經濟部

經濟部中央地質調查所

109年度委託技術服務執行

總結報告書

「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估」

全 程 計 畫 ：自106年2月至109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 109 年 12 月

經濟部中央地質調查所

109年度委託技術服務執行

總結報告書

「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估」

全 程 計 畫：自106年2月至109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 109 年 12 月

臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估

計畫主持人： 顏銀桐

協同主持人： 徐澔德

計 畫 督 導 ： 張玉斐

研 究 員 ： 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 109 年 12 月

報告內容

計畫名稱：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估		
項 目		章 節
活動斷層斷層參數及潛勢圖更新	精進全臺 33 條活動斷層參數表	3-1, 4-1, 5-1, 6-1, 7-1, 8-1, 9-1, 10-1, 11-1,12-1, 13-1, 14-1 15-1, 16-1, 17-1, 18-1, 19-1, 20-1, 21-1, 22-1, 23-1, 24-1, 25-1, 26-1, 27-1, 28-1, 29-1, 30-1, 31-1, 32-1, 33-1, 34-1, 35-1
	精進全臺 33 條活動斷層邏輯樹	3-2, 4-2, 5-2, 6-2, 7-2, 8-2, 9-2, 10-2, 11-2,12-2, 13-2, 14-2, 15-2, 16-2, 17-2, 18-2, 19-2, 20-2, 21-2, 22-2, 23-2, 24-2, 25-2, 26-2, 27-2, 28-2, 29-2, 30-2, 31-2, 32-2, 33-2, 34-2, 35-2
	建立全臺 33 條活動斷層視覺化三維斷層模型	附錄 44
	全臺 33 條活動斷層潛勢評估	3-4, 4-4, 5-4, 6-4, 7-4, 8-4, 9-4, 10-3, 11-4, 12-4, 13-4, 14-4, 15-4, 16-4, 17-3, 18-4, 19-4, 20-4, 21-4, 22-4, 23-4, 24-4, 25-4, 26-4, 27-4, 28-4, 29-4, 30-4, 31-4, 32-4, 33-4, 34-4, 35-4
孕震構造之震源參數設定	苗栗變形前緣	附錄 34
	嘉義變形前緣	附錄 35
	臺南前緣構造	附錄 36
	右昌構造	附錄 37
	龍船構造	附錄 38
	北宜蘭構造	附錄 39
	初鄉斷層	附錄 40
制定活動斷層參數說明書	活動斷層參數說明書	附錄 1~附錄 33
	2020 年版全臺活動斷層潛勢圖	37-1
	活動斷層參數匯入網頁查詢平台	37-2
	斷層特徵照片蒐集彙整	附錄 41
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	第 38 章
	因應策略建議書	附錄 42
全臺活動斷層潛勢總結評估	潛勢評估方法論教育訓練	附錄 43

目錄

目錄 II
表目錄 VIII
圖目錄 XIII
摘要 XXI
Abstract XXVII
第一章、緒論 1
1-1 計畫整體概述 1
1-2 計畫目的 4
1-3 工作內容概述 7
第二章、邏輯樹權重劃設基本準則 8
2-1 權重劃分基本原則 8
2-2 分段破裂模式 8
2-3 斷層幾何(傾角及破裂深度) 10
2-4 長期滑移速率 11
第三章、山腳斷層潛勢評估 12
3-1 山腳斷層參數彙整 12
3-2 邏輯樹更新 18
3-3 規模與年發生率之關係 22
3-4 發震機率之推估 24
第四章、湖口斷層潛勢評估 25
4-1 湖口斷層參數彙整 25
4-2 邏輯樹更新 29
4-3 規模與年發生率之關係 32
4-4 發震機率之推估 34
第五章、新竹斷層潛勢評估 35
5-1 新竹斷層參數彙整 35
5-2 邏輯樹更新 38
5-3 規模與年發生率之關係 41
5-4 發震機率之推估 43
第六章、新城斷層潛勢評估 44
6-1 新城斷層參數彙整 44
6-2 邏輯樹更新 48
6-3 規模與年發生率之關係 51

6-4 發震機率之推估 53
第七章、獅潭斷層潛勢評估 54
7-1 獅潭斷層參數彙整 54
7-2 邏輯樹更新 57
7-3 規模與年發生率之關係 60
7-4 發震機率之推估 63
第八章、三義斷層潛勢評估 64
8-1 三義斷層參數彙整 64
8-2 邏輯樹更新 68
8-3 規模與年發生率之關係 72
8-4 發震機率之推估 75
第九章、大甲斷層潛勢評估 76
9-1 大甲斷層參數彙整 76
9-2 邏輯樹更新 78
9-3 規模與年發生率之關係 83
9-4 發震機率之推估 87
第十章、鐵砧山斷層潛勢評估 88
10-1 鐵砧山斷層參數彙整 88
10-2 邏輯樹更新 90
10-3 發震機率之推估 90
第十一章、屯子腳斷層潛勢評估 91
11-1 屯子腳斷層參數彙整 91
11-2 邏輯樹更新 94
11-3 規模與年發生率之關係 95
11-4 發震機率之推估 96
第十二章、彰化斷層潛勢評估 97
12-1 彰化斷層參數彙整 97
12-2 邏輯樹更新 101
12-3 規模與年發生率之關係 102
12-4 發震機率之推估 103
第十三章、車籠埔斷層潛勢評估 104
13-1 車籠埔斷層參數彙整 104
13-2 邏輯樹更新 110
13-3 規模與年發生率之關係 114
13-4 發震機率之推估 118
第十四章、大茅埔-雙冬斷層潛勢評估 119

14-1 大茅埔-雙冬斷層參數彙整 119
14-2 邏輯樹更新 122
14-3 規模與年發生率之關係 125
14-4 發震機率之推估 127
第十五章、九芎坑斷層潛勢評估 128
15-1 九芎坑斷層參數彙整 128
15-2 邏輯樹更新 133
15-3 規模與年發生率之關係 136
15-4 發震機率之推估 138
第十六章、梅山斷層潛勢評估 139
16-1 梅山斷層參數彙整 139
16-2 邏輯樹更新 142
16-3 規模與年發生率之關係 144
16-4 發震機率之推估 147
第十七章、大尖山斷層潛勢評估 148
17-1 大尖山斷層參數彙整 148
17-2 邏輯樹更新 151
17-3 發震機率之推估 151
第十八章、木屐寮斷層潛勢評估 152
18-1 木屐寮斷層參數彙整 152
18-2 邏輯樹更新 155
18-3 規模與年發生率之關係 159
18-4 發震機率之推估 162
第十九章、六甲斷層潛勢評估 163
19-1 六甲斷層參數彙整 163
19-2 邏輯樹更新 167
19-3 規模與年發生率之關係 167
19-4 發震機率之推估 168
第二十章、觸口斷層潛勢評估 169
20-1 觸口斷層參數彙整 169
20-2 邏輯樹更新 174
20-3 規模與年發生率之關係 177
20-4 發震機率之推估 180
第二十一章、新化斷層潛勢評估 181
21-1 新化斷層參數彙整 181
21-2 邏輯樹更新 184

21-3 規模與年發生率之關係 186
21-4 發震機率之推估 188
第二十二章、後甲里斷層系統潛勢評估 189
22-1 後甲里斷層參數彙整 189
22-2 邏輯樹更新 192
22-3 規模與年發生率之關係 196
22-4 發震機率之推估 199
第二十三章、左鎮斷層潛勢評估 200
23-1 左鎮斷層參數彙整 200
23-2 邏輯樹更新 202
23-3 規模與年發生率之關係 204
23-4 發震機率之推估 205
第二十四章、小崗山斷層潛勢評估 206
24-1 小崗山斷層參數彙整 206
24-2 邏輯樹更新 209
24-3 規模與年發生率之關係 212
24-4 發震機率之推估 214
第二十五章、旗山斷層潛勢評估 215
25-1 旗山斷層參數彙整 215
25-2 邏輯樹更新 218
25-3 規模與年發生率之關係 223
25-4 發震機率之推估 225
第二十六章、潮州斷層潛勢評估 226
26-1 潮州斷層幾何(本計畫更新) 226
26-2 邏輯樹更新 229
26-3 規模與年發生率之關係 232
26-4 發震機率之推估 235
第二十七章、恆春斷層潛勢評估 236
27-1 恆春斷層參數彙整 236
27-2 邏輯樹更新 240
27-3 規模與年發生率之關係 243
27-4 發震機率之推估 245
第二十八章、米崙斷層潛勢評估 246
28-1 米崙斷層參數彙整 246
28-2 邏輯樹更新 250
28-3 規模與年發生率之關係 254

28-4 發震機率之推估 255
第二十九章、嶺頂斷層潛勢評估 256
29-1 嶺頂斷層參數彙整 256
29-2 邏輯樹更新 259
29-3 規模與年發生率之關係 263
29-4 發震機率之推估 266
第三十章、瑞穗斷層系統潛勢評估 267
30-1 瑞穗斷層參數彙整 267
30-2 邏輯樹更新 271
30-3 規模與年發生率之關係 272
30-4 發震機率之推估 273
第三十一章、奇美斷層潛勢評估 274
31-1 奇美斷層參數彙整 274
31-2 邏輯樹更新 277
31-3 規模與年發生率之關係 281
31-4 發震機率之推估 282
第三十二章、玉里斷層潛勢評估 283
32-1 玉里斷層參數彙整 283
32-2 邏輯樹更新 286
32-3 規模與年發生率之關係 288
32-4 發震機率之推估 289
第三十三章、池上斷層潛勢評估 290
33-1 池上斷層參數彙整 290
33-2 邏輯樹更新 295
33-3 規模與年發生率之關係 300
33-4 發震機率之推估 302
第三十四章、鹿野斷層潛勢評估 303
34-1 鹿野斷層參數彙整 303
34-2 邏輯樹更新 307
34-3 規模與年發生率之關係 310
34-4 發震機率之推估 312
第三十五章、利吉斷層系統潛勢評估 313
35-1 利吉斷層參數彙整 313
35-2 邏輯樹更新 317
35-3 規模與年發生率之關係 318
35-4 發震機率之推估 319

第三十六章、斷層參數總彙整 320
第三十七章、制定各活動斷層參數說明書 327
37-1 活動斷層潛勢圖成果 327
37-2 彙整成果至活動斷層查詢平台 331
37-3 活動斷層現地照片蒐集與呈現 335
第三十八章、活動斷層潛勢圖公布相關問題研析 337
38-1 美日等國活動斷層潛勢圖公布經驗 337
38-1-1 美國經驗 337
38-1-2 日本經驗 338
38-1-3 歐洲經驗 340
38-2 潛勢圖公布相關問題研析 342
第三十九章、結論及調查工作建議 346
名詞解釋 348
參考文獻 350
委員審查意見 364
106 年期中委員審查意見 364
106 年期末委員審查意見 367
107 年期中委員審查意見 368
107 年期末委員審查意見 370
108 年期中委員審查意見 374
108 年期末委員審查意見 378
109 年期中委員審查意見 382
109 年期末委員審查意見 385

表目錄

表 1-1.1：全程計畫預期進度甘梯圖 3
表 3-1.1：山腳斷層幾何面各調查方法及斷層參數.....12
表 3-1.2：山腳斷層長期滑移速率相關文獻及參數彙整.....13
表 3-1.3：山腳斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....13
表 3-1.4：山腳斷層參數表 14
表 3-2.1：山腳斷層淨滑移速率換算，淨滑移速率=[抬升速率/SIN(傾角)].....20
表 3-2.2：山腳斷層整段滑移速率計算.....20
表 3-2.3：山腳斷層之各破裂事件規模及權重 20
表 3-4.1：山腳斷層發生機率評估.....24
表 4-1.1：湖口斷層幾何面各調查方法及斷層參數.....25
表 4-1.2：湖口斷層上盤各井的構造變動速率 25
表 4-1.3：湖口斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....26
表 4-1.4：湖口斷層參數表 27
表 4-2.1：湖口斷層之各破裂事件規模及權重。 31
表 4-4.1：湖口斷層發生機率評估.....34
表 5-1.1：新竹斷層幾何面各調查方法及斷層參數.....35
表 5-1.2：新竹斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....35
表 5-1.3：新竹斷層參數表 36
表 5-2.1：新竹斷層各破裂事件規模及權重 39
表 5-4.1：新竹斷層發生機率評估.....43
表 6-1.1：新城斷層幾何面各調查方法及斷層參數.....44
表 6-1.2：新城斷層長期滑移速率相關文獻（橘色表格表示年代老於 10 萬年）.....45
表 6-1.3：新城斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....45
表 6-1.4：新城斷層參數表 46
表 6-2.1：新城斷層各破裂事件規模及權重 50
表 6-4.1：新城斷層發生機率評估.....53
表 7-1.1：獅潭斷層幾何面各調查方法及斷層參數.....54
表 7-1.2：獅潭斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....54
表 7-1.3：獅潭斷層參數表 55
表 7-2.1：獅潭-屯子腳斷層系統 V 獅潭+屯子腳計算.....58
表 7-2.2：獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件規模及權重。 59
表 7-4.1：獅潭斷層發生機率評估.....63
表 8-1.1：三義斷層幾何面各調查方法及斷層參數.....64
表 8-1.2：三義斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....64
表 8-1.3：三義斷層參數表 65
表 8-2.1：三義斷層各破裂事件規模及權重 70
表 8-4.1：三義斷層發生機率評估。 75
表 9-1.1：大甲斷層傾角及深度資料與文獻列表 76
表 9-1.2：大甲斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....76
表 9-1.3：大甲斷層參數表 77
表 9-2.1：大甲-彰化斷層長期滑移速率相關文獻 80
表 9-2.2：大甲斷層長期滑移速率計算，淨滑移速率=[垂直滑移速率/SIN(傾角)] 81
表 9-2.3：彰化斷層長期滑移速率計算，淨滑移速率=[縮短速率/COS(傾角)].....81

表 9-2.4：大甲-彰化斷層系統長期滑移速率計算 81
表 9-2.5：大甲-彰化斷層系統之中值各破裂事件規模及權重 82
表 9-4.1：大甲斷層發生機率評估 87
表 10-1.1：鐵砧山斷層傾角資料與文獻列表 88
表 10-1.2：鐵砧山斷層參數表 89
表 11-1.1：屯子腳斷層幾何面各調查方法及斷層參數 91
表 11-1.2：屯子腳斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 91
表 11-1.3：屯子腳斷層參數表 92
表 11-4.1：屯子腳斷層發生機率評估 96
表 11-4.2：獅潭-屯子腳斷層系統發生機率評估 96
表 12-1.1：彰化斷層幾何面各調查方法及斷層參數 97
表 12-1.2：彰化斷層長期滑移速率相關文獻及參數彙整 97
表 12-1.3：彰化斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 98
表 12-1.4：彰化斷層參數表 99
表 12-4.1：彰化斷層發生機率評估 103
表 12-4.2：大甲-彰化斷層系統發生機率評估 103
表 13-1.1：車籠埔斷層幾何面各調查方法及斷層參數 104
表 13-1.2：車籠埔斷層長期滑移速率彙整 105
表 13-1.3：車籠埔斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 105
表 13-1.4：車籠埔斷層參數表 106
表 13-2.1：車籠埔斷層長期滑移速率計算，淨滑移速率=[垂直滑移速率/SIN(傾角)]/SIN(滑移角) 112
表 13-2.2：車籠埔斷層各破裂事件規模及權重 112
表 13-4.1：車籠埔斷層發生機率評估 118
表 14-1.1：大茅埔-雙冬斷層傾角各調查方法及斷層參數 119
表 14-1.2：大茅埔-雙冬斷層深度各調查方法及斷層參數 119
表 14-1.3：大茅埔-雙冬斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 120
表 14-1.4：大茅埔-雙冬斷層參數表 120
表 14-2.1：大茅埔-雙冬斷層各破裂事件規模及權重 124
表 14-4.1：本計畫大茅埔-雙冬斷層發生機率評估 127
表 15-1.1：九芎坑斷層幾何面各調查方法及斷層參數 128
表 15-1.2：九芎坑斷層長期滑移速率彙整 129
表 15-1.3：九芎坑斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 129
表 15-1.4：九芎坑斷層參數表 130
表 15-2.1：九芎坑斷層各破裂事件規模及權重 135
表 15-4.1：九芎坑斷層發生機率評估 138
表 16-1.1：梅山斷層幾何面各調查方法及斷層參數 139
表 16-1.2：梅山斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 139
表 16-1.3：梅山斷層參數表 140
表 16-2.1：梅山斷層各破裂事件規模及權重 143
表 16-4.1：梅山斷層發生機率評估 147
表 17-1.1：大尖山斷層幾何面各調查方法及斷層參數 148
表 17-1.2：大尖山斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 149
表 17-1.3：大尖山斷層參數表 149
表 18-1.1：木屐寮斷層幾何面各調查方法及斷層參數 152
表 18-1.2：木屐寮斷層長期滑移速率相關文獻及推估結果 152

表 18-1.3：木屐寮斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 152
表 18-1.4：木屐寮斷層參數表 153
表 18-2.1：木屐寮-六甲斷層長期滑移速率相關文獻及推估結果 157
表 18-2.2：木屐寮-六甲斷層之各破裂事件規模計算 157
表 18-4.1：本計畫木屐寮斷層發生機率評估 162
表 19-1.1：六甲斷層幾何面各調查方法及斷層參數 163
表 19-1.2：六甲斷層長期滑移速率相關文獻及推估結果 164
表 19-1.3：六甲斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 164
表 19-1.4：六甲斷層參數表 165
表 19-4.1：本計畫六甲斷層發生機率評估 168
表 19-4.2：木屐寮-六甲斷層系統發生機率評估 168
表 20-1.1：觸口斷層幾何面各調查方法及斷層參數 169
表 20-1.2：觸口斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 170
表 20-1.3：觸口斷層參數表 171
表 20-2.1：觸口斷層各破裂事件規模及權重 175
表 20-4.1：觸口斷層發生機率評估 180
表 21-1.1：新化斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016) 181
表 21-1.2：新化斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 181
表 21-2.1：新化斷層之各破裂事件特徵地震規模計算 185
表 21-4.1：前階段計畫新化斷層發生機率評估(胡植慶等，2016) 188
表 21-4.2：本計畫新化斷層發生機率評估 188
表 22-1.3：後甲里斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 190
表 22-1.4：後甲里斷層參數表 190
表 22-2.1：後甲里斷層系統各破裂事件規模及權重 194
表 22-4.1：前階段計畫後甲里斷層系統發生機率評估(胡植慶等，2016) 199
表 22-4.2：本計畫後甲里斷層系統發生機率評估 199
表 23-1.1：左鎮斷層幾何面各調查方法及斷層參數 200
表 23-1.2：左鎮斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 200
表 23-1.3：左鎮斷層參數表 201
表 23-2.1：左鎮斷層各破裂事件規模計算 203
表 23-4.1：前階段計畫左鎮斷層發生機率評估(胡植慶等，2016) 205
表 23-4.2：本計畫左鎮斷層發生機率評估 205
表 24-1.1：小崗山斷層幾何相關文獻彙整。 206
表 24-1.2：小崗山斷層長期滑移速率相關文獻 206
表 24-1.3：小崗山斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 206
表 24-1.4：小崗山斷層參數表 207
表 24-4.1：前階段計畫小崗山斷層發生機率評估(胡植慶等，2016) 214
表 24-4.2：本計畫小崗山斷層發生機率評估 214
表 25-1.1：旗山斷層幾何相關文獻彙整。 215
表 25-1.2：旗山斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 215
表 25-1.3：旗山斷層參數表 216
表 25-2.1：大社 A 剖面鑽井樣本抬升速率彙整(陳文山等，2012) 221
表 25-2.2：旗山斷層各破裂事件規模計算 221
表 25-4.1：前階段計畫旗山斷層發生機率評估(胡植慶等，2016) 225
表 25-4.2：本計畫旗山斷層發生機率評估 225
表 26-1.1：潮州斷層幾何資料及文獻列表 226

表 26-1.2：潮州斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....226
表 26-1.3：潮州斷層參數表 227
表 26-2.1：潮州斷層系統各破裂事件規模計算.....230
表 26-4.1：前階段計畫潮州斷層發生機率評估(胡植慶等，2016).....235
表 26-4.2：本計畫潮州斷層發生機率評估.....235
表 27-1.2：恆春斷層長期滑移速率相關文獻 237
表 27-1.3：恆春斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....237
表 27-1.4：恆春斷層參數表 238
表 27-2.1：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)...242
表 27-2.2：恆春斷層各破裂事件規模計算.....242
表 27-4.1：前階段計畫恆春斷層發生機率評估(胡植慶等，2016).....245
表 27-4.2：本計畫恆春斷層發生機率評估.....245
表 28-1.1：米崙斷層幾何面各調查方法及斷層參數.....246
表 28-1.2：米崙斷層各調查方法及抬升速率推估 247
表 28-1.3：米崙斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....247
表 28-1.4：米崙斷層參數表 248
表 28-2.1：米崙斷層抬升速率相關文獻及推估結果(摘自胡植慶等，2016) 252
表 28-2.2：米崙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)...252
表 28-2.3：米崙斷層之破裂事件規模計算.....252
表 28-4.1：前階段計畫米崙斷層發生機率評估(胡植慶等，2016).....255
表 28-4.2：本計畫米崙斷層發生機率評估.....255
表 29-1.1：嶺頂斷層幾何形貌相關文獻.....256
表 29-1.2：嶺頂斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....256
表 29-1.3：嶺頂斷層幾何形貌相關文獻.....257
表 29-2.1：瑞穗斷層長期抬升速率資料彙整 261
表 29-2.2：瑞穗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)...261
表 29-2.3：嶺頂-瑞穗斷層系統之破裂事件特徵地震規模計算 261
表 29-4.1：本計畫嶺頂斷層發生機率評估.....266
表 30-1.1：瑞穗斷層幾何形貌相關文獻.....267
表 30-1.2：瑞穗斷層長期抬升速率資料彙整 267
表 30-1.3：瑞穗斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....268
表 30-4.1：本計畫瑞穗斷層發生機率評估.....273
表 30-4.2：本計畫嶺頂-瑞穗斷層系統發生機率評估.....273
表 31-1.1：奇美斷層幾何形貌相關文獻.....274
表 31-1.2：奇美斷層各調查方法及抬升速率推估 274
表 31-1.3：奇美斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....274
表 31-1.4：奇美斷層參數表 275
表 31-2.1：奇美斷層各破裂事件規模計算.....280
表 31-4.1：前階段計畫奇美斷層發生機率評估(胡植慶等，2016).....282
表 31-4.2：本計畫奇美斷層發生機率評估.....282
表 32-1.2：玉里斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....283
表 32-1.3：玉里斷層參數表 284
表 32-2.1：玉里斷層各破裂事件規模計算.....287
表 32-4.1：本計畫玉里斷層發生機率評估.....289
表 33-1.1：池上斷層幾何面各調查方法及斷層參數.....290
表 33-1.2：池上斷層長期滑移速率相關文獻彙整 291

表 33-1.3：池上斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....291
表 33-1.4：池上斷層參數表 292
表 33-2.1：池上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)...298
表 33-2.2：池上斷層各破裂事件規模計算 298
表 33-4.1：前階段計畫玉里-池上斷層發生機率評估(胡植慶等，2016) 302
表 33-4.2：本計畫池上斷層發生機率評估 302
表 34-1.1：鹿野斷層幾何面各調查方法及斷層參數.....303
表 34-1.2：鹿野斷層長期滑移速率相關文獻彙整 303
表 34-1.3：鹿野斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....304
表 34-1.4：鹿野斷層參數表 305
表 34-2.1：鹿野斷層長期抬升速率資料彙整 309
表 34-2.2：鹿野斷層淨滑移速率換算，淨滑移速率=抬升速率/SIN(傾角).....309
表 34-2.3：鹿野斷層之破裂事件特徵地震規模計算.....309
表 34-4.1：鹿野斷層發生機率評估.....312
表 35-1.1：利吉幾何面各調查方法及斷層參數.....313
表 35-1.2：利吉斷層長期滑移速率相關文獻及推估結果.....313
表 35-1.3：利吉斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020).....314
表 35-1.4：利吉斷層參數表 315
表 35-2.1：利吉斷層長期抬升速率資料彙整 317
表 35-2.2：利吉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)...318
表 35-2.3：利吉斷層之破裂事件特徵地震規模計算.....318
表 35-4.1：利吉斷層系統發生機率評估.....319
表 35-4.2：鹿野-利吉斷層系統發生機率評估 319
表 36.1：活動斷層參數表.....321
表 37-3.1：照片欄位規劃 336

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(摘錄自 WG07, 2008)。 .4
圖 1-2.2：加州地區孕震構造之三維幾何形貌(WG07, 2008)。 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(摘錄自 WG07, 2008)。 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(摘錄自 WG07, 2008)。 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(日本全國地震動預測圖，2020)。 6
圖 2-1.1：本計畫採用之分段破裂模式及權重分配準則。 9
圖 2-1.2：本計畫採用之延伸段破裂模式及權重分配準則。 9
圖 2-4.1：本計畫採用之長期滑移速率數值及權重分配流程。 11
圖 3-2.1：山腳斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。 19
圖 3-2.2：SSHAC LEVEL 3 計畫台灣北部主要活動斷層幾何形貌設定。上圖為主要活動斷層分布圖，包括山腳斷層、ST-II 斷層、澳底斷層及北宜蘭斷層，下圖左為台灣北部主要活動斷層 AA’剖面之幾何形貌，下圖右為 BB’剖面之幾何形貌。 19
圖 3-2.3：山腳斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。 21
圖 3-3.1：山腳斷層各破裂事件特徵地震模式。 22
圖 3-3.2：山腳斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和 23
圖 3-3.3：山腳斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和 23
圖 3-3.4：(A)山腳斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B)山腳斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 23
圖 4-2.1：本計畫湖口斷層海域延伸 29
圖 4-2.2：本計畫湖口斷層破裂事件。 30
圖 4-2.3：湖口斷層幾何面破裂模式及權重。 30
圖 4-2.4：湖口斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。 31
圖 4-3.1：湖口斷層各破裂事件特徵地震模式。 32
圖 4-3.2：湖口斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。 32
圖 4-3.3：湖口斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。 33
圖 4-3.4：（A）湖口斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）湖口斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 33
圖 5-2.1：新竹斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。 38
圖 5-2.2：新竹斷層幾何面破裂模式及權重。 39
圖 5-2.3：新竹斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。 40
圖 5-3.1：新竹斷層各破裂事件特徵地震模式。 41
圖 5-3.2：新竹斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。 42

圖 5-3.3：新竹斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。 42
圖 5-3.4：（A）新竹斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）新竹斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 42
圖 6-2.1：新城斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。 49
圖 6-2.2：新城斷層幾何面破裂模式。 49
圖 6-2.3：新城斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。 50
圖 6-3.1：新城斷層各破裂事件之特徵地震模式。 51
圖 6-3.2：新城斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。 51
圖 6-3.3：新城斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。 52
圖 6-3.4：（A）新城斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）新城斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 52
圖 7-2.1：本計畫修改之獅潭-屯子腳斷層系統破裂模式及權重分配。 58
圖 7-2.2：獅潭-屯子腳斷層系統更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件權重、滑移速率)。 .59
圖 7-3.1：獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件特徵地震模式。 60
圖 7-3.2：獅潭—屯子腳斷層系統 6 種破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。 61
圖 7-3.3：獅潭-屯子腳斷層系統 6 種破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間區間之權重總和。 62
圖 7-3.4：（A）獅潭—屯子腳斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）獅潭—屯子腳斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 62
圖 8-2.1：本計畫修改三義斷層之分段及破裂模式 69
圖 8-2.2：本計畫三義斷層(車籠埔斷層以北)幾何形貌設定。藍線為三義斷層於地質剖面中之形貌，紅線為本計畫設定之幾何形貌 69
圖 8-2.3：本計畫三義斷層(車籠埔斷層以南)幾何形貌設定。 70
圖 8-2.4：三義斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。 71
圖 8-3.1：三義斷層各破裂事件特徵地震模式。 72
圖 8-3.2：三義斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。 73
圖 8-3.3：三義斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和 73
圖 8-3.4：（A）三義斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）三義斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 74
圖 9-2.1：大甲-彰化斷層系統之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。 79
圖 9-2.2：中部活動斷層分布圖。 79
圖 9-2.3：本計畫大甲斷層、彰化斷層、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層三種幾何關係示意圖。AA’及 BB’剖面位置如圖 9-2.2 所示。 80
圖 9-2.4：大甲(鐵砧山)-彰化斷層系統更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。 82
圖 9-3.1：A 事件特徵地震模式。 83
圖 9-3.2：B 事件特徵地震模式。 83

圖 9-3.3：C 事件特徵地震模式。 83
圖 9-3.4：D 事件特徵地震模式。 84
圖 9-3.5：E 事件特徵地震模式。 84
圖 9-3.6：F 事件特徵地震模式。 84
圖 9-3.7：G 事件特徵地震模式。 84
圖 9-3.8：大甲—彰化斷層系統 7 種破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。 85
圖 9-3.9：大甲—彰化斷層系統 7 種破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，其餘以此類推，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間區間之權重總和。 86
圖 9-3.10：（A）大甲-彰化斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）大甲-彰化斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 86
圖 10-3.1：本計畫推測鐵砧山斷層破裂深度。 90
圖 13-2.1：車籠埔斷層分段與種破裂模式。 111
圖 13-2.2：本計畫大甲-彰化斷層、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層三種幾何關係示意圖。 111
圖 13-2.3：車籠埔斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。 113
圖 13-3.1：A 事件特徵地震模式。 114
圖 13-3.2：B 事件特徵地震模式。 114
圖 13-3.3：C 事件特徵地震模式。 115
圖 13-3.4：D 事件特徵地震模式。 115
圖 13-3.5：E 事件特徵地震模式。 115
圖 13-3.6：F 事件特徵地震模式。 115
圖 13-3.7：G 事件特徵地震模式。 116
圖 13-3.8：H 事件特徵地震模式。 116
圖 13-3.9：車籠埔斷層三種分段破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。 116
圖 13-3.10：車籠埔斷層三種分段破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，其餘以此類推，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間區間之權重總和。 117
圖 13-3.11：（A）車籠埔斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）車籠埔斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 117
圖 14-2.1：本計畫大茅埔-雙冬斷層兩種可能破裂長度之模式與權重。 122
圖 14-2.2：本計畫大甲-彰化斷層、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層三種幾何關係示意圖。 123
圖 14-2.3：大茅埔-雙冬斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。 124
圖 14-3.1：A 事件特徵地震模式。 125
圖 14-3.2：B 事件特徵地震模式。 125
圖 14-3.3：大茅埔-雙冬斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。 125
圖 14-3.4：大茅埔-雙冬斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖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。 126
圖 14-3.5：（A）大茅埔-雙冬斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（B）大茅埔-雙冬斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 126
圖 15-2.1：桐樹湖斷層和九芎坑斷層之分布關係。 133

圖 15-2.2：本計畫九芎坑斷層、大尖山斷層幾何關係示意圖。 134
圖 15-2.3：九芎坑斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。 135
圖 15-3.1：A 事件特徵地震模式。 136
圖 15-3.2：B 事件特徵地震模式。 136
圖 15-3.3：九芎坑斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。 136
圖 15-3.4：九芎坑斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。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。 137
圖 15-3.5：(A) 九芎坑斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 九芎坑斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 137
圖 16-2.1：梅山斷層四種可能破裂長度之模式。 142
圖 16-2.2：梅山斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。 143
圖 16-3.1：A 事件特徵地震模式。 144
圖 16-3.2：B 事件特徵地震模式。 144
圖 16-3.3：C 事件特徵地震模式。 145
圖 16-3.4：D 事件特徵地震模式。 145
圖 16-3.5：梅山斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。 145
圖 16-3.6：梅山斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。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。 146
圖 16-3.7：(A) 梅山斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 梅山斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 146
圖 18-2.1：本計畫木屐寮-六甲斷層之破裂模式及權重分配。 156
圖 18-2.2：本計畫木屐寮-六甲斷層幾何形貌設定。 156
圖 18-2.3：木屐寮-六甲斷層規模 6 以上歷史地震分布。 157
圖 18-2.4：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)。 158
圖 18-3.1：木屐寮-六甲斷層各破裂事件特徵地震模式。 159
圖 18-3.2：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。 160
圖 18-3.3：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。 160
圖 18-3.4：(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。 161
圖 20-2.1：觸口斷層各分段之分布關係及四種可能破裂之模式。 174
圖 20-2.2：本計畫觸口斷層三種幾何關係示意圖。 175
圖 20-2.3：觸口斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。 176
圖 20-3.1：A 事件特徵地震模式。 177
圖 20-3.2：B 事件特徵地震模式。 177
圖 20-3.3：C 事件特徵地震模式。 178
圖 20-3.4：D 事件特徵地震模式。 178
圖 20-3.5：觸口斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。 178

圖 20-3.6：觸口斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。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。 179
圖 20-3.7：(A) 觸口斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 觸口斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 179
圖 21-2.1：新化斷層之破裂模式。 184
圖 21-2.2：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)。 185
圖 21-3.1：新化斷層各破裂事件特徵地震模式。 186
圖 21-3.2：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 186
圖 21-3.3：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。 187
圖 21-3.4：(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。 187
圖 22-2.1：本計畫後甲里斷層系統之破裂模式。 193
圖 22-2.2：台南-後甲里斷層系統幾何面破裂模式。 193
圖 22-2.3：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)。 194
圖 22-2.4：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)。 ..195
圖 22-3.1：後甲里斷層系統破裂模式 A 特徵地震模式。 196
圖 22-3.2：後甲里斷層系統破裂模式 B 特徵地震模式。 197
圖 22-3.3：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。 197
圖 22-3.4：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。 198
圖 22-3.5：(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。 198
圖 23-2.1：左鎮斷層之破裂模式(胡植慶等，2016)。 202
圖 23-2.2：本計畫左鎮斷層幾何面破裂模式。 203
圖 23-2.3：左鎮斷層更新邏輯樹(更新內容：傾角、深度、規模、滑移速率)。 203
圖 23-3.1：左鎮斷層破裂事件特徵地震模式。 204
圖 23-3.2：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。 204
圖 23-3.3：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。 204
圖 24-2.1：本計畫小崗山斷層之破裂模式。 209
圖 24-2.2：本計畫小崗山斷層幾何面破裂模式。 210
圖 24-2.3：小崗山斷層鑽井鑽井抬升速率計算結果（陳文山等，2010）。 210
圖 24-2.4：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)。 211
圖 24-3.1：小崗山斷層各破裂事件特徵地震模式。 212
圖 24-3.2：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 212
圖 24-3.3：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。 213
圖 24-3.4：(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。 213
圖 25-2.1：旗山斷層鄰近區域地質圖(陳文山等，2005)。 219

圖 25-2.2：旗山斷層向南延伸調查成果（富國公司及顏一勤事務所，2016）。.....219
圖 25-2.3：本計畫旗山斷層之破裂模式。.....220
圖 25-2.4：本計畫旗山斷層幾何設定。.....220
圖 25-2.5：大社 A 剖面岩芯柵狀圖(陳文山等，2012)。.....221
圖 25-2.6：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)。.....222
圖 25-3.1：旗山斷層各破裂事件特徵地震模式。.....223
圖 25-3.2：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。.....223
圖 25-3.3：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。.....224
圖 25-3.4：(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。.....224
圖 26-2.1：潮州斷層之破裂模式(胡植慶等，2016)。.....229
圖 26-2.2：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）。.....230
圖 26-2.3：潮州斷層更新邏輯樹。.....231
圖 26-3.1：潮州斷層各破裂事件特徵地震模式。.....233
圖 26-3.2：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。.....233
圖 26-3.3：潮州斷層三種分段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。.....234
圖 26-3.4：(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。.....234
圖 27-2.1：本計畫恆春斷層分段破裂模式。海底地形取自中興公司(2012)。.....241
圖 27-2.2：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。.....241
圖 27-2.3：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)。.....242
圖 27-3.1：恆春斷層各破裂事件特徵地震模式。.....243
圖 27-3.2：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。.....243
圖 27-3.3：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。.....244
圖 27-3.4：(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。.....244
圖 28-2.1：米崙斷層之破裂模式 (胡植慶等，2016)。.....251
圖 28-2.2：米崙斷層幾何破裂模式及權重分配。.....251
圖 28-2.3：米崙斷層更新之邏輯樹架構(更新內容：斷層幾何、地震規模、長期滑移速率)。.....253
圖 28-3.1：米崙斷層破裂事件特徵地震模式。.....254
圖 28-3.2：米崙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。.....254
圖 28-3.3：米崙斷層 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。.....254
圖 29-2.1：嶺頂-瑞穗斷層系統分段破裂模式。.....260

圖 29-2.2：嶺頂-瑞穗斷層系統更新邏輯樹。 262
圖 29-3.1：嶺頂-瑞穗斷層系統三個破裂事件特徵地震模式。 263
圖 29-3.2：嶺頂-瑞穗斷層系統三個破裂事件之規模-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。 264
圖 29-3.3：嶺頂-瑞穗斷層系統三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。.....264
圖 29-3.4：(A) 嶺頂-瑞穗斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 嶺頂-瑞穗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。 265
圖 31-2.1：奇美斷層條帶地質圖(林啟文等，2009)。.....278
圖 31-2.2：海岸山脈沿海岸的碳 14 定年、長期抬升速率及階地高程比對圖(摘自 CHEN ET AL., 2020)。 279
圖 31-2.3：奇美地區階地分布圖(SHYU ET AL., 2006)。.....279
圖 31-2.4：奇美斷層特徵地震模式，滑移速率採 0.5 MM/YR。 280
圖 31-2.5：奇美斷層特徵地震模式，滑移速率採 3.0 MM/YR。 280
圖 31-2.6：奇美斷層更新邏輯樹。 280
圖 31-3.1：奇美斷層破裂事件特徵地震模式。 281
圖 31-3.2：奇美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。 281
圖 31-3.3：奇美斷層 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。 281
圖 32-2.1：玉里斷層條帶地質圖，座標系統 TWD67 (林啓文等，2009)。.....286
圖 32-2.2：玉里斷層幾何設定，傾角 51 度，深度 10 公里。.....287
圖 32-2.3：玉里斷層邏輯樹。 287
圖 32-3.1：玉里斷層破裂事件特徵地震模式。 288
圖 32-3.2：玉里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。 288
圖 32-3.3：玉里斷層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。.....288
圖 33-2.1：本計畫池上斷層分段破裂模式。 296
圖 33-2.2：縱谷南段 PS 點位視衛星方向速度分布圖。觀測時間為 2007 年一月至 2010 年二月(CHAMPENOIS ET AL., 2012)。 297
圖 33-2.3：池上斷層幾何破裂模式及權重分配。 297
圖 33-2.4：池上斷層垂直滑移速率。黑色實線為利用階地定年回歸後所計算出的長期垂直滑移速率，紅色實線為大地測量所得到的現今垂直滑移速率(修改自張冕，2013)。 297
圖 33-2.5：美國 UCERF3 潛移速率/滑移速率比例與震矩折減之關係(FIELD ET AL, 2014)。 298
圖 33-2.6：池上斷層更新邏輯樹。 299
圖 33-3.1：池上斷層各破裂事件特徵地震模式。 300
圖 33-3.2：池上斷層 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。 301
圖 33-3.3：池上斷層 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。 301
圖 33-3.4：(A) 池上斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 池上斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。 301
圖 34-2.1：鹿野斷層及利吉斷層條帶地質圖(改自林啟文等，2009)。.....308

圖 34-2.2：鹿野-利吉斷層系統三維幾何形貌。.....308
圖 34-2.3：鹿野斷層及利吉斷層更新邏輯樹。.....309
圖 34-3.1：鹿野斷層破裂事件特徵地震模式。.....310
圖 34-3.2：利吉斷層破裂事件特徵地震模式。.....310
圖 34-3.3：鹿野斷層及利吉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。.....311
圖 34-3.4:鹿野斷層及利吉斷層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。.....311
圖 34-3.5：(A) 鹿野斷層及利吉斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(B) 池上斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。.....311
圖 37-1.1：台灣水平速度場及斷層活動機率圖。.....329
圖 37-1.2：台灣垂直速度場及斷層活動機率圖。.....330
圖 37-2.1：中央地質調查所既有活動斷層查詢系統。.....331
圖 37-2.2：網站功能架構圖。.....332
圖 37-2.3：活動斷層查詢網站示意圖。.....332
圖 37-2.4：活動斷層查詢網頁新增連結。.....333
圖 37-2.5：活動斷層查詢網頁連結「斷層資訊與活動參數」。.....333
圖 37-2.6：活動斷層查詢網頁連結「分析潛勢與評估成果」。.....334
圖 37-3.1：圖臺照片連結及照片資訊。.....336
圖 38-1.1：美國地質調查所建置之活動斷層互動資訊平台。.....338
圖 38-1.2：斷層發震機率潛勢圖資。.....339
圖 38-1.3：長期評估之主要活動斷層帶概略位置圖。.....340
圖 38-1.4：歐洲部份區域個別孕震震源之資料庫系統。.....341
圖 38-2.1：106~108 年度專家座談會會議情況。.....343

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(斷層長度、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。

本計畫重點為檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新劃設台灣地區 33 條活動斷層邏輯樹與斷層潛勢機率評估。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、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生,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。

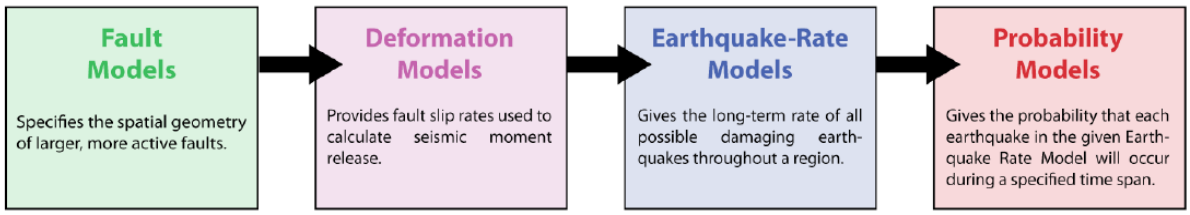
三、方法與工項

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

斷層潛勢評估目的是建立臺灣 33 條活動斷層潛勢評估流程。首先建立活動斷層參數表，透過本計畫建立之活動斷層潛勢評估方法論，了解斷層的重複間隔相關資訊後，以機率法評估活動斷層未來 30、50、100 年最大可能地震規模之發生機率。各斷層發生機率詳如表一所示：

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。

表一 台灣活動斷層未來 30、50、100 年發生機率

斷層名稱	最近一次發生時間	統計模式	規模 6.5 以上發生機率		
			未來 30 年	未來 50 年	未來 100 年
山腳斷層	北段西元 1867 年 南段西元 1694 年	BPT	4.5%	7.3%	13.6%
湖口斷層	未知	Poisson	2.7%	4.4%	8.5%
新竹斷層	未知	Poisson	5.7%	9.2%	17.2%
新城斷層	300 年前	BPT	5.5%	9.2%	17.9%
獅潭斷層	西元 1935 年	BPT	0.4%	0.8%	2.1%
三義斷層	未知	Poisson	4.1%	6.6%	12.6%
大甲斷層	西元 1848 年	BPT	16.7%	24.0%	35.7%
	未知	Poisson	10.0%	15.4%	25.7%
屯子腳斷層	西元 1935 年	BPT	0.1%	0.3%	0.9%
獅潭—屯子腳斷層系統	西元 1935 年	BPT	0.4%	0.9%	2.4%
彰化斷層	西元 1848 年	BPT	22.3%	30.2%	41.0%
	未知	Poisson	13.5%	19.9%	31.1%
大甲—彰化斷層系統	西元 1848 年	BPT	34.0%	47.0%	65.8%
	未知	Poisson	20.5%	30.7%	48.9%
車籠埔斷層	西元 1999 年	BPT	10.6%	20.9%	45.1%
大茅埔-雙冬斷層	未知	Poisson	1.9%	3.2%	6.2%
九芎坑斷層	未知	Poisson	13.9%	21.4%	35.8%
梅山斷層	西元 1906 年	BPT	6.1%	9.2%	14.4%
木屐寮斷層	未知	Poisson	12.4%	19.1%	31.5%
	西元 1941 年	BPT	16.4%	24.6%	38.7%
六甲斷層	未知	Poisson	12.4%	19.0%	31.6%
	西元 1941 年	BPT	15.7%	23.8%	38.4%
木屐寮-六甲斷層	未知	Poisson	18.4%	28.1%	46.2%
	西元 1941 年	BPT	24.3%	36.4%	57.0%
觸口斷層	未知	Poisson	12.8%	20.2%	35.4%
新化斷層	西元 1946 年	BPT	18.4%	23.1%	27.0%
後甲里斷層系統	西元 1862 年	BPT	2.4%	3.8%	6.6%
	未知	Poisson	1.7%	2.8%	4.9%
左鎮斷層	未知	Poisson	3.6%	5.7%	10.3%
小崗山斷層	未知	Poisson	4.9%	7.9%	14.3%
旗山斷層	未知	Poisson	11.4%	18.1%	31.9%
潮州斷層	未知	Poisson	2.6%	4.2%	8.2%
恆春斷層	未知	Poisson	13.3%	20.8%	35.7%
米崙斷層	西元 1951 年	BPT	28.6%	42.4%	64.9%
	西元 2018 年	BPT	2.9%	12.3%	41.5%
嶺頂斷層	未知	Poisson	9.1%	14.1%	23.8%

瑞穗斷層	西元 1951 年	BPT	23.8%	32.2%	43.0%
嶺頂-瑞穗斷層系統	未知	Poisson	29.7%	41.4%	58.5%
奇美斷層	未知	Poisson	3.0%	4.9%	9.4%
玉里斷層	西元 1951 年	BPT	44.2%	53.4%	65.1%
池上斷層	北：西元 1951 年 南：西元 2003 年 整：西元 1951 年	BPT	29.9%	45.0%	70.3%
鹿野斷層	未知	Poisson	11.1%	16.7%	27.0%
利吉斷層	未知	Poisson	11.1%	16.8%	27.1%
鹿野-利吉斷層系統	未知	Poisson	22.2%	33.6%	54.1%

五、結論與建議

本計畫已完成台灣地區 33 條活動斷層邏輯樹更新，參數持續進行資料蒐集及精進之工作，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 project, we focused on the improvement of fault parameters and earthquake probability assessment of the thirty-three active faults in Taiwan. The logic trees of these faults were also been renewed according to experts' comments. The results are explained in the contents of "4. Project Result".

