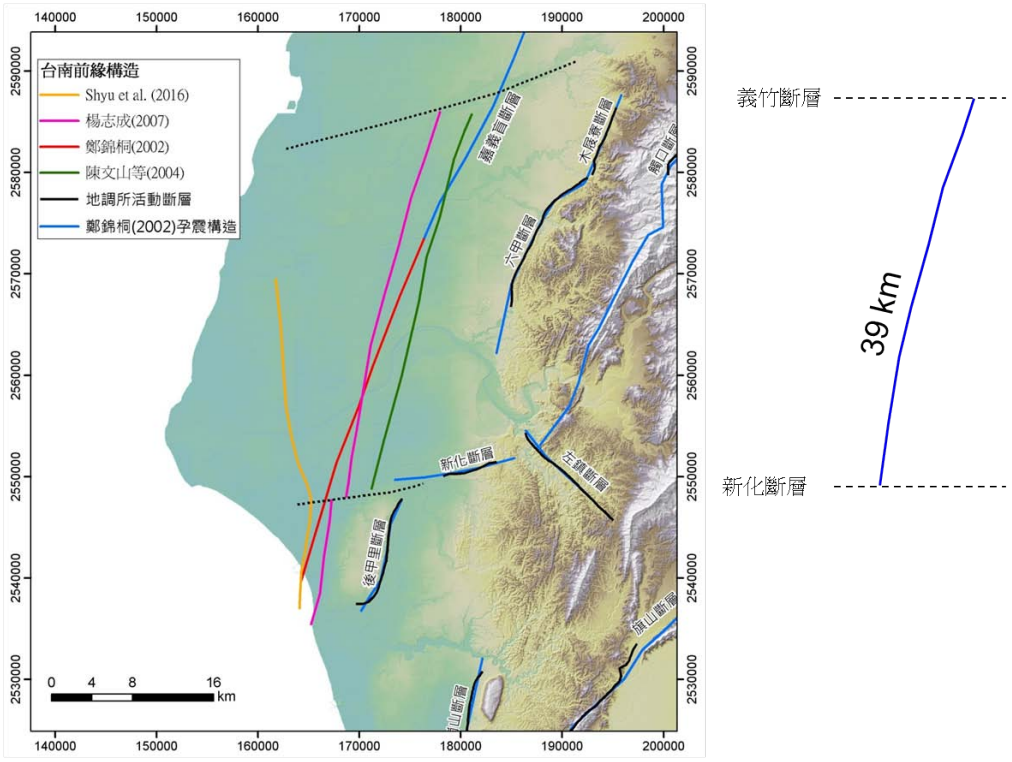
臺南前緣構造之傾角，根據所蒐集到之震測與地質剖面，傾角 範圍約在 15~25 度，本計畫權重設定為 15 度（0.3）、20 度（0.4）、25 度（0.3）。

臺南前緣構造之破裂深度，根據蒐集之震測剖面、地質平衡剖面資料，本計畫破裂深度權重設定為 8 公里（0.3）、10 公里（0.4）、12 公里（0.3）。

臺南前緣構造之長期滑移速率，TEM (Shyu et al., 2014)根據斷層上盤河道下切量及沉積層年代推估，滑移速率約為 1.5~9.5 mm/yr。楊志成(2007)透過平原區鑽井資料的層序地層分析及定年資料，長期的滑移速率為 2.4±0.6 mm/yr，即 1.8~3.0 mm/yr。本計畫認為鑽井資料採樣定年之可靠度較目測推估河道沉積層年代高，且河道下切易受其它地表地質作用影響(侵蝕率差異、河道寬度、經過岩性、是否經過曲流)，相對於鑽井之層序地層較不易單純反映構造因素，因此給予較低之權重(0.3)，鑽井資料採樣定年給予較高之權重(0.7)。附表 1.5 為本計畫臺南前緣構造邏輯樹計算之結果，本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 1.7 mm/yr (0.3)、中值 3.3 mm/yr (0.4)、上界 5.0 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith（1994）及 Yen and Ma （2011）之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith（1994）之標準差作為上下之分支，附表 1.6 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模，其中 Yen and Ma（2011）為臺灣本土之經驗公式，因此給予較高之權重 0.5。

臺南前緣構造各節點權重的分配詳如附圖 1.20 所示。



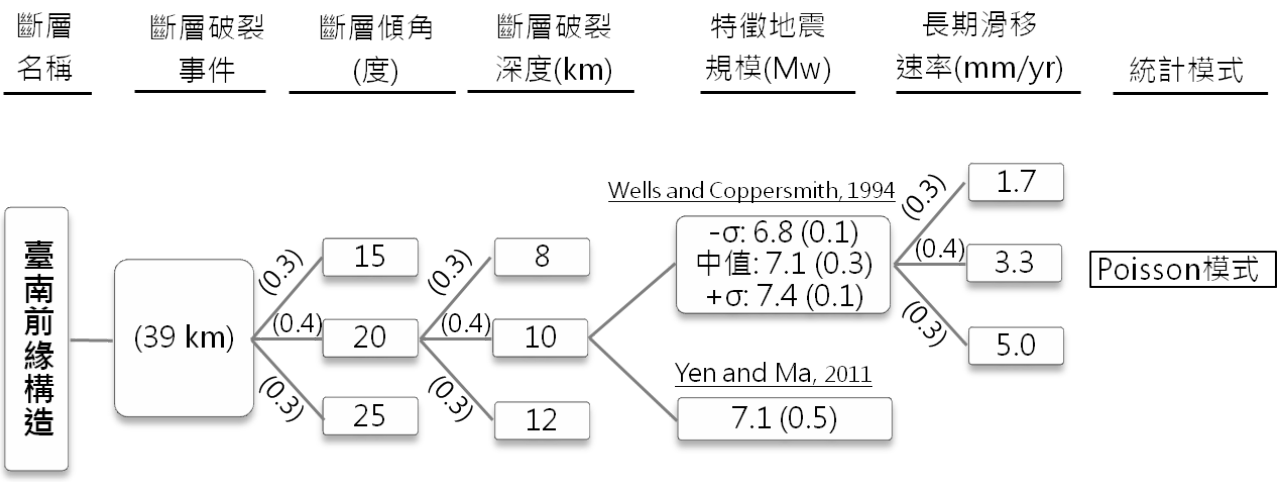
附圖 1.19：臺南前緣構造之破裂模式及權重分配

附表 1.5：本計畫臺南前緣構造長期滑移速率推估結果。

斷層名稱	參考資料	方法	權重	下界 (mm/yr)	平均 (mm/yr)	上界 (mm/yr)
臺南前緣構造	Shyu et al., 2014	上盤河道下切量及沉積層年代推估	0.3	1.5	5.5	9.5
	Yang, 2007	平原區鑽井資料的層序地層分析及定年資料	0.7	1.8	2.4	3.0
	權重加總結果			1.7	3.3	5.0

附表 1.6：臺南前緣構造之中值各破裂事件規模及權重。

破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	傾角 (度)	寬度 (km)	面積 (km2)	Wells and Coopersmith, 1994(面積)			Yen and Ma, 2011(面積)
						-σ	中值	+σ	
臺南前緣構造	39	10	20	29.2	1140	6.8	7.1	7.4	7.1



附圖 1.20：臺南前緣構造邏輯樹

附錄 2 右昌構造之震源參數設定

一、斷層參數表之建立及說明

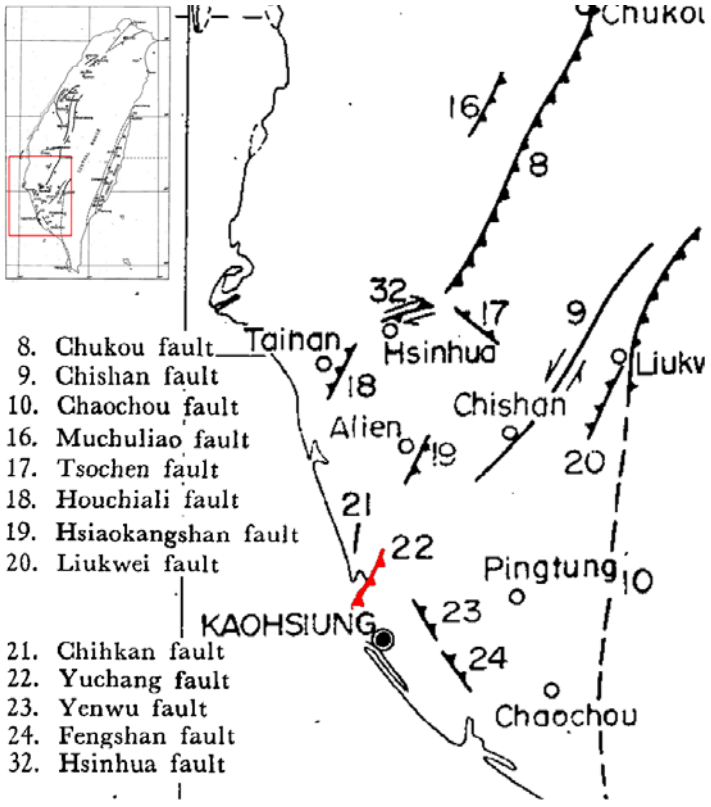
1. 斷層長度與分段：

Sun (1964)由航照判釋，右昌斷層呈現兩個小線形崖，且切斷半屏山背斜軸的西南端傾沒部分，以東 北-西南走向延伸約 4 公里。Bonilla (1975; 1977)及 Hsu and Chang (1979)在劃設台灣活動斷層分布圖，均參考 Sun(1964)之結果劃設了右昌斷層，長度為 4 公里，附圖 2.1 所示為 Hsu and Chang (1979)之分布圖。

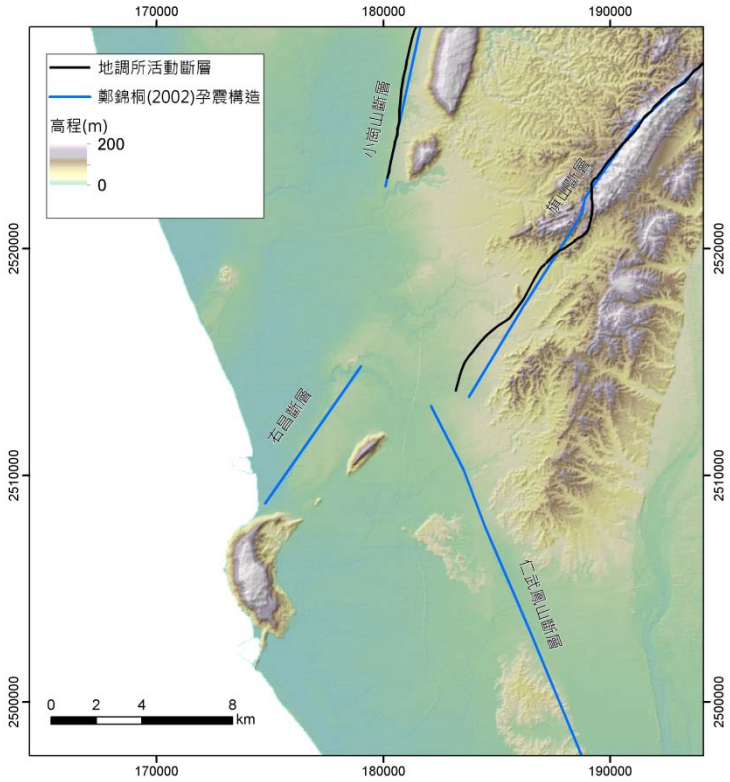
鄭錦桐(2002)在進行臺灣地震危害度評估時，加入了右昌斷層之斷層震源，長度為 12 公里，分布如附圖 2.2 所示。

徐澔德等人(2016)為建立台灣核電廠地震危害度評估之孕震構造震源參數，描繪了 44 條陸域孕震構造，其中右昌構造是根據地形崖及地表之線形所描繪，附圖 2.3 從兩個解析度 5 公尺數值地形剖面中，可量得地形崖高差為 11 公尺及 15.5 公尺，右昌構造延伸長度為 16.6 公里(附圖 2.4)。參數詳如附表 2.1 所示。

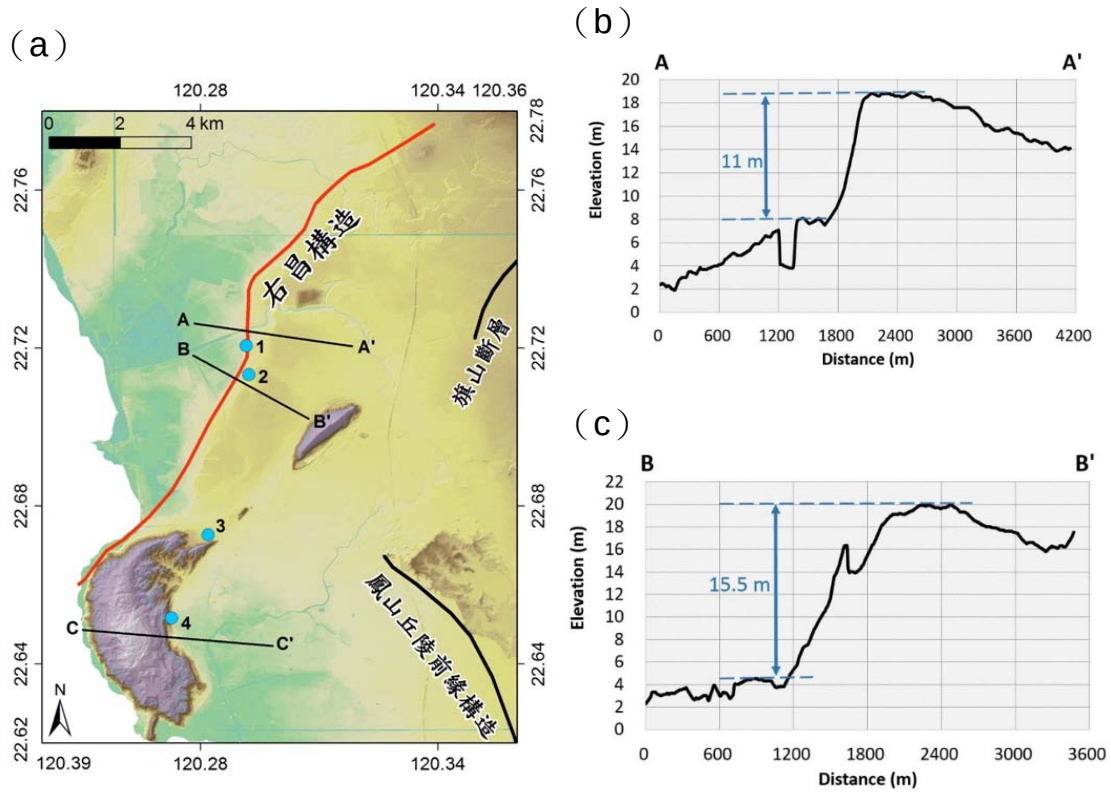
彙整各版本對於右昌構造之線形分布如附圖 2.5 所示，本計畫評估右昌構造之破裂模式，以徐澔德等人(2016)參考地表線形描繪之版本，考慮整段破裂模式，長度為 16.6 公里。



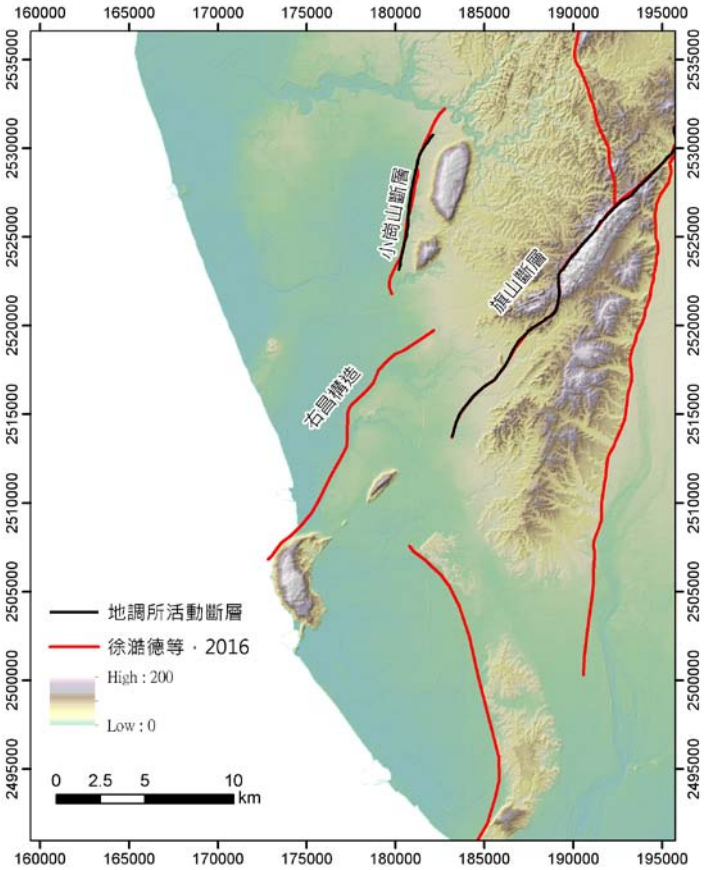
附圖 2.1：臺灣西南部第四紀活動斷層分布圖。右昌斷層標示為紅色鋸齒線，編號 22 號(修改自 Hsu and Chang, 1979)



附圖 2.2：右昌斷層分布圖(斷層線取自鄭錦桐，2002)



