經濟部

經濟部中央地質調查所

106年度委辦計畫執行期末報告書

「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(1/4)」

（第一年度）

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

經濟部中央地質調查所

106年度委辦計畫執行期末報告書

「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(1/4)」

（第一年度）

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

臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估 (1/4)

（第一年度）

計畫主持人：鄭錦桐

協同主持人：邵國士

計畫督導：張玉斐

研　究　員：林柏伸、顏銀桐、李易叡、 謝寶珊、
謝銘哲、丁禕、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　106　年　12　月

目錄

目錄.....1
表目錄.....3
圖目錄.....4
摘要.....10
Abstract.....12
第一章、緒論.....14
1-1 計畫整體概述.....14
1-2 計畫目的.....17
1-3 本(106)年度工作內容概述.....20
1-3-1 本年度工作項目.....20
1-3-2 本(年度)計畫期中交付以下工作項目.....20
1-3-3 本(年度)計畫期末交付以下工作項目.....21
1-4 報告章節內容說明.....21
第二章、活動斷層參數更新.....22
2-1 斷層幾何(本計畫更新).....22
2-2 新增孕震深度分析.....30
2-3 潛移之折減滑移速率.....32
2-4 斷層模型反演於活動斷層潛勢評估應用.....34
2-4-1 DEFNODE 斷層模型.....34
2-4-2 基線應變反演模型.....37
第三章、大甲(鐵砧山)-彰化斷層潛勢評估.....41
3-1 邏輯樹更新.....41
3-2 規模與年發生率之關係.....44
3-3 發震機率之推估.....49
第四章、車籠埔斷層潛勢評估.....50
4-1 邏輯樹更新.....50
4-2 規模與年發生率之關係.....54
4-3 發震機率之推估.....59
第五章、大茅埔-雙冬斷層潛勢評估.....60
5-1 邏輯樹更新.....60
5-2 規模與年發生率之關係.....61
5-3 發震機率之推估.....63
第六章、九芎坑斷層潛勢評估.....64

6-1 邏輯樹更新.....64
6-2 規模與年發生率之關係.....65
6-3 發震機率之推估.....67
第七章、梅山斷層潛勢評估.....68
7-1 邏輯樹更新.....68
7-2 規模與年發生率之關係.....69
7-3 發震機率之推估.....72
第八章、觸口斷層潛勢評估.....73
8-1 邏輯樹更新.....73
8-2 規模與年發生率之關係.....74
8-3 發震機率之推估.....77
第九章、苗栗變形前緣之震源參數設定.....78
9-1 斷層參數表之建立及說明.....78
9-2 斷層破裂模式及邏輯樹權重分配.....86
第十章、嘉義變形前緣之震源參數設定.....88
10-1 斷層參數表之建立及說明.....88
10-2 斷層破裂模式及邏輯樹權重分配.....99
第十一章、制定各活動斷層參數說明書.....101
11-1 說明書章節概述(詳附錄).....101
11-2 前階段活動斷層潛勢圖成果.....101
11-3 活動斷層現地照片蒐集與呈現.....105
第十二章、活動斷層潛勢圖公布相關問題研析.....112
第十三章、本年度成果與後續工作.....121
13-1 本年度成果.....121
13-2 後續工作.....122
參考文獻.....123
委員審查意見.....127

（附錄請參閱光碟）

[附錄 1] 台灣水平速度場及斷層活動潛勢圖

[附錄 2] 邏輯樹專家諮詢會議記錄

[附錄 3] 活動斷層潛勢圖公布問題因應策略報告(106 年度)

表目錄

表 A：本年度預期進度甘梯圖（GANTT CHART）。 7
表 B：預期進度查核點（CHECK POINT）。 8
表 C：期末交付之各項工作項目。 9
表 1.1：全程計畫預期進度甘梯圖 16
表 2-1.1：中部地區活動斷層之幾何設定、參考剖面及權重分配。 23
表 2-4.1：斷層之地質滑移速率約束值(SHYU ET AL., 2016)及平均滑移速率估算值。 37
表 2-4.2：三組模型之斷層滑移速率平均值(MM/YR)。 40
表 3-1.1：大甲-彰化斷層長期滑移速率相關文獻。 42
表 3-1.2：大甲-彰化斷層長期滑移速率計算。 43
表 3-1.3：大甲-彰化斷層系統之中值各破裂事件規模及權重。 43
表 3-3.1：大甲—彰化斷層系統發生機率評估。 49
表 4-1.1：車籠埔斷層長期滑移速率彙整。 51
表 4-1.2：車籠埔斷層長期滑移速率計算。 52
表 4-1.3：車籠埔斷層各破裂事件規模及權重。 53
表 4-3.1：車籠埔斷層發生機率評估。 59
表 5-1.1：大茅埔-雙冬斷層各破裂事件規模及權重。 61
表 5-3.1：大茅埔-雙冬斷層發生機率評估 63
表 6-1.1：九芎坑斷層長期滑移速率彙整。 64
表 6-1.2：九芎坑斷層各破裂事件規模及權重。 65
表 6-3.1：九芎坑斷層發生機率評估。 67
表 7-1.1：梅山斷層各破裂事件規模及權重。 69
表 7-3.1：梅山斷層發生機率評估。 72
表 8-1.1：觸口斷層各破裂事件規模及權重。 74
表 8-3.1：觸口斷層發生機率評估。 77
表 9-1.1：苗栗變形前緣參數表 84
表 9-2.1：苗栗變形前緣之中值各破裂事件規模及權重。 87
表 10-1.1：嘉義變形前緣幾何面參數彙整 94
表 10-1.2：嘉義斷層參數表 97
表 10-1.3：嘉義前緣構造參數表(SHYU ET AL., 2016) 99
表 10-2.1：嘉義(盲)斷層之中值各破裂事件規模及權重 100
表 11-3.1：照片欄位規劃 106

圖目錄

圖 1.1：106-109 年度各年度評估地區與斷層分布 15
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 16
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 17
圖 1.4：加州地區孕震構造之三維幾何形貌 18
圖 1.5：加州地區地震潛勢評估之專家討論成果邏輯樹 18
圖 1.6：加州地區未來 30 年發生地震規模 5、6.7、7.7 以上之機率分布圖 18
圖 1.7：日本主要孕震構造未來 30 年之活動潛勢評估成果 19
圖 2-1.1：中部地區活動斷層分布 26
圖 2-1.2：本計畫大甲-彰化斷層、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層三種幾何關係示意圖 26
圖 2-1.3：中部地區九芎坑斷層及大尖山斷層分布 27
圖 2-1.4：本計畫九芎坑斷層、大尖山斷層幾何關係示意圖 27
圖 2-1.5：中部地區觸口斷層分布 28
圖 2-1.6：本計畫觸口斷層三種幾何關係示意圖 28
圖 2-1.7：中部地區梅山斷層分布 29
圖 2-1.8：本計畫梅山斷層幾何關係示意圖 29
圖 2-2.1：中部地區 D10 孕震深度分布圖 31
圖 2-2.2：中部地區 D90 孕震深度分布圖 32
圖 2-3.1：HAYWARD FAULT 滑移速率與深度之關係 33
圖 2-3.2：UCERF 3 的潛移模型 33
圖 2-4.1：(A) 「斷層模型反演計畫」所使用的臺灣中部三維塊體模型及活動斷層分布。 (B) GPS 速度場分布 35
圖 2-4.2：（A）推求的斷層長期滑移速率。(B)各斷層面的鎖定係數(COUPLING COEFFICIENT)分布。（C）各斷層面的滑移虧損率。（D）由（A）圖減去（C）圖，得到斷層面上的間震期滑移速率 36
圖 2-4.3：中部地區 GPS 連續站、移動站水平速度場 38
圖 2-4.4：觀測速率減掉受應變率及旋轉率所影響之速率計算值，得到斷層僅受到滑移虧損率對地表影響之速率 38
圖 2-4.5：模型一之基線模型反演成果 39
圖 2-4.6：模型二之基線模型反演成果 39
圖 2-4.7：模型三之基線模型反演成果 40
圖 3-1.1：大甲-彰化斷層系統前階段之破裂模式及權重分配。 42
圖 3-1.2：大甲-彰化斷層系統更新邏輯樹 44
圖 3-2.1：A 事件特徵地震模式。 45
圖 3-2.2：B 事件特徵地震模式。 45
圖 3-2.3：C 事件特徵地震模式。 45
圖 3-2.4：D 事件特徵地震模式。 45
圖 3-2.5：E 事件特徵地震模式。 45
圖 3-2.6：F 事件特徵地震模式。 45
圖 3-2.7：G 事件特徵地震模式。 46
圖 3-2.8：大甲—彰化斷層系統 7 種破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖 47
圖 3-2.9：大甲—彰化斷層系統 7 種破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖 48
圖 3-2.10：（A）大甲-彰化斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）大甲-彰化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 49
圖 4-1.1：車籠埔斷層前階段 8 種破裂模式 51
圖 4-1.2：車籠埔斷層更新邏輯樹 53
圖 4-2.1：A 事件特徵地震模式。 54
圖 4-2.2：B 事件特徵地震模式。 54
圖 4-2.3：C 事件特徵地震模式。 55
圖 4-2.4：D 事件特徵地震模式。 55
圖 4-2.5：E 事件特徵地震模式。 55
圖 4-2.6：F 事件特徵地震模式。 55
圖 4-2.7：G 事件特徵地震模式。 56
圖 4-2.8：H 事件特徵地震模式。 56

圖 4-2.9：車籠埔斷層 8 種破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖 57
圖 4-2.10：車籠埔斷層 8 種破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖 58
圖 4-2.11：(A) 車籠埔斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 車籠埔斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 59
圖 5-1.1：本計畫大茅埔-雙冬斷層兩種可能破裂長度之模式與權重 60
圖 5-1.2：大茅埔-雙冬斷層更新邏輯樹 61
圖 5-2.1：A 事件特徵地震模式。 62
圖 5-2.2：B 事件特徵地震模式。 62
圖 5-2.3：大茅埔-雙冬斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖 62
圖 5-2.4：大茅埔-雙冬斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 62
圖 5-2.5：(A) 大茅埔-雙冬斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 大茅埔-雙冬斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 63
圖 6-1.1：桐樹湖斷層和九芎坑斷層之分布關係 64
圖 6-1.2：九芎坑斷層更新邏輯樹 65
圖 6-2.1：A 事件特徵地震模式。 66
圖 6-2.2：B 事件特徵地震模式。 66
圖 6-2.3：九芎坑斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖 66
圖 6-2.4：九芎坑斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 66
圖 6-2.5：(A) 九芎坑斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 九芎坑斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 67
圖 7-1.1：梅山斷層四種可能破裂長度之模式。 68
圖 7-1.2：梅山斷層更新邏輯樹 69
圖 7-2.1：A 事件特徵地震模式。 70
圖 7-2.2：B 事件特徵地震模式。 70
圖 7-2.3：C 事件特徵地震模式。 70
圖 7-2.4：D 事件特徵地震模式。 70
圖 7-2.5：梅山斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖 71
圖 7-2.6：梅山斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 71
圖 7-2.7：(A) 梅山斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 梅山斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 71
圖 8-1.1：觸口斷層各分段之分布關係及四種可能破裂之模式 73
圖 8-1.2：觸口斷層更新邏輯樹 74
圖 8-2.1：A 事件特徵地震模式。 75
圖 8-2.2：B 事件特徵地震模式。 75
圖 8-2.3：C 事件特徵地震模式。 75
圖 8-2.4：D 事件特徵地震模式。 75
圖 8-2.5：觸口斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖 76
圖 8-2.6：觸口斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 76
圖 8-2.7：(A) 觸口斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 觸口斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 77
圖 9-1.1：(A)1935 年地震系列主要地震分布及構造線地圖，(B)AA'剖面之構造模型示意圖 78
圖 9-1.2：苗栗盲斷層(14BT)分布圖 79
圖 9-1.3：苗栗地區活動構造分布圖 79
圖 9-1.4：苗栗前緣構造分布圖 79
圖 9-1.5：苗栗地區地質剖面分布圖 80
圖 9-1.6：地質構造剖面 2-2' 80
圖 9-1.7：地質構造剖面 3-3' 81
圖 9-1.8：桃竹苗地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GPS 水平方向速度場。 81
圖 9-1.9：苗栗前緣構造沿線構造線形平面位置及野外調查點位分布 82
圖 9-1.10：苗栗前緣構造沿線構造線形平面位置及野外調查點位分布 83
圖 9-2.1：苗栗變形前緣之破裂模式及權重分配。 86
圖 9-2.2：苗栗變形前緣邏輯樹 87
圖 10-1.1：鄭錦桐(2002)發表之嘉義盲斷層分布圖 88
圖 10-1.2：嘉南地區活動構造分布圖 89
圖 10-1.3：嘉南地區之區域地質圖及構造剖面圖 89
圖 10-1.4：西部麓山帶地質圖及構造剖面圖 90

圖 10-1.5：嘉義地區活動構造分布圖 90
圖 10-1.6：嘉義地區孕震構造分布圖 91
圖 10-1.7：嘉義地區各版本孕震構造比較 91
圖 10-1.8：嘉義地區震測線分布及上部上新世地層等深線 92
圖 10-1.9：嘉義地區地質地物探勘測線剖面 A 92
圖 10-1.10：嘉義地區地質地物探勘測線剖面 B 92
圖 10-1.11：嘉義地區地質圖 93
圖 10-1.12：P-P'地質構造剖面 93
圖 10-1.13：穿過小梅背斜之 S2 震測剖面 93
圖 10-1.14：嘉義地區地下構造平衡剖面 94
圖 10-1.15：嘉南地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GPS 水平方向速度場。 95
圖 10-1.16：金湖至瑞峰測線水準高程變化圖。 95
圖 10-1.17：（A）嘉義前緣構造（紅色實線）上盤河道剖面（紅色方框）位置；（B）華興橋 DEM 牛稠溪河道地形剖面圖，剖面線位於（A）中之紅色方框處（TEM, 2014）。 96
圖 10-2.1：嘉義(盲)斷層邏輯樹。 100
圖 11-2.1：前期計畫活動斷層分布及未來 30 年地震發生機率 102
圖 11-2.2：前期計畫活動斷層分布及未來 50 年地震發生機率。 103
圖 11-2.3：前期計畫活動斷層分布及未來 100 年地震發生機率。 104
圖 11-3.1：車籠埔斷層在中部各地區的斷層特徵照片彙整範例 108
圖 11-3.2：中央地質調查所既有活動斷層查詢系統 108
圖 11-3.3：網站功能架構圖 109
圖 11-3.4：活動斷層查詢網站示意圖 109
圖 11-3.5：活動斷層查詢網頁新增斷層參數表連結 110
圖 11-3.6：活動斷層查詢網頁斷層參數表 110
圖 11-3.7：活動斷層查詢網頁照片拍攝位置呈現 111
圖 11-3.8：活動斷層查詢網頁照片及相關資訊表格呈現 111
圖 12.1：美國 USGS 之活動斷層潛勢圖公布網頁。 113
圖 12.2：美國南加州地震中心之活動斷層潛勢圖公布網頁。 115
圖 12.3：歐洲活動斷層資料庫之活動斷層潛勢圖公布網頁。 116
圖 12.4：日本地震災害資訊站之活動斷層潛勢圖公布網頁 118
圖 12.5：活動斷層潛勢圖公布相關問題研析之執行流程 120

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(1/4)														
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		■											
建立大茅埔-雙冬斷層之活動斷層參數說明書		■	■										
建立大甲斷層、彰化斷層、鐵砧山斷層之活動斷層參數說明書				■	■	■							
召開第 1 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議						■							
建立車籠埔斷層、大尖山斷層、觸口斷層之活動斷層參數說明書							■	■	■				
建立梅山斷層、九芎坑斷層之活動斷層參說明書										■	■		
召開第 2 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議											■		
建立苗栗盲斷層、嘉義盲斷層孕震構造之震源參數設定						■	■		■	■			
建立中部地區 9 條活動斷層視覺化三維斷層模型			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
蒐集推估中部地區 9 條活動斷層之孕震深度分布圖			■	■	■	■	■	■	■	■	■		
產製中部地區 9 條活動斷層潛勢圖									■	■	■		
匯整斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果至活動斷層查詢平台			■	■	■	■	■	■	■	■			
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 20 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 30 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	建置活動斷層查詢平台	9 月 30 日	匯整斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果至活動斷層查詢平台
5	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
6	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
7	驗收	12 月 31 日	1. 提送成果報告書 30 份及斷層活動潛勢圖暨說明書 500 份 2. 尾款請款

表 C：期末交付之各項工作項目。

	工作項目	章節
中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，重新劃設中部地區 9 條活動斷層(07 大甲斷層、08 鐵砧山斷層、10 彰化斷層、11 車籠埔斷層、12 大茅埔-雙冬斷層、13 九芎坑斷層、14 梅山斷層、15 大尖山斷層、18 觸口斷層)邏輯樹。	2-1 3-1 4-1 5-1 6-1 7-1 8-1
	2. 建立中部地區 9 條活動斷層視覺化三維斷層模型。	詳附件光碟
	3. 精進孕震深度評估方法：蒐集推估中部地區 9 條活動斷層之孕震深度分布圖。	2-2
	4. 考慮活動斷層潛移之震矩折減方式。	2-3
	5. 產製中部地區 9 條活動斷層潛勢圖。	3-2~3-3 4-2~4-3 5-2~5-3 6-2~6-3 7-2~7-3 8-2~8-3
建立苗栗變形前緣孕震構造之震源參數設定	1. 評估其震源參數，如幾何形貌、斷層面孕震深度、滑移速率等。	9-1
	2. 劃設苗栗變形前緣邏輯樹。	9-2
建立嘉義變形前緣孕震構造之震源參數設定	1. 評估其震源參數，如幾何形貌、斷層面孕震深度、滑移速率等。	10-1
	2. 劃設嘉義變形前緣邏輯樹。	10-2
制定各活動斷層參數說明書。	1. 撰寫臺灣中部活動斷層參數說明書。	詳附件光碟
	2. 匯整前階段評估成果，繪製並出版臺灣活動斷層潛勢圖第一版。	附錄 1
	3. 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匯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。	11-3
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。	第十二章
	2. 辦理相關專家座談會。	附錄 3

摘要

本計畫針對中部地區活動斷層進行前階段計畫參數之檢討並更新邏輯樹，除了在幾何面上進行修正之外，在長期滑移速率上加入滑移角計算，並計算新的滑移速率上下限值及中值作為邏輯樹之參數。以機率法評估活動斷層未來 30、50、100 年最大可能地震規模之發生機率。更新後中部地區各斷層發生機率詳如下表所示：

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
大甲—彰化斷層系統	西元 1848 年	BPT	36.1%	49.0%	65.5%
車籠埔斷層	西元 1999 年	BPT	5.9%	11.5%	26.3%
梅山斷層	西元 1906 年	BPT	9.2%	14.1%	23.0%
大茅埔-雙冬斷層	未知	Poisson	6.9%	11.2%	20.7%
九芎坑斷層	未知	Poisson	1.9%	3.2%	6.3%
觸口斷層	未知	Poisson	15.0%	23.4%	40.1%

另外，本計畫蒐集了 Wu et al. (2017)之 D10 及 D90 孕震深度空間分布資料，針對中部地區活動斷層進行孕震深度分析，結果顯示大甲-彰化斷層、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層 D90 之孕震深度大多位於 20 公里深，與地質和地溫梯度推估之斷層破裂深度有落差；九芎坑斷層及大尖山斷層上盤D90之孕震深度約在13-15公里，比本計畫蒐集之地質平衡剖面深；觸口斷層上盤 D90 之孕震深度約在 14-17 公里，也比本計畫蒐集之平衡剖面深。需與專家討論意見及其他輔助資訊綜合判斷，才能提出活動斷層最合理之孕震深度。梅山斷層 D90 之孕震深度約在 13-15 公里，則與本計畫推估之孕震深度相符。

本計畫已建立苗栗變形前緣之參數表及邏輯樹節點之劃設，在評估苗栗變形前緣之破裂，可分為 2 種破裂事件來探討，A 為 20.8 公里，B 為 37 公里，權重為 A（0.6）、B（0.4）。苗栗變形前緣之傾角，根據所蒐集到之鑽井與地質剖面，傾角範圍約在 30~40 度，本計畫權重設定為 30 度（0.2）、35 度（0.6）、40 度（0.2）。苗栗變形前緣之破裂深度設定為 8 公里（0.2）、10 公里（0.6）、12 公里（0.2）。苗栗變形前緣之滑移速率，根據野外階地年代判斷及階崖高差量測，滑移速率約為 1.05 ~ 5.23 mm/yr，權重分配為 1.05 mm/yr（0.3），3.14 mm/yr（0.4），5.23 mm/yr（0.3）。

針對嘉義地區之活動構造，本計畫認為 Shyu et al. (2016)之嘉義前緣構造，與其他三個版本(鄭錦桐，2002；陳文山等，2006；Yang, 2007)為不同之構造，應分別討論其參數。目前三個版本對於嘉義(盲)斷層之位置仍有分歧，本計畫在邏輯樹中考慮三種破裂事件。嘉義(盲)斷層之傾角，根據所蒐集到之震測與地質剖面，傾角範圍約在 25~35 度，本計畫權重設定為 25 度（0.2）、30 度（0.6）、35 度（0.2）。嘉義(盲)斷層之破裂深度，根據蒐集之震測剖面、地質平衡剖面及地震深度分布資料，本計畫破裂深度權重設定為10公里（0.2）、12公里（0.6）、14 公里（0.2）。嘉義斷層之滑移速率，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 3.31 ~11.05 mm/yr，平均值為(3.31+11.05)/2= 7.18 mm/yr。權重分配為 3.31（0.3），7.18（0.4），11.05（0.3）。

制定各活動斷層參數說明書方面，將前階段蒐集之活動斷層成果彙整為活動斷層參數說明書，並建立活動斷層照片資訊欄位，本計畫蒐集中部地區活動斷層照片及參數表，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，本計畫蒐集了美國及日本相關經驗及活動斷層潛勢圖公布相關網頁案例，先規劃活動斷層潛勢圖公布相關問題研析之執行流程，第一年計畫僅先針對專業學者及相關執業技師進行，目前已辦理一次斷層潛勢圖公布問題研析座談會及一次潛勢圖內容呈現專家會議，於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? 已請專家們提出合理可行的因應對策，以作為編撰「問題因應策略報告書」之參考。

關鍵詞：斷層潛勢分析、孕震深度分析、邏輯樹更新、苗栗變形前緣、嘉義變形前緣、活動斷層參數說明書、網頁查詢平臺

Abstract

In this project, we reviewed the parameters of the active faults in Central Taiwan, and the logic trees of these faults have also been renewed. For the fault geometry, the dip and depth of these faults were modified according to the subsurface relationship. For the long term slip rate, we considered adding the oblique slip (rake) to calculate the net slip rate on fault plane. The maximum and the minimum value of net slip rate are used as the upper bound and the lower bound, and the average value is used as the medium number in the logic tree branch.

The 30-, 50-, and 100-year conditional probability for M ≥ 6.5 earthquakes of each fault in Central Taiwan are shown in the following table:

Fault name	The latest event time	Probability model	Mw≧6.5 earthquake probability		
			30 years	50 years	100years
Tachia－Changhua fault system	1848 A.D.	BPT	36.1%	49.0%	65.5%
Chelungpu fault	1999 A.D.	BPT	5.9%	11.5%	26.3%
Meishan fault	1906 A.D.	BPT	9.2%	14.1%	23.0%
Damaopu-Shuangtung fault	Unknown	Poisson	6.9%	11.2%	20.7%
Chiuchiungkeng fault	Unknown	Poisson	1.9%	3.2%	6.3%
Chukou fault	Unknown	Poisson	15.0%	23.4%	40.1%

In addition, this project collected the spatial variation data of D10 and D90 seismogenic depths which published by Wu et al, (2017). We found that the seismogenic depths of D90 at the Tachia-Changhua fault system, the Chelungpu fault, and the Tamaopu-Shuangtung fault, are deeper than 20 km. These results are different from the rupture depths estimated by geological and geothermal gradient method. The seismogenic depth of D90 at the Chiuchiungkeng fault and Tachienshan fault is about 13~15 km, which is deeper than the geologic profiles. The seismogenic depth of D90 at the Chukou fault is about 14~17 km, which is also deeper than the geologic profiles. To identify the reasonable seismogenic depth of the active faults, experts' opinion and other auxiliary information are needed. The seismogenic depth of D90 at the Meishan fault is about 13~15 km, and this is coincident with our estimation.

In this project, we compiled the parameters of the Miaoli deformation front, and established the parameter table and the logic tree. For fault length and rupture cases, we considered two rupture cases of the Miaoli deformation front: case A (20.8 km) and case B (37 km), and the weghts are 0.6 for case A, 0.4 for case B. For the fault dip, according to the geological profiles and the boreholes, the logic tree branches and weights are 30E (0.2), 35E (0.6) and 40E (0.2). For rupture depth, the logic tree branches and weights are 8 km (0.2), 10 km (0.6) and 12 km (0.2). For the long term slip rate, according to the terrace ages and the scarp height in the field, the logic tree branches and weights of the Miaoli deformation front are 1.05 mm/yr (0.2), 3.14 mm/yr (0.6) and 5.23 mm/yr (0.2).

In this project, the Chiayi frontal structure (Shyu et al., 2016) is not considered as the same structure with the Chiayi (blind) fault in other three versions (Cheng, 2002, 2007; Chen et al., 2006; Yang, 2007), so the parameters of Chiayi frontal structure and Chiayi (blind) fault are discussed individually. We compiled the parameters of the Chiayi (blind) fault, and established the parameter table and the logic tree. For the fault length and the rupture cases, because the location of the Chiayi (blind) fault in the three versions are not the same, we considered three rupture cases: case A (44.3 km), case B (39 km) and case C (36 km), and the weghts are A (0.3), B (0.3) and C (0.4). For fault dip, according to the geological profiles and boreholes, the logic tree branches and weights are 25E (0.2), 30E

(0.6) and 35E (0.2). For rupture depth, the logic tree branches and weights are 10km (0.2), 12 km (0.6) and 14 km (0.2). For the long term slip rate, according to the age of the sedimentary strata in Chiayi plain and the downcutting height of river, the logic tree branches and weights of the Chiayi (blind) fault are 3.31 mm/yr (0.2), 7.18 mm/yr (0.6) and 11.05 mm/yr (0.2).

The parameter descriotion in this project include the fault geometry, active parameters, and outcrop pictures of each active fault in Taiwan. These information will be integrated in a web page platform.

For analyzing the future problems or questions, we have collected some experiences and webpages from Japan and the United States. Expert forums will be held in this project to gather their opinion in order to know the future problems or questions after publishing the earthquake probabilities map. The practicable strategies also could be proposed from the forums. We will refer to the records and conclusions of expert forums to propose a report for coping strategies.

KEYWORDS: Analyze in Potential Activity of Faults, Seismogenic depth, Miaoli blind fault, Active Fault Parameter Explanatory Text, Web Page Query Platform

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。三為推廣平台組，主要工作為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，辦理相關專家及使用者座談會。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匯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九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。

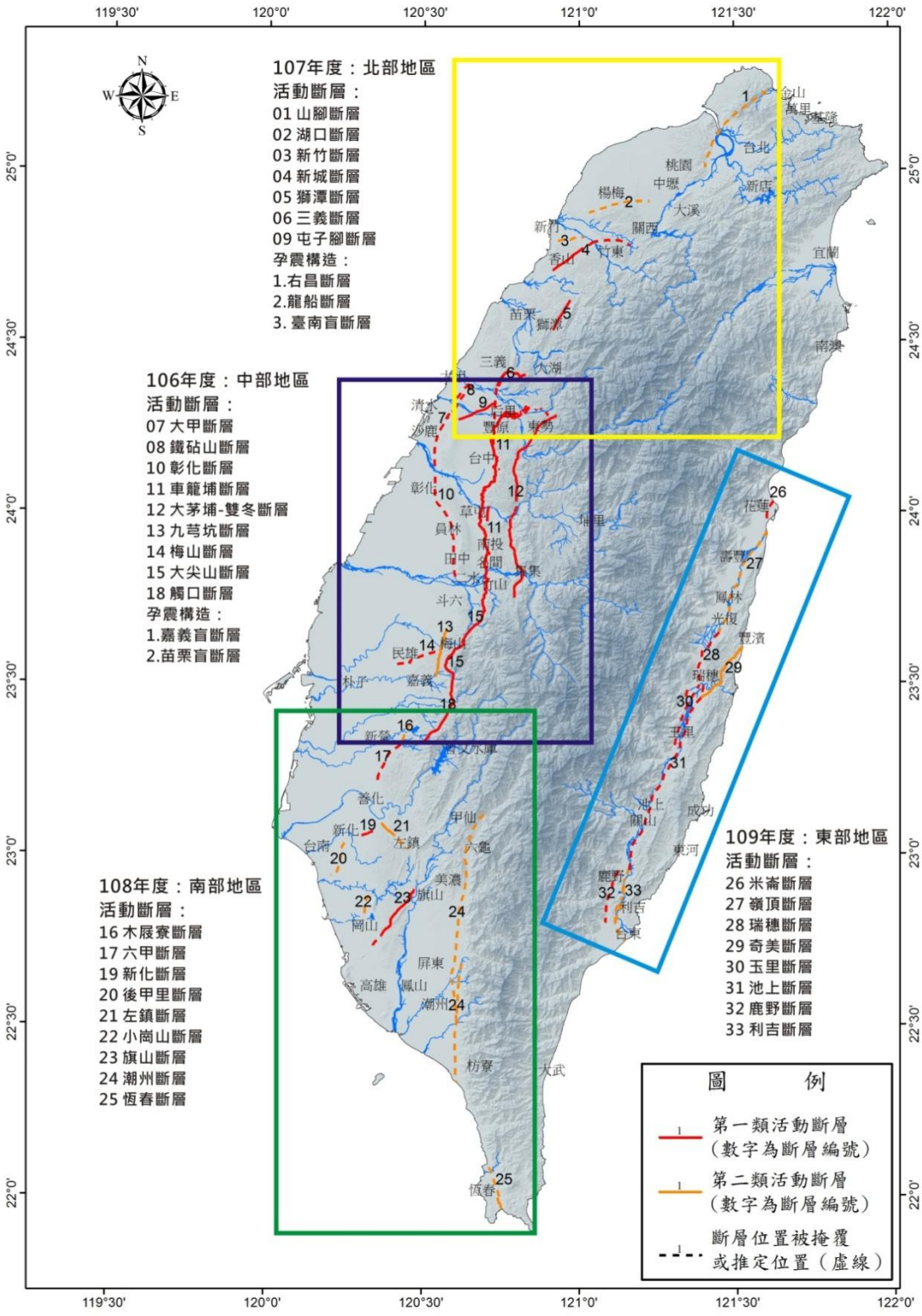


圖 1.1：106-109 年度各年度評估地區與斷層分布

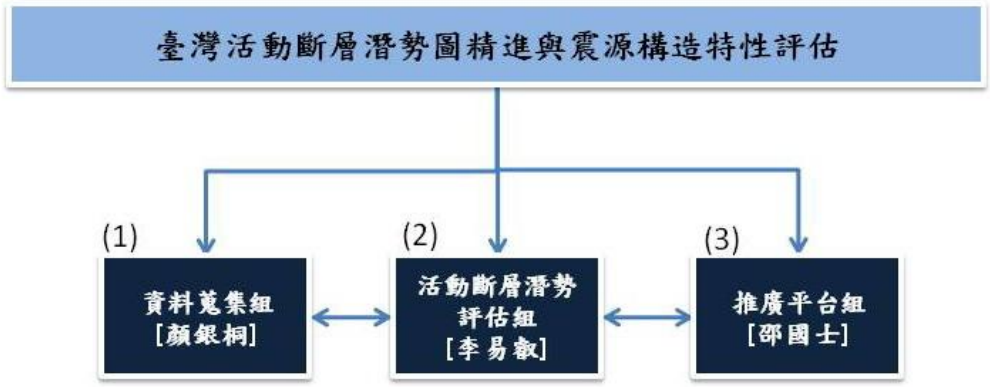


圖 1.2：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估之專業分工架構

表 1.1：全程計畫預期進度甘梯圖

計畫名稱：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估 (1/4)						
年 次 工 作 項 目			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，包含三維斷層模型、斷層特徵照片蒐集彙整 ● 建立活動斷層網頁查詢平台	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		■	■	■	■
	因應策略報告書		■	■	■	■
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)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。

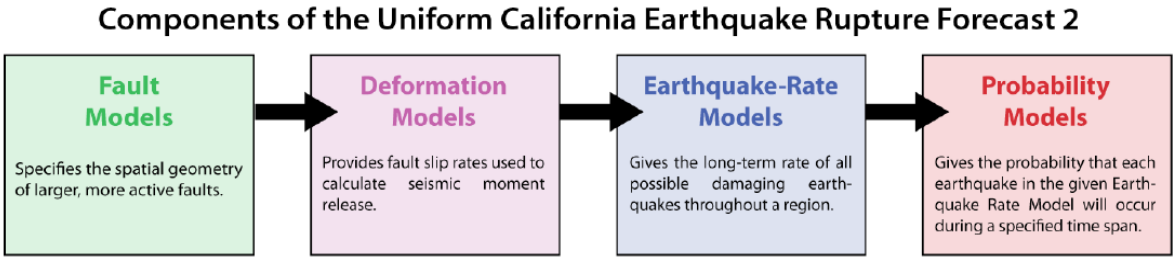
(2) 斷層變形模式：結合斷層滑移速率及 GPS 地殼變形測量以估算地震矩釋放，此滑移速率係指斷層之長期滑移速率。

(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。

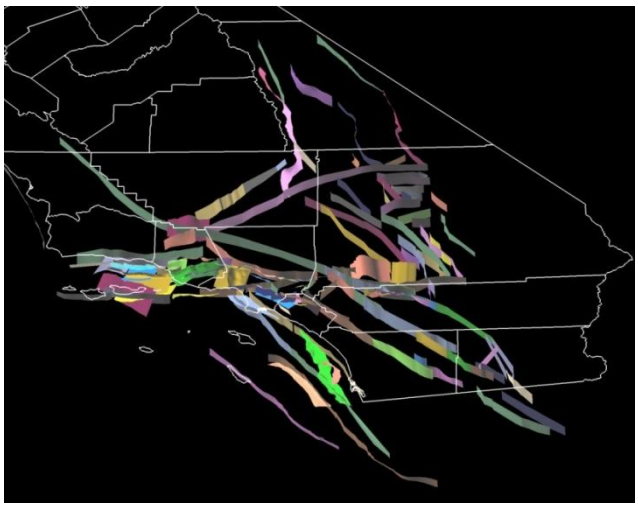
在進行活動斷層地震潛勢評估時，需考慮斷層資料的不確定性，包含資料本身的隨機性及離散性，以及目前科學知識尚未克服之問題。對於活動斷層資料之不確定性，可建構專家意見交換與討論機制，邀請各專家進行最新研究現況(state of the art)模式之討論，將各種斷層參數及專家模式給予合理的邏輯樹(logic tree)權重以進行評估。圖 1.5 為美國加州地區地震評估所採用之邏輯樹，可明確地將斷層幾何形貌、斷層變形模式、地震發生率模型及總體機率模型四大流程之不確定性予以合理地掌握。

參考美、日兩國活動斷層地震潛勢之展示方式，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，2014)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。



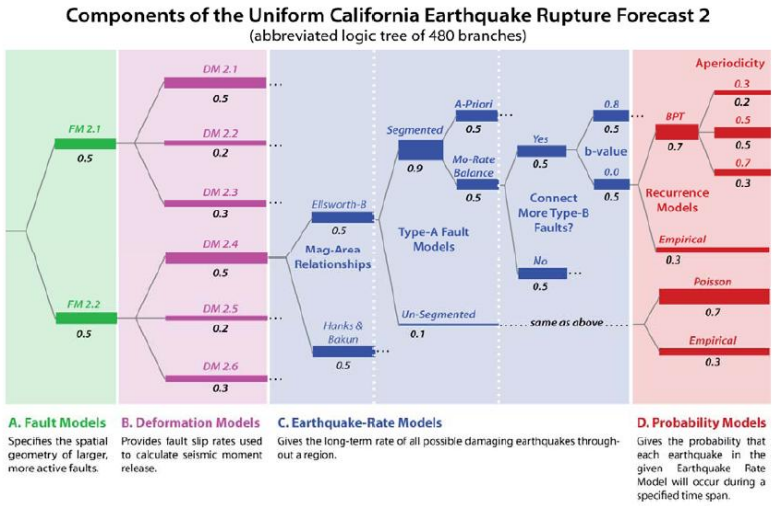
(摘錄自 WG07, 2008)

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



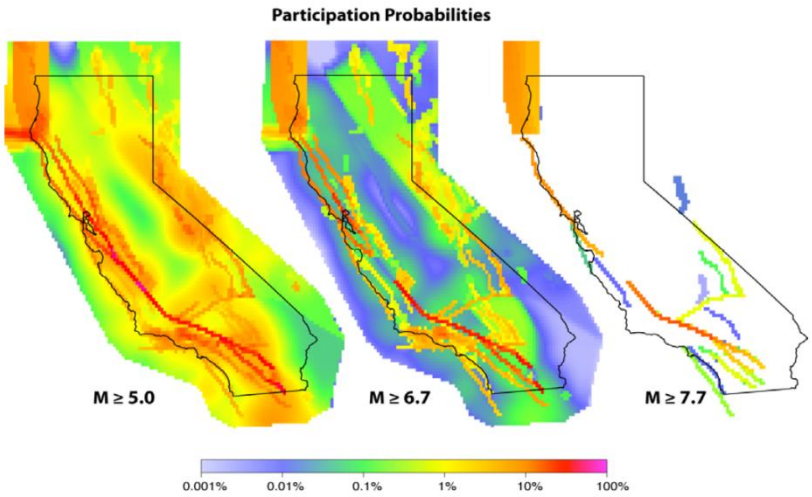
(WG07, 2008)

圖 1.4：加州地區孕震構造之三維幾何形貌



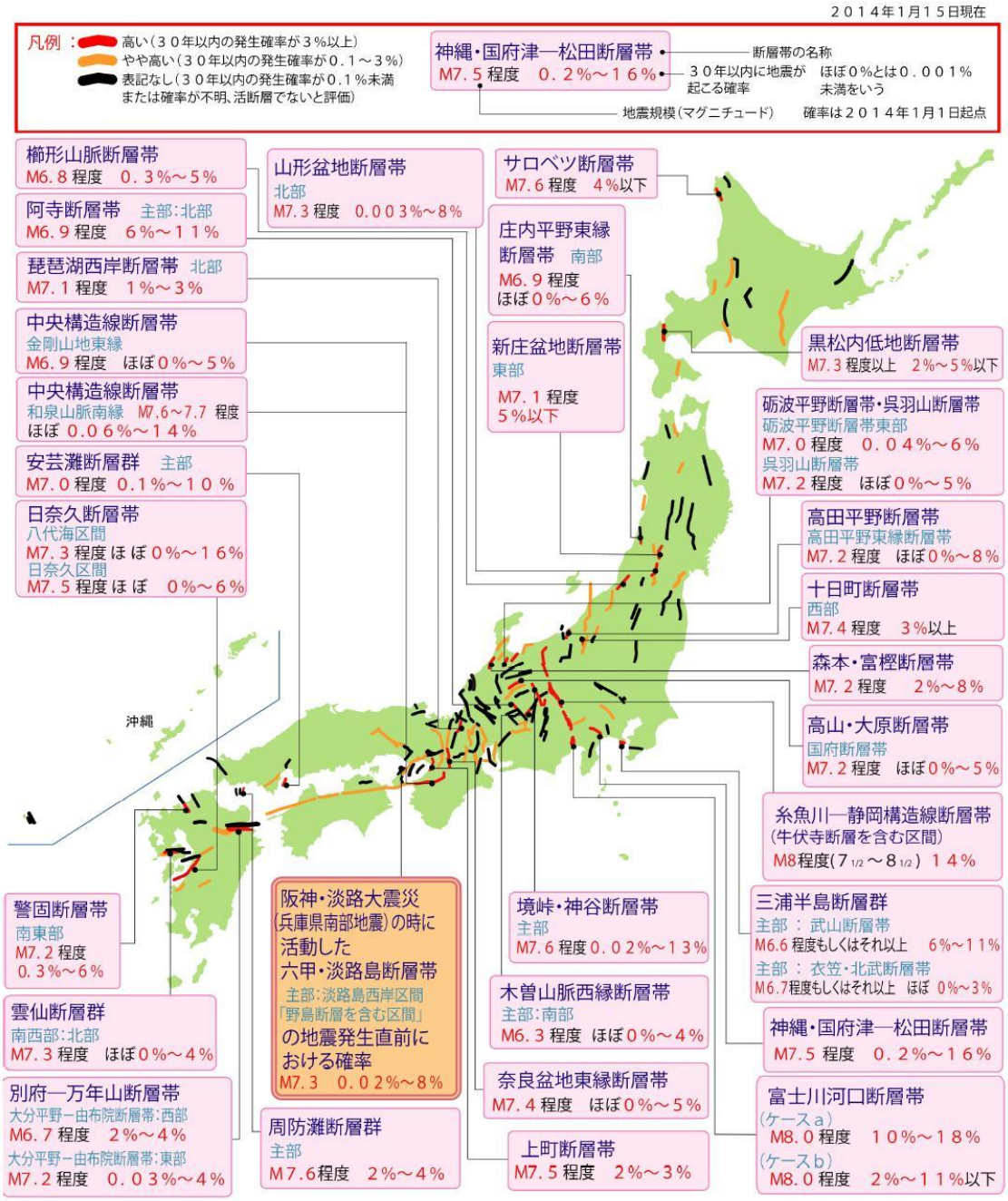
(摘錄自 WG07, 2008)

圖 1.5：加州地區地震潛勢評估之專家討論成果邏輯樹



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 1.6：加州地區未來 30 年發生地震規模 5、6.7、7.7 以上之機率分布圖



(日本全國地震動預測圖，2014)

圖 1.7：日本主要孕震構造未來 30 年之活動潛勢評估成果

1-3 本(106)年度工作內容概述

1-3-1 本年度工作項目

(1) 中部活動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，檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新劃設中部地區 9 條活動斷層(07 大甲斷層、08 鐵砧山斷層、10 彰化斷層、11 車籠埔斷層、12 大茅埔-雙冬斷層、13 九芎坑斷層、14 梅山斷層、15 大尖山斷層、18 觸口斷層)邏輯樹。

B. 建立中部地區 9 條活動斷層視覺化三維斷層模型。

C. 精進孕震深度評估方法：蒐集推估中部地區 9 條活動斷層之孕震深度分布圖。

D. 考慮活動斷層潛移之震矩折減方式。

E. 產製中部地區 9 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孕震構造(嘉義變形前緣、苗栗變形前緣)，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. 撰寫臺灣中部活動斷層參數說明書，包含斷層相關特徵照片蒐集彙整。

B. 匯整前階段評估成果，繪製並出版臺灣活動斷層潛勢圖第一版。

C. 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匯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. 建立中部地區 5 條活動斷層(07 大甲斷層、08 鐵砧山斷層、10 彰化斷層、11 車籠埔斷層、12 大茅埔-雙冬斷層)之活動斷層參數說明書。

B. 建立苗栗變形前緣孕震構造之震源參數設定。

C. 召開第 1 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。

D. 召開活動斷層潛勢圖公布專家座談會。

E. 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. 建立中部地區 4 條活動斷層(大尖山斷層、觸口斷層、梅山斷層、九芎坑斷層)之活動斷層參數說明書。

B. 建立嘉義變形前緣孕震構造之震源參數設定。

C. 召開第 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。

D. 建立中部地區 9 條活動斷層視覺化三維斷層模型。

E. 蒐集推估中部地區 9 條活動斷層之孕震深度分布圖。

F. 完成中部地區 9 條活動斷層(大甲斷層、彰化斷層、鐵砧山斷層、大茅埔-雙冬斷層、車籠埔斷層、大尖山斷層、觸口斷層、梅山斷層、九芎坑斷層)之錯動機率評估。其項目包括：(a)建立活動斷層之特徵地震模式、(b)評估活動斷層未來發生機率、(c)製作活動斷層發生機率潛勢圖。

G. 匯整斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果至活動斷層查詢平台。

H. 召開活動斷層潛勢圖公布專家座談會。

1-4 報告章節內容說明

本報告書第一章為緒論，第二章為中部地區活動斷層參數更新說明，包含斷層幾何之修改及「斷層模型反演計畫」推估之斷層滑移速率及滑移虧損率之成果，第三章到第八章為中部地區各活動斷層之邏輯樹及潛勢評估結果，第九章及第十章為苗栗及嘉義變形前緣相關構造參數之資料蒐集及邏輯樹劃分初步成果，第十一章為制定活動斷層參數說明書之說明，包括斷層照片及網頁查詢平台之建置說明，第十二章為活動斷層潛勢圖公布相關問題研析方法論，第十三章為本年度成果及後續工作。

第二章、活動斷層參數更新

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」，本計畫針對前階段計畫中部地區活動斷層邏輯樹更新，除了在幾何面上進行修正之外，在長期滑移速率上會加入滑移角計算，並計算新的滑移速率上下限值及中值作為邏輯樹之參數。

本章 2-1 節會針對中部地區活動斷層幾何更新之參數進行邏輯樹重新劃設，2-2 節則是目前孕震深度分析成果及後續工作說明，2-3 節則是提出潛移行為之活動斷層如何折減地震矩或是滑移速率之方法論以符合現今觀測之結果，2-4 節則是本年度模型之滑移虧損結果應用於斷層潛勢評估中。

2-1 斷層幾何(本計畫更新)

前階段計畫中部地區活動斷層幾何是分開討論，然而目前的研究顯示中部地區主要活動斷層為一系列西向的褶皺逆衝斷層所構成之上新－更新世變形構造，包括大甲-彰化斷層系統、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層，因此本計畫會考慮褶皺逆衝帶中此三條斷層空間之分布關係，進行幾何參數之調整。另外，九芎坑斷層、梅山斷層及觸口斷層也會根據蒐集之地質剖面等資料進行調整。前期計畫斷層面並未考慮深部傾角之變化，本計畫中會在斷層深部傾角進行調整，使斷層幾何面符合大地測量反演之模型以及地下地質調查之推論。

表 2-1.1 為本計畫中部地區斷層幾何參數設定及參考的剖面資料，其中大甲-彰化斷層系統、車籠埔斷層、九芎坑斷層及觸口斷層均加入了基底滑脫面，而大茅埔-雙冬斷層則配合車籠埔斷層之空間分布進行幾何面的調整，梅山斷層由於在幾何上並無新資料，僅調整傾角中間值，由 75 度變為 80 度。在權重分配上，優先考慮震測剖面搭配地震深度分布剖面之結果，其次則是平衡剖面，最後則是利用地溫或是速度構造剖面推估之幾何模型。

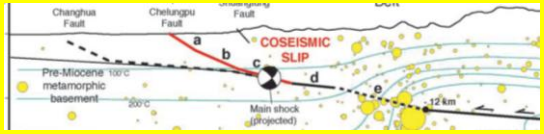
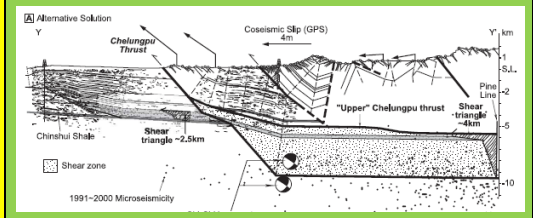
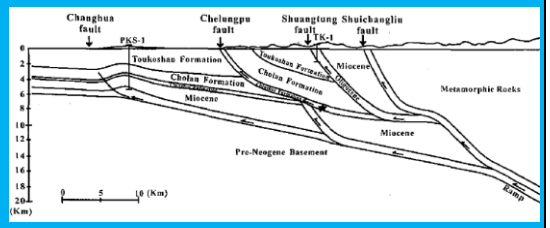
圖 2-1.1 所示為本計畫在地圖上描繪跨過大甲-彰化斷層系統、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層之 AA’及 BB’剖面，根據剖面可得知三條斷層於地表之距離。本計畫根據表 2-1.1 參考地質剖面及三條斷層於地表之相對距離，建立三種可能之斷層地下幾何形貌(圖 2-1.2)，由於車籠埔斷層與大甲-彰化斷層之距離在 AA’及 BB’剖面不一致，因此本計畫中以 BB’剖面為主調整大甲-彰化斷層之幾何參數，使符合三條斷層空間之分布關係。斷層幾何參數詳如表 2-1.1 所示。

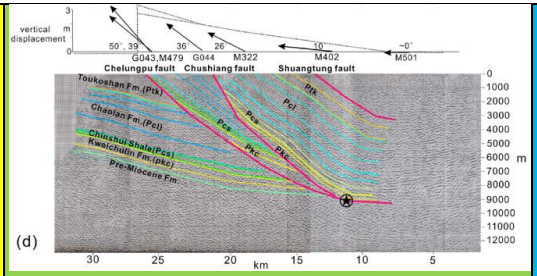
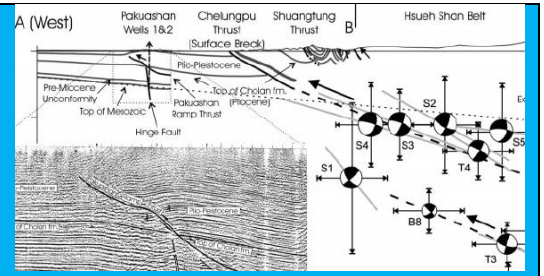
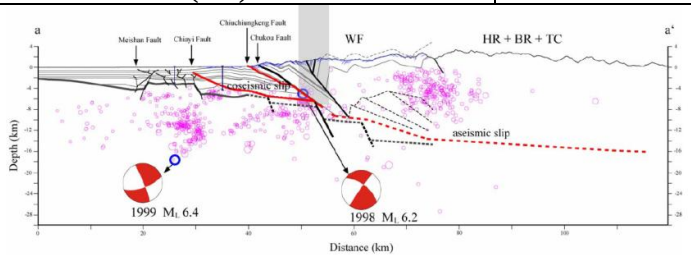
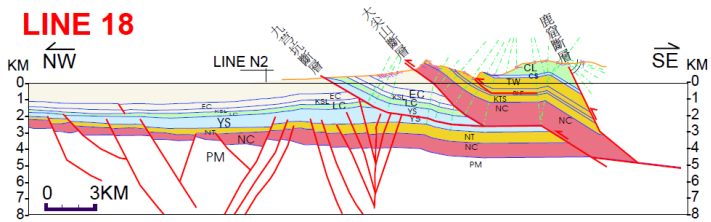
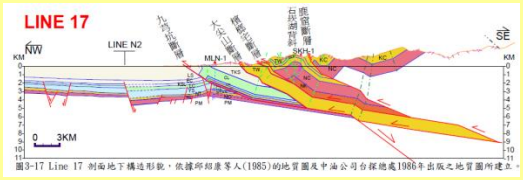
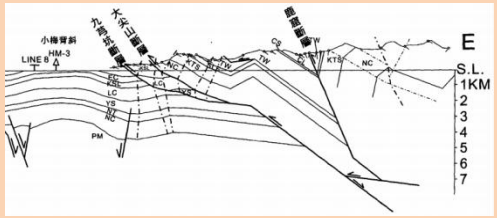
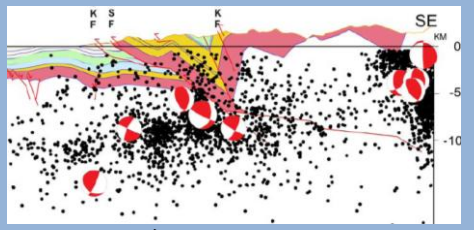
圖 2-1.3 所示為本計畫在地圖上描繪跨過九芎坑斷層及大尖山斷層之 CC’剖面。本計畫根據表 2-1.1 參考地質剖面及兩條斷層於地表之相對距離，建立三種可能之斷層地下幾何形貌(圖 2-1.4)。斷層幾何參數詳如表 2-1.1 所示。剖面中將大尖山斷層視為九芎坑斷層的分支斷層，以符合平衡剖面及地質剖面之結果。