KEYWORDS: Earthquake Potential of Active Faults, Seismogenic depth, Logic tree, 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 have 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 continue 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 period, 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.

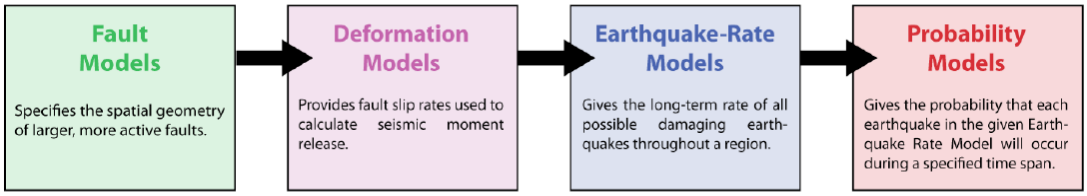


Figure 1. Four models adopted by earthquake probability assessment for active faults (excerpted from WG07, 2008)

4. Project Mid-term Result

The purpose of probability analysis of active faults is to establish the flow chart of 33 active faults in Taiwan. The 30-, 50-, and 100-year conditional probability for M ≥ 6.5 earthquakes of each fault in Taiwan are shown in Table 1.

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. Besides, we collected the field photographs of the active faults. These photographs will also be uploaded on the web page query platform map.

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

Fault name	The latest event time	Probability model	Mw≧6.5 earthquake probability		
			30 years	50 years	100years
Shanchiao fault	N segment: 1867 A.D. S segment: 1694 A.D.	BPT	4.5%	7.3%	13.6%
Hukou fault	unknown	Poisson	2.7%	4.4%	8.5%
Hsinchu fault	unknown	Poisson	5.7%	9.2%	17.2%
Hsincheng fault	300 years B.P.	BPT	5.5%	9.2%	17.9%
Shitan fault	1935 A.D.	BPT	0.4%	0.8%	2.1%
Sanyi fault	unknown	Poisson	4.1%	6.6%	12.6%
Tachia fault	1848 A.D.	BPT	16.7%	24.0%	35.7%
	unknown	Poisson	10.0%	15.4%	25.7%
Tuntzuchiao fault	1935 A.D.	BPT	0.1%	0.3%	0.9%
Shitan-Tuntzuchiao fault system	1935 A.D.	BPT	0.4%	0.9%	2.4%
Changhua fault	1848 A.D.	BPT	22.3%	30.2%	41.0%
	unknown	Poisson	13.5%	19.9%	31.1%
Tachia—Changhua fault system	1848 A.D.	BPT	34.0%	47.0%	65.8%
	unknown	Poisson	20.5%	30.7%	48.9%
Chelungpu fault	1999 A.D.	BPT	10.6%	20.9%	45.1%
Damaopu-Shuangtung fault	unknown	Poisson	1.9%	3.2%	6.2%
Chiuchiungkeng fault	unknown	Poisson	13.9%	21.4%	35.8%
Meishan fault	1906 A.D.	BPT	6.1%	9.2%	14.4%
Muchiliao fault	unknown	Poisson	12.4%	19.1%	31.5%
	1941 A.D.	BPT	16.4%	24.6%	38.7%
Liuchia fault	unknown	Poisson	12.4%	19.0%	31.6%

	1941 A.D.	BPT	15.7%	23.8%	38.4%
Muchiliao–Liuchia fault	unknown	Poisson	18.4%	28.1%	46.2%
	1941 A.D.	BPT	24.3%	36.4%	57.0%
Chukou fault	unknown	Poisson	12.8%	20.2%	35.4%
Hsinhua fault	1946 A.D.	BPT	18.4%	23.1%	27.0%
Hochiali fault system	1862 A.D.	BPT	2.4%	3.8%	6.6%
	unknown	Poisson	1.7%	2.8%	4.9%
Tsochen fault	unknown	Poisson	3.6%	5.7%	10.3%
Hsiaokangshan fault	unknown	Poisson	4.9%	7.9%	14.3%
Chishan fault	unknown	Poisson	11.4%	18.1%	31.9%
Chaochou fault	unknown	Poisson	2.6%	4.2%	8.2%
Hengchun fault	unknown	Poisson	13.3%	20.8%	35.7%
Milun fault	1951 A.D.	BPT	28.6%	42.4%	64.9%
	2018 A.D.	BPT	2.9%	12.3%	41.5%
Lingding fault	unknown	Poisson	9.1%	14.1%	23.8%
Rueyshui fault	1951 A.D.	BPT	23.8%	32.2%	43.0%
Lingding-Rueyshui fault system	unknown	Poisson	29.7%	41.4%	58.5%
Chimei fault	unknown	Poisson	3.0%	4.9%	9.4%
Yuli fault	1951 A.D.	BPT	44.2%	53.4%	65.1%
Chihshang fault	N segment: 1951 A.D. S segment: 2003 A.D. Full segment: 1951 A.D.	BPT	29.9%	45.0%	70.3%
Luyeh fault	unknown	Poisson	11.1%	16.7%	27.0%
Lichi fault	unknown	Poisson	11.1%	16.8%	27.1%
Luyeh-Lichi fault	unknown	Poisson	22.2%	33.6%	54.1%

5. Conclusion and Suggestions

In this project, the logic trees of the thirty-three active faults in Taiwan were been renewed. The goal of this project is to provide the latest activity parameters and the earthquake probability result of each active fault. The results of this project will be integrated into a database for the use of web page query platform.

The compiled parameters of active faults are the critical information 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)。

本年度計畫架構針對斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估工作團隊分為二個組(圖 1-1.2)，一為潛勢評估組，主要工作為精進活動斷層參數表並劃設邏輯樹，進行斷層潛勢之分析，估算活動斷層在未來 30 年、50 年和 100 年之發震潛勢，並更新活動斷層潛勢圖。二為查詢系統組，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匯整至活動斷層查詢平台，透過圖形化互動介面，公開相關研究成果，滿足民眾知的權利。

預期進度甘梯圖請見表 1-1.1，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。

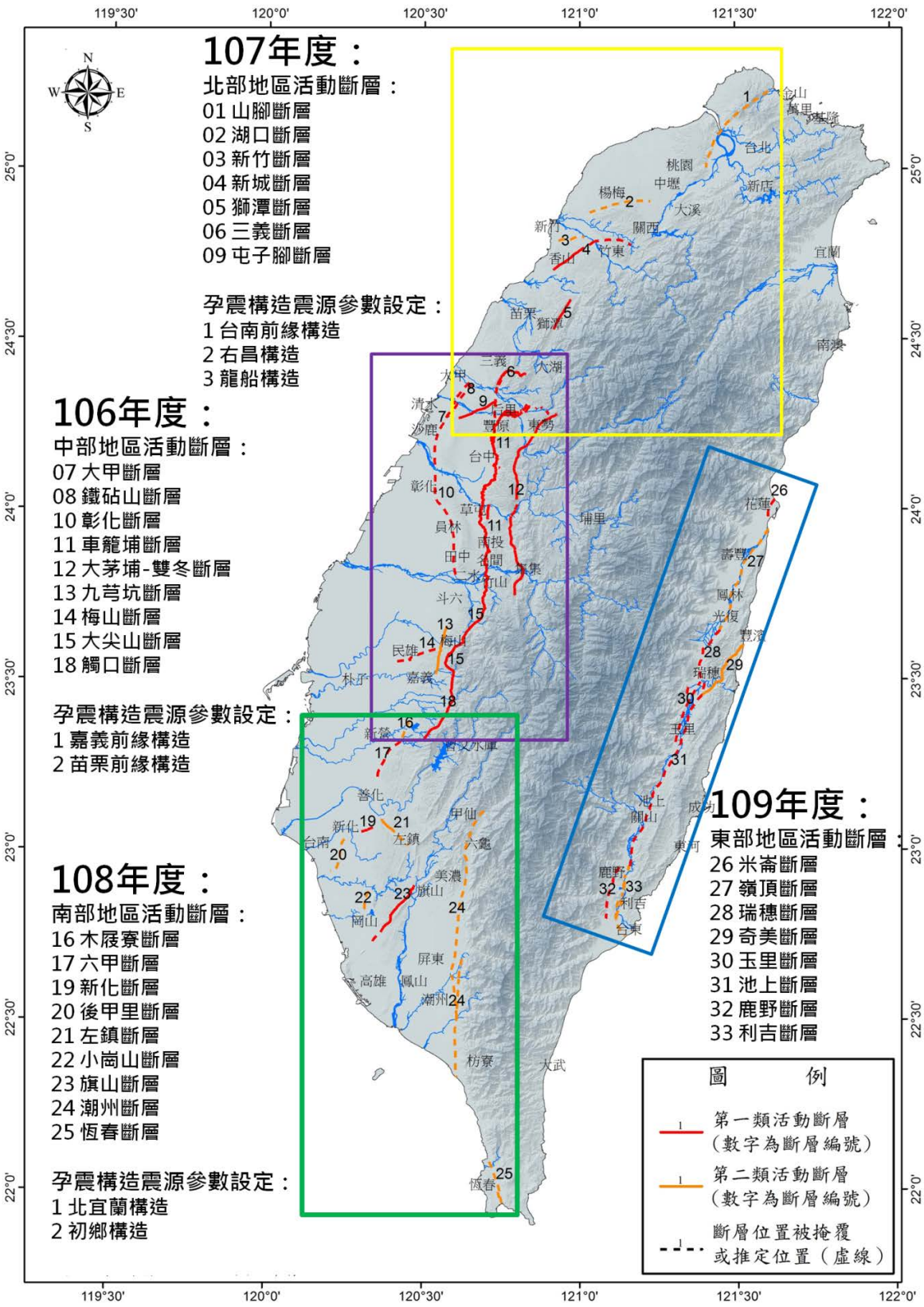


圖 1-1.1：106-109 年度各年度評估地區與斷層及孕震構造分布。

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

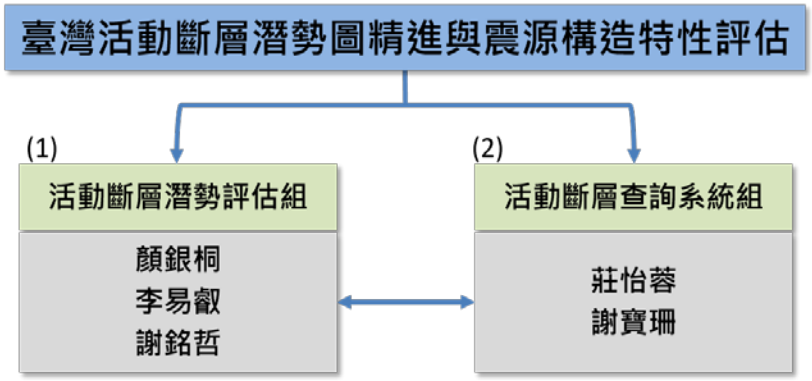


圖 1-1.2：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估之專業分工架構。

Fig. 1-1.2 The organization chart of “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 the whole 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)	第 2 年 (107 年)	第 3 年 (108 年)	第 4 年 (109 年)
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	中部地區	■			
		北部地區		■		
		南部地區			■	
		東部地區				
	● 活動斷層參數匯入網頁查詢平台	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		■	■	■	
全臺活動斷層潛勢總結評估	● 斷層潛勢總評估 ● 2020 年版全臺活動斷層潛勢圖 ● 潛勢評估方法論教育訓練					■
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，2020)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。

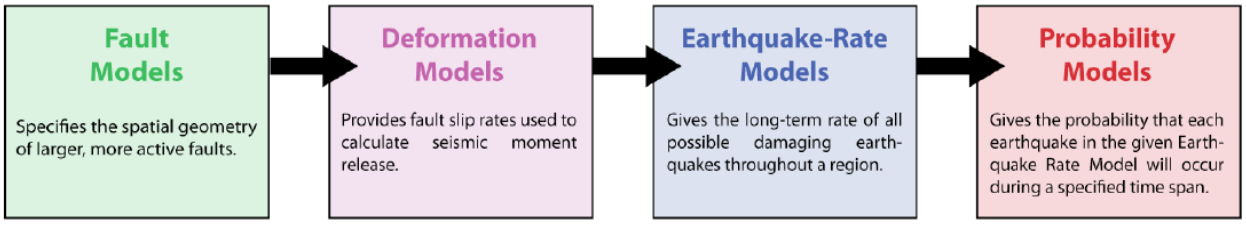


圖 1-2.1：美國加州地區活動斷層與孕震構造潛勢評估之四大流程(摘錄自 WG07, 2008)。

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

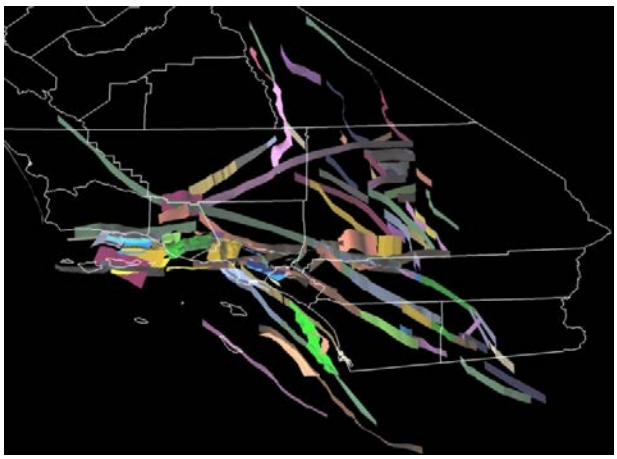


圖 1-2.2：加州地區孕震構造之三維幾何形貌(WG07, 2008)。

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

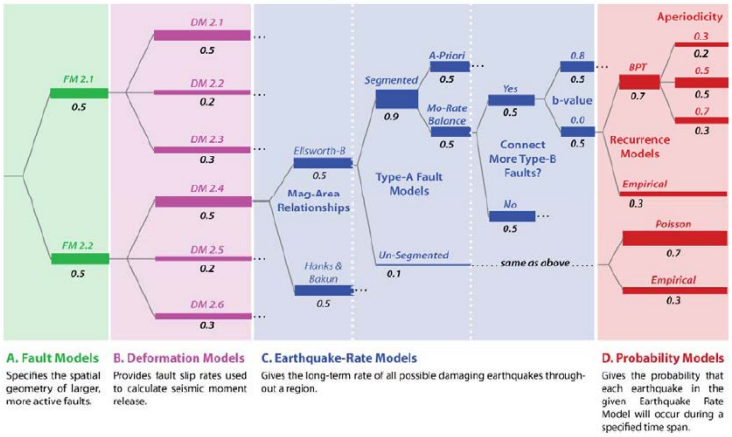


圖 1-2.3：加州地區地震潛勢評估之專家討論成果邏輯樹(摘錄自 WG07, 2008)。

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

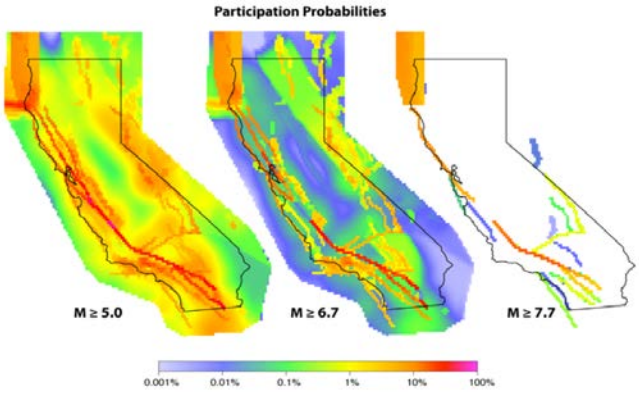


圖 1-2.4：加州地區未來 30 年發生地震規模為 5、6.7、7.7 以上之機率分布圖(摘錄自 WG07, 2008)。

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).

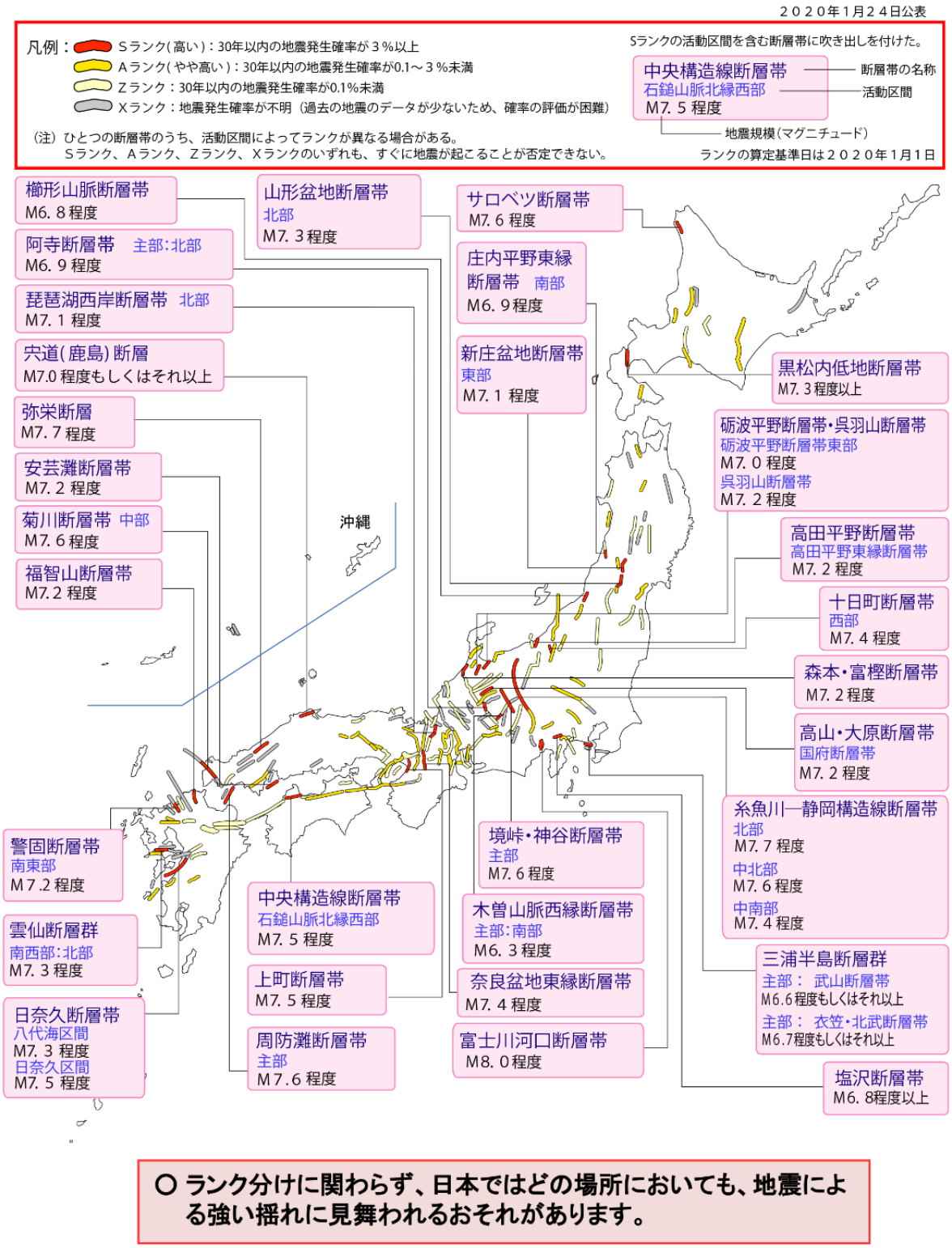


圖 1-2.5：日本主要孕震構造未來 30 年之活動潛勢評估成果(日本全國地震動預測圖，2020)。

Fig. 1-2.5 The earthquake occurrence probabilities of major active faults within 30 years in Japan (excerpted from HERP, 2020).

1-3 工作內容概述

(1)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，重新劃設臺灣三十三條活動斷層邏輯樹。

B. 召開活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議，針對臺灣三十三條活動斷層分段特性、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. 建立臺灣三十三條活動斷層視覺化三維斷層模型。

D. 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，探討參數合適性加入後續斷層潛勢評估中。

E. 考慮活動斷層潛移之震矩折減方式。

(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，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. 臺灣活動斷層相關特徵照片蒐集彙整。

B. 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。

C. 匯整年度潛勢評估成果，繪製並出版臺灣活動斷層潛勢圖。

(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。

(5)全臺 33 條活動斷層潛勢總結評估

A. 以西元 2020 年為起算時間，總評估全台 33 條活動斷層潛勢。

B. 匯整全臺活動斷層評估成果，繪製並更新 2020 年版全臺灣活動斷層潛勢圖。

C. 辦理潛勢評估方法論教育訓練。

第二章、邏輯樹權重劃設基本準則

2-1 權重劃分基本原則

在邏輯樹中各分支的機率/權重一般有兩種設定方法：

（1）第一類是參數有上、下界限或是資料的變異特性適合以常態分佈或指數常態分佈來描述，例如：斷層滑移速率、破裂深度、b 值等，這類的參數特性可以 3 個或多個分支來表現其不確定性。Keefer and Bodily(1983)證明參數若是屬於此類的特性，則可以 3 個權重值表示，其中中間值(median) 50%給權重 0.63，另外最小 5%與最大 95%(相當於±1.65 個標準差位置)，則皆設定權重為 0.185，不過經驗上通常也可設定為 0.6, 0.2, 0.2。當節點過多時，單一節點有 3 個以上的分支對結果影響並不敏感，因此，為節省運算時間又可分析出合適的結果，此類參數多以 3 個分支為主。

（2）第二類參數多屬具選擇性且可信度有爭議的假設、模式或方法，例如：震源分區原則、斷層位態與機制、尺度-規模經驗公式的選擇。此類參數通常無法有足夠資訊以統計作為依據來設定各分支的權重，專家的意見通常成為重要的權重依據，因此本計畫藉由召開專家諮詢會議，決定斷層參數與邏輯樹節點各分支之權重分配。

本計畫建議台灣地區活動斷層邏輯樹之劃設上，可分為以下節點，斷層分段破裂模式、斷層幾何(傾角、破裂深度)、斷層滑移速率及特徵地震規模。

2-2 分段破裂模式

由於斷層活動並不是每次都會整段破裂，而常是其中一小分段在動，因此會造成不同規模、不同滑移量的地震。本計畫在評估斷層潛勢時，需要針對各斷層是否有分段破裂的可能性進行評估，步驟如下：

1. 找出分段點：

本計畫蒐集了日本松田時彥(1990)、美國 McCalpin(1996)及李錫堤(1993)等相關研究提出的分段原則，針對各斷層分別探討斷層的分段，並經由諮詢相關專家後決定斷層的分段點位置。目前針對台灣三十三條活動斷層分段破裂模式，最多只將斷層分為兩段。

2. 依據準則建立各斷層分段破裂模式

本計畫在評估活動斷層之破裂事件，主要有兩種情形，一種是斷層分段破裂情形，另外一種是斷層延伸破裂情形。

斷層分段破裂情形採用之準則如圖 2-1.1 所示，假設活動斷層可分為 A、B 兩段，在無古地震幫助權重評估時，本計畫認為分段破裂累積能量較小，因此發生可能性應高於整段破裂，採用之權重分配為 A（0.4），B（0.4），A+B（0.2）。假設活動斷層可分為 A、B、C 三段，在無古地震幫助權重評估時，採用之權重分配為 A（0.2），B（0.2），C（0.2），A+B（0.15），B+C（0.15），A+B+C（0.1）。

斷層延伸破裂情形則是活動斷層可能有延伸部分，但是此延伸部分並不會單獨破裂，因此每個破裂事件必須包含主斷層段破裂之情形，圖 2-1.2 為本計畫採用之延伸段破裂模式及權重分配，一種情形是主斷層段破裂 A 加上主斷層段兩側之延伸段 A’及 A’’，本計畫認為破裂長度越短則累積能量較小，因此發生可能性應高於破裂長度較長的情形，採用之權重分配為 A（0.5），A+A’（0.2），A+A’’（0.2），A’+A+A’’（0.1），另一種情形是主斷層段破裂 A 加上一側之延伸段 A’，採用之權重分配為 A（0.6），A+A’（0.4）。

然而，部分斷層仍有不依照上述準則劃分破裂事件的情形，這可能和各斷層的地震行為模式或斷層的地質條件有關，在後續各斷層邏輯樹劃設說明的部分會詳細的說明。

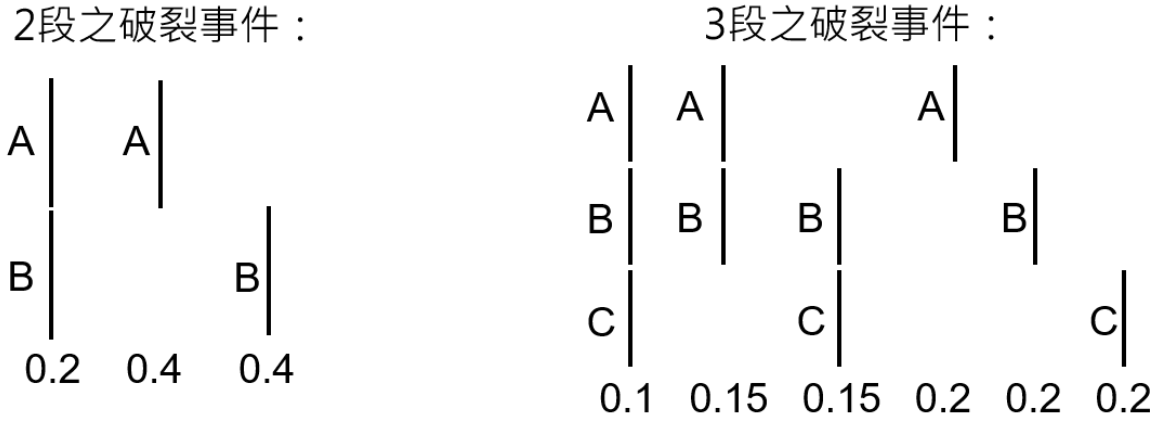


圖 2-1.1：本計畫採用之分段破裂模式及權重分配準則。

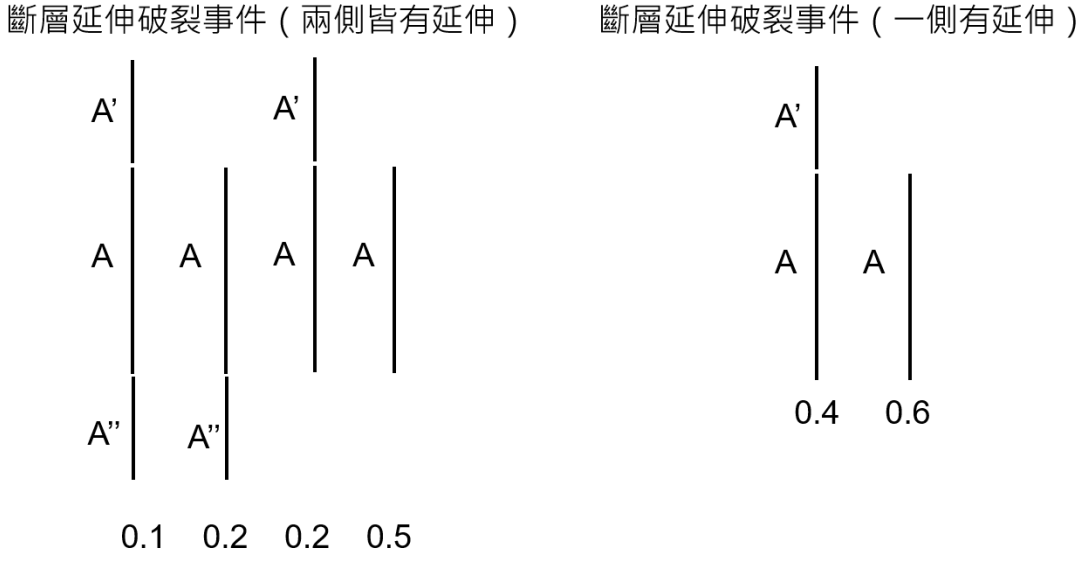


圖 2-1.2：本計畫採用之延伸段破裂模式及權重分配準則。

2-3 斷層幾何(傾角及破裂深度)

針對斷層幾何形貌，由於每一條斷層所能獲得的調查資料並不一致，因此在探討各斷層幾何參數的邏輯樹數值及權重,不容易找到一個通用的準則適用於全部的斷層。基本上，位於台灣西部麓山帶的褶皺逆衝帶斷層，大多都有平衡剖面、震測剖面或是地質剖面，本計畫會優先作為幾何參數的參考，同時，在褶皺逆衝帶中也會考慮鄰近斷層之間的幾何關係，因此在西部褶皺逆衝帶的活動斷層幾何參數受平衡剖面的約制較為固定，在邏輯樹中不採用不確定性來呈現。在一條斷層邏輯樹中可能在斷層幾何的節點中會有幾組不同的參數，這是由於有不同的學者提出不同的解釋剖面，本計畫會同時參考震測剖面資料及地震深度分布剖面，經由專家諮詢會議相關專家的建議，分別給予權重。

在地質剖面或是平衡剖面中，一條斷層的幾何可能會隨著深度變化，也有可能沿著斷層線，在不同的區域中都會不同。本計畫不建議建立太複雜的幾何面參數，同一條斷層最多使用兩組參數(例如：車籠埔斷層北段和南段的傾角及破裂深度明顯不同，因此選取不同的幾何參數)。隨深度傾角的變化最多選擇三個主要的變化(例如：新城斷層在平衡剖面中，隨深度呈現了六個傾角的變化，本計畫則簡化為三個傾角，然而趨勢上仍大致符合斷層面的主要變化)。

至於西部地區的幾條走向滑移斷層，如屯子腳斷層、梅山斷層、新化斷層，則不易從震測剖面或是地質剖面中觀察到其幾何形貌，破裂深度的不確定性也較高，本計畫建議走向滑移斷層統一採用高角度傾角 80±5 度，深度 12.5±2.5 公里。因不確定性高，權重為接近等權重的 0.3, 0.4, 0.3。

另外，針對山腳斷層及恆春斷層之幾何面參數，在台電公司核能設施地震危害度重新評估計畫(Senior Seismic Hazard Analysis Committee Level 3, 簡稱 SSHAC Level 3 計畫)中，參考了地調所前階段計畫蒐集之資料、Taiwan Earthquake Model (簡稱 TEM)孕震構造參數以及專家會議討論之結論，重新劃設了這包含這兩條斷層的北部地區及南部地區的斷層幾何。本計畫認為該工作成果已經由國內外相關專家的審查及認可，建議可沿用該計畫的成果作為這兩條斷層的幾何面參數。

東部地區的斷層主要屬於縱谷斷層一系列斷層，此區的斷層幾何主要以速度構造剖面或是地震深度分布剖面為參考資料。然而位於縱谷北段的米崙、嶺頂、瑞穗斷層，從幾個地震群中要定出斷層面仍有不確定性，本計畫建議從最符合地震深度分布趨勢線的傾角 65 度作為斷層面中值，再加減 5 度作為不確定性的範圍，權重為接近等權重的 0.3, 0.4, 0.3。破裂深度上，根據地震深度分布剖面，縱谷斷層深度可達 25 公里以上，本計畫以 25 公里作為邏輯樹下限值。另外，本計畫認為岩石在深度超過 30 公里已屬於塑性帶，不易產生脆性破裂，因此設定深度上限為 30 公里，邏輯樹分支則為 25 公里，27.5 公里，30 公里，權重為接近等權重的 0.3, 0.4, 0.3。縱谷南段的池上斷層及利吉斷層，從地震深度分布剖面可看到明顯的斷層面，因此可以採用地震分布剖

面來建立斷層幾何面參數。池上斷層及利吉斷層，在地震深度剖面中深度都可達 25 公里以上，可間接推估縱谷斷層北段深度應該也是 25 公里以上。

2-4 長期滑移速率

在蒐集各斷層長期滑移速率資料時，我們發現各斷層所能蒐集到的長期滑移速率資料不盡相同，根據蒐集的資料程度本計畫建立長期滑移速率數值及權重分配的處理流程，如圖 2-4.1 所示。若是該斷層有地質特徵可協助評估長期滑移速率，則優先考慮地質特徵計算的結果；若是該斷層無地質特徵，則採用「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滑移虧損率之成果，該計畫以大地測量的速度場為約制，使用三種反演模型(BLOCKS，DEFNODE，基線應變反演模型)推估斷層面上的滑移虧損速率。經由該計畫加權之後得到的上下界及中值，本計畫給予類似等權重的權重分配：上界(0.3)，中值(0.4)，下界(0.3)。

針對地質特徵又區分為僅有單筆資料及有多筆資料的數值分配方法。僅有單筆資料，仍可計算滑移速率的上下界值，因為無論是地質上的錯移量或是定年結果都會有誤差範圍。此種參數有上、下界限或是資料的變異特性適合以常態分佈來描述，本計畫建議權重分配為上界(0.2)，中值(0.6)，下界(0.2)。

當有多筆地質特徵資料時，本計畫會找出各滑移速率資料得到的最大值與最小值作為邏輯樹中的上界值與下界值，中值則為上界值與下界值的平均。此種參數有上、下界限或是資料的變異特性適合以常態分佈來描述，本計畫建議權重分配為上界(0.2)，中值(0.6)，下界(0.2)。

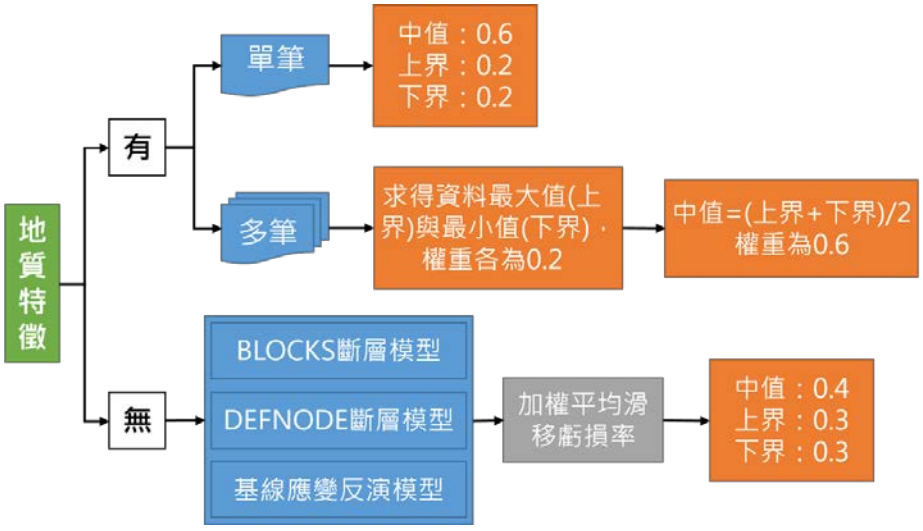


圖 2-4.1：本計畫採用之長期滑移速率數值及權重分配流程。

第三章、山腳斷層潛勢評估

3-1 山腳斷層參數彙整

山腳斷層各項參數詳細內容詳附錄 1,山腳斷層幾何參考資料及參數如表 3-1.1 所示，山腳斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 3-1.2 所示。

景國恩等（2020)「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，山腳斷層平均滑移虧損速率下界 0.6 mm/yr，上界為 1.6 mm/yr，平均值為 1.0 mm/yr，如表 3-1.3 所示。

彙整前人對於山腳斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 3-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 3-1.1：山腳斷層幾何面各調查方法及斷層參數

作者	方法	傾角	深度
劉桓吉等，2000；蘇泰維等，2003	臺北盆地鑽井剖面	高角度	
蕭力元等，1998；王天愷等，2007	海域震測剖面	高角度	-
石瑞銓，2003	關渡平原的淺層震測	高角度	-
簡志宇，2008	五股蘆洲地區震測剖面	50-60	-
陳致同等，2012	根據景美礫石層頂部深度變化模擬解析山腳斷層之幾何形貌	0-3 km：70~85 度 3-8 km：15 度 （9km 以下：60 度）	-
陳冠宇，2014	台灣東北地區 P1 構造平衡剖面	金山斷層：高角度	滑脫面深度約為 5 公里
中興公司，2012	金山地區鑽井剖面	82	-
中興公司，2015	台灣東北外海底質剖面以及震測剖面	高角度	-
黃柏壽等，2007	微震深度分布		15 公里以內
LCI, 2015	微震深度分布		15 公里

表 3-1.2：山腳斷層長期滑移速率相關文獻及參數彙整

區域	垂直滑移速率(公厘/年)	資料		參考文獻
南段	1.1~2.4	五股 1 號井(9 萬年)		Wei et al., 1998
	1.2~2.1	五股 1 號井板橋層(22 萬年)		
	1.8	盆地基盤落差 700 公尺 /山腳斷層開始活動年代 0.4Ma		Teng et al., 2001
	0.7~1.8	SCF-1, 2, 5, 6, 14, 15, 16, 17 鑽井地層對比		Huang et al., 2007
	1.3~1.7	火山泥流沉積層 500-680 公尺落差/形成年代 0.4 Ma		Song et al., 2007
	1.2~1.5	蘆洲 1 號，五股 1 號		陳文山等，2008
	3.3	SCF-1，SCF-2，五股 1 號		Chen et al., 2010
北段(海域)	0.8~1.5	ST-I-1	● 震測訊號垂直離距/山腳斷層形成年代 ● 震測訊號垂直離距/台北盆地形成年代	中興公司，2015
	1.0~1.9	ST-I-2		

表 3-1.3：山腳斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
山腳斷層	上界	2.1	1.8	1.0	1.6
	平均	1.9 ± 0.2	0.6 ± 1.2	0.6 ± 0.4	1.0
	下界	1.7	0.0	0.2	0.6

表 3-1.4：山腳斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
山腳斷層	斷層分段與破裂事件	A 整段、B 北段、C 南段	地形判釋、野外地質調查、地物探勘	丹桂之助，1939；林朝棨，1957；王執明等，1978；林朝宗，2005；林啟文，2007；中興公司，2012
	長度(km)	A：83(海域 40) B：53(海域 40) C：30	海上震測反射剖面	王天愷等，2007
			多音束地形推測	中興公司，2012
			LiDAR DTM 判釋、野外地質調查、根據地表線形跳階現象分段	張國禎等，2011；胡植慶等 2016
	寬度(km)	22.3	Case 1：深度 0-6 km, 傾角 60°深度 6~12.5 km, 傾角 25°	本計畫推估
		15.7	Case 2：深度 0-9 km, 傾角 70°深度 9~12.5 km, 傾角 35°	
		12.7	Case 3：深度 0-12.5 km, 傾角 80°	
	破裂深度(km)	滑脫面深度約為 5 公里	台灣東北地區 P1 構造平衡剖面	陳冠宇，2014
		15 公里以內	臺北地區地震深度分布剖面	黃柏壽等，2007
		15 公里		LCI, 2015
	面積 (km^2)	A: 1303、B: 832、C: 471	長度×寬度(Case 2)	本計畫推估
	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

	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
		82		金山地區鑽井剖面	中興公司，2012
		金山斷層：高角度		台灣東北地區 P1 構造平衡剖面	陳冠宇，2014
		高角度		台灣東北外海底質剖面以及震測剖面	中興公司，2015
	斷層機制	正斷層		1.跨山腳斷層鑽井資料 2.遙測地形判釋	林朝棨，1957；王執明等，1978；林啟文等，2000；林朝宗，2005 ；詹瑜璋等，2005；詹瑜璋等，2006；饒瑞鈞等，2006
	長期滑移速率（mm/yr）	南段 (垂直滑移速率下陷量)	1.2~2.1(22 萬年) 1.1~2.4 (9 萬年)	分析五股 1 號井板橋層定年及古海水面推估	Wei et al., 1998
			1.8	盆地基盤落差 700 公尺 /山腳斷層開始活動年代 0.4Ma	Teng et al., 2001
			0.7~1.8 (1.1 萬年)	分析山腳斷層兩側的鑽井岩芯紀錄(SCF-1, 2, 5, 6, 14, 15, 16, 17)與定年資料	Huang et.al., 2007
			1.3~1.7	火山泥流沉積層 500-680 公尺落差/形成年代 0.4 Ma	Song et al., 2007
			1.2~1.5 (1.1 萬年內)	分析臺北盆地內鑽井岩芯紀錄(蘆洲 1 號，五股 1 號)與定年資料	陳文山等，2008
			3.3	分析五股剖面的鑽井岩芯紀錄(SCF-1，SCF-2，五股 1 號)與定年資料	Chen et al., 2010
		北段 (垂直滑移速率下陷量)	0.8~1.5	ST-I-1 震測訊號垂直離距/山腳斷層形成年代 ST-I-1 震測訊號垂直離距/台北盆地形成年代	中興公司，2015
			1.0~1.9	ST-I-2 震測訊號垂直離距/山腳斷層形成年代 ST-I-2 震測訊號垂直離距/台北盆地形成年代	
	滑移虧損率 (slip deficit rate) (mm/yr)	上界 1.6 平均 1.0 下界 0.6		1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020

	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
	單一事件變位量 (m)	2.3~4.5 公尺的垂直位移量		分析山腳斷層兩側的鑽井岩芯紀錄與定年資料。	Huang et.al., 2007
	最大可能地震規模(M_W)	7.0		估計 1694 年地震	徐明同，1983
		山腳斷層	6.6	M= (4.86± 0.34)＋(1.32± 0.26)× log(L) （正斷層） M= (5.00± 0.22)＋(1.22± 0.16)× log(L) （逆斷層）	Wang, 2008
		金山斷層	6.7		
		山腳-金山斷層系統	7.0		
		只有臺北盆地西側	6.52	M_W =3.93+1.02 log A，面積 346.41 km^2	Shyu et al., 2005
		延伸至金山	6.88	M_W =3.93+1.02 log A，面積 779.42 km^2	
		A: 7.1　B: 6.9　C: 6.7		M_W =3.93+1.02 log A, σ=0.25 (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994 （正斷層）
		A: 7.1 B: 6.9 C: 6.7		$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震重複週期 (年)	A: 1000-2000 B: 1000-2000 C: 400-500		各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	北段：西元 1867 年(？)		根據淡水廳志等文獻，認為 1867 年 12 月 18 日臺北與基隆地區曾有地震事件	徐明同，1983
				1867 年發生於臺灣北部之海嘯事件是由基隆外海地震引發	鄭世楠等，2012
				利用鑽井岩芯進行金山平原地層與沈積相分析。初步的分析結果顯示在海口附近石英砂層可能與 1867 年海嘯事件有關	游能悌等，2014

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
		南段：西元 1694 年(？)	歷史文獻《裨海記遊》記載，康熙臺北湖之古地震事件	郁永河，1697；徐明同，1983

3-2 邏輯樹更新

山腳斷層分段破裂模式無修改，同圖 3-2.1。在評估山腳斷層之破裂，分為 3 種破裂事件來探討，A 為整段破裂，B 為北段破裂，C 為南段破裂。整段之破裂，比北段及南段之破裂可能性低，因此給予較低之權重，權重分配為 A（0.2）、B（0.4）、C（0.4）。