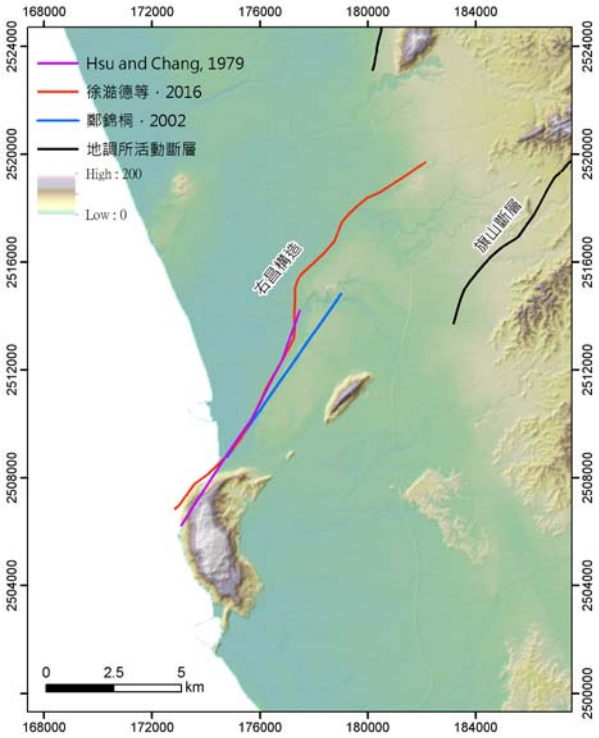
附圖 2.3：右昌構造地形剖面圖。（a）右昌構造（紅色實線）地形剖面位置；（b）DEM 地形剖面圖，剖面線位於（a）中之 A-A’ 剖面；（c）DEM 地形剖面圖，剖面線位於（a）中之 B-B’ 剖面（Shyu et al., 2014）



附圖 2.4：右昌構造分布圖(構造線取自徐澔德等，2016)

附表 2.1：右昌構造參數表(整理自徐澔德等人，2016)。

Fault Name: **Youchang structure**				
	Parameter		Weight	Method and Reference
Fault Type	Reverse/Strike-Slip			Shyu et al. (2017)
Length	16.6		1.0	Shyu et al. (2017)
Fault Dip (degree)	Min.	65	0.2	Shyu et al. (2017)
	Med.	75	0.6	
	Max.	85	0.2	
Rupture Depth (km)	Min.	10	0.2	Shyu et al. (2017)
	Med.	12	0.6	
	Max.	14	0.2	
Slip rate (mm/yr)	Min.	0.92	0.3	Shyu et al. (2016) Terrace measurement (TEM data)
	Med.	1.64	0.4	
	Max.	5.46	0.3	



附圖 2.5：右昌構造各版本線形分布圖

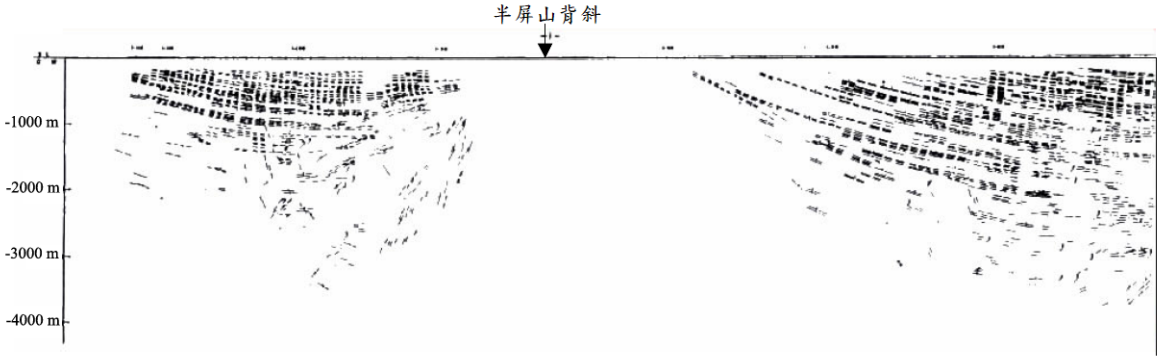
2. 斷層幾何形貌（傾角、深度）：

在半屏山地區，中油曾實施震測(附圖 2.6)，但在深部無法得到好的反射訊號，故只能做淺部的地層控制。根據半屏山背斜兩翼 PPS-1 及 PPS-2 井下資料，中油認為半屏山背斜為泥貫入體，由於泥貫入作用將此地區拱起。

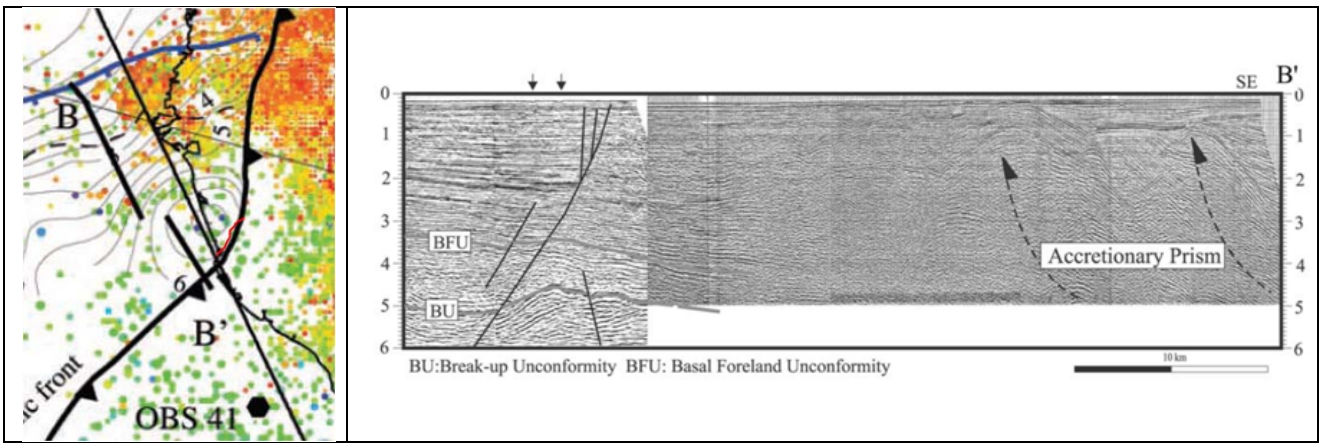
根據 Lin et al. (2002)於近海處之 B'震測剖面，顯示右昌構造上盤處有高角度斷層造成地層的變形(附圖 2.7)。

溫國樑等(2002)於右昌地區進行反射震測，震測線分布如附圖 2.8 所示，結果顯示地層反射訊號於南端之測線中，深層之地層褶皺徵兆較為明顯(附圖 2.10)，而向北延伸似漸變為較平坦。但由地層反射訊號之連續性來看，剖面中斷斷續續皆有地層破裂之斷層徵兆，至保金巷測線處即轉為較不顯著(附圖 2.9)。

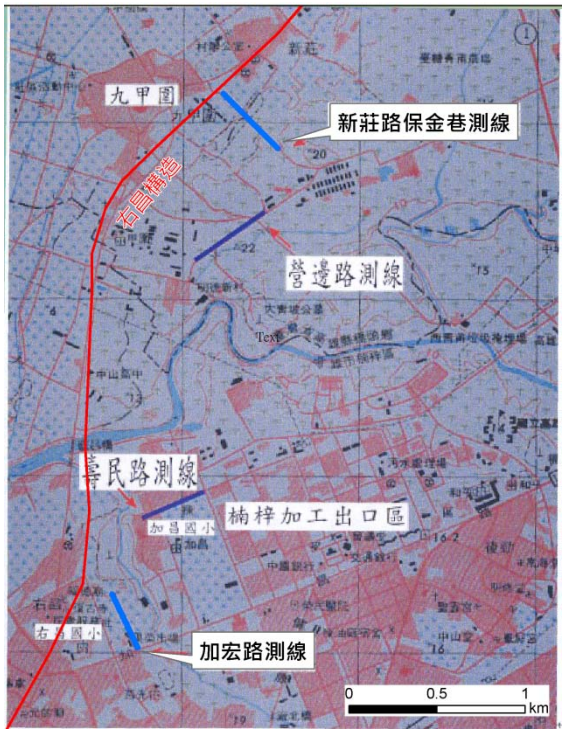
右昌構造幾何參數彙整於附表 2.2 中。



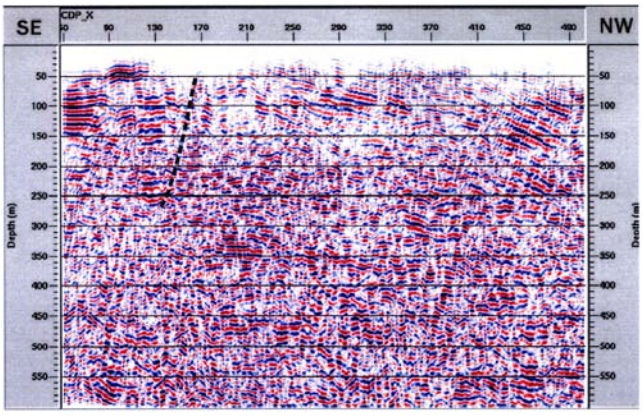
附圖 2.6：中油公司穿越半屏山背斜之震測剖面(修改自 Pan, 1968)



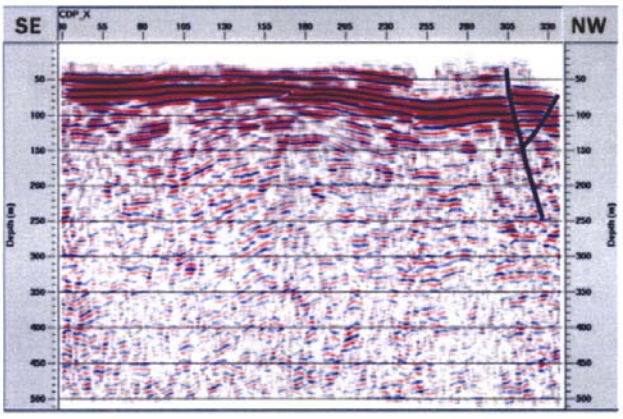
附圖 2.7：B'震測剖面顯示有高角度斷層造成地層的變形。左圖為地震、斷層及震測剖面平面分布圖，右圖為 B’ 震測剖面(摘自 Lin et al., 2002)



附圖 2.8：右昌測線位置分布圖。紅色實線為右昌構造(摘自溫國樑等，2002)



附圖 2.9：新莊路保金巷震測剖面圖(摘自溫國樑等，2002)



附圖 2.10：加宏路 191 巷震測剖面圖(摘自溫國樑等，2002)

附表 2.2：右昌構造傾角及深度資料與文獻列表。

參考文獻	方法	深度(公里)	傾角(度)
Pan, 1968	半屏山背斜震測剖面		地層褶皺徵兆
溫國樑等，2002	淺層反射震測	-	於南端之測線中，深層之地層褶皺徵兆較為明顯
Lin et al., 2002	近海震測剖面		右昌斷層上盤有高角度斷層造成地層的變形
鄭錦桐，2002；Cheng et al., 2007	右昌斷層 PSHA 參數	12 公里	向東傾斜 50 度
徐澔德等，2016	Youchan structure 參數	12±2 公里 (以地溫推估脆塑性轉換帶)	75±10 度

3. 斷層機制：

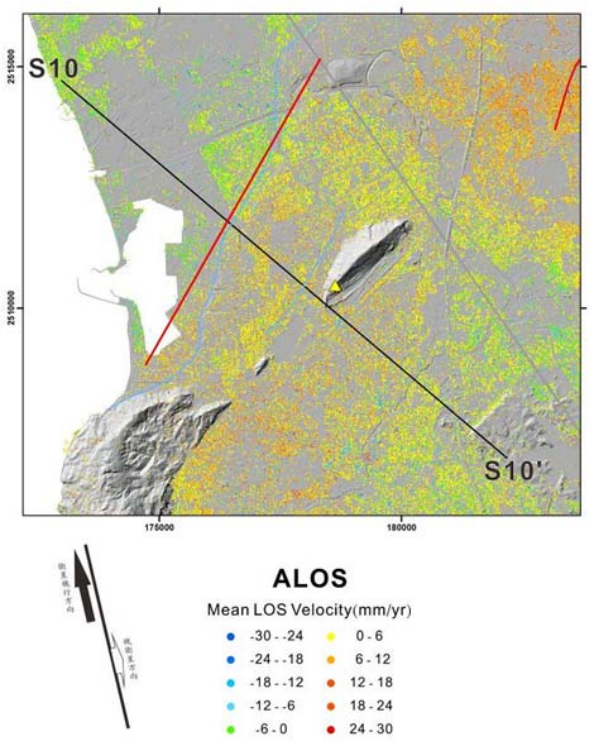
（1）鄭錦桐(2002；Cheng et al., 2007)在地震危害度分析參數中設定為逆斷層。

（2）徐澔德等(2016) Youchang structure 設定為逆斷層帶走向滑移之分量。

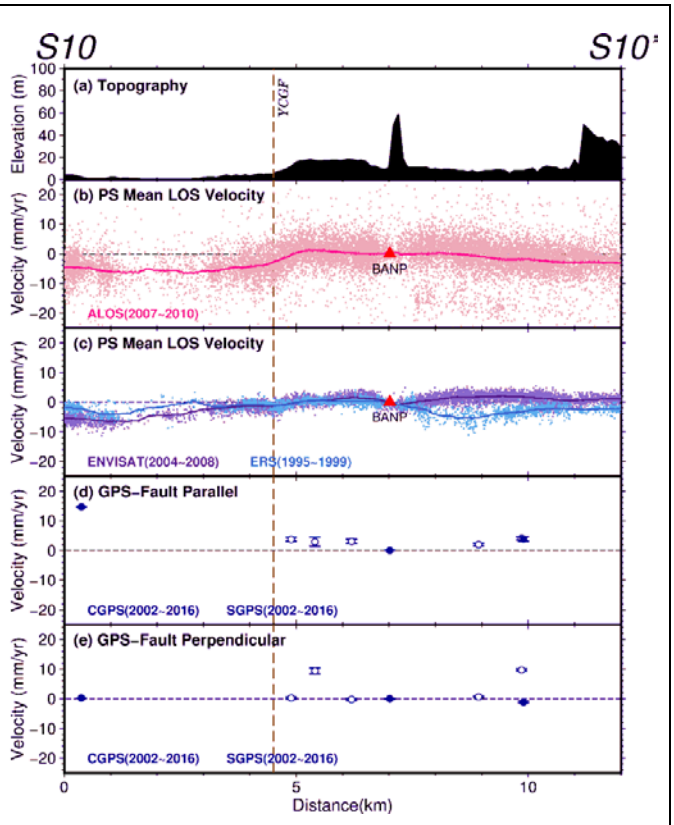
（3）胡植慶等(2016)由歷年 GPS 資料，推測右昌斷層為帶有右移分量的逆衝斷層，然而橫跨右昌斷層之測站數稍低，對於解析此斷層現今之運動模式與斷層特性仍缺乏有力證據，建議未來加密此區之大地測量點位，可進一步了解右昌斷層之特性。

4. 近期地表變形：

胡植慶等(2016) S10 剖面跨越右昌斷層，剖面位置如附圖 2.11 所示。附圖 2.12 則為 S10 剖面三種時期的 PSInSAR 結果，都顯示跨斷層具有速度差異，且 ALOS 衛星結果相對 ERS 及 ENVISA 衛星之速度差異較為明顯，上下盤速度差約 5 mm/yr。



附圖 2.11：S10 剖面區域之 ALOS 視衛星方向上年平均變動量(單位：mm/yr)。觀測時間為西元 2007-2010 年(胡植慶等，2016)

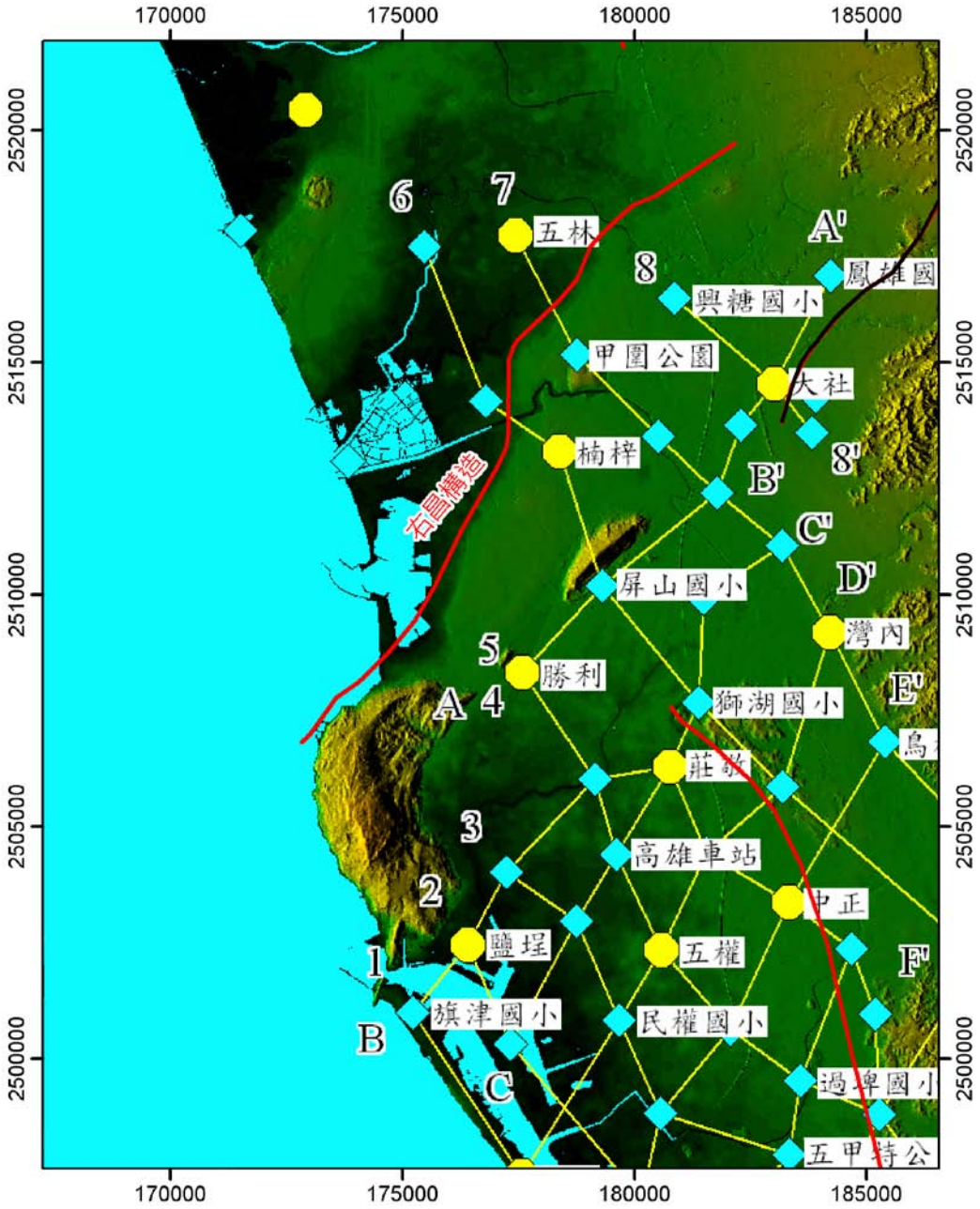


附圖 2.12：S10 剖面速度場圖。(a)地形高程；(b) L 波段 ALOS 視衛星方向速度變化；(c) C 波段 ENVISAT 及 ERS 視衛星方向速度變化；(d)GPS 平行斷層方向之速度變化；(e) GPS 垂直斷層方向之速度變化。YCGF 為右昌斷層 (胡植慶等，2016)。