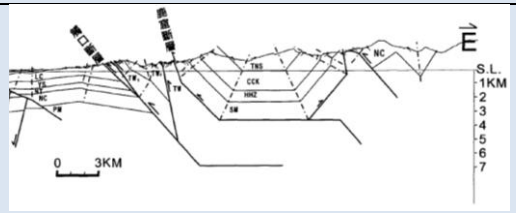
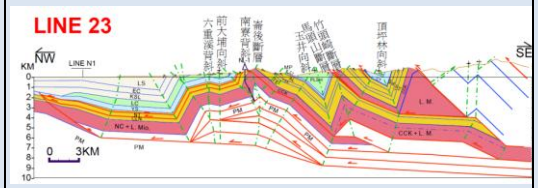
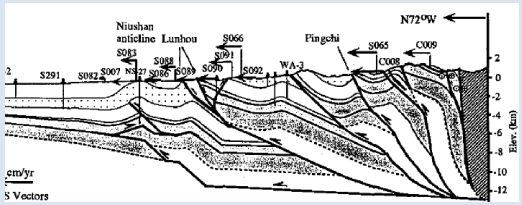
圖 2-1.5 所示為本計畫在地圖上描繪跨過觸口斷層之 DD’剖面。本計畫根據表 2-1.1 參考地質剖面及斷層於地表之相對距離，建立三種可能之斷層地下幾何形貌(圖 2-1.6) ，在剖面中，本計畫將觸口斷層加入了基底滑脫面。斷層幾何參數詳如表 2-1.1 所示。

圖 2-1.7 所示為本計畫在地圖上描繪跨過梅山斷層之 EE’剖面。本計畫根據表 2-1.1 參考地質剖面，建立三種可能之斷層地下幾何形貌(圖 2-1.8)，梅山斷層在剖面中為高角度開花狀構造，本計畫僅調整傾角中間值，由 75 度變為 80 度，斷層幾何參數詳如表 2-1.1 所示。

表 2-1.1：中部地區活動斷層之幾何設定、參考剖面及權重分配。

	斷層參數 / 斷層名稱	傾角（degree）	斷層深度（km）	傾角（degree）	斷層深度（km）	傾角（degree）	斷層深度（km）
1	大甲－彰化斷層	北段					
		22.5	0-5	25	0-6	35	2-6.5
		8	5-8.5	6.5	6-8	10	6.5-11
		地溫 Model(0.2)		震測及地質剖面(0.5)		地震深度及王乾盈 model(0.3)	
		南段					
		22.5	0-7	25	0-7.5	35	2-7
		8	7-8.5	6.5	7.5-8	10	7-11
		地溫 Model(0.2)		震測及地質剖面(0.5)		地震深度及王乾盈 model (0.3)	
2	車籠埔斷層	25	0-8.5	35	0-8	40	0-11
		8	8.5-12	6.5	8-10	10	11-15
		地溫 Model(0.2)		震測及地質剖面(0.5)		地震深度及王乾盈 model (0.3)	
3	大茅埔－雙冬斷層	45	0-5	50	0-5	40	0-9.5
		15	5-12	18	5-10	20	9.5-15
		地溫 Model(0.2)		震測及地質剖面(0.5)		地震深度及王乾盈 model (0.3)	
		 Dominguez et al., 2003		 Yue et al., 2005		 Wang et al., 2000	

<table>
<tr><td></td><td></td><td></td><td>
Lee and Shih, 2011</td><td>
Kao and Chen, 2000</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">梅山</td><td>85</td><td>0-10</td><td>80</td><td>0-12.5</td><td>75</td><td>0-15</td></tr>
<tr><td colspan="2">(0.3)</td><td colspan="2">(0.4)</td><td colspan="2">(0.3)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">
Yang, 2007</td><td colspan="3">
黃旭燦等，2004</td></tr>
<tr><td rowspan="3">5</td><td rowspan="3">九芎坑</td><td>27.5</td><td>0-4</td><td>25</td><td>0-7</td><td>30</td><td>0-8</td></tr>
<tr><td>8.5</td><td>4-6</td><td>6.5</td><td>7-8</td><td>8.5</td><td>8-10</td></tr>
<tr><td colspan="2">黃旭燦平衡剖面(0.2)</td><td colspan="2">楊耿明剖面(0.4)</td><td colspan="2">黃姝琳剖面+地震資料(0.4)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td rowspan="2">大尖山</td><td>30</td><td>0-5</td><td>32.5</td><td>0-6.5</td><td>35</td><td>0-8</td></tr>
<tr><td colspan="2">黃旭燦平衡剖面(0.2)</td><td colspan="2">楊耿明剖面(0.4)</td><td colspan="2">黃姝琳剖面+地震資料(0.4)</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">
黃旭燦等，2004</td><td colspan="2">
楊耿明等，2001</td><td>
黃姝琳，2009</td></tr>
</table>

7	觸口	45	0-7	40	0-9	35	0-11
		5	7-8	5	9-10	5	11-12
		楊耿明剖面(0.3)		黃旭燦平衡剖面(0.4)		洪日豪剖面(0.3)	
		 楊耿明等，2001		 黃旭燦等，2004		 Hung et al., 1999	

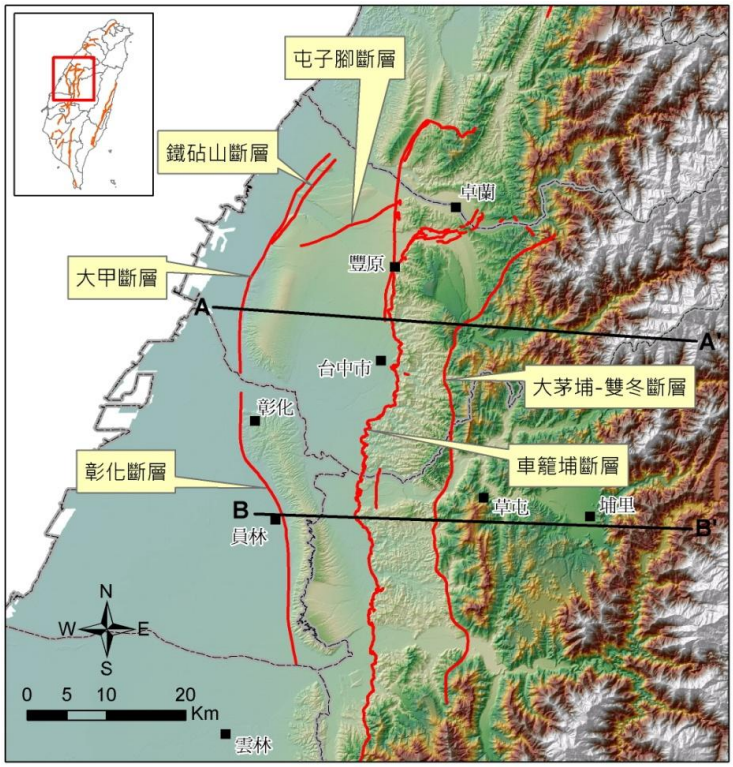
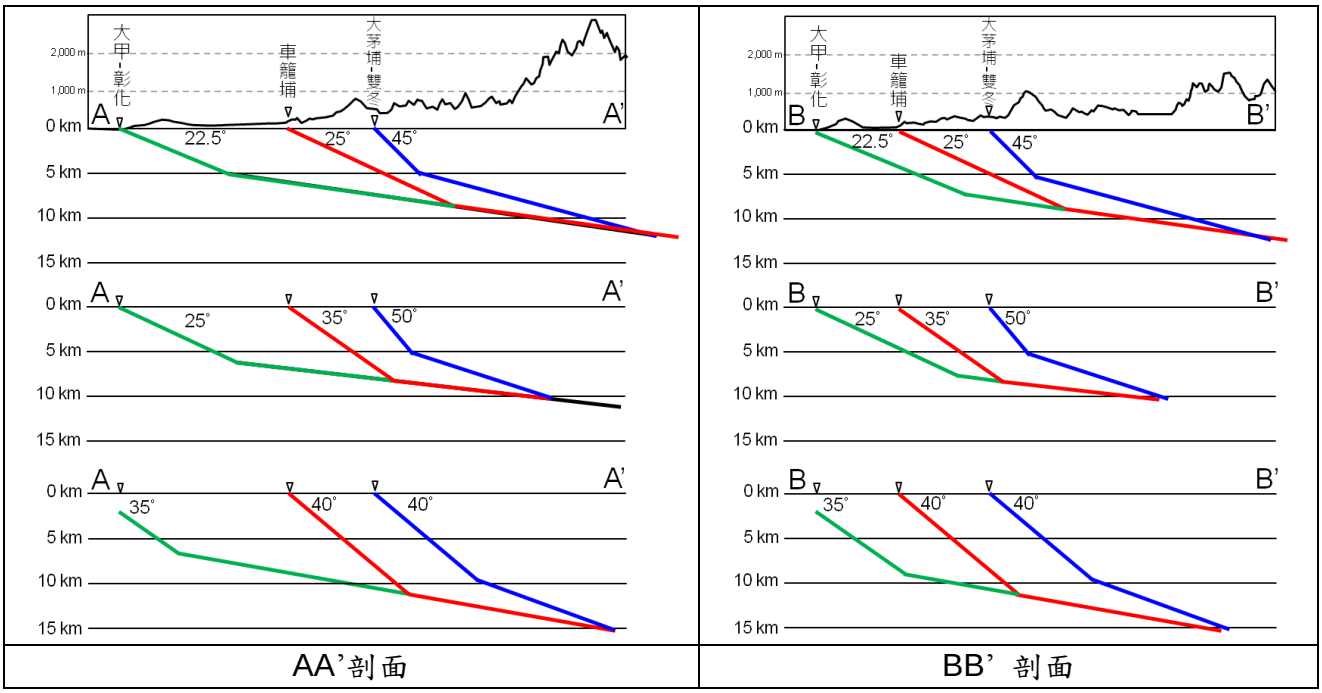


圖 2-1.1：中部地區活動斷層分布



AA'剖面　　BB'剖面

圖 2-1.2：本計畫大甲-彰化斷層、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層三種幾何關係示意圖

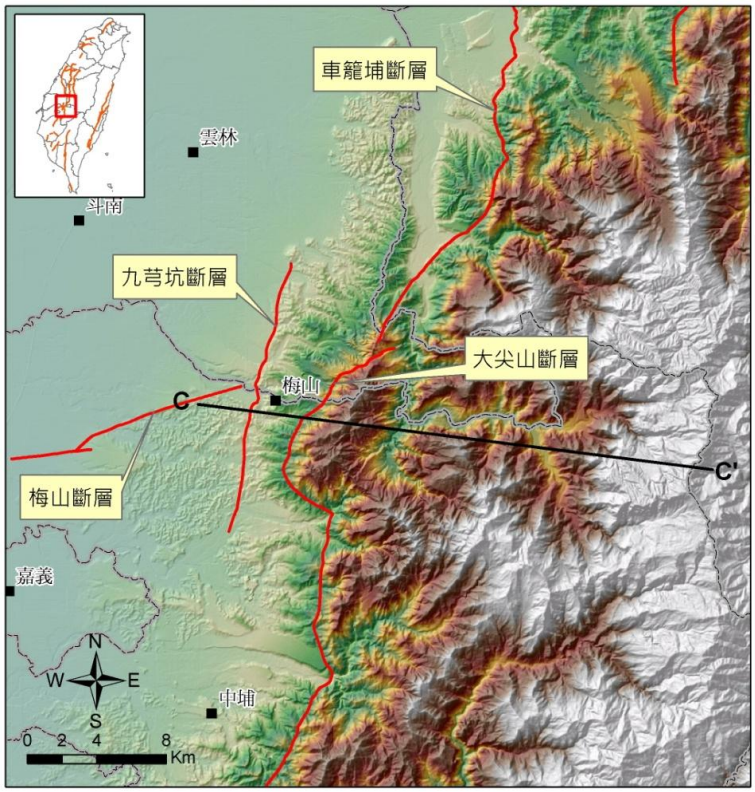


圖 2-1.3：中部地區九芎坑斷層及大尖山斷層分布

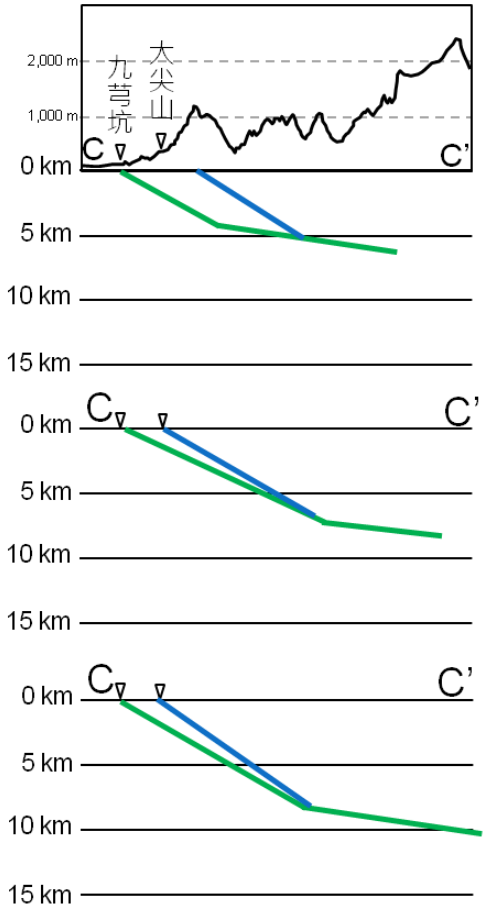


圖 2-1.4：本計畫九芎坑斷層、大尖山斷層幾何關係示意圖

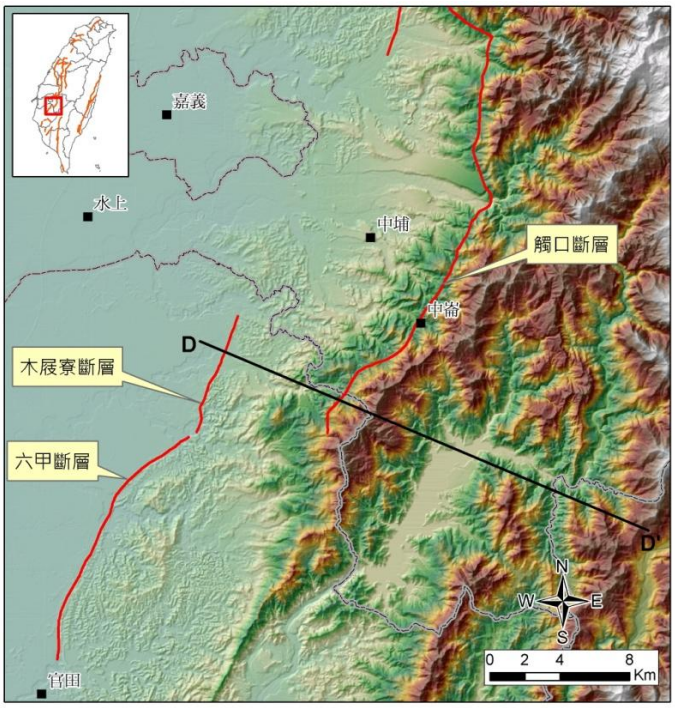


圖 2-1.5：中部地區觸口斷層分布

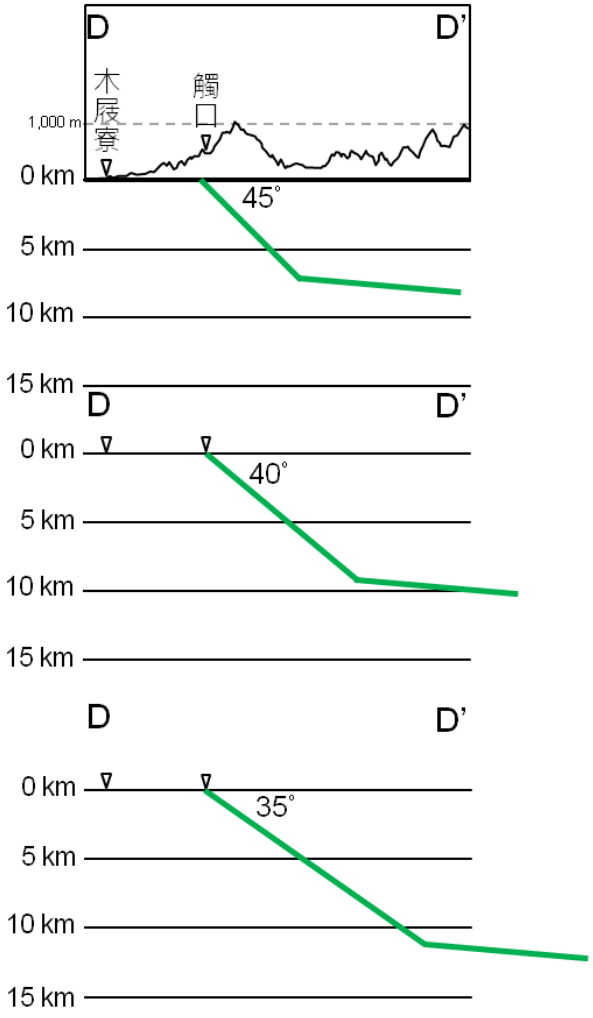


圖 2-1.6：本計畫觸口斷層三種幾何關係示意圖

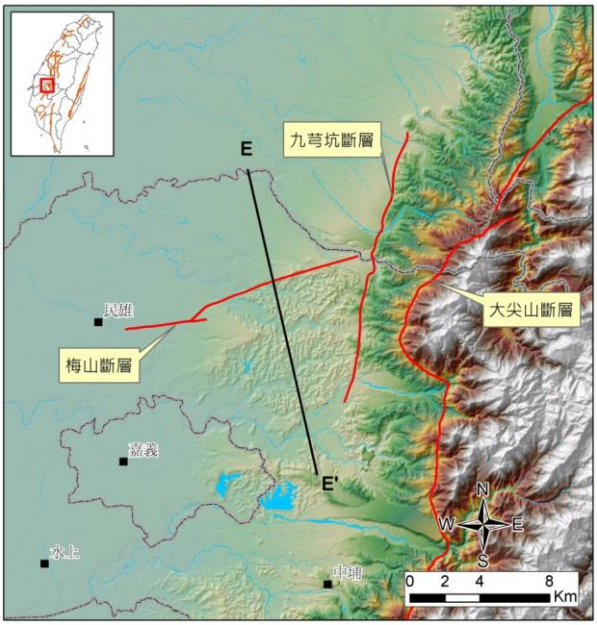


圖 2-1.7：中部地區梅山斷層分布

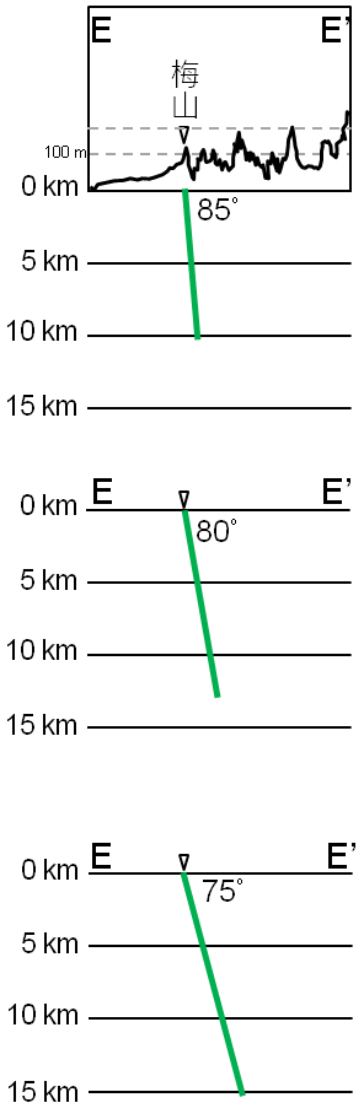


圖 2-1.8：本計畫梅山斷層幾何關係示意圖

2-2 新增孕震深度分析

孕震帶(seismogenic zone)一般常由地震分布的深度範圍作為界定參考，而孕震厚度(seismogenic thickness)則定義為孕震帶上下邊界之間的範圍(Chiarabba and Gori, 2016)。孕震帶決定之後，即可進一步決定斷層面幾何上下邊界。其中，孕震帶上邊界主要由地表淺部軟弱地層控制其限制深度(onset depth)，而下邊界一般可定義為脆性塑性轉換邊界(brittle-ductile transition)(Sibson, 1986)或為錯動轉換的穩定邊界(unstable-stable sliding transition)(Scholz, 1998)，此介面亦被稱為 cutoff depth (Sibson, 1982)，該深度往往受到溫度、孔隙流體壓力(pore fluid pressure)、應變速率及岩石組成影響。先前已經有許多在美國加州及日本研究，採用背景地震資料，估算地震活動深度(seismicity cutoff depth)，並且探討地表熱流(heat flow)或地下組成材料(composition)與地震活動深度的關係(e.g. Bonner et al., 2003; Sibson, 1982; Doser & Kanamori, 1986; Tanaka & Ishikawa, 2002; Magistrale, 2002; Ito, 1990; Omuralieva et al., 2012; Williams, 1996)。

活動構造區域之孕震帶淺部深度範圍可經由研究地震位置資訊、地震規模大小、地震能量累積計算及最終之孕震深度評估等研究要項個別循序完成。其中地震資料數量完整性與位置準確性，是為決定其可靠及合理的孕震帶範圍相當重要的基本環節。以往探討孕震帶深度，通常以地震活動頻率與深度的關係獲得。小地震的數量較多，可能主導孕震深度推估，然而，以累計之地震矩來看，則可能小於一個相對較大規模地震的地震矩大小，而造成孕震深度上的判斷誤差(Nazareth and Hauksson, 2004)。地震矩參數不僅物理定義清楚，而且直接與地震應變相關 (Chen and Molnar, 1977; Chen et al., 2012) ，作為決定孕震帶的判定因子較為適當。

美國 Working group on California Earthquake Probabilities (WGCEP)於孕震深度的擬定探討上，主要以 Nazareth and Hauksson(2004)所推估地震背景震矩累積能量之 99.9%之深度界面，作為孕震深度的定義標準。針對走向斷層，孕震深度，亦即代表脆性塑性(brittle-ductile)轉換帶的界面，對於斷層寬度的延伸深度有很好的對應，而對於逆衝與正斷層形式的活動斷層，則於斷層寬度的深度延伸上有很大的不確定性。而對於斷層附近背景地震稀少之案例，將存在孕震深度不確定性提高的狀況，而其建議使用深部鑽探資料作為深度的控制點。

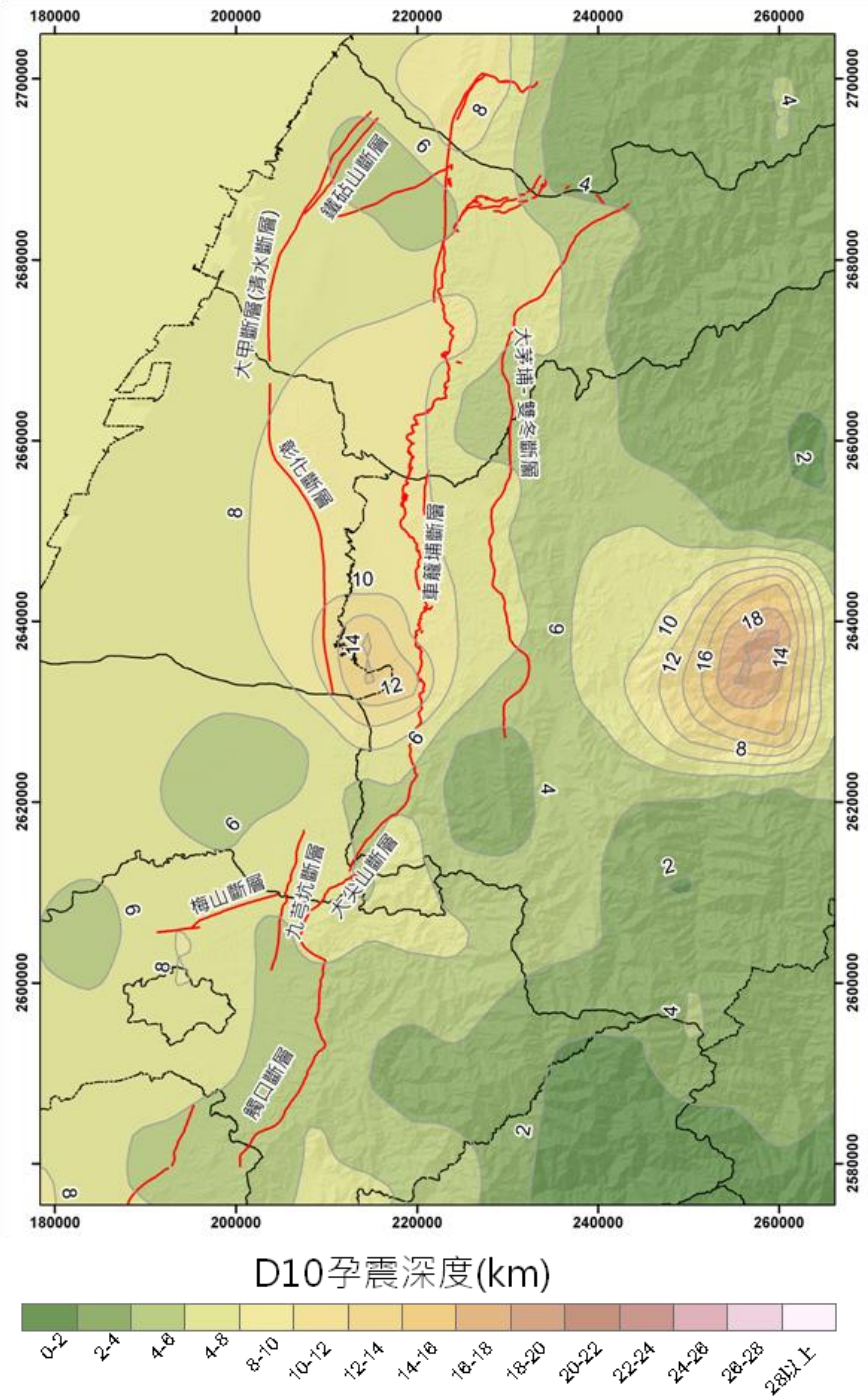
臺灣豐富的地震紀錄建構之臺灣地區孕震帶(sesimogenic zone)深度模型，可作為三維斷層模型底部延伸的控制參考依據。Wu et al. (2017)使用台灣區域 1990-2015 之地殼地震目錄呈現孕震帶之空間分布，以地震矩累計量來做為孕震深度判斷依據。

本計畫蒐集了 Wu et al. (2017)之 D10 及 D90 孕震深度空間分布資料，針對中部地區活動斷層進行孕震深度分析，圖 2-2.1 為中部地區 D10(10%震矩釋放深度)孕震深度分布圖，圖 2-2.2 則為中部地區 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度分布圖。

結果顯示大甲-彰化斷層、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層 D90 之孕震深度大多位於 20 公里深，與地質和地溫梯度推估之斷層破裂深度有落差，比對區域背景地震之實際分布狀態，推測係於斷層區域有深部的孕震構造存在而影響該區域孕震深度分析之結果有著較大的孕震深度，而實際上由淺部活動斷層引發之地震其累積能量並未達到區域之 90%。九芎坑斷層及大尖山斷層上盤 D90 之孕震深度約在 13-15 公里，比本計畫蒐集之地質平衡剖面深。梅山斷層 D90 之孕震深度約在 13-15 公里，則與本計畫推估之孕震深度相符。觸口斷層上盤 D90

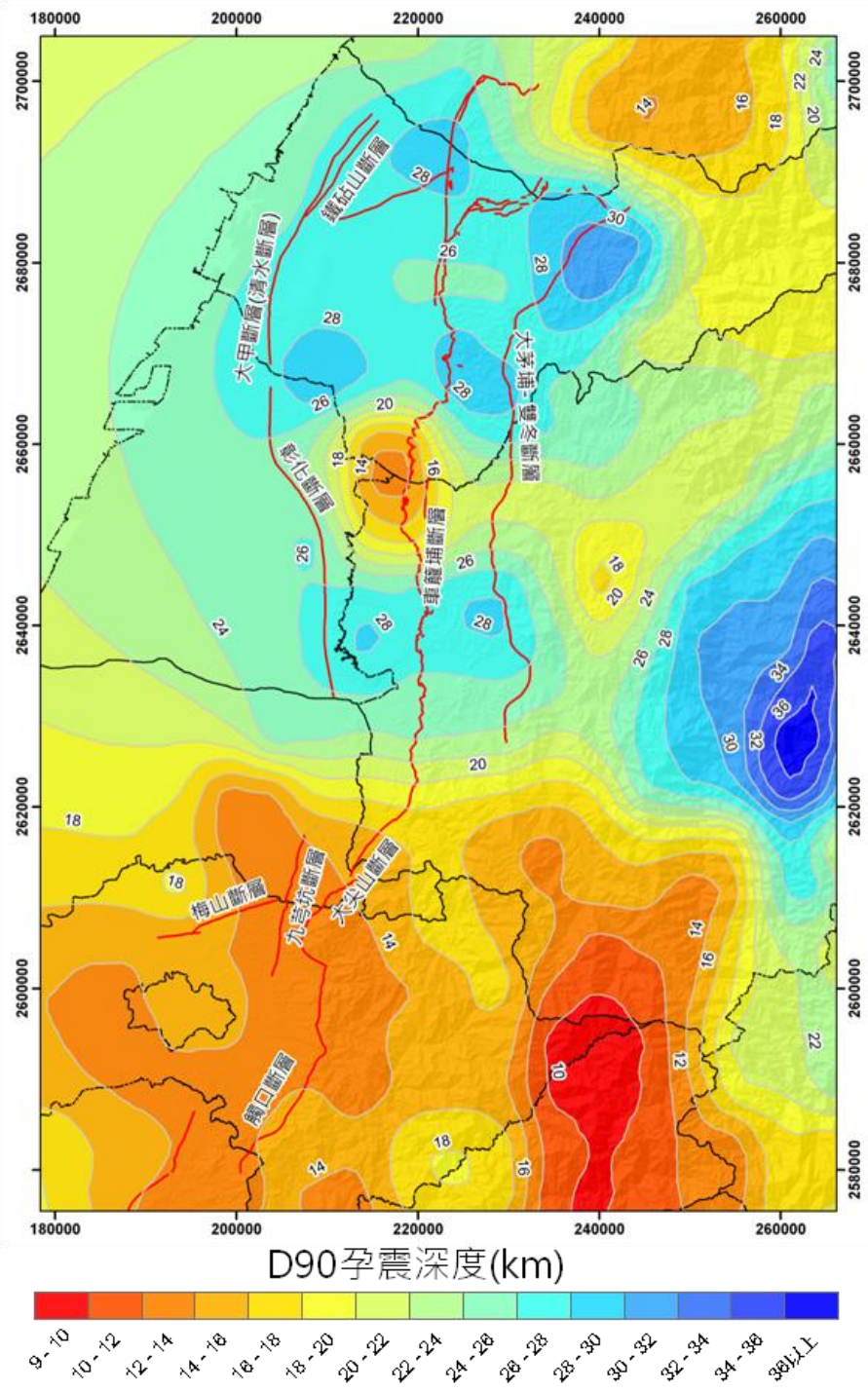
之孕震深度約在 14-17 公里，比本計畫蒐集之平衡剖面深。

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。另外本計畫也將考量 Wu et al. (2017) 提出對於 921 集集地震可以合理推估震矩規模之區域孕震厚度，進行孕震深度比對資料進行統計，作為另一個斷層孕震厚度擬定參考之討論因子。



(資料來源：Wu et al., 2017)

圖 2-2.1：中部地區 D10 孕震深度分布圖



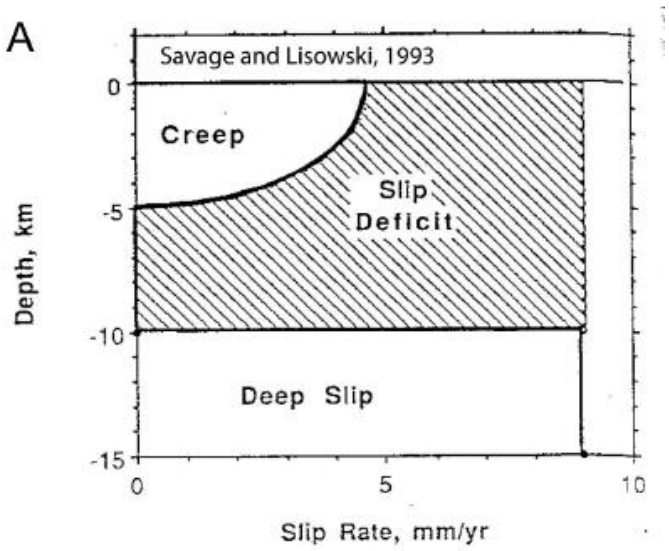
(資料來源：Wu et al., 2017)

圖 2-2.2：中部地區 D90 孕震深度分布圖

2-3 潛移之折減滑移速率

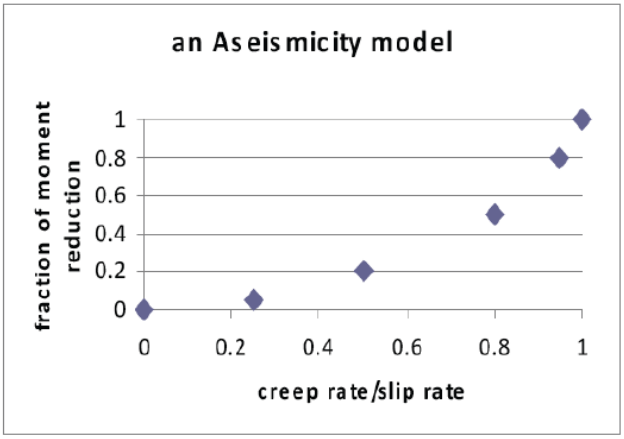
基於地調所 102~105 年計畫所累積的經驗，計算未來 30 年、50 年、100 年的活動機率時採用長期滑移速率，然而長期滑移速率的量可能非全部藉由地震釋放，一部分可能是藉由潛移的方式消耗，若未考量潛移因素則可能造成所估計之地震週期時間過短，並高估未來 30 年、50 年、100 年的活動機率，例如台灣西南部的旗山斷層以及台東縱谷的池上斷層，因此建議將斷層潛移的分量因素納入評估。Savage and Lisowski(1993) 提出地表潛移速率會隨深度快速的減少，圖 2-3.1 即為 Savage and Lisowski 所建立的加州 Hayward Fault 滑移速率

與深度之關係。美國 UCERF 3(2013)即採用這個理論建立了潛移速率/滑移速率，與能量累積折減率之關係，如圖 2-3.2 所示，若潛移速率佔滑移速率一半，則震矩折減 20%。本計畫可以使用此圖建立台灣地區的震矩折減關係，進而更合理評估台灣地區潛移行為活動斷層之地震機率潛勢。



潛移速率會隨斷層深度增加而減少，因此能夠累積地震矩能量的部分為滑移虧損(Slip Deficit)的部分
(Savage and Lisowski, 1993)

圖 2-3.1：Hayward Fault 滑移速率與深度之關係



利用潛移速率/滑移速率的比例，決定累積能量之折減率
(摘自 Field et al., 2015)

圖 2-3.2：UCERF 3 的潛移模型

2-4 斷層模型反演於活動斷層潛勢評估應用

本計畫參考「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（1/4）」(以下簡稱「斷層模型反演計畫」)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。

2-4-1 DEFNODE 斷層模型

依彈性回彈理論指出，板塊之間的相對運動，會使應變在彈性地殼中累積。其中對斷層系統而言，是以剪應變形式的應變能累積為主。斷層破裂時可能的能量釋放比例可藉由各種地殼變形測量結果獲得，其中短期的斷層滑移速率可藉由大地測量的方式，如 GPS 及水準測量，量測斷層兩側之相對地表變形而得。

藉由 Rob McCaffrey 提出的三維塊體模型 DEFNODE（McCaffrey, 2005）來進行斷層現今滑移速率及滑移虧損率的估算。DEFNODE 首先假設每條斷層都位於兩個轉動塊體（block）的邊界上。Ching et al.（2011）曾將臺灣地區幾條重要的斷層視為塊體邊界，再利用塊體模型來探討臺灣現今的地殼運動情形。「斷層模型反演計畫」針對地質調查所於 2012 年公佈的臺灣活斷層位置，並參考斷層參數資料，建構了研究區域的塊體邊界模型。

由圖 2-4.1(a)可看出，各塊體的邊界幾乎都和地表的斷層線一致，而有些延伸的斷層邊界主要是為了符合塊體在幾何上的連續性以供數值模型所需。圖中邊界上的圓圈代表節點，塊體模型即是用來估算斷層面在各節點上的滑移速率值。注意除了如圖 2-4.1 (a)中所示的地表節點外（深度為 0 km），沿著斷層傾角也分別在一半斷層深度及斷層底部各設一個節點。斷層面上的滑移量分佈皆是由這些節點上的值進行內插所得。

「斷層模型反演計畫」在模型反演過程中加入塊體內部形變，此時各塊體將不再是剛性塊體，塊體內部的速度梯度可產生內部形變，較符合台灣目前大地構造，並加入由地質研究方法推估的斷層滑移速率(表 2-4.1, Shyu et al., 2016)作為反演過程的約束值，以得到更佳的擬合結果。

「斷層模型反演計畫」所使用的地表運動資料為臺灣 GPS 觀測網迄至 2016 年所觀測到的平均水平速度場及平均垂直速度場，包含了 456 筆測站資料(圖 2-4.1)。圖 2-4.2a、b、c、d 分別顯示本區域的斷層長期滑移速率、斷層鎖定係數、滑移虧損率及間震期滑移速率等值。

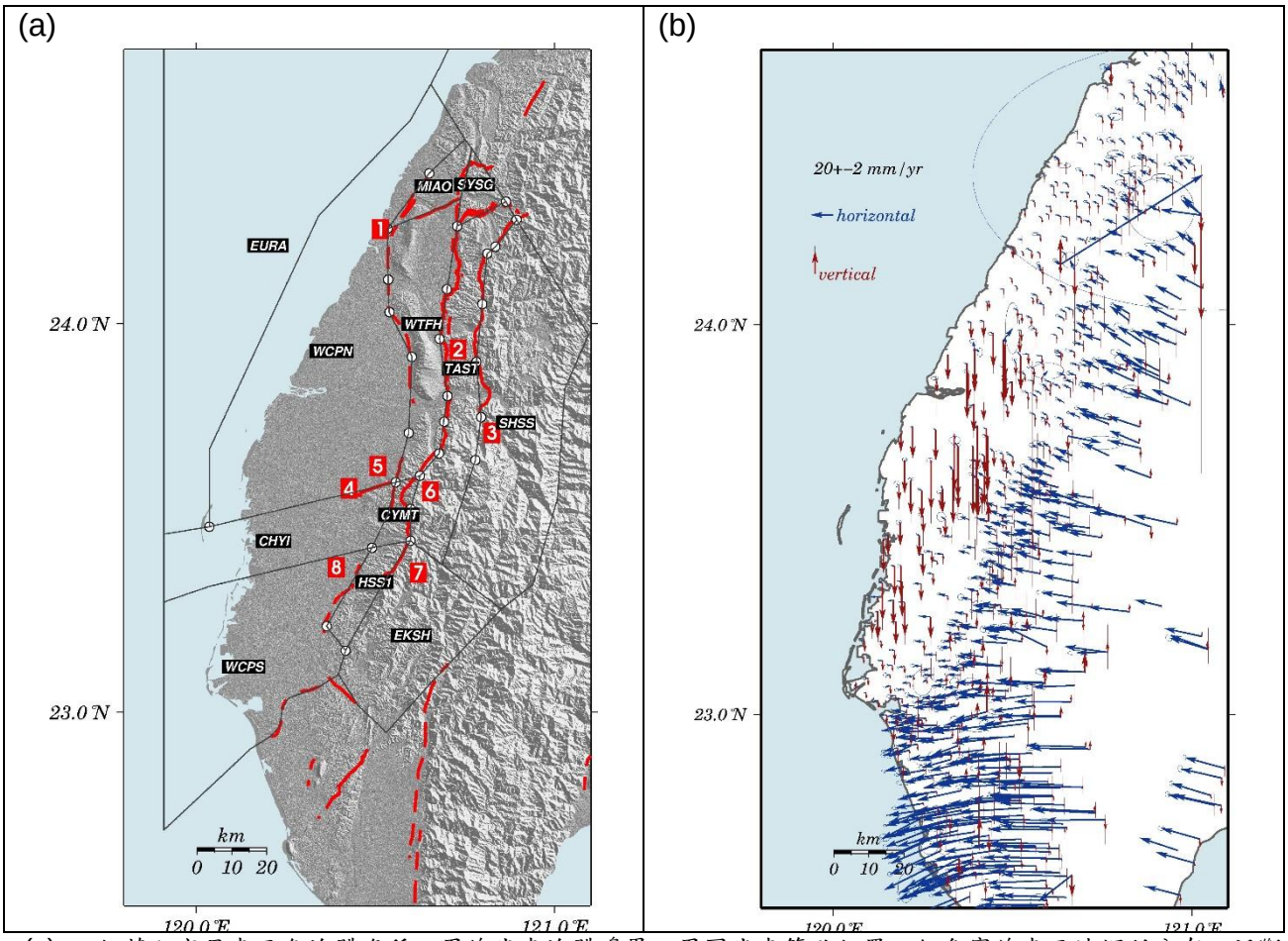
在此針對本階段 7 條台灣中部的大甲—彰化斷層、車籠埔斷層、大茅埔—雙冬斷層、梅山斷層、九芎坑斷層、大尖山斷層、觸口斷層進行探討，結果陳述如下。

表 2-4.1 顯示此 7 條斷層上各節點的滑移速率的平均值，並可看出這些斷層之平均滑移速率及平均滑移虧損率，及其對應之計算標準差。其中斷層的平均滑移速率(geodetic slip rate)的計算是由近十年測地資料(GPS, 水準等)所得的地表運動推估而得，和利用地質資料(槽溝開挖或河階等)所觀測的長期(數百~數千年)滑移速率(geologic long-term slip rate)存在有本質上的差異。若假設斷層的震間能量累積速率為常數，則 geodetic 和 geologic slip rates 應該相同。然而由於板塊構造及運動的複雜性，在地質時間的尺度下，斷層活動往往存在變異性，所以許多研究都曾指出這兩種斷層滑移速率的差別(e.g., Ward, 1998)。評估 geodetic slip rate 的方法，除了和 geologic long-term slip rate 進行比較外，也可以由地震活動度等資料來間接進行。

由於目前在臺灣中部並沒有觀測到斷層潛移情況發生，因此「斷層模型反演計畫」假設所有斷層近地表處皆為鎖定狀態，故斷層面上間震期滑移速率在地表附近幾乎都接近零（(a)

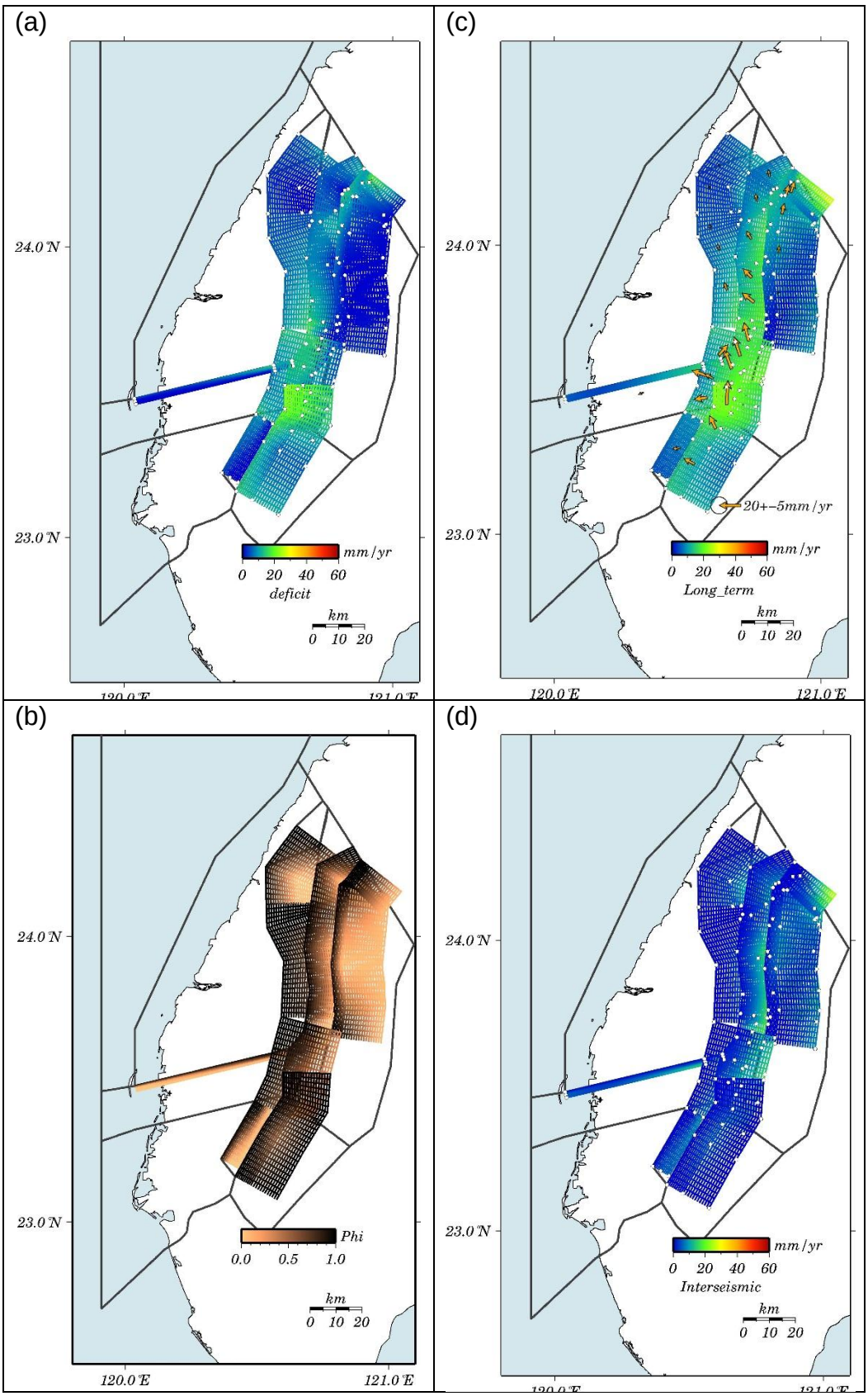
橘色箭頭代表各斷層面上的滑移方向，暖色代表較高的速率值，冷色則表示較低值。

圖 2-4.2d)。由於滑移虧損率為長期滑移速率減去間震期滑移速率，因此在這一系列斷層上都有較大的滑移虧損率，平均滑移虧損率最大的地區落在觸口斷層，約 7.8 mm/yr。



(a) 四位英文字母表示各塊體名稱。黑線代表塊體邊界，黑圈代表節點位置。紅色實線表示地調所公布之活斷層，紅色虛線表是推測或隱伏斷層。紅色數字代表之斷層分別為：1. 大甲—彰化斷層；2. 車籠埔斷層；3. 大茅埔—雙冬斷層；4. 梅山斷層；5.九芎坑斷層；6. 大尖山斷層；7.觸口斷層；8. 木屐寮—六甲斷層。(b) 藍色箭號為平均水平速度場(相對於澎湖白沙站)，紅色箭號為平均垂直速度場(相對於澎湖白沙站)。

圖 2-4.1：(a) 「斷層模型反演計畫」所使用的臺灣中部三維塊體模型及活動斷層分布。 (b) GPS 速度場分布



(a)橘色箭頭代表各斷層面上的滑移方向，暖色代表較高的速率值，冷色則表示較低值。

圖 2-4.2：（a）推求的斷層長期滑移速率。(b)各斷層面的鎖定係數(coupling coefficient)分布。（c）各斷層面的滑移虧損率。（d）由（a）圖減去（c）圖，得到斷層面上的間震期滑移速率

表 2-4.1：斷層之地質滑移速率約束值(Shyu et al., 2016)及平均滑移速率估算值。

斷層名稱	地質長期滑移速率最小值（mm/yr）	地質長期滑移速率最大值（mm/yr）	測地平均滑移速率（mm/yr）		標準差	平均滑移虧損率（mm/yr）	標準差
大甲—彰化	1.1	5.7	北段	6.8	±7.2	1.2	±3.1
			南段	10.0	±8.3	4.9	±5.1
車籠埔	0.0	6.9	9.0		±7.7	3.1	±5.0
大茅埔—雙冬	0.7	3.3	3.3		±6.2	3.2	±4.8
梅山	0.0	2.5	9.6		±9.2	3.5	±6.3
九芎坑	2.4	12.0	13.0		±11.7	4.3	±7.6
大尖山			13.7		±7.7	6.0	±8.1
觸口			11.9		±11.1	7.8	±9.9
木屐寮—六甲	4.4	7.1	5.9		±2.2	3.2	±3.7

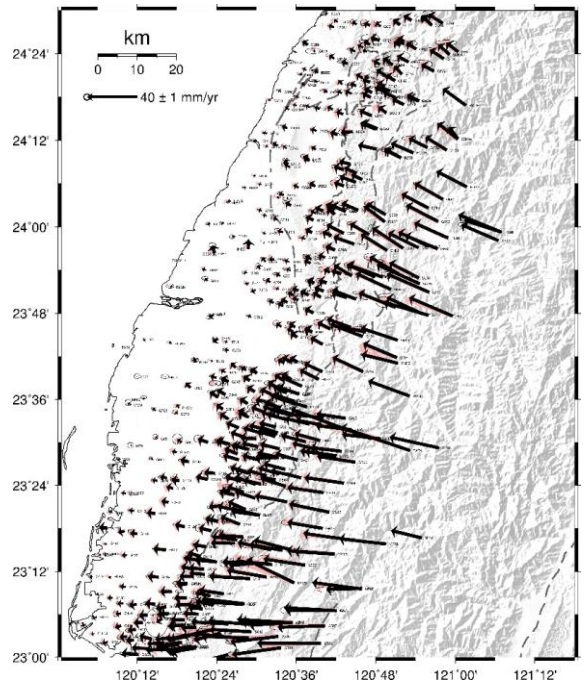
2-4-2 基線應變反演模型

「斷層模型反演計畫」使用 Johnson（2013）基於 Okada（1992）的彈性半無限空間（half-space）斷層錯位模型之基線應變模型(Baseline Inversion Model)，逆推地表震間速度場，以求得斷層滑移參數及滑移虧損率分布。

基線應變模型是基於彈性錯動理論利用基線應變率推估斷層之滑移虧損速率，其中最主要的一個假設是「地殼的應變率是來自於地殼之彈性變形，而此彈性變形與已知斷層的滑移虧損率有關」。基線之建立是以產生德勞內三角形（Delaunay triangle）的方式對各測站之坐標計算後而得；而基線之伸張率則為基線兩端測站之速度差投影至基線方向之向量除以基線長。就「斷層模型反演計畫」中斷層反演的部分，在給定斷層幾何參數的情況下，利用最小二乘法逆推地表基線應變率來求解斷層滑移虧損率。

「斷層模型反演計畫」使用 GPS 台灣中部地區 2007-2017 年連續站及移動站的水平速度場資料。水平速度場(圖 2-4.3)所蘊含的資訊含括了應變率(Dilatation rate)及旋轉率（Rotation rate）對地表之影響，然而在此模型當中，欲討論的僅在於斷層對於地表兩 GPS 站間距離變化之作用，因此於計畫中先推算出中部地區應變率及旋轉率對於地表速度場所造成之影響，並利用觀測速率減掉受應變率及旋轉率所影響之速率計算值，得到斷層僅受到滑移虧損率對地表影響之速率（圖 2-4.4），將此速率做為計畫模型的初始值計算中部地區各斷層之滑移虧損率及各斷層滑移速率平均值(表 2-4.2)。