山腳斷層之傾角及破裂深度，參考附錄 1，斷層幾何根據 SSHAC Level 3 計畫考慮三種情形，分別為 Case 1：60˚(深度 0-6 km)，25˚(深度>6 km)；Case 2：70˚(深度 0-9 km)，35˚(深度>9 km)；Case 3：80˚，如圖 3-2.2 所示。因不確定性較高，權重分配為近似等權重之 Case 1（0.3）、Case 2（0.4）、Case 3（0.3）。從山腳斷層上盤兩個地震深度剖面顯示，地震深度集中於 15 公里內，因此本計畫深度最大值不採用 SSHAC 計畫之 20 公里深度，仍沿用前期之 15 公里作為山腳斷層之破裂深度最大值。因破裂深度不確定性較高，本計畫破裂深度及權重為近似等權重之 10 公里（0.3）、12.5 公里（0.4）、15 公里（0.3）。

山腳斷層之長期滑移速率，根據表 3-1.2，北段範圍為 0.8~1.9 mm/yr，南段範圍為 0.7~3.3 mm/yr。將垂直速率換算至斷層面(dip = 60˚,70˚,80˚)上，可得到長期滑移速率範圍，如表 3-2.1 所示，南段介於 0.7~3.8 mm/yr，平均值為(0.7+3.8)/2 =2.3 mm/yr，計畫設定南段參數及權重為 0.7 mm/yr（0.2）、2.3 mm/yr（0.6）、3.8 mm/yr（0.2）；北段介於 0.8~2.2 mm/yr，平均值為(0.8+2.2)/2 =1.5 mm/yr，計畫設定北段參數及權重設為 0.8 mm/yr（0.2）、1.5 mm/yr（0.6）、2.2 mm/yr（0.2）。

破裂模式 A (整段)長期滑移速率則根據能量累計公式計算，如下式：

$$\mu \cdot A_{(整段)} \cdot v_{(整段)} = \mu \cdot A_{北段} \cdot v_{北段} + \mu \cdot A_{南段} \cdot v_{南段}$$

上式中 A 為面積，移項得到

$$v_{(整段)} = \frac{\mu \cdot A_{北段} \cdot v_{北段} + \mu \cdot A_{南段} \cdot v_{南段}}{\mu \cdot A_{(整段)}}$$

因山腳斷層北段及南段幾何一致，因此可得到：

$$v_{(整段)} = \frac{L_{北段} \cdot v_{北段} + L_{南段} \cdot v_{南段}}{L_{(整段)}}$$

上式中 L 為斷層長度，則計算 v(整段)下界為 0.8 mm/yr；v(整段)上界為 2.8 mm/yr；v(整段)中值為 1.8 mm/yr，如表 3-2.2 所示。邏輯樹權重為常態分布：0.8 mm/yr (0.2)、1.8 mm/yr (0.6)、2.8 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 3-2.3 所示為斷層以邏輯樹中值計算之各破裂事件地震矩規模。

山腳斷層系統各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 3-2.3 所示。

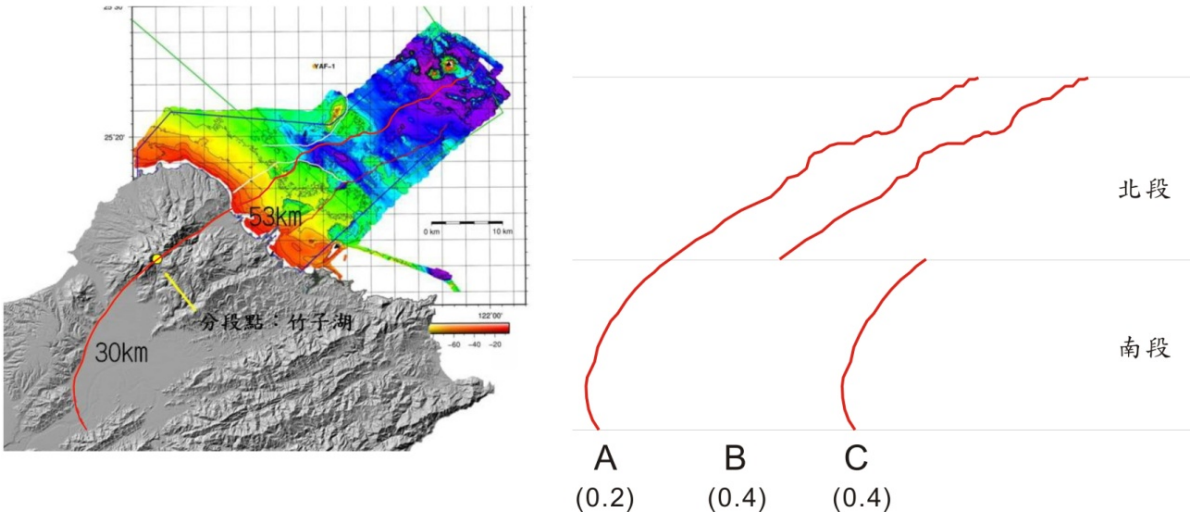


圖 3-2.1：山腳斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。

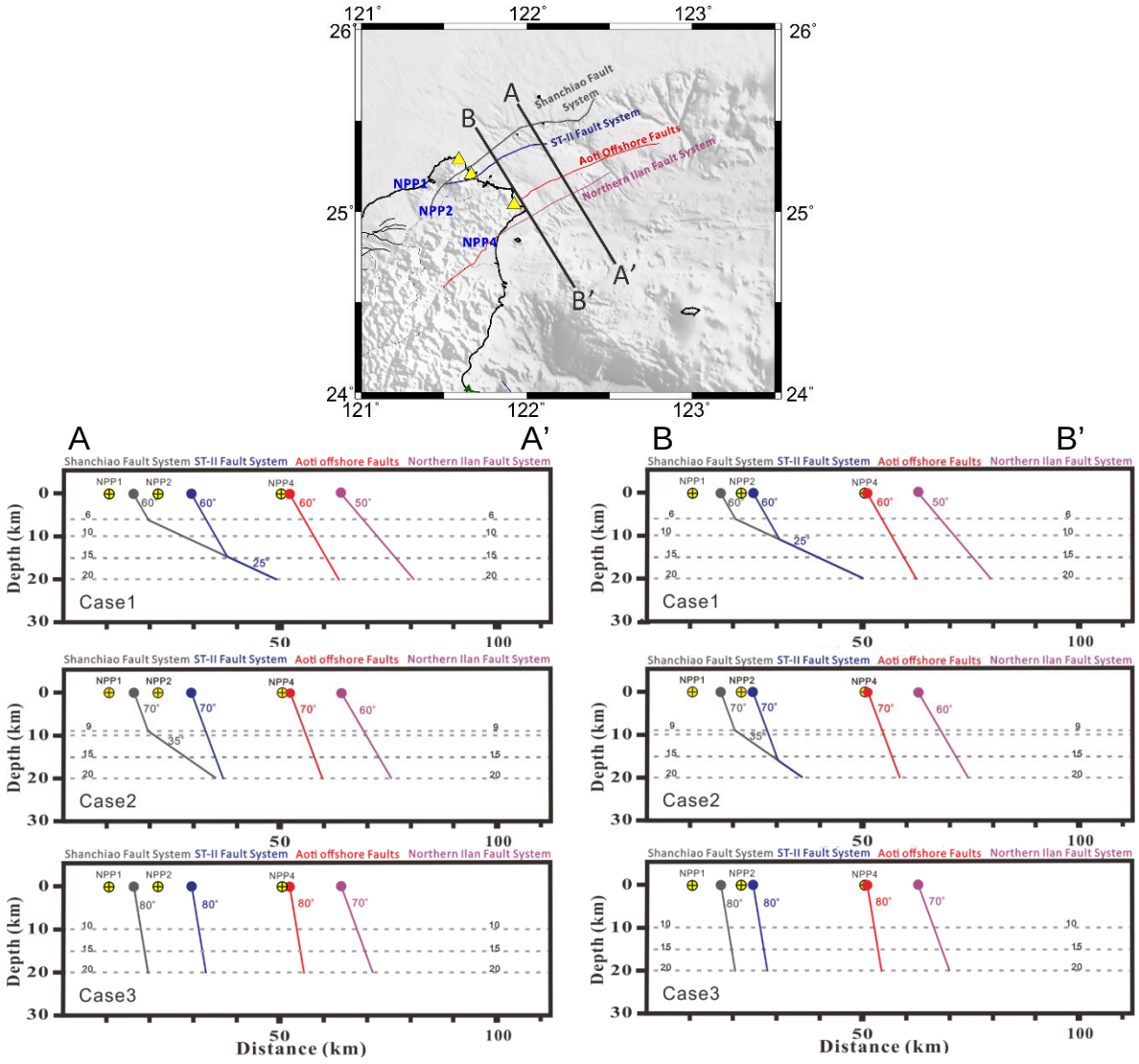


圖 3-2.2：SSHAC Level 3 計畫台灣北部主要活動斷層幾何形貌設定。上圖為主要活動斷層分布圖，包括山腳斷層、ST-II 斷層、澳底斷層及北宜蘭斷層，下圖左為台灣北部主要活動斷層 AA’ 剖面之幾何形貌，下圖右為 BB’ 剖面之幾何形貌。

表 3-2.1：山腳斷層淨滑移速率換算，淨滑移速率=[抬升速率/sin(傾角)]

斷層名稱	位置	抬升速率 (mm/yr)	傾角(度)	淨滑移速率 (mm/yr)
山腳斷層	北段	0.8	60	0.9
			70	0.9
			80	0.8
		1.9	60	2.2
			70	2.1
			80	2.0
	南段	0.7	60	0.8
			70	0.7
			80	0.7
		3.3	60	3.8
			70	3.5
			80	3.4

表 3-2.2：山腳斷層整段滑移速率計算

	山腳北 V(mm/yr)	山腳南 V(mm/yr)	山腳北 L(km)	山腳南 L(km)	山腳整段 V(mm/yr)
下界	0.8	0.7	53	30	0.8
中值	1.5	2.3			1.8
上界	2.2	3.8			2.8

表 3-2.3：山腳斷層之各破裂事件規模及權重

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

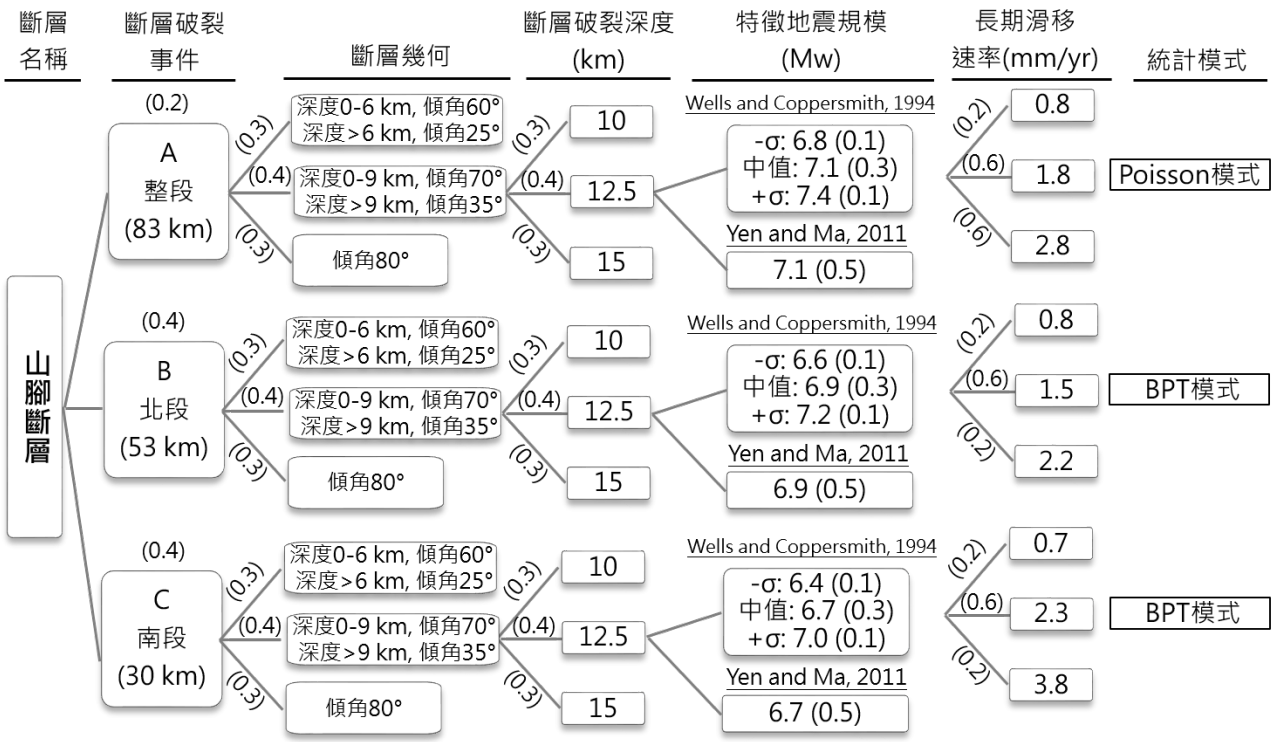


圖 3-2.3：山腳斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。

3-3 規模與年發生率之關係

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

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

經由特徵地震模式計算之後，圖 3-3.3 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 3-3.4（a）之山腳斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 3-3.4（b）之山腳斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

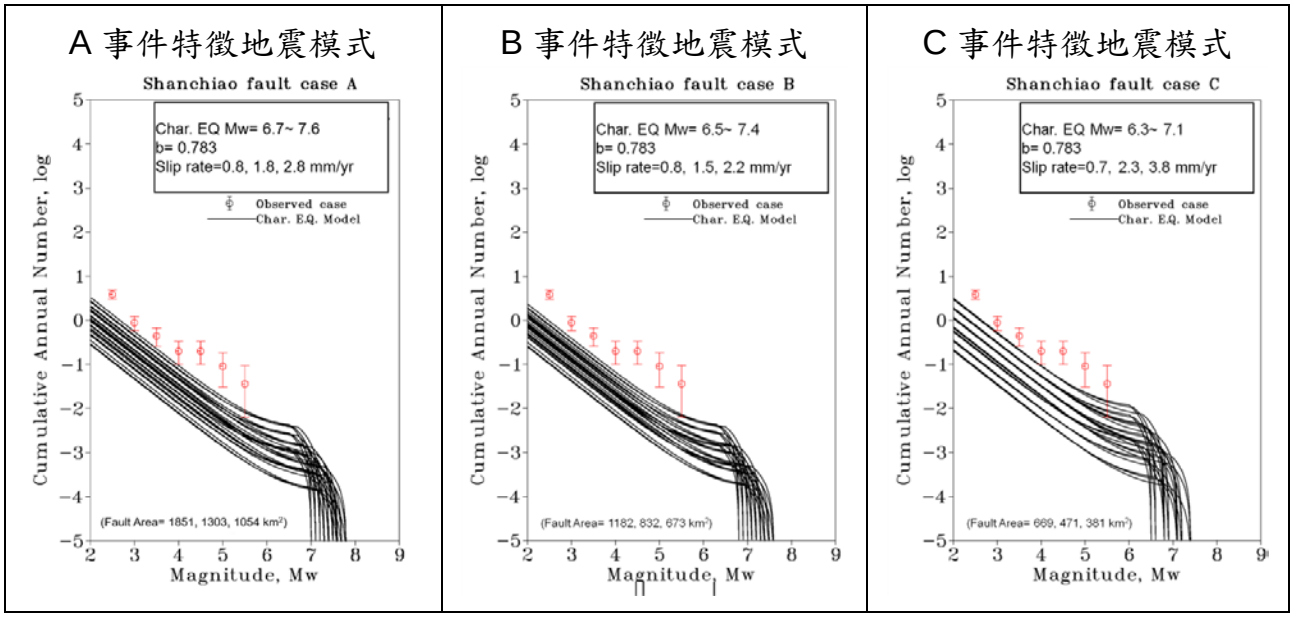
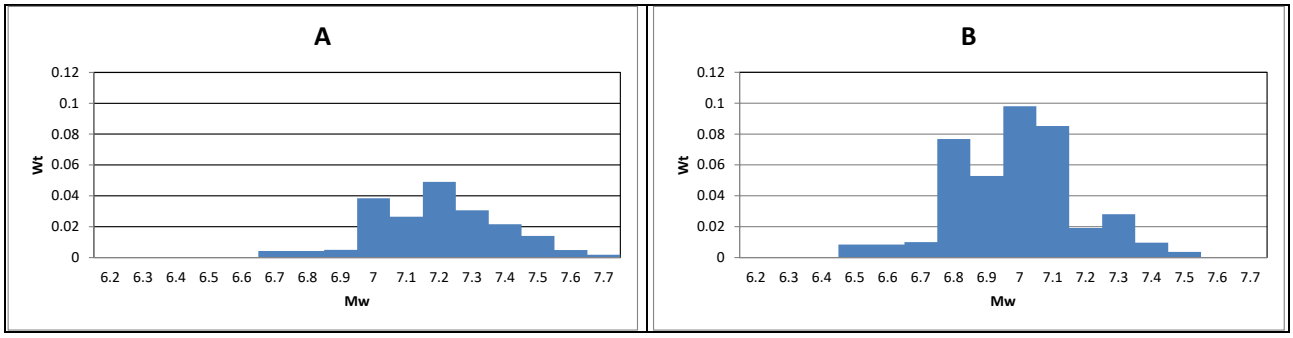


圖 3-3.1：山腳斷層各破裂事件特徵地震模式。



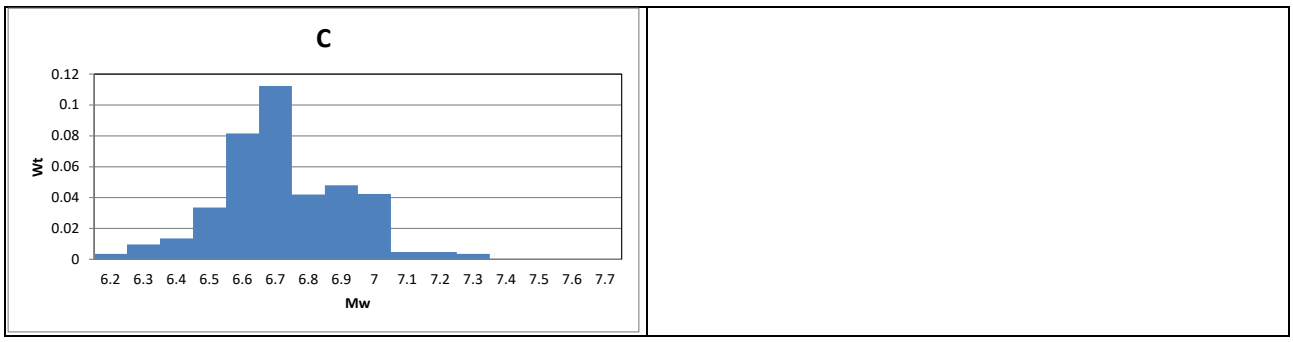


圖 3-3.2：山腳斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和

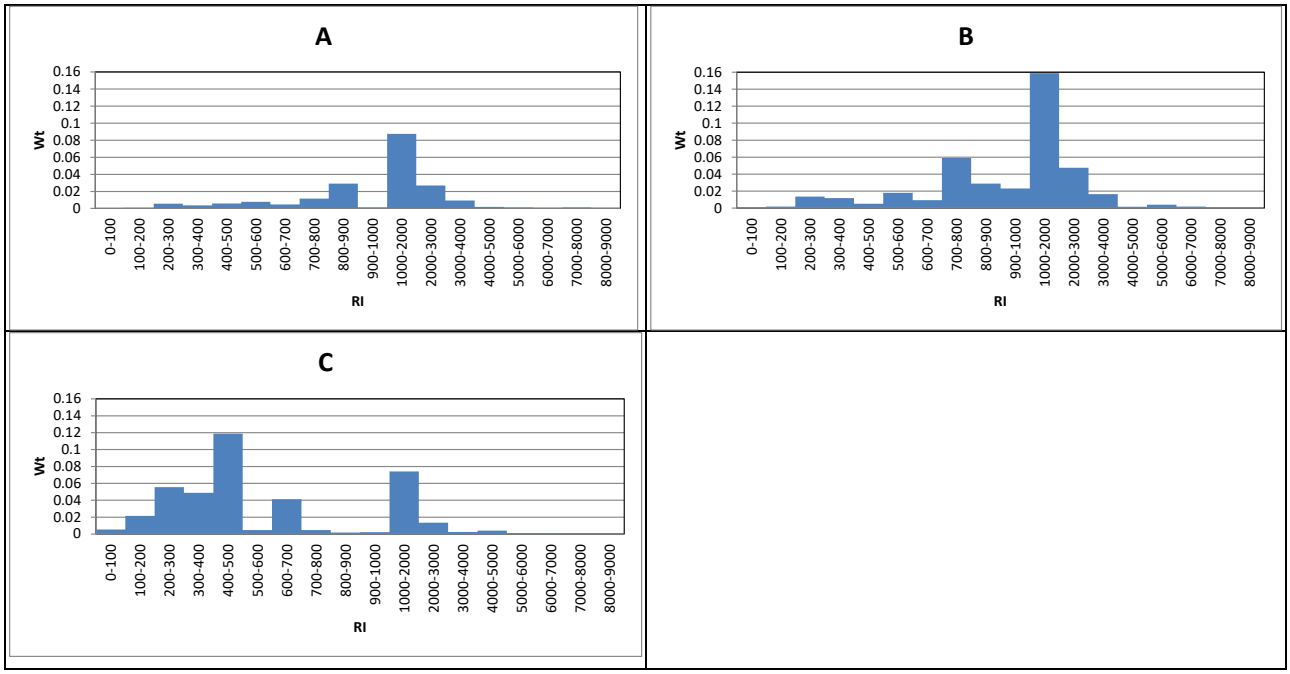


圖 3-3.3：山腳斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和

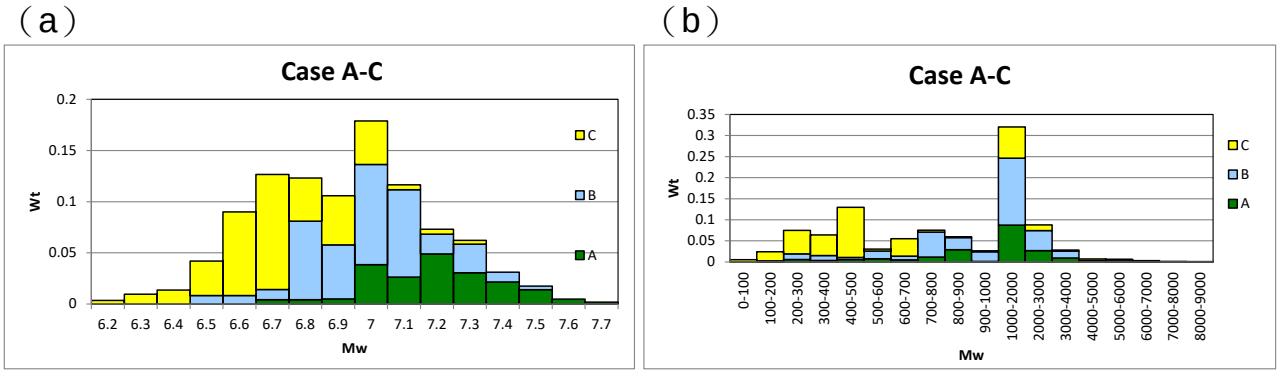


圖 3-3.4：(a)山腳斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(b)山腳斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

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 模式估算山腳斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，根據歷史文獻，假設山腳斷層北段最後一次發生時間為西元 1867 年，南段為 1694 年，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估，而整段破裂最後一次發生時間為未知，因此本計畫採用 POISSON 模式進行評估。

表 3-4.1 為山腳斷層 BPT 模式評估之結果，起算時間為西元 2020 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.2~7.7 之機率為 5.4%、8.6%及 15.5%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 4.5%、7.3%及 13.6%。另若假設最後一次發生時間未知，以 POISSON 模式計算之結果也列於表 3-4.1 中以供比較。

表 3-4.1：山腳斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	A：POI B：BPT C：BPT	POI	A：POI B：BPT C：BPT	POI	A：POI B：BPT C：BPT	POI
6.2≦ M ≦7.7	5.4%	4.7%	8.6%	7.6%	15.5%	14.2%
M ≧ 6.5	4.5%	4.2%	7.3%	6.8%	13.6%	12.9%

第四章、湖口斷層潛勢評估

4-1 湖口斷層參數彙整

湖口斷層各項參數詳細內容詳附錄 2,湖口斷層幾何參考資料及參數如表 4-1.1 所示，湖口斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 4-1.2 所示。

景國恩等（2020)「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，湖口斷層平均滑移虧損速率下界 0.5 mm/yr，上界為 1.8 mm/yr，平均值為 1.1 mm/yr，如表 4-1.3 所示。

彙整前人對於湖口斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 4-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 4-1.1：湖口斷層幾何面各調查方法及斷層參數

作者	方法	傾角(度)	深度(公里)
Tang, 1963	震測剖面	60 度	-
林良安，1999	淺層震測	背斜構造	-
Suppe and Namson, 1979	平衡剖面	滑脫面斷坡 28-29 度 斷坪 4 度	-
林啟文等，2007	地表露頭與鑽井資料，以斷層擴展褶皺推測	40 度	-
王昱，2003	平衡剖面	滑脫面斷坡 32 度	5 km
黃旭燦等，2004	平衡剖面	60 度	6-7.5 km
朱傚祖等，2012	地表露頭與鑽井資料，以斷層擴展褶皺推測	40-45 度	-

表 4-1.2：湖口斷層上盤各井的構造變動速率

參考文獻	位置	資料	地層	定年方法	錯移量 (m)	年代 (cal. yr BP)	垂直錯移率 (mm/yr)
丁權，2012	南寮	NL_16.5 碳屑	砂頁互層	放射性碳定年	8~23.5	9528~9303	0.8~2.5
	新竹縣竹北市田心子 HK3	HK3_25.4m 碳屑	晚更新世陸相沉積層	放射性碳定年	2.6~20.6	11190~10760	0.2~1.9

表 4-1.3：湖口斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
湖口斷層	上界	1.1	3.5	0.7	1.8
	平均	1.1 ± 0.0	1.9 ± 1.6	0.4 ± 0.3	1.1
	下界	1.1	0.3	0.1	0.5

表 4-1.4：湖口斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
湖口斷層	斷層分段與破裂事件	A：湖口斷層 B：湖口斷層+西部延伸段 C：湖口斷層+西部延伸段+海域延伸段	地形、震測資料	花井重次，1930；中國石油公司，1978；黃旭燦等，1996；王昱，2003；林啟文等，2007；沈玟劭，2008
	長度(km)	A: 21 km　B: 30 km　C: 47 km		
	寬度(km)	8.1	深度/sin 傾角 （深度 0~7 公里傾角 60 度）	
	破裂深度（km）	大於 5	平衡剖面	王昱，2003
		6~7.5	平衡剖面	黃旭燦等，2004
		10 公里左右	西元 1900-2015 地震分布	本計畫推估
	面積(km^2)	A: 170　B: 243　C: 381	長度×寬度(8.1 km)	
	走向	湖口斷層呈東北東走向，西部延伸段呈西北西走向。	地形、震測資料	林啟文等，2007；花井重次，1930；中國石油公司，1978
	傾斜角度(度)	約 60 度向南	震測剖面	Tang, 1963
		約 40 度向南	地表露頭與鑽井資料，以斷層擴展褶皺推測	林啟文等，2007
		60 度	平衡剖面	黃旭燦等，2004
		40-45 度	地表露頭與鑽井資料	朱傚祖等，2012
	斷層機制	逆移斷層	地形地質調查、鑽探資料、震測資料	衣德成等，2004；湯振輝，1963
		西部延伸段可能為右移的斷層系統	地形地質調查	王昱，2003
	長期滑移速率(mm/yr)	0.8~2.5	南寮井樣本定年計算抬升速率	丁權，2012
		0.2~1.9	湖口三號井樣本定年計算抬升速率	
	滑移虧損率(slip deficit rate)(mm/yr)	上界1.8 平均1.1 下界0.5	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	A: 0.97　B: 1.11　C: 1.27	log D= 0.29Mw-1.84 σ=0.42 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	最大可能地震規模(Mw)	A: 6.3　B: 6.5　C: 6.7	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） (只考慮斷坡)	Wells and Coppersmith, 1994
		A: 6.2　B: 6.4　C: 6.6	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (只考慮斷坡)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔(年)	A: 600-700 B: 400-500 C: 1000-2000	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	推測約三萬年以來曾經活動	地形與階地年代	謝凱英，1995；王昱，2003

4-2 邏輯樹更新

本計畫參考沈玟劭（2008）海域構造線形描繪之湖口斷層分布如圖 4-2.1 所示。破裂事件則新增海域延伸段，長度為 17 公里，分別為 A. 湖口斷層（東段）單獨破裂，B. 湖口斷層+西部延伸段，C. 湖口斷層+西部延伸段+海域延伸段。權重設定上，本計畫認為延伸長度越長破裂可能性越低，得到 A(0.5)、B(0.3)、C(0.2)，如圖 4-2.2 所示。

湖口斷層之傾角及破裂深度，斷層幾何考慮三種情形，如圖 4-2.3 所示，分別為 Case 1: 60˚(深度 0-7 km)；Case 2: 60˚(深度 0-7 km)，10˚(深度 7-11 km)；Case 3: 10˚(深度 7-11 km)。由於 Case 2 之破裂模式為斷坡+斷坪破裂，本計畫認為可能性較斷坡或斷坪單獨破裂低，因此權重給予 Case 1 (0.4)、Case 2(0.2)、Case 3 (0.4)。

湖口斷層之滑移速率，根據表 4-1.2 丁權（2012）鑽井定年資料，抬升速率範圍為 0.2~2.5 mm/yr，以傾角 60 度換算至斷層面上之滑移速率為 0.2~2.9 mm/yr。本計畫據此設定邏輯樹權重為常態分布：下界 0.2 mm/yr (0.2)、平均 1.6 mm/yr (0.6)、上界 2.9 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 4-2.1 所示為各破裂事件地震矩規模。

湖口斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 4-2.4 所示。

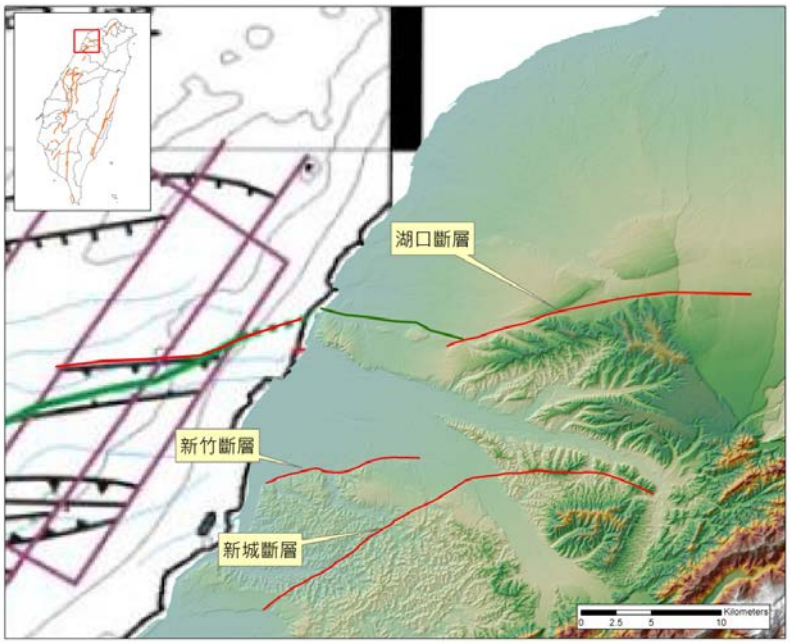
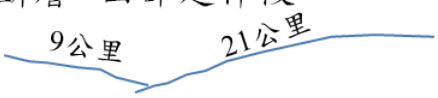


圖 4-2.1：本計畫湖口斷層海域延伸

A（0.5）：湖口斷層



B（0.3）：湖口斷層＋西部延伸段



C（0.2）：湖口斷層＋西部延伸段+海域延伸段

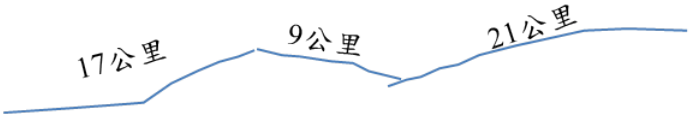


圖 4-2.2：本計畫湖口斷層破裂事件。

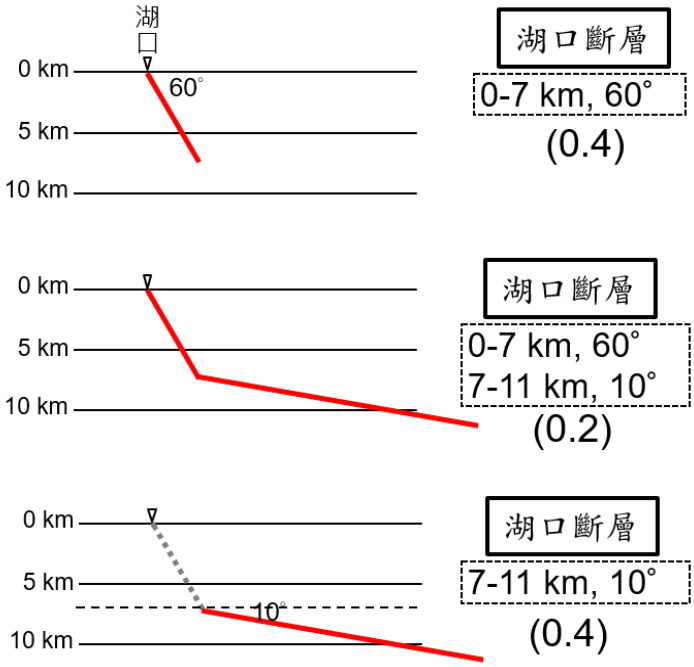


圖 4-2.3：湖口斷層幾何面破裂模式及權重。

表 4-2.1：湖口斷層之各破裂事件規模及權重。

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

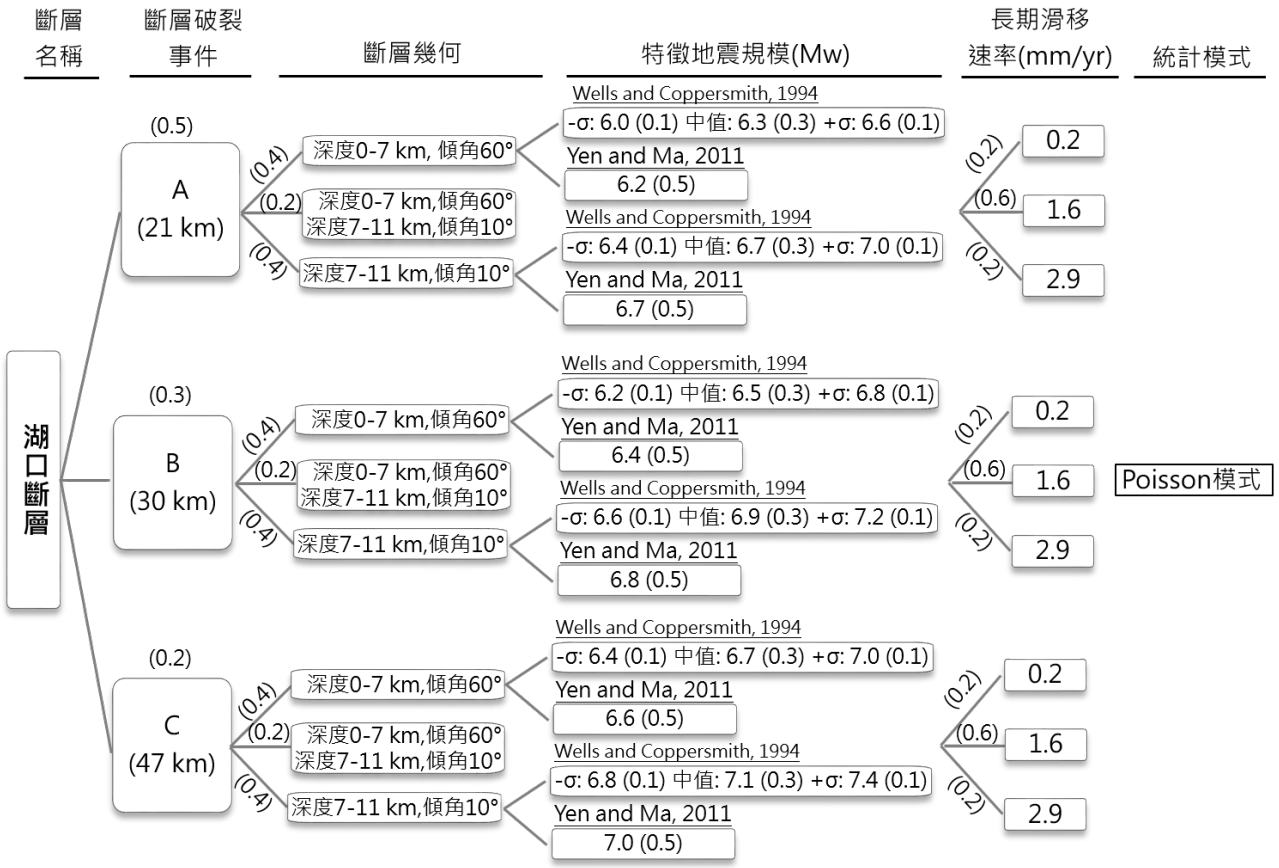


圖 4-2.4：湖口斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。

4-3 規模與年發生率之關係

湖口斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 4-3.1 為 3 個破裂事件之特徵地震模式分布情形。

圖 4-2.4 之湖口斷層邏輯樹可得到 108 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 4-3.2 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 4-3.3 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 4-3.4（a）之湖口斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 4-3.4（b）之湖口斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

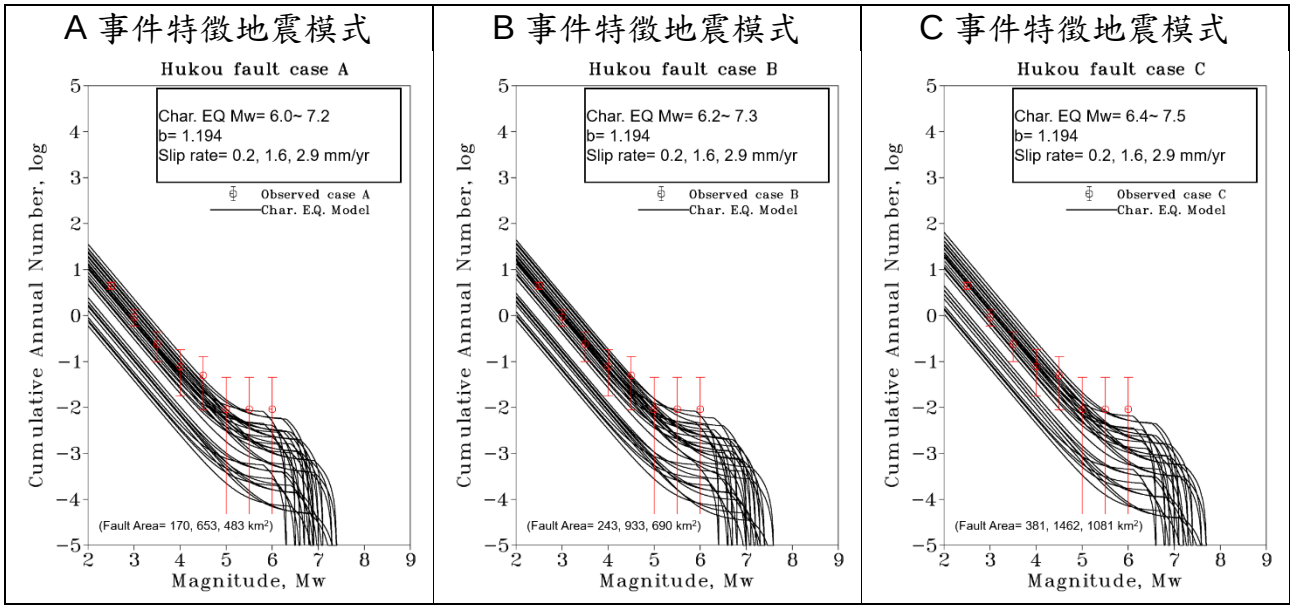


圖 4-3.1：湖口斷層各破裂事件特徵地震模式。

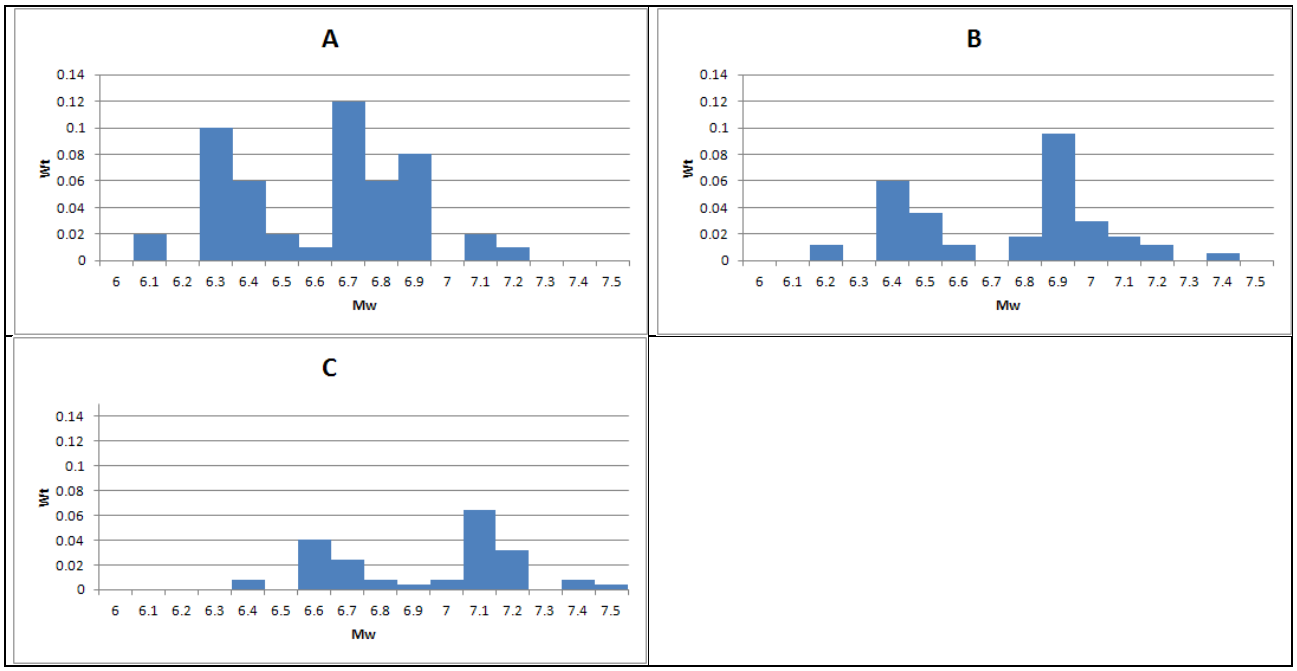


圖 4-3.2：湖口斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

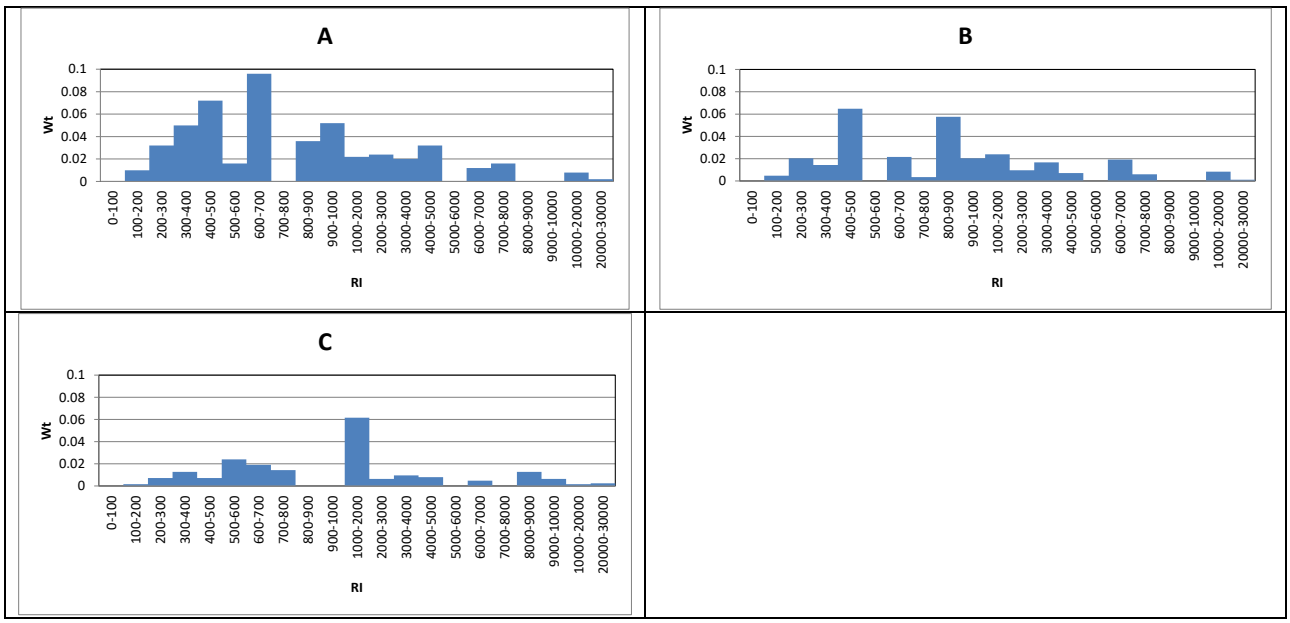


圖 4-3.3：湖口斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

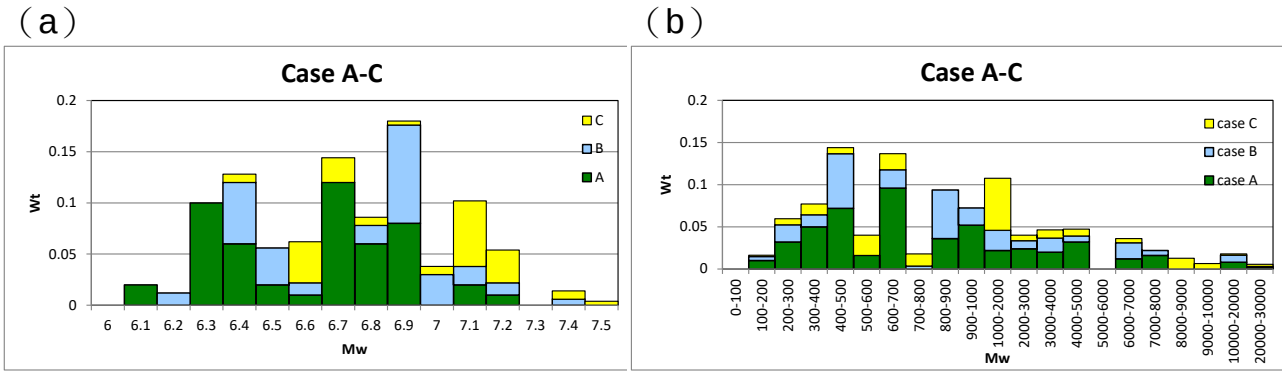


圖 4-3.4：（a）湖口斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）湖口斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

