經濟部

經濟部中央地質調查所

108年度委託技術服務執行期末報告書

(定稿本)

「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(3/4)」

（第三年度）

全 程 計 畫：自106年2月至109年12月止
本年度計畫：自108年2月至108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 108 年 12 月

經濟部中央地質調查所

108年度委託技術服務執行期末報告書

「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(3/4)」

（第三年度）

全 程 計 畫：自106年2月至109年12月止
本 年 度 計 畫：自108年2月至108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　108　年　12　月

臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估 (3/4)

（第三年度）

計畫主持人： 顏銀桐

協同主持人： 邵國士、徐澔德

計畫督導： 張玉彝

研究員： 林柏伸、李易叡、謝寶珊、謝銘哲、莊怡蓉

委託機關：經濟部中央地質調查所

執行單位：財團法人中興工程顧問社

中華民國 108 年 12 月

目錄

目錄 I
表目錄 IV
圖目錄 VI
摘要 X
Abstract XV
第一章、緒論 1
1-1 計畫整體概述 1
1-2 計畫目的 4
1-3 本(108)年度工作內容概述 7
1-3-1 本年度工作項目 7
1-3-2 本(年度)計畫期中交付以下工作項目 8
1-3-3 本(年度)計畫期末交付以下工作項目 8
第二章、木屐寮-六甲斷層潛勢評估 9
2-1 木屐寮-六甲斷層參數更新 9
2-1-1 前階段計畫成果 9
2-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 11
2-1-3 孕震深度分析 13
2-2 邏輯樹更新 15
2-3 規模與年發生率之關係 20
2-4 發震機率之推估 22
第三章、新化斷層潛勢評估 24
3-1 新化斷層參數更新 24
3-1-1 前階段計畫成果 24
3-1-2 斷層幾何 26
3-1-3 孕震深度分析 28
3-2 邏輯樹更新 29
3-3 規模與年發生率之關係 31
3-4 發震機率之推估 33
第四章、後甲里斷層系統潛勢評估 34
4-1 後甲里斷層系統參數更新 34
4-1-1 前階段計畫成果 34
4-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 36
4-1-3 孕震深度分析 40

4-2 邏輯樹更新 42
4-3 規模與年發生率之關係 46
4-4 發震機率之推估 49
第五章、左鎮斷層潛勢評估 50
5-1 左鎮斷層參數更新 50
5-1-1 前階段計畫成果 50
5-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 51
5-1-3 孕震深度分析 53
5-2 邏輯樹更新 54
5-3 規模與年發生率之關係 56
5-4 發震機率之推估 58
第六章、小崗山斷層潛勢評估 59
6-1 小崗山斷層參數更新 59
6-1-1 前階段計畫成果 59
6-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 61
6-1-3 孕震深度分析 63
6-2 邏輯樹更新 65
6-3 規模與年發生率之關係 68
6-4 發震機率之推估 70
第七章、旗山斷層潛勢評估 71
7-1 旗山斷層參數更新 71
7-1-1 前階段計畫成果 71
7-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 73
7-1-3 孕震深度分析 76
7-2 邏輯樹更新 77
7-3 規模與年發生率之關係 81
7-4 發震機率之推估 83
第八章、潮州斷層潛勢評估 84
8-1 潮州斷層參數更新 84
8-1-1 前階段計畫成果 84
8-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 86
8-1-3 孕震深度分析 87
8-2 邏輯樹更新 89
8-3 規模與年發生率之關係 92
8-4 發震機率之推估 96
第九章、恆春斷層潛勢評估 97

9-1 恆春斷層參數更新 97
9-1-1 前階段計畫成果 97
9-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 99
9-1-3 孕震深度分析 102
9-2 邏輯樹更新 104
9-3 規模與年發生率之關係 108
9-4 發震機率之推估 110
第十章、制定各活動斷層參數說明書 111
10-1 活動斷層潛勢圖成果 111
10-2 活動斷層現地照片蒐集與呈現 115
10-3 彙整成果至活動斷層查詢平台 131
第十一章、活動斷層潛勢圖公布相關問題研析 135
11-1 美日等國活動斷層潛勢圖公布經驗 135
11-1-1 美國經驗 135
11-1-2 日本經驗 136
11-1-3 歐洲經驗 138
11-2 潛勢圖公布相關問題研析 140
第十二章、本年度成果與後續工作 144
12-1 本年度成果 144
12-2 後續工作及建議事項 149
名詞解釋 150
參考文獻 152
委員審查意見 157
（附錄請參閱光碟）
[附錄 1] 北宜蘭構造之震源參數說明書 ..... 附錄 1-1
[附錄 2] 初鄉斷層之震源參數說明書 ..... 附錄 2-1
[附錄 3] 邏輯樹專家諮詢會議記錄 ..... 附錄 3-1
[附錄 4] 台灣南部地區斷層活動機率圖 ..... 附錄 4-1
[附錄 5] 潛勢圖公布問題研析因應策略建議書 ..... 附錄 5-1
[附錄 6] 台灣南部地區斷層三維幾何模型 ..... 附錄 6-1

表目錄

表 1-1.1：全程計畫預期進度甘梯圖 3
表 2-1.1：木屐寮-六甲斷層傾角及深度資料與文獻列表(胡植慶等，2016) 11
表 2-2.1：本計畫木屐寮-六甲斷層長期滑移速率相關文獻及推估結果 17
表 2-2.2：木屐寮-六甲斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019).....18
表 2-2.3：木屐寮-六甲斷層之各破裂事件規模計算.....18
表 2-4.1：前階段計畫木屐寮-六甲斷層發生機率評估(胡植慶等，2016).....23
表 2-4.2：本計畫木屐寮-六甲斷層發生機率評估 23
表 3-1.1：新化斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016).....26
表 3-2.1：新化斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019).....29
表 3-2.2：新化斷層之各破裂事件特徵地震規模計算 30
表 3-4.1：前階段計畫新化斷層發生機率評估(胡植慶等，2016).....33
表 3-4.2：本計畫新化斷層發生機率評估 33
表 4-2.1：後甲里斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019) 44
表 4-2.2：後甲里斷層系統各破裂事件規模及權重.....44
表 4-4.1：前階段計畫後甲里斷層系統發生機率評估(胡植慶等，2016) 49
表 4-4.2：本計畫後甲里斷層系統發生機率評估 49
表 5-2.1：左鎮斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019).....54
表 5-2.2：左鎮斷層各破裂事件規模計算 55
表 5-4.1：前階段計畫左鎮斷層發生機率評估(胡植慶等，2016).....58
表 5-4.2：本計畫左鎮斷層發生機率評估 58
表 6-2.1：小崗山斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019) 66
表 6-2.2：小崗山斷層各破裂事件規模計算 66
表 6-4.1：前階段計畫小崗山斷層發生機率評估(胡植慶等，2016) 70
表 6-4.2：本計畫小崗山斷層發生機率評估 70
表 7-2.1：大社 A 剖面鑽井樣本抬升速率彙整(陳文山等，2012) 79
表 7-2.2：旗山斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019).....80
表 7-2.3：旗山斷層各破裂事件規模計算 80
表 7-4.1：前階段計畫旗山斷層發生機率評估(胡植慶等，2016).....83
表 7-4.2：本計畫旗山斷層發生機率評估 83
表 8-1.1：潮州斷層幾何資料及文獻列表 87
表 8-2.1：潮州斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019).....90
表 8-2.2：潮州斷層系統各破裂事件規模計算.....91
表 8-4.1：前階段計畫潮州斷層發生機率評估(胡植慶等，2016).....96
表 8-4.2：本計畫潮州斷層發生機率評估 96
表 9-2.1：恆春斷層長期垂直滑移速率相關文獻結果彙整 106
表 9-2.2：恆春斷層淨滑移速率換算，淨滑移速率=[抬升速率/SIN(傾角)]/SIN(滑移角).....106
表 9-2.3：恆春斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019).....107
表 9-2.4：恆春斷層各破裂事件規模計算 107
表 9-4.1：前階段計畫恆春斷層發生機率評估(胡植慶等，2016).....110
表 9-4.2：本計畫恆春斷層發生機率評估 110
表 10-2.1：照片欄位規劃 117
表 10-2.2：木屐寮斷層之斷層特徵照片彙整 117
表 10-2.3：六甲斷層之斷層特徵照片彙整 120

表 10-2.4：新化斷層之斷層特徵照片彙整 121
表 10-2.5：後甲里斷層之斷層特徵照片彙整 122
表 10-2.6：左鎮斷層之斷層特徵照片彙整 123
表 10-2.7：小崗山斷層之斷層特徵照片彙整 124
表 10-2.8：旗山斷層之斷層特徵照片彙整 125
表 10-2.9：潮州斷層之斷層特徵照片彙整 127
表 10-2.10：恆春斷層之斷層特徵照片彙整 129
表 12-1.1：活動斷層參數修改情形(O 表示有修改) 145
表 12-1.2：南部地區活動斷層未來 30、50、100 年發生機率 145
表 12-1.3：本年度預期進度甘梯圖（GANTT CHART） 146
表 12-1.4：預期進度查核點（CHECK POINT） 147
表 12-1.5：本年度計畫交付之各項工作項目 148

圖目錄

圖 1-1.1：106-109 年度各年度評估地區與斷層及孕震構造分布.....2
圖 1-1.2：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估之專業分工架構.....3
圖 1-2.1：美國加州地區活動斷層與孕震構造潛勢評估之四大流程.....4
圖 1-2.2：加州地區孕震構造之三維幾何形貌.....5
圖 1-2.3：加州地區地震潛勢評估之專家討論成果邏輯樹.....5
圖 1-2.4：加州地區未來 30 年發生地震規模為 5、6.7、7.7 以上之機率分布圖.....5
圖 1-2.5：日本主要孕震構造未來 30 年之活動潛勢評估成果.....6
圖 2-1.1：木屐寮-六甲斷層之破裂模式及權重分配.....10
圖 2-1.2：木屐寮-六甲斷層邏輯樹.....10
圖 2-1.3：牛山背斜之雙軌構造解釋.....12
圖 2-1.4：台南地區構造剖面及地震深度剖面.....12
圖 2-1.5：構造地質剖面及投影至剖面 GPS 測站之水平速度.....12
圖 2-1.6：本計畫木屐寮-六甲斷層幾何形貌設定.....13
圖 2-1.7：木屐寮-六甲斷層 D90 孕震深度分布圖.....14
圖 2-1.8：P 波速度構造及地震深度分布剖面.....14
圖 2-2.1：本計畫木屐寮-六甲斷層之破裂模式及權重分配.....16
圖 2-2.2：六甲斷層上盤抬升速率回歸曲線.....17
圖 2-2.3：木屐寮-六甲斷層規模 6 以上歷史地震分布.....18
圖 2-2.4：木屐寮-六甲斷層更新邏輯樹.....19
圖 2-3.1：木屐寮-六甲斷層各破裂事件特徵地震模式.....20
圖 2-3.2：木屐寮-六甲斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖.....21
圖 2-3.3：木屐寮-六甲斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖.....21
圖 2-3.4：(A) 木屐寮-六甲斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 木屐寮-六甲斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖.....22
圖 3-1.1：嘉南地區活動構造分布(陳文山等，2004).....25
圖 3-1.2：新化斷層之破裂模式(胡植慶等，2016).....25
圖 3-1.3：新化斷層邏輯樹(胡植慶等，2016).....26
圖 3-1.4：新化斷層淺層震測資料（林啟文等，2007）.....27
圖 3-1.5：新化斷層地震深度分布統計.....27
圖 3-1.6：新化斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：WU ET AL., 2017).....28
圖 3-2.1：新化斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件權重、長期滑移速率).....30
圖 3-3.1：新化斷層各破裂事件特徵地震模式.....31
圖 3-3.2：新化斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖.....32
圖 3-3.3：新化斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖.....32
圖 3-3.4：（A）新化斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）新化斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖.....32
圖 4-1.1：後甲里斷層系統破裂模式.....35
圖 4-1.2：後甲里斷層邏輯樹.....35
圖 4-1.3：跨過台南背斜震測剖面(PAN, 1968).....36
圖 4-1.4：台南台地構造地質分布圖及地質剖面圖.....37
圖 4-1.5：台灣西南部構造平衡剖面圖.....37
圖 4-1.6：臺南市及以東地區東西走向地下構造剖面圖(陳文山等，2004).....37
圖 4-1.7：西南部地區地質剖面圖（陳文山等，2011）.....38

圖 4-1.8：台南地區區域地質圖及震測剖面圖 38
圖 4-1.9：跨台南台地地質剖面圖 39
圖 4-1.10：台南-後甲里斷層系統幾何面破裂模式 39
圖 4-1.11：後甲里斷層系統地震深度分布統計 40
圖 4-1.12：西南部地區構造地質剖面、地震深度及 VP 速度構造剖面圖 41
圖 4-2.1：本計畫後甲里斷層系統之破裂模式 43
圖 4-2.2：台南台地及鄰近鑽井資料得到之碳 14 定年等時線及沉積古環境 43
圖 4-2.3：後甲里斷層系統更新邏輯樹(更新內容：破裂模式、斷層幾何、地震規模) 45
圖 4-3.1：後甲里斷層系統破裂模式 A 特徵地震模式 46
圖 4-3.2：後甲里斷層系統破裂模式 B 特徵地震模式 47
圖 4-3.3：後甲里斷層系統 2 種破裂事件之規模-權重分布圖 48
圖 4-3.4：後甲里斷層系統 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 48
圖 4-3.5：(A) 後甲里斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 後甲里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 48
圖 5-1.1：左鎮斷層之破裂模式(胡植慶等，2016) 50
圖 5-1.2：左鎮斷層邏輯樹(胡植慶等，2016) 51
圖 5-1.3：地調所新化地質圖幅及 C-C'地質剖面圖（修改自何信昌等，2005） 52
圖 5-1.4：左鎮斷層淺層震測資料（陳延宗，2007） 52
圖 5-1.5：左鎮斷層地震深度分布統計 53
圖 5-1.6：本計畫左鎮斷層幾何面破裂模式 53
圖 5-2.1：左鎮斷層更新邏輯樹(更新內容：傾角、深度、規模、滑移速率) 55
圖 5-3.1：左鎮斷層破裂事件特徵地震模式 56
圖 5-3.2：左鎮斷層破裂事件之規模-權重分布圖 57
圖 5-3.3：左鎮斷層 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 57
圖 6-1.1：小崗山斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016) 60
圖 6-1.2：小崗山斷層邏輯樹(胡植慶等，2016) 60
圖 6-1.3：小崗山斷層鑽井柵狀剖面、地層對比與沉積環境（陳文山等，2010） 61
圖 6-1.4：跨小崗山斷層 08P-HKS-AL-1 震測剖面 62
圖 6-1.5：地調所旗山地質圖幅及 C-C'、D-D'地質剖面圖（修改自林啟文，2013） 62
圖 6-1.6：本計畫小崗山斷層幾何面破裂模式 63
圖 6-1.7：小崗山斷層及旗山斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：WU ET AL., 2017) 64
圖 6-2.1：本計畫小崗山斷層之破裂模式 66
圖 6-2.2：小崗山斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、地震規模、滑移速率) 67
圖 6-3.1：小崗山斷層各破裂事件特徵地震模式 68
圖 6-3.2：小崗山斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖 68
圖 6-3.3：小崗山斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 69
圖 6-3.4：(A) 小崗山斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 小崗山斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 69
圖 7-1.1：旗山斷層之破裂模式(胡植慶等，2016) 72
圖 7-1.2：旗山斷層邏輯樹(胡植慶等，2016) 72
圖 7-1.3：台灣西南部地區 LINE 27 及 LINE 28 平衡剖面（黃旭燦等，2004） 73
圖 7-1.4：西南部地區跨龍船斷層及旗山斷層的地質剖面圖（洪日豪，2006） 74
圖 7-1.5：L-L'地質平衡剖面圖(RODRIGUEZ-ROA AND WILTSCHIKO, 2010) 74
圖 7-1.6：西南部地區地質剖面圖（陳文山等，2011） 75
圖 7-1.7：本計畫旗山斷層幾何設定 75
圖 7-1.8：西南部地區速度構造剖面圖及地震深度分布（陳文山，2016） 76

圖 7-2.1：旗山斷層鄰近區域地質圖(陳文山等，2005) 78
圖 7-2.2：旗山斷層向南延伸調查成果（富國公司及顏一勤事務所，2016） 78
圖 7-2.3：本計畫旗山斷層之破裂模式 79
圖 7-2.4：大社 A 剖面岩芯柵狀圖(陳文山等，2012) 79
圖 7-2.5：旗山斷層更新邏輯樹(更新內容：破裂模式、幾何、規模、滑移速率) 80
圖 7-3.1：旗山斷層各破裂事件特徵地震模式 81
圖 7-3.2：旗山斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖 82
圖 7-3.3：旗山斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 82
圖 7-3.4：（A）旗山斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）旗山斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 83
圖 8-1.1：潮州斷層之破裂模式(胡植慶等，2016) 85
圖 8-1.2：潮州斷層邏輯樹(胡植慶等，2016) 85
圖 8-1.3：台灣西南部地區地質平衡剖面圖(WILTSCHKO ET AL., 2010) 86
圖 8-1.4：臺灣南部地震分布及速度構造剖面及地震深度分布圖 87
圖 8-1.5：臺灣南部地震分布圖及投影至南北向的深度分布圖 88
圖 8-1.6：台灣西南地區 P 波速度構造剖面及重定位地震(CAMANNI ET AL., 2016) 88
圖 8-2.1：潮州斷層沿線地形崖高程剖面及照片 90
圖 8-2.2：潮州斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層傾角) 91
圖 8-3.1：潮州斷層各破裂事件特徵地震模式 93
圖 8-3.2：潮州斷層 8 種破裂事件之規模-權重分布圖 94
圖 8-3.3：潮州斷層 8 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 95
圖 8-3.4：（A）潮州斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）潮州斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 95
圖 9-1.1：恆春斷層之破裂模式(胡植慶等，2016) 98
圖 9-1.2：恆春斷層邏輯樹(胡植慶等，2016) 98
圖 9-1.3：台灣南部跨過恆春半島-蘭嶼之地體構造剖面 99
圖 9-1.4：台灣南部跨恆春半島 A-A’震測剖面圖(LIN ET AL., 2009) 100
圖 9-1.5：台灣南部速度構造剖面及重定位地震分布(MCINTOSH ET AL., 2013) 100
圖 9-1.6：南部斷層幾何形貌設定 101
圖 9-1.7：恆春斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：WU ET AL., 2017) 102
圖 9-1.8：臺灣南部地震分布圖及投影至南北向的深度分布圖(CHENG ET AL., 2012) 102
圖 9-1.9：Y60 及 Y40 P 波速度構造及地震深度分布剖面 103
圖 9-2.1：(A)恆春半島地質圖，(B)楓港南側地區隆起珊瑚礁地質剖面、碳十四定年年代及垂直變形速率(陳文山等，2014) 105
圖 9-2.2：本計畫恆春斷層分段破裂模式 105
圖 9-2.3：恆春斷層更新邏輯樹(更新內容：破裂模式、幾何、規模、滑移速率) 107
圖 9-3.1：恆春斷層各破裂事件特徵地震模式 108
圖 9-3.2：恆春斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖 108
圖 9-3.3：恆春斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖 109
圖 9-3.4：（A）恆春斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）恆春斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖 109
圖 10-1.1：台灣南部水平速度場及斷層活動機率圖 113
圖 10-1.2：台灣南部垂直速度場及斷層活動機率圖 114
圖 10-2.1：資料上傳系統介面 116
圖 10-2.2：圖臺照片及照片資訊 116
圖 10-3.1：中央地質調查所既有活動斷層查詢系統 131

圖 10-3.2：網站功能架構圖 132
圖 10-3.3：活動斷層查詢網站示意圖 132
圖 10-3.4：活動斷層查詢網頁新增連結.....133
圖 10-3.5：活動斷層查詢網頁連結「斷層資訊與活動參數」 133
圖 10-3.6：活動斷層查詢網頁連結「分析潛勢與評估成果」 134
圖 11-1.1：美國地質調查所建置之活動斷層互動資訊平台 136
圖 11-1.2：斷層發震機率潛勢圖資 137
圖 11-1.3：長期評估之主要活動斷層帶概略位置圖 138
圖 11-1.4：歐洲部份區域個別孕震震源之資料庫系統 139
圖 11-2.1：106~108 年度專家座談會會議情況.....141

臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估

摘要

依據歷史相關文獻記載，大多數致災地震與臺灣島內活動斷層脫離不了關係。地調所自西元 1998 年起即陸續發布臺灣活動斷層圖。直至 2012 年為目前最新版本，含括 33 條活動斷層，而該版本的調查資料精進主要以 1999 年集集地震之後所啟動一系列的活動斷層調查研究計畫所匯集。本計畫參酌美國、日本對於斷層引發地震潛勢評估方法，從文獻資料致力收集相關斷層參數。首先，嘗試依據文獻資訊轉化為重要的斷層參數，包含斷層幾何(斷層長、斷層寬、斷層傾角)、斷層分段及長期滑移速率。使用彙整的斷層參數計算斷層面積之後，進一步估算特徵地震規模，於此每個斷層對應的回歸週期即可被予以估算。最後，選擇適當的機率模型估算活動斷層在未來 30 年、50 年和 100 年之發震潛勢。而彙整的斷層參數不僅對於衍生的地震危害度分析工作有相當的幫助之餘，從地震災害防範與減災的觀點上，斷層潛勢機率評估的成果所評估高潛勢的活動斷層，勢必為後續政府相關單位所必須之關注重點。本年度計畫重點為檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新劃設南部地區 9 條活動斷層(16 木屐寮斷層、17 六甲斷層、19 新化斷層、20 後甲里斷層、21 左鎮斷層、22 小崗山斷層、23 旗山斷層、24 潮州斷層、25 恆春斷層)邏輯樹與斷層潛勢機率評估，以及北宜蘭構造及初鄉斷層之震源參數彙整。本年度成果可參照「四、計畫成果」內文。

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

一、前言

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

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

二、背景與目的

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

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

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

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

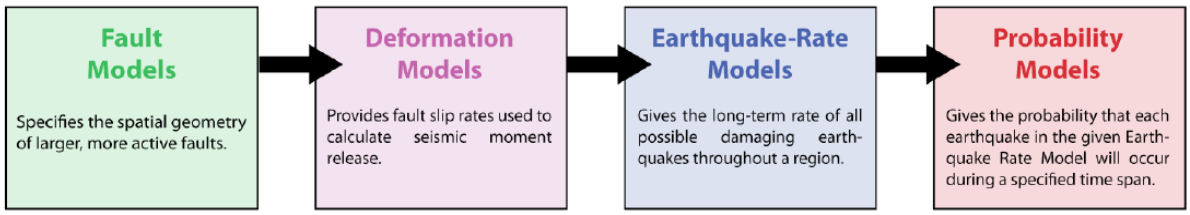
三、方法與工項

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

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

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

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



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

四、計畫成果

本計畫針對南部地區 9 條活動斷層進行新資料蒐集，並諮詢相關專家後，進行參數更新及邏輯樹重新劃設。

木屐寮-六甲斷層分段破裂模式調整了權重，幾何面則考慮了不同版本的地質剖面進行更新，滑移速率則新增杜冠穎(2013)從六甲斷層上盤龜重溪河道下切量推估滑移速率的部分。

新化斷層分段破裂模式調整了權重，滑移速率則參考景國恩等(2019)模型反演之結果。

後甲里斷層系統分段破裂模式考慮了兩種斷層長度，幾何面則考慮了台南斷層及後甲里斷層的幾何，台南斷層幾何則考慮了斷坡+深部滑脫面破裂的情形。滑移速率新增資料數值是位於前階段計畫評估範圍內，因此本計畫邏輯樹滑移速率維持與前階段計畫一致。

左鎮斷層傾角微調為高角度斷層，破裂深度參考鄰近地質剖面及地震深度分布進行修改，滑移速率則參考景國恩等(2019)模型反演之結果。

小崗山斷層之幾何，因前階段計畫中小崗山斷層幾何設定，滑脫面會延伸到潮州斷層下方，較不符合斷層的長寬比，本計畫重新考慮小崗山斷層幾何，基底滑脫面止於旗山斷層。小崗山斷層之滑移速率無發現新事證，依據陳文山等（2010）鑽井資料設定抬升速率範圍為 1.1~4.4 mm/yr，以傾角 45 度換算成淨滑移速率範圍為 1.6~6.2

mm/yr。

旗山斷層之破裂模式，本計畫考慮旗山斷層與內英斷層，並移除旗山斷層南段延伸部分。旗山斷層幾何參考各地質剖面及平衡剖面考慮三種情形。旗山斷層之滑移速率無發現新事證，彙整陳文山等（2012）大社 A 剖面的鑽井抬升速率資料，本計畫推估長期抬升速率約 2.4-4.0 mm/yr，以本計畫幾何淺部傾角換算至斷層面上得到淨滑移速率範圍為 2.6-8.0 mm/yr。

潮州斷層傾角範圍根據地震深度分布剖面由 50~70 度調整為 60~80 度。潮州斷層之滑移速率則採用 TEM(2014)根據斷層崖高差計算的結果。

恆春斷層之破裂模式，本計畫將恆春斷層往北延伸至楓港。恆春斷層幾何，本計畫認為恆春斷層幾何可考慮地震深度分布，也需考慮與隱沒帶板塊幾何的關係，計畫中將臺灣南部斷層設定綁定三種幾何情形。恆春斷層之滑移速率，彙整各文獻資料得到抬升速率範圍 1.5~6.9 mm/yr，以斷層傾角及滑移角換算至斷層面上之淨滑移速率範圍為 1.7~10.4 mm/yr。

以機率法評估南部地區九條活動斷層未來 30、50、100 年特徵地震規模之發生機率，更新後各斷層發生機率詳如表一所示。

本計畫孕震構造之震源參數設定，針對北宜蘭構造及初鄉斷層評估其震源參數，如破裂模式、長度、幾何形貌、滑移速率等，並建立各孕震構造之參數表及邏輯樹。本年度孕震構造之震源參數設定如表二所示，參數旁的括號為權重。

制定各活動斷層參數說明書方面，活動斷層參數說明書為整理前階段計畫之斷層參數及潛勢分析成果，內容包括：(a)斷層幾何形貌參數、(b)斷層機制與滑移速率參數，以及(c)斷層地震潛勢參數三大類別。本年度蒐集南部地區九條活動斷層之照片，並建立活動斷層照片資訊欄位，提供給資訊廠商建置於網頁查詢平臺上。

斷層活動潛勢圖公布相關問題研析方面，本計畫規劃活動斷層潛勢圖公布相關問題研析之執行流程，本年度邀請對象包括行政院災害防救辦公室、民間防災業者及相關執業技師，辦理一次斷層潛勢圖公布問題研析座談會。透過說明座談會方式讓與會專家充分表達圖資公布後的可能問題為何? 請專家們提出合理可行的因應對策，作為編撰「問題因應策略建議書」之參考。

表一、南部地區活動斷層未來 30、50、100 年發生機率

斷層名稱	最近一次發生時間	統計模式	規模 6.5 以上發生機率		
			未來 30 年	未來 50 年	未來 100 年
木屐寮-六甲	西元 1941 年	BPT	29.2%	43.6%	66.7%
	未知	Poisson	20.6%	31.4%	51.3%
新化	西元 1946 年	BPT	9.6%	14.0%	20.7%
後甲里	西元 1862 年	BPT	2.4%	3.8%	6.6%
	未知	Poisson	1.7%	2.8%	4.9%
左鎮	未知	Poisson	2.3%	3.7%	6.7%
小崗山斷層	未知	Poisson	4.9%	7.8%	14.2%
旗山斷層	未知	Poisson	11.4%	17.9%	31.6%
潮州斷層	未知	Poisson	2.5%	4.2%	8.1%
恆春斷層	未知	Poisson	13.2%	20.5%	34.9%

表二、孕震構造之震源參數表

構造名稱	破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	傾角 (度)	Wells & Coppersmith, 1994 (破裂面積中值-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011 (破裂面積-規模關係式) (Mw)	長期滑移速率 (mm/yr)
					-σ	中值	+σ		
北宜蘭構造	A+B+C	127	10(0.3) 15(0.4) 20(0.3)	50(0.3) 60(0.4) 70(0.3)	7.0	7.3	7.6	7.4	1.5(0.3) 5.8(0.4) 10.3(0.3)
	A+B	89			6.9	7.2	7.5	7.2	
	B+C	78			6.8	7.1	7.4	7.1	
	A	49			6.6	6.9	7.2	6.9	
	B	40			6.5	6.8	7.1	6.8	
	C	38			6.5	6.8	7.1	6.8	
初鄉斷層	A	20	9(0.3) 10(0.4) 11(0.3)	40(0.3) 45(0.4) 50(0.3)	6.2	6.5	6.8	6.5	2.3(0.3) 5.45(0.4) 8.6(0.3)

五、結論與建議

本計畫現階段業已完成中部、北部及南部地區活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估，未來一年將對臺灣東部地區八條活動斷層參數持續進行資料蒐集及精進之工作，期能提供最新之斷層活動性參數及潛勢評估成果。而斷層參數、參數說明及相關資料則彙整於網頁資料庫平臺。

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

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

Abstract

From the information of historical literature, the most destructive earthquake events that occurred in Taiwan are mainly caused by inland active faults. The Central Geological Survey (CGS) has been publishing active fault maps in Taiwan since 1998. There are 33 active faults published in the 2012 version of the active fault map. The CGS launched a series of projects to investigate the details to better understand each active fault after the Chi-Chi earthquake. Referred to experiences from Japan and the United States to establish a methodology for earthquake probability assessment via active faults, we gathered these collected data from published documents for compiling active fault parameters. First, we tried to collect the fault parameters, which include fault geometry (length, rupture depth, and dip), segmentation, and long-term slip rate. We further calculated the characteristic earthquake magnitude of each fault by its rupture area via fault parameters. Toward every possible case considered, we needed to divide the fault segment to establish potential rupture models. Each fault rupture model is a weighted combination of the rupture cases of a fault. Furthermore, the long-term slip rate data can be applied to the characteristic earthquake model to obtain the recurrence interval. We calculated the recurrence interval of an earthquake by the characteristic earthquake model. Finally, we adopted the appropriate “probability model” to estimate the 30-, 50- and 100-year conditional probability of earthquakes for the 33 active faults in Taiwan. The compiled parameters of active faults are critical information that can be widely applied in the following seismic hazard analysis. In the prevention and mitigation for the earthquake disaster, we also can suggest that a fault with high earthquake probability should be paid more attention. In the 2019 project, we focused on the improvement of fault parameters and earthquake probability assessment of the nine active faults (16 Muchiliao fault, 17 Liuchia fault, 19 Hsinhua fault, 20 Houchiali fault, 21 Tsochen fault, 22 Hsiaokangshan fault, 23 Chishan fault, 24 Chaochou fault, 25 Hengchun fault) in Southern Taiwan. The logic trees of these faults were also been renewed according to experts’ comments. We also gathered parameters of the Northern Ilan structure and the Chushiang structure, of which the parameter tables and the logic trees have been established. This year’s results are shown in the contents of “4. Project Result”.

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

1. Preface

In the four years (2013-2016) project “Observation of Fault Activity (III): Integrated Monitoring of Active Faults and Earthquake Probabilities Analysis”, the Central Geological Survey (CGS) has established a procedure to estimate the earthquake probabilities for active faults in Taiwan. The procedure referred to certain experiences from Japan and the United States to establish a methodology for earthquake probability assessment via active faults published by CGS. The goal is to build up the earthquake probability map for the 33 active faults. In the previous project, geological and seismological experts were invited in the expert meeting to discuss the fault characteristics for earthquake probability assessment. In the previous four years project, there are still some problems to be solved. Therefore, based on the suggestions left from the previous project, we would like to propose an improvement plan for the revision of the earthquake probability map.

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

2. Background and Objective

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

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

In recent years, Japan and California, the high seismic risk area, are working on the detailed active fault parameters research and seismic probability assessment, and the results have been widely used in disaster prevention planning and engineering seismic design. However, applying the active fault investigations results on hazard potential assessment is still in the early stage in Taiwan. The fault parameters have not been systematically integrated yet, and it is still far behind the

United States and Japan. Recently, the Central Geological Survey is committed to investigating active faults, and plentiful research results have been revealed. When these results are integrated into parameters for fault activity analysis, then the relevant works for the potential assessment of active faults can be carried out

In the previous project, the parameter collection of 33 active faults and the probability of fault occurrence have been completed preliminarily. This work has learned the experiences and methods from the United States and Japan to follow their developed procedure for active fault potential assessment of Taiwan. During the project execution, there are still uncertainties of parameters of each fault. Besides, Investigation and research on active faults still continues in Taiwan. Furthermore, the fault potential assessment from other countries is also continuously improving. Therefore, in the improvement of the project, it is necessary to collect the research of recent years for the fault parameters and consider the solution of problems that arose in the previous stage project. In the fault potential assessment method, it is also necessary to keep understanding the improvement methods from other countries, like the United States and Japan, and this helps the assessment more scientific and meets the actual observed results.

3. Method and Content

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

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

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

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

interactive interface to meet the rights of the public.

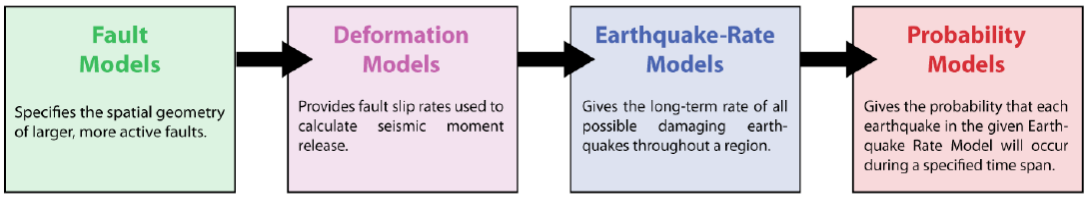


Figure 1. Four models adopted by earthquake probability assessment for active faults (excerpted from WG07, 2008)

4. Project Result

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

For the Muchiliao - Liuchia fault, we adjusted the weighting of the rupture cases in the rupture model. The fault geometry is modified by various versions of geological cross sections. For the slip rate, we had added the result estimated by Du (2013) as a new reference.

For the Hsinhua fault, the update is mainly on fault slip rate. We collected the model inversion results of Ching et al. (2019), and then gave weights to calculate the lower bound, upper bound and mean value of the logic tree branches. We also adjusted the weighting of the rupture cases in the rupture model.

For the Houchiali fault system, we considered two possible lengths in our rupture model. Both of the geometries of the Tainan fault and the Houchiali fault were be considered in this project. We included the case of ramp + detachment in the Tainan fault geometry. The value of the slip rate from new data (Le Béon et al., 2019) is within the range of the previous stage project, so the slip rate of the logic tree is maintained consistent with the previous stage project.

For the Tsochen fault, we slightly adjusted the dip and rupture depth. For fault slip rate, we collected the model inversion results of Ching et al. (2019), and then gave weights to calculate the lower bound, upper bound and mean value of the logic tree branches.

For the Hsiaokangshan fault, due to the detachment of the Hsiaokangshan fault were be extended to the Chaochou fault in the previous stage, which is not reasonable for length-width ratio of this fault. This project reconsidered the geometry of the Hsiaokangshan fault, and the detachment stopped at the Chishan fault. For fault slip rate, the range of uplift rate is 1.1~4.4 mm/yr based on the borehole data located at the hanging wall from Chen et al. (2010). This project calculated the net slip rate as 1.6~6.2 mm/yr using the fault dip angle (45 degrees).

For the Chishan fault, this project considered the lengths of the Chishan fault and the Neiying fault. We removed the extended part to the south based on recent investigate results. The fault geometry of the Chishan fault is modified by various versions of geological cross sections and balanced cross sections. For fault slip rate, the range of uplift rate is 2.4~4.0 mm/yr based on the borehole data located at the Dashe A profile from Chen et al. (2012). This project calculated the net slip rate as 2.6~8.0 mm/yr using the fault dip angle.

For the Chaochou fault, we adjusted the dip range from 50-70 to 60-80 degree

according to the earthquake depth distribution profile. For fault slip rate, TEM (2014) estimated the slip rate by measuring the vertical slips of a fault scarp. The age of this scarp was determined by the degree of hanging wall terrace soil weathering.

For the Hengchun fault, this project extended the north segment to Fongkang. For the fault geometry, we think that the fault geometry of the Hengchun fault needs to consider the relationship with the subduction zone plate. This project considered three cases for fault geometry setting of the fault system in Southern Taiwan. For the long-term slip rate, the range of uplift rate is 1.5~6.9 mm/yr according to the reference collection. This project calculated the net slip rate as 1.7~10.4 mm/yr using the fault dip angle and rake.

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

We have collected the seismic source parameters (rupture model, length, fault geometry, slip rate) of the seismogenic structures (the Northern Ilan structure, the Chushiang fault). The parameter table and the logic tree of each seismogenic structure have also been established. The seismic source parameters of this year's seismogenic structures are shown in Table 2.

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

For dealing with the possible problems or questions for map publishing, we have already held one expert forum to gather the possible problems or questions while publishing the earthquake probabilities map. This year, we invited the section chief in the Office of Disaster Management (Executive Yuan), the expert of disaster prevention, and a licensed technician to join our discussion. The practicable strategies also have been proposed from this forum. We referred to the records and conclusions of the expert forum to propose a proposal for coping strategies.

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

Fault name	The latest event time	Probability model	Mw ≧ 6.5 earthquake probability		
			30 years	50 years	100 years
Muchiliao – Liuchia fault	1941 A.D.	BPT	29.2%	43.6%	66.7%
	Unknown	Poisson	20.6%	31.4%	51.3%
Hsinhua fault	1946 A.D.	BPT	9.6%	14.0%	20.7%
Houchiali fault system	1862 A.D.	BPT	2.4%	3.8%	6.6%
	Unknown	Poisson	1.7%	2.8%	4.9%
Tsochen fault	Unknown	Poisson	2.3%	3.7%	6.7%
Hsiaokangshan fault	Unknown	Poisson	4.9%	7.8%	14.2%
Chishan fault	Unknown	Poisson	11.4%	17.9%	31.6%
Chaochou fault	Unknown	Poisson	2.5%	4.2%	8.1%
Hengchun fault	Unknown	Poisson	13.2%	20.5%	34.9%

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

Name	Rupture Model	Length (km)	Depth (km)	Dip (degree)	Wells & Coppersmith, 1994 (Area - Mw Relationship) (Mw)			Yen and Ma, 2011 (Area - Mw Relationship) (Mw)	Long-term Slip Rate (mm/yr)
					-σ	mean	-σ		
The Northern Ilan structure	A+B+C	127	10(0.3) 15(0.4) 20(0.3)	50(0.3) 60(0.4) 70(0.3)	7.0	7.3	7.6	7.4	1.5(0.3) 5.8(0.4) 10.3(0.3)
	A+B	89			6.9	7.2	7.5	7.2	
	B+C	78			6.8	7.1	7.4	7.1	
	A	49			6.6	6.9	7.2	6.9	
	B	40			6.5	6.8	7.1	6.8	
	C	38			6.5	6.8	7.1	6.8	
The Chushiang fault	A	20	9(0.3) 10(0.4) 11(0.3)	40(0.3) 45(0.4) 50(0.3)	6.2	6.5	6.8	6.5	2.3(0.3) 5.45(0.4) 8.6(0.3)

5. Conclusion and Suggestions

At the present stage, this project has completed the improvement of earthquake probability assessment for the active faults in Central, Northern, and Southern Taiwan. In the following year for the next stage, data collection and model improvement work will be carried out continuously on the 8 active faults in Eastern Taiwan. The goal of this four-year project is to provide the latest activity parameters and the earthquake probability result of each active fault. The results of this project will be integrated into a database for the use of the web page query platform.

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

第一章、緒論

1-1 計畫整體概述

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

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

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

基於前階段完成之成果，參考目前國際間最新相關研究，如 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 1-1.1)。

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 1-1.2)，一為活動斷層資料蒐集組，主要工作為建立活動斷層參數說明書，包含三維斷層模型、斷層特徵照片蒐集彙整。二為活動斷層潛勢評估組，主要工作為精進活動斷層參數表並劃設邏輯樹，進行斷層潛勢之分析，估算活動斷層在未來 30 年、50 年和 100 年之發震潛勢，並更新活動斷層潛勢圖。三為活動斷層查詢系統組，主要工作為將前階段蒐集之活動斷層成果包含斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果彙整至活動斷層查詢平台，透過圖形化互動介面，公開相關研究成果，滿足民眾知的權利。

預期進度甘梯圖請見表 1-1.1，並配合參考圖 1-1.1。第一年選擇中部地區 9 條斷層及兩條孕震構造；第二年選擇北部地區 7 條斷層及三條孕震構造；第三年和第四年則分別是南部地區 9 條斷層及東部地區 8 條斷層，逐步完成全臺灣活動斷層潛勢評估之工作。

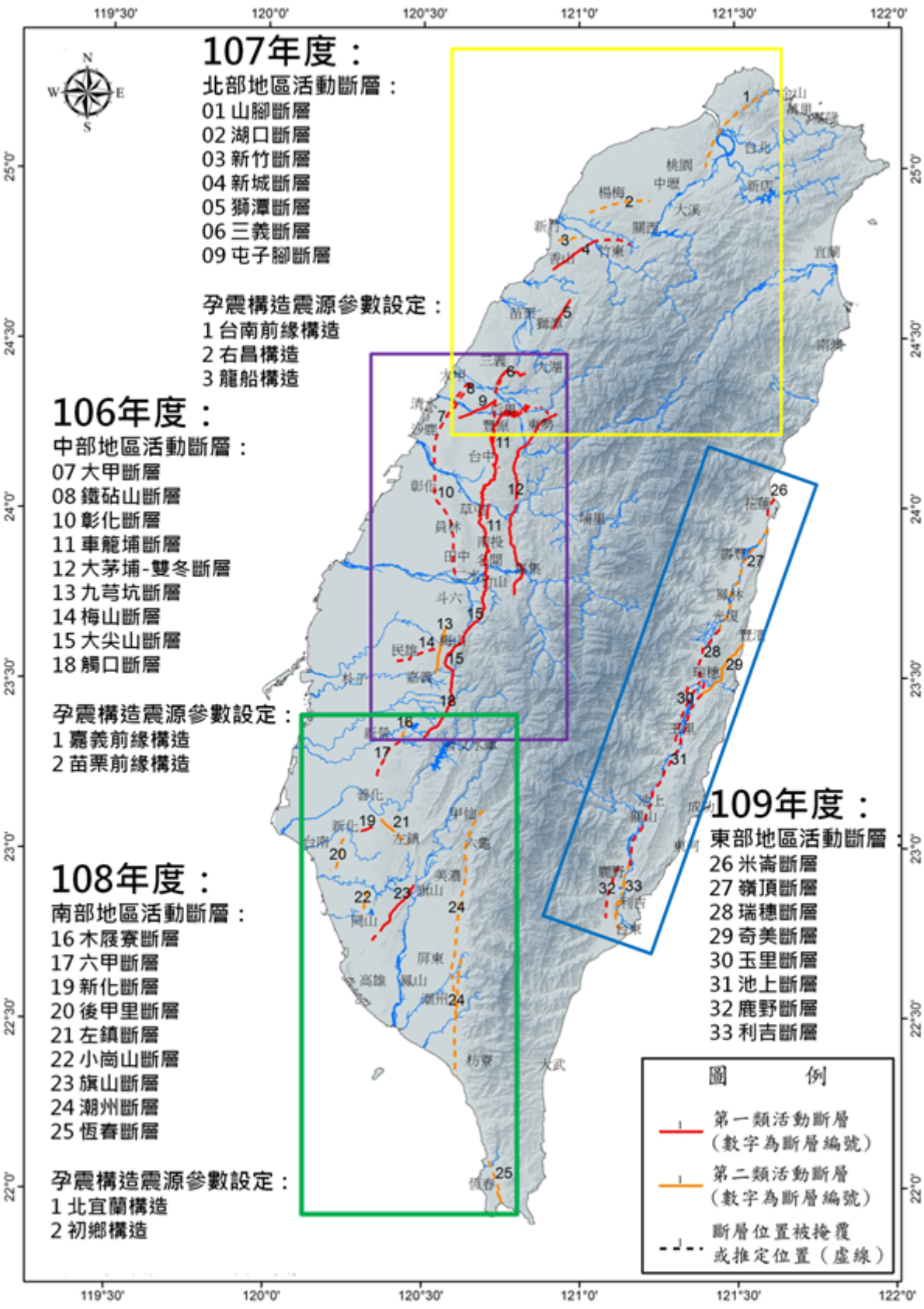


圖 1-1.1：106-109 年度各年度評估地區與斷層及孕震構造分布。

Fig. 1-1.1 The active faults and the seismogenic structures of each annual target region during 2017~2020.

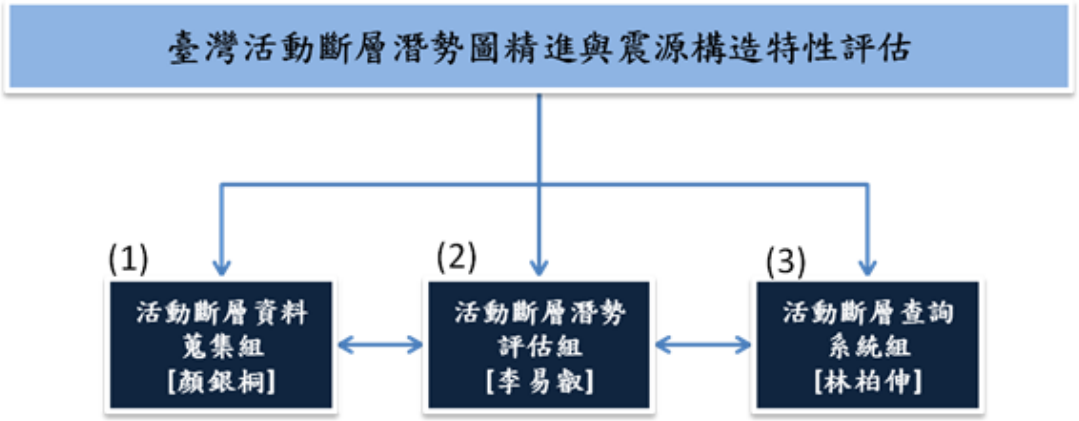


圖 1-1.2：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估之專業分工架構。

Fig. 1-1.2 The organization chart for the “Assessment for the Active Faults and the Analysis of the parameters for the Seismogenic Structures in Taiwan” project.

表 1-1.1：全程計畫預期進度甘梯圖

Tab. 1-1.1 The Gantt chart of expected progress for this year project

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

1-2 計畫目的

根據美國 Working Group on California Earthquake Probabilities (2008) (WG07, 2008)針對加州地區之活動斷層及孕震構造所做的地震潛勢評估經驗，可將孕震構造活動潛勢評估工作分為四大流程：斷層幾何形貌(Fault Models)、斷層變形模式(Deformation Models)、地震發生率模型(Earthquake-Rate Models)及總體機率模型(Probability Models)，如圖 1-2.1 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 1-2.2 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 1-2.3 為美國加州地區地震評估所採用之邏輯樹，可明確地將斷層幾何形貌、斷層變形模式、地震發生率模型及總體機率模型四大流程之不確定性予以合理地掌握。

以美、日兩國活動斷層地震潛勢之展示方式而言，美國 WG07(2008)同時考慮了活動斷層與孕震構造，建立了如圖 1-2.4 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，2019)如圖 1-2.5 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 1-2.5 之活動斷層地震潛勢成果，以供我國地震防災相關分析所需之基礎應用資料。

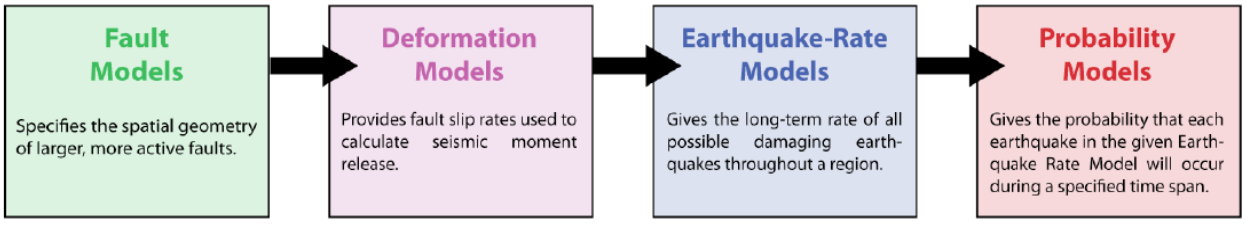


圖 1-2.1：美國加州地區活動斷層與孕震構造潛勢評估之四大流程(摘錄自 WG07, 2008)。

Fig. 1-2.1 The four basic components of the UCERF model (excerpted from WG07, 2008).

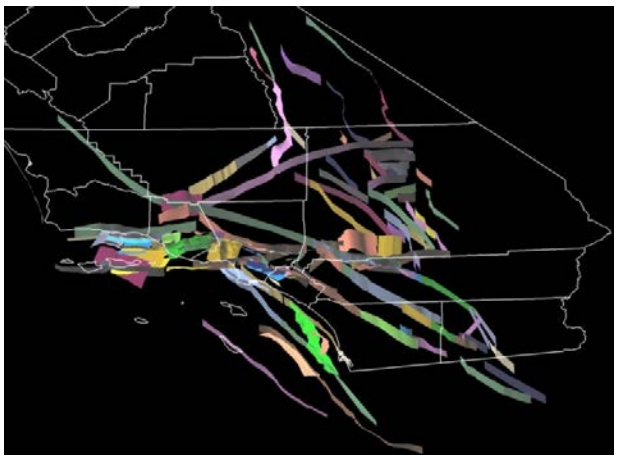


圖 1-2.2：加州地區孕震構造之三維幾何形貌(WG07, 2008)。

Fig. 1-2.2 Three-dimensional geometry of the seismogenic structures in California (excerpted from WG07, 2008).

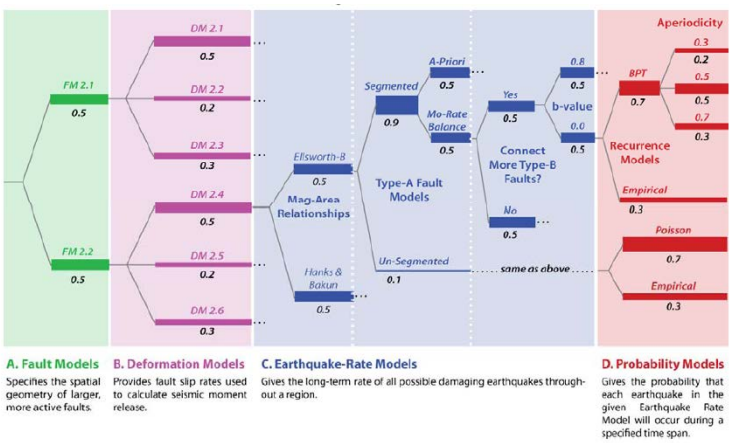


圖 1-2.3：加州地區地震潛勢評估之專家討論成果邏輯樹(摘錄自 WG07, 2008)。

Fig. 1-2.3 Branches of the UCERF logic tree in the final model calculations (excerpted from WG07, 2008).

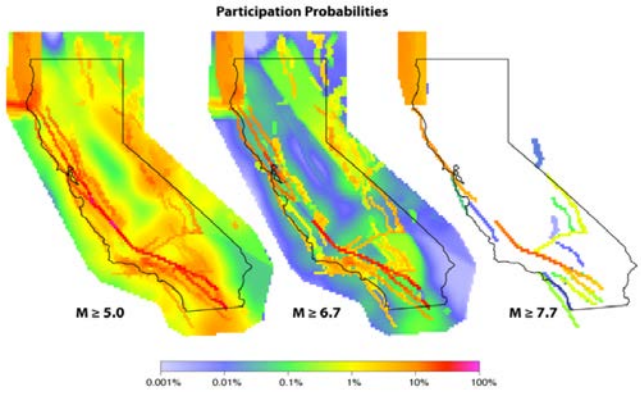


圖 1-2.4：加州地區未來 30 年發生地震規模為 5、6.7、7.7 以上之機率分布圖(摘錄自 WG07, 2008)。

Fig. 1-2.4 Participation probability maps, displaying the probability above the specified magnitude threshold (M5.0, 6.7, and 7.7) during the next 30 years (excerpted from WG07, 2008).

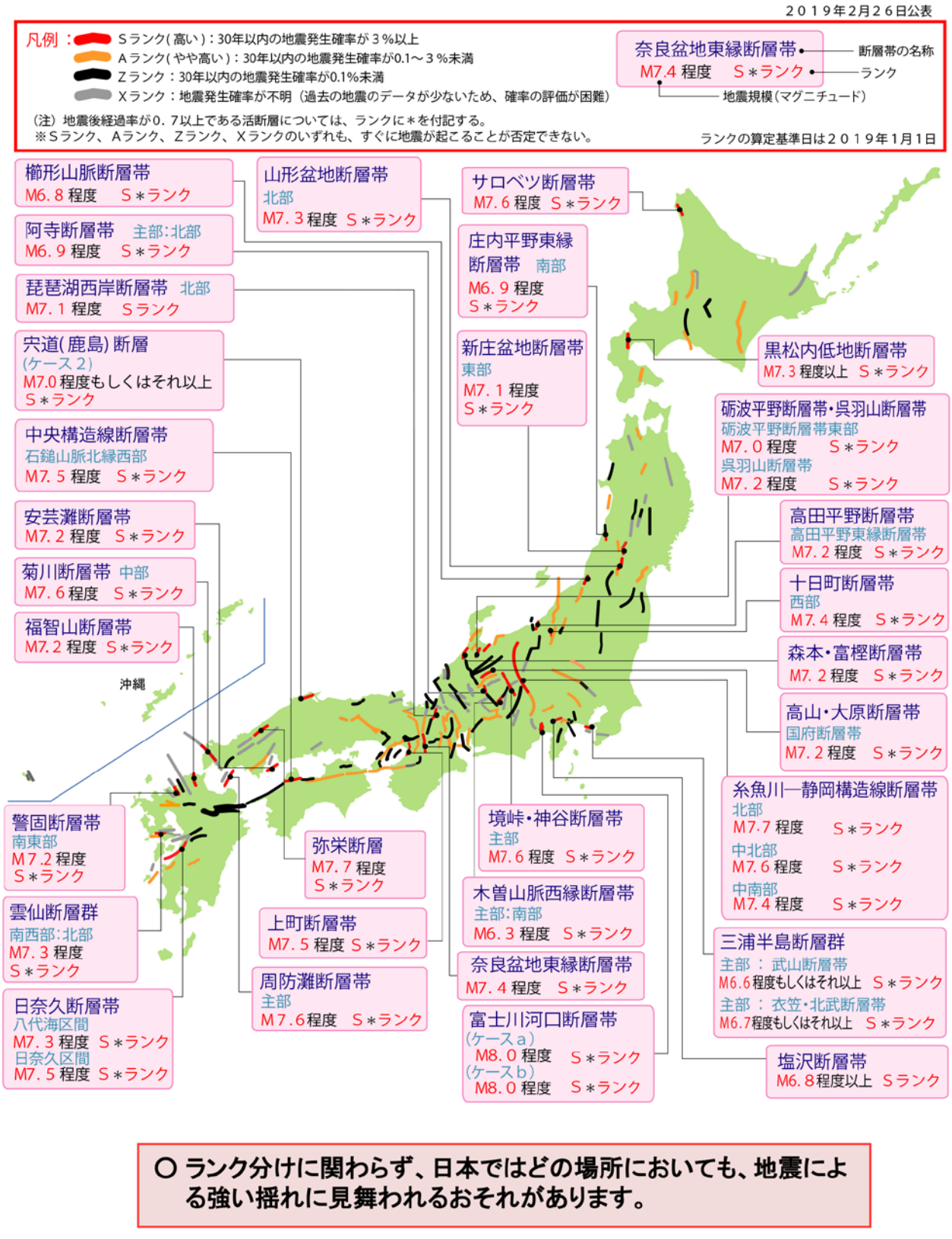


圖 1-2.5：日本主要孕震構造未來 30 年之活動潛勢評估成果(日本全國地震動預測圖，2019)。

Fig. 1-2.5 The earthquake occurrence probabilities of major active faults within 30 years in Japan (excerpted from HERP, 2019).

(https://www.jishin.go.jp/evaluation/evaluation_summary/#danso)

1-3 本(108)年度工作內容概述

1-3-1 本年度工作項目

(1)南部活動斷層斷層參數及潛勢圖更新：

A. 精進活動斷層參數：依最新地質研究資料，檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新劃設南部地區 9 條活動斷層(16 木屐寮斷層、17 六甲斷層、19 新化斷層、20 後甲里斷層、21 左鎮斷層、22 小崗山斷層、23 旗山斷層、24 潮州斷層、25 恆春斷層)邏輯樹。

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

C. 建立南部地區 9 條活動斷層視覺化三維斷層模型。

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

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

F. 考慮活動斷層潛移之震矩折減方式。

G. 產製南部地區 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活動構造(北宜蘭構造、初鄉斷層)，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. 臺灣南部斷層相關特徵照片蒐集彙整。

B. 匯整潛勢評估成果，繪製並出版臺灣活動斷層潛勢圖。

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。

(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. 北宜蘭構造之震源參數說明書。

B. 南部地區 5 條活動斷層(16 木屐寮斷層、17 六甲斷層、19 新化斷層、20 後甲里斷層、21 左鎮斷層)蒐集彙整之相關照片。

C. 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. 初鄉構造之震源參數說明書。

B. 南部地區 9 條活動斷層視覺化三維斷層模型。

C. 南部地區 4 條活動斷層(22 小崗山斷層、23 旗山斷層、24 潮州斷層、25 恆春斷層)蒐集彙整相關照片。

D. 提供匯整至活動斷層查詢平台之斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果。

E. 108 年度潛勢圖公布問題因應策略建議書。

F. 期末報告書面資料 15 份與簡報資料。

第二章、木屐寮-六甲斷層潛勢評估

102~105 年度「斷層活動性觀測研究第三階段-斷層整合性觀測與潛勢分析計畫」中斷層潛勢評估工項為本團隊負責，以下會將該階段計畫稱為「前階段計畫」，本章 2-1 節會先介紹前階段計畫本團隊劃設之木屐寮-六甲斷層邏輯樹成果，然後說明本計畫參數更新之項目，2-2 節則針對木屐寮-六甲斷層更新之參數進行邏輯樹重新劃設。2-3 節為利用特徵地震模式計算各邏輯樹節點之地震復發間隔結果，2-4 節為斷層未來 30、50 及 100 年的發震機率評估結果。

2-1 木屐寮-六甲斷層參數更新

2-1-1 前階段計畫成果

前階段計畫在評估木屐寮-六甲斷層系統之破裂，分為 3 種破裂事件來探討，A 為木屐寮斷層破裂，B 為六甲斷層破裂，C 為木屐寮+六甲斷層破裂，前階段計畫認為木屐寮斷層與六甲斷層活動性及幾何形貌均類似，兩者同時破裂之可能性高於分段破裂之可能性，因此給予整段破裂較高之權重，權重分配為 A（0.25）、B（0.25）、C（0.5）如圖 2-1.1 所示。

木屐寮-六甲斷層之傾角及破裂深度，前階段計畫認為傾角可採用雙傾角方式以符合斷層面斷坡連接基底滑脫面之情形，幾何有以下三種情形：「0-6 公里 35 度，6 公里以下 15 度」、「0-6 公里 40 度，6 公里以下 15 度」、「0-6 公里 45 度，6 公里以下 15 度」，破裂深度範圍為 10~14 公里。

各破裂事件之特徵地震規模則代入 Wells and Coppersmith(1994)及 Yen and Ma(2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith(1994)之標準差作為上下之分支。

木屐寮-六甲斷層之滑移速率，主要是利用鑽井柵狀剖面計算層位落差，或是推估野外露頭上下盤岩層錯動量及定年，計算地層垂直滑移速率，假設斷層為逆斷層滑動，將垂直滑移速率以 40 度換算至斷層面之長期滑移速率，前階段計畫設定長期滑移速率下限為各調查方式之下限值平均= (5.6+8.4+9.8)/3 =7.9 mm/yr；上限為各調查方式之上限值平均= (11.8+9.0+10.0)/3 =10.3 mm/yr；中值則採用(7.9+10.3)/2 =9.1 mm/yr。

木屐寮-六甲斷層前階段計畫邏輯樹詳如圖 2-1.2 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。

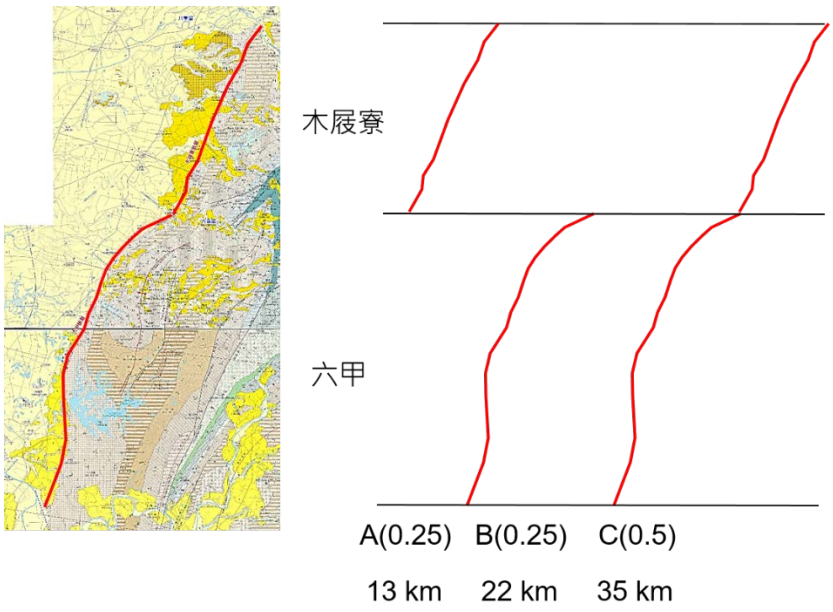


圖 2-1.1：木屐寮-六甲斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。

Fig. 2-1.1 The rupture cases and weights of the Muchiliao-Liuchia fault (Hu et al., 2016).

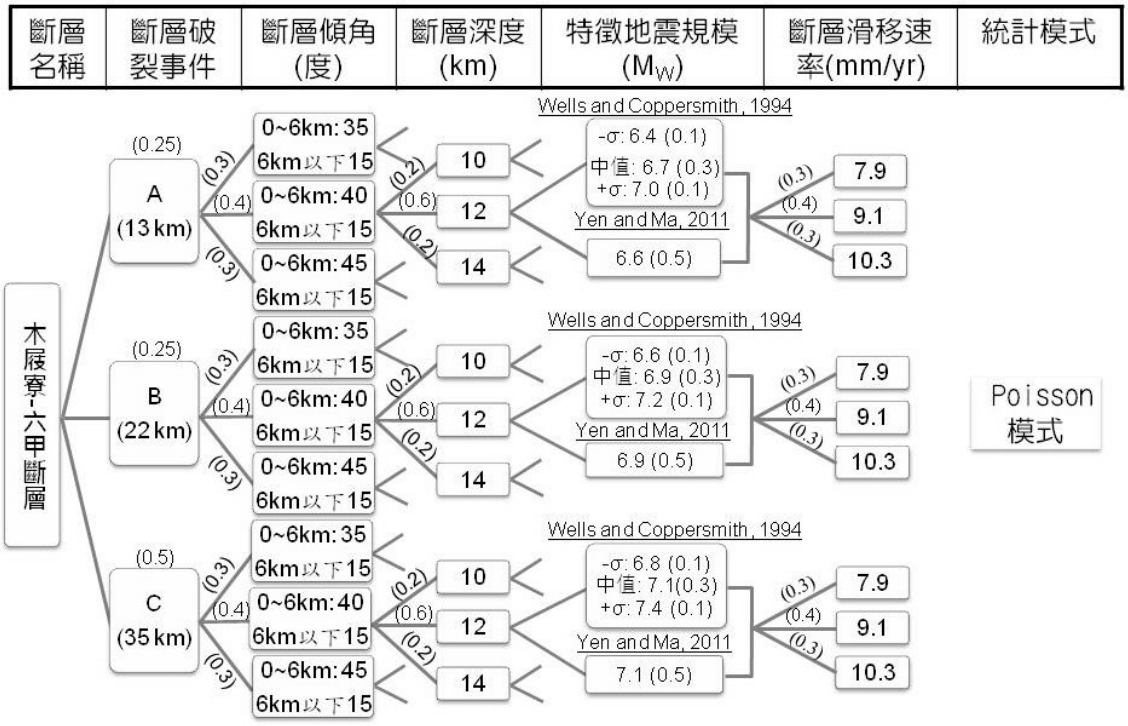


圖 2-1.2：木屐寮-六甲斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)。

Fig. 2-1.2 The logic tree of the Muchiliao-Liuchia fault (Hu et al., 2016).

2-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

前階段計畫木屐寮-六甲斷層之幾何參考資料詳如表 2-1.1 所示。以下將說明斷層幾何形貌之修改。

根據中油牛山背斜軸部之 NS-27 鑽井，在深度約 3,350 公尺處鑽遇一傾角約 43 度的斷面（Hu and Sheen, 1989），因此本計畫固定木屐寮-六甲斷層在深度 4 公里以內的傾角為 45 度。至於深部的幾何形貌則有幾種不同的可能性，Suppe(1980)認為牛山地區及東側麓山帶之地下深部是由多重疊瓦構造組成，本計畫認為木屐寮-六甲破裂可能沿著兩種路徑傳到地表，一為較深的基底滑脫面，一為上部的滑脫面(圖 2-1.3)。楊志成(2007)在台南地區的構造剖面中，認為六甲斷層是沿著上部滑脫面，於深部再接到基底滑脫面，如圖 2-1.4 所示。另外，Hung et al. (1999)也描繪西南部麓山帶的地質剖面，下部基底滑脫面深度設定比 Suppe 及楊志成深，可達到 12 公里，如圖 2-1.5 所示。

本計畫綜合上述幾何資訊，整體考慮木屐寮-六甲斷層幾何面三種情形：Case 1 為深度 0-6 km，傾角 45°；深度 6-8 km，傾角 6°。Case 2 為深度 0-4 km，傾角 45°；深度 4-9 km，傾角 17°；深度 9-9.7 km，傾角 6°；Case 3 為深度 0-11 km，傾角 45°；深度 11-12 km，傾角 3.5°，如圖 2-1.6 所示。

表 2-1.1：木屐寮-六甲斷層傾角及深度資料與文獻列表(胡植慶等，2016)
Tab. 2-1.1 Parameters and references of the dip angle and rupture depth of the Muchiliao-Liuchia fault (Hu et al., 2016)

參考文獻	方法	調查斷層	傾角	深度
王宏霖, 2006	震測剖面	木屐寮斷層		
Suppe, 1980	地質平衡剖面	六甲斷層		基底滑脫面至少 8 公里
Hu and Sheen, 1989	牛山背斜軸部 NS-27 鑽井	六甲斷層	43E	
Hung et al., 1999	地質剖面	六甲斷層		基底滑脫面至少 8 公里
黃旭燦等，2004	地質平衡剖面	六甲斷層		基底滑脫面至少 5.5 公里
楊志成等，2005	地質剖面	六甲斷層	30~45E	至少 4 公里
陳文山等，2006	鑽井剪切面	六甲斷層	近地表 30E	
胡植慶等，2016	1991-2010 地震分布	六甲斷層		集中於 12 公里內

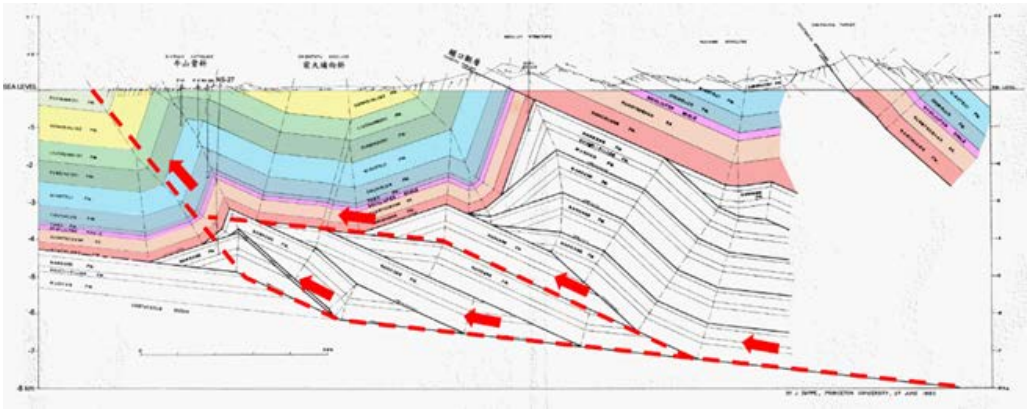


圖 2-1.3：牛山背斜之雙軌構造解釋(Suppe, 1980)。

Fig. 2-1.3 Duplex interpretation of the Niushan structure (Suppe, 1980).

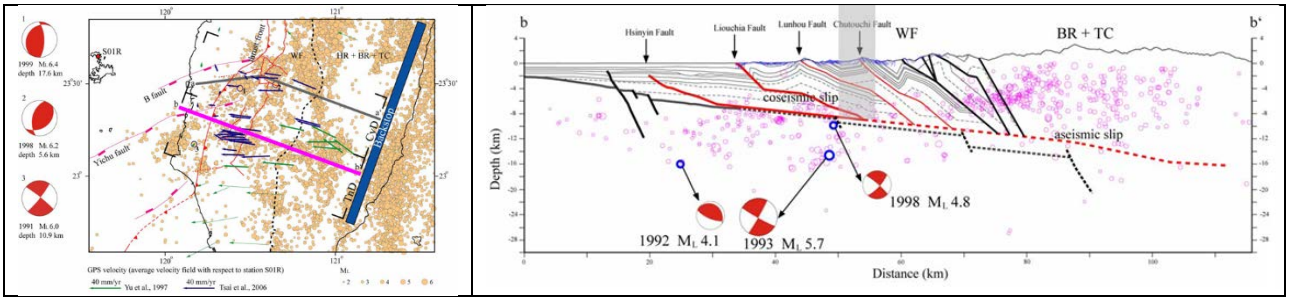


圖 2-1.4：台南地區構造剖面及地震深度剖面。左圖為剖面位置及地震分布平面圖，b-b'以粉紅色線段標記；右圖為 b-b'構造剖面及地震深度，粉紅色圓圈為 b-b'剖面 5 公里寬度範圍內規模大於 2 之地震事件(摘自：Yang, 2007)。

Fig. 2-1.4 The cross section with the relocated earthquakes across the Tainan domain (Yang, 2007).

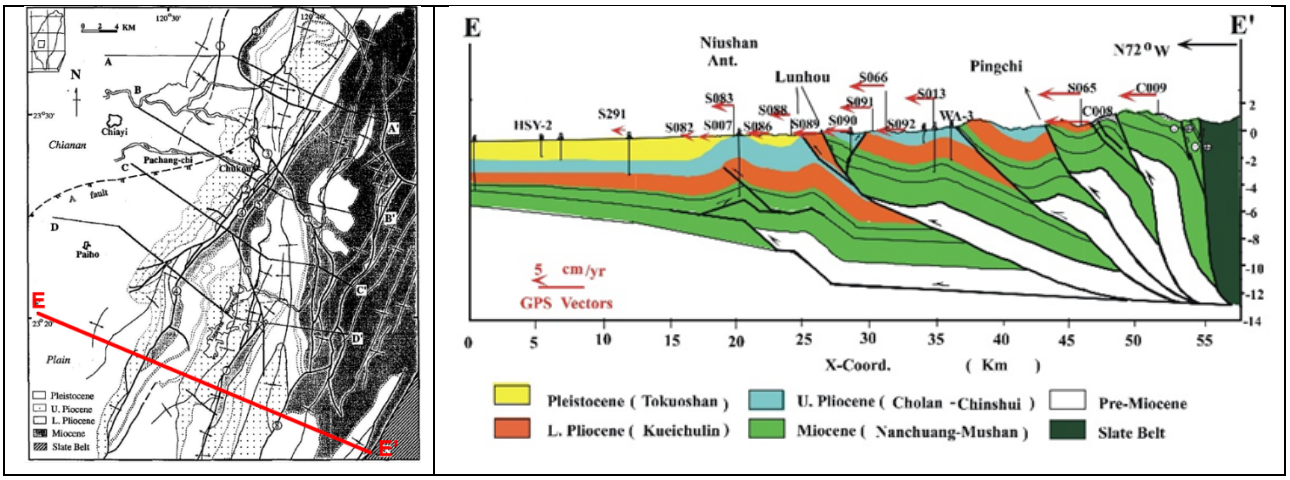


圖 2-1.5:構造地質剖面及投影至剖面 GPS 測站之水平速度。左圖為剖面位置平面圖；右圖為 E-E'構造剖面圖(Hung et al.,1999)。

Fig. 2-1.5 The cross section and the projected GPS horizontal velocities through Southwestern Foothills (Hung et al.,1999).

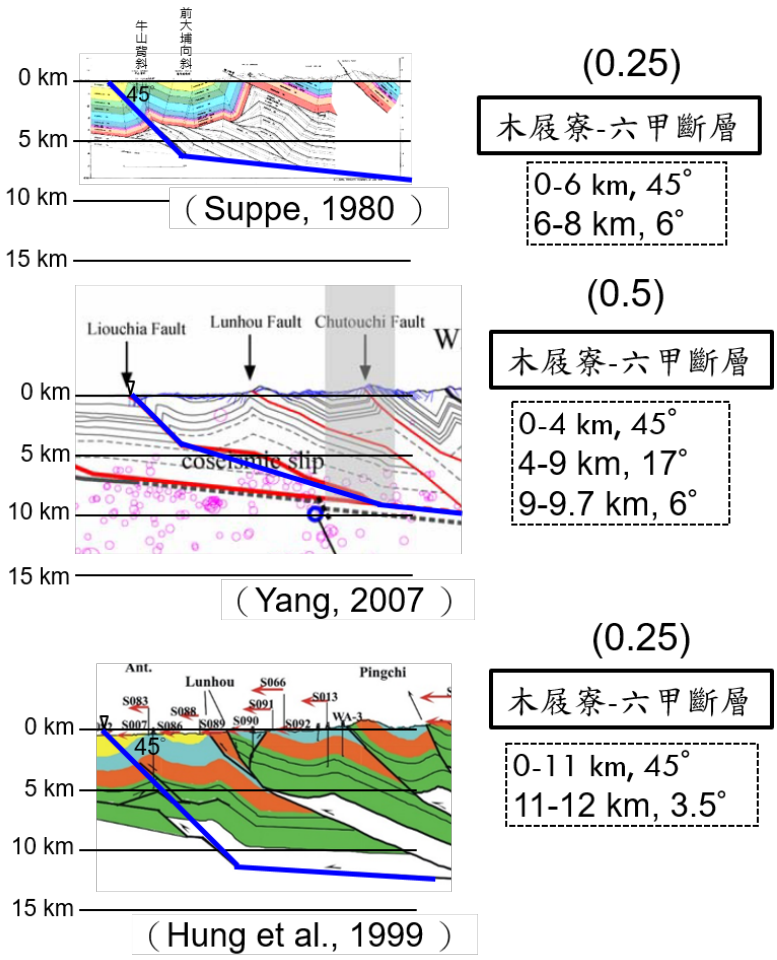


圖 2-1.6：本計畫木屐寮-六甲斷層幾何形貌設定。

Fig. 2-1.6 This project's fault geometry setting of the Muchiliao-Liuchia fault.

2-1-3 孕震深度分析

Wu et al. (2017)使用台灣區域1990-2015之地殼地震目錄呈現孕震帶之空間分布，以地震矩累計量來做為孕震深度判斷依據。本計畫蒐集了 Wu et al. (2017)之 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度空間分布資料，針對南部地區活動斷層進行孕震深度分析，圖 2-1.7 為木屐寮-六甲斷層 D90 孕震深度分布圖，結果顯示木屐寮-六甲斷層上盤 D90 之孕震深度大多位於 13~16 公里深，略高於本計畫邏輯樹最大 12 公里之設定。

圖 2-1.8 為 Camanni et al. (2016) P 波速度構造及地震深度分布剖面，其中木屐寮-六甲斷層正好位於 C-C'及 D-D'剖面之間。兩剖面中的地震主要是沿著深度約 10 公里左右的帶狀分布，推估此區域滑脫面深度為 10 公里左右。

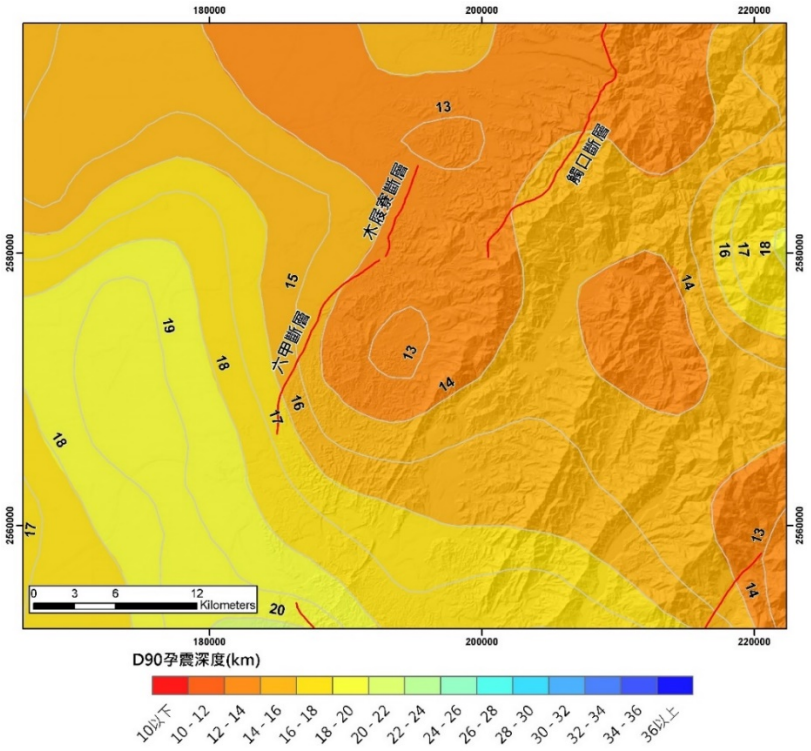


圖 2-1.7：木屐寮-六甲斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：Wu et al., 2017)。

Fig. 2-1.7 Distribution map of the D90 seismogenic depth at the Muchiliao-Liuchia fault region (Data from: Wu et al., 2017).

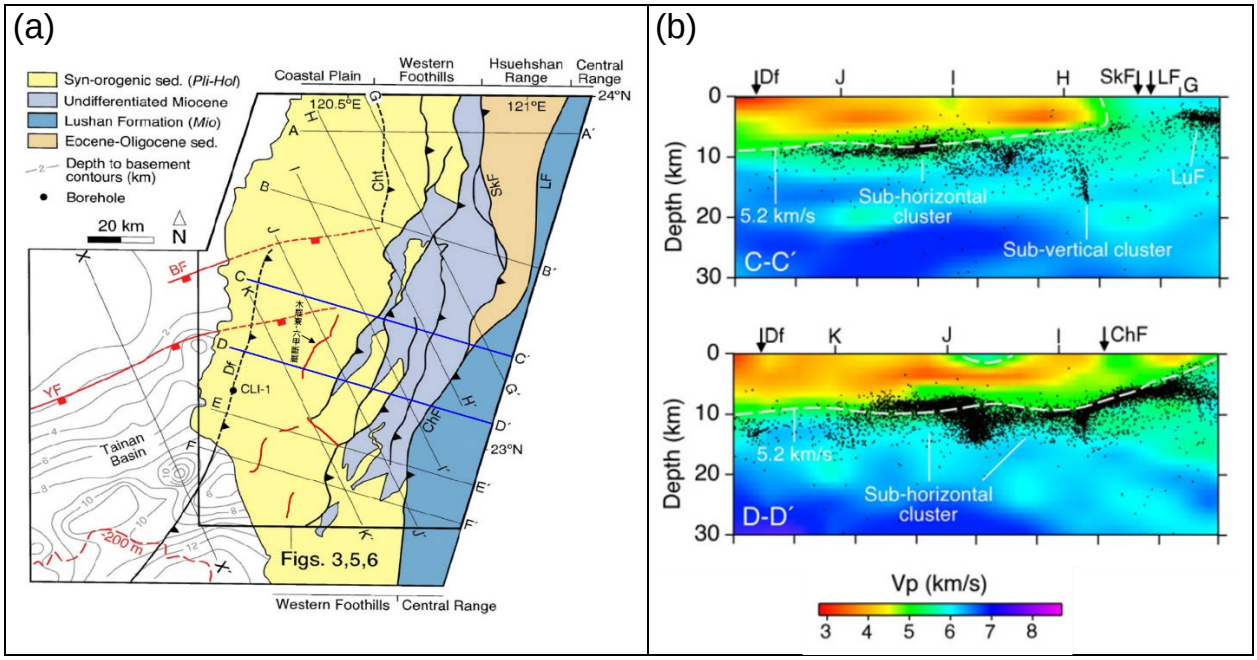


圖 2-1.8：P 波速度構造及地震深度分布剖面。(a)台灣西南地區地質圖及構造分布圖，藍色實線為 C-C'及 D-D'剖面圖位置，(b) C-C'及 D-D'的 P 波速度構造及地震深度分布剖面(Camanni et al., 2016)。

Fig. 2-1.8 C-C' and D-D' vertical sections through the 3D P-wave velocity model and the relocated seismicity dataset(Camanni et al., 2016).