計畫於基線反演模型中，針對本階段 7 條台灣中部地區的大甲－彰化斷層、車籠埔斷層、大茅埔－雙苳斷層、梅山斷層、九芎坑斷層、大尖山斷層及觸口斷層進行探討，計算其斷層之滑移虧損率。三組模型之結果如圖 2-4.5~圖 2-4.7 所示。



黑色箭頭為原本觀測值，粉色箭頭為計算觀測值。

圖 2-4.3：中部地區 GPS 連續站、移動站水平速度場

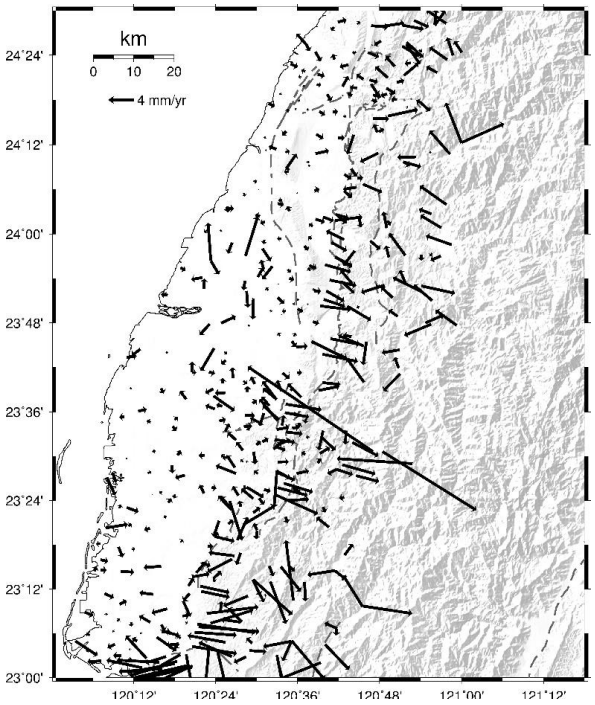


圖 2-4.4：觀測速率減掉受應變率及旋轉率所影響之速率計算值，得到斷層僅受到滑移虧損率對地表影響之速率

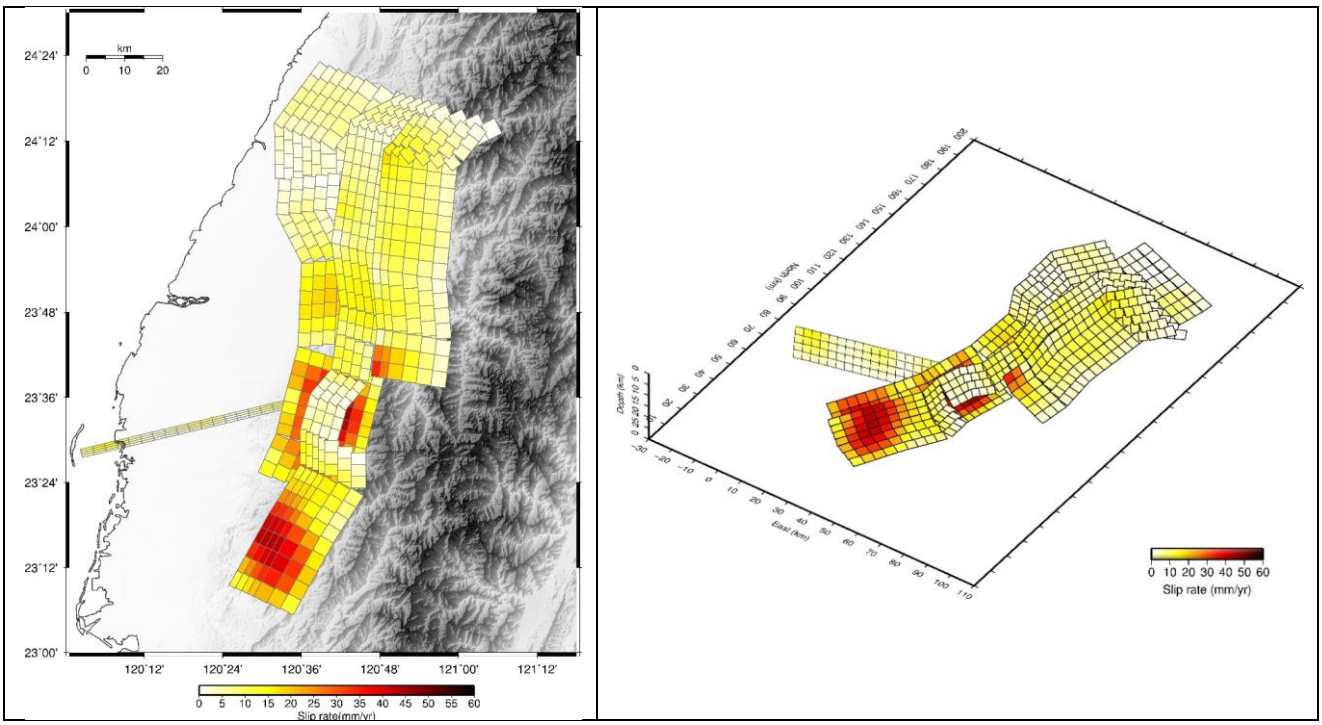


圖 2-4.5：模型一之基線模型反演成果

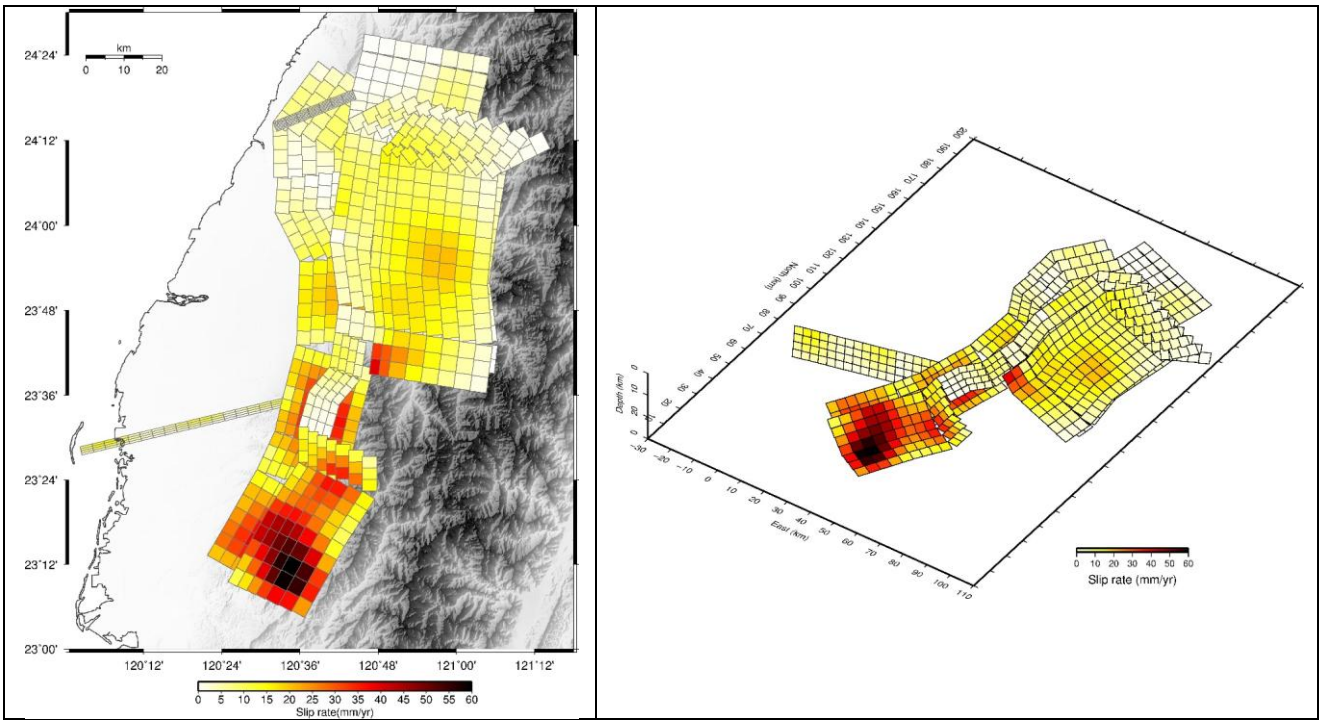


圖 2-4.6：模型二之基線模型反演成果

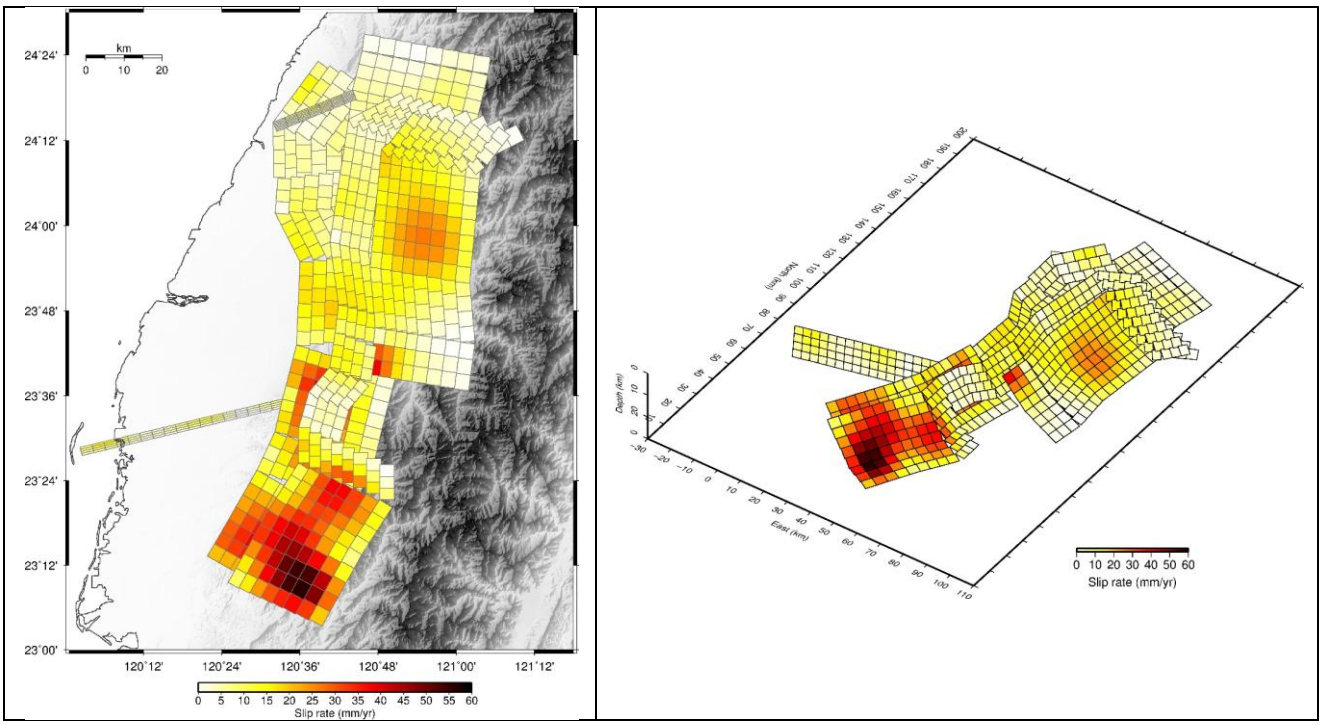


圖 2-4.7：模型三之基線模型反演成果

表 2-4.2：三組模型之斷層滑移速率平均值(mm/yr)。

		模型 1	模型 2	模型 3
大甲－彰化斷層	北段	4.29	5.59	8.55
	南段	7.97	5.95	9.34
車籠埔斷層		10	11.73	15.87
大茅埔－雙冬斷層		5.63	7.35	5.86
梅山		5.22	6.68	6.50
九芎坑		7.02	10.18	3.82
大尖山		10.48	7.19	10.76
觸口		4.46	10.51	7.33

第三章、大甲(鐵砧山)-彰化斷層潛勢評估

3-1 邏輯樹更新

大甲(鐵砧山)-彰化斷層系統分段破裂模式無修改，同圖 3-1.1。鐵砧山斷層屬於大甲斷層的背衝斷層，不會有單獨破裂之可能性，且斷層長度僅 13 公里，不易造成規模 6.5 以上的地震，因此鐵砧山斷層不列入邏輯樹中。專家學者們認為大甲、彰化斷層有同時破裂的可能性，必須整體考慮為大甲-彰化斷層系統。彰化斷層向南延伸段有兩種看法，一為與桐樹湖斷層相連，終止於古坑斷層；二為連接至竹山段。

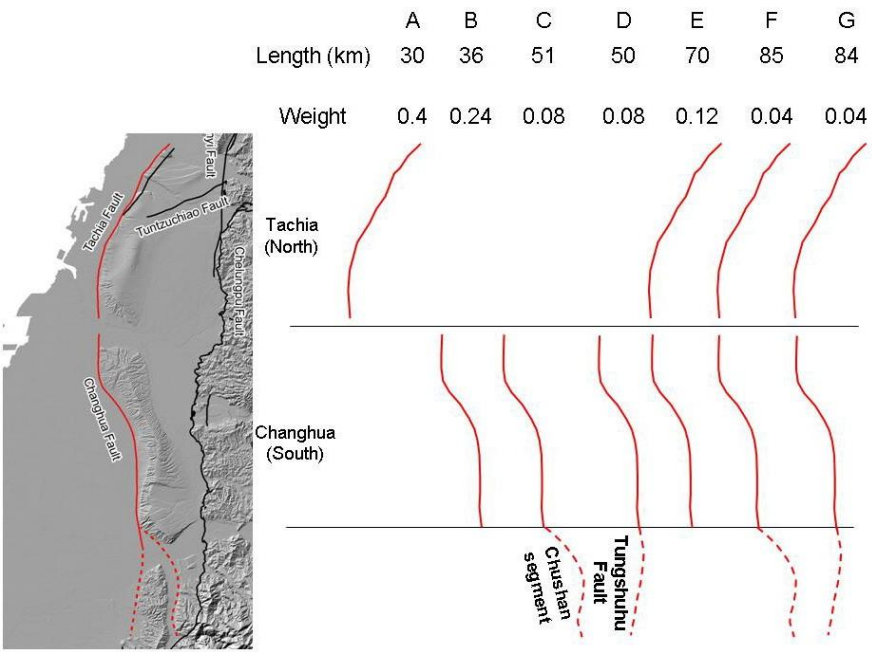
大甲-彰化斷層系統分段可分為北段(模式 A)、南段(模式 B、C、D)、整段(模式 E、F、G)，北段與南段破裂權重相等，各為 0.4；整段破裂權重 0.2。七種破裂模式中，A 為大甲斷層破裂，B 為彰化斷層破裂，C 為彰化+竹山段破裂，D 為彰化+桐樹湖斷層破裂，E 為大甲+彰化斷層破裂，F 為大甲+彰化+竹山段破裂，G 為大甲+彰化+桐樹湖斷層破裂(圖 3-1.1)。南段破裂又可區分破裂事件終止於彰化斷層(模式 B，權重 0.6)，或繼續向南延伸(模式 C、D)，破裂事件延伸至桐樹湖斷層或竹山段權重相等，各為 0.2。整段破裂權重分配原則同上。

大甲(鐵砧山)-彰化斷層之傾角及破裂深度，根據 2-1-1 節之幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為(a) 北段 0~5 公里，22.5 度，5~8.5 公里，8 度；南段 0~7 公里，22.5 度，7~8.5 公里，8 度。權重 0.2；(b) 北段 0~6 公里，25 度，6~8 公里，6.5 度；南段 0~7.5 公里，25 度，7.5~8 公里，6.5 度。權重 0.5； (c) 北段 2~6.5 公里，35 度，6.5~11 公里，10 度；南段 2~7 公里，35 度，7~11 公里，10 度。權重 0.3，詳圖 2-1.2 所示。

大甲-彰化斷層之滑移速率相關參數及文獻詳如表 3-1.1 所示，由階地定年推估所得到的縮短速率慢者 4 mm/yr，快者達 22.8 mm/yr，將 4 mm/yr 及 22.8 mm/yr 以傾角 22.5 度(case a)，25 度(case b)，35 度(case c)換算至斷層面上，並考慮滑移角為純逆斷層(rake=90 度)及斜向滑移(rake=70 度)之情形，得到淨滑移速率詳如表 3-1.2 所示，最小為 4.33 mm/yr，最大為 29.62 mm/yr，本計畫以 4.33 mm/yr 及 29.62 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 16.98 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重分配為 4.33 mm/yr (0.3)，16.98 mm/yr (0.4)，29.62 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 3-1.3 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模，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。

大甲-彰化斷層系統各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 3-1.2 所示。



(胡植慶等，2016)

圖 3-1.1：大甲-彰化斷層系統前階段之破裂模式及權重分配。

表 3-1.1：大甲-彰化斷層長期滑移速率相關文獻。

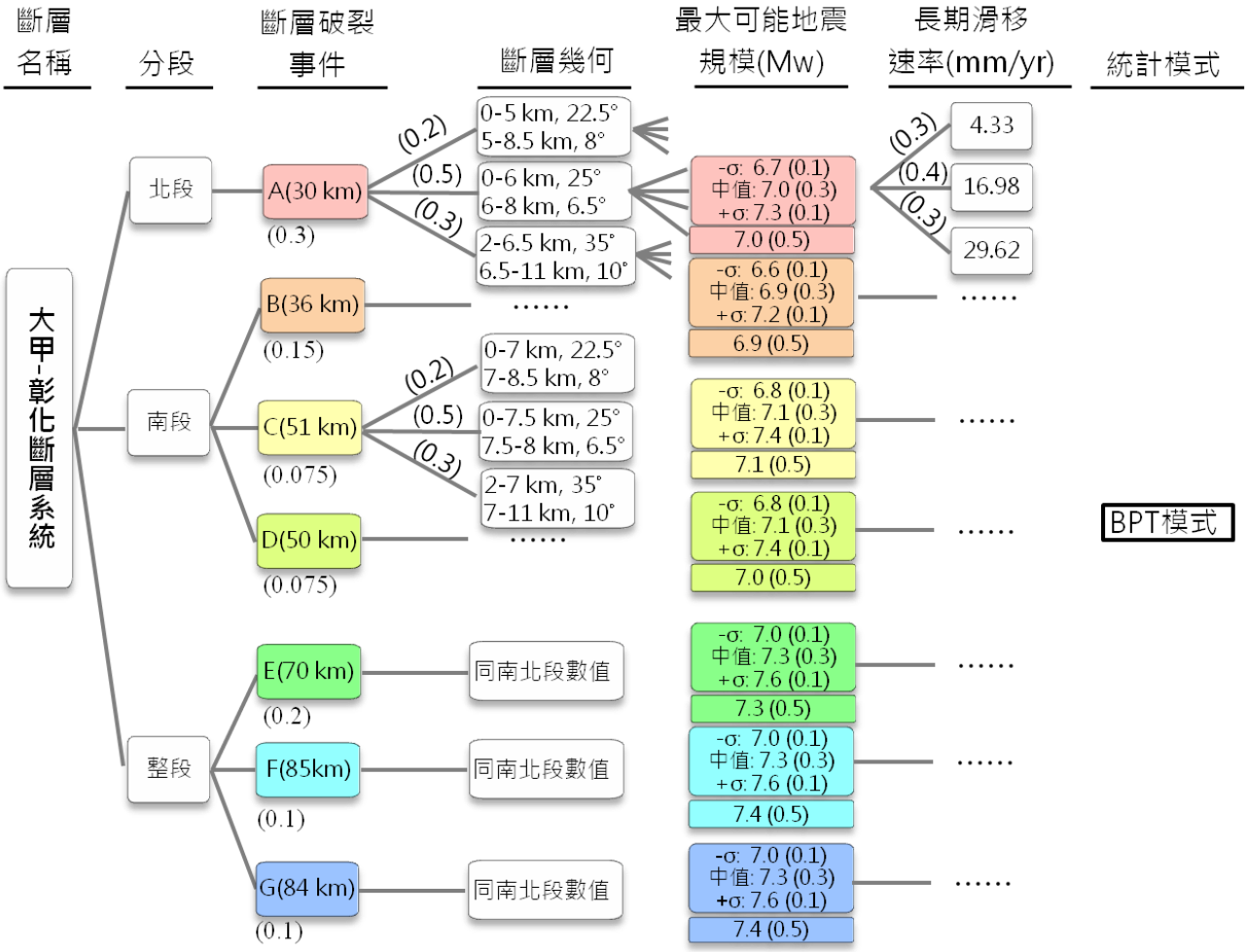
參考文獻	方法	滑移速率(mm/yr)
陳文山等，2008	大肚台地鑽井資料	垂直滑移速率 1.7-5.5
陳文山等，2008	八卦台地鑽井資料	垂直滑移速率 4.3-10.3
Simoes et al., 2007	階地定年與 fault-tip folding model	縮短速率 16.3±4.1
Yue et al., 2011	階地定年與 shear fault-bend folding	縮短速率 21±5.8 mm/yr
Siame et al., 2012	階地定年與 shear fault-bend folding	200-400 ka，縮短速率約 4 mm/yr 105 ka，縮短速率 6.5 mm/yr 28 ka，縮短速率 22.8 mm/yr

表 3-1.2：大甲-彰化斷層長期滑移速率計算。

縮短速率 (mm/yr)	斷層傾角 (度)	滑移角 (度)	淨滑移速率 (mm/yr)
4	22.5	90	4.33
	25	90	4.41
	35	90	4.88
	22.5	70	4.61
	25	70	4.70
	35	70	5.20
22.8	22.5	90	24.68
	25	90	25.16
	35	90	27.83
	22.5	70	26.26
	25	70	26.77
	35	70	29.62

表 3-1.3：大甲-彰化斷層系統之中值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	
北段	A	30	0-6 km, 25° 6-8 km, 6.5°	31.9	957	6.7	7.0	7.3	7.0
南段	B	36	0-7.5 km, 25° 7.5-8 km, 6.5°	22.2	799	6.6	6.9	7.2	6.9
	C	51	0-7.5 km, 25° 7.5-8 km, 6.5°	22.2	1132	6.8	7.1	7.4	7.1
	D	50	0-7.5 km, 25° 7.5-8 km, 6.5°	22.2	1110	6.8	7.1	7.4	7.0
整段	E	70	同南北段數值	北段 31.9 南段 22.2	1756	7.0	7.3	7.6	7.3
	F	85	同南北段數值	北段 31.9 南段 22.2	2089	7.0	7.3	7.6	7.4
	G	84	同南北段數值	北段 31.9 南段 22.2	2067	7.0	7.3	7.6	7.4



(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)

圖 3-1.2：大甲-彰化斷層系統更新邏輯樹

3-2 規模與年發生率之關係

大甲-彰化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 3-2.1~圖 3-2.7 為 7 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 3-1.2 之大甲—彰化斷層邏輯樹可得到 252 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 3-2.8 為 7 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 7.1 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.0~7.1 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.1 之權重最高，規模 7.3 次之；破裂模式 D 以規模 7.1 之權重最高，規模 7.3 次之；破裂模式 E 以規模 7.3 之權重最高，規模 7.5 次之；破裂模式 F 以規模 7.4 之權重最高，規模 7.6 次之；破裂模式 G 以規模 7.4 之權重最高，規模 7.6 次之。經由特徵地震模式計算之後，圖 3-2.9 為 7 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖，7 種破裂模式在地震復發間隔時間 0 年~200 年間有較高之權重。

將七種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 3-2.10（a）之大甲—彰化斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 3-2.10（b）之大甲—彰化斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

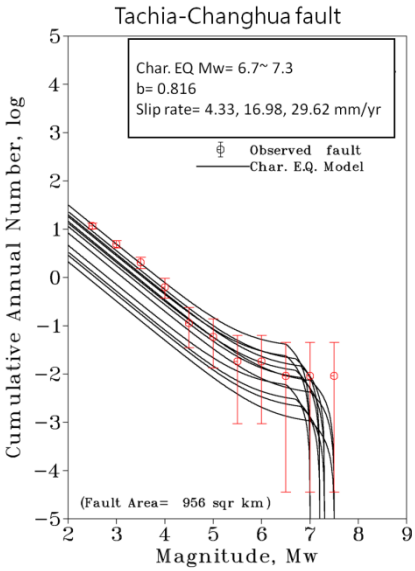


圖 3-2.1：A 事件特徵地震模式。

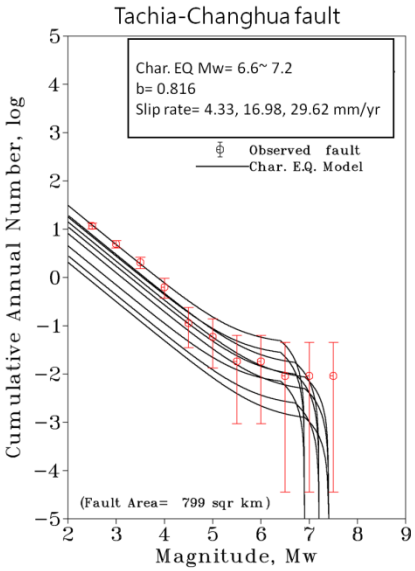


圖 3-2.2：B 事件特徵地震模式。

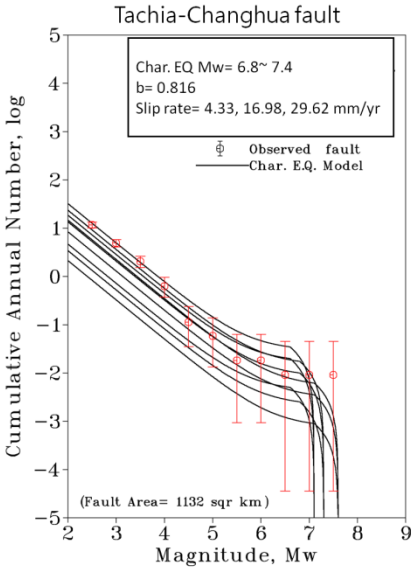


圖 3-2.3：C 事件特徵地震模式。

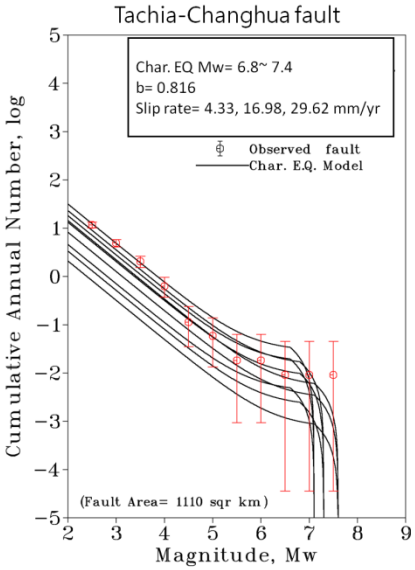


圖 3-2.4：D 事件特徵地震模式。

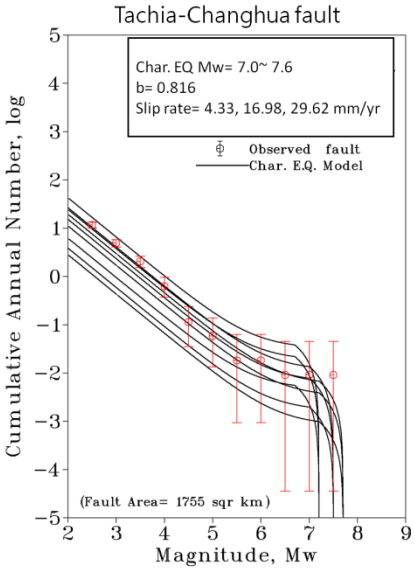


圖 3-2.5：E 事件特徵地震模式。

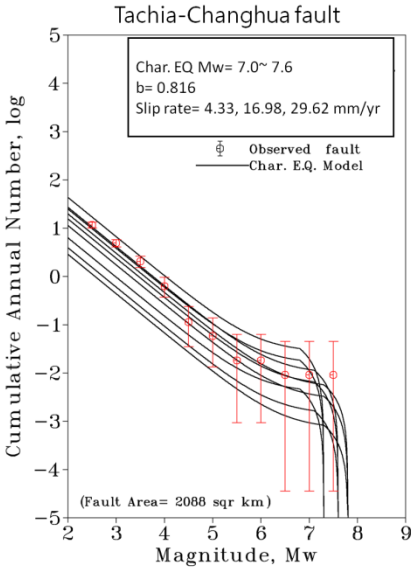


圖 3-2.6：F 事件特徵地震模式。

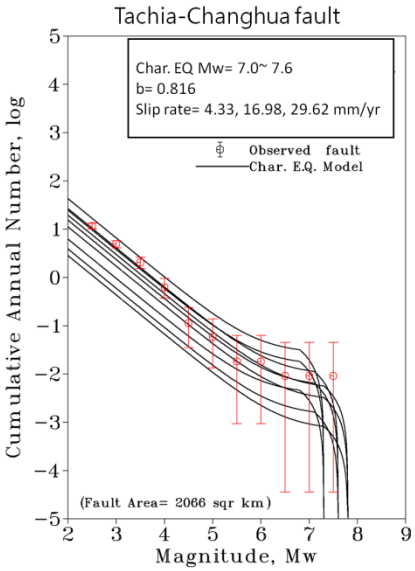
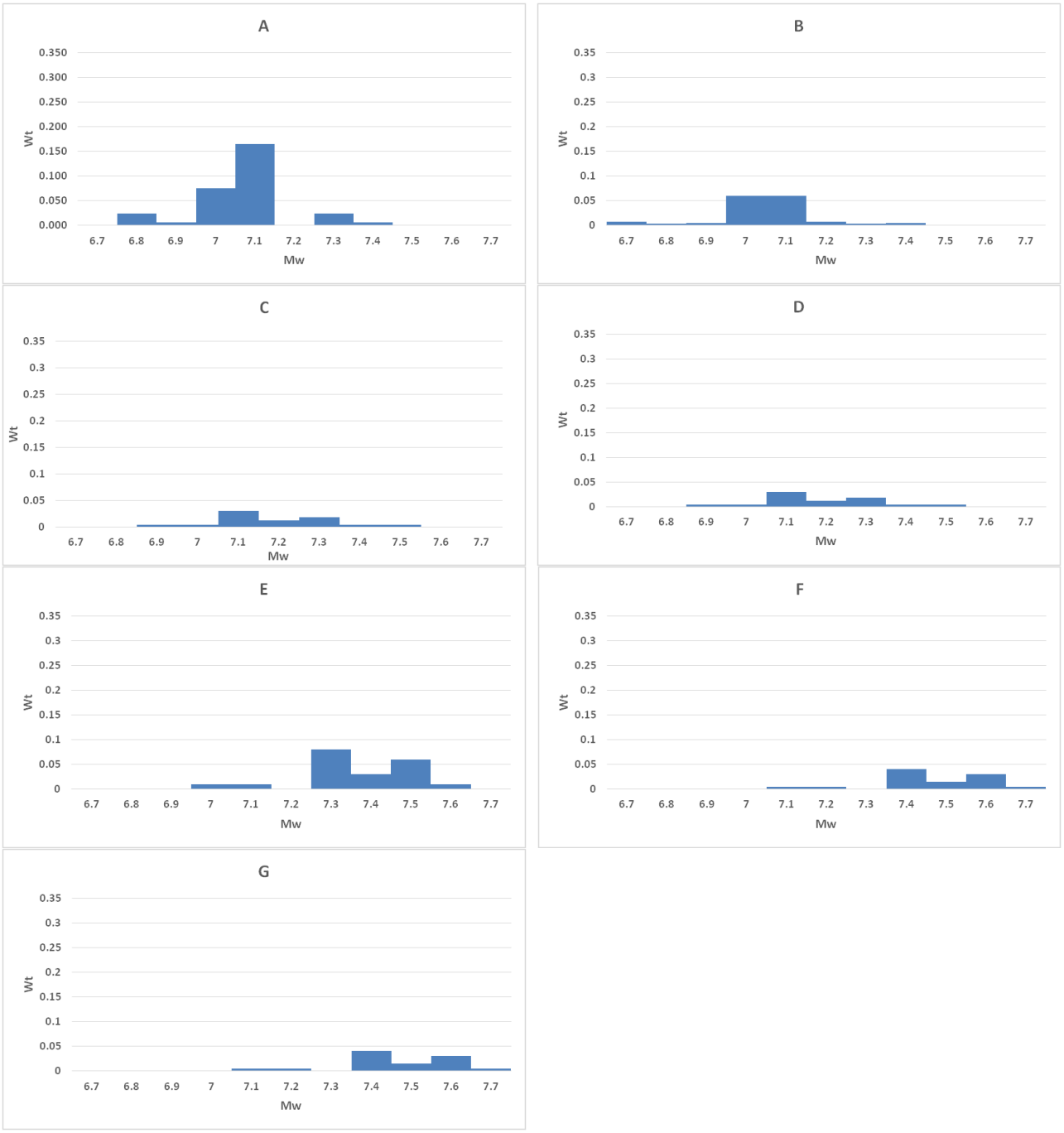
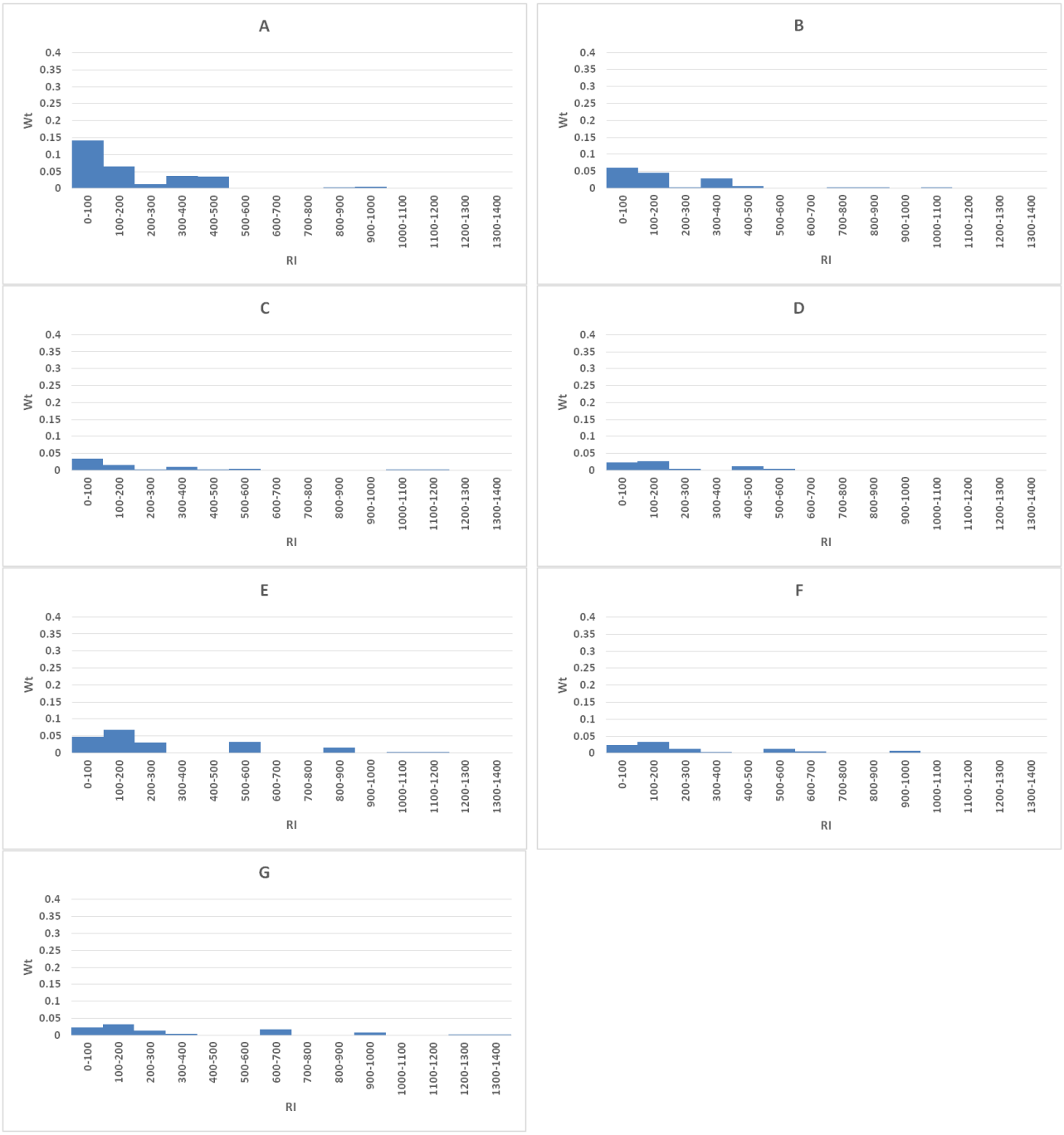


圖 3-2.7：G 事件特徵地震模式。



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

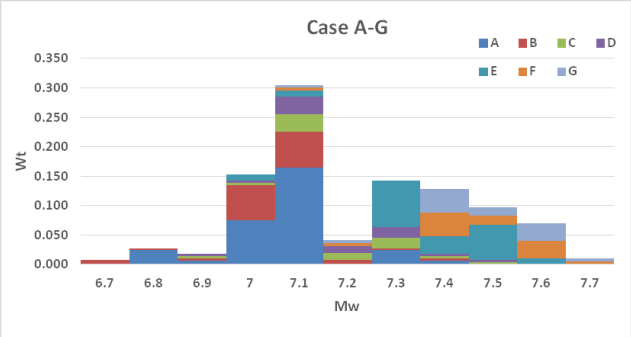
圖 3-2.8：大甲—彰化斷層系統 7 種破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖



橫軸為地震復發間隔時間，其餘以此類推，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。

圖 3-2.9：大甲—彰化斷層系統 7 種破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖

（a）



（b）

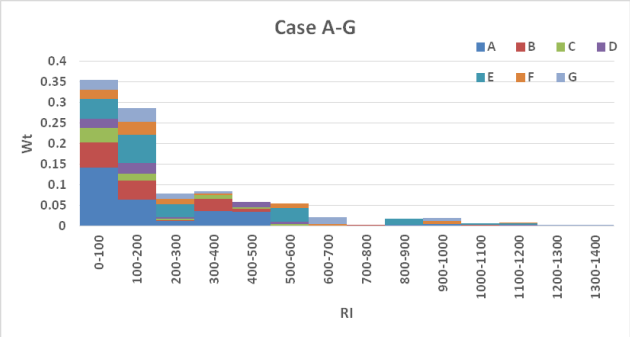


圖 3-2.10：（a）大甲-彰化斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）大甲-彰化斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖

3-3 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 模式估算大甲-彰化斷層系統未來 30、50 及 100 年的發生機率，大甲-彰化斷層系統最後一次發生時間為 1848 年，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

表 3-3.1 為大甲-彰化斷層系統 BPT 模式評估之結果，以西元 2016 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.7~7.7 之機率為 36.1%、49.0%及 65.5%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.0 以上之機率為 32.6%、44.8%及 60.8%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.5 以上之機率為 3.45%、5.19%及 8.20%。

表 3-3.1：大甲—彰化斷層系統發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.7 ~ 7.7	36.1%	49.0%	65.5%
M ≧ 7.0	32.6%	44.8%	60.8%
M ≧ 7.5	3.45%	5.19%	8.20%

第四章、車籠埔斷層潛勢評估

4-1 邏輯樹更新

車籠埔斷層分段破裂模式無修改，同圖 4-1.1。前階段在評估車籠埔斷層之破裂，主要分為整段、北段及南段，位於北段的豐原槽溝前一次古地震事件為 1710~1900 年前，且此破裂事件在車籠埔南段槽溝中都有觀察到，屬於整段破裂模式，也就是說從槽溝開挖中沒觀察到北段單獨破裂之情形，據此推測北段單獨破裂的機率，較南段和整段為小，權重設定為整段(0.4)、北段(0.2)、南段(0.4)，而由於北段北端及南段南端的延伸與否又可分為 8 種破裂事件來探討，ABCD 為整段破裂；EF 為北段破裂；GH 為南段破裂，如圖 4-1.1 所示。

車籠埔斷層之傾角及破裂深度，根據 2-1-1 節之幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為(a) 0~8.5 公里，25 度，8.5~12 公里，8 度(權重 0.2) ；(b) 0~8 公里，35 度，8~10 公里，6.5 度(權重 0.5)； (c) 0~11 公里，40 度，11~15 公里，10 度(權重 0.3)，詳圖 2-1.2 所示。

車籠埔斷層之滑移速率相關參數及文獻詳如表 4-1.1 所示，北段垂直滑移速率為 5.6~11.7 mm/yr (Chen et al., 2003)，南段垂直滑移速率為 2.8~6.7 mm/yr (Chen et al., 2003)，整段滑移速率為 6.94 mm/yr (Chen et al., 2007)，以傾角 25 度，35 度，40 度換算至斷層面上，並考慮滑移角為純逆斷層(rake=90 度)及斜向滑移(rake=70 度)之情形，得到淨滑移速率詳如表 4-1.2 所示。

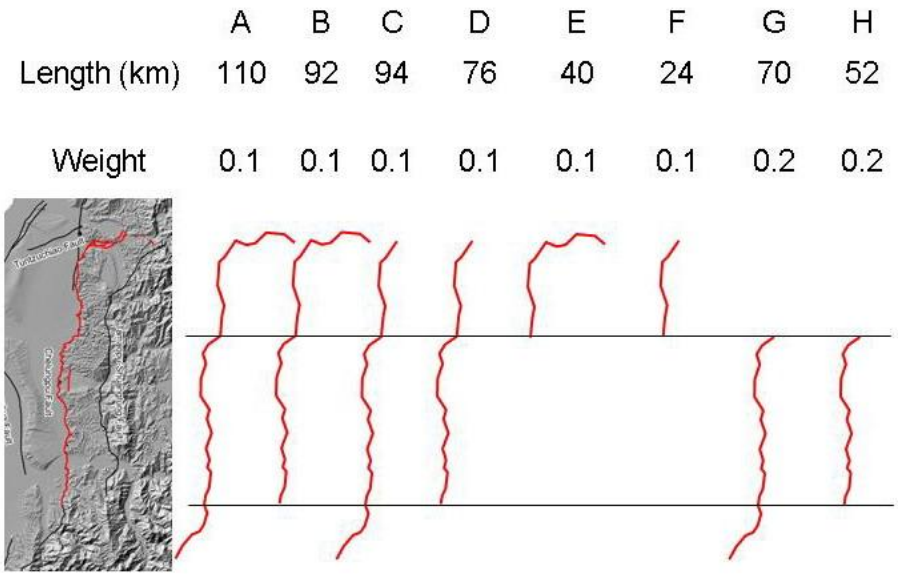
北段：淨滑移速率最小為 8.71 mm/yr，最大為 29.46 mm/yr，本計畫以 8.71 mm/yr 及 29.46 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 19.09 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重為 8.71（0.3），19.09（0.4）及 29.46（0.3）。

南段：淨滑移速率最小為 4.36 mm/yr，最大為 16.87 mm/yr，本計畫以 4.36 mm/yr 及 16.87 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 10.62 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重為 4.36（0.3），10.62（0.4）及 16.87（0.3）。

整段：淨滑移速率最小為 10.80 mm/yr，最大為 17.48 mm/yr，本計畫以 10.80 mm/yr 及 17.48 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 14.14 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重為 10.80（0.3），14.14（0.4）及 17.48（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 4-1.3 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模，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。

車籠埔斷層各節點權重的分配詳如圖 4-1.2 所示。



(胡植慶等，2016)

圖 4-1.1：車籠埔斷層前階段 8 種破裂模式

表 4-1.1：車籠埔斷層長期滑移速率彙整。

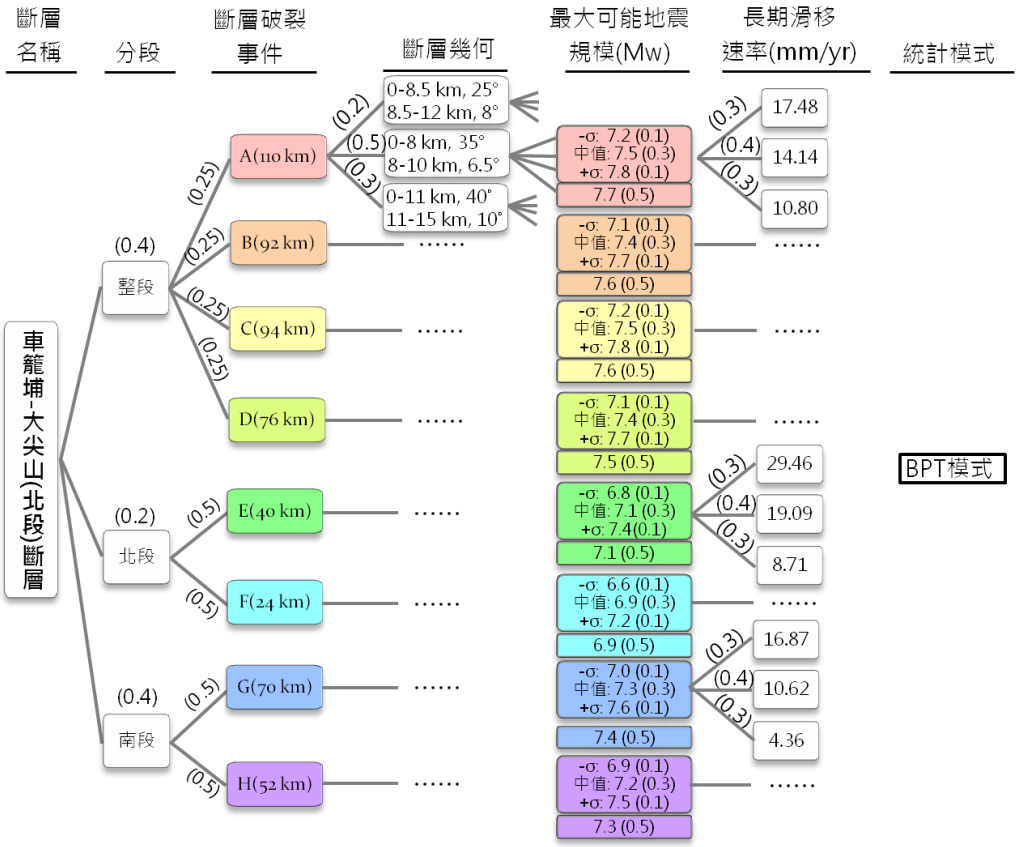
分段	垂直滑移速率 (mm/yr)	資料	參考文獻
北段	8.6~11.7	石岡地區河階	Chen et al., 2003
	5.6~9.9	新社河階	Chen et al., 2003
分段	垂直滑移速率 (mm/yr)	資料	參考文獻
南段	5.5~6.7	霧峰槽溝樣本	Chen et al., 2003
	4.1~5.0	霧峰槽溝樣本	Chen et al., 2003
	2.8~5.0	草屯河階地	Chen et al., 2003
	4.0~4.9	竹山階地	Chen et al., 2003
分段	垂直滑移速率 (mm/yr)	資料	參考文獻
整段	6.94	採用槽溝之古地震事件抬升量及定年資料	Chen et al., 2007

表 4-1.2：車籠埔斷層長期滑移速率計算。

垂直滑移速率 (mm/yr)	斷層傾角 (度)	滑移角 (度)	淨滑移速率 (mm/yr)
北段			
5.6	25	90	13.25
	35	90	9.76
	40	90	8.71
	25	70	14.10
	35	70	10.39
	40	70	9.27
11.7	25	90	27.68
	35	90	20.40
	40	90	18.20
	25	70	29.46
	35	70	21.71
	40	70	19.37
南段			
2.8	25	90	6.63
	35	90	4.88
	40	90	4.36
	25	70	7.05
	35	70	5.19
	40	70	4.64
6.7	25	90	15.85
	35	90	11.68
	40	90	10.42
	25	70	16.87
	35	70	12.43
	40	70	11.09
整段			
6.94	25	90	16.42
	35	90	12.10
	40	90	10.80
	25	70	17.48
	35	70	12.88
	40	70	11.49

表 4-1.3：車籠埔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	110	0-8 km, 35° 8-10 km, 6.5°	31.6	3476	7.2	7.5	7.8	7.7
B	92	0-8 km, 35° 8-10 km, 6.5°	31.6	2907	7.1	7.4	7.7	7.6
C	94	0-8 km, 35° 8-10 km, 6.5°	31.6	2970	7.2	7.5	7.8	7.6
D	76	0-8 km, 35° 8-10 km, 6.5°	31.6	2402	7.1	7.4	7.7	7.5
E	40	0-8 km, 35° 8-10 km, 6.5°	31.6	1264	6.8	7.1	7.4	7.1
F	24	0-8 km, 35° 8-10 km, 6.5°	31.6	758	6.6	6.9	7.2	6.9
G	70	0-8 km, 35° 8-10 km, 6.5°	31.6	2212	7.0	7.3	7.6	7.4
H	52	0-8 km, 35° 8-10 km, 6.5°	31.6	1643	6.9	7.2	7.5	7.3
權重					0.1	0.3	0.1	0.5



(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)

圖 4-1.2：車籠埔斷層更新邏輯樹

4-2 規模與年發生率之關係

車籠埔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 4-2.1~圖 4-2.8 為 8 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 4-1.2 之車籠埔斷層邏輯樹可得到 288 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 4-2.9 為 8 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 7.7 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.6 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.7~7.8 之權重最高；破裂模式 D 以規模 7.5 之權重最高，規模 7.7 次之；破裂模式 E 以規模 7.2 之權重最高；破裂模式 F 以規模 7.0 之權重最高；破裂模式 G 以規模 7.5 之權重最高；破裂模式 H 以規模 7.3 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 4-2.10 為 8 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖，8 種破裂模式在地震復發間隔時間 200 年~300 年間有較高之權重。

將 8 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 4-2.11（a）之車籠埔斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 4-2.11（b）之車籠埔斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