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 模式估算湖口斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，湖口斷層最後一次發生時間為未知，因此本計畫採用 Poisson 模式進行評估。

表 4-4.1 為湖口斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2020 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.1~7.5 之機率為 4.5%、7.3%及 13.8%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 2.7%、4.4%及 8.5%。

表 4-4.1：湖口斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.1≦ M ≦7.5	4.5%	7.3%	13.8%
M ≧ 6.5	2.7%	4.4%	8.5%

第五章、新竹斷層潛勢評估

5-1 新竹斷層參數彙整

新竹斷層各項參數詳細內容詳附錄 3,新竹斷層幾何參考資料及參數如表 5-1.1 所示，新竹斷層長期滑移速率採用丁權（2012）利用上下盤鑽井抬升速率差計算成果。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，新竹斷層平均滑移虧損速率下界 0.4 mm/yr，上界為 1.8 mm/yr，平均值為 1.0 mm/yr，如表 5-1.2 所示。

彙整前人對於新竹斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 5-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 5-1.1：新竹斷層幾何面各調查方法及斷層參數

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

表 5-1.2：新竹斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
新竹斷層	上界	0.6	2.9	1.8	1.8
	平均	0.6 ± 0.0	1.3 ± 1.6	1.2 ± 0.6	1.0
	下界	0.6	0.0	0.6	0.4

表 5-1.3：新竹斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
新竹斷層	斷層分段與破裂事件	A 中段破裂 B 中段破裂+東側延伸 C 海域延伸+中段破裂 D 海域延伸+中段破裂+東側延伸	遙測影像判釋、地形、地下構造	Pan, 1965；石再添等，1985；丁信修等，1995；倪明倫，2004；Chen et al., 2004；林啟文等，2007；沈玟劭，2008；江婉綺與陳柏村，2012
	長度(km)	A：17 km　B：29 km C：34 km　D：46 km		
	寬度(km)	13.1	Case 1 深度 0-10 km，傾角 50°	本計畫幾何模型
		26.4	Case 2 深度 0-7 km，傾角 50°；深度 7-10 km，傾角 10°	
		31.5	Case 3 深度 0-6 km，傾角 45°；深度 6-10 km，傾角 10°	
	破裂深度（km）	至少 8 公里	平衡剖面	黃旭燦等，2004
		12 公里	微震分布	蒲新杰，2010
		集中在 10 公里	地震分布	黃宣維，2012
	面積(km2)	A：449　B：766 C：898　D：1214	長度×寬度 （Case 2）	本計畫幾何模型
	走向	約呈東西走向	地形、遙測影像判釋	Ku, 1963；Tang and Hsu, 1970；石再添等，1985
	傾斜角度(度)	50~60S	鑽井剖面	Tang and Hsu, 1970；Chiu, 1970
		40~50S	震測剖面	Yang et al., 1994； 1996
		Line 5：65S Line 6：50S	平衡剖面	黃旭燦等，2004
		BB’剖面 40S CC’剖面 20~30S	淺層鑽井剖面	丁權，2012；江婉綺與陳柏村，2012

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	斷層機制	逆移斷層	地質調查、地下構造	Meng, 1965；林啟文等，2007
		兼具右移與逆移特性	近期地殼變形測量	鍾瑋等，2005；饒瑞鈞等，2006
	長期滑移速率(mm/yr)	1.9~3.5 mm/yr	上下盤鑽井定年，計算垂直變動速率，以傾角 20 度及 40 度換算至斷層面上	丁權，2012
	滑移虧損率(slip deficit rate)(mm/yr)	上界 1.8 平均 1.0 下界 0.4	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	A：1.27、B：1.45 C：1.55、D：1.66	log D= 0.29Mw-1.84 σ=0.42 (逆斷層)	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模(Mw)	A：6.7、B：6.9 C：7.0、D：7.1	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 (逆斷層) (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		A：6.7、B：6.9 C：7.0、D：7.1	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔(年)	A: 300-400 B: 400-500 C: 500-600 D: 500-600	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	更新世晚期	地質鑽探	林啟文等，2007

5-2 邏輯樹更新

新竹斷層分段破裂模式無修改，同圖 5-2.1。由於東側延伸及西側海域的延伸與否可分為 4 種破裂事件來探討，A 為中段破裂，B 為中段破裂+東側延伸，C 為海域延伸+中段破裂，D 為海域延伸+中段破裂+東側延伸破裂，權重分配為 A（0.5）、B（0.2）、C（0.2）、D（0.1）。

新竹斷之傾角及破裂深度，根據幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 Case 1. 深度 0-10 km，傾角 50°；Case 2. 深度 0-7 km，傾角 50°，深度 7-10 km，傾角 10°；Case 3. 深度 0-6 km，傾角 45°，深度 6-10 km，傾角 10°，詳圖 5-2.2 所示。因不確定性較高，權重分配為近似等權重之 Case 1（0.3）、Case 2（0.4）、Case 3（0.3）。

新竹斷層之滑移速率無發現新事證，丁權（2012）利用上下盤鑽井定年之結果，換算至淺部斷層面上為 1.9~3.5 mm/yr。據此設定邏輯樹權重為下界 1.9 mm/yr (0.2)、平均 2.7 mm/yr (0.6)、上界 3.5 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 5-2.1 所示為新竹斷層各破裂事件地震矩規模。

新竹斷層各節點權重的分配詳如圖 5-2.3 所示。

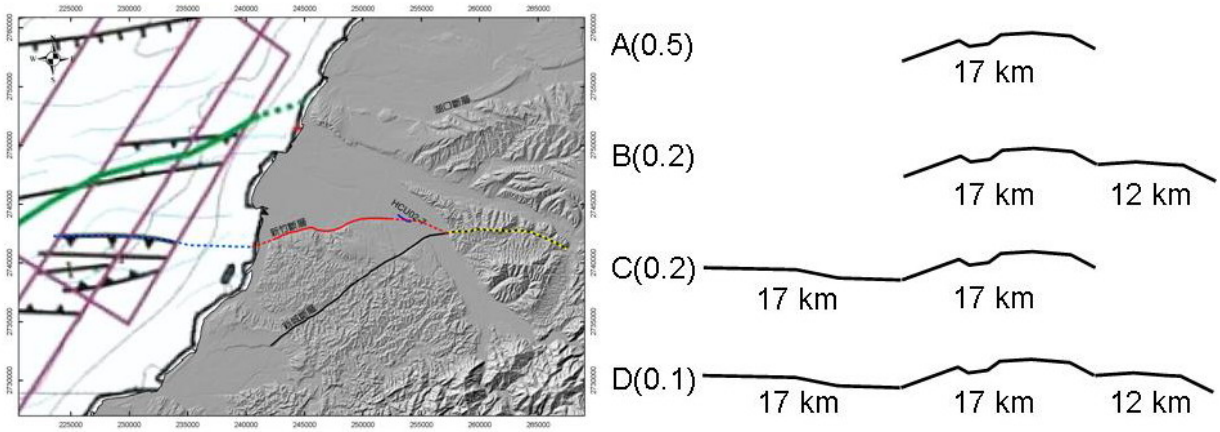


圖 5-2.1：新竹斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。

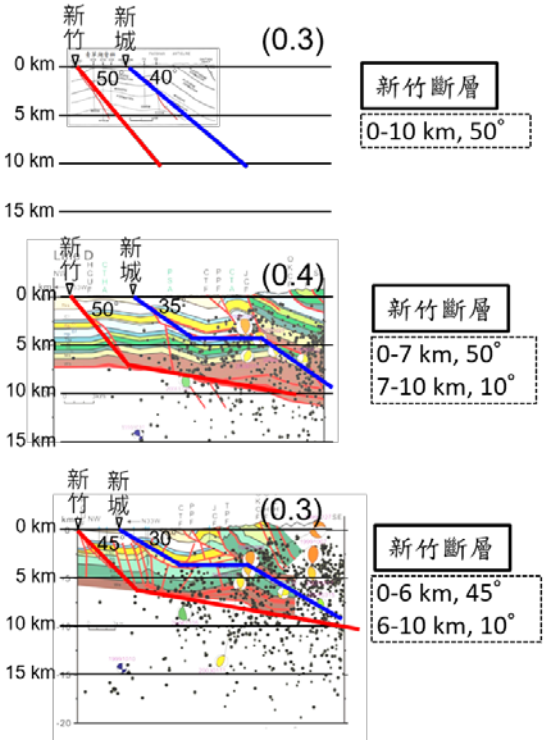


圖 5-2.2：新竹斷層幾何面破裂模式及權重。

表 5-2.1：新竹斷層各破裂事件規模及權重

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

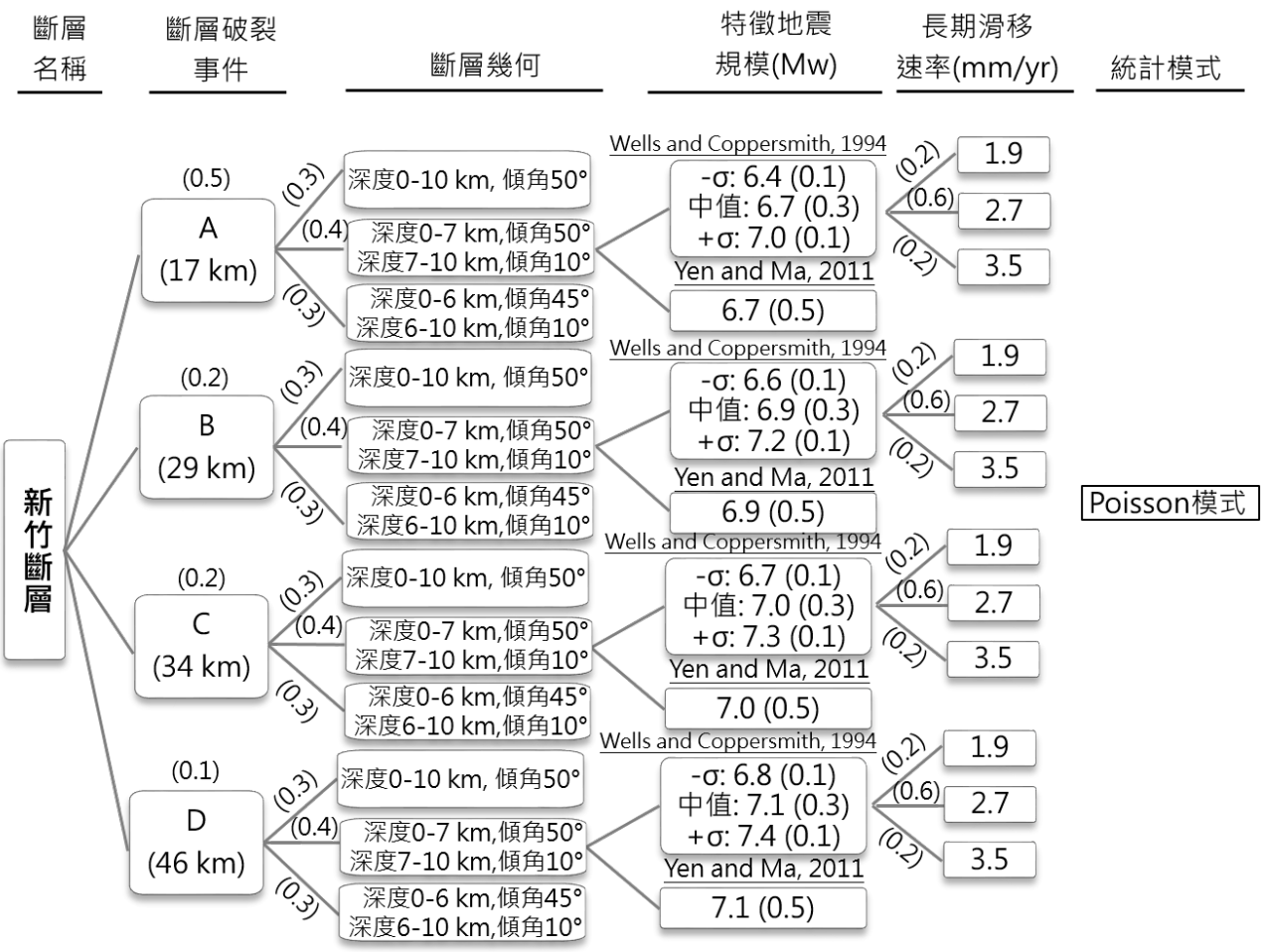


圖 5-2.3：新竹斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。

5-3 規模與年發生率之關係

新竹斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 5-3.1 為 4 個破裂事件之特徵地震模式分布情形。

圖 5-2.3 之新竹斷層邏輯樹可得到 144 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 5-3.2 為 4 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.8 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.0 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.0 之權重最高；破裂模式 D 以規模 7.2 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 5-3.3 為 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。

將四種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 5-3.4（a）之新竹斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 5-3.4（b）之新竹斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

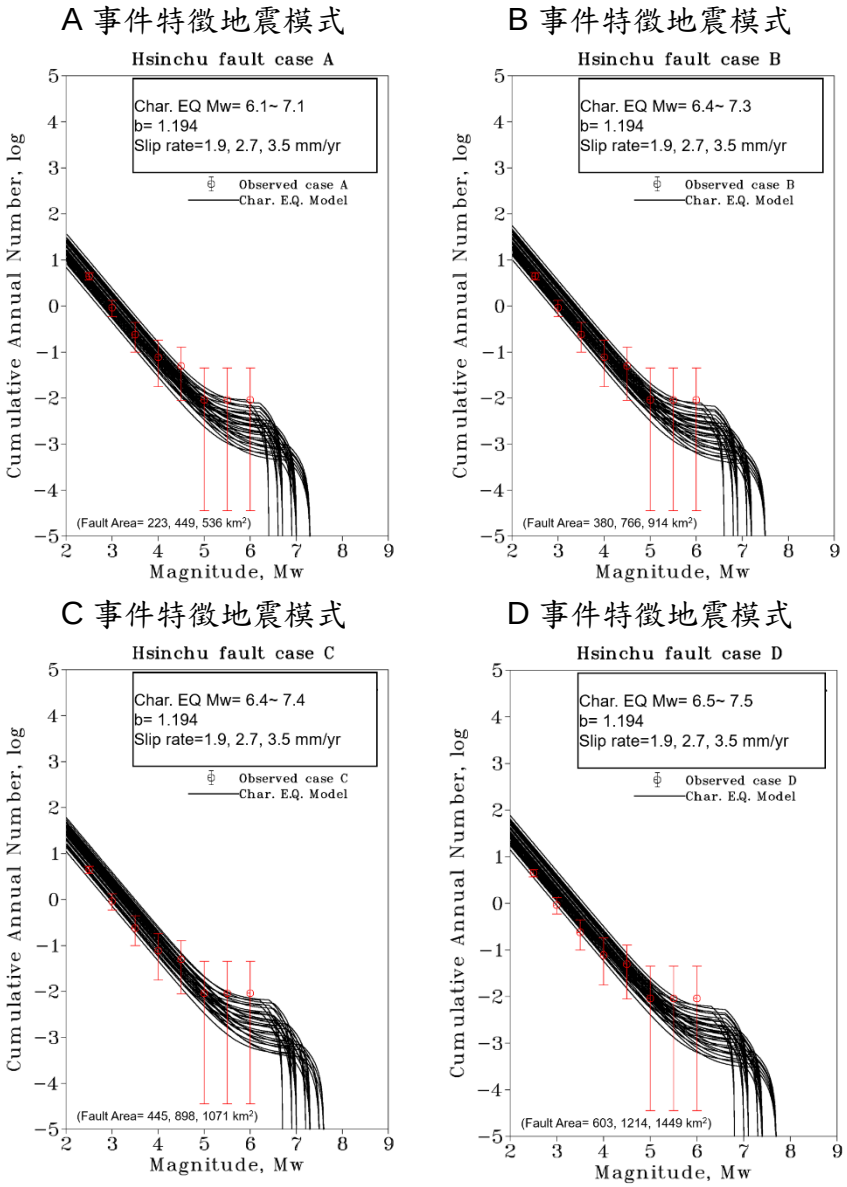


圖 5-3.1：新竹斷層各破裂事件特徵地震模式。

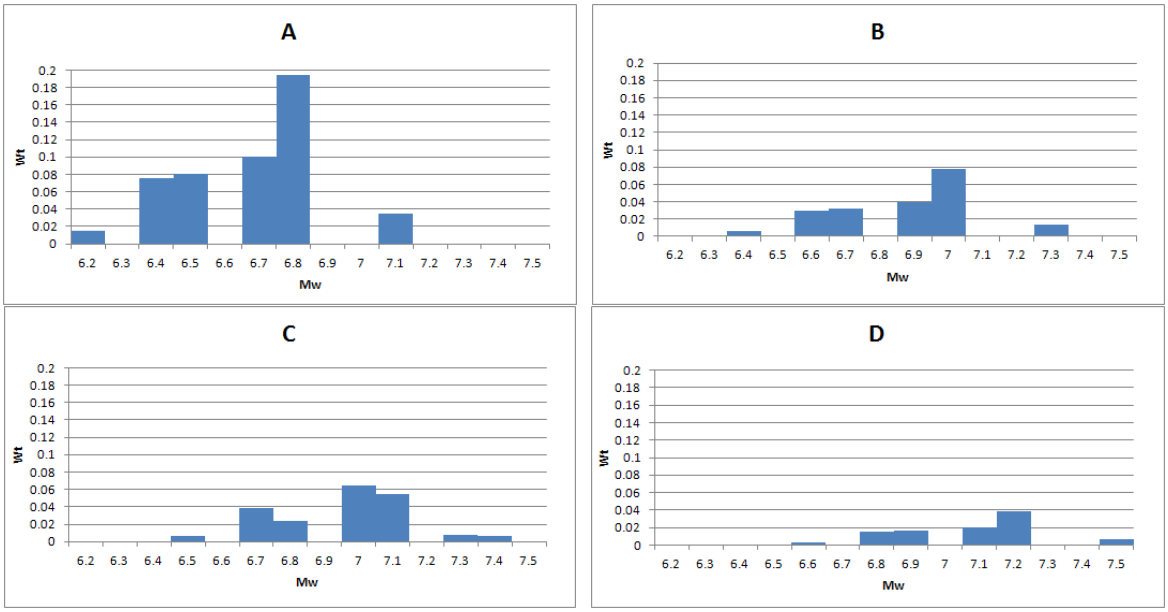


圖 5-3.2：新竹斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

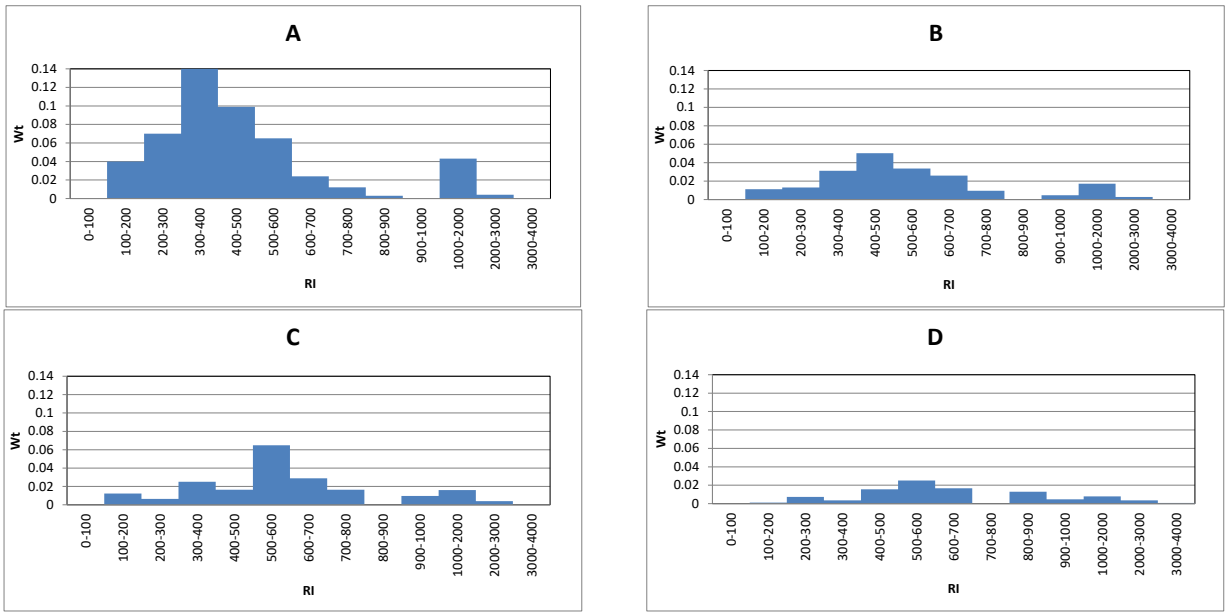


圖 5-3.3：新竹斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　　（b）

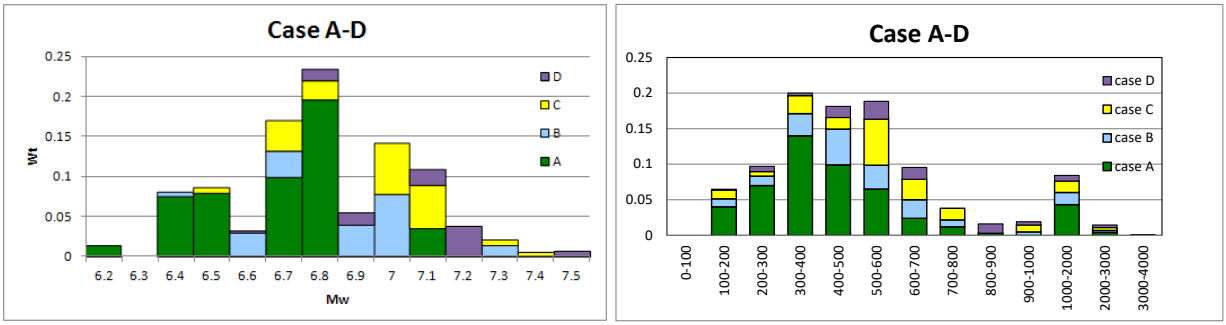


圖 5-3.4：（a）新竹斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）新竹斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

5-4 發震機率之推估

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

表 5-4.1 為新竹斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2020 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.2~7.5 之機率為 6.8%、11.0%及 20.5%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 5.7%、9.2%及 17.2%。

表 5-4.1：新竹斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.2 ≦ M ≦7.5	6.8%	11.0%	20.5%
M ≧ 6.5	5.7%	9.2%	17.2%

第六章、新城斷層潛勢評估

6-1 新城斷層參數彙整

新城斷層各項參數詳細內容詳附錄 4,新城斷層幾何參考資料及參數如表 6-1.1 所示，新城斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 6-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，新城斷層平均滑移虧損速率下界 0.4 mm/yr，上界為 3.4 mm/yr，平均值為 1.6 mm/yr，如表 6-1.3 所示。

彙整前人對於新城斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 6-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 6-1.1：新城斷層幾何面各調查方法及斷層參數

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

表 6-1.2：新城斷層長期滑移速率相關文獻（橘色表格表示年代老於 10 萬年）

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

註 1：淨滑移速率以頭前溪露頭斷層傾角 34 度換算。

註 2：淨滑移速率以鑽井資料斷層傾角 25 度換算。

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

表 6-1.3：新城斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
新城斷層	上界	4.8	2.5	2.9	3.4
	平均	2.0 ± 2.8	0.9 ± 1.6	2.0 ± 0.9	1.6
	下界	0.0	0.0	1.1	0.4

表 6-1.4：新城斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
新城斷層	斷層分段與破裂事件	A 整段破裂 B 南段破裂	地形判釋、野外地質調查、地物探勘	Tang, 1968；塗明寬與陳文政，1991；張徽正等，1998；林啟文等，2005
	長度 (km)	A：28 km B：16 km		
	寬度 (km)	15.6	Case 1 深度 0-10 km, 傾角 40°	本計畫幾何模型
		22.7	Case 2 深度 0-4 km, 傾角 35° 水平延伸 7 km 深度 4-9 km, 傾角 35°	
		25.0	Case 3 深度 0-3.5 km, 傾角 30° 水平延伸 7 km 深度 3.5-9 km, 傾角 30°	
	破裂深度 (km)	>6 km	平衡剖面	Namson, 1984
		>6 km	平衡剖面	黃旭燦等，2004
		~12 km	微震分布	由蒲新杰(2010)微震分布推估
		10~14 km	地震分布	黃宣維，2012
	面積 (km^2)	A：636 B：363	長度×寬度 （Case 2）	本計畫幾何模型
	走向	北段東北東 南段東北	地形判釋、野外地質調查、地物探勘	Tang, 1968；塗明寬與陳文政，1991；張徽正等，1998；林啟文等，2005
	傾斜角度(度)	30~40 度向東	平衡剖面	Namson, 1984
		40~50 度向東	平衡剖面	Yang et al., 1994;1996
	斷層機制	逆斷層	地形判釋、野外地質調查、地物探勘、槽溝資料	Tang, 1968；塗明寬與陳文政，1991；張徽正等，1998；林啟文等，2005
	長期滑移速率(mm/yr)	2.3	階地槽溝定年	劉力豪，2004；陳文山等，2003
		1.8~2.5	頭前溪階地定年	丁權，2012
		0.65~1.6	階地定年、鑽井、震測資料	石同生等，2003
		0.76	中港溪 Lt1 鑽井資料	丁權，2012
		0.7	震測資料	Chen et al., 2004
	滑移虧損率 (slip deficit rate)(mm/yr)	上界 3.4 平均 1.6 下界 0.4	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	1.30~1.85	槽溝古地震研究	陳文山等，2003
	最大可能地震規模(M_W)	A：6.9 B：6.6	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
		A：6.8 B：6.6	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔(年)	1020~1460	槽溝古地震研究	劉力豪，2004
		A: 600-700 B: 500-600	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	約距今300年內	頭前溪Ft1階地定年	陳文山等，2003

6-2 邏輯樹更新

本計畫針對新城斷層邏輯樹更新，詳述如下：

新城斷層分段破裂模式無修改，同圖 6-2.1。本計畫評估新城斷層破裂模式，共分為 2 種事件來探討，A 為整段破裂，長度 28 公里（權重為 0.4），B 為南段破裂，長度 16 公里（權重為 0.6）。

新城斷之傾角及破裂深度，根據幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 Case 1：深度 0-10 km，傾角 40°；Case 2：深度 0-4 km，傾角 35°，水平延伸 7 公里後，深度 4-9 km，傾角 35°；Case 3：深度 0-3.5 km，傾角 30°，水平延伸 7 公里後，深度 3.5-9 km，傾角 30°，詳圖 6-2.2 所示。因三種幾何模型都有可能，權重分配為近似等權重之 Case 1（0.3）、Case 2（0.4）、Case 3（0.3）。

新城斷層之滑移速率，是彙整前人研究利用階地定年、鑽井資料、層位落差等方法計算所得(表 6-1.2)，其中部分年代老於 10 萬年的資料（石同生等，2003；Chen et al., 2004），不足以代表活動斷層現今的活動速率，因此不納入邏輯樹參數設定中；另外，位於斷層末端之滑移速率值（丁權，2012）明顯低於斷層其他位置，不足以代表整段斷層之滑移速率，因此也不納入邏輯樹參數設定中；而石同生等（2003）由鑽井資料推估滑移速率，僅得到保守估計之下限值，僅作參考對照用。因此，本計畫依據丁權（2012）、劉力豪（2004）、陳文山等（2003）利用頭前溪階地定年所得之滑移速率設定邏輯樹之參數值，其速率為 1.8~2.5 mm/yr，取 1.8 mm/yr 為邏輯樹下界，權重 0.2，2.5 mm/yr 為邏輯樹上界，權重佔 0.2，邏輯樹中值為(1.8+2.5)/2=2.2 mm/yr，權重 0.6。

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 6-2.1 所示為新城斷層各破裂事件地震矩規模。

新城斷層各節點權重的分配詳如圖 6-2.3 所示。

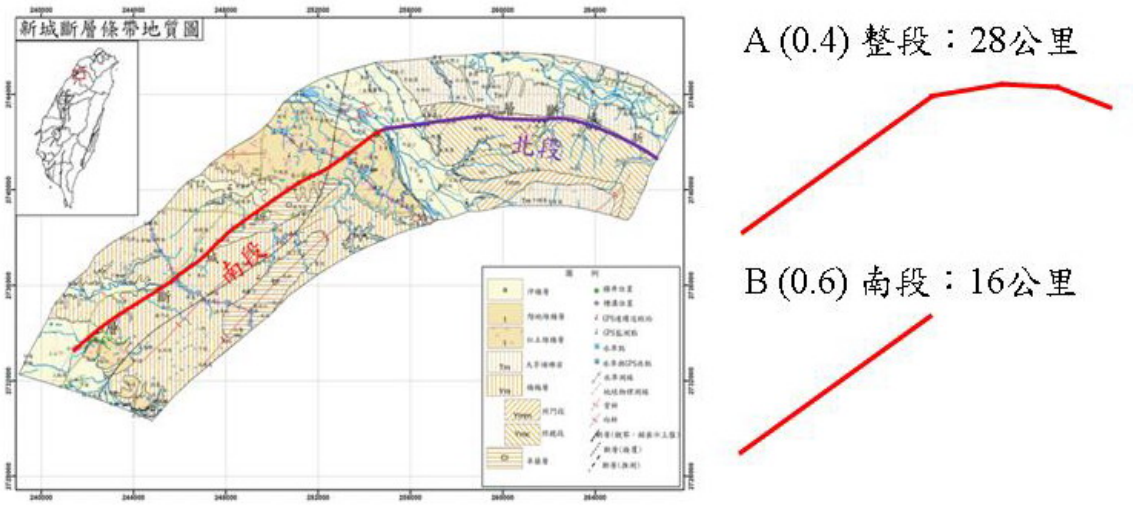


圖 6-2.1：新城斷層之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。

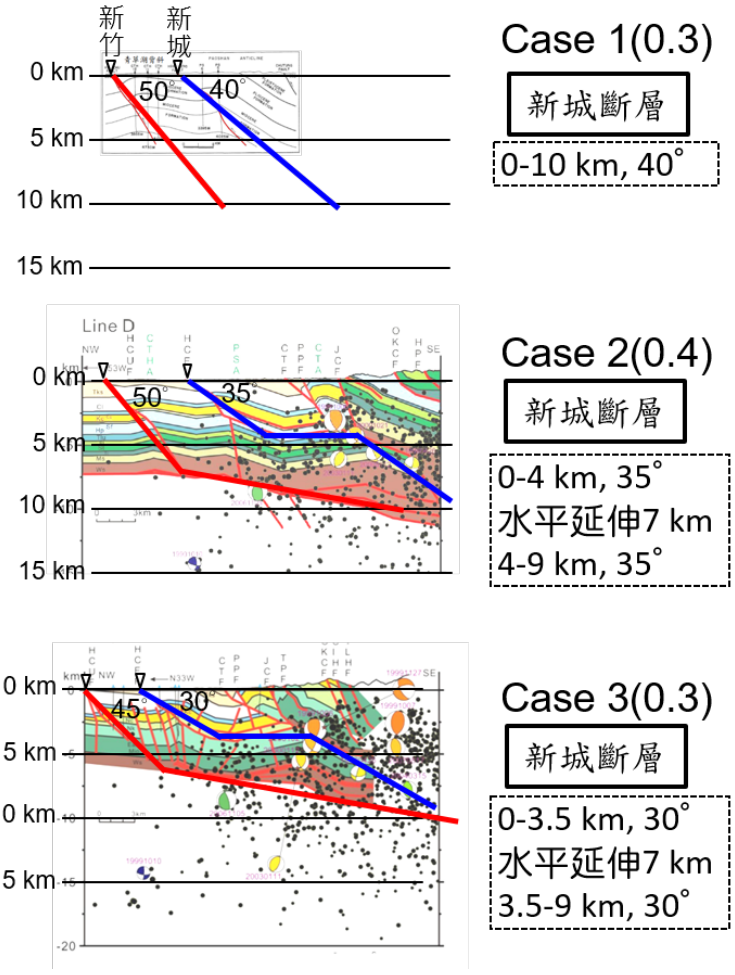


圖 6-2.2：新城斷層幾何面破裂模式。

表 6-2.1：新城斷層各破裂事件規模及權重

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

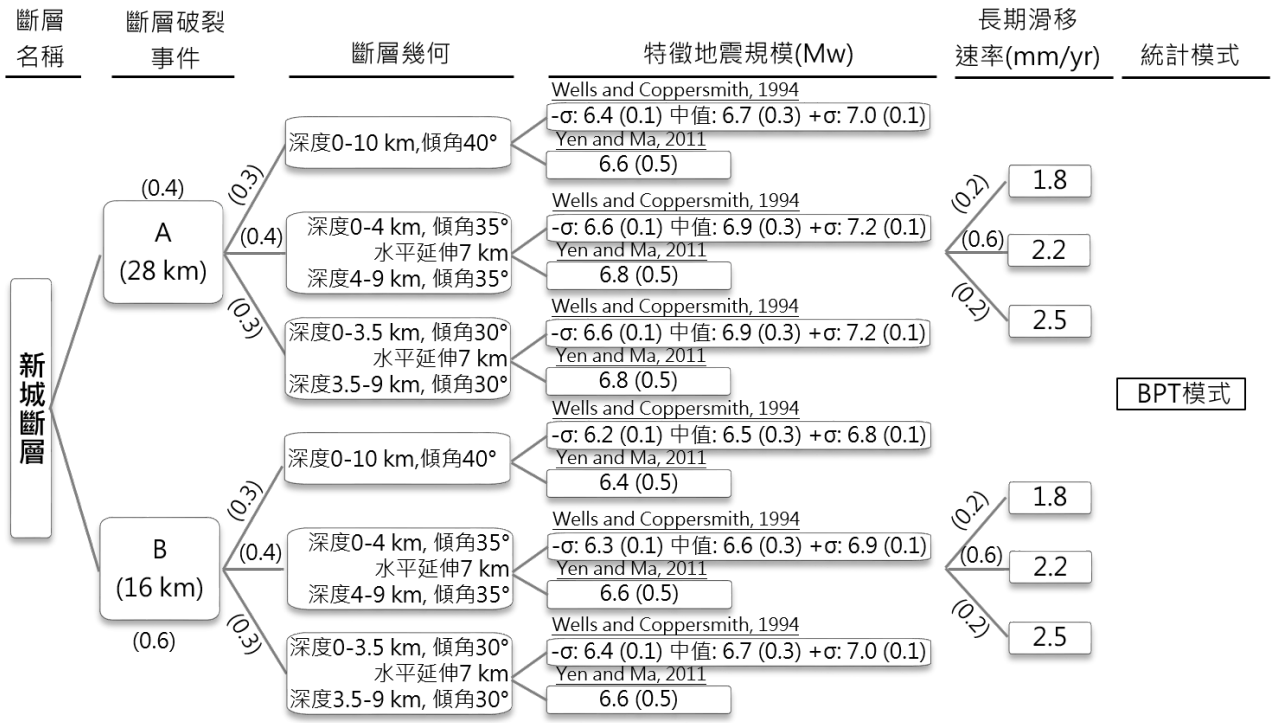


圖 6-2.3：新城斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。

6-3 規模與年發生率之關係

新城斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 6-3.1 為 2 個破裂事件取表 6-2.1 之參數值計算之特徵地震模式分布情形。

圖 6-2.3 之新城斷層邏輯樹可得到 72 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 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 6.9 之權重最高；破裂模式 B 以規模 6.7 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 6-3.3 為 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖，破裂模式 A 在地震復發間隔時間 600 年~700 年間有較高之權重，破裂模式 B 在地震復發間隔時間 500~600 年間有較高之權重。

將 2 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 6-3.4（a）之新城斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 6-3.4（b）之新城斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

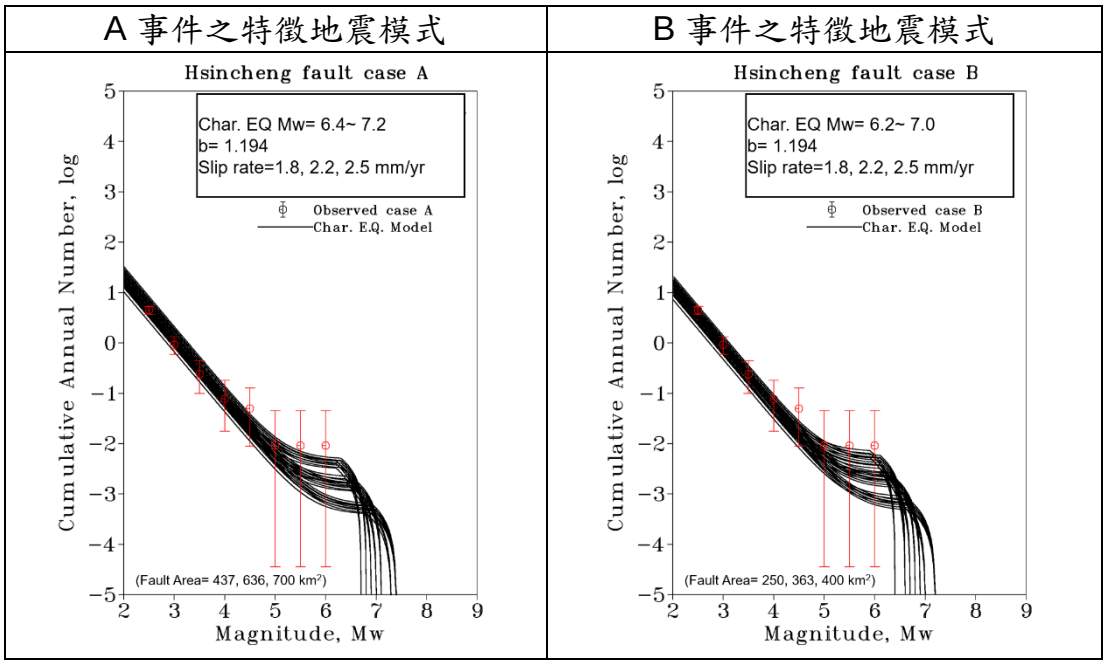


圖 6-3.1：新城斷層各破裂事件之特徵地震模式。

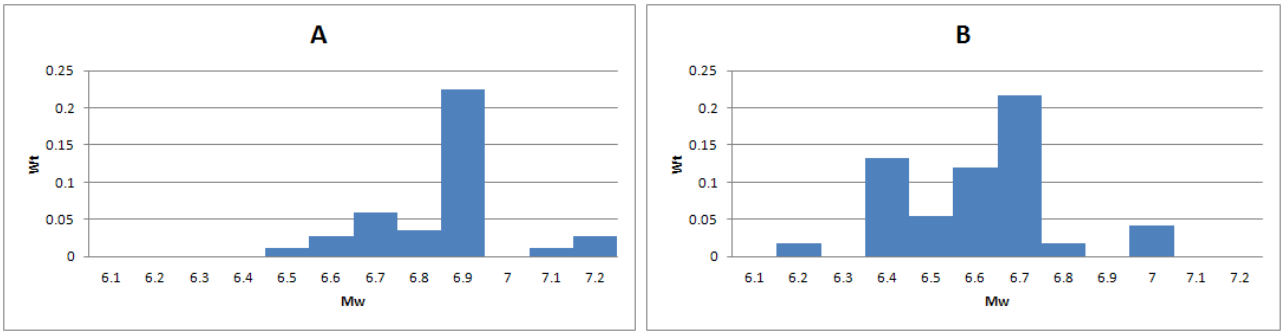


圖 6-3.2：新城斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

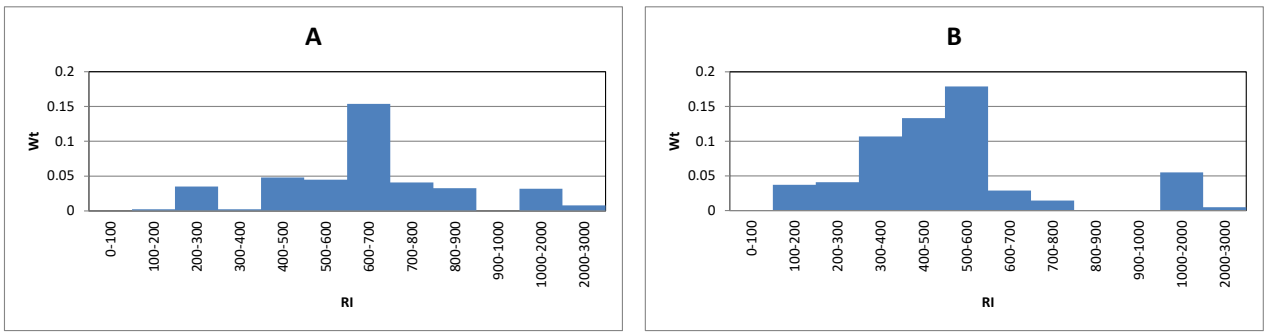


圖 6-3.3：新城斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　（b）

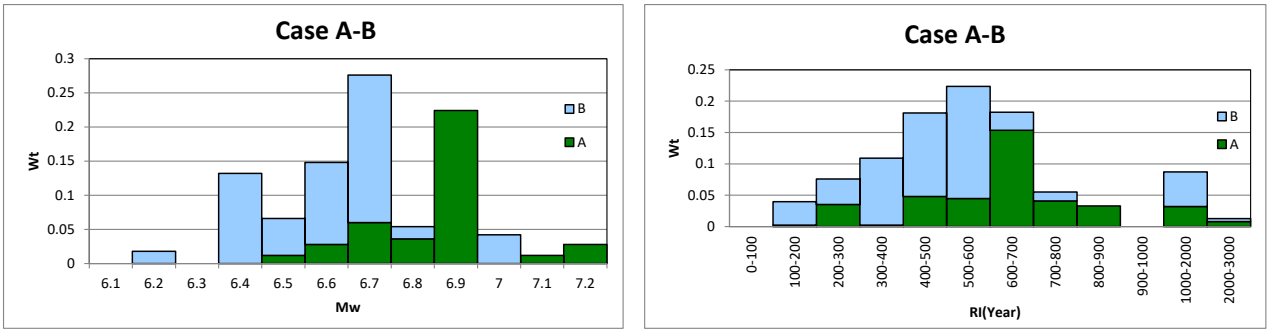


圖 6-3.4：（a）新城斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）新城斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

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 模式估算新城斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，新城斷層最後一次發生時間為 300 年前左右，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