2-2 邏輯樹更新

木屐寮-六甲斷層分段破裂模式如圖 2-2.1，長度上與前階段計畫相同，木屐寮斷層往北延伸止於八掌溪，六甲斷層往南延伸止於左鎮斷層向西延伸之處。各破裂模式權重上，因木屐寮斷層和六甲斷層的上盤構造仍有區別，所以提高分段破裂模式的權重，經專家會議討論結果，權重分配更動為 A（0.3）、B（0.3）、C（0.4）。

木屐寮-六甲斷層之傾角及破裂深度，根據 2-1-2 節之幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 Case 1 深度 0-6 km，傾角 45°；深度 6-8 km，傾角 6°。Case 2 為深度 0-4 km，傾角 45°；深度 4-9 km，傾角 17°；深度 9-9.7 km，傾角 6°；Case 3 為深度 0-11 km，傾角 45°；深度 11-12 km，傾角 3.5°。其中 Case 2 為楊志成(2007)參考中油鑽井、地表地層位態、震測剖面及地震分布描繪，且破裂模式相對於直接破裂至深部滑脫面的 Case 1 和 Case 3 可能性較高，因此給予較高的權重，權重分配為 A（0.25）、B（0.5）、C（0.25）。

木屐寮-六甲斷層之滑移速率，本計畫新增杜冠穎（2013）從六甲斷層上盤龜重溪河道下切量推估滑移速率的部分，敘述如下：

河流系統對於區域地殼抬升的反應公式為：

抬升量=下切量+海水面變化量+河道改變河道形貌變化量

其中因龜重溪縱剖面無遷急點，假設海水面變化量為 0，又因現今河道與古河道蜿蜒度差異不大，所以假設河道改變河道形貌變化量為 0，因此公式可簡化為抬升量=下切量，而下切速率=侵蝕常數×剪應力，剪應力公式則為：

$$\tau^* = Q^{0.6} W^{-0.6} S^{0.7}$$

其中 Q：河流流量；W：河道寬度；S：河道坡度，杜冠穎（2013）蒐集龜重溪集水區河流流量、河道寬度及河道坡度資料計算出龜重溪集水區各點之剪應力分布，再利用六甲斷層上盤階地定年資料作控制點，回歸出河道下切速率的曲線，即為抬升速率，如圖 2-2.2 所示。圖中顯示靠近六甲斷層的抬升速率為 3.0 mm/yr，牛山背斜軸部抬升速率 4.6 mm/yr。杜冠穎（2013）以近地表六甲斷層傾角為 30 度，牛山背斜軸部傾角 40 度換算至斷層面上的滑移速率為 6.2~7.1 mm/yr。另外，以近地表六甲斷層傾角為 45 度，牛山背斜軸部傾角 55 度換算至斷層面上的滑移速率為 4.4~5.6 mm/yr。因此其推估之淨滑移速率落在 4.4~7.1 mm/yr 的範圍中。

木屐寮-六甲斷層長期滑移速率相關參數及文獻詳如表 2-2.1 所示。

本計畫同時蒐集景國恩等（2019）「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（3/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，可與地質資料推估之成果進行比較，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOCKS 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較，表 2-2.2 為該計畫三種模型反演得到之結果。

根據表 2-2.1，本計畫認為楊志成等（2005）根據野外錯移的地層推估的結果較為直接，給予較高的權重(0.4)。陳文山根據跨斷層鑽井資料推估之抬升速率雖不是直

接結果，但是也反映了斷層上下盤之間抬升速率的差異，權重次之(0.25)。杜冠穎(2013)則是假設六甲斷層上盤河道下切量為六甲斷層所貢獻，是較為間接推估的數據，因此給予較低的權重(0.1)。經加權計算後，計畫設定滑移速率參數及權重為 9.7 mm/yr(0.3)、11.0 mm/yr（0.4）、12.4 mm/yr（0.3）。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 2-2.3 所示為斷層以 Case 2 幾何面積計算之各破裂事件地震矩規模。

圖 2-2.3 為木屐寮-六甲斷層區域 1900~2015 規模 5 以上的地震分布，其中 1941 年規模 6.4 的地震或許可做為斷層的最近一次發生時間，本計畫會同時考慮 1941 年為最近一次發生時間及發生時間未知的兩種情形進行評估。

木屐寮-六甲斷層系統各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 2-2.4 所示。

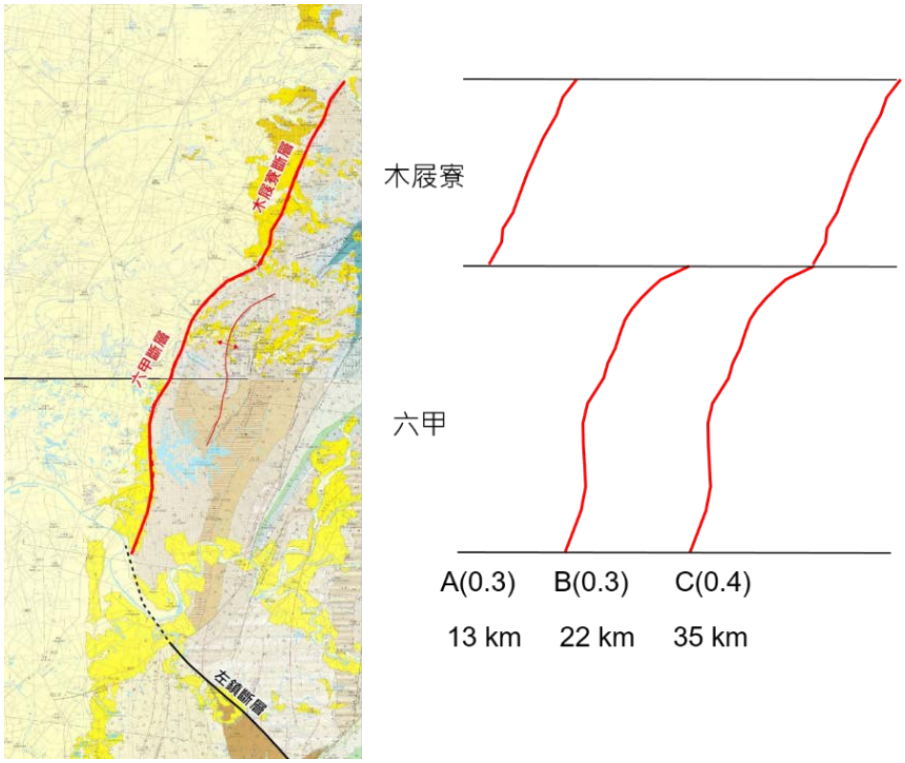


圖 2-2.1：本計畫木屐寮-六甲斷層之破裂模式及權重分配。

Fig. 2-2.1 This project's rupture cases and weights of the Muchiliao-Liuchia fault.

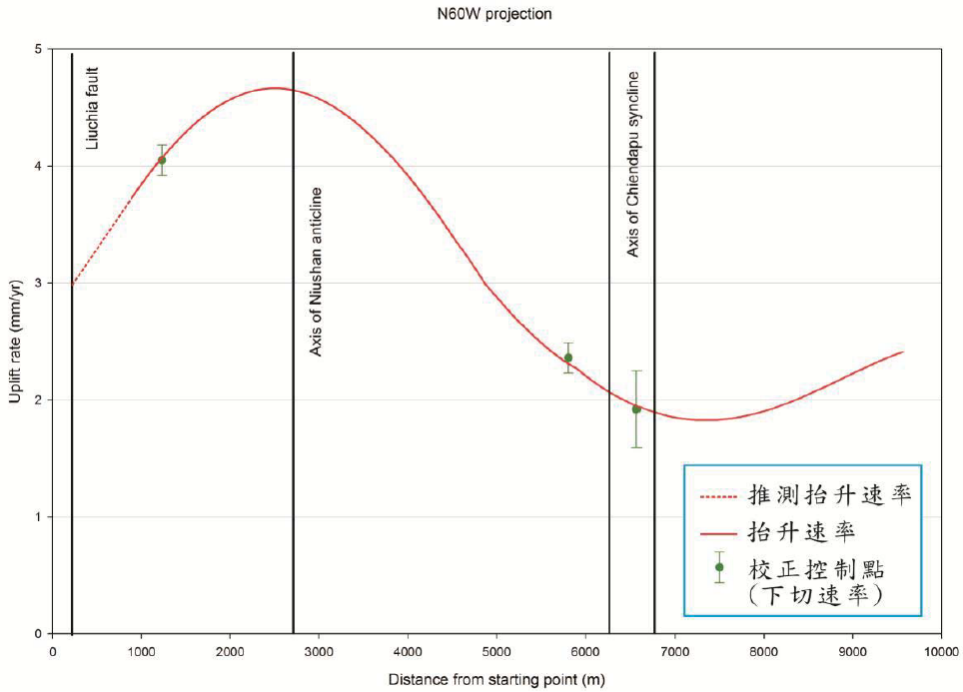


圖 2-2.2：六甲斷層上盤抬升速率回歸曲線(杜冠穎，2013)。

Fig. 2-2.2 The regression curve of the uplift rate at the hanging wall of the Liuchia fault (Du, 2013).

表 2-2.1：本計畫木屐寮-六甲斷層長期滑移速率相關文獻及推估結果

Tab. 2-2.1 Long-term slip rate from reference collections for the Muchiliao-Liuchia fault

斷層名稱	參考資料	方法	垂直滑移速率 (mm/yr)	年代 (年)	淨滑移速率 (mm/yr)	權重	下界	平均	上界
							(mm/yr)		
木屐寮-六甲斷層	楊志成等，2005	六甲斷層野外露頭上下盤岩層錯動量及定年	5.4~5.8	9,559~10,147	10.8~11.6 (楊志成等採用傾角 30 度)	0.4	10.8	11.2	11.6
	陳文山，2006	整合野外露頭、鑽井及定年資料	6.3~6.4	約 1 萬多年前	12.5~12.8 (採用傾角 30 度)	0.25	12.5	12.65	12.8
	陳文山，2010	白河與六重溪場址之鑽探及定年	3.6~7.6	1 萬年	7.2~15.2 (陳文山採用傾角 30 度)	0.25	7.2	11.2	15.2
	杜冠穎，2013	六甲斷層上盤龜重溪河道下切量	3.0~4.6		4.4~7.1 (杜冠穎採用傾角 30~55 度)	0.1	4.4	5.8	7.1
	加權結果						9.7	11.0	12.4

表 2-2.2：木屐寮-六甲斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019)

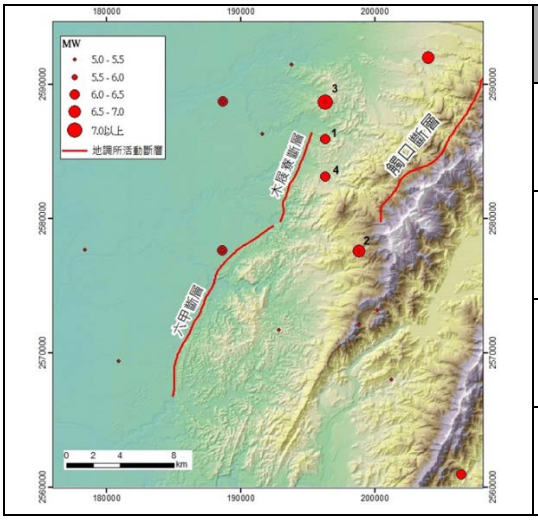
Tab. 2-2.2 Slip deficit rate for the Muchiliao-Liuchia fault by model inversion (Ching et al., 2019)

模型		BLOCKS	DEFNODE	Baseline Inversion	加權平均滑移虧損速率 (mm/yr)
斷層名稱		總變動量 (mm/yr)	平均值滑移虧損率 (mm/yr)	斷層滑移速率平均值 (mm/yr)	
木屐寮-六甲斷層	上界	8.5	6.5	1.8	5.6
	平均	8.5 ± 0.0	3.3 ± 1.6	0.8 ± 0.5	3.3
	下界	8.5	0.3	0	2.9
權重		(0.20)	(0.40)	(0.40)	

表 2-2.3：木屐寮-六甲斷層之各破裂事件規模計算

Tab. 2-2.3 The estimated magnitude for each rupture case of the Muchiliao-Liuchia fault

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	木屐寮	13	深度 0-4 km，傾角 45° 深度 4-9 km，傾角 17° 深度 9-9.7 km，傾角 6°	29.5	384	6.4	6.7	7.0	6.6
B	六甲	22		29.5	649	6.6	6.9	7.2	6.8
C	整段	35		29.5	1033	6.7	7.0	7.3	7.0



序號	西元年/月/日	經度 E	緯度 N	Mw	深度 (km)	備註
1	1904/04/24	120.475	23.375	6.1	2	
2	1927/08/24	120.5	23.3	6.6	20	
3	1941/12/16	120.475	23.4	7.3	12	中埔地震
4	1941/12/16	120.475	23.35	6.4	0	

圖 2-2.3：木屐寮-六甲斷層規模 6 以上歷史地震分布。

Fig. 2-2.3 The Mw≧6.0 historical earthquakes' distribution around the Muchiliao-Liuchia fault.

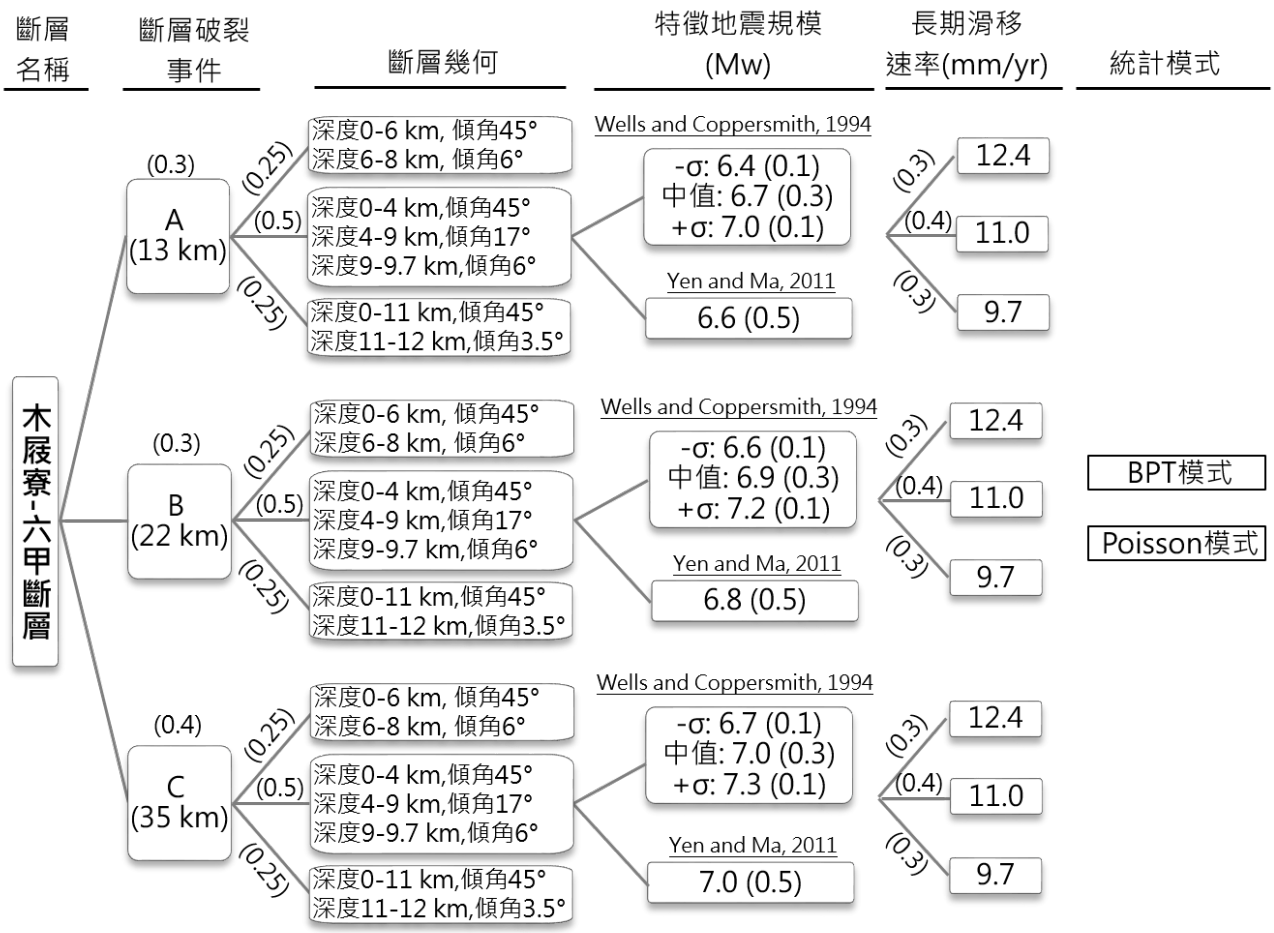


圖 2-2.4：木屐寮-六甲斷層更新邏輯樹(更新內容：分段破裂模式權重、斷層幾何、地震規模、長期滑移速率)。

Fig. 2-2.4 The renewed logic tree of the Muchiliao-Liuchia fault.

2-3 規模與年發生率之關係

木屐寮-六甲斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 2-3.1 為 3 個破裂事件取表 2-2.3 中參數計算特徵地震模式分布情形。

圖 2-2.4 之木屐寮-六甲斷層邏輯樹可得到 108 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 2-3.2 為 3 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.7 之權重最高；破裂模式 B 以規模 6.9 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.1 之權重最高。

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

將三種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 2-3.4（a）之木屐寮-六甲斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 2-3.4（b）之木屐寮-六甲斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

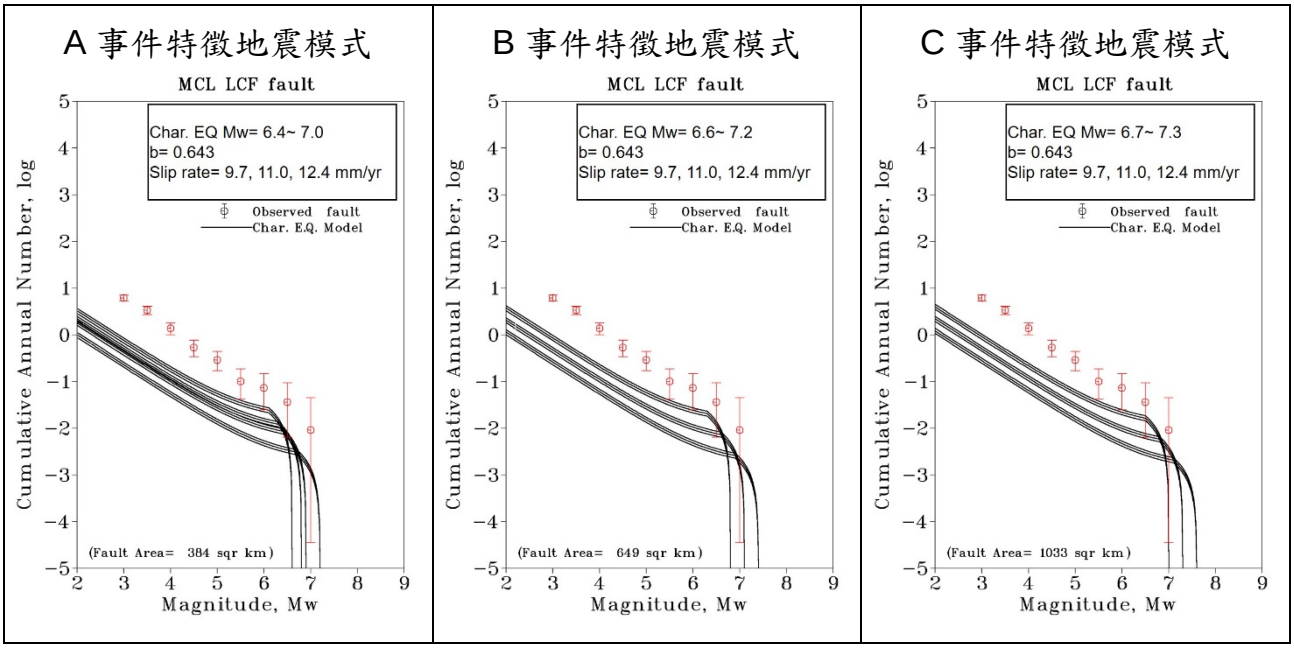


圖 2-3.1：木屐寮-六甲斷層各破裂事件特徵地震模式。

Fig. 2-3.1 The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for three rupture cases of the Muchiliao-Liuchia fault.

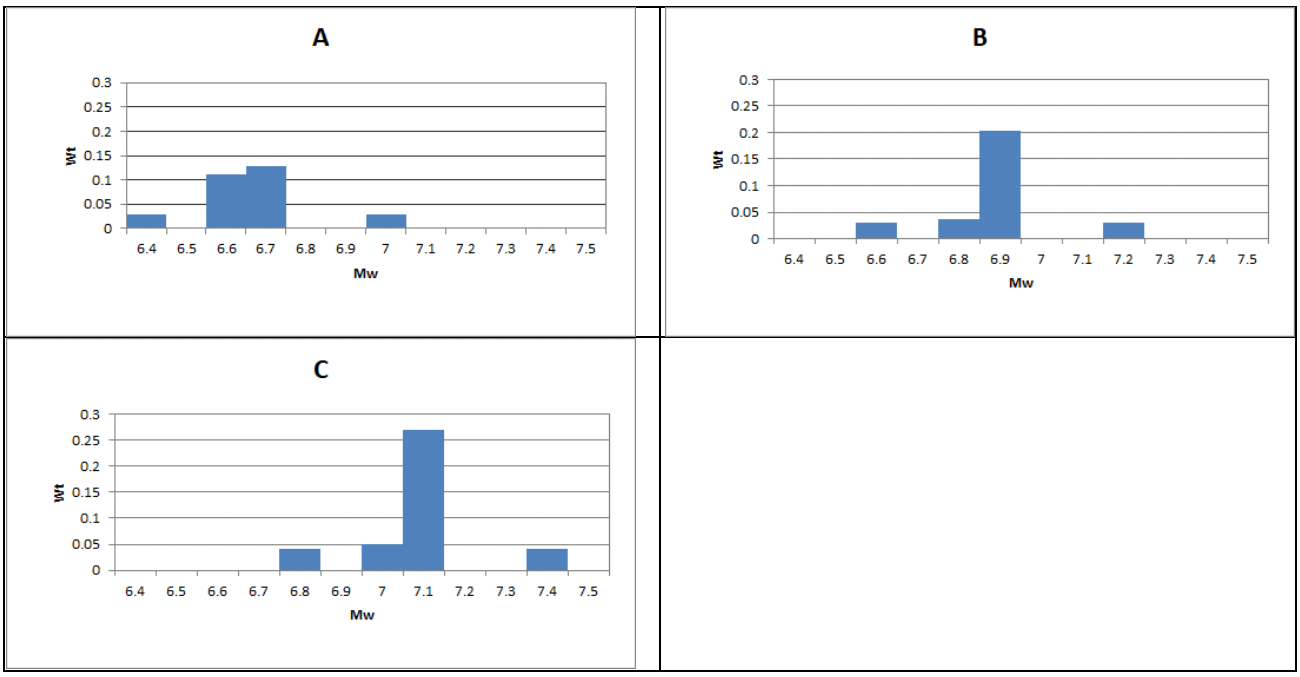


圖 2-3.2：木屐寮-六甲斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Fig. 2-3.2 The relationships between magnitude and weighting for three rupture cases of the Muchiliao-Liuchia fault.

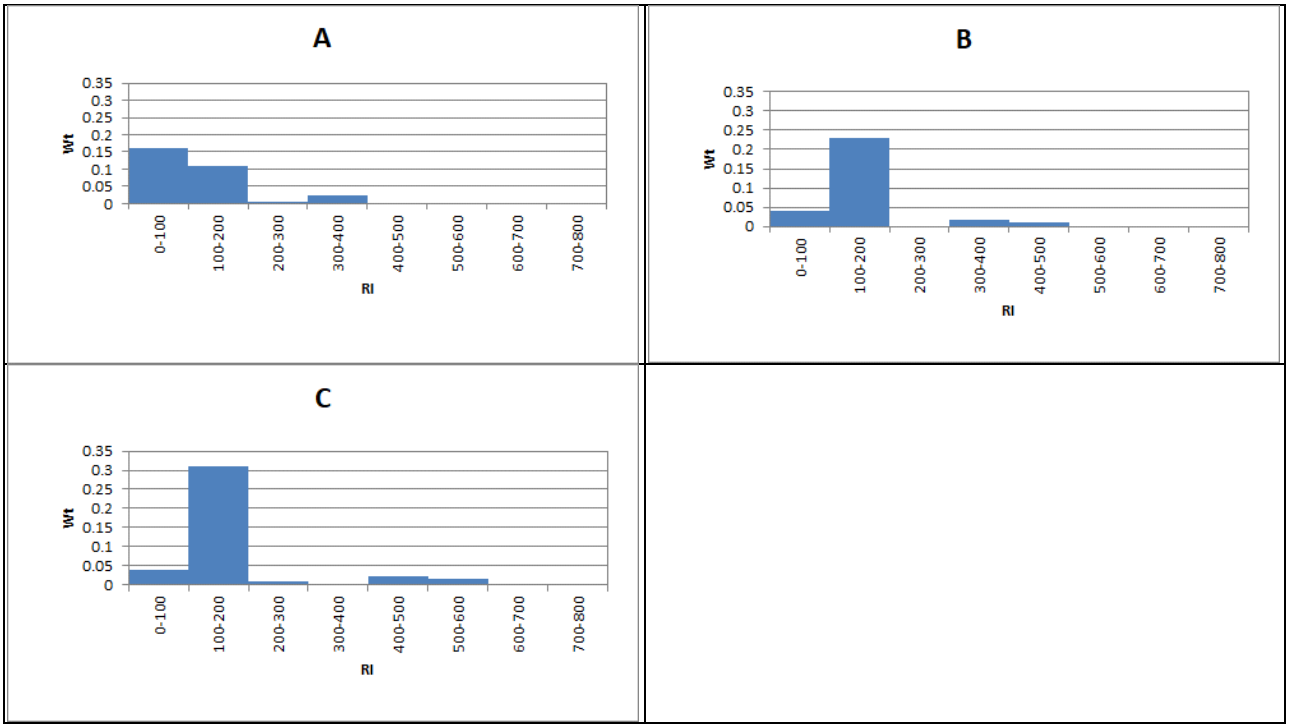


圖 2-3.3：木屐寮-六甲斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 2-3.3 The relationships between recurrence interval and weighting for three rupture cases of the Muchiliao-Liuchia fault.

（a）　　（b）

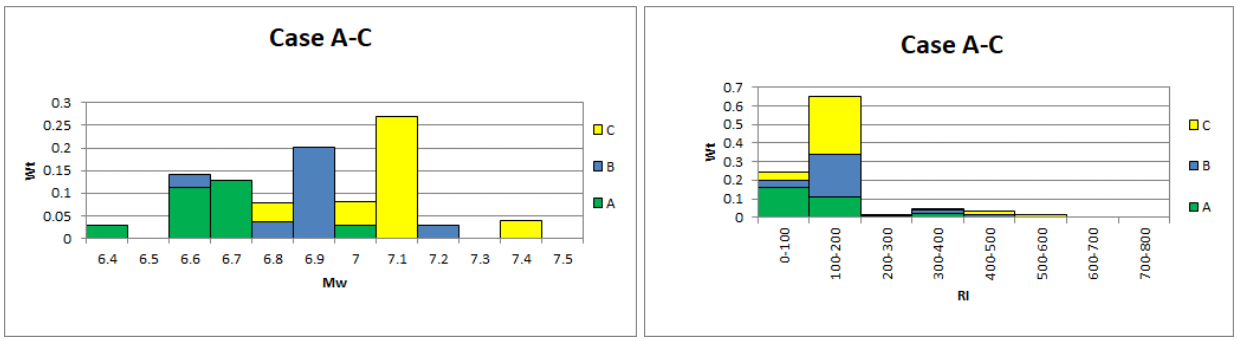


圖 2-3.4：(a) 木屐寮-六甲斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(b) 木屐寮-六甲斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

Fig. 2-3.4 (a)The summed magnitude - weighting relationship and (b) the summed recurrence interval - weighting relationship for the whole logic tree branches of the Muchiliao-Liuchia fault.

2-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算木屐寮-六甲斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，根據歷史地震(圖 2-2.3)，假設木屐寮-六甲斷層最後一次發生時間為西元 1941 年，採用 BPT 模式進行評估。另假設木屐寮-六甲斷層最後一次發生時間未知，則採用 POISSON 模式進行評估。

表 2-4.1 為木屐寮-六甲斷層前階段計畫評估之結果，起算時間為西元 2016 年，前階段計畫僅採用 POISSON 模式進行評估。

表 2-4.2 為木屐寮-六甲斷層 BPT 模式及評估之結果，起算時間為西元 2019 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.4~7.4 之機率為 31.6%、46.4%及 69.7%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 29.2%、43.6%及 66.7%。另以 POISSON 模式計算之結果，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.4~7.4 之機率為 22.2%、33.6%及 54.1%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 20.6%、31.4%及 51.3%。

本計畫機率略高於前階段計畫評估成果，推估是本計畫將垂直滑移速率換算成淨滑移速率時，傾角由前階段 40 度改為各參考文獻自定的角度，如 30 度，因此淨滑移速率略高於前階段計畫。

表 2-4.1：前階段計畫木屐寮-六甲斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

Tab. 2-4.1 Earthquake probabilities for the Muchiliao-Liuchia fault in the previous project (Hu et al., 2016)

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.3 ≦ M ≦7.5	18.2%	27.9%	46.7%
M ≧ 6.5	17.4%	26.9%	45.3%

表 2-4.2：本計畫木屐寮-六甲斷層發生機率評估

Tab. 2-4.2 Earthquake probabilities for the Muchiliao-Liuchia fault in this project

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POISSON	BPT	POISSON	BPT	POISSON
6.4≦ M ≦7.4	31.6%	22.2%	46.4%	33.6%	69.7%	54.1%
M ≧ 6.5	29.2%	20.6%	43.6%	31.4%	66.7%	51.3%

第三章、新化斷層潛勢評估

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

3-1 新化斷層參數更新

3-1-1 前階段計畫成果

新化斷層之破裂模式，綜合張麗旭等（1947）1946 年地表破裂的調查與 Bonilla(1975)的看法，地表破裂確實度較高之長度為 6 公里，若加入西側有雁行排列破隙與撓曲的地區，稱為西部延伸段，則總長度有 12 公里。因 6 公里長度之破裂模式不足以產生大規模的地震，因此不評估此破裂模式。除了 Bonilla(1975)認為新化斷層應延伸至西部延伸段外，此破裂模式規模經評估可達 6.2，與 1946 年新化地震規模相近。前階段計畫也參考陳文山等(2004)，將新化斷層繼續向西延伸至海岸（稱為海岸延伸段）(圖 3-1.1)，長度約 24 公里。因此前階段計畫針對新化斷層共評估兩種破裂模式，一為新化斷層與西部延伸段，另一為新化斷層至海岸延伸段（圖 3-1.2）。

斷層傾角部分，由鑽井資料與震測結果顯示新化斷層為高傾角，呈開花狀構造，因此前階段計畫以走向滑移常見之傾角 70~90 度作為邏輯樹數值。深度部分，雖然黃旭燦等（2004）認為新化斷層於深處沒入滑脫面，深度約 3.5 公里深，然而背景地震發震深度可達 15 公里，因此前階段計畫認為，新化斷層破裂應不只侷限於 3.5 公里深的滑脫面上，而應考慮至 15 公里深，與當地背景地震發震深度一致。於專家諮詢會議中，根據委員建議，前階段計畫將深度調整為 10~15 公里。

新化斷層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。

新化斷層之長期滑移速率，雖有鑽井資料，然而，僅能得知斷層兩側抬升速率無明顯差異，且無法評估走向滑移斷層之水平向滑移速率（陳文山等，2011），因此前階段計畫參考塊體模型分析結果，新化斷層長期平均滑移速率為 1.15 mm/yr，滑移虧損率為 0.78 mm/yr，將邏輯樹滑移速率數值設定為 1.15 mm/yr 及 0.78 mm/yr。

新化斷層前階段計畫邏輯樹詳如圖 3-1.3 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。

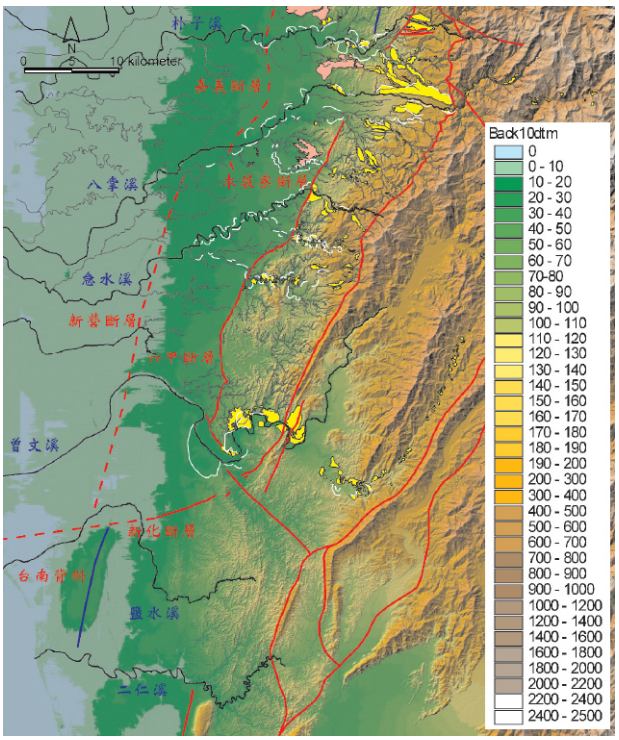


圖 3-1.1：嘉南地區活動構造分布(陳文山等，2004)。

Fig. 3-1.1 The distribution of active structures in the Chiayi-Tainan region in southwestern Taiwan (Chen et al., 2004).

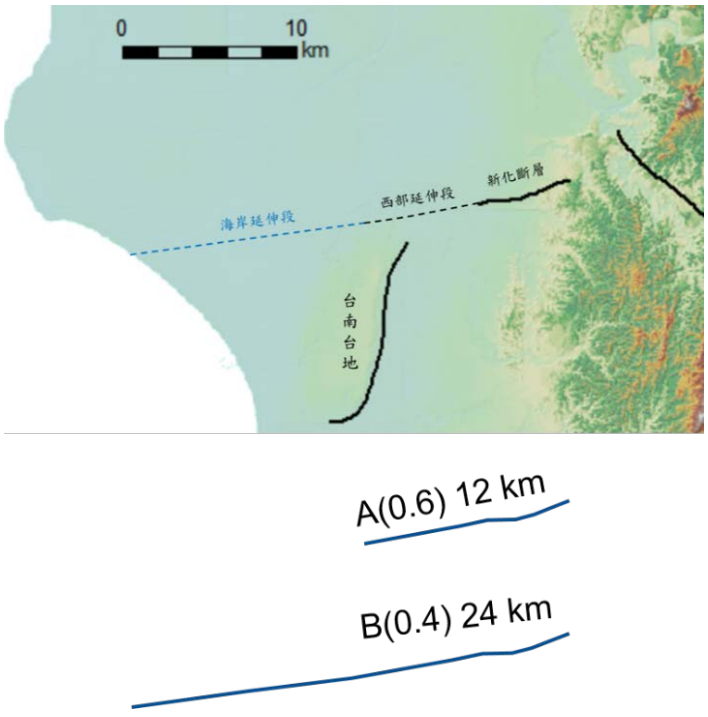


圖 3-1.2：新化斷層之破裂模式(胡植慶等，2016)。

Fig. 3-1.2 The rupture cases and weights of the Hsinhua fault (Hu et al., 2016).

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

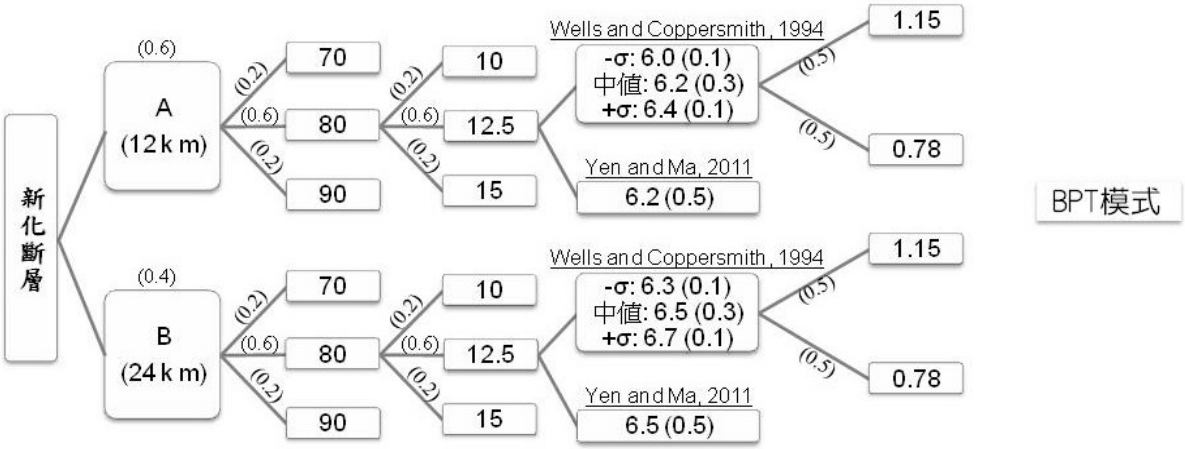


圖 3-1.3：新化斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)。

Fig. 3-1.3 The logic tree of the Hsinhua fault (Hu et al., 2016).

3-1-2 斷層幾何

前期計畫新化斷層之幾何參考資料詳如表 3-1.1 所示。

林啟文等（2007）淺層震測資料結果顯示，新化斷層淺部為寬廣的剪切帶，剪切帶內岩層被高角度不連續面截切，為開花狀構造，如圖 3-1.4 所示，本計畫據此推估新化斷層為高角度走向滑移斷層。根據 1900~2015 年地震深度分布剖面(圖 3-1.5)，地震分布集中於 15 公里的深度附近。

由於近期未有新的調查事證，在幾何面上並未進行修改，新化斷層傾角，由震測結果顯示新化斷層為高傾角，呈開花狀構造，因此以走向滑移常見之傾角 70~90 度作為邏輯樹數值，深度則參考背景地震發震深度為 10~15 公里。

表 3-1.1：新化斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)

Tab. 3-1.1 Parameters and references (methods) for the fault geometry of the Hsinhua fault (Hu et al., 2016)

文獻	方法	傾角	深度
陳文山等，2011	排鑽	高角度	--
石瑞銓等，1998，2002；黃勝群等，2004	淺層震測	開花狀構造	--
黃旭燦等，2004	平衡剖面	--	滑脫面約 3.5 公里

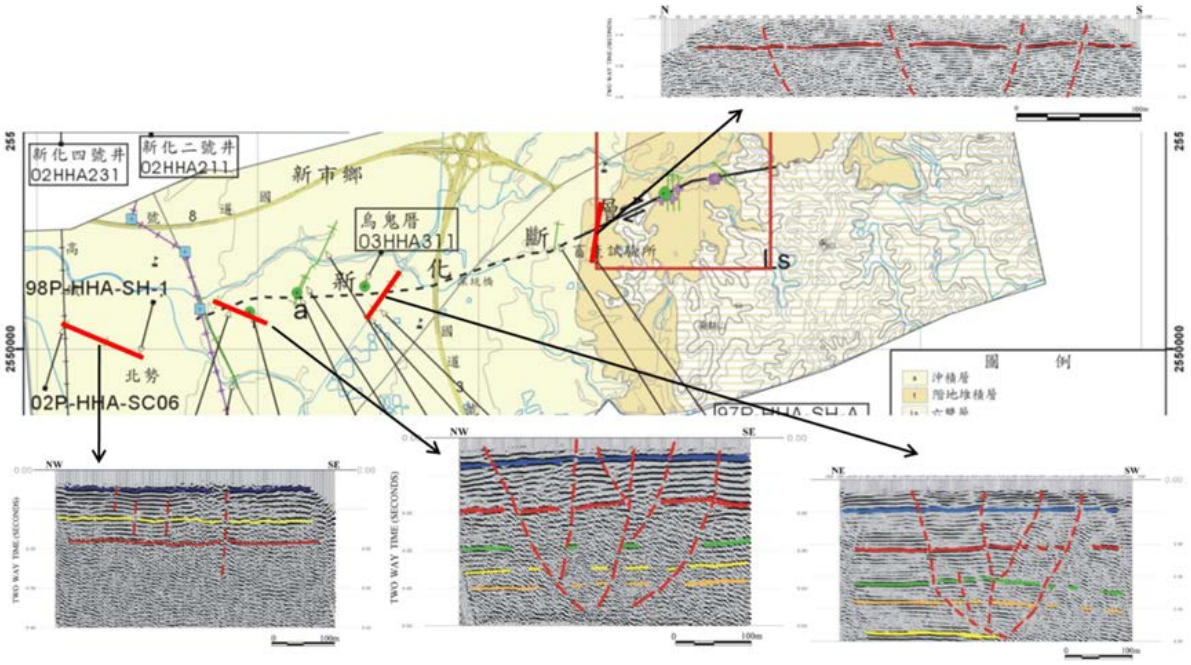


圖 3-1.4：新化斷層淺層震測資料（林啟文等，2007）。

Fig. 3-1.4 The shallow seismic profiles across the Hsinhua fault (Lin et al., 2007).

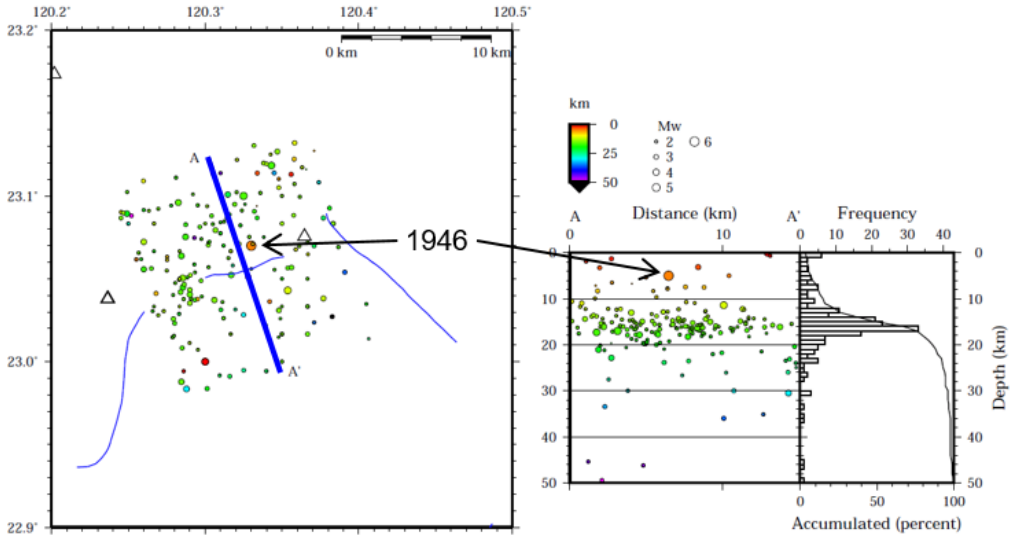


圖 3-1.5：新化斷層地震深度分布統計。左圖為新化斷層西元 1900-2015 地震分布圖，右圖為地震深度-數量統計圖。

Fig. 3-1.5 The seismic depth distribution from the seismicity statistics (the period of 1900~2015) at the Hsinhua fault region.

3-1-3 孕震深度分析

本計畫蒐集了 Wu et al. (2017)之 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度空間分布資料，針對新化斷層進行孕震深度分析，圖 3-1.6 為新化斷層 D90 孕震深度分布圖。結果顯示新化斷層附近 D90 之孕震深度約在 20 公里，部分區域可達 20 公里以上，比本計畫設定深。根據新化斷層上盤西元 1900~2015 年地震深度分布剖面，在深度 15 公里左右地震次數是最多的(圖 3-1.5)，然而在深度 20 公里以下仍有地震，推測是由深部構造產生之地震。

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

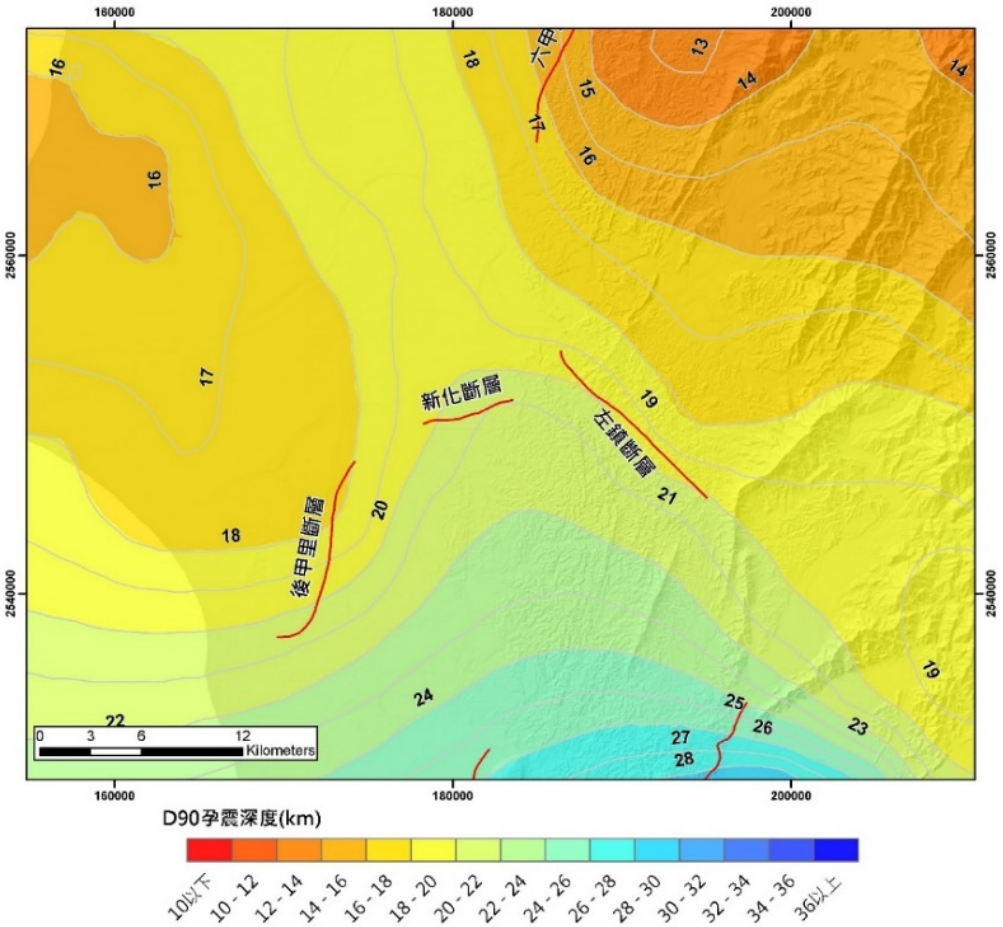


圖 3-1.6：新化斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：Wu et al., 2017)。

Fig. 3-1.6 Distribution map of the D90 seismogenic depth at the Hsinhua fault region (Data from: Wu et al., 2017).

3-2 邏輯樹更新

本計畫針對新化斷層邏輯樹更新，詳述如下：

新化斷層之破裂模式與前階段相同，共評估兩種破裂模式，A 為新化斷層與西部延伸段，長度 12 公里，B 為新化斷層至海岸延伸段，長度 24 公里，本計畫經與專家及專家會議討論，認為海岸延伸段部分缺少足夠證據可佐證其延伸，所以權重調整為 A(0.7)，B(0.3)。

新化斷層幾何，根據 3-1-2 節之說明，傾角及破裂深度無修改，傾角權重採用常態分佈為 70 度(0.2)、80 度(0.6)、90 度(0.2)，破裂深度權重採用常態分佈為 10 公里(0.2)、12.5 公里(0.6)、15 公里(0.2)。

新化斷層之滑移速率無發現新地質事證。本計畫另行參考景國恩等（2019）「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（3/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOCKS 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較。三種模型反演得到之結果，權重加總後新化斷層平均滑移虧損速率下界為 5.1 mm/yr，上界為 14.7 mm/yr，平均為 8.9 mm/yr。表 3-2.1 為新化斷層滑移虧損速率計算之結果，本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 5.1 mm/yr (0.3)、中值 8.9 mm/yr (0.4)、上界 14.7 mm/yr (0.3)。

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

新化斷層最近一次發生時間是西元 1946 年新化地震，當時造成新化斷層沿線約 6 公里長的地表破裂（張麗旭等，1947），因此採用 BPT 模式進行評估。

新化斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 3-2.1 所示。

表 3-2.1：新化斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019)

Tab. 3-2.1 The slip deficit rate of the Hsinhua fault by model inversion (Ching et al., 2019)

模型		BLOCKS	DEFNODE	Baseline Inversion	加權平均滑移虧損速率 (mm/yr)
斷層名稱		總變動量 (mm/yr)	平均值滑移虧損率 (mm/yr)	斷層滑移速率平均值 (mm/yr)	
新化斷層	上界	21.8	21.1	1.2	14.7
	平均	18.6 ± 1.6	9.1 ± 6.0	0.4 ± 0.4	8.9
	下界	15.4	0	0	5.1
權重		(0.30)	(0.35)	(0.35)	

表 3-2.2：新化斷層之各破裂事件特徵地震規模計算

Tab. 3-2.2 The estimated magnitude for each rupture case of the Hsinhua fault

破裂事件	長度 (km)	斷層傾角 (度)	破裂深度 (km)	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	12	80	12.5	12.7	152	6.0	6.2	6.4	6.2
B	24	80	12.5	12.7	305	6.3	6.5	6.7	6.5

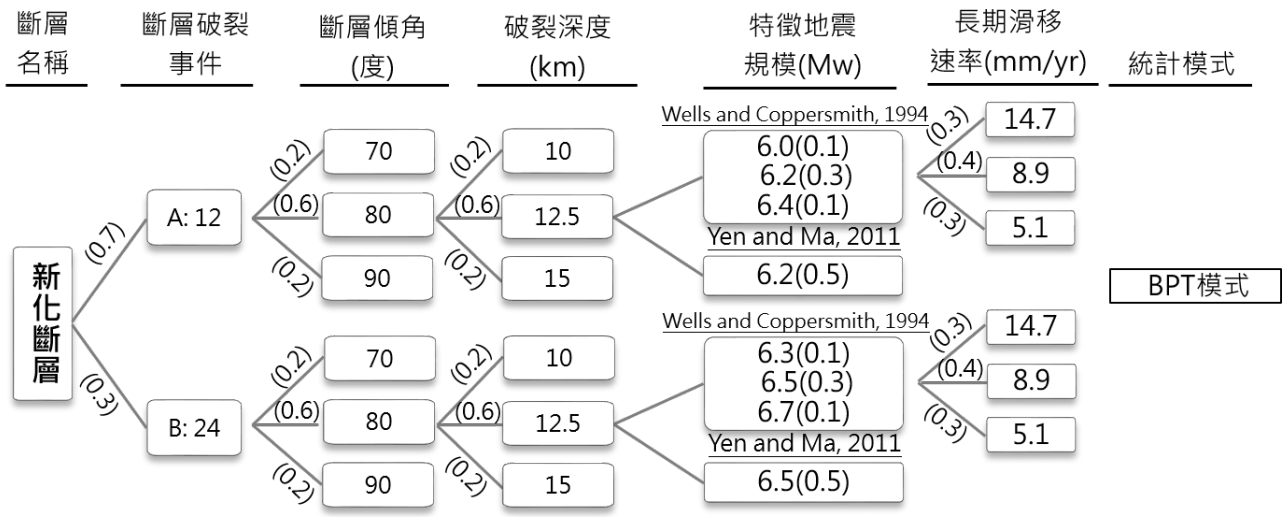


圖 3-2.1：新化斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件權重、長期滑移速率)。

Fig. 3-2.1 The renewed logic tree of the Hsinhua fault.

3-3 規模與年發生率之關係

新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 3-3.1 為 2 個破裂事件以傾角及深度中值計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 3-2.1 之新化斷層邏輯樹可得到 216 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 3-3.2 為 2 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.2 之權重最高；破裂模式 B 以規模 6.6 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 3-3.3 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 3-3.4（a）之新化斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 3-3.4（b）之新化斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

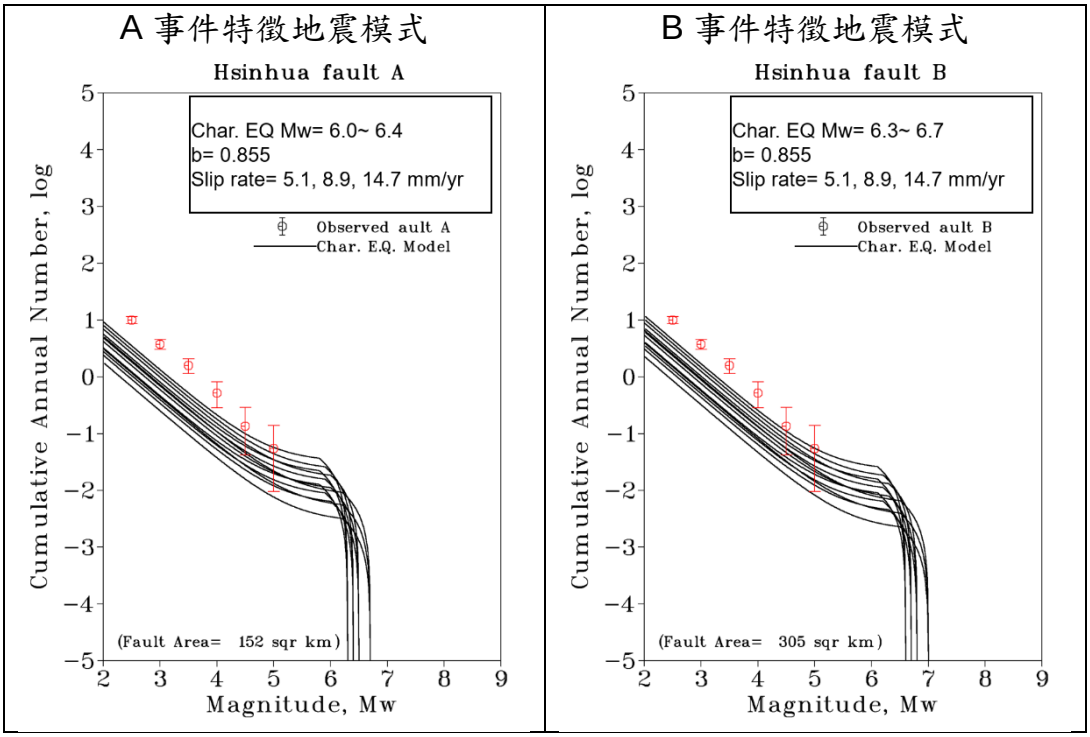


圖 3-3.1：新化斷層各破裂事件特徵地震模式。

Fig. 3-3.1 The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for each rupture case of the Hsinhua fault.

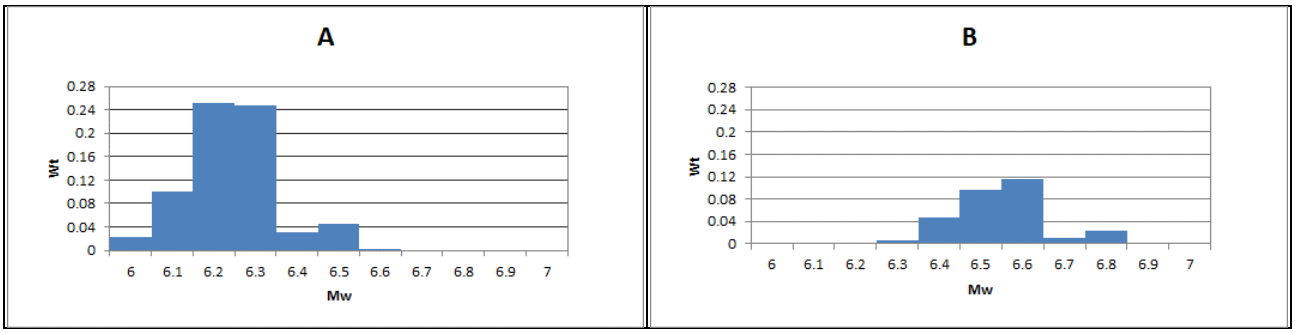


圖 3-3.2：新化斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和

Fig. 3-3.2 The relationships between magnitude and weighting for two rupture cases of the Hsinhua fault.

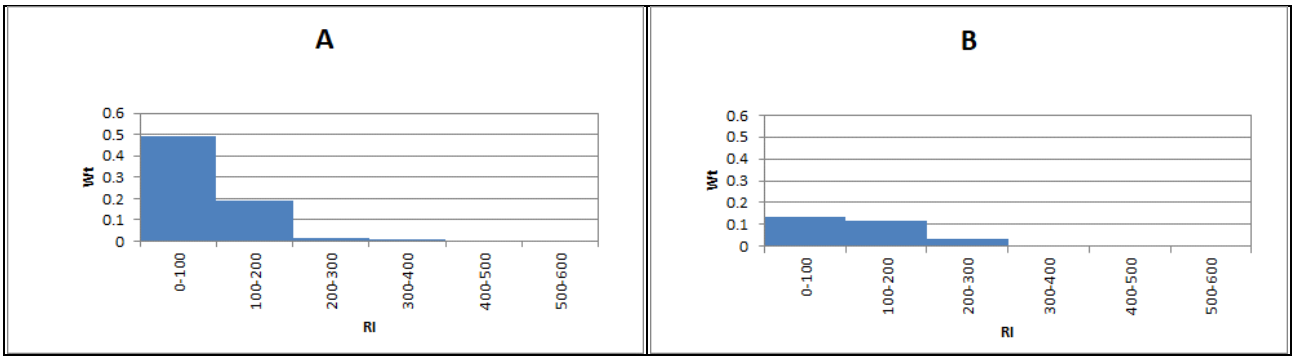


圖 3-3.3：新化斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 3-3.3 The relationships between recurrence interval and weighting for two rupture cases of the Hsinhua fault.

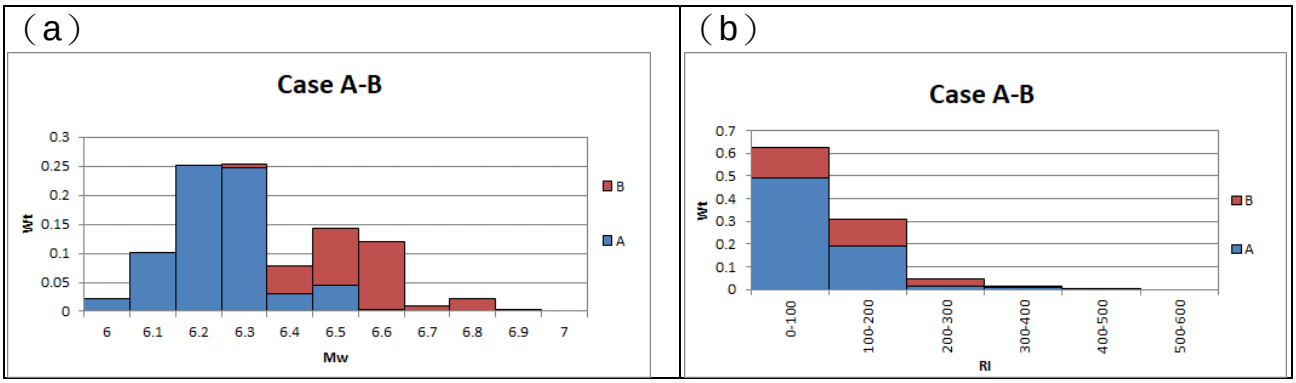


圖 3-3.4：（a）新化斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）新化斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

Fig. 3-3.4 (a)The summed magnitude - weighting relationship and (b) the summed recurrence interval - weighting relationship for the whole logic tree branches of the Hsinhua fault.

3-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算新化斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，新化斷層最後一次發生時間為西元 1946 年，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

表 3-4.1 為新化斷層前階段計畫評估之結果，起算時間為西元 2016 年，前階段計畫採用 BPT 模式進行評估。

表 3-4.2 為新化斷層 BPT 模式評估之結果，以西元 2019 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.0~6.9 之機率為 49.5%、65.5%及 84.4%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 9.6%、14.0%及 20.7%。因新化斷層受限於斷層長度及幾何，發生規模 6.5 以上的地震機率較低，然而若是考慮規模 6.5 以下的特徵型地震，發震機率就會提高許多，本計畫認為不能輕忽新化斷層規模 6.5 以下的特徵地震對台南地區致災的可能性。

本計畫機率明顯高於前階段計畫評估成果，和前階段相比，除了 DEFNODE，還新增 BLOCKS 和 Baseline Inversion 反演模型，其中 BLOCKS 及 DEFNODE 反演的速率明顯較高，拉抬新化斷層邏輯樹中的滑移速率。

表 3-4.1：前階段計畫新化斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

Tab. 3-4.1 Earthquake probabilities for the Hsinhua fault in the previous project (Hu et al., 2016)

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.0 ≦ M ≦ 6.9	0.1%	0.2%	1.0%
M ≧ 6.5	0.1%	0.2%	1.0%

表 3-4.2：本計畫新化斷層發生機率評估

Tab. 3-4.2 Earthquake probabilities for the Hsinhua fault in this project

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POISSON	BPT	POISSON	BPT	POISSON
6.0≦ M ≦6.9	49.5%	32.6%	65.5%	47.0%	84.4%	68.9%
M ≧ 6.5	9.6%	6.8%	14.0%	10.3%	20.7%	16.4%

第四章、後甲里斷層系統潛勢評估

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

4-1 後甲里斷層系統參數更新

4-1-1 前階段計畫成果

由於後甲里斷層本身不易造成大規模之地震，且是臺南斷層之背衝斷層，前階段計畫採用孕震構造進行評估，斷層長度則參考臺南斷層之長度，由於臺南斷層並未出露於地表，因此採用圖 4-1.1（鄭錦桐，2002）之臺南盲斷層版本。經由諮詢專家之意見，李錫堤教授認為臺南盲斷層會被左鎮斷層延伸段截切，長度 30 公里，陳文山教授則認為臺南盲斷層會被新化斷層延伸段截切，長度 12 公里，圖 4-1.1 顯示臺南盲斷層被兩條走向滑移斷層截切的情形。前階段計畫考慮兩種破裂模式，A 為長度 12 公里，B 為長度 30 公里。

孕震構造形貌，從地質剖面得到深度 6 公里，而地震深度分布可達 14 公里，前階段計畫建議邏輯樹分支為 6 公里，10 公里，14 公里，傾角則採用 0~4 公里 30 度，4 公里以下 15 度。

滑移速率是根據全新世海水面變化曲線及台南台地上之碳 14 定年，推估台南台地相對於大灣低地之抬升速率約為 5 mm/yr，前階段計畫設定滑移速率為 5.0±2.5 mm/yr。

孕震構造之特徵地震規模，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。

後甲里斷層系統前階段計畫邏輯樹詳如圖 4-1.2 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。

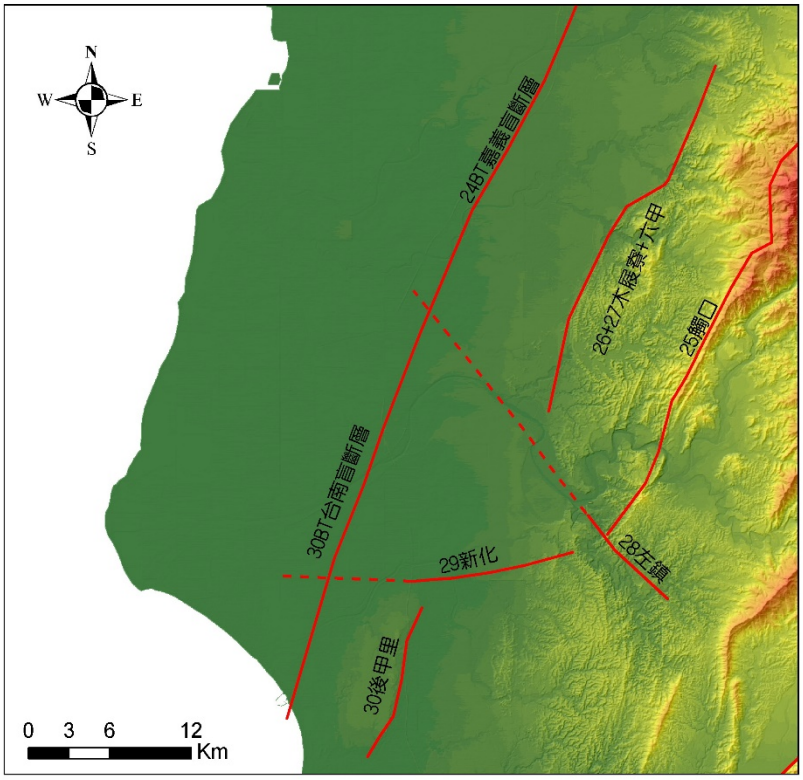


圖 4-1.1：後甲里斷層系統破裂模式（改自鄭錦桐 2002）。

Fig. 4-1.1 A rupture model of the Houchiali fault system (modified from Cheng, 2002).

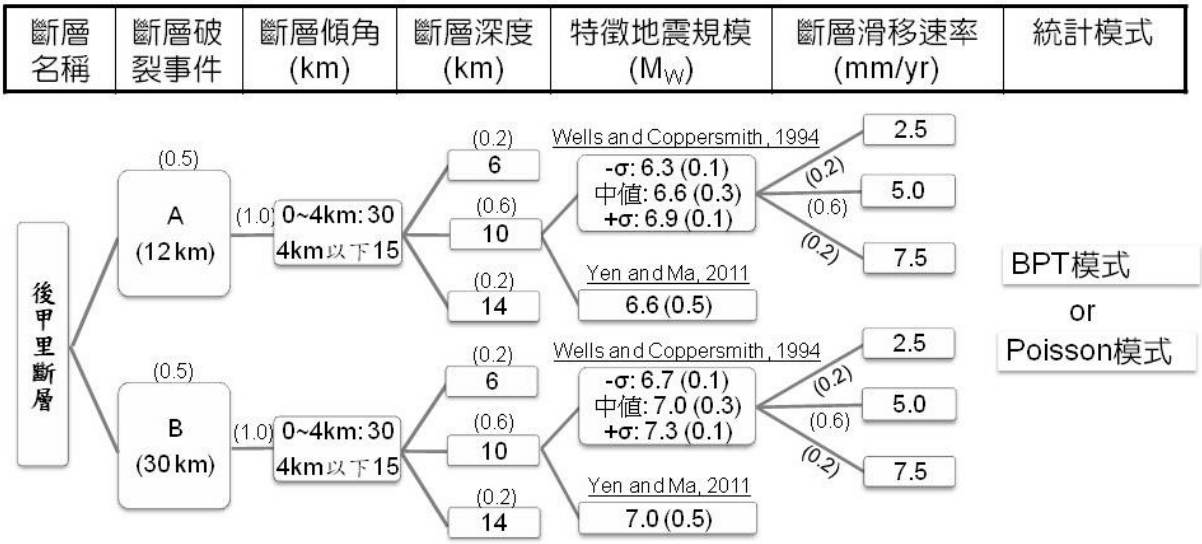


圖 4-1.2：後甲里斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)。

Fig. 4-1.2 The logic tree of the Houchiali fault (Hu et al., 2016).

4-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

中油在台南台地的震測資料(Pan，1968)顯示台南背斜構造的存在（圖 4-1.3）。Lacombe et al. (1999)參考鑽井資料及震測資料描繪台南地區之地質剖面，其中後甲里斷層為西傾之背衝斷層，如圖 4-1.4，圖中顯示上部底脫面深度 4 公里，往東之底脫面深度 6 公里。黃旭燦等(Huang et al., 2004)平衡剖面則顯示臺南台地滑脫面深度 5 公里（圖 4-1.5），該剖面則無描繪後甲里斷層。陳文山等（2004）認為臺南台地可能是受到盲斷層作用而形成的隆起台地，圖 4-1.6 即為其推測之地下構造剖面，之後陳文山等（2011、2012）在台灣西南部平衡剖面以黑色虛線呈現後甲里斷層為高角度斷層（圖 4-1.7）。Le Béon et al. (2019)震測剖面及地質剖面（圖 4-1.8，圖 4-1.10）顯示，後甲里斷層為臺南背斜西側的背衝斷層，且後甲里斷層面延伸至地表。圖 4-1.10 中後甲里斷層與滑脫面角度為 47 度。

本計畫建議斷層潛勢評估應考慮後甲里斷層系統，如圖 4-1.10 所示，其中台南斷層幾何形貌考慮 Case 1 斷坡，Case 2 斷坡+滑脫面二公里，Case 3 斷坡+滑脫面五公里，而因為台南斷層並未出露地表，所以假設深度均從一公里開始向下延伸。後甲里斷層幾何上則參考 Le Béon et al. (2019)及陳文山等(2011)的剖面，Case 4 為深度 0-4 km，傾角 40°，Case 5 為深度 0-5 km，傾角 75°。

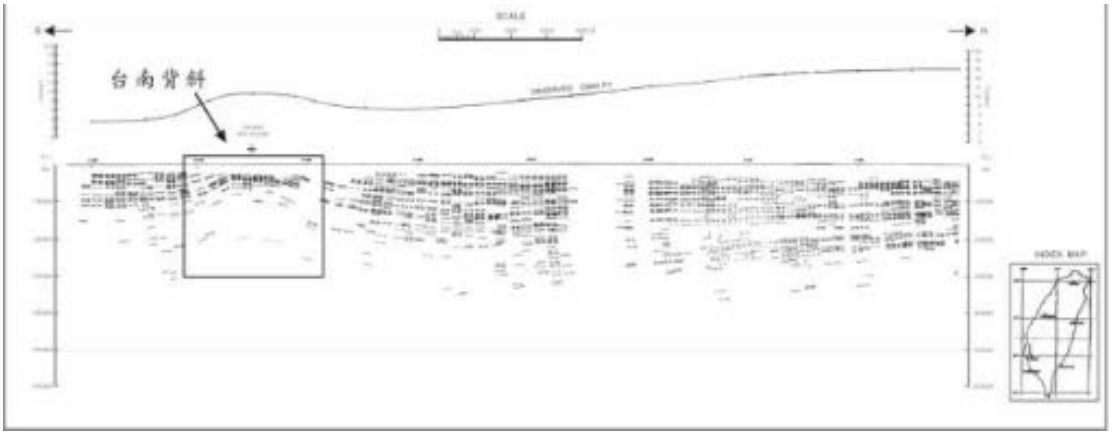


圖 4-1.3：跨過台南背斜震測剖面(Pan, 1968)。

Fig. 4-1.3 Seismic section across Tainan anticline (Pan, 1968).

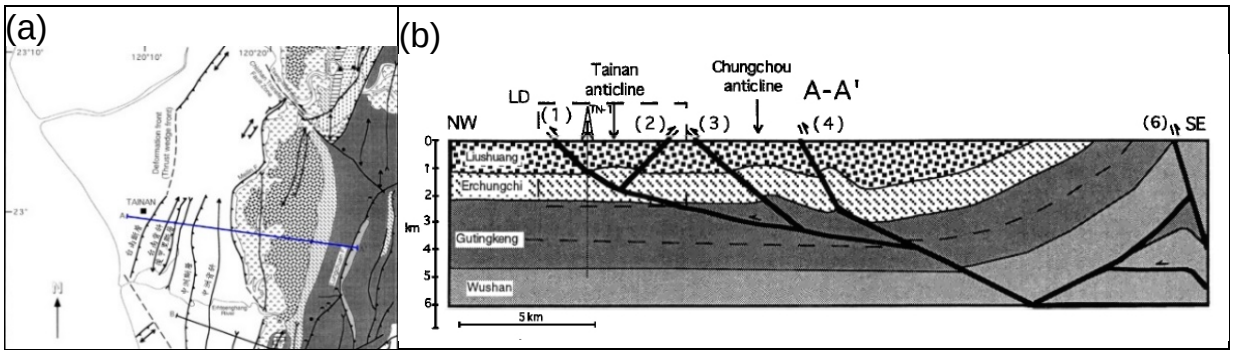


圖 4-1.4：台南台地構造地質分布圖及地質剖面圖。（a）台南台地構造地質分布圖，圖中藍色線段為地質剖面 A-A'位置（b）AA'地質剖面 (Lacombe et al., 1999)。

Fig. 4-1.4 (a) Structural map of southwestern Taiwan. (b) The A-A' geological cross section (Lacombe et al., 1999).

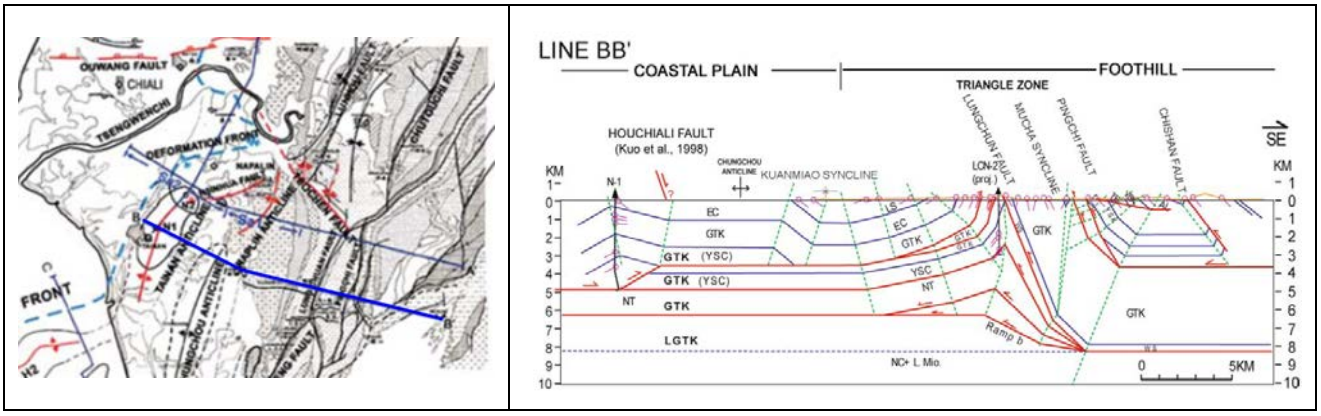


圖 4-1.5：台灣西南部構造平衡剖面圖。左圖為構造及 B-B'剖面(藍線)平面分布圖，右圖為 B-B'構造平衡剖面(Huang et al., 2004)。

Fig. 4-1.5 The left part is a structural map located in southwestern Taiwan; the right part is the B-B' balanced cross section (Huang et al., 2004).

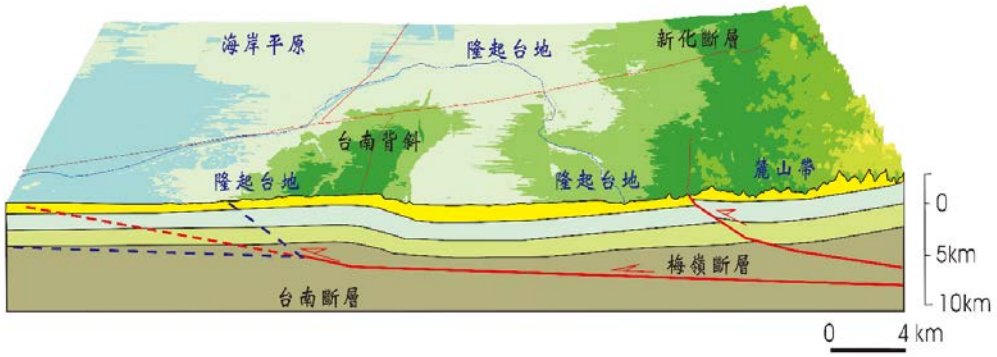


圖 4-1.6：臺南市及以東地區東西走向地下構造剖面圖(陳文山等，2004)。

Fig. 4-1.6 The W-E direction structural cross section at Tainan city and its eastern region (Chen et al., 2004).

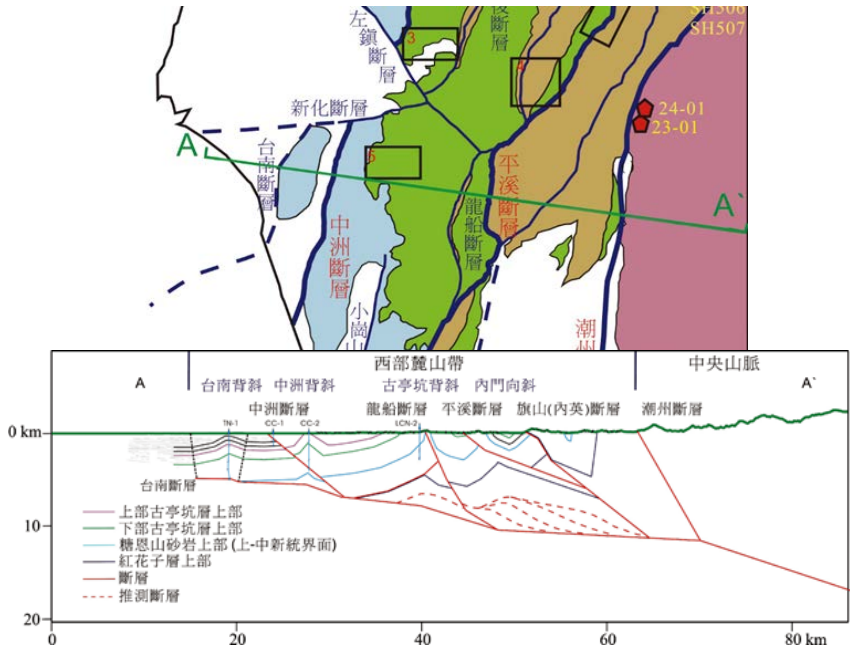


圖 4-1.7：西南部地區地質剖面圖（陳文山等，2011）。

Fig. 4-1.7 The geological cross section of southwestern Taiwan (Chen et al., 2011).