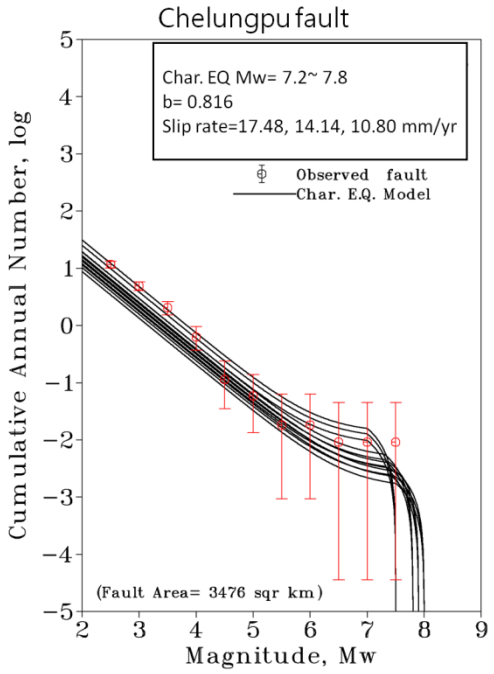


圖 4-2.1：A 事件特徵地震模式。

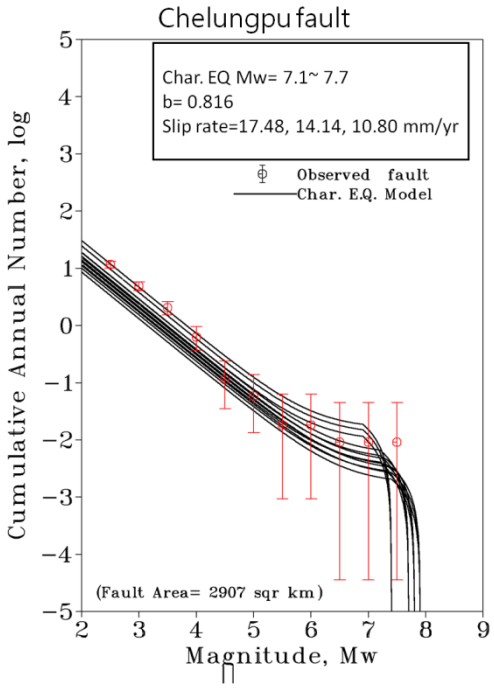


圖 4-2.2：B 事件特徵地震模式。

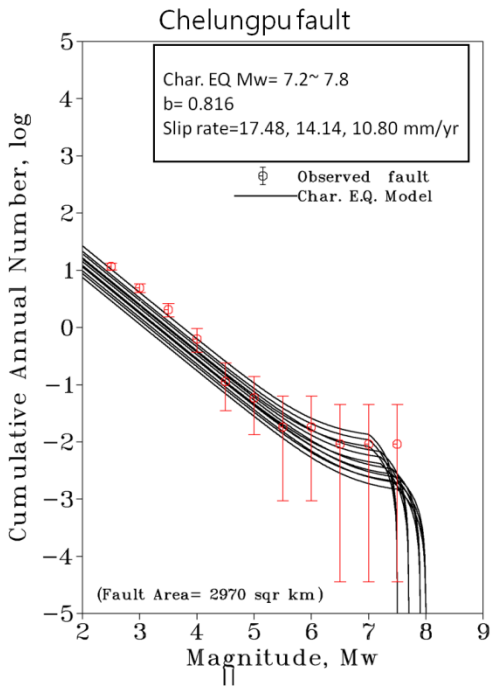


圖 4-2.3：C 事件特徵地震模式。

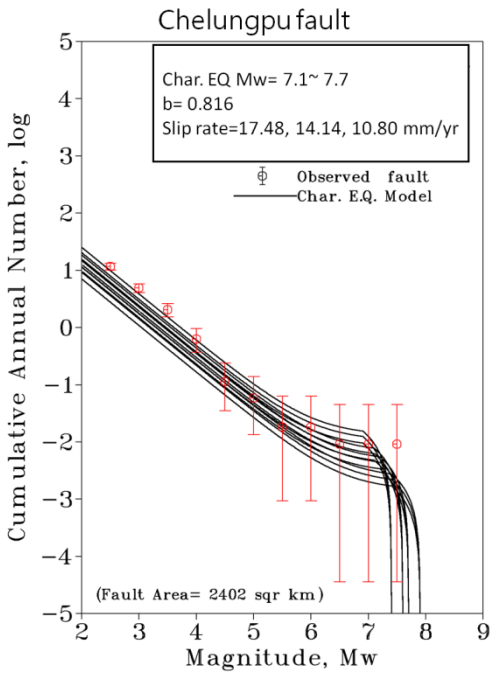


圖 4-2.4：D 事件特徵地震模式。

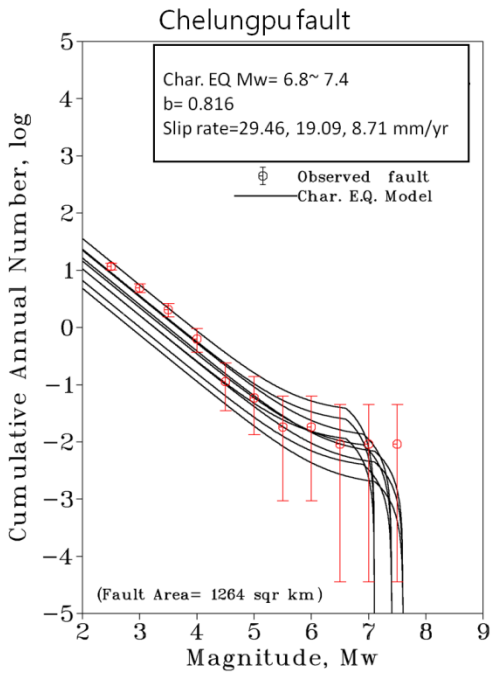


圖 4-2.5：E 事件特徵地震模式。

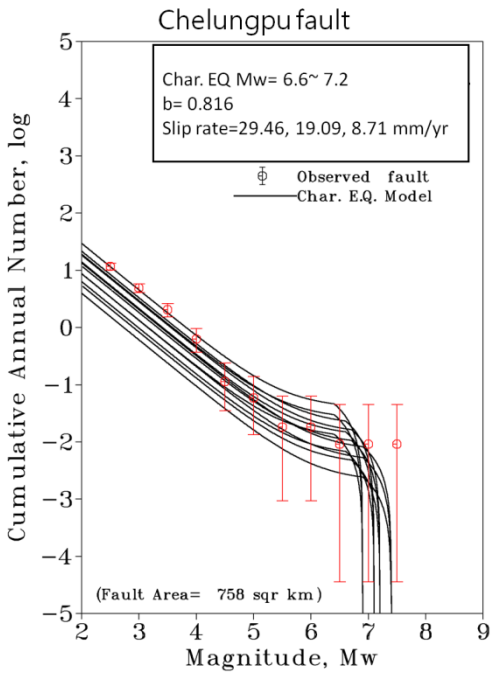


圖 4-2.6：F 事件特徵地震模式。

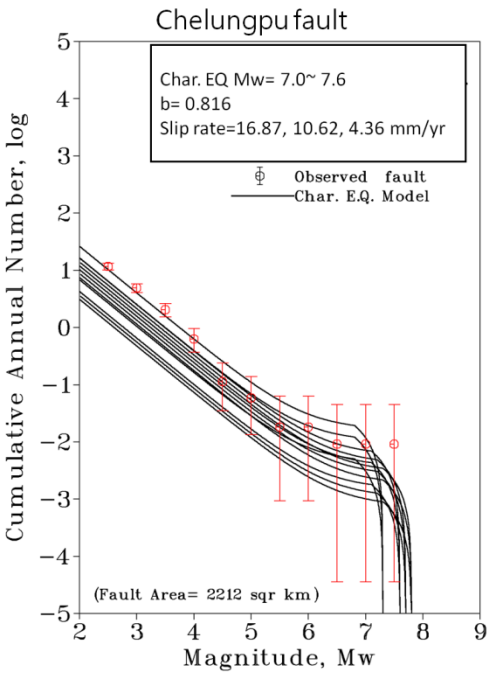


圖 4-2.7：G 事件特徵地震模式。

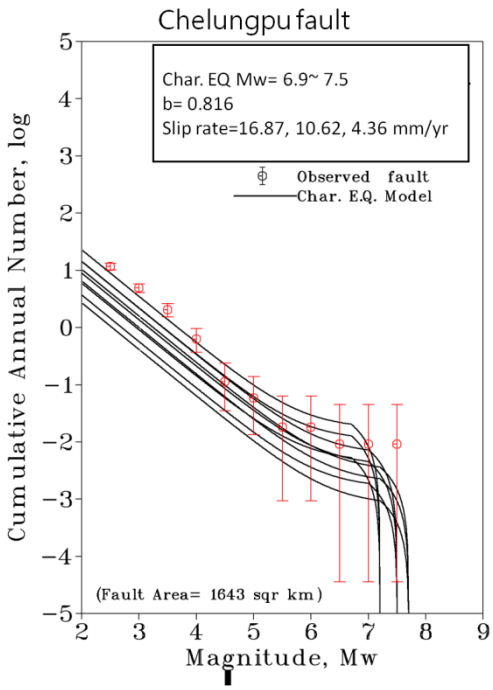
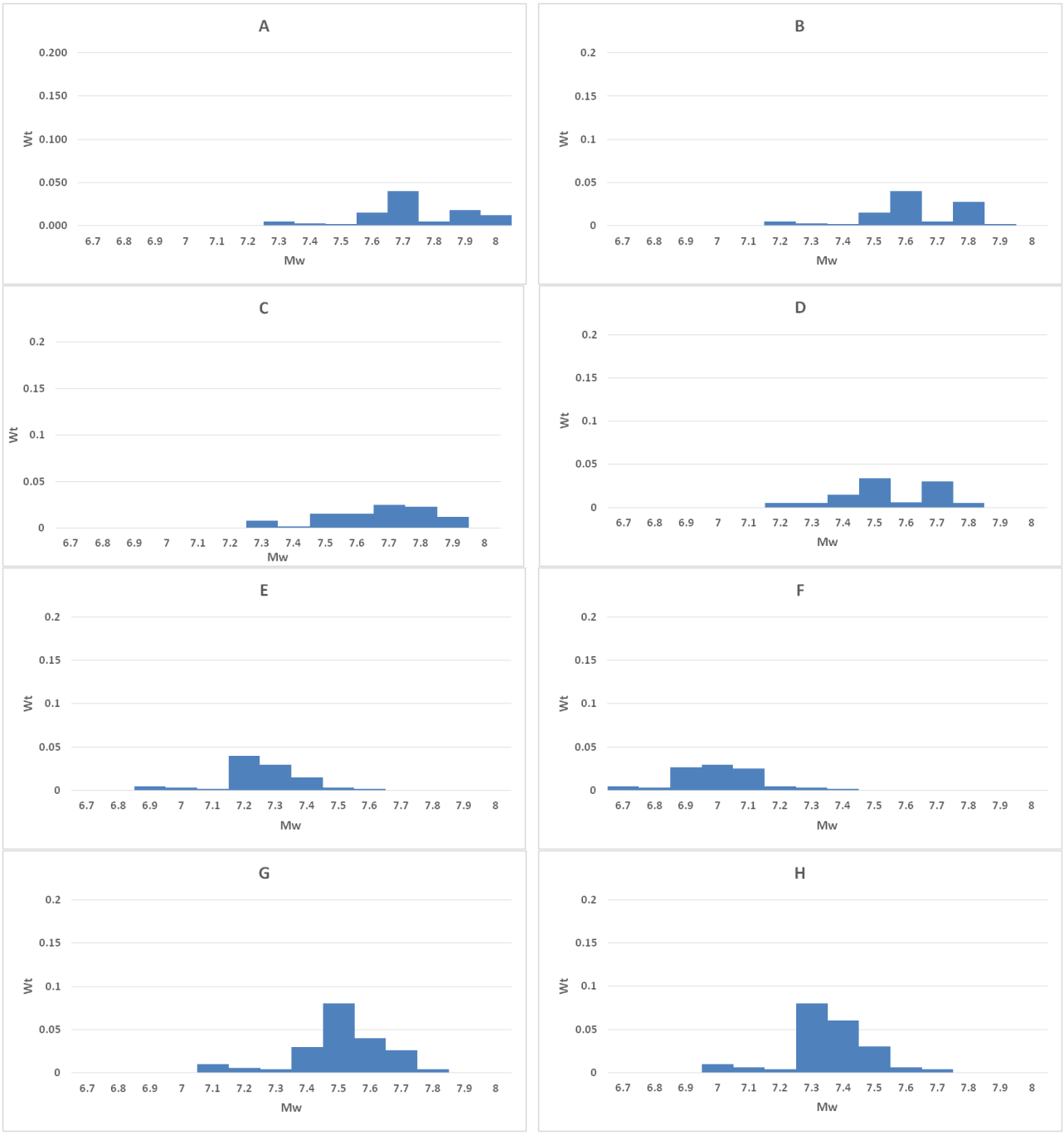
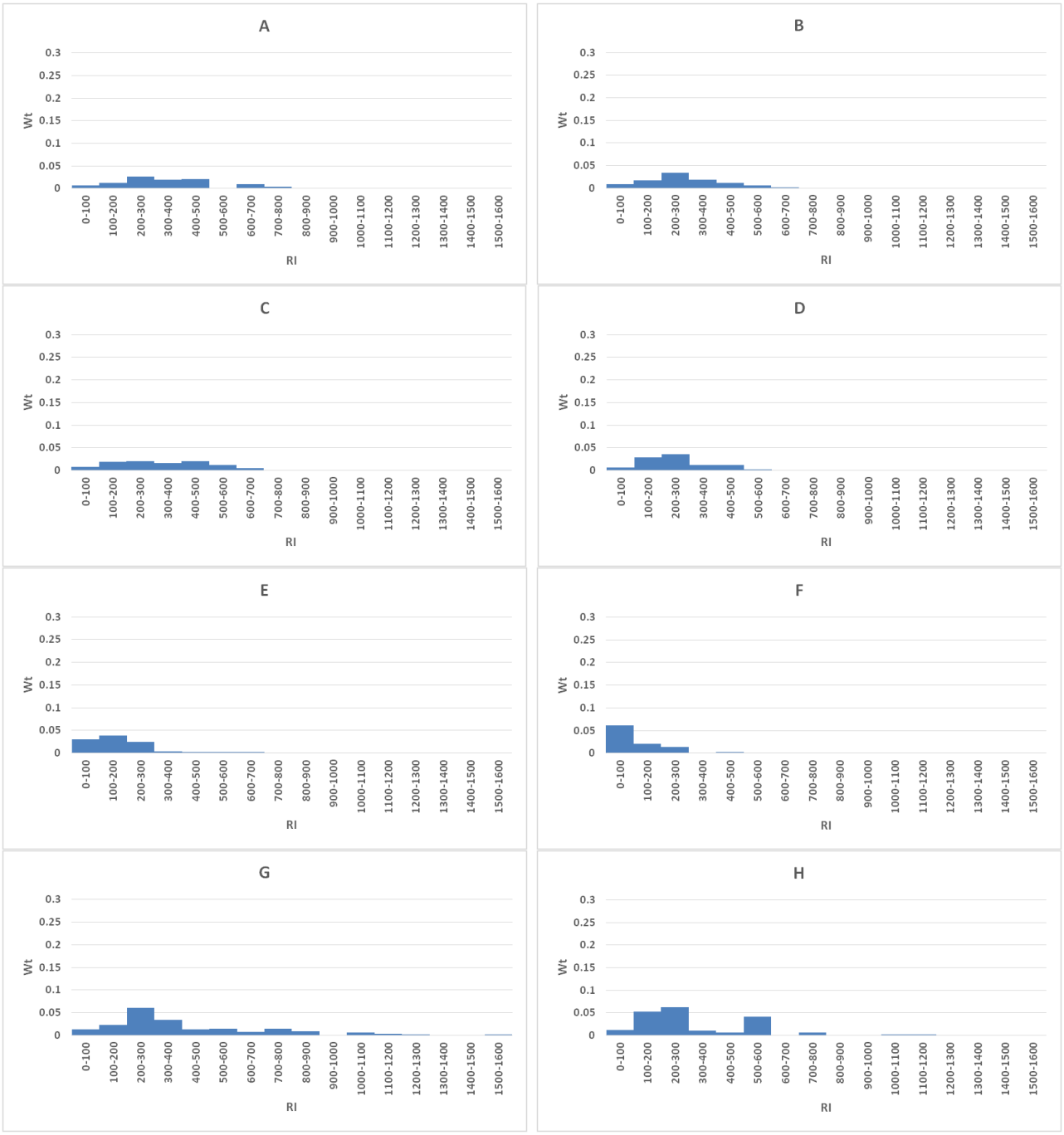


圖 4-2.8：H 事件特徵地震模式。



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

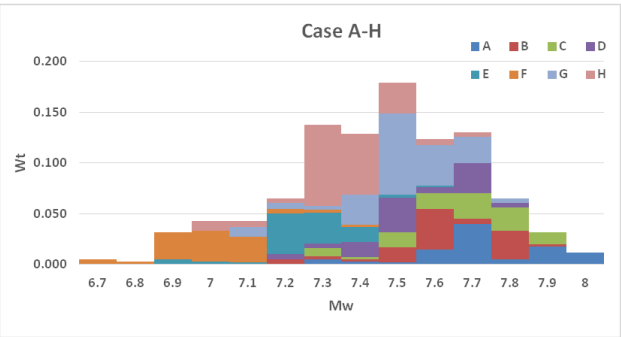
圖 4-2.9：車籠埔斷層 8 種破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖



橫軸為地震復發間隔時間，其餘以此類推，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

圖 4-2.10：車籠埔斷層 8 種破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖

（a）



（b）

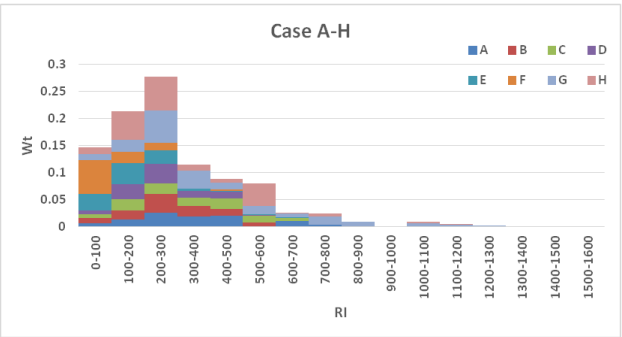


圖 4-2.11：（a）車籠埔斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）車籠埔斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖

4-3 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之再現週期後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算車籠埔斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，車籠埔斷層最後一次發生時間為西元 1999 年，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

表 4-3.1 為車籠埔斷層 BPT 模式評估之結果，以西元 2016 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.7~8.0 之機率為 5.9%、11.5%及 26.3%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.0 以上之機率為 4.1%、9.0%及 22.9%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.5 以上之機率為 0.10%、0.62%及 4.80%。

表 4-3.1：車籠埔斷層發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.7 ~ 8.0	5.9%	11.5%	26.3%
M ≧ 7.0	4.1%	9.0%	22.9%
M ≧ 7.5	0.10%	0.62%	4.80%

第五章、大茅埔-雙冬斷層潛勢評估

5-1 邏輯樹更新

前階段在評估大茅埔-雙冬斷層之破裂，主要分為 A 整段破裂、B 大茅埔斷層及 C 雙冬斷層。本計畫認為大茅埔斷層單獨破裂引發之地震規模太小，因此不考慮大茅埔斷層單獨破裂，只考慮整段破裂及雙冬斷層破裂之情形，如圖 5-1.1 所示。

大茅埔-雙冬斷之傾角及破裂深度，根據 2-1-1 節之幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 a. 0~5 公里，45 度，5~12 公里，15 度(權重 0.2) ；b. 0~5 公里，50 度，5~10 公里，18 度(權重 0.5)； c. 0~9.5 公里，40 度，9.5~15 公里，20 度(權重 0.3)，詳圖 2-1.2 所示。

參考「斷層模型反演計畫」DEFNODE 塊體模型分析結果，大茅埔-雙冬斷層平均滑移速率為 3.3 mm/yr，滑移虧損率為 3.2 mm/yr (表 2-4.1)；參考「斷層模型反演計畫」三組基線應變反演模型分析結果，大茅埔-雙冬斷層平均滑移速率為 5.63~7.35 mm/yr (表 2-4.2)，將邏輯樹滑移速率數值設定為 3.3 mm/yr (權重 0.25)、3.2 mm/yr (權重 0.25) 、5.63 mm/yr(權重 0.25)、7.35 mm/yr(權重 0.25)。

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 5-1.1 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。

大茅埔-雙冬斷層斷層各節點權重的分配詳如圖 5-1.2 所示。

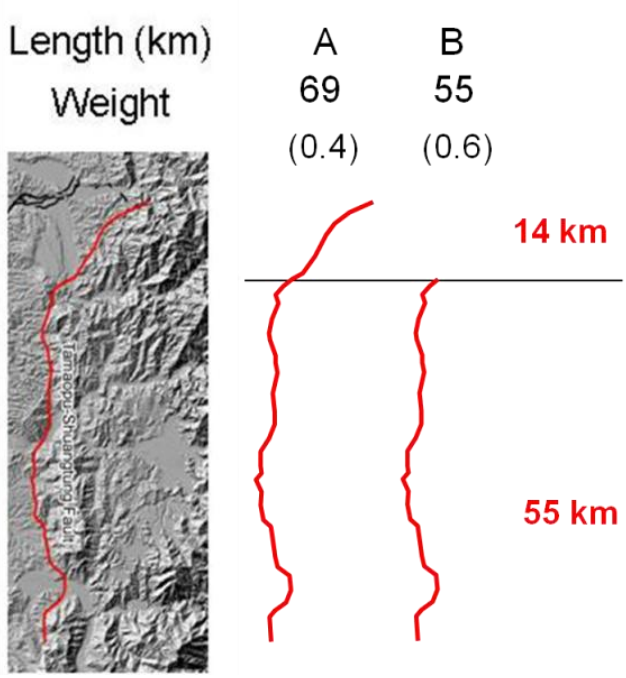
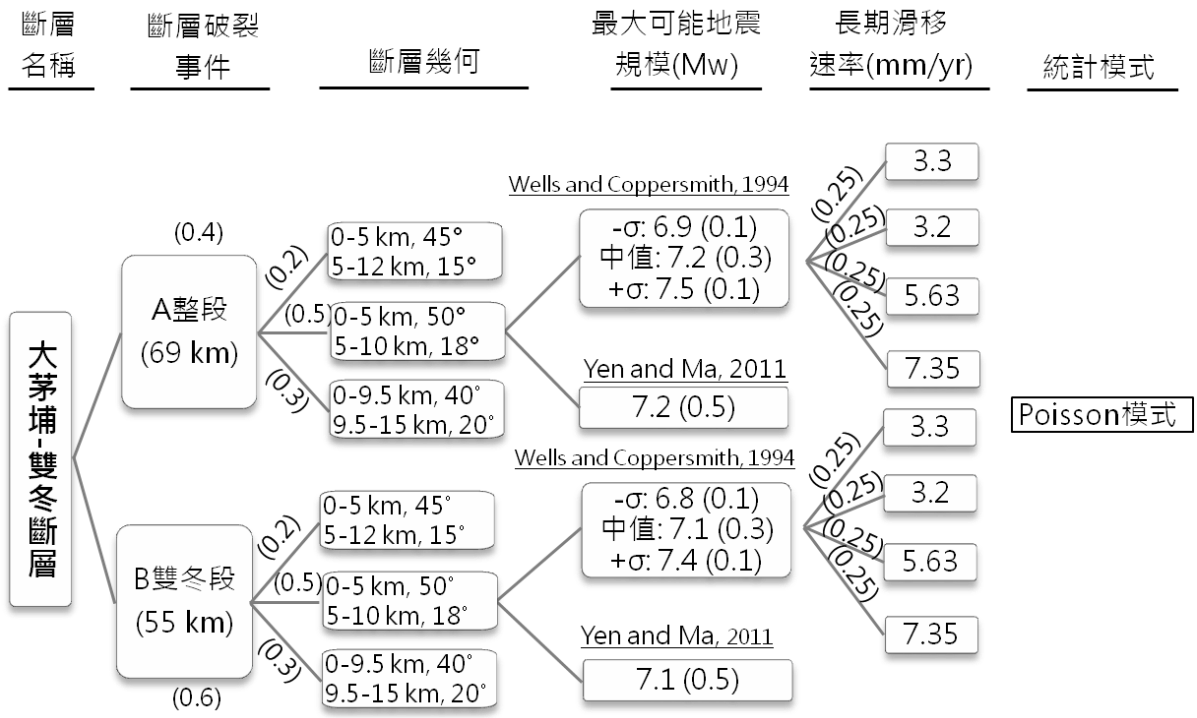


圖 5-1.1：本計畫大茅埔-雙冬斷層兩種可能破裂長度之模式與權重

表 5-1.1：大茅埔-雙冬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	69	0-5 km, 50° 5-10 km, 18°	22.7	1566	6.9	7.2	7.5	7.2
B	55	0-5 km, 50° 5-10 km, 18°	22.7	1249	6.8	7.1	7.4	7.1
權重					0.1	0.3	0.1	0.5



(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)

圖 5-1.2：大茅埔-雙冬斷層更新邏輯樹

5-2 規模與年發生率之關係

大茅埔-雙冬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 5-2.1~圖 5-2.2 為 2 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 5-1.2 之大茅埔-雙冬斷層邏輯樹可得到 96 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 5-2.3 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 7.3 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.3 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 5-2.4 為 2 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 5-2.5（a）之大茅埔-雙冬斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 5-2.5（b）之大茅埔-雙冬斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

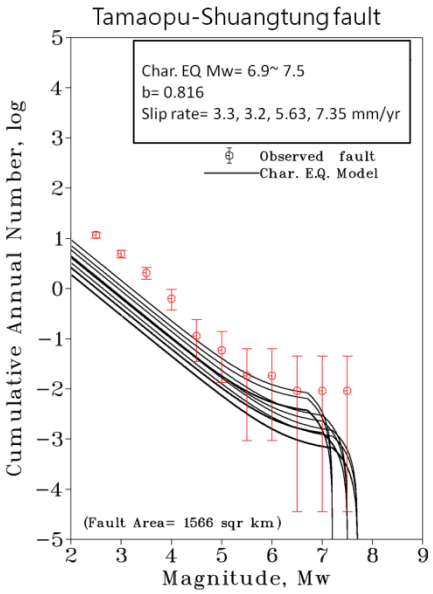


圖 5-2.1：A 事件特徵地震模式。

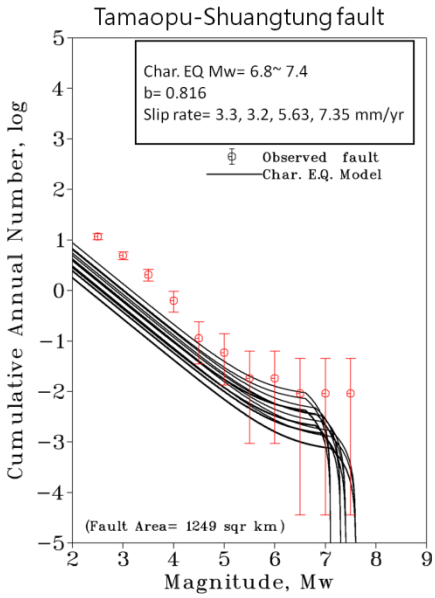
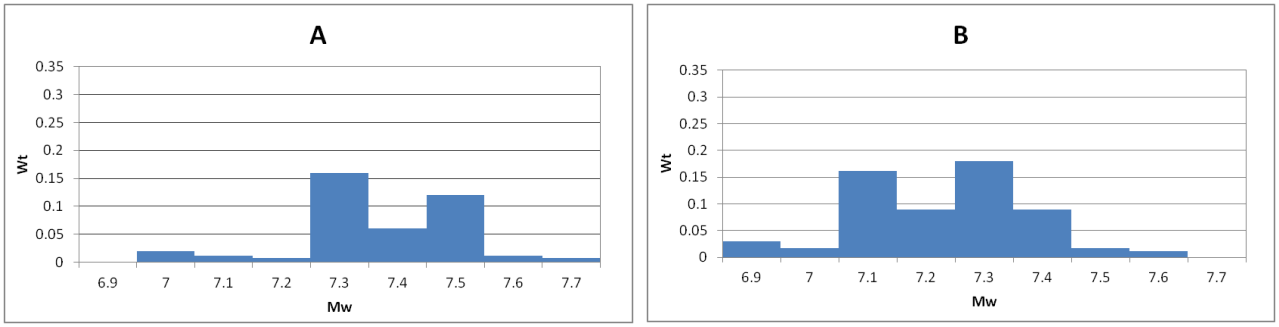
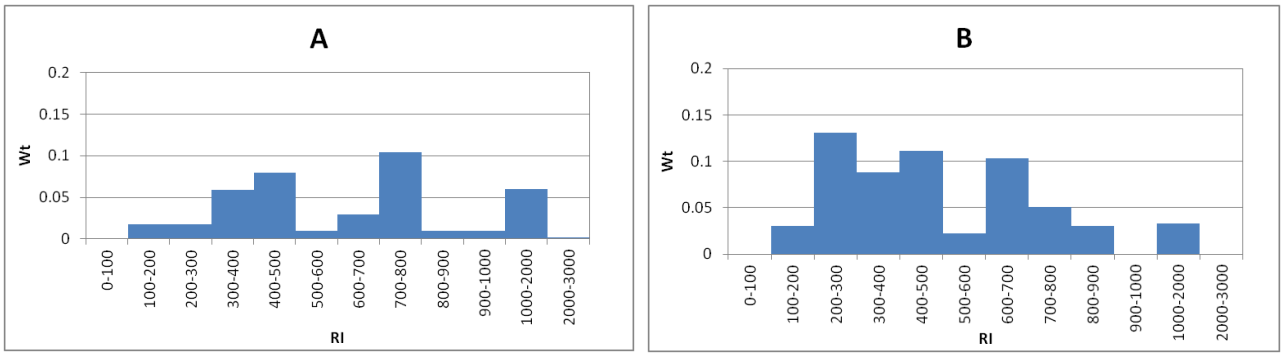


圖 5-2.2：B 事件特徵地震模式。



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 5-2.3：大茅埔-雙冬斷層 2 種破裂事件之規模-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

圖 5-2.4：大茅埔-雙冬斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖

（a）　　（b）

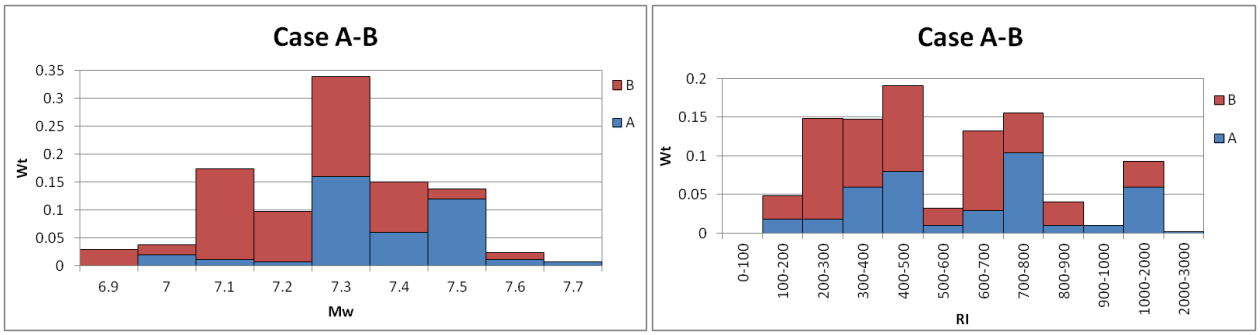


圖 5-2.5：（a）大茅埔-雙冬斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）大茅埔-雙冬斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖

5-3 發震機率之推估

在獲得各事件之再現週期後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算大茅埔-雙冬斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，大茅埔-雙冬斷層最後一次發生時間為未知，雖然西元 1999 年 921 集集地震時在地表有觀察到地表破裂，但斷層並未達到特徵地震規模之程度，因此本計畫採用 Poisson 模式進行評估。表 5-3.1 為大茅埔-雙冬斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2016 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.9~7.7 之機率為 6.9%、11.2%及 20.7%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.0 以上之機率為 6.4%、10.4%及 19.3%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.5 以上之機率為 0.61%、1.01%及 1.95%。

表 5-3.1：大茅埔-雙冬斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.9 ≦ M ≦7.7	6.9%	11.2%	20.7%
M ≧ 7.0	6.4%	10.4%	19.3%
M ≧ 7.5	0.61%	1.01%	1.95%

第六章、九芎坑斷層潛勢評估

6-1 邏輯樹更新

本計畫參考前階段計畫，在評估九芎坑斷層之破裂，主要分為 A：桐樹湖斷層+九芎坑斷層、B：九芎坑斷層兩種破裂模式，桐樹湖斷層和九芎坑斷層分布關係如圖 6-1.1 所示，權重設定為 A（0.4）、B（0.6）。

九芎坑斷層不確定性的部份為斷層傾角、斷層深度、斷層滑移速率及特徵地震規模，九芎坑斷層之傾角及破裂深度，根據 2-1-1 節之幾何更新結果，加入基底滑脫面，斷層幾何考慮三種情形，分別為 a. 0~4 公里，27.5 度，4~6 公里，8.5 度(權重 0.2) ；b. 0~7 公里，25 度，7~8 公里，6.5 度(權重 0.4)； c. 0~8 公里，30 度，8~10 公里，8.5 度(有地震深度分布及震源機制解作控制，權重 0.4)，詳圖 2-1.4 所示。

滑移速率根據表 6-1.1 所蒐集到之資料，本計畫設定為 1.5 mm/yr (0.4)，0.55 mm/yr (0.4)，0.28 mm/yr (0.2)來評估。其中 0.28 mm/yr 之值，Lin et al. (2007)認為是九芎坑斷層帶中之分支斷層滑移速率，僅能代表其下限值，因此本計畫給予較低之權重。

各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，如表 6-1.2 所示。

九芎坑斷層各節點權重的分配詳如表 6-1.2 所示。

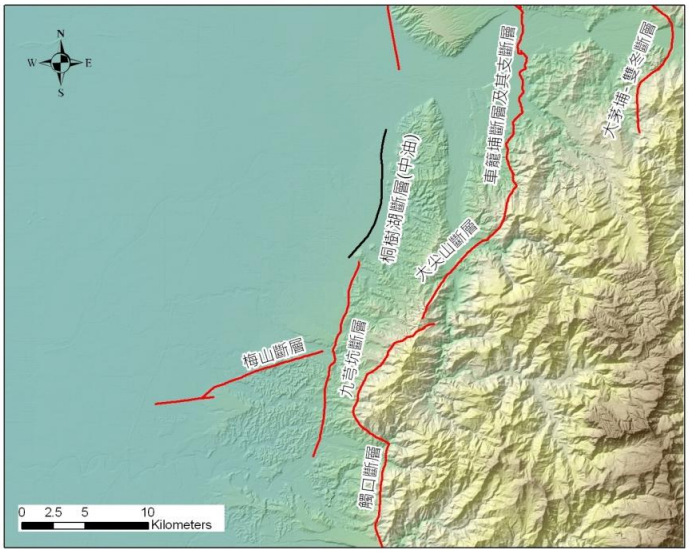


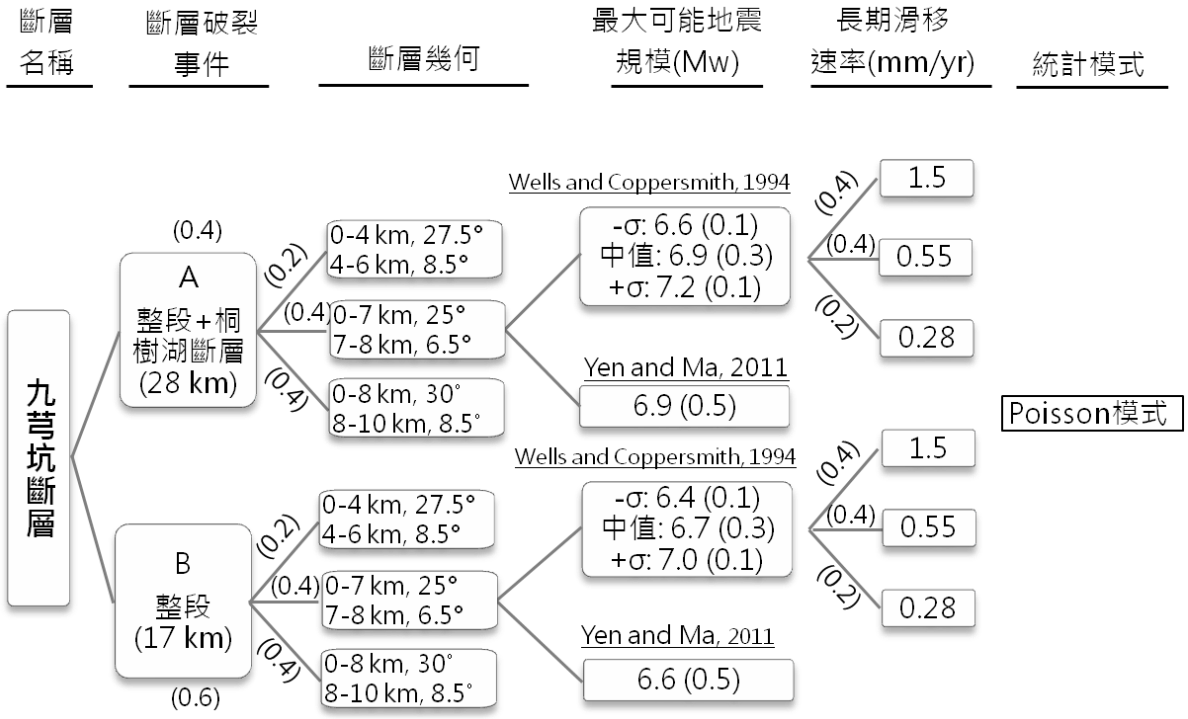
圖 6-1.1：桐樹湖斷層和九芎坑斷層之分布關係

表 6-1.1：九芎坑斷層長期滑移速率彙整。

參考文獻	方法	滑移速率(mm/yr)
Lin et al., 2007	大湖口溪露頭位移量 4.7-9.1 公尺，碳 14 定年為 16,450 yr B.P.	以 4.7-9.1 公尺的範圍，除以 16,540 年會得到長期滑移速率約 0.28 -0.55 mm/yr
Chen et al., 2009	上盤處的華山橋發現古沖積扇露頭，光螢光定年結果顯示古沖積扇年代為 80 ka；而位在下盤的岩心資料顯示，相同年代的地層在下盤的地下深度平均約 44.8 公尺	假設斷層傾角為 25 度，可得到沿斷層面的滑移量為 117 公尺，長期滑移速率約 1.5 mm/yr

表 6-1.2：九芎坑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	28	0-7 km, 25° 7-8 km, 6.5°	25.4	711	6.6	6.9	7.2	6.9
B	17	0-7 km, 25° 7-8 km, 6.5°	25.4	432	6.4	6.7	7.0	6.6
權重					0.1	0.3	0.1	0.5



(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)

圖 6-1.2：九芎坑斷層更新邏輯樹

6-2 規模與年發生率之關係

九芎坑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 6-2.1~圖 6-2.2 為 2 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 6-1.2 之九芎坑斷層邏輯樹可得到 72 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 6-2.3 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 6.8 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 6-2.4 為 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

將 2 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 6-2.5（a）之九芎坑斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 6-2.5（b）之九芎坑斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

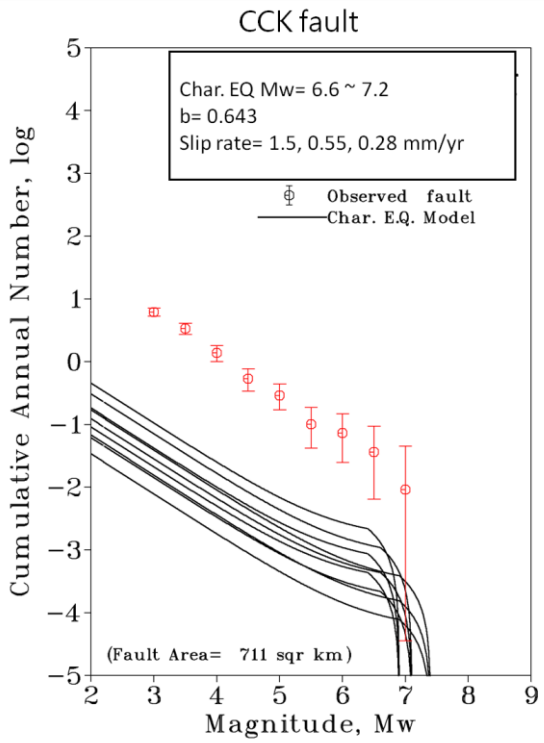


圖 6-2.1：A 事件特徵地震模式。

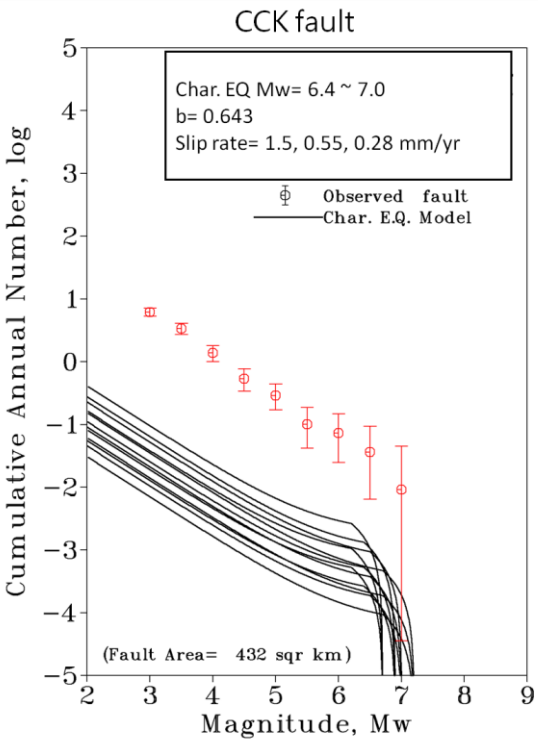
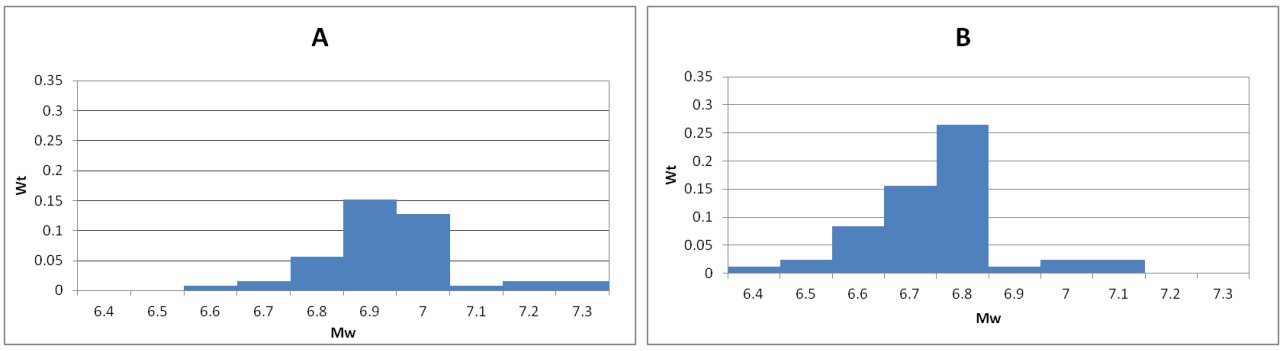
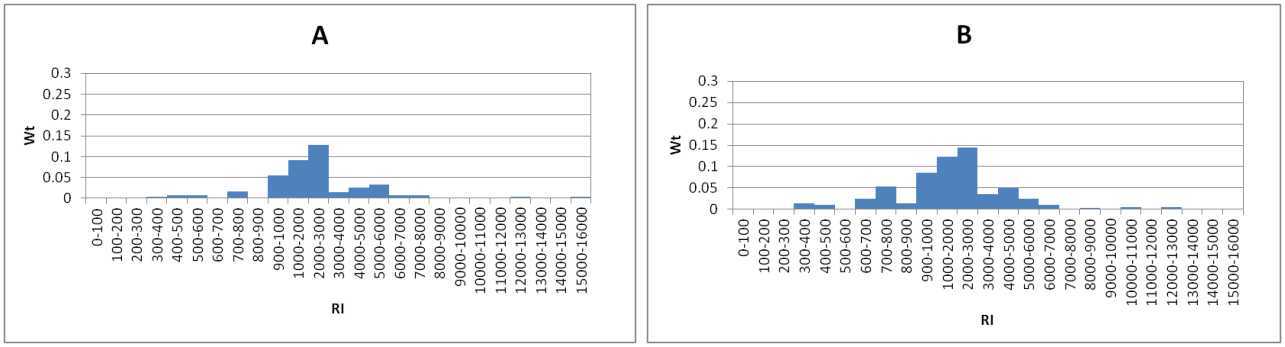


圖 6-2.2：B 事件特徵地震模式。



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

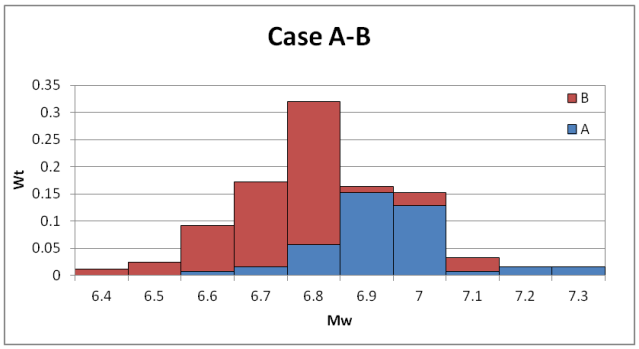
圖 6-2.3：九芎坑斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖



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

圖 6-2.4：九芎坑斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖

（a）



（b）

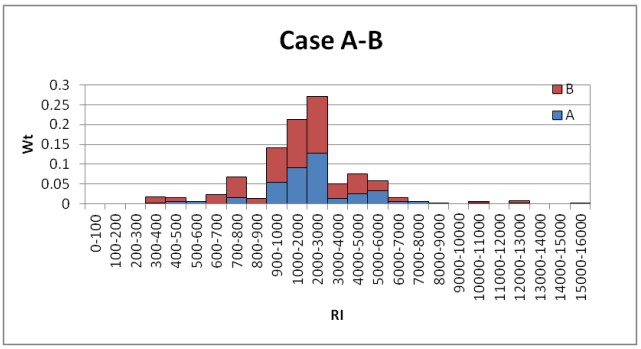


圖 6-2.5：（a）九芎坑斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）九芎坑斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖

6-3 發震機率之推估

在獲得各事件之再現週期後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算九芎坑斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，九芎坑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 6-3.1 為九芎坑斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2016 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.4~7.3 之機率為 2.1%、3.5%及 6.8%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 1.9%、3.2%及 6.3%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.0 以上之機率為 0.0%、0.1%及 0.1%。

表 6-3.1：九芎坑斷層發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（M_W）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.4 ≦ M ≦7.3	2.1%	3.5%	6.8%
M ≧ 6.5	1.9%	3.2%	6.3%
M ≧ 7.0	0.0%	0.1%	0.1%

第七章、梅山斷層潛勢評估

7-1 邏輯樹更新

前階段計畫在評估梅山斷層之破裂，是以長度不確定性來區分破裂模式，如圖 7-1.1 所示為梅山斷層四種破裂模式，權重設定為 A（0.5）、B（0.2）、C（0.2）、D（0.1）。

梅山斷層之不確定性的部份為斷層傾角、斷層深度、斷層滑移速率及特徵地震規模，梅山斷層之傾角及破裂深度，根據 2-1-1 節之幾何更新結果，僅調整傾角中間值由 75 度變為 80 度，深度則保持與前階段計畫一致，斷層幾何考慮三種情形，分別為 a. 0~10 公里，85 度 (權重 0.3) ；b. 0~12.5 公里，80 度 (權重 0.4)； c. 0~15 公里，75 度 (權重 0.3)，詳圖 2-1.8 所示。

參考「斷層模型反演計畫」DEFNODE 塊體模型分析結果，梅山斷層平均滑移速率為 9.6 mm/yr，滑移虧損率為 3.5 mm/yr(表 2-4.1)；參考「斷層模型反演計畫」三組基線應變反演模型分析結果，梅山斷層平均滑移速率為 5.22~6.68 mm/yr(表 2-4.2)，將邏輯樹滑移速率數值設定為 9.6 mm/yr (權重 0.25)、3.5 mm/yr (權重 0.25) 、5.22 mm/yr(權重 0.25)、6.68 mm/yr(權重 0.25)。

各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，如表 7-1.1 所示。

梅山斷層各節點權重的分配詳如圖 7-1.2 所示。

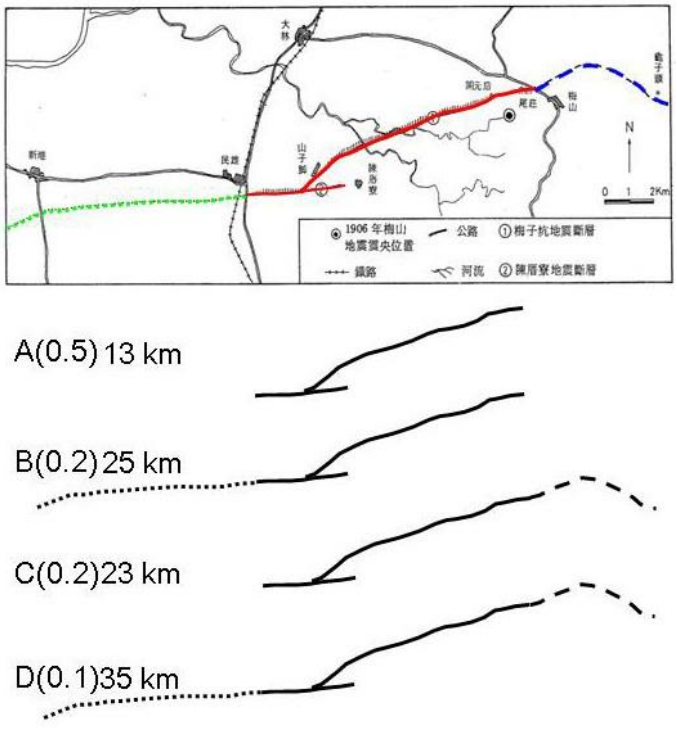
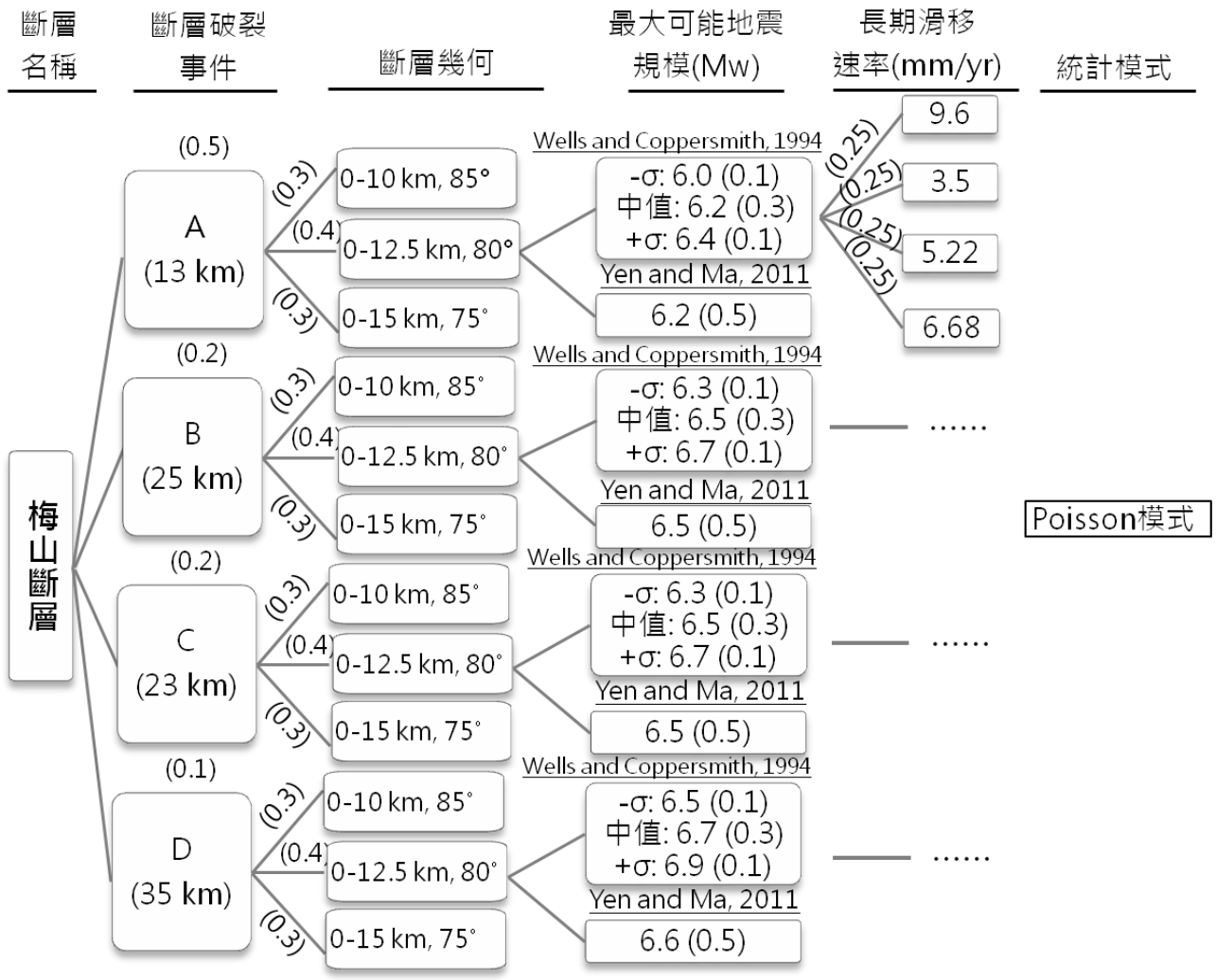