表 6-4.1 為新城斷層評估之結果，以西元 2020 年為基準，採用 BPT 模式計算得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.2~7.2 之機率為 8.8%、14.1%及 26.2%，發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 5.5%、9.2%及 17.9%。另以 POISSON 模式計算之結果也列於表 6-4.1 中以供比較。

表 6-4.1：新城斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	Poisson	BPT	Poisson	BPT	Poisson
6.2≦ M ≦7.2	8.8%	6.1%	14.1%	10.0%	26.2%	18.7%
M ≧ 6.5	5.5%	4.4%	9.2%	7.2%	17.9%	13.8%

第七章、獅潭斷層潛勢評估

7-1 獅潭斷層參數彙整

獅潭斷層各項參數詳細內容詳附錄 5,獅潭斷層幾何參考資料及參數如表 7-1.1 所示。

參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，獅潭斷層平均滑移虧損速率下界為 1.0 mm/yr，上界為 4.5 mm/yr，平均值為 2.7 mm/yr，如表 7-1.2 所示。

彙整前人對於獅潭斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 7-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 7-1.1：獅潭斷層幾何面各調查方法及斷層參數

參考文獻	方法	傾角	深度	寬度
Otsuka, 1936	現地調查	-	-	10 km
Sheu et al., 1982	1917-1937 的三角測網及水準資料反演	約 50 度		10 km
林燈河，1987	震波資料逆推地下速度構造	傾角約 40 度		15 km
Huang and Yeh, 1992	大地測量	約 30-55 度		11 km
Lin, 2005	平衡剖面	傾角約 45 度	10 km	7.5~11.7 km

表 7-1.2：獅潭斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速（mm/yr）	
獅潭斷層	上界	1.9	10.0	1.6	4.5
	平均	1.9 ± 0.0	5.6 ± 4.4	0.7 ± 0.9	2.7
	下界	1.9	1.2	0.0	1.0

表 7-1.3：獅潭斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
獅潭斷層	斷層分段與破裂事件	Lin et al. (2013): case a	1935 年新竹、臺中地震地表破裂	大塚彌之助，1936
		Lin et al. (2013): case b	地震資料反演斷層之幾何模型	林燈河，1987
		Lin et al. (2013): case c	有限元素反演斷層模型	Huang and Yeh, 1992
		Lin et al. (2013): case d	使用 1917-1937 的三角測網及水準資料 ，反演斷層幾何模型	Sheu et al., 1982
		Lin et al. (2013): case e		Lin, 2005
	長度(km)	a: 15	1935 年新竹、臺中地震地表破裂	大塚彌之助，1936
		b: 20	地震資料反演斷層之幾何模型	林燈河，1987
		c: 25	有限元素反演斷層模型	Huang and Yeh, 1992
		d: 35	使用 1917-1937 的三角測網及水準資料 ，反演斷層幾何模型	Sheu et al., 1982
		e: 39		Lin, 2005
	寬度(km)	10.4	深度/sin 傾角 (以深度 8 公里，傾角 50 度計算)	本計畫推估
	破裂深度(km）	6~10 公里	地質平衡剖面，地震深度分布	Lin, 2005
	面積(km^2)	a：157 b：209 c：261 d：366 e：407	長度×寬度 (以深度 8 公里，傾角 50 度計算)	本計畫推估
	走向	約 N30E	1935 年新竹、臺中地震地表破裂	大塚彌之助，1936
	傾斜角度(度)	約 50 度	使用 1917-1937 的三角測網及水準資料 ，反演斷層幾何模型	Sheu et al., 1982
		傾角約 40 度	地震資料反演斷層之幾何模型	林燈河，1987
		約 30-55 度	有限元素反演斷層模型	Huang and Yeh, 1992
		傾角約 45 度	根據地形之證據，使用 1917-1937 的三角測網及水準資料 ，反演斷層幾何模型	Lin, 2005
	斷層機制	逆斷層	1935 年新竹、臺中地震地表破裂情形；地震震源機制解	大塚彌之助，1936 ；Lin et al., 2013
	長期滑移速率(mm/yr)	-	-	-

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	滑移虧損率 (slip deficit rate)(mm/yr)	上界4.5 平均2.7 下界1.0	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	0.3~3 公尺不等的垂直錯移量	1935 年臺灣中部地震地表破裂	大塚彌之助，1936
	最大可能地震規模(M_w)	a: 6.3 b: 6.4 c: 6.5 d: 6.6 e: 6.7	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
		a: 6.2 b: 6.3 c: 6.4 d: 6.6 e: 6.6	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	200-300	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	西元 1935 年	歷史地震紀錄	臺北觀測所，1936；東京帝國大學地震研究所，1936； Sheu et al., 1982；鄭世楠，1995； Chen and Tsai, 2008； Lin et al., 2013

7-2 邏輯樹更新

本計畫針對獅潭-屯子腳斷層系統邏輯樹更新，詳述如下：

獅潭-屯子腳斷層系統之分段破裂模式，如圖 7-2.1 所示，由於 1935 年之主震是走向滑移機制，且位於屯子腳斷層東側延伸處，本計畫認為屯子腳斷層單獨破裂之可能性最高，然而仍需提高獅潭斷層獨立破裂及獅潭+屯子腳系統破裂之可能性，因此屯子腳斷層單獨破裂的權重由 0.7→0.5；圖 7-2.1 左圖可看到 2 號規模 6.8 之地震位於獅潭斷層之上盤，為逆斷層機制，推測為獅潭斷層破裂引發之第二個主震，即獅潭斷層獨立破裂也有可能發生，因此提高獅潭斷層單獨破裂權重 0.2→0.3；然而，1935 年之儀器尚不足以解析雙主震，也不排除是單一主震所引起，且 1935 年之地震顯示了獅潭及屯子腳斷層均有地表破裂，應考慮提高系統破裂之可能性，因此獅潭+屯子腳系統破裂權重 0.1→0.2。本計畫在評估屯子腳斷層之破裂，是以長度不確定性來區分破裂事件，分別為 A 主斷層段破裂（長度 17 公里），以及 B 主斷層段+延伸段破裂（長度 40 公里），權重設定為 A（0.6）、B（0.4）。獅潭斷層之破裂模式可簡化為三種斷層模型之長度，分別為（C）西元 1935 年地表破裂 15 公里、（D）Huang and Yeh（1992）模擬之 25 公里及（E）往南延伸至屯子腳斷層之 35 公里，權重比為 C（0.6）、D（0.2）、E（0.2）。獅潭-屯子腳系統則是獅潭斷層往南延伸達 35 公里及屯子腳斷層往東延伸達 40 公里。

獅潭斷層及屯子腳斷層傾角及破裂深度，屯子腳斷層為一高角度斷層，近地表處呈開花構造，本計畫設定傾角為 65~85 度，另屯子腳斷層為走向滑移斷層，深度應不受基底滑脫面深度影響，本計畫設定其破裂深度最深可達 15 公里。本計畫屯子腳斷層之傾角權重為 65 度（0.3）、75 度（0.4）、85 度（0.3），破裂深度權重為 11 公里（0.3）、13 公里（0.4）、15 公里（0.3）。獅潭斷層之幾何無新事證可供修改，傾角權重為 40 度（0.3）、50 度（0.4）、60 度（0.3），破裂深度權重為 6 公里（0.3）、8 公里（0.4）、10 公里（0.3）。

獅潭斷層及屯子腳斷層滑移速率，參考景國恩等（2020）「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（4/4）」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，屯子腳斷層平均滑移虧損速率下界為 0.3 mm/yr，上界為 1.9 mm/yr，平均值為 1.1 mm/yr (表 11-1.2)；獅潭斷層平均滑移虧損速率下界 1.0 mm/yr，上界為 4.5 mm/yr，平均值為 2.7 mm/yr (表 7-1.2)。本計畫據此設定屯子腳斷層邏輯樹權重為下界 0.3 mm/yr (0.3)、平均 1.1 mm/yr (0.4)、上界 1.9 mm/yr (0.3)；獅潭斷層邏輯樹權重為下界 1.0 mm/yr (0.3)、平均 2.7 mm/yr (0.4)、上界 4.5 mm/yr (0.3)。

獅潭+屯子腳斷層長期滑移速率則根據能量累計公式計算，如下式：

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

由於屯子腳斷層之滑移速率低於獅潭斷層，因此以屯子腳斷層面積上界，獅潭斷層面積下界及兩斷層之滑移速率下界帶入上式計算，可得到 $v_{獅潭+屯子腳}$ 下界為 0.5 mm/yr；以屯子腳斷層面積下界，獅潭斷層面積上界及兩斷層之滑移速率上界帶入上式計算，可得到 $v_{獅潭+屯子腳}$ 上界為 3.3 mm/yr；以屯子腳斷層面積中值，獅潭斷層面積中值及兩斷層之滑移速率中值帶入上式計算，可得到 $v_{獅潭+屯子腳}$ 中值為 1.7 mm/yr，如表 7-2.1 所示。邏輯樹權重為常態分佈：0.5 mm/yr (0.2)、1.7 mm/yr (0.6)、3.3 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，其中將 Wells and Coppersmith （1994）之標準差作為上下之分支，表 7-2.2 所示為獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件地震矩規模。

獅潭-屯子腳斷層系統各節點權重的分配詳如圖 7-2.2 所示。

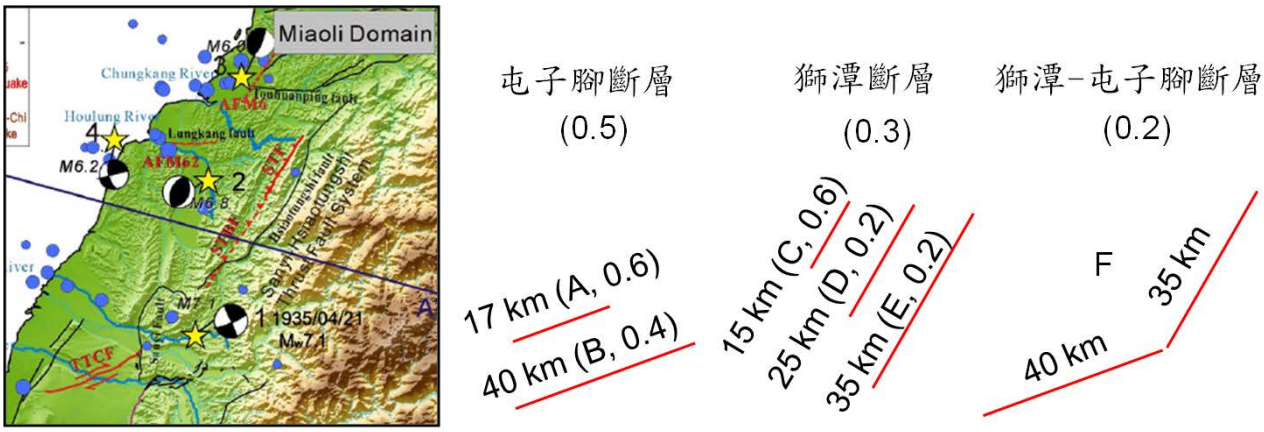


圖 7-2.1：本計畫修改之獅潭-屯子腳斷層系統破裂模式及權重分配。

表 7-2.1：獅潭-屯子腳斷層系統 $v_{獅潭+屯子腳}$ 計算

	獅潭 A (km2)	獅潭 V (mm/yr)	屯子腳 A (km2)	屯子腳 V (mm/yr)	系統破裂 V (mm/yr)
V 下界	242	1.0	662	0.3	0.5
V 中值	366	2.7	538	1.1	1.7
V 上界	545	4.5	442	1.9	3.3

表 7-2.2：獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件規模及權重。

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

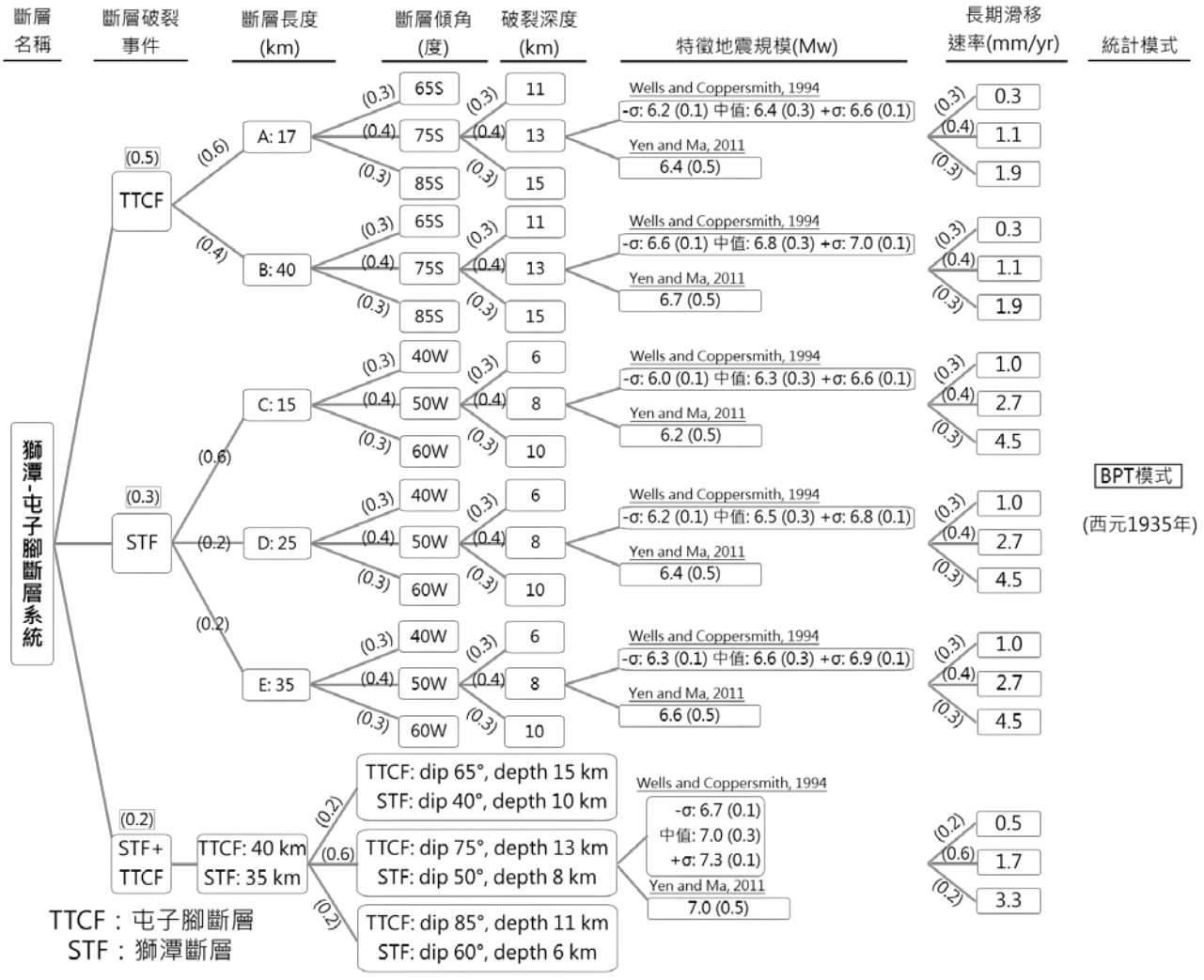


圖 7-2.2：獅潭-屯子腳斷層系統更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件權重、滑移速率)。

7-3 規模與年發生率之關係

獅潭—屯子腳斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 7-3.1 為 6 個破裂事件取表 7-2.2 的參數值之特徵地震模式分布情形。

圖 7-2.2 之獅潭—屯子腳斷層邏輯樹可得到 576 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 7-3.2 為 6 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.4 之權重最高；破裂模式 B 以規模 6.8 之權重最高；破裂模式 C 以規模 6.2 之權重最高；破裂模式 D 以規模 6.6 之權重最高；破裂模式 E 以規模 6.6 之權重最高；破裂模式 F 以規模 7.0 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 7-3.3 為 6 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。

將 6 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 7-3.4（a）之獅潭—屯子腳斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 7-3.4（b）之獅潭—屯子腳斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

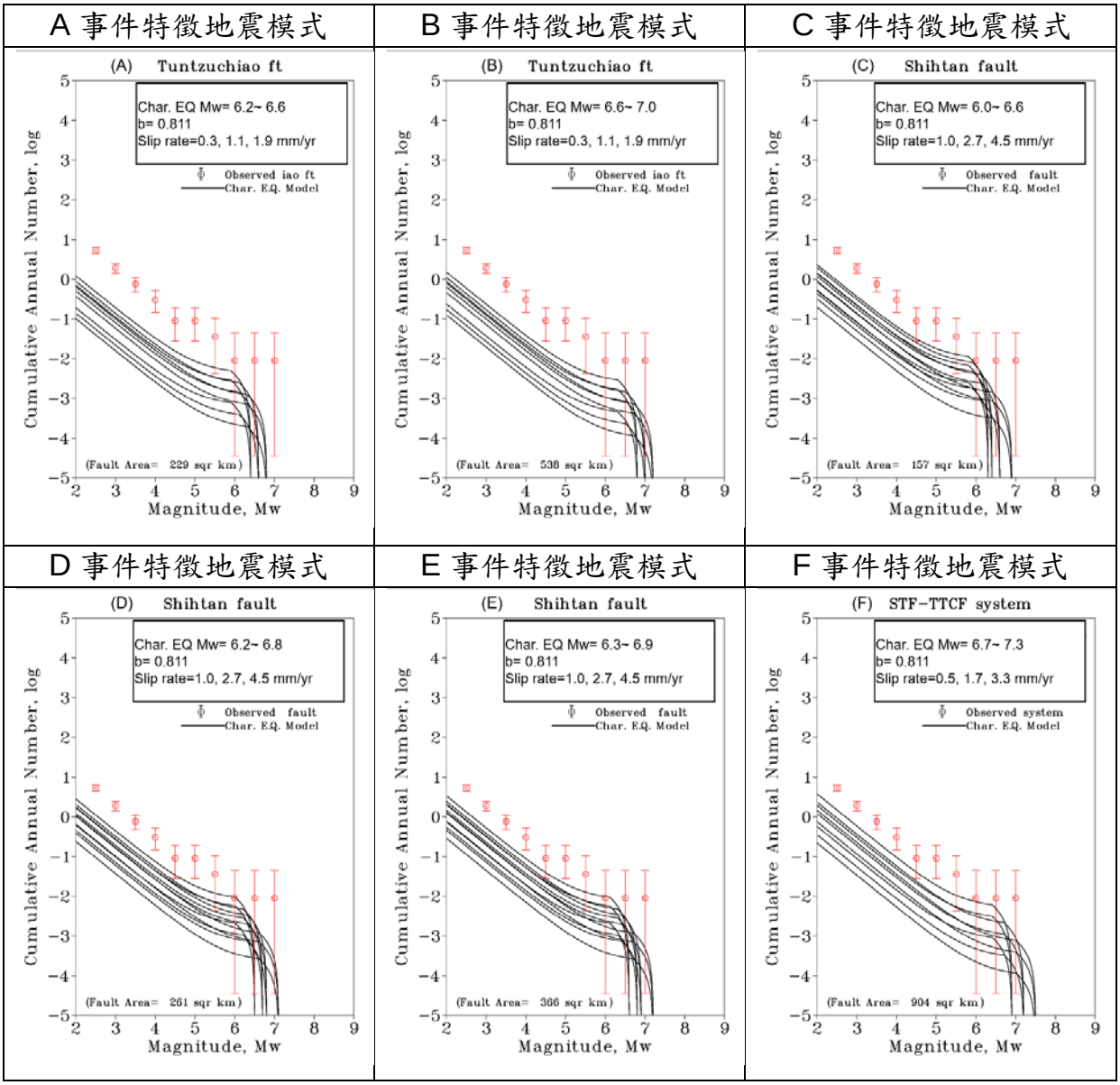


圖 7-3.1：獅潭-屯子腳斷層系統各破裂事件特徵地震模式。

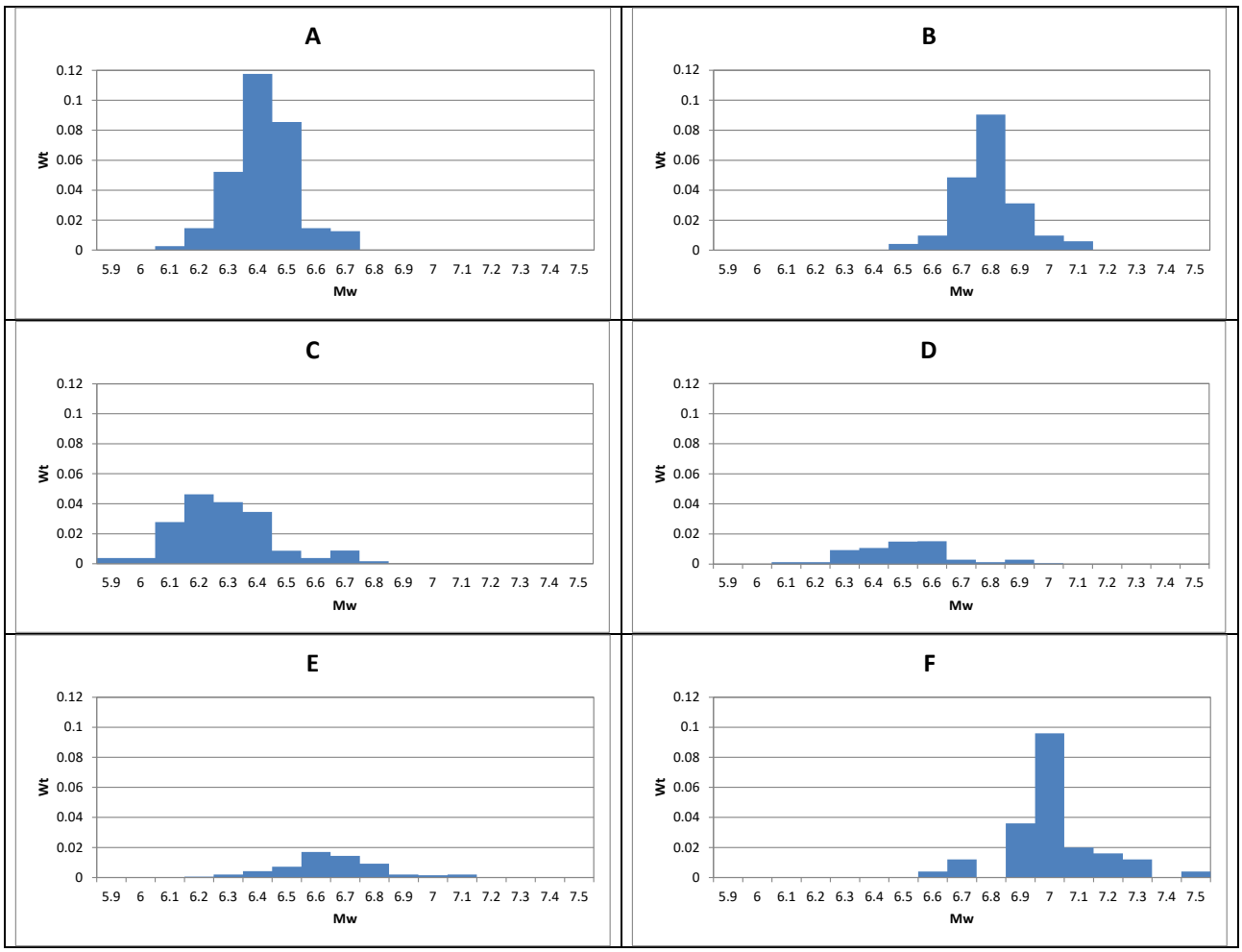


圖 7-3.2：獅潭—屯子腳斷層系統 6 種破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

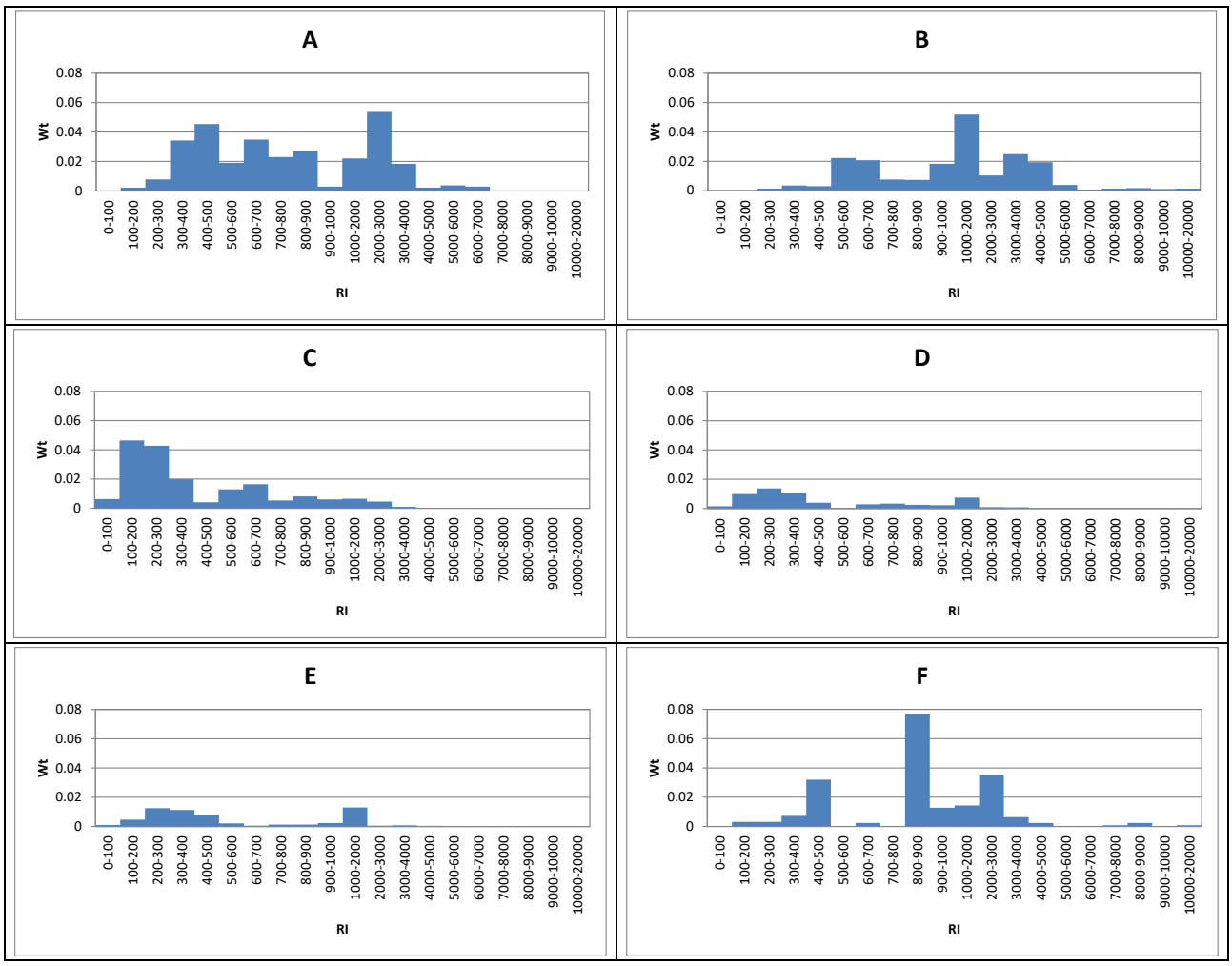
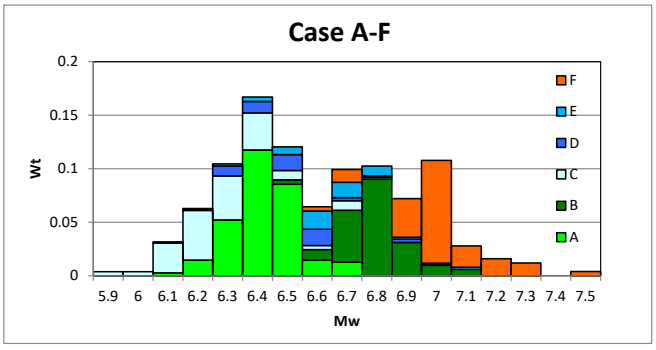


圖 7-3.3：獅潭-屯子腳斷層系統 6 種破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間區間之權重總和。

（a）



（b）

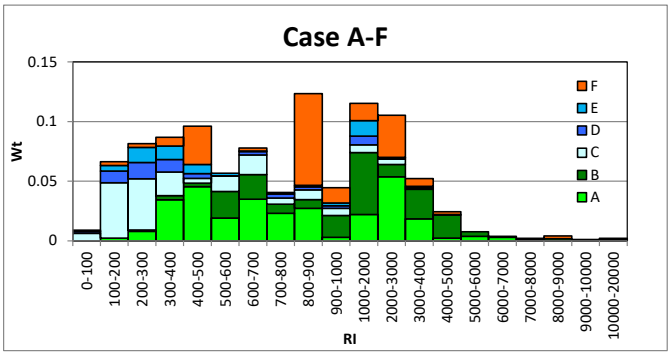


圖 7-3.4：（a）獅潭—屯子腳斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）獅潭—屯子腳斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

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 模式估算獅潭─屯子腳斷層系統未來 30、50 及 100 年的發生機率，獅潭─屯子腳斷層系統最後一次發生時間為西元 1935 年，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

本章主要評估獅潭斷層發生機率，因此移除屯子腳斷層破裂模式之發生機率，表 7-4.1 為獅潭評估之結果，以西元 2020 年為基準，採用 BPT 模式得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 5.9~7.5 之機率為 2.9％、4.8％及 9.1％；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 0.4％、0.8％及 2.1％。另以 POISSON 模式計算之結果也列於表 7-4.1 中以供比較。

表 7-4.1：獅潭斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	Poisson	BPT	Poisson	BPT	Poisson
5.9~7.5	2.9%	3.8%	4.8%	6.1%	9.1%	10.9%
M ≧6.5	0.4%	1.5%	0.8%	2.4%	2.1%	4.5%

第八章、三義斷層潛勢評估

8-1 三義斷層參數彙整

三義斷層各項參數詳細內容詳附錄 6,三義斷層幾何參考資料及參數如表 8-1.1 所示，三義斷層長期滑移速率參考地形崖及階地年代推估，斷層面長期滑移速率約為 0.4~3.1 mm/yr。

參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，三義斷層平均滑移虧損速率下界為 1.9 mm/yr，上界為 6.5 mm/yr，平均值為 4.2 mm/yr，如表 8-1.2 所示。

彙整前人對於三義斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 8-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 8-1.1：三義斷層幾何面各調查方法及斷層參數

作者	方法	傾角	深度
邱華燈，1962	震測剖面	約 20 度	
Lin et al., 1989	震波資料逆推地下速度構造		9 公里
Hung and Wiltschko, 1993	中油鑽井、大範圍反射震測資料、平衡剖面	約 20 度，沿東坑層底部逆衝	4.5~9 公里
洪智賢，2001	淺層反射震測法	傾角約在 20~25 度之間	
陳太山與蘇福欽，2002	深部震測剖面	逆衝的角度從很緩變成接近 45 度角	
Yu et al., 2005	地質剖面及微震投影	$\alpha\alpha'$ 剖面約 25 度 $\beta\beta'$ 剖面約 30 度 $\omega\omega'$ 剖面約 15 度	滑脫面約 10 公里
Yang et al., 2007	震測及平衡剖面	約為 15 度	5 公里以上
李奕亨，2009	淺層震測剖面	傾角約在 20~25 度	

表 8-1.2：三義斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速（mm/yr）	
三義斷層	上界	6.5	9.0	4.0	6.5
	平均	3.9 ± 2.6	5.7 ± 3.3	3.0 ± 1.0	4.2
	下界	1.3	2.4	2.0	1.9

表 8-1.3：三義斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
三義斷層	斷層分段與破裂事件	A 三義斷層大安溪以北段 B 三義斷層與車籠埔斷層不重疊段 C 三義斷層與車籠埔斷層重疊段 D 整段		遙測影像判釋、地形、地下構造	丹桂之助，1936； 張麗旭，1951； Meng, 1963； 林啟文等人，2008； Chen et al., 2007
	長度（km）	A：18 km　B：21 km C：23 km　D：44 km			
	寬度（km）	車籠埔斷層以北	23.7	Case 1 深度 0-10 km,傾角 25°	本計畫幾何模型
			38.6	Case 2 深度 0-10 km,傾角 15°	
		車籠埔斷層以南	18.9	Case 3 深度 0-8 km,傾角 25°	
			13.9	Case 4 深度 0-8 km,傾角 35°	
			13.2	Case 5 深度 0-8.5 km, 傾角 40°	
	破裂深度（km）	9 km		震波資料逆推地下速度構造	Lin et al., 1989
		4.5~9 km		中油鑽井、大範圍反射震測資料、平衡剖面	Hung and Wiltschko, 1993
		滑脫面約 10 公里		地質剖面及微震投影	Yu et al., 2005
		5 公里以上		震測及平衡剖面	Yang et al., 2007
	面積（km^2）	A：695		長度×寬度(Case 2)	本計畫幾何模型
		B：811		長度×寬度(Case 2)	
		C：321		長度×寬度(Case 4)	
		D：1132		長度×寬度(Case 2, Case 4)	
	走向	北段延伸段：東西走向 主斷層段+南段延伸段：南北走向		地形、遙測影像判釋	丹桂之助，1936； 張麗旭，1951； Meng, 1963； 林啟文等人，2008； Chen et al., 2007
	傾斜角度（度）	約 20 度		震測剖面	邱華燈，1962
		約 20 度，沿東坑層底部逆衝		中油鑽井、大範圍反射震測資料、平衡剖面	Hung and Wiltschko, 1993
		傾角約在 20~25 度之間		淺層反射震測法	洪智賢，2001

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
		逆衝的角度從很緩變成接近 45 度	深部震測剖面	陳太山與蘇福欽，2002
		$\alpha\alpha'$ 剖面約 25 度, $\beta\beta'$ 剖面約 30 度 $\omega\omega'$ 剖面約 15 度	地質剖面及微震投影	Yu et al., 2005
		約為 15 度	震測及平衡剖面	Yang et al., 2007
		傾角約在 20~25 度	淺層震測剖面	李奕亨，2009
	斷層機制	逆移斷層	地質調查	丹桂之助，1936；大塚彌之助，1936；張麗旭，1951
	長期滑移速率（mm/yr）	0.4~3.1 mm/yr	野外地形崖及上盤紅土階地年代推估（地形崖高差 80 公尺，紅土階地年代約 10~50 萬年，以斷層面 15~25 度換算至斷層面長期滑移速率）	TEM, 2014
	滑移虧損率（slip deficit rate）（mm/yr）	上界6.5 平均4.2 下界1.9	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量（m）	A：1.45　B：1.45 C：1.19　D：1.66	log D= 0.29Mw-1.84 σ=0.42 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模（Mw）	A：6.9　B：6.9 C：6.6　D：7.1	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		A：6.8　B：6.9 C：6.5　D：7.1	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發隔間（年）	A: 700-800 B: 900-1000 C: 500-600 D: 900-1000	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	最近一次活動時間	推測於全新世曾經活動	航照判釋、野外地質調查	Tang，1969； 李錦發，1994； 劉彥求與李奕亨，2006； 林啟文等，2008

8-2 邏輯樹更新

本計畫針對三義斷層邏輯樹更新，詳述如下：

三義斷層分段破裂模式修改如圖 8-2.1，共分為四種破裂模式。A：三義斷層於大安溪以北，斷層下方因出磺坑背斜通過，斷層幾何上形成階梯狀，使得其獨立破裂不易，此處也是三義斷層與屯子腳斷層交會之處，建議分段點設於此，權重較低，設為 0.2；B：三義斷層與車籠埔斷層不重疊之處，較易獨自累積能量並傳導至北段，權重較高，設為 0.5；C：三義斷層與車籠埔斷層重疊部分，其能量易被車籠埔斷層瓜分，因此降低其權重，設為 0.2；D：三義斷層整段破裂，可能性低於以上三種模式，權重設為 0.1。

三義斷層之傾角及破裂深度，本計畫考慮車籠埔斷層以北三義斷層的傾角有參考 Case 1：Yang et al. (2007)平衡剖面之 15 度及 Case 2：Hung and Wiltschko (1993)地質剖面之 25 度兩種情形，破裂深度皆為 10 公里，因 Yang et al. (2007)之剖面有參考震測，本計畫給予較高之權重 0.6，而 Hung and Wiltschko (1993)地質剖面之 25 度權重為 0.4，如圖 8-2.2 所示。車籠埔斷層與三義斷層平行之處，本計畫考慮此段三義斷層的幾何面平行於車籠埔斷層。參考圖 8-2.3 之剖面設定三義斷層三種情形之傾角與車籠埔斷層一致，分別為 Case 3：25 度(權重 0.2)，Case 4：35 度(權重 0.5)及 Case 5：40 度(權重 0.3)，破裂深度則止於基底滑脫面。

三義斷層長期滑移速率可從野外地形崖及階地年代推估，利用地形崖高度除以上盤之紅土化階地年代，得到抬升速率介於 0.2~0.8 mm/yr，以斷層面傾角 15~25 度換算，則斷層面長期滑移速率約為 0.4~3.1 mm/yr。取 0.4 mm/yr 為邏輯樹下界，權重(0.2)，3.1 mm/yr 為邏輯樹上界，權重(0.2)，邏輯樹中值為(0.4+3.1)/2=1.8 mm/yr，權重(0.6)。

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 8-2.1 所示為三義斷層各破裂事件地震矩規模。

三義斷層各節點權重的分配詳如圖 8-2.4 所示。

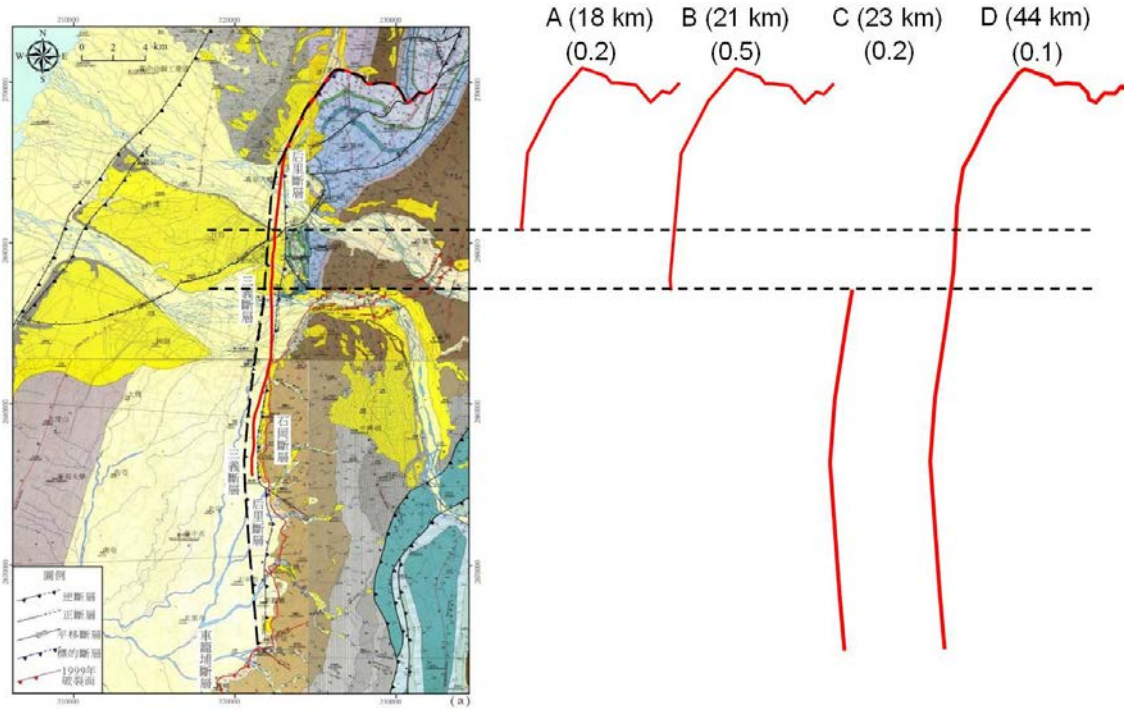


圖 8-2.1：本計畫修改三義斷層之分段及破裂模式

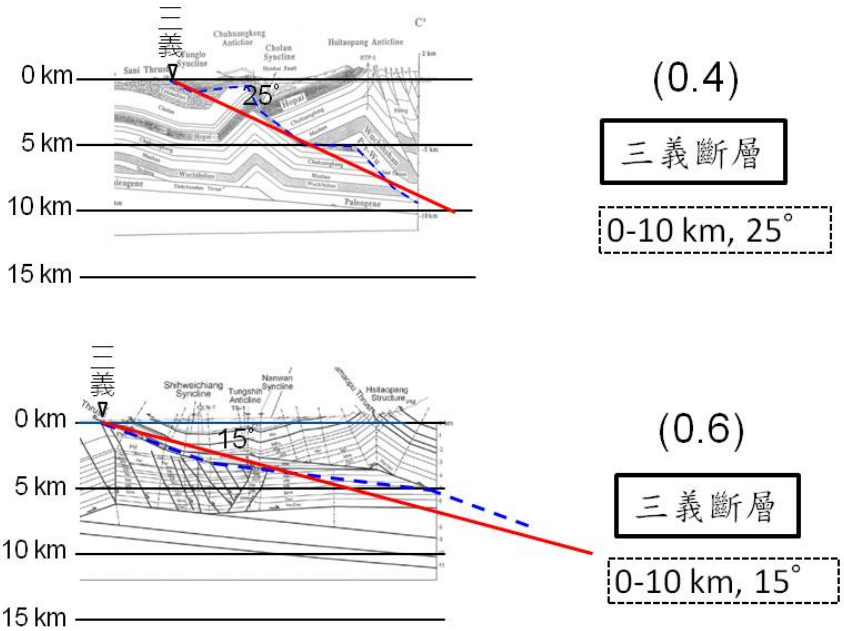


圖 8-2.2：本計畫三義斷層(車籠埔斷層以北)幾何形貌設定。藍線為三義斷層於地質剖面中之形貌，紅線為本計畫設定之幾何形貌

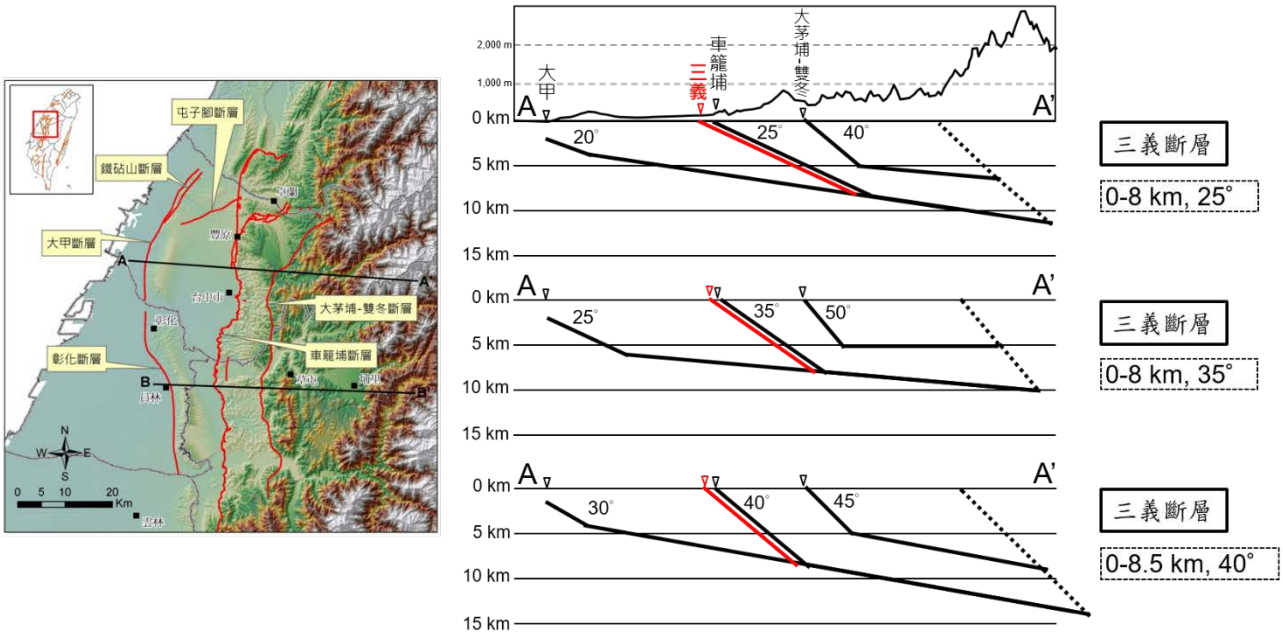


圖 8-2.3：本計畫三義斷層(車籠埔斷層以南)幾何形貌設定。

表 8-2.1：三義斷層各破裂事件規模及權重

破裂事件	長度 (km)	斷層幾何		寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式)(Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式)(Mw)
		車籠埔斷層以北	車籠埔斷層以南			-σ	中值	+σ	
A	18	深度 0-10 km, 傾角 25°	-	23.7	426	6.4	6.7	7.0	6.6
		深度 0-10 km, 傾角 15°	-	38.6	695	6.6	6.9	7.2	6.8
B	21	深度 0-10 km, 傾角 25°	-	23.7	497	6.5	6.8	7.1	6.7
		深度 0-10 km, 傾角 15°	-	38.6	811	6.6	6.9	7.2	6.9
C	23	-	深度 0-8 km, 傾角 25°	18.9	435	6.4	6.7	7.0	6.6
		-	深度 0-8 km, 傾角 35°	13.9	321	6.3	6.6	6.9	6.5
		-	深度 0-8.5 km, 傾角 40°	13.2	304	6.3	6.6	6.9	6.5
D	44	上界值		-	1247	6.8	7.1	7.4	7.1
		深度 0-10 km, 傾角 15°	深度 0-8 km, 傾角 25°						
		下界值		-	801	6.6	6.9	7.2	6.9
		深度 0-10 km, 傾角 25°	深度 0-8.5 km, 傾角 40°						