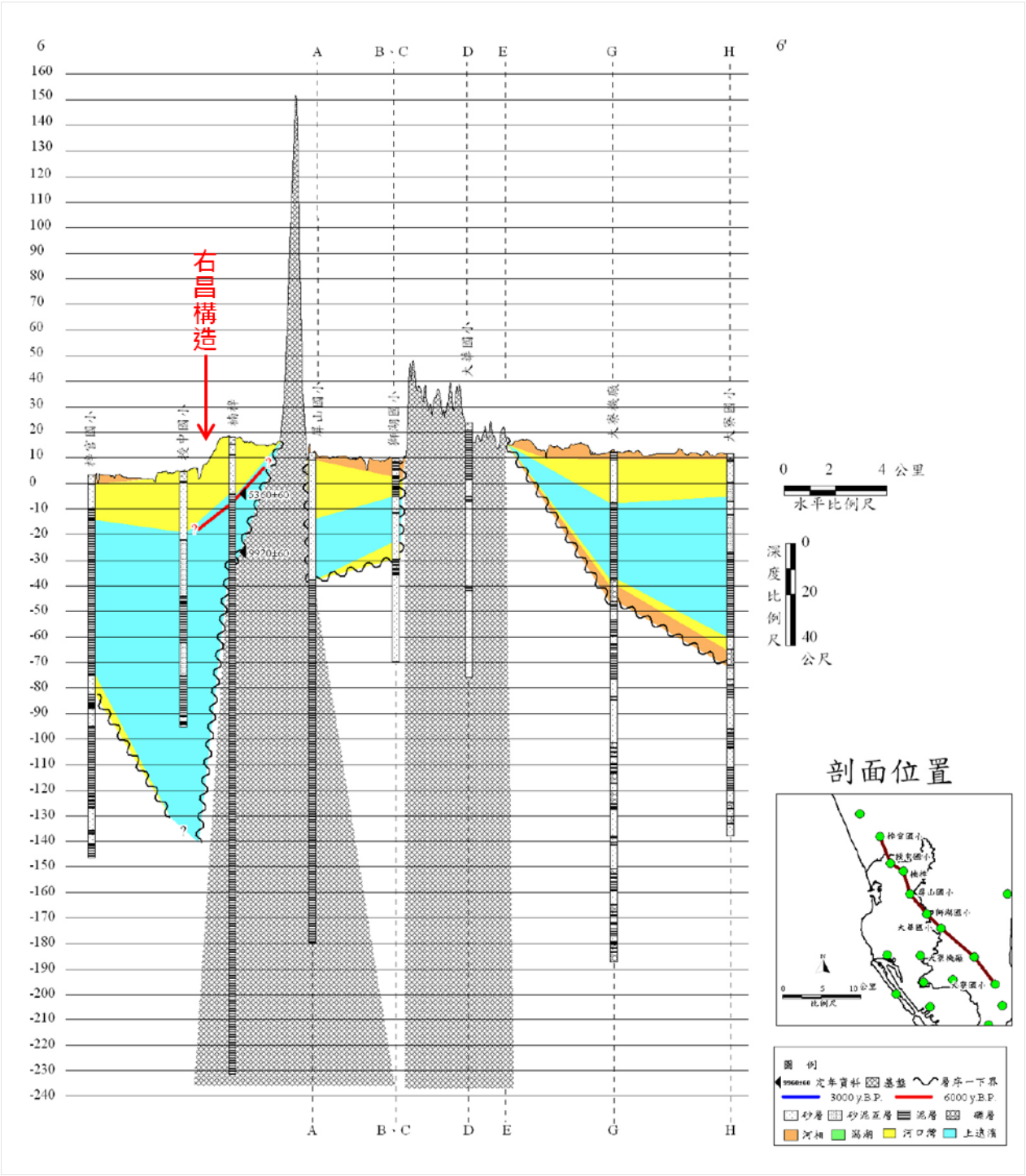
5. 長期滑移速率：

盧建中(2006)彙整經濟部中央地質調查所西南部地下水觀測網鑽井、工程地質鑽井、高鐵新化井、台南都會區鑽井和高雄都會區鑽井，其中高雄地區鑽井位置如附圖 2.13 所示，並加入磁感率來輔助進行地層對比和構造分析。其中 6 號及 7 號鑽井地層對比剖面跨過右昌構造。6 號剖面如附圖 2.14 所示，右昌構造位於援中國小及楠梓兩井之間，剖面中可看到上遠濱相頂面於右昌構造上盤有抬升；7 號剖面如附圖 2.15 所示，右昌構造位於五林及甲圍公園兩井之間，剖面中可看到上遠濱相頂面及潟湖相於右昌構造上盤皆有抬升。距今 6 ka 是全球大海進海水面上升達到最高點的時期，並在地層記錄中留下許多貝類化石。盧建中(2006)利用井內大量的定年資料內插出各鑽井 6 ka 時間面的位置，並利用一般克力金(Kriging)法，繪製 6 ka 時間面的等高線圖(附圖 2.16)。從附圖 2.16 中可觀察到右昌構造上下盤落差約為 15~40 公尺，本計畫假設此落差均由右昌構造所貢獻，則推估之垂直抬升速率為 2.5~6.7 mm/yr，將垂直速率換算至斷層面 (dip=65˚,75˚,85˚)上，可得到長期滑移速率範圍，介於 2.5~7.4 mm/yr。

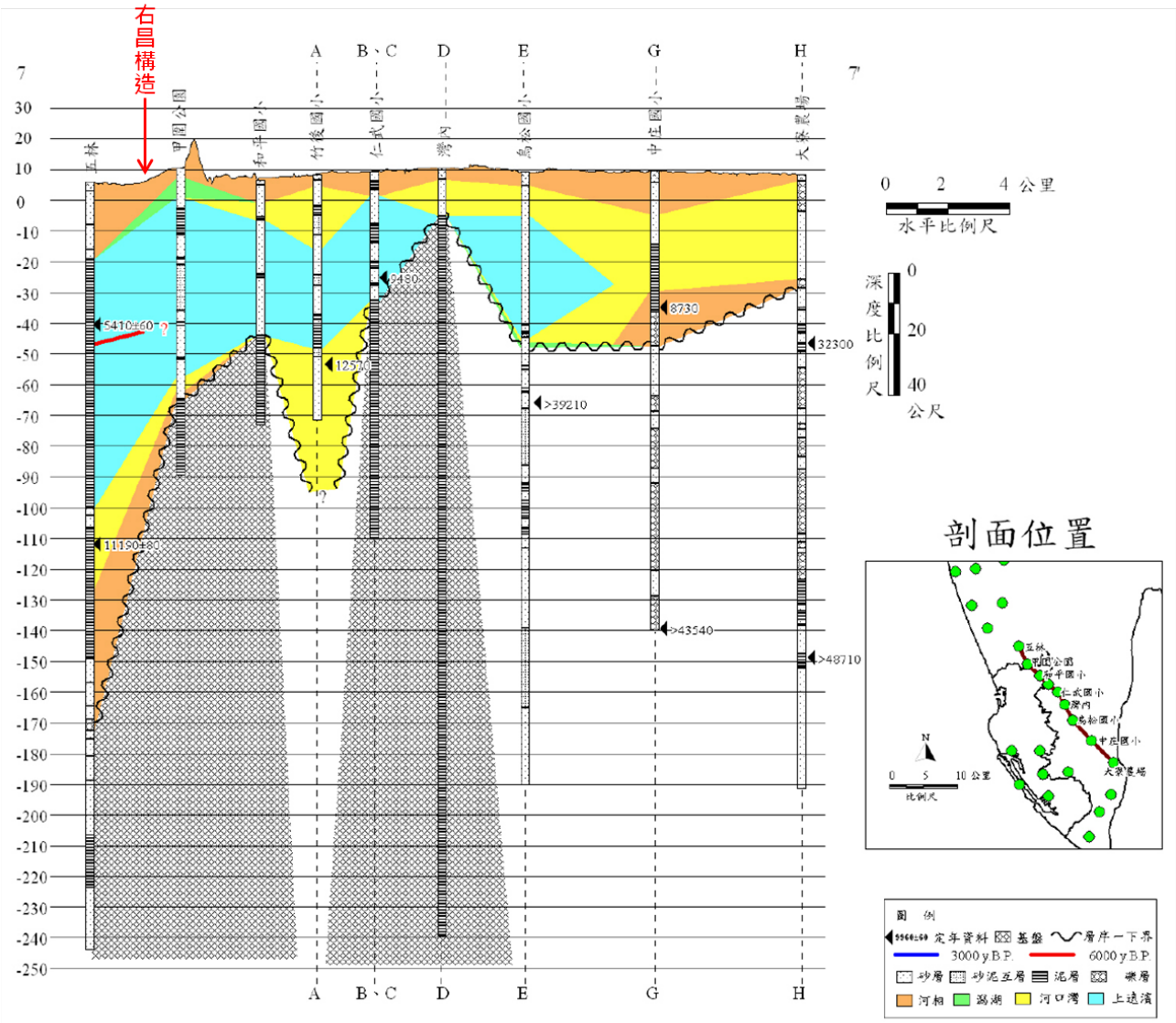
另外，徐澔德等人(2016)假設位於右昌斷層南端的壽山為右昌構造抬升所形成，根據 5 公尺 DEM，壽山之高度為 325~350 公尺(附圖 2.17)，而壽山是由壽山石灰岩所組成，徐澔德等人(2016)推估壽山石灰岩年代為 10 萬年到 50 萬年，依此計算垂直抬升速率為 0.65 ~ 3.5 mm/yr，換算至斷層面上為 0.92~5.46 mm/yr。



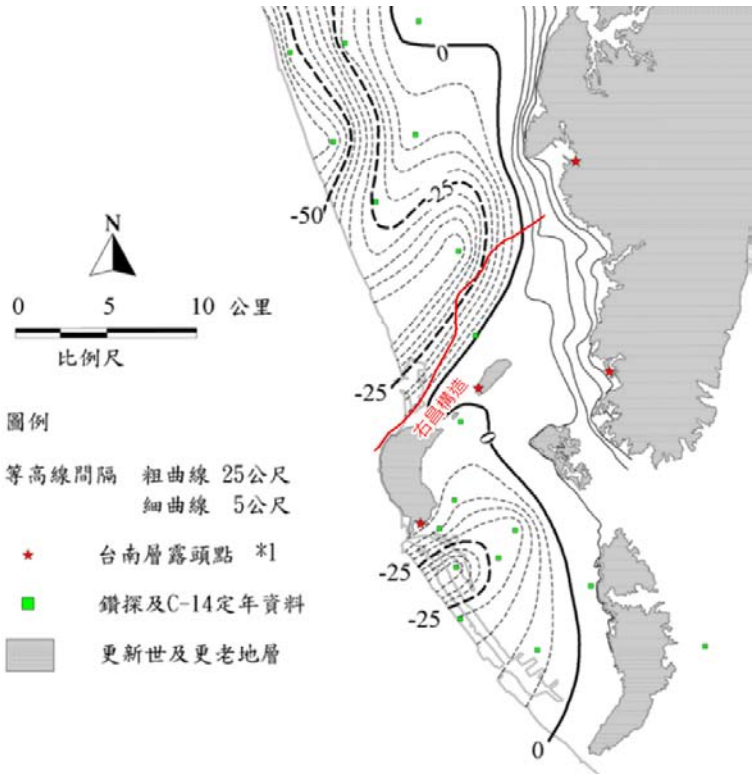
附圖 2.13：高雄地區鑽井及剖面位置圖。黃色實心圓圈為地下水觀測井，藍色實心方塊為高雄都會區鑽井 (盧建中，2006)



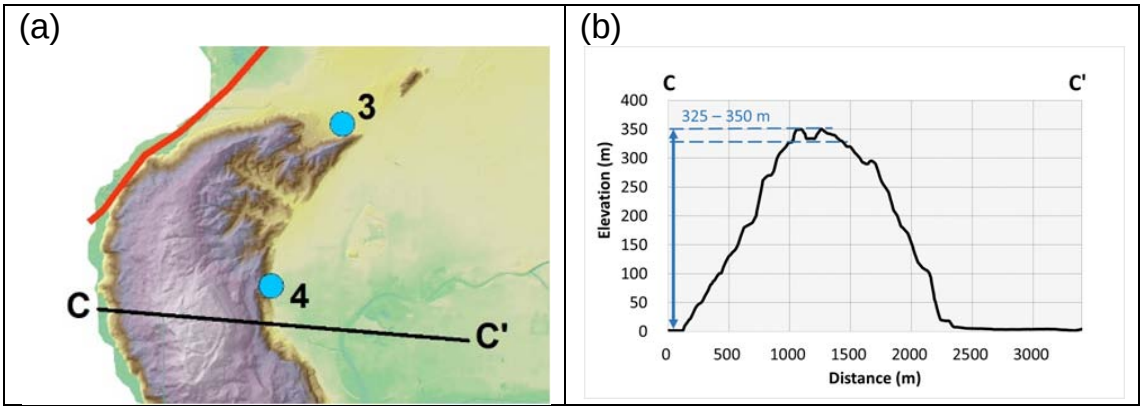
附圖 2.14：6 號鑽井地層對比剖面圖。鑽井及剖面位置詳如附圖 2.13(盧建中，2006)



附圖 2.15：7 號鑽井地層對比剖面圖。鑽井及剖面位置詳如附圖 2.13 (盧建中，2006)



附圖 2.16：6 ka 時間面等高線圖(盧建中，2006)



附圖 2.17：壽山地區地形及剖面圖。（a）紅色實線為右昌構造，藍色實心圓為野外調查位置；（b）DEM 地形剖面圖，剖面線位於(a)中之 C-C’ 剖面（Shyu et al., 2016）

6. 單一事件變位量：本計畫藉由 Wells and Coppersmith（1994）之規模-地表最大錯動量推估，地表錯動量為 1.04 公尺。
7. 斷層最大可能地震規模：藉由斷層尺度與地震規模之經驗公式可求得，此處經驗公式有 Wells and Coppersmith（1994）及 Yen and Ma（2011）等列於參數表中以供參考。本文提到之規模均為地震矩規模。
8. 最近一次活動時間：未知。

彙整對於右昌構造的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如附表 2.3 所示，若斷層可能有分段的特性也應在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

附表 2.3：右昌構造參數表。

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
右昌構造	斷層分段與破裂事件	整段	航照判釋、地形判釋	Sun, 1964；Bonilla, 1975；Hsu and Chang, 1979；鄭錦桐，2002；Cheng et al., 2007；徐澔德等人，2016
	長度 (km)	4	由航照判釋，右昌斷層呈現兩個小線形崖，且切斷半屏山背斜軸的西南端傾沒部分	Sun, 1964；Bonilla, 1975；Hsu and Chang, 1979
		12	地震危害度參數	鄭錦桐，2002；Cheng et al., 2007
		16.6	地表地形判釋	徐澔德等人，2016
	寬度 (km)	12.4	深度/sin 傾角 （以深度 12 公里，傾角 75 度計算）	
	破裂深度 (km)	12 公里	地震危害度參數	鄭錦桐，2002；Cheng et al., 2007
		12±2 公里	右昌構造參數(以地溫推估脆塑性轉換帶)	徐澔德等，2016
	面積 (km^2)	206	長度×寬度 （以長度 16.6 公里，深度 12 公里，傾角 75 度計算）	
	走向	東北一西南走向	航照判釋、地形判釋	Sun, 1964；Bonilla, 1975；Hsu and Chang, 1979；鄭錦桐，2002；Cheng et al., 2007；徐澔德等人，2016
	傾斜角度 (度)	地層褶皺徵兆	半屏山背斜震測剖面	Pan, 1968
		50 度	右昌斷層 PSHA 參數	鄭錦桐，2002；Cheng et al., 2007
		65~85 度	Youchang structure 參數	徐澔德等，2016
	斷層機制	逆移斷層	右昌斷層 PSHA 參數	鄭錦桐，2002；Cheng et al., 2007
		逆斷層帶走向滑移之分量	Youchang structure 參數	徐澔德等，2016
		帶有右移分量的逆衝斷層	GPS 資料	胡植慶等，2016

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	近期地表變形	上下盤速度差約 5 mm/yr	2007~2010 年 ALOS 衛星 PSInSAR 結果	胡植慶等，2016
	長期滑移速率 (mm/yr)	2.5~7.4	參考盧建中(2006)6 ka 時間面等高線跨右昌構造之高差	本計畫推估
		0.92~5.46	壽山之高度(325~350 公尺)除以壽山石灰岩年代(10 萬年~50 萬年)，並換算至斷層面上	徐澔德等人，2016
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	-	-	-
	單一事件變位量 (m)	1.04	log D = 0.29 Mw - 1.84（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模 (Mw)	6.4	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.3 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
		6.3	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	-	-	-
	最近一次活動時間	N/A	N/A	N/A

二、斷層破裂模式及邏輯樹權重分配

彙整各版本對於右昌構造之線形分布，本計畫評估右昌構造之破裂模式，以徐澔德等人(2016)參考地表線形描繪之版本，考慮整段破裂模式，長度為 16.6 公里，如附圖 2.4 所示。

右昌構造之傾角，根據蒐集之參數推估為高角度，因不確定性較高，本計畫權重設定為 65 度（0.3）、75 度（0.4）、85 度（0.3）。右昌構造之破裂深度，主要參考徐澔德等人(2016)利用地溫推估之參數，本計畫破裂深度權重設定為 10 公里（0.3）、12 公里（0.4）、14 公里（0.3）。