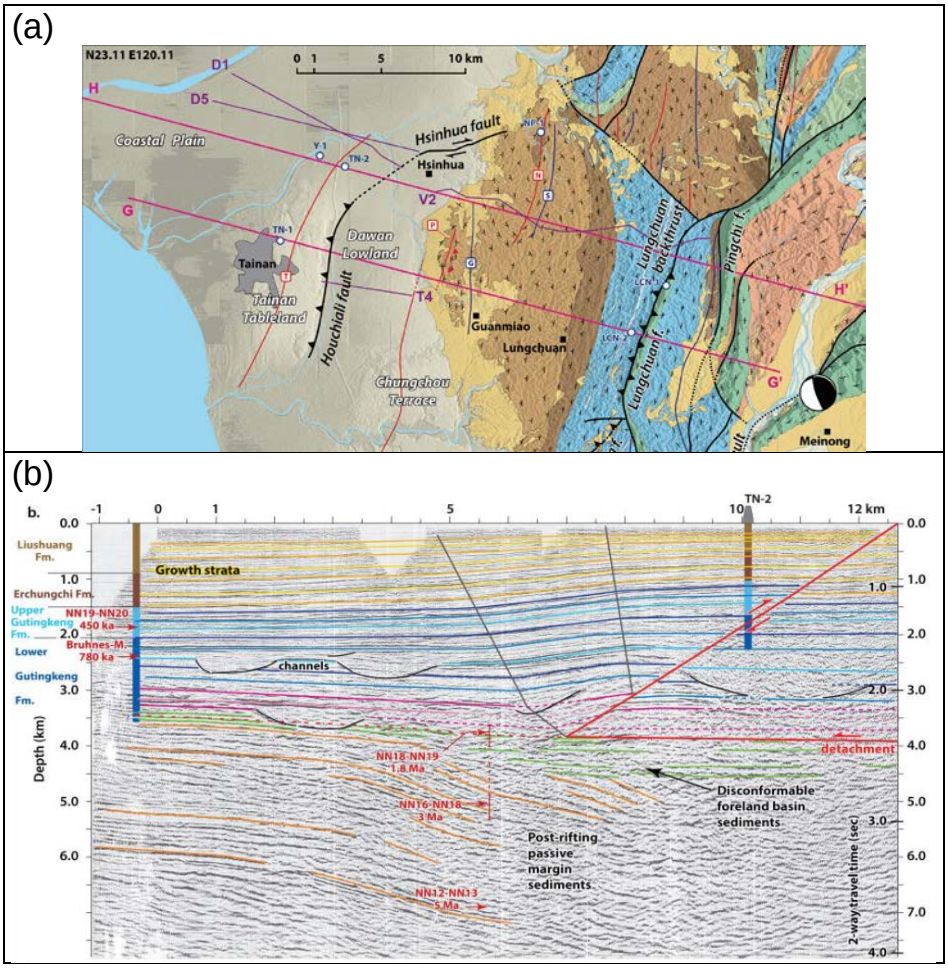


圖 4-1.8：台南地區區域地質圖及震測剖面圖。(a)台南地區區域地質圖，(b) 反射震測 D5 剖面(Le Béon et al. 2019)。

Fig. 4-1.8 Regional geologic map of Tainan area and seismic reflection profile D5 (Le Béon et al. 2019).

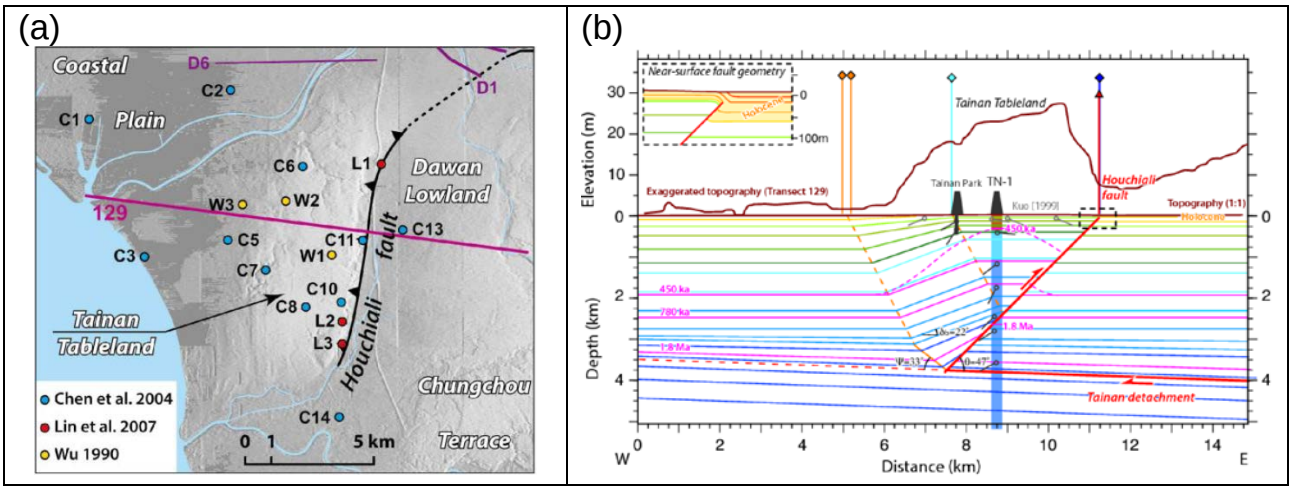


圖 4-1.9：跨台南台地地質剖面圖。(a)台南地區鑽井位置及剖面圖位置，(b)跨後甲里斷層 129 地質剖面(Le Béon et al. 2019)。

Fig. 4-1.9 Geological schematic model across the Tainan tableland, southwestern Taiwan (Le Béon et al. 2019).

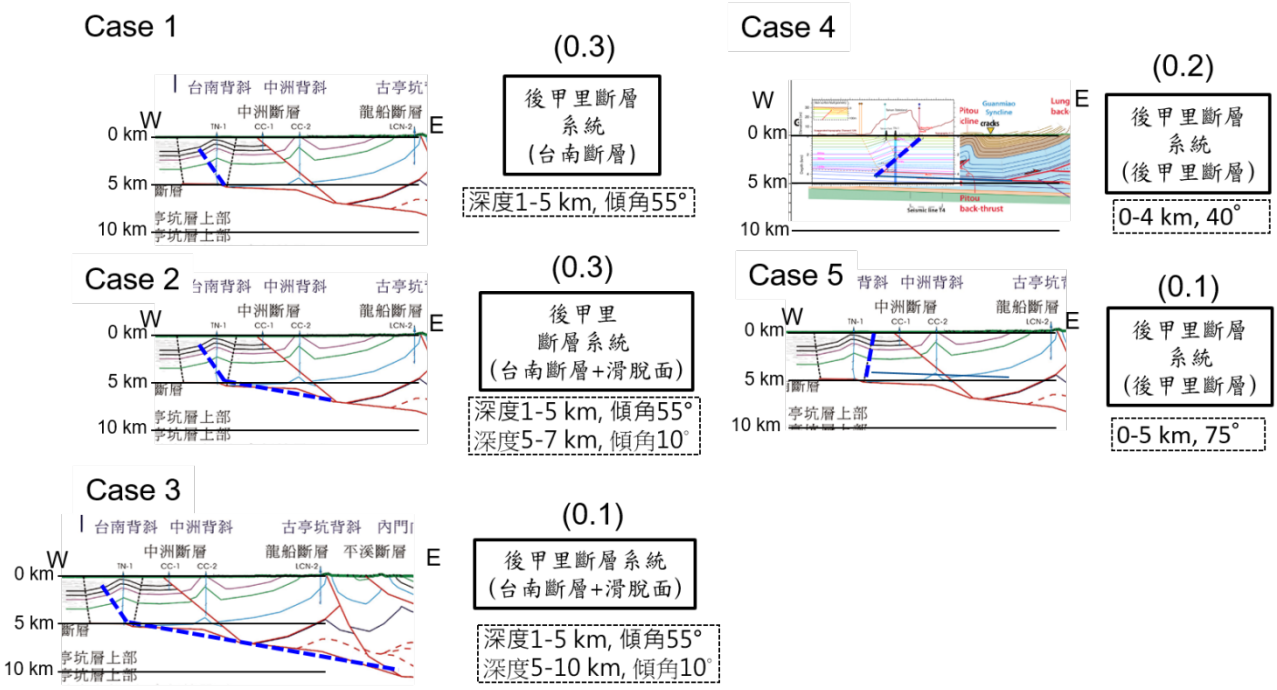


圖 4-1.10：台南-後甲里斷層系統幾何面破裂模式。

Fig. 4-1.10 This project's fault geometry setting of the Tainan-Houchiali fault system.

4-1-3 孕震深度分析

後甲里斷層系統孕震深度空間分布資料，可參考圖 3-1.6 之 D90 孕震深度分布圖。顯示後甲里斷層系統 D90 之孕震深度約在 20 公里，比本計畫之平衡剖面深。

根據後甲里斷層系統上盤西元 1900~2015 年地震深度分布剖面，在深度 15 公里左右地震次數是最多的(圖 4-1.11)，然而，從陳文山(2016)構造剖面及地震深度分布(圖 4-1.12)，可知多數地震是集中在台南台地正下方，推測台南台地下方的叢集地震應是由深部構造所造成的。因此本計畫認為單從地震深度分布無法協助判釋後甲里斷層之孕震深度。

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

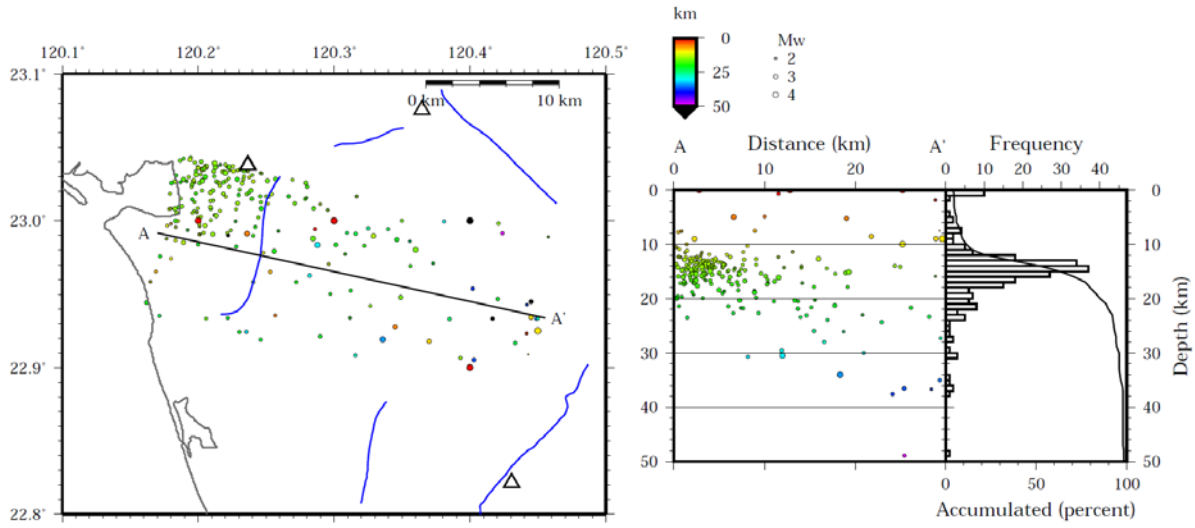


圖 4-1.11：後甲里斷層系統地震深度分布統計。左圖為後甲里斷層系統西元 1900-2015 地震分布圖，右圖為地震深度-數量統計圖。

Fig. 4-1.11 The seismic depth distribution from the seismicity statistics (the period of 1900~2015) at the Houchiali fault region.

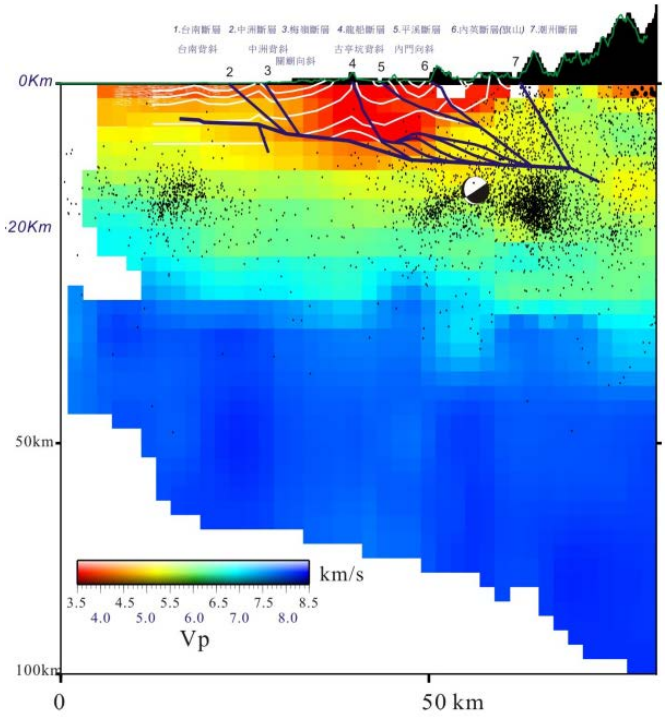


圖 4-1.12：西南部地區構造地質剖面、地震深度及 Vp 速度構造剖面圖（陳文山，2016）。

Fig. 4-1.12 The structural cross section, seismic depth, and Vp velocity structure profile of southwestern Taiwan (Chen, 2016).

4-2 邏輯樹更新

後甲里斷層系統分段破裂模式，本計畫考慮了地調所版本的長度，另外，也考慮了 Le Béon et al. (2017, 2019)推估後甲里斷層可能往北延伸至新化斷層處，如圖 4-2.1 所示，A 為地調所版本，長度 12 公里，B 為 Le Béon 版本，長度 15 公里，本計畫給予破裂長度短的事件較高的權重，權重分別為 A(0.6)，B(0.4)。

後甲里斷層系統之傾角及破裂深度，根據 4-1-2 節之幾何更新結果，台南斷層幾何形貌考慮 Case 1 斷坡，Case 2 斷坡+滑脫面二公里，Case 3 斷坡+滑脫面五公里，而因為台南斷層並未出露地表，所以假設深度均從一公里開始向下延伸。後甲里斷層幾何上則參考 Le Béon et al. (2019)及陳文山等(2011)的剖面，Case 4 為深度 0-4 km，傾角 40°，Case 5 為深度 0-5 km，傾角 75°，詳圖 4-1.10 所示。權重上台南斷層破裂的可能性高於後甲里斷層，然而 Case 3 的幾何往東已延伸至龍船斷層下方，可能性較低，所以給予最低的權重。而對於後甲里斷層而言，Le Béon et al. (2019)根據鑽井及震測剖面推估之後甲里斷層傾角可信度較高，因此 Case 4 權重高於 Case 5，權重分配詳圖 4-1.10 所示。

後甲里斷層之滑移速率，圖 4-2.2 為 Le Béon et al. (2019)彙整台南台地及鄰近鑽井資料得到之碳 14 定年等時線，後甲里斷層上下盤三個時期(7.3 ka BP, 8.0 ka BP, 9.2 ka BP)等時線均有高差，本計畫假設此高差均為斷層抬升貢獻，得到抬升速率介於 4.4~5.9 mm/yr。前階段計畫設定邏輯樹權重分配為 2.5 mm/yr (0.2)，5.0 mm/yr (0.6)，7.5 mm/yr (0.2)，而根據 Le Béon et al. (2019)鑽井資料計算得到的數值是位於前階段計畫評估範圍內，因此本計畫邏輯樹滑移速率維持與前階段計畫一致。

參考景國恩等（2019）「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（3/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOCKS 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較，表 4-2.1 為三種模型反演得到之結果。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 4-2.2 所示為後甲里斷層系統各破裂事件地震矩規模。

後甲里斷層系統可能的最近一次發生時間，從槽溝中發現之地裂及古墳棺槨傾斜的古地震事件，可能與西元 1862 年造成千人死亡的台南地震有關(李錫堤等，2001)。

後甲里斷層系統各節點權重的分配詳如圖 4-2.3 所示。

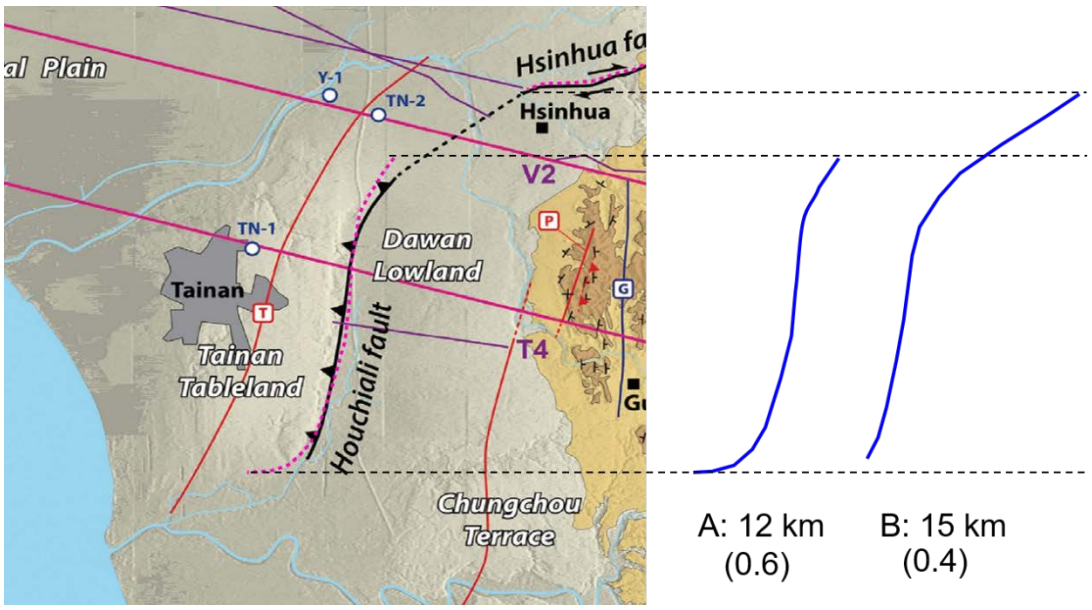


圖 4-2.1：本計畫後甲里斷層系統之破裂模式。

Fig. 4-2.1 This project's rupture model of the Houchiali fault system.

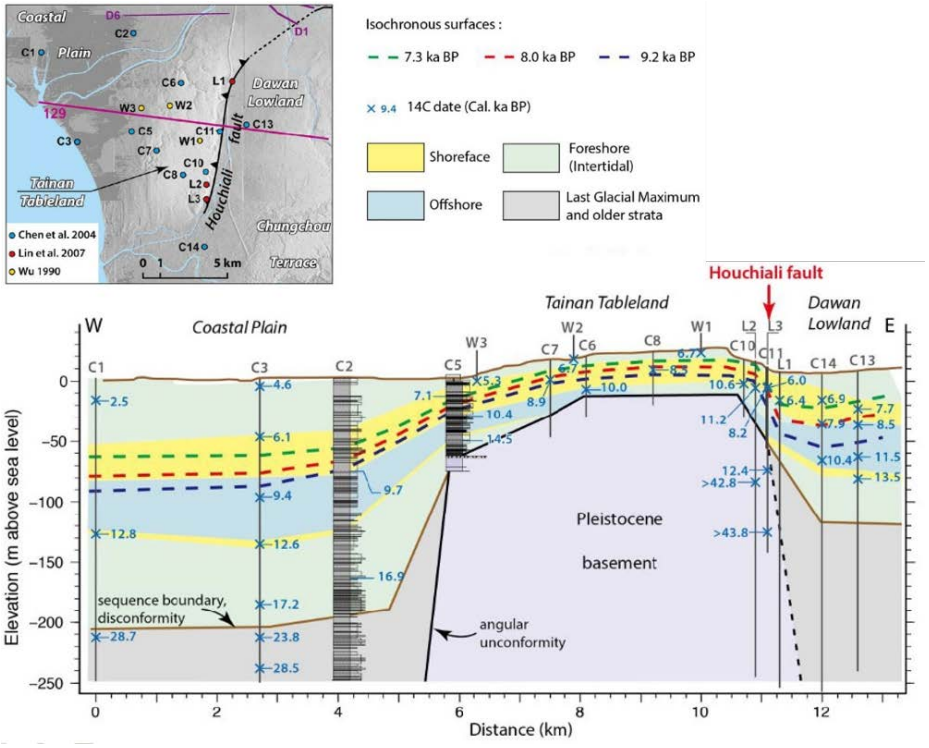


圖 4-2.2：台南台地及鄰近鑽井資料得到之碳 14 定年等時線及沉積古環境(Le Béon et al. 2019)。

Fig. 4-2.2 ^{14}C ages and sedimentary paleo-environments based on boreholes drilled on and around Tainan Tableland(Le Béon et al. 2019).

表 4-2.1：後甲里斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019)

Tab. 4-2.1 The slip deficit rate of the Houchiali fault system by model inversion (Ching et al., 2019)

模型		BLOCKS	DEFNODE	Baseline Inversion	加權平均滑移虧損速率 (mm/yr)
斷層名稱		總變動量 (mm/yr)	平均值滑移虧損率 (mm/yr)	斷層滑移速率平均值 (mm/yr)	
後甲里斷層	上界	7.4	2.2	3.3	4.3
	平均	7.2 ± 0.1	0.6 ± 0.8	1.9 ± 0.7	2.4
	下界	7	0	0.5	2.5
權重		(0.20)	(0.40)	(0.40)	

表 4-2.2：後甲里斷層系統各破裂事件規模及權重

Tab. 4-2.2 The estimated magnitude for each rupture case of the Houchiali fault system

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	12	深度 1-5 km, 傾角 55°	4.9	59	5.6	5.9	6.2	5.8
		深度 1-5 km, 傾角 55° 深度 5-7 km, 傾角 10°	16.4	197	6.1	6.4	6.7	6.3
		深度 1-5 km, 傾角 55° 深度 5-10 km, 傾角 10°	33.7	404	6.4	6.7	7.0	6.6
		深度 0-4 km, 傾角 45°	5.7	68	5.7	6.0	6.3	5.8
		深度 0-5 km, 傾角 75°	5.2	62	5.6	5.9	6.2	5.8
B	15	深度 1-5 km, 傾角 55°	4.9	74	5.7	6.0	6.3	5.9
		深度 1-5 km, 傾角 55° 深度 5-7 km, 傾角 10°	16.4	246	6.2	6.5	6.8	6.4
		深度 1-5 km, 傾角 55° 深度 5-10 km, 傾角 10°	33.7	506	6.5	6.8	7.1	6.7
		深度 0-4 km, 傾角 45°	5.7	86	5.8	6.1	6.4	5.9
		深度 0-5 km, 傾角 75°	5.2	78	5.7	6.0	6.3	5.9

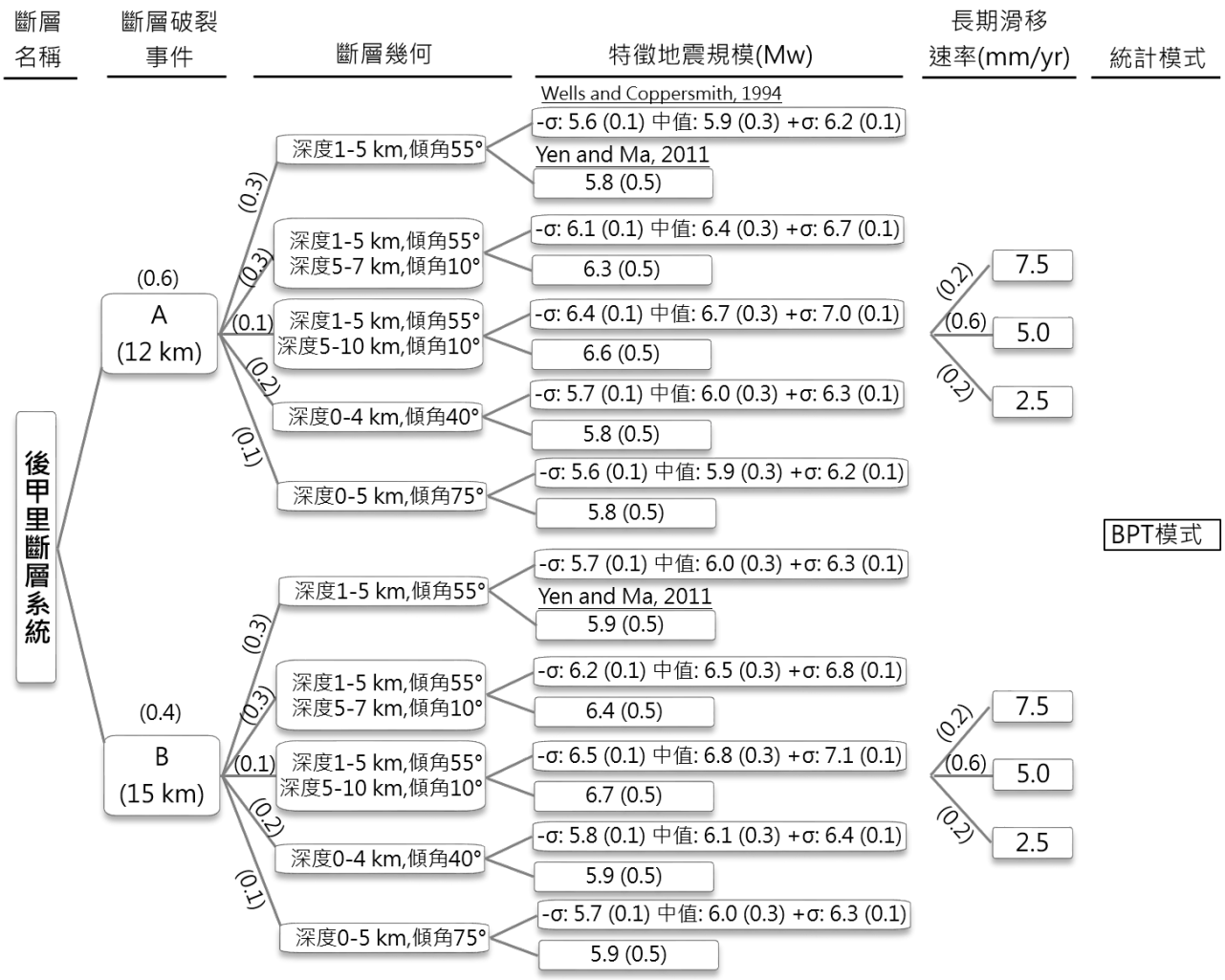


圖 4-2.3：後甲里斷層系統更新邏輯樹(更新內容：破裂模式、斷層幾何、地震規模)。

Fig. 4-2.3 The renewed logic tree of the Houchiali fault system.

4-3 規模與年發生率之關係

後甲里斷層系統各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 4-3.1 為破裂事件 A 之 5 種幾何特徵地震模式分布情形，圖 4-3.2 為破裂事件 B 之 5 種幾何特徵地震模式分布情形。

圖 4-2.3 之後甲里斷層系統邏輯樹可得到 120 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 4-3.3 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 6.3 之權重最高；破裂模式 B 以規模 6.4 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 4-3.4 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 4-3.5（a）之後甲里斷層系統規模-權重分布圖，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 4-3.5（b）之後甲里斷層系統地震復發間隔時間-權重分布圖。

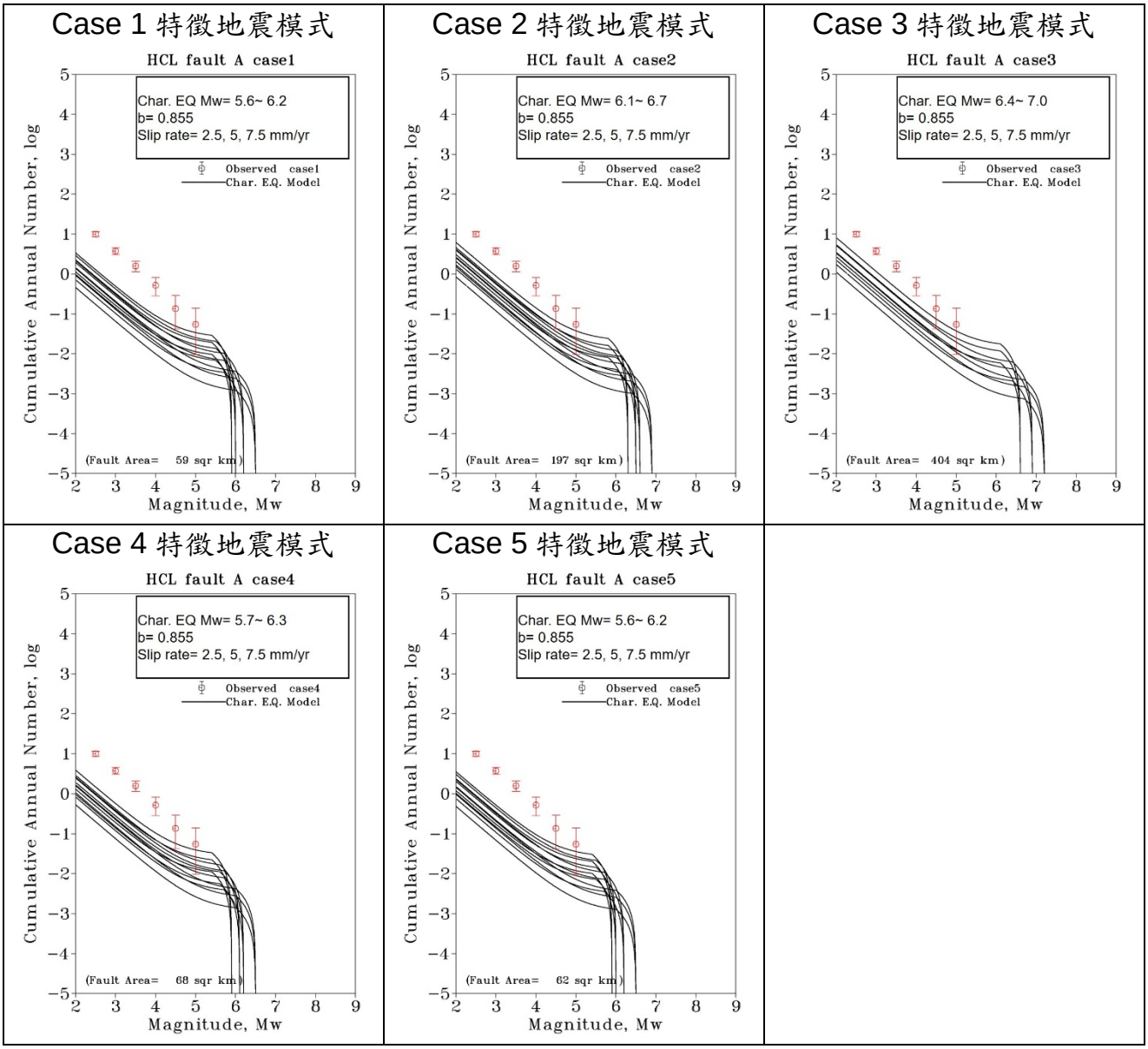


圖 4-3.1：後甲里斷層系統破裂模式 A 特徵地震模式。

Fig. 4-3.1 The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for rupture model A of the Houchiali fault system.

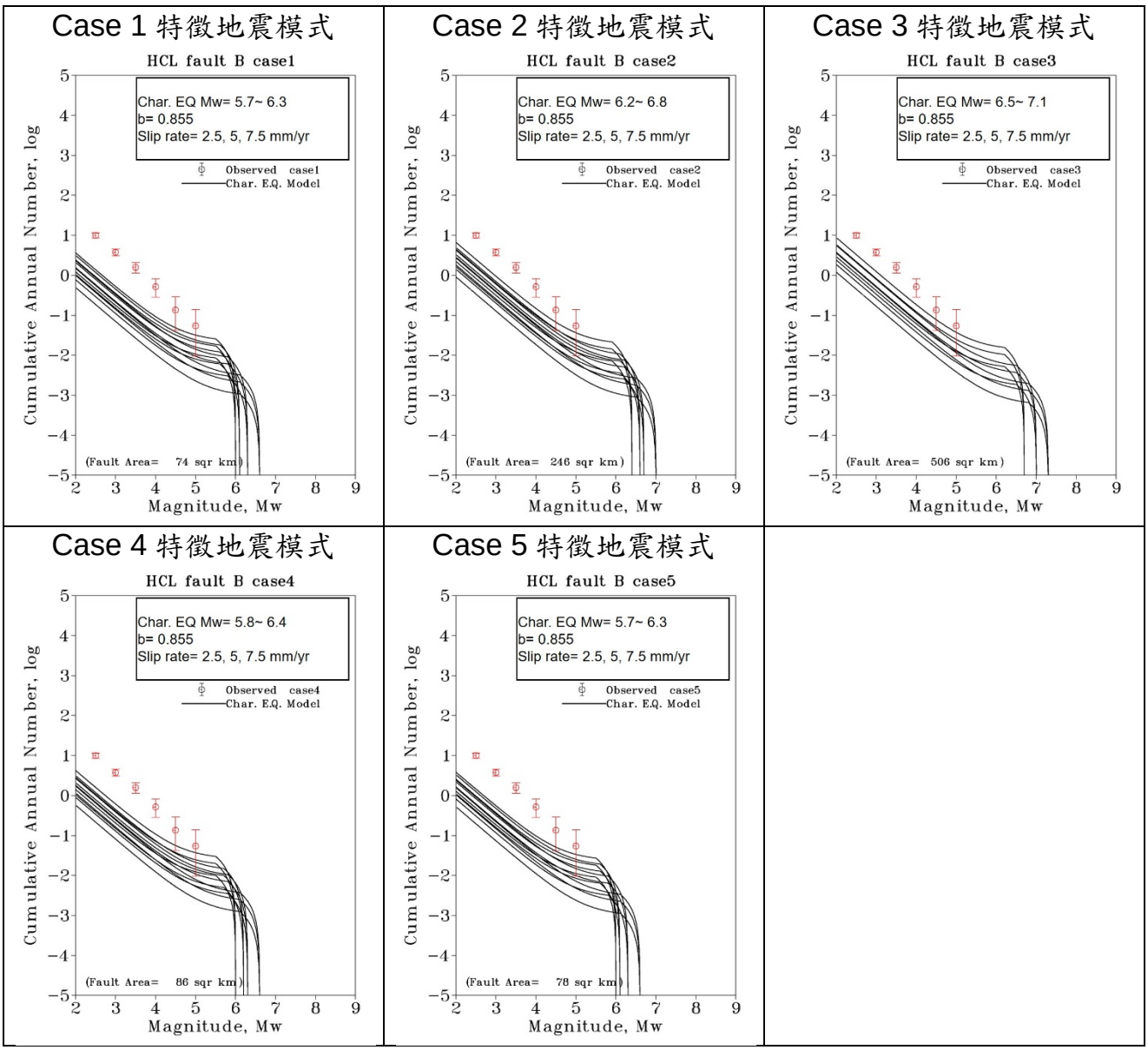


圖 4-3.2：後甲里斷層系統破裂模式 B 特徵地震模式。

Fig. 4-3.2 The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for rupture model B of the Houchiali fault system.

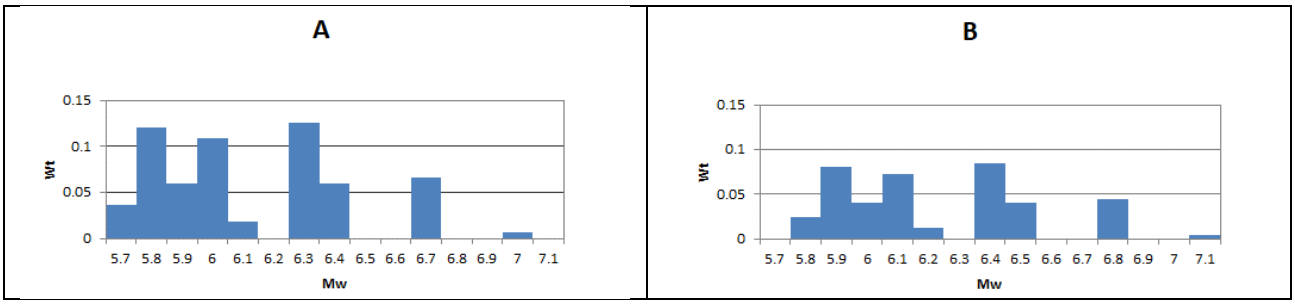


圖 4-3.3：後甲里斷層系統 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Fig. 4-3.3 The relationships between magnitude and weighting for two rupture models of the Houchiali fault system.

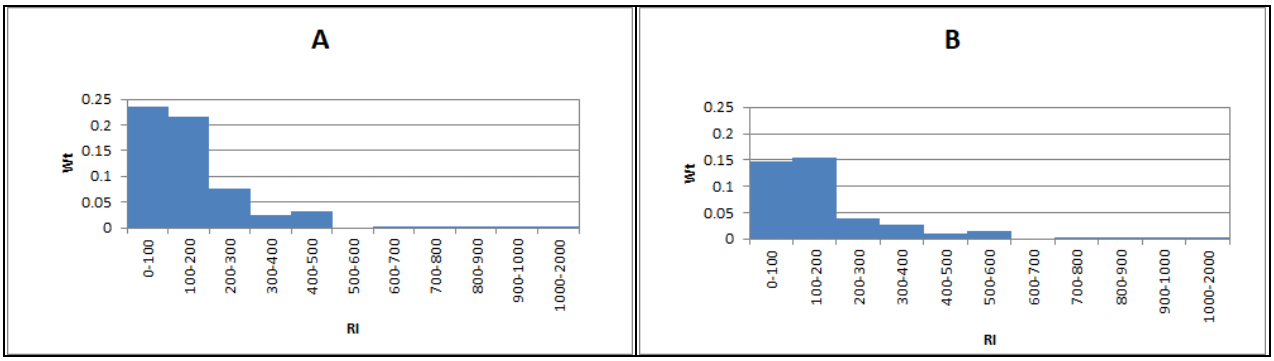


圖 4-3.4：後甲里斷層系統 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 4-3.4 The relationships between recurrence interval and weighting for two rupture models of the Houchiali fault system.

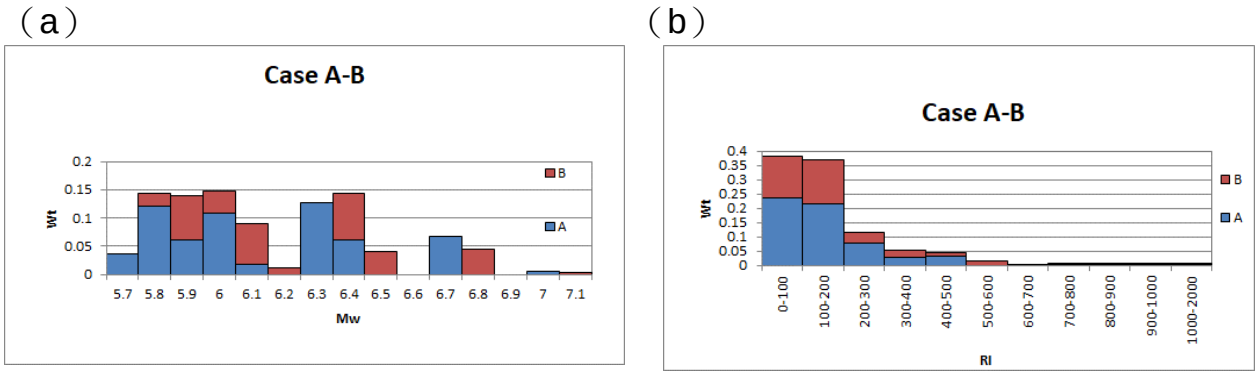


圖 4-3.5：（a）後甲里斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）後甲里斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

Fig. 4-3.5 (a)The summed magnitude - weighting relationship and (b) the summed recurrence interval - weighting relationship for the whole logic tree branches of the Houchiali fault system.

4-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算後甲里斷層系統未來 30、50 及 100 年的發生機率，根據歷史地震，假設後甲里斷層系統最後一次發生時間為西元 1862 年，採用 BPT 模式進行評估。

表 4-4.1 為後甲里斷層系統前階段計畫評估之結果，起算時間為西元 2016 年。

表 4-4.2 為後甲里斷層系統 BPT 模式及評估之結果，起算時間為西元 2019 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 5.7~7.1 之機率為 38.1%、52.6%及 72.0%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 2.4%、3.8%及 6.6%。另以 POISSON 模式計算之結果，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 5.7~7.1 之機率為 22.6%、33.9%及 53.6%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 1.7%、2.8%及 4.9%。

因後甲里斷層系統受限於斷層長度及幾何，發生規模 6.5 以上的地震機率較低，然而若是考慮規模 6.5 以下的特徵型地震，發震機率就會相對提高許多，本計畫認為不能輕忽後甲里斷層系統規模 6.5 以下的特徵地震對台南地區致災的可能性。

本計畫後甲里斷層系統面積及規模降低，因此發生規模 6.5 以上機率也降低。

表 4-4.1：前階段計畫後甲里斷層系統發生機率評估(胡植慶等，2016)

Tab. 4-4.1 Earthquake probabilities for the Houchiali fault system in the previous project (Hu et al., 2016)

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	Poisson	BPT	Poisson	BPT	Poisson
6.1~7.5	17.6%	12.0%	26.8%	19.0%	44.3%	33.2%
M ≧6.5	12.8%	9.4%	20.2%	14.9%	35.0%	26.6%

表 4-4.2：本計畫後甲里斷層系統發生機率評估

Tab. 4-4.2 Earthquake probabilities for the Houchiali fault system in this project

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POISSON	BPT	POISSON	BPT	POISSON
5.7≦ M ≦7.1	38.1%	22.6%	52.6%	33.9%	72.0%	53.6%
M ≧ 6.5	2.4%	1.7%	3.8%	2.8%	6.6%	4.9%

第五章、左鎮斷層潛勢評估

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

5-1 左鎮斷層參數更新

5-1-1 前階段計畫成果

對於左鎮斷層破裂模式的評估，參考陳文山等(2004)構造分布(圖 3-1.1)，向西延伸至地形崖消失處，並排除左鎮斷層與甲仙地震盲斷層相連之可能性，因此僅評估一種破裂模式，其長度為 20 公里（圖 5-1.1）。

左鎮斷層之傾角與破裂深度，因淺層震測訊號不明顯，無法得知斷層幾何樣貌，而斷層屬走向滑移斷層，因此以高傾角 60~80 度作為邏輯樹數值。深度則參考左鎮斷層南北兩側構造單元之滑脫面深度，設為 8 公里、10 公里、12 公里。

左鎮斷層之滑移速率，因缺乏地質調查之長期滑移速率，因此前階段計畫參考塊體模型分析結果，左鎮斷層長期平均滑移速率為 1.72 mm/yr，滑移虧損率為 0.61 mm/yr，將邏輯樹滑移速率數值設定為 1.72 mm/yr、0.61 mm/yr。

左鎮斷層之特徵地震規模，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。

左鎮斷層前階段計畫邏輯樹詳如圖 5-1.2 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。

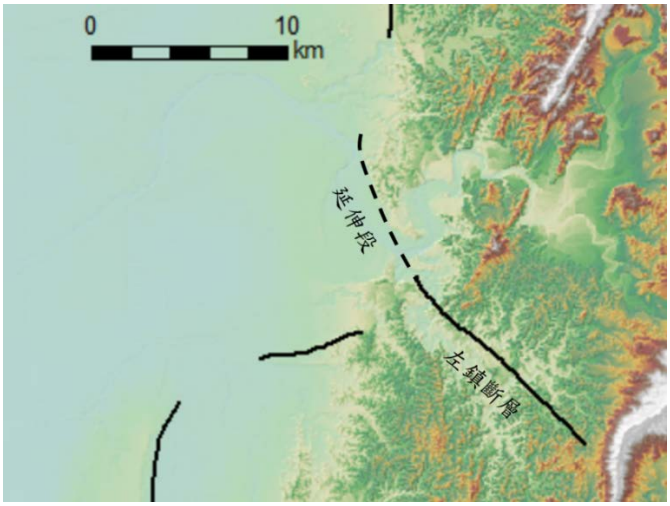


圖 5-1.1：左鎮斷層之破裂模式(胡植慶等，2016)。

Fig. 5-1.1 The rupture case of the Tsochen fault(Hu et al., 2016).

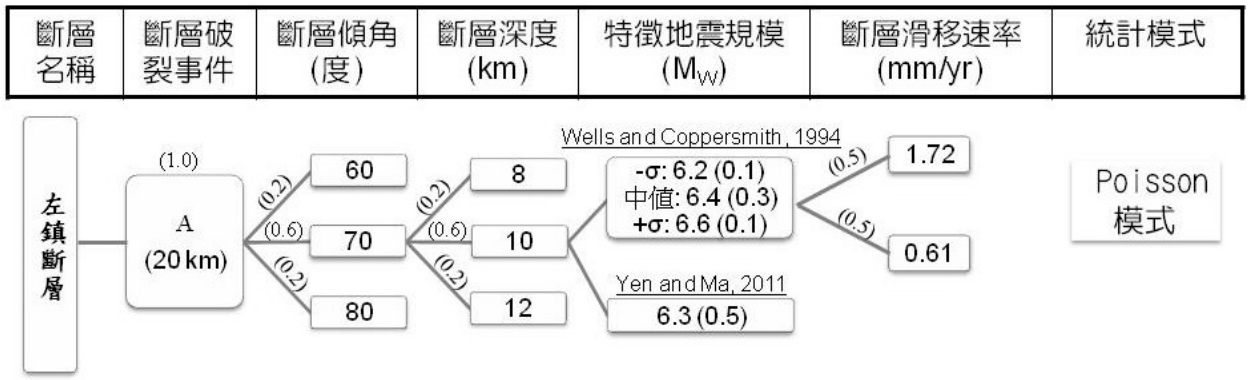


圖 5-1.2：左鎮斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)。

Fig. 5-1.2 The logic tree of the Tsochen fault (Hu et al., 2016).

5-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

地調所五萬分之一地質圖幅中，左鎮斷層為一高角度左移斷層，如圖 5-1.3 所示。陳延宗(2007)以反射震測法研究左鎮斷層，然而由於此區域岩層以泥岩、頁岩為主，震測反射訊號較不明顯，僅能由地層傾角變化與地表地形特徵推測左鎮斷層可能的位置(圖 5-1.4)。

根據 1900~2015 年左鎮斷層上盤地震深度分布剖面(圖 5-1.5)，地震分布集中於 8~14 公里的深度。

左鎮斷層傾角，因淺層震測訊號不明顯，無法得知斷層幾何樣貌，而斷層屬走向滑移斷層，因此本計畫以高傾角 75 度、80 度、85 度作為邏輯樹數值。

左鎮斷層深度，考慮左鎮斷層為撕裂斷層，則斷層面應位在基底滑脫面以上的區域(基底滑脫面下方為下盤，不滑動)，可參考附近的地質剖面來決定左鎮斷層的孕震深度，而六甲斷層正好位於左鎮斷層的北邊，因此可參考第二章幾個地質剖面基底滑脫面的深度。Suppy(1980)的剖面，下部滑脫面深度可達 8 公里(圖 2-1.3)，而 Hung et al., (1999)剖面滑脫面約 13 公里。根據地質剖面，則深度有 8 公里及 13 公里的可能性。而從地震深度分布中，左鎮斷層上盤地震主要集中在 8~14 公里的深度。本計畫建議將 8 公里作為邏輯樹下界，14 公里當作邏輯樹上界，中值則採用(8+14)/2=11 公里。

本計畫左鎮斷層幾何設定如圖 5-1.6 所示。

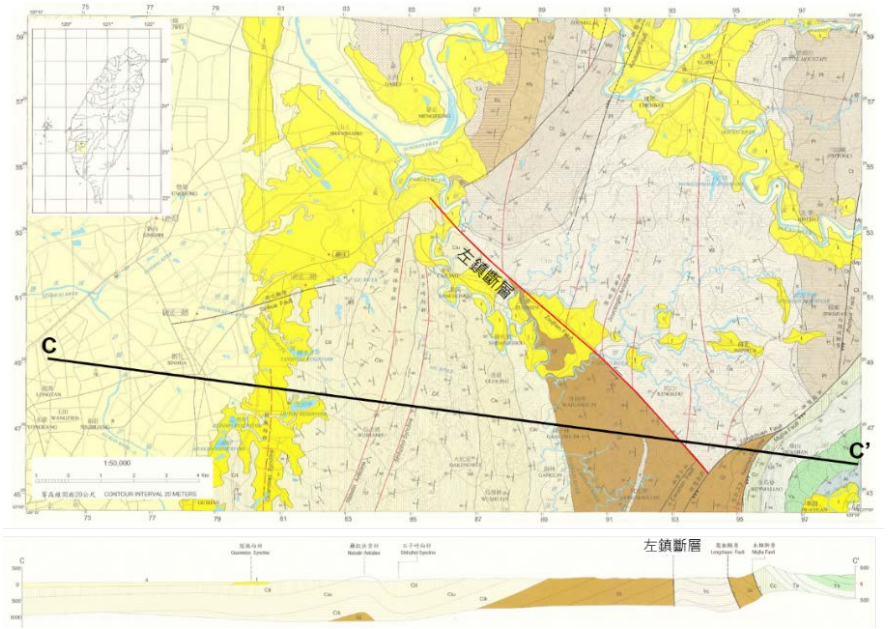


圖 5-1.3：地調所新化地質圖幅及 C-C'地質剖面圖（修改自何信昌等，2005）。

Fig. 5-1.3 The C.G.S. Hsinhua geological map sheet and C-C' cross section (modified from Ho et al., 2005)

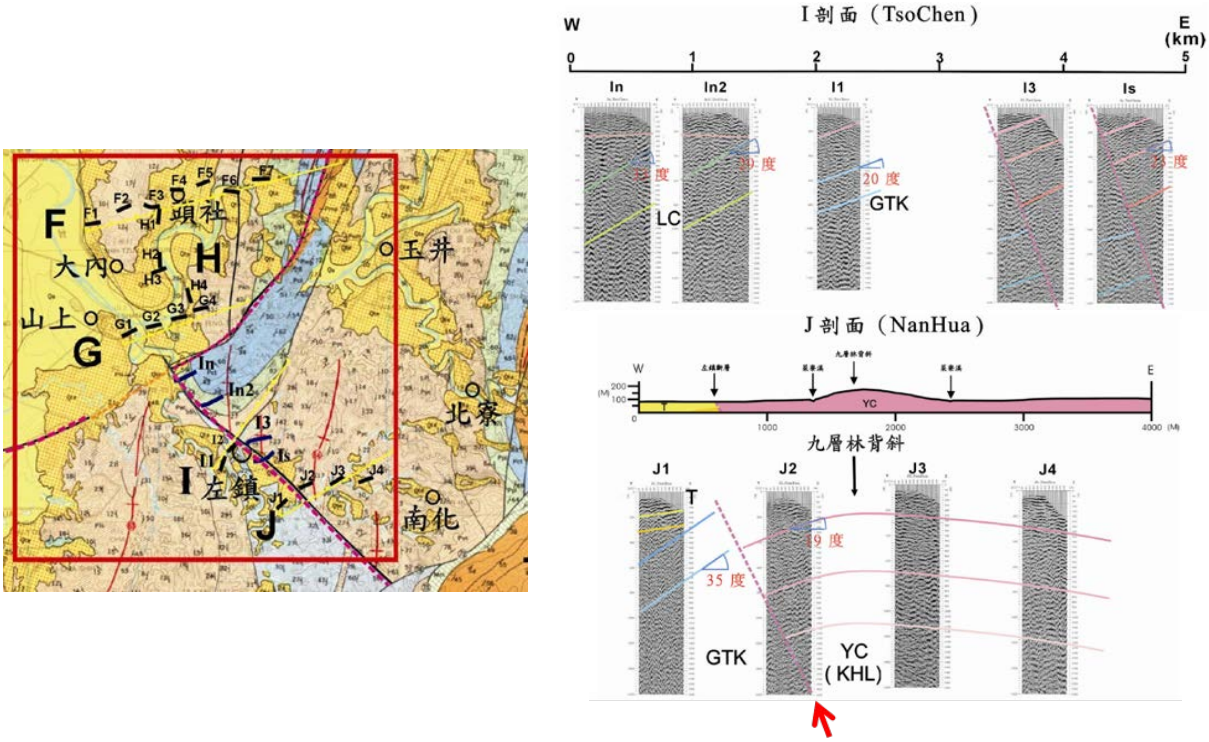


圖 5-1.4：左鎮斷層淺層震測資料（陳延宗，2007）。

Fig. 5-1.4 The shallow seismic profile across the Tsochen fault (Chen, 2007).

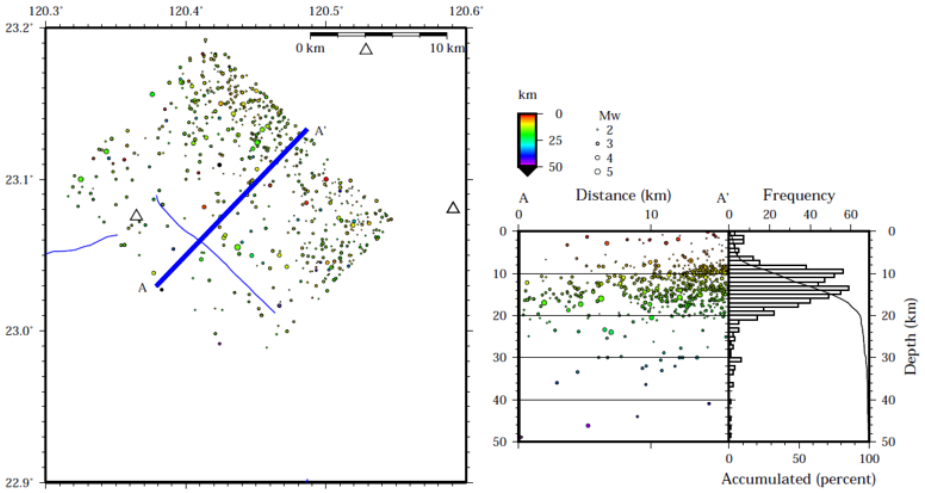


圖 5-1.5：左鎮斷層地震深度分布統計。左圖為左鎮斷層西元 1900-2015 地震分布圖，右圖為地震深度-數量統計圖。

Fig. 5-1.5 The seismic depth distribution from the seismicity statistics (the period of 1900~2015) at the Tsochen fault region.

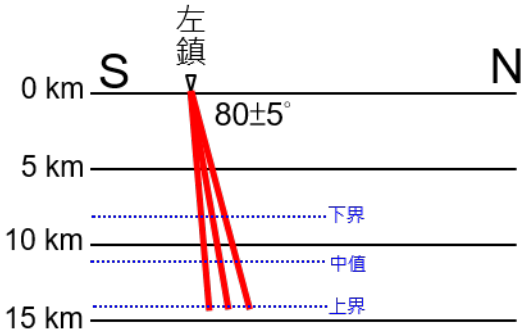


圖 5-1.6：本計畫左鎮斷層幾何面破裂模式。

Fig. 5-1.6 This project's fault geometry model of the Tsochen fault.

5-1-3 孕震深度分析

左鎮斷層孕震深度空間分布資料，可參考圖 3-1.6 之 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度分布圖。圖中顯示左鎮斷層 D90 之孕震深度約在 17~20 公里，雖比本計畫設定深，然深部構造之影響較台灣中、北部麓山帶地區少。

根據左鎮斷層上盤西元 1900~2015 年地震深度分布剖面，地震主要集中於深度 8~14 公里(圖 5-1.5)。

5-2 邏輯樹更新

本計畫針對左鎮斷層邏輯樹更新，詳述如下：

左鎮斷層之破裂模式無修改，同圖 5-1.1。

左鎮斷層幾何，根據5-1-2 節之說明，傾角略修改為高角度斷層，權重為 75 度(0.2)、80 度(0.6)、85 度(0.2)。破裂深度參考左鎮斷層南北兩側構造單元之滑脫面深度及地震深度分布，設為 8~14 公里，權重為常態分布 8 公里(0.2)、11 公里(0.6)、14 公里(0.2)。

左鎮斷層之滑移速率無發現新地質事證。本計畫參考景國恩等（2019）「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（3/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOCKS 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較。權重加總後左鎮斷層平均滑移虧損速率下界為 1.0 mm/yr，上界為 5.6 mm/yr，平均值為 3.2 mm/yr。表 5-2.1 為左鎮斷層滑移虧損速率計算之結果，本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 1.0 mm/yr (0.3)、中值 3.2 mm/yr (0.4)、上界 5.6 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 5-2.2 所示為利用邏輯樹中值所求得之左鎮斷層地震矩規模。

左鎮斷層最近一次發生時間未知，因此採用 Poisson 模式進行評估。

左鎮斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 5-2.1 所示。

表 5-2.1：左鎮斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019)

Tab. 5-2.1 Slip deficit rate of the Tsochen fault by model inversion (Ching et al., 2019)

模型		BLOCKS	DEFNODE	Baseline Inversion	加權平均滑移虧損速率 (mm/yr)
斷層名稱		總變動量 (mm/yr)	平均值滑移虧損率 (mm/yr)	斷層滑移速率平均值 (mm/yr)	
左鎮斷層	上界	6.2	7.8	2.7	5.6
	平均	4.6 ± 0.8	3.0 ± 2.4	0.7 ± 1.0	3.2
	下界	3.0	0	0	1.0
權重		(0.40)	(0.40)	(0.20)	

表 5-2.2：左鎮斷層各破裂事件規模計算

Tab. 5-2.2 The estimated magnitude for one rupture case of the Tsochen fault.

斷層名稱	破裂事件	長度(km)	深度(km)	寬度(km)	傾角(度)	面積(km2)	Wells and Coopersmith, 1994 (破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011 (破裂面積-規模關係式) (Mw)
							-σ	中值	+σ	
左鎮	A	20	11	11.2	80	223	6.2	6.4	6.6	6.3

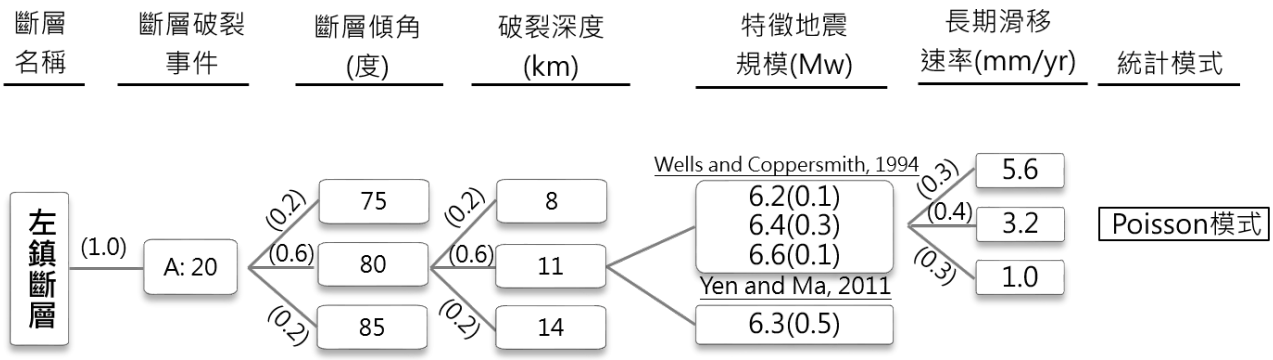


圖 5-2.1：左鎮斷層更新邏輯樹(更新內容：傾角、深度、規模、滑移速率)。

Fig. 5-2.1 The renewed logic tree of the Tsochen fault.

5-3 規模與年發生率之關係

左鎮斷層破裂事件的參數可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 5-3.1 為 1 個破裂事件以傾角及深度中值計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 5-2.1 之左鎮斷層邏輯樹可得到 108 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 5-3.2 為 1 種破裂事件之規模-權重分布圖，以規模 6.4 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 5-3.3 為 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

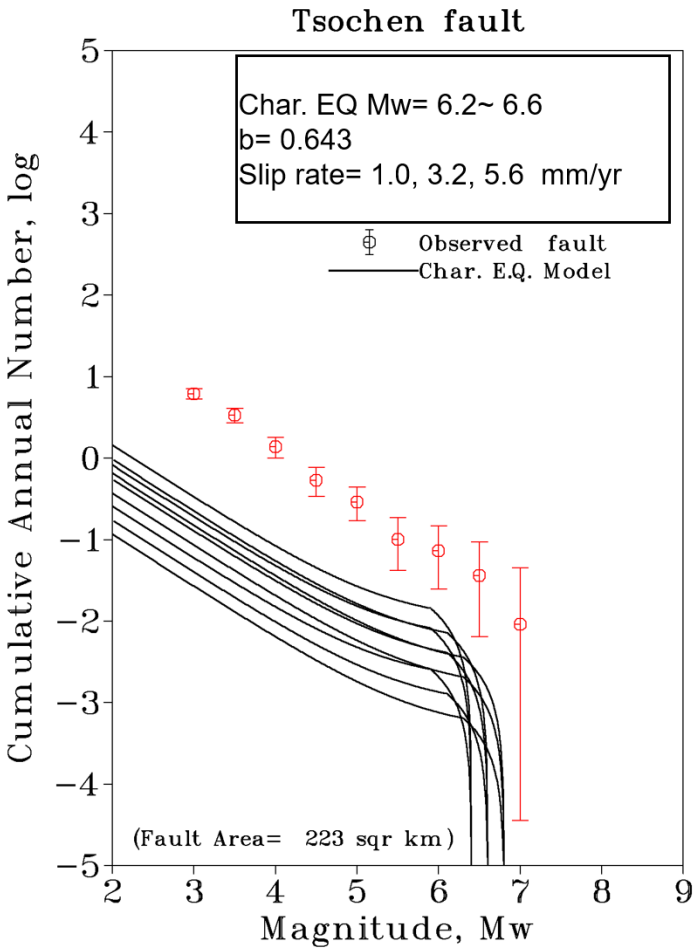


圖 5-3.1：左鎮斷層破裂事件特徵地震模式。

Fig. 5-3.1 The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for one rupture case of the Tsochen fault.

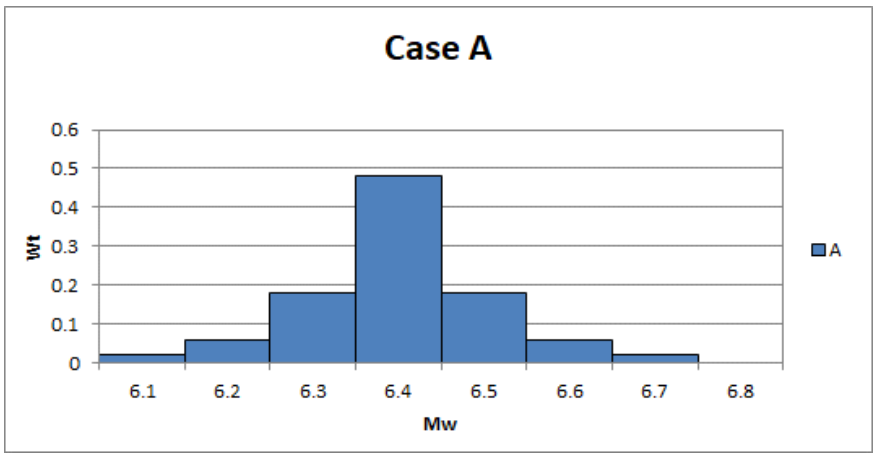


圖 5-3.2：左鎮斷層破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Fig. 5-3.2 The relationships between magnitude and weighting for one rupture case of the Tsochen fault.

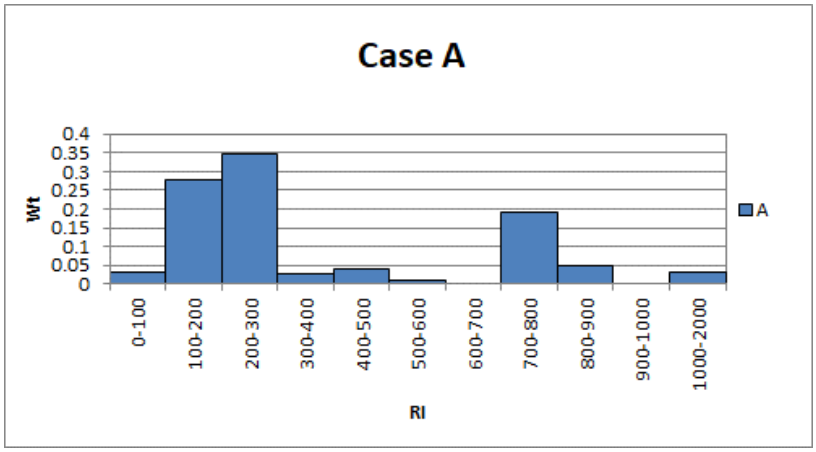


圖 5-3.3：左鎮斷層 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 5-3.3 The relationships between recurrence interval and weighting for one rupture case of the Tsochen fault.

5-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算左鎮斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，左鎮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 5-4.1 為左鎮斷層前階段計畫評估之結果，起算時間為西元 2016 年，前階段計畫僅採用 POISSON 模式進行評估。

表 5-4.2 為左鎮斷層 Poisson 模式評估之結果，起算時間為西元 2019 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.1~6.7 之機率為 12.0%、18.8%及 32.9%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 2.3%、3.7%及 6.7%。

本計畫機率明顯高於前階段計畫評估成果，和前階段相比，除了 DEFNODE，還新增 BLOCKS 和 Baseline Inversion 反演模型，其中 BLOCKS 及 DEFNODE 反演的速率明顯較高，拉抬左鎮斷層邏輯樹中的滑移速率。

表 5-4.1：前階段計畫左鎮斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

Tab. 5-4.1 Earthquake probabilities for the Tsochen fault in the previous project (Hu et al., 2016)

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.1 ≦ M ≦6.7	4.4%	7.2%	13.6%
M ≧ 6.5	0.7%	1.2%	2.3%

表 5-4.2：本計畫左鎮斷層發生機率評估

Tab. 5-4.2 Earthquake probabilities for the Tsochen fault in this project

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.1≦ M ≦6.7	12.0%	18.8%	32.9%
M ≧ 6.5	2.3%	3.7%	6.7%

第六章、小崗山斷層潛勢評估

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

6-1 小崗山斷層參數更新

6-1-1 前階段計畫成果

前階段計畫小崗山斷層之破裂，分為 2 種破裂事件來探討，A 為小崗山斷層破裂，B 為小崗山與梅嶺斷層破裂。如圖 6-1.1 所示。

小崗山斷層之傾角及破裂深度，根據所蒐集到之震測剖面、平衡剖面資料，傾角採用雙傾角方式以符合斷層面斷坡連接基底滑脫面之情形。依據淺層震測資料，將淺部斷層傾角 45 度定為邏輯樹中間值，上下值各加減 5 度；依據鄭宏祺（2000）繪製的剖面，小崗山下滑脫面深度約 10-11 公里，滑脫面傾角約 5 度，10 公里以上為採用淺部斷層傾角，10 公里以下採用滑脫面傾角。深度部分以 11 公里為中間值，上下取 1 公里為邏輯樹分支。

各破裂事件之特徵地震規模則代入 Wells and Coppersmith（1994）及 Yen and Ma（2011）之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith（1994）之標準差作為上下之分支。

小崗山斷層之滑移速率，依據陳文山等（2012）鑽井資料，顯示斷層之滑移速率至少為 2.1-2.8 mm/yr，計畫設定邏輯樹數值分別為 2.1、2.4、2.8 mm/yr。

小崗山斷層前階段計畫邏輯樹詳如圖 6-1.2 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。

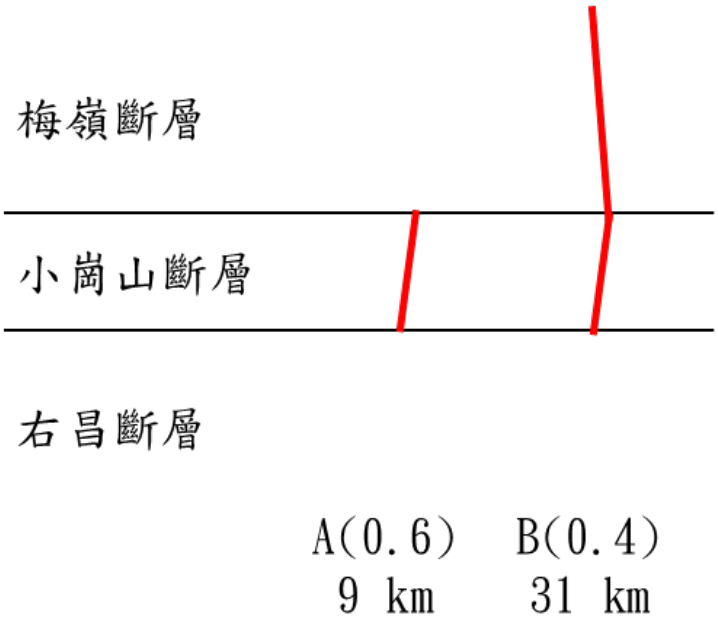


圖 6-1.1：小崗山斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。

Fig. 6-1.1 The rupture cases and weights of the Hsiaokangshan fault(Hu et al., 2016).

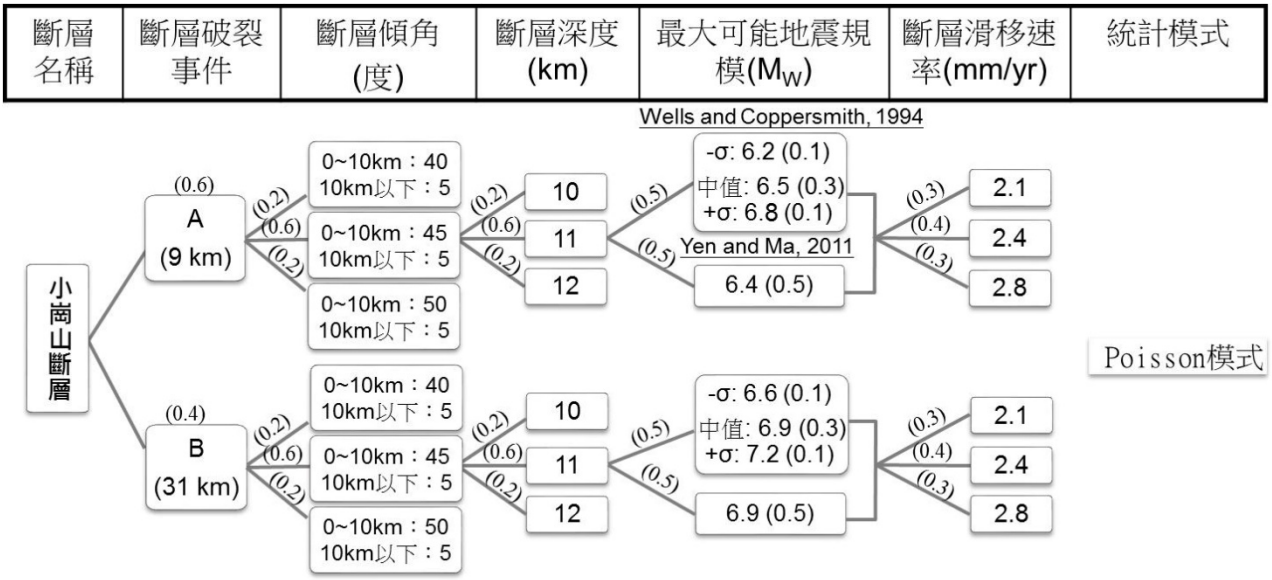


圖 6-1.2：小崗山斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)。

Fig. 6-1.2 The logic tree structure of the Hsiaokangshan fault (Hu et al., 2016).

6-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

大、小崗山西側有四孔鑽井，由東至西分別為山腳下 1 號，小崗山 1 號，小崗山 2 號及 3 號。其中，山腳下 1 號、小崗山 1 號井雖都未鑽遇斷層帶，但兩口井的古亭坑層具有密集的剪切構造，剪切面與層面傾角大致平行，傾角向東傾斜約 50-70 度（陳文山等，2010）（圖 6-1.3）。

地質調查所在小崗山沿線實施淺層震測，於大崗山與小崗山之間測線（08P-HKS-AL-1）(圖 6-1.4)可看到基盤由東往西漸深，陳文山等（2010）解釋剖面推測斷層傾角約呈 45 度角。

地調所五萬分之一地質圖幅中，小崗山斷層地表呈現撓區現象，但斷層尖端未出露地表，屬於盲斷層，圖 6-1.5 為旗山圖幅中跨過小崗山斷層的兩個地質剖面。

按照前階段計畫中小崗山斷層幾何設定，滑脫面會延伸到潮州斷層下方，較不符合斷層的長寬比，本計畫重新考慮小崗山斷層幾何，基底滑脫面止於旗山斷層即可，斷層幾何考慮兩種情形，一為只有斷坡的情形「深度 0-10 公里 45 度」，二為斷坡+滑脫面「深度 0-10 公里 45 度，深度 10-12 公里 9 度」，如圖 6-1.6 所示。

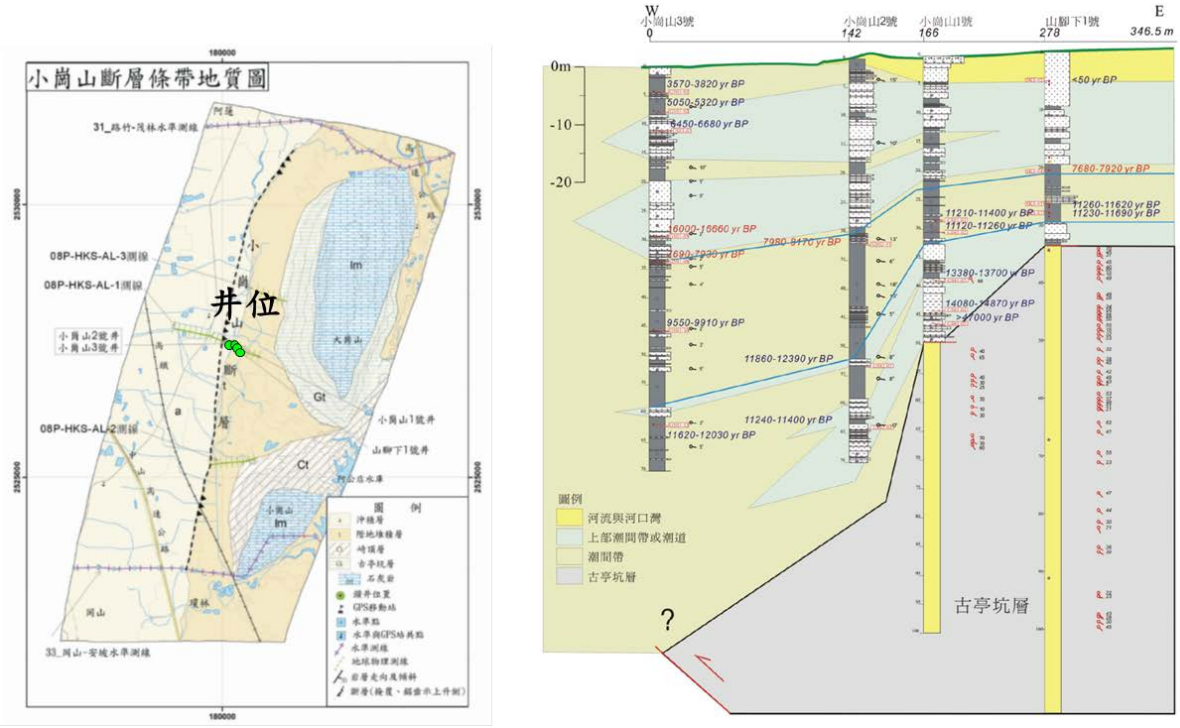


圖 6-1.3：小崗山斷層鑽井柵狀剖面、地層對比與沉積環境（陳文山等，2010）。

Fig. 6-1.3 A cross-section of shallow borehole transects illustrates a sequence of tidal flat, estuarine, and fluvial deposits folded across the Hsiaokangshan fault zone (Chen et al., 2010).

(a) (b)

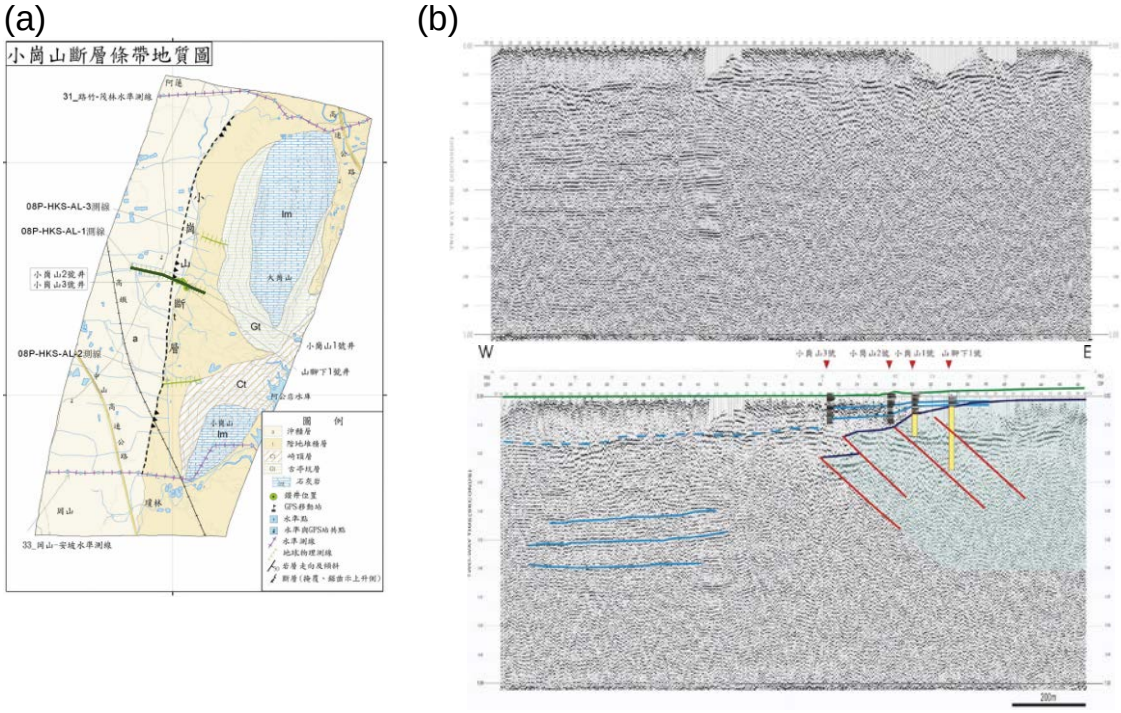


圖 6-1.4：跨小崗山斷層 08P-HKS-AL-1 震測剖面。(a)小崗山斷層條帶地質圖（林啟文等，2009）；(b)上圖為 08P-HKS-AL-1 震測剖面（傅昭明，2009），下圖為陳文山等（2010）對震測剖面的地下地質解釋。

Fig. 6-1.4 Shallow seismic reflection profile 08P-HKS-AL-1 across the Hsiaokangshan fault.

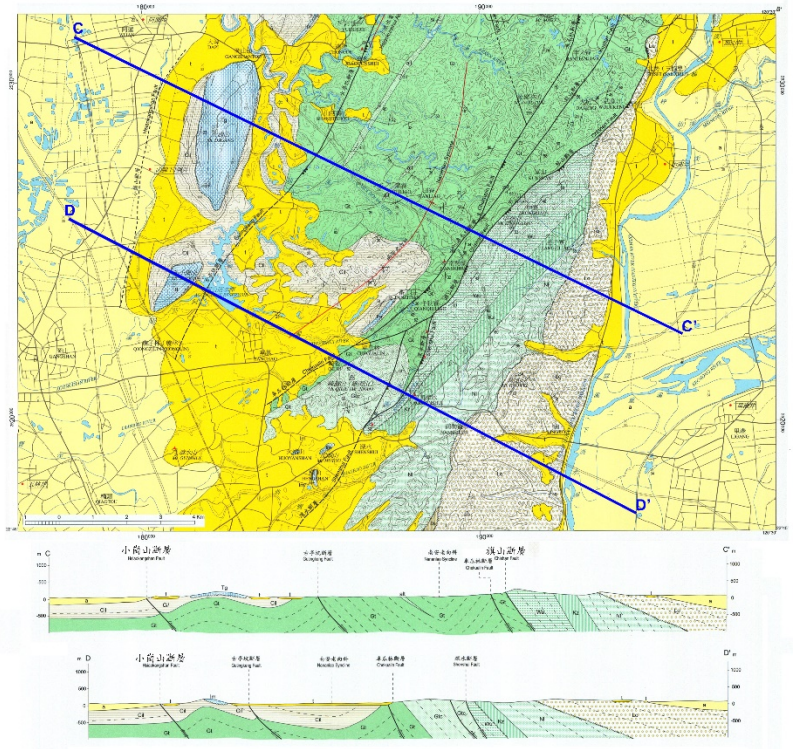


圖 6-1.5：地調所旗山地質圖幅及 C-C'、D-D'地質剖面圖（修改自林啟文，2013）。

Fig. 6-1.5 The C.G.S. geological map of the Qishan sheet and C-C', D-D' cross section (modified from Lin, 2013).