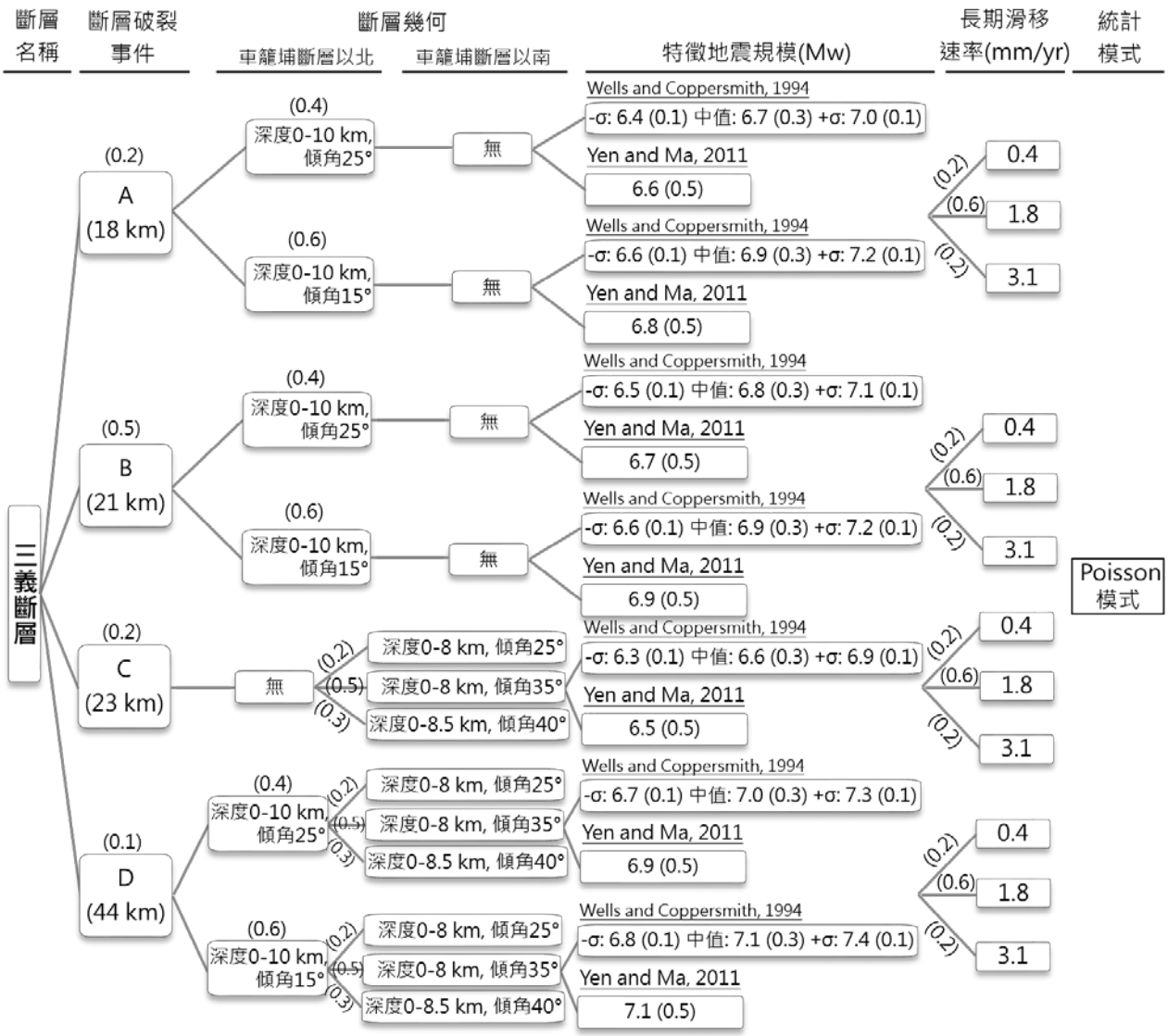


圖 8-2.4：三義斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。

8-3 規模與年發生率之關係

三義斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 8-3.1 為 4 個破裂事件取表 8-2.1 值之特徵地震模式分布情形。

圖 8-2.4 之三義斷層邏輯樹可得到 156 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 8-3.2 為 4 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.9 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.0 之權重最高；破裂模式 C 以規模 6.6 之權重最高；破裂模式 D 以規模 7.1 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 8-3.3 為 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。

將四種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 8-3.4（a）之三義斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 8-3.4（b）之三義斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

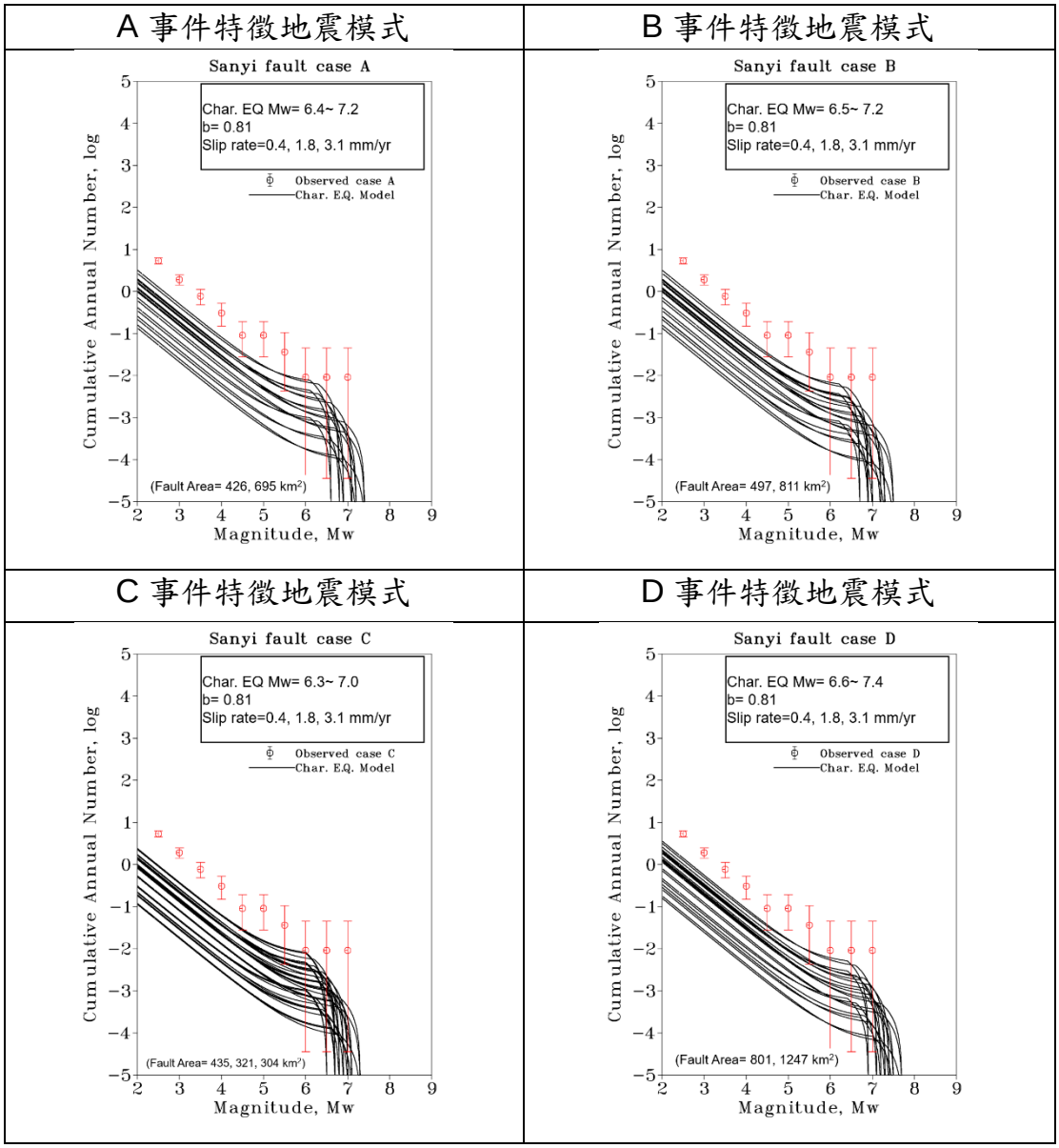


圖 8-3.1：三義斷層各破裂事件特徵地震模式。

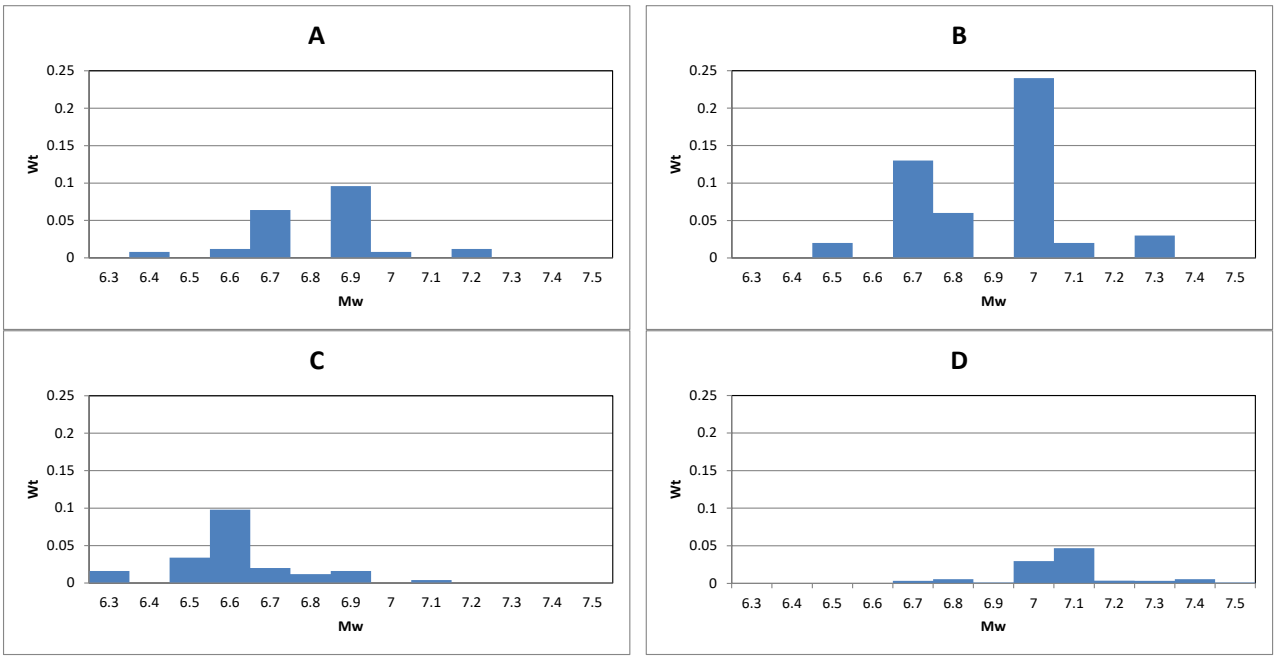


圖 8-3.2：三義斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

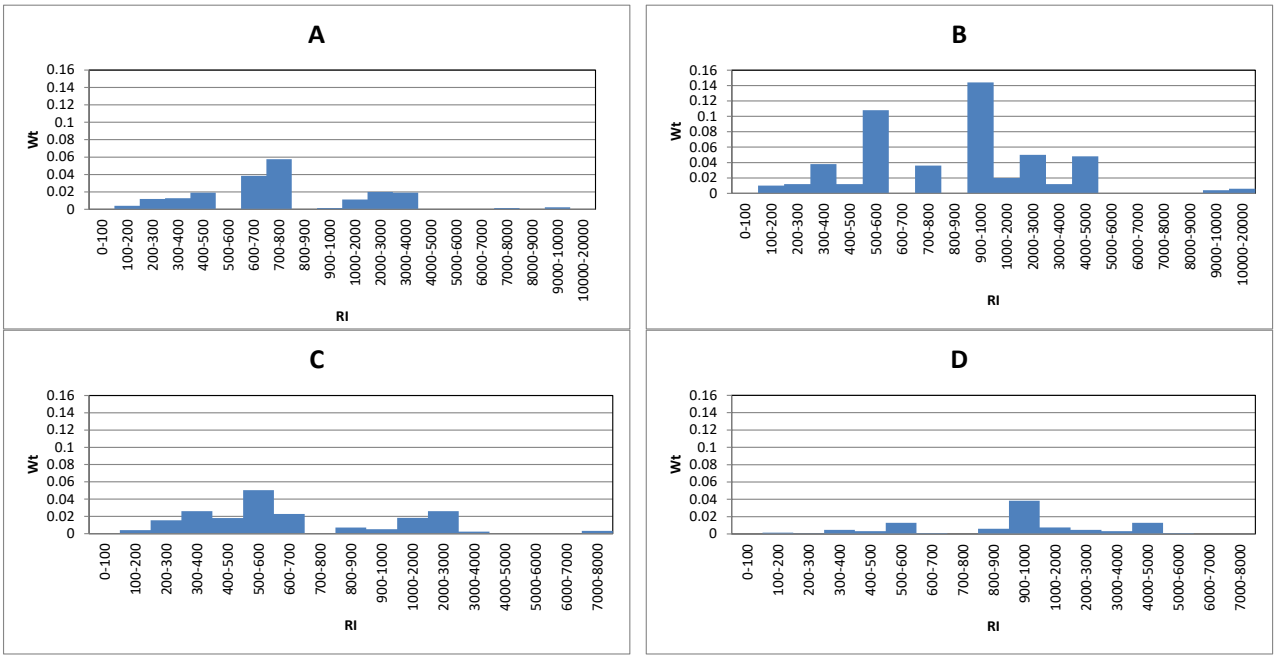
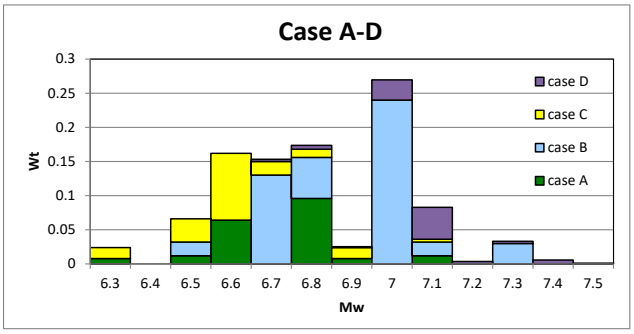


圖 8-3.3：三義斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和

（a）



（b）

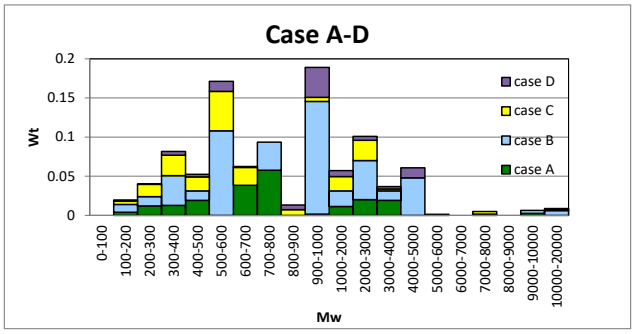


圖 8-3.4：（a）三義斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）三義斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

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 模式估算三義斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，三義斷層最後一次發生時間為未知，因此本計畫採用 Poisson 模式進行評估。

表 8-4.1 為三義斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2020 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.3~7.5 之機率為 4.4%、7.1%及 13.5%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 4.1%、6.6%及 12.6%。

表 8-4.1：三義斷層發生機率評估。

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.3 ≦ M ≦7.5	4.4%	7.1%	13.5%
M ≧ 6.5	4.1%	6.6%	12.6%

第九章、大甲斷層潛勢評估

9-1 大甲斷層參數彙整

大甲斷層各項參數詳細內容詳附錄 7,大甲斷層幾何參考資料及參數如表 9-1.1 所示，大甲斷層長期滑移速率根據上下盤鑽井資料得到斷層上盤抬升速率約 0.4-2.6 mm/yr，下盤沉降速率約為 1.3-2.9 mm/yr，因此大甲斷層的垂直滑移速率為 1.7-5.5 mm/yr（陳文山等，2008）。

參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，大甲斷層平均滑移虧損速率下界為 1.6 mm/yr，上界為 3.3 mm/yr，平均值為 2.4 mm/yr，如表 9-1.2 所示。

彙整前人對於大甲斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 9-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 9-1.1：大甲斷層傾角及深度資料與文獻列表

作者	方法	傾角	深度
董倫道等，2006	大安溪南岸震測資料	45 度向東	
Yue et al., 2005	后里台地平衡剖面	后里斷層傾角 9 度向東	基底滑脫面約 10 公里

表 9-1.2：大甲斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
大甲斷層	上界	4.6	2.9	2.5	3.3
	平均	4.3 ± 0.3	1.3 ± 1.6	1.7 ± 0.8	2.4
	下界	4.0	0.0	0.9	1.6

表 9-1.3：大甲斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
大甲斷層	斷層分段與破裂事件	大甲斷層	地形	林啟文等, 2008；Shyu et al., 2005
	長度（km）	30		
	寬度（km）	32.9	Case 1：深度 2~4 公里，20E，深度 4~8 公里，8.5E	本計畫幾何模型
		32.4	Case 2：深度 2~6 公里，25E，深度 6~8 公里，5E；	
		28.0	Case 3：深度 2~4.5 公里，30E，深度 4.5~8.5 公里，10E	
	深度（km）	基底滑脫面約 10 公里	平衡剖面	Yue et al., 2005
	面積（km^2）	972	長度×寬度(Case 2)	本計畫幾何模型
	走向	北北東走向	地形、遙測影像判釋	林啟文等, 2008；Shyu et al., 2005
	傾斜角度	45 度向東	震測資料	董倫道等，2006
		9 度向東	后里台地平衡剖面	Yue et al., 2005
	斷層機制	逆移斷層	地質調查	Chang, 1971；楊貴三，1986
	長期滑移速率（mm/yr）	垂直滑移速率 1.7-5.5	大肚台地鑽井資料	陳文山等，2008
	滑移虧損率（slip deficit rate）（mmyr）	上界 3.3 平均 2.4 下界 1.6	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量（m）	1.55	log D= 0.29Mw-1.84 σ=0.42	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模（MW）	7.0	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		7.0	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔（年）	A: 100-200	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	西元 1848 年 (?)	歷史紀錄	Tsai, 1985

9-2 邏輯樹更新

大甲斷層屬於大甲(鐵砧山)-彰化斷層系統，系統之分段破裂模式無修改，同圖 9-2.1。專家學者們認為大甲、彰化斷層有同時破裂的可能性，必須整體考慮為大甲-彰化斷層系統。彰化斷層向南延伸段有兩種看法，一為與桐樹湖斷層相連，終止於古坑斷層；二為連接至竹山段。

大甲(鐵砧山)-彰化斷層系統分段可分為大甲斷層(模式 A)、彰化斷層(模式 B、C、D)、系統破裂(模式 E、F、G)，大甲斷層與彰化斷層破裂權重相等，各為 0.4；系統破裂可能性低於各斷層破裂，權重 0.2。七種破裂模式中，A 為大甲斷層破裂，B 為彰化斷層破裂，C 為彰化+竹山段破裂，D 為彰化+桐樹湖斷層破裂，E 為大甲+彰化斷層破裂，F 為大甲+彰化+竹山段破裂，G 為大甲+彰化+桐樹湖斷層破裂(圖 9-2.1)。南段破裂又可區分破裂事件終止於彰化斷層(模式 B，權重 0.6)，或繼續向南延伸(模式 C、D)，破裂事件延伸至桐樹湖斷層或竹山段權重相等，各為 0.2。整段破裂權重分配原則同上。

大甲(鐵砧山)-彰化斷層之傾角及破裂深度，根據幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 Case 1：大甲「深度 2~4 公里，20E，深度 4~8 公里，8.5E」；彰化「深度 2~6 公里，20E，深度 6~8 公里，8.5E」，權重 0.2。Case 2：大甲「深度 2~6 公里，25E，深度 6~8 公里，5E」；彰化「深度 2~7.5 公里，25E，深度 7.5~8 公里，5E」，權重 0.5。Case 3：大甲「深度 2~4.5 公里，30E，深度 4.5~8.5 公里，10E」；彰化「深度 2~7 公里，30E，深度 7~8.5 公里，10E」，權重 0.3，詳圖 9-2.3 所示。

大甲(鐵砧山)-彰化斷層之滑移速率相關參數及文獻詳如表 9-2.1 所示。大甲斷層的垂直滑移速率為 1.7-5.5 mm/yr，以傾角 20 度(Case 1)，25 度(Case 2)，30 度(Case 3)換算至斷層面上，得到淨滑移速率詳如表 9-2.2 所示，最小為 3.4 mm/yr，最大為 16.1 mm/yr，本計畫以 3.4 mm/yr 及 16.1 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 (3.4+16.1)/2=9.8 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重分配為常態分布：3.4 mm/yr (0.2)，9.8 mm/yr (0.6)，16.1 mm/yr (0.2)。

彰化斷層由階地定年推估所得到的縮短速率慢者 3.8 mm/yr，快者達 22.8 mm/yr，將 3.8 mm/yr 及 22.8 mm/yr 以傾角 20 度(Case 1)，25 度(Case 2)，30 度(Case 3)換算至斷層面上，得到淨滑移速率詳如表 9-2.3 所示，最小為 4.0 mm/yr，最大為 26.3 mm/yr，本計畫以 4.0 mm/yr 及 26.3 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 15.2 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重分配為常態分布：4.0 mm/yr (0.2)，15.2 mm/yr (0.6)，26.3 mm/yr (0.2)。

大甲-彰化斷層系統破裂長期滑移速率則根據能量累計公式計算，如下式：

$$\mu \cdot A_{(系統破裂)} \cdot v_{(系統破裂)} = \mu \cdot A_{大甲} \cdot v_{大甲} + \mu \cdot A_{彰化} \cdot v_{彰化}$$

上式中 A 為面積，移項得到

$$v_{(系統破裂)} = \frac{\mu \cdot A_{大甲} \cdot v_{大甲} + \mu \cdot A_{彰化} \cdot v_{彰化}}{\mu \cdot A_{(系統破裂)}}$$

計算 v(系統破裂)下界為 3.6 mm/yr；v(系統破裂)上界為 20.3 mm/yr；v(系統破裂)中值為 12.0 mm/yr，如表 9-2.4 所示。邏輯樹權重為常態分布：3.6 mm/yr (0.2)、12.0 mm/yr (0.6)、20.3 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 9-2.5 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

大甲(鐵砧山)-彰化斷層系統各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 9-2.4 所示。

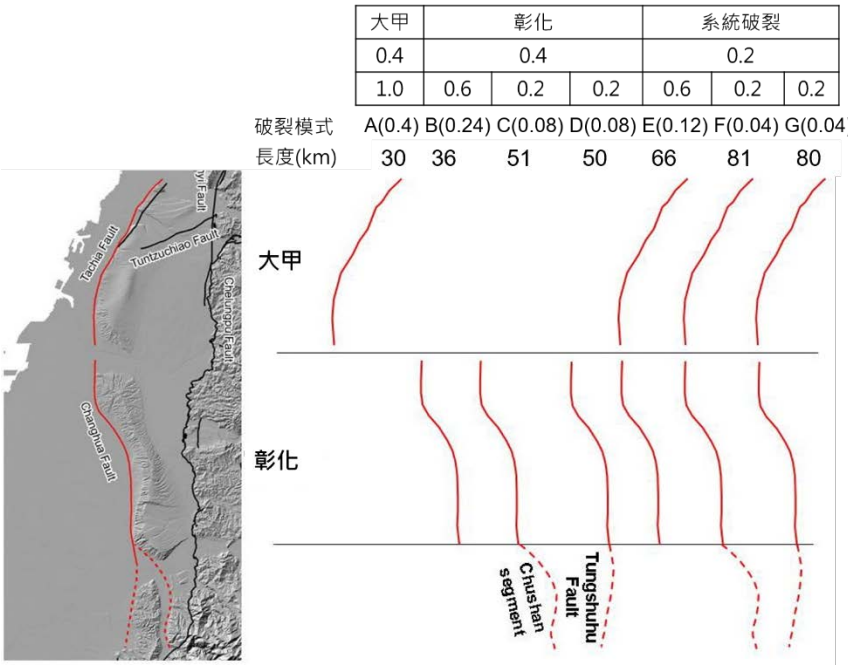


圖 9-2.1：大甲-彰化斷層系統之破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。

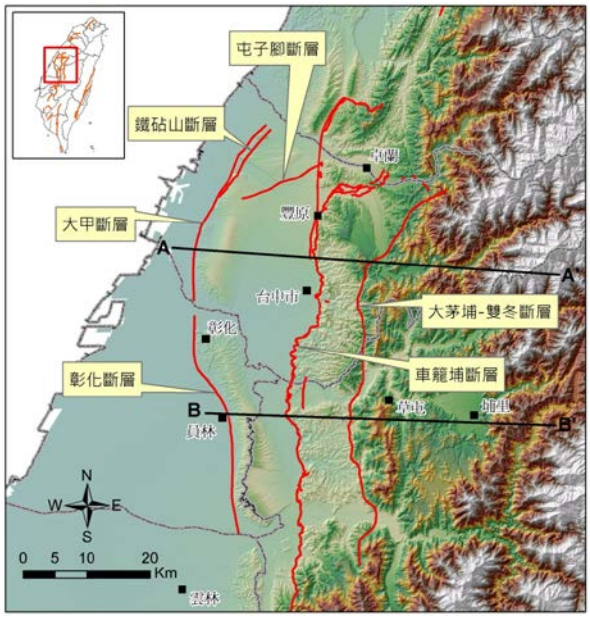


圖 9-2.2：中部活動斷層分布圖。

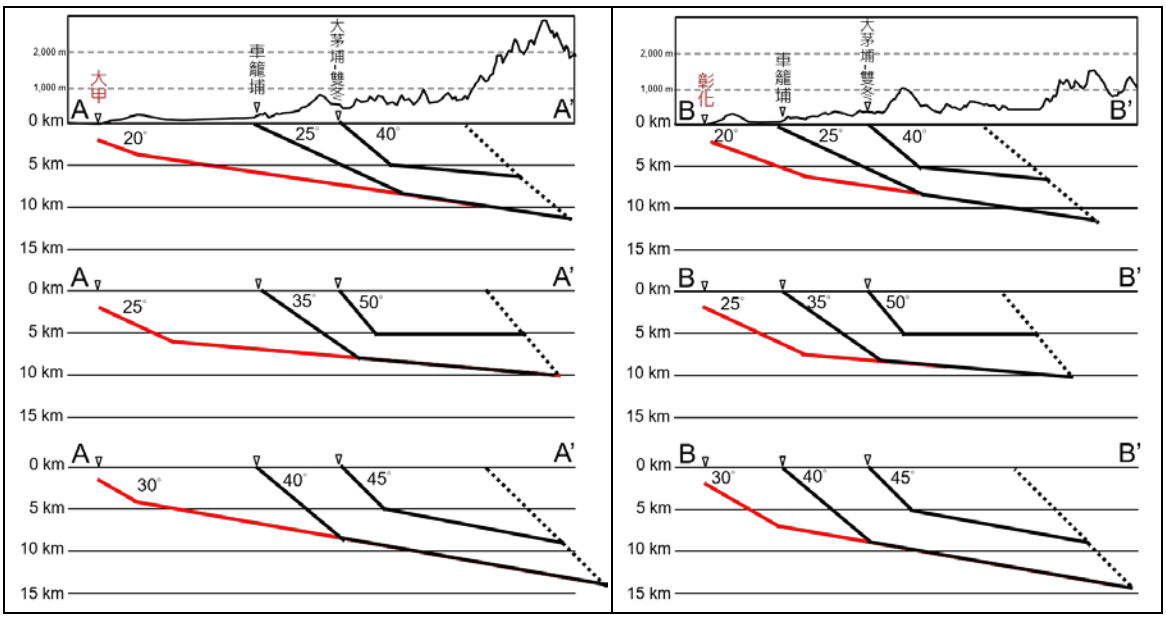


圖 9-2.3：本計畫大甲斷層、彰化斷層、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層三種幾何關係示意圖。AA'及 BB'剖面位置如圖 9-2.2 所示。

表 9-2.1：大甲-彰化斷層長期滑移速率相關文獻

參考文獻	位置	方法	滑移速率(mm/yr)
陳文山等，2008	大甲	大肚台地鑽井資料	垂直滑移速率 1.7~5.5
Simoes et al., 2007	彰化	階地定年與 fault-tip folding model	縮短速率 16.3±4.1
陳文山等，2008		八卦台地鑽井資料	垂直滑移速率 4.3-6.3
Yue et al., 2011		CS-2，縮短量 649±113 公尺，年代 31±0.3 ka	縮短速率 21.0±3.8
Siame et al., 2012		PK-1，縮短量 1517±393 公尺，年代 399±50 ka	縮短速率 3.8±1.1
		PK-2，縮短量 1444±374 公尺，年代 350±40 ka	縮短速率 4.1±1.2
		PK-3，縮短量 1257±325 公尺，年代 322±25 ka	縮短速率 3.9±1.1
		PK-4，縮短量 821±213 公尺，年代 200±20 ka	縮短速率 4.1±1.1
		PK-5，縮短量 678±176 公尺，年代 105±19 ka	縮短速率 6.5±2.0
		PK-6，縮短量 627±162 公尺，年代 28±4 ka	縮短速率 22.8±6.6

表 9-2.2：大甲斷層長期滑移速率計算，淨滑移速率=[垂直滑移速率/sin(傾角)]

垂直滑移速率 (mm/yr)	斷層傾角 (度)	淨滑移速率 (mm/yr)
1.7	20	5.0
	25	4.0
	30	3.4
5.5	20	16.1
	25	13.0
	30	11.0

表 9-2.3：彰化斷層長期滑移速率計算，淨滑移速率=[縮短速率/cos(傾角)]

縮短速率 (mm/yr)	斷層傾角 (度)	淨滑移速率 (mm/yr)
3.8	20	4.0
	25	4.2
	30	4.4
22.8	20	24.3
	25	25.2
	30	26.3

表 9-2.4：大甲-彰化斷層系統長期滑移速率計算

	大甲 A (Km^2)	大甲 V (mm/yr)	彰化 A (Km^2)	彰化 V (mm/yr)	系統破裂 V (mm/yr)
下界	972	3.4	677	4.0	3.6
中值	972	9.8	677	15.2	12.0
上界	972	16.1	677	26.3	20.3

表 9-2.5：大甲-彰化斷層系統之中值各破裂事件規模及權重

	破裂事件	長度(km)	斷層幾何	寬度(km)	面積(km^2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式)(Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式)(Mw)
						-σ	中值	+σ	
大甲	A	30	深度 2-6 km, 25° 深度 6-8 km, 5°	32.4	972	6.7	7.0	7.3	7.0
彰化	B	36	深度 2-7.5 km, 25° 深度 7.5-8 km, 5°	18.8	677	6.6	6.9	7.2	6.8
	C	51			959	6.7	7.0	7.3	7.0
	D	50			940	6.7	7.0	7.3	7.0
系統破裂	E	66	大甲： 深度 2-6 km, 25° 深度 6-8 km, 5° 彰化： 深度 2-7.5 km, 25° 深度 7.5-8 km, 5°	大甲 32.4 彰化 18.8	1649	6.9	7.2	7.5	7.3
	F	81			1931	7.0	7.3	7.6	7.4
	G	80			1912	7.0	7.3	7.6	7.3

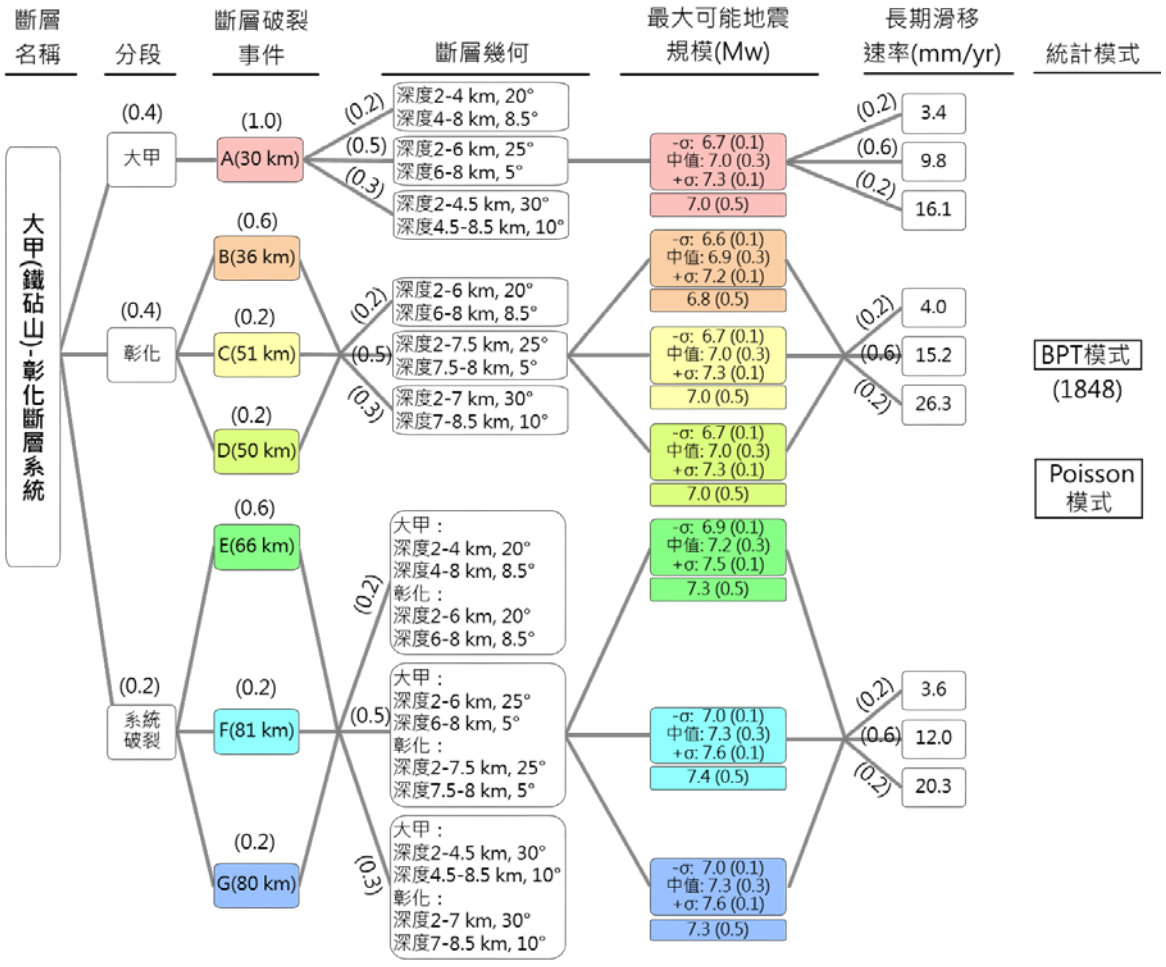


圖 9-2.4：大甲(鐵砧山)-彰化斷層系統更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。

9-3 規模與年發生率之關係

大甲-彰化斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 9-3.1~圖 9-3.7 為 7 個破裂事件取表 9-2.5 之特徵地震模式分布情形。

圖 9-2.4 之大甲—彰化斷層邏輯樹可得到 252 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 9-3.8 為 7 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 7.0 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 7.0 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 7.3 之權重最高；破裂模式 F 以規模 7.4 之權重最高；破裂模式 G 以規模 7.4 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 9-3.9 為 7 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖，7 種破裂模式在地震復發間隔時間 0 年~200 年間有較高之權重。

將七種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 9-3.10（a）之大甲—彰化斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 9-3.10（b）之大甲—彰化斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

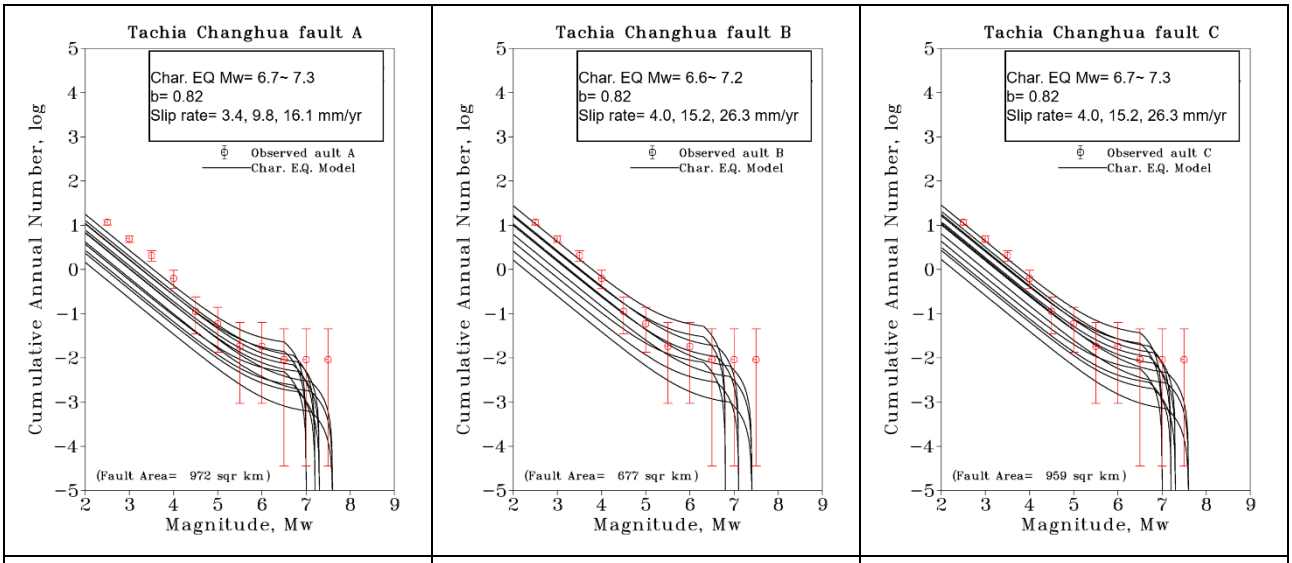


圖 9-3.1：A 事件特徵地震模式。

圖 9-3.2：B 事件特徵地震模式。

圖 9-3.3：C 事件特徵地震模式。

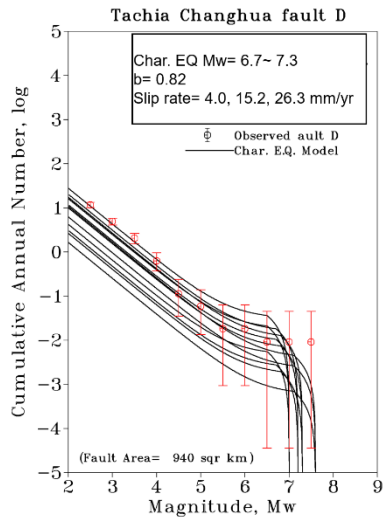


圖 9-3.4：D 事件特徵地震模式。

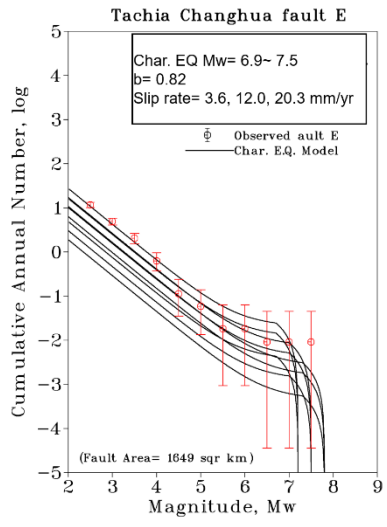


圖 9-3.5：E 事件特徵地震模式。

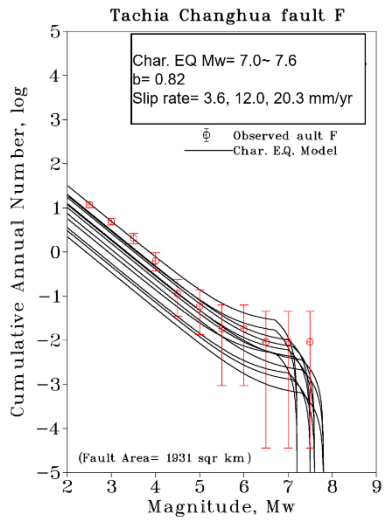


圖 9-3.6：F 事件特徵地震模式。

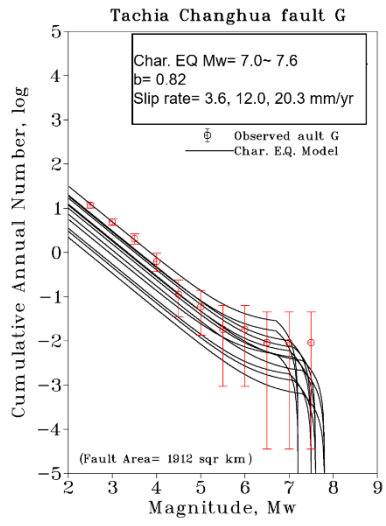


圖 9-3.7：G 事件特徵地震模式。

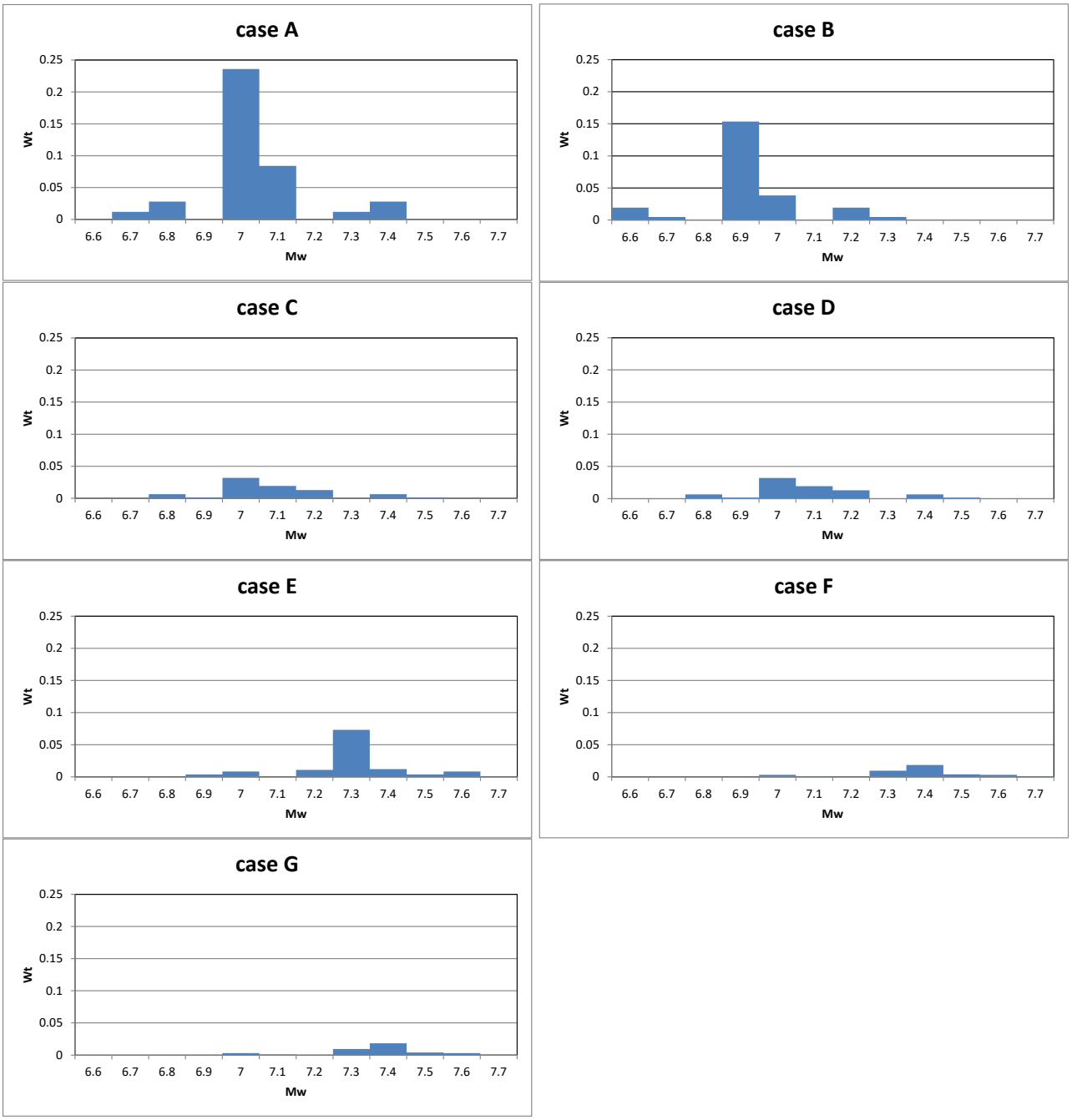


圖 9-3.8：大甲—彰化斷層系統 7 種破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

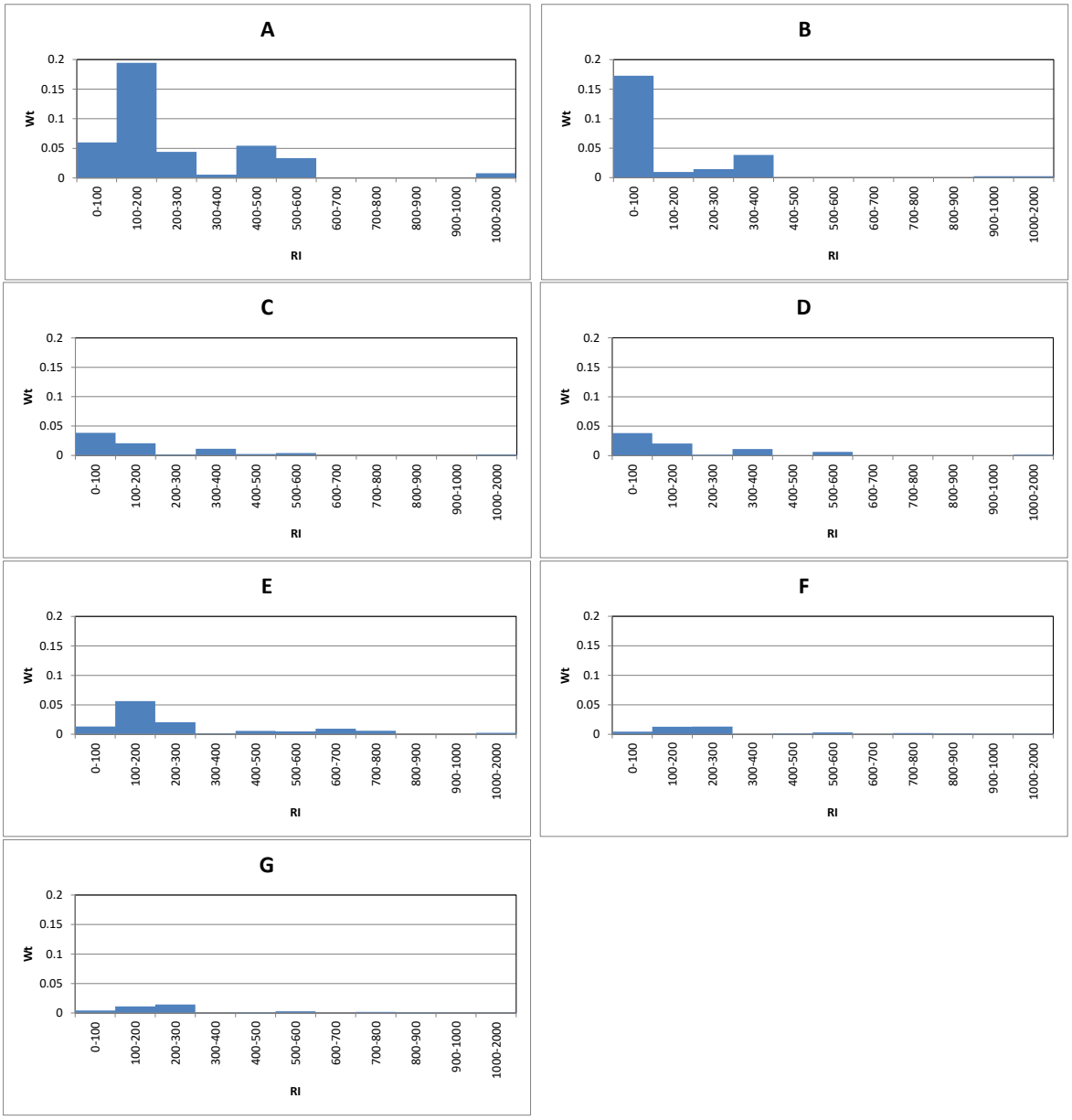


圖 9-3.9：大甲—彰化斷層系統 7 種破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，其餘以此類推，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間區間之權重總和。