右昌構造之長期滑移速率，參考盧建中(2006)透過平原區鑽井資料的層序地層分析及定年資料內插之 6 ka 時間面等高線，本計畫據此推估之長期的滑移速率為 2.5~7.4 mm/yr。徐澔德等人(2016)以壽山之高度(325~350 公尺)除以壽山石灰岩年代(10 萬年~50 萬年)，並換算至斷層面上，長期的滑移速率為 0.92~5.46 mm/yr。本計畫認為鑽井資料定年之可靠度較高，並且，目前對於壽山是否為斷層作用形成仍有爭議，而壽山又位於右昌構造最南端，只藉由南端之露頭推估整體斷層滑移速率不確定性較高，因此給予較低之權重(0.2)，鑽井資料給予較高之權重(0.8)。附表 2.4 為本計畫右昌構造邏輯樹計算之結果，本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 2.2 mm/yr (0.3)、中值 4.6 mm/yr (0.4)、上界 7.0 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，附表 2.5 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

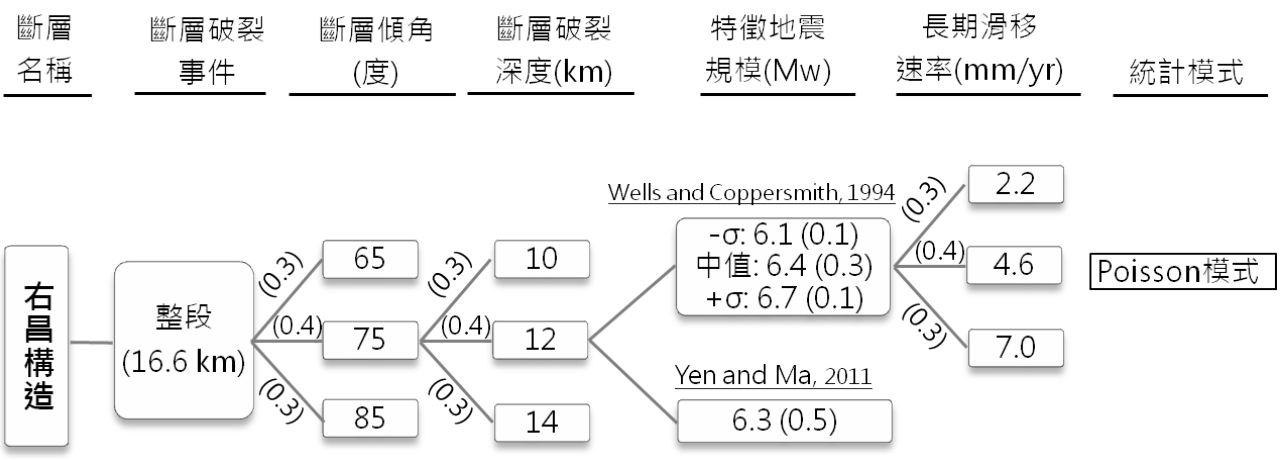
右昌構造最近一次發震時間未知，因此統計上採用 Poisson 模式，各節點權重的分配詳如附圖 2.18 所示。

附表 2.4：本計畫右昌構造長期滑移速率推估結果。

斷層名稱	參考資料	方法	權重	下界 (mm/yr)	平均 (mm/yr)	上界 (mm/yr)
臺南前緣構造	盧建中 (2006)	6 ka 時間面等高線跨右昌構造之高差	0.8	2.5	5.0	7.4
	徐澔德等人 (2016)	壽山之高度除以壽山石灰岩年代	0.2	0.92	3.19	5.46
	權重加總結果			2.2	4.6	7.0

附表 2.5：右昌構造之中值各破裂事件規模及權重。

破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	傾角 (度)	寬度 (km)	面積 (km2)	Wells and Coopersmith, 1994(面積)			Yen and Ma, 2011(面積)
						-σ	中值	+σ	
右昌構造	16.6	12	75	12.4	206	6.1	6.4	6.7	6.3



附圖 2.18：右昌構造邏輯樹

附錄 3 龍船構造之震源參數設定

一、斷層參數表之建立及說明

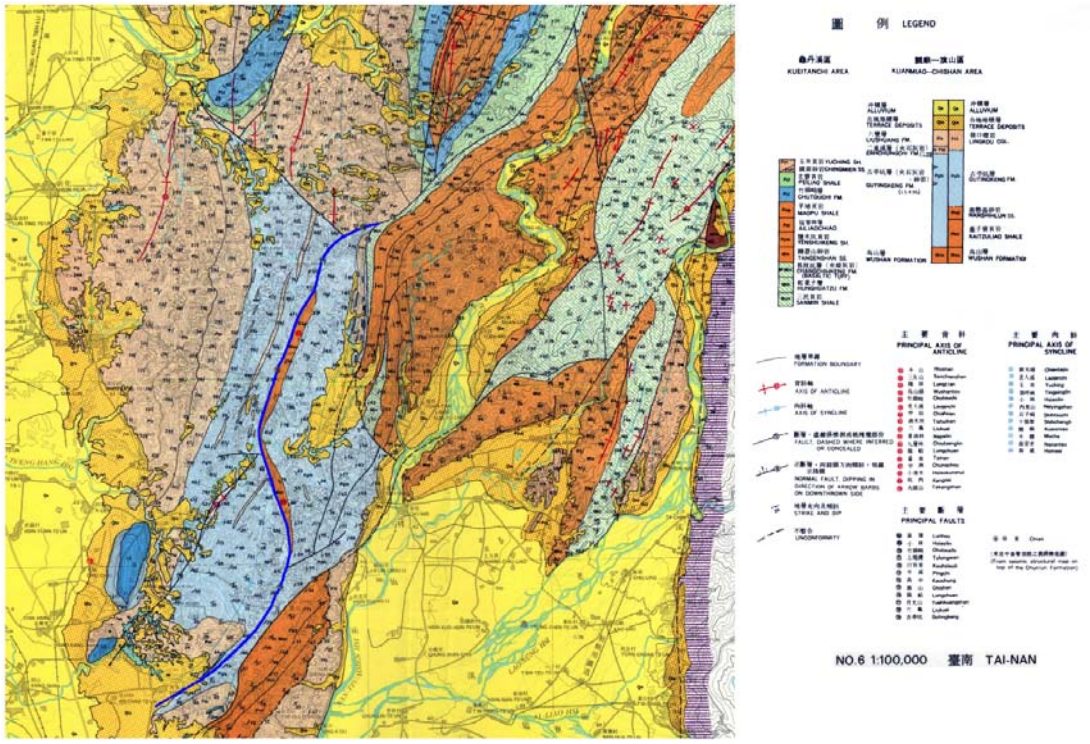
1. 斷層長度及分段

龍船斷層為鳥居敬造(1931)所提出。根據中油地質圖，龍船斷層上盤為上中新世之烏山層或上新、更新世之古亭坑層，下盤為上新、更新世之古亭坑層，斷層跡大致呈北北東走向，斷層北起台南南化，沿龍船窩（烏山頭）西側向南南西延伸，然後轉向南南東延伸，接近高雄市田寮區大廓庭山附近時又轉回為向南南西；龍船斷層北段為平溪斷層所截切（或併入平溪斷層），於草山月世界附近截切左鎮斷層（或逆掩至其上），至高雄市燕巢區附近隱伏於第四紀地層之下，全長為 33 公里（附圖 3.1）（中油公司，1989）。

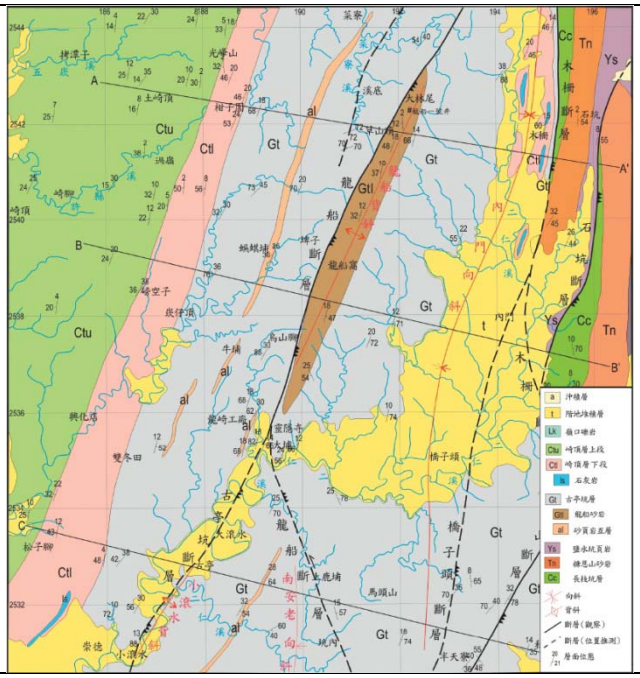
根據林啟文等（2012），龍船斷層北段斷層跡位於草山頂至龍船窩的西側，在草山頂至烏山腳之間（附圖 3.2），斷層上盤（東側）出露龍船砂岩，斷層下盤出露厚層泥岩，因為植被與崩積物的覆蓋，野外未發現斷層露頭。林啟文等（2012，2013）依構造特性分析，認為過去所稱龍船斷層（中油公司，1989）在大廓庭山以南，應屬另一斷層，命名為車瓜林斷層，截切或掩覆龍船斷層（附圖 3.3）。

徐澔德等人(2016)為建立台灣核電廠地震危害度評估之孕震構造震源參數，描繪了 44 條陸域孕震構造（附圖 3.4），龍船構造為台灣西南部陸域構造，其南端終止於旗山斷層，長度約 23 公里。

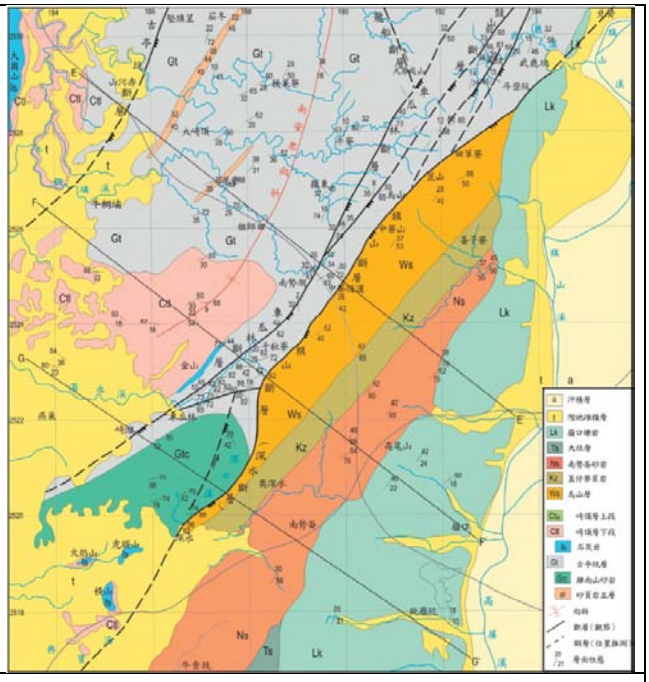
彙整各版本對於龍船構造之線形分布如附圖 3.5 所示，本計畫評估龍船構造之破裂模式，參考徐澔德等人(2016)，長度為 23 公里。



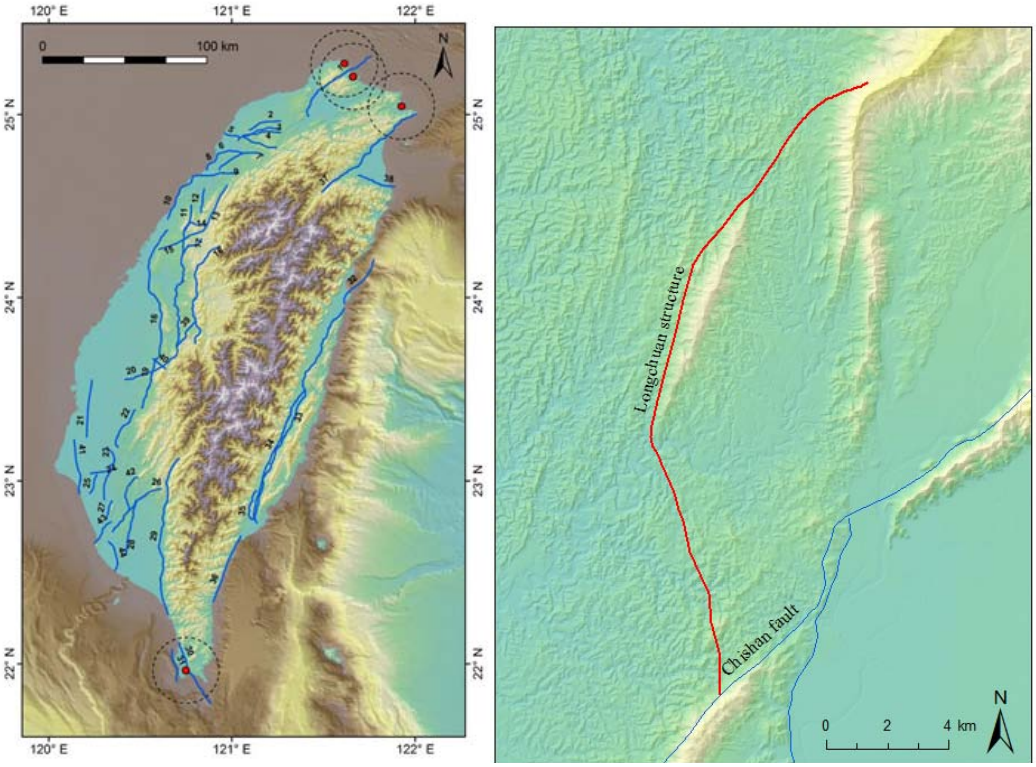
附圖 3.1：中油十萬分之一地質圖。龍船斷層位置以深藍色線段標示（修改自中油公司，1989）



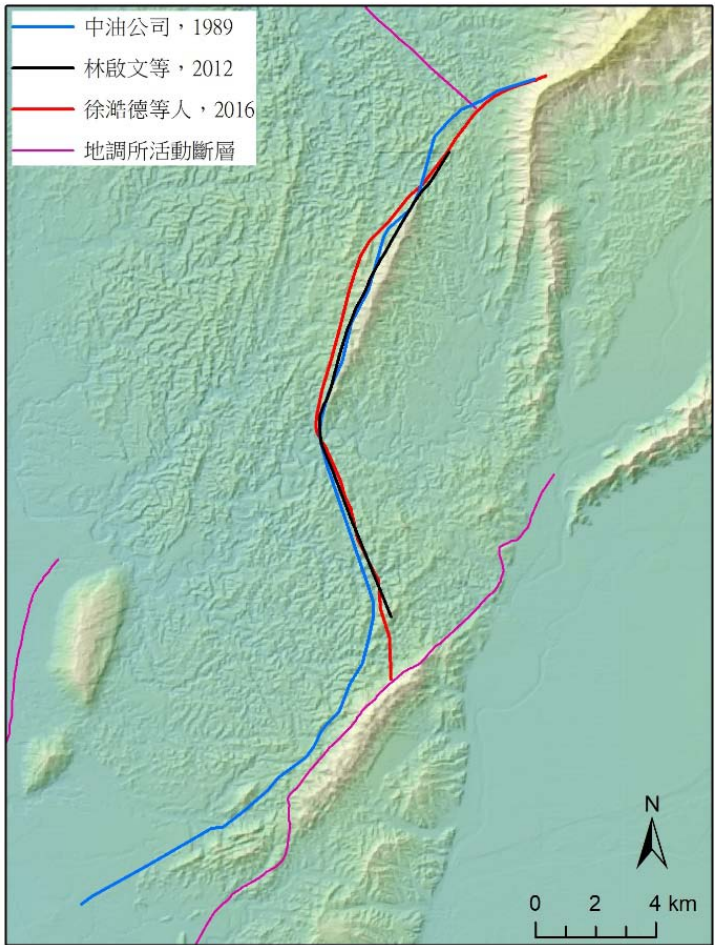
附圖 3.2：龍崎-內門地區地質圖（修改自林啟文等，2012）



附圖 3.3：田寮-旗山地質圖（修改自林啟文等，2012）



附圖 3.4：TEM 龍船構造分布圖（徐澔德等，2016）



附圖 3.5：龍船構造各版本線形分布圖

2. 斷層幾何形貌（傾角、深度）

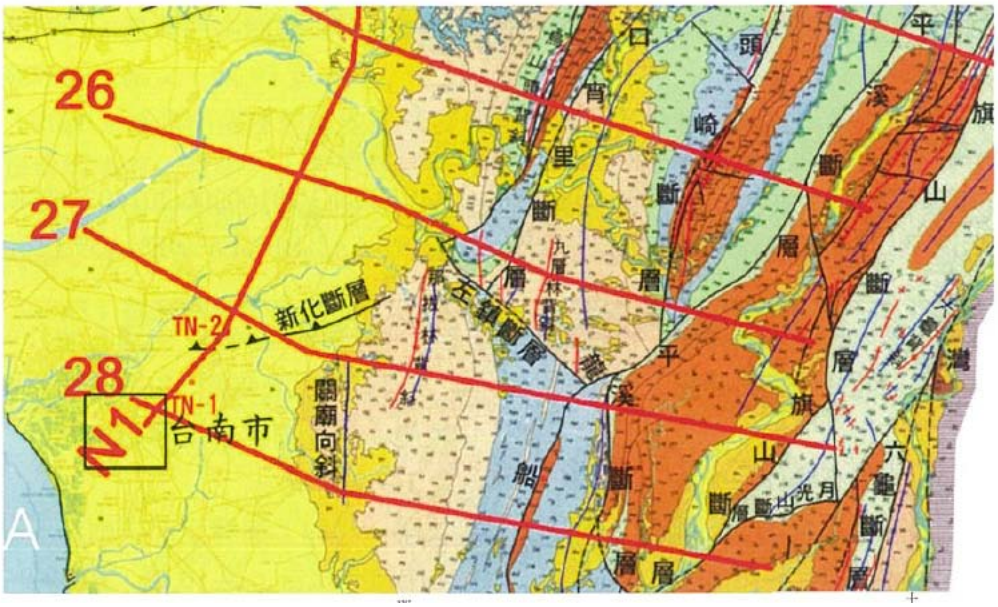
（1）根據黃旭燦等（2004）的西南部地區平衡剖面，剖面分布如附圖 3.6 所示，其中 Line 27 剖面的地質構造顯示龍船構造具有構造三角帶之特性(附圖 3.7)，斷層幾何為深度 0-2.5 公里，傾角 62.5 度；深度 2.5-4 公里，傾角 45 度；深度 4-6 公里，傾角 20 度。而 Line 28 剖面的地質構造顯示，龍船斷層深度約 8 公里,斷層傾角在深度 0-6.5 公里為 67 度,深度 6.5-8 公里為 42.8 度(附圖 3.8)。