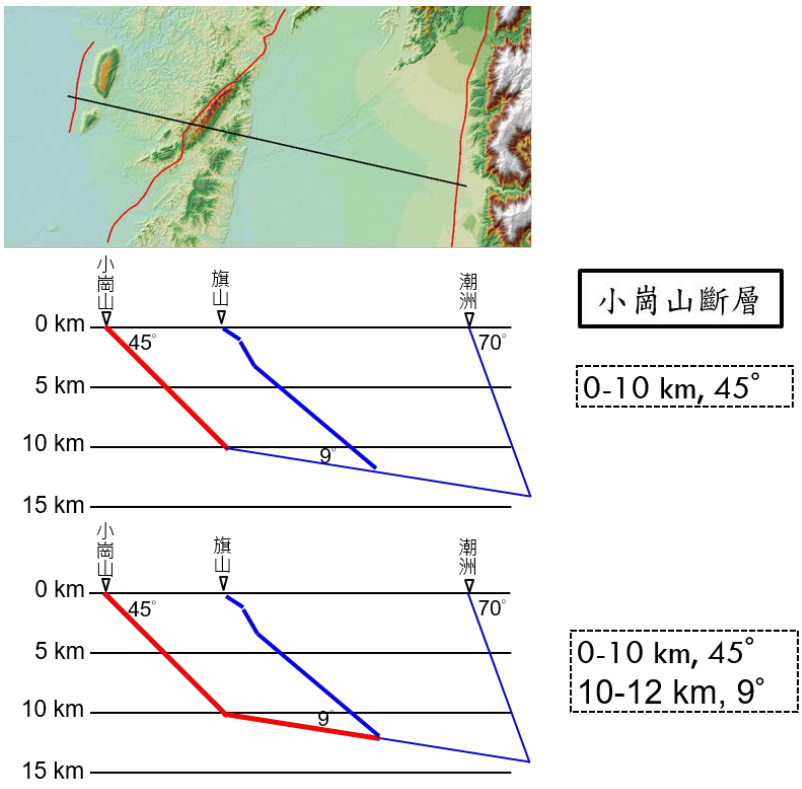


圖 6-1.6：本計畫小崗山斷層幾何面破裂模式。

Fig. 6-1.6 This project's fault geometry model of the Hsiaokangshan fault.

6-1-3 孕震深度分析

本計畫蒐集了 Wu et al. (2017)之 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度空間分布資料，針對南部地區活動斷層進行孕震深度分析，圖 6-1.7 為小崗山斷層及旗山斷層 D90 孕震深度分布圖，結果顯示小崗山斷層上盤 D90 之孕震深度大多位於 26~30 公里深，高於本計畫邏輯樹最大 12 公里之設定。推測此處淺部地震數量少，加上隱沒板塊地震對南部地區的影響，因此本計畫認為單從地震深度分布無法協助判釋小崗山斷層之孕震深度。

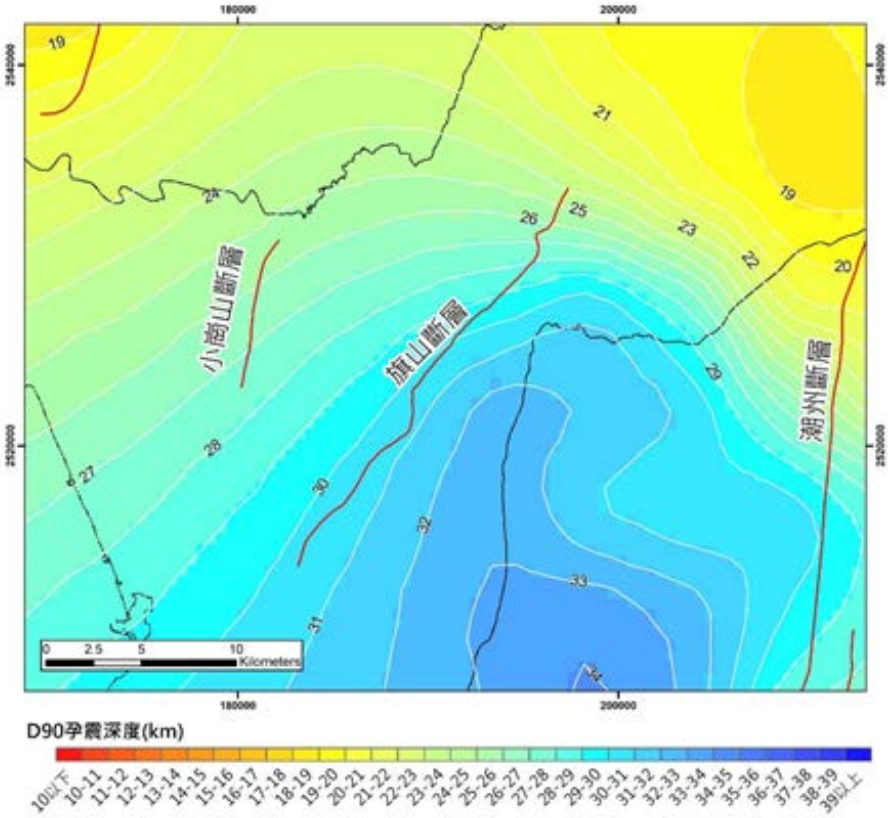


圖 6-1.7：小崗山斷層及旗山斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：Wu et al., 2017)。

Fig. 6-1.7 Distribution map of the D90 seismogenic depth at the Hsiaokangshan fault and the Chishan fault region (Data from: Wu et al., 2017).

6-2 邏輯樹更新

本計畫針對小崗山斷層邏輯樹更新，詳述如下：

小崗山斷層之破裂模式長度與權重無修改，然而因地調所及中油地質圖並無梅嶺斷層，因此修改梅嶺斷層部分為北段延伸段，如圖 6-2.1 所示。本計畫給予破裂長度短的事件較高的權重，權重分別為 A(0.6)，B(0.4)。

小崗山斷層幾何，根據 6-1-2 節之說明，考慮兩種情形，一為只有斷坡的情形:「深度 0-10 公里 45 度」，二為斷坡+滑脫面：「深度 0-10 公里 45 度，深度 10-12 公里 9 度」，如圖 6-1.6 所示。根據專家諮詢會議之結論，只考慮斷坡的情形深度太淺，給予較低權重 0.3，斷坡+滑脫面的情形權重則為 0.7。

小崗山斷層之滑移速率無發現新地質事證。依據陳文山等（2010）鑽井資料中樣本，山腳下 1 號井平均抬升速率為 4.4±0.6 mm/yr；小崗山 1 號井平均抬升速率為 4.1±0.6 mm/yr；小崗山 2 號井平均抬升速率為 1.35±0.6 mm/yr；小崗山 3 號井平均抬升速率為 1.1±0.5 mm/yr，鑽井位置如圖 6-1.3。本計畫據此設定抬升速率範圍為 1.1~4.4 mm/yr，以傾角 45 度換算成淨滑移速率範圍為 1.6~6.2 mm/yr，本計畫設定邏輯樹權重為下界 1.6 mm/yr (0.3)、平均(1.6+6.2)/2=3.9 mm/yr (0.4)、上界 6.2 mm/yr (0.3)。

景國恩等（2019）「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（3/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOCKS 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較，表 6-2.1 為該計畫三種模型反演得到之結果。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 6-2.2 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

小崗山斷層最近一次發生時間未知，因此採用 Poisson 模式進行評估。

小崗山斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 6-2.2 所示。

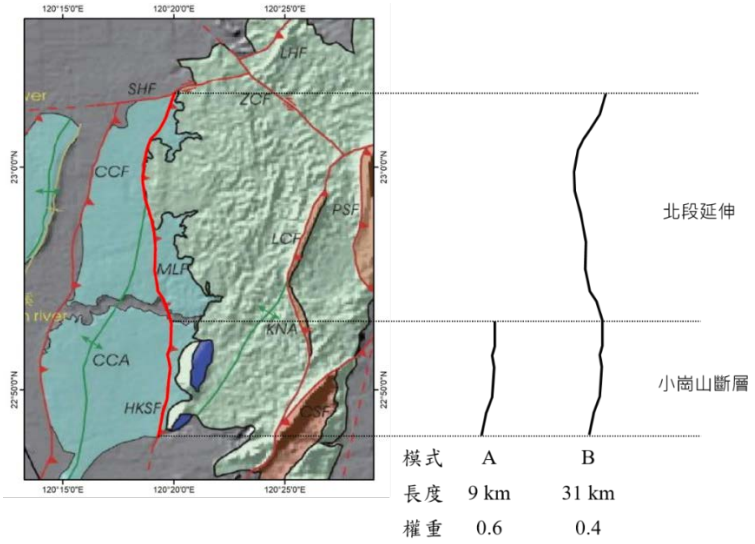


圖 6-2.1：本計畫小崗山斷層之破裂模式。

Fig. 6-2.1 This project's rupture model of the Hsiaokangshan fault.

表 6-2.1：小崗山斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019)

Tab. 6-2.1 Slip deficit rate of the Hsiaokangshan fault by model inversion (Ching et al., 2019)

模型		BLOCKS	DEFNODE	Baseline Inversion	加權平均滑移虧損速率 (mm/yr)
斷層名稱		總變動量 (mm/yr)	平均值滑移虧損率 (mm/yr)	斷層滑移速率平均值 (mm/yr)	
小崗山斷層	上界	8.7	17.2	13.1	13
	平均	8.7 ± 0.0	12.8 ± 2.2	6.7 ± 3.2	9.2
	下界	8.7	8.4	0.3	5.8
權重		(0.35)	(0.30)	(0.35)	

表 6-2.2：小崗山斷層各破裂事件規模計算

Tab. 6-2.2 The estimated magnitude for each rupture case of the Hsiaokangshan fault.

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	9	深度 0-10 km,傾角 45°	14.1	127	5.9	6.2	6.5	6.1
		深度 0-10 km,傾角 45° 深度 10-12 km,傾角 9°	26.9	242	6.2	6.5	6.8	6.4
B	31	深度 0-10 km,傾角 45°	14.1	438	6.4	6.7	7.0	6.6
		深度 0-10 km,傾角 45° 深度 10-12 km,傾角 9°	26.9	834	6.7	7.0	7.3	6.9

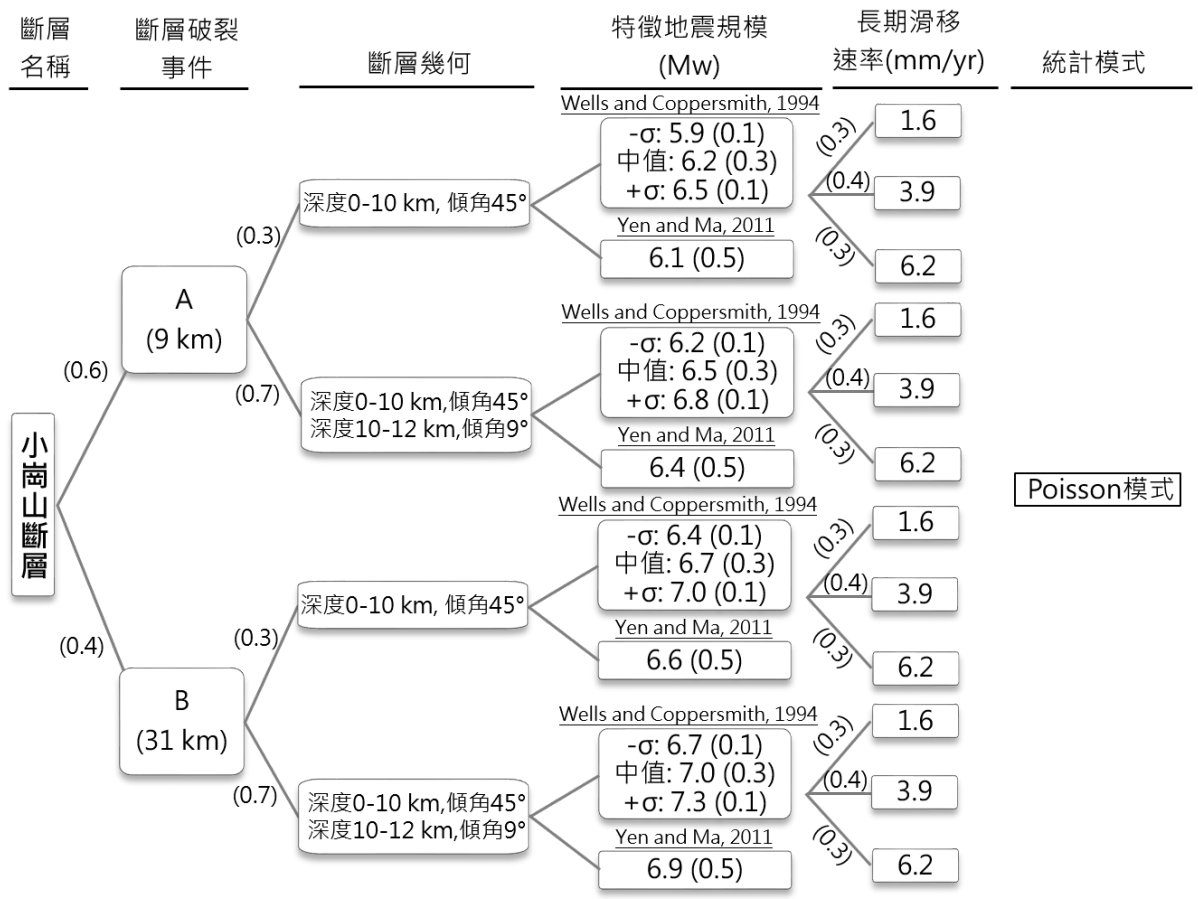


圖 6-2.2：小崗山斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、地震規模、滑移速率)。

Fig. 6-2.2 The renewed logic tree of the Hsiaokangshan fault.

6-3 規模與年發生率之關係

小崗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 6-3.1 圖 3-3.1 為 2 個破裂事件之特徵地震模式分布情形。

圖 6-2.2 之小崗山斷層邏輯樹可得到 48 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 6-3.2 為 2 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.4 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.0 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 6-3.3 為 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 6-3.4（a）之小崗山斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 6-3.4（b）之小崗山斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

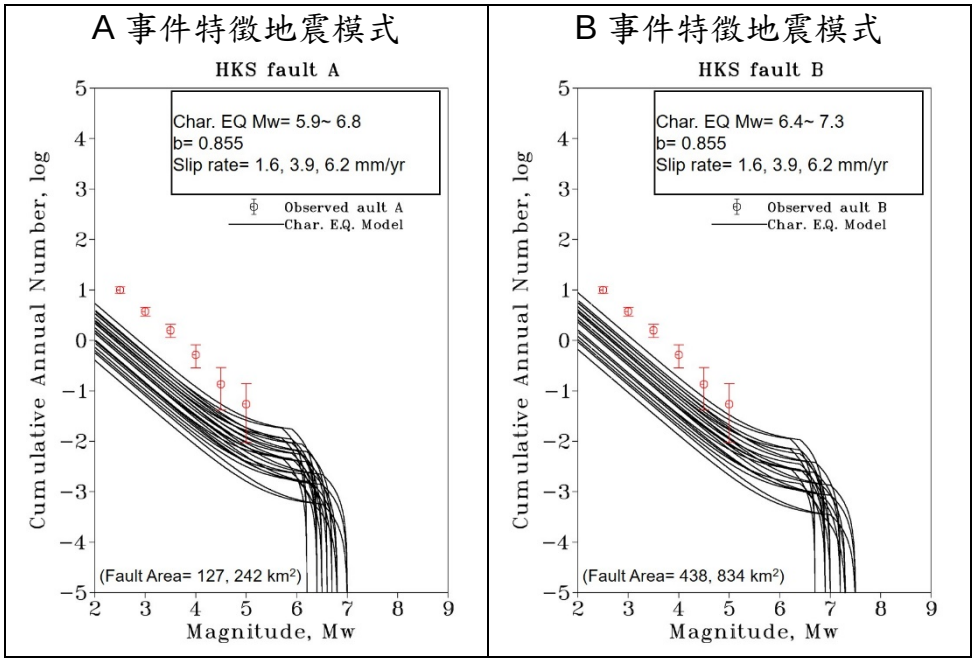


圖 6-3.1：小崗山斷層各破裂事件特徵地震模式。

Fig. 6-3.1 The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for two rupture cases of the Hsiaokangshan fault.

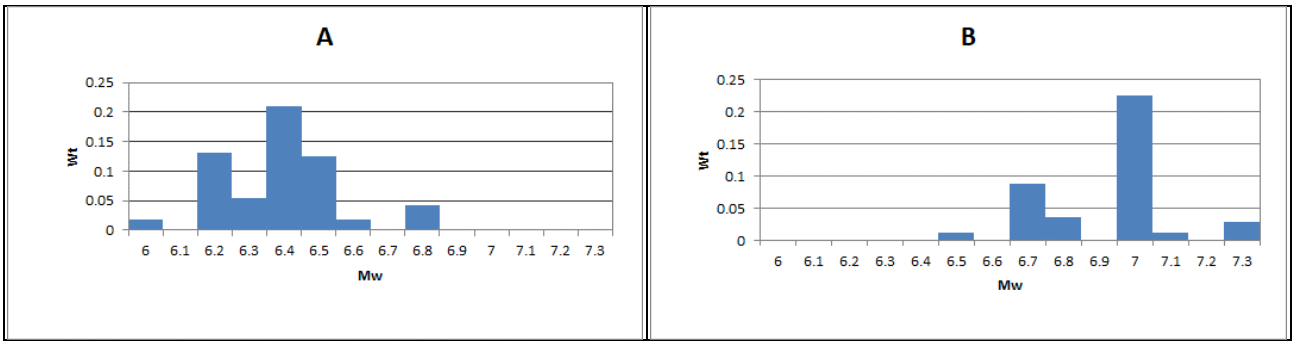


圖 6-3.2：小崗山斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和

Fig. 6-3.2 The relationships between magnitude and weighting for two rupture cases of the Hsiaokangshan fault.

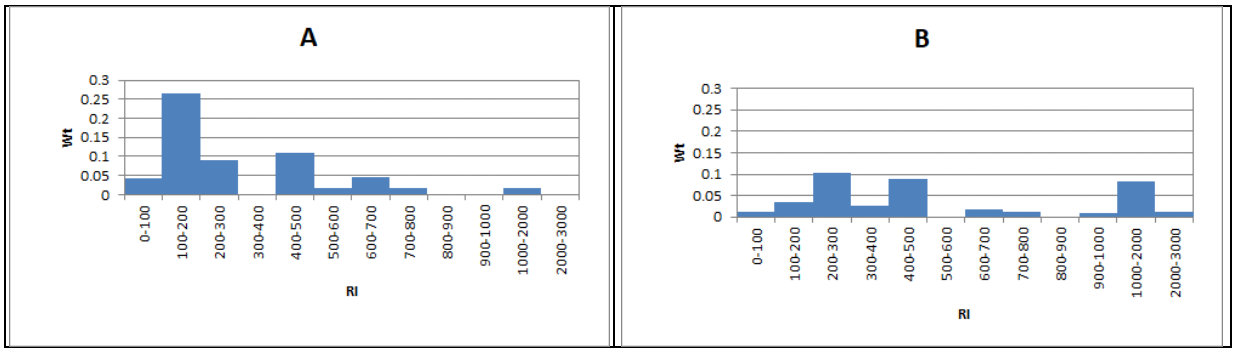


圖 6-3.3：小崗山斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 6-3.3 The relationships between recurrence interval and weighting for two rupture cases of the Hsiaokangshan fault.

（a）　　（b）

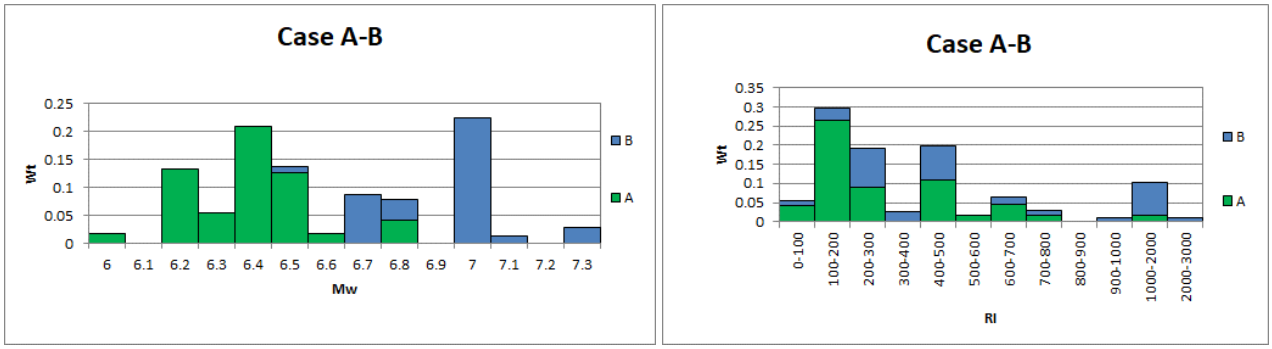


圖 6-3.4：（a）小崗山斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）小崗山斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

Fig. 6-3.4 (a)The summed magnitude - weighting relationship and (b) the summed recurrence interval - weighting relationship for the whole logic tree branches of the Hsiaokangshan fault.

6-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算小崗山斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，小崗山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 6-4.1 為小崗山斷層前階段計畫評估之結果，起算時間為西元 2016 年，前階段計畫僅採用 POISSON 模式進行評估。

表 6-4.2 為小崗山斷層 Poisson 模式評估之結果，起算時間為西元 2019 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.0~7.3 之機率為 11.8%、18.4%及 32.1%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 4.9%、7.8%及 14.2%。

本計畫機率略高於前階段計畫評估成果，推估是本計畫參考專家會議委員意見，將四口鑽井抬升速率均視為小崗山斷層上盤抬升，因此淨滑移速率略高於前階段計畫。

表 6-4.1：前階段計畫小崗山斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

Tab. 6-4.1 Earthquake probabilities for the Hsiaokangshan fault in the previous project (Hu et al., 2016)

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
5.9 ≦ M ≦7.4	7.4%	11.9%	22.0%
M ≧ 6.5	3.6%	5.9%	11.2%

表 6-4.2：本計畫小崗山斷層發生機率評估

Tab. 6-4.2 Earthquake probabilities for the Hsiaokangshan fault in this project

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.0≦ M ≦7.3	11.8%	18.4%	32.1%
M ≧ 6.5	4.9%	7.8%	14.2%

第七章、旗山斷層潛勢評估

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

7-1 旗山斷層參數更新

7-1-1 前階段計畫成果

前階段計畫旗山斷層之破裂模式，綜合陳文山等（2012）的看法及 Liu et al.（1997）的震測資料結果，分為 4 種破裂事件來討論。內英斷層與旗山斷層兩側岩性雖有差異，但兩斷層距離相近，且走向一致，並位在旗山斷層的延伸線上，因此不排除兩者一起破裂的可能性，兩斷層以楠梓仙溪為分段點；大社以南，斷層位置較不精確，前階段計畫稱為南部延伸段，海域部分則參考震測資料，延長約 11 公里。4 種破裂模式分別為，A 為旗山斷層單獨破裂，B 為旗山斷層、南部延伸段（含海域部分）同時破裂，C 為旗山斷層、內英斷層破裂，D 為旗山、內英、南部延伸段（含海域）整段同時破裂。

旗山斷層傾角及破裂深度，綜合野外露頭調查、淺層震測、平衡剖面、GPS 資料反演等前人文獻資料，得知傾角約 50~65 度，前階段計畫以此做為邏輯樹上下界，其平均值做為邏輯樹中間值。由鄭宏祺（2000）及蔡旻倩（2013）研究結果，得知滑脫面深度約 10 公里，前階段計畫以此作為邏輯樹下界；地震深度分布主要集中於 16 公里以上，以此作為上界，中間值取 13 公里深。

各破裂事件之特徵地震規模則代入 Wells and Coppersmith（1994）及 Yen and Ma（2011）之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith（1994）之標準差作為上下之分支。

旗山斷層之長期滑移速率，由陳文山等（2012）大社 A 鑽井資料及張家鳳（2005）震測資料，得到斷層長期滑移速率為 1.1-1.8 mm/yr，前階段計畫以此做為邏輯樹上下分支，其平均值做為邏輯樹中間分支。

旗山斷層前階段計畫邏輯樹詳如圖 7-1.2 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。

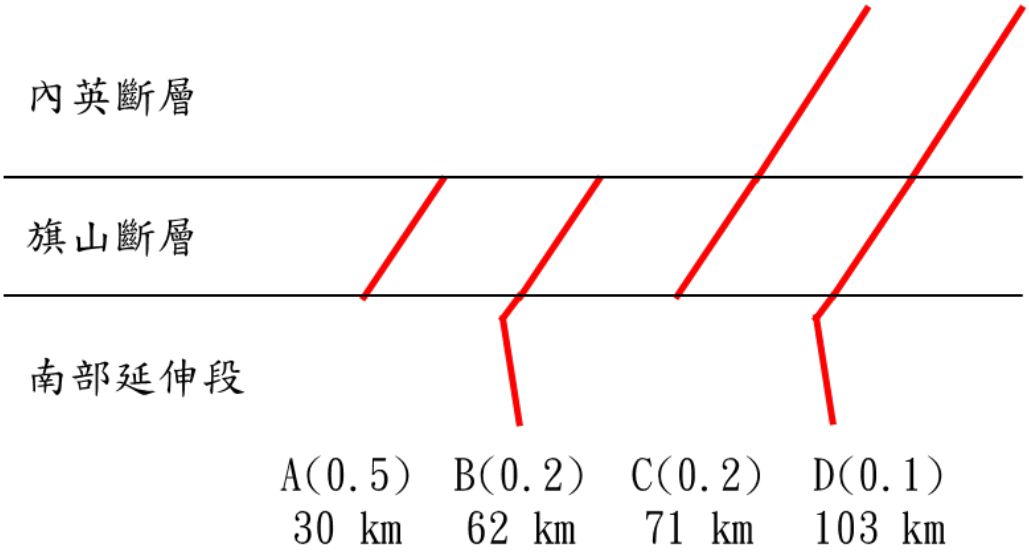


圖 7-1.1：旗山斷層之破裂模式(胡植慶等，2016)。

Fig. 7-1.1 The rupture cases and weights of the Chishan fault(Hu et al., 2016).

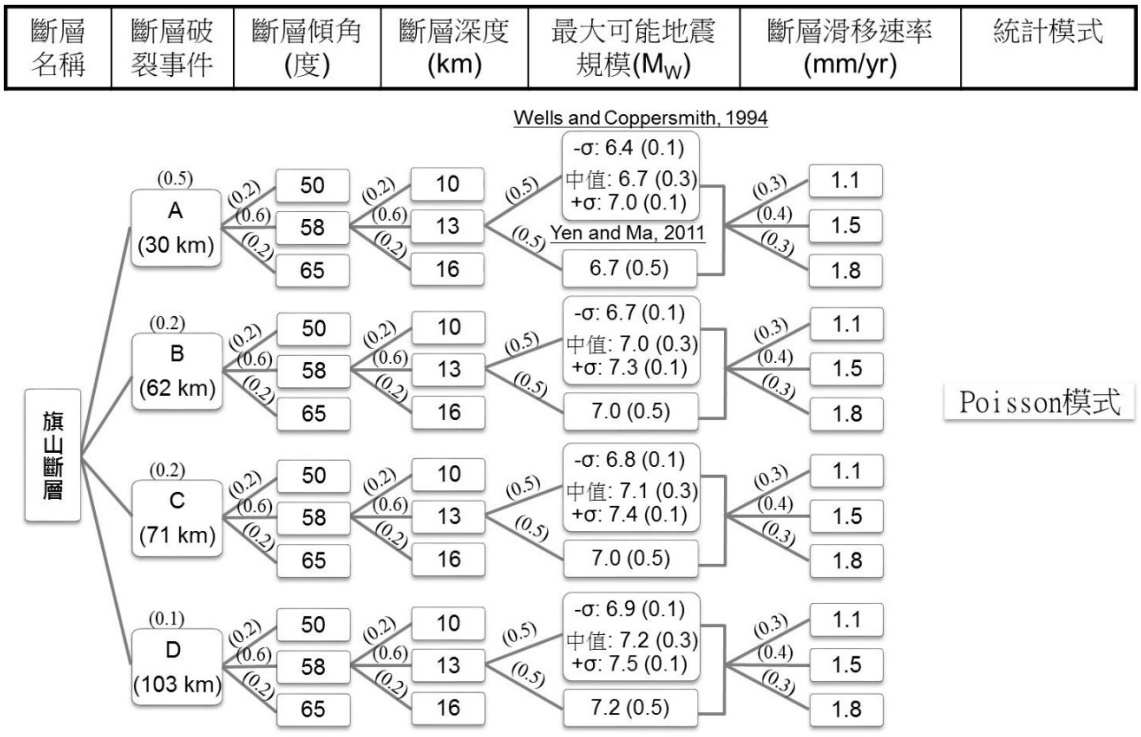


圖 7-1.2：旗山斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)。

Fig. 7-1.2 The logic tree structure of the Chishan fault (Hu et al., 2016).

7-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

為了建立旗山斷層更精確的幾何面，本計畫蒐集了幾條跨過旗山斷層的剖面圖，這些地質剖面對於旗山斷層的幾何解釋不盡相同，敘述如下：

圖 7-1.3 為黃旭燦等（2004）繪製的兩條地質平衡剖面，兩條剖面在龍船斷層處呈現反向逆衝斷層與構造三角帶的特徵，旗山斷層位於龍船斷層東側，傾角約 50 度，然剖面並未向東延伸，無法獲得旗山斷層幾何全貌。

根據洪日豪（2006）的地質剖面圖，旗山斷層於深度 0-6 公里，傾角約 67.5 度；深度 6-13.5 公里，傾角約 35 度（圖 7-1.4）。

Rodriguez-Roa and Wiltschiko (2010)參考地表地質圖、地層位態及速度場等資料模擬之地質平衡剖面則顯示，旗山斷層淺部為低角度逆斷層，深部則解釋為再活化的高角度古斷層面，如圖 7-1.5 所示。

陳文山等（2011、2012）平衡剖面顯示旗山斷層深度約 12 公里，斷層近地表傾角大約 35 度。

本計畫針對旗山斷層幾何面目前僅考慮斷坡幾何，主要是因為旗山斷層東側的潮州斷層是一主要的邊界斷層，旗山斷層往東延伸會被潮州斷層所截切，而在旗山斷層北段的內英斷層由於與潮州斷層距離很近，所以此處並無滑脫面即被潮州斷層截切。為了簡化斷層幾何參數，本計畫旗山斷層統一採用斷坡幾何，斷層幾何面考慮三種地質剖面之結果，如圖 7-1.7 所示，Case 1 為參考洪日豪剖面：「深度 0-6 公里，傾角 65 度；深度 6-13.5 公里，傾角 35 度」。Case 2 為參考陳文山剖面：「深度 0-1 公里，傾角 35 度；深度 1-3 公里，傾角 60 度；深度 3-11.5 公里，傾角 40 度」。Case 3 為參考 Rodriguez-Roa and Wiltschiko 剖面：「深度 0-3 公里，傾角 30 度；深度 3-12 公里，傾角 60 度」。

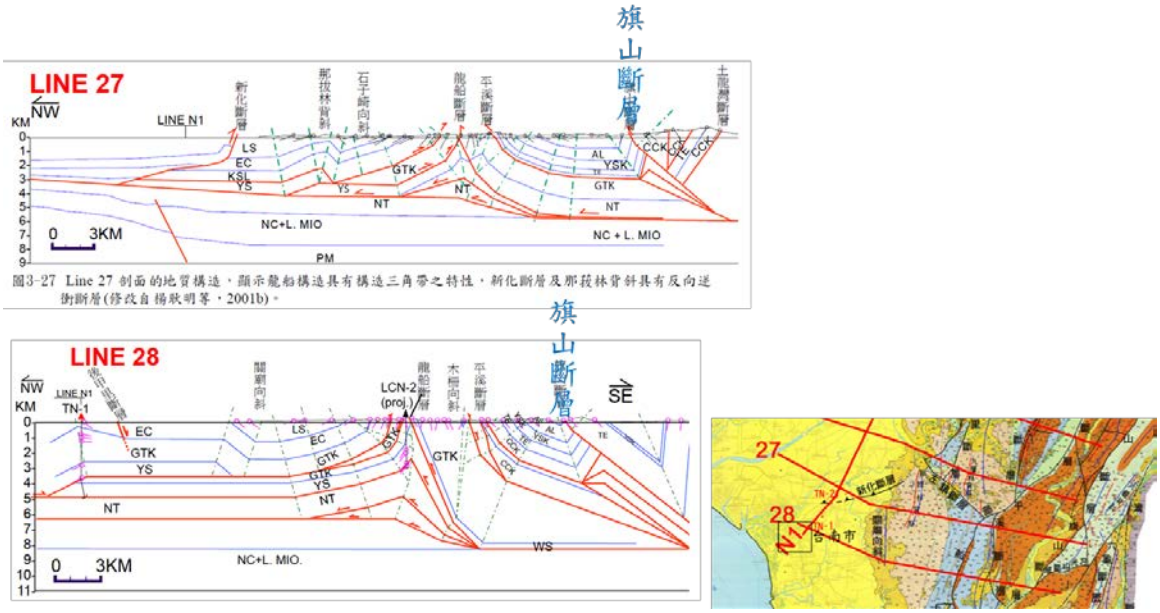


圖 7-1.3：台灣西南部地區 Line 27 及 Line 28 平衡剖面（黃旭燦等，2004）。

Fig. 7-1.3 The Line 27 and Line 28 balanced cross sections at SW Taiwan (Huang et al., 2004).

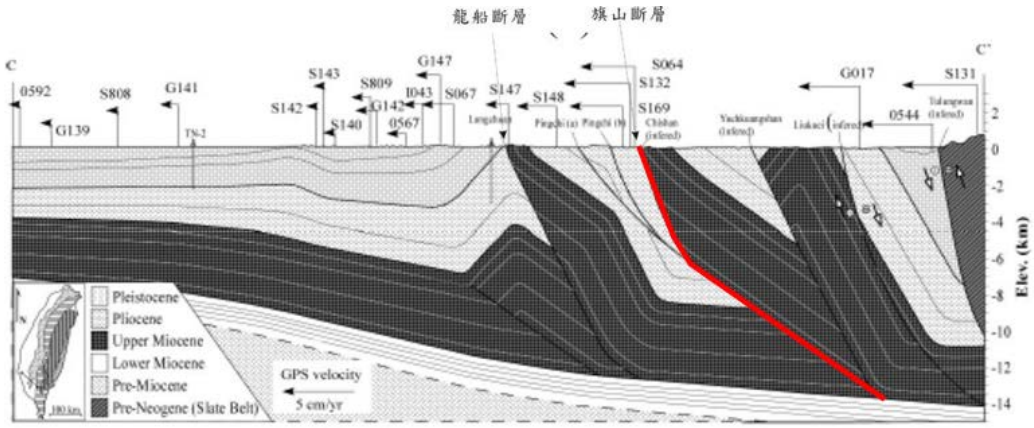


圖 7-1.4：西南部地區跨龍船斷層及旗山斷層的地質剖面圖（洪日豪，2006）。

Fig. 7-1.4 The geological cross section which acrosses the Lungchuan fault and the Chishan fault(Hung, 2006).

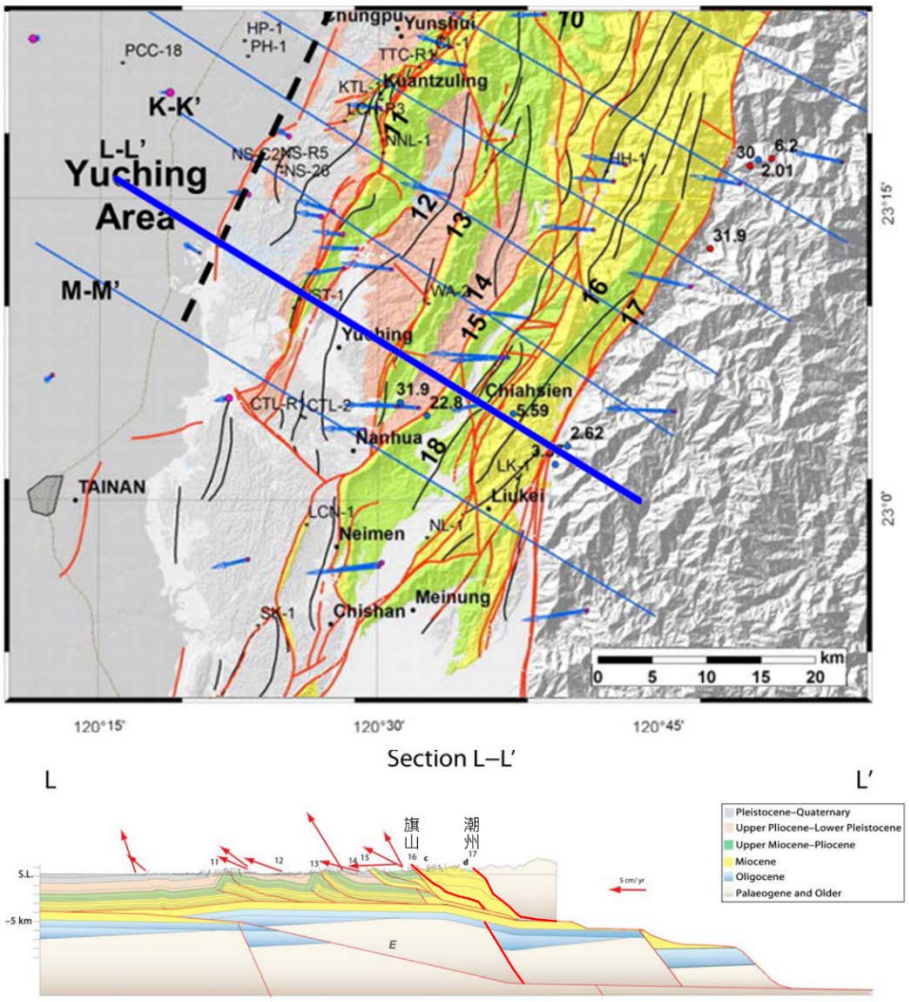


圖 7-1.5：L-L'地質平衡剖面圖。上圖為西部麓山褶皺逆衝帶地質圖，藍色實線為平衡剖面線位置，紅色實線為斷層線，黑色實線為褶皺軸；下圖為 L-L' 平衡剖面，紅色箭頭為投影的 GPS 速度場(Rodriguez-Roa and Wiltschiko, 2010)。

Fig. 7-1.5 Balanced cross section L-L' (Rodriguez-Roa and Wiltschiko, 2010).

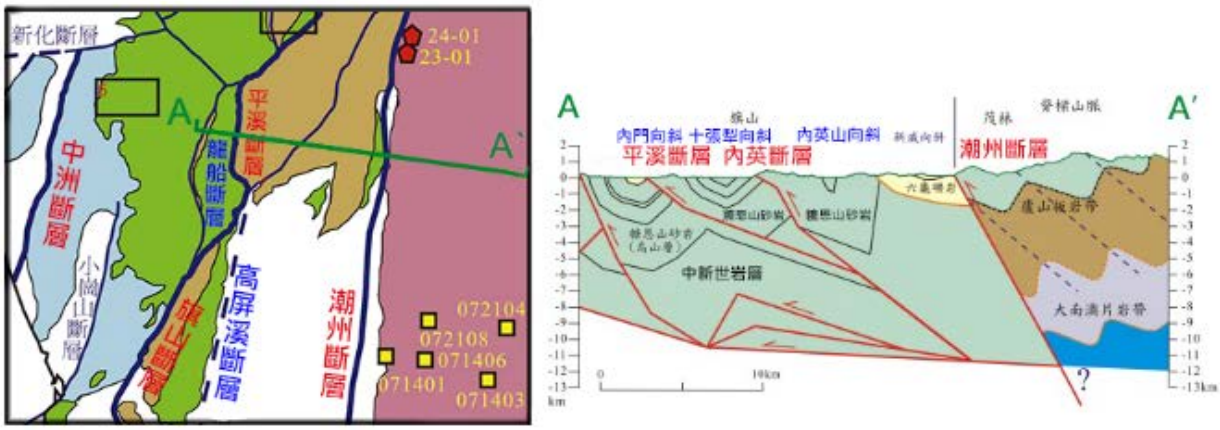


圖 7-1.6：西南部地區地質剖面圖（陳文山等，2011）。

Fig. 7-1.6 The geological cross section of southwestern Taiwan (Chen et al., 2011).

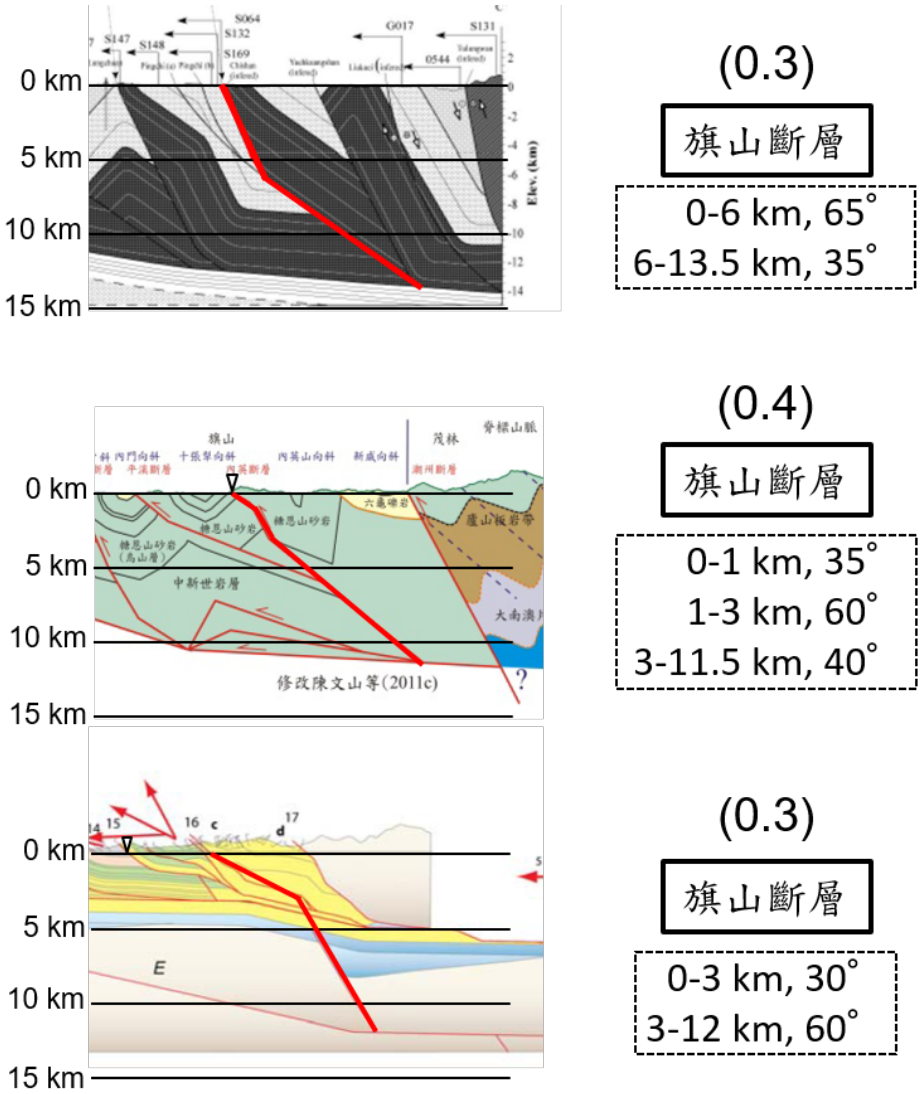


圖 7-1.7：本計畫旗山斷層幾何設定。

Fig. 7-1.7 This project's fault geometry model of the Chishan fault.

7-1-3 孕震深度分析

旗山斷層孕震深度空間分布資料，可參考圖 6-1.7 之 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度分布圖。圖中顯示旗山斷層 D90 之孕震深度約在 28~33 公里，高於本計畫邏輯樹最大 13.5 公里之設定。

陳文山（2016）整合速度構造剖面及地震深度分布（圖 7-1.8），地震深度一般比平衡剖面之滑脫面深。

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。

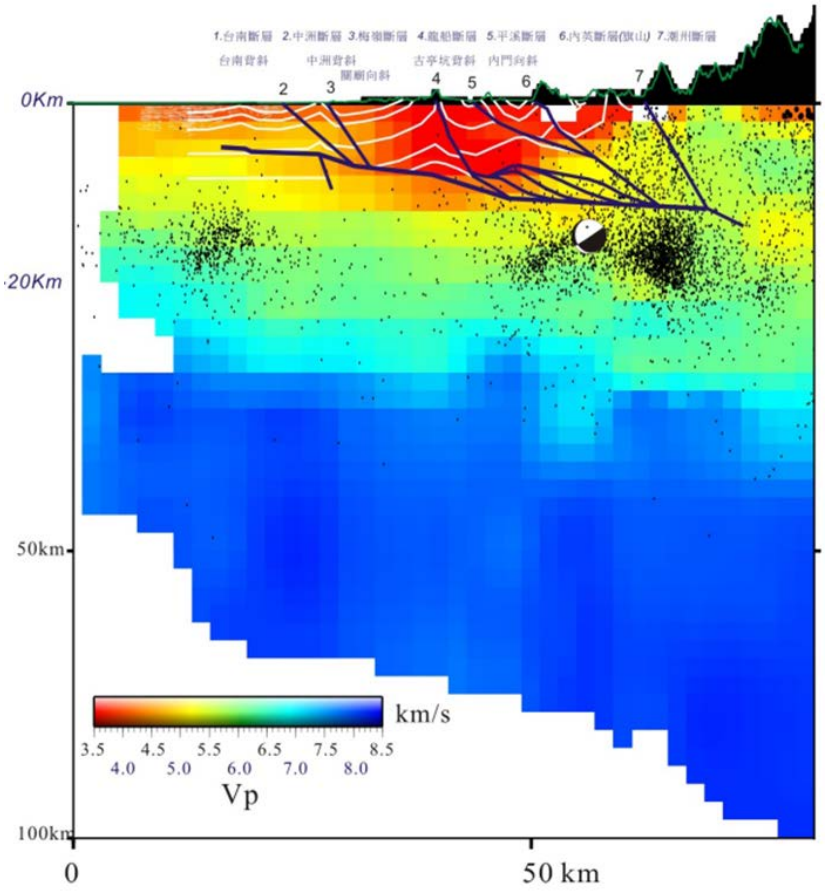


圖 7-1.8：西南部地區速度構造剖面圖及地震深度分布（陳文山，2016）。

Fig. 7-1.8 Vertical sections through the P-wave velocity model and the reocated seismicity dataset(Chen, 2016).

7-2 邏輯樹更新

本計畫針對旗山斷層邏輯樹更新，詳述如下：

旗山斷層之破裂模式，根據陳文山等（2005）區域地質圖描述，內英斷層與旗山斷層以旗山為分段點，兩條斷層兩側地層有很大的差異(圖 7-2.1)，內英斷層上盤為長枝坑層，下盤為隘寮腳層，旗山斷層下盤出露泥岩位主，上盤出露以砂岩、泥岩與礫岩為主。內英斷層與旗山斷層距離相近，且走向一致，並位在旗山斷層的延伸線上，因此不排除兩者一起破裂的可能性。另外，旗山斷層南段是否會向南延伸，根據地調所委託富國公司及顏一勤事務所（2016）在仁武地區的排鑽剖面調查(圖 7-2.2)，顯示於仁武 A 剖面中可發現旗山斷層，但在更往南之 B、C、D、E 剖面中則未見旗山斷層，推估旗山斷層並未如圖 7-2.1 南延至澄清湖。本計畫修改之旗山斷層分段破裂模式，如圖 7-2.3 所示，移除旗山斷層南段延伸部分，考慮 A 旗山斷層 30 公里，B 內英斷層 41 公里，C 旗山+內英斷層 71 公里三種模式。權重分配為分段破裂的可能性高於整段破裂可能性，分別為 A(0.4)、B(0.4)、C(0.2)。

旗山斷層幾何，根據 7-1-2 節之說明，參考各地質剖面及平衡剖面考慮三種情形，如圖 7-1.7 所示，Case 1 為「深度 0-6 公里，傾角 65 度；深度 6-13.5 公里，傾角 35 度」。Case 2 為「深度 0-1 公里，傾角 35 度；深度 1-3 公里，傾角 60 度；深度 3-11.5 公里，傾角 40 度」。Case 3 為「深度 0-3 公里，傾角 30 度；深度 3-12 公里，傾角 60 度」。因斷層幾何不確定性高，因此權重給予類似等權重的 0.3、0.4、0.3。

旗山斷層之滑移速率無發現新地質事證。陳文山等（2012）根據大社 A 剖面的鑽井(圖 7-2.4)認為旗山斷層是位於 KH92-G02 和 KH92-G03-F 井之間，將上下盤鑽井抬升速率相減，推估長期抬升速率約 1.0-1.6 mm/yr。今年度專家諮詢會議中，專家認為旗山斷層目前的活動有可能已遷至 KH92-G02 的西側，建議應考慮剖面中所有鑽井的抬升速率。彙整陳文山等（2012）大社 A 剖面的鑽井抬升速率資料如

表 7-2.1，本計畫推估長期抬升速率約 2.4-4.0 mm/yr，以本計畫幾何淺部傾角(30 度、35 度、65 度)換算至斷層面上得到淨滑移速率範圍為 2.6-8.0 mm/yr。因不確定性高，因此權重給予類似等權重的 0.3、0.4、0.3，本計畫設定邏輯樹權重為下界 2.6 mm/yr (0.3)、平均(2.6+8.0)/2=5.3 mm/yr (0.4)、上界 8.0 mm/yr (0.3)。

本計畫參考景國恩等（2019）「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（3/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOCKS 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較。表 7-2.2 為該計畫三種模型反演得到之結果。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 7-2.3 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

旗山斷層最近一次發生時間未知，因此採用 Poisson 模式進行評估。

旗山斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 7-2.5 所示。

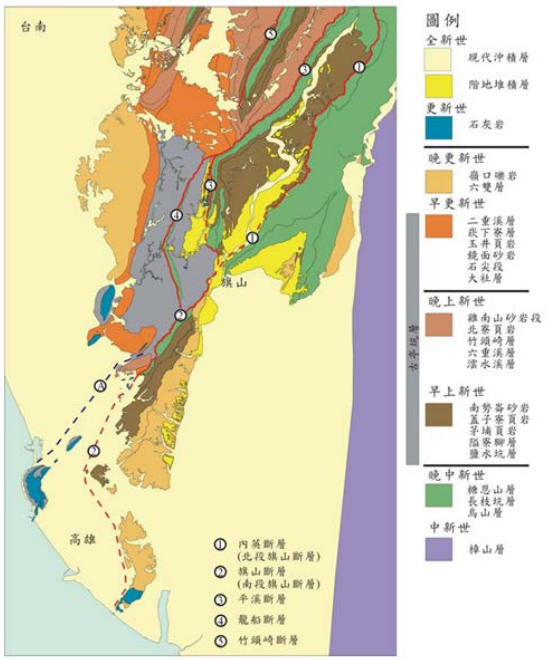


圖 7-2.1：旗山斷層鄰近區域地質圖(陳文山等，2005)。

Fig. 7-2.1 Regional geologic map around the Chishan fault (Chen et al., 2005).

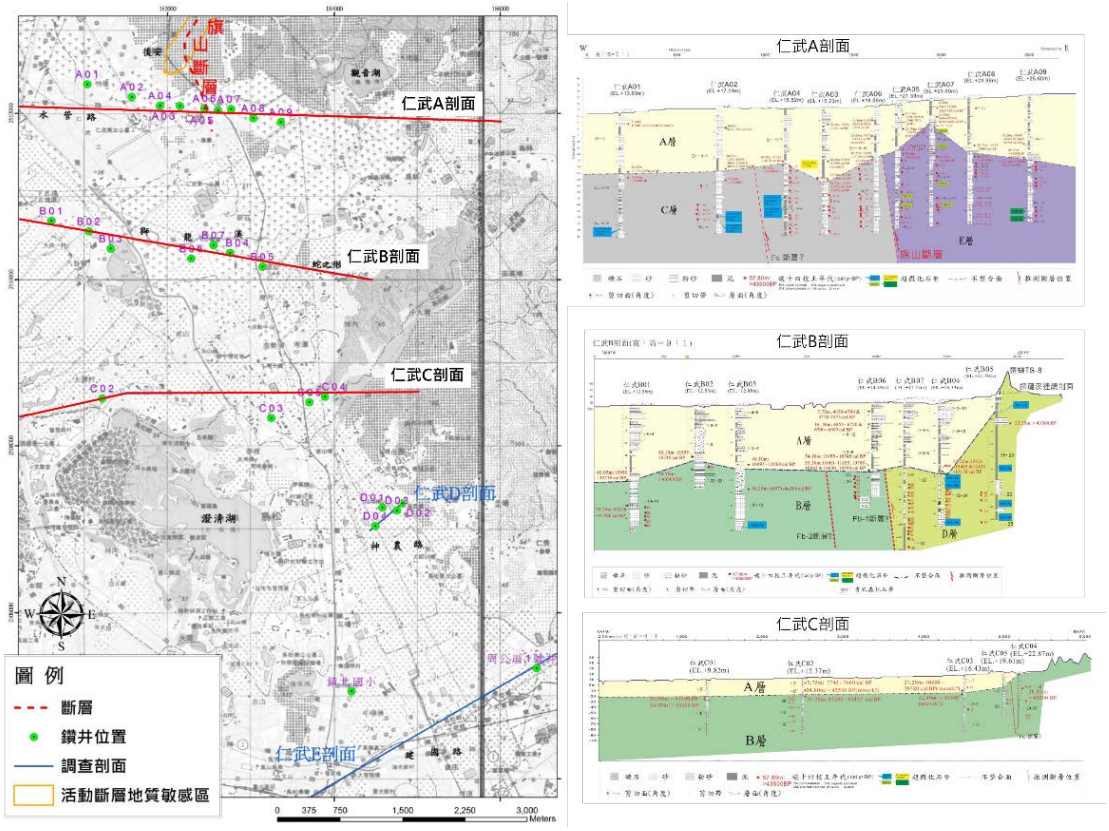


圖 7-2.2：旗山斷層向南延伸調查成果（富國公司及顏一勤事務所，2016）。

Fig. 7-2.2 The investigation results of southward extension from the Chishan fault.

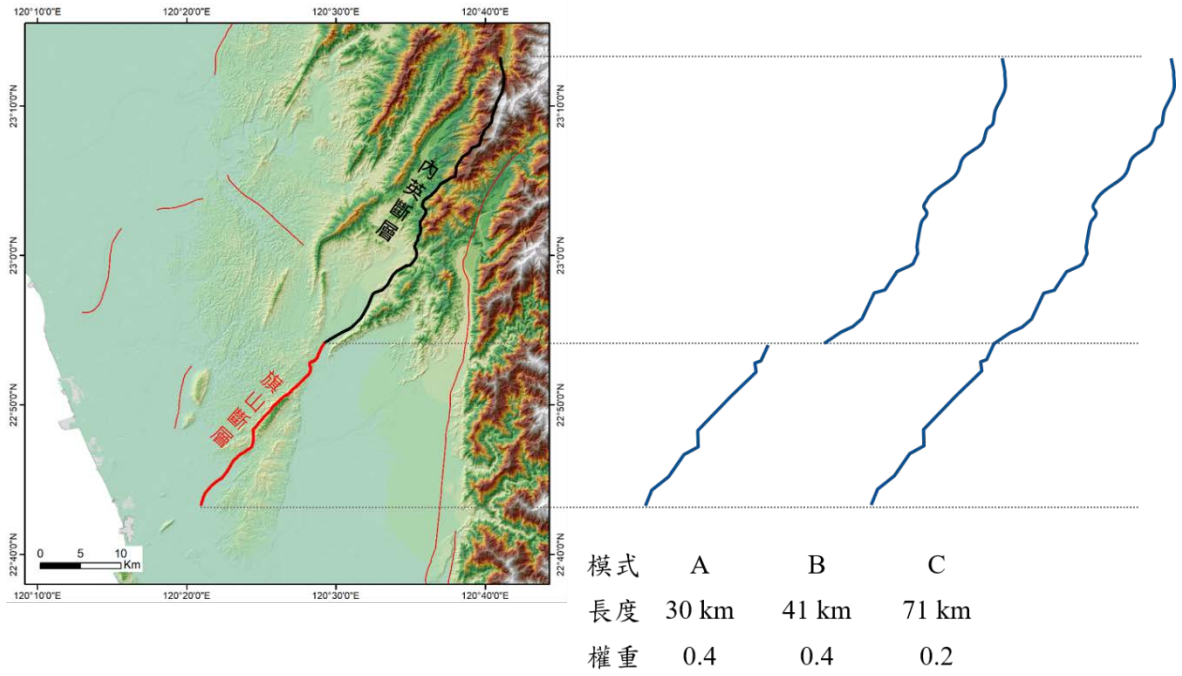


圖 7-2.3：本計畫旗山斷層之破裂模式。

Fig. 7-2.3 This project's rupture model of the Chishan fault.

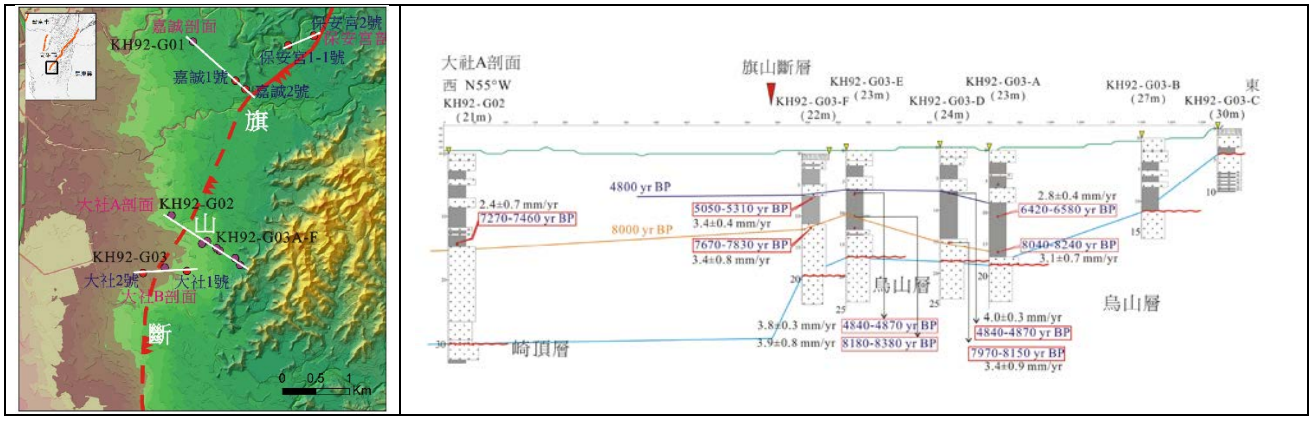


圖 7-2.4：大社 A 剖面岩芯柵狀圖(陳文山等，2012)。

Fig. 7-2.4 Dashe A profile of the collection from boreholes' logging (Chen et al., 2012)

表 7-2.1：大社 A 剖面鑽井樣本抬升速率彙整(陳文山等，2012)

Tab. 7-2.1 Dashe A profile borehole data and uplift rate (Chen et al., 2012)

井名	樣本	井深(公尺)	定年(yr BP)	抬升速率(mm/yr)
KH92-G02	碳質碎屑	14.2	7270-7460	2.4±0.7
KH92-G03-F	貝殼碎片	7.3	5050-5310	3.4±0.4
	貝殼碎片	11.8	7670-7830	3.4±0.8
KH92-G03-E	貝殼碎片	6.75	4840-4870	3.4±0.3
	貝殼碎片	10.5	8180-8380	3.9±0.8
KH92-G03-D	貝殼碎片	7.2	4840-4870	4.0±0.3
	貝殼碎片	15.1	7970-8150	3.4±0.9

表 7-2.2：旗山斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019)

Tab. 7-2.2 The slip deficit rate of the Chishan fault by model inversion (Ching et al., 2019)

模型		BLOCKS	DEFNODE	Baseline Inversion	加權平均滑移虧損速率 (mm/yr)
斷層名稱		總變動量 (mm/yr)	平均值滑移虧損率 (mm/yr)	斷層滑移速率平均值 (mm/yr)	
旗山斷層	上界	10	5.9	12.3	9.4
	平均	8.8 ± 0.6	1.7 ± 2.1	6.7 ± 2.8	5.9
	下界	7.6	0	1.1	2.9
權重		(0.35)	(0.30)	(0.35)	

表 7-2.3：旗山斷層各破裂事件規模計算

Tab. 7-2.3 The estimated magnitude for each rupture case of the Chishan fault.

破裂事件	長度 (km)	斷層幾何	寬度 (km)	面積 (km2)	Wells and Coopersmith, 1994 (破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011 (破裂面積-規模關係式) (Mw)
					-σ	中值	+σ	
A	30	深度 0-1 公里，傾角 35 度	17.3	519	6.5	6.8	7.1	6.7
B	41	深度 1-3 公里，傾角 60 度		709	6.6	6.9	7.2	6.9
C	71	深度 3-12 公里，傾角 60 度		1228	6.8	7.1	7.4	7.1

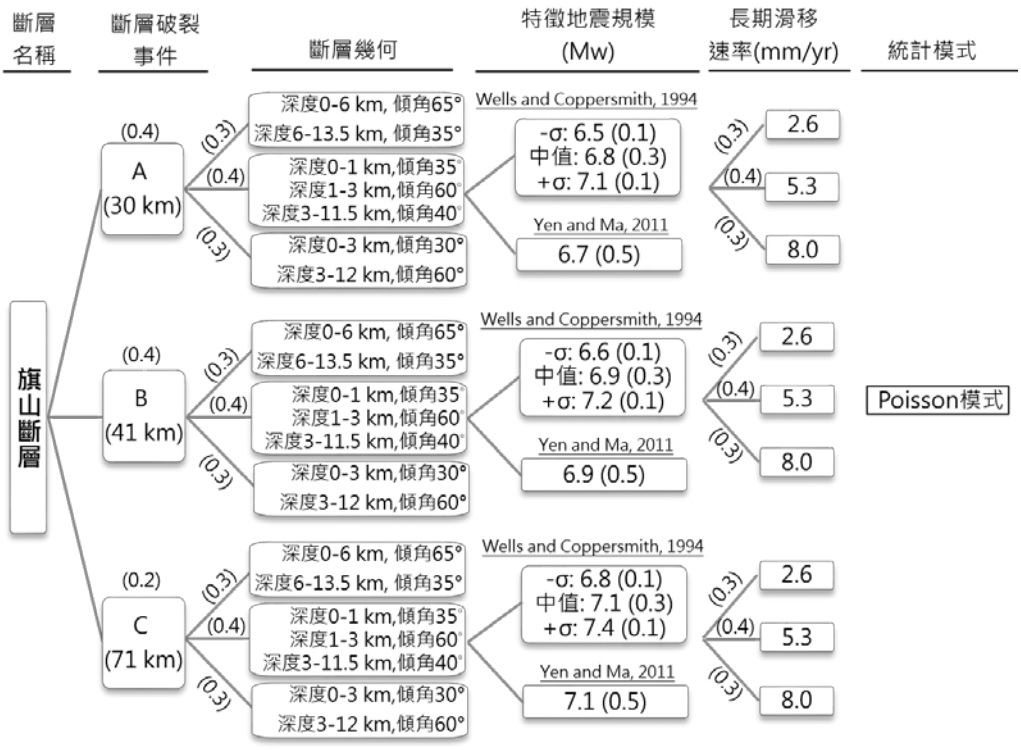


圖 7-2.5：旗山斷層更新邏輯樹(更新內容：破裂模式、幾何、規模、滑移速率)。

Fig. 7-2.5 The renewed logic tree of the Chishan fault.

7-3 規模與年發生率之關係

旗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 7-3.1 為 3 個破裂事件之特徵地震模式分布情形。

圖 7-2.5 之旗山斷層邏輯樹可得到 108 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 7-3.2 為 3 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.8 之權重最高；破裂模式 B 以規模 6.9 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.1 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 7-3.3 為 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

將 3 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 7-3.4（a）之旗山斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 7-3.4（b）之旗山斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

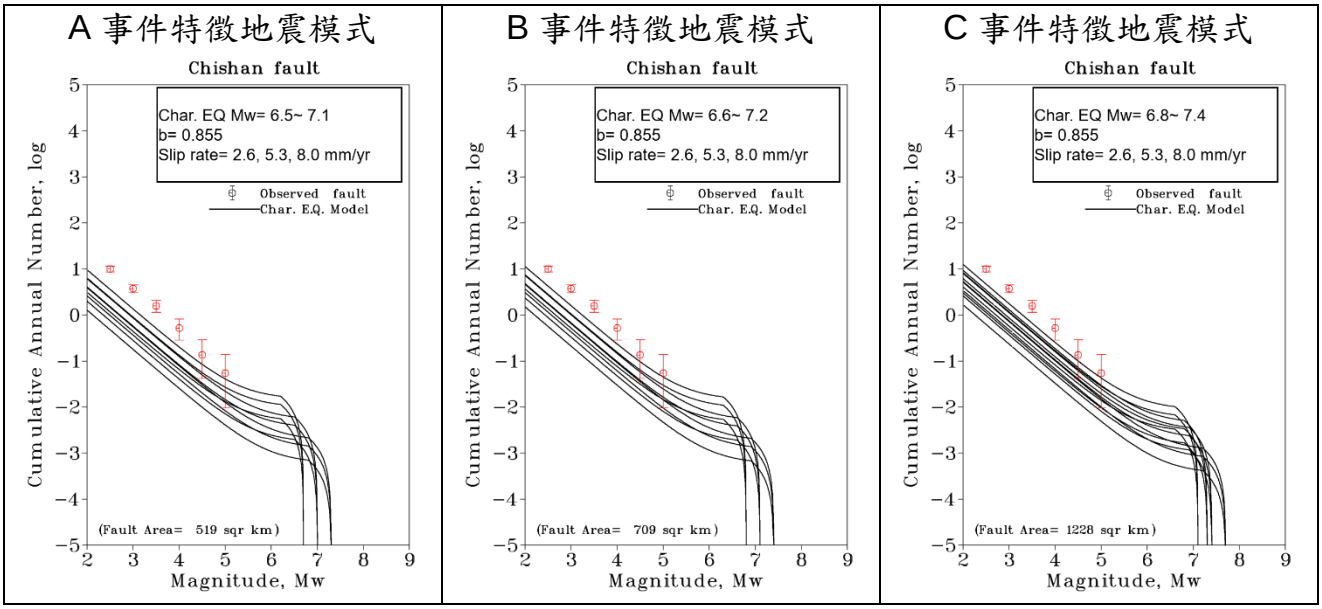


圖 7-3.1：旗山斷層各破裂事件特徵地震模式。

Fig. 7-3.1 The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for three rupture cases of the Chishan fault.

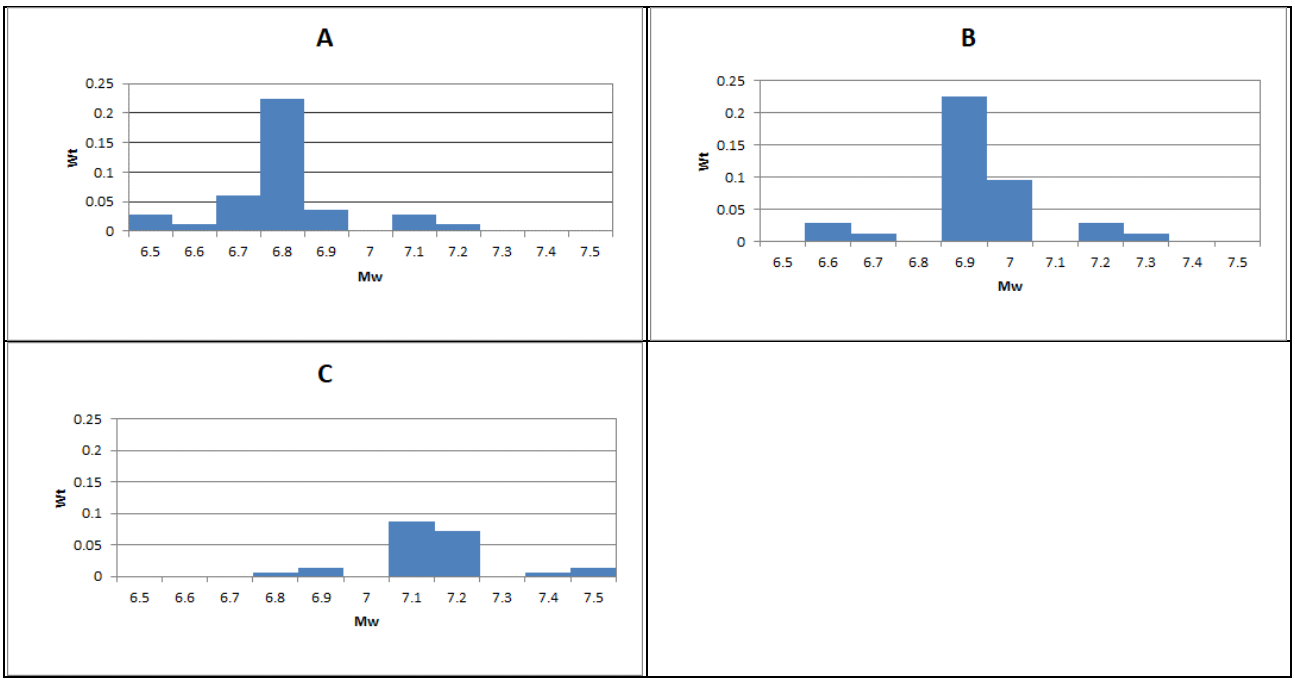


圖 7-3.2：旗山斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Fig. 7-3.2 The relationships between magnitude and weighting for three rupture cases of the Chishan fault.

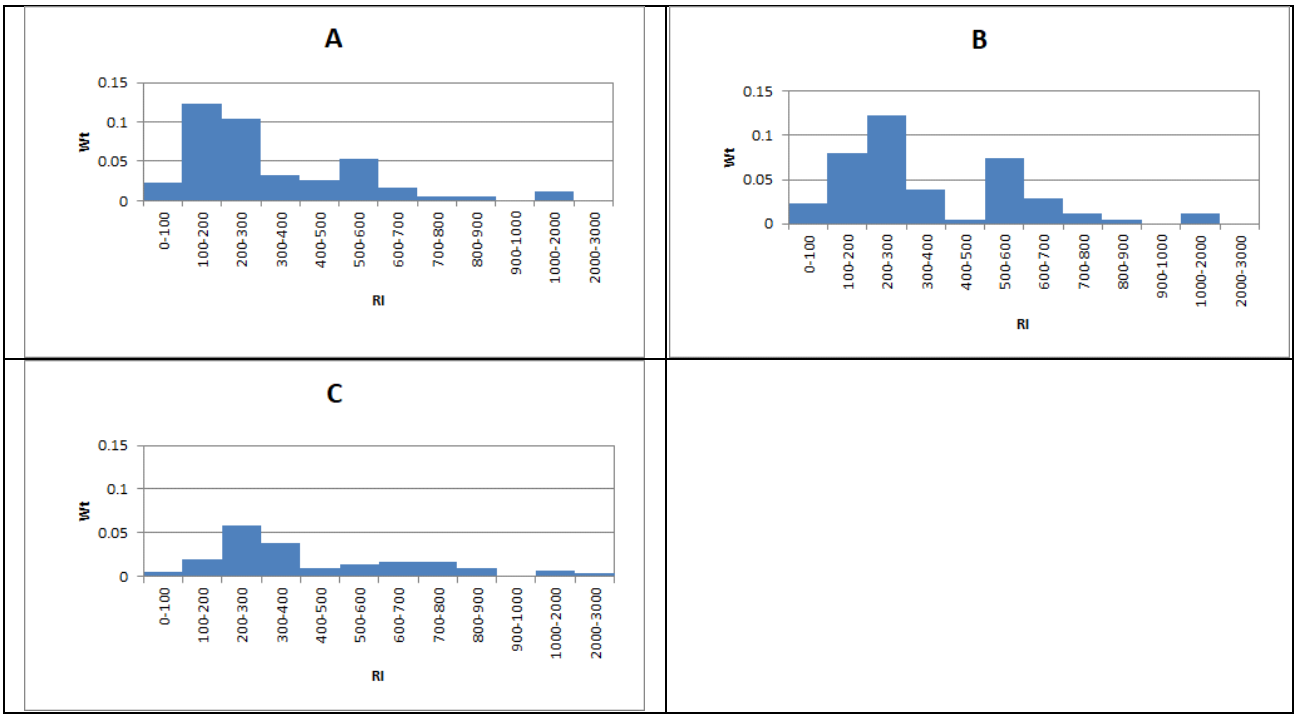


圖 7-3.3：旗山斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 7-3.3 The relationships between recurrence interval and weighting for three rupture cases of the Chishan fault.

（a）　　（b）

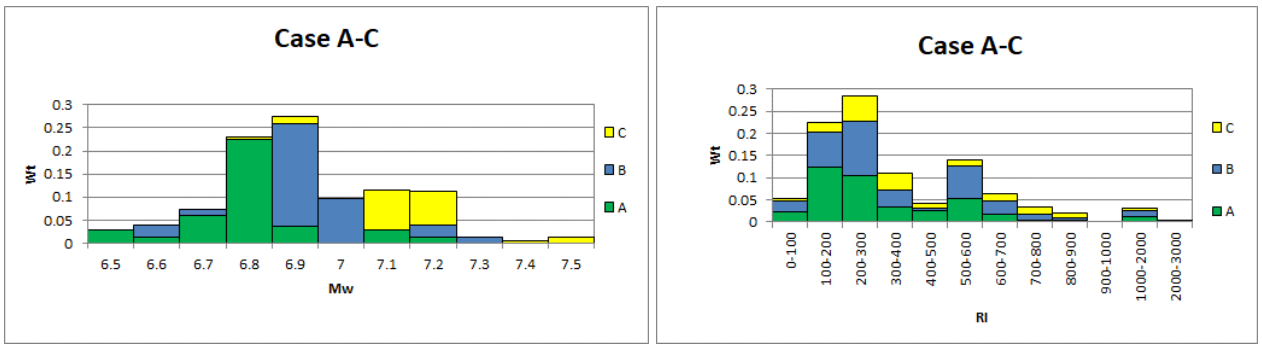


圖 7-3.4：（a）旗山斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）旗山斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

Fig. 7-3.4 (a)The summed magnitude - weighting relationship and (b) the summed recurrence interval - weighting relationship for the whole logic tree branches of the Chishan fault.

7-4 發震機率之推估

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

表 7-4.1 為旗山斷層前階段計畫評估之結果，起算時間為西元 2016 年，前階段計畫採用 POISSON 模式進行評估。

表 7-4.2 為旗山斷層 Poisson 模式評估之結果，起算時間為西元 2019 年，未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 11.4%、17.9%及 31.6%。

本計畫機率高於前階段計畫評估成果，推估是本計畫參考專家會議委員意見，將大社剖面鑽井抬升速率均視為旗山斷層上盤抬升，因此淨滑移速率高於前階段計畫。

表 7-4.1：前階段計畫旗山斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

Tab. 7-4.1 Earthquake probabilities for the Chishan fault in the previous project (Hu et al., 2016)

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.3 ≦ M ≦ 7.7	3.3%	5.4%	10.4%
M ≧ 6.5	3.2%	5.2%	10.1%

表 7-4.2：本計畫旗山斷層發生機率評估

Tab. 7-4.2 Earthquake probabilities for the Chishan fault in this project

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.5≦ M ≦7.5	11.4%	17.9%	31.6%

第八章、潮州斷層潛勢評估

本章 8-1 節先介紹前階段計畫本團隊劃設之潮州斷層邏輯樹成果，然後說明本計畫參數更新之項目，8-2 節則針對潮州斷層更新之參數進行邏輯樹重新劃設。8-3 節為利用特徵地震模式計算各邏輯樹節點之地震復發間隔結果，8-4 節為斷層未來 30、50 及 100 年的發震機率評估結果。

8-1 潮州斷層參數更新

8-1-1 前階段計畫成果

前階段計畫在評估潮州斷層系統之破裂，可分為 8 種破裂事件來探討(圖 8-1.1)，A 為北段破裂，B 為土壟灣斷層+北段破裂，C 為南段破裂，D 為南段+南段延伸破裂，E 為北段+南段破裂，F 為北段+南段+南段延伸破裂，G 為土壟灣斷層+北段+南段，H 為土壟灣斷層+北段+南段+南段延伸破裂。

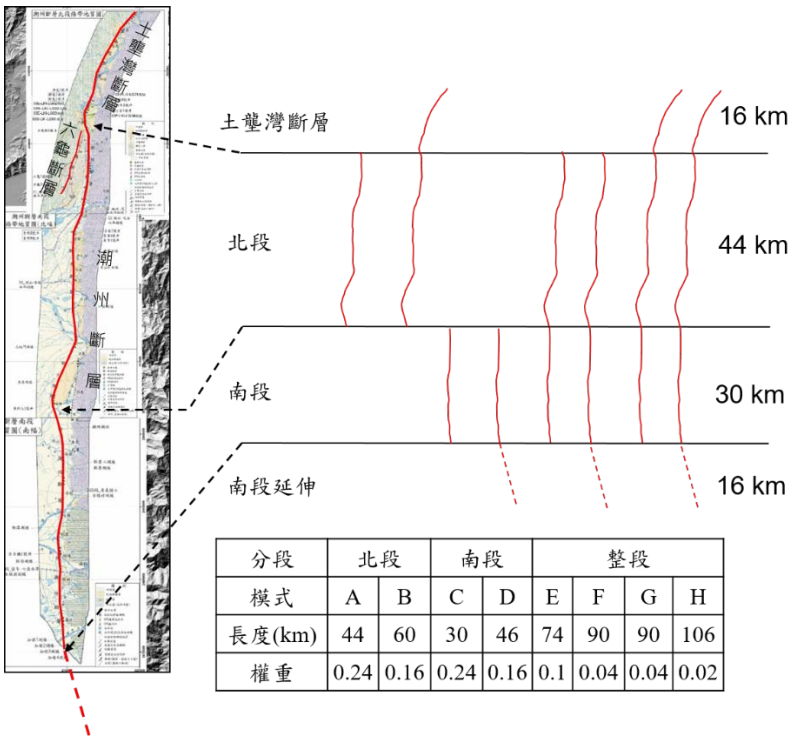
潮州斷層之傾角，根據所蒐集到之震測剖面及地震深度分布等資料，潮州斷層可能為屏東平原處之盲斷層，傾角 50 度，也有可能是位於中央山脈與屏東平原之高角度斷層，前一階段計畫認為傾角邏輯樹可設定 50 度為下限值，70 度為上限值。

潮州斷層之破裂深度，根據地震深度分布及速度構造剖面，應在 15~20 公里。

各破裂事件之特徵地震規模則代入 Wells and Coppersmith(1994)及 Yen and Ma（2011）之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith（1994）之標準差作為上下之分支。

潮州斷層之滑移速率，根據野外階地年代判斷及階崖高差量測，滑移速率約為 0.46 ~ 2.31 mm/yr。

潮州斷層前階段計畫邏輯樹詳如圖 8-1.2 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。



分段	北段		南段		整段			
模式	A	B	C	D	E	F	G	H
長度(km)	44	60	30	46	74	90	90	106
權重	0.24	0.16	0.24	0.16	0.1	0.04	0.04	0.02

圖 8-1.1：潮州斷層之破裂模式(胡植慶等，2016)。

Fig. 8-1.1 The rupture cases and weights of the Chaochou fault(Hu et al., 2016).

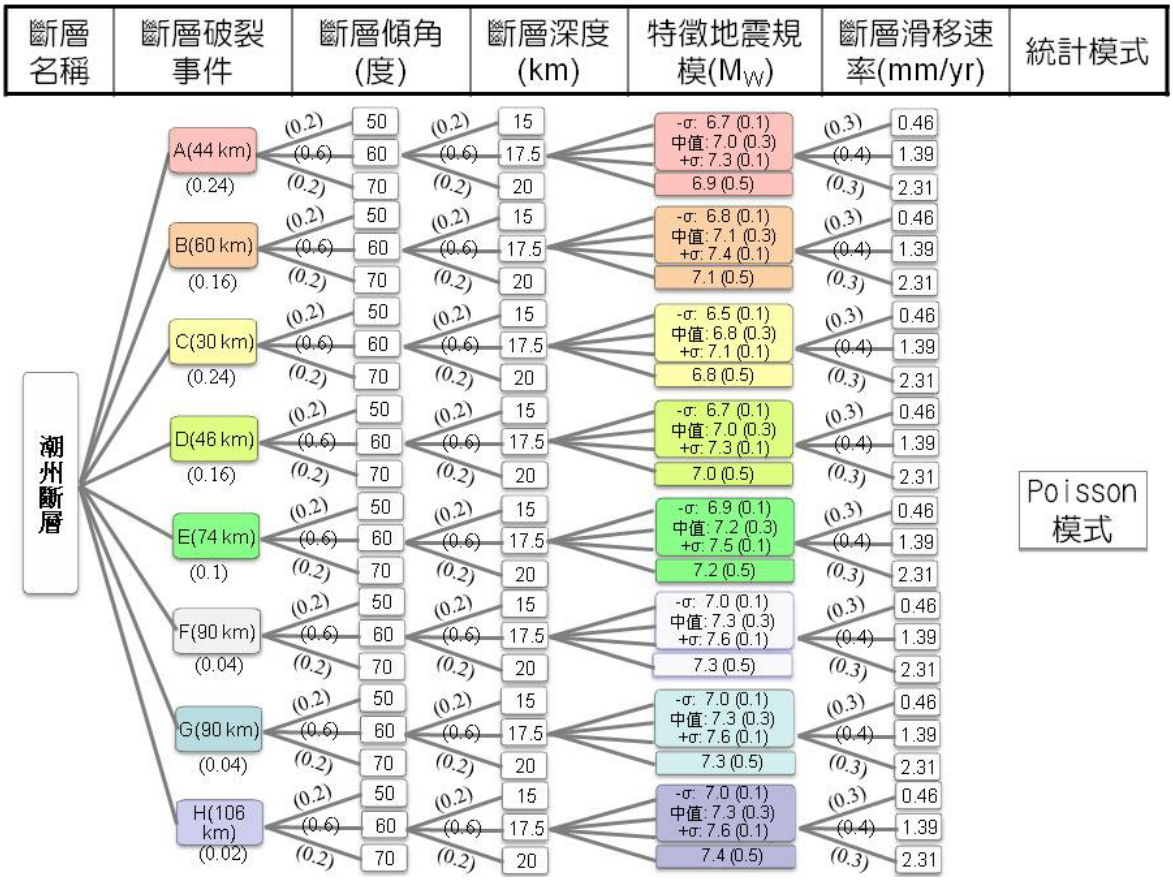


圖 8-1.2：潮州斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)。

Fig. 8-1.2 The logic tree structure of the Chaochou fault (Hu et al., 2016).