圖 7-1.1：梅山斷層四種可能破裂長度之模式。

表 7-1.1：梅山斷層各破裂事件規模及權重。

破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	寬度 (km)	傾角 (度)	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	13	12.5	12.7	80	165	6.0	6.2	6.4	6.2
B	25	12.5	12.7	80	317	6.3	6.5	6.7	6.5
C	23	12.5	12.7	80	292	6.3	6.5	6.7	6.5
D	35	12.5	12.7	80	444	6.5	6.7	6.9	6.6
權重						0.1	0.3	0.1	0.5



(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)

圖 7-1.2：梅山斷層更新邏輯樹

7-2 規模與年發生率之關係

梅山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 7-2.1~圖 7-2.4 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 7-1.2 之梅山斷層邏輯樹可得到 192 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 7-2.5 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 6.3 之權重最高；破裂模式 B 以

規模 6.6 之權重最高；破裂模式 C 以規模 6.5 之權重最高；破裂模式 D 以規模 6.7 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 7-2.6 為 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖，4 種破裂模式在地震復發間隔時間 100 年~200 年間有較高之權重。

將四種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 7-2.7（a）之梅山斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 7-2.7（b）之梅山斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

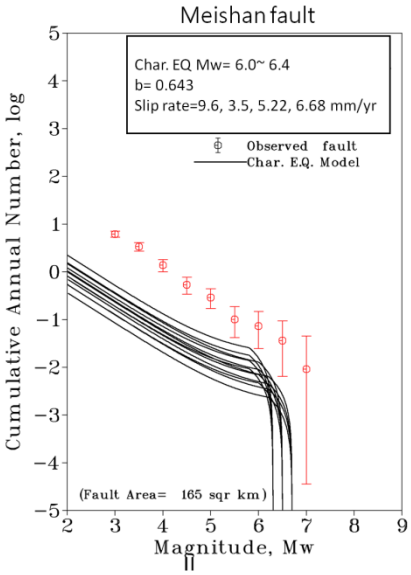


圖 7-2.1：A 事件特徵地震模式。

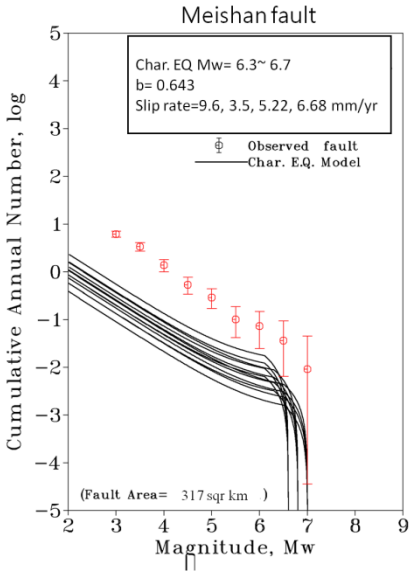


圖 7-2.2：B 事件特徵地震模式。

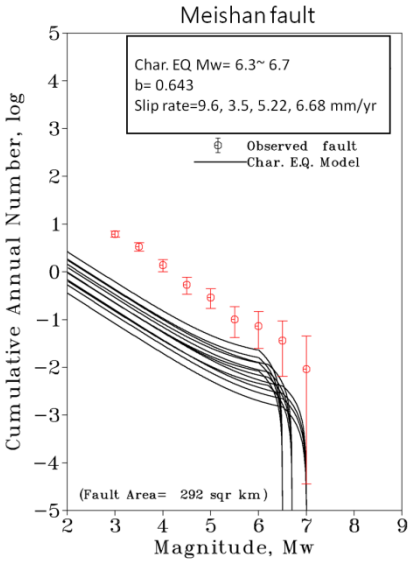


圖 7-2.3：C 事件特徵地震模式。

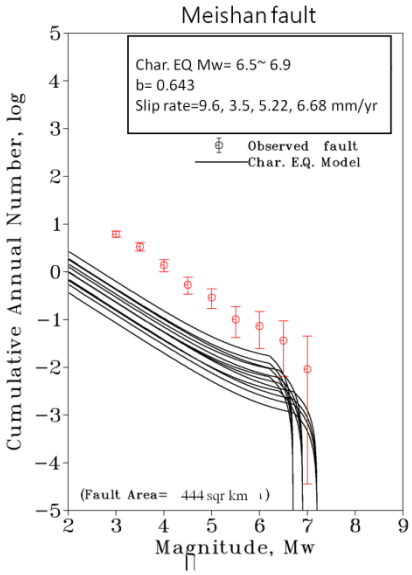
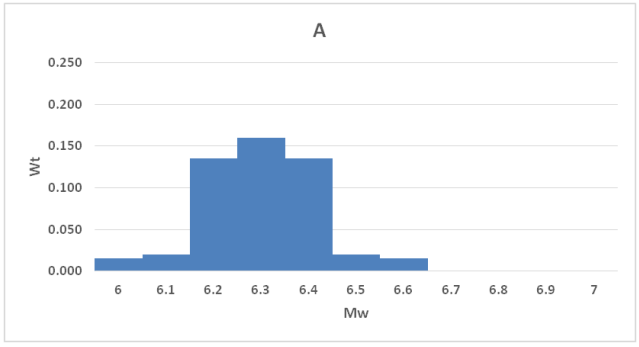
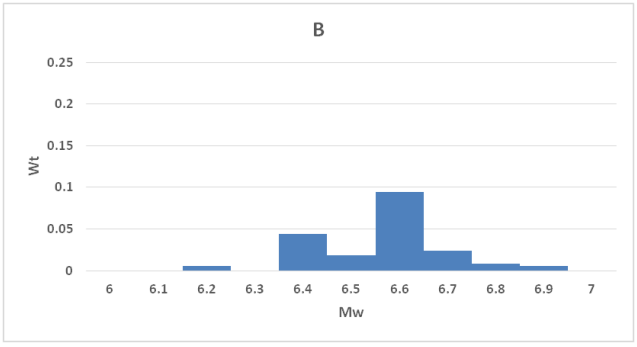
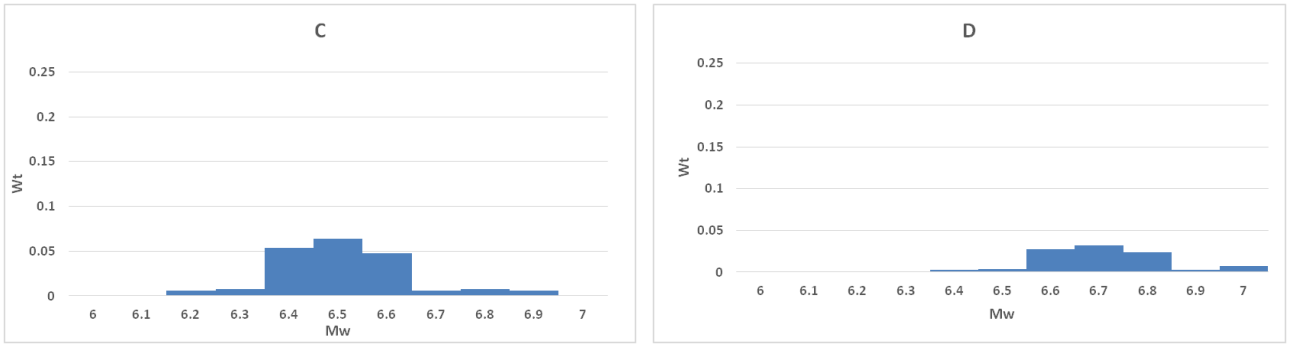


圖 7-2.4：D 事件特徵地震模式。

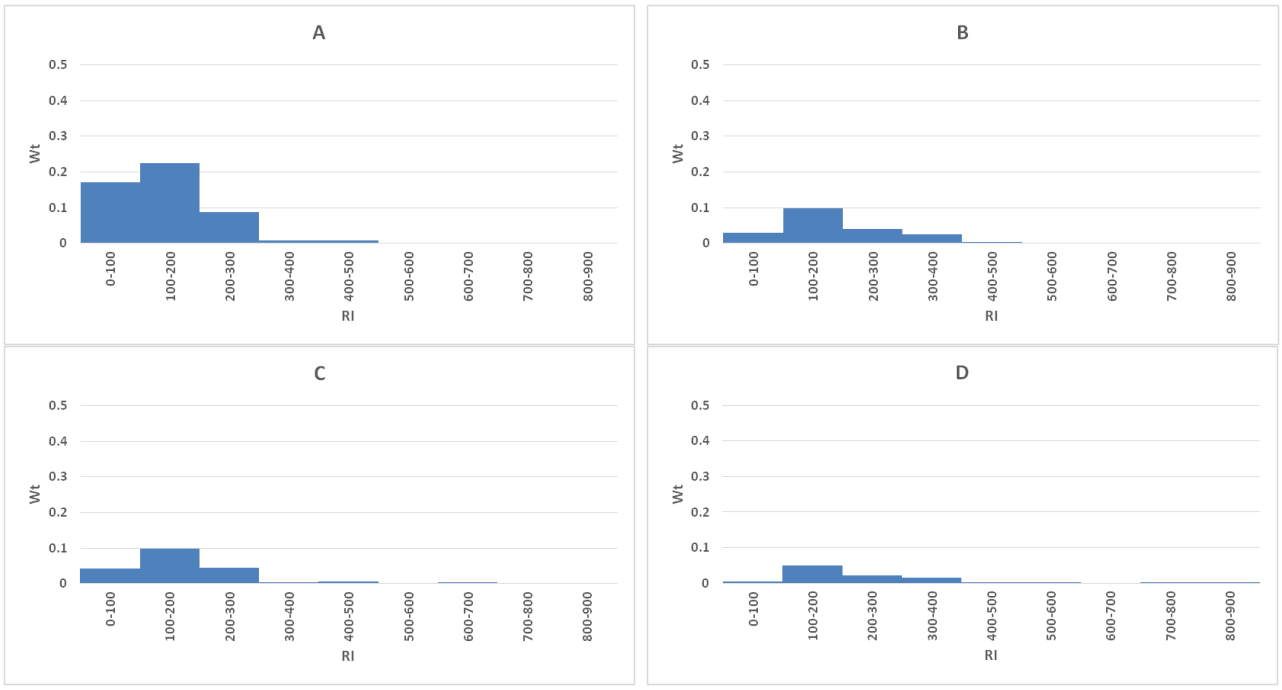






橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和

圖 7-2.5：梅山斷層 4 種破裂事件之規模-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

圖 7-2.6：梅山斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖

（a）　　（b）

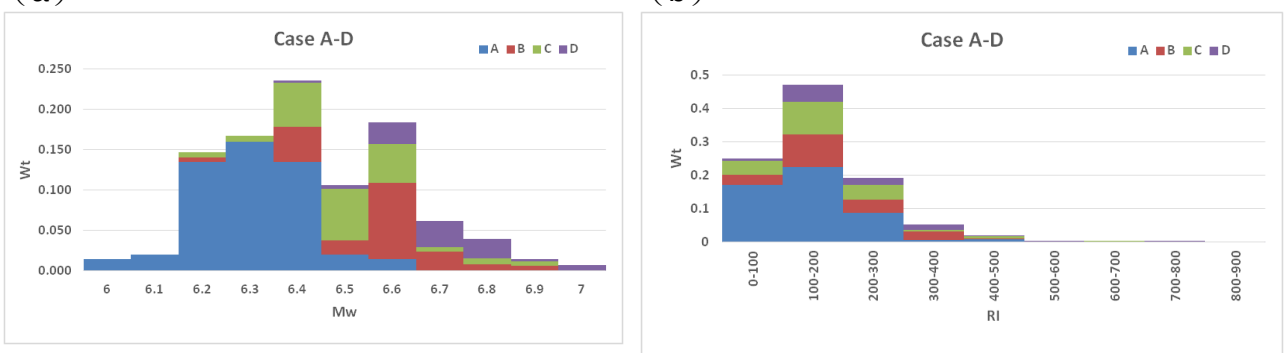


圖 7-2.7：（a）梅山斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）梅山斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

7-3 發震機率之推估

在獲得邏輯樹分支之再現週期後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算梅山斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，梅山斷層最後一次發生時間為西元 1906 年，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

表 7-3.1 為梅山斷層 BPT 模式評估之結果，以西元 2016 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.0~7.0 之機率為 32.5%、46.7%及 68.8%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 9.2%、14.1%及 23.0%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.0 以上之機率為 0.0%、0.0%及 0.1%。

表 7-3.1：梅山斷層發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.0~7.0	32.5%	46.7%	68.8%
M ≧ 6.5	9.2%	14.1%	23.0%
M ≧ 7.0	0.0%	0.0%	0.1%

第八章、觸口斷層潛勢評估

8-1 邏輯樹更新

前階段計畫在評估觸口斷層之破裂，主要分為 A：觸口斷層（28 公里）、B：大尖山斷層南段+觸口斷層（14+28=42 公里）、C：觸口斷層+崙後斷層（28+30=58 公里）、D：大尖山斷層南段+觸口斷層+崙後斷層（14+28+30=72 公里）四種破裂模式，斷層分布關係及破裂模式示意如圖 8-1.1 所示，權重設定為 A（0.5）、B（0.2）、C（0.2）、D（0.1）。

觸口斷層不確定性的部份為斷層傾角、斷層深度、斷層滑移速率及特徵地震規模，觸口斷層之傾角及破裂深度，根據 2-1-1 節之幾何更新結果，加入基底滑脫面，斷層幾何考慮三種情形，分別為 a. 0~7 公里，45 度，7~8 公里，5 度(權重 0.3) ；b. 0~9 公里，40 度，9~10 公里，5 度(權重 0.4)； c. 0~11 公里，35 度，11~12 公里，5 度(權重 0.3)，詳圖 2-1.6 所示。

參考「斷層模型反演計畫」DEFNODE 塊體模型分析結果，觸口斷層平均滑移速率為 11.9 mm/yr，滑移虧損率為 7.8 mm/yr(表 2-4.1)；參考「斷層模型反演計畫」三組基線應變反演模型分析結果，觸口斷層平均滑移速率為 4.46~10.51 mm/yr(表 2-4.2)，將邏輯樹滑移速率數值設定為 11.9 mm/yr (權重 0.25)、7.8 mm/yr (權重 0.25) 、4.46 mm/yr(權重 0.25)、10.51 mm/yr(權重 0.25)。

各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，如表 8-1.1 所示。

觸口斷層各節點權重的分配詳如圖 8-1.2 所示。

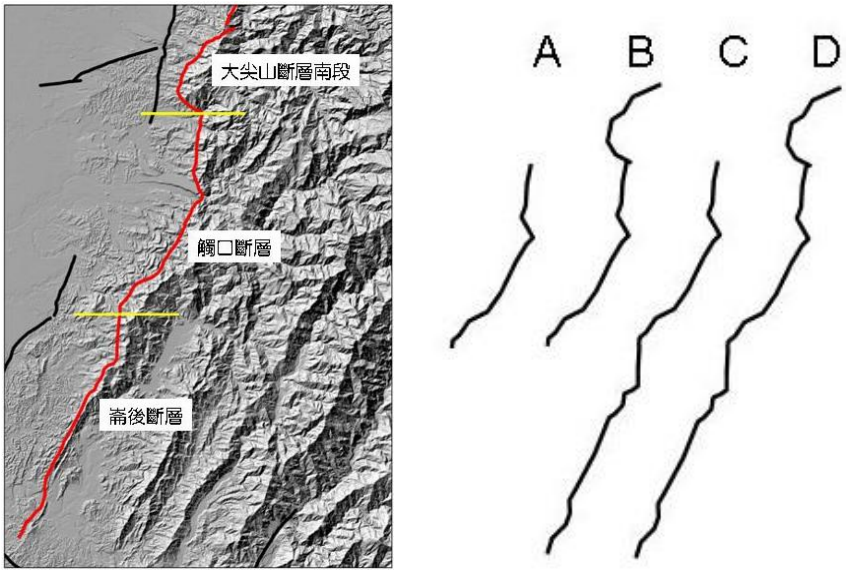
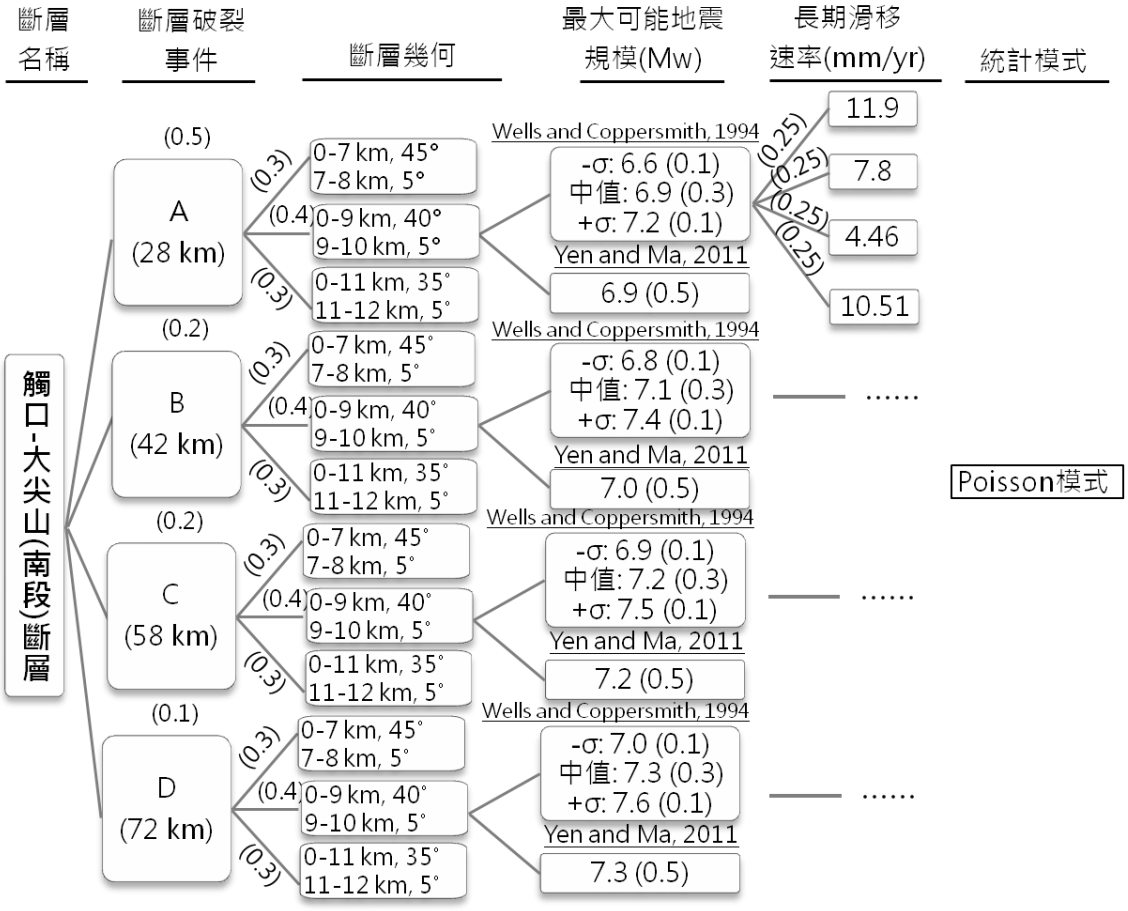


圖 8-1.1：觸口斷層各分段之分布關係及四種可能破裂之模式

表 8-1.1：觸口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	28	0-9 km, 40° 9-10 km, 5°	25.5	714	6.6	6.9	7.2	6.9
B	42	0-9 km, 40° 9-10 km, 5°	25.5	1071	6.8	7.1	7.4	7.0
C	58	0-9 km, 40° 9-10 km, 5°	25.5	1479	6.9	7.2	7.5	7.2
D	72	0-9 km, 40° 9-10 km, 5°	25.5	1836	7.0	7.3	7.6	7.3
權重					0.1	0.3	0.1	0.5



(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)

圖 8-1.2：觸口斷層更新邏輯樹

8-2 規模與年發生率之關係

觸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 8-2.1~圖 8-2.4 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 8-1.2 之觸口斷層邏輯樹可得到 192 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 8-2.5

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 7.1 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.2 之權重最高；破裂模式 D 以規模 7.4 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 8-2.6 為 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖，4 種破裂模式在地震復發間隔時間 100 年~200 年間有較高之權重。

將四種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 8-2.7（a）之觸口斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 8-2.7（b）之觸口斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

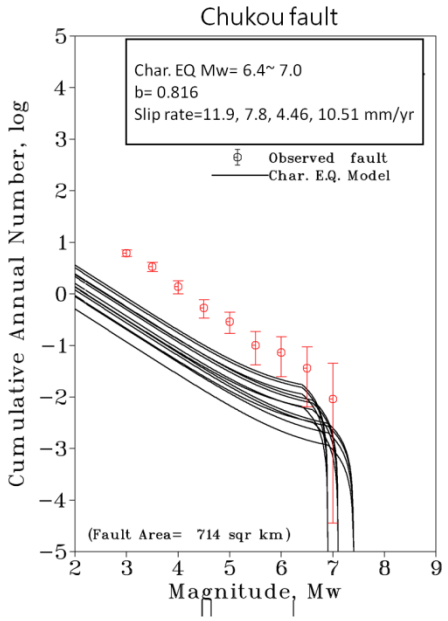


圖 8-2.1：A 事件特徵地震模式。

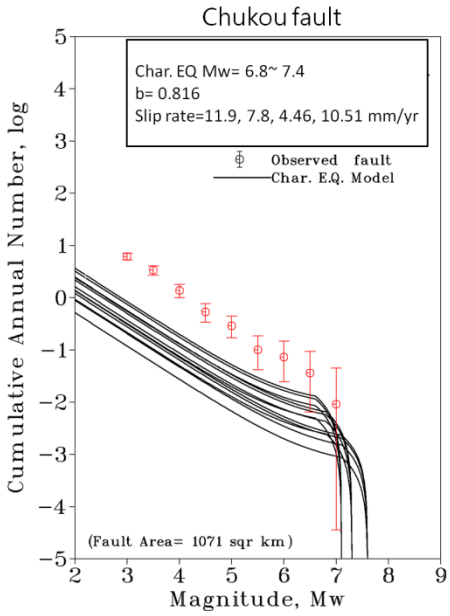


圖 8-2.2：B 事件特徵地震模式。

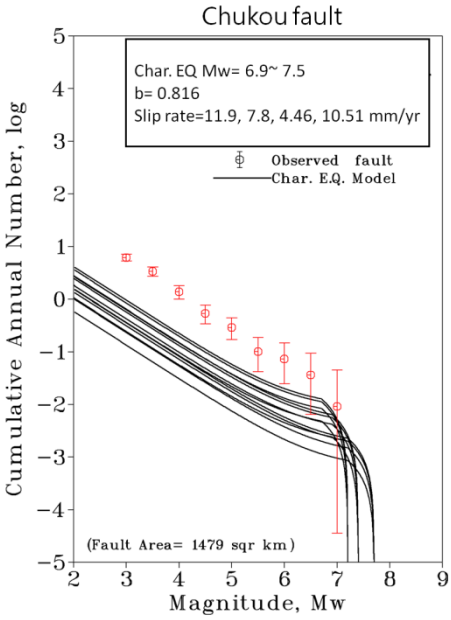


圖 8-2.3：C 事件特徵地震模式。

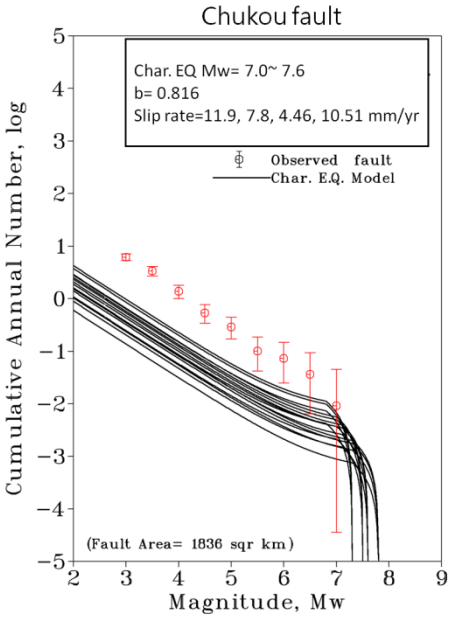
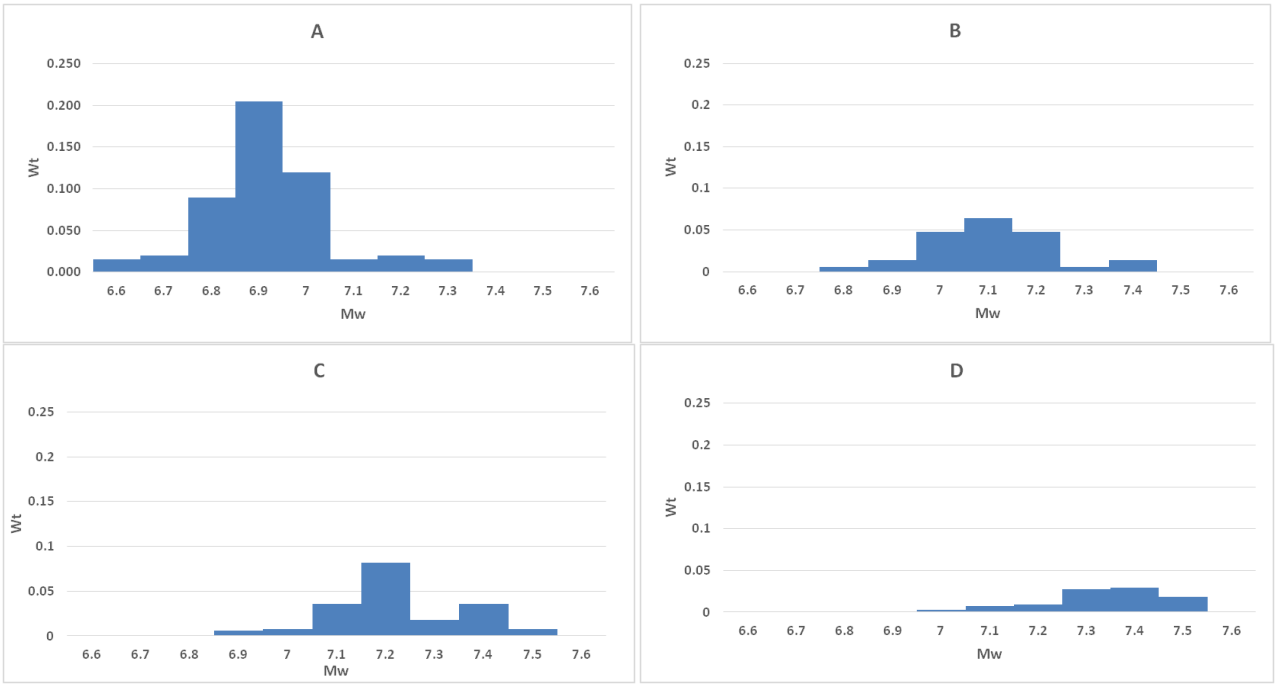
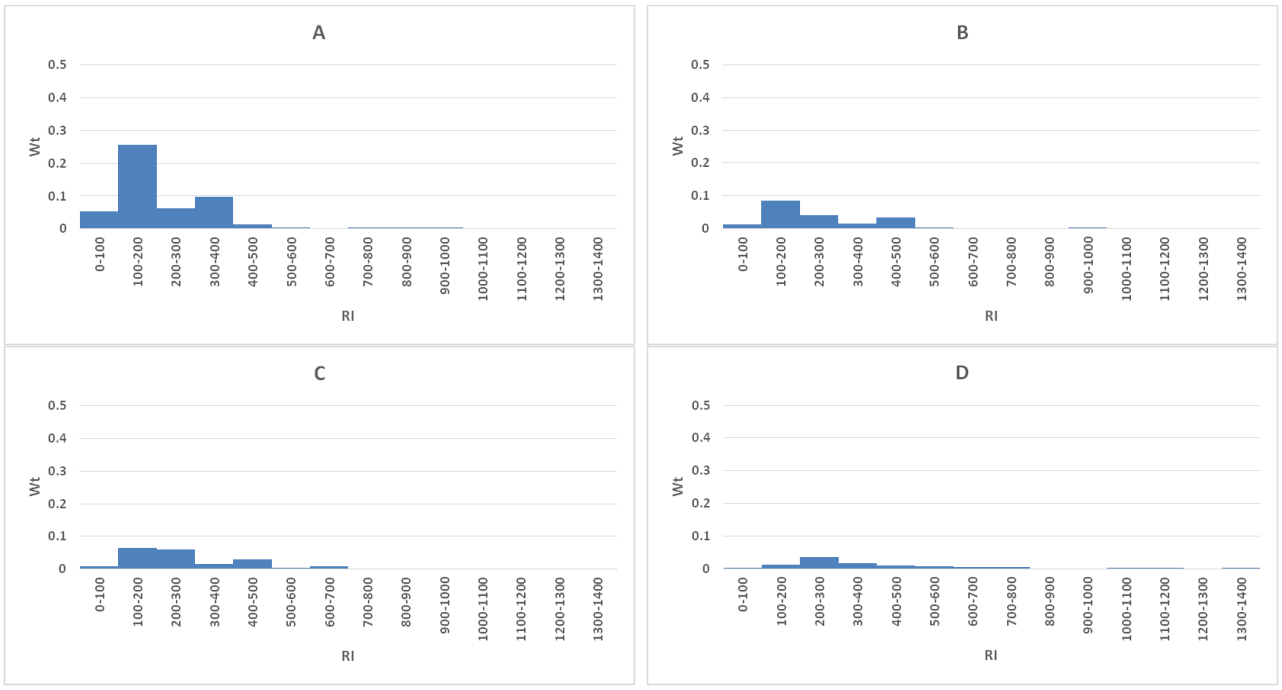


圖 8-2.4：D 事件特徵地震模式。



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

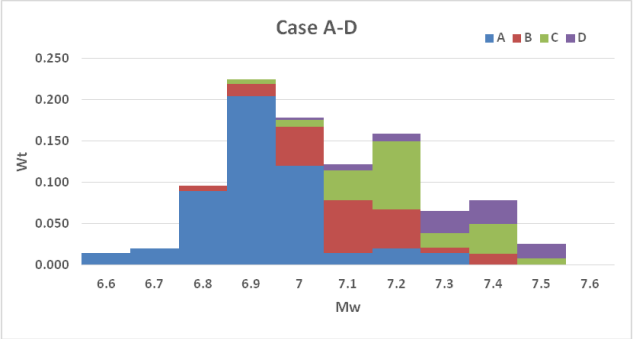
圖 8-2.5：觸口斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖



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

圖 8-2.6：觸口斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖

（a）　　（b）



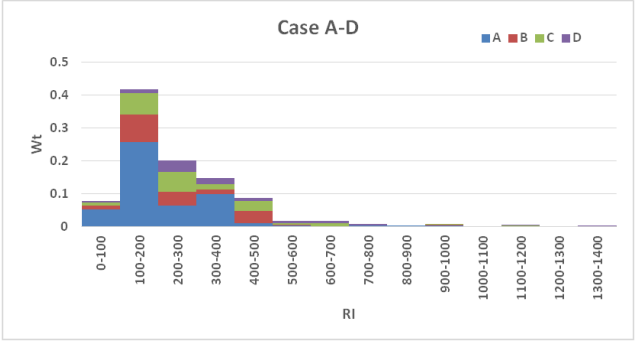


圖 8-2.7：（a）觸口斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）觸口斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖

8-3 發震機率之推估

在獲得各事件之再現週期後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算觸口斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，觸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 8-3.1 為觸口斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2016 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.6~7.6 之機率為 15.0%、23.4%及 40.1%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 15.0%、23.4%及 40.1%；發生地震矩規模 7.0 以上之機率為 7.8%、12.4%及 21.9%。

表 8-3.1：觸口斷層發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（M_W）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.6 ≦ M ≦7.6	15.0%	23.4%	40.1%
M ≧ 6.5	15.0%	23.4%	40.1%
M ≧ 7.0	7.8%	12.4%	21.9%

第九章、苗栗變形前緣之震源參數設定

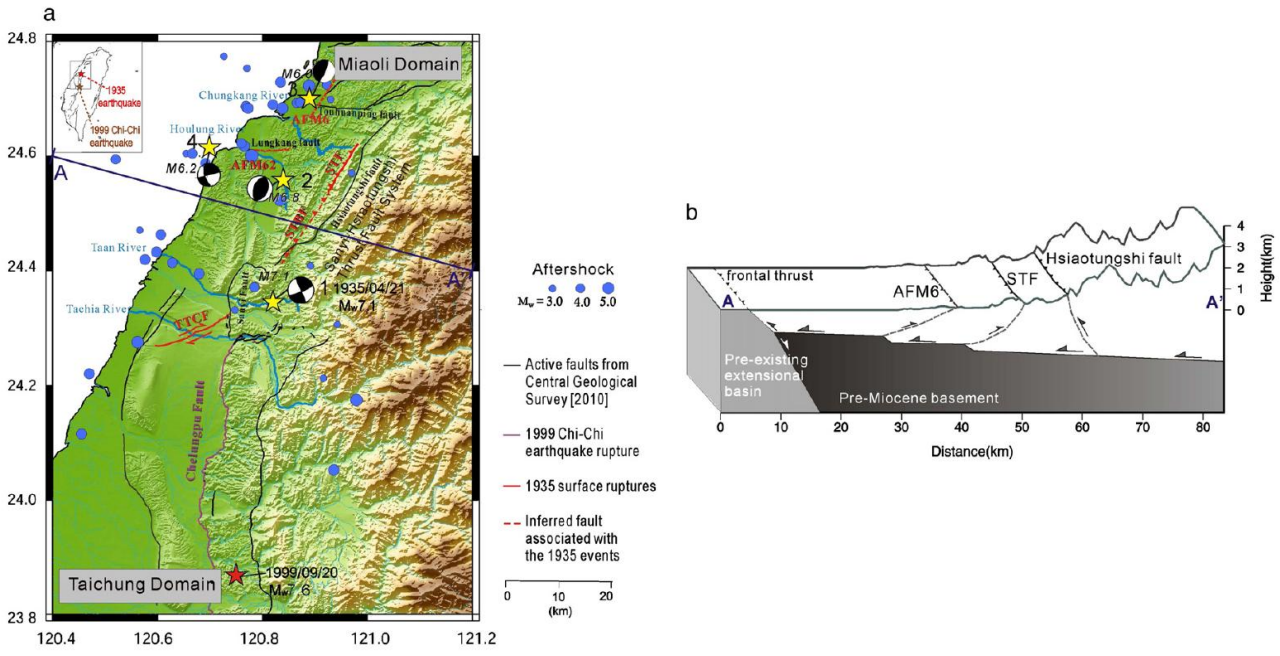
對於地調所公布的活動斷層之外的活動構造，評估其震源參數，如幾何形貌、斷層面孕震深度、滑移速率等。本章為說明苗栗變形前緣構造的震源參數設定。

9-1 斷層參數表之建立及說明

1. 斷層長度與分段：

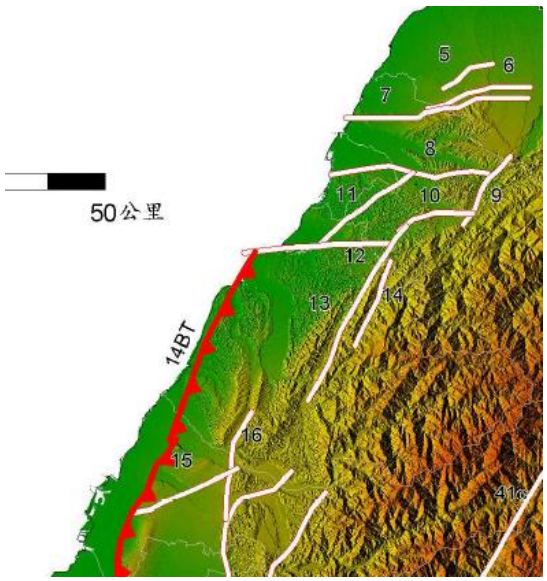
1935 年 4 月 21 日發生之新竹-臺中地震，是由規模 7.1(臺北觀測所，1936；東京帝國大學地震研究所，1936； Sheu et al., 1982； 鄭世楠，1995； Chen and Tsai, 2008； Lin et al., 2013)及規模 6.8(Sheu et al., 1982； Lin, 2005； Lin et al., 2013)的兩個主震引發(圖 9-1.1)，然而在圖 9-1.1(a)中之餘震分布(藍色實心圓)並未沿著主要地表破裂面(屯子腳斷層)分布，而是分布於屯子腳斷層北側及獅潭斷層西側之區域，推測在苗栗前緣可能有一逆衝構造的存在，Lin et al. (2013)在圖 9-1.1(b)之構造模型示意圖也描繪了苗栗前緣有逆衝構造的存在，鄭錦桐(2002)在進行臺灣地震危害度評估時，加入了苗栗盲斷層之斷層震源，長度為 37 公里，分布如圖 9-1.2 所示。Shyu et al. (2005)根據地表構造地形描繪苗栗地區活動構造線形(圖 9-1.3)，之後，Shyu et al. (2016)為建立台灣地震模型之孕震構造震源，將這些構造線形連接，命名為苗栗前緣構造，長度為 20.8 公里，傾角 30E，其分布如圖 9-1.4 所示。

本計畫評估苗栗變形前緣之破裂，考慮兩種破裂模式，(A)參考 Shyu et al. (2016)之苗栗前緣構造，長度 20.8 公里、(B)參考鄭錦桐(2002)之 苗栗盲斷層，長度 37 公里。



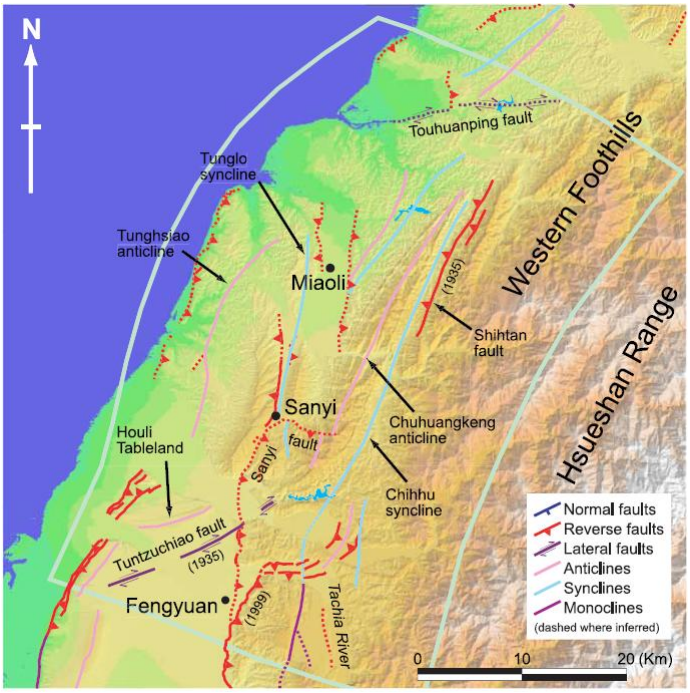
(a)其中黃色星號為當時之主震及規模 6 以上之餘震，藍色圈圈為 1935/4/21~1935/7/20 之餘震，規模範圍 3.0 ≦ M＜ 6.0，TTCF 為屯子腳斷層，STF 為獅潭斷層
(Lin et al., 2013)

圖 9-1.1：(a)1935 年地震系列主要地震分布及構造線地圖，(b)AA'剖面之構造模型示意圖



(鄭錦桐，2002)

圖 9-1.2：苗栗盲斷層(14BT)分布圖



(Shyu et al., 2005)

圖 9-1.3：苗栗地區活動構造分布圖



(Shyu et al., 2016)

圖 9-1.4：苗栗前緣構造分布圖

2. 斷層幾何形貌（傾角、深度）：

Namson(1981)根據鑽井及震測剖面資料建立了新竹-苗栗地區之地質剖面，其中與苗栗變形前緣相關之剖面分別為 2-2’及 3-3’，平面分布如圖 9-1.5 所示，圖中藍色線段為鄭錦桐(2002)苗栗盲斷層線形，紅色線段為 Shyu et al. (2016)苗栗前緣構造。Namson(1981)提到在 2-2’剖面中，PST-4 井之觀音山砂岩層於 3,475 公尺深度重複出現，應為逆斷層錯動造成，斷層傾角約為東傾 28 度到 40 度(圖 9-1.6)，斷層錯移量約 700 公尺。在 3-3’剖面中，PST-1 號井於 2,850 公尺之深度(觀音山砂岩底部)鑽遇斷層面，從 PST-1 及 PST-3 井比對，斷層傾角至少為 40 度(圖 9-1.7)。

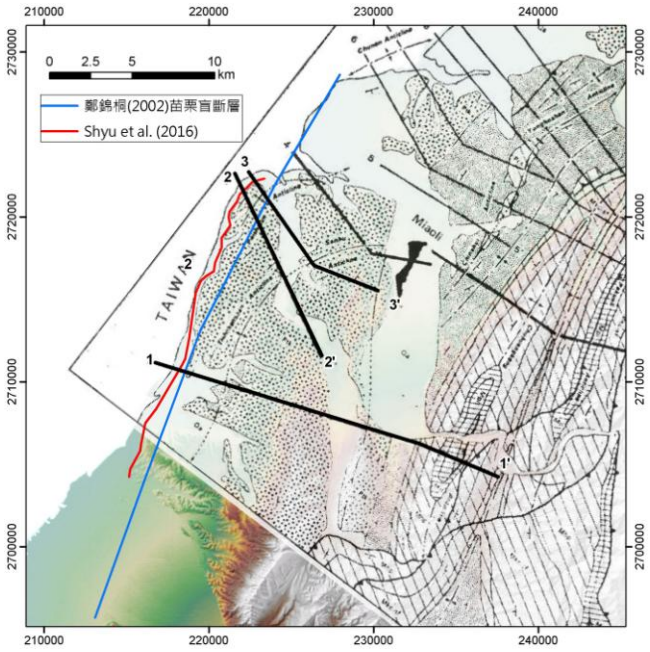
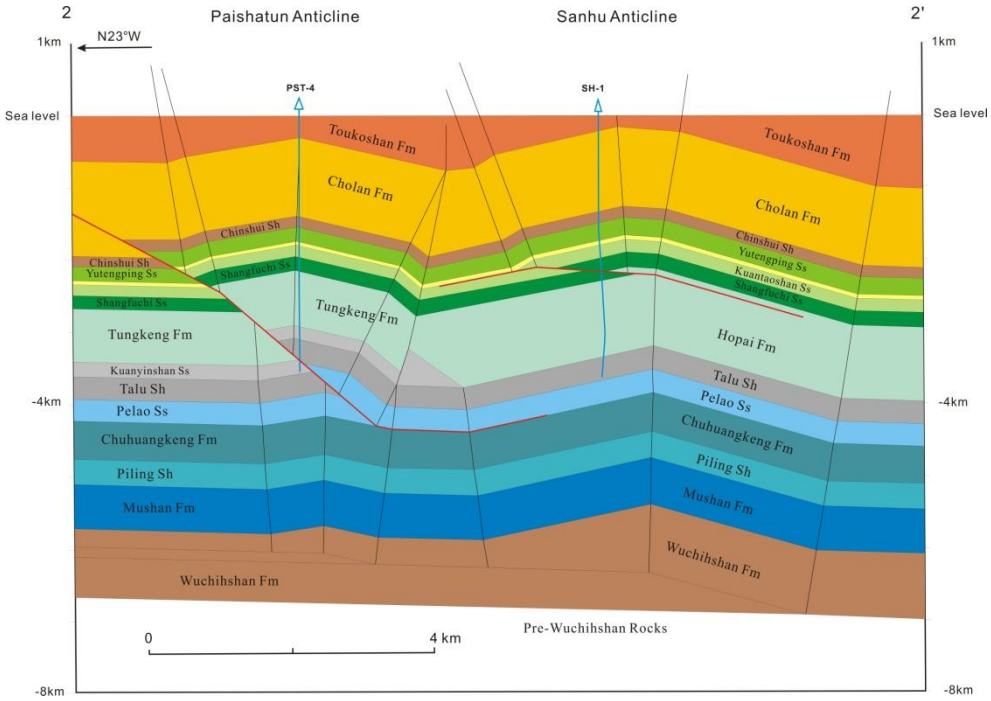
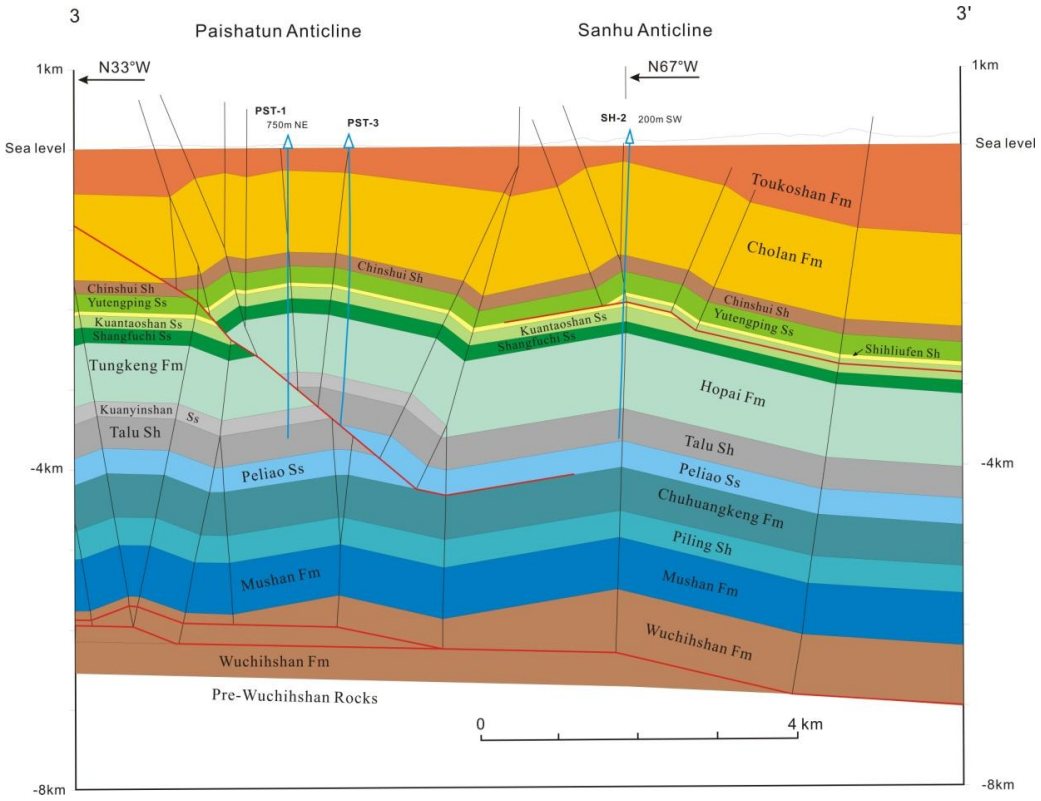


圖 9-1.5：苗栗地區地質剖面分布圖



(改繪自 Namson, 1981)

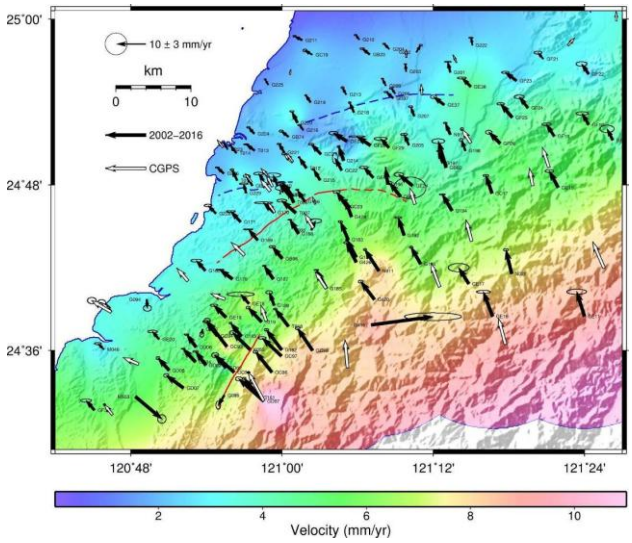
圖 9-1.6：地質構造剖面 2-2’



(改繪自 Namson, 1981)

圖 9-1.7：地質構造剖面 3-3’

3. 斷層機制：鄭錦桐(2002)在地震危害度分析參數中設定為逆移兼右移斷層，Shyu et al. (2016)設定為逆斷層，從 Namson(1981)地質剖面研判以逆衝斷層為主。
4. 短期滑移速率：圖 9-1.8 為桃竹苗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，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。苗栗變形前緣上盤水平速率約為 2~6 mm/yr。



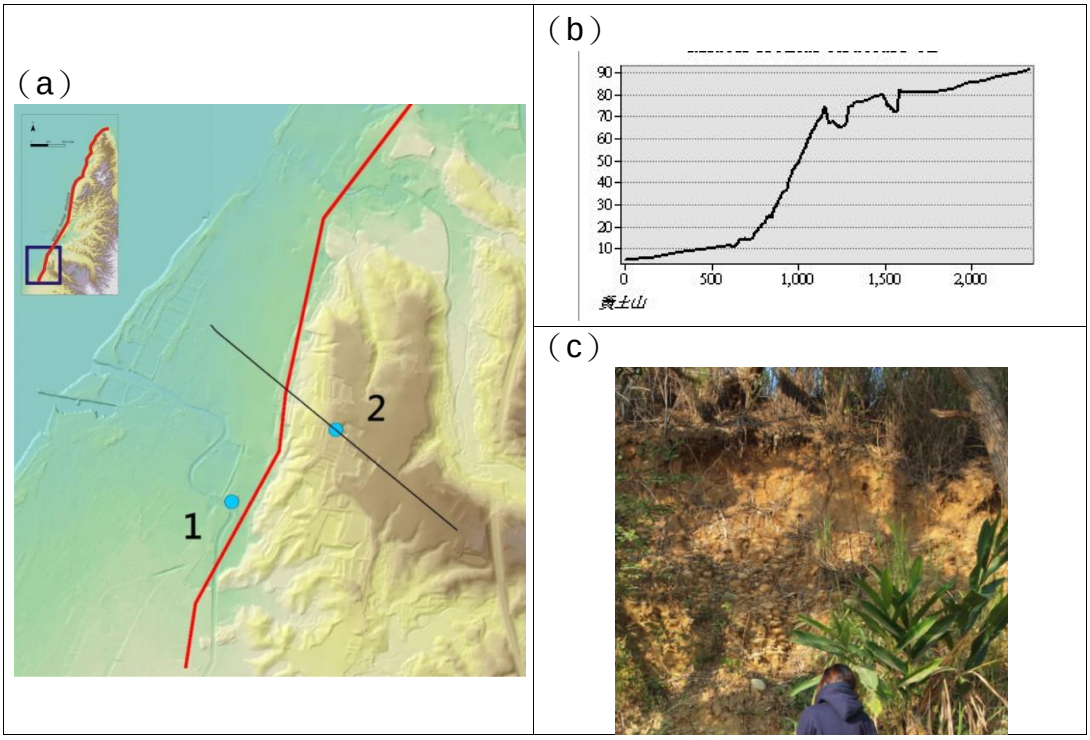
(胡植慶等，2016)