（2）根據洪日豪（2006）所做出的平衡剖面，龍船構造於深度 0-11.5 公里，傾角約 64.2 度；深度 11.5-12.5 公里，傾角約 39 度（附圖 3.9)。

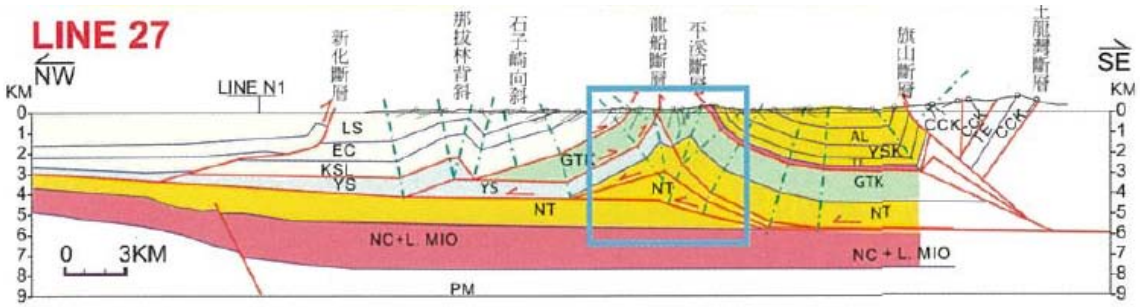
（3）陳文山等（2011、2012）平衡剖面（附圖 3.10）顯示龍船斷層深度約 10 公里，斷層傾角在 0-8 公里為 62.7 度；8-10.5 公里為 33.7 度。整合速度構造剖面及地震深度分布（附圖 3.11)，地震深度一般比平衡剖面之滑脫面深。

（4）徐澔德等人（2016）對於龍船構造之傾角設定為 50~70 度，深度根據地溫梯度換算脆塑性轉換帶深度設定為 10~14 公里。

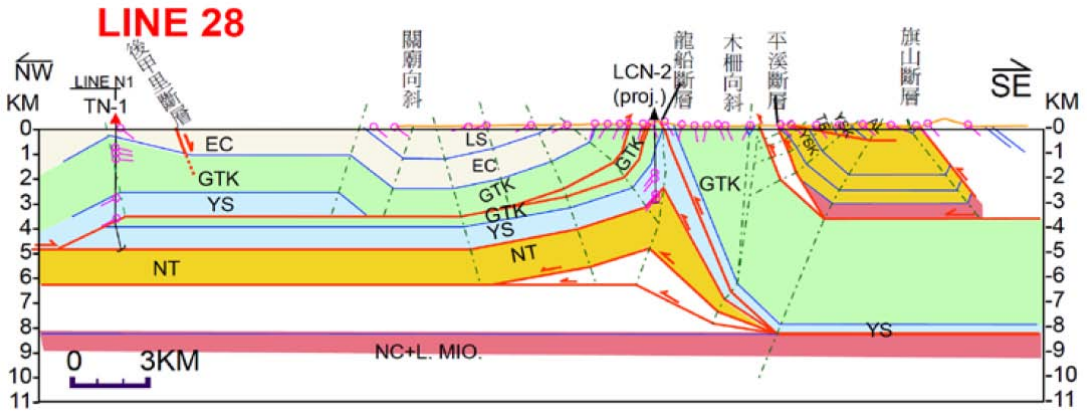
龍船構造幾何文獻、調查方法及參數彙整於附表 3.1 中。



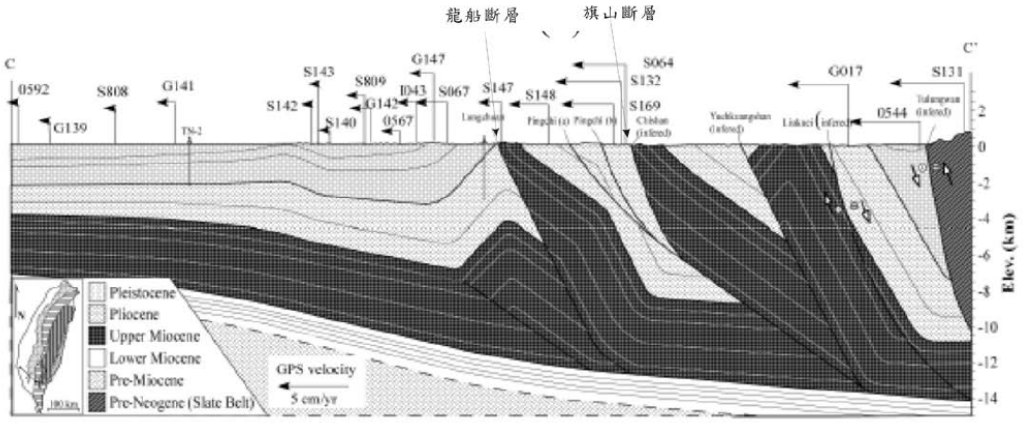
附圖 3.6：龍船斷層周圍之地質圖及地質平衡剖面分布圖（黃旭燦等，2004）



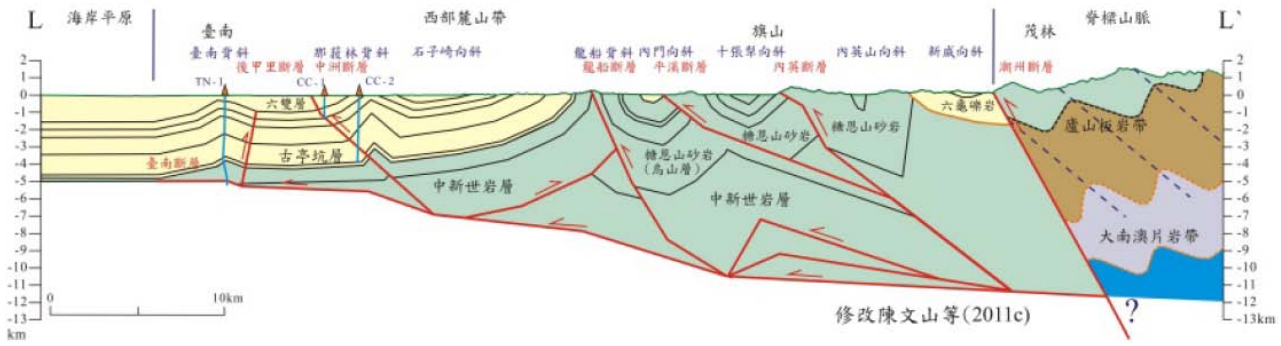
附圖 3.7：跨龍船斷層 LINE 27 平衡剖面圖。GTK 為古亭坑層（黃旭燦等，2004）



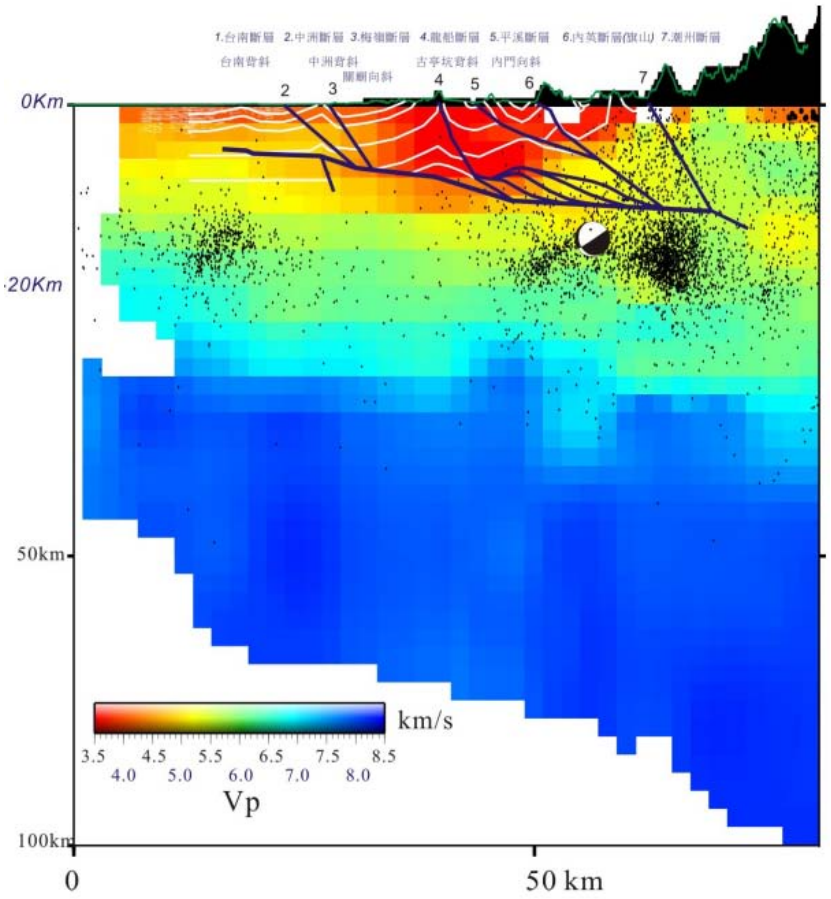
附圖 3.8：跨龍船斷層 LINE 28 平衡剖面圖。GTK 為古亭坑層（黃旭燦等，2004）



附圖 3.9：西南部地區平衡剖面圖（洪日豪，2006）



附圖 3.10：西南部地區平衡剖面圖（陳文山等，2011）



附圖 3.11：西南部地區速度構造剖面圖（陳文山，2016）

附表 3.1：龍船構造傾角資料及文獻列表。

參考文獻	調查方法		傾角	深度
徐慶雲，1975	地質調查		向東傾斜 70°-80°	-
陳柏村，2005	影像判釋、野外調查		20°-50°	-
黃旭燦，2004	平衡剖面	Line 27	深度 0-2.5 km，62.5° 深度 2.5-4 km，45° 深度 4-6 km，20°	6 km
		Line 28	深度 0-6.5 km，67° 深度 6.5-8 km，42.8°	8 km
洪日豪，2006	構造地質剖面		深度 0-11.5 km，64.2° 深度 11.5-12.5 km，39°	12.5 km
陳文山等，2011	構造地質剖面		深度 0-8 km，62.7° 深度 8-10.5 km，33.7°	10.5 km
徐澔德等，2016	根據地溫梯度換算脆塑性轉換帶深度		50°~70°	10-14 km

3. 斷層機制：

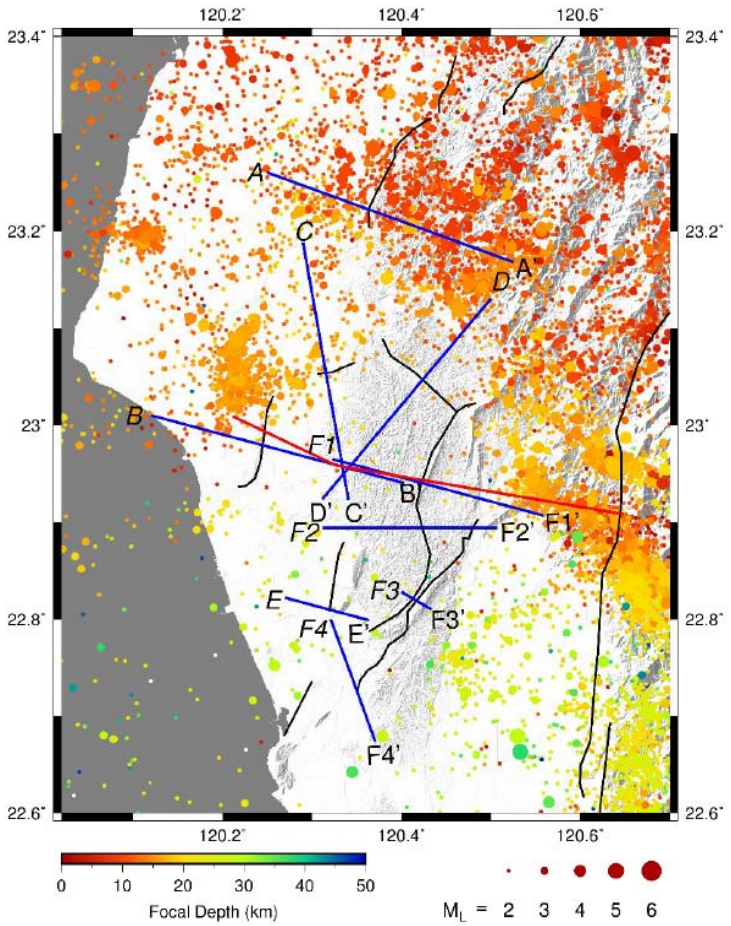
（1）根據林啟文等（2012），龍船斷層為一具左移分量的逆移斷層。

（2）徐澔德等人（2016）對於龍船構造的設定為逆移構造。

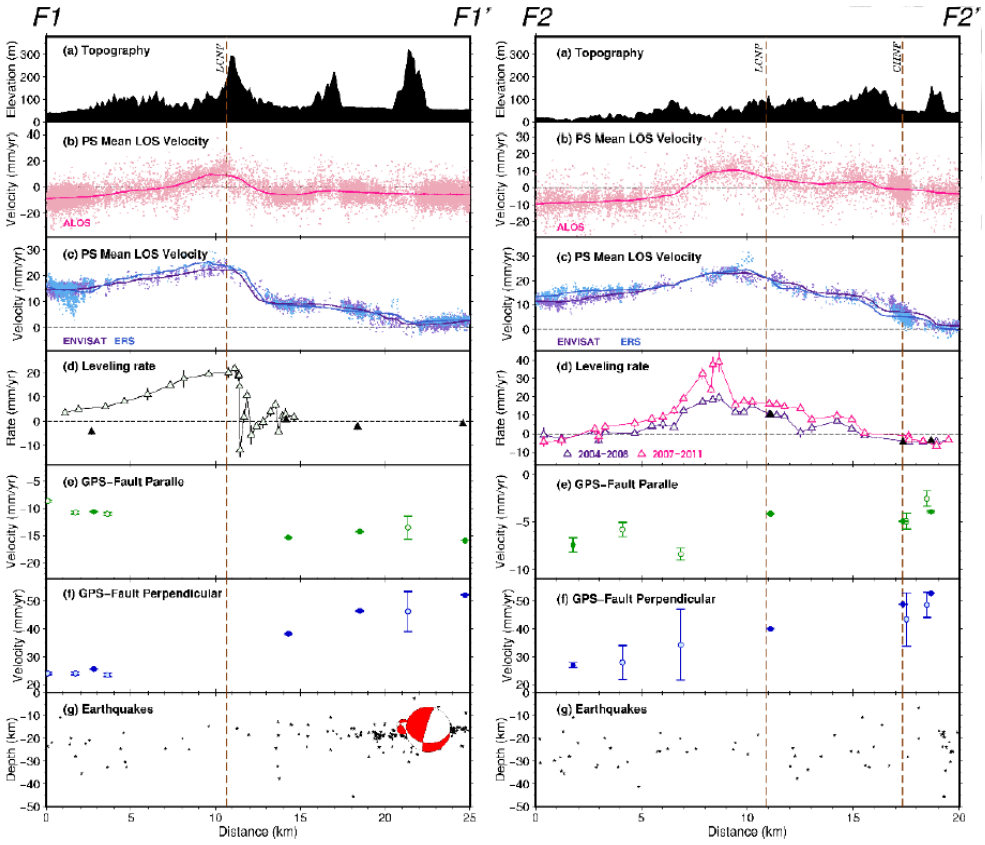
4. 近期地表變形：

附圖 3.12 為跨構造速度場剖面之位置圖，其中 F1-F1’及 F2-F2’跨龍船構造，附圖 3.13 為 LOS 速度場結合水準測量及 GPS 速度資料所建立的跨構造之速度剖面，其中此研究的衛星影像日期為 ERS：1995/4~1999/9、Envisat：2004/6~2008/9、ALOS：2007/1~2010/2。在跨龍船構造的測線，F1 測線顯示，西側相對抬升 10-20 mm/yr，壓縮量 15 mm/yr；F2 測線顯示西側相對抬升 5-10 mm/yr，壓縮量 10 mm/yr（郭鶯萍，2017）。

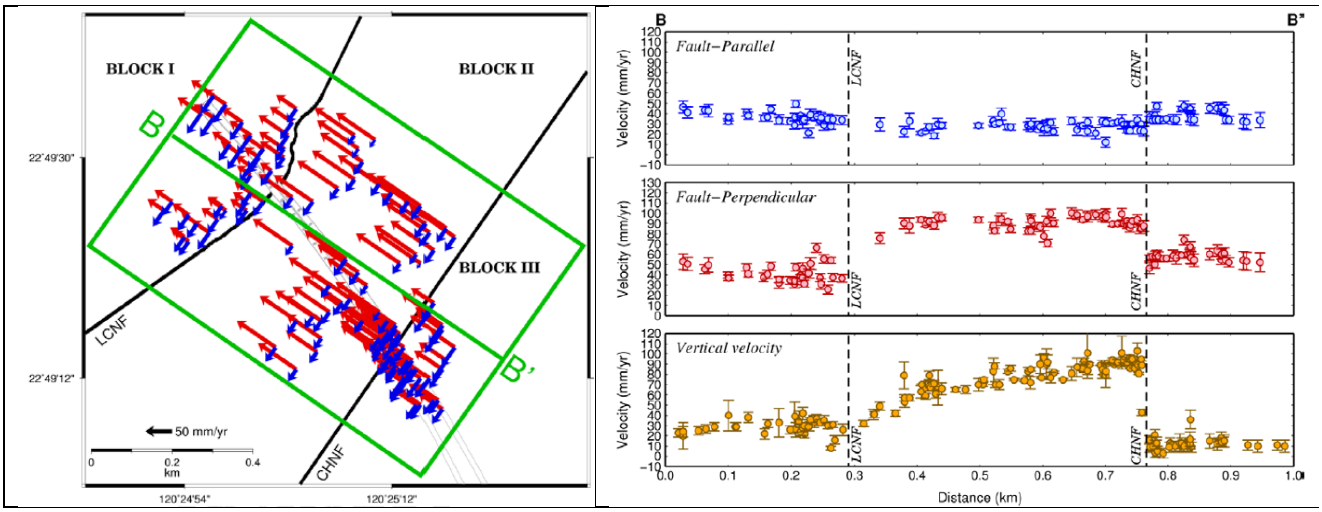
附圖 3.14 為跨車瓜林斷層及旗山斷層地表水平速度場和三個方向速度場剖面圖（張李群，2014），可見車瓜林斷層上盤和龍船構造上盤(附圖 3.13)速度場呈現不同之地表變形模式，因此地調所才另外命名為車瓜林斷層，而非龍船斷層之延伸。