8-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

從蒐集到的地質剖面，顯示潮州斷層約 60~70 度，例如陳文山等（2011、2012）地質剖面，潮州斷層傾角為 62 度(圖 7-1.6)，Wiltschko et al., (2010)剖面則顯示潮州斷層傾角為 65 度(圖 8-1.3)。

圖 8-1.4 為 Cheng et al. (2012)之 Y120 及 Y100 兩個地震深度分布剖面，剖面圖顯示在潮州斷層(CF)下方均有叢集地震，推估潮州斷層應為高角度斷層，孕震深度可達 20 公里。

結合前一階段計畫蒐集的資料，潮州斷層幾何文獻、調查方法及參數彙整於表 8-1.1 中。

前一階段潮州斷層之傾角下限值設為 50 度，然而 50 度傾角比較不符合地震深度分布的情形，本計畫建議可將潮州斷層傾角範圍 50~70 度調整為 60~80 度。權重設定為 60 度（0.3）、70 度（0.4）、80 度（0.3）。潮州斷層之破裂深度則維持與前階段設定一致，破裂深度權重設定為 15 公里（0.3）、17.5 公里（0.4）、20 公里（0.3）。

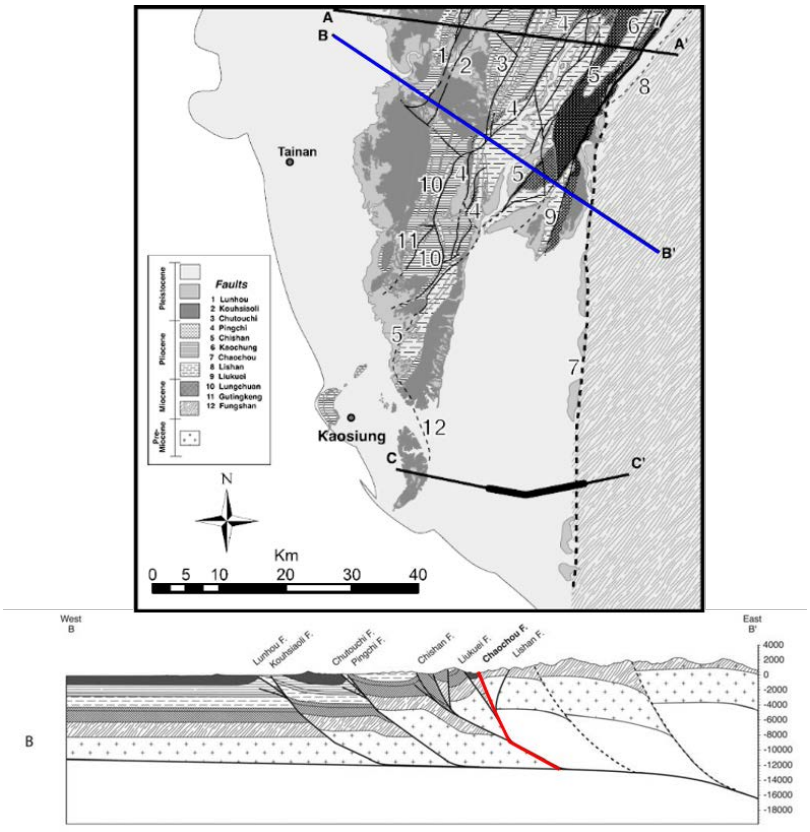


圖 8-1.3：台灣西南部地區地質平衡剖面圖(Wiltschko et al., 2010)。

Fig. 8-1.3 The B-B’ balanced cross section located in southwestern Taiwan (Wiltschko et al., 2010).

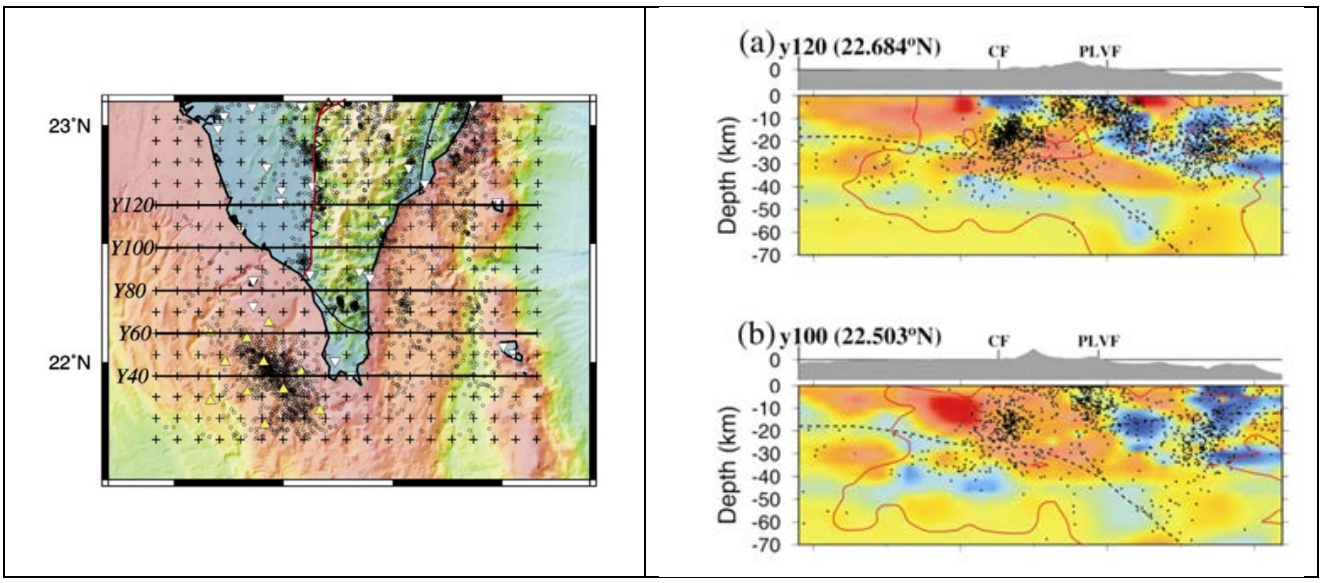


圖 8-1.4：臺灣南部地震分布及速度構造剖面及地震深度分布圖。左圖為地震分布圖及剖面線位置，地震為中央氣象局 1990~2008 地震目錄；右圖為 Y120 及 Y100 P 波速度構造及地震深度分布剖面(Cheng et al.，2012)。

Fig. 8-1.4 Vertical cross-sections of P-wave velocity along profiles from (a) north (Y120) to (b) south (Y100) sections. Black dots indicate relocated hypocenters(Cheng et al.，2012).

表 8-1.1：潮州斷層幾何資料及文獻列表

參考文獻	調查方法	傾角	深度
謝世雄(Hsieh, 1970)	重力資料	東傾 75~80°	-
Chiang, 1971	震測與鑽井剖面	50°	-
林昱圻，2008	淺層震測資料	高角度	-
Wiltschko et al., 2010	構造地質剖面	深度 0-9 km，65° 深度 9-13 km，30°	13 km
陳文山等，2011	構造地質剖面	深度 0-14 km，62°	14 km
Cheng et al., 2012	地震深度分布剖面		孕震帶約 15-20 公里

8-1-3 孕震深度分析

參考 Cheng et al. (2012)之地震深度分布(圖 8-1.5)，潮州斷層地震主要集中在深度 20 公里範位內。圖 8-1.6 則為跨過潮州斷層北段的 E-E'及 F-F'速度構造剖面及地震深度分布(Camanni et al., 2016)，剖面中位於潮州斷層(ChF)下方的地震叢集顯示了孕震深度約在 20 公里左右。

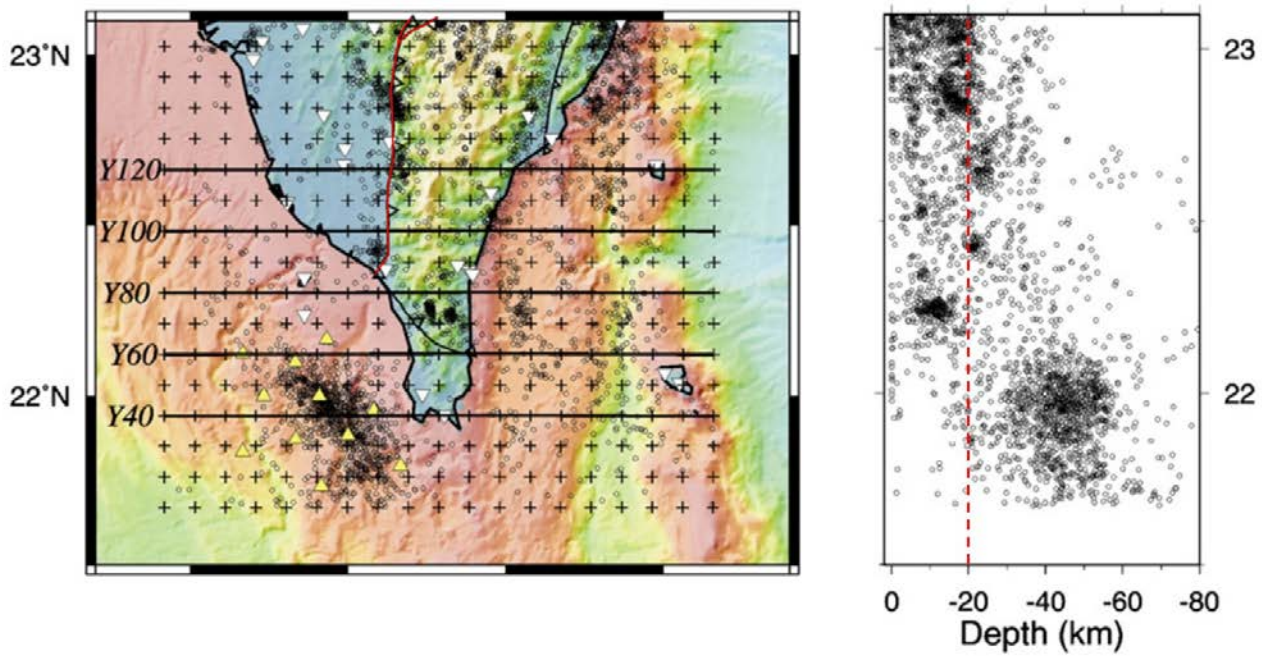


圖 8-1.5：臺灣南部地震分布圖及投影至南北向的深度分布圖。地震為中央氣象局 1990~2008 地震目錄(Cheng et al.，2012)。

Fig. 8-1.5 Grid nodes (crosses) and earthquakes (open circles). Inverted open triangles denote permanent stations of the Central Weather Bureau Seismographic Network (Cheng et al., 2012).

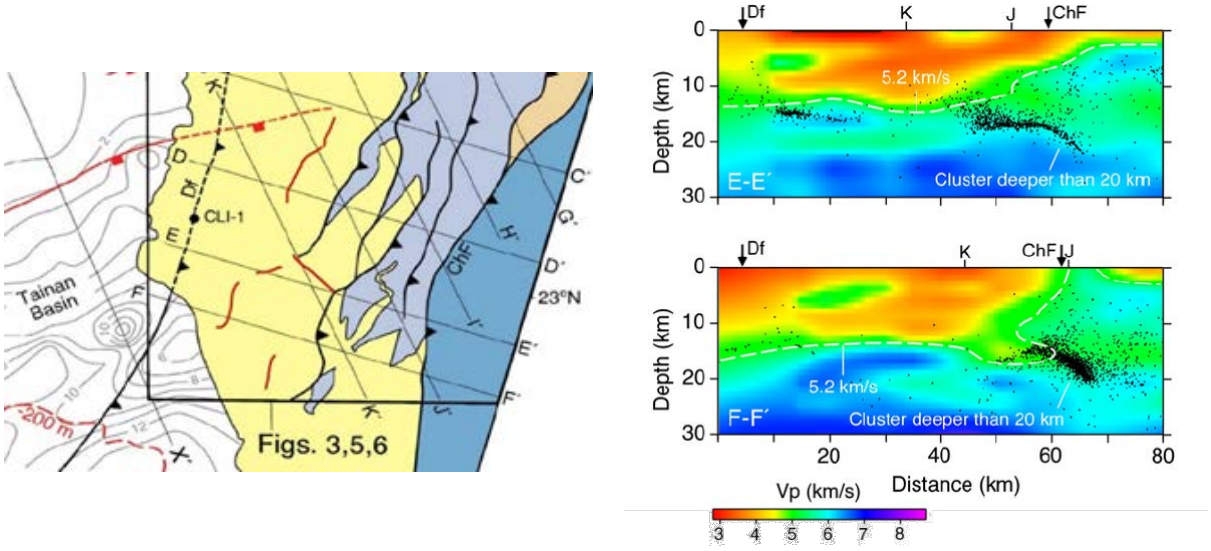


圖 8-1.6：台灣西南地區 P 波速度構造剖面及重定位地震。左圖為剖面及構造線分布圖，右圖為 E-E'及 F-F'的速度構造剖面及地震深度分布(Camanni et al., 2016)。

Fig. 8-1.6 E-E' and F-F' vertical sections through the 3D P-wave velocity model and the reocated seismicity dataset(Camanni et al., 2016).

8-2 邏輯樹更新

本計畫針對潮州斷層邏輯樹更新，詳述如下：

潮州斷層之破裂模式無修改，同圖 8-1.1。

潮州斷層幾何，根據 8-1-2 節之說明，傾角範圍修改為 60~80 度，因不確定性較高，權重為 60 度(0.3)、70 度(0.4)、80 度(0.3)。破裂深度與前階段計畫一致，設為 15~20 公里，因不確定性較高，權重為 15 公里(0.3)、17.5 公里(0.4)、20 公里(0.3)。

潮州斷層之滑移速率無發現新地質事證。前階段計畫根據 TEM（2014）野外調查成果，青葉扇階位於圖 8-2.1（a）中 4 號點之處，該處地形崖從地形剖面中可量得高差約 60 公尺高，如圖 8-2.1（b）所示。從階地崖照片（圖 8-2.1（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 60 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 0.40~2.00 mm/yr，以斷層面傾角 70 度換算，則斷層面長期滑移速率約為 0.43~2.13 mm/yr。計畫權重分配為 0.43 mm/yr（0.3），(0.43+2.13)/2=1.28 mm/yr（0.4），2.13 mm/yr（0.3）。

本計畫參考景國恩等（2019）「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（3/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOCKS 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較。表 8-2.1 為計畫潮州斷層滑移虧損速率計算之結果。

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 8-2.2 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

潮州斷層最近一次發生時間未知，因此採用 Poisson 模式進行評估。

潮州斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 8-2.2 所示。

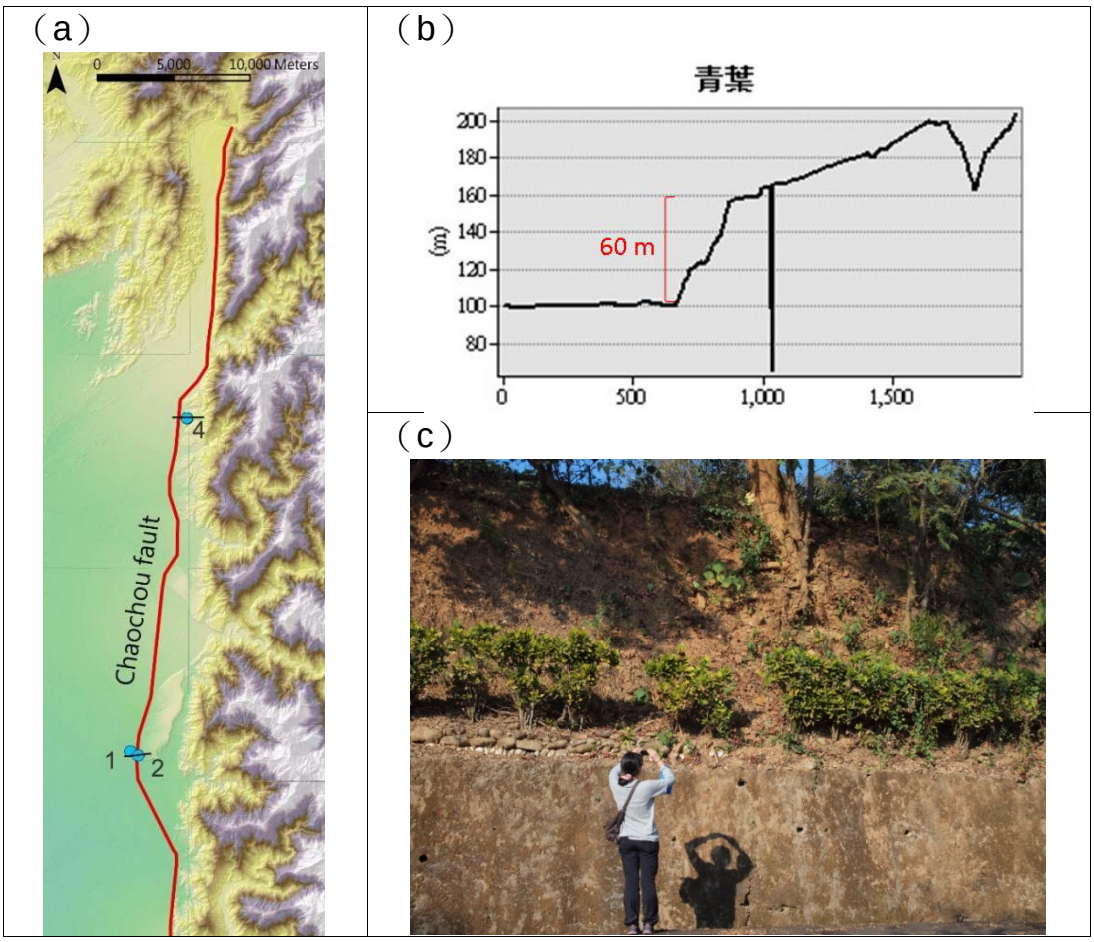


圖 8-2.1：潮州斷層沿線地形崖高程剖面及照片。（a）潮州斷層（紅色實線）沿線構造線形平面位置及野外調查點位（藍色實心圓圈）分布；（b）青葉之 DEM 地形剖面圖，剖面線位於（a）中之 4 號點位旁之黑色實線；（c）4 號調查點位階地崖照片（TEM, 2014）。

Fig. 8-2.1 The topographic profile across the scarp of the Chaochou fault and the picture of this scarp (TEM, 2014).

表 8-2.1：潮州斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019)

Tab. 8-2.1 The slip deficit rate of the Chaochou fault by model inversion (Ching et al., 2019)

模型		BLOCKS	DEFNODE	Baseline Inversion	加權平均滑移虧損速率 (mm/yr)
斷層名稱		總變動量 (mm/yr)	平均值滑移虧損率 (mm/yr)	斷層滑移速率平均值 (mm/yr)	
潮州斷層	上界	7.6	7.3	13.9	9.6
	平均	5.4 ± 1.1	2.5 ± 2.4	5.5 ± 4.2	4.5
	下界	3.2	0	0	1.1
權重		(0.35)	(0.30)	(0.35)	

表 8-2.2：潮州斷層系統各破裂事件規模計算

Tab. 8-2.2 The estimated magnitude for each rupture case of the Chaochou fault

斷層名稱	破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	寬度 (km)	傾角 (度)	面積 (km2)	Wells and Coopersmith, 1994(面積)			Yen and Ma, 2011(面積)
							-σ	中值	+σ	
潮州斷層	A	44	17.5	18.6	70	819	6.7	7.0	7.3	6.9
	B	60	17.5	18.6	70	1117	6.8	7.1	7.4	7.0
	C	30	17.5	18.6	70	559	6.5	6.8	7.1	6.7
	D	46	17.5	18.6	70	857	6.7	7.0	7.3	6.9
	E	74	17.5	18.6	70	1378	6.9	7.2	7.5	7.2
	F	90	17.5	18.6	70	1676	6.9	7.2	7.5	7.3
	G	90	17.5	18.6	70	1676	6.9	7.2	7.5	7.3
	H	106	17.5	18.6	70	1974	7.0	7.3	7.6	7.4

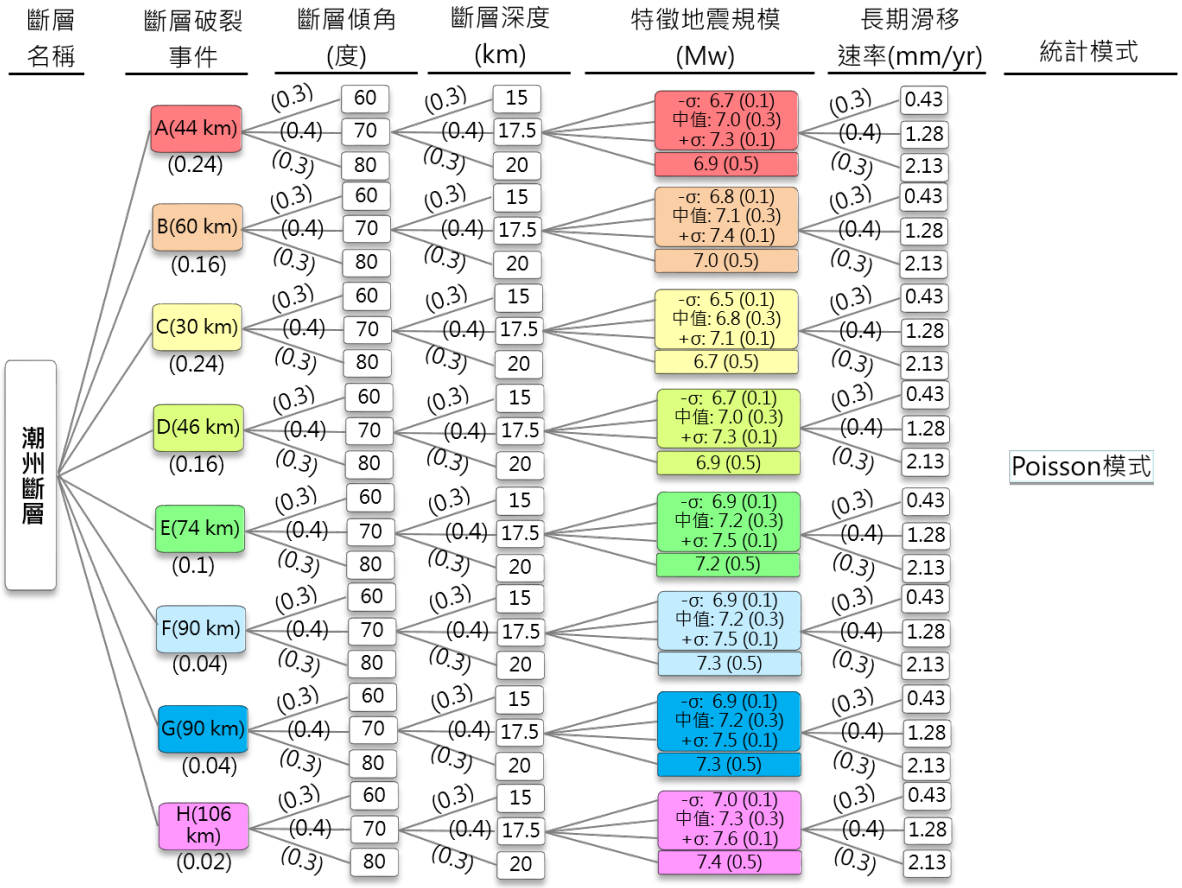


圖 8-2.2：潮州斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層傾角)。

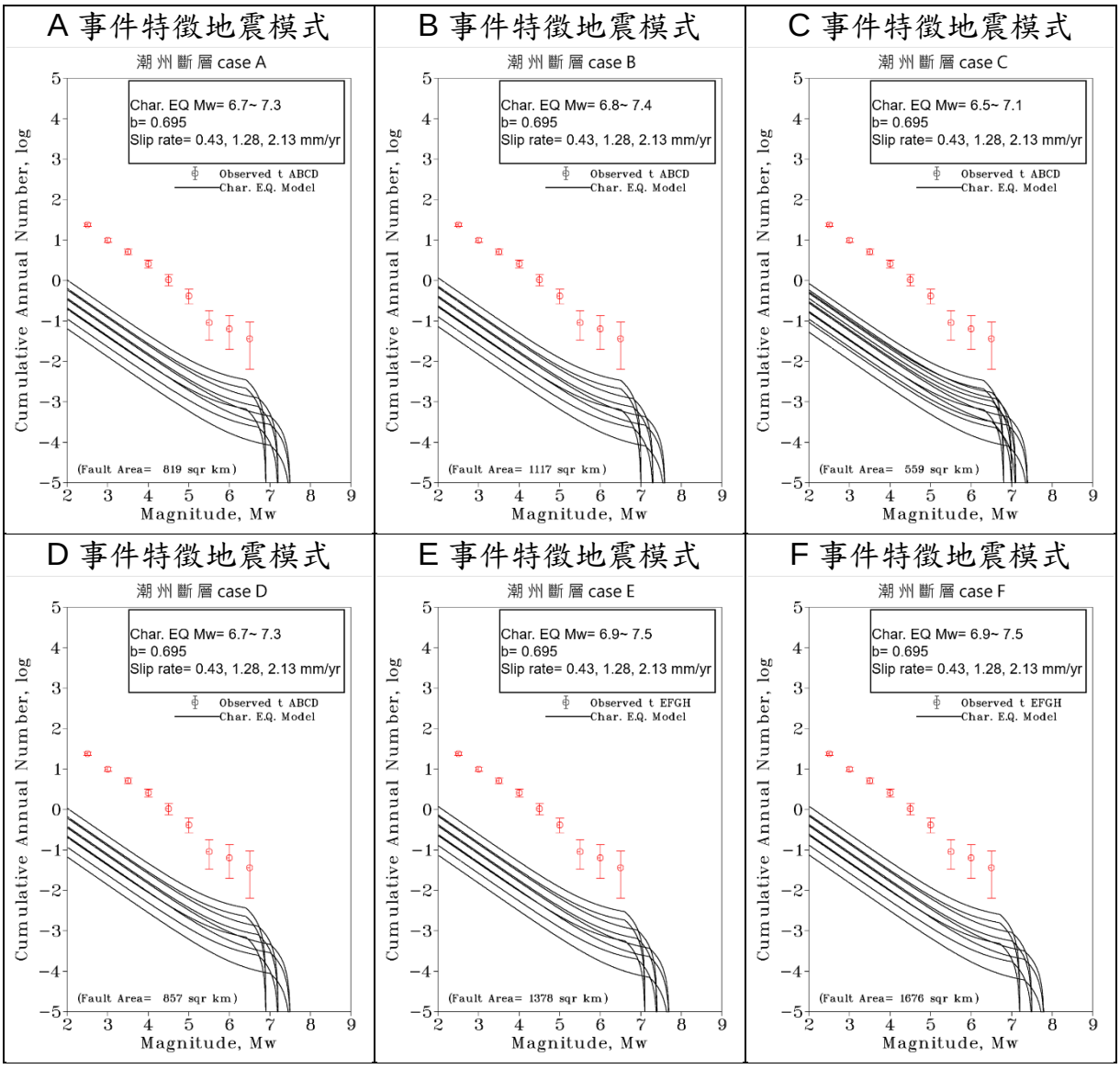
Fig. 8-2.2 The renewed logic tree of the Chaochou fault.

8-3 規模與年發生率之關係

潮州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 8-3.1 為 8 個破裂事件取邏輯樹中值之特徵地震模式分布情形。

圖 8-2.2 之潮州斷層邏輯樹可得到 864 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 8-3.2 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 7.0 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 6.8 之權重最高；破裂模式 D 以規模 7.0 之權重最高；破裂模式 E 以規模 7.2 之權重最高；破裂模式 F 以規模 7.3 之權重最高；破裂模式 G 以規模 7.3 之權重最高；破裂模式 H 以規模 7.4 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 8-3.3 為 8 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

將 8 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 8-3.4（a）之潮州斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 8-3.4（b）之潮州斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。



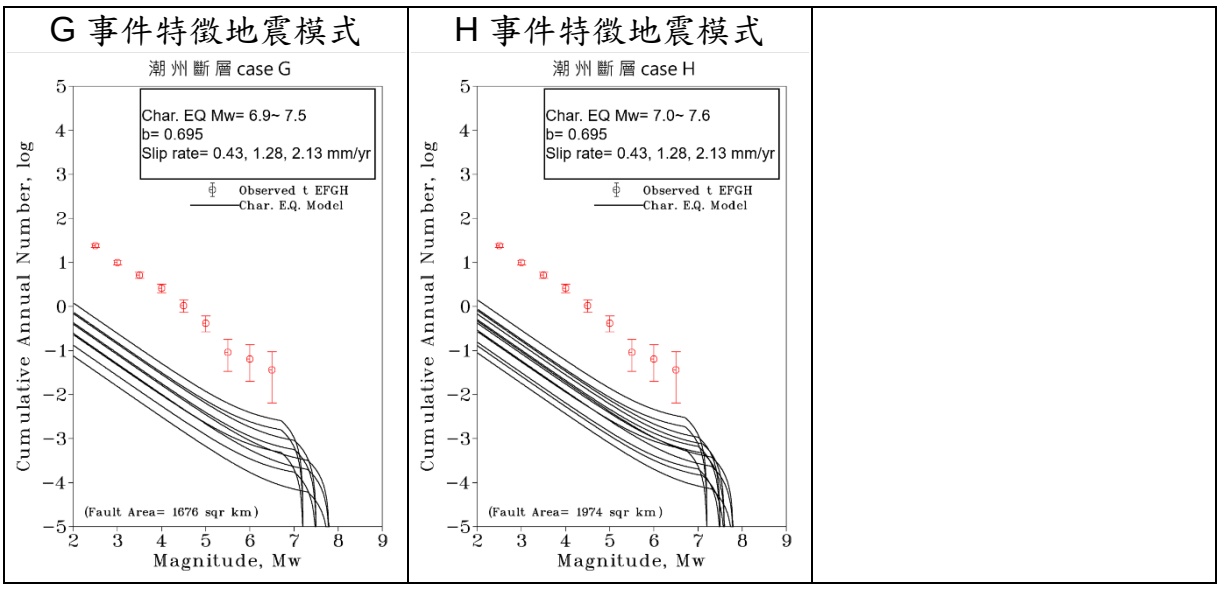
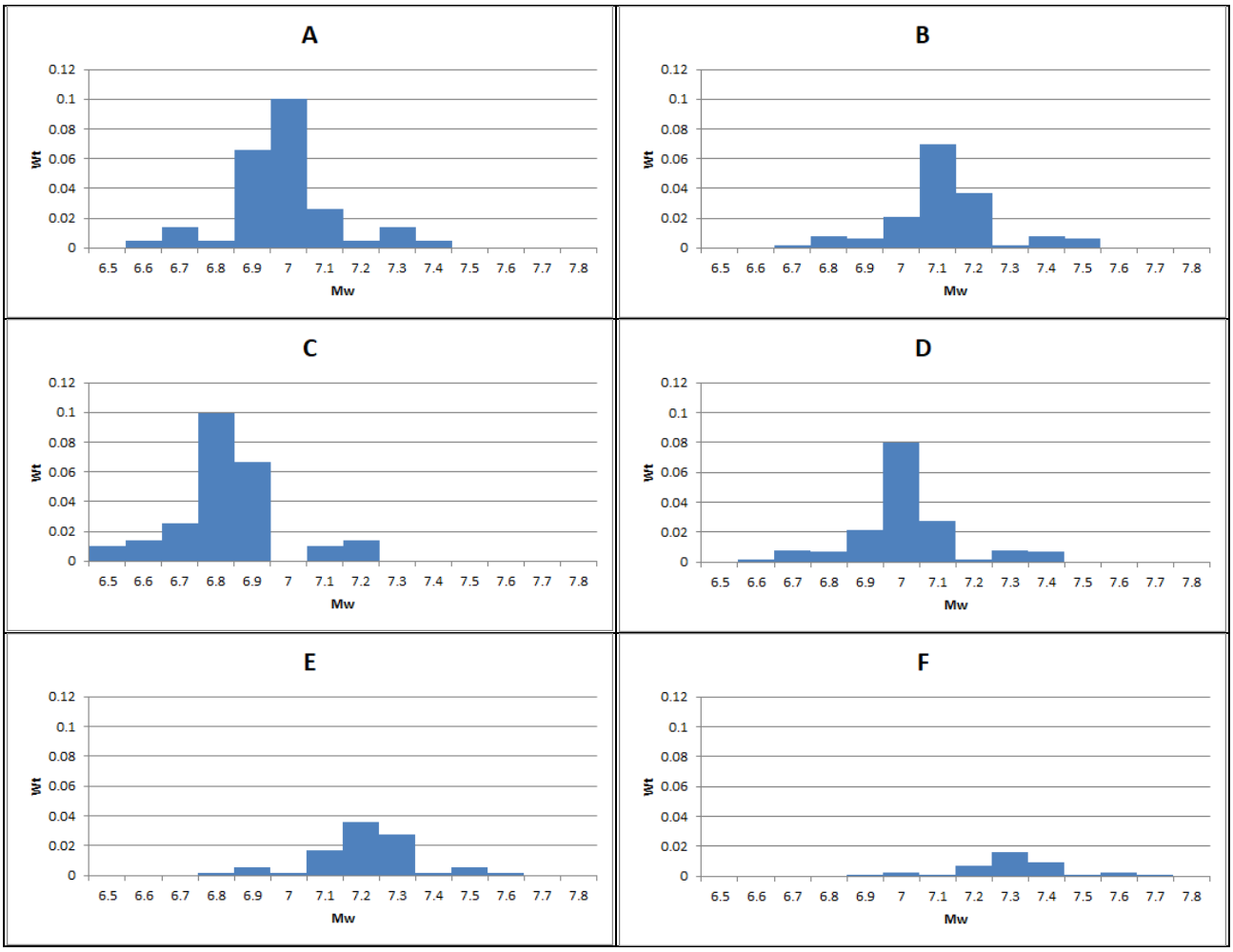


圖 8-3.1：潮州斷層各破裂事件特徵地震模式。

Fig. 8-3.1 The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for each rupture case of the Chaochou fault.



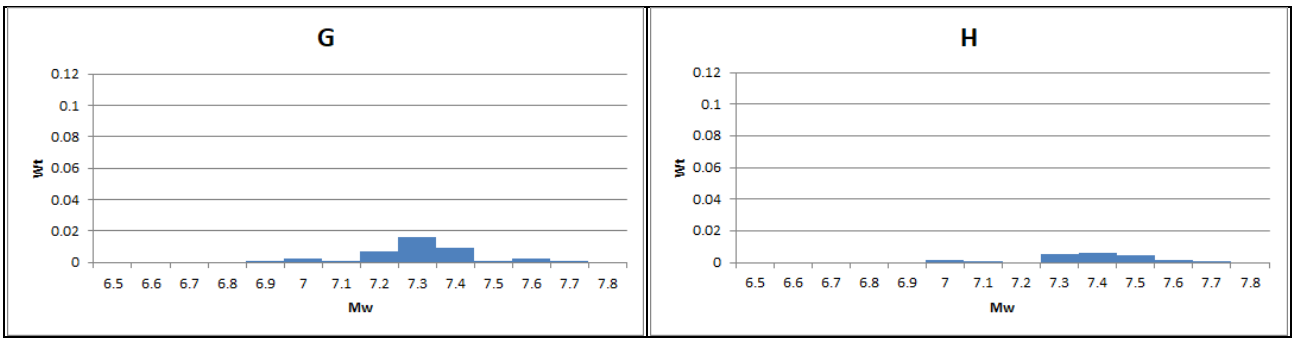
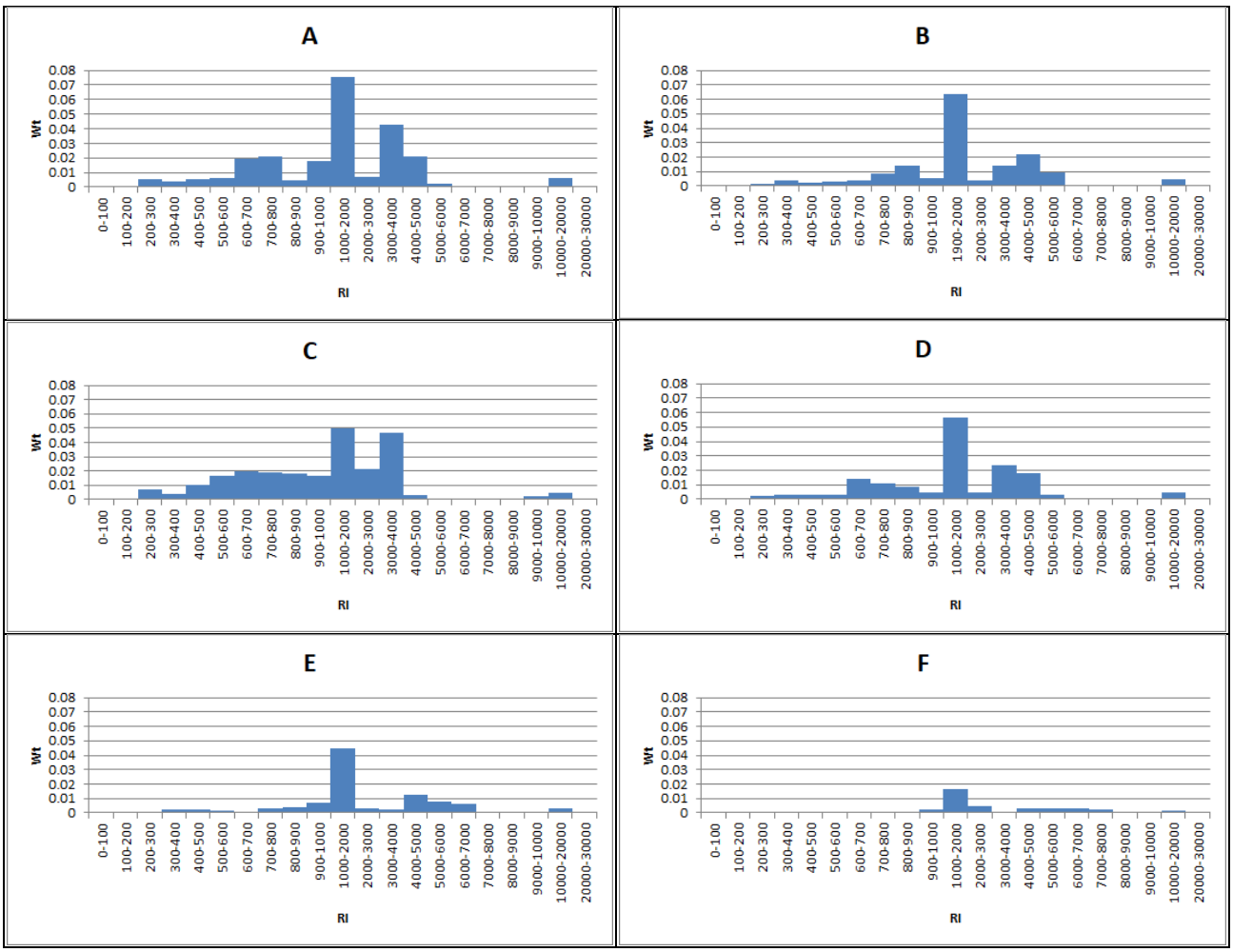


圖 8-3.2：潮州斷層 8 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Fig. 8-3.2 The relationships between magnitude and weighting for eight rupture cases of the Chaochou fault.



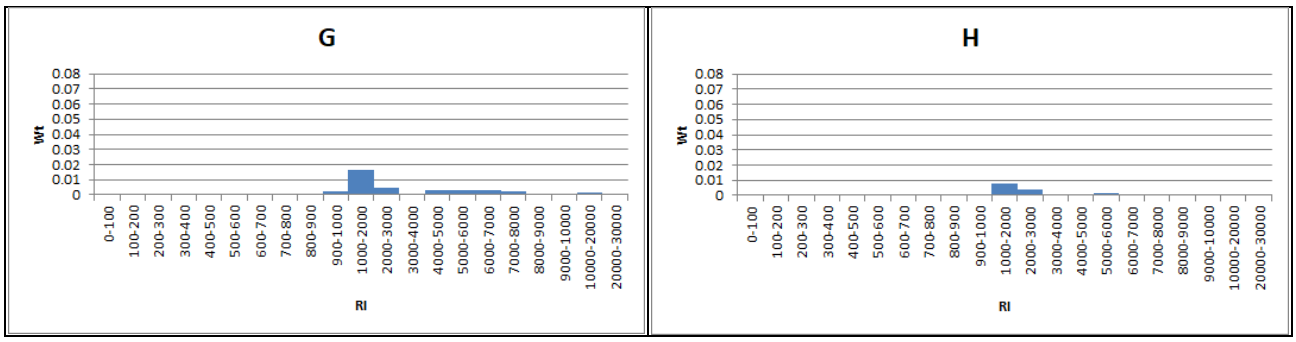


圖 8-3.3：潮州斷層 8 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 8-3.3 The relationships between recurrence interval and weighting for eight rupture cases of the Chaochou fault.

（a）　　（b）

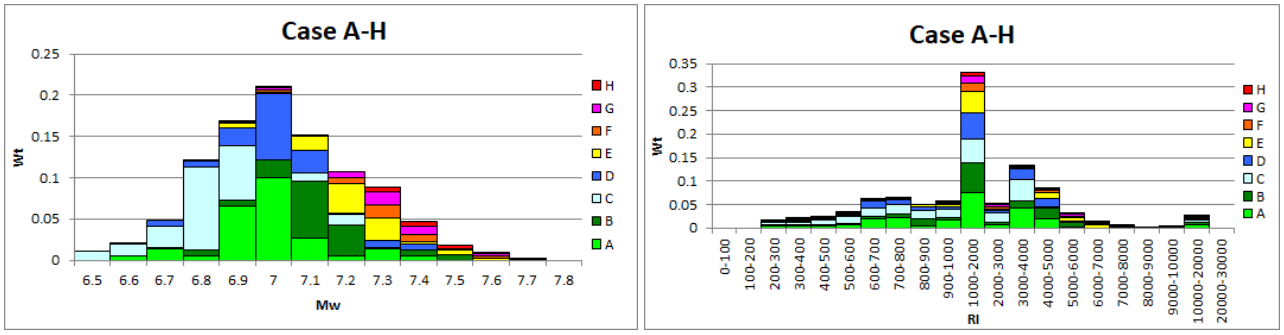


圖 8-3.4：（a）潮州斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）潮州斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

Fig. 8-3.4 (a)The summed magnitude - weighting relationship and (b) the summed recurrence interval - weighting relationship for the whole logic tree branches of the Chaochou fault.

8-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算潮州斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，潮州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 8-4.1 為潮州斷層前階段計畫評估之結果，起算時間為西元 2016 年，前階段計畫僅採用 POISSON 模式進行評估。

表 8-4.2 為潮州斷層 Poisson 模式評估之結果，起算時間為西元 2019 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 2.5%、4.2%及 8.1%。

本計畫機率與前階段計畫評估成果差別不大。

表 8-4.1：前階段計畫潮州斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

Tab. 8-4.1 Earthquake probabilities for the Chaochou fault in the previous project (Hu et al., 2016)

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.5 ≦ M ≦ 7.8	2.7%	4.4%	8.6%

表 8-4.2：本計畫潮州斷層發生機率評估

Tab. 8-4.2 Earthquake probabilities for the Chaochou fault in this project

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.5≦ M ≦7.7	2.5%	4.2%	8.1%

第九章、恆春斷層潛勢評估

本章 9-1 節介紹前階段計畫本團隊劃設之恆春斷層邏輯樹成果，然後說明本計畫參數更新之項目，9-2 節則針對恆春斷層更新之參數進行邏輯樹重新劃設。9-3 節為利用特徵地震模式計算各邏輯樹節點之地震復發間隔結果，9-4 節為斷層未來 30、50 及 100 年的發震機率評估結果。

9-1 恆春斷層參數更新

9-1-1 前階段計畫成果

前階段對於恆春斷層破裂模式的評估，考慮三種破裂模式：A 為陸域破裂，長度為 18 公里，B 為南部海域延伸段破裂，長度 23 公里，C 為整段破裂，長度 41 公里（圖 9-1.1）。

恆春斷層之傾角，一般從震測及地形推估恆春斷層為高角度斷層，向東傾 70 度，然中興公司（2012）根據鑽井推估西恆春斷層之傾角為 45 度，前階段計畫考慮以上兩種情形，以傾角 70 度當作邏輯樹上限值，45 度當作邏輯樹下限值，邏輯樹中間值則採用兩者平均(70+45)/2= 57.5 度。

恆春斷層之破裂深度，由於從地震分布中無法觀察到恆春斷層孕震深度，因此參考 Cheng et al.（2012）P 波速度構造剖面及附近地震群深度分布，推測孕震深度約 14-18 公里，因此深度以 14、16、18 公里為邏輯樹數值。

恆春斷層之滑移速率，主要是利用海階地及珊瑚礁定年計算垂直抬升速率，假設斷層為逆斷層滑動，將垂直滑移速率換算至斷層面之長期滑移速率，可得到長期滑移速率範圍。前階段計畫長期滑移速率設定邏輯樹下限為 1.5；邏輯樹上限為 6.5；邏輯樹中值則採用(1.5+6.5)/2 =4.0。

恆春斷層之特徵地震規模，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。

恆春斷層前階段計畫邏輯樹詳如圖 9-1.2 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。

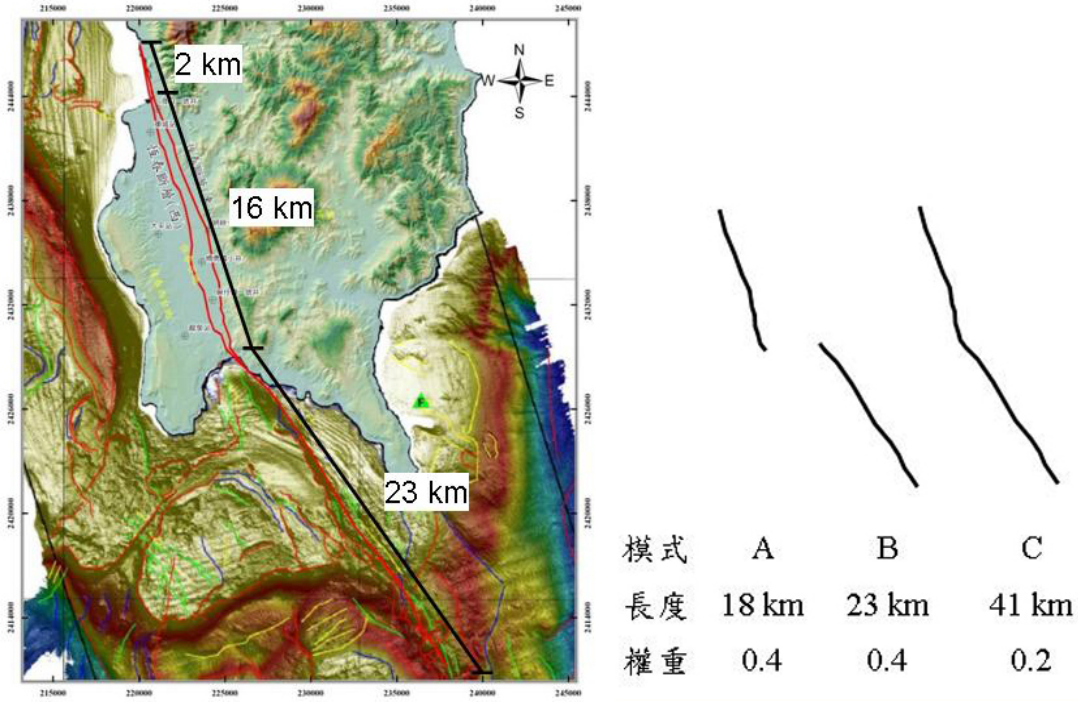


圖 9-1.1：恆春斷層之破裂模式(胡植慶等，2016)。

Fig. 9-1.1 The rupture model of the Hengchun fault(Hu et al., 2016).

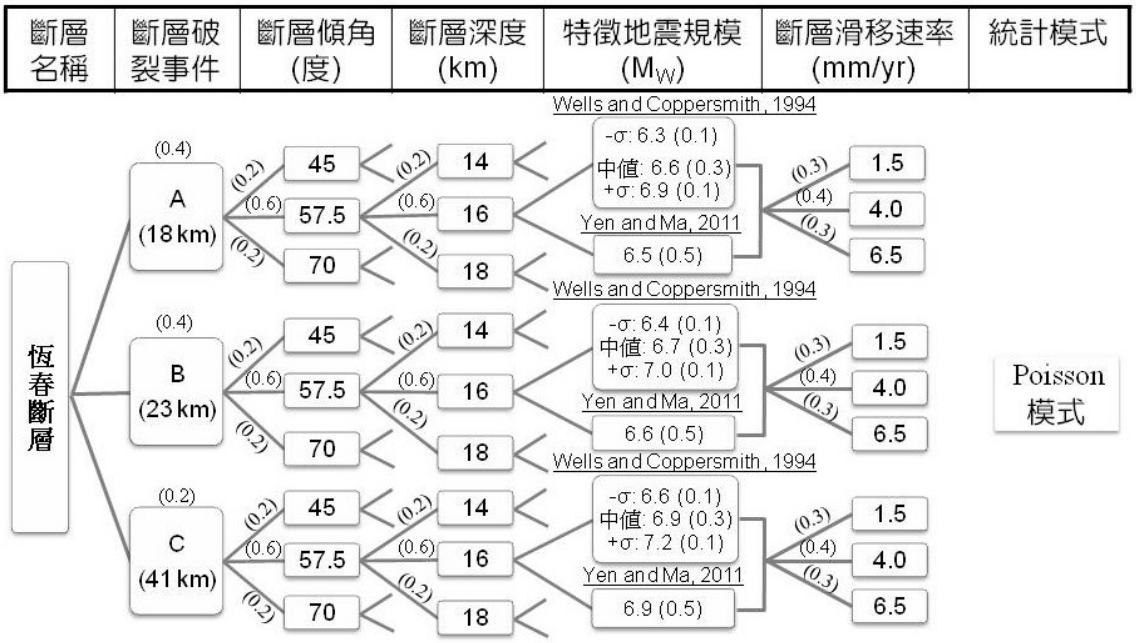


圖 9-1.2：恆春斷層邏輯樹(胡植慶等，2016)。

Fig. 9-1.2 The logic tree structure of the Hengchun fault (Hu et al., 2016).

9-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

根據跨恆春半島地體構造剖面(圖 9-1.3)，恆春半島是位於隱沒帶板塊之間的增積岩體，由一系列向西的逆衝斷層構成，其中恆春斷層為中新統與更新統的分界(陳文山等，2005)。

圖 9-1.4 為跨恆春半島震測剖面(Lin et al., 2009)，從震測剖面圖中推估增積岩體上發育的逆斷層向下止於隱沒板塊頂部，而位於恆春半島的恆春斷層應是一高角度斷層。在前階段計畫中，蒐集了陸域鑽井資料及海域震測剖面(中興公司，2012)也得到恆春斷層傾角為約 60 到 70 度的高角度斷層。

McIntosh et al. (2013)描繪臺灣南部恆春半島之地震活動分布及速度構造剖面(圖 9-1.5)，顯示恆春半島之地震深度約在 15 公里，然而根據其描繪隱沒板塊上部(圖 9-1.5 黑色虛線)深度，於恆春半島處則可達到 25 公里。

基於上述證據，本計畫認為恆春斷層幾何可考慮地震深度分布，也需考慮與隱沒帶板塊幾何的關係，計畫中將臺灣南部斷層設定綁定三種幾何情形(如圖 9-1.6)，其中恆春斷層之傾角設定分別為向東傾 60/75/75 度，斷層深度皆延伸至馬尼拉隱沒帶板塊界面。恆春斷層三個幾何情形分別為：Case 1 深度 0-15 km，傾角 60°；Case 2 深度 0-20 km，傾角 75°；Case 3 深度 0-25 km，傾角 75°。

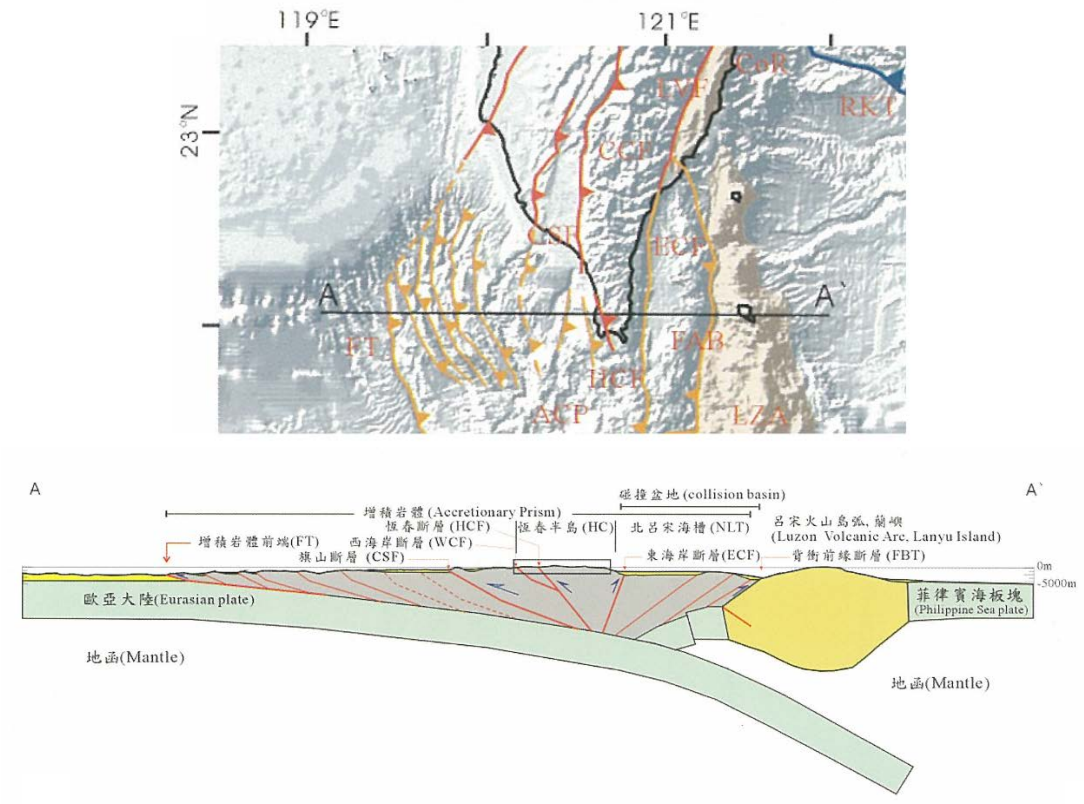


圖 9-1.3：台灣南部跨過恆春半島-蘭嶼之地體構造剖面。上圖為海陸域地形及構造分布圖，其中 ACP 為增積岩體，HCF 為恆春斷層。下圖為 A-A’ 地體構造剖面(陳文山等，2005)。

Fig. 9-1.3 Schematic geological cross-section across the Hengchun Peninsula-Lanyu Island (Hu et al., 2016).

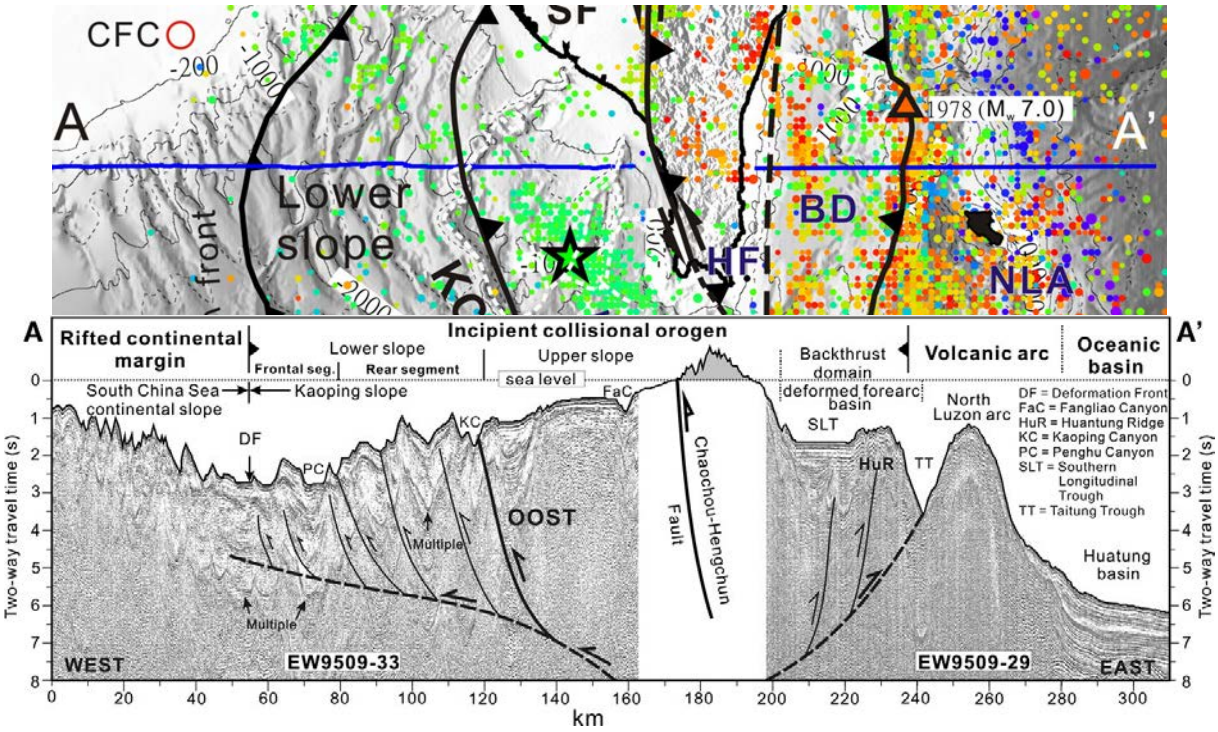


圖 9-1.4：台灣南部跨恆春半島 A-A'震測剖面圖(Lin et al., 2009)。

Fig. 9-1.4 Seismic sections with interpretations to the east and to the west of the Hengchun Peninsula (Lin et al., 2009).

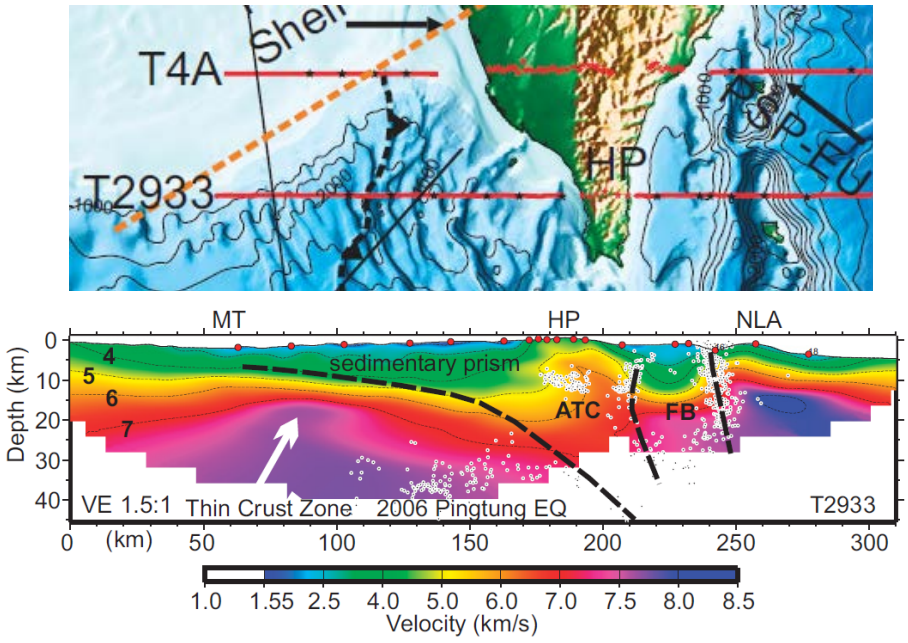


圖 9-1.5：台灣南部速度構造剖面及重定位地震分布。上圖為 T2933 速度構造剖面分布圖；下圖為 T2933 速度構造及重定位地震剖面(McIntosh et al., 2013)。

Fig. 9-1.5 T2933 tomographic models with relocated seismicity across southern Taiwan (McIntosh et al., 2013).

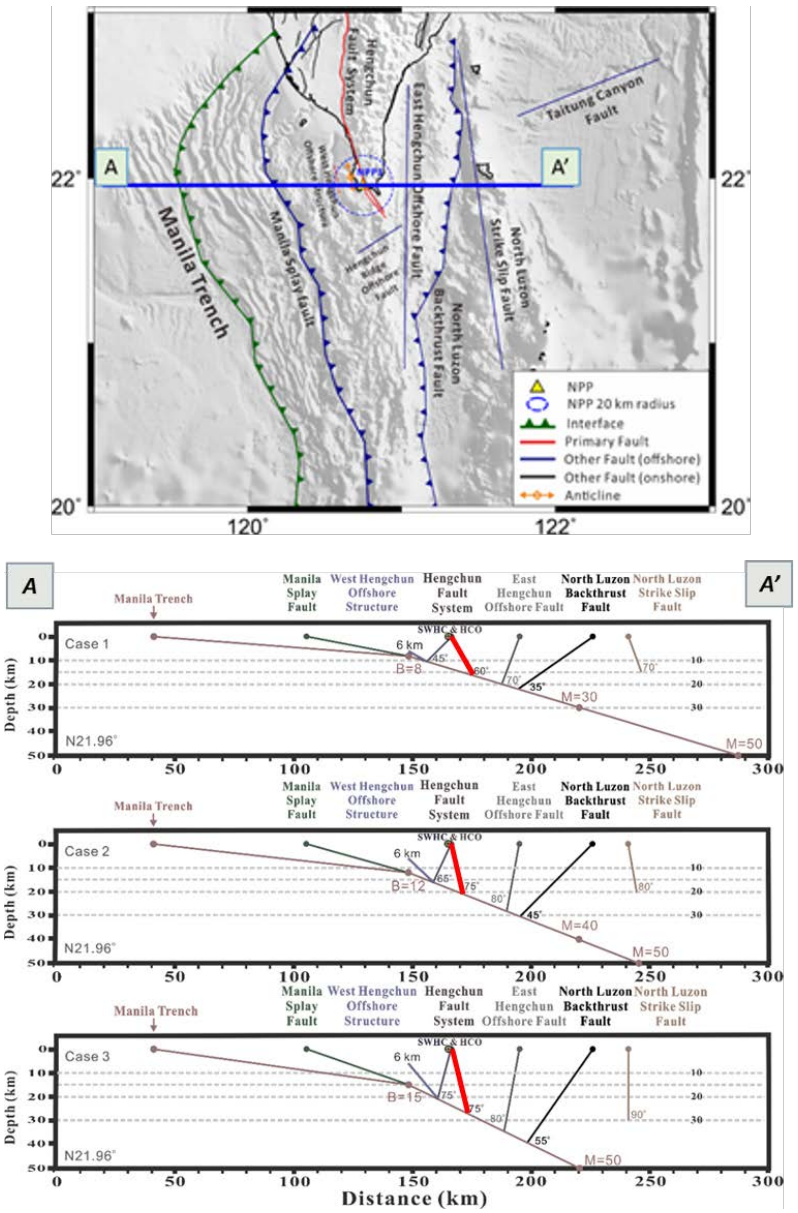


圖 9-1.6：南部斷層幾何形貌設定。上圖為臺灣南部活動斷層分布圖，下圖為臺灣南部活動斷層 AA’ 剖面之幾何形貌，其中 HCO 即恆春斷層。

Fig. 9-1.6 Fault geometry setting of the fault system in southern Taiwan.

9-1-3 孕震深度分析

Wu et al. (2017)使用台灣區域1990-2015之地殼地震目錄呈現孕震帶之空間分布，以地震矩累計量來做為孕震深度判斷依據。本計畫蒐集了 Wu et al. (2017)之 D90(90%震矩釋放深度)孕震深度空間分布資料，針對南部地區活動斷層進行孕震深度分析，圖 9-1.7 為恆春斷層 D90 孕震深度分布圖，結果顯示恆春斷層上盤 D90 之孕震深度大多位於 33~35 公里深，高於本計畫邏輯樹最大 25 公里之設定。

參考 Cheng et al. (2012)之地震深度分布(圖 9-1.8)及 Y60 及 Y40 兩個地震深度分布剖面(圖 9-1.9)，在恆春斷層上盤地震數量太少，因此從 D90 無法得到與斷層孕震深度有意義的統計。

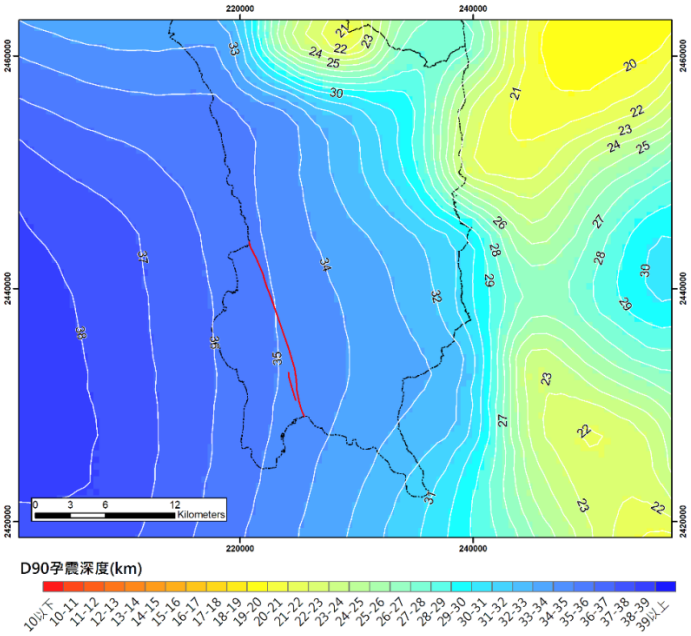


圖 9-1.7：恆春斷層 D90 孕震深度分布圖(資料來源：Wu et al., 2017)。

Fig. 9-1.7 Distribution map of the D90 seismogenic depth at the Hengchun fault region (Data from: Wu et al., 2017).

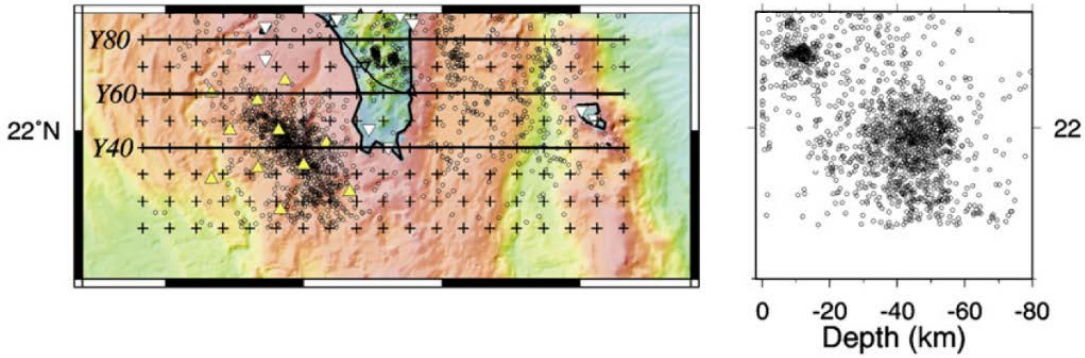


圖 9-1.8：臺灣南部地震分布圖及投影至南北向的深度分布圖。地震為中央氣象局 1990~2008 地震目錄(Cheng et al., 2012)。

Fig. 9-1.8 Grid nodes (crosses) and earthquakes (open circles). Inverted open triangles denote permanent stations of the Central Weather Bureau Seismographic Network (Cheng et al., 2012).

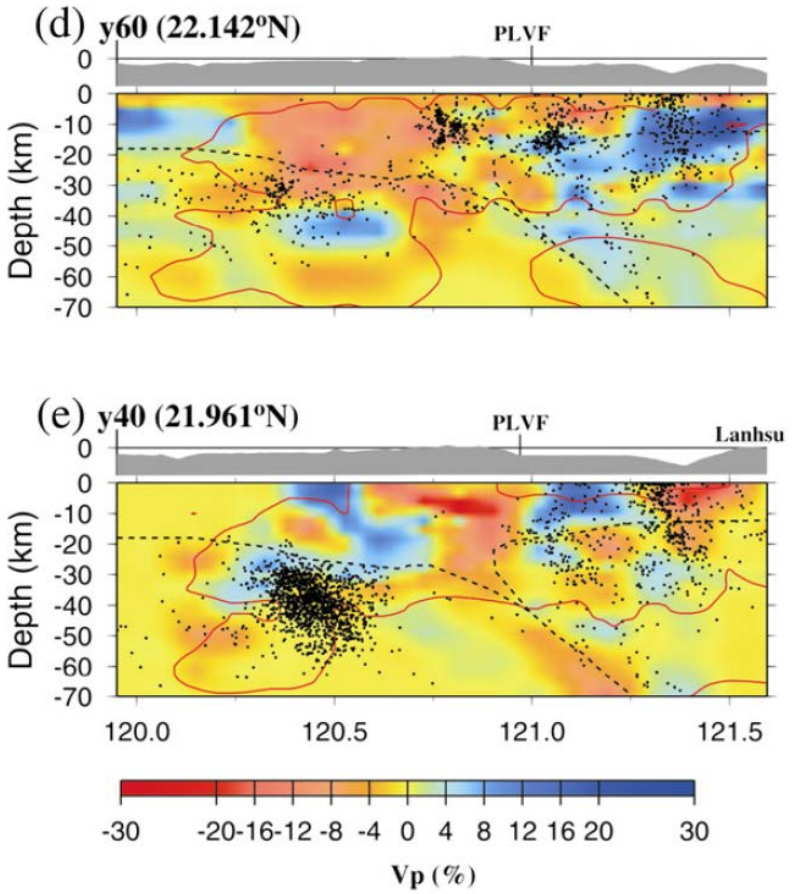


圖 9-1.9：Y60 及 Y40 P 波速度構造及地震深度分布剖面。剖面位置詳圖 9-1.8(Cheng et al.，2012)。

Fig. 9-1.9 Vertical cross-sections of P-wave velocity along with profiles from (d) Y60 to (e) Y40 sections. Black dots indicate relocated hypocenters(Cheng et al.，2012).

9-2 邏輯樹更新

本計畫針對恆春斷層邏輯樹更新，詳述如下：

恆春斷層之破裂模式，前階段計畫恆春斷層於北段出海後延伸長度為 2 公里。根據陳文山等（2014）於楓港地區發現全新世隆起珊瑚礁，計算的垂直抬升速率平均有 3.4±0.4 mm/yr，如圖 9-2.1 所示，認為恆春斷層往北可延伸至楓港造成珊瑚礁的抬升，北段出海後延伸長度為 12 公里。本計畫據此修改恆春斷層破裂模式如圖 9-2.2，A 模式為恆春半島段 16 公里加上北段延伸 12 公里，總長度為 28 公里；B 模式為南灣往海域延伸部分，長度為 23 公里；C 模式為整段破裂，長度 51 公里。權重分配上仍是分段破裂可能性高於整段破裂，權重分別為 A(0.4)、B(0.4)、C(0.2)。

恆春斷層幾何，根據 9-1-2 節之說明，將臺灣南部斷層設定綁定三種幾何情形(如圖 9-1.6)。恆春斷層三個幾何情形分別為：Case 1 深度 0-15 km，傾角 60°；Case 2 深度 0-20 km，傾角 75°；Case 3 深度 0-25 km，傾角 75°。權重分配上，本計畫認為 Case 3 破裂深度可到 25 公里的模式可能性較低，給予較低的權重(0.2)，Case 1 和 Case 2 均為 0.4。

恆春斷層之滑移速率，陳文山等（2014）根據全新世隆起珊瑚礁計算，得到海口區域斷層的長期抬升速率為 4.2±1.3 mm/yr，南灣地區斷層的長期抬升速率為 5.7±1.2 mm/yr。結合前階段計畫蒐集之恆春斷層滑移速率彙整於表 9-2.1，得到抬升速率範圍 1.5~6.9 mm/yr，以斷層傾角(60 度，75 度)及滑移角(50~70 度)換算至斷層面上之淨滑移速率範圍為 1.7~10.4 mm/yr，如表 9-2.2 所示。本計畫設定邏輯樹權重為下界 1.7 mm/yr (0.3)、平均(1.7+10.4)/2=6.05 mm/yr (0.4)、上界 10.4 mm/yr (0.3)。

本計畫另參考景國恩等（2019）「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（3/4）」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOCKS 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較。表 9-2.3 為恆春斷層滑移虧損速率計算之結果。

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 9-2.4 所示為各破裂事件地震矩規模。

恆春斷層最近一次發生時間未知，因此採用 Poisson 模式進行評估。

恆春斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 9-2.3 所示。

(a) (b)

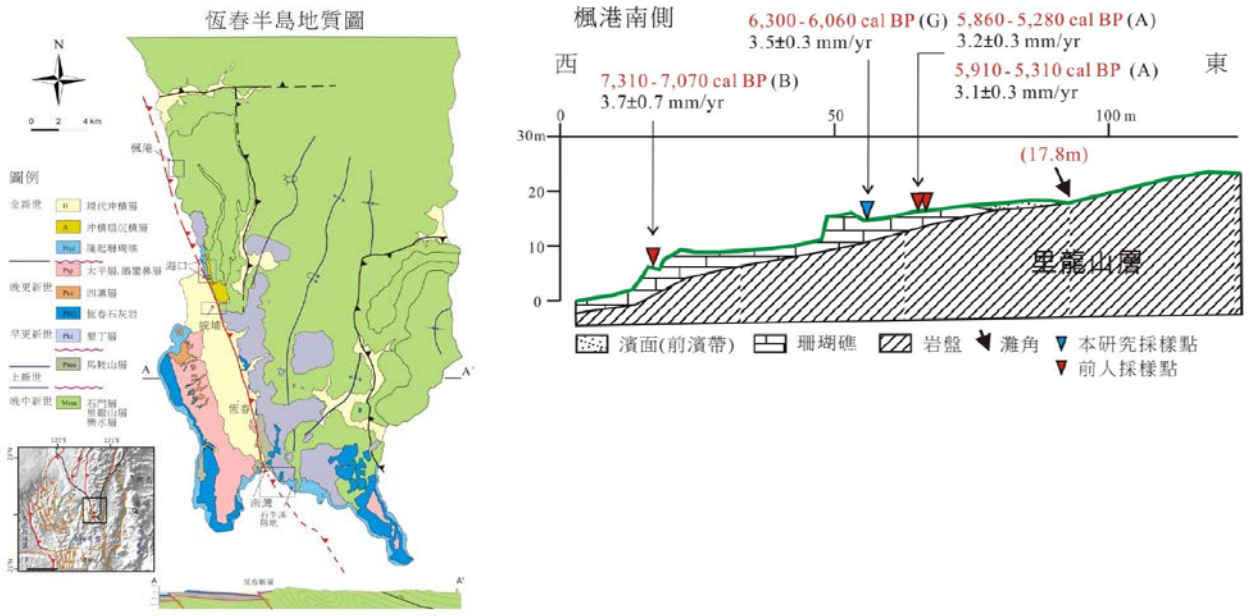


圖 9-2.1：(a)恆春半島地質圖，(b)楓港南側地區隆起珊瑚礁地質剖面、碳十四定年年代及垂直變形速率(陳文山等，2014)。

Fig. 9-2.1 (a)Geologic map of the Hengchun Peninsula. (b)Fongkang geologic profile shows uplifted Holocene coral reefs with vertical deformation rates (Chen et al., 2014).

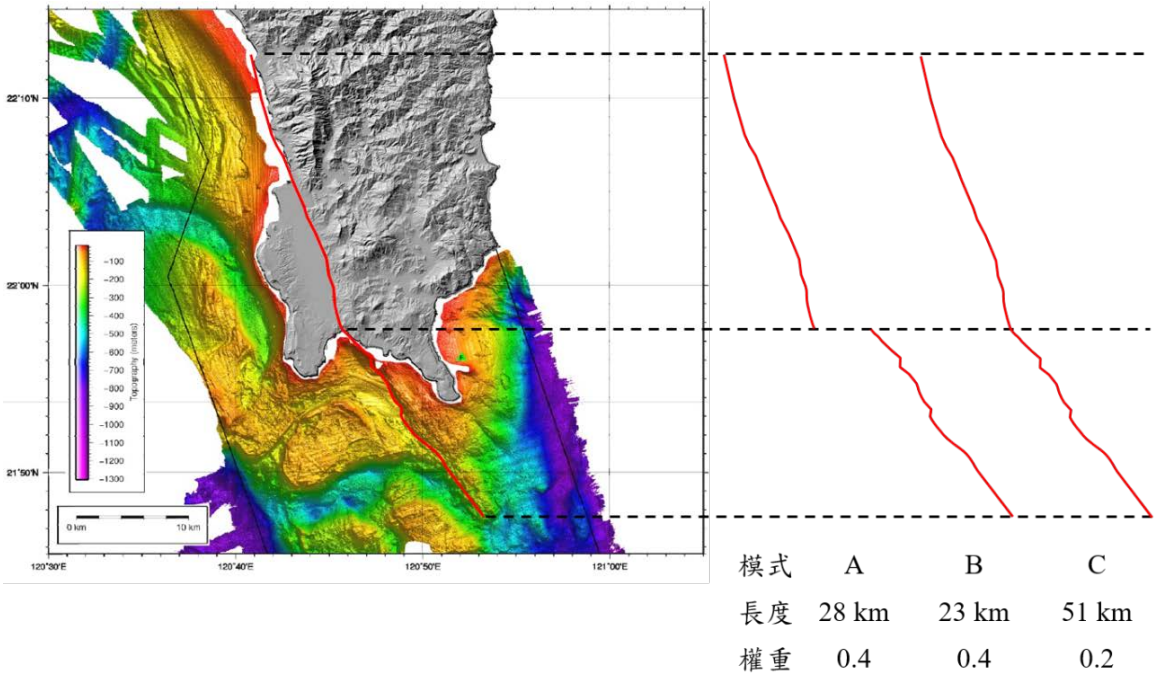


圖 9-2.2：本計畫恆春斷層分段破裂模式。海底地形取自中興公司(2012)。

Fig. 9-2.2 This project's rupture model of the Hengchun fault.