圖 9-1.8：桃竹苗地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GPS 水平方向速度場。

5. 長期滑移速率：

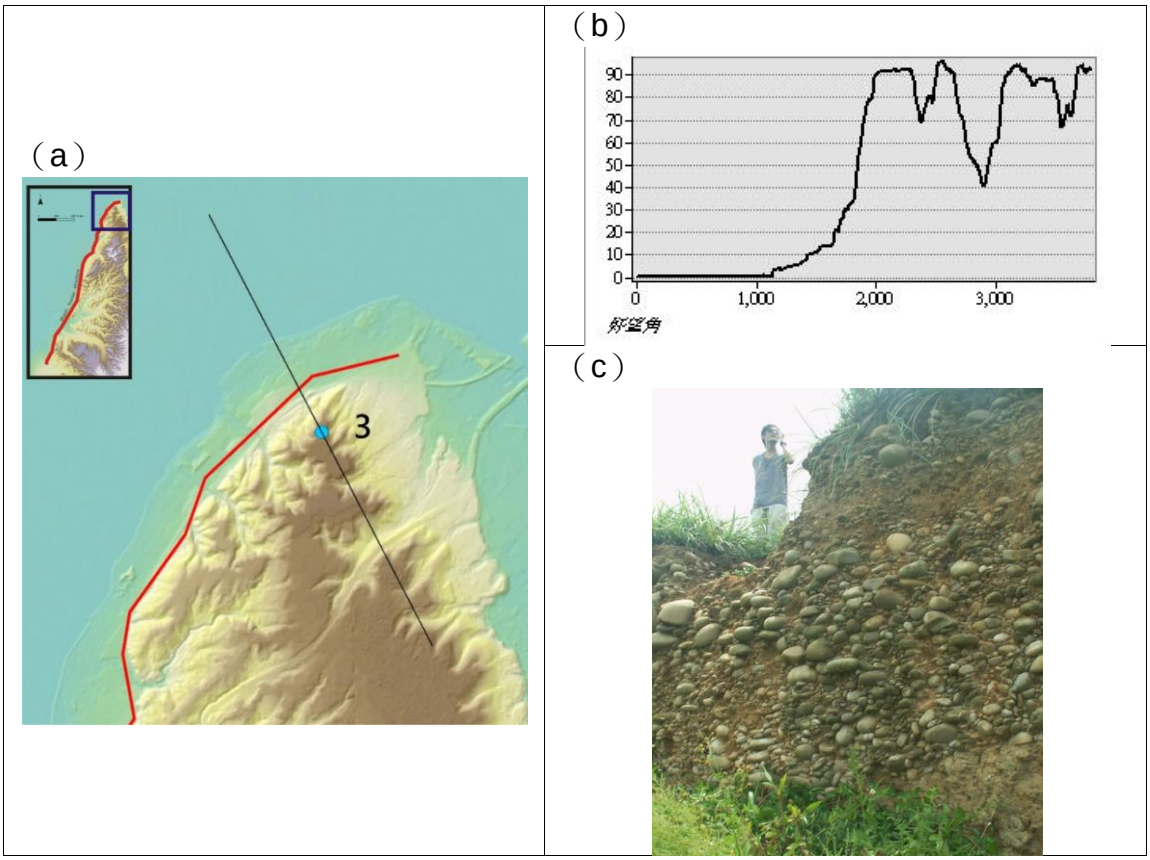
根據 TEM（2014）野外調查成果，第一處位於圖 9-1.9（a）中 2 號調查點，該處地形崖從 5 公尺 DEM 地形剖面中可量得高差約 70 公尺高，如圖 9-1.9（b）所示，從階地崖照片（圖 9-1.9（c））及現場之判斷，階面上土壤紅土化程度推估年代約 3 萬年到 15 萬年間。第二處位於圖 9-1.10（a）中 3 號調查點，該處地形崖從 5 公尺 DEM 地形剖面中可量得高差約 90 公尺高，如圖 9-1.10（b）所示。從階地崖照片圖 9-1.10（c））及現場之判斷，階面上土壤紅土化程度推估年代約 3 萬年到 15 萬年間。

利用地形崖高度 90 公尺除以上盤之紅土化階地年代 3-15 萬年，得到抬升速率介於 0.60~3.00 mm/yr，以斷層面傾角 35 度換算，則斷層面長期滑移速率約為 1.05~5.23 mm/yr。



(a)紅色實線為苗栗前緣構造，藍色實心圓圈為野外調查點位分布；(b）跨苗栗前緣構造之 DEM 地形剖面圖，剖面線位於（a）中之 2 號點位旁之黑色實線；(c）2 號調查點位階地崖照片（TEM, 2014）

圖 9-1.9：苗栗前緣構造沿線構造線形平面位置及野外調查點位分布



（a）紅色實線為苗栗前緣構造，藍色實心圓圈為野外調查點位分布；（b）跨苗栗前緣構造之 DEM 地形剖面圖，剖面線位於（a）中之 3 號點位旁之黑色實線；（c）3 號調查點位階地崖照片（TEM, 2014）

圖 9-1.10：苗栗前緣構造沿線構造線形平面位置及野外調查點位分布

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，A 事件地表錯動量為 1.19 公尺，B 事件地表錯動量為 1.45 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。

彙整對於苗栗變形前緣的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 9-1.1 所示，斷層的分段特性及各參數的方法來源與文獻也列於表中。

表 9-1.1：苗栗變形前緣參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
苗栗變形前緣	斷層分段與破裂事件	A：Shyu et al. (2016)苗栗前緣構造 B：鄭錦桐(2002)苗栗盲斷層	地形、岩層分布與對比	鄭錦桐，2002；Shyu et al., 2005；Shyu et al., 2016
	長度 (km)	A：20.8　B：37		
	寬度 (km)	17.4	深度/sin 傾角 （以深度 10 公里，傾角 35 度計算）	
	破裂深度 (km）	15	地震危害度參數	鄭錦桐，2002
		10	苗栗前緣構造參數	Shyu et al., 2016
	面積 (km^2)	A: 363　B: 645	長度×寬度 （以深度 10 公里，傾角 35 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；Shyu et al., 2005；Shyu et al., 2016
	傾斜角度 (度)	28-40	中油鑽井與地質剖面 2-2’	Namson, 1981
		40 以上	中油鑽井與地質剖面 3-3’	
		30E	地震危害度參數	鄭錦桐，2002
		30E	苗栗前緣構造參數	Shyu et al., 2016
	斷層機制	逆移斷層	地質剖面	Namson, 1981
	短期滑移速率 (mm/yr)	上盤為 2~6 mm/yr	2002~2016 GPS 水平方向速度場	胡植慶等，2016
	長期滑移速率 (mm/yr)	1.05~5.23	野外階地年代判斷及階崖高差量測	TEM, 2014
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	-	-	-
	單一事件變位量 (m)	A:1.19　B: 1.45	log D = 0.29 Mw - 1.84（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模	A: 6.6　B: 6.9	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.3 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	(Mw)	A: 6.6　B: 6.8	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	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

9-2 斷層破裂模式及邏輯樹權重分配

本計畫在評估苗栗變形前緣之破裂，可分為 2 種破裂事件來探討，A 為 Shyu et al. (2016) 苗栗前緣構造之長度 20.8 公里，B 為鄭錦桐(2002) 苗栗盲斷層長度 37 公里。權重為 A（0.6）、B（0.4），如圖 9-2.1 所示。

苗栗變形前緣之傾角，根據所蒐集到之鑽井與地質剖面，傾角範圍約在 30~40 度，本計畫權重設定為 30 度（0.2）、35 度（0.6）、40 度（0.2）。

苗栗變形前緣之破裂深度，Shyu et al. (2016)推估深度為 10 公里，本計畫破裂深度權重設定為 8 公里（0.2）、10 公里（0.6）、12 公里（0.2）。

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 9-2.1 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。

苗栗變形前緣之滑移速率，根據野外階地年代判斷及階崖高差量測，滑移速率約為 1.05 ~ 5.23 mm/yr，平均值為(1.05+5.23)/2= 3.14 mm/yr。權重分配為 1.05（0.3），3.14（0.4），5.23（0.3）。

苗栗變形前緣各節點權重的分配詳如圖 9-2.2 所示。

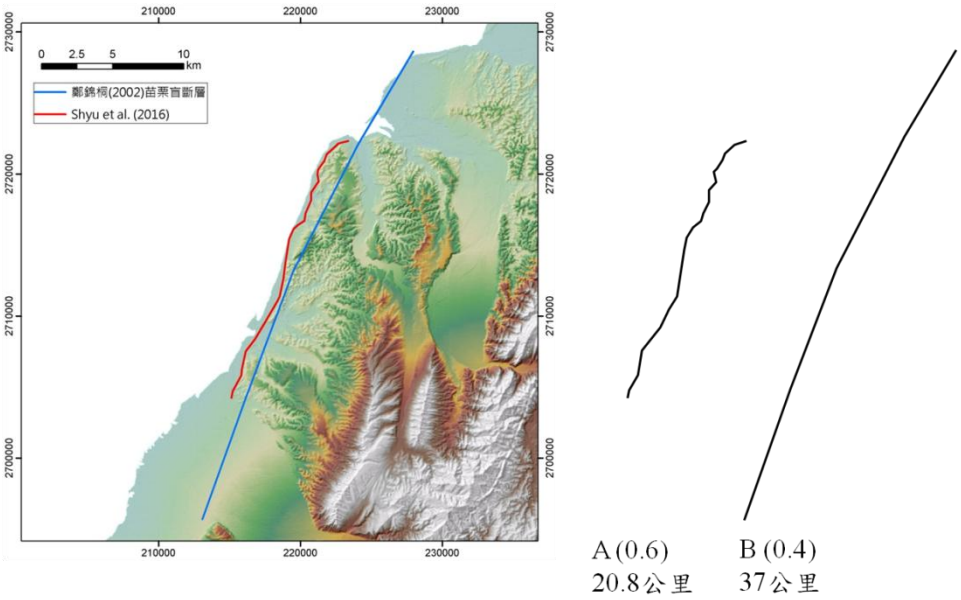


圖 9-2.1：苗栗變形前緣之破裂模式及權重分配。

表 9-2.1：苗栗變形前緣之中值各破裂事件規模及權重。

破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	寬度 (km)	傾角(度)	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	20.8	10	17.4	35	363	6.3	6.6	6.9	6.6
B	37	10	17.4	35	645	6.6	6.9	7.2	6.8
權重						0.1	0.3	0.1	0.5

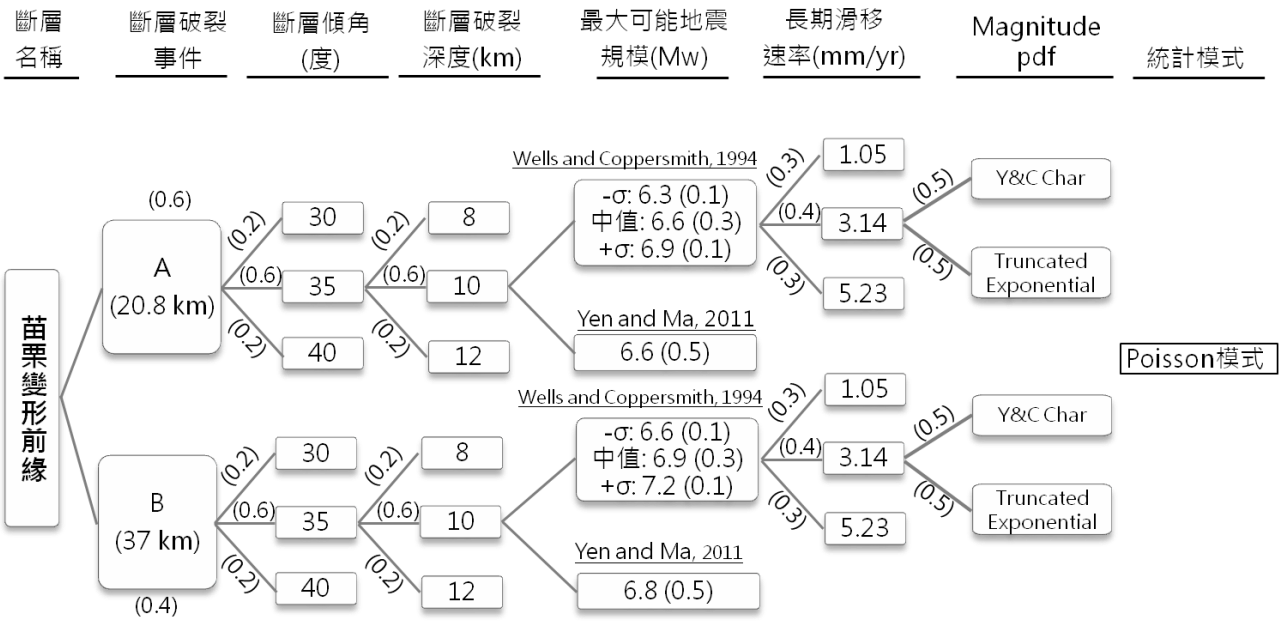


圖 9-2.2：苗栗變形前緣邏輯樹

第十章、嘉義變形前緣之震源參數設定

對於地調所公布的活動斷層之外的活動構造，評估其震源參數，如幾何形貌、斷層面孕震深度、滑移速率等。本章為嘉義變形前緣構造的震源參數設定。

10-1 斷層參數表之建立及說明

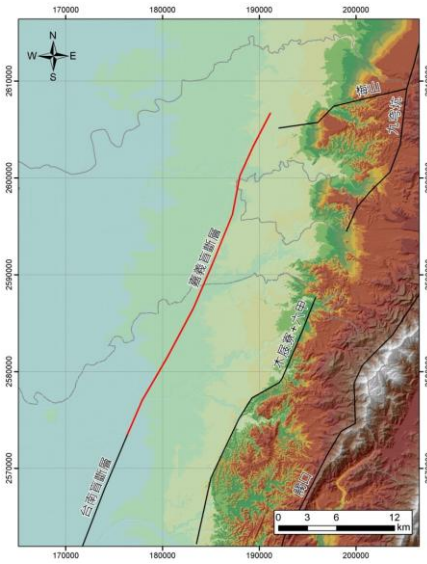
1. 斷層長度與分段：

鄭錦桐(2002) 在進行臺灣地震危害度評估時，加入了嘉義盲斷層之斷層震源，長度 36 公里，傾角為 30 度，破裂深度為 15 公里，長期滑移速率為 12 ± 6 mm/yr，其位置分布如圖 10-1.1 所示。

陳文山等(2004) 解釋嘉義地區隆起台地的形成受到一存在地下的逆衝盲斷層作用，造成地表的隆起變形，命名為嘉義斷層，並描繪嘉義斷層之位置(圖 10-1.2)。楊耿明等(2001)亦認為嘉南平原區的東側存在一盲斷層構造。楊志成等人(Yang et al., 2007)認為九芎坑斷層西側之隆起台地以及其下的小梅背斜是地下的逆衝盲斷層作用形成，圖 10-1.3 為楊志成等人(Yang et al., 2007)描繪之區域地質圖及地質剖面圖，將該盲斷層命名為小梅斷層(HM F.)。楊志成(2007)在其博士論文中則改為嘉義斷層，如圖 10-1.4 中代號 E 之斷層。

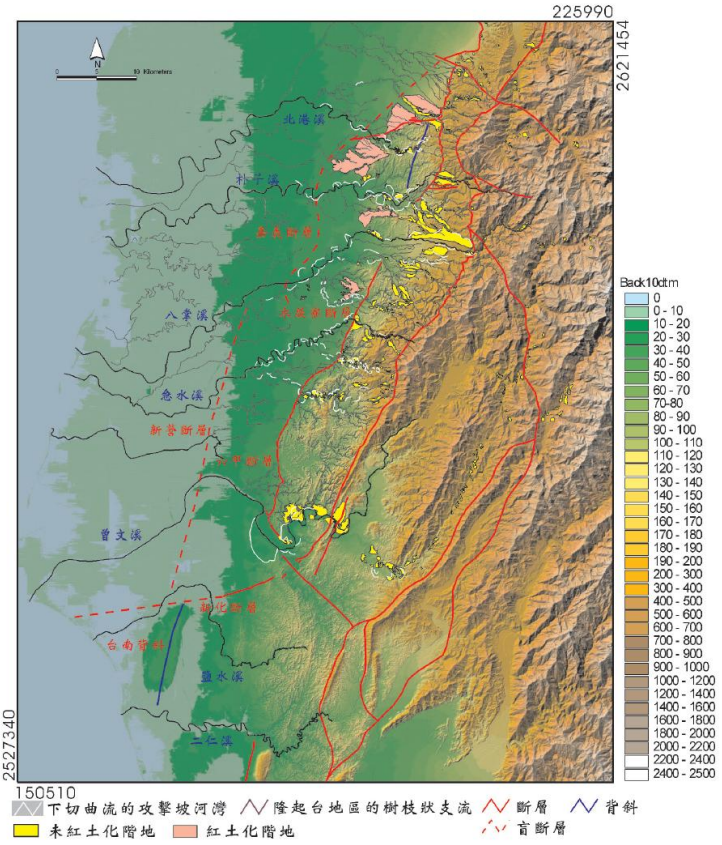
Shyu et al. (2005)根據地表構造地形描繪嘉義地區活動構造線形(圖 10-1.5)，之後，Shyu et al. (2016)為建立台灣地震模型之孕震構造震源，將這些構造線形連接(圖 10-1.6)，而嘉義前緣構造是嘉南地區海岸平原下未出露之盲構造，長度為 44.3 公里，傾角為 15 度，破裂深度為 12 公里，長期滑移速率為 6.49 ± 4.33 mm/yr (Shyu et al., 2016)。

圖 10-1.7 為將上述各版本嘉義斷層之線形繪製於同一張底圖上，顯示各版本嘉義斷層之位置皆不相同。經諮詢專家後(106 年第二次專家諮詢會議，附錄二)，認為 Shyu et al. (2016)的嘉義前緣構造與其他三者的嘉義(盲)斷層應為不同之斷層，在資料蒐集上應分別討論其參數。



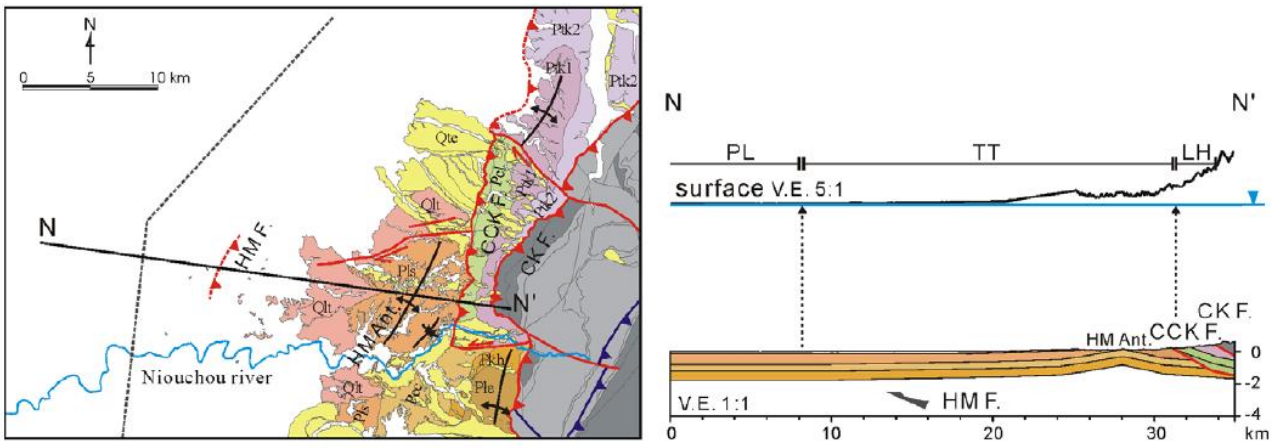
(斷層位置如紅色線段所示)

圖 10-1.1：鄭錦桐(2002)發表之嘉義盲斷層分布圖



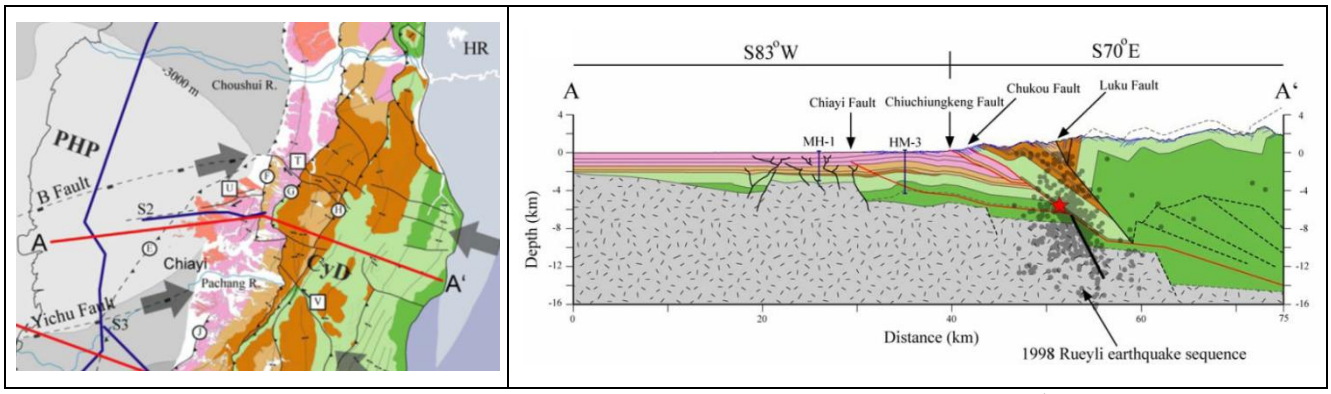
(陳文山等，2004)

圖 10-1.2：嘉南地區活動構造分布圖



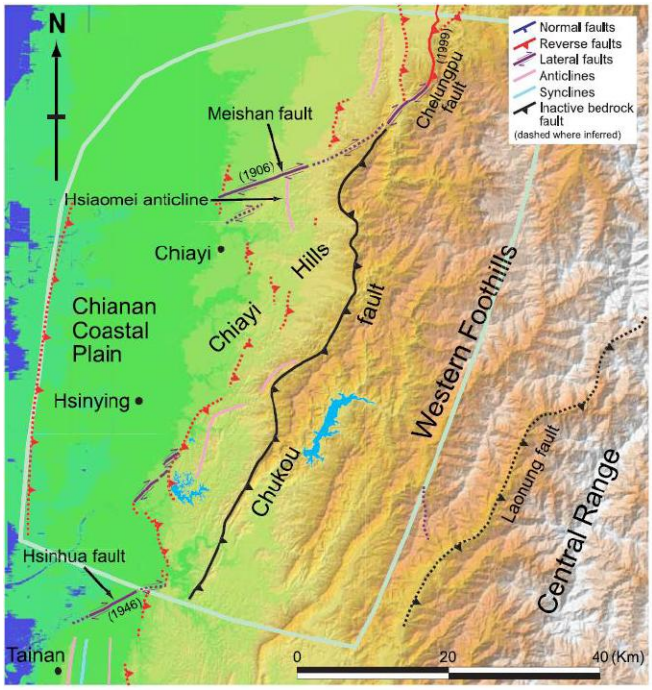
(Yang et al., 2007)

圖 10-1.3：嘉南地區之區域地質圖及構造剖面圖



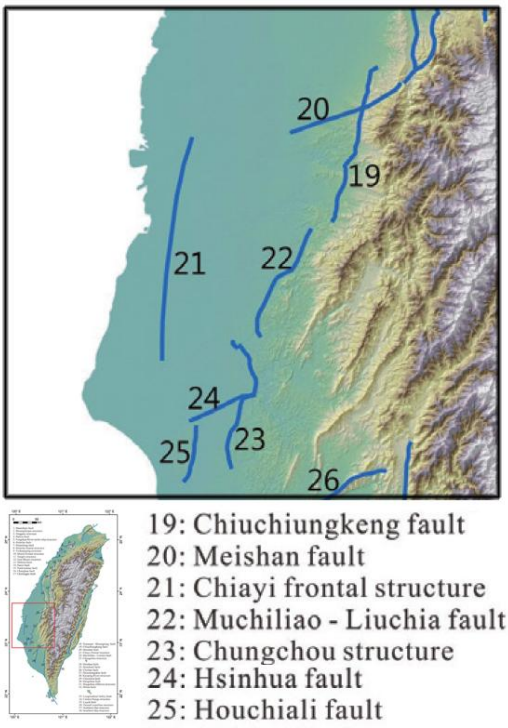
藍色線段為震測剖面線位置，紅色線段為平衡剖面位置，代號 E 為嘉義斷層
(摘自 Yang, 2007)

圖 10-1.4：西部麓山帶地質圖及構造剖面圖



(Shyu et al., 2005)

圖 10-1.5：嘉義地區活動構造分布圖



21 號即嘉義前緣構造位置
(修改自 Shyu et al., 2016)

圖 10-1.6：嘉義地區孕震構造分布圖

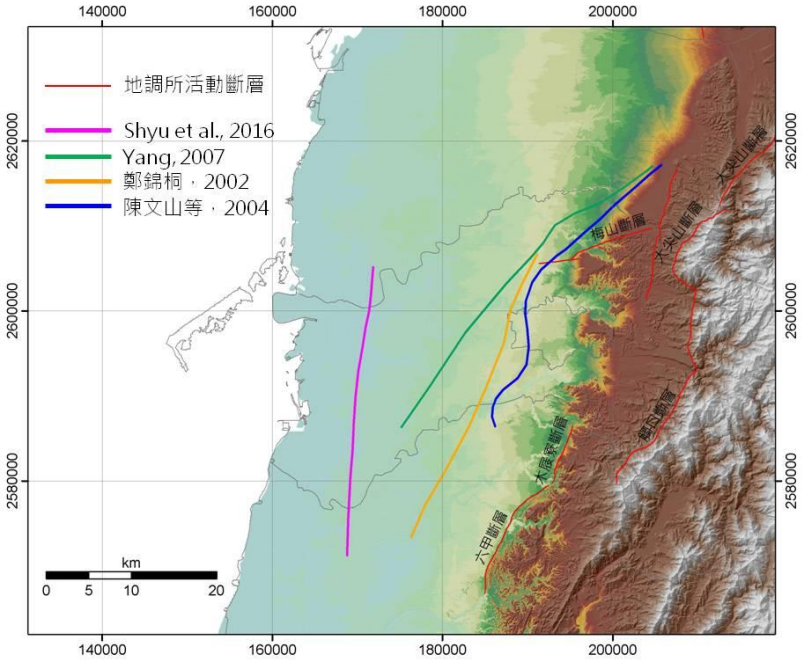


圖 10-1.7：嘉義地區各版本孕震構造比較

2. 斷層幾何形貌（傾角、深度）：

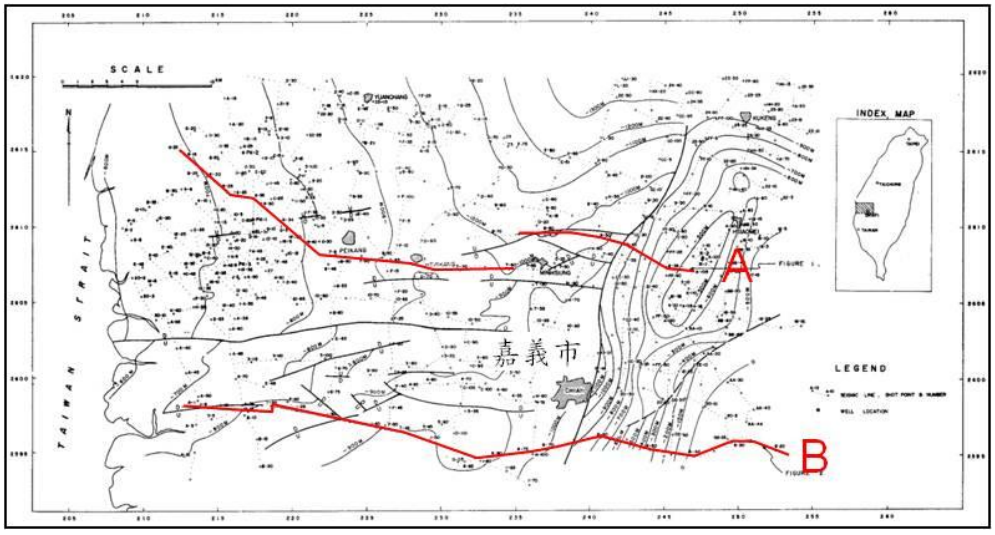
蕭寶宗(1970)依據地球物理探勘及井下地質資料描述嘉義平原及麓山區間之地質狀況，圖 10-1.8 為上部上新世地層等深線，在嘉義市東側有一延伸 15 公里之小梅(背斜)構造，圖 10-1.9 為地物探勘剖面 A，圖 10-1.10 為地物探勘剖面 B，兩剖面均顯示在嘉義平原與小梅(背斜)構造間有一樞紐斷層(hinge fault)。

圖 10-1.12 為陳文山等(2006)地質構造剖面，剖面位置如圖 10-1.11 所示，嘉義斷層沿著基盤岩的頂面形成滑脫構造，斷坪向東連接至觸口斷層與九芎坑斷層的斷坡，深度約 8~10 公里，圖 10-1.12 也顯示了 1998 年瑞里地震餘震分布，地震密集處可達 12-14 公里深。

圖 10-1.13 為楊志成(2007)穿過小梅背斜之 S2 震測剖面，剖面線位置如圖 10-1.4 所示，顯示小梅背斜前緣為一逆衝斷層，斷層傾角為東傾 25 度。

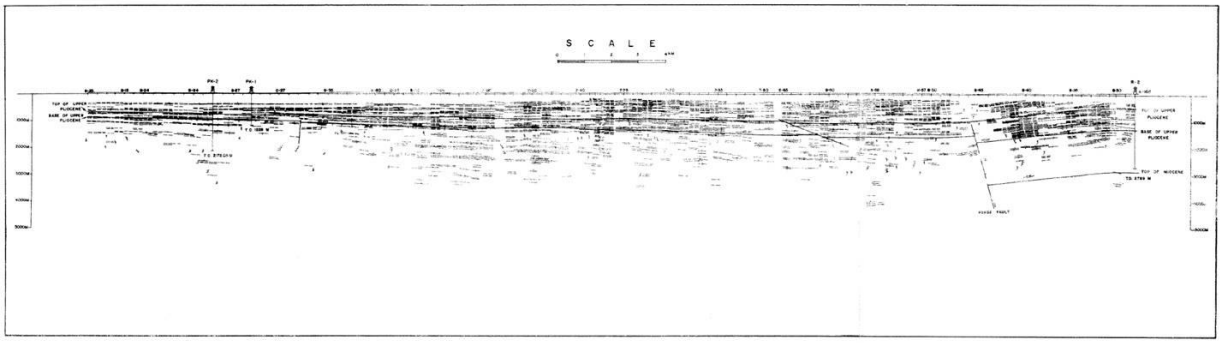
圖 10-1.14 為黃旭燦等人(2004)穿過嘉義地區平衡剖面，該剖面於小梅背斜西側並無畫出嘉義斷層。

嘉義斷層幾何參數彙整於表 10-1.1 中。



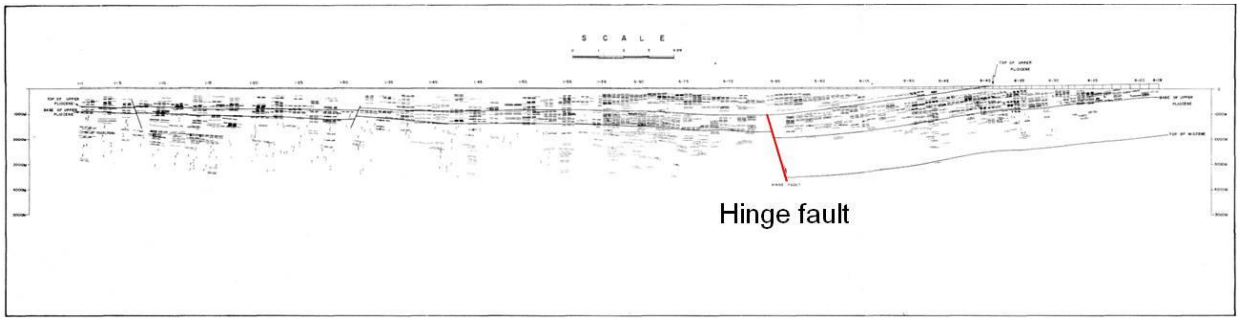
(Hsiao, 1970)

圖 10-1.8：嘉義地區震測線分布及上部上新世地層等深線



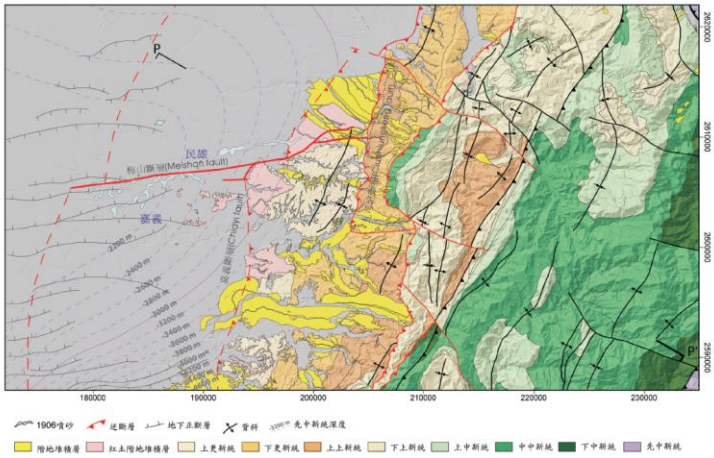
(Hsiao, 1970)

圖 10-1.9：嘉義地區地質地物探勘測線剖面 A



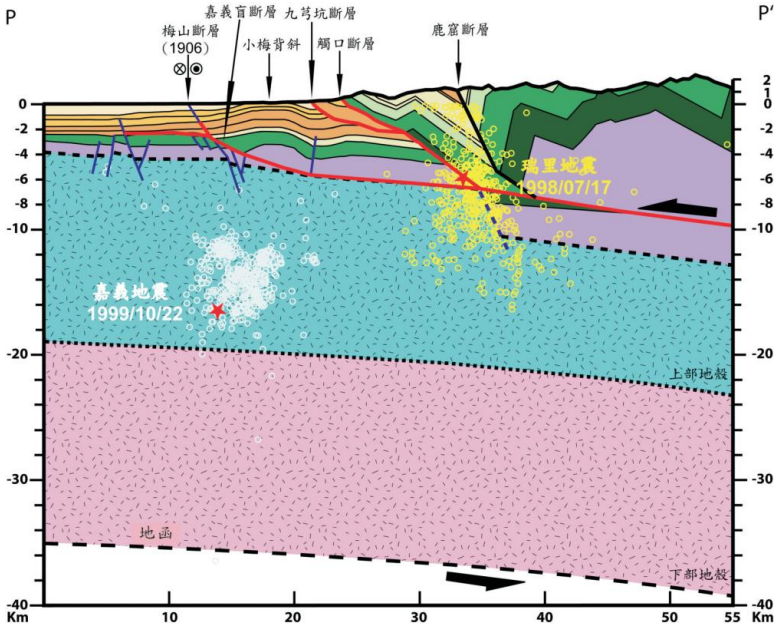
(Hsiao, 1970)

圖 10-1.10：嘉義地區地質地物探勘測線剖面 B



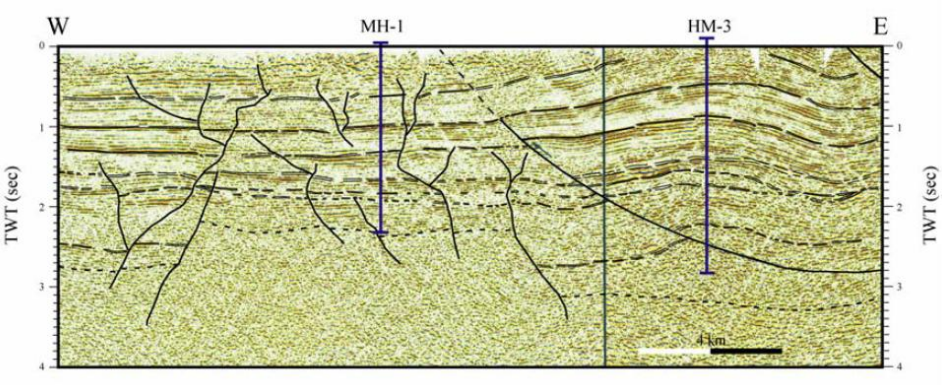
(陳文山等，2006)

圖 10-1.11：嘉義地區地質圖



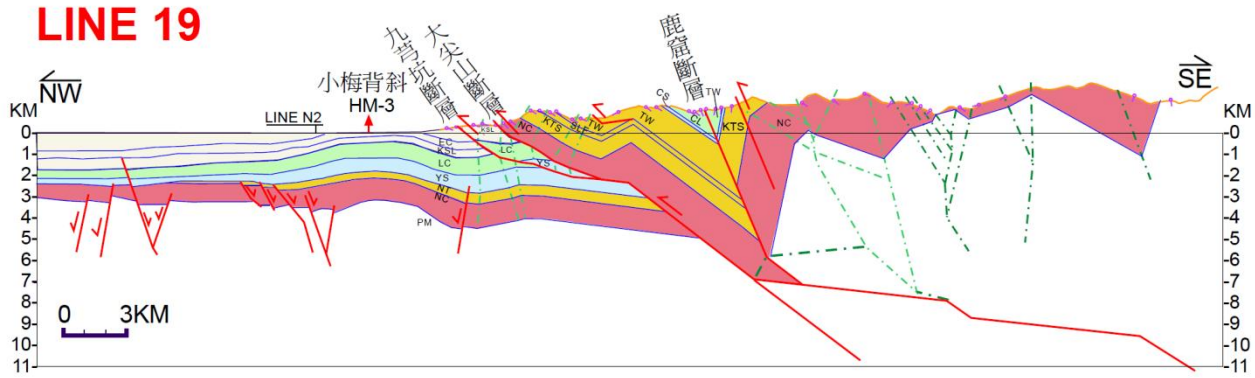
剖面位置如圖 10-1.11 所示 (陳文山等，2006)

圖 10-1.12：P-P'地質構造剖面



剖面線位置如圖 10-1.4 所示，小梅背斜前緣為一逆衝斷層，由鑽井資料顯示中生代基盤並沒有被逆衝變形 (Yang, 2007)

圖 10-1.13：穿過小梅背斜之 S2 震測剖面



九芎坑斷層及大尖山斷層為同一逆衝斷層系統，平原處保留正斷層系統及和緩之背斜構造
(黃旭燦等，2004)

圖 10-1.14：嘉義地區地下構造平衡剖面

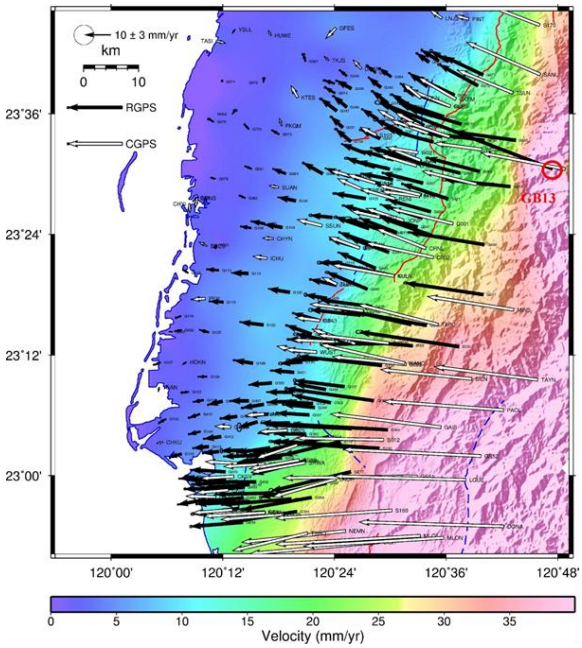
表 10-1.1：嘉義變形前緣幾何面參數彙整

參考文獻	方法	深度(公里)	傾角(度)
Yang, 2007	震測剖面及構造平衡剖面	0-4	25E
		4-6	8.5E
		6-10	35E
陳文山等，2006	1998 瑞里地震餘震分布	深度 12-14 公里	-
Cheng et al., 2007	嘉義盲斷層 PSHA 參數	2-15	向東傾斜 30 度
Shyu et al., 2016	Chiayi frontal structure 參數	12	向東傾斜 15 度

3. 斷層機制：鄭錦桐(鄭錦桐，2002；Cheng et al., 2007)在進行臺灣地震危害度評估時，加入嘉義盲斷層之斷層震源，斷層類型為逆衝斷層。陳文山等(2006)認為雲嘉地區在晚第四紀褶皺－逆衝斷層帶向西擴展推進時，在北港高區東側形成目前褶皺－逆衝斷層帶最西側的逆衝斷層－嘉義斷層。Yang(2007)根據震測剖面認為小梅背斜前緣之嘉義斷層為一逆衝斷層。
4. 短期滑移速率：

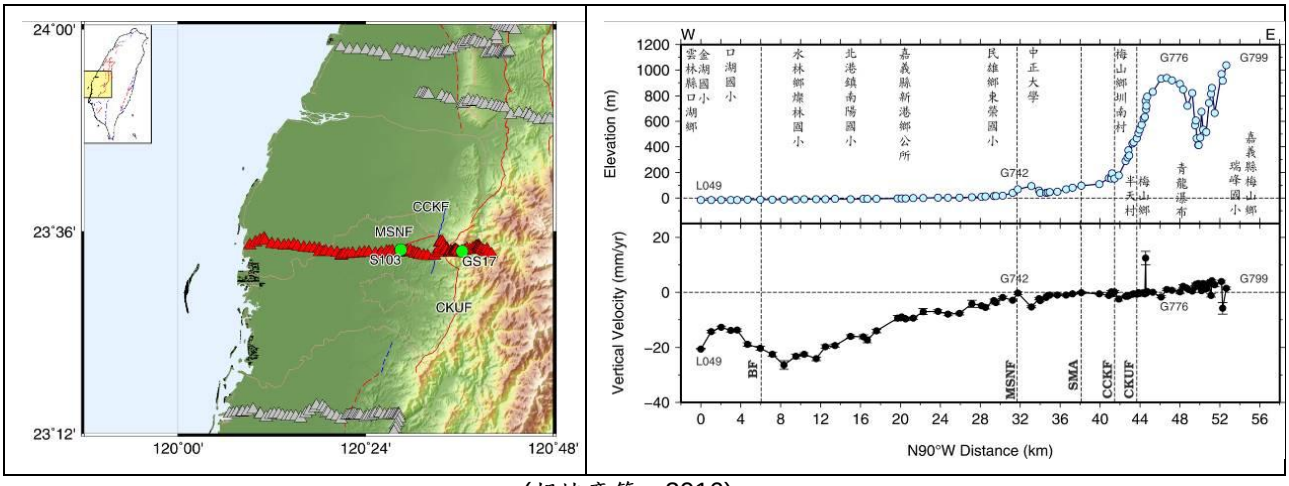
圖 10-1.15 為胡植慶等(2016)嘉南地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GPS 水平方向速度場，彩色色階為 2002~2016 年資料所解算之速度場分布色階圖，黑色箭號為 2002~2016 年移動站速度場，白色箭號為連續站速度場。由 GPS 水平速度場不易判別嘉義斷層之活動性。

胡植慶等(2016)金湖至瑞峰水準測線，橫跨梅山斷層、九芎坑斷層及觸口斷層，總長約 54 公里， 2003 年至 2016 年間共進行 14 次施測。根據圖 10-1.16，梅山斷層以西之垂直速度變化較大，最大達-26 mm/yr，推估為人為抽取地下水造成的沉陷，以東到九芎坑斷層則大多介在-2 至 0 mm/yr 之間。在地形高程部分，梅山斷層以西為平原地區，因此較無變化，而在九芎坑斷層以東則有顯著的地形起伏，或許可說明九芎坑斷層與觸口斷層仍有活動的跡象。由水準測線不易判別嘉義斷層之活動性。



(胡植慶等，2016)

圖 10-1.15：嘉南地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GPS 水平方向速度場。



(胡植慶等，2016)

圖 10-1.16：金湖至瑞峰測線水準高程變化圖。

5. 長期滑移速率：

根據 TEM（2014）推估成果，圖 10-1.17（a）中紅色方框處，從解析度 5 公尺數值地形剖面中可量得牛稠溪河道下切量為 14 公尺高(圖 10-1.17（b）)，而嘉義平原沖積層，根據諮詢專家之意見(106 年第二次專家諮詢會議，附錄二)，推估年代約三千年，不會超過一萬年。利用河道下切 14 公尺，除以河道之階地年代 3,000-10,000 年，得到抬升速率介於 1.40~4.67 mm/yr，以淺部斷層面傾角 25 度換算，則斷層面長期滑移速率約為 3.31~11.05 mm/yr。

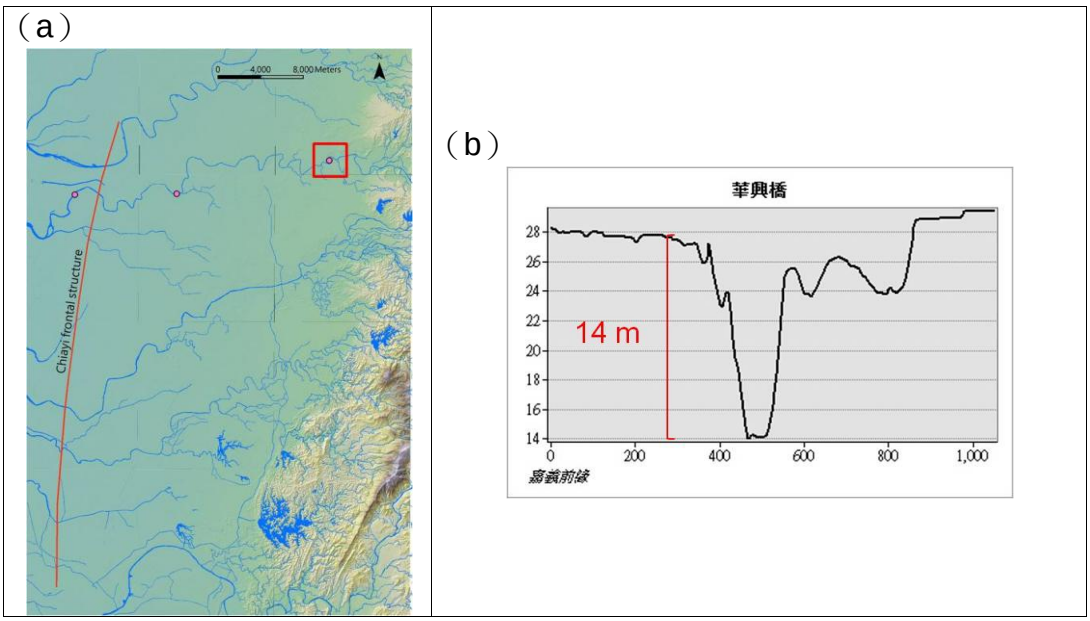


圖 10-1.17：（a）嘉義前緣構造（紅色實線）上盤河道剖面（紅色方框）位置；（b）華興橋 DEM 牛稠溪河道地形剖面圖，剖面線位於（a）中之紅色方框處（TEM, 2014）。

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，詳如表 10-1.2 所示。
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。

彙整對於嘉義斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 10-1.2 所示，斷層的分段特性及各參數的方法來源與文獻也列於表中。Shyu et al. (2016) 嘉義前緣構造參數資訊整合於表 10-1.3。

表 10-1.2：嘉義斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
嘉義斷層	斷層分段與破裂事件	A. 鄭錦桐(2002)嘉義盲斷層 B. 陳文山等(2006)嘉義斷層 C. Yang(2007)嘉義斷層	地形、地物探勘	鄭錦桐，2002；陳文山等，2006；Yang, 2007；Cheng et al., 2007
	長度 (km)	A. 44.3 km B. 39 km C. 36 km		
	寬度 (km)	24	深度/sin 傾角 （以深度 12 公里，傾角 30 度計算）	
	破裂深度 (km）	10 公里	構造平衡剖面	Yang, 2007
		12-14 公里	瑞里地震餘震分布	陳文山等，2006
		15 公里	地震危害度參數	鄭錦桐，2002；Cheng et al., 2007
	面積 (km^2)	A. 1063 B. 936 C. 864	長度×寬度 （以深度 12 公里，傾角 30 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，2006；Yang, 2007；Cheng et al., 2007
	傾斜角度(度)	0-4 公里，25 4-6 公里，8.5 6-10 公里，35	震測剖面及構造平衡剖面	Yang, 2007
		30E	地震危害度參數	鄭錦桐，2002；Cheng et al., 2007
	斷層機制	逆移斷層	地物探勘剖面	Yang, 2007
	短期滑移速率 (mm/yr)	不易判別嘉義斷層之活動性	2002~2016 GPS 水平方向速度場	胡植慶等，2016
		下盤最大達-26 mm/yr，推估為人為抽取地下水造成的沉陷	金湖至瑞峰水準測線	
	長期滑移速率 (mm/yr)	3.31~11.05	斷層上盤河道下切量及沉積層年代推估	TEM, 2014
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	-	-	-

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	單一事件變位量 (m)	A: 1.61　B: 1.55　C: 1.52	log D = 0.29 Mw - 1.84（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模 (Mw)	A: 7.1 B: 7.0 C: 7.0	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.3 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
		A: 7.0 B: 7.0 C: 6.9	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	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

表 10-1.3：嘉義前緣構造參數表(Shyu et al., 2016)

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法
嘉義前緣構造	類型	R(reverse fault)	
	長度 (km)	44.3 km	地形判釋
	破裂深度 (km)	12	
	傾斜角度(度)	15	
	寬度 (km)	46.36	深度/sin 傾角
	面積 (km^2)	2053.75	長度×寬度
	地震規模	7.31	Mw =4.33+0.90 log A（逆斷層）
	一次事件位移量 (m)	1.86	Mo = μ AD Mw = 2/3 log Mo - 10.73
	長期滑移速率 (mm/yr)	6.49±4.33	斷層上盤河道下切量及沉積層年代推估
	地震復發間隔 (年)	170-860	-
	最近一次活動時間	N/A	N/A

10-2 斷層破裂模式及邏輯樹權重分配

針對嘉義地區之活動構造，本計畫認為 Shyu et al. (2016)之嘉義前緣構造，與其他三個版本(鄭錦桐，2002；陳文山等，2006；Yang, 2007)為不同之構造，應分別討論其參數，而 Shyu et al. (2016)針對嘉義前緣構造已彙整一完整的參數表，因此本節主要針對其他三者之嘉義(盲)斷層參數邏輯樹進行說明劃設。

從圖 10-1.7 中，可知三個版本對於嘉義(盲)斷層之位置仍有分歧，本計畫在邏輯樹中考慮三種破裂事件，A 為鄭錦桐(2002)嘉義盲斷層，長度 44.3 公里；B 為陳文山等(2006) 嘉義斷層，長度 39 公里；C 為 Yang(2007) 嘉義斷層，長度 36 公里。

嘉義(盲)斷層之傾角，根據所蒐集到之震測與地質剖面，傾角範圍約在 25~35 度，本計畫權重設定為 25 度（0.2）、30 度（0.6）、35 度（0.2）。

嘉義(盲)斷層之破裂深度，根據蒐集之震測剖面、地質平衡剖面及地震深度分布資料，本計畫破裂深度權重設定為 10 公里（0.2）、12 公里（0.6）、14 公里（0.2）。

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 10-2.1 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。

嘉義斷層之滑移速率，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 3.31 ~11.05 mm/yr，平均值為(3.31+11.05)/2= 7.18 mm/yr。權重分配為 3.31（0.3），7.18（0.4），11.05（0.3）。

嘉義(盲)斷層各節點權重的分配詳如圖 10-2.1 所示。

表 10-2.1：嘉義(盲)斷層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 (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	44.3	12	30	24	1063	6.8	7.1	7.4	7.0
B	39	12	30	24	936	6.7	7.0	7.3	7.0
C	36	12	30	24	864	6.7	7.0	7.3	6.9