附圖 3.12：跨龍船構造速度場剖面圖之位置圖。底圖為歷史地震震源分布，黑線為構造位置，藍線為速度剖面位置，紅線為平衡剖面位置（郭鶯萍，2017）



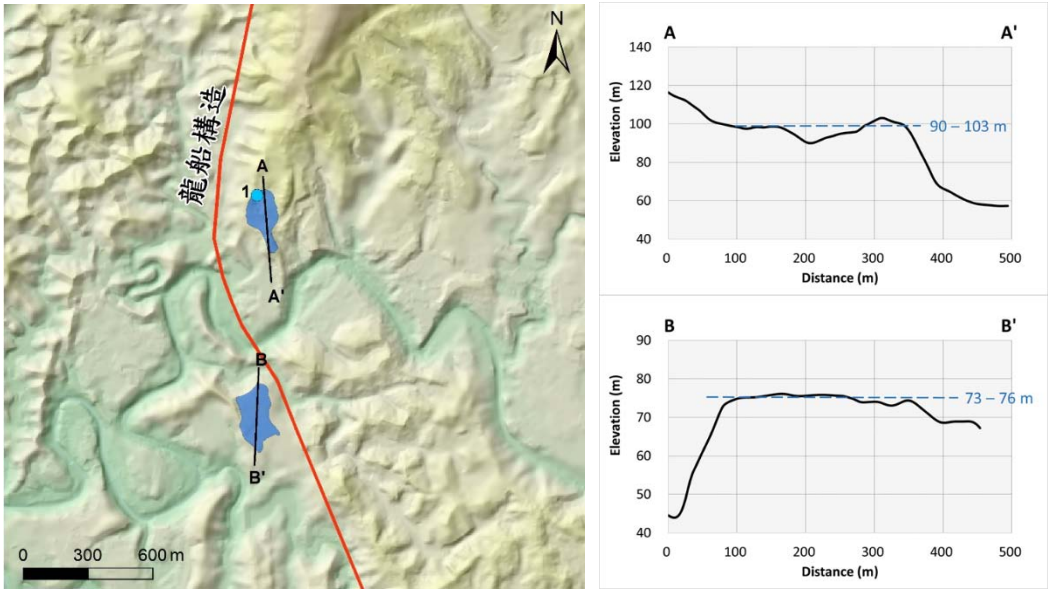
附圖 3.13：跨龍船構造 F1-F1'及 F2-F2'之速度場剖面圖。(a)為地形高程；(b)為 L 波段 ALOS 視衛星方向速度變化；(c)為 C 波段 ENVISAT 及 ERS 視衛星方向速度變化；(d)為垂直速度場資料，實心三角形為 GPS 垂直分量，空心三角形為水準測量資料；(e)為 GPS 平行構造方向之速度變化；(f) 為 GPS 垂直構造方向之速度變化；(g)為 1994-2015 年震源分布及震源機制解之側半球投影。LCNF 為龍船構造，CHNF 為旗山斷層（郭鶯萍，2017）



附圖 3.14：左圖為水平速度場剖面圖，右圖為速度場三個方向 B-B'剖面圖。GPS 資料蒐集時間區段為 2011/11~2013/11（張李群，2014）

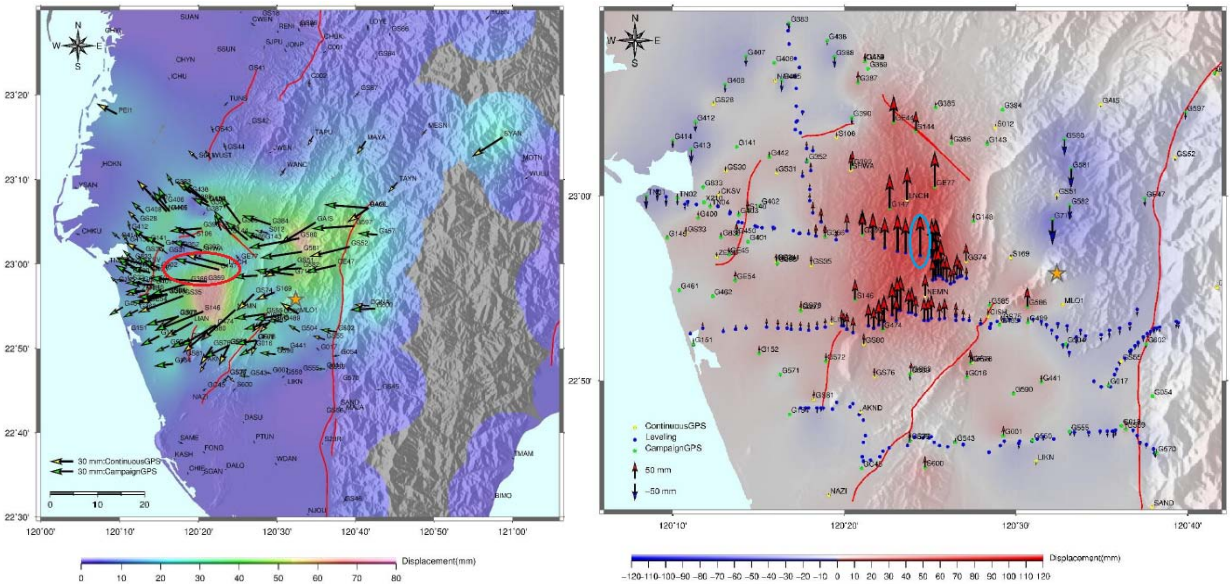
5. 長期滑移速率：

徐澔德等人（2016）利用斷層兩側階地高度對比，計算得到龍船構造長期抬升速率為 0.6-6.0 mm/yr，以斷層傾角 50-70 度換算得到長期滑移速率為 0.6-7.8 mm/yr（附圖 3.15）。



附圖 3.15：台灣地震模型之階地量測（徐澔德等人，2016）

6. 單一事件變位量：本計畫藉由 Wells and Coppersmith（1994）之規模-地表最大錯動量推估，地表錯動量為 1.19 公尺。在 2016 年的 0206 美濃地震，雖然震央不在龍船構造附近，但由於這個區域存在較深厚的泥岩，地震能量在經過此區得以地表變形方式轉化呈現，是此區域變形（附圖 3.16）劇烈的主因（地調所，2016）。



附圖 3.16：左圖為水平位移量，右圖為垂直位移量（地調所，2016）

7. 斷層最大可能地震規模：藉由斷層尺度與地震規模之經驗公式可求得，此處經驗公式有 Wells and Coppersmith（1994）及 Yen and Ma（2011）等列於參數表中以供參考。
8. 最近一次活動時間：在活動性方面，國道三號之田寮三號橋北橋台與道路等人工結構物有顯著破壞，但龍船構造其他區域則無此現象，也無顯著地形特徵及露頭顯示其有活動紀錄。龍船之活動性需進一步以鑽探及監測以進行釐清。

彙整前人對於龍船構造的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如附表 3.2 所示，若斷層可能有分段的特性也應在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

附表 3.2：龍船構造參數表。

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法		參考文獻
龍船構造	斷層分段與破裂事件	整段	地質調查、地形判釋、構造特性		孫習之，1959；中油公司，1989；陳文山等，2012；林啟文等，2012；徐澔德等人，2016
	長度 (km)	33	地質調查、地形判釋		中油公司，1989
		23	地形判釋		陳文山等，2012；林啟文等，2012；徐澔德人，2016
	寬度 (km)	13.9	深度/ sin 傾角 （以深度 12 公里，傾角 60 度計算）		
	深度 (km)	6 公里	Line 27	平衡剖面	黃旭燦等，2004
		8 公里	Line 28		
		約 13 公里	構造地質剖面		洪日豪，2006
		約 10 公里	構造地質剖面		陳文山等，2011
		10~14 公里	龍船構造參數設定		徐澔德等，2016
	面積 (km2)	319	長度×寬度 （以長度 23 公里，寬度 13.9 公里）		
	走向	東北—西南走向	地質調查、地形判釋、構造特性		林啟文等，2012；徐澔德等，2016
	傾斜角度 (度)	深度 0-2.5 km，62.5° 深度 2.5-4 km，45° 深度 4-6 km，20°	Line 27	平衡剖面	黃旭燦，2004
		深度 0-6.5 km，67° 深度 6.5-8 km，42.8°	Line 28		
		深度 0-11.5 km，64.2°	構造地質剖面		洪日豪，2006
		深度 0-8 km，62.7° 深度 8-10.5 km，33.7°	構造地質剖面		陳文山等，2011；2012
		50~70 度	龍船構造參數		徐澔德等，2016

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	斷層機制	具右移分量的逆斷層	地質調查	陳文山等，2012；林啟文等，2012；劉彥求，2013
	近期地表變形（mm/yr）	F1：10~20 mm/yr (西側相對抬升) F2：5~10 mm/yr (西側相對抬升)	LOS 速度場、水準測量、GPS 資料	郭鶯萍，2017
		F1：15 mm/yr (壓縮) F2：10 mm/yr (壓縮)		
	長期滑移速率 (mm/yr)	0.6~7.8 mm/yr	階地量測	Shyu et al., 2016
	滑移虧損率 (slip deficit rate)(mm/yr)	-	-	-
	單一事件變位量 (m)	1.19	log D = 0.29 Mw - 1.84（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
		最大水平位移量 0.07，最大垂直位移量 0.12	GPS 資料、2016 美濃地震	地調所，2016
	最大可能地震規模(MW)	6.6	Mw = 4.33+0.9 log A（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
		6.5	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011
	地震重複週期 (年)	-	-	-
	最近一次活動時間	N/A	N/A	N/A

二、斷層破裂模式及邏輯樹權重分配

本計畫在評估龍船構造之破裂，參考徐澔德等(2016)版本，長度為 23 公里，如附圖 3.4 所示。

龍船構造之傾角，根據蒐集之平衡剖面及構造地質剖面，除黃旭燦(2004)Line 27 剖面傾角較緩(平均約 50 度)，龍船構造斷坡之傾角約在 60~70 度，本計畫在邏輯樹劃設上，暫不考慮複雜之幾何變化，傾角權重設定為 50 度（0.3）、60 度（0.4）、70 度（0.3）。

龍船構造之破裂深度，主要參考徐澔德等（2016）地溫梯度結果、黃旭燦（2004）平衡剖面以及陳文山（2011、2016）速度構造剖面結果之推估參數，本計畫破裂深度權重設定為 10 公里（0.3）、12 公里（0.4）、14 公里（0.3）。

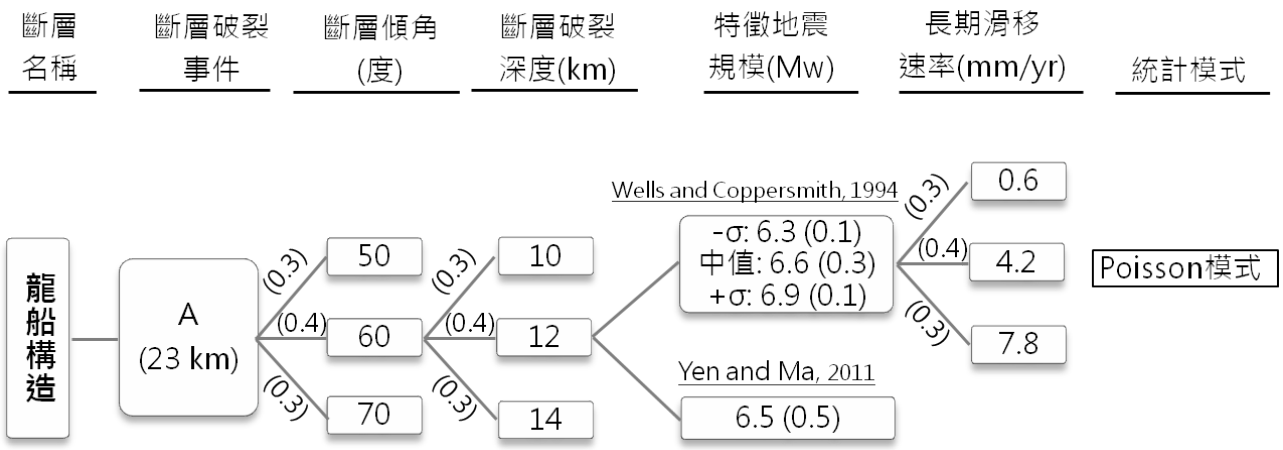
各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之中值±0.3 作為上下之分支，附表 3.3 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

龍船構造長期滑移速率，徐澔德等人（2016）利用斷層兩側階地高度對比，計算得到龍船構造長期抬升速率為 0.6-6.0 mm/yr，以斷層傾角 50-70 度換算得到長期滑移速率為 0.6-7.8 mm/yr。權重分配為 0.6 mm/yr（0.3），4.2 mm/yr（0.4），7.8 mm/yr（0.3）。

龍船構造最近一次發震時間未知，因此統計上採用 Poisson 模式，各節點權重的分配詳如附圖 3.17 所示。

附表 3.3：龍船構造各破裂事件規模及權重。

斷層名稱	長度(km)	深度(km)	傾角(度)	寬度(km)	面積(km2)	Wells and Coppersmith, 1994(破裂面積-規模關係式)(Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式)(Mw)
						-σ	中值	+σ	
龍船構造	23	12	60	13.9	319	6.3	6.6	6.9	6.5
權重						0.1	0.3	0.1	0.5



附圖 3.17：龍船構造邏輯樹

附錄 4 邏輯樹專家諮詢會議記錄

附表 4-1 「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估 (2/4)」第一次專家諮詢會議會議記錄表

<table>
<tr><td>會議名稱</td><td colspan="5">第一次專家諮詢會議</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主席</td><td rowspan="2">顏銀桐
博士</td><td>日期</td><td>2018 年 06 月 04 日</td><td>時間</td><td>10:00~12:30</td></tr>
<tr><td>地點</td><td>中興社研究大樓
(五樓中型會議室)</td><td>記錄</td><td>李易叡</td></tr>
<tr><td>出席
人員</td><td colspan="5">專家委員：
台灣大學：胡植慶 教授
中央大學：林殿順 副教授、黃文正 副教授
成功大學：葉永田 教授
地調所：朱傚祖 前技正</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">其他與會人員：
中興社：邵國士 組長、顏銀桐 正研究員、李易叡 副研究員、莊怡蓉 助理研究員</td></tr>
<tr><td>會
議
內
容</td><td colspan="5">1. 期中階段北部活動斷層參數精進內容討論、問題與意見
(1) 山腳斷層缺少 SSHAC 計畫決定其幾何面之參考依據。
(2) 震測訊號垂直離距/山腳斷層形成年代，其中山腳斷層形成年代參考資料為？
(3) 臺北盆地地層年代可參考陳致同及蘇品如之研究成果。
(4) 山腳斷層深度 20 公里依據為何？建議深度 15 公里較合理。
(5) 山腳斷層南段活動性高於北段，是否考慮南段給予較高權重。
(6) 湖口斷層目前幾何太複雜，建議不考慮深度 9 公里的 case，簡化為 3 種幾何破裂模式。
(7) 湖口斷層破裂深度 9 公里與 11 公里是破到哪個地層？
(8) 湖口斷層長期滑移速率是引用王昱於湖口背斜之剖面進行換算，然而計算抬升速率鑽井的位置則是位於西側海岸處，其剖面應與湖口背斜處不同，建議滑移速率計算時應參考附近之地下地質剖面。
(9) 湖口斷層各分段長度太短，可能使得再現週期太短，不符合實際觀測及歷史地震紀錄。
(10) 湖口斷層分段點應有合理之說明。
(11) 新城斷層孕震深度 5 公里左右太淺，孕震深度應在 10 公里處，建議剖面可以往東延伸至可能的斷坡及孕震深度。
(12) 建議參考 NCDR 建立之新竹、新城斷層幾何面。
(13) 地震深度分布次數比地震能量累積法計算之深度，較易判斷斷</td></tr>
</table>

	層之破裂深度。 (14) 新竹斷層換算至斷層面之傾角，BB'和 CC'剖面敘述有誤，另滑移速率是用 AA'剖面之鑽井資料，是否應採用 AA'剖面之斷層傾角進行換算？ **2. 台南前緣構造參數討論、問題與意見** (1) 利用河道下切計算抬升速率，需注意河流在上下游之侵蝕率差異、是否經過曲流、河道寬度也會影響下切速率，河道經過之岩性也會影響。 (2) 需確認張午龍之塊體模型是否有台南前緣構造，如有需納入考慮。 (3) 楊志成博士論文或發表之文章中是否有計算抬升速率，請確認。 (4) 從 GPS 速度場，新化斷層以北和以南之分段速度場差異很大，可能不是同一系統。從地形上，南段已造成台南台地之隆起，和北段之活動有所差別，建議應分為兩條斷層來考慮破裂事件。 **3. 整體計畫參數討論、問題與意見** (1) 因 Yen and Ma(2011)中值界於 Wells and Coppersmith(1994)中值偏差範圍內，建議是否移除 Yen and Ma(2011)之公式？ (2) 斷層潛勢推估之滑移速率參數擬定，可透過地震回復週期反算，比對過去歷史地震事件確認參數範圍可靠度，然受限滑移速率之誤差範圍相當大，反推回復週期範圍亦大，可作為間接參考。 (3) 以斷層整體特性考量下，各分段之滑移速率分配率及獨立考量可作為進階討論議題，可作為未來另一長期計畫推動重要項目。
備 註	