表 9-2.1：恆春斷層長期垂直滑移速率相關文獻結果彙整

Tab. 9-2.1 Long-term vertical rate from reference collections for the Hengchun fault

參考文獻	方法	垂直抬升速率(mm/yr)
Chen and Liu, 1993	海階定年，主要為珊瑚礁 C14 定年	5.3~6.3(海口)
		6.1~6.9(石牛橋)
		3.4~3.8(潭仔灣)
		3.8~4.3(墾丁)
陳文山等，2006	鑽井及珊瑚礁 C14 定年計算抬升率	5.9±0.1(海口)
陳文山等，2010	階地珊瑚礁定年，與恆春谷地鑽探剖面對比	4.2±0.2(墾管處)
中興公司，2012	四重溪鑽探剖面對比	~1 (西恆春斷層)
	南灣鑽探剖面對比	0.3 (下盤)
		1.5 (上盤)
陳文山等，2014	隆起珊瑚礁海階年代及抬升量	3.4±0.4 (楓港地區)
		4.2±1.3 (海口地區)
		5.7±1.2 (南灣地區)

表 9-2.2：恆春斷層淨滑移速率換算，淨滑移速率=[抬升速率/sin(傾角)]/sin(滑移角)

Tab. 9-2.2 Calculated net slip rate based on vertical uplift rate, fault dip and rake for the Hengchun fault

垂直滑移速率 (mm/yr)	傾角 (度)	滑移角 (度)	淨滑移速率 (mm/yr)
1.5	60	70	1.8
		60	2.0
		50	2.3
	75	70	1.7
		60	1.8
		50	2.0
6.9	60	70	8.5
		60	9.2
		50	10.4
	75	70	7.6
		60	8.3
		50	9.3

表 9-2.3：恆春斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2019)

Tab. 9-2.3 Slip deficit rate of the Hengchun fault by model inversion (Ching et al., 2019)

模型		BLOCKS	DEFNODE	Baseline Inversion	加權平均滑移虧損速率 (mm/yr)
斷層名稱		總變動量 (mm/yr)	平均值滑移虧損率 (mm/yr)	斷層滑移速率平均值 (mm/yr)	
恆春斷層	上界	7.4	23.1	21.0	17.2
	平均	7.4 ± 0.0	12.3 ± 5.4	10.0 ± 5.5	10.0
	下界	7.4	1.5	0	3.0
權重		(0.30)	(0.35)	(0.35)	

表 9-2.4：恆春斷層各破裂事件規模計算

Tab. 9-2.4 The estimated magnitude for each rupture case of the Hengchun fault

斷層名稱	破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	寬度 (km)	傾角 (度)	面積 (km2)	Wells and Coopersmith, 1994 (破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011 (破裂面積-規模關係式) (Mw)
							-σ	中值	+σ	
恆春斷層	A	28	15	17.3	60	485	6.4	6.7	7.0	6.7
			20	20.7	75	580	6.5	6.8	7.1	6.8
			25	25.9	75	725	6.6	6.9	7.2	6.9
	B	23	15	17.3	60	398	6.4	6.7	7.0	6.6
			20	20.7	75	476	6.4	6.7	7.0	6.7
			25	25.9	75	595	6.5	6.8	7.1	6.8
	C	51	15	17.3	60	883	6.7	7.0	7.3	6.9
			20	20.7	75	1056	6.8	7.1	7.4	7.0
			25	25.9	75	1320	6.8	7.1	7.4	7.1

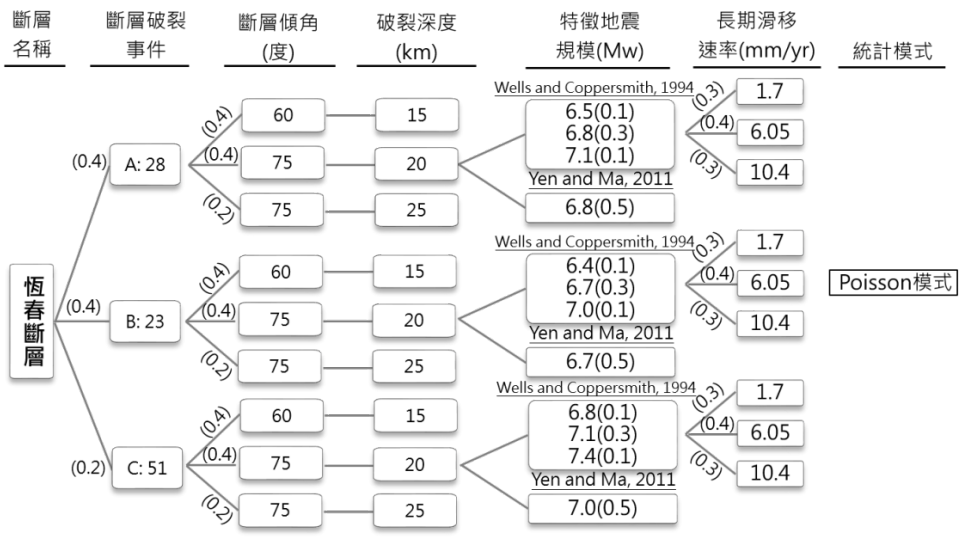


圖 9-2.3：恆春斷層更新邏輯樹(更新內容：破裂模式、幾何、規模、滑移速率)。

Fig. 9-2.3 The renewed logic tree of the Hengchun fault.

9-3 規模與年發生率之關係

恆春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 9-3.1 為 3 個破裂事件之特徵地震模式分布情形。

圖 9-2.3 之恆春斷層邏輯樹可得到 108 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 9-3.2 為 3 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.8 之權重最高；破裂模式 B 以規模 6.7 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.0 及 7.1 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 9-3.3 為 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

將 3 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 9-3.4（a）之恆春斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 9-3.4（b）之恆春斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

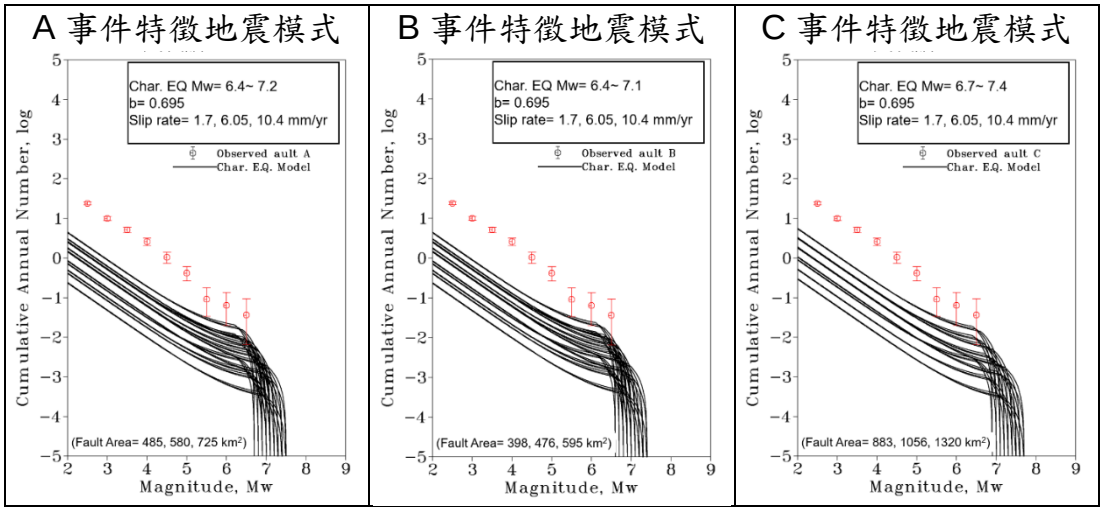


圖 9-3.1：恆春斷層各破裂事件特徵地震模式。

Fig. 9-3.1 The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for each rupture case of the Hengchun fault.

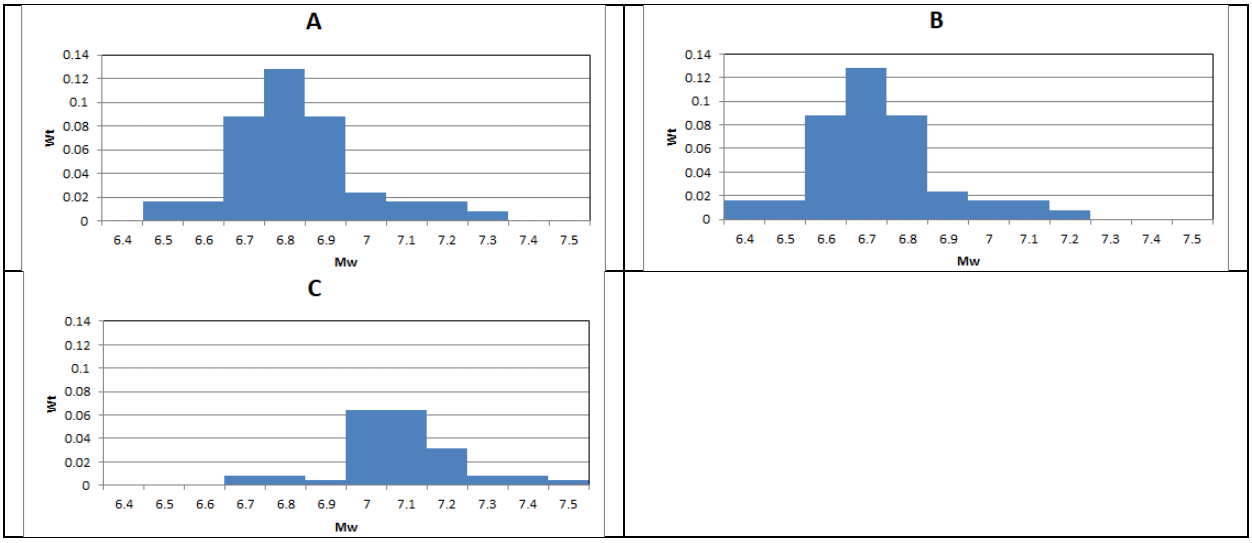


圖 9-3.2：恆春斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Fig. 9-3.2 The relationships between magnitude and weighting for three rupture cases of the Hengchun fault.

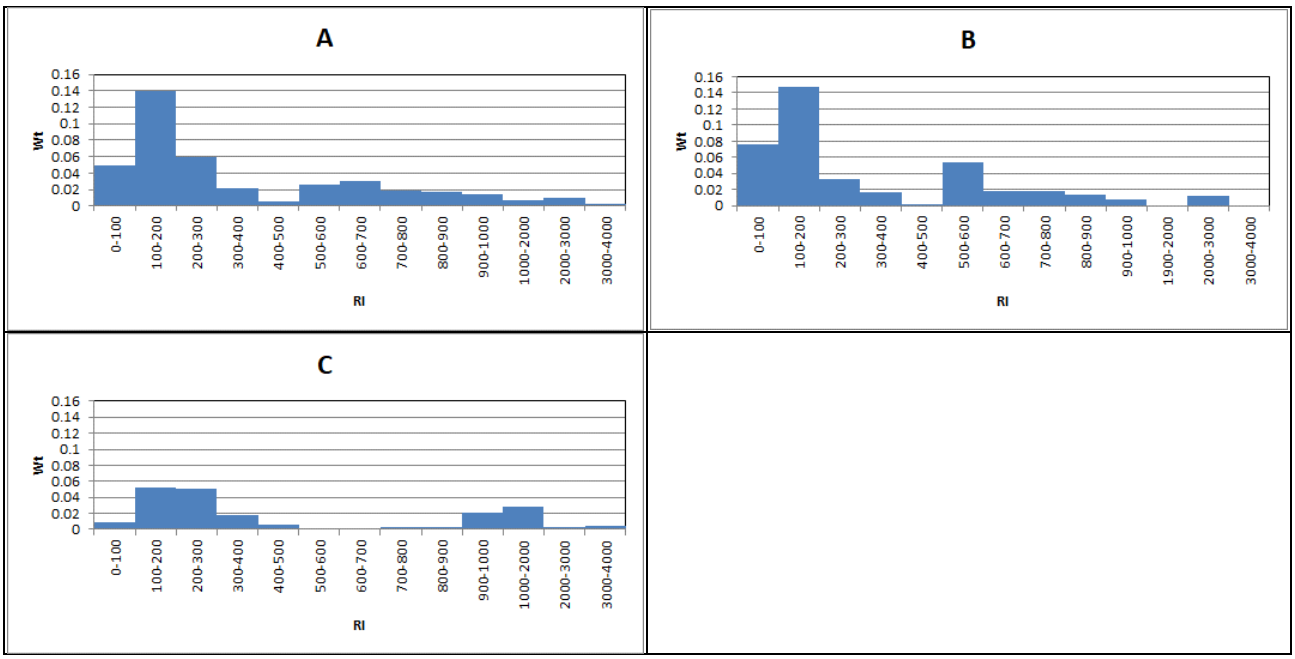
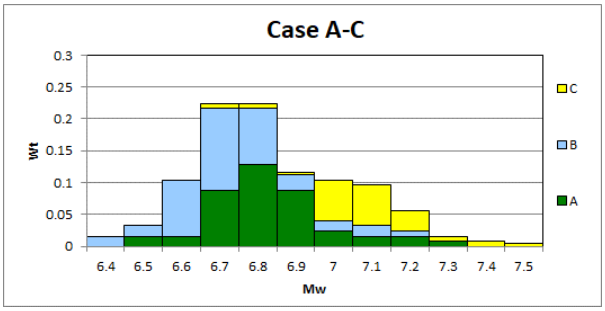


圖 9-3.3：恆春斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 9-3.3 The relationships between recurrence interval and weighting for three rupture cases of the Hengchun fault.

（a）



（b）

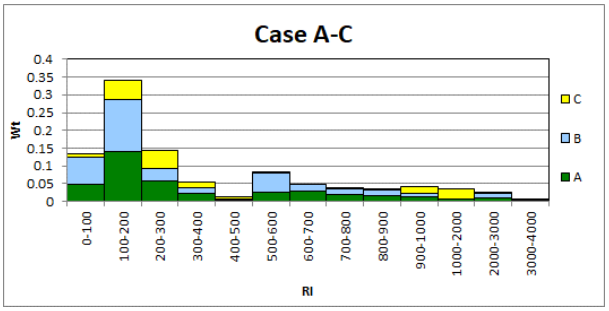


圖 9-3.4：（a）恆春斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）恆春斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

Fig. 9-3.4 (a)The summed magnitude - weighting relationship and (b) the summed recurrence interval - weighting relationship for the whole logic tree branches of the Hengchun fault.

9-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算恆春斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，恆春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 9-4.1 為恆春斷層前階段計畫評估之結果，起算時間為西元 2016 年，前階段計畫僅採用 POISSON 模式進行評估。

表 9-4.2 為恆春斷層 Poisson 模式評估之結果，起算時間為西元 2019 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.4~7.5 之機率為 13.7%、21.2%及 36.0%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 13.2%、20.5%及 34.9%。

本計畫機率高於前階段計畫評估成果，推估是本計畫淨滑移速率加入傾角(dip=60, 75 度)及滑移角(rake=50~70 度)換算，因此淨滑移速率高於前階段計畫。

表 9-4.1：前階段計畫恆春斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

Tab. 9-4.1 Earthquake probabilities for the Hengchun fault in the previous project (Hu et al., 2016)

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.3 ≦ M ≦7.4	10.1%	16.1%	28.5%
M ≧ 6.5	9.0%	14.4%	25.8%

表 9-4.2：本計畫恆春斷層發生機率評估

Tab. 9-4.2 Earthquake probabilities for the Hengchun fault in this project

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.4≦ M ≦7.5	13.7%	21.2%	36.0%
M ≧ 6.5	13.2%	20.5%	34.9%

第十章、制定各活動斷層參數說明書

本期計畫目標之一為公布活動斷層潛勢結果，其公布資料包含(1)活動斷層參數說明書、(2)活動斷層潛勢圖、(3)活動斷層現地照片。公布的管道有(a)網頁查詢平台、(b)製作光碟分送各級學校。網頁查詢平台之網頁架設於中央地質調查所，本計畫負責提供活動斷層潛勢資料，使活動斷層參數說明書、活動斷層潛勢資料、活動斷層現地照片公布於網路上，未來可供一般社會大眾查閱。分送給各級學校之光碟將包含(1)活動斷層參數說明書，將全台灣斷層分為(上冊)北中地區及(下冊)南東地區兩份文件(已於107 年度階段完成)，以及(2)活動斷層潛勢圖，由地質、水土保持、地理資訊、地政等各領域專家監督指導製作而成。以下章節將說明各資料細部內容。

10-1 活動斷層潛勢圖成果

經濟部中央地質調查所已於 102~105 年度執行「斷層活動性觀測研究第三階段-斷層整合性觀測與潛勢分析計畫」，評估全臺 33 條活動斷層之潛勢。本年度斷層潛勢圖為 108 年南部地區活動斷層潛勢圖精進之成果，分為兩種版型，分別為「台灣南部水平速度場及斷層活動機率圖」(圖 10-1.1)以及「台灣南部垂直速度場及斷層活動機率圖」(圖 10-1.2)。

「台灣南部水平速度場及斷層活動機率圖」是以 GPS 測站點位及 2002-2018 年水平速度場為底圖，套疊地調所南部地區 9 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 108 年 12 月
- 地形底圖：臺灣四十公尺數值地形模型
- 活動斷層：活動斷層參考中央地質調查所臺灣活動斷層分布圖第三版(2012)
- 參考點位：為了呈現臺灣造山帶的地表變形型態，在選擇速度場參考點位時，希望能選擇造山帶外圍但是又接近造山帶的點位，所以採用位於澎湖 S01R 的測站當成臺灣地區速度場之參考點
- 水平速度場：由 GPS 移動站與 GPS 連續站的坐標變化量推求出臺灣地表相對 S01R 測站之水平運動量與方向

- 斷層活動機率起算時間：西元 2019 年
- 統計模式：已知上一次斷層錯動與大規模地震之發生時間得採用 BPT 模式(假設發生率會隨時間變化)；未知上一次斷層錯動與大規模地震之發生時間得採用 Poisson 模式 (假設發生率固定，不隨時間變化)
- 考慮折減：玉里-池上斷層系統由於間震期會藉由潛移釋放部分能量，需考慮折減地震矩率以符合目前觀測之現況

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

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

「台灣南部垂直速度場及斷層活動機率圖」是以水準點、GPS 測站點位及 2002-2018 年垂直速度場為底圖，套疊地調所南部地區 9 條活動斷層及每條活動斷層未來 50 年地震矩規模 6.5 以上之發生機率圖框，潛勢圖右下角之說明文字圖框中包含：

一、 使用者須知，共三點：(同上)

二、 圖版說明，包含以下內容：

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

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

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

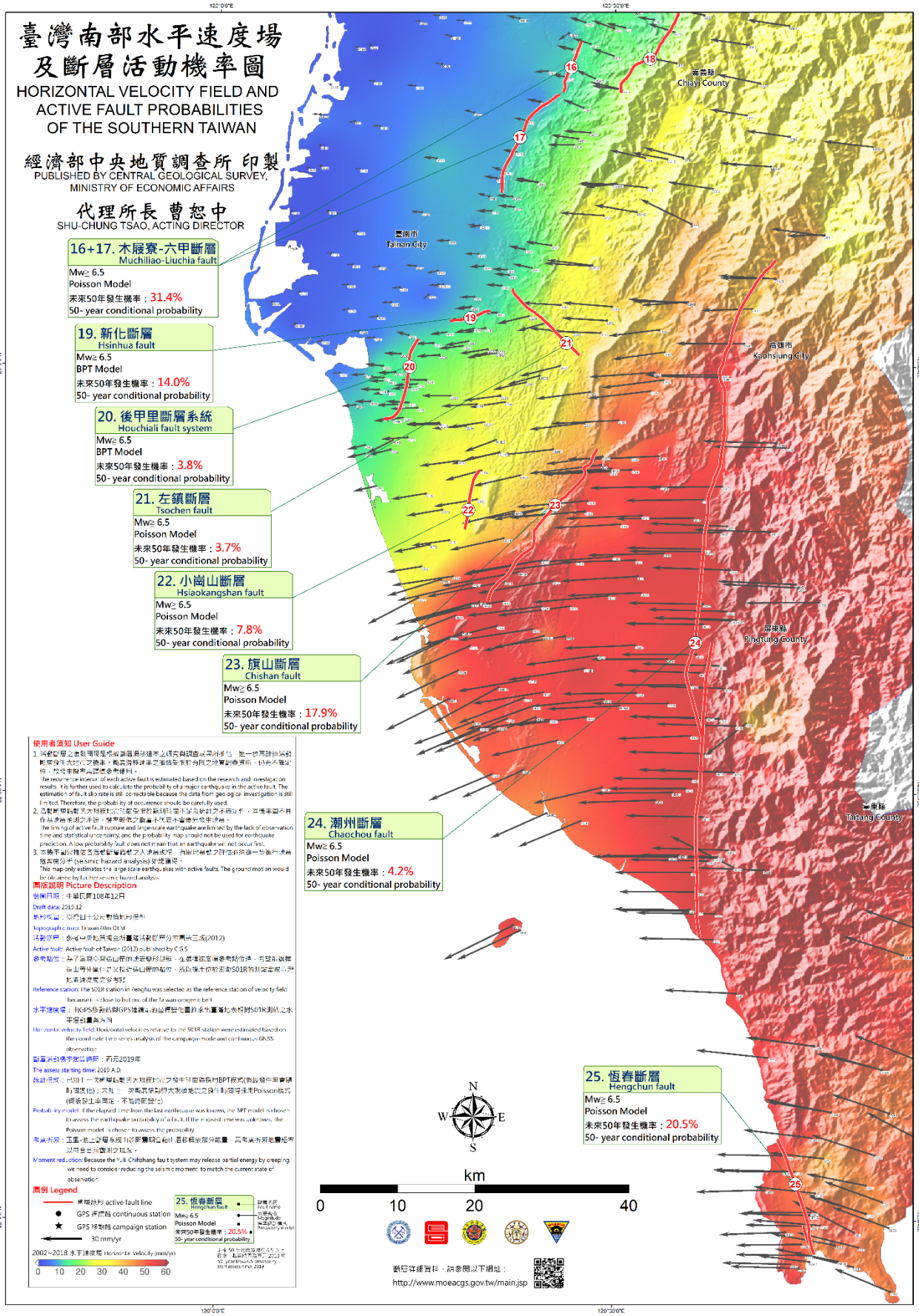


圖 10-1.1：台灣南部水平速度場及斷層活動機率圖。

Fig. 10-1.1 Horizontal velocity field and active fault probabilities of the southern Taiwan.

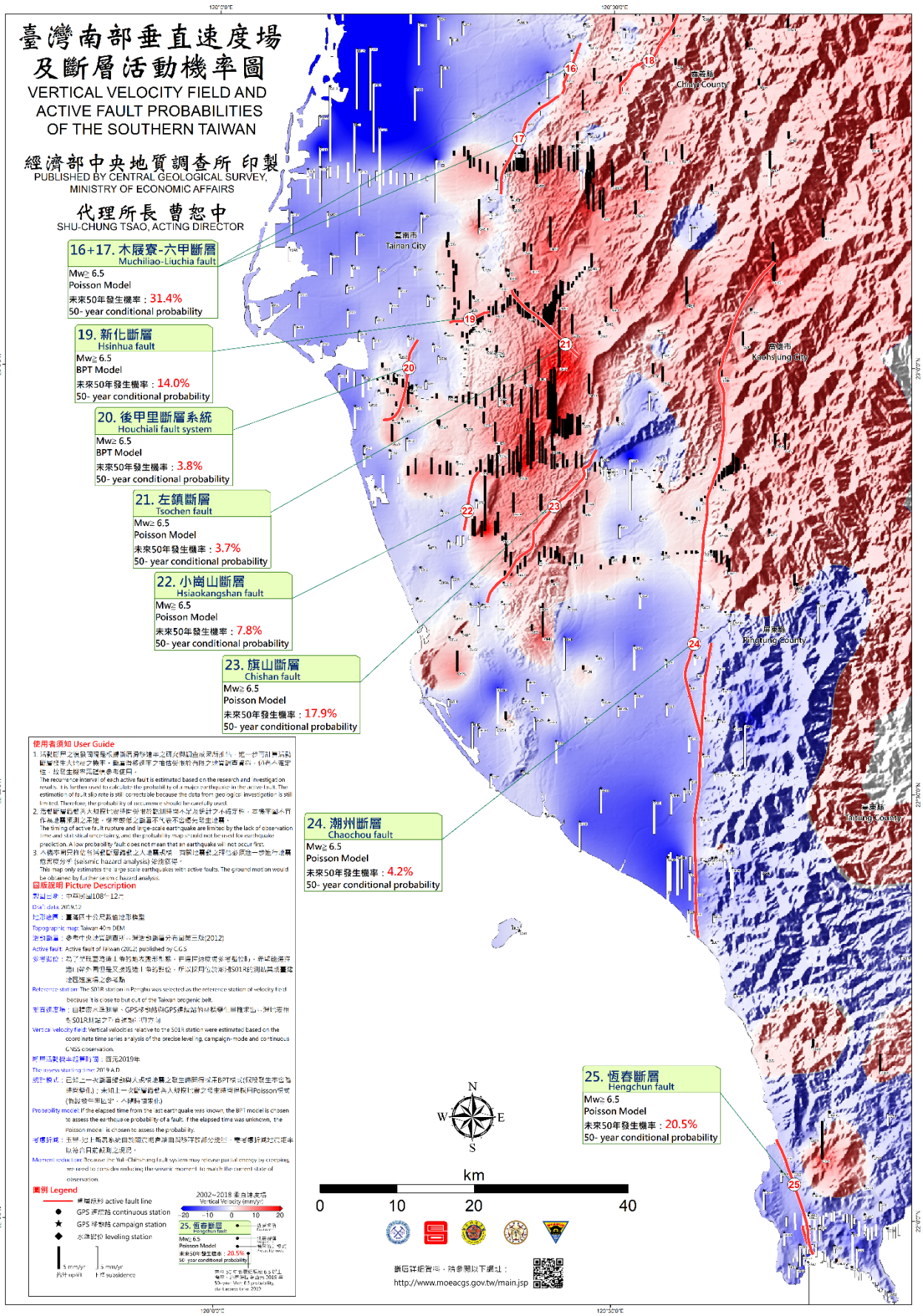


圖 10-1.2：台灣南部垂直速度場及斷層活動機率圖。

Fig. 10-1.2 Vertical velocity field and active fault probabilities of the southern Taiwan.

10-2 活動斷層現地照片蒐集與呈現

活動斷層照片蒐集資訊包含斷層特徵照片之舊照與近照，來源主要為(1)地調所研究報告、(2)台灣地震模型(TEM)野外調查照片、(3)本計畫野外調查照片、(4)近年來地震災害之斷層地表破裂勘查成果。本計畫持續與圖臺資訊廠商合作，藉由廠商提供之圖臺系統上傳照片資料，圖臺上傳系統網址為 http://fault.moeacgs.gov.tw/Importtest/login.aspx（圖 10-2.1）。資料上傳後，可供民眾查詢，查詢網址為 http://fault.moeacgs.gov.tw/Gis/Home/pageMap?LFun=1 如圖 10-2.2。

照片資訊欄位如表 10-2.1 所示，說明如下：

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

本年度蒐集台灣南部九條活動斷層(16 木屐寮斷層、17 六甲斷層、19 新化斷層、20 後甲里斷層、21 左鎮斷層、22 小崗山斷層、23 旗山斷層、24 潮州斷層、25 恆春斷層)之斷層特徵照片。

南部斷層較少斷層出露之相關研究報告，然而木屐寮斷層、六甲斷層、後甲里斷層在地形上有明顯的斷層線性崖，故本計畫沿著地質調查所繪製之斷層線拍攝斷層地形特徵，如斷層崖、階地撓曲崖、斷層線崖等。新化斷層為走向滑移型，無地形落差可供調查，2016 年 2 月 6 日美濃地震時新化斷層沿線出現噴砂、剪裂縫等災情，其災情位置與 1946 年新化地震災情分布類似，因而本計畫蒐集農改所、畜產所、深坑橋、中央橋等災情地點之近況照片。左鎮斷層同為走向滑移斷層，上下盤間無地形落差，然而斷層沿線的泥岩露頭中可觀察到疑似斷層泥構成的剪裂帶。蒐集成果彙整如表 10-2.2~表 10-2.10。

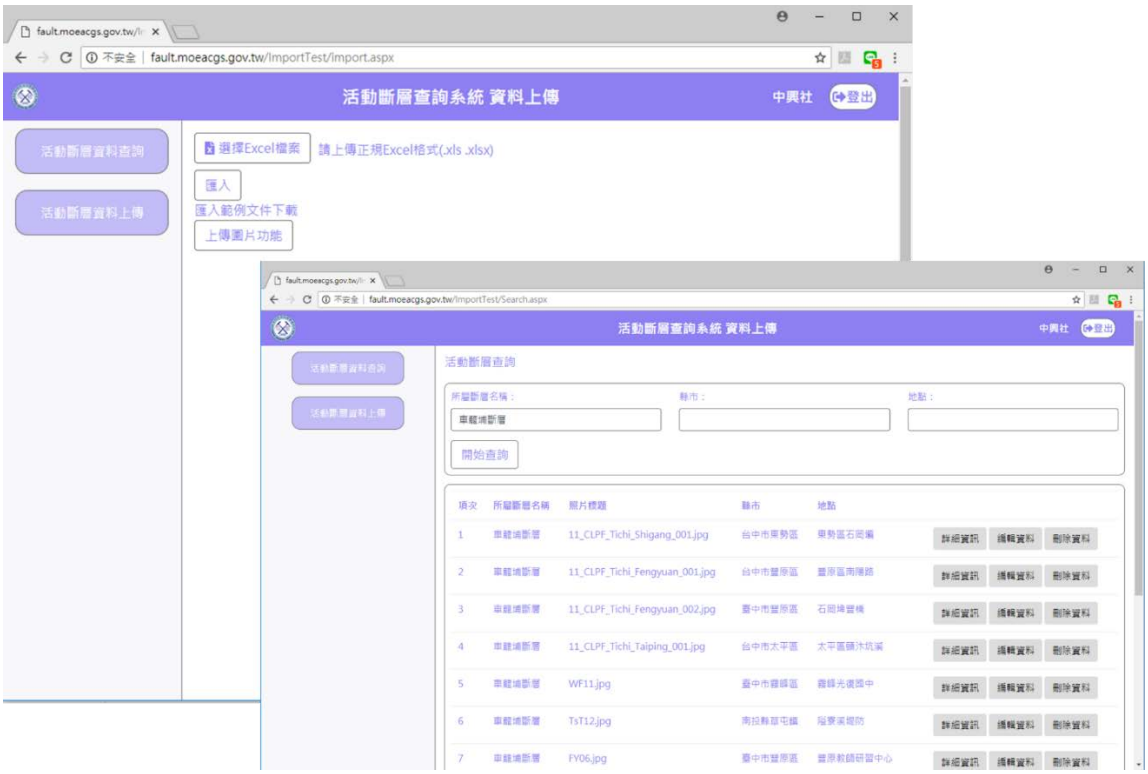


圖 10-2.1：資料上傳系統介面。

Fig. 10-2.1 Upload Data system.



圖 10-2.2：圖臺照片及照片資訊。

Fig. 10-2.2 Photo information and performance system.

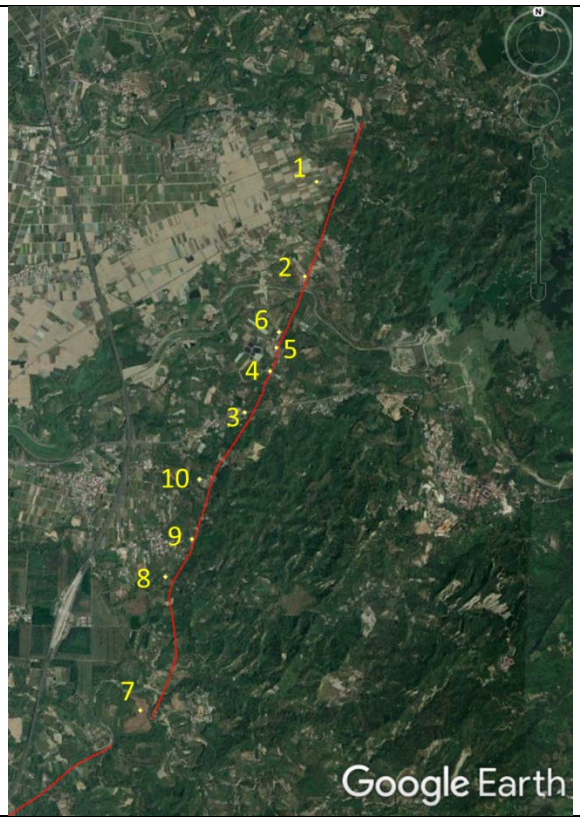
表 10-2.1：照片欄位規劃

Tab. 10-2.1 Photo information table

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

表 10-2.2：木屐寮斷層之斷層特徵照片彙整

Tab. 10-2.2 Muchiliao fault photo.



照片點位（座標）

1 (120.460, 23.374)
2 (120.459, 23.364)
3 (120.452, 23.350)
4 (120.455, 23.355)
5 (120.456, 23.357)
6 (120.456, 23.358)
7 (120.441, 23.320)
8 (120.444, 23.334)
9 (120.446, 23.338)
10 (120.447, 23.344)

01	02
 山脈與平原交界處為地質調查所繪製斷層線之位置，該處可觀察到山脈前緣呈現三角切面之地形特徵，與孫習之（1971）由航照判釋發現之斷層地形特徵相同。(資料來源：中興社，本計畫野外調查)	 根據沈淑敏等（2006）航照判釋發現白水溪的低位階地呈現撓曲崖特徵，本計畫至白水溪北岸階地進行調查，發現於地質調查所繪製斷層線處，其階地呈東高西低之撓曲崖。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)
03	04
 白水溪兩岸有階地分布，本計畫至南岸階地進行調查，發現於地質調查所繪製斷層線處，階地呈現撓曲崖特徵，崖之走向與河流流向呈正交，可能與石再添(1986)所指之斷層小崖同。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	 白水溪兩岸有階地分布，本計畫至南岸階地地質調查所繪製斷層線位置處，觀察發現階地呈現撓曲崖特徵，崖之走向與白水溪河流流向呈正交，可能與石再添(1986)所指之斷層小崖同。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)
05	06
 白水溪兩岸有階地分布，本計畫至南岸階地地質調查所繪製斷層線位置處，觀察發現階地上具有斷層小崖之地形特徵，崖之走向與白水溪河流流向呈正交，可能與石再添(1986)所指之斷層小崖同。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	 白水溪兩岸有階地分布，本計畫至南岸階地地質調查所繪製斷層線位置處，觀察發現階地上具有斷層小崖之地形特徵，崖之走向與白水溪河流流向呈正交，可能與石再添(1986)所指之斷層小崖同。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)

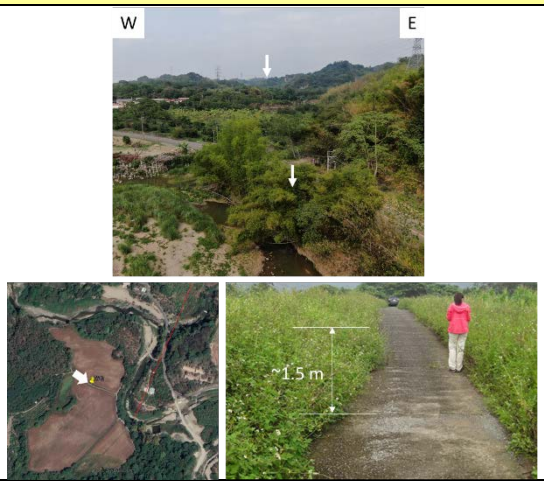
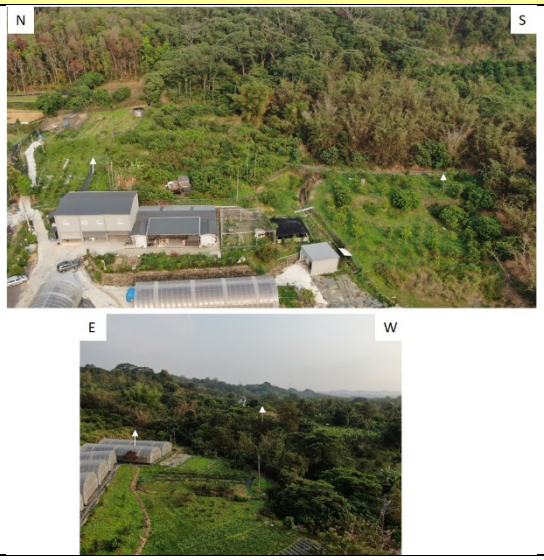
07	08
	
（上圖）本計畫至地質調查所繪製之木屐寮斷層線南端觀察地形，此處空拍可觀察到線性谷，呈南北走向。（下圖）木屐寮斷層南端階地上有撓曲崖，落差約 2 米，照片朝東拍攝。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	本計畫沿著地質調查所繪製之木屐寮斷層線觀察地形，發現於大林南方產業道路上，階地呈撓曲崖特徵。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)
09	10
	
(資料來源：中興社，本計畫野外調查)	本計畫沿著地質調查所繪製之木屐寮斷層線進行調查，於大林鎮東北邊一農場以空拍機拍攝地形，可觀察到階地上的撓曲崖與山前緣的線性崖。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)

表 10-2.3：六甲斷層之斷層特徵照片彙整

Tab. 10-2.3 Liuchia fault photo.

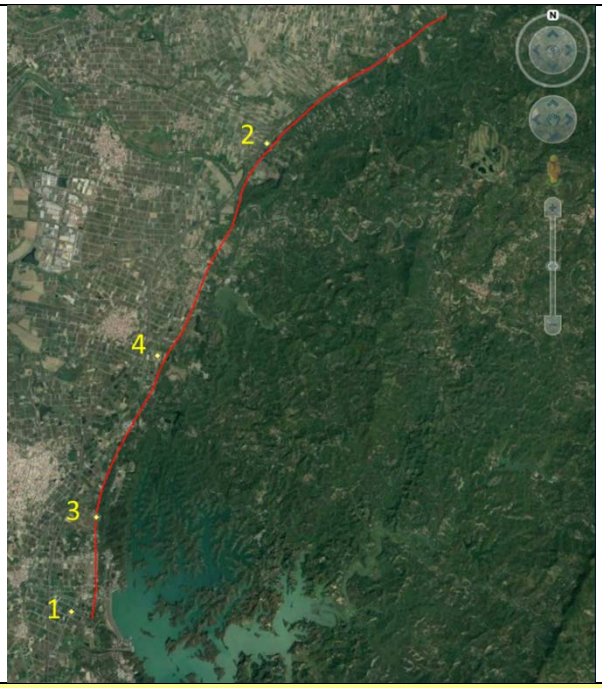
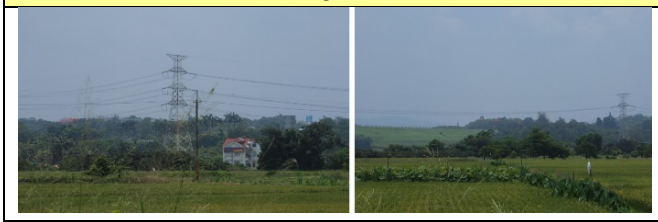
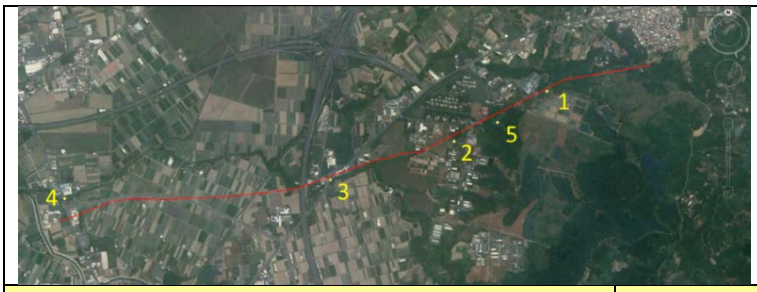
<table>
<tr><td>
</td><td>照片點位（座標）
1 (120.360, 23.203)
2 (120.401, 23.292)
3 (120.365, 23.221)
4 (120.378, 23.252)</td></tr>
<tr><td>01</td><td>02</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>斷層線崖，向東拍攝。
(資料來源：臺灣地震模型 Taiwan Earthquake Model)</td><td>東北—西南向之斷層線崖，崖高約 20 公尺。向東拍攝。
(資料來源：臺灣地震模型 Taiwan Earthquake Model)</td></tr>
<tr><td>03</td><td>04</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>六甲斷層上的斷層線崖，朝北偏東方向拍攝。
(資料來源：中興社，本計畫野外調查)</td><td>六甲斷層之斷層線崖（箭頭所指處），照片朝東拍攝。
(資料來源：中興社，本計畫野外調查)</td></tr>
</table>

表 10-2.4：新化斷層之斷層特徵照片彙整

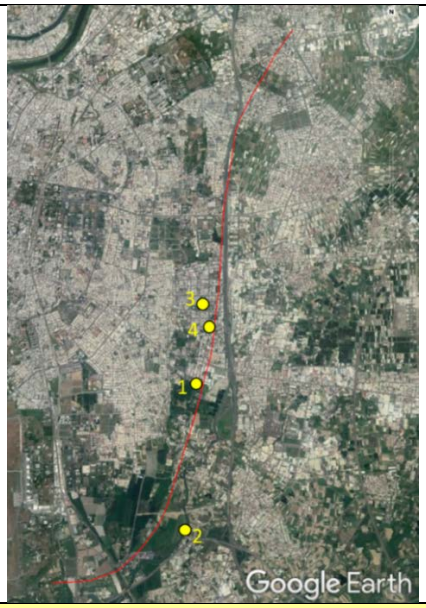
Tab. 10-2.4 Hsinhua fault photo.

<table>
<tr><td colspan="2">
</td><td>照片點位（座標）
1 (23.061, 120.342)
2 (23.057, 120.334)
3 (23.054, 120.324)
4 (23.053, 120.300)
5 (23.059, 120.338)</td></tr>
<tr><td colspan="2">01</td><td>02</td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td><td>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">（上圖）農改場可發現地表開裂現象，走向約呈 N70E。（下圖）農改場內，沿著小河溝產生滑動的裂隙。拍攝方向無從考據。(資料來源：中央地質調查所)</td><td>畜產所內可見到落差約 3 米之斷層崖。
(資料來源：臺灣地震模型 Taiwan Earthquake Model)</td></tr>
<tr><td colspan="2">03</td><td>04</td></tr>
<tr><td colspan="2">
</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">新化斷層沿線之深坑橋，橋面有約呈 N80E 走向，平行橋臺之裂隙。
(資料來源：臺灣地震模型 Taiwan Earthquake Model)</td><td>根據地調所 20160206 地震地質調查報告，此處之裂縫為 0206 地震時出現之地震災害。中央橋上的裂縫，走向約北偏東 80 度，距地調所繪製之新化斷層線約 100 公尺。照片向西南拍攝。(資料來源：中興社，本計畫野外調查)</td></tr>
</table>

05	
	
那拔林西南方丘陵間之水池，長寬各約100公尺，水池南已兩岸各有一條線形通過，推測可能為一斷層池。拍攝方向無從考據。(資料來源：地調所活動斷層調查報告)	

表 10-2.5：後甲里斷層之斷層特徵照片彙整

Tab. 10-2.5 Houchiali fault photo.

	照片點位（座標） 1 (120.243, 22.970) 2 (120.241, 22.945) 3 (120.244, 22.983) 4 (120.245, 22.980)
01	02
	
自文南街向西觀察斷層崖，路面高差 10 公尺。照片向西拍攝。 (資料來源：臺灣地震模型 Taiwan Earthquake Model)	自河對岸遠觀斷層崖。向西北拍攝。 (資料來源：臺灣地震模型 Taiwan Earthquake Model)

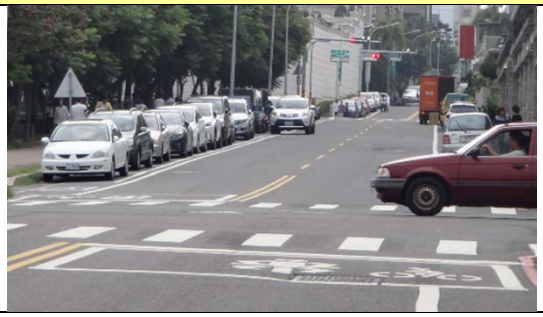
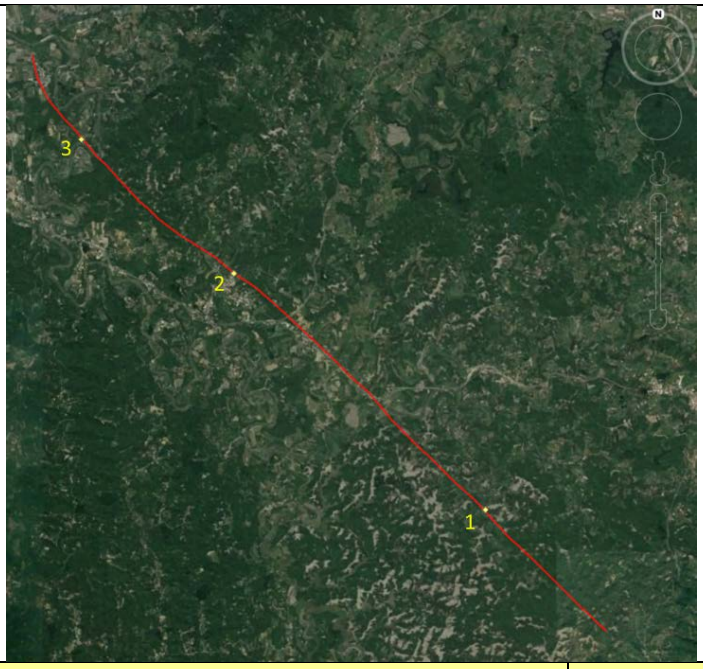
03	04
	
於裕興街上的斷層撓曲崖，崖高約 1 米，照片向西拍攝。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	裕敬路上的斷層撓曲崖，崖高約 1 米，向西拍攝 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)

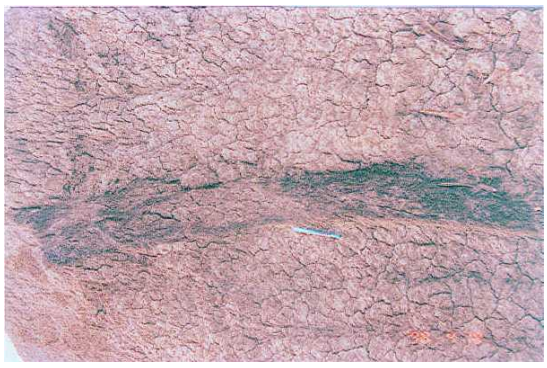
表 10-2.6：左鎮斷層之斷層特徵照片彙整

Tab. 10-2.6 Tsochen fault photo.



照片點位（座標）

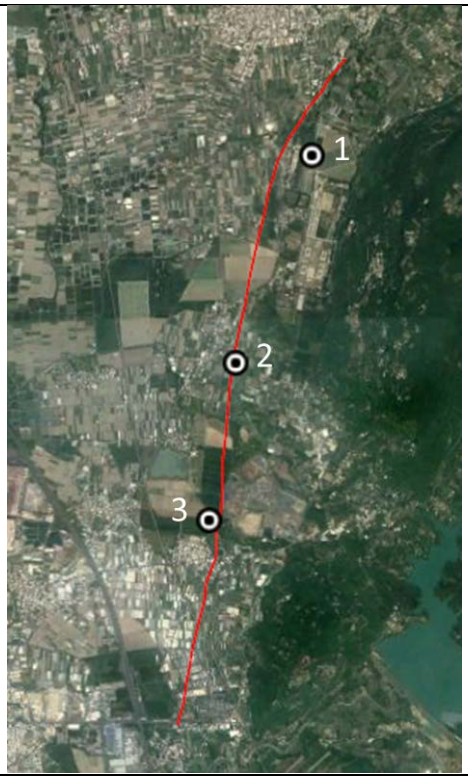
1 (120.446, 23.028)
2 (120.409, 23.060)
3 (120.386, 23.078)

01	02
	
泥岩露頭中疑似斷層泥，距地調所繪製之左鎮斷層約 20 公尺，照片朝東拍攝。 (資料來源：中興社，本計畫野外調查)	左鎮斷層內的小型斷層帶，斷層帶內為黑色、較圍岩堅硬且破碎的泥岩(拍攝地點位於左鎮西方 300 公尺)。拍攝方向無從考據。 （資料來源：地調所活動斷層調查報告）

03	
 	
左鎮斷層的斷層帶，由小型斷層帶拼合成十數公尺寬。帶內為黑色、較圍岩(砂質泥岩)堅硬且剪碎的泥岩。拍攝方向無從考據。(資料來源:地調所活動斷層調查報告)	

表 10-2.7：小崗山斷層之斷層特徵照片彙整

Tab. 10-2.7 Hsiaokangshan fault photo.

	照片點位（座標） 1 (120.335, 22.867) 2 (120.326, 22.845) 3 (120.323, 22.829)

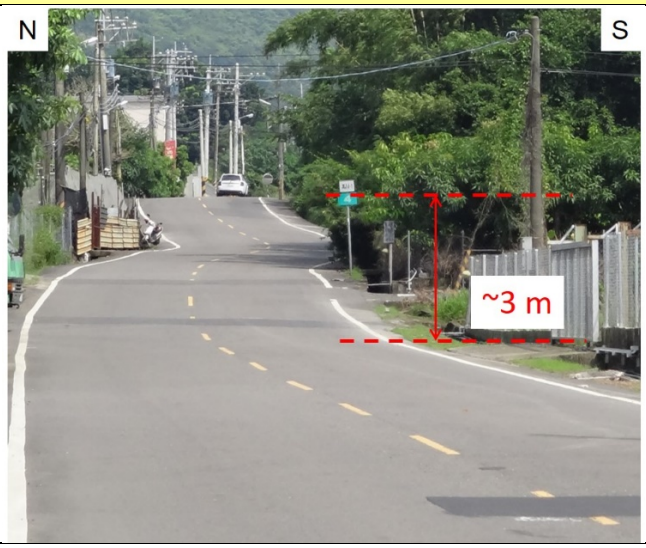
01	
	
位於斷層上盤處的大崗山。向東拍攝。(資料來源：台灣地震模型)	
02	03
	
小崗山斷層上的階地有撓曲崖，高差約 3 公尺（資料來源：本計畫野外現地拍攝）	斷層上盤階地呈緩斜坡。照片往西南拍攝。（資料來源：台灣地震模型）

表 10-2.8：旗山斷層之斷層特徵照片彙整

Tab. 10-2.8 Chishan fault photo.

	照片點位（座標） 1 (120.421, 22.823) 2 (120.414, 22.817) 3 (120.404, 22.803) 4 (120.404, 22.802) 5 (120.401, 22.793)

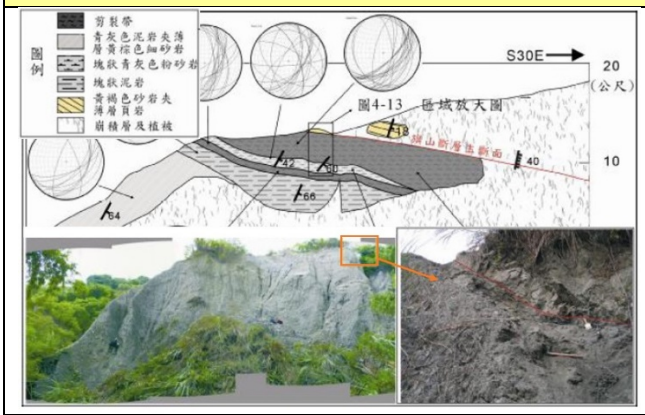
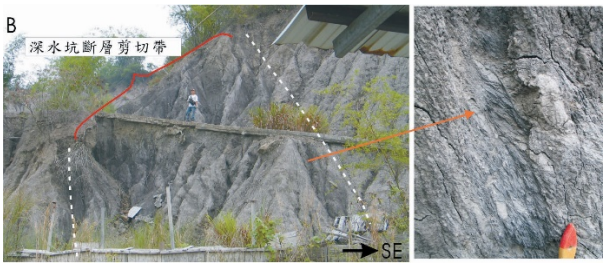
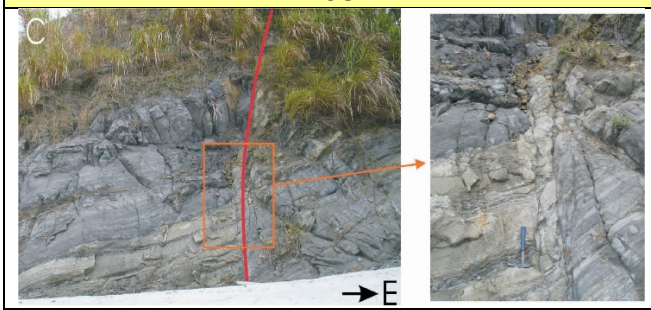
01	02
	
位於南勢湖的地質剖面圖。由陳柏村(2005)的調查得知此露頭上方有剪裂帶，認為旗山斷層主斷面可能位在此處。上圖為地質剖面圖，左下圖為剖面照片圖，右下圖為主斷面照片。	旗山斷層南勢湖剖面。旗山斷層主斷層，上盤為塊狀細粒砂岩與砂頁岩薄互層，下盤為厚約 30 公尺的變形帶。
03	04
	
新養女湖剖面南側斷層上盤岩層之拖曳褶皺，顯示斷層具逆移分量。	新養女湖之剖面有斷層剪切帶。
05	
	
深水苗圃剖面西北側砂岩層中具有剪切帶。	

表 10-2.9：潮州斷層之斷層特徵照片彙整

Tab. 10-2.9 Chaochou fault photo.

<table>
<tr><td>
</td><td>照片點位（座標）
1 (120.641, 22.817)
2 (120.622, 22.793)
3 (120.629, 22.712)
4 (120.635, 22.692)
5 (120.608, 22.668)
6 (120.601, 22.641)
7 (120.613, 22.465)
8 (120.613, 22.450)</td></tr>
<tr><td>01</td><td>02</td></tr>
<tr><td>
</td><td></td></tr>
<tr><td>自青山國小向北方遠觀，可觀察反斜崖（紅色箭頭處）之斷層地形特徵。
(資料來源：本計畫野外現地拍攝)</td><td>階地上的斷層撓曲崖。向東北邊拍攝。(資料來源：本計畫野外現地拍攝)</td></tr>
</table>

03	04
	
自隘寮溪南岸向北遠觀北岸的階地，階地呈背斜褶皺樣貌。下圖往南邊拍攝的階地上也有反斜崖（紅色箭頭處）的地形形貌。(資料來源：本計畫野外現地拍攝)	自瑪家鄉的芭里拉漾部落向南方遠觀，可看到中央山脈前的高位階地上有反斜崖的斷層地形特徵。圖中多邊形之崖面為反斜崖。向南方拍攝。(資料來源：本計畫野外現地拍攝)

05

圖中扇階(老埤農場)最西側的崖腳為潮州斷層可能位置。(出自地質調查所特刊第 23 號)

06	07
	
屏東科技大學校內的造景瀑布為潮州斷層之斷層線崖所在位置，該瀑布利用斷層線崖高差做成人工水池，水量多時會形成瀑布的效果。向東南方拍攝。(資料來源：本計畫野外現地拍攝)	新埤附近潮州斷層露頭。(上圖)潮州斷層可能位於階地西緣下方。(中圖)從槽溝開挖可看到板岩層上覆階地礫石層，板岩逆衝於礫石層之上，斷層位置如圖中白色虛線。(下圖)中圖之斷層近照。

08	
	
潮州斷層南段通過力力溪大橋北側階地群之西緣（紅色箭頭）。	

表 10-2.10：恆春斷層之斷層特徵照片彙整

Tab. 10-2.10 Hengchun fault photo

	照片點位（座標） 1 (120.717, 22.103) 2 (120.727, 22.086) 3 (120.720, 22.084) 4 (120.723, 22.081) 5 (120.729, 22.069) 6 (120.720, 21.963)
01	02
	
斷層線崖。此處斷層線崖可能受海浪侵蝕而略為後退。（資料來源：本計畫野外現地拍攝）	恆春斷層之線性崖(如圖中白色箭頭所指)，粉紅色虛線為沖積扇地形頂部。

03	04
	
斷層線崖。(資料來源：本計畫野外現地拍攝)	海口地區恆春斷層線性崖(如圖中白色箭頭所指處)。
05	**06**
	
四重溪北岸堤防。根據 Giletycz et al. (2017)，此裂縫可能是恆春斷層造成的剪裂帶。右下圖為 2019 年補拍攝，照片向西邊拍攝。	斷層崖。 (資料來源：台灣地震模型)

10-3 彙整成果至活動斷層查詢平台

中央地質調查所既有活動斷層查詢網頁以Google地圖與Google衛星影像為底圖，結合ESRI ArcGIS JavaScript API與全國門牌地址定位API，提供活動斷層空間位置展現，行政區暨門牌地址定位與活動斷層定位及環域分析(圖 10-3.1)。活動斷層查詢網站之功能架構主要可以分為基本圖台、定位功能、圖層套疊功能、活動斷層資訊查詢與活動斷層資訊匯出等五項功能模組(圖 10-3.2)。

既有活動斷層查詢網頁之斷層資訊以條帶地質圖及說明文字形式呈現(圖 10-3.3)。本計畫參酌既有活動斷層查詢功能，加入本計畫擴充之斷層資訊，包含斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果，透過圖形化互動介面，公開相關研究成果，滿足民眾知的權利。

以山腳斷層為例，既有活動斷層查詢網頁之斷層資訊除了條帶地質圖及說明文字外，在最下方會新增「斷層資訊與活動參數」及「分析潛勢與評估成果」之連結(圖 10-3.4)，「斷層資訊與活動參數」格式如圖 10-3.5 所示，「分析潛勢與評估成果」格式如圖 10-3.6，今年度已上傳前階段北部地區七條活動斷層之資料至網頁查詢平台中。各斷層參數詳細內容可參閱斷層參數說明書。



圖 10-3.1：中央地質調查所既有活動斷層查詢系統。

Fig. 10-3.1 Central Geological Survey active fault web query system.

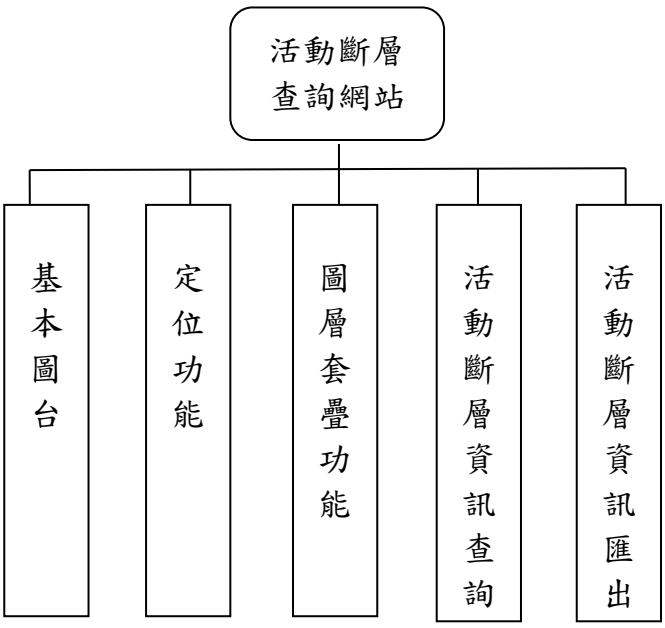


圖 10-3.2：網站功能架構圖。

Fig. 10-3.2 Website function diagram.



圖 10-3.3：活動斷層查詢網站示意圖。

Fig. 10-3.3 Active fault information website system.

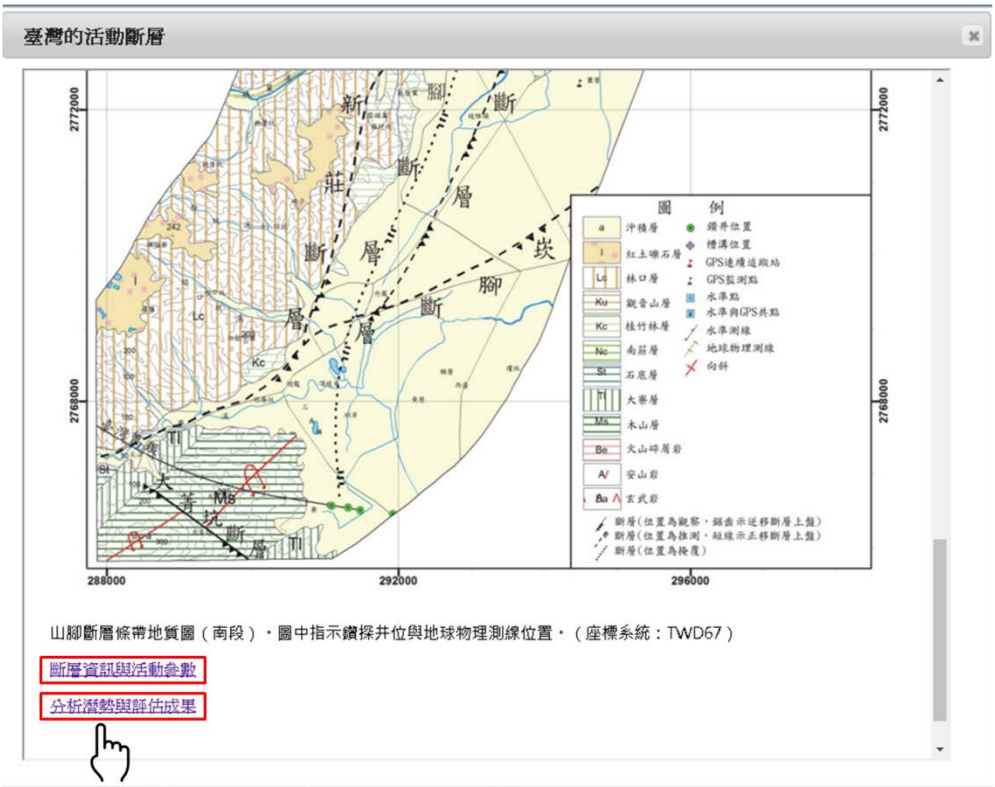
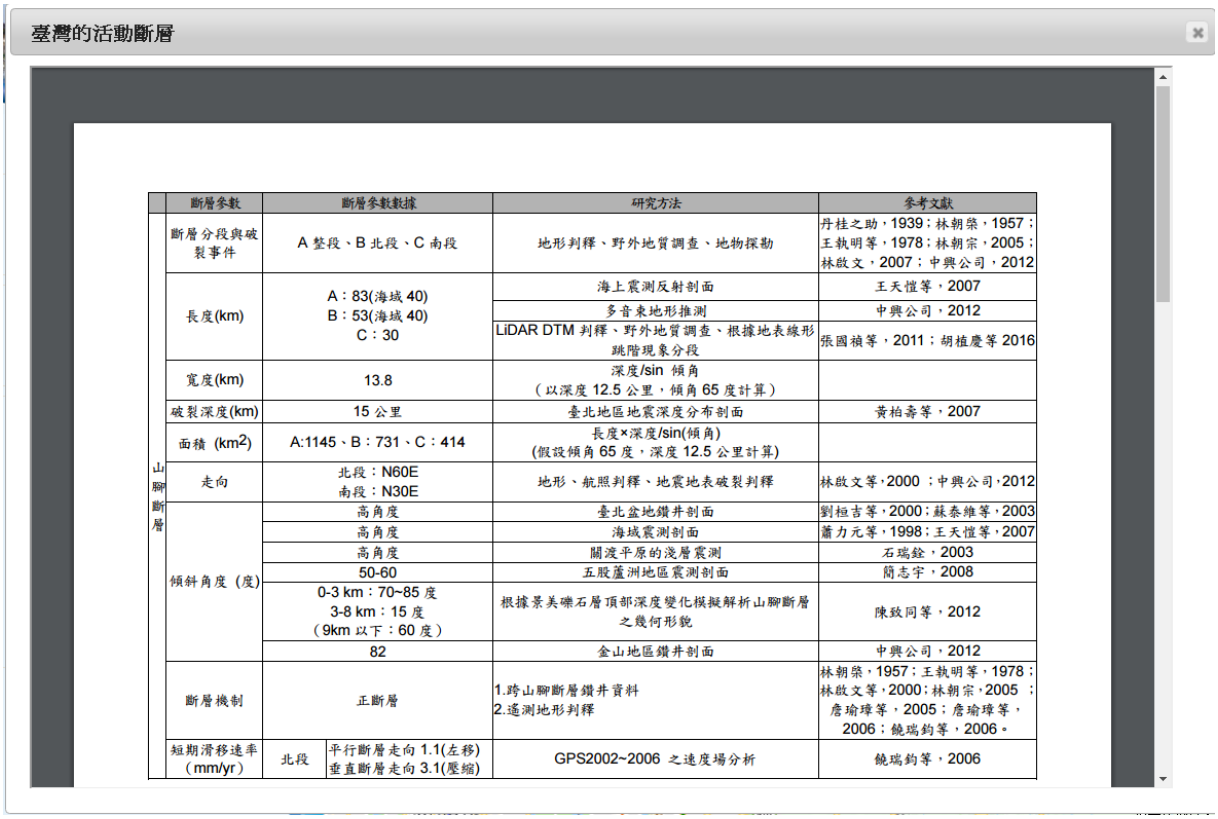


圖 10-3.4：活動斷層查詢網頁新增連結。

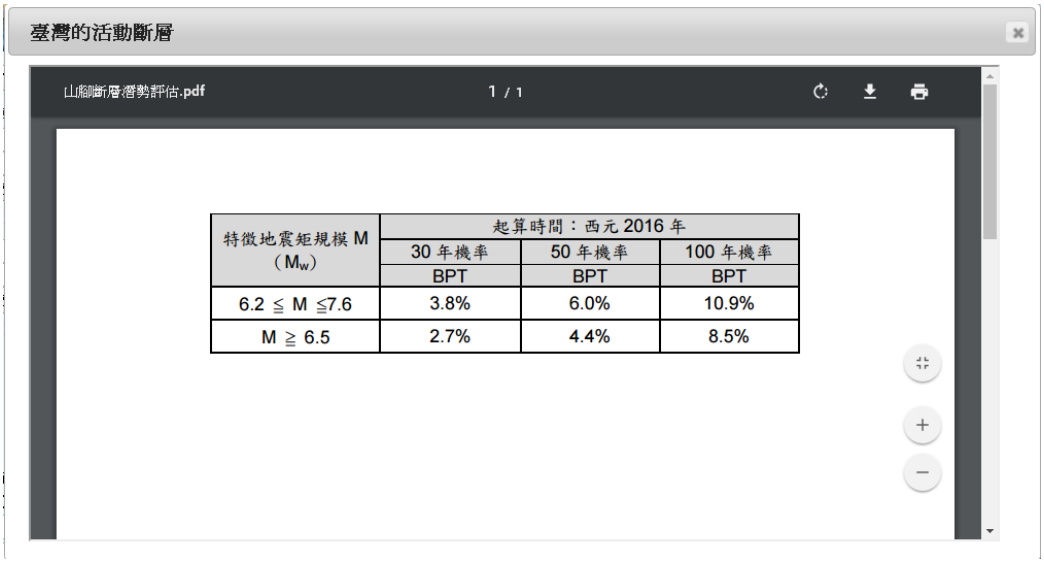
Fig. 10-3.4 Hyperlink of the active fault query system.



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

圖 10-3.5：活動斷層查詢網頁連結「斷層資訊與活動參數」。

Fig. 10-3.5 “Fault parameter information table” of the hyperlink in the active fault query system.



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

圖 10-3.6：活動斷層查詢網頁連結「分析潛勢與評估成果」。

Fig. 10-3.6 “Earthquake potential assessment results” of the hyperlink in the active fault query system.

第十一章、活動斷層潛勢圖公布相關問題研析

11-1 美日等國活動斷層潛勢圖公布經驗

特定斷層之發震機率潛勢評估圖資，目前僅美國與日本有相當系統地公開上網讓一般民眾能獲取資訊，從美日針對特定斷層之活動斷層調查及發震潛勢機率評估工作程序，以及公布圖資方式，皆為本計畫探討潛勢圖資公布議題研析之主要參考方向。兩造公開結果方式仍主要以網路平台揭露資訊，除了線上視覺化查詢之餘，另有提供階段性總結報告及圖資下載功能。類似於美國與日本的活動斷層網路訊息揭露之概念，經由本延續型計畫持續追蹤，彙整研析內容與建議作為未來計畫成果呈現之合宜方式參考作法。以下整理說明美日於斷層相關資訊公開方式，以及對於斷層潛勢評估之精進研究方向為何。

11-1-1 美國經驗

相關活動斷層潛勢圖公布相關網頁案例中，已於 106 年度「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(1/4)」報告中蒐集美國地質調查所(United States Geological Survey,簡稱 USGS)之活動斷層網路資訊平台(圖 11-1.1)，並對於相關查訊資內容進行說明，對於活動斷層的空間資料展示上做更為精進的改變，包含圖例上對於活動斷層之定義，則另行新增定義斷層區域(fault area)。資料提供方面，同時提供 KML(https://earthquake.usgs.gov/static/lfs/nshm/qfaults/qfaults.kmz) 及 GIS shapefiles(https://earthquake.usgs.gov/static/lfs/nshm/qfaults/Qfaults_2018_shapefile.zip)兩種格式下載。

另，南加州地震中心(South California Earthquake Center,簡稱 SCEC)協力 USGS 從事斷層潛勢評估計畫，階段性計畫成果於 2014 年 Working Group on California Earthquake Probabilities (WGCEP)完成，稱為 UCERF3(Third Uniform California Earthquake Rupture Forecast)計畫（Field et al., 2017），該計畫將斷層區分成許多分區，並考慮了斷層上各分區的連結破裂以及可能與其他斷層分區連結破裂的可能性，相對於 WG07 而言，增加探討了斷層複合破裂的事件。此種做法必須探討一條斷層上各分區的滑移速率，相對於 WG07，一條斷層上的滑移速率不一定是相同的。該計畫所公布之活動斷層及潛勢資訊，特別建立計畫成果查詢網站，使用者可自行由網站中下載 KMZ 檔（https://files.scec.org/s3fs-public/ucerf3_timedep_30yr_probs.kmz）。而潛勢評估成果則以不同的斷層顏色展示，展示特定斷層 30 年發生規模 6.7 以上地震發生潛勢機率數值。

UCERF3 計畫成果與後續 UCERF4 之建構程序及相關關鍵議題，已由計畫團隊撰寫文件(Field et al., 2018)內有相當全面的說明，而 SCEC 也於 2018 年提出五年規

劃書(SCEC5 proposal - https://files.scec.org/s3fs-public/SCEC5proposal.pdf)中，特別點出未來精進加州活動斷層潛勢評估的關鍵衍生研究重點議題。

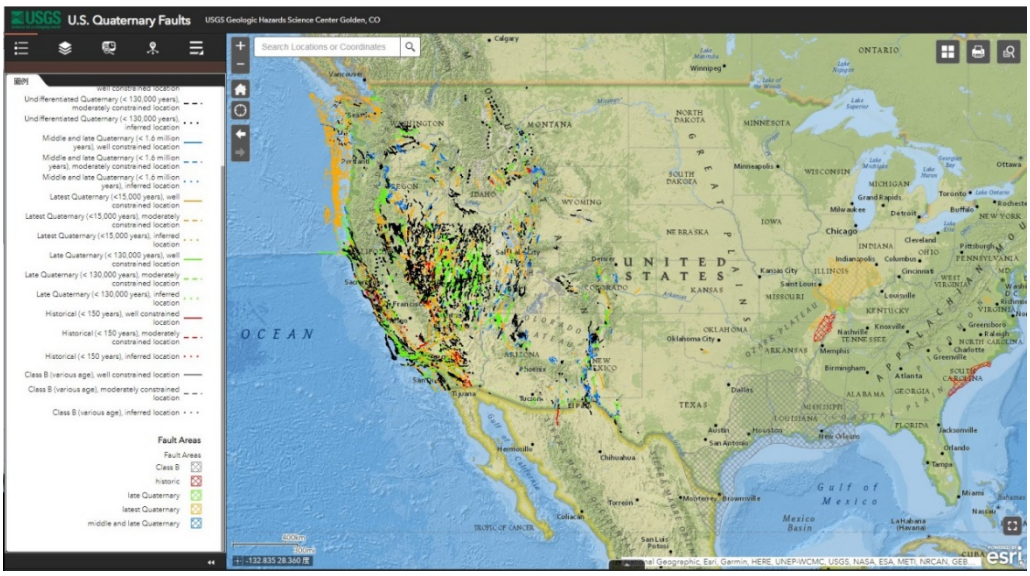


圖 11-1.1：美國地質調查所建置之活動斷層互動資訊平台。

Fig. 11-1.1 Interactive Fault Map of the quaternary fault and fold database of the United States.

11-1-2 日本經驗

地震研究推進本部(The Headquarters for Earthquake Research Promotion, 簡稱 HERP)延續每年公布活動斷層發震潛勢機率 (日文稱為主要活断層の長期評価) 圖，於 2019 年 2 月 26 日公布年度最新結果(圖 11-1.2)。自 2015 年起，公布方式則不再出現單一斷層最大特定規模之發生機率數值，而單純地僅呈現 S 級(S rank)斷層，亦即將 30 年發生機率大於 3%之斷層呈現出規模大小數值，另行加註警語：「不管任何等級，在日本任何地方，皆有地震引致強震的可能性」。

斷層潛勢的精進方向，則將日本全國分為九個地區(圖 11-1.3)，以逐步化從事各區斷層進行詳細調查後，回饋於單一斷層參數。而持續就斷層位置與型態、過去活動、未來活動及後續研究之四大議題做詳細探究，彙整出單一斷層之獨立報告上網公告。

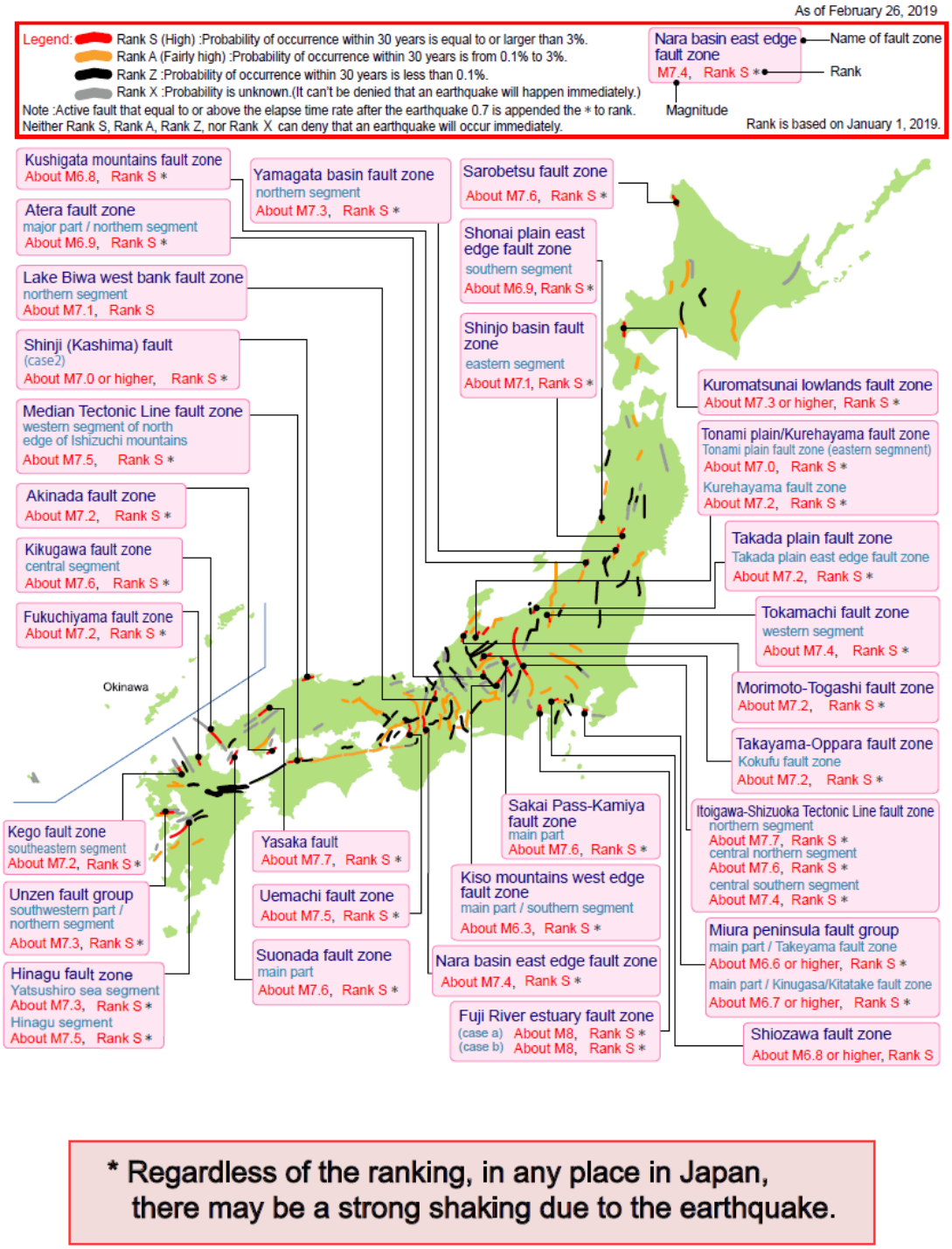


圖 11-1.2：斷層發震機率潛勢圖資。

Fig. 11-1.2 The map of probability of earthquake occurrence.
(https://www.jishin.go.jp/evaluation/evaluation_summary/#danso)

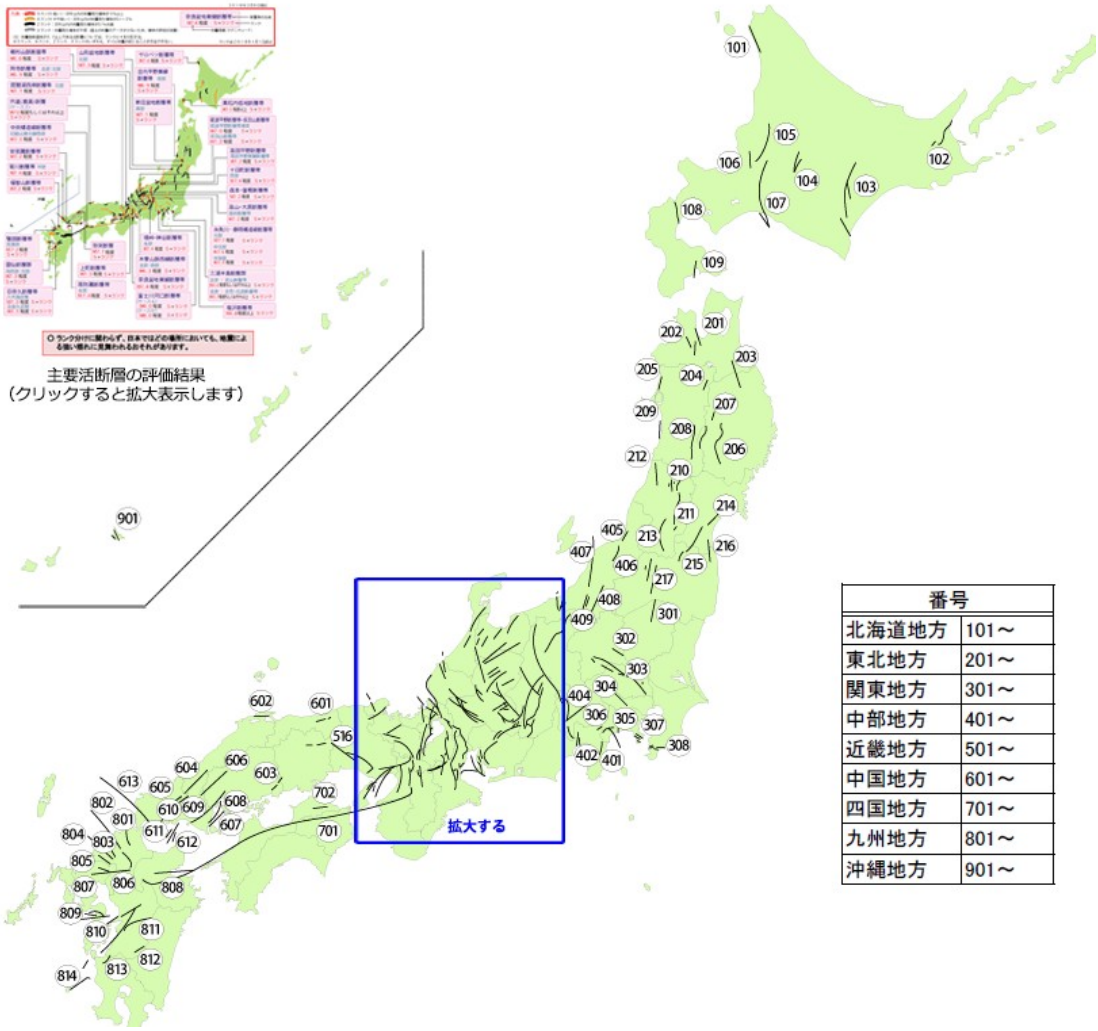


圖 11-1.3：長期評估之主要活動斷層帶概略位置圖。

Fig. 11-1.3 The map showing the location of major active faults for long-term evaluations.