（a）　　（b）

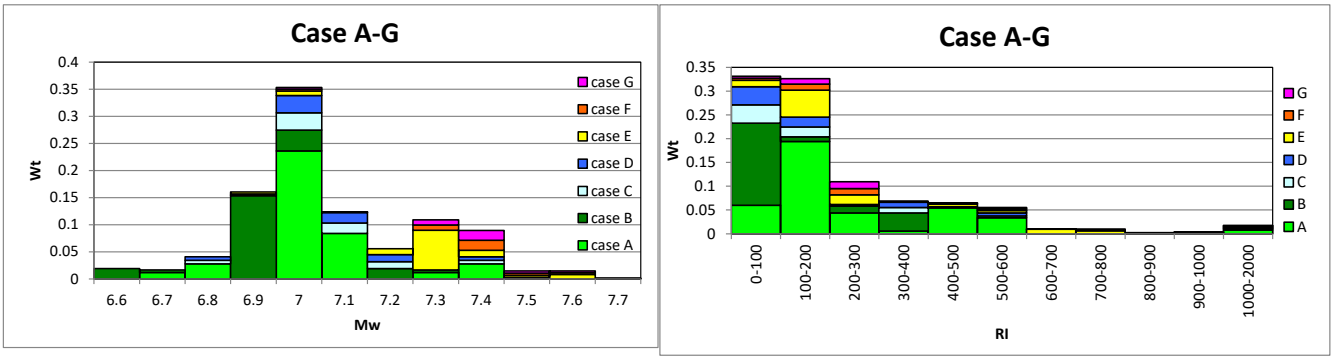


圖 9-3.10：（a）大甲-彰化斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）大甲-彰化斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

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

本章主要評估大甲斷層發生機率，因此移除彰化斷層破裂模式之發生機率，表 9-4.1 為大甲斷層 BPT 模式評估之結果，以西元 2020 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.7~7.7 之機率為 16.7%、24.0%及 35.7%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.0 以上之機率為 14.1%、20.8%及 31.7%。另以 POISSON 模式計算之結果也列於表 9-4.1 中以供比較。

表 9-4.1：大甲斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POI	BPT	POI	BPT	POI
6.7 ~ 7.7	16.7%	10.0%	24.0%	15.4%	35.7%	25.7%
M ≧ 7.0	14.1%	8.5%	20.8%	13.2%	31.7%	22.5%

第十章、鐵砧山斷層潛勢評估

10-1 鐵砧山斷層參數彙整

鐵砧山斷層各項參數詳細內容詳附錄 8，鐵砧山斷層幾何參考資料及參數如表 10-1.1 所示，鐵砧山斷層長期滑移速率未有資料。

彙整前人對於鐵砧山的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 10-1.2 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 10-1.1：鐵砧山斷層傾角資料與文獻列表

作者	方法	傾角	深度
李元希與石瑞銓，2008	鐵砧山野外露頭	20-30 度向西	-
Chen, 1990	地電阻	35 度向西	-
黃旭燦等，2004	平衡剖面	-	區域滑脫面深度 6 公里

表 10-1.2：鐵砧山斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
鐵砧山斷層	斷層分段與破裂事件	整段	地形、航照判釋	林朝棨，1957；沈淑敏等，2005；林啟文等，2008
	長度（km）	13 km		
	寬度（km）	3.5 km	深度/sin 傾角 （以深度 2 公里，傾角 35 度計算）	本計畫假設
	深度（km）	區域滑脫面深度 6 公里	平衡剖面	黃旭燦等，2004
	面積（km^2）	45	長度×寬度	本計畫假設
	走向	北北東走向	地形、遙測影像判釋	林啟文等, 2008
	傾斜角度	20-30 度向西	鐵砧山野外露頭	李元希與石瑞銓，2008
		35 度向西	地電阻	Chen, 1990
	斷層機制	逆移斷層	地質調查	Sun, 1965；Hsu and Chang, 1979；Yang et al., 2005；李元希與石瑞銓，2008
			地電阻影像	Chen, 1990
	長期滑移速率（mm/yr）	未知	-	-
	滑移虧損率 (slip deficit rate)（mm/yr）	未評估	-	-
	單一事件變位量（m）	0.70	log D= 0.29Mw-1.84 σ=0.42 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模（M_W）	5.8	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 (逆斷層)	Wells and Coppersmith, 1994（逆斷層）
		5.7	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔（年）	-	-	-
	最近一次活動時間	未知	-	-

10-2 邏輯樹更新

鐵砧山斷層併入大甲-彰化斷層邏輯樹中，如圖 9-2.4 所示。

10-3 發震機率之推估

鐵砧山斷層距離大甲斷層不到 1.5 公里，本計畫認為鐵砧山斷層若屬於大甲斷層的背衝斷層，其深度不會超過 3 公里。圖 10-3.1 以黃旭燦(2004)平衡剖面推測鐵砧山斷層深度，即使斷層面傾角 90 度也會在深度不到 3 公里處接大甲斷層(該剖面命名為彰化斷層)。

根據表 10-1.2，若將鐵砧山斷層以深度 2 公里，傾角 35 度計算，則鐵砧山斷層面積為 45 平方公里，以 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計算，地震矩規模僅 5.8 及 5.7。研判該斷層不會獨立發生規模 6.5 以上的地震。

鐵砧山斷層未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 0.0%。

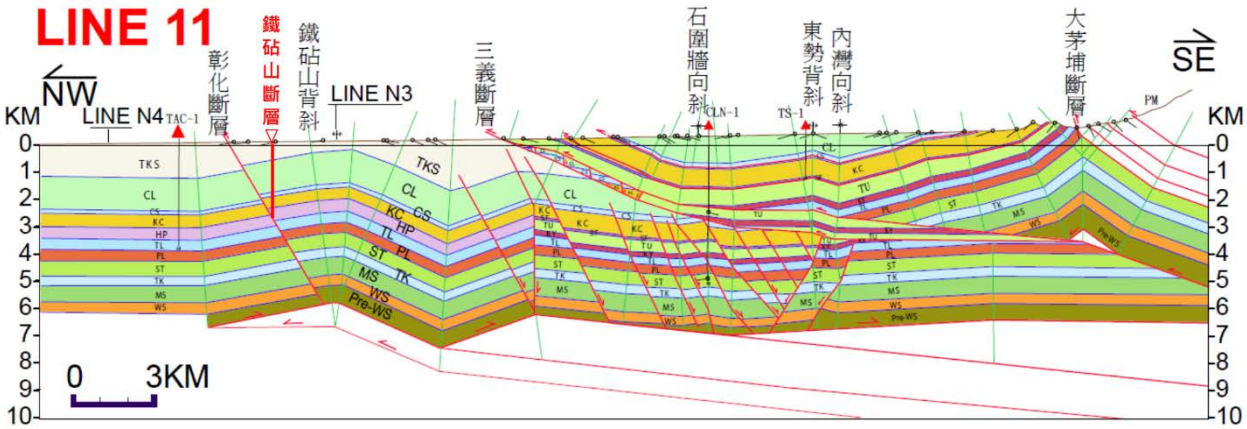


圖 10-3.1：本計畫推測鐵砧山斷層破裂深度。

第十一章、屯子腳斷層潛勢評估

11-1 屯子腳斷層參數彙整

屯子腳斷層各項參數詳細內容詳附錄 9，屯子腳斷層幾何參考資料及參數如表 11-1.1 所示。

參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，屯子腳斷層平均滑移虧損速率下界為 0.3 mm/yr，上界為 1.9 mm/yr，平均值為 1.1 mm/yr，如表 11-1.2 所示。

彙整前人對於屯子腳斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 11-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 11-1.1：屯子腳斷層幾何面各調查方法及斷層參數

參考文獻	方法	傾角	深度
董倫道等，2006	震測剖面；地電剖面	淺部呈壓縮型花狀構造	-
李奕亨，2009	震測剖面	淺部呈開花狀構造	-

表 11-1.2：屯子腳斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速（mm/yr）	
屯子腳斷層	上界	0.7	3.0	2.1	1.9
	平均	0.7 ± 0.0	1.4 ± 1.6	1.2 ± 0.9	1.1
	下界	0.7	0.0	0.3	0.3

表 11-1.3：屯子腳斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
屯子腳斷層	斷層分段	未分段	地形、地表破裂；地震分布	大塚彌之助，1936；林啟文等，2008
	長度（km）	模式 A：17 km 模式 B：40 km		
	寬度（km）	13.5	深度/sin 傾角 (以深度 13 公里，傾角 75 度計算)	本計畫推估
	破裂深度（km）	苗栗、臺中地區滑脫面 10-12 km	Vp 速度構造推估	吳逸民等，2007
	面積（km^2）	模式 A： 229 模式 B： 538	長度×寬度 (以深度 13 公里，傾角 75 度計算)	本計畫推估
	走向	呈東北東走向	地形、地表破裂	大塚彌之助，1936 ；林啟文等, 2008
	傾斜角度（度）	淺部呈開花狀構造（本計畫推測為 65-85 度）	震測剖面；地電剖面	董倫道等，2005
			震測剖面	李奕亨，2009
	斷層機制	右移斷層	歷史地震地表錯動；震源機制	大塚彌之助，1936；Lin, 2005；林啟文等，2008
	長期滑移速率(mm/yr)	-	-	-
	滑移虧損率(slip deficit rate)(mm/yr)	上界1.9 平均1.1 下界0.3	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量（m）	除了東北端 1 公里長的部份為西北側上升外，其餘部份皆為東南側上升，最大縱移量 1 公尺，最大右移量 1.5 公尺	1935 年臺灣中部地震地表破裂	大塚彌之助，1936
	最大可能地震規模（M_w）	A：6.4　B：6.8	Mw =3.98+1.02 log A σ=0.23 （平移斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		A：6.4　B：6.7	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	地震復發間隔（年）	A: 2000-3000 B: 1000-2000	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	西元 1935 年	歷史地震紀錄	臺北觀測所，1936；東京帝國大學地震研究所，1936； Sheu et al., 1982；鄭世楠，1995； Chen and Tsai, 2008；Lin et al., 2013

11-2 邏輯樹更新

獅潭-屯子腳斷層系統之分段破裂模式，如圖 7-2.1 所示，由於 1935 年之主震是走向滑移機制，且位於屯子腳斷層東側延伸處，本計畫認為屯子腳斷層單獨破裂之可能性最高，然而仍需提高獅潭斷層獨立破裂及獅潭+屯子腳系統破裂之可能性，因此屯子腳斷層單獨破裂的權重由 0.7→0.5；圖 7-2.1 左圖可看到 2 號規模 6.8 之地震位於獅潭斷層之上盤，為逆斷層機制，推測為獅潭斷層破裂引發之第二個主震，即獅潭斷層獨立破裂也有可能發生，因此提高獅潭斷層單獨破裂權重 0.2→0.3；然而，1935 年之儀器尚不足以解析雙主震，也不排除是單一主震所引起，且 1935 年之地震顯示了獅潭及屯子腳斷層均有地表破裂，應考慮提高系統破裂之可能性，因此獅潭+屯子腳系統破裂權重 0.1→0.2。本計畫在評估屯子腳斷層之破裂，是以長度不確定性來區分破裂事件，分別為 A 主斷層段破裂（長度 17 公里），以及 B 主斷層段+延伸段破裂（長度 40 公里），權重設定為 A（0.6）、B（0.4）。獅潭-屯子腳系統則是獅潭斷層往南延伸達 35 公里及屯子腳斷層往東延伸達 40 公里。

屯子腳斷層傾角及破裂深度，屯子腳斷層為一高角度斷層，近地表處呈開花構造，本計畫設定傾角為 65~85 度，另屯子腳斷層為走向滑移斷層，深度應不受基底滑脫面深度影響，本計畫設定其破裂深度最深可達 15 公里。本計畫屯子腳斷層之傾角權重為 65 度（0.3）、75 度（0.4）、85 度（0.3），破裂深度權重為 11 公里（0.3）、13 公里（0.4）、15 公里（0.3）。

屯子腳斷層滑移速率，參考景國恩等（2020）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，屯子腳斷層平均滑移虧損速率下界為 0.3 mm/yr，上界為 1.9 mm/yr，平均值為 1.1 mm/yr (表 11-1.2)。本計畫據此設定屯子腳斷層邏輯樹權重為下界 0.3 mm/yr (0.3)、平均 1.1 mm/yr (0.4)、上界 1.9 mm/yr (0.3)。

獅潭+屯子腳斷層長期滑移速率則根據能量累計公式計算，如下式：

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

由於屯子腳斷層之滑移速率低於獅潭斷層，因此以屯子腳斷層面積上界，獅潭斷層面積下界及兩斷層之滑移速率下界帶入上式計算，可得到 $v_{獅潭+屯子腳}$ 下界為 0.5 mm/yr；以屯子腳斷層面積下界，獅潭斷層面積上界及兩斷層之滑移速率上界帶入上式計算，可得到 $v_{獅潭+屯子腳}$ 上界為 3.3 mm/yr；以屯子腳斷層面積中值，獅潭斷層面積中值及兩斷層之滑移速率中值帶入上式計算，可得到 $v_{獅潭+屯子腳}$ 中值為 1.7 mm/yr，如表 7-2.1 所示。邏輯樹權重為常態分佈：0.5 mm/yr (0.2)、1.7 mm/yr (0.6)、3.3 mm/yr (0.2)。

各破裂事件之最大可能地震規模詳如表 7-2.2 所示。

獅潭-屯子腳斷層系統各節點權重的分配詳如圖 7-2.2 所示。

11-3 規模與年發生率之關係

獅潭─屯子腳斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 7-3.1 為 6 個破裂事件取表 7-2.2 的參數值之特徵地震模式分布情形。

圖 7-2.2 之獅潭─屯子腳斷層邏輯樹可得到 576 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 7-3.2 為 6 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.4 之權重最高;破裂模式 B 以規模 6.8 之權重最高;破裂模式 C 以規模 6.2 之權重最高;破裂模式 D 以規模 6.6 之權重最高；破裂模式 E 以規模 6.6 之權重最高；破裂模式 F 以規模 7.0 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 7-3.3 為 6 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。

將 6 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 7-3.4（a）之獅潭─屯子腳斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 7-3.4（b）之獅潭─屯子腳斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

11-4 發震機率之推估

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

本章主要評估屯子腳斷層發生機率，因此移除獅潭斷層破裂模式之發生機率，表 11-4.1 為屯子腳斷層評估之結果，以西元 2020 年為基準，採用 BPT 模式得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.1~7.5 之機率為 0.3%、0.7%及 2.0%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 0.1%、0.3%及 0.9%。另以 POISSON 模式計算之結果也列於表 11-4.1 中以供比較。

另外，評估獅潭─屯子腳斷層系統整體未來 30、50 及 100 年的發生機率，列於表 11-4.2 供參考。

表 11-4.1：屯子腳斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	Poisson	BPT	Poisson	BPT	Poisson
6.1~7.5	0.3%	2.6%	0.7%	4.2%	2.0%	8.1%
M ≧6.5	0.1%	1.7%	0.3%	2.7%	0.9%	5.2%

表 11-4.2：獅潭-屯子腳斷層系統發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	Poisson	BPT	Poisson	BPT	Poisson
5.9~7.5	3.0%	5.6%	5.2%	9.1%	10.5%	16.6%
M ≧6.5	0.4%	2.4%	0.9%	3.9%	2.4%	7.4%

第十二章、彰化斷層潛勢評估

12-1 彰化斷層參數彙整

彰化斷層各項參數詳細內容詳附錄 10，彰化斷層幾何參考資料及參數如表 12-1.1 所示，彰化斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 12-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，彰化斷層平均滑移虧損速率下界 1.9 mm/yr，上界為 6.3 mm/yr，平均值為 3.9 mm/yr，如表 12-1.3 所示。

彙整前人對於彰化斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 12-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 12-1.1：彰化斷層幾何面各調查方法及斷層參數

作者	方法	傾角	深度
Chen, 1978	震測資料	向東傾斜 18°~45°	
Suppe, 1985；黃旭燦，2003	八卦台地南部震測資料、鑽井資料	斷坡角度約 20 度	6 公里
	濁水溪震測資料、鑽井資料	斷坡角度約 30-40 度	7.5 公里
Yang et al., 2007	平衡剖面 Line 4	斷坡角度約 22 度	6.5 公里接滑脫面
	平衡剖面 Line 5	斷坡角度約 18 度	5 公里接滑脫面

表 12-1.2：彰化斷層長期滑移速率相關文獻及參數彙整

參考文獻	方法	滑移速率(mm/yr)
Simoes et al., 2007	階地定年與 fault-tip folding model	縮短速率 16.3±4.1
陳文山等，2008	八卦台地鑽井資料	垂直滑移速率 4.3-6.3
Yue et al., 2011	CS-2，縮短量 649±113 公尺，年代 31±0.3 ka	縮短速率 21.0±3.8
Siame et al., 2012	PK-1，縮短量 1517±393 公尺，年代 399±50 ka	縮短速率 3.8±1.1
	PK-2，縮短量 1444±374 公尺，年代 350±40 ka	縮短速率 4.1±1.2
	PK-3，縮短量 1257±325 公尺，年代 322±25 ka	縮短速率 3.9±1.1
	PK-4，縮短量 821±213 公尺，年代 200±20 ka	縮短速率 4.1±1.1
	PK-5，縮短量 678±176 公尺，年代 105±19 ka	縮短速率 6.5±2.0
	PK-6，縮短量 627±162 公尺，年代 28±4 ka	縮短速率 22.8±6.6

表 12-1.3：彰化斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
彰化斷層	上界	4.6	10.0	4.4	6.3
	平均	4.3 ± 0.3	4.3 ± 5.7	3.0 ± 1.4	3.9
	下界	4.0	0.0	1.6	1.9

表 12-1.4：彰化斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
彰化斷層	斷層分段與破裂事件	B 彰化斷層	地形、地下地質鑽探、震測剖面	林朝棨，1957；中國石油公司，1982；石再添與楊貴三，1985；張徽正等，1998；林啟文等，2008
		C 彰化斷層+竹山段	地形判釋	Ota et al., 2002；Shyu et al., 2005
		D 彰化斷層+桐樹湖斷層	地形判釋	Lee and Lin, 2004；林啟文等，2008
	長度（km）	B：36 km C：51 km D：50 km	地形、地下地質鑽探、震測剖面	-
	寬度（km）	25.2	Case 1：深度 2~6 公里，20E，深度 6~8 公里，8.5E	本計畫幾何模型
		18.8	Case 2：深度 2~7.5 公里，25E，深度 7.5~8 公里，5E	
		18.6	Case 3：深度 2~7 公里，30E，深度 7~8.5 公里，10E	
	深度（km）	6	八卦台地南部震測資料、鑽井資料	Suppe, 1985；黃旭燦，2003
		7.5	濁水溪震測資料、鑽井資料	
		6.5 公里接滑脫面	平衡剖面 Line 4	Yang et al., 2007
		5 公里接滑脫面	平衡剖面 Line 5	
	面積（km2）	B：677 C：959 D：940	長度×寬度(Case 2)	本計畫幾何模型
	走向	北北西走向	地形、遙測影像判釋	林啟文等, 2008
	傾斜角度	18-45 度向東	震測資料	Chen, 1978
		斷坡角度約 20 度	八卦台地南部震測資料	Suppe, 1985；黃旭燦，2003
		斷坡角度約 30-40 度	濁水溪震測資料	
		斷坡角度約 22 度	平衡剖面 Line 4	Yang et al., 2007
		斷坡角度約 18 度	平衡剖面 Line 5	
	斷層機制	逆移斷層	地質調查	Chang, 1971；楊貴三，1986
	長期滑移速率（mm/yr）	縮短速率 16.3±4.1	階地定年與 fault-tip folding model	Simoes et al., 2007
		垂直滑移速率 4.3-6.3	八卦台地鑽井資料	陳文山等，2008
		縮短速率 21.0±3.8	CS-2，縮短量 649±113 公尺，年代 31±0.3 ka	Yue et al., 2011

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
		縮短速率 3.8±1.1	PK-1，縮短量 1517±393 公尺，年代 399±50 ka	Siame et al., 2012
		縮短速率 4.1±1.2	PK-2，縮短量 1444±374 公尺，年代 350±40 ka	
		縮短速率 3.9±1.1	PK-3，縮短量 1257±325 公尺，年代 322±25 ka	
		縮短速率 4.1±1.1	PK-4，縮短量 821±213 公尺，年代 200±20 ka	
		縮短速率 6.5±2.0	PK-5，縮短量 678±176 公尺，年代 105±19 ka	
		縮短速率 22.8±6.6	PK-6，縮短量 627±162 公尺，年代 28±4 ka	
	滑移虧損率 (slip deficit rate) (mm/yr)	上界6.3 平均3.9 下界1.9	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量（m）	B：1.45 C：1.55 D：1.55	log D= 0.29Mw-1.84 σ=0.42	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模（MW）	B：6.9 C：7.0 D：7.0	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		B：6.8 C：7.0 D：7.0	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔（年）	B: 0-100 C: 0-100 D: 0-100	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	西元1848 年（？）	歷史紀錄	Tsai, 1985

12-2 邏輯樹更新

彰化斷層屬於大甲(鐵砧山)-彰化斷層系統，系統之分段破裂模式無修改。專家學者們認為大甲、彰化斷層有同時破裂的可能性，必須整體考慮為大甲-彰化斷層系統。彰化斷層向南延伸段有兩種看法，一為與桐樹湖斷層相連，終止於古坑斷層；二為連接至竹山段。

大甲-彰化斷層系統分段可分為大甲斷層(模式 A)、彰化斷層(模式 B、C、D)、系統破裂(模式 E、F、G)，大甲斷層與彰化斷層破裂權重相等，各為 0.4；系統破裂可能性低於各斷層破裂，權重 0.2。七種破裂模式中，A 為大甲斷層破裂，B 為彰化斷層破裂，C 為彰化+竹山段破裂，D 為彰化+桐樹湖斷層破裂，E 為大甲+彰化斷層破裂，F 為大甲+彰化+竹山段破裂，G 為大甲+彰化+桐樹湖斷層破裂(圖 9-2.1)。南段破裂又可區分破裂事件終止於彰化斷層(模式 B，權重 0.6)，或繼續向南延伸(模式 C、D)，破裂事件延伸至桐樹湖斷層或竹山段權重相等，各為 0.2。整段破裂權重分配原則同上。

大甲(鐵砧山)-彰化斷層之傾角及破裂深度，根據幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 Case 1：彰化「深度 2~6 公里，20E，深度 6~8 公里，8.5E」，權重 0.2。Case 2：彰化「深度 2~7.5 公里，25E，深度 7.5~8 公里，5E」，權重 0.5。Case 3：彰化「深度 2~7 公里，30E，深度 7~8.5 公里，10E」，權重 0.3，詳圖 9-2.3 所示。

大甲-彰化斷層之滑移速率相關參數及文獻詳如表 9-2.1 所示。彰化斷層由階地定年推估所得到的縮短速率慢者 3.8 mm/yr，快者達 22.8 mm/yr，將 3.8 mm/yr 及 22.8 mm/yr 以傾角 20 度(Case 1)，25 度(Case 2)，30 度(Case 3)換算至斷層面上，得到淨滑移速率詳如表 9-2.3 所示，最小為 4.0 mm/yr，最大為 26.3 mm/yr，本計畫以 4.0 mm/yr 及 26.3 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 15.2 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重分配為常態分布：4.0 mm/yr (0.2)，15.2 mm/yr (0.6)，26.3 mm/yr (0.2)。

大甲-彰化斷層系統破裂長期滑移速率則根據能量累計公式計算，如下式：

$$\mu \cdot A_{(系統破裂)} \cdot v_{(系統破裂)} = \mu \cdot A_{大甲} \cdot v_{大甲} + \mu \cdot A_{彰化} \cdot v_{彰化}$$

上式中 A 為面積，移項得到

$$v_{(系統破裂)} = \frac{\mu \cdot A_{大甲} \cdot v_{大甲} + \mu \cdot A_{彰化} \cdot v_{彰化}}{\mu \cdot A_{(系統破裂)}}$$

計算 v(系統破裂)下界為 3.6 mm/yr；v(系統破裂)上界為 20.3 mm/yr；v(系統破裂)中值為 12.0 mm/yr，如表 9-2.4 所示。邏輯樹權重為常態分布：3.6 mm/yr (0.2)、12.0 mm/yr (0.6)、20.3 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 9-2.5 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

大甲-彰化斷層系統各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 9-2.4 所示。

12-3 規模與年發生率之關係

大甲-彰化斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 9-3.1~圖 9-3.7 為 7 個破裂事件取表 9-2.5 之特徵地震模式分布情形。

圖 9-2.4 之大甲—彰化斷層邏輯樹可得到 252 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 9-3.8 為 7 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 7.0 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 7.0 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 7.3 之權重最高；破裂模式 F 以規模 7.4 之權重最高；破裂模式 G 以規模 7.4 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 9-3.9 為 7 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖，7 種破裂模式在地震復發間隔時間 0 年~200 年間有較高之權重。

將七種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 9-3.10（a）之大甲—彰化斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 9-3.10（b）之大甲—彰化斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

12-4 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 模式估算大甲-彰化斷層系統未來 30、50 及 100 年的發生機率，大甲-彰化斷層系統最後一次發生時間可能為 1848 年，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

本章主要評估彰化斷層發生機率，因此移除大甲斷層破裂模式之發生機率，表 12-4.1 為彰化斷層 BPT 模式評估之結果，以西元 2020 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.6~7.7 之機率為 22.3%、30.2%及 41.0%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.0 以上之機率為 12.0%、17.0%及 24.6%。另以 POISSON 模式計算之結果也列於表 12-4.1 中以供比較。

另外，評估大甲-彰化斷層系統整體未來 30、50 及 100 年的發生機率，列於表 12-4.2 供參考。

表 12-4.1：彰化斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POI	BPT	POI	BPT	POI
6.6 ~ 7.7	22.3%	13.5%	30.2%	19.9%	41.0%	31.1%
M ≧ 7.0	12.0%	7.2%	17.0%	11.0%	24.6%	18.0%

表 12-4.2：大甲-彰化斷層系統發生機率評估

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POI	BPT	POI	BPT	POI
6.6 ~ 7.7	34.0%	20.5%	47.0%	30.7%	65.8%	48.9%
M ≧ 7.0	21.4%	12.8%	30.9%	19.7%	45.8%	32.9%

第十三章、車籠埔斷層潛勢評估

13-1 車籠埔斷層參數彙整

車籠埔斷層各項參數詳細內容詳附錄 11，車籠埔斷層幾何參考資料及參數如表 13-1.1 所示，車籠埔斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 13-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，車籠埔斷層平均滑移虧損速率下界 3.8 mm/yr，上界為 7.3 mm/yr，平均值為 5.3 mm/yr，如表 13-1.3 所示。

彙整前人對於車籠埔斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 13-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 13-1.1：車籠埔斷層幾何面各調查方法及斷層參數

作者	方法	傾角(度)	深度(km)
Suppe (1987)	地質平衡剖面	上部斷坡傾角約 25E，下部斷坪約 5E	滑脫面 6 公里
Kao and Chen (2000)	921 集集地震震源機制解	約 25E	地震叢集延伸可達 15 公里
Yue et al. (2005)	地表地層位態搭配淺部震測及鑽井資料	地表~3 公里，40-55E；3 公里以下，15~25E	滑脫面 5.5- 6 公里
Yang et al. (2007)	平衡剖面 Line 2	斷坡傾角 40E	滑脫面 7.5 公里
	平衡剖面 Line 3	斷坡傾角 34E	滑脫面 7 公里
	平衡剖面 Line 4	斷坡傾角 30E	滑脫面 7 公里
	平衡剖面 Line 5	斷坡傾角 25E	滑脫面 6.5 公里
	平衡剖面 Line 6	斷坡傾角 30E	滑脫面 6.5 公里
	平衡剖面 Line B	斷坡傾角 30E	滑脫面 4 公里以上
Wang et al. (2002)	烏溪震測剖面	斷坡傾角 22E	滑脫面 9 公里
Wang et al. (2002) Lee et al. (2011)	濁水溪震測剖面	斷坡傾角 33E	滑脫面 9.5 公里
Dominguez et al. (2003)	等溫線與地震深度分布	斷坡傾角 25E，滑脫面傾角 6~7E	斷坡 7~8 km (滑脫面最深 12 km)

表 13-1.2：車籠埔斷層長期滑移速率彙整

位置	滑移速率值(mm/yr)	選用資料或方法	參考文獻
北段 (垂直滑移速率)	8.6~11.7	石岡地區河階	Chen et al., 2003
	5.6~9.9	新社河階	
南段 (垂直滑移速率)	5.5~6.7	霧峰槽溝樣本	
	>4.1~5.0	霧峰槽溝樣本	
	2.8~5.0	草屯河階地	
	4.0~4.9	竹山階地	
整段 (垂直滑移速率)	6.94	採用槽溝之古地震事件抬升量及定年資料	Chen et al., 2007
新社	14.5(+4.3,-2.7)	Fold-scarp hight	Yue et al., 2011
	13.8(+4.1,-2.6)	Terrace height	
草屯	7.8(+1.8,-1.2)	Fold-scarp hight	
	6.8(+1.6,-1.0)	Terrace height	

表 13-1.3：車籠埔斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速（mm/yr）	
車籠埔斷層	上界	7.1	6.0	8.7	7.3
	平均	6.9 ± 0.2	2.4 ± 3.6	6.7 ± 2.0	5.3
	下界	6.7	0.0	4.7	3.8

表 13-1.4：車籠埔斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
車籠埔斷層	斷層分段與破裂事件	整段（A, B, C, D）	地形、航照判釋、集集地震地表破裂判釋	李錫堤等，2000；Yue et al., 2005；Chen et al., 2007；Lee et al., 2007；林啟文等，2008
		北段（E, F）		
		南段（G, H）		
	長度(km)	整段 103		
		北段 40(含東北段 16 公里)		
		南段 63(含大尖山北段 15 公里)		
	寬度(km)	斷坡(18.9)+斷坪：39.2	Case 1：深度 0~8 km，25E；深度 8~11 km，8.5E	本計畫幾何模型
		斷坡(13.9)+斷坪：36.9	Case 2：深度 0~8 km，35E；深度 8~10 km，5E	
		斷坡(13.2)+斷坪：44.9	Case 3：深度 0~8.5 km，40E；深度 8.5~14 km，10E	
	破裂深度（km）	滑脫面 6 公里	地質平衡剖面	Suppe, 1987
		地震叢集延伸可達 15 公里	921 集集地震震源機制解	Kao and Chen, 2000
		滑脫面 5.5- 6 公里	地表地層位態搭配淺部震測及鑽井資料	Yue et al., 2005
		滑脫面 7.5 公里	平衡剖面 Line 2	Yang et al., 2007
		滑脫面 7 公里	平衡剖面 Line 3	
		滑脫面 7 公里	平衡剖面 Line 4	
		滑脫面 6.5 公里	平衡剖面 Line 5	
		滑脫面 6.5 公里	平衡剖面 Line 6	
		滑脫面 4 公里以上	平衡剖面 Line B	
		滑脫面 9 公里	烏溪震測剖面	Wang et al., 2002
		滑脫面 9.5 公里	濁水溪震測剖面	Wang et al., 2002；Lee et al., 2011
		斷坡 7~8 km (滑脫面最深 12 km)	等溫線與地震深度分布	Dominguez et al., 2003

	斷層參數	斷層參數數據			研究方法	參考文獻
	面積(km2)	整段	A	1437(斷坡) 3801(斷坡+斷坪)	長度×寬度 (寬度使用 Case 2)	本計畫幾何模型
			B	1227(斷坡) 3247(斷坡+斷坪)		
			C	1213(斷坡) 3210(斷坡+斷坪)		
			D	1004(斷坡) 2657(斷坡+斷坪)		
		北段	E	558(斷坡) 1476(斷坡+斷坪)		
			F	335(斷坡) 886(斷坡+斷坪)		
		南段	G	879(斷坡) 2325(斷坡+斷坪)		
			H	669(斷坡) 1771(斷坡+斷坪)		
	走向	約呈南北走向			地形、航照判釋、地震地表破裂判釋	林啟文等，2008
	傾斜角度(度)	上部斷坡傾角約 25E， 下部斷坪約 5E			地質平衡剖面	Suppe, 1987
		約 25E			921 集集地震震源機制解	Kao and Chen, 2000
		地表~3 公里，40-55E； 3 公里以下，15~25E			地表地層位態搭配淺部震測及鑽井資料	Yue et al., 2005
		斷坡傾角 40E			平衡剖面 Line 2	Yang et al., 2007
		斷坡傾角 34E			平衡剖面 Line 3	
		斷坡傾角 30E			平衡剖面 Line 4	
		斷坡傾角 25E			平衡剖面 Line 5	

	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
		斷坡傾角 30E		平衡剖面 Line 6	
		斷坡傾角 30E		平衡剖面 Line B	
		斷坡傾角 22E		烏溪震測剖面	Wang et al., 2002
		斷坡傾角 33E		濁水溪震測剖面	Wang et al., 2002 Lee et al., 2011
		斷坡傾角 25E，滑脫面傾角 6~7E		等溫線與地震深度分布	Dominguez et al., 2003
	斷層機制	具左移分量的逆斷層		集集地震震源機制解	Kao and Chen, 2000；林啟文等，2008
	長期滑移速率(mm/yr)	北段 (垂直滑移速率)	8.6~11.7	石岡地區河階	Chen et al., 2003
			5.6~9.9	新社河階	
		南段 (垂直滑移速率)	5.5~6.7	霧峰槽溝樣本	
			>4.1~5.0	霧峰槽溝樣本	
			2.8~5.0	草屯河階地	
			4.0~4.9	竹山階地	
		整段 (垂直滑移速率)	6.94	採用槽溝之古地震事件抬升量及定年資料	Chen et al., 2007
		新社	14.5(+4.3,-2.7)	褶皺崖高及定年資料	Yue et al., 2011
			13.8(+4.1,-2.6)	階地高及定年資料	
		草屯	7.8(+1.8,-1.2)	褶皺崖高及定年資料	
			6.8(+1.6,-1.0)	階地高及定年資料	
	滑移虧損率 (slip deficit rate)(mm/yr)	上界 7.3 平均 5.3 下界 3.8		1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	921 集集地震石岡段的同震抬升量平均可達 3.6 公尺，車籠埔段則為		1999 年 921 集集大地震同震變形量	Chen et al., 2007

	斷層參數	斷層參數數據			研究方法	參考文獻
		平均 1.5 公尺，大尖山段為平均 0.8 公尺				
	最大可能地震規模(Mw)	7.6				1999 年 921 集集地震
		整段	A	7.2(斷坡) 7.6(斷坡+斷坪)	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25（逆斷層） (各破裂事件面積引用本表)	Wells and Coppersmith, 1994
			B	7.1(斷坡) 7.5(斷坡+斷坪)		
			C	7.1(斷坡) 7.5(斷坡+斷坪)		
			D	7.0(斷坡) 7.4(斷坡+斷坪)		
		北段	E	6.8(斷坡) 7.2(斷坡+斷坪)		
			F	6.6(斷坡) 7.0(斷坡+斷坪)		
		南段	G	7.0(斷坡) 7.4(斷坡+斷坪)		
			H	6.9(斷坡) 7.3(斷坡+斷坪)		
		整段	A	7.2(斷坡) 7.7(斷坡+斷坪)	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (各破裂事件面積引用本表)	Yen and Ma, 2011
			B	7.1(斷坡) 7.7(斷坡+斷坪)		
			C	7.1(斷坡) 7.6(斷坡+斷坪)		
			D	7.0(斷坡) 7.5(斷坡+斷坪)		
		北段	E	6.7(斷坡) 7.2(斷坡+斷坪)		
			F	6.5(斷坡) 6.9(斷坡+斷坪)		
		南段	G	6.9(斷坡) 7.5(斷坡+斷坪)		
			H	6.8(斷坡) 7.3(斷坡+斷坪)		
	地震重複週期(年)	200-700			車籠埔斷層帶數個槽溝古地震事件定年	Chen et al., 2007
		整段: 100-200 北段: 100-200 南段: 100-200			各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	西元 1999 年			1999 年 921 集集大地震	

13-2 邏輯樹更新

車籠埔斷層分段破裂模式，前階段在評估車籠埔斷層之破裂，主要分為整段、北段及南段，位於北段的豐原槽溝前一次古地震事件為 1710~1900 年前，且此破裂事件在車籠埔南段槽溝中都有觀察到，屬於整段破裂模式，也就是說從槽溝開挖中沒觀察到北段單獨破裂之情形，據此推測北段單獨破裂的機率，較南段和整段為小，權重設定為整段(0.4)、北段(0.2)、南段(0.4)，而由於北段北端及南段南端的延伸與否又可分為 8 種破裂事件來探討，ABCD 為整段破裂；EF 為北段破裂；GH 為南段破裂，如圖 13-2.1 所示。

車籠埔斷層之傾角及破裂深度，根據幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 Case 1：「深度 0~8 公里，25E，深度 8~11 公里，8.5E」，權重 0.2；Case 2：「深度 0~8 公里，35E，深度 8~10 公里，5E」，權重 0.5；Case 3：「深度 0~8.5 公里，40E，深度 8.5~14 公里，10E」，權重 0.3，詳圖 13-2.2 所示。每個 Case 再區分為斷坡(權重 0.5)及斷坡+斷坪(權重 0.5)兩種破裂的可能性。

本計畫參考槽溝資料回歸之車籠埔斷層垂直滑移速率為 6.94 mm/yr (Chen et al., 2007)，以傾角 25 度，35 度，40 度換算至斷層面上，並考慮滑移角為純逆斷層(rake=90 度)及斜向滑移(rake=70 度)之情形，得到淨滑移速率詳如表 13-2.1 所示。淨滑移速率最小為 10.8 mm/yr，最大為 17.5 mm/yr，本計畫以 10.8 mm/yr 及 17.5 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 14.1 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重為常態分佈：10.8 mm/yr（0.2），14.1 mm/yr（0.6）及 17.5 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 13-2.2 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

車籠埔斷層各節點權重的分配詳如圖 13-2.3 所示。

	整段				北段		南段	
	0.4				0.2		0.4	
	0.1	0.2	0.2	0.5	0.4	0.6	0.4	0.6
權重	0.04	0.08	0.08	0.2	0.08	0.12	0.16	0.24
破裂模式	A	B	C	D	E	F	G	H
長度(km)	103	88	87	72	40	24	63	48