附表 4-2 「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估 (2/4)」第二次專家諮詢會議會議記錄表

<table>
<tr><td>會議名稱</td><td colspan="5">第二次專家諮詢會議</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主席</td><td rowspan="2">顏銀桐
博士</td><td>日期</td><td>2018 年 10 月 18 日</td><td>時間</td><td>14:00~17:00</td></tr>
<tr><td>地點</td><td>中興社研究大樓
(五樓中型會議室)</td><td>記錄</td><td>莊怡蓉</td></tr>
<tr><td>出席
人員</td><td colspan="5">專家委員：
台灣大學：徐澔德 教授
中央大學：黃文正 副教授、陳致同 助理教授
成功大學：景國恩 副教授
國家災防中心：柯孝勳 助研究員</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">其他與會人員：
中興社：顏銀桐 正研究員、李易叡 副研究員、莊怡蓉 助理研究員</td></tr>
<tr><td>會
議
內
容</td><td colspan="5">4. 獅潭斷層、屯子腳斷層
(1) Vp/Vs 影像如何看斷層深度？原吳逸民引地質資料之斷層幾何來看 Vp/Vs 之值深度變化，現又回去引吳逸民之數據來作為地質證據之深度，是否合理？
(2) 苗栗麓山帶之地震是否也可以當作斷層深度之依據？獅潭就不一定要考慮在 8 公里以內。
(3) 從 1935 年地震來看，獅潭屯子腳是否只限於 8 公里以內？
(4) 斷層長度是否以模型反演設定之長度為參數，以此對應滑移速率是否較合理。
(5) 屯子腳斷層、獅潭斷層同時破裂之發生時挑了機率最低之長度為破裂長度，是否合理？
(6) 屯子腳斷層附近之地震分佈可能反應其他構造的活動而非屯子腳斷層本身之地震，建議篩選地震目錄。
(7) 邏輯樹雖然可以解決各種可能性，但權重如何設定？如何知道破裂長度 17 公里發生之機率比 40 公里破裂長度發生之機率還高？以屯子腳地區震源機制來看，是否仍是短破裂長度發生之機率高？可嘗試敏感度測試。
(8) 屯子腳獅潭一起破裂之情形曾經發生過，但其機率卻是最低，是否合理？這樣是否代表遇到之地震是特例？
(9) 1935 地震之情形在地表不一定需當作連續的破裂線，也許在地下連在一起，但在地表不一定。
5. 三義斷層
(1) 中央大學(2015)的引用有問題，是否直接引用陳文山或張竝瑜，或地調所計畫之主持人名。</td></tr>
</table>

(2) 地調所資料之三義斷層傾角角度較高，為 50 度，而此處僅用 30 度，是否該多考慮？

(3) 三義斷層與車籠埔斷層之相對關係為平行，三義之傾角、深度之參考依據需要再多說明。

(4) 震測是否有明確證據顯示出三義、車籠埔在地下為兩分開之構造。

(5) 車籠埔斷層活動過後，位於其下之三義斷層是否還會再活動？

(6) 設立分段點之原因及證據為何？分段點之位置無構造意義，是否考慮定在屯子腳斷層。

(7) 多設立分段點，並且破裂模式分為北(權重低)、北中(權重最高)、北中南(權重 0.1)、南(權重 0.1)。

(8) 40 頁之表格有下切速率是如何得到？是否有年代資料支持？

(9) T3A 與 T3B 之間還有一個構造，不能直接互相引用其滑移速率，因其階地受到二個至三個構造活動影響。大的滑移速率需重新考量，權重也需再考量，並說明權重改低之原因，而不重新計算文獻之數值。

(10) 38 頁之文字描述「假設其 0.45~0.25 百萬滑動」讓人誤導，應修改。

6. 右昌斷層、龍船斷層

(1) 近期滑移速率是否在報告中呈現，顯示其活動性。

(2) 右昌斷層是否有走向滑移之分量？另，資料為垂直之滑移速率，若具走滑特性，其滑移速率需考量走滑分量之滑移速率。

(3) 龍船構造之滑移速率因素太多，需慎重使用其數值。

(4) 吳榮章之碳十四年代需經過校正再計算滑移速率。

(5) 車瓜林斷層列為活動斷層，中油之命名有問題，需重新考慮。

(6) 龍船之滑移速率需重新考慮，因其涵蓋泥岩之非彈性變形，導致斷層滑移速率高估。

(7) 右昌斷層之滑移速率需重新考量，其週期太短。考慮其沉積物堆積方式，並考慮海水面變化之誤差，及沉積環境變化之誤差，重新計算滑移速率。

(8) 此計畫為蒐集資料，是否該做資料分析，進一步解釋資料？資料引用需標清楚，若有進一步的資料解釋需與原始資料做區隔，防止誤導。

(9)「速度梯度」改為「速度差」。

(10) 龍船斷層只需考慮北邊的部分，南邊車瓜林斷層現階段不需考慮。

(11) 龍船斷層各版本之畫法不一，有些切龍船背斜之東翼有些切西翼。建議先考量地調所之版本，圖幅不足之部分考慮中油之版

	本。另再額外考慮台灣地震模型之版本。 (12) 新的構造暫不考慮傾角變化，並加強說明現階段暫不考量複雜之幾何狀況。 (13) 龍船斷層深度應加強說明。龍船斷層深度停在 Decollment，而 Decollment 深度各文獻說法不一，綜合考量各文獻，給予不同深度參數。深度之權重如何訂，為何中間值偏高？建議權重改為 0.3、0.4、0.3。 (14) 「近期滑移速率」改為「近期地表變形」。
備 註	

附錄 5 台灣中北地區斷層活動機率圖

「台灣中北部水平速度場及斷層活動機率圖」是以 GPS 測站點位及 2002-2018 年水平速度場為底圖，套疊地調所北部及中部地區 16 條活動斷層及每條活動斷層未來 50 年地震矩規模 6.5 以上之發生機率圖框，潛勢圖右下角之說明文字圖框中包含：

一、使用者須知，共三點：

1. 活動斷層之復發間隔是根據斷層滑移速率之研究與調查成果所推估，進一步再計算活動斷層發生大地震之機率。斷層滑移速率之推估受限於有限之地質調查資料，仍有不確定性，故發生機率需謹慎參考使用。
2. 活動斷層錯動與大規模地震時間受限於觀測時間不足及統計之不確定性，本機率圖不宜作為地震預測之用途。機率較低之斷層不代表不會優先發生地震。
3. 本機率圖只推估各活動斷層錯動之大地震規模，有關地震動之評估必須進一步進行地震危害度分析 (seismic hazard analysis) 始能獲得。

二、圖版說明，包含以下內容：

- 製圖日期：中華民國 107 年 12 月
- 地形底圖：臺灣四十公尺數值地形模型
- 活動斷層：活動斷層參考中央地質調查所臺灣活動斷層分布圖第三版(2012)
- 參考點位：為了呈現臺灣造山帶的地表變形型態，在選擇速度場參考點位時，希望能選擇造山帶外圍但是又接近造山帶的點位，所以採用位於澎湖 S01R 的測站當成臺灣地區速度場之參考點
- 水平速度場：由 GPS 移動站與 GPS 連續站的坐標變化量推求出臺灣地表相對 S01R 測站之水平運動量與方向
- 斷層活動機率起算時間：西元 2018 年
- 統計模式：已知上一次斷層錯動與大規模地震之發生時間得採用 BPT 模式(假設發生率會隨時間變化)；未知上一次斷層錯動與大規模地震之發生時間得採用 Poisson 模式 (假設發生率固定，不隨時間變化)
- 考慮折減：玉里-池上斷層系統由於間震期會藉由潛移釋放部分能量，需考慮折減地震矩率以符合目前觀測之現況

三、圖例，包含斷層線形、GPS 測站、水平速度場 30 mm/yr 箭頭、水平速度場色階、斷層發生機率圖框之說明

潛勢圖左上角則為計畫參與團隊之單位 logo，logo 之下則提供地調所官網首頁之網址及 QR code，方便民眾查詢。

「台灣中北部垂直速度場及斷層活動機率圖」是以水準點、GPS 測站點位及 2002-2018 年垂直速度場為底圖，套疊地調所北部及中部地區 16 條活動斷層及每條活動斷層未來 50 年地震矩規模 6.5 以上之發生機率圖框，潛勢圖右下角之說明文字圖框中包含：

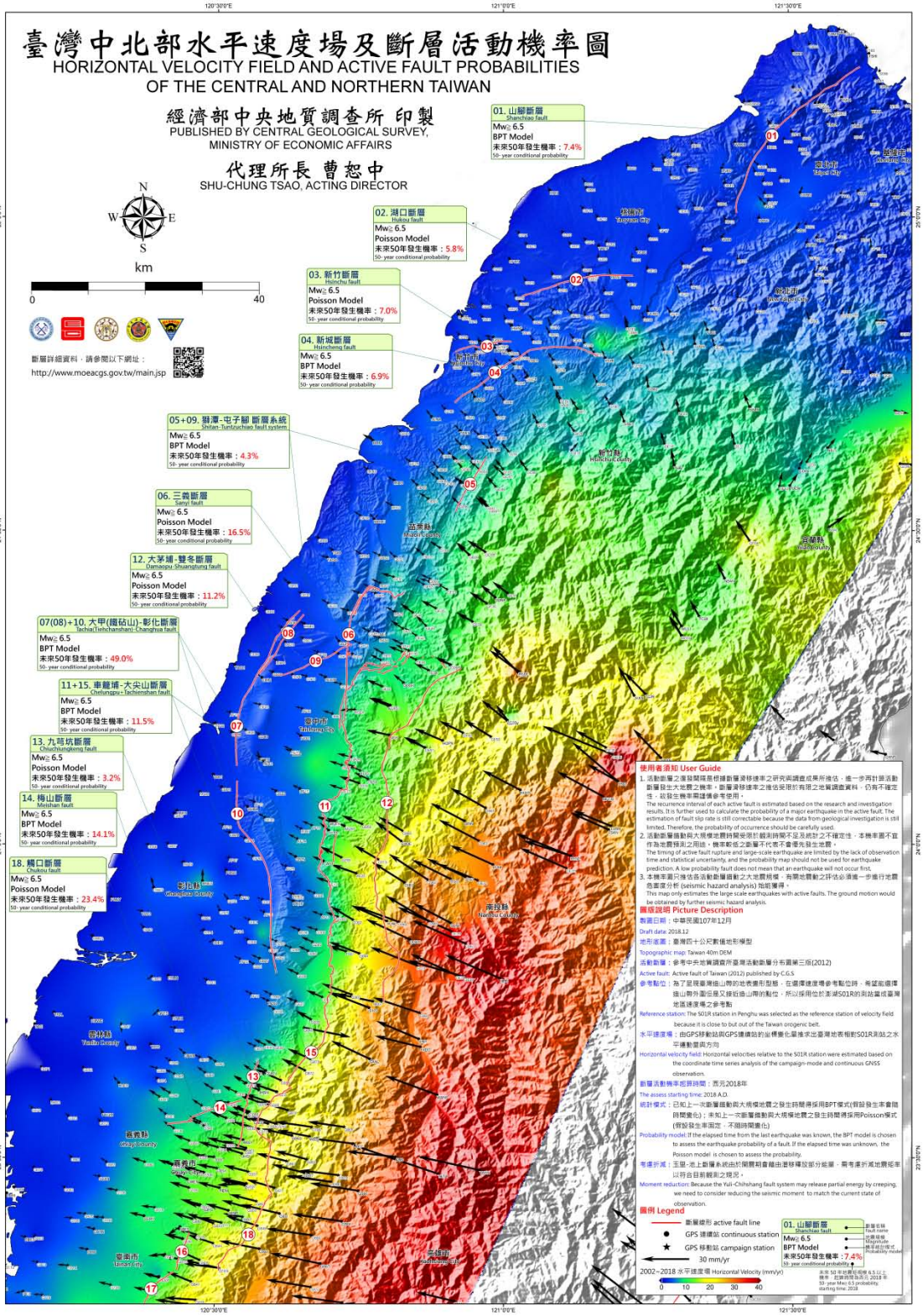
一、使用者須知，共三點：(同上)

二、圖版說明，包含以下內容：

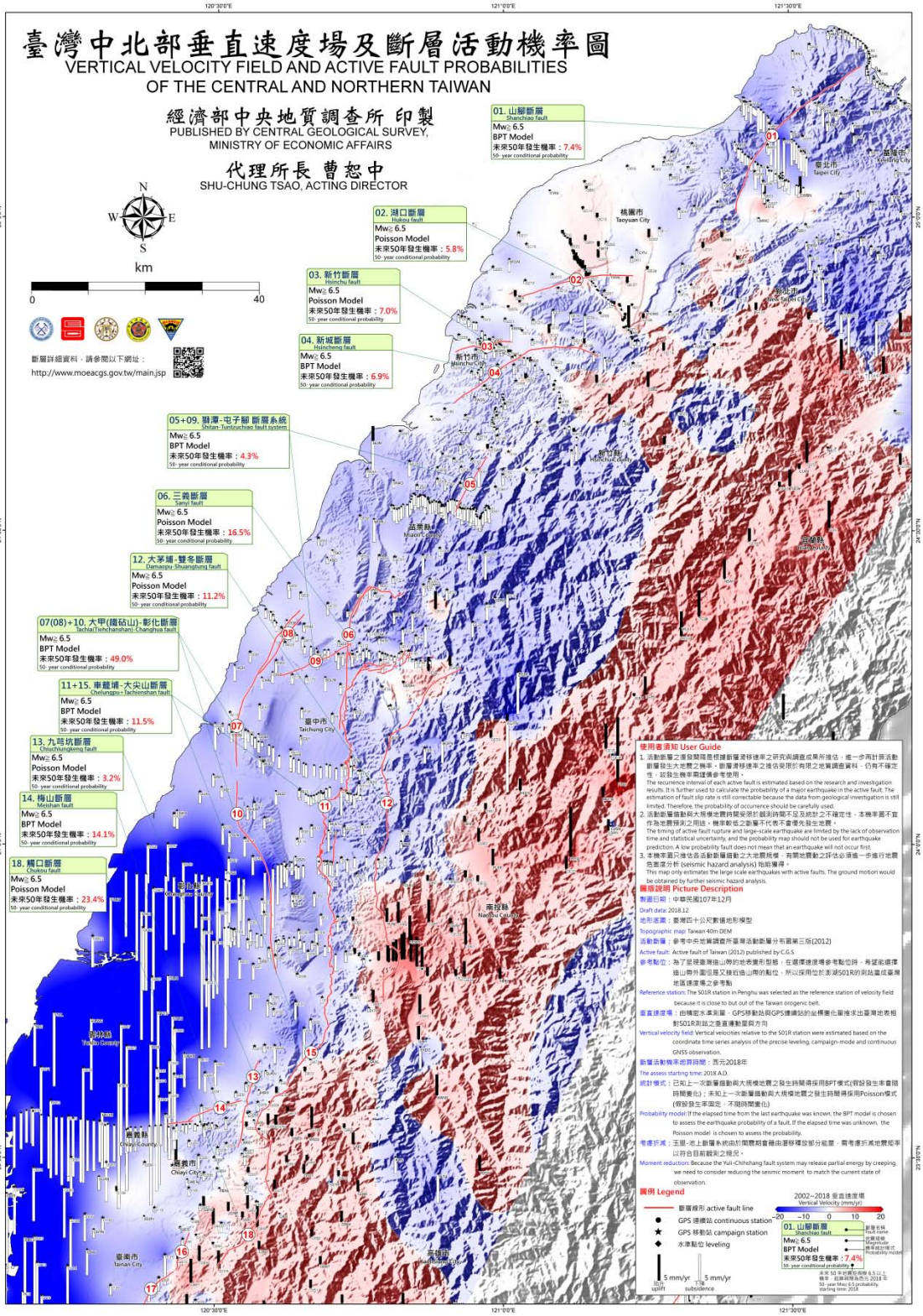
- 製圖日期：(同上)
- 地形底圖：(同上)
- 活動斷層：(同上)
- 參考點位：(同上)
- 垂直速度場：由精密水準測量、GPS 移動站與 GPS 連續站的坐標變化量推求出臺灣地表相對 S01R 測站之垂直運動量與方向
- 斷層活動機率起算時間：(同上)
- 統計模式：(同上)
- 考慮折減：(同上)

三、圖例，包含斷層線形、GPS 測站、水準點位、垂直速度場 5 mm/yr 長條示意圖、垂直速度場色階、斷層發生機率圖框之說明

潛勢圖左上角則為計畫參與團隊之單位 logo，logo 之下則提供地調所官網首頁之網址及 QR code，方便民眾查詢。



附圖 5.1：台灣中北部水平速度場及斷層活動機率圖



附圖 5.2：台灣中北部垂直速度場及斷層活動機率圖

附錄 6

活動斷層潛勢圖公布問題因應策略建議書(107 年度版)

前言

為了評估臺灣陸域的斷層潛勢，中央地質調查所(簡稱地調所)自 2013 年至 2016 年逐步完成臺灣中部、北部、南部、東部活動斷層的潛勢評估。為了讓一般民眾了解所處環境之風險，透過「斷層活動潛勢圖公布相關問題研析」，一方面探討斷層潛勢圖資的呈現方式是否貼近使用者，另一方面規劃專家討論會，逐步與可能的使用者進行事前溝通，以避免圖資公布後所引起不必要的恐慌。

希望活動斷層潛勢圖之公布，能讓民眾以正確的態度認知到身處於地震發生頻率高的台灣，地震的發生是自然現象，重要的是人民應於地震發生前如何做好防災準備工作。地調所公布斷層活動潛勢圖希望能達到：