11-1-3 歐洲經驗

歐洲地區之活動斷層資料庫，比較有系統為 SHARE 計畫(Basili et al., 2013)進行義大利鄰近區域斷層資訊彙整(the European Database of Seismogenic Faults，簡稱 EDSF)，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。歐盟支持的 SERA (The Seismology and Earthquake Engineering Research Infrastructure Alliance for Europe)計畫，則持續由義大利國家地球物理與火山學研究中心(Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 簡稱 INGV)更新區域斷層參數（圖 11-1.4），而原本 SHARE 計畫成果則延續地保留。大部分斷層資訊，則以主流之 GIS 平台格式提供，如 shapefiles 及 MapInfo Interchange Format (mid/mif)，另也有 Google Earth 使用之 KML 格式檔案。

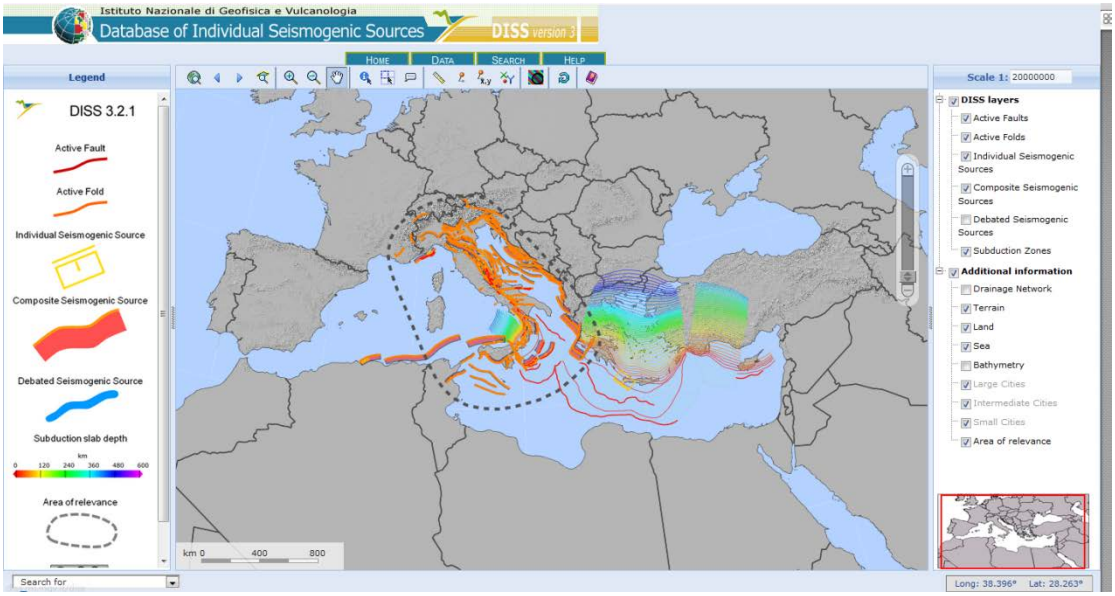


圖 11-1.4：歐洲部份區域個別孕震震源之資料庫系統。

Fig. 11-1.4 The WebGIS Database of individual seismogenic sources of the part of Europe Area (http://diss.rm.ingv.it/dissmap).

11-2 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(圖 11-1.2)，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。

本計畫 106 年度邀請了地質系、土木系、建築系、都市計畫、土地管理系等工程及地質科學領域專家學者，主要針對地質、水土保持、土地使用之相關專家展開兩次專家座談會議，初步了解潛勢圖公布後可能面臨之問題。107 年度則進一步邀請產險業者(新光產物保險公司、怡安保險經紀人公司)、地質法相關執業技師、以及官方單位如內政部營建署等參與座談，以利本計畫了解潛勢圖公布後可能產生之影響。本年度(108 年)專家座談會邀請對象聚焦如下：

政府防災單位：行政院災害防救辦公室。

民間防災業者：興創知能股份有限公司。

執業技師：與地質法明定之相關技師如應用地質技師。

二、召開專家座談會，瞭解與會單位之意見

透過專家座談會說明美國及日本潛勢圖圖資之網站平台、地質調查所現有圖資內容、國內相關法規。與會者了解現況後，可依據各自經驗說明本潛勢圖公布後可能面臨的問題及對產業可能產生的影響。而本計畫未來也將根據歷次與會者的建議向地質調查所提出「活動斷層潛勢圖公布問題因應策略建議書」。108 年度之專家座談會議於 10 月 28 日召開，本次會議討論內容詳見附錄 5，會議照片如圖 11-2.1。




106 年度專家座談會




107 年度專家座談會





108 年度專家座談會

圖 11-2.1：106~108 年度專家座談會會議情況。

Fig. 11-2.1 The meeting status of expert forum.

三、彙整問題，提出答覆及解決對策

本計畫彙整與相關學者專家與技師之各類問題與建議後，撰寫「活動斷層潛勢圖公布問題因應策略建議書_(108 年度版)」，以供地調所之參考依據，詳細內容請參見附錄 5。彙整各年度專家會議所提出的問題重點節錄如下：

- 應思考地調所單位屬性，是定位為調查研究還是業務執行? 建議地調所改組前先回歸調查研究之角色，以資訊揭露為主。
- 目前圖資比例尺精細度不足以指導建築，也不足以指導都市計畫，只適用國土計畫，要可以指導都市計畫之比例尺需精細到一萬分之一比例尺。
- 應思考如何與民眾風險溝通，公布後與不同的溝通對象有不同的語言，因此要釐清風險溝通的對象，鎖定風險溝通對象。勿輕易將潛勢圖給讀不懂或是無法理解的民眾，風險溝通錯誤會導致更大風險。
- 圖必須轉換有一層防災教育意義，用境況模擬震度及不同建物損毀程度，較能發揮業務上的權責，又能達到風險溝通的意義。
- 潛勢圖的公布，政策上應不會影響地震基本保險費率的變動，然而，有可能影響商業上住宅地震險費率之變動。
- 目前老屋應會需要潛勢圖資訊幫助啟動老屋健檢計畫，然而仍需要更明確的資訊，例如更精細化或是可以轉成震度等資訊。
- 潛勢圖應儘快公布，提供民眾知的權利。公布時機很重要，應在平常沒災害時就公布，才能提供民眾緩衝時間，也提供技師在安全評估時納入考量。
- 在使用者須知中應補充：未鄰近斷層區域不代表不會受災。
- 公布應有相關配套措施，如提供諮詢的窗口。
- 應提供民眾版及專業版給不同的風險溝通對象。
- 潛勢圖可做為地質敏感區優先調查之指導。
- 潛勢圖可做為防災設施及重大工程配置之參考，防災設施不能離危害度高之區域太遠，但又不能近到自己也受災。
- 潛勢圖可做為各縣市補助防災設備分配之參考。
- 應有相關的教育宣導來教育民眾如何解讀。
- 地調所可考慮提供不同規模之發生機率或是不同版本，而不是只有規模 6.5 以上?
- 斷層發生機率是否可協助耐震設計？如車籠埔斷層因剛活動過，機率已降低，位於斷層兩公里內之擋土牆是否還需要那麼高的耐震度?
- 重大工程水庫、核電、橋樑尚未反映目前地調所究成果。須使地調所意識到目前的研究成果可以與政府相關業務單位或法規結合。
- 地震保險費率可隨斷層機率的更新而進行調整。
- 須注意斷層潛勢圖科技部的版本已公開，且已被災防單位應用，地調所後續公布是否會對災防單位造成混亂的衝擊?
- 政府防災單位、產險業者、業務相關之公私營單位可關注機率較高的斷層，進行優先模擬及防災規劃。
- 對執業技師具有正面效益，有明確的公布規模及機率可依循。

- 「非都市」土地使用管制規則，其中地質結構不良、地層破碎主要來自鑽井調查資料，活動斷層部分則考慮到地震矩規模和退縮距離的關係，所以潛勢圖公布地震矩規模對技師而言是有明確的依據。
- 建議與此潛勢圖公布有影響相關單位進行彙整，由行政院災防辦協助聯繫及各單位之間的連結。
- 公部門資訊勢必要公開。可先釋出消息和媒體溝通，公開要有步驟，要有節奏。

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，經地調所同意後，可考慮調整說明會之邀請對象。以車籠埔斷層或彰化斷層為例，可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。藉由說明會,可逐步瞭解各地方單位之意見及想法,以增進政府對圖資使用者之溝通。

從以往政府與民眾溝通的經驗來看，民眾相信政府的公權力，但卻不滿意政府對民眾的說明，其原因仍是「溝通不足」,這部分除了靠政府宣傳之外，根本解決方式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。

希望本斷層潛勢圖之公布，不僅不會讓民眾恐慌，而是以積極的態度讓民眾認知到身處於地震發生頻率高的台灣，地震的發生是自然現象，重要的是人民因應地震發生時如何提前做好防災的準備工作，以達到本計畫之目標：

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

第十二章、本年度成果與後續工作

12-1 本年度成果

1. 針對南部地區九條活動斷層(16 木屐寮斷層、17 六甲斷層、19 新化斷層、20 後甲里斷層、21 左鎮斷層、22 小崗山斷層、23 旗山斷層、24 潮州斷層、25 恆春斷層)進行新資料蒐集，並諮詢相關專家後，進行參數更新及邏輯樹重新劃設，各斷層參數更新之狀況詳表 12-1.1 所示。
2. 本計畫蒐集 Wu et al. (2017)之 D90 孕震深度空間分布資料，針對南部地區活動斷層進行孕震深度分析，結果顯示斷層區域之 D90 孕震深度均高於地質平衡剖面之深度，推測區域中應有其他深部構造之影響。
3. 完成南部地區 9 條活動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。
4. 以機率法評估活動斷層未來 30、50、100 年特徵地震規模之發生機率。南部地區各斷層發生機率詳如表 12-1.2 所示。
5. 建立南部地區 9 條活動斷層視覺化三維斷層模型，說明詳附錄 6。
6. 本計畫新增景國恩等（2019）「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（3/4）」計畫推估之斷層滑移虧損速率，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOCKS 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較，並加入斷層潛勢評估中。
7. 建立北宜蘭構造及初鄉斷層之參數表及邏輯樹節點之劃設，詳附錄 1 及附錄 2。
8. 召開兩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，兩次會議記錄詳附錄 3。
9. 匯整南部地區 9 條活動斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果至活動斷層查詢平台。活動斷層照片檔及相關資訊提供給資訊廠商建置於圖臺上。
10. 本計畫規劃活動斷層潛勢圖公布相關問題研析之執行流程，並舉辦一次專家座談會議，邀請對象包括產行政院災防辦、民間防災業者、相關執業技師，瞭解活動斷層潛勢圖公布後之相關問題及對策，記錄詳附錄 5。

表 12-1.1：活動斷層參數修改情形(O 表示有修改)

Tab. 12-1.1 The modify summary for the parameters of the active faults

斷層參數 / 斷層名稱	分段破裂模式	斷層幾何	特徵地震規模	滑移速率 (mm/yr)
木屐寮-六甲	O(權重)	O	O	O
新化	O(權重)			O
後甲里	O	O	O	
左鎮		O	O	O
小崗山斷層		O	O	O
旗山斷層	O	O	O	O
潮州斷層		O(傾角)	O	O
恆春斷層	O(北段長度)	O	O	O

表 12-1.2：南部地區活動斷層未來 30、50、100 年發生機率

Tab. 12-1.2 The 30-, 50-, and 100-year conditional probability for M ≥ 6.5 earthquakes of each fault in Southern Taiwan

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
木屐寮-六甲	西元 1941 年	BPT	29.2%	43.6%	66.7%
	未知	Poisson	20.6%	31.4%	51.3%
新化	西元 1946 年	BPT	9.6%	14.0%	20.7%
後甲里	西元 1862 年	BPT	2.4%	3.8%	6.6%
	未知	Poisson	1.7%	2.8%	4.9%
左鎮	未知	Poisson	2.3%	3.7%	6.7%
小崗山斷層	未知	Poisson	4.9%	7.8%	14.2%
旗山斷層	未知	Poisson	11.4%	17.9%	31.6%
潮州斷層	未知	Poisson	2.5%	4.2%	8.1%
恆春斷層	未知	Poisson	13.2%	20.5%	34.9%

表 12-1.3：本年度預期進度甘梯圖（Gantt Chart）

Tab. 12-1.3 The Gantt Chart for this year poject

計畫名稱：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(3/4)													
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	■	■											
建立木屐寮斷層、六甲斷層、新化斷層之活動斷層參數邏輯樹		■	■										
建立左鎮斷層、後甲里斷層之活動斷層參數邏輯樹				■	■								
召開第 1 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議						■							
建立小崗山斷層、旗山斷層之活動斷層參數邏輯樹							■	■					
建立潮州斷層、恆春斷層之活動斷層參數邏輯樹								■	■				
召開第 2 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議										■			
建立北宜蘭構造之震源參數設定				■	■	■							
建立初鄉構造之震源參數設定							■	■	■				
建立南部地區 9 條活動斷層視覺化三維斷層模型				■	■	■	■	■	■	■			
蒐集推估南部地區 9 條活動斷層之孕震深度分布圖				■	■	■		■	■	■			
南部地區 9 條活動斷層潛勢評估									■	■	■		
蒐集南部地區 9 條活動斷層相關特徵照片至活動斷層查詢平台			■	■	■	■	■	■	■	■			
匯整南部地區 9 條活動斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果至活動斷層查詢平台			■	■	■	■	■	■	■	■			
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 12-1.4：預期進度查核點（Check Point）

Tab. 12-1.4 Project check points

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

註：依計畫需求，與業主辦理工作進度會議

表 12-1.5：本年度計畫交付之各項工作項目

Tab. 12-1.5 Deliver items of this year project

	工作項目		章節
南部活動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，重新劃設南部地區 9 條活動斷層(16 木屐寮斷層、17 六甲斷層、19 新化斷層、20 後甲里斷層、21 左鎮斷層、22 小崗山斷層、23 旗山斷層、24 潮州斷層、25 恆春斷層)邏輯樹。		2-2 3-2 4-2 5-2 6-2 7-2 8-2 9-2
	2. 召開 2 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議，進行邏輯樹架構與參數權重之合理性探討。		附錄 3
	3. 建立南部地區 9 條活動斷層視覺化三維斷層模型。		附錄 6
	4. 精進孕震深度評估方法：蒐集推估南部地區 9 條活動斷層(16 木屐寮斷層、17 六甲斷層、19 新化斷層、20 後甲里斷層、21 左鎮斷層、22 小崗山斷層、23 旗山斷層、24 潮州斷層、25 恆春斷層)之孕震深度分布圖。		2-1-3 3-1-3 4-1-3 5-1-3 6-1-3 7-1-3 8-1-3 9-1-3
	5. 產製南部地區 9 條活動斷層潛勢圖。		10-1
孕震構造之震源參數設定	北宜蘭構造	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。	附錄 1
		2. 劃設北宜蘭構造邏輯樹。	
	初鄉斷層	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。	附錄 2
		2. 劃設初鄉斷層邏輯樹。	
制定各活動斷層參數說明書	1. 南部斷層相關特徵照片蒐集彙整。		10-2
	2. 匯整潛勢評估成果，繪製並出版臺灣活動斷層潛勢圖。		附錄 4
	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		10-3
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 11 章
	2. 辦理相關專家座談會。		附錄 5

12-2 後續工作及建議事項

1. 對於本年度計畫南部地區部分活動斷層的滑移速率評估，是否要加入無震滑移率進行折減，於專家會議中仍有爭議。因目前尚未有一致性的做法，建議後續可針對南部斷層無震滑移率問題進行國外經驗的研究，共同決定出合意的無震滑移率評估方式。
2. 根據現有調查資料，小崗山斷層應可建立跨斷層的地質剖面。然而目前尚未發現已發表的科學期刊有跨小崗山斷層地質剖面，建議後續可整理相關地質調查資料並發表。
3. 斷層的滑移速率評估若要考慮滑移角，建議可與大地測量團隊合作，固定斷層下盤中的點位當作參考點，即可獲得上盤相對下盤的地殼變形方位，使滑移角更有依據。
4. 計畫團隊蒐集文獻的地震資料可能不足以反映孕震深度，建議後續可自行蒐集微震資料進行評估。
5. 後續針對臺灣東部地區 8 條活動斷層參數持續進行資料蒐集及精進之工作。於總結報告中則需以西元2020年為起算時間重新評估全台33條活動斷層的發生機率潛勢。

名詞解釋

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

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

參考文獻

王宏霖（2006）以反射震震測法研究木屐寮斷層及其附近構造。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，台灣中壢，共 118 頁。

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

日本地震調查研究推進本部地震調查委員會(2019)全國地震動預測地圖 2019 年版。

石瑞銓、王乾盈、謝昭輝（1998）雲嘉南地區活動斷層震測調查。經濟部中央地質調查所活動斷層地球物理探勘計畫 87 年度報告，共 130 頁。

石瑞銓、陳平護、呂明達、陳文山（2002）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－淺層地球物理探勘（1/5），經濟部中央地質調查所 91 年度研究報告，共 166 頁。

江新春（1976）宜蘭平原之震測。礦業技術，第 14 卷，第 6 期，第 215-221 頁。

杜冠穎（2013）以河道地形分析探討臺灣西南部六甲斷層的新構造特性。國立臺灣大學地質科學系碩士論文，共 109 頁。

何信昌、謝凱旋、高銘健、陳華玟（2005）五萬分之一臺灣地質圖幅及說明書：新化。經濟部中央地質調查所，共 77 頁。

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

林啟文、盧詩丁、黃文正、石同生、張徽正（2000）臺灣中部濁水溪以南地區的集集地震斷層與構造分析。經濟部中央地質調查所特刊，第十二號，第 89-111 頁。

林啟文、盧詩丁、石同生、劉彥求、林偉雄、林燕慧（2007）臺灣西南部的活動斷層：二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第 17 號，共 141 頁。

林啟文、陳文山、劉彥求、陳柏村（2009）台灣東部與南部的活動斷層。二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。十、小崗山斷層。經濟部中央地質調查所特刊，第 23 號，111-131。

林啟文（2013）五萬分之一臺灣地質圖說明書-旗山。經濟部中央地質調查所。

林昱圻（2008）潮州斷層之淺層震測研究。國立中正大學地震研究所暨應用地球物理研究所碩士論文，共 68 頁。

胡植慶、劉啟清、楊燦堯、景國恩、鄭錦桐（2016）斷層活動性觀測研究第三階段-斷層整合性觀測與潛勢分析。經濟部中央地質調查所第三階段總結報告書(二)，共 468 頁。

徐澔德、莊怡蓉、崔秀國（2016）臺灣地區斷層模型參數建置。核能設施地震危害重新評估計畫之專業委辦計畫，共 29 頁。

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、黃能偉、楊志成、游能悌、周飛宏、顏一勤、宋時驊、楊小青（2005）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－槽溝開挖與古地震研究計畫（4/5）－旗山與龍船斷層條帶地質圖說明書。經濟部中央地質調查所報告第 94-08-2 號，共 48 頁。

陳文山、李偉彰、黃能偉、顏一勤、楊志成、楊小青、陳勇全、宋時驊（2005）恆春半島增積岩體的構造與地層特性: 全新世恆春斷層的活動性。西太平洋地質科學，第 5 卷，第 129-154 頁。
陳文山（2006）地震地質調查與活動斷層資料庫建置計畫－槽溝開挖與古地震研究計畫（總報告）: 一、「新期構造、古地震與槽溝開挖研究」。經濟部中央地質調查所研究報告 95-08 總號，共 133 頁。
陳文山、陳于高、楊小青(2006)地震地質調查及活動斷層資料庫建置—槽溝開挖與古地震研究計畫(5/5)。經濟部中央地質調查所研究報告 95-7 號。
陳文山、松多信尚、石瑞銓、楊志成、游能悌、朱曜國、陳志壕、林啟文、劉桓吉、盧詩丁、劉彥求、林燕慧、陳柏村（2010）台灣西部平原區隱伏在全新世沉積層下的新期構造－以小崗山斷層為例。經濟部中央地質調查所特刊，第 24 號，75-91 頁。
陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2010）地震地質與地變動潛勢分析計畫－斷層長期滑移速率與再現週期研究（4/4）。經濟部中央地質調查所報告第 95-9 號，共 68 頁。
陳文山、游能悌、楊小青（2010）地震地質與地變動潛勢分析計畫－斷層長期滑移速率與再現週期研究（總報告）。經濟部中央地質調查所研究報告 99-9 號，共 141 頁。
陳文山、游能悌、楊小青（2011）重要活動斷層構造特性調查研究計畫─斷層活動特性分析與評估（1/4）。經濟部中央地質調查所報告第 100-9 號，第 36-74 頁。
陳文山、黃能偉、楊志成（2011）臺灣西南部更新世沈積層序特性與前陸盆地演化。經濟部中央地質調查所特刊，第二十五號，第 1-38 頁。
陳文山、游能悌、楊小青（2012）重要活動斷層構造特性調查研究計畫-斷層活動特性分析與評估(2/4)。經濟部中央地質調查所報告，第 101-9 號，共 130 頁。
陳文山、松多信尚、朱曜國、游能悌、楊小青（2014）從全新世隆起珊瑚礁海階年代分析恆春斷層的活動特性。經濟部中央地質調查所特刊，第二十八號，第 1-18 頁。
陳延宗（2007）以反射震測法研究左鎮斷層及其附近構造。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 90 頁。
陳冠宇（2014）台灣北部由造山帶至弧後張裂之陸域及海域構造研究，中央大學地球科學系學位論文，共 199 頁。
陳華玟、陳勉銘、石同生（2004）南投圖幅及說明書，五萬分之一台灣地質圖，第三十一號。經濟部中央地質調查所出版。
張家鳳(2005)旗山斷層的淺層震測探勘。國立成功大學地球科學研究所，碩士論文，共 67 頁。
張麗旭、周 敏、陳培源（1947）民國 35 年 12 月 5 日台南之地震。臺灣省地質調查所彙刊，第 1 號，11~18 頁。
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。
黃勝群、陳彥宏、石瑞銓、張徽正、林啟文、陳文山（2004）新化斷層帶的淺部構造特徵。經濟部中央地質調查所特刊，第 15 號，第 99-110 頁。

傅昭明（2009）小崗山斷層之淺層反射震測與鑽井資料研究。國立中正大學地震研究所暨應用地球物理研究所碩士論文，共 62 頁。
富國公司及顏一勤應用地質技師事務所（2016） 旗山斷層向南延伸調查報告。經濟部中央地質調查所委託報告，共 138 頁。
景國恩、胡植慶、陳宏宇、張午龍、鄭凱謙、莊昀叡（2019）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（3/4）經濟部中央地質調查所 108 年度委辦計畫執行期末報告書。
經濟部中央地質調查所（2009）「大台北地區特殊地質災害調查與監測第二期-臺灣東北海域地質及地球物理資料彙編與分析(2/4)」成果報告書。
楊志成、顏一勤、宋時驊、黃能偉、陳勇全、陳文山、陳于高、吳樂群、張徽正、侯進雄、林啟文（2005）六甲斷層近萬年來滑移速率之探討。經濟部中央地質調查所特刊，16 期，1-16。
劉桓吉與李錦發（1998）雲林圖幅及說明書，五萬分之一台灣地質圖，第三十八號。經濟部中央地質調查所出版。
蔡旻倩（2013）台灣西南部地殼變形與地震活動相關性研究。國立中央大學地球科學學系博士論文，共 250 頁。
鄭宏祺（2000）台灣西南部台南至屏東地區地質構造之研究。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，共 92 頁。
鄭錦桐（2002）臺灣地區地震危害度的不確定性分析與參數拆解。國立中央大學地球物理研究所博士論文，共 141 頁。
蘇清全（2011）蘭陽平原末次冰期以來沉積環境變遷與構造作用特性。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 129 頁。
Basili R., Kastelic V., Demircioglu M. B., Garcia Moreno D., Nemser E. S., Petricca P., Sboras S. P., Besana-Ostman G. M., Cabral J., Camelbeeck T., Caputo R., Danciu L., Domac H., Fonseca J., García-Mayordomo J., Giardini D., Glavatovic B., Gulen L., Ince Y., Pavlides S., Sesetyan K., Tarabusi G., Tiberti M. M., Utkucu M., Valensise G., Vanneste K., Vilanova S., Wössner J. (2013) The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE.
Bonilla, M.G. (1975) A review of recently active faults in Taiwan: U. S. Geological Survey Open File Report 75-41, 58 p.
Brown, D., J. Alvarez-Marron, M. Schimmel, Y.-M. Wu, and G. Camanni (2012) The structure and kinematics of the central Taiwan mountain belt derived from geological and seismicity data, Tectonics, 31, TC5013.
Camanni, Giovanni, J. Alvarez-Marron, D. Brown, C. Ayala, Y. M. Wu, H. H. Hsieh (2016) The deep structure of south-central Taiwan illuminated by seismic tomography and earthquake hypocenter data. Tectonophysics, 679, pp. 235–245.
Chen, Yue-Gau and T. K. Liu (1993) Holocene Radiocarbon Dates In Hengchun Peninsula And Their Neotectonic Implications. Journal of the Geological Society of China, 36(4): 457-479.
Chen, Y.-G., Liu, T.-K. (2000) Holocene uplift and subsidence along an active tectonic margin southwestern Taiwan. Quat. Sci. Rev. 19, 923–930.
Cheng, W.B., S.K. Hsu, C.H. Chang (2012) Tomography of the southern Taiwan subduction zone and possible emplacement of crustal rocks into the forearc

mantle. Global and Planetary Change 90–91, pp. 20–28.
Chiang, S. C. (1971) Seismic Study of the Chaochou structure, Pingtung, Taiwan: Petrol. Geol. Taiwan, no.8, 281-294.
Clift, P.D., Lin, A.T.S., Carter, A., Wu, F., Draut, A.E., Lai, T.-H., Fei, L.-Y., Schouten, H., and Teng, L. (2008) Post-collisional collapse in the wake of migrating arc-continent collision in the Ilan Basin, Taiwan. Geological Society of America Special Paper 436, p. 257–278, doi: 10.1130/2008.2436(12)
Field, E. H., Jordan, T. H., Page, M., Milner, K., Shaw, B., Dawson, T., Biasi, G., Parsons, T., Hardebeck, J., Michael, A., Weldon, R., Powers, P., Johnson, K., Zeng, Y., Bird, P., Felzer, K., van der Elst, N., Madden, C., Arrowsmith, R., Werner, M., Thatcher, W., & Jackson, D. (2017) A Synoptic View of the Third Uniform California Earthquake Rupture Forecast (UCERF3). Seismological Research Letters, 88 (5), 1259-1267.
Field, E. H., & Working Group on California Earthquake Probabilities. (2018). Improving Earthquake Rupture Forecasts Using California as a Guide. Seismological Research Letters, 89(6), 2337-2346.
Hu, C. C., and Sheen, H. C. (1989) An evaluation on the hydrocarbon potential of the Niushan and Lungtien structures in the Tainan area. Petrol. Geol. Taiwan, 25, 11-34.
Huang, S.-T., Yang, K.-M., Hung, J.-H., Wu, J.-C., Ting, H.-H., Mei, W.-W., Hsu, S.-H., Lee, M. (2004) Deformation front development at the northeast margin of the Tainan basin, Tainan–Kaohsiung area. Taiwan. Mar. Geophys. Res. 25, 139–156.
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.
Hsieh, S. H. (1970) A study on geology and gravity anomaly on the Pingtung Plain, Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, no13.
Lacombe, O., Mouthereau, F., Deffontaines, B., Angelier, J., Chu, H.-T., Lee, C.-T., (1999) Geometry and Quaternary kinematics of fold-and-thrust units of southwestern Taiwan. Tectonics 18, 1198–1223.
Le Béon, M., J. Suppe, M. K. Jaiswal, Y.-G. Chen, and M. E. Ustaszewski (2014) Deciphering cumulative fault slip vectors from fold scarps: Relationships between long-term and coseismic deformations in central Western Taiwan. J. Geophys. Res. Solid Earth, 119, doi:10.1002/2013JB010794.
Le Béon, Maryline, Mong-Han Huang, John Suppe, Shiuh-Tsann Huang, Erwan Pathier, Wen-Jeng Huang, Chien-Liang Chen, Bénédicte Fruneau, Stéphane Baize, Kuo-En Ching, and Jyr-Ching Hu (2017) Shallow geological structures triggered during the Mw 6.4 Meinong earthquake, southwestern Taiwan. Terr. Atmos. Ocean. Sci. Vol. 28, No. 5, 663-681.
Le Béon, M., O. Marc, J. Suppe, M.-H. Huang, S.-T. Huang and W.-S. Chen (2019) Structure and deformation history of the rapidly growing Tainan anticline at the deformation front of the Taiwan mountain belt, Tectonics, Vol. 38, 9, pp. 3311-3334.
Lee, Y.-H. and Y.-X. Shih (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, B07402.
Lin, Andrew T., Bochu Yao, Shu-Kun Hsu, Char-Shine Liu, Chi-Yue Huang (2009)

Tectonic features of the incipient arc-continent collision zone of Taiwan: Implications for seismicity. Tectonophysics, 479, pp. 28–42.

Liu, C. S., Huang, I. L., Teng, L. S. (1997) Structural features off southwestern Taiwan. Marine Geology, 137, pp. 305-319.

McIntosh, Kirk, H. van Avendonk, L. Lavier, W. R. Lester, D. Eakin, F. Wu, C.-S. Liu, and C.-S. Lee (2013) Inversion of a hyper-extended rifted margin in the southern Central Range of Taiwan. Geology, 41 (8): 871-874.

Pan, Y.S. (1968) Interpretation and seismic coordination of the bouguer gravity anomalies obtained in southwester n Taiwan, Petrol. Geol. Taiwan, no. 6, p.197-208.

Rodriguez-Roa, F. A. and D. V. Wiltschko (2010) Thrust belt architecture of the central and southern Western Foothills of Taiwan. Geological Society, London, Special Publications, 348, pp. 137-168.

Shyu, J. Bruce H., Sieh, K., Chen, Y., Liu, C. (2005) Neotectonic Architecture of Taiwan and Its Implications for Future Large Earthquakes. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, Volume 110, Issue B8.

Simoes, M., J. P. Avouac, and Y.-G. Chen (2007) Slip rates on the Chelungpu and Chushiang thrust faults inferred from a deformed strath terrace along the Dungpuna River, west central Taiwan. J. Geophys. Res., 112, B03S10.

Suppe, J. (1980) Imbricated structure of western foothills belt, south central Taiwan: Petrol. Geol. Taiwan, n. 30, p. 163 -176.

Wang, C. Y., C.-L. Li, F.-C. Su, M.-T. Leu, M.-S. Wu, S.-H. Lai, and C.-C. Chern (2002) Structural mapping of the 1999 Chi-Chi earthquake fault, Taiwan, by seismic reflection methods, Terr. Atmos. Ocean. Sci., Vol. 13, pp. 211 –226.

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.

Wiltschko, D., L. Hassler, J.-H. Hung, H.-S. Liao (2010) From accretion to collision: Motion and evolution of the Chaochou Fault, southern Taiwan. Tectonics, 29 (2).

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

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

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

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.

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. 最大規模：由於 Yen & Ma 無標準差，與 Well & Coppersmith 中值差在 0.1 以內，對中值之權重相對較高；二個公式各 0.5，並無報告所述本土公式給予較高權重，建請修正與說明。	感謝委員協助釐清，已於期末報告中刪除本土公式給予較高權重的描述。
2. 第二至五章中更新之邏輯樹（Logic Tree），圖中建議以色彩或符號標註更新處，較容易辨識；第 64 頁，表 8-1.1 中後甲里之滑移速率應修正為有修改「0(權重)」；附錄 1-10，逆斷層應修正為正斷層（簡報已修正）；而 σ=0.25 非 0.3。	(1) 感謝委員建議，因多數斷層修改的比例較多，使得整個邏輯樹都需要標註，反而不具有突顯及辨識性，本團隊會思考其他標記方式以協助判讀。 (2) 感謝委員指正，權重修改部分應為誤植，本計畫期末階段權重會改回與前階段一致。 (3) 感謝委員指正，遵照修改。
3. 建議表 A、B、C 移至第八章初步成果與後續工作，名詞解釋部分放於文後，並建議名詞為中英對照方式呈現，如活動斷層(active fault)。名詞解釋中，滑移速率之估算，在現今是採 GPS、InSAR 與水準測量獲得，建議修正。	遵照辦理修改。表 A、B、C 移至期末報告第十二章，名詞解釋部分移至第十二章之後。
4. 六甲-木屐寮斷層「是否出露地表」？Seismic detachment 在西南部的角色為何？六甲-木屐寮斷層的滑移速率是否過高？	(1) 六甲-木屐寮斷層根據楊志成等(2005)莿桐崎剖面及地調所台南藝術學院附近斷層露頭，是有破裂到地表。 (2) 西部麓山帶逆斷層通常是由斷坡及深部滑脫面(detachment)構造組成，若考慮滑脫面為孕震構造，則斷層斷坡加上滑脫面破裂面積就會增大，斷層破裂時造成的地震規模也會增加。 (3) 前人研究是將斷層兩側地層抬升速率換算成淨滑移速率，而斷層在地表的傾角約為 30 度，因此將垂直抬升速率換算到斷層面上淨滑移速率就會是抬升速率的兩倍左右。
5. 有關木屐寮-六甲斷層長期滑移速率部	感謝委員建議，杜冠穎（2013）資料

分，杜冠穎（2013）係用下切量代表抬升量，與其他以鑽探等較直接之調查文獻數值差異頗大，是否有探討原因為何？或是適度調整權重？	相對於其他地質資料屬於間接推估資料，本計畫期末時會降低其權重進行評估。
6. 後甲里斷層之更新部分，有關發震之震源斷層有重大改變，原先設定為前緣之台南斷層，這次修改則著重於後甲里斷層本身，建議說明改變之理由？第 30 頁之滑脫面是否還向西延伸（如陳等，2011）？如何將其滑動定為後甲里系統？	(1) 本計畫原先預設地質調查所尚未公佈的斷層不納入潛勢評估中，經提醒，本團隊重新查看地調所後甲里斷層條帶地質圖說明書內容，已論述後甲里斷層為台南斷層的背衝斷層，因此本團隊期末仍將台南斷層的幾何也加入考慮，命名與前階段一致為後甲里斷層系統。 (2) 如前所述，在期末階段考慮台南斷層幾何面，即可將滑脫面向西延伸的部分考慮進後甲里斷層系統中。
7. 後甲里斷層最近一次活動時間，研判與 1862 年台南地震相關，但依照徐明同（1983）等文獻推估震央可能位於台南官田附近，距離本斷層以北至少十幾公里，反而與臺南前緣斷層較近，與本計畫定義之後甲里斷層幾何型態（北界為新化斷層）並不相符，有無明確歷史紀錄描述當時之破壞，尤其是地表破裂之相關現象可佐證？	翁淑卿（2002）由槽溝所見之地層沉積及變形情形，後甲里斷層的主要活動期應在台南層形成之後，並一直持續至今。槽溝中發現之地裂及古墳棺槨傾斜的古地震事件，可能與西元 1862 年造成千人死亡的台南地震有關（李錫堤等，2001）。
8. 後甲里斷層是否真會發震？2016 美濃地震的影響？臺南台地北側地震多為走滑機制，應力反演結果也為走滑應力形態。	(1) 考慮後甲里斷層為背衝斷層，主動破裂可能性較低，因此本計畫考慮加入台南斷層成為後甲里斷層系統。 (2) 美濃地震可能造成台南台地震後緩慢的抬升現象。對於用模型反演斷層滑移虧損率，可能會有所高估。 (3) 感謝委員提供的資訊，本計畫認為台南台地北側應是新化斷層向西延伸，才有走滑地震的產生。所以後甲里斷層往北延伸應不會超過新化斷層。
9. 左鎮斷層可能有潛移行為，而 blocks 方法算出的滑移虧損率僅適用全閉鎖（lock）或全潛移的斷層模式，故使用時需更為謹慎。	感謝委員意見，建議模型反演考慮各斷層之特性給予權重，例如此處 blocks 方法推估之左鎮斷層滑移虧損率，由於未考慮潛移，可給予較低的權重進行評估。

10. 新化斷層的近期活動可能出現在 2016 年美濃地震之震後時期，新化斷層之滑移速率可能高估。	感謝委員意見，建議模型反演可考慮移除 2016 震後的速度場再進行模擬，較能呈現新化斷層於間震期滑移虧損率的分布。
11. 日本自 2015 年起已不再公布單一斷層活動潛勢之機率數值，美國則以顏色表示潛勢機率數值，請團隊考量二者展示方式優缺點以作為未來潛勢圖之參考。而後續工作中，針對附錄二專家之問題與意見，是否要處理？如何處理？	(1) 日本於報告中仍有持續公布斷層活動潛勢之機率數值，最新的成果為 2019 年版本。因為台灣的板塊活動高於日本及美國，因此建議不採用日、美的分級方式，待完成四年全台 33 條活動斷層潛勢之機率評估，再依各斷層評估值進行分級。 (2) 專家之意見及討論均會反映至報告修改當中，其中部分建議後續調查的部分，也會做為後續精進調查的重點。
12. 第 19 頁之名詞有滑脫面、滑離面，是否統一？第 21 頁，3-1-2 標題有（本計畫更新），實際如第二段所言，並未進行修改；第 40 頁，第二段「無發現新事証」，後續引用 2019 資料更新，建請修正。第 44 頁，表 6-1.2 之座標系統請標明，另外 GPS 座標有其精度，建議統一取至小數點後幾位即可；如有參考本所其他延續性報告書，請將資料更新至最新，例如：附圖 1.10。	(1) 統一名詞為「滑脫面」。 (2) 感謝委員意見，針對未修改幾何的斷層，標題中移除「本計畫更新」。 (3) 因 2019 資料屬於斷層模型反演的結果，本計畫修改文字為「無發現新”地質”事證」。 (4) 感謝委員意見，本團隊於期末報告會標明座標系統，小數位數統一取到小數後 3 位。 (5) 感謝委員意見，北宜蘭構造近期滑移速率會更新景國恩等(2018)北部速度場計算成果。
13. 活動斷層地質敏感區審議小組開會時，建議來旁聽，能更瞭解本案與活動斷層地質敏感區之關聯性。	本團隊已派員參加 108 年 9 月 23 日活動斷層地質敏感區劃定會議。
14. 本研究於設定權重時，需說明是根據哪些假設？其學理之依據為何？應於本報告中說明與呈現，而非僅引用文獻。	本計畫權重分配，主要是經由專家會議中專家意見給予各分支權重。專家們在分段破裂模式上，通常會根據不同斷層的性質，給予不同的破裂事件權重，因此較無一致性的準則可依循。常見的權重分配 0.2, 0.6, 0.2，通常是來源較單一的資料，因為來源單一，所以本計畫採用常態分布的概念處理參數權重。另一種權重分配是 0.3, 0.4, 0.3，通常是來源資料較多，各資料得到的參數中值並不相同，因此本計畫會匯集各資料參數範圍得到上下界及中值，給予近似等

	權重的權重，即 0.3, 0.4, 0.3。
15. 本研究很不錯的除了中英文長摘要外，亦於圖表說明以中英文對照，非常不錯，但為配合政府雙語推動，請於期末總報告之報告結論或建議也以中英文對照；另外結論及建議除了科學成果外，要有使用者（民眾或機關）可用資訊，應該增加一章節，說明本年度與上年度比較，新增的成果，以及初步的評估或模式，並每年滾動修正。	感謝委員意見，本計畫會補充相關章節於期末繳交的定稿版中。

期末委員審查意見

期末審查意見	處理情形
報告書內容建議：	
1. 第 15 頁圖 2-2 木屐寮-六甲斷層邏輯樹更新部分，提及其他計畫利用 3 種斷層模型反演推估之斷層滑移速率，此項結果如何應用於本計畫之評估？	模型反演評估的成果適用於缺少地質資料計算長期滑移速率的活動斷層，而木屐寮-六甲斷層有鑽井及地層錯移資料協助評估其長期滑移速率，因此本計畫在長期滑移速率上建議採用地質資料計算的結果為主，模型反演評估的結果則列出作為參考比較用。
2. 第 28 頁 3-2 新化斷層邏輯樹更新部分，提及其他計畫利用 3 種斷層模型反演推估之斷層滑移速率，三者差異甚大(平均值為 18.6、9.1、0.4)，目前係以接近平均(權重 0.3、0.35、0.35)方式計算處理是否妥適？此數值與前階段之估計值(平均 1.15)亦相差甚大，建議是否先討論上述數值合理性後，再採適當權重處理。	由於邏輯樹精神係為涵蓋所有資訊來源之不確定性，需要論證上有證據支持某種模式的合理性時，得以調整權重，然而目前並未有證據顯示何種模式為佳，因此仍採用均權方式。而估計值則因以現階段斷層模型與大地測量資料之最新彙整成果所反演，於是採用新數據為主。斷層滑移速率推估上，在模型反演的限制性與合理性，則需配合「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」計畫後續探討成果以進行調整。
3. 第 32 頁新化斷層發震之推估部分，在未來發生地震矩規模 6.5 以上地震之機率明顯下降(<10%)，但在涵蓋地震規模較小時(6.0≦M≦6.9)的機率增高許多，1946 年新化地震的芮氏地震規模為 6.1，建議說明中多加論述，以免忽視此類型地震之災害。	感謝委員建議，本計畫於定稿內文中補充說明如下：因新化斷層受限於斷層長度及幾何，發生規模 6.5 以上的地震機率較低，然而若是考慮規模 6.5 以下的特徵型地震，發震機率就會提高許多，本計畫認為不能輕忽新化斷層規模 6.5 以下的特徵地震對台南地區致災的可能性。
4. 第 48 頁後甲里斷層發震之推估部分，在未來發生地震矩規模 6.5 以上地震之機率明顯下降(<10%)，但在涵蓋地震規模較小時(5.7≦M≦7.1)的機率增高許多，建議說明中多加論述，以免忽視此類型地震之災害。	本計畫於定稿內文中補充說明如下：因後甲里斷層系統受限於斷層長度及幾何，發生規模 6.5 以上的地震機率較低，然而若是考慮規模 6.5 以下的特徵型地震，發震機率就會相對提高許多，本計畫認為不能輕忽後甲里斷層系統規模 6.5 以下的特徵地震對台南地區致災的可能性。
5. 第 53 頁左鎮斷層之滑移速率，本期採 3 種斷層模型反演推估之斷層滑移速率，三者差異甚大(平均值為 4.6、3.0、0.7)，目前係以不同權重(權	同新化斷層回應，由於邏輯樹精神係為涵蓋所有資訊來源之不確定性，需要論證上有證據支持某種模式的合理性時，得已調整權重，然而目前並未有證據顯

重 0.4、0.4、0.2)的方式計算處理，此數值與前階段之估計值(平均 1.72mm/yr、滑移虧損 0.61 mm/yr，權重各佔 0.5)亦相差甚大，建議是否先討論上述數值合理性後，再採適當權重處理。	示何種模式為佳，因此仍採用均權方式。而估計值則因以現階段斷層模型與大地測量資料之最新彙整成果所反演，於是採用新數據為主。斷層滑移速率推估上，在模型反演的限制性與合理性，則需配合「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」計畫後續探討成果以進行調整。
6. 第 72 頁有關旗山斷層幾何，第六段倒數第 3 行「深度 3-12 公里，傾角 60 度」與圖 7-1.7 表示「3-11.5 km, 40^{o}」不符。	感謝委員指正，修改 72 頁及 76 頁關於 case 2 幾何文字敘述為「3-11.5 公里，傾角 40 度」。
7. 第 111 頁圖 10-1.1 及第 112 頁圖 10-1.2 斷層活動機率圖中，19 新化斷層部分係採 BPT 模式計算，誤植為 Poisson Model，請修正。建議將有歷史地震紀錄之斷層同時將 BPT 與 Poisson Model 放入報告書內，方便比較。	感謝委員指正，本計畫期末報告定稿本中會補充新化斷層 Poisson Model 評估結果以供比較。 至於潛勢圖呈現上，為避免造成讀者的混淆，仍僅呈現新化斷層 BPT 模式評估的成果，潛勢圖誤植部分改為 BPT 模式。
8. 有關 10-2 活動斷層現地照片一節，部分照片並未標示方向，請確認後修正。	感謝委員建議，未標示方向之照片，已在圖片描述中補充說明拍攝方向。
9. 附錄第 4-3 頁及第 4-4 頁之活動斷層潛勢圖配合臺灣水平速度場與臺灣垂直速度場之資料，提供資訊很豐富、很漂亮，但容易造成資料解讀過度或失焦，建議適當簡化。	感謝委員建議，關於圖幅版面配置，基於延續前兩年圖資之呈現方式考量，暫不作更動。待完整計畫完成後，再彙整意見進行全臺潛勢圖版面之配置修改。
10. 附錄第 4-3 頁及第 4-4 頁之圖片上之潮州斷層，地調所版本未分成兩條斷層，請修正。	感謝委員建議，潛勢圖之潮州斷層線型依據地調所網站上公布版本進行修改。
11. 建議將前後期計畫成果之比較放入報告，並說明討論調整參數對於斷層潛勢差異的影響，例如新化斷層在不同期計畫之潛勢評估差異甚大。	感謝委員建議，各斷層之發震機率推估章節會新增前階段計畫機率推估成果，並說明討論調整參數對於斷層潛勢差異的影響。
其他本案執行建議：	
1. 此研究案在方法與工項上提及 WG07 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，但實際上，此研究案與 UCERF3	關於 UCERF3 相關說明補充於 11-1-1 節中。

的流程及邏輯樹的建構上之差異及未來性，建議於報告書中再詳加說明。	
2. 區域震源模式比較適合用 D90 孕震深度分析，但本案為活動斷層模式，建議結合地質剖面和地震在不同深度之流變學剖面中的脆塑性轉換帶的深度為參考。	在活動斷層孕震深度評估上，本計畫已盡可能性地完整蒐集跨斷層地質剖面，可與地震資料進行比對，後續則會依委員意見持續蒐集流變學剖面加入評估。
3. 活動斷層潛移之折減建議從測地學反演中得到之閉鎖程度或震後變形中評估。思考「斷層活動潛勢」和「地震潛勢」是否一致？因斷層不但會發震，還具有潛移特性及慢滑移事件(slow slip event)。	感謝委員建議，本計畫後續會持續與「地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估」計畫團隊討論其耦合係數是否可應用於折減率的給定，以及如何建立折減率給定的準則。 「斷層活動潛勢」的確包含了「地震潛勢」及其他「潛移」或「慢滑移」事件，本團隊負責「地震潛勢」的評估部分，後續也可結合「地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估」計畫之測地資料，針對斷層近期的活動潛勢進行討論，並彙整於參數說明書中。
4. 請謹慎使用地震資料，有地震不代表是斷層的延伸位置，同時也應該考慮地震特性，並請思考無震帶之意義及考慮滑脫面和活動斷層之定義。	(1) 本計畫使用地震資料主要是兩種考量，一個是決定孕震深度，因此會考慮微震分布的情形，可能位於斷層上盤區域地震不是由該斷層破裂引發，但也可提供做為孕震深度的參考。另一個考量就是決定斷層最近一次活動時間，就必須選取位於斷層上盤區域規模較大的地震(例如規模 5 以上)分布，才能決定採用何種機率模式計算。本計畫後續也會參酌是否可合宜性地考慮地震震源機制特性，協助篩選斷層地震。 (2) 南部地區有許多斷層長度較短，不考慮滑脫面破裂則地震規模應不會超過 6.5 以上，加上對於潛勢評估仍應保守考量各種破裂的可能性，包括斷坡加滑脫面破裂的情形，可能性較低可用低權重處理。
5. 活動斷層特性精細調查(1/4)今年度報告中亦進行初鄉斷層之地表斷層跡、地球物理調查、地質鑽探剖面及長期滑移速率估算等調查工作，請參	由於活動斷層特性精細調查(1/4)計畫今年度也在結案當中，待其定稿版完成即可彙整至初鄉斷層參數說明書。

酌納入考慮。	
6. 建議增加本案專家會議的討論之次數,並在每次會議中針對特定議題或特定斷層做討論，避免發散議題。	感謝委員建議，本團隊會多與專家顧問先進行各自的討論，單獨討論可以讓議題更深入，在舉辦專家會議前可達成初步的共識及結論。專家會議則是彙整個別專家討論結果進行總結，可儘量避免議題發散或是無法得到結論的情形。
7. 建議與所方討論及提供所方,本案於執行時之不足,如哪條斷層相關參數資料蒐集較不容易,將有助於未來所方於相關計畫案規劃時參考。	感謝委員建議，本計畫會將可行的後續建議事項列於 12-2 節中。

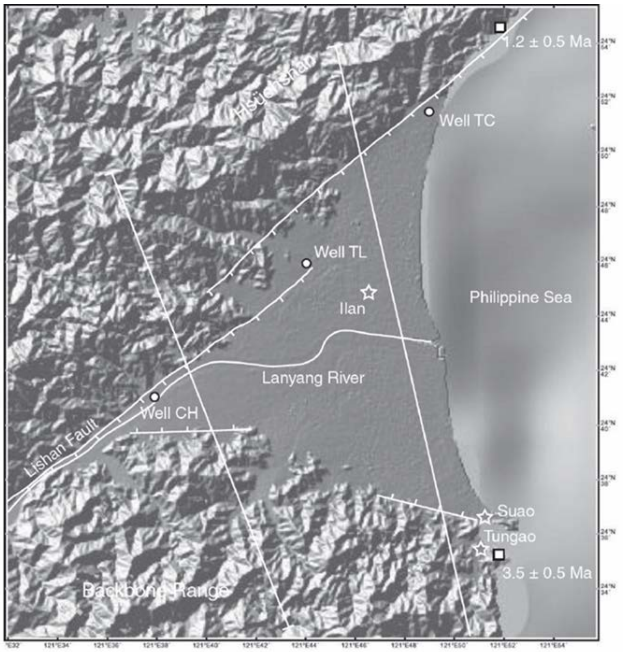
附錄 1 北宜蘭構造之震源參數說明書

北宜蘭構造為去年度「地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估」計畫於北部地區模型反演中，有新增並推估斷層之滑移虧損率，另外，徐澔德等(2016)在其 TEM 孕震構造中，也有針對北宜蘭構造參數加以探討，因此本團隊認為資料應足夠可以新增北宜蘭構造之震源參數。

一、斷層參數表之建立及說明

1. 斷層長度與分段：

Clift et al. (2008)探討宜蘭平原成因時，於宜蘭平原之北繪製了南北兩段正斷層（附圖 1.1）。徐澔德（Shyu et al., 2005；徐澔德等，2017）利用數值地形判釋出宜蘭平原北界及南界各有一條正斷層，並命名為北宜蘭構造及南宜蘭構造，北宜蘭構造長度約為 60.5 公里（附圖 1.2）。地質調查所（2009）由海底地形資料判釋線形構造，而有較大基盤落差之區域為正斷層構造所在位置(附圖 1.3)。陳冠宇（2014）發表之外海構造線形暗示陸域正斷層可能與海域正斷層相連，然而陸域及海域線性皆無連續性，無確切證據顯示線性之間有連續破裂之可能性（附圖 1.4）。依據線性特徵的連續性將宜蘭平原之北的斷層分為三個部分，一為宜蘭平原北界之地形落差位置（A 段），二為頭城、三貂角延伸出去海陸交界地形落差位置（B 段），三為海底地形線性較明顯之區域（C 段）。長度分別為 A 段 49 公里，B 段 40 公里，C 段 38 公里（附圖 1.5）。



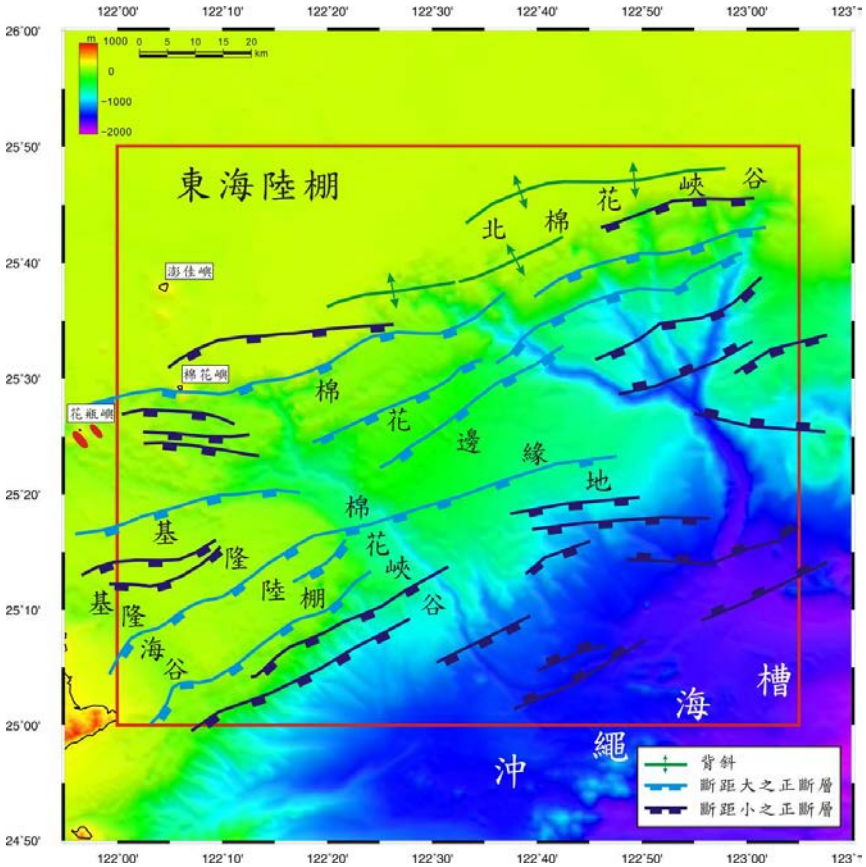
附圖 1.1：Clift et al. (2008)繪製之宜蘭平原線性構造。由地質調查顯示北宜蘭斷層可分為南、北兩段，北段往北延伸出海，南段可能與梨山斷層的延伸有關。

Fig. 1.1 The linear structures of Ilan Plain (Clift et al., 2008).



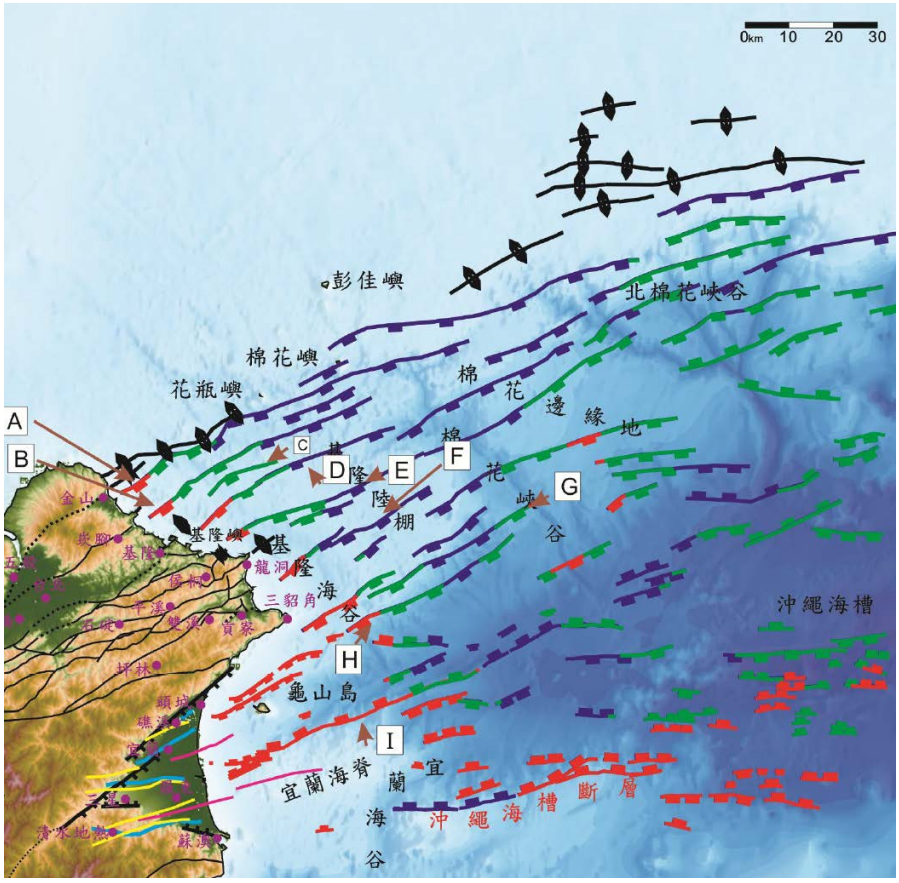
附圖 1.2：北宜蘭構造分布圖(徐澔德等，2017)。

Fig. 1.2 Northern Ilan structure distribution.



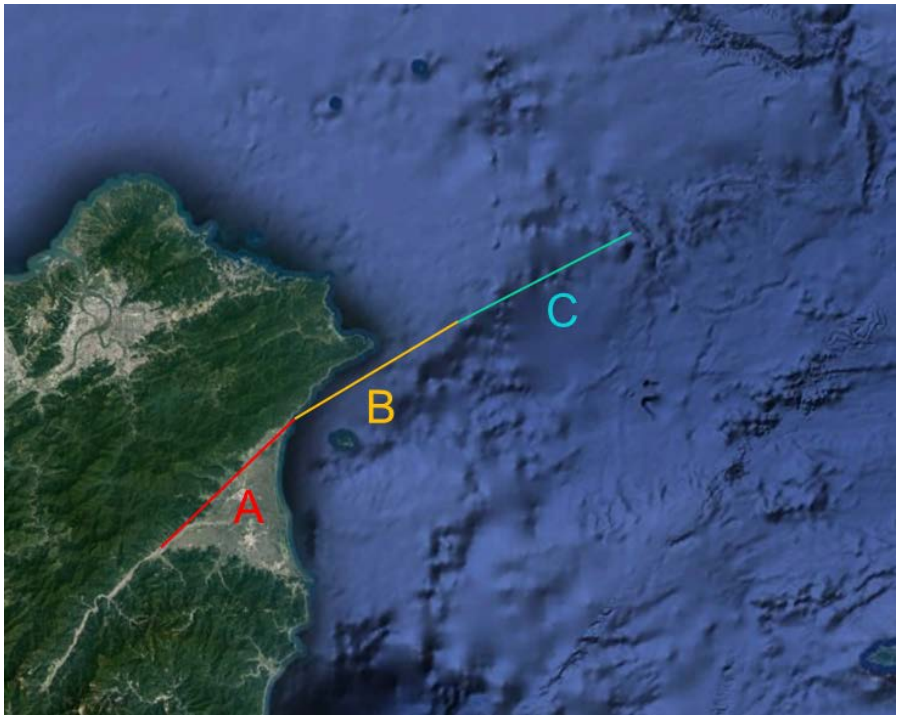
附圖 1.3：台灣北部海域地形線性分布。淡藍色的正斷層表示擁有較大基盤落差的正斷層構造（地調所，2009）。

Fig. 1.3. The linearment of Taiwan northern offshore (C.G.S., 2009).



附圖 1.4：台灣北部海域地形線性分布（陳冠宇，2014）

Fig. 1.4. The linearment of Taiwan northern offshore (Chen et al., 2014).



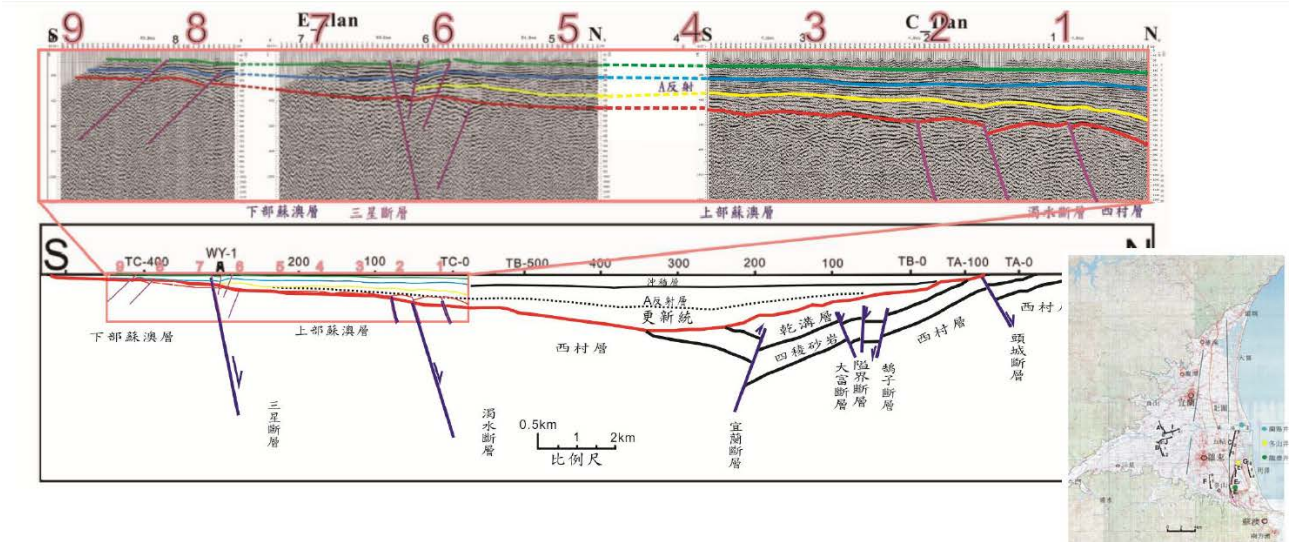
附圖 1.5：北宜蘭構造分段示意圖。

Fig. 1.5 Northern Ilan structure segment diagram.

2. 斷層幾何形貌（傾角、深度）：

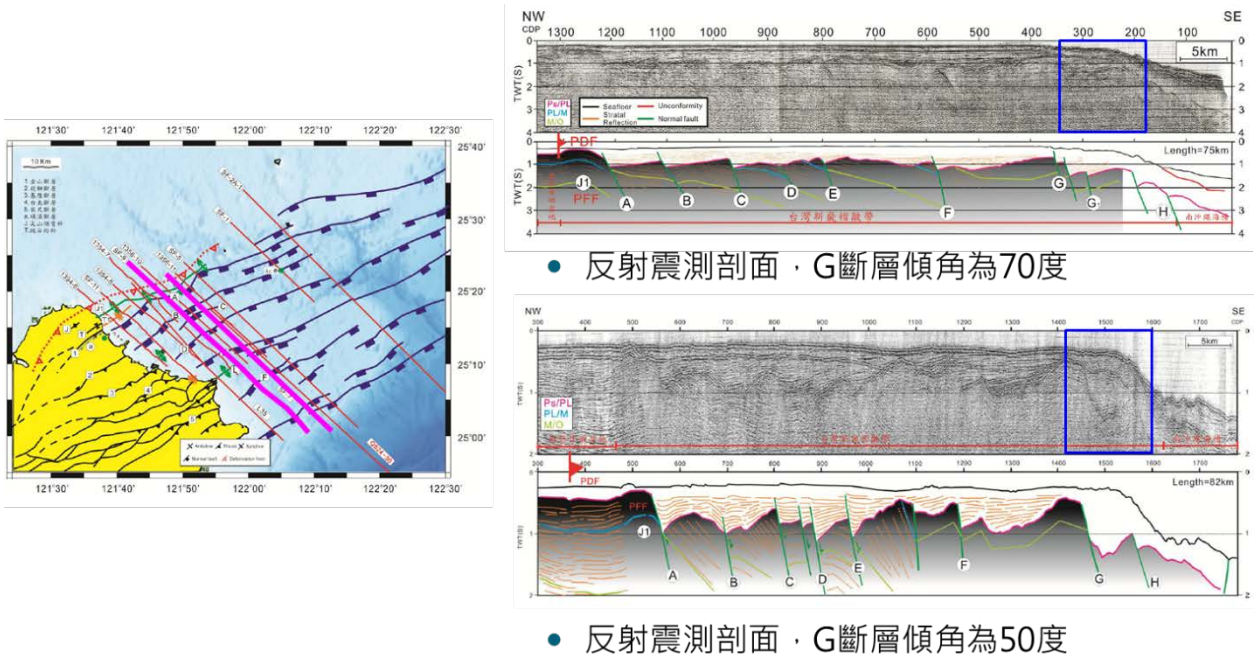
江新春（1976）利用震測探查宜蘭平原，結果顯示宜蘭平原中央的沉積物最厚而往南北兩側漸漸變薄(附圖 1.6)。由海域反射震測剖面中顯示 G 斷層之傾角為 50 至 70 度(附圖 1.7)，陳冠宇（2014）發表之海域反射震測結果顯示第三紀基盤的頂部不整合面上、下盤落差最大有 1 秒，相當於近 1000 公尺的落差(附圖 1.8)。台灣地震模型（TEM）利用地溫梯度及地震深度分布資料，推估北宜蘭構造深度為 10 至 20 公里深。台灣地震危害度評估(SSHAC)蒐集前人發表文獻，透過專家委員會議討論決定北宜蘭構造深度參數邏輯樹為 10、15、20 公里，傾角參數邏輯樹為 50、60、70 度（附圖 1.9）。

北宜蘭構造幾何參數彙整於附表 1.1 中。



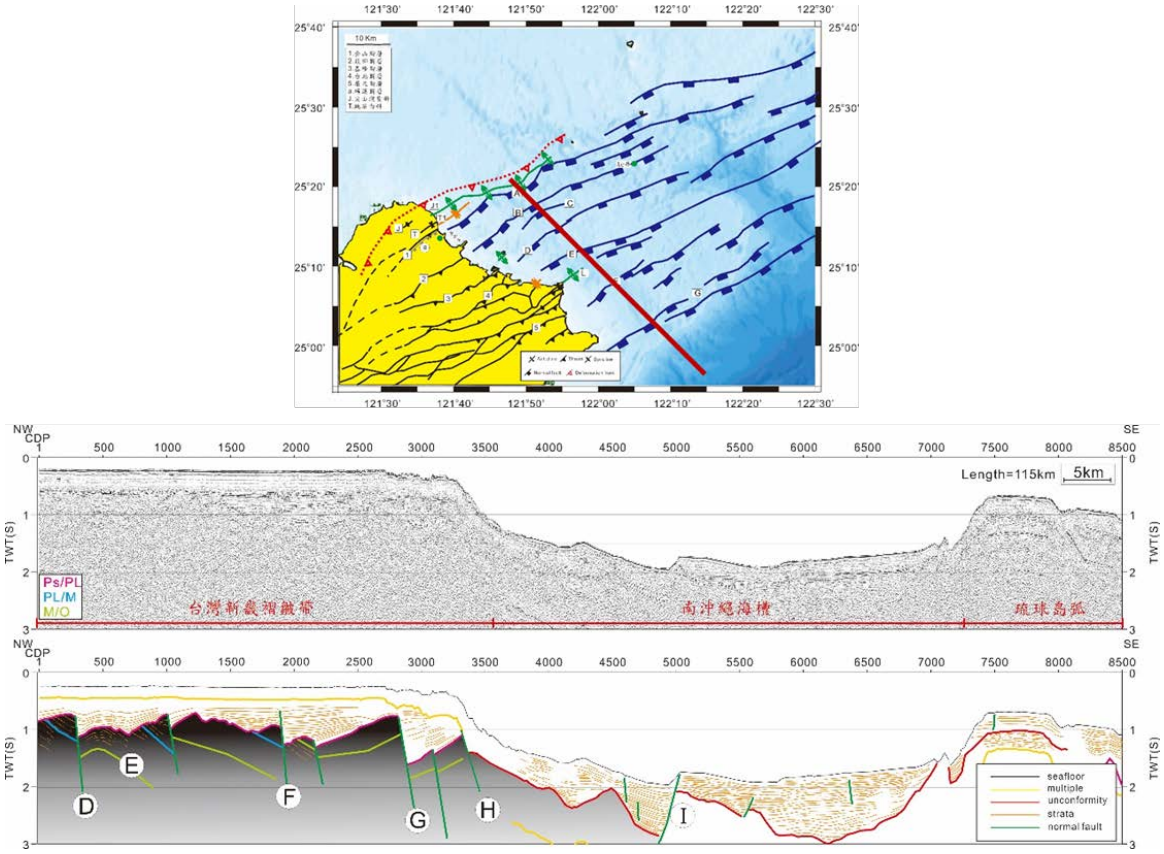
附圖 1.6：宜蘭平原反射震測平衡剖面（江新春，1976）

Fig. 1.6 Ilan plain seismic reflection profile.



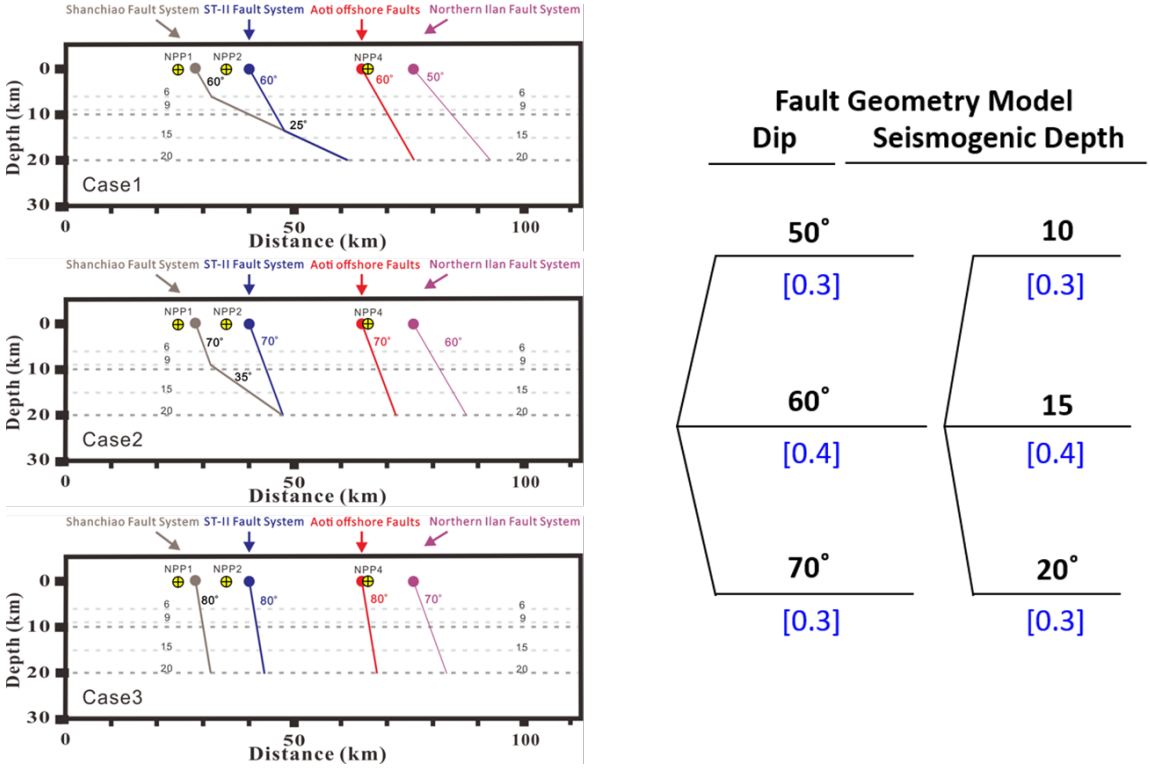
附圖 1.7：台灣北部海域反射震測剖面（陳冠宇，2014）。

Fig. 1.7 Seismic reflection profile at northern offshore.



附圖 1.8：台灣北部海域反射震測剖面（陳冠宇，2014）

Fig. 1.8 Seismic reflection profile at northern offshore.



附圖 1.9：SSHAC 北台灣斷層幾何參數設定。

Fig. 1.9 Northern Taiwan offshore fault parameters of SSHAC project.

附表 1.1：北宜蘭構造傾角及深度資料與文獻列表

Tab. 1.1 Northern Ilan structure dip and depth data and reference

參考文獻	方法	深度(公里)	傾角(度)
江新春，1976	反射震測剖面	--	花束狀構造，高角度斷層傾角
陳冠宇，2014	反射震測剖面	--	50~70 度
陳冠宇，2014	海域反射震測	--	高角度
TEM 參數	地溫梯度換算、地震深度分布	10~20	--
SSHAC 參數（參考用）	專家討論	10、15、20	50、60、70

3. 斷層機制：

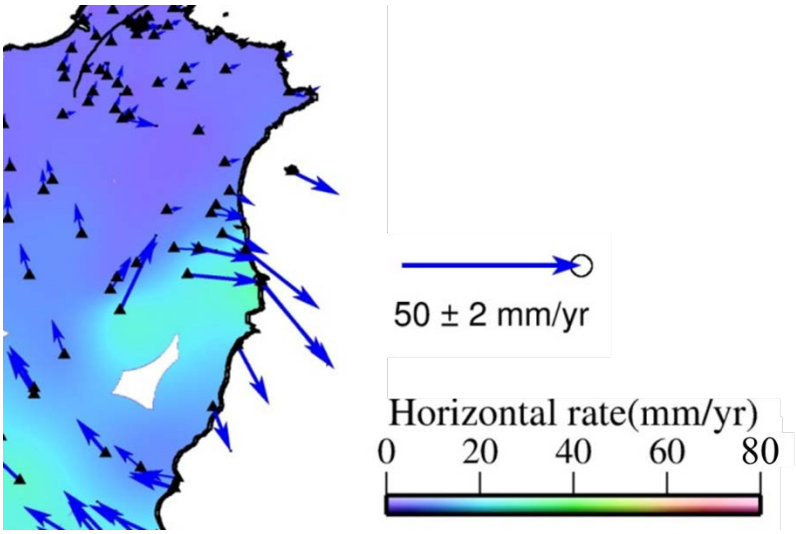
（1）Clift et al. (2008)探討宜蘭平原成因時，認為宜蘭平原可能存在正斷層。

（2）徐澔德等（2016）在北宜蘭構造參數中設定為正斷層。

（3）陳冠宇（2014）由外海的震測資料推測宜蘭外海之 G、H 斷層為正斷層機制。

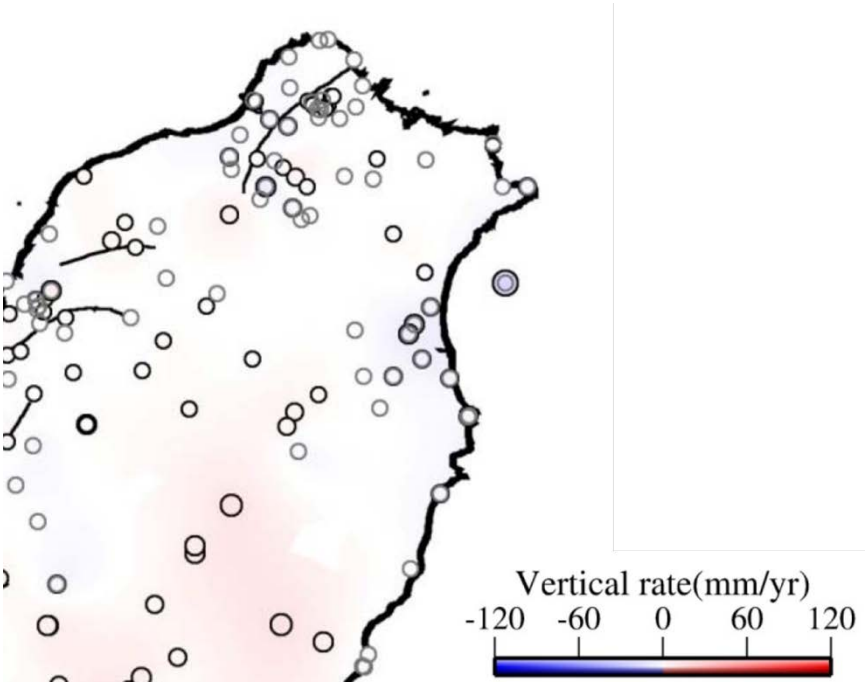
4. 近期地表變形：

由景國恩等(2018)GPS 觀測及精密水準測量結果顯示宜蘭平原以順時針方向向外旋(附圖 1.10)，垂直速度場方向顯示宜蘭平原相對澎湖白沙站呈沉陷趨勢(附圖 1.11)。



附圖 1.10：2002-2018 年台灣地區相對於澎湖白沙站（S01R）之水平速度場。

Fig. 1.10 2002-2018 Horizontal velocity field related to Penghu Paisa station (S01R).



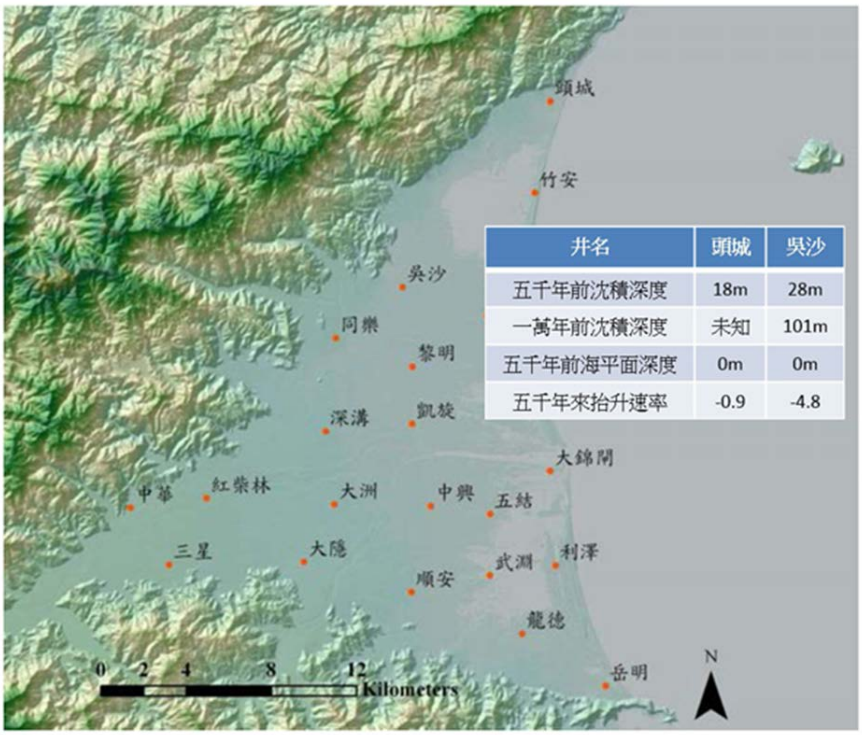
附圖 1.11：2002-2018 年台灣地區相對於澎湖白沙站（S01R）之垂直速度場。

Fig. 1.11 2002-2018 Vertical velocity field related to Penghu Paisa station (S01R).

5. 長期滑移速率：

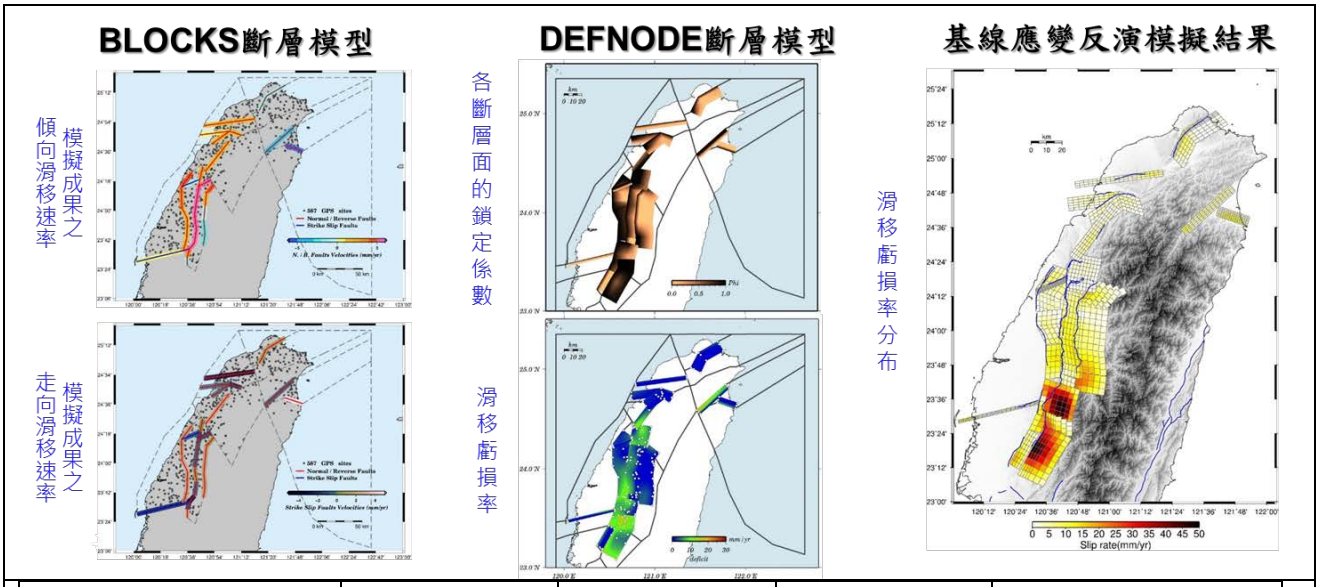
蘇清全(2011)於宜蘭平原地區的鑽井資料顯示地層沉積速度為 1~5.6 mm/yr (附圖 1.12)。

景國恩等(2018)利用 Blocks, DEFNODE, Baseline Inversion 逆推求得北宜蘭構造之平均滑移虧損速率分別為 1.9 mm/yr、7.5 mm/yr、13.5 mm/yr(附圖 1.13)。



附圖 1.12：宜蘭平原鑽井分佈圖（蘇清全，2011）

Fig. 1.12 Ilan plain bolehole distribution.