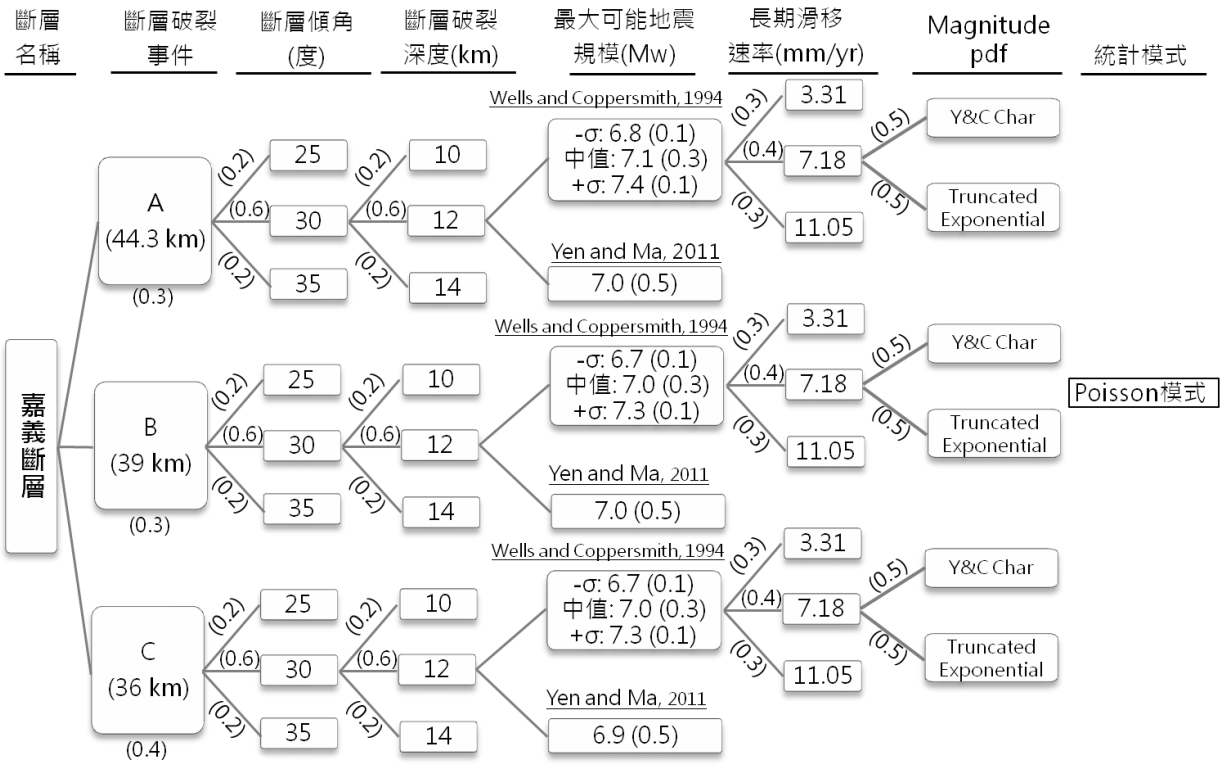


圖 10-2.1：嘉義(盲)斷層邏輯樹。

第十一章、制定各活動斷層參數說明書

11-1 說明書章節概述(詳附錄)

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：(1)各項斷層參數說明，並整理成斷層參數表，以及(2)各斷層特徵照片蒐集彙整。斷層參數分成(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。

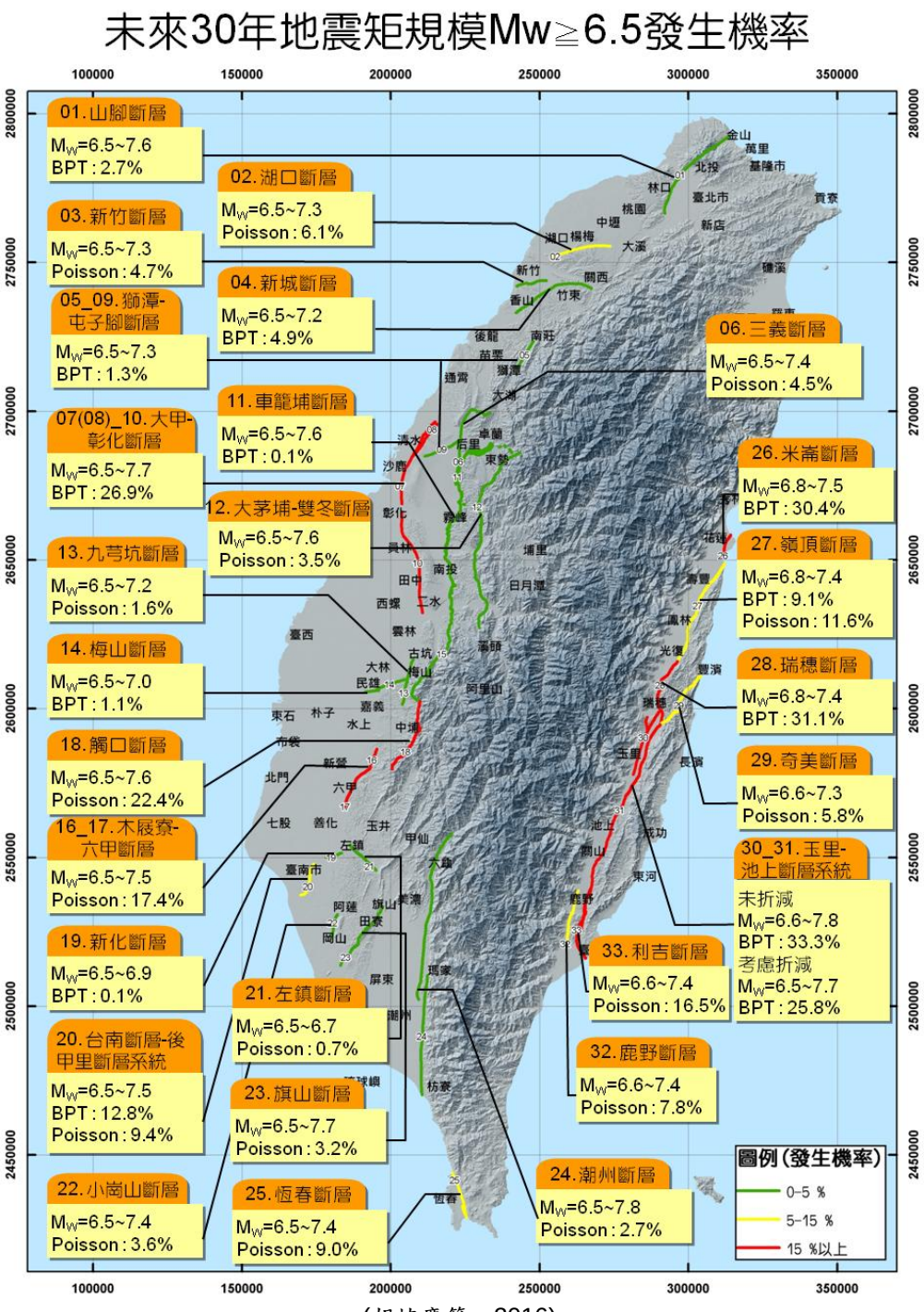
(a) 斷層幾何形貌參數：包括斷層之分段破裂事件、長度、寬度、破裂深度、面積、走向、傾斜角度等，這部份參數的取得主要來自於地表地質調查、地形分析、航照判釋、地質剖面等方法得到。

(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。

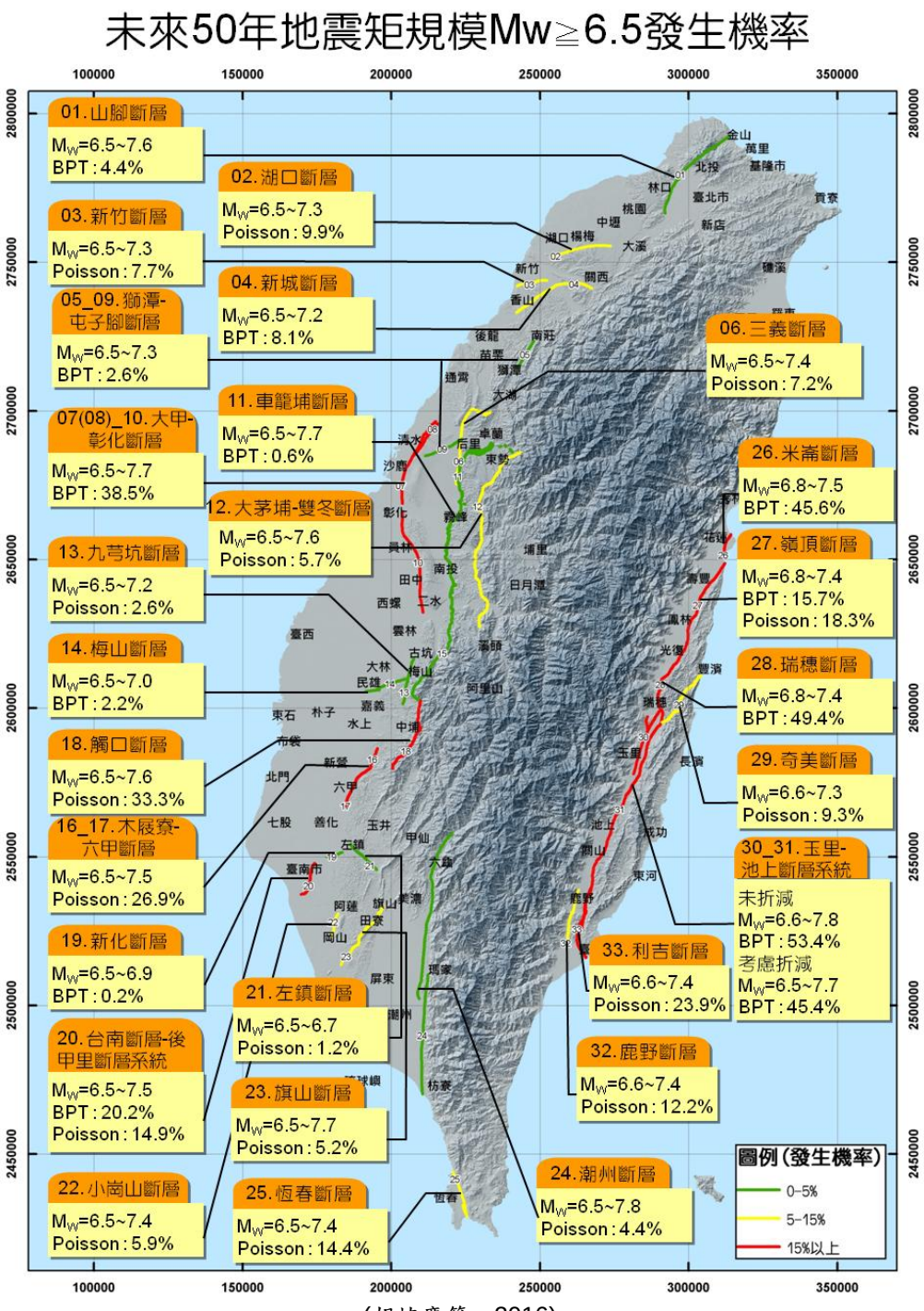
11-2 前階段活動斷層潛勢圖成果

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。首先建立活動斷層參數表，透過該計畫建立之活動斷層潛勢評估方法論，了解斷層的重複間隔相關資訊後，以機率法評估活動斷層未來 30、50、100 年最大可能地震規模之發生機率(圖 11-2.1-圖 11-2.3)。目前規劃之潛勢圖以發生地震矩規模 6.5 以上之機率為主，發生機率在 0~5%，以綠色線表示；發生機率在 5~15%，以黃色線表示；發生機率在 15%以上，以紅色線表示。由於本計畫以邏輯樹給予斷層各參數權重分配，因此每條斷層會整合為一個發生機率。除非該斷層採用不同之機率模型或是有考慮潛移折減，才會呈現不同之發生機率。圖 11-2.1-圖 11-2.3 上會列出每條斷層之可能規模、採用之機率模型以及發生機率。



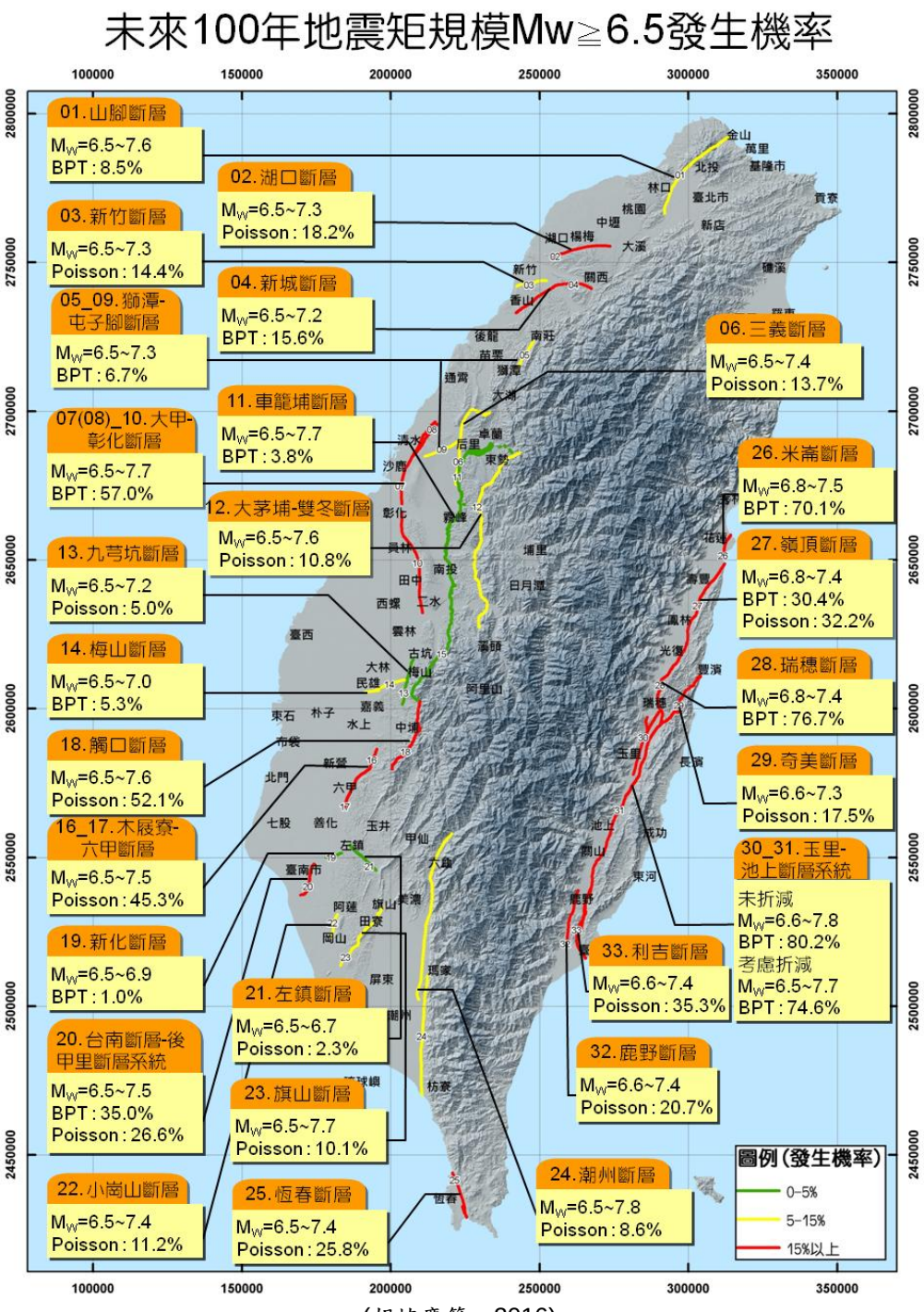
(胡植慶等，2016)

圖 11-2.1：前期計畫活動斷層分布及未來 30 年地震發生機率



(胡植慶等，2016)

圖 11-2.2：前期計畫活動斷層分布及未來 50 年地震發生機率。



(胡植慶等，2016)

圖 11-2.3：前期計畫活動斷層分布及未來 100 年地震發生機率。

11-3 活動斷層現地照片蒐集與呈現

本計畫今年度會先制定活動斷層照片蒐集所需資訊，並提供蒐集之照片檔案及照片說明表格予資訊廠商建置於圖臺上，照片來源主要會蒐集：(1)地調所野外活動斷層露頭，(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。以車籠埔斷層為例，斷層特徵照片蒐集彙整如圖 11-3.1，目前照片資訊欄位規劃如表 11-3.1 所示，說明如下：

1. 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。
2. 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。
3. 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。
4. 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)。
5. 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。
6. 拍攝鄉鎮：為拍攝所在鄉鎮，包含縣市(例如南投縣草屯鎮)。
7. 拍攝地點：為拍攝之標地物(例如隘寮溪堤防、東山路、一江橋)。
8. 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。
9. 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。
10. 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。

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 11-3.2)。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 11-3.3)。

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 11-3.4)。本計畫建議參酌既有活動斷層查詢功能，加入本計畫擴充之斷層資訊，包含活動斷層參數及特徵照片等成果，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。

以車籠埔斷層為例，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參數表之連結(圖 11-3.5)，參數表格式如圖 11-3.6 所示。各斷層參數表詳細內容可參閱本計畫附錄之斷層參數說明書。

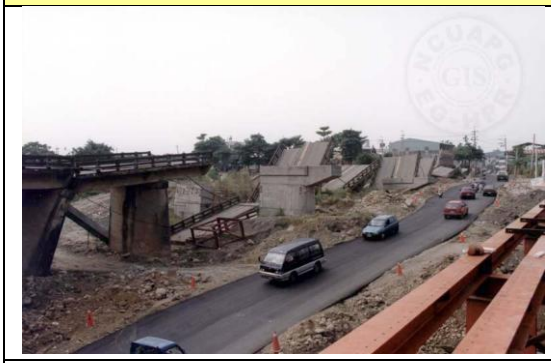
斷層查詢平台，可在底圖上呈現照片點位，圖 11-3.7 中黑色空心圓中之相機圖示即為照片拍攝位置，點選後可開啟照片及照片描述之功能，如圖 11-3.8 所示。本計畫今年度蒐集到可供定位之照片數量統計如下：

1. 大甲-彰化斷層：5 張
2. 車籠埔斷層：33 張
3. 大茅埔-雙冬斷層：7 張
4. 九芎坑斷層：7 張
5. 大尖山斷層：1 張
6. 觸口斷層：1 張
7. 梅山斷層：1 張

表 11-3.1：照片欄位規劃

欄位名稱	資料類型	欄位說明	備註
id	int	流水號	primary key
fault_id	float	對應的活動斷層代號	
fault_name	nvarchar(50)	對應的活動斷層名稱	
file_name	nvarchar(50)	相片檔名	
title	nvarchar(50)	相片標題	
description	nvarchar(MAX)	相片描述	
village	nvarchar(50)	拍攝鄉鎮	
location	nvarchar(50)	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)	相片拍攝人員	
uploader	nvarchar(50)	相片上傳人員	
photo_time	datetime	相片拍攝時間	
upload_time	datetime	相片上傳時間	

<table>
<tr><td colspan="2">草屯名間地區</td></tr>
<tr><td>01</td><td>02</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>名間以東台 3 線與 152 縣道交叉路口為斷層通過地點。地表有隆起錯移等現象，且溝堤錯斷、電塔傾斜、集集線鐵軌扭曲。判斷由東向西推擠隆起，抬昇量在 70cm 至 1.5m，錯移方向包括左移及右移，錯移量 80 公分至 1 公尺。</td><td>斷層擾動帶以近乎南北向通過東山路口草屯商工西側至新厝繞大虎山山腳而行，至中興新村省政府辦公處轉向東南，經過光復國小東側，埔里酒廠東側，千秋斗，山仔腳，霧雙，過溪，山腳，至名間鄉濁水。</td></tr>
<tr><td colspan="2">東勢石岡地區</td></tr>
<tr><td>03</td><td>04</td></tr>
</table>

	
埤豐橋斷裂空拍照，斷層通過處橋墩抬起約 8 公尺，大甲溪前方河床壟起約 8 公尺形成瀑布，斷層向東北延伸至埤頭山。	埤豐橋斷裂，斷層通過處橋墩抬起約 8 公尺，大甲溪前方河床壟起約 8 公尺形成瀑布，斷層向東北延伸至埤頭山。
臺中市地區	
05	06
	
軍功國小位於山坡邊緣，校舍損毀嚴重，校園裂隙遍佈，部份裂細與山坡走向平行，疑為邊坡作用所造成;另有裂隙約呈 N10E,開口約 5-10 公分。	斷層走向在中台醫技旁大里溪畔有兩個方向，其中一個走向約為 N30W，抬升量約為 2.5m；另一走向為 N30E，抬升量為 5m，水平錯移量 3m。河床上可見兩組不同走向的抬升。另於中台醫技旁的仁友巷內走向有轉折，轉為 NS 方向，抬升量為 2.6m，水平錯移量 3m，更在民宅內發現有噴砂。
大坑大里地區	
07	08
	
斷層擾動帶沿頭汴溪分布於一江橋以南，並造成橋身破壞，斷層擾動帶的位態於一江橋是 N70E 向南漸轉為 N45E，抬升量約為 2.5 至 3.8 公尺。	臺中大坑頭汴溪北岸的虎頭山發生大規模崩塌，崩落之土石將下游河道堵塞。
草屯地區	
09	10

	
斷層擾動帶以近乎南北向通過東山路口草屯商工西側至新厝繞大虎山山腳而行，至中興新村省政府辦公處轉向東南，經過光復國小東側，埔里酒廠東側，千秋斗，山仔腳，霧雙，過溪，山腳，至名間鄉濁水。	斷層擾動帶以近乎南北向通過東山路口草屯商工西側至新厝繞大虎山山腳而行，至中興新村省政府辦公處轉向東南，經過光復國小東側，埔里酒廠東側，千秋斗，山仔腳，霧雙，過溪，山腳，至名間鄉濁水。

(資料來源：中央大學地球物理研究所網站，中央大學李錫堤教授提供)

圖 11-3.1：車籠埔斷層在中部各地區的斷層特徵照片彙整範例



圖 11-3.2：中央地質調查所既有活動斷層查詢系統

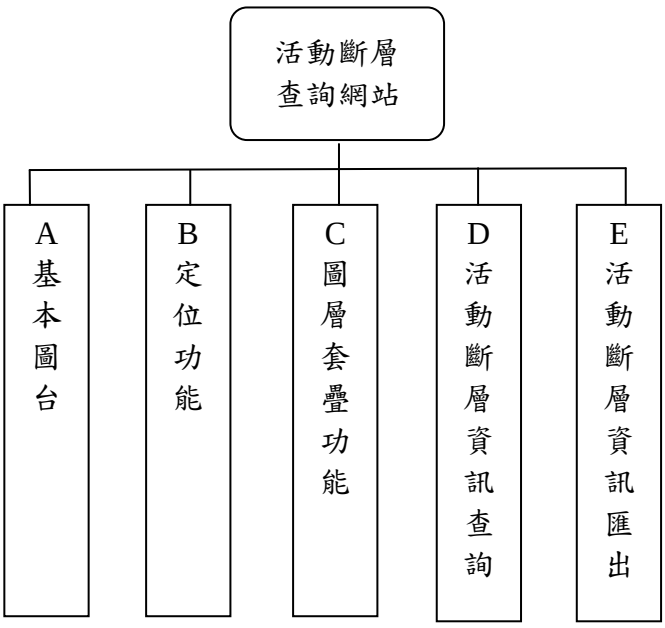


圖 11-3.3：網站功能架構圖



圖 11-3.4：活動斷層查詢網站示意圖



圖 11-3.5：活動斷層查詢網頁新增斷層參數表連結



	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
車籠埔斷層	斷層分段與破裂事件	整段 (A,B,C,D)	地形、航照判釋、集集地震地表破裂判釋	李錫堤等，2000；Yue et al., 2005; Chen et al., 2007；Lee et al., 2007；林啟文等，2008
		北段 (E,F)		
		南段 (G,H)		
	長度(km)	整段 110		
		北段 40（含東北段 16 公里）		
		南段 70（含大尖山 18 公里）		
	寬度(km)	34.4	深度/sin 傾角 （深度 0~10 公里傾角 30 度，10~12 公里傾角 8 度計算）	
	破裂深度（km）	5.5-6 km	地表地層位態搭配淺部震測及鑽井資料	Yue et al., 2005
		6 km	平衡剖面	Suppe, 1987
		7 km	平衡剖面	Yang et al., 2007
		10 km	震測剖面	Wang et al., 2002; Lee et al., 2010
		7~ 8 km（滑脫面可達 12 km）	流變學與地震震源分布	Dominguez et al., 2003
		11~12	震後反演	Hsu et al., 2002
		12	同震反演	
		17	同震反演	Ji et al., 2003
		7.7	同震反演	Johnson and Segall, 2004
		30 (同震滑移分布在 12 公里以內)	3D model	Lee et al., 2006

圖 11-3.6：活動斷層查詢網頁斷層參數表

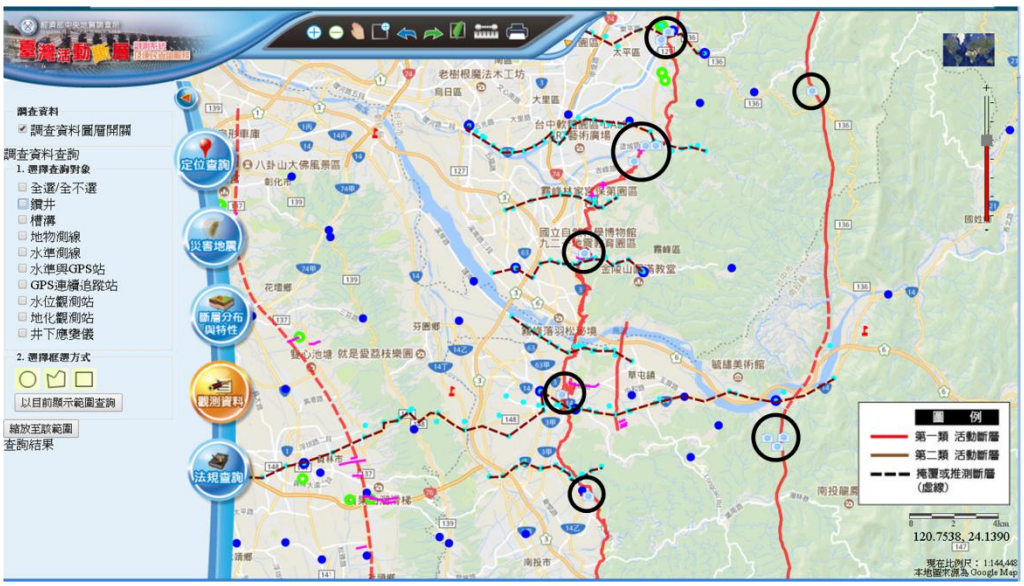


圖 11-3.7：活動斷層查詢網頁照片拍攝位置呈現

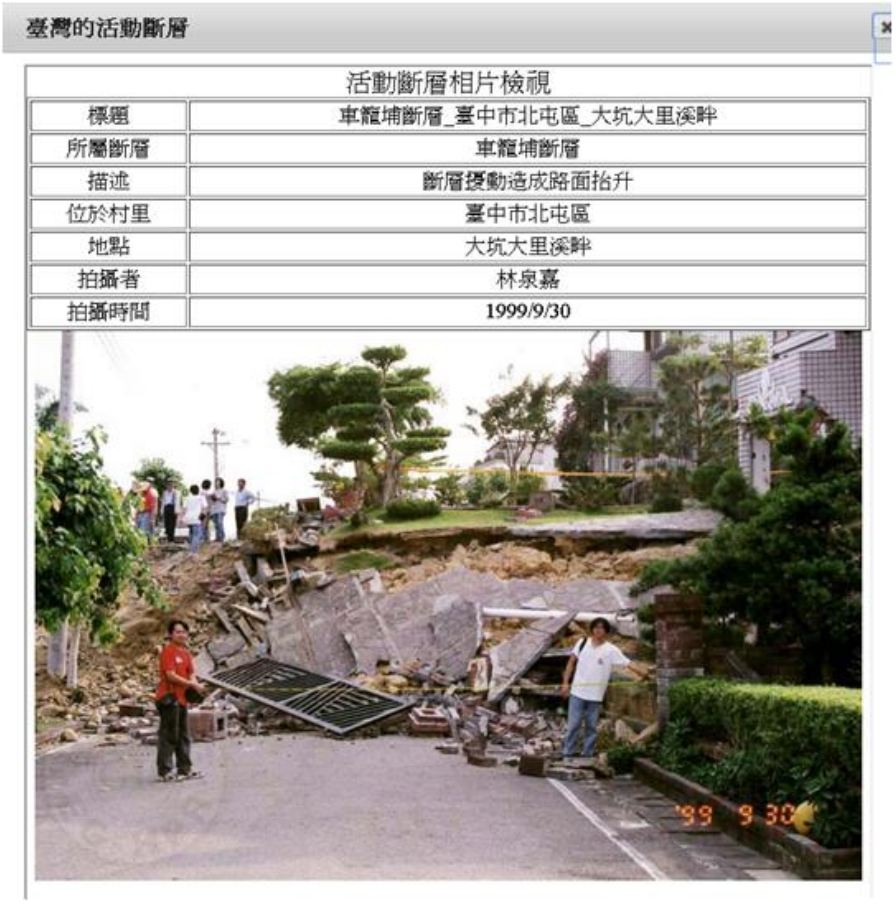


圖 11-3.8：活動斷層查詢網頁照片及相關資訊表格呈現

第十二章、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。

因本計畫係第一年執行，為能有效率地聚焦問題，故第一年計畫僅先針對專業學者及相關執業技師進行專家座談會，待本階段聽取專家之意見後，於後續計畫再考慮擴大座談會之對象範圍，以免於第一年度就因過多的意見而讓問題失焦。本計畫年度擬邀請對象之如下：

專業學者：以地質系、土木系、建築系、都市計畫、土地管理系等為主要對象。未來再斟酌逐步將金融保險系、法律系、大眾傳播系等其他專業領域納入座談說明會。

執業技師：本計畫階段擬先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建築師、都市計畫師等參與說明會。

本計畫先透過上述學者、技師的意見來瞭解哪些政府、民間單位會受到本潛勢圖之影響。

二、 召開說明會，瞭解這些單位之意見與問題

透過說明會讓與會者瞭解國外的作法，如美國、日本活動斷層潛勢圖之現在成果，美國日本公布此圖之方式，如網路平台公布等。

類似的概念在美國與日本的活動斷層網中，已有公布的查詢網頁。國外活動斷層潛勢圖公布相關網頁案例介紹如下：

(1)美國 USGS 之活動斷層地圖查詢系統

網址：http://earthquake.usgs.gov/hazards/qfaults/map/#qfaults

以美國加州地區為例，地圖中不同顏色的線條代表不同年代區間內曾有活動紀錄的斷層，例如紅色線條代表 150 年內曾活動過之斷層，黃色線條代表 15,000 年內曾活動過之斷層等。使用者可在圖面上用滑鼠直接點選欲查詢之斷層，點選後會顯示該斷層之斷層名稱與斷層參數表，即可讀取該斷層之斷層幾何、滑移速率、最近一次活動時間等資訊，如圖 12.1 所示。

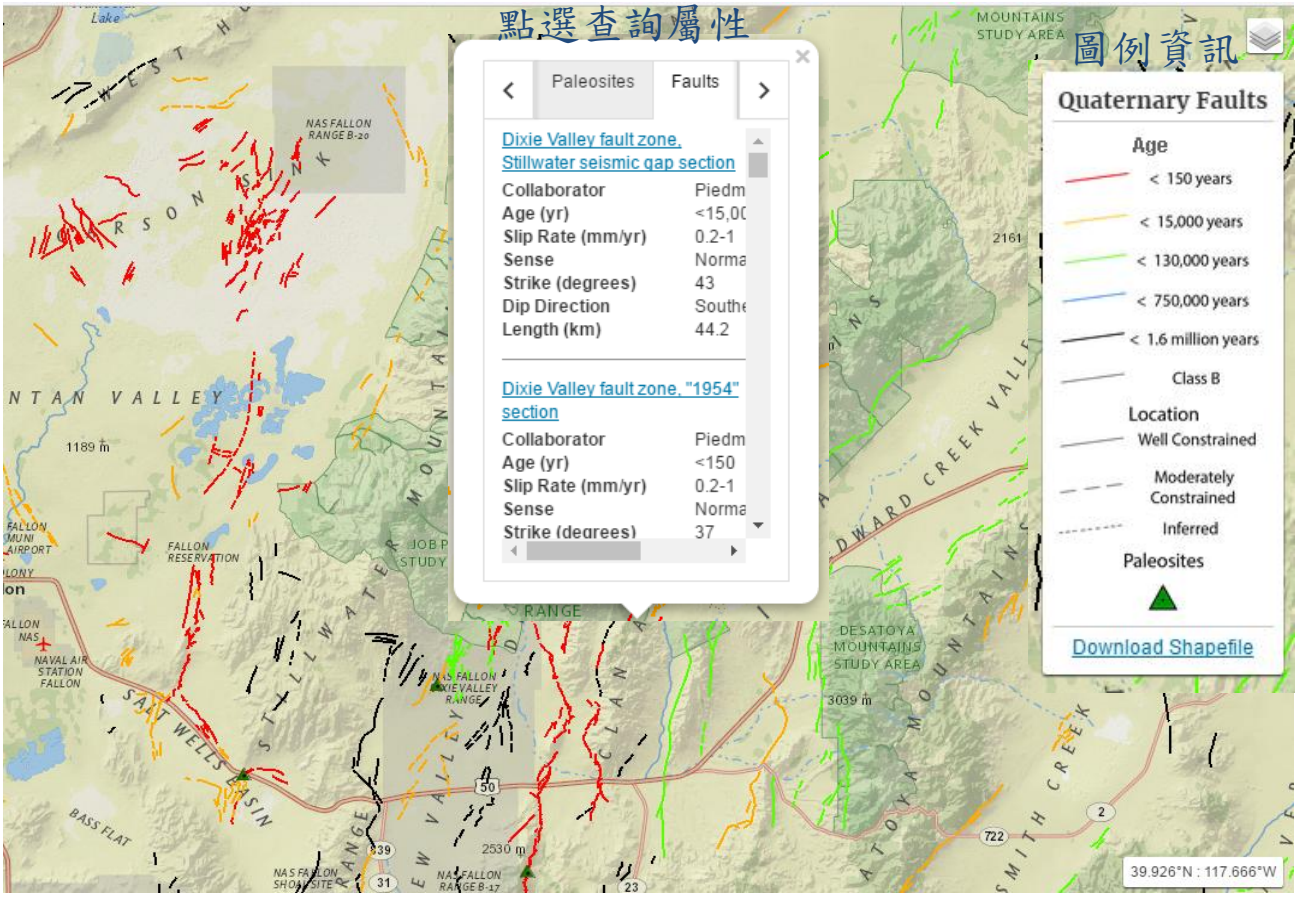


圖 12.1：美國 USGS 之活動斷層潛勢圖公布網頁。

(2)南加州地震中心之活動斷層地圖查詢系統

網址：https://www.scec.org/ucerf

南加州地震中心所公布之活動斷層查詢網頁，使用者可自行由下載 KMZ 檔案，於個人電腦中開啟該 KMZ 檔，使用者可在 Google Earth 界面上用滑鼠直接點選欲查詢之斷層，點選後會顯示該斷層之斷層名稱與斷層參數表，即可讀取該斷層地震再現周期及地震規模等資訊，如圖 12.2 所示。

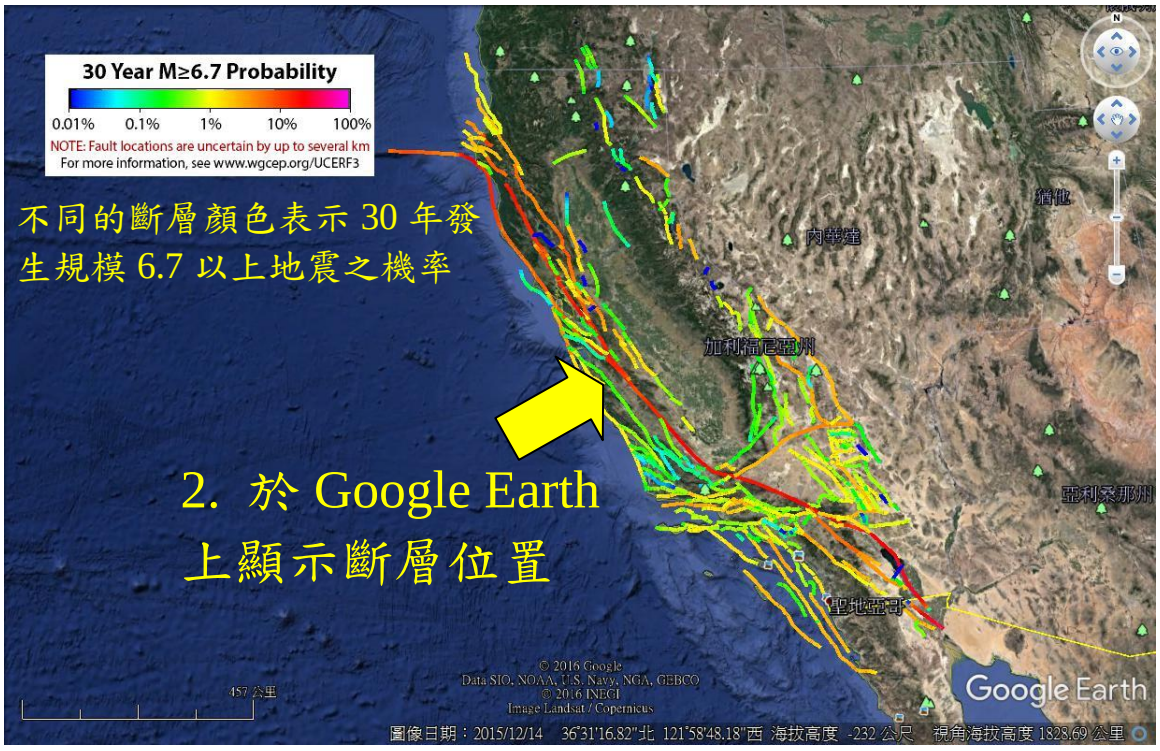
What are the major findings of UCERF3?

- UCERF3 confirms many previous findings, but it sheds new light on how future earthquakes will be distributed across California and how big those earthquakes might be.
- **Greater California.** UCERF3 shows the likelihood of moderate-sized earthquakes (magnitude 6.5 to 7.5) is lower, while the likelihood of larger events is higher when compared to the UCERF2 results.
  - This is because UCERF3 includes the possibility that multiple nearby faults may occasional rupture together to cause larger earthquakes. The increased rate of these larger earthquakes must be balanced by a decreased rate of lower-magnitude events in order to maintain the overall plate tectonic, fault system budget.
  - The estimated rate of earthquakes around magnitude 6.7 (the size of the destructive 1994 Northridge earthquake) has gone down by about 30 percent. The expected frequency of such events statewide has dropped from an average of one per 4.8 years (in UCERF2) to about one per 6.3 years (in UCERF3).
  - The likelihood that California will experience a magnitude 8 or larger earthquake in the next 30 years increased from about 4.7% in UCERF2 to about 7% in UCERF3.
- **Southern California / Los Angeles Region.**
  - The UCERF3 model estimates a greater increase in the likelihood of larger earthquakes in the Los Angeles Region compared to most lifornia, because the region has more faults that can host multi-fault ruptures.
  - UCERF3 concurs with previous studies that consider the Southern San Andreas Fau
  - Compared to UCERF2, the likelihood of M≥6.7 earthquakes on the San Jacinto Fau equivalent increase in likelihood of M≥8 earthquakes on that fault.
- **Northern California / San Francisco Region.**
  - The Northern San Andreas Fault has a lower likelihood of hosting an earthquake (co relatively recent 1906 earthquake on that fault.
  - The Hayward-Rodgers Creek and Calaveras Faults are more likely to rupture (comp time since the last earthquakes occurred on these faults.
  - Compared to UCERF2, the Calaveras Fault shows a three-fold increase in M≥6.7 earthquake likelihoods, but no compensating decrease in rate at higher magnitudes. This is because most events on the Calaveras in UCERF2 were well below magnitude 6.7, so the inclusion of multi-fault ruptures in UCERF3 increases the likelihood of all M≥6.7 earthquakes.



UCERF3 results (southern California shown here) are viewable within Google Earth. Click to download the KMZ file.

1. 點選可下載活動斷層 KMZ 檔



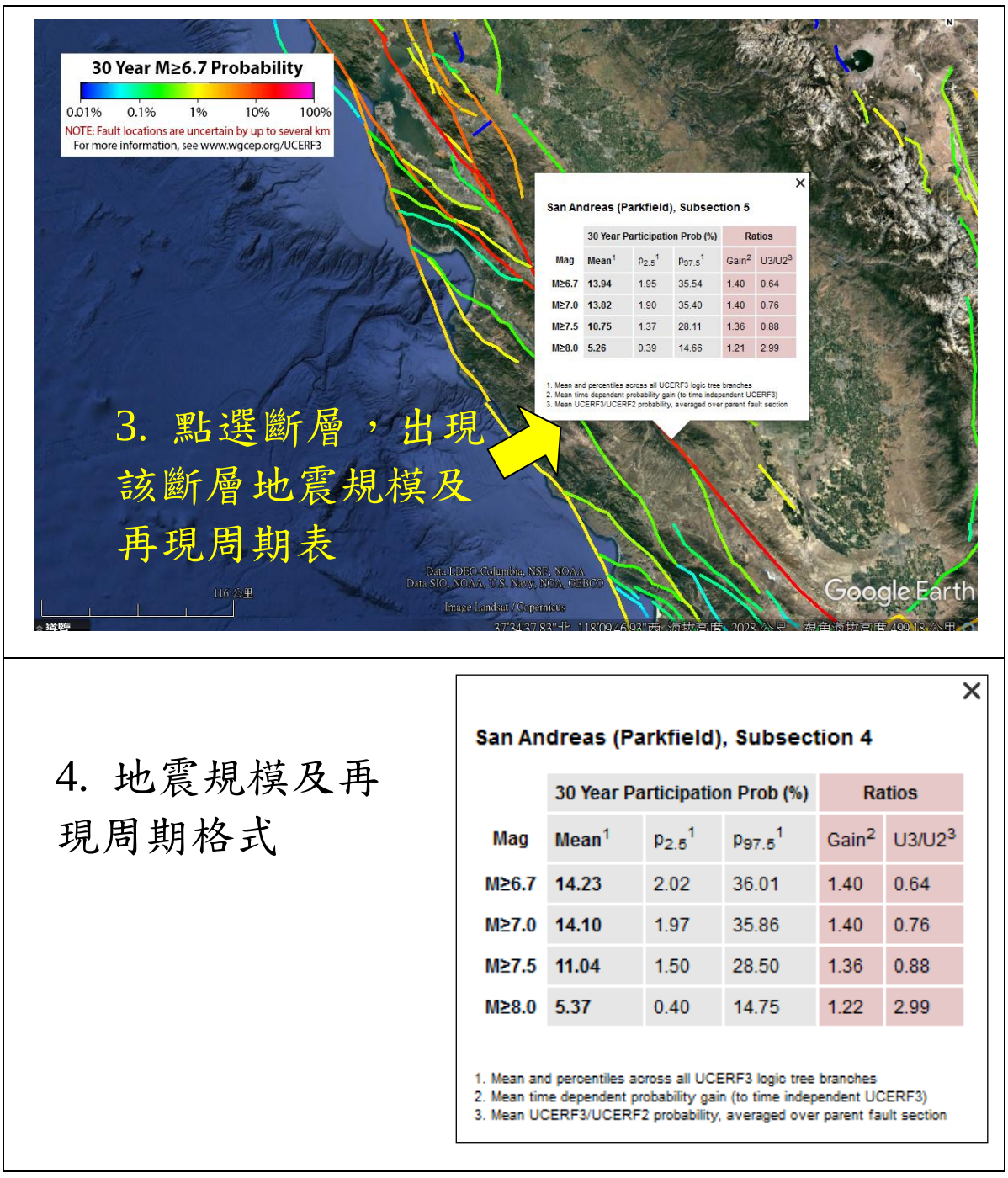


圖 12.2：美國南加州地震中心之活動斷層潛勢圖公布網頁。

(3)歐洲活動斷層資料庫

網址: http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/SHARE_WP3.2_Database.html

此網站以資料共享為目的，蒐集並提供歐洲活動斷層之網頁地圖瀏覽，點選圖面上的斷層線，可以開啟該活動斷層的參數與詳細資料表(如圖 12.3)。

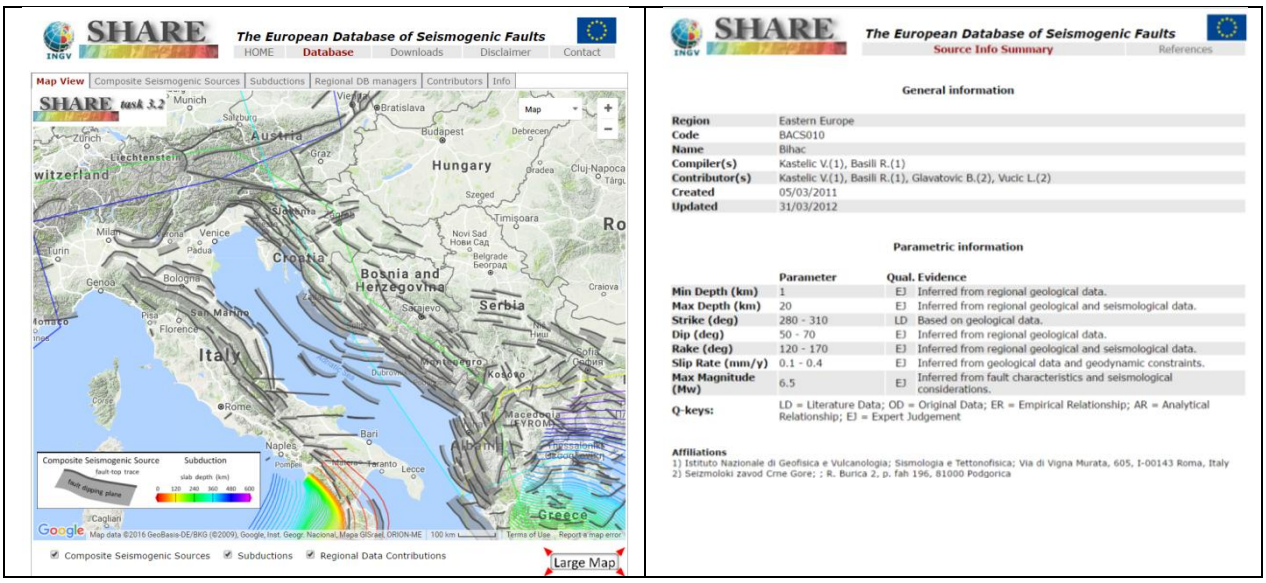
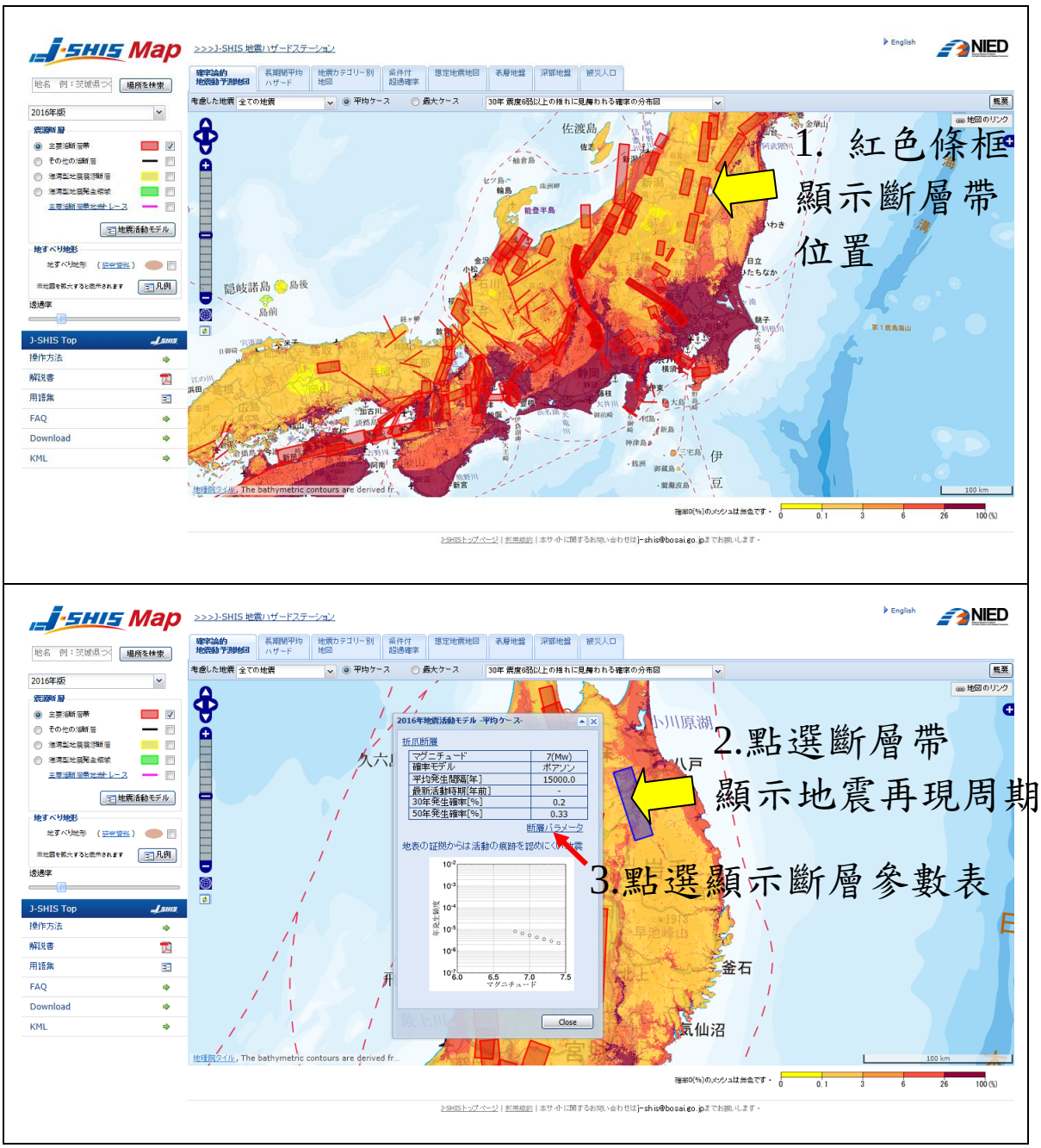


圖 12.3：歐洲活動斷層資料庫之活動斷層潛勢圖公布網頁。

(4)日本地震災害資訊站(Japan Seismic Hazard Information Station, J-SHIS)之活動斷層地圖查詢系統

網址：http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/

此網站可以查詢日本全國境內之斷層帶，以紅色長方型表示斷層帶範圍，使用者可在圖面上用滑鼠直接點選欲查詢之斷層帶，點選後會顯示該斷層帶之名稱與斷層參數簡易表(圖 12.4)，簡易表中的資訊包含最大地震規模、最近活動時間、地震再現周期、30 年內地震發生率以及 50 年內地震發生率，而進一步點選表格下方連結，會出現更加詳細的斷層參數表，如圖 12.4 所示。


1. 紅色條框
顯示斷層帶
位置
2.點選斷層帶
顯示地震再現周期表
3.點選顯示斷層參數表

折爪断層（1101）

	長期評価	設定値	
		平均ケース	最大ケース
平均活動間隔	不明	15000年	15000年
最新発生時期	不明	（ポアソン過程）	（ポアソン過程）
30年発生確率	—	0.20%	0.20%
50年発生確率	—	0.33%	0.33%
断層帯原点	（北端） 北緯 40°30′ 東経 141°16′ （南端） 北緯 40°06′ 東経 141°26′	—	
活断層長さ L	最大 47 km 程度	—	
マグニチュード M	最大 7.6 程度	47 km	
巨視的震源パラメータ	設定方法	7.6	
断層モデル原点	地中の上端における北端	北緯 40.499° 東経 141.242°	
走向 θ	長期評価の端点を結ぶ方向	N162.3°E	
傾斜角 δ	「西傾斜」	45°	
すべり角 γ	「西側隆起の逆断層」	90°	
断層モデル上端深さ	微小地震の発生と地震基盤深さを参考	2 km	
断層モデル長さ L_{model}	手続き化の方法に従い設定	48 km	
断層モデル幅 W_{model}	手続き化の方法に従い設定	18 km	
断層モデル面積 S_{model}	$S_{model}=L_{model}\times W_{model}$	864 km^2	
地震モーメント M_0	$\log M_0 = 1.17M + 10.72$	4.32E+19 Nm	
モーメントマグニチュード M_w	$M_w = (\log M_0 - 9.1)/1.5$	7.0	
静的応力降下量 $\Delta\sigma$	$\Delta\sigma = 7/16 \cdot M_0/R^3$	4.1 MPa	
平均すべり量 D_{model}	$D_{model} = M_0/(\mu \cdot S_{model})$	1.6 m	
短周期レベル A	$A = 2.46\cdot 10^{17}\times M_0^{1/3}$	1.86E+19 Nm/s^2	