I、「配合地質法活動斷層地質敏感區範圍之公告，讓大眾了解活動斷層有各自的發生機率特性，基地雖位於敏感區內，但考量使用年限內之發生機率，加強認知對於活動斷層敏感區可不必過於驚慌。並從政府服務層面盡到提醒、告知且讓民眾了解所處之地質環境，以達居安思危之目的。」

II、「各項斷層及孕震構造資料可供六都防災計畫修撰之參考，以達主動式地震防災之成效。」

一、活動斷層潛勢圖公布之緣由

1-1 跟上美、日、歐等先進國家之潮流

地調所近年來致力於臺灣活動斷層的調查，除了公布全臺活動斷層分布圖外，也調查並陸續出版全臺灣 1/25000 地質圖，並將 33 條活動斷層套疊至此地質圖。2011 年地質法施行，地調所依法劃設臺灣活動斷層地質敏感區，並逐年公布之。

地調所針對活動斷層及臺灣地質概況做了詳細的調查，但現階段公布的調查成果多是斷層的定性描述，如斷層的分布位置、依上次活動時間歸納屬於第一或第二類活動斷層等。然而這些資訊較難讓一般民眾或工程保險業瞭解活動斷層所引致的地震災害風險，故較不易讓工程保險業界評估及使用。為了讓活動斷層的調查資料更貼近一般民眾及產業界的需求，地調所參考日本「地震調查研究推進本部」及美國「國家地震預測評議會(National Earthquake Prediction Evaluation Council，NEPEC)」等之經驗，將活動斷層所引致的地

震可能性量化為活動斷層潛勢，並用潛勢圖方式公布。此概念已公布於美國、日本、歐洲的活動斷層公開網頁中。

1-2 國內相關法規之要求

經檢視國內法令，目前與活動斷層潛勢圖公布有關的法令如下：

1. 全國性法規

(1) 國土計畫法

國土計畫法實施後，將以全國國土計畫、直轄市及縣市國土計畫來取代現行區域計畫。該法之第 19、20 條內容會與活動斷層潛勢圖公布相關。

<第 19 條>：為擬訂國土計畫，主管機關應蒐集、協調及整合國土規劃基礎資訊與環境敏感地區等相關資料，各有關機關應配合提供；中央主管機關並應定期從事國土利用現況調查及土地利用監測。資訊之公開，依政府資訊公開法之規定辦理。

<第 20 條>：各國土功能分區及其分類之劃設原則如下：

一、國土保育地區：依據天然資源、自然生態或景觀、災害及其防治設施分布情形加以劃設，並按環境敏感程度，予以分類：

(一)第一類：具豐富資源、重要生態、珍貴景觀或易致災條件，其環境敏感程度較高之地區。

（其他項目、內容略）

(2) 災害防救法

<第 20 條>：直轄市、縣 (市) 災害防救會報執行單位應依災害防救基本計畫、相關災害防救業務計畫及地區災害潛勢特性，擬訂地區災害防救計畫，經各該災害防救會報核定後實施，並報中央災害防救會報備查。

<第 22 條>：為減少災害發生或防止災害擴大，各級政府平時應依權責實施下列減災事項：

七、災害潛勢、危險度、境況模擬與風險評估之調查分析，及適時公布其結果。

有關災害潛勢之公開資料種類、區域、作業程序及其他相關事項之辦法，由各中央災害防救業務主管機關定之。

（其他項目、內容略）

(3) 地質法

<第 6 條>：「各目的事業主管機關應將地質敏感區相關資料，納入土地利用計畫、土地開發審查、災害防治、環境保育及資源開發之參據」，

因此在區域計畫、都市計畫之擬定、核定、審議、通盤檢討或是變更、更新時，以及非都市土地之土地使用分區變更或使用地變更編定時，皆應該要於條文內納入地質敏感區相關資料之陳述，並應明確規範納入地質基礎資料後，於計畫中表明後續對應處理對策。

（其他項目、內容略）

2. 一般性地方法規

(1) 都市計畫法

<第 27 條>: 都市計畫經發布實施後，遇有左列情事之一時…，應視實際情況迅行變更：

一、因戰爭、地震、水災、風災、火災或其他重大事變遭受損壞時。

二、為避免重大災害之發生時。

（其他項目、內容略）

(2) 非都市使用管理規則

<第 49-1 條>: 變更編定。

…審查山坡地變更編定案件時，…有下列各款情形之一者，不得規劃作建築使用：

二、地質結構不良、地層破碎、活動斷層或順向坡有滑動之虞。

（其他項目、內容略）

二、瞭解活動斷層潛勢圖公布問題之做法

為瞭解活動斷層潛勢圖公布後之關鍵問題，本計畫以召開專家會議的方式邀請產、官、學等相關專家共同探討活動斷層潛勢圖公布之問題。107 年度係第二年執行，邀請對象包括專業學者、產險業者、相關執業技師及官方單位進行專家座談會，待本階段聽取專家之意見後，後續計畫再考慮座談會之對象至地方政府，以車籠埔斷層或彰化斷層為例，向中部地方政府說明清楚鄰近各條斷層之活動性並不相同，讓地方政府先瞭解活動斷層潛勢圖之代表意義，搭配地質法活動斷層敏感區之執行現況，以利地方政府預先初擬未來活動斷層潛勢圖公布後之土地開發審核程序，並預備告知民眾使用此圖資時之注意事項，減少民眾不必要之疑慮。

107 年度執行成果邀請對象之如下：

專業學者：建築系教授。

產險業者：新光產物保險公司、怡安保險經紀人股份有限公司。

執業技師：與地質法明定之相關技師如應用地質、大地工程、土木工程、水土保持工程、水利工程、採礦工程等技師進行意見交流，以瞭解執行地質法相關技師之直接意見。未來再逐步邀請與土地

開發相關之技師(如建築師、都市計畫師)等參與。

官方單位：邀請內政部營建署相關執行單位長官參與座談。

107 年度計畫於 11 月 01 日舉辦專家座談會議，以初步瞭解活動斷層潛勢圖公布後之相關問題。

2-1 107 年度專家座談會議 (107 年 11 月 01 日)

- 會議地點：中興工程顧問社
- 與會專家：王价巨 教授(銘傳大學建築學系)、陳威成 科長(內政部營建署建築管理組)、李準勝 應地技師\大地技師(永勝工程顧問公司)、孫思優 應地技師(聯興工程顧問公司)、陳江淮大地技師(聯興工程顧問公司)、蔡世賢協理(新光產物保險公司)、林冠全 博士(怡安保險經紀人股份有限公司)。
- 探討議題與專家建議：

  綜整本次專家所提意見，歸納條列如下：

  (1) 應思考地調所單位屬性，是定位為調查研究還是業務執行? 建議地調所改組前先回歸調查研究之角色，以資訊揭露為主。
  (2) 目前圖資比例尺精細度不足以指導建築，也不足以指導都市計畫，只適用國土計畫，要可以指導都市計畫之比例尺需精細到一萬分之一比例尺。
  (3) 應思考如何與民眾風險溝通，公布後與不同的溝通對象有不同的語言，因此要釐清風險溝通的對象，鎖定風險溝通對象。勿輕易把潛勢圖丟給讀不懂或是無法理解的民眾，風險溝通錯誤會導致更大風險。
  (4) 圖必須轉換有一層防災教育意義，用境況模擬震度及不同建物損毀程度，較能發揮業務上的權責，又能達到風險溝通的意義。
  (5) 潛勢圖的公布，政策上應不會影響地震基本保險費率的變動，然而，有可能影響商業上住宅地震險費率之變動。
  (6) 目前老屋應會需要潛勢圖資訊幫助啟動老屋健檢計畫，然而仍需要更明確的資訊，例如更精細化或是可以轉成震度等資訊。
  (7) 潛勢圖應儘快公布，提供民眾知的權利。公布時機很重要，應在平常沒災害時就公布，才能提供民眾緩衝時間。
  (8) 使用者需知中可補充：未鄰近斷層區域不代表不會受災。
  (9) 公布應有相關配套措施，如提供諮詢的窗口。
  (10) 應提供民眾版及專業版給不同的風險溝通對象。
  (11) 潛勢圖可做為地質敏感區優先調查之指導。
  (12) 潛勢圖可做為防災設施及重大工程配置之參考，防災設施不能離危害度高之區域太遠，但又不能近到自己也受災。
  (13) 潛勢圖可做為各縣市補助防災設備分配之參考。
  (14) 應有相關的教育宣導來教育民眾如何解讀。
  (15) 是否可提供不同規模之發生機率或是不同版本，而不是只有規模 6.5

以上?

(16) 斷層發生機率是否可協助耐震設計？如車籠埔斷層因剛活動過，機率已降低，位於斷層兩公里內之擋土牆是否還需要那麼高的耐震度。

三、106~107 年度執行所彙整之問題與策略

106~107 年度透過舉辦專家會議方式讓政府單位、學者、技師們充分表達圖資公布後之可能問題，並瞭解哪些政府、民間單位會受到本潛勢圖之影響。經由討論結果，與會各專家均對活動斷層潛勢圖之公布持肯定的意見，但先前的溝通與使用方式告知很重要，建議可先由教育單位著手，從國、高中教材中導入活動斷層與台灣地質環境及地震之關係，逐步讓民眾對於活動斷層不再陌生，並進而改變加強民眾對於地震之防災意識。

綜合數次專家會議之意見，因國土計畫法、災防法、建築技術規則等均有提到須考慮天然災害潛勢等資訊，故應本圖之公布應與前述法令相關單位多進行溝通交流，讓其多認識潛勢資料所代表之意義，將有助於各機關執行相關法令時能正確導入活動斷層潛勢之概念，並可讓地質調查研究成果有明確的應用端。茲歸納 106~107 兩年度專家會議探討活動斷層潛勢圖公布後之重要問題與因應策略如附表 6.1(a), (b)所示。

附表 6.1(a)：106 年度潛勢圖公布重要問題及因應策略

問題	因應策略
一、潛勢圖公布之應用端及政策面議題	
1. 本圖是定位科研結果還是社會應用？必須與國家上位法令結合，如國土計畫法、災防法須納入此資訊加以考量。使用目的明確化則可針對使用單位進行特別說明溝通，以降低使用單位之疑慮。	國土計畫法、災害防救法等法令均有提到各類天然災害潛勢資料必須納入該法加以評估。例如：災害防救法已明訂各級政府須依地區災害潛勢特性來擬訂地區災害防救計畫。故活動斷層潛勢圖亦應納入各級政府之災害防救計畫中。而各層級災害防救計畫亦應考慮各活動斷層發生機率之不同而有對應之應變措施。 建議可於地調所各類潛勢圖公布前，與各法令之執行機關舉辦溝通說明會，以利地調所成果順利於各相關法令中執行，後續地質資料有更新時亦將滾動式調整。

問題	因應策略
2. 未來應對斷層進行更詳細的地質調查(槽溝定年、線型判釋、地表破裂範圍等),可提升每條活動斷層參數的準確度，並可降低潛勢機率值的誤差範圍。	持續蒐集最新之活動斷層調查資料，特別是斷層之活動週期、滑移速率、上一次發生時間、位移錯距等資料，定期回饋至活動斷層潛勢分析結果，全面逐步提昇活動斷層參數的準確度。
3. 現階段可只考慮陸域 33 條活動斷層，未來應包含陸海延伸斷層及納入已確定之活動斷層(如龍船斷層)。	可於後續三年之計畫中，透過適當的篩選機制，逐步將龍船斷層或其他海陸域活動斷層納入活動斷層潛勢評估，但公布仍以目前 33 條活動斷層為主。
4. 建築技術規則已明訂山坡地基地離活動斷層一定範圍內，依不同地震規模而有不同限制開發範圍，故本潛勢圖可有益於開發範圍內地震規模之認定，對現行建築法規之執行面應無之衝擊。	應將本潛勢圖之內容意義、如何應用、客觀條件等因素向建築技術規則之主管機關進行座談說明會。
5. 本圖因具有活動斷層發生潛勢機率之資訊，故對現行耐震設計規範可能較有影響。例如對於地震係數之選擇，在考慮斷層活動之機率特性後，反而可以兼顧工程的安全性與經濟性，避免設計過度保守而增加工程費用。例如工程重要性高且斷層活動機率高，其工程設計可保守些；反之，工程重要性雖高但斷層活動機率低可考慮工程使用生命週期內採用較經濟的設計與施工。	可以先和參與建築物耐震設計規範密切有關的國家地震工程研究中心、內政部建築研究所等單位說明溝通本潛勢圖之意義、應用條件等，以利其考量是否調整耐震設計規範之相關設計參數。
6. 對於地震住宅保險費率之調整	目前地震住宅保險費率並無考慮斷層引致地震之發生機率問題，故應與「地震住宅保險基金」該單位多溝通說明活動斷層潛勢圖是美、日、歐之趨勢，這些國家亦將此類資訊納入保險考量因素。
二、圖面呈現議題	

問題	因應策略
1. 潛勢圖是以活動斷層線型跡為主，建議斷層線型跡的精度應高於 1/25000，可減少套繪於其他圖資之精度謀合問題。	1. 若1/25000精度不清楚之處可持續改進活動斷層位置之圖資呈現精度。 2. 應於圖上說明本潛勢圖係全國尺度，各目的工址若有更高精度之需求，應依地質法-地質調查評估準則所建議之調查事項，對土地使用範圍內之活動斷層位置進行細部調查。
2. 斷層線是否是明確的一條線，是一個帶還是一個面？如果是一個帶，就不能用線來表示。	斷層地表出露處有時並非單一斷層線，故後續活動斷層潛勢圖可考慮採用活動斷層敏感區範圍圖取代單一斷層線。
3. 出圖須先釐清目標，對象，使用方式？是否設計上有符合使用目標。如果不是用來查詢我家附近有沒有斷層通過，地名就不需太注重。	本潛勢圖係全國尺度，其目的為讓看圖者瞭解各條活動斷層其發生機率不同，災害評估不可一視同仁。斷層若有些許位置差異並不影響斷層活動機率，故並非供特定地址查詢之用。
4. 希望提供電子檔供教學使用。	本潛勢圖可於地調所活動斷層查詢網頁之資訊進行整合呈現。
5. 潛勢的定義是甚麼，並未說明清楚。	將於公布圖之說明欄位內說明清楚潛勢所代表之發生機率意義。

附表 6.1(b)：107 年度潛勢圖公布重要問題及因應策略

問題	因應策略
潛勢圖公布之應用端及政策面議題	
1. 應先確定地調所之單位屬性，例如，地調所是將本圖定位為研究成果性質還是業務執行?如此再探討或定位本圖公布後的問題導向，方能有益於地調所研擬因應策略。	地調所可先回歸為基本調查研究，以呈現進一步的斷層資訊，並讓社會有知的權利為主要目標。
2. 目前圖資比例尺精細度尚不足供建築規則及都市計畫之用，只適用國土計畫等上位法規。但如都市計畫通盤檢討時的確要考慮災害潛勢，此時用到本圖的比例尺應可到一萬分之一之精度。	如現階段地調所不擬更動本圖之精度，應於圖上說明本潛勢圖係全國尺度，僅供大區域之用。各目的事業單位若有更高精度之需求，應依地質法-地質調查評估準則，對目的範圍之活動斷層位置進行細部調查。

問題	因應策略
3. 應思考如何與民眾風險溝通，公布後與不同的溝通對象有不同的語言，因此要釐清風險溝通的對象，研擬溝通方式。	1. 本圖如定位為大區域與全國尺度之用，就針對大區域用途之使用單位進行說明，並做適當的風險溝通。勿輕易把潛勢圖給讀不懂或是無法理解的單位或民眾，會導致更多雜項問題與風險。 2. 本圖可導向教育+防災策略規劃之意義，增加境況模擬震度及不同建物損毀程度，較能發揮業務上的權責，又能達到風險溝通的意義。
4. 潛勢圖的公布應不會影響地震基本保費的變動，然而有可能影響商業住宅地震險費率之變動，並讓保險業知道地震風險為何，有益於風險識別。	如保險業要運用此圖，須向地調所諮詢，確認了解本圖的意義與限制，方能用對地調所公布本圖之目的。
5. 老屋健檢計畫應會需要潛勢圖資訊，仍需要更明確的資訊，例如更精細化或可呈現震度等資訊。	若考慮斷層地震機率可對老屋維修所投入的經費有幫助，不會造成過保守或不安全的情形。但震度資訊的公布是否為地調所之範疇仍須再議。
6. 配合國土計畫法，本潛勢圖應儘快公布，國土計畫法才能納入考慮，並可提供民眾知的權利；且應在平常沒災害時就公布並教育宣導，才能提供民眾緩衝時間。	地調所先定位好：相關法規銜接、本圖之使用對象、教育宣傳及舉辦說明會(使用限制及風險告知)、研擬對應單位配套措施等步驟後即可著手公布事宜。
7. 使用須知需強調補充：未鄰近斷層區域不代表不會受災之風險告知。	彙整各項問題後於使用須知中加強告知，並宣導使用方式。
8. 依使用對象，可提供民眾版及專業版，並進行不同對象的風險溝通。	本圖之第一版須先確定定位、相關法規、主要使用對象後，方能決定是以專業版或民眾版呈現。

問題	因應策略
9. 本潛勢圖之重要用途：(i)做為地質敏感區優先調查之指導依據。(ii)防災設施及重大工程配置之參考。(iii)各縣市補助防災設備分配之參考。(iv)建築耐震規範修訂之參考，如地震微分區、近斷層效應影響等，才不會造成過度設計工程資源浪費。(v)公共工程保險費率及各項重要投資再保險費率之評估依據，以及巨災風險評估模式之更新。	先確定本圖使用對象定位、相關法規、告知限制條件方供適當之用途。
10. 應提供不同規模之發生機率，而不是只有規模 6.5 以上。	可以圖冊方式提供不同規模及震度之機率圖。

歸納綜整 106~107 年度之問題綱要如下：

1. 與本圖有關之法規，如國土計畫法，可做進一步溝通。
2. 適用對象須釐清，並考慮民眾版或專業版。
3. 多做教育宣導，並規劃使用者之配套措施建議。
4. 使用須知需註明限制、風險告知。
5. 比例尺與精度可持續更新。
6. 可作為地質敏感區圖更新順序及優先調查之參考依據。