斷層名稱\模型		BLOCKS	DEFNODE	Baseline Inversion	平均滑移虧損速率 (mm/yr)
北宜蘭構造	上界	3.6	25.9	21.3	19.6
	平均	3.4±0.1 (0.2)	7.9±9 (0.4)	9.0±6.1 (0.4)	7.4
	下界	3.2	0.0	0.0	0.6

附圖 1.13：台灣北部及中部斷層模型逆推結果（景國恩等，2018）。

Fig. 1.13 Northern and central Taiwan fault inversion models.

6. 單一事件變位量：本計畫藉由 Wells and Coppersmith（1994）之規模-地表最大錯動量推估，地表錯動量為 0.51 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。

彙整對於北宜蘭構造的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如(附表 1.2)所示，若斷層可能有分段的特性也應在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

附表 1.2：北宜蘭構造參數表。

Tab. 1.2 Northern Ilan structure parameters.

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
北宜蘭構造	斷層分段與破裂事件	斷層分段：A、B、C 破裂事件：A、B、C、A+B、B+C、A+B+C	航照判釋、地形判釋、海域反射震測剖面	Clift et al., 2008；徐澔德等，2017；江新春，1976；地質調查所，2009；陳冠宇，2014
	長度 (km)	A 段 49 公里 B 段 40 公里 C 段 38 公里	航照判釋、地形判釋、海域反射震測剖面	Clift et al., 2008；徐澔德等，2017；江新春，1976；地質調查所，2009；陳冠宇，2014
	寬度 (km)	17.3	深度/sin 傾角 （以深度 15 公里，傾角 60 度計算）	
	破裂深度 (km)	10~20	地溫梯度換算、地震深度分布	台灣地震模型(TEM)參數
		10、15、20	地震深度分布	SSHAC 參數
	面積 (km^2)	A：849 B：693 C：658 A+B：1542 B+C：1351 A+B+C：2200	長度×寬度 （以長度 16.6 公里，深度 12 公里，傾角 75 度計算）	
	走向	東北—西南走向	航照判釋、地形判釋、海域反射震測剖面	Clift et al., 2008；徐澔德等，2017；江新春，1976；地質調查所，2009；陳冠宇，2014

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	傾斜角度 (度)	高傾角約 50~70 度	反射震測剖面	江新春，1976；陳冠宇，2014
		50、60、70 度		SSHAC 參數
	斷層機制	正斷層	North Ilan structure 參數	徐澔德等，2016
	近期地表變形	沉陷，順時針向外旋	2002~2016GPS 測量結果	景國恩等，2017
	長期滑移速率 (mm/yr)	地層沉積速度 1~5.6	鑽井資料	蘇清全，2011
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	1.9~13.5	斷層模型逆推結果	景國恩等，2018
	單一事件變位量 (m)	0.51	log D = 0.89 Mw - 5.9（正斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模 (Mw)	A：6.9 B：6.8 C：6.8 A+B：7.2 B+C：7.1 A+B+C：7.3	Mw =3.93+1.02 log A σ=0.25 （正斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
		A：6.9 B：6.8 C：6.8 A+B：7.2 B+C：7.1 A+B+C：7.4	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	-	-	-
	最近一次活動時間	N/A	N/A	N/A

二、斷層破裂模式及邏輯樹權重分配

彙整各文獻對於北宜蘭構造之線形分布，本計畫評估北宜蘭構造之破裂模式，分為 A、B、C 三段，長度各為 49 公里、40 公里、38 公里。考慮鄰近兩段相連破裂及全段破裂，共列出六種破裂事件。

北宜蘭構造之傾角，根據蒐集之反射震測剖面，推估為 50 度至 70 度，因不確定性較高，本計畫權重設定為 50 度（0.3）、60 度（0.4）、70 度（0.3）。北宜蘭構造之破裂深度，主要參考徐澔德等人(2016)利用地溫及地震深度分布的推估結果，本計畫破裂深度權重設定為 10 公里（0.3）、15 公里（0.4）、20 公里（0.3）。

北宜蘭構造之長期滑移速率，參考蘇清全(2011)鑽井資料的地層沉積速率及景國恩等（2018）模型反演結果，本計畫據此推估之長期的滑移速率為 1.5~10.3 mm/yr。本計畫認為宜蘭平原沉積速率不一定只受北宜蘭構造影響，因此給予較低之權重(0.4)，模型反演結果給予較高之權重(0.6)。附表 1.3 為本計畫北宜蘭構造邏輯樹計算之結果，本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 1.5 mm/yr (0.3)、中值 5.8 mm/yr (0.4)、上界 10.3 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，附表 1.4 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

北宜蘭構造最近一次發震時間未知，因此統計上採用 Poisson 模式，各節點權重的分配詳如附圖 1.14 所示。

附表 1.3：本計畫北宜蘭構造長期滑移速率推估結果。

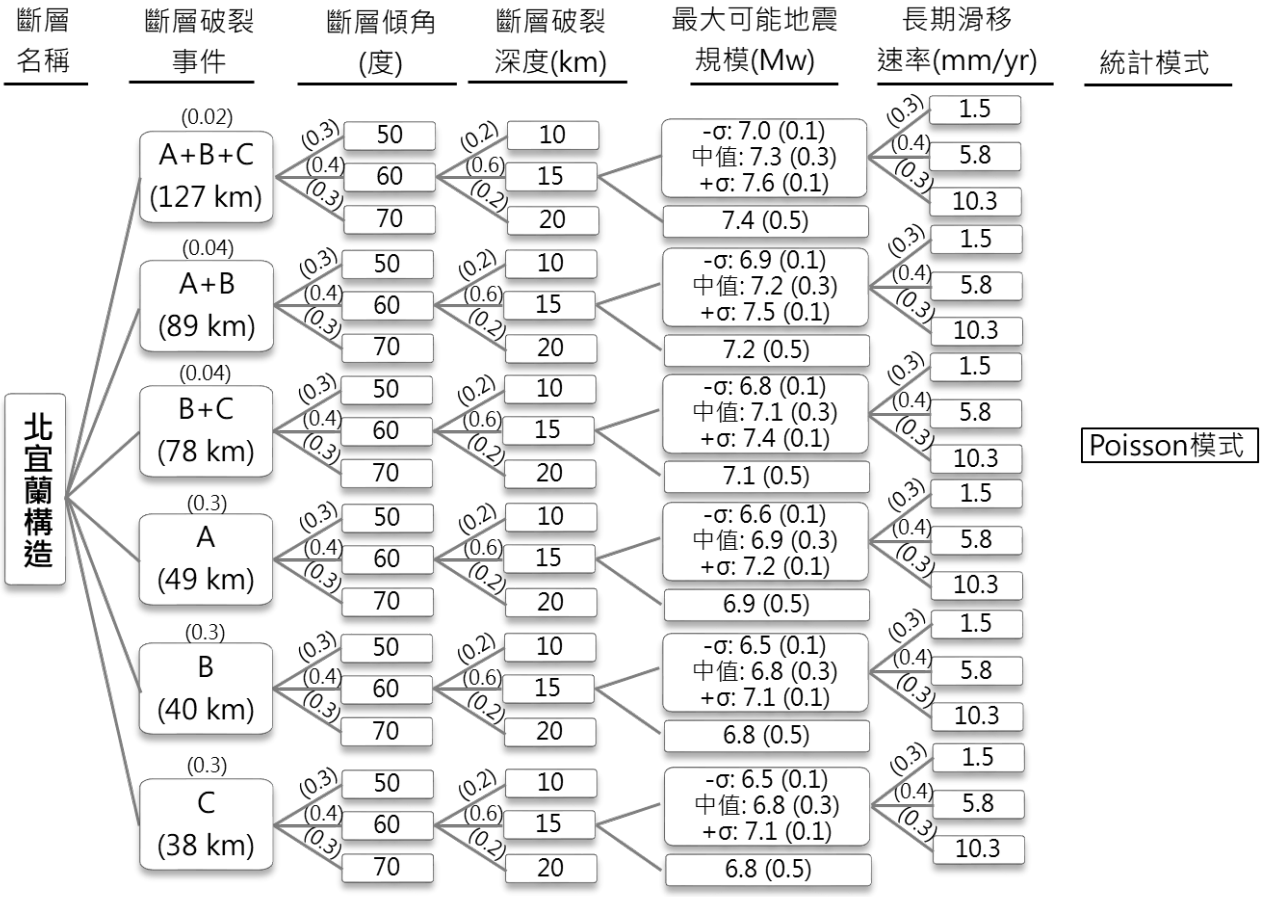
Tab. 1.3 Longtern slip rate inversion result of Northern Ilan structure.

斷層名稱	參考資料	方法	權重	下界 (mm/yr)	平均 (mm/yr)	上界 (mm/yr)
北宜蘭構造	蘇清全，2011	鑽井地層沉積速度	0.4	1.0	3.3	5.6
	景國恩等(2018)	1. BLOCKS 2. DEFNODE 3. Baseline Inversion	0.6	1.9	7.5	13.5
	權重加總結果			1.5	5.8	10.3

附表 1.4：北宜蘭構造之中值各破裂事件規模及權重。

Tab. 1.4 Northern Ilan structure Mw and weighting value of central branch of logic tree.

破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	傾角 (度)	寬度 (km)	面積 (km2)	Wells and Coopersmith, 1994(面積)			Yen and Ma, 2011(面積)
						-0.3	中值	+0.3	
A+B+C	127	15	60	17.3	2200	7.0	7.3	7.6	7.4
A+B	89	15	60	17.3	1542	6.9	7.2	7.5	7.2
B+C	78	15	60	17.3	1351	6.8	7.1	7.4	7.1
A	49	15	60	17.3	849	6.6	6.9	7.2	6.9
B	40	15	60	17.3	693	6.5	6.8	7.1	6.8
C	38	15	60	17.3	658	6.5	6.8	7.1	6.8



附圖 1.14：北宜蘭構造邏輯樹。

Fig. 1.14 Northern Ilan structure logic tree.

附錄 2 初鄉斷層之震源參數設定

本工項主要是對於其他未列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，今年則將針對北宜蘭構造及初鄉斷層之震源參數進行資料之蒐集。初鄉斷層地質及地下幾何形貌明顯，在徐澔德等(2016) TEM 孕震構造中也加入了初鄉斷層參數，本團隊認為可作為本年度新增孕震構造震源參數設定的工項。

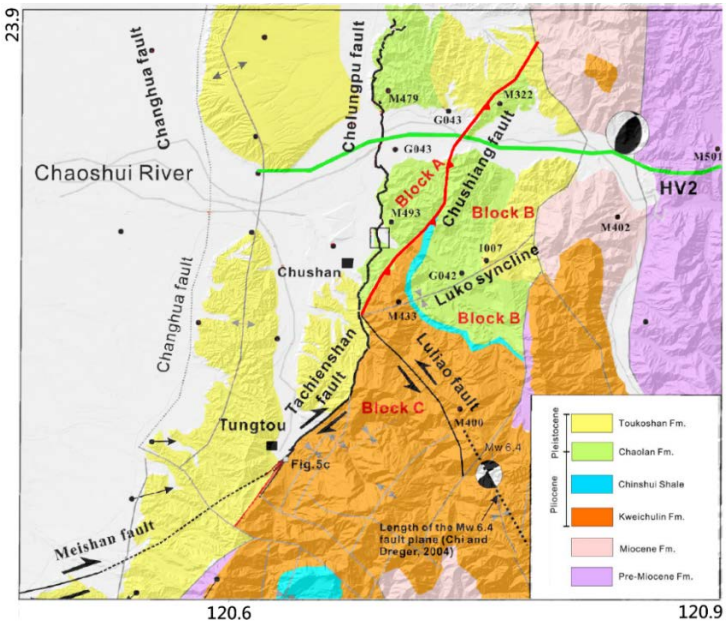
一、斷層參數表之建立及說明

1. 斷層長度與分段：

中油公司(1982)十萬分之一台中地質圖中，於車籠埔斷層的上盤描繪了一條約呈東北-西南走向的斷層，長約 20 公里，即初鄉斷層。劉桓吉與李錦發(1998)認為初鄉斷層為一逆移斷層，層位落差由西南向東北逐漸減少。附圖 2.1 為李元希等人(Lee et al., 2011)參考中油地質圖描繪的車籠埔斷層南段地質圖及構造分布圖，初鄉斷層則以紅色鋸齒線段標示。地調所新版五萬分之一南投地質圖(陳華玟等，2004)，也描繪初鄉斷層的位置，如附圖 2.2 所示。

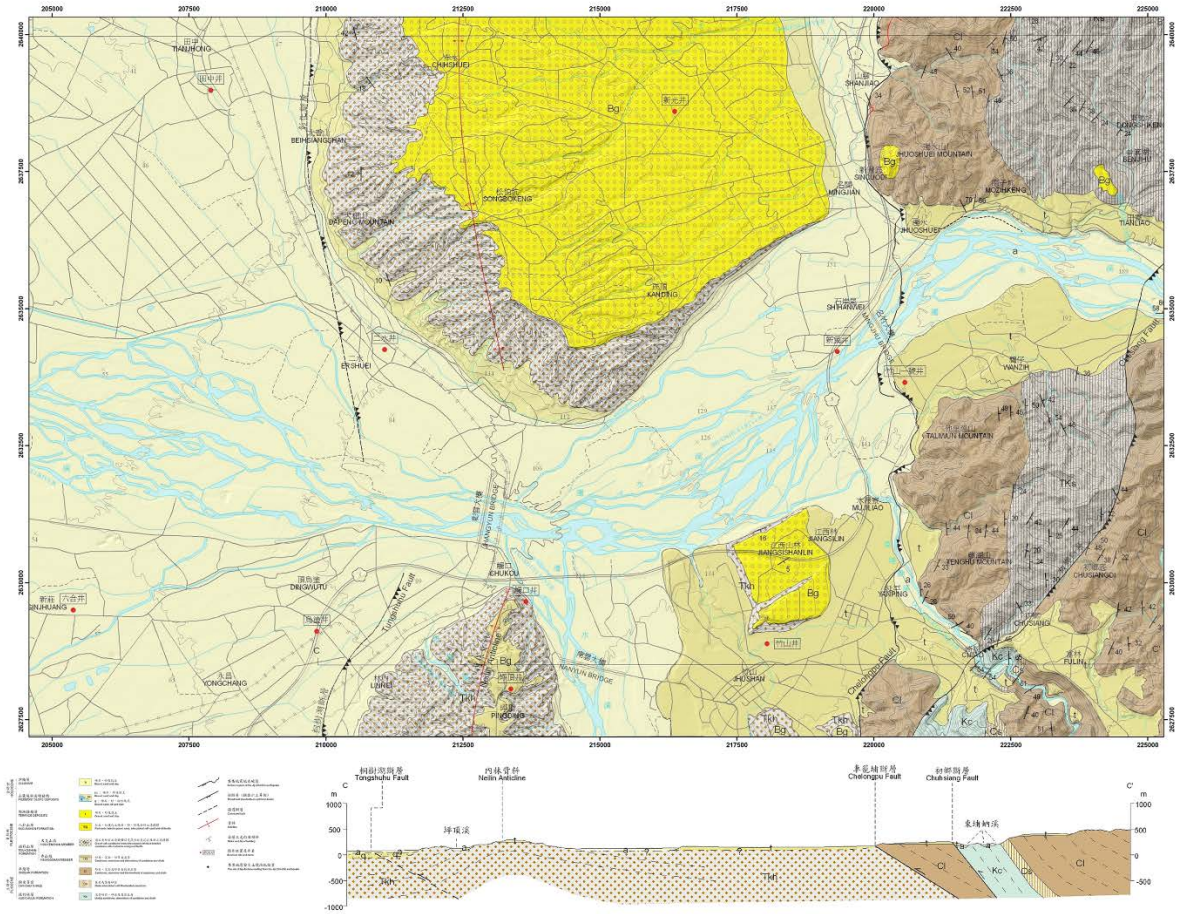
在初鄉橋東側可以發現初鄉斷層露頭(附圖 2.3)，而所截切的階地時代約 11~20 千年(Simoes et al., 2007)(附圖 2.4)。

徐澔德等人(2016)為建立地震危害度評估之孕震構造震源參數，描繪了 44 條陸域孕震構造，其中初鄉斷層是根據地形崖及地層邊界所描繪，延伸長度為 19.8 公里(附圖 2.5)，在東埔蚋溪河谷階地，也發現明顯的斷層崖線形(附圖 2.6)，顯示初鄉斷層為近期曾活動的斷層。其蒐集的參數詳如附表 2.1 所示。



附圖 2.1：車籠埔斷層南段地質圖及初鄉斷層(紅線)（修改自 Lee et al., 2011）。

Fig. 2.1 Geological map at the southern end of the Chi-Chi earthquake rupture (modified from Lee et al., 2011).



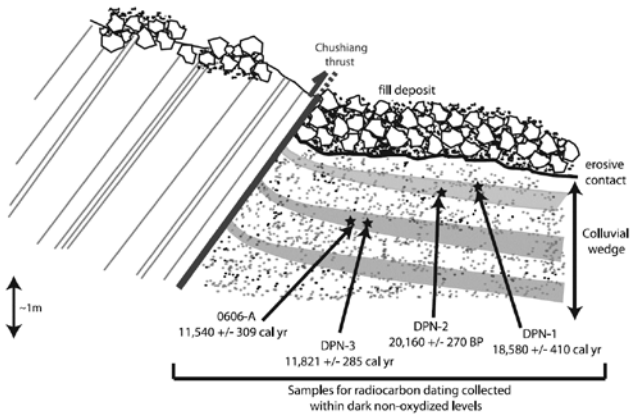
附圖 2.2：五萬分之一南投地質圖局部。初鄉斷層位於車籠埔斷層上盤處，從 C-C'穿過東埔蚋溪地質剖面顯示，初鄉斷層上盤為桂竹林層，下盤為卓蘭層(修改自陳華玟等，2004)。

Fig. 2.2 The C.G.S. Nantou geologic map sheet (modified from Chen et al., 2004).



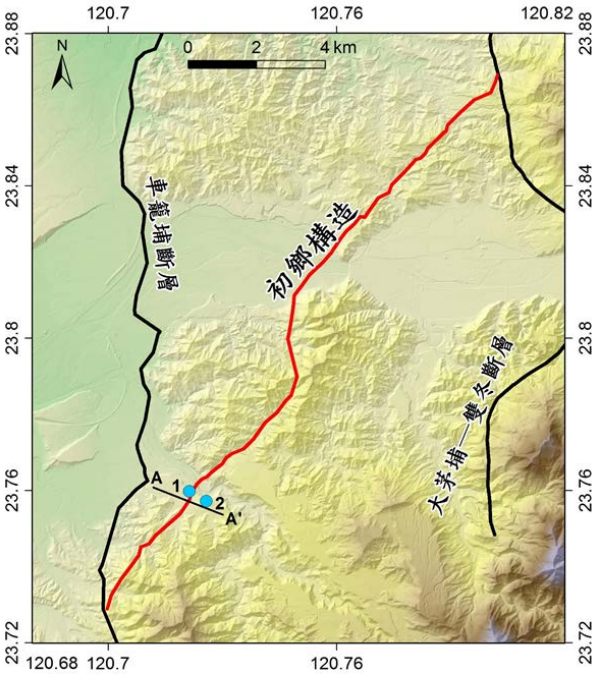
附圖 2.3：東埔蚋溪初鄉橋東側露頭，初鄉斷層上盤為桂竹林層，下盤為階地堆積層，斷層延伸穿出地表。

Fig. 2.3 Outcrop of the Chushiang fault at the east side of the Chuxiang Bridge.



附圖 2.4：初鄉斷層露頭下盤堆積層中採樣點及放射性碳定年結果(Simoes et al., 2007)。

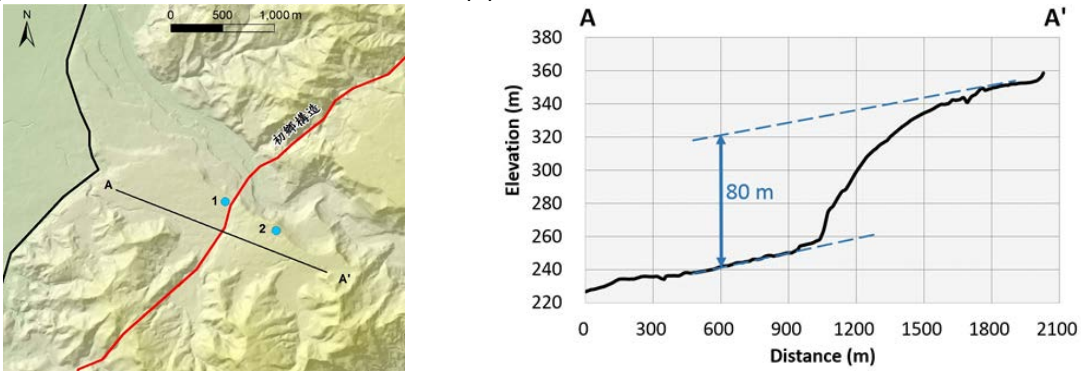
Fig. 2.4 Schematic illustration of the site where four charcoal samples were collected for radiocarbon dating (Simoes et al., 2007).



附圖 2.5：初鄉斷層分布圖(構造線取自徐澔德等，2016)

Fig. 2.5 The Chushiang fault distribution map (Shyu et al., 2016).

(a) (b)



附圖 2.6：東埔蚋溪河谷階地之初鄉斷層崖。(a)為 5 公尺數值高程模型及初鄉斷層於東埔蚋溪河谷之分布，(b)為 A-A'地形剖面圖(徐澔德等，2016)

Fig. 2.6 The Chushiang fault scarp at a fill terrace along the Dungpuna River (Shyu et al., 2016).

附表 2.1：初鄉斷層參數表(整理自徐澔德等人，2016)

Tab. 2.1 The Chushiang fault parameter table(integrated by Shyu et al., 2016)

	Parameter		Weight	Method and Reference
Fault Type	Reverse/Strike-Slip			Shyu et al. (2017)
Length	19.8		1.0	Shyu et al. (2017)
Fault Dip (degree)	Min.	45	0.2	Shyu et al. (2017)
	Med.	55	0.6	
	Max.	65	0.2	
Rupture Depth (km)	Min.	2	0.2	Shyu et al. (2017)
	Med.	3	0.6	
	Max.	4	0.2	
Slip rate (mm/yr)	Min.	2.23	0.3	Shyu et al. (2016) Terrace measurement (TEM data)
	Med.	4.2	0.4	
	Max.	6.94	0.3	

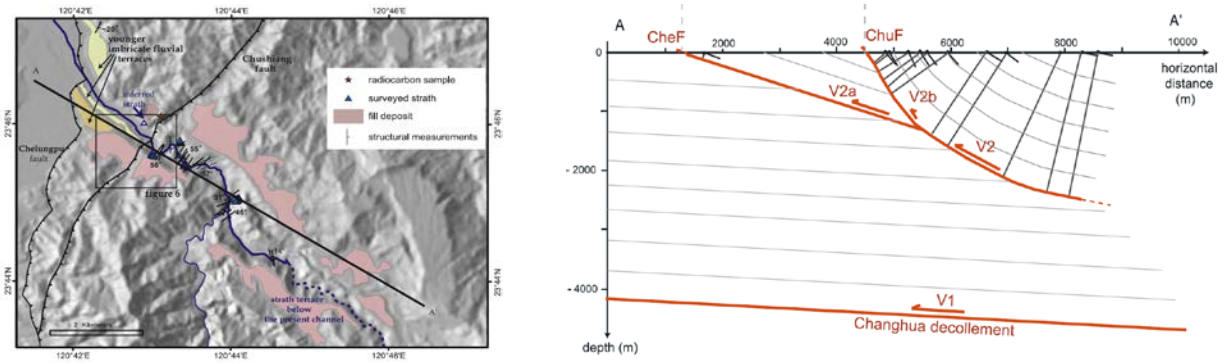
2. 斷層幾何形貌（傾角、深度）：

Simoes et al. (2007)沿著東埔蚋溪河谷進行構造位態測量，其調查位置如附圖 2.7(a)所示，根據地表量測位態推測該區域地下地質剖面，如附圖 2.7(b)所示，初鄉斷層於 0~1.2 公里深度的傾角為 56 度，1.2 公里以下則變緩為 30 度左右。

附圖 2.8 為李元希等人(Lee et al., 2011)根據濁水溪震測剖面(Wang et al., 2002)所作之解釋，認為初鄉斷層是沿著中新世地層底部之滑移面出露地表的分支斷層，從 GPS 同震垂直變位量，推測車籠埔斷層之傾角在濁水溪剖面約 40~50 度，基底滑脫面的位置約在深度 10 公里，距車籠埔斷層 15 公里左右。初鄉斷層則是在深度 9~10 公里左右與車籠埔斷層合併後接基底滑脫面，傾角約 45 度。Brown et al. (2012)針對同一條剖面的解釋如附圖 2.9 所示，初鄉斷層傾角較緩，約 40 度。

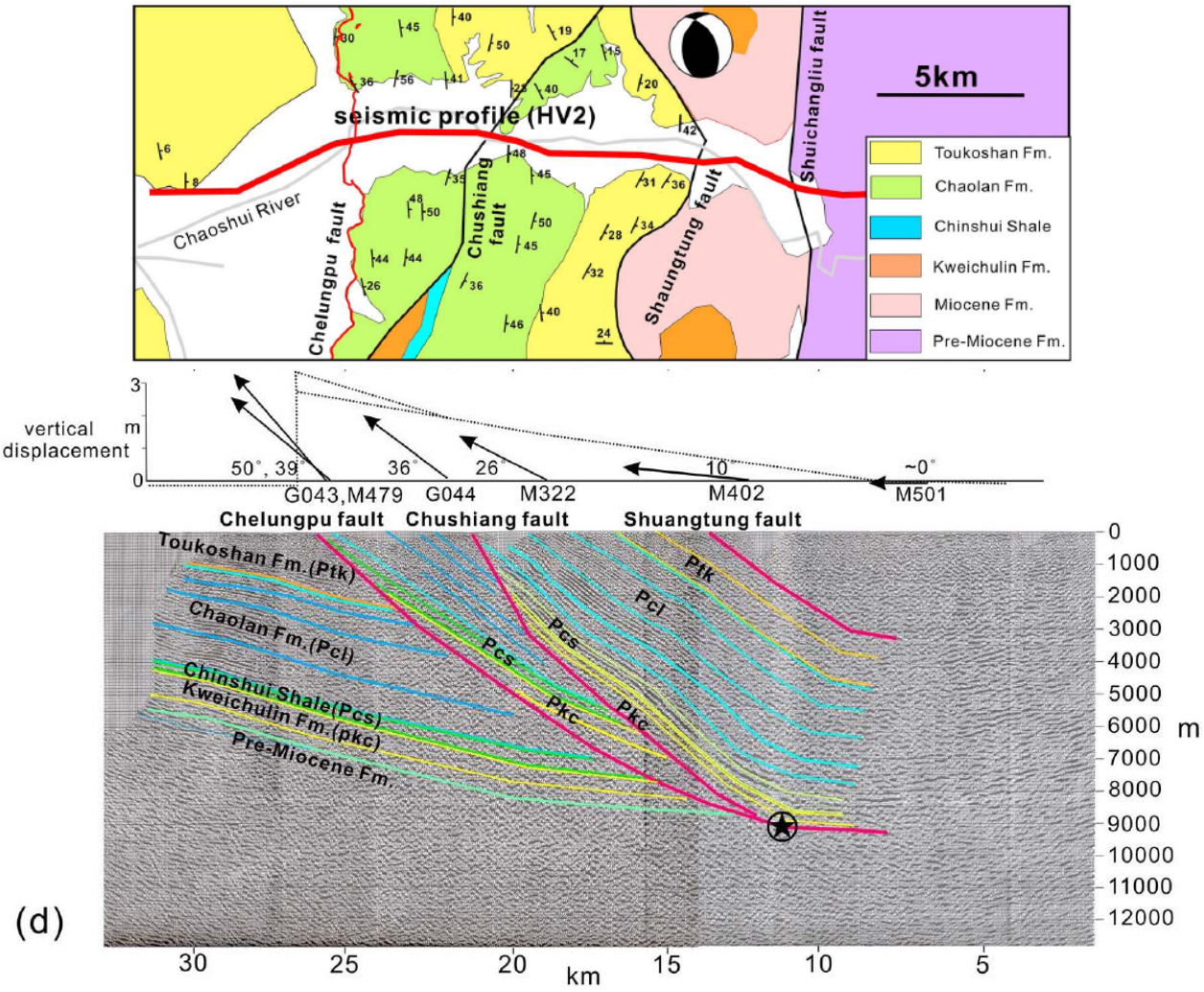
初鄉斷層幾何參數彙整於附表 2.2 中。

(a) (b)



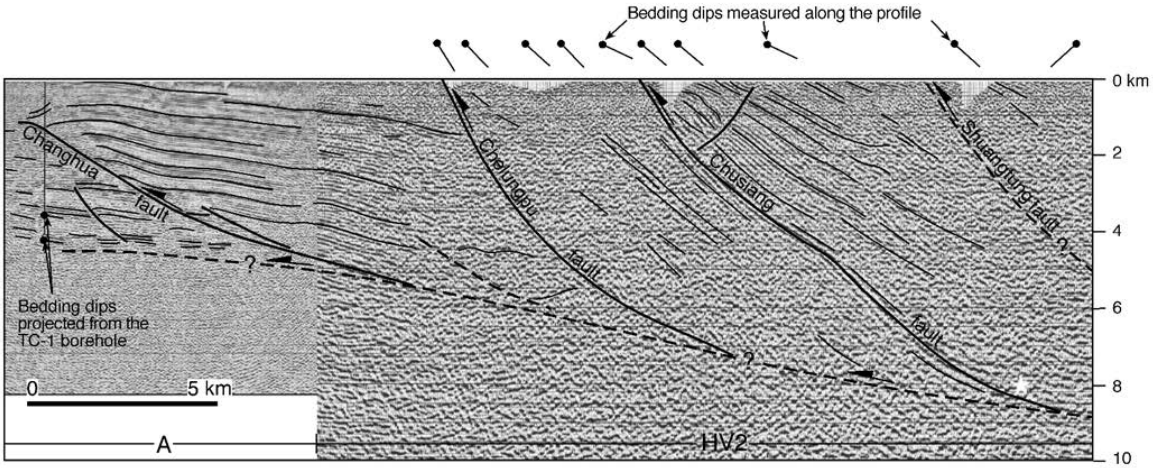
附圖 2.7：(a)東埔蚋溪沿線地質調查位置及位態量測。(b)根據研究區域構造量測所推估之 A-A'地質剖面，車籠埔斷層（CheF）和初鄉斷層（ChuF）為同一個滑脫面上所分支出的斷層(Simoes et al., 2007)。

Fig. 2.7 (a) Area investigated along the Dungpuna river. (b) A-A' Cross section based on structural measurements(Simoes et al., 2007).



附圖 2.8：濁水溪震測剖面之重新解釋以及同震變位之 GPS 向量投影。圖中顯示車籠埔斷層及初鄉斷層的疊瓦狀構造，並切穿中新世地層(Lee et al., 2011)。

Fig. 2.8 Reinterpreted seismic profile along the Chaoshui River area (Lee et al., 2011).



附圖 2.9：濁水溪震測剖面之另一解釋(Brown et al., 2012)。

Fig. 2.9 Another interpreted seismic profile along the Chaoshui River area (Brown et al., 2012).

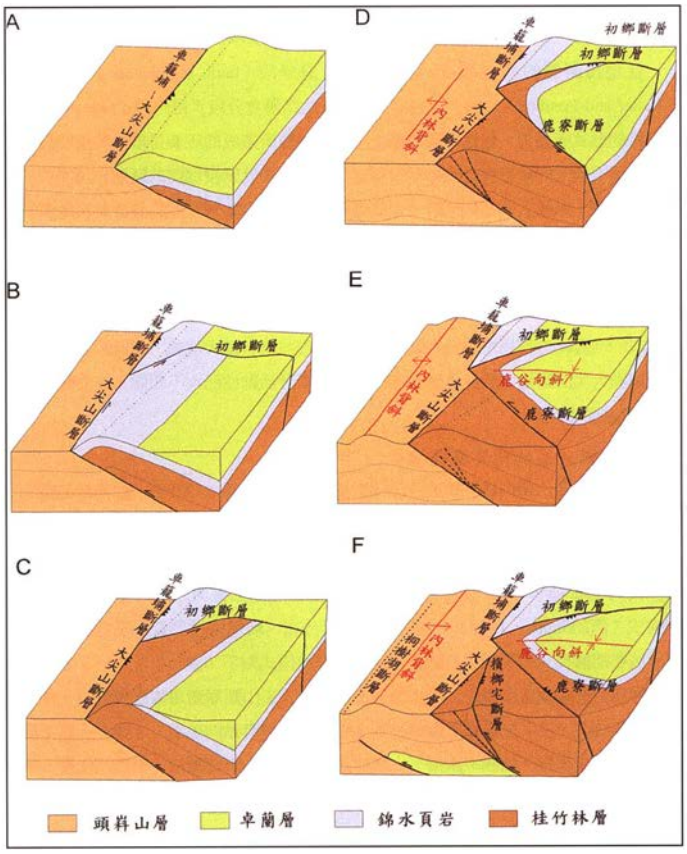
附表 2.2：初鄉斷層傾角及深度資料與文獻列表

Tab. 2.2 The Chushiang fault dip and depth data and reference

參考文獻	方法	深度(公里)	傾角(度)
Simoes et al., 2007	根據野外地層露頭量測推估地下地質剖面	-	深度 0~1.2 公里，56 深度 1.2 公里以下，30
Lee et al., 2011	濁水溪震測剖面	9~10	45
Brown et al., 2012		9	40

3. 斷層機制：

根據林啟文等(2000)的地質構造演化，初鄉斷層最初為車籠埔-大尖山斷層之間的分支斷層，主要為左移運動(附圖 2.10B)，並分隔車籠埔斷層與大尖山斷層。當左移分量減少時，再度轉為逆滑斷層作用，初鄉斷層南側的大尖山斷層上盤持續抬升，大尖山斷層的上盤出露桂竹林層(附圖 2.10C)。由於來自東南方的構造作用力持續,此時形成以左移運動為主的鹿寮斷層，並分隔大尖山斷層與初鄉斷層(附圖 2.10D)，而初鄉斷層則轉為逆滑作用為主。

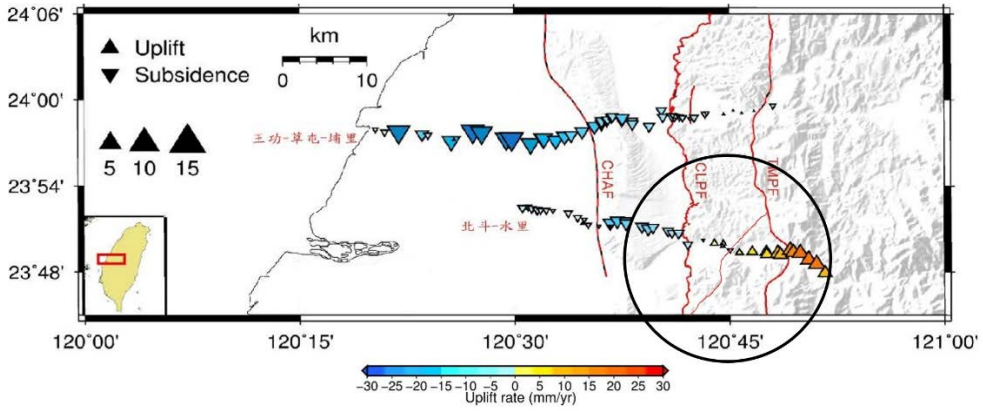


附圖 2.10：車籠埔斷層與大尖山斷層構造演化模型(摘自林啟文等，2000)。

Fig. 2.10 Structural evolution model of the Chelungpu fault and the Tachienshan fault (Lin et al., 2000).

4. 近期地表變形：

從跨初鄉斷層 2013~2016 年水準測線速度場(附圖 2.11)，可看到初鄉斷層下盤點位呈現下降，而在初鄉斷層上盤則快速變為抬升的現象，顯示斷層近期仍有持續活動的可能性。

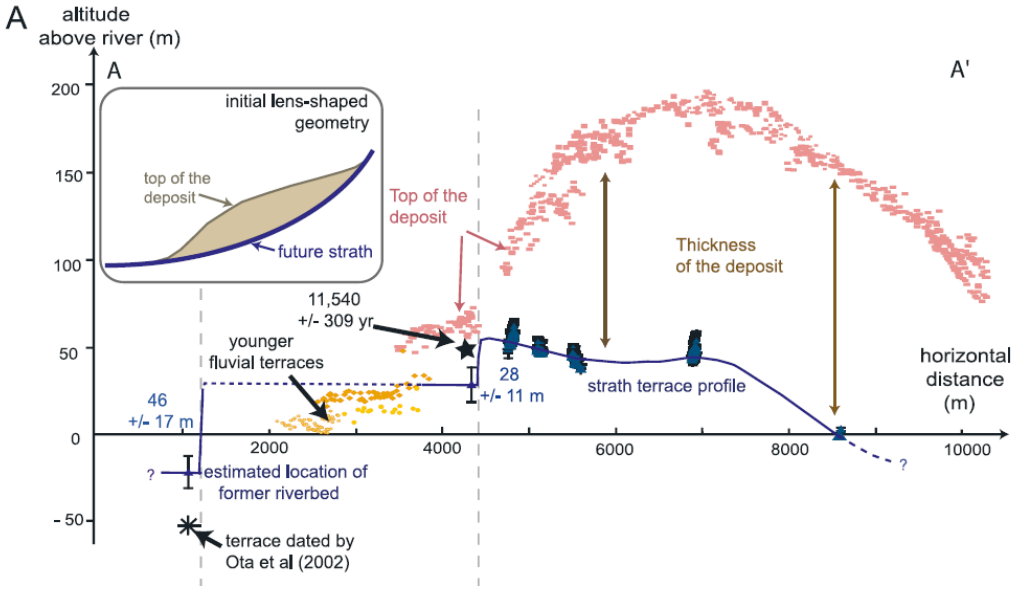


附圖 2.11：彰投地區之水準垂直速度場（2013 年南投地震後至今）。CHAF 為彰化斷層、CLPF 為車籠埔斷層、TMPF 為大茅埔-雙冬斷層(摘自胡植慶等，2016)。

Fig. 2.11 The vertical velocity field from leveling data at the Changhua-Nantou area (Hu et al., 2016).

5. 長期滑移速率：

Simoes et al. (2007)計算初鄉斷層上盤沖積層厚度，沖積層厚度的橫向變化，可以通過簡單的二次多項式擬合，並向下盤外插至初鄉斷層下盤，初鄉斷層下盤河階高於現生河床至少 16.6 公尺，外插得到沖積層厚度 25 公尺。沖積層頂部高度 61 公尺，階地高應高於河床 36 公尺，推估此區河階高於河床約 16.6~36 公尺，即 26±10 公尺。Simoes et al. (2007)比較初鄉斷層上盤階地的高度，推估垂直變位 28±11 公尺(附圖 2.12)，採用淺部傾角 56 度計算(附圖 2.7)，得到 34±18 公尺水平變位，除以定年結果 11,540±309 年得到初鄉斷層水平縮短率 2.9±1.6 mm/yr。



附圖 2.12：沿東埔蚋溪觀察河階的構造和地貌分析。野外階地高度投影(藍色三角形)及由 40 公尺 DEM 推估之沖積層頂部高度(粉紅色點位)。高度是相對於現生河道，初鄉斷層上盤沖積層厚度呈現側向透鏡狀幾何的變化，如左上方插圖所示，碳定年樣本位置以星號標示(Simoes et al., 2007)。

Fig. 2.12 Structural and morphotectonic analysis of the strath terrace observed along the Dungpuna river (Simoes et al., 2007).

6. 單一事件變位量：本計畫藉由 Wells and Coppersmith（1994）之規模-地表最大錯動量推估，地表錯動量為 1.11±0.42 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：根據 Lee et al. (2011)針對 921 集集地震的同震模型，初鄉斷層雖然在該次地震有產生破裂，然而並未誘發大規模的地震。

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

附表 2.3：初鄉斷層參數表

Tab. 2.3 This study's Chushiang fault parameter table

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
初鄉斷層	斷層分段與破裂事件	整段	地形判釋、地質地層邊界判釋	中油公司，1982；劉桓吉與李錦發，1998；林啟文等，2000；陳華玟等，2004；Simoes et al., 2007；Le Béon et al., 2014；徐澔德等人，2016
	長度 (km)	20		
	寬度 (km)	14.1	深度/sin 傾角 （以深度 10 公里，傾角 45 度計算）	
	破裂深度 (km)	9~10	濁水溪震測剖面	Lee et al., 2011
		9		Brown et al., 2012
	面積 (km^2)	283	長度×寬度 （以長度 20 公里，深度 10 公里，傾角 45 度計算）	
	走向	東北一西南走向	斷層線分布	中油公司，1982；劉桓吉與李錦發，1998；林啟文等，2000；陳華玟等，2004；Simoes et al., 2007；Le Béon et al., 2014；徐澔德等人，2016
	傾斜角度 (度)	深度 0~1.2 公里，56 度 深度 1.2 公里以下，30 度	根據野外地層露頭量測推估地下地質剖面	Simoes et al., 2007
		45	濁水溪震測剖面	Lee et al., 2011
		40		Brown et al., 2012
	斷層機制	逆移斷層	地質構造演化模型	林啟文等，2000
		逆斷層帶走向滑移分量	區域地體構造及斷層幾何推論	徐澔德等，2016
	近期地表變形	上盤持續抬升現象	縣 150 台 16_北斗至水里水準測線(2002-2016 年)	胡植慶等，2016
	長期滑移速率 (mm/yr)	2.9±1.6 (shorting rate)	東埔蚋溪河谷上下盤沖積層頂部高差及階地高差除以下盤沖積層定年結果	Simoes et al., 2007
	滑移虧損率(slip deficit	-	-	-

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	rate) (mm/yr)			
	單一事件變位量 (m)	1.11±0.42	log D = 0.29 Mw - 1.84（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模 (Mw)	6.5	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.3 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
		6.5	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	-	-	-
	最近一次活動時間	未知	初鄉斷層雖然在 921 地震有產生破裂(Lee et al., 2011)，然而並未誘發大規模的地震	

二、斷層破裂模式及邏輯樹權重分配

彙整各版本對於初鄉斷層之線形分布，並無太大的差別，本計畫評估初鄉斷層之破裂模式，考慮整段破裂模式，長度為 20 公里。

初鄉斷層之傾角，本計畫主要參考震測剖面及地質剖面資料，權重設定為 40 度（0.3）、45 度（0.4）、50 度（0.3）。初鄉斷層之破裂深度，主要參考震測剖面，權重設定為 9 公里（0.3）、10 公里（0.4）、11 公里（0.3）。

初鄉斷層之長期滑移速率，根據 Simoes et al. (2007)利用東埔蚋溪河谷上下盤沖積層頂部高差及階地高差除以下盤沖積層定年結果，水平縮短率 2.9±1.6 mm/yr，即 1.3~4.5 mm/yr。本計畫考慮斷層近地表傾角 56 度(Simoes et al., 2007)，同時考慮斜向滑移的滑移角為 70 度，80 度，90 度的情形，附表 2.4 為初鄉斷層淨滑移速率計算結果，得到淨滑移速率最低 2.3 mm/yr，最高 8.6 mm/yr，本計畫以 2.3 mm/yr 及 8.6 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 5.45 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重為 2.3 mm/yr（0.2），5.45 mm/yr（0.6）及 8.6 mm/yr（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，附表 2.5 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

初鄉斷層最近一次發震時間為未知，因此統計上採用 Poisson 模式，各節點權重的分配詳如附圖 2.13 所示。

附表 2.4：初鄉斷層淨滑移速率換算

淨滑移速率=[水平縮短速率/cos(傾角)]/sin(滑移角)

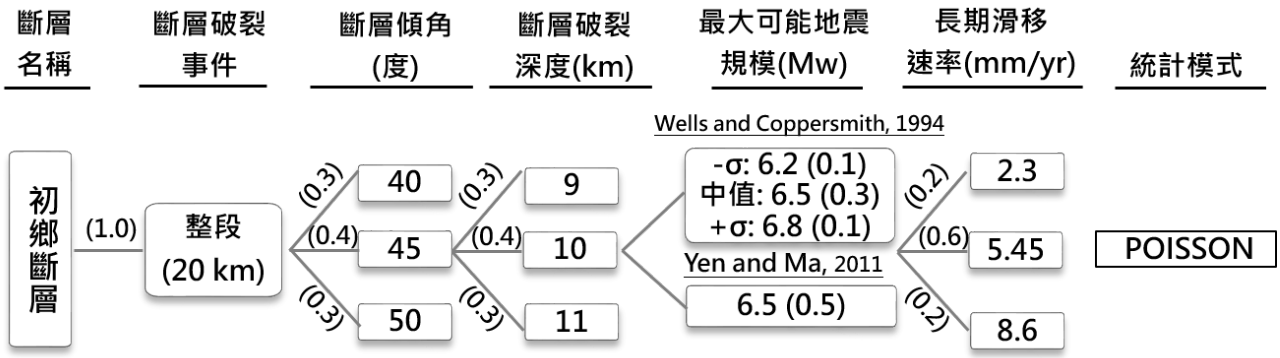
Tab. 2.4 Calculated net slip rate based on shorting rate, fault dip and rake for the Chuhsiang fault

斷層名稱	水平縮短速率 (mm/yr)	傾角 (度)	滑移角(度)	淨滑移速率 (mm/yr)
初鄉斷層	1.3	56	90(逆移)	2.3
	4.5			8.0
	1.3		80(斜向滑移)	2.4
	4.5			8.2
	1.3		70(斜向滑移)	2.5
	4.5			8.6

附表 2.5：初鄉斷層之中值各破裂事件規模

Tab. 2.5 The estimated magnitude for one rupture case of the Chushiang fault

破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	傾角 (度)	寬度 (km)	面積 (km2)	Wells and Coopersmith, 1994(面積)			Yen and Ma, 2011(面積)
						-σ	中值	+σ	
初鄉斷層整段	20	10	45	14.1	283	6.2	6.5	6.8	6.5



附圖 2.13：初鄉斷層邏輯樹。

Fig. 2.13 The logic tree of the Chushiang fault.

附錄 3 邏輯樹專家諮詢會議記錄

附表 3-1 「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估 (3/4)」第一次專家諮詢會議會議記錄表

<table>
<tr><td>會議名稱</td><td colspan="5">第一次專家諮詢會議</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主席</td><td rowspan="2">顏銀桐
博士</td><td>日期</td><td>2019 年 06 月 03 日</td><td>時間</td><td>10:00~12:30</td></tr>
<tr><td>地點</td><td>中興社研究大樓
(五樓中型會議室)</td><td>記錄</td><td>李易叡</td></tr>
<tr><td>出席人員</td><td colspan="5">專家委員：
台灣大學：胡植慶 教授
中央大學：林殿順 副教授、黃文正 副教授、陳致同 助理教授
成功大學：葉永田 教授
中央研究院：李建成 研究員</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="5">其他與會人員：
中興社：邵國士 組長、顏銀桐 正研究員、李易叡 副研究員、莊怡蓉 助理研究員
地調所：梁勝雄、范書睿</td></tr>
<tr><td>會議內容</td><td colspan="5">1. 期中階段南部活動斷層參數精進內容討論、問題與意見
(1) 六甲斷層往南延伸可至左鎮斷層西部延伸。
(2) 分段破裂模式，六甲斷層和木屐寮斷層構造上不一樣，是否考慮提高分段的權重。
(3) 1941 年中埔地震規模相當大，位於木屐寮斷層北邊。建議研究當時的地震災害分布，且可考慮是否木屐寮斷層會往北連接九芎坑斷層的事件。
(4) 針對 1862 年台南地震，震央位置往往並非災害最嚴重的地方，要看誰蒐集的災害分布比較完整，才是較可信的資料。
(5) 要強調不同斷層之間連結的可能性，同時要考慮木屐寮、九芎坑一起破裂。
(6) 針對六甲斷層長期滑移速率，需說明每個資料的計算年份，才能了解資料所跨過的地震週期是多少。
(7) 建議孕震深度用 D90 來控制其 low-limit。西南部斷層滑脫面是否可更往東延伸至 low-limit，然而此計算也可能會過度高估斷層的地震規模。
(8) 後甲里斷層是否應考慮滑脫面錯動的情形，往東延伸是否可至 18~21 公里。
(9) 後甲里斷層只考慮背衝斷層面是不合理的，應考慮整體滑脫構造系統。</td></tr>
</table>

(10) D90 孕震深度比較像是地殼強度，不一定代表後甲里斷層的孕震深度，只能說是這個區域的地殼強度分布。

(11) 針對西南部活動斷層，地震剖面可以再往東延伸，並且選取相關機制的地震進行分析，可能會得到較佳的孕震深度解。

(12) 新化斷層地殼強度資料是否可以直接拿來評估孕震深度，是否有其他資料可供佐證。

(13) 若斷層參數資料不足，也可從評估的規模及再現週期回來看參數是否合理。

(14) 新化斷層 E 斷層資料可再蒐集中油相關證據。

(15) 建議考慮後甲里斷層和新化斷層為一個系統。

(16) Dr. Brown 的研究有提到新化斷層有進到麓山帶，並切過竹頭崎背斜。

(17) 後甲里斷層深度僅 4~5 公里，規模不會很大，是否要考慮加入滑脫面。

(18) 台南地區只考慮後甲里背衝斷層不太合理，美濃地震後台南台地有滑動，暗示了此處可能有很多無震滑移釋放掉能量。後甲里斷層容易被其他地震誘發滑動。

(19) 後甲里斷層區域如果不考慮臺南斷層，就少了一個可能性的說法。

(20) 南部地區地震應考慮無震滑移的比率。

(21) 建議如果有地質上千年尺度資料算長期滑移速率會較佳。

(22) 左鎮斷層 Baseline inversion 虧損率很高，此處上下盤 GPS 站不多，是否可再確定一下。

2. 北宜蘭構造參數討論、問題與意見

(1) 宜蘭平原是中央地方最深，所以主要斷層並非是最北的構造控制。

(2) 美國的資料仍是地質資料權重較高，應再蒐集陳文山或謝孟龍計算宜蘭平原沉降速率資料。

(3) 宜蘭平原南邊斷層的速率比北邊快。

(4) 可參考景國恩(2011)用塊體模型算的滑移速率。

(5) 鑽井資料是數次地震循環造成的沉降，或是每年的沉降需說明清楚。

(6) 活動可能不只是正斷層機制造成，可能有走向滑移分量。

(7) 梨山斷層往宜蘭平原的位置是沿著北邊或是宜蘭平原中央仍不確定。斷層的位置對於選用哪口井的沉降速率會有影響，可能頭城、吳沙的井就不具代表性，反而是宜蘭平原中央的井較具代表性。

(8) 岩漿作用使地殼強度變弱，孕震深度可能會變淺。不一定到達 20 公里深。

(9) 蒐集宜蘭雙主震主餘震序列看是否作為孕震深度的參考。

(10) 沉積速率應考慮壓密作用，扣掉才能作為沉積速率。

(11) 雪山山脈和蘇澳的抬升速率有差異，所以中間應有一條邊界斷層，

	然而是位在宜蘭平原或是山區與平原的交界，目前仍未清楚。從海域震測剖面，外海 G 斷層明顯，可能連結到北宜蘭構造。I 斷層也是條大斷層，與宜蘭平原的沉陷關係較大，可能連結到宜蘭平原中間。建議地調所可把宜蘭平原邊界斷層進行進一步研究。 (12) 蒐集李建成發表關於宜蘭平原地區的相關英文文章。
備註	

附表 3-2「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估 (3/4)」第二次專家諮詢會議會議記錄表

<table>
<tr><td colspan="2">會議名稱</td><td colspan="4">第二次專家諮詢會議</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主席</td><td rowspan="2">顏銀桐 博士</td><td>日期</td><td>2019 年 10 月 25 日</td><td>時間</td><td>14:00~17:00</td></tr>
<tr><td>地點</td><td>中興社研究大樓
(五樓中型會議室)</td><td>記錄</td><td>李易叡</td></tr>
<tr><td rowspan="2">出席人員</td><td colspan="5">專家委員：
台灣大學：胡植慶 教授
中央大學：李錫堤 教授、林殿順 副教授
台電綜研所：黃鐘 博士</td></tr>
<tr><td colspan="5">其他與會人員：
中興社：邵國士 組長、顏銀桐 正研究員、李易叡 副研究員、莊怡蓉 助理研究員</td></tr>
<tr><td>會議內容</td><td colspan="5">1. 期末階段南部活動斷層參數精進內容討論、問題與意見
(1) 小崗山斷層根據現有地形長度約 9 公里，然而地下延伸長度可能會更長，需考慮加上延伸的不確定性。
(2) 小崗山斷層幾何面上應保守考慮，考慮加上不確定性的範圍。
(3) 小崗山斷層下部滑脫面傾角建議可考慮本區域南部隱沒板塊的角度，可採用微震分布去推估隱沒板塊的幾何。
(4) 小崗山斷層只考慮斷坡的 case，孕震深度可能不夠，且換算的地震矩規模應該不高，可提高小崗山斷層斷坡+滑脫面的權重。
(5) 潮州斷層是一個主要的邊界大斷層，旗山斷層不會截切潮州斷層，而旗山北段和南段幾何上可能要考慮是不同的形貌：北段會被潮州斷層截切，南段則需考慮滑脫面延伸到潮州斷層或是孕震深度。
(6) 旗山斷層在大社地區，可考慮蒐集 InSAR 資料，檢視旗山斷層現今的活動是否在更西側的位置。
(7) 旗山斷層滑移速率，陳文山根據鑽井資料得到的抬升速率，需說明其如何計算，另外大社剖面中，如果旗山斷層目前的活動是在更西側，則陳文山推估下盤鑽井的抬升速率其實也是屬於上盤。根據現有資料抬升速率可改為 2.4~4.0 mm/yr。
(8) 旗山斷層滑移角，若要從大地測量資料，應以下盤的 GPS 站做為固定參考點，計算上盤的速度場。
(9) 根據外海震測剖面，潮州斷層往南延伸不可能出海，較可能是沿海陸邊界向南延伸。
(10) 潮州斷層孕震深度 20 公里可能是深部的滑脫面，深部破裂不一定會傳到地表。</td></tr>
</table>

	(11) 潮州斷層抬升速率，可參考謝孟龍在荖濃溪有做過一些定年資料，用來計算抬升速率。 (12) 恆春斷層建議計畫團隊可以自行蒐集地震資料畫恆春半島地區的地震剖面。 (13) 恆春斷層建議往北延伸至潮州最南段。 **2. 初鄉斷層參數討論、問題與意見** (1) 初鄉斷層 1999 年是被動的破裂，且滑移是在淺表，並未誘發大規模地震，因此不能當作最近一次活動時間。 **3. 整體計畫參數討論、問題與意見** (1) 報告論述應說明是就現有資料蒐集結果做出的結論，並且要建議後續的調查工作。
備註	

附錄 4 台灣南部地區斷層活動機率圖

「台灣南部水平速度場及斷層活動機率圖」是以 GPS 測站點位及 2002-2018 年水平速度場為底圖，套疊地調所南部地區 9 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 108 年 12 月
- 地形底圖：臺灣四十公尺數值地形模型
- 活動斷層：活動斷層參考中央地質調查所臺灣活動斷層分布圖第三版(2012)
- 參考點位：為了呈現臺灣造山帶的地表變形型態，在選擇速度場參考點位時，希望能選擇造山帶外圍但是又接近造山帶的點位，所以採用位於澎湖 S01R 的測站當成臺灣地區速度場之參考點
- 水平速度場：由 GPS 移動站與 GPS 連續站的坐標變化量推求出臺灣地表相對 S01R 測站之水平運動量與方向
- 斷層活動機率起算時間：西元 2019 年
- 統計模式：已知上一次斷層錯動與大規模地震之發生時間得採用 BPT 模式(假設發生率會隨時間變化)；未知上一次斷層錯動與大規模地震之發生時間得採用 Poisson 模式 (假設發生率固定，不隨時間變化)
- 考慮折減：玉里-池上斷層系統由於間震期會藉由潛移釋放部分能量，需考慮折減地震矩率以符合目前觀測之現況

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

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

「台灣南部垂直速度場及斷層活動機率圖」是以水準點、GPS 測站點位及 2002-2018 年垂直速度場為底圖，套疊地調所南部地區 9 條活動斷層及每條活動斷層未來 50 年地震矩規模 6.5 以上之發生機率圖框，潛勢圖右下角之說明文字圖框中包含：

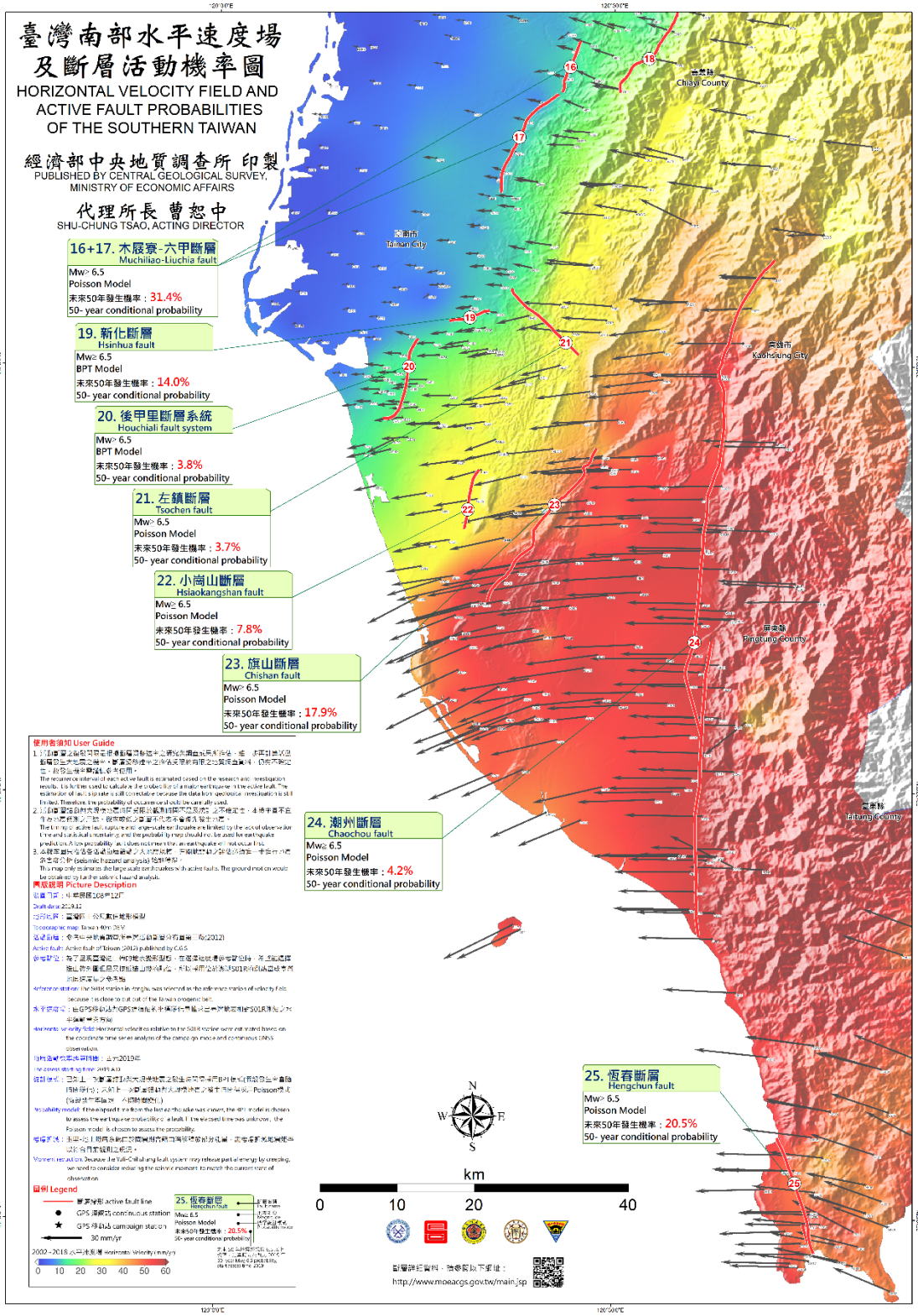
一、使用者須知，共三點：(同上)

二、圖版說明，包含以下內容：

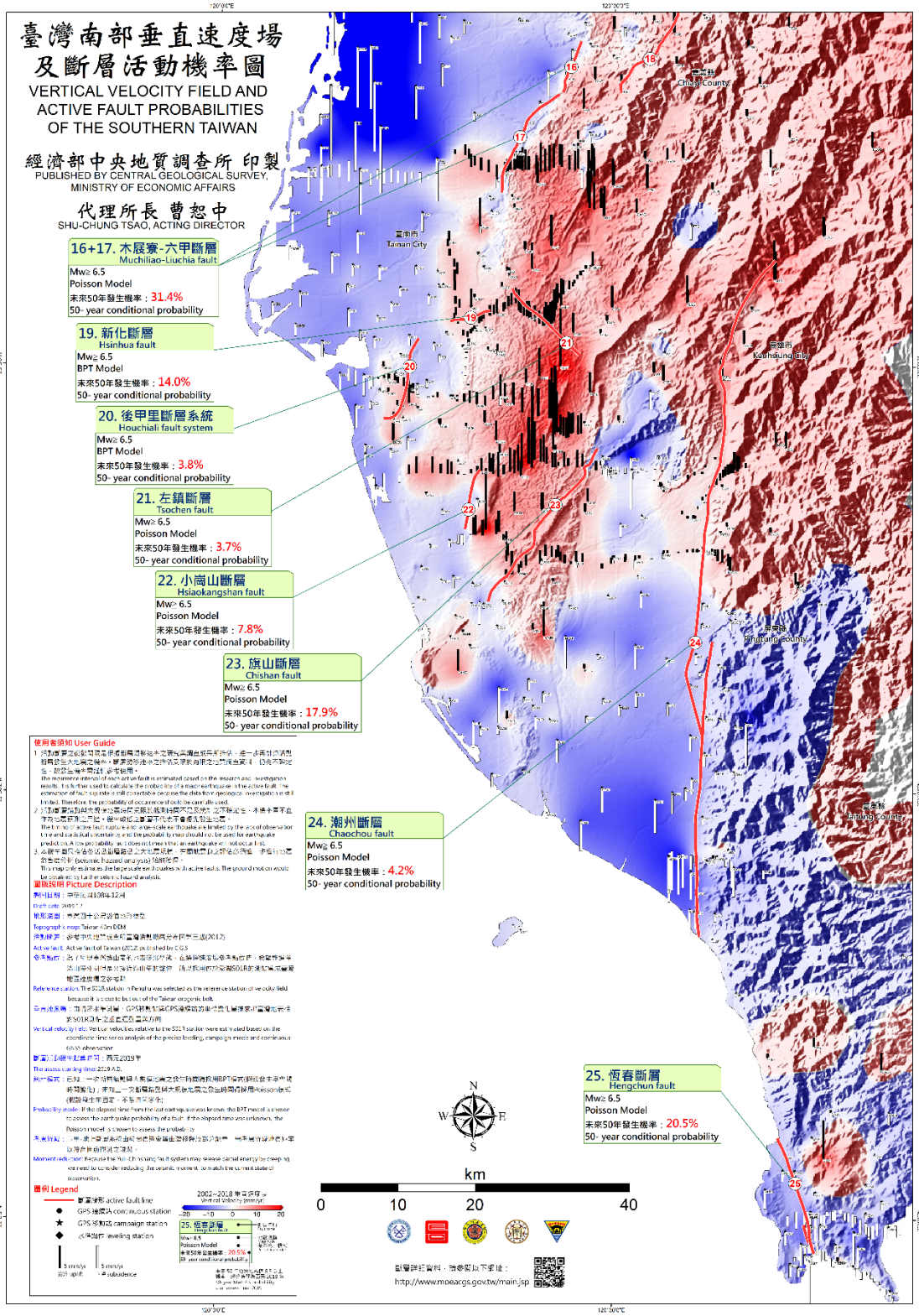
- 製圖日期：(同上)
- 地形底圖：(同上)
- 活動斷層：(同上)
- 參考點位：(同上)
- 垂直速度場：由精密水準測量、GPS 移動站與 GPS 連續站的坐標變化量推求出臺灣地表相對 S01R 測站之垂直運動量與方向
- 斷層活動機率起算時間：(同上)
- 統計模式：(同上)
- 考慮折減：(同上)

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

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



附圖 4.1：台灣南部水平速度場及斷層活動機率圖



附圖 4.2：台灣南部垂直速度場及斷層活動機率圖

附錄 5

活動斷層潛勢圖公布問題因應策略建議書(108 年度版)

前言

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

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

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

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

一、活動斷層潛勢圖公布之緣由

1-1 跟上美、日、歐等先進國家之潮流

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

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

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

1-2 國內相關法規之要求

經檢視國內法令，目前與活動斷層潛勢圖公布有關的法令如下：

1. 全國性法規

(1) 國土計畫法

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

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

<第 20 條>：各國土功能分區及其分類之劃設原則如下：

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

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

（其他項目、內容略）

(2) 災害防救法

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

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

七、災害潛勢、危險度、境況模擬與風險評估之調查分析，及適時公布其結果。

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

（其他項目、內容略）

(3) 地質法

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

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

（其他項目、內容略）

2. 一般性地方法規

(1) 都市計畫法

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

一、因戰爭、地震、水災、風災、火災或其他重大事變遭受損壞時。

二、為避免重大災害之發生時。

（其他項目、內容略）

(2) 非都市使用管理規則

<第 49-1 條>：變更編定。

…審查山坡地變更編定案件時，…有下列各款情形之一者，不得規劃作建築使用：

二、地質結構不良、地層破碎、活動斷層或順向坡有滑動之虞。

（其他項目、內容略）

二、瞭解活動斷層潛勢圖公布問題之做法

為瞭解活動斷層潛勢圖公布後之關鍵問題，本計畫以召開專家會議的方式邀請產、官、學等相關專家共同探討活動斷層潛勢圖公布之問題。108 年度係第三年執行，待本階段聽取專家之意見後，後續計畫再考慮座談會之對象至地方政府，以車籠埔斷層或彰化斷層為例，向中部地方政府說明清楚鄰近各條斷層之活動性並不相同，讓地方政府先瞭解活動斷層潛勢圖之代表意義，搭配地質法活動斷層敏感區之執行現況，以利地方政府預先初擬未來活動斷層潛勢圖公布後之土地開發審核程序，並預備告知民眾使用此圖資時之注意事項，減少民眾不必要之疑慮。

108 年度執行成果邀請對象之如下：

行政院災害防救辦公室科長。

民間防災業者：興創知能股份有限公司。

執業技師：與地質法明定之相關應用地質技師。

108 年度計畫於 10 月 28 日舉辦專家座談會議，以初步瞭解活動斷層潛勢圖公布後之相關問題。

2-1 108 年度專家座談會議 (108 年 10 月 28 日)

- 會議地點：中興工程顧問社
- 與會專家：陳榮裕 科長(行政院災害防救辦公室)、鄭錦桐 總經理(興創知能股份有限公司)、王豐仁 應用地質技師 (勝田工程顧問有限公司)。
- 探討議題與專家建議：

  綜整本次專家所提意見，歸納條列如下：

  (1) 潛勢圖公布建議可先行彙整有所影響的相關單位名單，先行提供潛勢圖資訊給他們，促使相關單位與地調所進行諮詢討論。或是聯繫這些相關單位，共同討論因應。

  (2) 重大工程如水庫、核電、橋樑尚未反映目前地調所究成果。須使其意識到目前的研究成果可以與相關法規結合。

  (3) 須注意斷層潛勢圖科技部的版本已公開，且已被災防單位應用，地調所後續公布是否會對災防單位造成混亂的衝擊。建議地調所可以整合並加入科技部研究成果。

  (4) 潛勢圖公布對執業技師具有正面效益，有明確的公布規模及機率可依循。

  (5) 斷層潛勢圖可關注機率較高的斷層，優先進行防災事項模擬及規劃。

  (6) 公部門資訊勢必要公開，方法上可先釋出消息，和媒體溝通，有步驟，有節奏的公布。

  (7) 建議與此潛勢圖公布有影響相關單位進行彙整，由行政院災防辦協助聯繫，進行連結。

三、106~108 年度執行所彙整之問題與策略

106~108 年度透過舉辦專家會議方式讓政府單位、學者、技師們充分表達圖資公布後之可能問題，並瞭解哪些政府、民間單位會受到本潛勢圖之影響。經由討論結果，與會各專家均對活動斷層潛勢圖之公布持肯定的意見，但事前的溝通與使用方式告知很重要，建議可先由教育單位著手，從國、高中教材中導入活動斷層與台灣地質環境及地震之關係，逐步讓民眾對於活動斷層不再陌生，並進而改變加強民眾對於地震之防災意識。

綜合數次專家會議之意見，因國土計畫法、災防法、建築技術規則等均有提到須考慮天然災害潛勢等資訊，故應本圖之公布應與前述法令相關單位多進行溝通交流，讓其多認識潛勢資料所代表之意義，將有助於各機關執行相關法令時能正確導入活動斷層潛勢之概念，並可讓地質調查研究成果有明確的應用端。茲歸納 106~108 年度專家會議探討活動斷層潛勢圖公布後之重要問題與因應策略如附表 5.1 所示。

附表 5.1：106-108 年度潛勢圖公布重要問題及因應策略

問題	因應策略
一、潛勢圖公布之應用端及政策面議題	
1. 本圖是定位科研結果還是社會應用？必須與國家上位法令結合，如國土計畫法、災防法須納入此資訊加以考量。使用目的明確化則可針對使用單位進行特別說明溝通，以降低使用單位之疑慮。	國土計畫法、災害防救法等法令均有提到各類天然災害潛勢資料必須納入該法加以評估。例如：災害防救法已明訂各級政府須依地區災害潛勢特性來擬訂地區災害防救計畫。故活動斷層潛勢圖亦應納入各級政府之災害防救計畫中。而各層級災害防救計畫亦應考慮各活動斷層發生機率之不同而有對應之應變措施。 建議可於地調所各類潛勢圖公布前，與各法令之執行機關舉辦溝通說明會，以利地調所成果順利於各相關法令中執行，後續地質資料有更新時亦將滾動式調整。
2. 未來應對斷層進行更詳細的地質調查(槽溝定年、線型判釋、地表破裂範圍等),可提升每條活動斷層參數的準確度，並可降低潛勢機率值的誤差範圍。	持續蒐集最新之活動斷層調查資料，特別是斷層之活動週期、滑移速率、上一次發生時間、位移錯距等資料，定期回饋至活動斷層潛勢分析結果，全面逐步提昇活動斷層參數的準確度。
3. 現階段可只考慮陸域 33 條活動斷層，未來應包含陸海延伸斷層及納入已確定之活動斷層(如龍船斷層)。	可於後續計畫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。

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

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

問題	因應策略
15. 本潛勢圖之重要用途：(i)做為地質敏感區優先調查之指導依據。(ii)防災設施及重大工程配置之參考。(iii)各縣市補助防災設備分配之參考。(iv)建築耐震規範修訂之參考，如地震微分區、近斷層效應影響等，才不會造成過度設計工程資源浪費。(v)公共工程保險費率及各項重要投資再保險費率之評估依據，以及巨災風險評估模式之更新。	先確定本圖使用對象定位、相關法規、告知限制條件方供適當之用途。
16. 應提供不同規模之發生機率，而不是只有規模 6.5 以上。	可以圖冊方式提供不同規模及震度之機率圖。
17. 潛勢圖公布建議可先行彙整有所影響的相關單位名單，先行提供潛勢圖資訊給他們，促使相關單位與地調所進行諮詢討論。	盤點與本潛勢圖相關之單位名單，逐步說明溝通本潛勢圖之意義、使用條件及限制、注意事項等，以利考量是否調整其業管工作之防災應變計畫。
18. 重大關鍵工程如水庫、發電廠、煉油廠、橋樑之地震安全評估作業尚未反映目前地調所究成果。需使其意識到目前的研究成果可以與相關法規結合。	對鍵設施主管機關進行說明會，逐步說明溝通本潛勢圖之意義、使用條件及限制、注意事項等，以利考量是否調整其業管關鍵設施之防災計畫。
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。
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。

問題	因應策略
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。

歸納綜整 106~108 年度之問題綱要如下：

1. 與本圖有關之法規，如國土計畫法，可做進一步溝通。
2. 適用對象須釐清，並考慮民眾版或專業版。
3. 多做教育宣導，並規劃使用者之配套措施建議。
4. 使用須知需註明限制、風險告知。
5. 比例尺與精度可持續更新。
6. 可關注機率較高的斷層，作為地質敏感區圖優先調查更新順序、大規模景況地震模擬及防災規劃之參考依據。
7. 公部門資訊勢必要公開；可先釋出消息，和媒體溝通，公開要有步驟及適當程序。
8. 對職業技師具有正面效益，有明確的公布規模及機率可為依循。

附錄 6 台灣南部地區斷層三維幾何模型

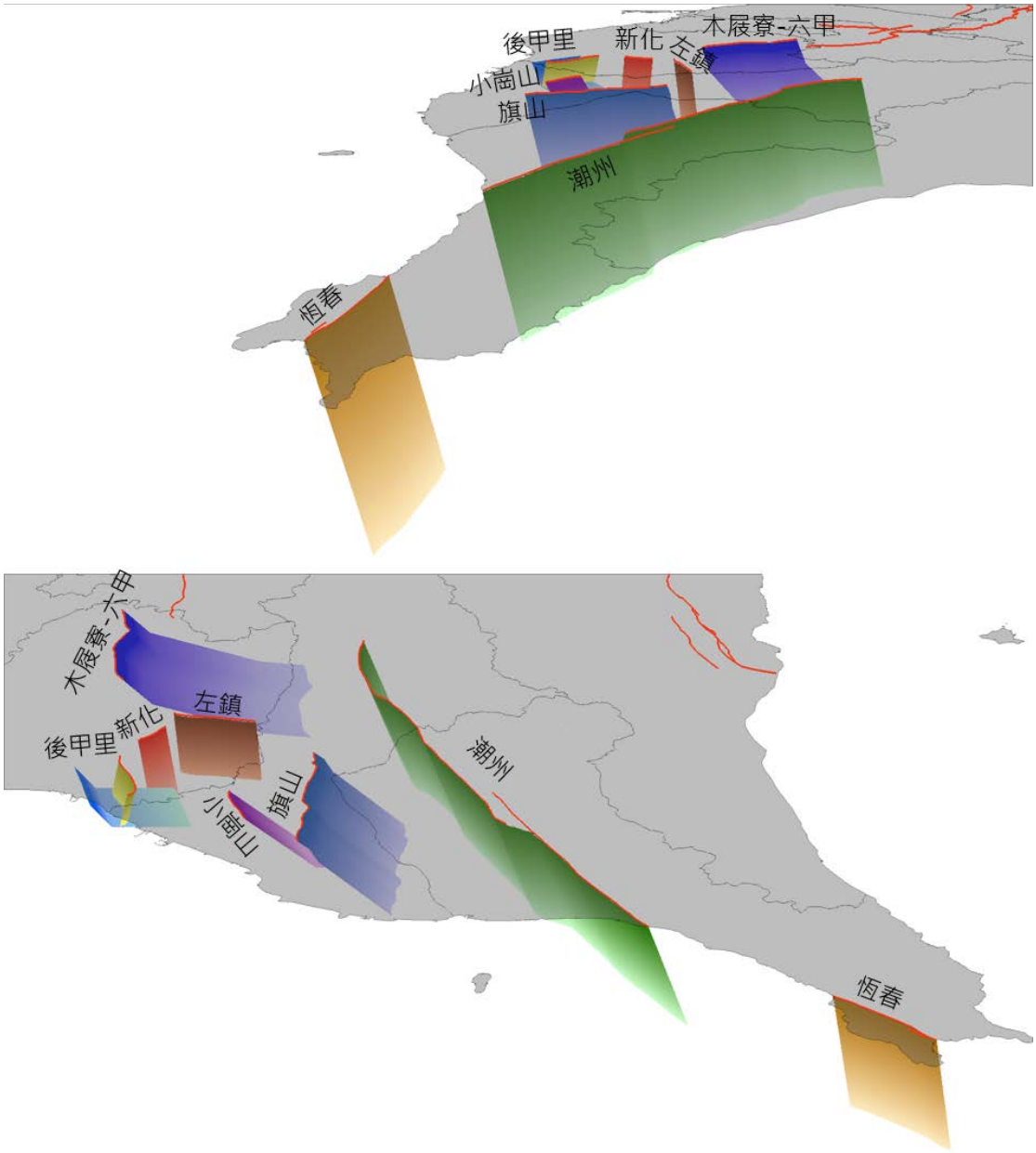
台灣南部地區斷層三維幾何模型，是針對本年度南部地區 9 條活動斷層的幾何參數建立的斷層幾何面網格檔，在三維地理資訊系統中(例如：ArcScene)可呈現斷層三維幾何面的形貌，附錄 6 資料夾中的斷層網格檔均來自報告內文中各斷層邏輯樹中的幾何參數。需要注意的是，此斷層面網格檔是針對簡化的幾何參數建立的，無法呈現實際上較為複雜的斷層幾何形貌，本計畫建立斷層三維幾何模型的目的，主要是了解各斷層於三維空間分布之間的合理性，進而針對斷層間可能存在互相穿插的問題進行調整。

附表 6-1 為斷層各 case 的幾何參數對照表，附圖 6-1 則是將附表 6-1 中黃色底 case 的斷層幾何面呈現在三維地理資訊系統中的情形。

附表 6-1 斷層三維幾何模型參數對照表

斷層	case	深度(km)	傾角(度)
16_17 木屐寮-六甲斷層	1	0-6	45E
		6-8	6E
	2	0-4	45E
		4-9	17E
		9-9.7	6E
	3	0-11	45E
		11-12	3.5E
19 新化斷層	1	0-10	70S
	2		80S
	3		85S
	4	0-12.5	70S
	5		80S
	6		85S
	7	0-15	70S
	8		80S
	9		85S
20 後甲里斷層	1(台南斷層)	1-5	55E
	2(台南斷層)	1-5	55E
		5-7	10E
	3(台南斷層)	1-5	55E
		5-10	10E
	4(後甲里斷層)	0-4	40W

	5(後甲里斷層)	0-5	75W
21 左鎮斷層	1	0-8	75 N
	2		80 N
	3		85 N
	4	0-11	75 N
	5		80 N
	6		85 N
	7	0-14	75 N
	8		80 N
	9		85 N
22 小崗山斷層	1	0-10	45E
	2	0-10	45E
		10-12	9E
23 旗山斷層	1	0-6	65S
		6-13.5	35S
	2	0-1	35S
		1-3	60S
		3-11.5	40S
	3	0-3	30S
		3-12	60S
24 潮州斷層	1	15	60E
	2	17.5	60E
	3	20	60E
	4	15	70E
	5	17.5	70E
	6	20	70E
	7	15	80E
	8	17.5	80E
	9	20	80E
25 恆春斷層	1	0-15	60E
	2	0-20	75E
	3	0-25	75E



附圖 6.1：台灣南部地區活動斷層三維幾何面