微視的震源パラメータ			ケース１～４
全アスペリティ	面積 S_a	$S_a = \pi r^2,\ r = 7\pi/4 \cdot M_0/(A \cdot R)\cdot\beta^2$	248.8 km^2
	平均すべり量 D_a	$D_a = \gamma_D \cdot D_{model},\ \gamma_D = 2.0$	3.2 m
	実効応力 σ_a	$\sigma_a = \Delta\sigma_a = 7/16 \cdot M_0/(r^2 \cdot R)$	14.4 MPa
	地震モーメント M_{0a}	$M_{0a} = \mu \cdot D_a \cdot S_a$	2.48E+19 Nm
第１アスペリティ	面積 S_{a1}	$S_{a1} = S_a \cdot (2/3)$	165.9 km^2
	平均すべり量 D_{a1}	$D_{a1} = (\gamma_1/\Sigma\gamma_i^3)\cdot D_a$	3.5 m
	実効応力 σ_{a1}	$\sigma_{a1} = \sigma_a$	14.4 MPa
	計算用面積	2km メッシュサイズ	160 km^2
第２アスペリティ	面積 S_{a2}	$S_{a2} = S_a \cdot (1/3)$	82.9 km^2
	平均すべり量 D_{a2}	$D_{a2} = (\gamma_2/\Sigma\gamma_i^3)\cdot D_a$	2.5 m
	実効応力 σ_{a2}	$\sigma_{a2} = \sigma_a$	14.4 MPa
	計算用面積	2km メッシュサイズ	80 km^2
背景領域	面積 S_b	$S_b = S_{model} - S_a$	615.2 km^2
	平均すべり量 D_b	$D_b = M_{0b}/(\mu \cdot S_b)$	1.0 m
	実効応力 σ_b	$\sigma_b = (D_b/W_b)\cdot(\pi^{1/2}/D_a)\cdot r \cdot \Sigma\gamma_i^3 \cdot \sigma_a$	2.9 MPa
	地震モーメント M_{0b}	$M_{0b} = M_0 - M_{0a}$	1.83E+19 Nm
	計算用面積	2km メッシュサイズ	624 km^2

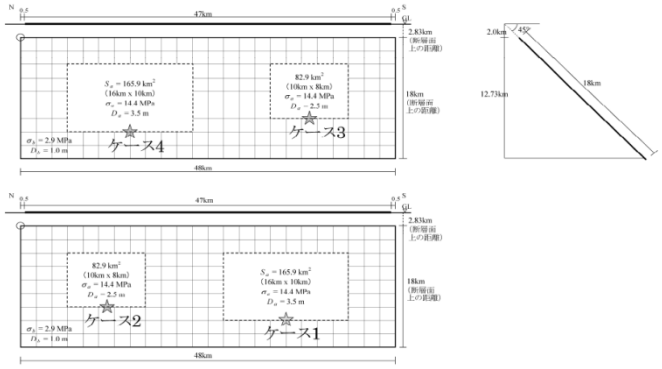


圖 12.4：日本地震災害資訊站之活動斷層潛勢圖公布網頁

藉由介紹國外活動斷層潛勢圖之公布方式，本計畫擬先針對前述之專業學者及相關執業技師邀請來參加說明座談會，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? 並請專家們提出合理可行的因應對策，以作為編撰「問題因應策略報告書」之參考。

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

布問題因應策略報告書_(106 年度版)」，以供地調所之參考依據，詳細內容請參見附錄 3。重點節錄如下：

- 應思考本圖的定位與公布目的，是定位為科研結果還是社會應用？且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。
- 潛勢圖是以活動斷層線型跡為主，但少數斷層之線型跡與斷層敏感區不重合，須有一致的斷層線型跡版本，並且專家建議斷層線型跡的精度應高於 1/25000，以減少套繪於其他圖資之精度謀合問題。
- 我國應學習日本經驗，對斷層進行更詳細的地質調查(槽溝定年、線形判釋、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。
- 不應只考慮 33 條斷層，應包含海域斷層、陸海延伸斷層、陸域尚未納入但學界已確定之活動斷層。
- 因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，故本潛勢圖公布應不至於對現行建築相關法規有太大之衝擊。
- 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，調整地震係數，在考慮機率值後反而可以增加工程安全與經濟性，例如工程重要性高且斷層活動機率高之工程設計可保守些；反之，工程重要性雖高但斷層活動機率低之可考慮工程使用生命週期內採用較經濟的設計與施工。

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，如負責管理開發案建照申請之地方政府，或是產險業者等。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。

依前所述，本工項之執行流程如圖 12.5 所示。

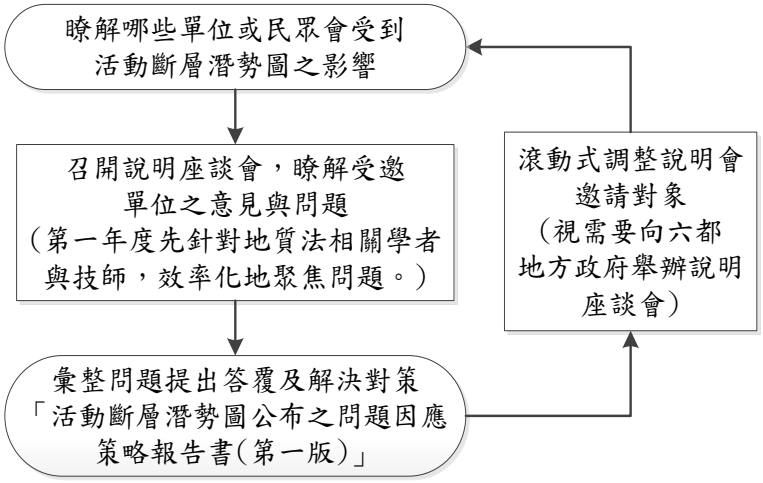


圖 12.5：活動斷層潛勢圖公布相關問題研析之執行流程

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：

甲、「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。」

乙、「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。」

第十三章、本年度成果與後續工作

13-1 本年度成果

1. 本計畫考慮褶皺逆衝帶中斷層空間之分布關係，進行幾何參數之調整。前階段計畫斷層面並未考慮深部傾角之變化，本計畫會在斷層深部傾角進行調整，使斷層幾何面符合大地測量反演之模型以及地下地質調查之推論。其中大甲-彰化斷層系統、車籠埔斷層、九芎坑斷層及觸口斷層均加入了基底滑脫面，而大茅埔-雙冬斷層則配合車籠埔斷層之空間分布進行幾何面的調整，梅山斷層由於在幾何上並無新事證，僅調整傾角中間值，由 75 度變為 80 度。在權重分配上，優先考慮震測剖面搭配地震深度分布剖面之結果，其次則是平衡剖面，最後則是利用地溫或是速度構造剖面推估之幾何模型。
2. 本計畫蒐集 Wu et al. (2017)之 D10 及 D90 孕震深度空間分布資料，針對中部地區活動斷層進行孕震深度分析，結果顯示大甲-彰化斷層、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層 D90 之孕震深度大多位於 20 公里深，與地質和地溫梯度推估之斷層破裂深度有落差，比對區域背景地震之實際分布狀態，推測係於斷層區域有深部的孕震構造存在而影響該區域孕震深度分析之結果有著較大的孕震深度，而實際上由淺部活動斷層引發之地震其累積能量並未達到區域之 90%。九芎坑斷層及大尖山斷層上盤 D90 之孕震深度約在 13-15 公里，比本計畫蒐集之地質平衡剖面深。觸口斷層上盤 D90 之孕震深度約在 14-17 公里，也比本計畫蒐集之平衡剖面深。梅山斷層 D90 之孕震深度約在 13-15 公里，則與本計畫推估之孕震深度相符。
3. 前階段活動斷層參數蒐集中，仍有部分斷層缺少可用於計算長期滑移速率之地質資料，包括大茅埔-雙冬斷層、屯子腳斷層、獅潭斷層、梅山斷層、新化斷層、左鎮斷層、嶺頂斷層、奇美斷層。因此本計畫會採用「斷層模型反演計畫」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。
4. 本計畫針對中部地區活動斷層邏輯樹更新，除了在幾何面上進行修正之外，在長期滑移速率上會加入滑移角計算，並計算新的滑移速率上下限值及中值作為邏輯樹之參數。
5. 以機率法評估活動斷層未來 30、50、100 年最大可能地震規模之發生機率。中部地區各斷層發生機率詳如下表所示：

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
大甲—彰化斷層系統	西元 1848 年	BPT	36.1%	49.0%	65.5%
車籠埔斷層	西元 1999 年	BPT	5.9%	11.5%	26.3%
梅山斷層	西元 1906 年	BPT	9.2%	14.1%	23.0%
大茅埔-雙冬斷層	未知	Poisson	6.9%	11.2%	20.7%
九芎坑斷層	未知	Poisson	1.9%	3.2%	6.3%
觸口斷層	未知	Poisson	15.0%	23.4%	40.1%

6. 本計畫已建立苗栗變形前緣及嘉義變形前緣之參數表及邏輯樹節點之劃設。
7. 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 2。
8. 本計畫已建立活動斷層照片資訊欄位，並蒐集中部地區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。
9. 本計畫已規劃活動斷層潛勢圖公布相關問題研析之執行流程，並舉辦兩次專家座談會議，

第一次會議初步瞭解活動斷層潛勢圖公布後之相關問題及對策，第二次會議以探討活動斷層潛勢圖內容呈現為主要議題，詳附錄 3。

13-2 後續工作

1. 後續針對臺灣其他地區 24 條活動斷層參數持續進行資料蒐集及精進之工作。
2. 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，如右昌、龍船、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

日本地震調查研究推進本部地震調查委員會（2014）全國地震動預測地圖 2014 年版。

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

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。

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、葉明官、楊志成、石瑞銓、林啟文、侯進雄（2006）梅山斷層的構造特性，經濟部中央地質調查所彙刊，19，135-151。

陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2008）地震地質與地變動潛勢分析計畫ㄧ斷層長期滑移速率與再現週期研究（1/4）。經濟部中央地質調查所報告第 96–10 號，共 86 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。

黃姝琳(2009)台灣南部嘉義地區麓山帶構造型態轉換之研究。國立臺灣大學理學院地質科學系碩士論文，共 101 頁。

楊耿明、洪日豪、吳榮章、黃旭燦（2001）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（1/5）-西南地區（觸口斷層），經濟部中央地質調查所報告第 89–4 號，共 93 頁。

臺北觀測所（1936）昭和 10 年 4 月 21 日新竹－台中烈震報告，台北，共 160 頁（日文）。

鄭世楠（1995）台灣及鄰近地區大地應力分布的研究，國立中央大學地球物理研究所博士論文，196–207。

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。

Bonner, J.L., Blackwell, D.D. & Herrin, E.T. (2003) Thermal constraints on earthquake depths in California, Bull. Seism. Soc. Am., 93, 2333-2354.

Chen, K.P., and Tsai, Y.B. (2008) A catalog of Taiwan earthquakes (1900–2006) with homogenized Mw magnitudes. Bull. of the Seismol. Soc. Am., 98, 483–489.

Chen, W.P. & Molnar, P. (1977) Seismic moments of major earthquakes and the average rate of slip in central Asia, J. Geophys. Res., 82, 2945-2969.

Chen, W.-P., Hung, S.-H., Tseng, T.-L., Brudzinski, M., Yang, Z. & Nowack, R.L. (2012) Rheology of the continental lithosphere: Progress and new perspectives, Gondwana research, 21, 4-18.

Chen, W.-S., C.-C. Yang, I.-C. Yen, L.-S. Lee, K.-J. Lee, H.-C. Yang, H.-C. Chang, Y. Ota, C.-W. Lin, W.-H. Lin, T.-S. Shih and S.-T. Lu (2007) Late Holocene paleoseismicity of the southern part of the Chelungpu Fault in central Taiwan: evidence from the Chushan excavation site. Bull. Seism. Soc. Am., 97(1B), 1–13. doi:10.1785/0120050161

Chen, Y.-G., Y.-W. Chen, W.-S. Chen, J.-F. Zhang, H. Zhao, L.-P. Zhou and S.-H. Li (2003) Preliminary results of long-term slip rates of 1999 earthquake fault by luminescence and radiocarbon dating. Quat. Sci. Rev., 22(10–13), 1213–1221. doi:10.1016/S0277-3791(03)00037-4.

Chen, Y.W., Chena, Y.G., Murray, A.S., Watanuki, T., Chena, W.S., Yanga, C.C.B., Liua, T.K., Lin, C.W. (2009) Long-term crustal movement caused by the Chiuchiungkeng

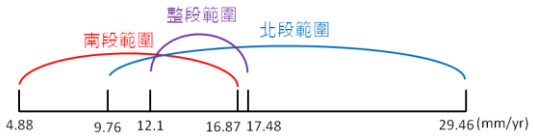
Fault in southwestern Taiwan: Constraints from luminescence dating. Quatern. International, 199, 1-2, 15–24. doi.org/10.1016/j.quaint.2008.07.014.
Cheng, C. T., S. J. Chiou, C. T. Lee, and Tsai, Y. B. (2007) Study on probabilistic seismic hazard maps of Taiwan after Chi-Chi earthquake. J. GeoEngineering, 2, 19-28.
Chiarabba, C., & De Gori, P. (2016) The seismogenic thickness in Italy: constraints on potential magnitude and seismic hazard. Terra Nova, 28(6), 402-408.
Ching, K.-E., Rau, R.-J., Johnson, K.M., Lee, J.-C., and Hu, J.-C. (2011) Present-day kinematics of active mountain building in Taiwan from GPS observations during 1995–2005. J. Geophys. Res., 116, B09405, doi:10.1029/2010JB008058.
Dominguez, S., J. P. Avouac, and R. Michel (2003) Horizontal coseismic deformation of the 1999 Chi-Chi earthquake measured from SPOT satellite images: Implications for the seismic cycle along the western foothills of central Taiwan. J. Geophys. Res., 108(B2), 2083. doi:10.1029/2001JB000951
Doser, D.I. & Kanamori, H. (1986) Depth of seismicity in the Imperial Valley Region (1977-1983) and its relationship to heat flow, crustal structure and the October 15, 1979, earthquake, J. Geophys. Res., 91, 675-688.
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.
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 (2015) Long-Term Time-Dependent Probabilities for the Third Uniform California Earthquake Rupture Forecast (UCERF3). Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 105, No. 2A, pp. 511–543, doi:10.1785/0120140093.
Hung, J.H., Wiltschko, D.V., Lin, H.C., Hickman, J.B., Fang, P., and Bock, Y. (1999) Structure and Motion of the Southwestern Taiwan Fold and Thrust Belt, TAO, 10(3), 543-568.
Hsiao, P.-T.(1970) Seismic study of the area between the coastal plain and the foothills, Chiayi, Taiwan. Petroleum Geology of Taiwan, 7, 17-45.
Ito, K. (1990) Regional variations of the cutoff depth of seismicity in the crust and their relation to heat flow and large inland-earthquakes, J. Phys. Earth, 38, 223-250.
Kao, H. and Chen, W.-P. (2000) The Chi-Chi earthquake sequence: active, out-of-sequence thrust faulting in Taiwan. Science, 288(5475), 2346–2349, doi:10.1126/science.288.5475.2346.
Lin, C.W., Hsu, C.Y., Yu, T.D. (2007) The Chiuhsiungken fault: a candidate to trigger a hazardous earthquake in western Taiwan. Journal of Asian Earth Science, 30, 390–402.
Lin, D.H., Chen, K.H., Rau, R.J., and Hu, J.C. (2013) The role of a hidden fault in stress triggering: Stress interactionswithin the 1935 Mw7.1 Hsinchu–Taichung earthquake sequence in central Taiwan. Tectonophysics, 601, 37–52.
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.
Lee, Y.-H. and Shih, Y.-X. (2011) Coseismic displacement, bilateral rupture, and structural characteristics at the southern end of the 1999 Chi-Chi earthquake rupture, central Taiwan. J. Geophys. Res., 116(B7), B07402, doi:10.1029/2010JB007760.
Magistrale, H. (2002) Relative contributions of crustal temperature and composition to

controlling the depth of earthquakes in Southern California, Geophys. Res. Lett., 29, 1447.lation to heat flow and large inland-earthquakes, J. Phys. Earth, 38, 223-250.
McCaffrey, R. (2005) Block kinematics of the Pacific–North America plate boundary in the southwestern United States from inversion of GPS, seismological, and geologic data, J. Geophys. Res., 110, B07401, doi:10.1029/2004JB003307.
Nazareth, J.J. and Hauksson, E. (2004) The seismogenic thickness of the southern California crust, Bull. Seism. Soc. Am., 94, 940-960.
Namson, Jay (1981) Structure of the western foothills belt, Miaoli-Hsinchu area, Taiwan : (I) southern part. Petroleum Geology of Taiwan, 18, 31-51.
Okada, Y. (1992) Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bulletin of the Seismological Society of America, 82(2), 1018-1040.
Omuralieva, A.M., Hasegawa, A., Matsuzawa, T., Nakajima, J. & Okada, T. (2012) Lateral variation of the cutoff depth of shallow earthquakes beneath the Japan Islands and its implications for seismogenesis, Tectonophysics, 518-612, 93-105.
Savage, J.C., and Lisowski, M. (1993) Inferred depth of creep on the Hayward Fault, central California. Journal of Geophysical Research, v. 98, no. B1, p. 787–793, doi: 10.1029/92JB01871.
Scholz, C.H. (1998) Earthquakes and friction laws, Nature, 391, 37-42.
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. and C. T. Cheng (2016) A New On-Land Seismogenic Structure Source Database from the Taiwan Earthquake Model (TEM) Project for Seismic Hazard Analysis of Taiwan, Terr. Atmos. Ocean. Sci., 27, 3, p. 311-323.
Siame L.L., Chen, R.F., Derrieux, F., Lee, J.C., Chang, K.J., Bourlès, D.L. Braucher, R., Léanni, L., Kang, C.C., Chang, C.P., and Chu, H.T. (2012) Pleistocene alluvial deposits dating along frontal thrust of Changhua Fault in western Taiwan: The cosmic ray exposure point of view. J. Asian Earth Sci., 51, 1–20.
Sibson, R.H. (1982) Fault zone models, heat flow, and the depth distribution of earthquakes in the continental crust of the United States, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 151-163.
Sibson, R.H. (1986) Earthquakes and rock deformation in crustal fault zones, Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 14, 149-175.
Simoes, M., Avouac, J.P., Chen, Y.G., Singhvi, A.K., Wang, C.Y., Jaiswal, M., Chan, Y.C., and Bernard, S. (2007) Kinematic analysis of the Pakuashan fault tip fold, west central Taiwan: shortening rate and age of folding inception. Journal of Geophysical Research 112, B03S14. doi:10.1029/2005JB004198.
Tanaka, A. & Ishikawa, Y. (2002) Temperature distribution and focal depth in the crust of the northeastern Japan, Earth Planets Space, 54, 1109-1113.
Wang, C. Y., Chang, C.H., Yen, H.Y. (2000) An interpretation of the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan based on the thin-skinned thrust model. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences 11 (3), 609– 630.
Ward, S. N. (1998) On the consistency of earthquake moment release and space geodetic strain rates: Europe. Geophys. J. Int., 135, 1011-1018.
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.
Williams, C.F. (1996) Temperature and the seismic/aseismic transition: Observations from the 1992 Landers earthquake, Geophys. Res. Lett., 23, 2029-2032.
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.B., Chen W.S., Wu, L.C., Lin, C.W. (2007) Active deformation front delineated by drainage pattern analysis and vertical movement rates, southwestern coastal plain of Taiwan, J. Asian Ear. Sci., doi: 10.1016/j.jseaes.2006.07.026
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.
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.
Yue, L. F., Suppe, J., and Hung, J.H. (2011) Two contrasting kinematic styles of active folding above thrust ramps, western Taiwan, in K. McClay, J. H. Shaw, and J. Suppe, eds., Thrust fault-related folding: AAPG Memoir, 94, 153–186.

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. 依美國之經驗，針對走向斷層之孕震深度有較佳對應，而逆衝斷層及正斷層案例較少，不確定性高，而台灣的環境卻以逆斷層為主，是否會影響評估？運用地震矩累計量所分析之孕震深度(大於 20 公里)似乎過深，除地溫梯度外有無其他合理估算的方法或資訊？	後續工作針對鳌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震測剖面、Vp 速度構造剖面綜合判斷，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。另外本計畫也將考量 Wu et al. (2017)提出對於 921 集集地震可以合理推估震矩規模之區域孕震厚度，進行孕震深度比對資料進行統計，作為另一個斷層孕震厚度擬定參考之討論因子。
2. 斷層潛移分量對於滑移速率折減之估算是否適合套用美國之理論？請加入台灣地質環境之考量。	關於滑移速率折減，會參考委員意見，與建立台灣塊體模型之研究團隊討論塊體模型之鎖定率適用及使用之方法準則。而考慮台灣地質環境，本計畫已參考 Shyu et al. (2016)之地質資料，加入內部形變進行模擬。
3. 車籠埔斷層北段垂直滑移速率較快、南段較慢，整段居中；但加入斷層傾角及滑移角後，整段淨滑移速率之最小值，明顯超越南北段之最小值，請說明此一狀況之合理性。還是北段滑移速率遭低估或整段滑移速率高估？	整段的資料是參考陳文山的槽溝回歸之滑移速率，其數值大約也是將北段的速率和南段的速率取平均而得，因此整段的滑移速率經換算後，應會位於南段和北段的滑移速率範圍內，如下圖所示： 
4. 1935 年地震事件時許多餘震分布於屯子腳斷層以北及獅潭斷層斷層以西區域，且有 3 個規模超過 6 的地震分布於此，與預估之最大可能地震規模相近，是否代表苗栗盲斷層當時曾活動？	根據 1935 年餘震分布，可得知餘震並非位於屯子腳斷層及獅潭斷層，應是由西側苗栗前緣構造之破裂所造成，因此考慮苗栗前緣構造單獨破裂之情形。而獅潭及屯子腳斷層則考慮為系統破裂，即 1935 年之主震破裂情形。
5. 本計畫蒐集美國、歐洲及日本的活動斷層查詢系統，請比較各國呈現之資料內容，並考量台灣調查現況，提供相關建議，另考量查詢系統展圖之最大比例尺是否有所限制？	感謝委員意見，本計畫已蒐集國外之網頁平臺系統，並會與地調所討論網頁查詢平台需加入的斷層參數格式及照片內容，提供給資訊廠商建置於活動斷層查詢系統中。目前活動斷層查詢平台展圖之最大比例尺為 1:36,000，不會提供外界更大之比例尺。

6. 活動斷層潛勢圖和孕震構造分析，不必侷限現有的活動斷層，例如可能的盲斷層就很重要。最好提醒是盲斷層或線形或變形前緣。	感謝委員意見，本團隊會蒐集過去以及其他單位劃設之活動斷層分布圖，並規劃可評估之活動斷層，討論可行性之後，作為後續斷層潛勢評估之工項。
7. 專家討論會，可以考慮請一些生產資料的學者或是工作者，有助於提供更全面性的資料分析基礎。	感謝委員建議，本團隊會與相關生產資料專家，例如陳文山教授、徐澔德副教授聯繫討論，獲得更多基本調查資料，以完善斷層參數。
8. 建議可以省略 100 年發震潛勢的分析工作。	感謝委員意見，100 年發震潛勢本團隊仍會進行評估，但是僅於報告中呈現，不會公布於潛勢圖中。
9. 孕震深度是否一定要連結地表淺部的斷層。	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，比對本計畫中部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。
10. 本階段不用建立局部塊體模型。	感謝委員意見，本團隊會與「地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估」計畫團隊溝通，建立並修改全臺整體之塊體模型。
11. 斷層幾何雖然有所精進，但以現在版本，雖考慮有些斷層雖有兩段傾角的變化，但兩段傾角之轉折仍不夠精細或相關資料之輔助仍然不足。建議仍然需要參考地質剖面，以車籠埔斷層為例，其破裂面大致沿著錦水頁岩往東延至基底滑脫斷層並與滑脫斷層下之高角度構造相關，因此精細化可以再加強。	感謝委員建議，本計畫已蒐集斷層剖面資料協助判斷中部地區活動斷層的幾何形貌，後續會清楚呈現相關資料如何輔助決定斷層幾何面之過程。
12. 潛移之折減滑移速率，建議參考塊體模型之鎖定率，另外沒有長期滑移速率部分，可以考慮用斷層面之滑移虧損之平均，代表同震變形之可能滑移量。	感謝委員建議，關於鎖定率是否可運用於潛移之折減率，會與建立塊體模型之研究團隊討論其適用及使用之方法準則。本計畫會參考「地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估」計畫中兩種斷層模型反演所得之滑移虧損率，納入潛勢評估中。
13. 有關 D10 和 D90 之孕震深度，需考慮是斷層與孕震帶之關係如何？另外中部地區有深度的孕震構造，但不見得會連接到地表的斷層系統。	與意見 9 合併回覆，請詳意見 9 之回覆內容。

14. 此計劃的執行及成果報告未來呈現，為地震防災及後續許多政府單位及產業重要依據，為提高台灣地區斷層及其相關潛勢防災的精進作為。	感謝委員意見。
15. 孕震深度與斷層深度其相關程度，有必要釐清，因為 Areal Source and Fault Source 有互相干擾的現象。	感謝委員建議，本計畫參酌美國經驗依據地震矩累計分析之孕震深度與斷層深度初步評估其相關性結果，中部斷層與孕震深度無法以孕震深度直接作為斷層深度依據，尤其是逆衝形式斷層，需配合地質、地物及地震相關資訊統整分析決定。Areal Source 及 Fault Source 為地震危害度分析之重要地震源輸入資訊，本計畫之結果期彙整該項分析結果，作為提供地震危害度分析之重要參考資訊。
16. 目前斷層相關參數的邏輯樹，未來應用為何？	斷層參數邏輯樹劃設目的是為了收斂斷層發震之機率，也可提供後續地震危害度分析參用。
17. GPS Block model 其平均滑移及虧損率的應用為何？機率評估。Blind fault 的部分，GPS modeling 應可提供相關暗示。	感謝委員建議，目前滑移虧損率應用於無地質資料推估滑移速率之斷層，作為代替長期滑移速率之值。本團隊會蒐集 GPS 速度場資料，找出可能之孕震構造，並於後續工項中提出建議新增評估之孕震構造。
18. 網頁資料，對於輸入參數時的日期應標上，以免造成後續舊資料及新資料混淆的困擾。	感謝委員建議，會於網頁平台上加上輸入日期。

期末委員審查意見

期中審查意見	處理情形
1. 第 32 頁圖 2-2.1、第 33 頁圖 2-2.2 孕震深度分布圖建議增加顏色所代表深度的指標，以利閱讀。	遵照辦理修改。
2. 車籠埔斷層為臺灣少數具有詳盡古地震研究之活動斷層，研究成果可與斷層潛勢評估結果作比較，本計畫（第 55 頁）提及車籠埔斷層地震復發間隔時間 200-300 年間有較高之權重，由槽溝開挖古地震研究車籠埔斷層的再現周期約 300-400 年，是否能比較說明二者結果之差異性。	槽溝開挖之古地震主要是有破裂到地表之事件才能紀錄到，而且由於斷層破裂到地表之位置並不一定相同，因此部份古地震事件不一定會於同一槽溝中紀錄到。本計畫評估規模 6.5 以上地震之週期，採用能量累積法計算，包含整個斷層帶以及未破裂到地表之地震事件，因此通常再現週期會低於槽溝觀察之古地震事件紀錄。
3. 由 1906 年地震紀錄觀之，梅山地震規模為 7.1，而由目前四種破裂模式計算出的地震規模都相對偏小，建議說明二者間之差異。	從 1906 年梅山地震之地振動分析以及餘震分布情形，梅山地震較可能是由嘉義斷層在深部破裂所造成，而梅山斷層則為嘉義斷層之撕裂斷層。本報告第十章評估嘉義斷層之規模在 7.0~7.1 左右，符合 1906 年地震記錄。
4. 有關嘉義變形前緣斷層與嘉義盲斷層有數種版本，構造位置與特性都有所不同，目前運用同一套斷層參數將其合併在一起作潛勢評估，評估結果代表什麼意義？	本計畫認為嘉義前緣構造及嘉義(盲)斷層應為兩個不同之構造，因此報告中分別以表 10-1.2 及表 10-1.3 呈現其參數，而表 10-1.3 之嘉義前緣構造位置及參數已由 Shyu et al. (2016)彙整評估，因此本計畫主要彙整評估嘉義(盲)斷層之參數，而嘉義(盲)斷層之位置目前有三種版本，本計畫會請教相關專家，選擇最為合理之版本進行評估。
5. 附錄一臺灣活動斷層潛勢圖內說明文字模糊，請修正；在附錄 3-7 問題與對策部分有相關探討，但在內文或附錄一缺乏一段文字說明本圖之製作與代表意義、相關使用限制，資料容易遭誤解誤用，建議增加相關文字說明。	感謝委員意見，本計畫會補充潛勢圖相關文字說明於附錄中。
6. 附錄 3-8 第 3 行「納入已確定之活動斷層(如龍船斷層)」，依現有地質調查資料龍船斷層仍無法認定為活動斷層，相關文字描述請審慎，以免遭誤解誤用。	感謝委員建議，本計畫對於未認定為斷層之構造會改以「活動構造」命名。
7. 參考文獻缺漏，請補充文內引用之參考文獻說明。	所有文中出現之引用參考文獻已重新蒐尋並補上。

附錄 1 台灣水平速度場及斷層活動潛勢圖

台灣水平速度場及斷層活動潛勢圖是以GPS測站點位及2002-2017年水平速度場為底圖，套疊地調所33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：

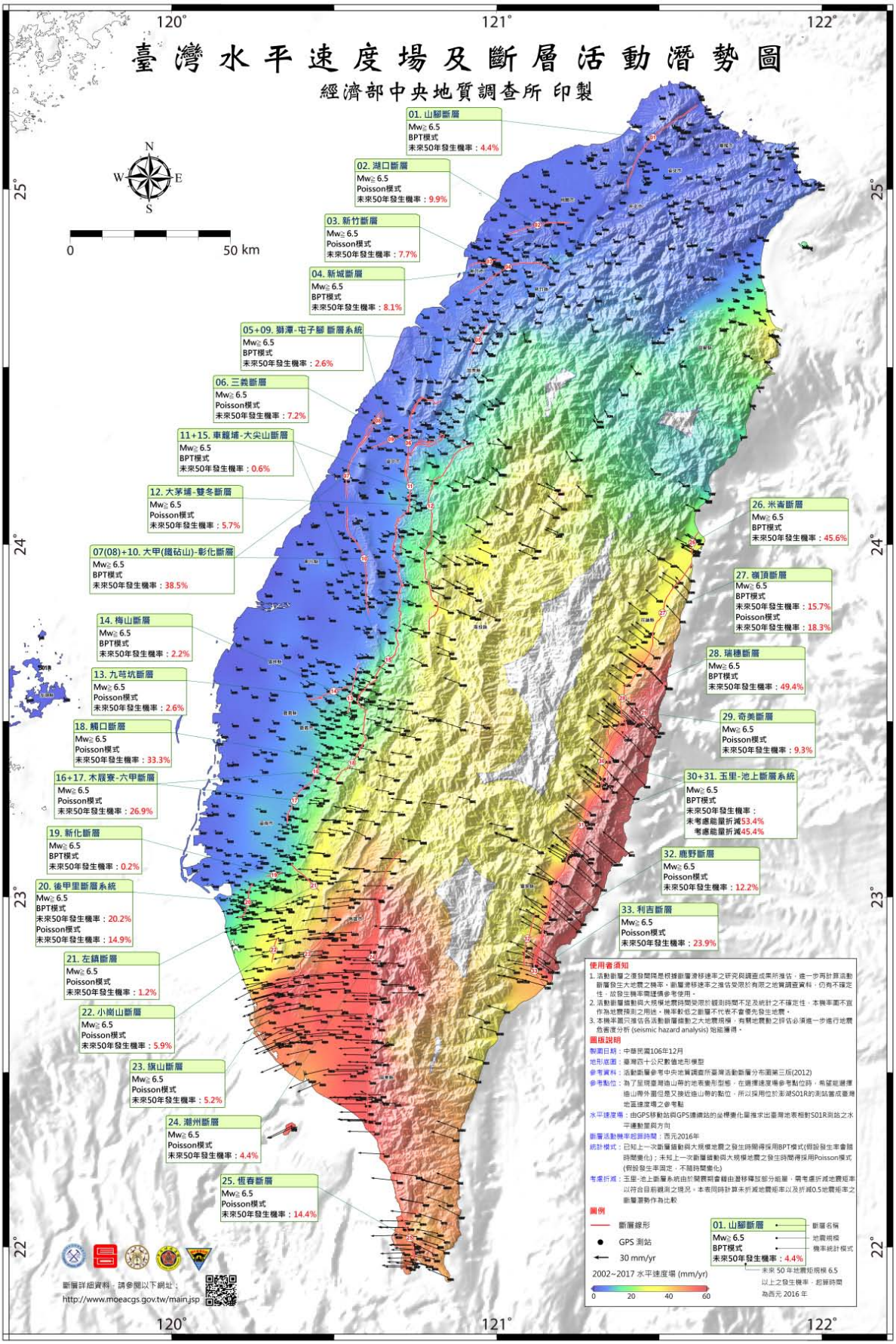
1. 活動斷層之復發間隔是根據斷層滑移速率之研究與調查成果所推估，進一步再計算活動斷層發生大地震之機率。斷層滑移速率之推估受限於有限之地質調查資料，仍有不確定性，故發生機率需謹慎參考使用。
2. 活動斷層錯動與大規模地震時間受限於觀測時間不足及統計之不確定性，本機率圖不宜作為地震預測之用途。機率較低之斷層不代表不會優先發生地震。
3. 本機率圖只推估各活動斷層錯動之大地震規模，有關地震動之評估必須進一步進行地震危害度分析 (seismic hazard analysis) 始能獲得。

二、圖版說明，包含以下內容：

- 製圖日期：中華民國106年12月
- 地形底圖：臺灣四十公尺數值地形模型
- 參考資料：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2016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。本表同時計算未折減地震矩率以及折減0.5地震矩率之斷層潛勢作為比較

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

潛勢圖左下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。


臺灣水平速度場及斷層活動潛勢圖
經濟部中央地質調查所 印製
120°
121°
122°
25°
24°
23°
22°
N
W
E
S
0
50 km
01. 山腳斷層
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：4.4%
02. 湖口斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：9.9%
03. 新竹斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：7.7%
04. 新城斷層
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：8.1%
05+09. 獅潭-屯子腳 斷層系統
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：2.6%
06. 三義斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：7.2%
11+15. 車籠埔-大尖山斷層
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：0.6%
12. 大茅埔-雙冬斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：5.7%
07(08)+10. 大甲(鐵砧山)-彰化斷層
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：38.5%
14. 梅山斷層
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：2.2%
13. 九芎坑斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：2.6%
18. 觸口斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：33.3%
16+17. 木屐寮-六甲斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：26.9%
19. 新化斷層
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：0.2%
20. 後甲里斷層系統
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：20.2%
Poisson模式
未來50年發生機率：14.9%
21. 左鎮斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：1.2%
22. 小崗山斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：5.9%
23. 旗山斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：5.2%
24. 潮州斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：4.4%
25. 恆春斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：14.4%
26. 米崙斷層
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：45.6%
27. 嶺頂斷層
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：15.7%
Poisson模式
未來50年發生機率：18.3%
28. 瑞穗斷層
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：49.4%
29. 奇美斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：9.3%
30+31. 玉里-池上斷層系統
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：
未考慮能量折減53.4%
考慮能量折減45.4%
32. 鹿野斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：12.2%
33. 利吉斷層
Mw≧ 6.5
Poisson模式
未來50年發生機率：23.9%
使用者須知
1. 活動斷層之重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。
圖版說明
製圖日期：中華民國106年12月
地形底圖：臺灣四十公尺數值地形模型
參考資料：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，希望能避開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2016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-池上斷層系統由於閉鎖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。本表同時計算未折減地震矩率以及折減0.5地震矩率之斷層潛勢作為比較
圖例
斷層線形
GPS 測站
30 mm/yr
2002~2017 水平速度場 (mm/yr)
0
20
40
60
01. 山腳斷層
Mw≧ 6.5
BPT模式
未來50年發生機率：4.4%
斷層名稱
地震規模
機率統計模式
未來 50 年地震矩規模 6.5 以上之發生機率，起算時間為西元 2016 年
斷層詳細資料，請參閱以下網址：
http://www.moeacgs.gov.tw/main.jsp

附錄 2 邏輯樹專家諮詢會議記錄

附表 2-1 「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估 (1/4)」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">鄭錦桐
博士</td><td>日
期</td><td>2017 年 07 月 03 日</td><td>時
間</td><td>10:00~12:00</td></tr>
<tr><td>地
點</td><td>經濟部中央地質調查所</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：
中央大學：李錫堤 教授、林殿順 副教授
成功大學：葉永田 教授
中正大學：李元希 教授
中研院：李建成 研究員
地調所：朱傚祖 前技正</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">其他與會人員：
地調所：陳建良、盧詩丁、陳致言、林依蓉、陳盈璇、周稟珊、陳思婷
中興社：鄭錦桐 副主任、邵國士 組長、顏銀桐 正研究員、李易叡 副研究員</td></tr>
<tr><td>會議內容</td><td colspan="5">1. 期中階段中部活動斷層參數精進內容討論、問題與意見
(1) 斷層幾何不是只考慮平衡剖面，需考慮其他資料，考慮孕震深度則需下修斷層深度，如集集地震餘震分布可達 20 公里，或是中部地區地溫梯度剖面在 450 度(美國採用 450 度做為脆塑性轉換帶)等溫線也已達 20 公里。不應受限平衡剖面之結果。
(2) 滑移虧損中，GPS 觀測僅十幾年的位移量，表示近期的虧損率，需謹慎使用。測地長期平均滑移速率名詞，應移除「長期」。
(3) 彰化斷層 4 mm/yr 給予權重過高，八卦山之臺地為紅土生成後才被拱彎，以此年代換算可能會低估滑移速率，且 GPS 已經為 4 mm/yr，理論上長期滑移速率應高於 GPS 觀察之結果。
(4) 建議建立三維有限元素模型，了解各斷層之分配是否合理。
(5) 斷層基本資料還是有賴於槽溝及鑽井。
(6) 建議本階段專家會議提供前階段會議記錄及委員意見。
(7) 邏輯樹劃設在討論各節點之權重，應呈現潛勢分析結果，然後再回來進行修正。
(8) 活動斷層規模與年發生率之關係若是沒有足夠資料，權重可以採用 0.5，0.5。若是將來有足夠資料，就不一定採用各 0.5 之權重。</td></tr>
</table>

(9) 權重分配上仍需看資料的豐富度去判斷，而非採用制式 0.2，0.6，0.2。

(10) 是否可加入非薄皮理論之學者模型做為邏輯樹分支。

(11) 大甲及彰化之分段依據為何？

(12) 彰化斷層以 15 度直接切到 12 公里的可能性與震測剖面不吻合，是否要再修改？

(13) 過去 10 年~20 年 GPS 或 InSAR 推估之數值，在未來 5~10 年之資料加入會有甚麼改變，值得探討。

(14) 蒐集之資料越來越精細，是否可以協助找到斷層機制。

(15) 採用薄皮理論，其中一條斷層發生錯動，是否會對其它斷層造成影響。

(16) 孕震深度評估中，中部地區活動斷層的孕震區有重疊的情形，是否有重複計算的問題？

(17) Yen and Ma 的回歸公式是否可提供不確定性範圍。

(18) 精進的內涵並不是不斷增加新的資料，而是把舊資料進行反省，拿來做週期計算或機率評估，有學理的東西可協助判斷參數的合理性。

(19) 塊體模型有許多的假設在裡面，其原理是以走向滑移為主要考量，採用的也是大地測量水平位移分量，不適用於褶皺帶上，因有部分滑移是在垂直分量上，如褶皺的變形。需找到其參數之使用意義。

(20) 建議參數可對車籠埔斷層進行檢驗，是否 921 集集地震前可以評估較高的發生機率？

(21) 彰化斷層直接延伸至 15 公里沒必要採用之，因震測剖面等資料只有 5~6 公里就轉折了。

(22) 車籠埔斷層北段與南段行為與幾何仍有差異，過於簡化是否無法反映真實情形。

(23) 平衡剖面可採用另一派之學說。

(24) 真正發震部分為斷層鎖定部分，如果滑脫面無限延伸則評估之規模會太大不合理，而滑脫面可能有在潛移或是無震滑移的部分，應考慮實際造成地震之斷層面，也就是真正鎖住的部分，才不會高估地震規模。

(25) 期許公家機關能整合出一個斷層機率分布圖版本。

(26) 邏輯樹精進應設法減少參數之不確定性，而不是增加邏輯樹的規模。

2. 苗栗盲斷層參數討論、問題與意見

(1) 1906、1935 及 1946 年地震，餘震分布顯示不應只考慮地表破裂之斷層，地震危害度評估應考慮加入盲斷層構造。

	(2) 黃旭燦於博士論文中找到嘉義盲斷層位置，可參考之。 (3) 在地震評估中應考慮所有可能產生地震之構造，然而盲斷層用語建議可以仔細劃分，例如深部斷層或是可疑斷層，定義清楚。 (4) 建議從地調所角度考慮目的性，斷層潛勢圖公布之壓力來源。 (5) 定義斷層需謹慎，此處僅根據 Shyu 之地形判斷，而在斷層上盤有白沙屯構造、鐵砧山構造，中油在此處有很多調查資料尚未蒐集，希望能蒐集相關資料或是海域資料協助判斷斷層的延伸。 (6) 建議蒐集新竹外海海域東西向構造。 (7) 用階地推估長期滑移速率，資料可靠度並不完善，建議需有好的資料控制再給出答案。 (8) 若是要參考海域資料，除中油資料外，建議可蒐集宋國士海域調查之成果。 (9) 最後需針對區域的活動斷層滑移速率進行全盤的檢視和檢討。
備 註	

附表 2-2 「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估 (1/4)」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">鄭錦桐
博士</td><td>日期</td><td>2017 年 11 月 10 日</td><td>時間</td><td>14:30~17:30</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：
中央大學：李錫堤 教授、馬國鳳 教授
成功大學：葉永田 教授、景國恩 副教授
車籠埔斷層保存園區：鍾令和 博士</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">其他與會人員：
中興社：鄭錦桐 副主任、邵國士 組長、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">3. 中部活動斷層參數精進內容討論、問題與意見
(1) 大地測量成果計算滑移速率需要做，但是否要立即加入到潛勢評估中，建議保守考慮，目前建議還是以地質證據資料作為參考，因目前使用塊體模型是否適合台灣的活動斷層尚待驗證。
(2) GPS 測量時間比較短，且範圍較大，要納入大地測量成果應跨斷層進行量測，且大地測量僅反映地表位移，需了解能量分配才能用地表反推深部活動斷層之速率。
(3) 用大地測量資料建立模型進行斷層面滑移之反演，再考慮各區域之情形調整，平均滑移速率反推其實可以接近斷層長期滑移速率，未來則會試著加入垂直速度場進行解析。
(4) 斷層滑移速率不確定性較大，如加入限制條件越多，才能得到最好的推估結果。
(5) 建議三維有限元素模型進行分析，用多方面資料進行比對，使推估結果符合整體地體構造滑移速率分配。
(6) 長期滑移速率靠槽溝開挖結果最好。
(7) 從構造地質的觀點，大山前的斷層才是主斷層面，而前緣延伸部分則是分支斷層。
(8) 從中埔地震的餘震，九芎坑斷層可能與木屐寮斷層相連。
(9) 邏輯樹是否有必要，權重分配需要詳細說明或是提供合理的說辭。
(10) 梅山斷層深度 15 公里是否合理？
(11) 需考慮斷層系統來看危害度分析，而非單一條斷層。
4. 嘉義斷層參數討論、問題與意見</td></tr>
</table>

	(1) 需參考黃旭燦博士論文前緣構造位置及中油孫習之文章。 (2) 徐澔德之斷層線與其他版本應是不同之斷層。是否可以當作同一條斷層作計算？建議提出兩種版本。 (3) 嘉義斷層是否應加入到活動構造，因其無地表直接證據。 (4) 評估長期滑移速率，地層年代兩萬五千年已在冰河時期，嘉義平原沉積物應是三千年前沉積，建議應再與徐澔德老師討論。 **5. 新增斷層參數討論、問題與意見** (1) 孕震構造跟海域構造可做一大範圍的調查，再分年進行修正。目前國土計畫法包含海域，因此需納入海域活動斷層進行調查。 (2) TEM 站在科學角度，走在地調所前面，TEM 的成果及運作方式，可讓地調所回來檢視其工作。 (3) 要恢復或是新增斷層，需要找到有力證據，充分的理由。是否有新的調查事證，或是新的露頭資料。 (4) 孕震構造調查可由學校單位先做調查，到有具體答案再由地調所出資調查，最後由中興社進行評估應用的後端工作。 (5) 目前無地表破裂可用孕震構造。對地調所而言，活動構造包含了孕震構造，所以可用活動構造稱呼。 (6) 建議加入車瓜林斷層，在大地測量或是地下調查已定出位置。 (7) 地調所公布的活動斷層提供給一般大眾，而另一版新增部分則建議不需公布。 (8) 先從大地測量明確運動的活動構造開始調查。 (9) 龍船及右昌斷層可優先考慮新增調查，北宜蘭及鳳山大地測量運動也很明確。
備 註	

附錄 3 活動斷層潛勢圖公布問題因應策略報告 (106 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 ，可參閱本研究報告內文之圖 12.1~圖 12.2。

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。因 106 年度係第一年執行，為求有效率地聚焦問題，僅先針對專業學者及相關執業技師進行專家座談會，待本階段聽取專家之意見後，於後續計畫再考慮擴大座談會之對象範圍，以免於第一年度就因過多的意見而讓問題失焦。106 年度執行成果邀請對象之如下。

專業學者：以地質系、土木系、建築系、都市計畫、土地管理系等建築工程及地質科學領域為主要對象。未來再逐步將金融保險系、法律系、大眾傳播系等其他專業領域納入座談說明會。

執業技師：本階段先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。

106 年度計畫分別於 7 月 18 日及 10 月 30 日舉辦兩次專家會議，以初步瞭解活動斷層潛勢圖公布後之相關問題。

2-1 第一次專家會議 (106 年 7 月 18 日)

- 會議地點：中興工程顧問社
- 與會專家：張光宗教授(中興大學水土保持系)、李錫堤教授(中央大學應用地質研究所)、柯孝勳組長(國家災害防救科技中心)、黃台豐(應用地質技師)、黃鎮台(應用地質技師)、林郁芳博士 (樂境永續環境工作室)。
- 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). 應思考本圖的定位與公布目的，是定位為科研結果還是社會應用？ 且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等。

(2). 潛勢圖是以活動斷層線型跡為主，但少數斷層之線型跡與斷層敏感區不重合，須有一致的斷層線型跡版本，並且專家建議斷層線型跡的精度應高於1/25000，以減少套繪於其他圖資之精度謀合問題。

(3). 我國應學習日本經驗，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。

(4). 不應只考慮陸域 33 條活動斷層，應包含陸海延伸斷層、陸域尚未納入但學界已確定之活動斷層(如龍船活動構造)。

(5). 因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，故本潛勢圖公布應不至於對現行建築相關法規有太大之衝擊。

(6). 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，調整地震係數，在考慮機率值後反而可以增加工程安全與經濟性，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。

2-2 第二次專家會議 (106 年 10 月 30 日)

本次會議以探討活動斷層潛勢圖內容呈現議題。

- 會議地點：臺大新聞所(師資培育中心)209 室
- 與會專家：林老生教授(國立政治大學地政學系)、張志誠副總經理(瑞竣科技)、賴進貴教授(國立臺灣大學地理環境資源學系)、吳信政教授(國立臺灣師範大學地理學系)、溫在弘教授(國立臺灣大學地理環境資源學系)。地調所列席。
- 探討議題與專家建議：如附表 3-1。

附表 3-1：第二次專家意見彙整。

專家	意見
林老生	1. 潛勢圖使用者為何，GPS 測站是否有必要放在底圖上？ 2. 臺灣 40 公尺數值地形模型多字修改。 3. 壓縮應變或伸張應變是否要加箭頭，一般民眾可能不清楚應變之意義。 4. 四個小圖色階，一般印刷是從低到高是由藍到紅，是否要統一數值由小到大由藍到紅之色階。
張志誠	1. 圖面資訊較多，是否一定要有地形資料，海底資料是否有必要。 2. 地名標示邏輯不清楚。 3. 使用 GIS 出圖，有調過透明度之圖層在變成 PDF 檔案時，會有銳利度減少的問題，建議格式為 GeoPDF，可作圖層開關，或是輸出成 png 檔比較不會有解析度問題。 4. 建議斷層名稱直接呈現於圖上。 5. 設計上，比較不會用純黑字，且字型應盡量統一。
賴進貴	1. 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。 2. 潛勢圖將來是否可能延伸到 GIS 平臺? 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。 4. 送給一些合作學校，一校一張可能貼在地科或地理教室，讓學生了解斷層在哪。如果貼在牆上，文字說明一般人也不會去看。 5. 測量資料(應變場，旋轉率)一般民眾是否看得懂。 6. 重點是擺在機率，背景漸層圖就不重要，易造成混淆。 7. 已有經緯度邊框，指北針就不需要放，比例尺 Km 應放到數字後面。 8. 座標系統是 TWD97 平面投影，才有經緯度。 9. 大比例尺地圖不適合用實心的線。 10. 希望提供電子檔供教學使用。
吳信政	1. 紙張大小不同，表示方法不同。 2. 海岸線是 40 年前的海岸線，需更新。 3. 底圖顏色跟斷層線形顏色太接近，不易區別。 4. 地名稍嫌太少，稍微增加地名也許會好一點，增加參考性，建議以鄉鎮公所位置放置地名。

	5. 是否放上地形?陸域地形和斷層有關，可以放上，海域地形是否有放上之必要？ 6. 伸張應變和壓縮應變是否有意義，請斟酌是否要放在圖面上
溫在弘	1. 潛勢地圖，最顯眼是最危險的，路竹沒有斷層帶，是要看紅色面還是紅色線段? 2. 潛勢的定義是甚麼，並未說明清楚。 3. 潛勢圖名和機率圖名重複出現？ 4. 是否要放地表變形速度場？ 5. 斷層代號要在圖面上找較困難，建議改變呈現方式。 6. 未在圖中說明 S01R 代表意義。 7. WGS84 沒經過投影，應無比例尺，底圖應是 97 二度分帶投影才有比例尺。 8. 50 年內的起算日期代表甚麼意思，是否都是從 2016 年開始算。 9. 城市標示應有一定的邏輯。 10. 四張小圖應有文字說明。如何理解其意義?

三、106 年度執行所彙整之問題與對策

106 年度透過舉辦兩次專家會議方式讓學者、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，並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。

綜合兩次會議專家之意見可知，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。茲歸納活動斷層潛勢圖公布後之重要問題與因應對策如附表 3-2 所示。

附表 3-2：106 年度潛勢圖重要問題及因應對策。

問題	因應對策
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。
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。

問題	因應對策
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	
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。

問題	因應對策
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。