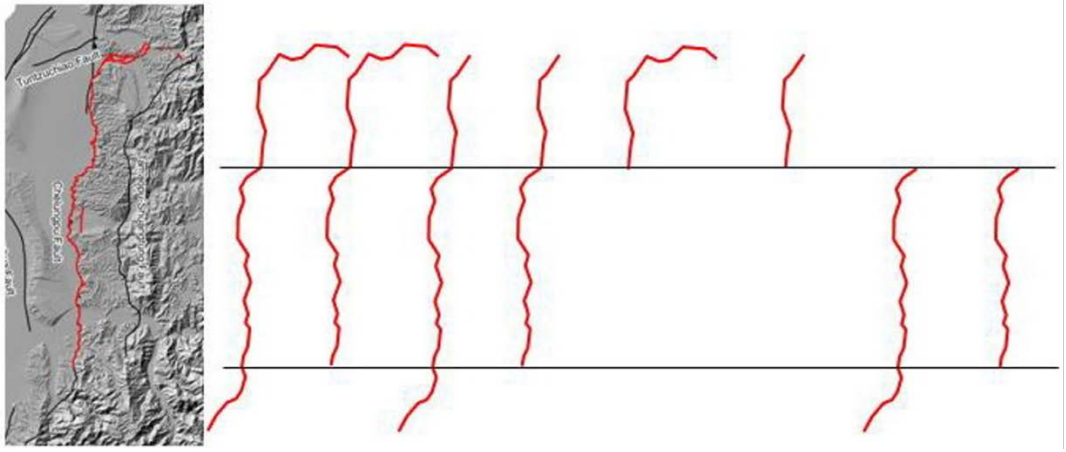


圖 13-2.1：車籠埔斷層分段與種破裂模式。

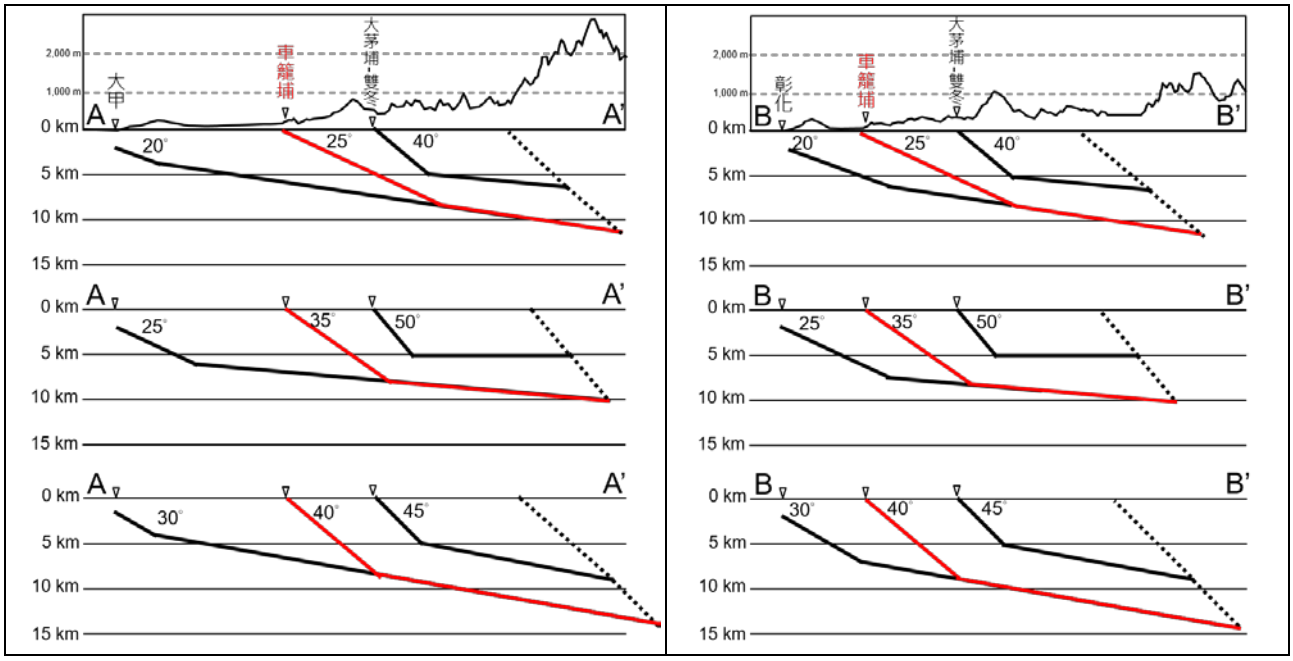


圖 13-2.2：本計畫大甲-彰化斷層、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層三種幾何關係示意圖。

表 13-2.1：車籠埔斷層長期滑移速率計算，淨滑移速率=[垂直滑移速率/sin(傾角)]/sin(滑移角)

垂直滑移速率(mm/yr)	斷層傾角(度)	滑移角(度)	淨滑移速率(mm/yr)
6.94	25	90	16.4
	35	90	12.1
	40	90	10.8
	25	70	17.5
	35	70	12.9
	40	70	11.5

表 13-2.2：車籠埔斷層各破裂事件規模及權重

破裂事件	長度(km)	斷層幾何	包含斷坪	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	103	深度 0~8 km：35E 深度 8~10km：5E	是	36.9	3800	7.3	7.6	7.9	7.7
			否	13.9	1437	6.9	7.2	7.5	7.2
B	88		是	36.9	3247	7.2	7.5	7.8	7.7
			否	13.9	1227	6.8	7.1	7.4	7.1
C	87		是	36.9	3210	7.2	7.5	7.8	7.6
			否	13.9	1213	6.8	7.1	7.4	7.1
D	72		是	36.9	2656	7.1	7.4	7.7	7.5
			否	13.9	1004	6.7	7.0	7.3	7.0
E	40		是	36.9	1476	6.9	7.2	7.5	7.2
			否	13.9	558	6.5	6.8	7.1	6.7
F	24		是	36.9	885	6.7	7.0	7.3	6.9
			否	13.9	335	6.3	6.6	6.9	6.5
G	63		是	36.9	2324	7.1	7.4	7.7	7.5
			否	13.9	879	6.7	7.0	7.3	6.9
H	48		是	36.9	1771	7.0	7.3	7.6	7.3
			否	13.9	669	6.6	6.9	7.2	6.8
權重						0.1	0.3	0.1	0.5

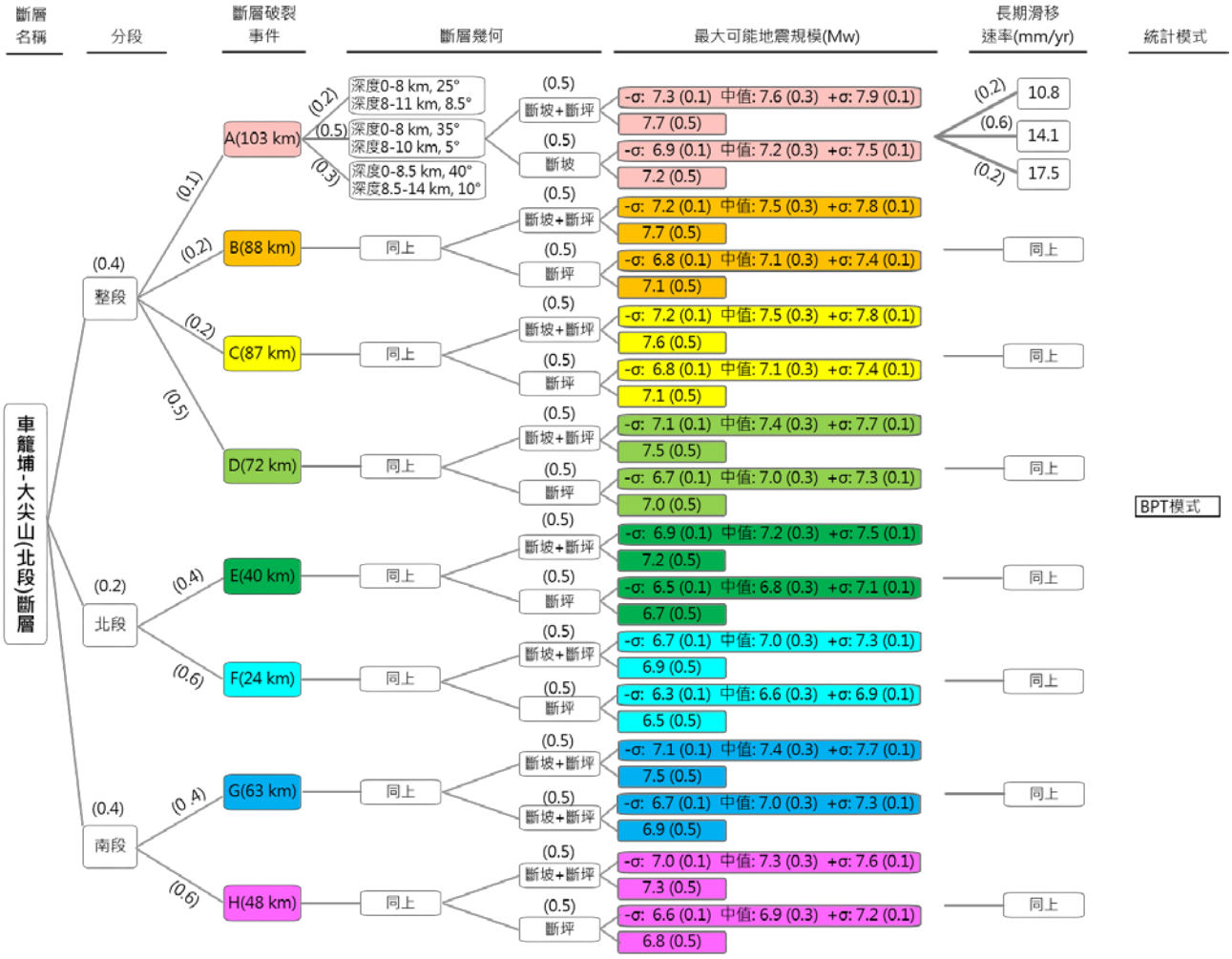


圖 13-2.3：車籠埔斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。

13-3 規模與年發生率之關係

車籠埔斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 13-3.1~圖 13-3.8 為 8 個破裂事件取表 13-2.2 之特徵地震模式分布情形。

圖 13-2.3 之車籠埔斷層邏輯樹可得到 576 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 13-3.9 為各分段破裂事件之規模-權重分布圖，其中整段破裂以規模 7.1 之權重最高；北段以規模 7.0 之權重最高；南段以規模 7.0 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 13-3.10 為三個分段破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖，在地震復發間隔時間 100 年~200 年間有較高之權重。

將 8 種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 13-3.11（a）之車籠埔斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 13-3.11（b）之車籠埔斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

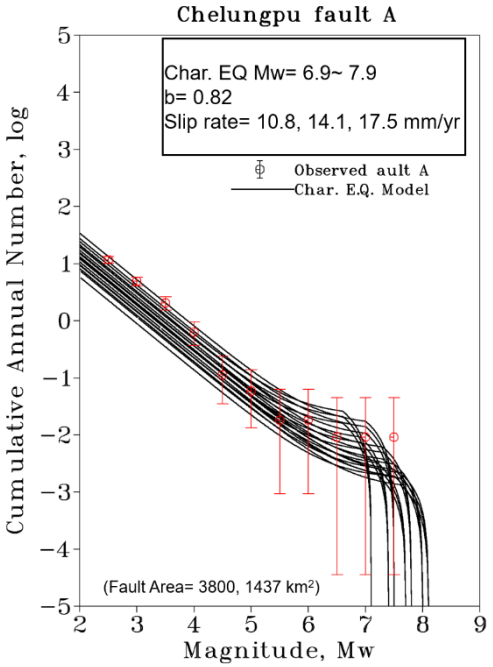


圖 13-3.1：A 事件特徵地震模式。

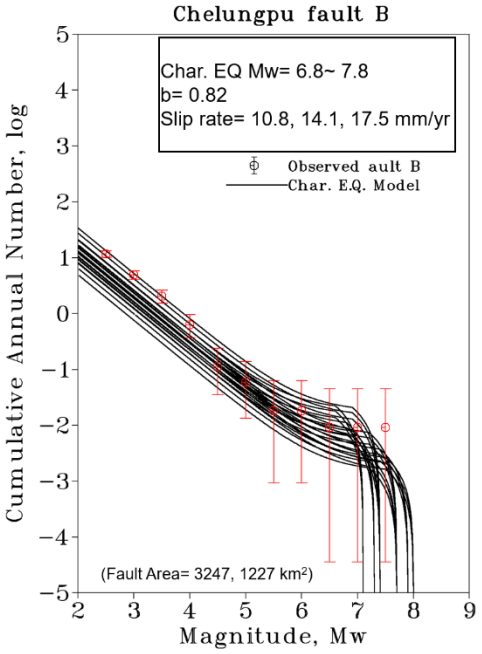


圖 13-3.2：B 事件特徵地震模式。

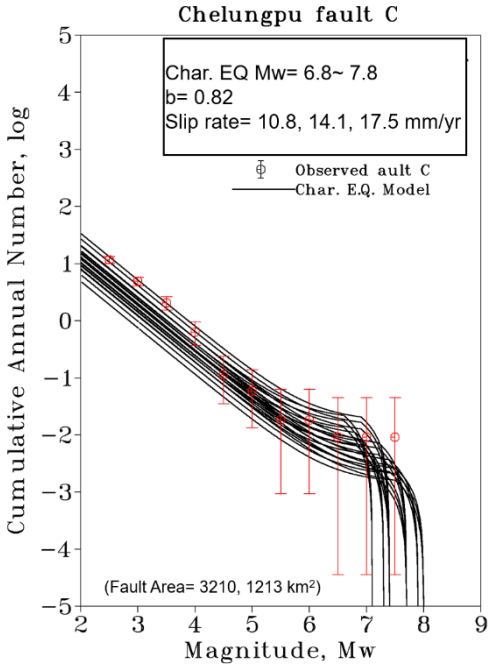


圖 13-3.3：C 事件特徵地震模式。

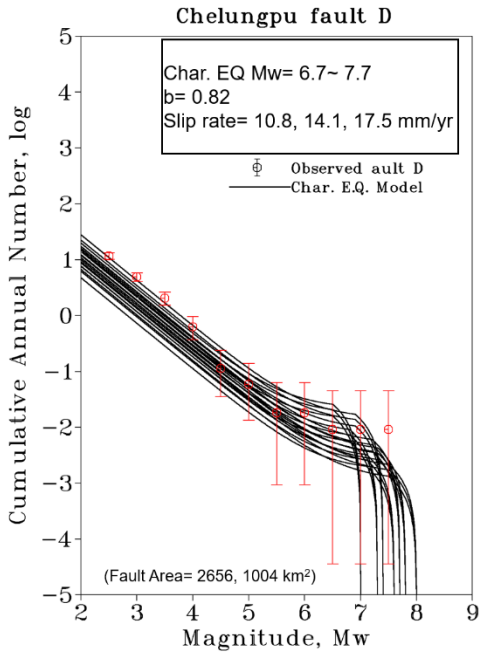


圖 13-3.4：D 事件特徵地震模式。

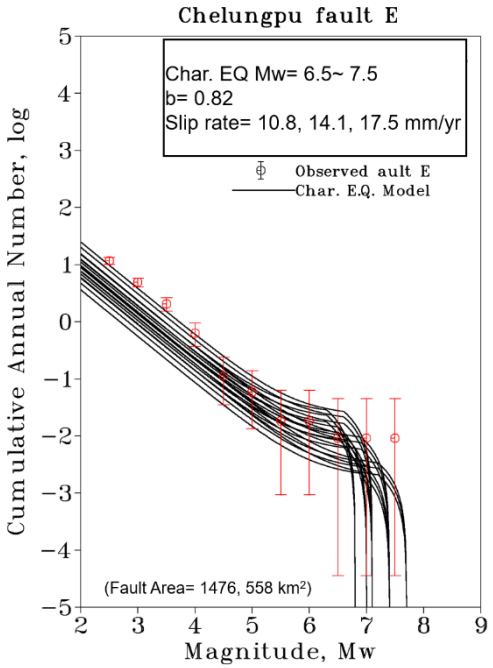


圖 13-3.5：E 事件特徵地震模式。

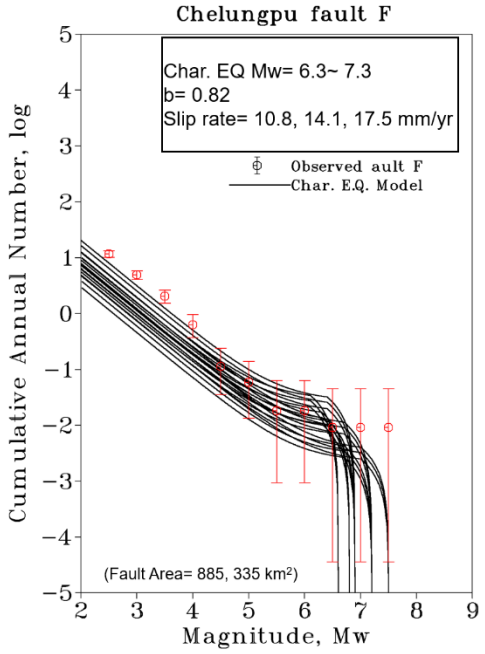


圖 13-3.6：F 事件特徵地震模式。

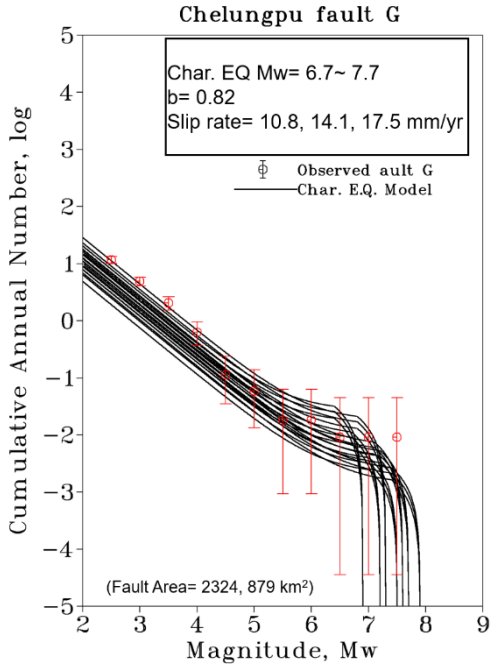


圖 13-3.7：G 事件特徵地震模式。

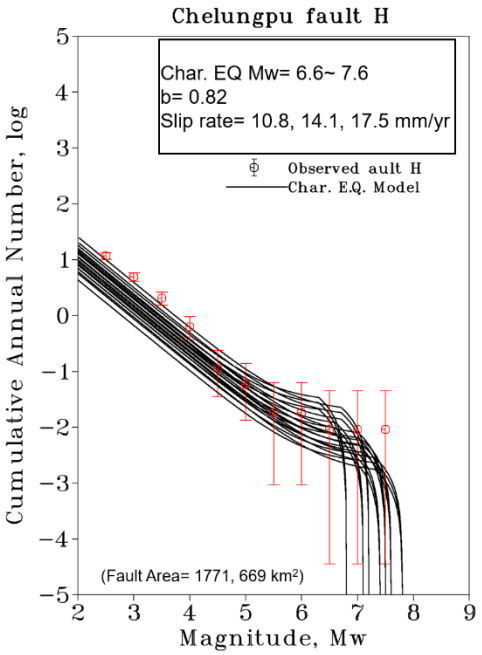


圖 13-3.8：H 事件特徵地震模式。

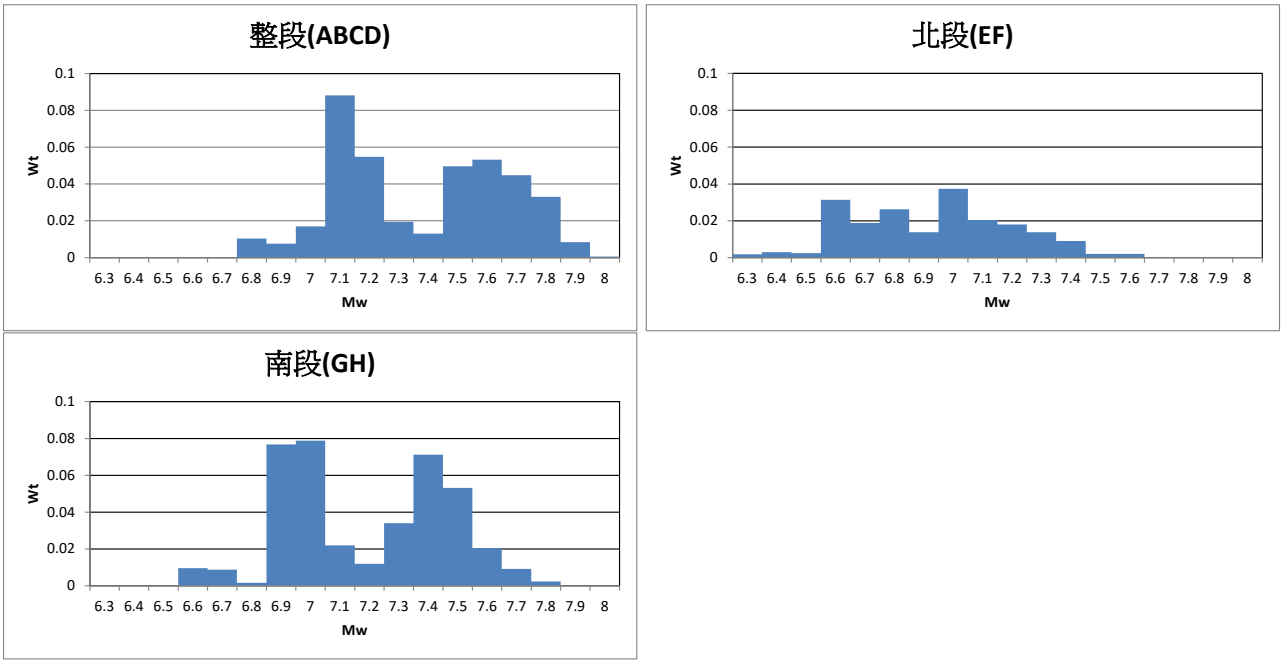


圖 13-3.9：車籠埔斷層三種分段破裂事件之邏輯樹規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

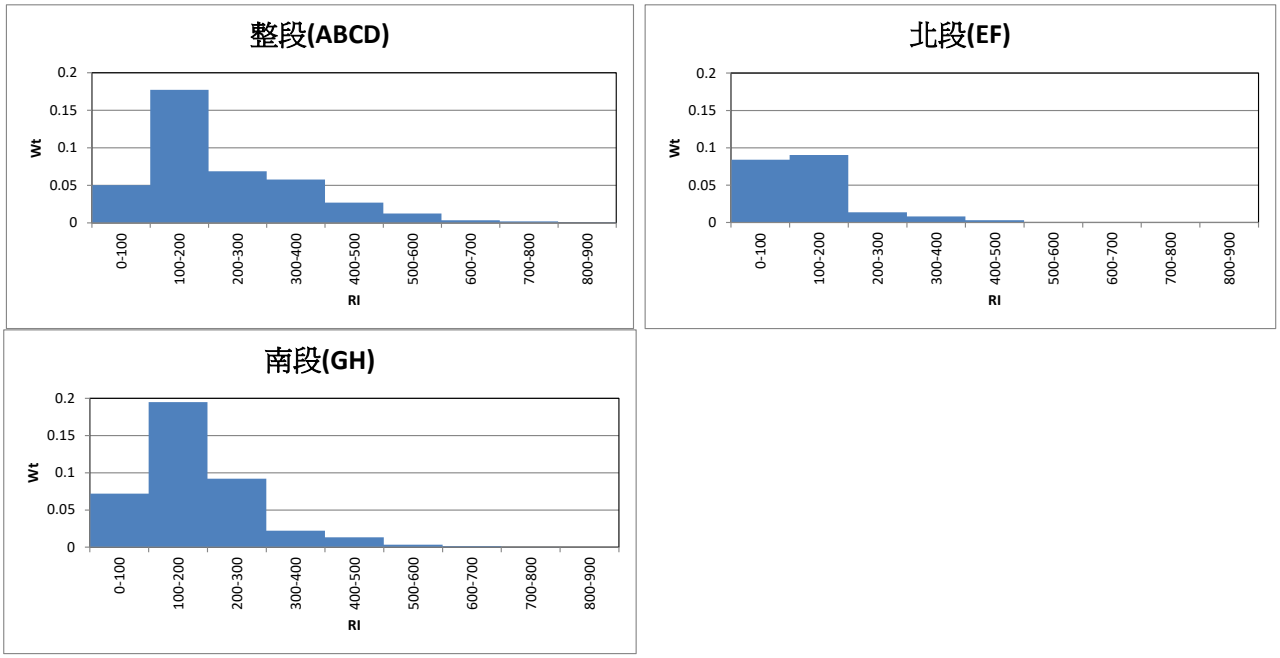


圖 13-3.10：車籠埔斷層三種分段破裂事件之邏輯樹地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，其餘以此類推，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間區間之權重總和。

（a）　　（b）

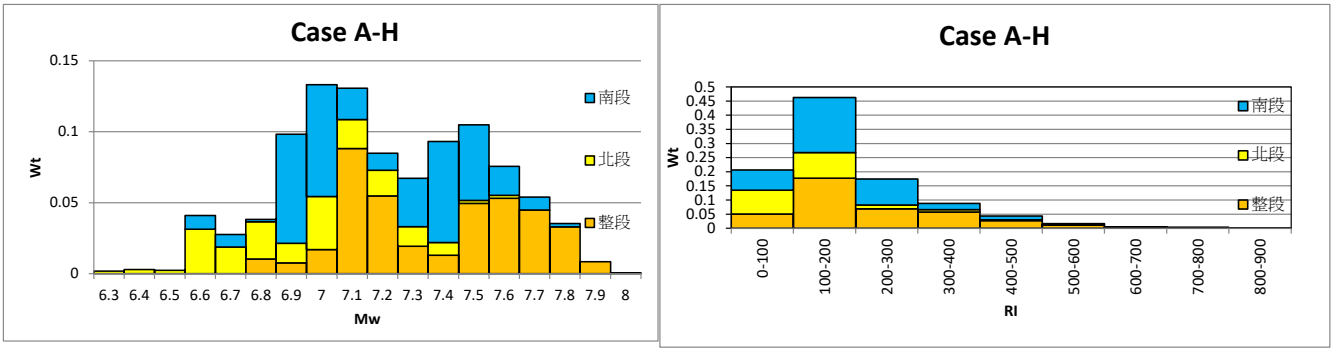


圖 13-3.11：（a）車籠埔斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）車籠埔斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

13-4 發震機率之推估

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

表 13-4.1 為車籠埔斷層 BPT 模式評估之結果，以西元 2020 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.3~8.0 之機率為 10.9%、21.3%及 45.6%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 10.6%、20.9%及 45.1%。

表 13-4.1：車籠埔斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.3 ~ 8.0	10.9%	21.3%	45.6%
M ≧ 6.5	10.6%	20.9%	45.1%
M ≧ 7.0	4.4%	10.6%	28.5%

第十四章、大茅埔-雙冬斷層潛勢評估

14-1 大茅埔-雙冬斷層參數彙整

大茅埔-雙冬斷層各項參數詳細內容詳附錄 12，大茅埔-雙冬斷層傾角及深度參考資料及參數如表 14-1.1 及表 14-1.2 所示。

參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，大茅埔-雙冬斷層平均滑移虧損速率下界為 0.7 mm/yr，上界為 2.0 mm/yr，平均值為 1.3 mm/yr，如表 14-1.3 所示。

彙整前人對於大茅埔-雙冬斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 14-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 14-1.1：大茅埔-雙冬斷層傾角各調查方法及斷層參數

參考文獻	調查方法	傾角
Chiu, 1972	雙冬西南方 2 公里的河床發現斷層露頭	N50E/55E
Chiu, 1975	中油 TSK-1 鑽井及地層對比	45 度
黃鑑水等，2000	雙冬西南方的露頭	向東傾斜 40 度
黃鑑水與陳勉銘，2000	烏溪以南的地區發現三個雙冬斷層露頭	35~45 度
黃旭燦等，2004	LINE 12 平衡剖面	40 度

表 14-1.2：大茅埔-雙冬斷層深度各調查方法及斷層參數

參考文獻	調查方法	深度
Suppe, 1987	平衡剖面	滑脫面 6 km
Rau, 2002	集集地震及其餘震之深度分布	10-12 km
Dominguez et al., 2003	等溫線與地震深度分布	9-11 km
Yue et al., 2005	平衡剖面	滑脫面 5.5-6 km

表 14-1.3：大茅埔-雙冬斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

斷層名稱		BLOCKS Model 總變動量（mm/yr）	DEFNODE Model 平均值滑移虧損率（mm/yr）	Baseline Inversion Model 斷層平均滑移速（mm/yr）	加權平均滑移虧損速率（mm/yr）
大茅埔-雙冬斷層	上界	2.4	2.8	0.8	2.0
	平均	2.1 ± 0.3	1.2 ± 1.6	0.5 ± 0.3	1.3
	下界	1.8	0.0	0.2	0.7

表 14-1.4：大茅埔-雙冬斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
大茅埔-雙冬斷層	斷層分段與破裂事件	A 大茅埔+雙冬	地形、走向、地層差異及斷層出露判釋	大江二郎，1938；何春蓀，1959；林啟文等，2000
		B 雙冬斷層		
	長度 (km)	大茅埔+雙冬 69		
		雙冬斷層 55		
	寬度(km)	23.4	Case 1：深度 0~5 km，40E；深度 5~6.5 km，5.5E	本計畫幾何模型
		23.5	Case 2：深度 0~5 km，50E；水平延伸 17 公里	
		29.0	Case 3：深度 0~5 km，45E；深度 5~9 km，10.5E	
	破裂深度(km)	滑脫面 6 km	平衡剖面	Suppe, 1987
		10-12 km	集集地震及其餘震之深度分布	Rau, 2002
		9-11 km	等溫線與地震深度分布	Dominguez et al., 2003
		滑脫面 5.5-6 km	平衡剖面	Yue et al., 2005
	面積(km2)	A：1623 B：1294	長度×寬度 (寬度使用 Case 2)	本計畫幾何模型
	走向	大茅埔斷層呈東北走向	大甲溪為界、地形差異判釋	大江二郎，1938；何春蓀，1959；林啟文等，2000
		雙冬斷層南段呈南北走向		
	傾斜角度(度)	N50E/55E	雙冬西南方 2 公里的河床發現斷層露頭	Chiu, 1972
		45 度	中油 TSK-1 鑽井及地層對比	Chiu, 1975
		向東傾斜 40 度	雙冬西南方的露頭	黃鑑水等，2000
		35~45 度	烏溪以南的地區發現三個雙冬斷層露頭	黃鑑水與陳勉銘，2000
		40 度	LINE 12 平衡剖面	黃旭燦等，2004

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	斷層機制	具左移分量的逆斷層	地質調查、地表破裂、GPS 資料	林啟文等，2000
	長期滑移速率(mm/yr)	-	-	-
	滑移虧損率(slip deficit rate)(mm/yr)	上界 2.0 平均 1.3 下界 0.7	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	0.1-0.3	集集地震地表破裂調查	林啟文等，2000
	最大可能地震規模(MW)	A: 7.2 B: 7.1	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.24 （逆斷層） (各破裂事件面積引用本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		A: 7.3 B: 7.1	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (各破裂事件面積引用本表)	Yen and Ma, 2011
	地震重複週期(年)	A: 1000-2000 B: 1000-2000	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	1999 年(?)	歷史地震	林啟文等，2000

14-2 邏輯樹更新

前階段在評估大茅埔-雙冬斷層之破裂，主要分為 A 整段破裂、B 大茅埔斷層及 C 雙冬斷層。本計畫認為大茅埔斷層單獨破裂引發之地震規模太小，因此不考慮大茅埔斷層單獨破裂，只考慮整段破裂及雙冬斷層破裂之情形，如圖 14-2.1 所示。

大茅埔-雙冬斷層之傾角及破裂深度，根據幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 Case 1：深度 0~5 公里，40E，深度 5~6.5 公里，5.5E；Case 2：深度 0~5 公里，50E，水平延伸 17 公里；Case 3：深度 0~5 公里，45E，深度 5~9 公里，10.5E，如圖 14-2.2 所示。相對於車籠埔斷層和彰化斷層，大茅埔-雙冬斷層幾何的不確定性較高，權重採用近似等權重的 Case 1(0.3)，Case 2(0.4)，Case 3(0.3)。

大茅埔-雙冬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(2020)「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(4/4)」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，如表 14-1.3。本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 0.7 mm/yr (0.3)、中值 1.3 mm/yr (0.4)、上界 2.0 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 14-2.1 所示為各破裂事件地震矩規模。

大茅埔-雙冬斷層斷層各節點權重的分配詳如圖 14-2.3 所示。

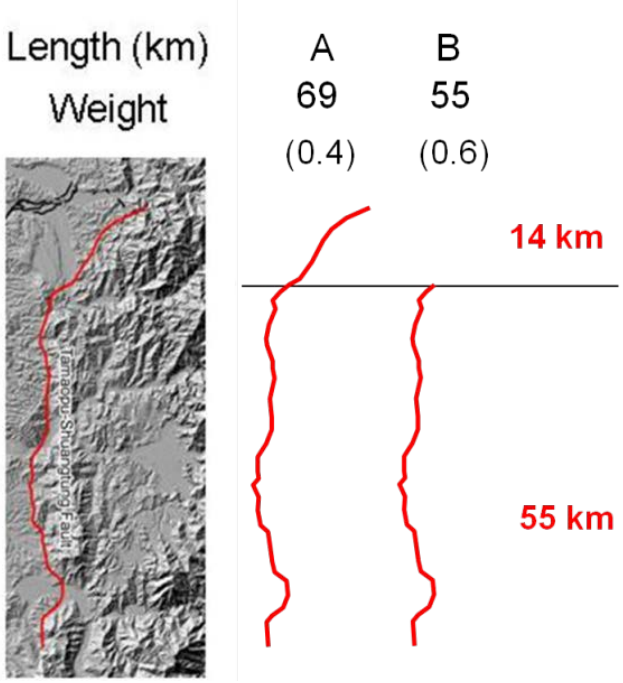


圖 14-2.1：本計畫大茅埔-雙冬斷層兩種可能破裂長度之模式與權重。

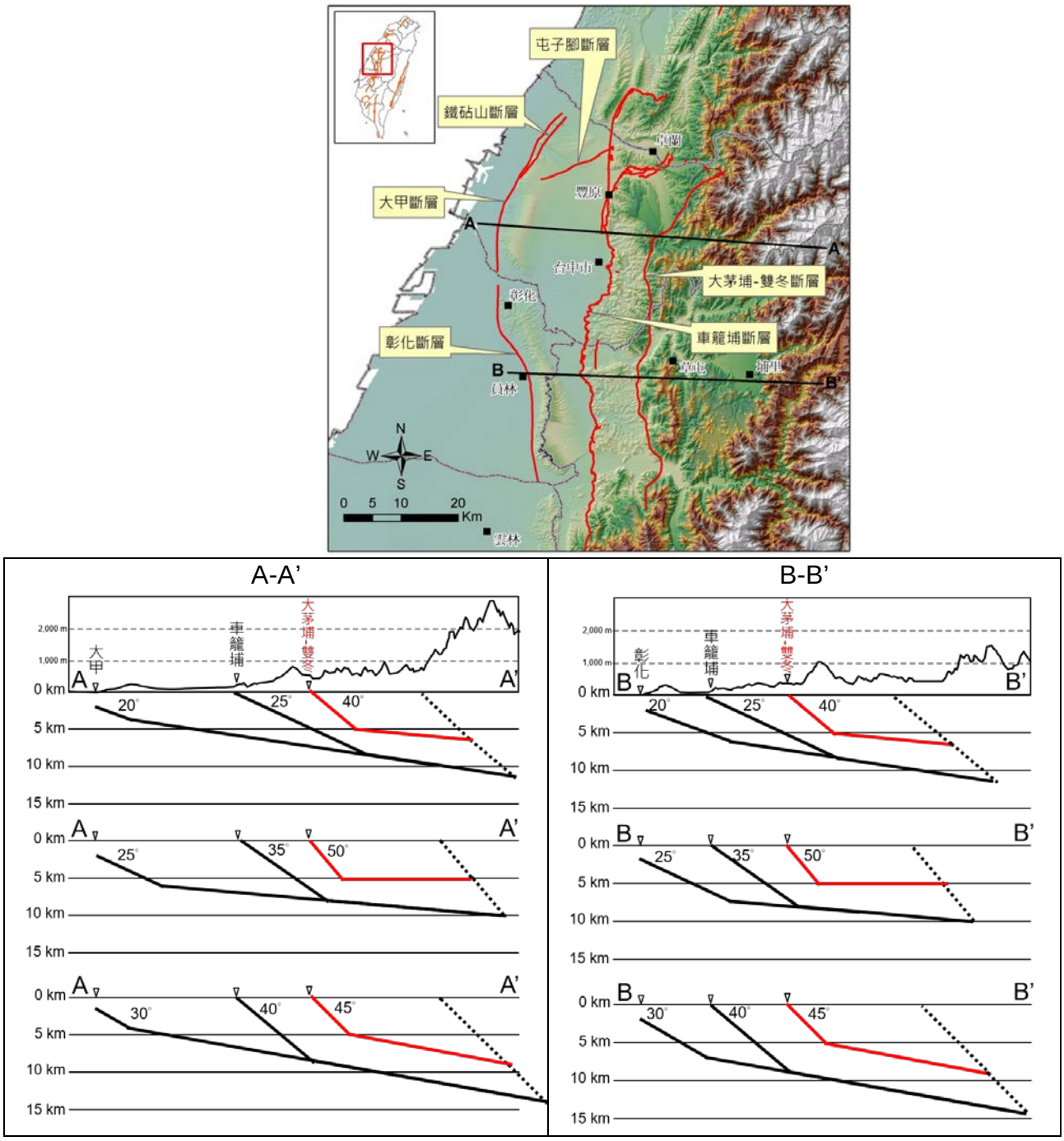


圖 14-2.2：本計畫大甲-彰化斷層、車籠埔斷層及大茅埔-雙冬斷層三種幾何關係示意圖。

表 14-2.1：大茅埔-雙冬斷層各破裂事件規模及權重

破裂事件	長度(km)	斷層幾何	寬度(km)	面積(km^2)	Wells and 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	69	深度 0~5 公里，40E 深度 5~6.5 公里，5.5E	23.4	1617	6.9	7.2	7.5	7.2
		深度 0~5 km，50E 水平延伸 17 公里	23.5	1623	6.9	7.2	7.5	7.3
		深度 0~5 km，45E 深度 5~9 km，10.5E	29.0	2002	7.0	7.3	7.6	7.4
B	55	深度 0~5 公里，40E 深度 5~6.5 公里，5.5E	23.4	1289	6.8	7.1	7.4	7.1
		深度 0~5 km，50E 水平延伸 17 公里	23.5	1294	6.8	7.1	7.4	7.1
		深度 0~5 km，45E 深度 5~9 km，10.5E	29.0	1596	6.9	7.2	7.5	7.2
權重					0.1	0.3	0.1	0.5

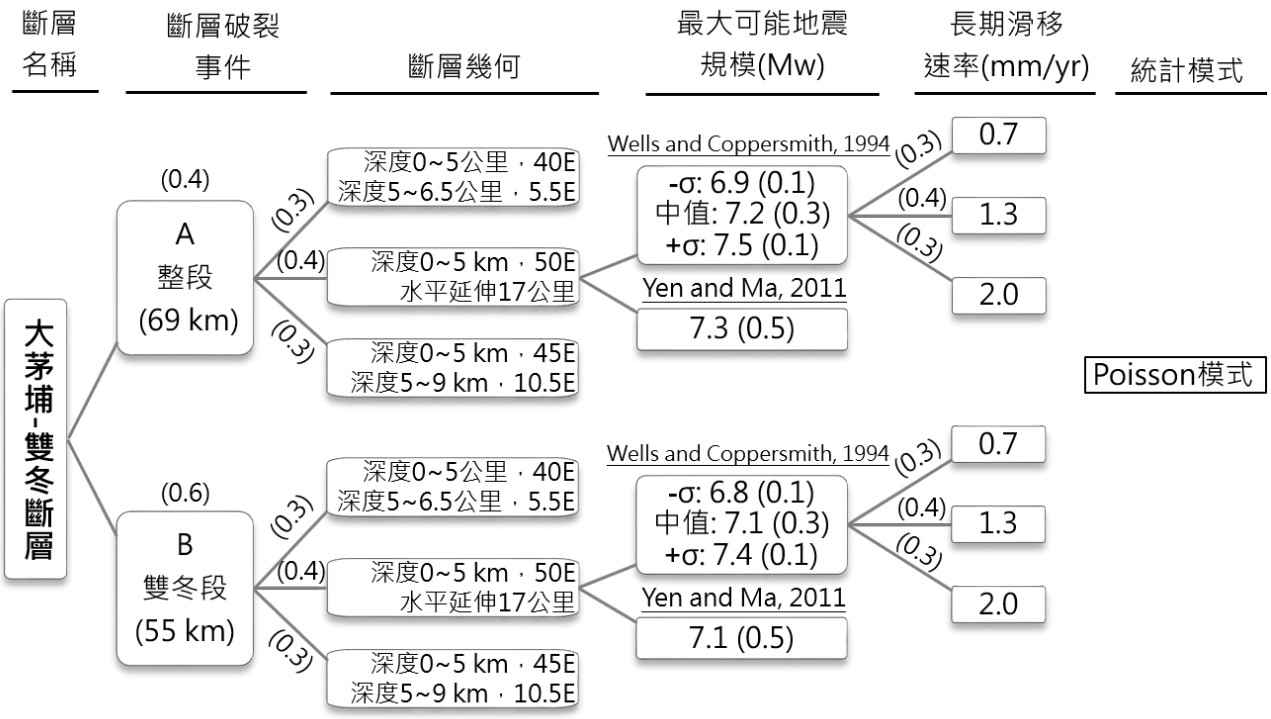


圖 14-2.3：大茅埔-雙冬斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。

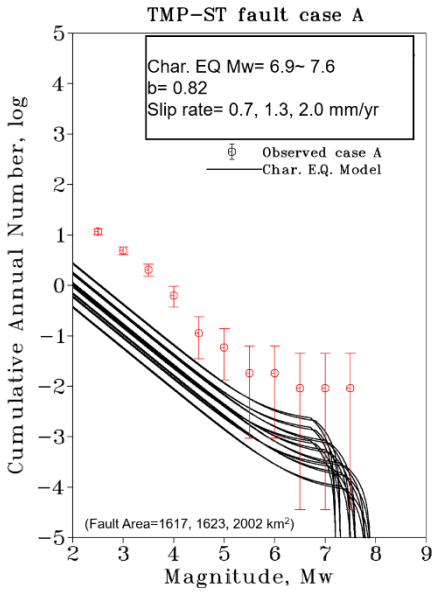
14-3 規模與年發生率之關係

大茅埔-雙冬斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 14-3.1~圖 14-3.2 為 2 個破裂事件取表 14-2.1 值之特徵地震模式分布情形。

圖 14-2.3 之大茅埔-雙冬斷層邏輯樹可得到 72 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 14-3.3 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 7.3 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.2 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 14-3.4 為 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。

將兩種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 14-3.5(a)之大茅埔-雙冬斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 14-3.5（b）之大茅埔-雙冬斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。



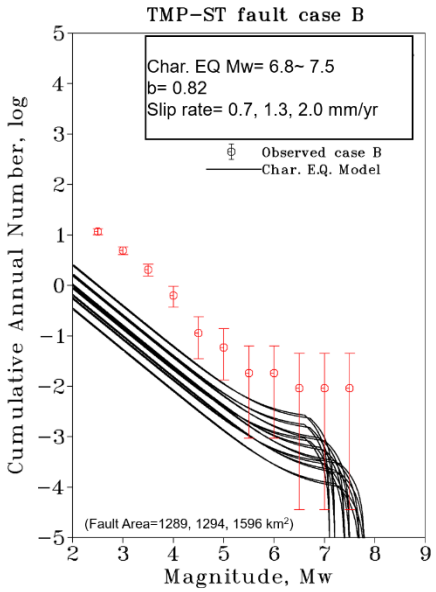


圖 14-3.1：A 事件特徵地震模式。圖 14-3.2：B 事件特徵地震模式。

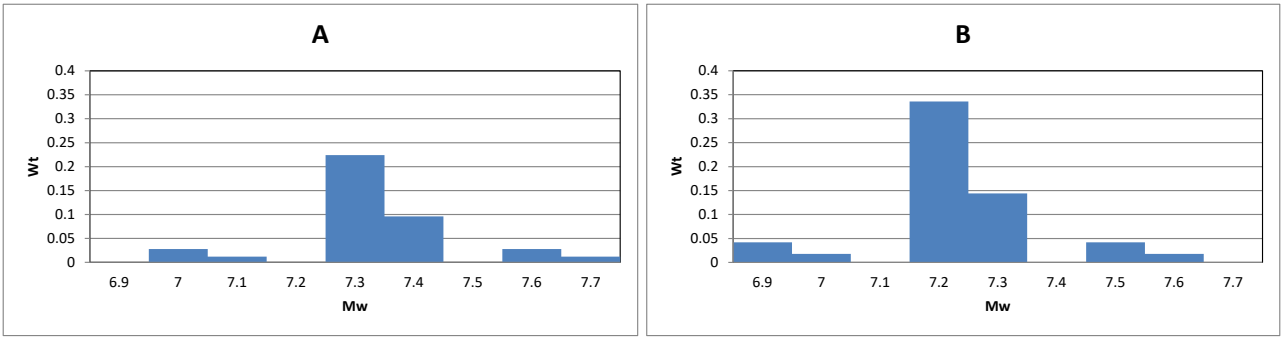


圖 14-3.3：大茅埔-雙冬斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

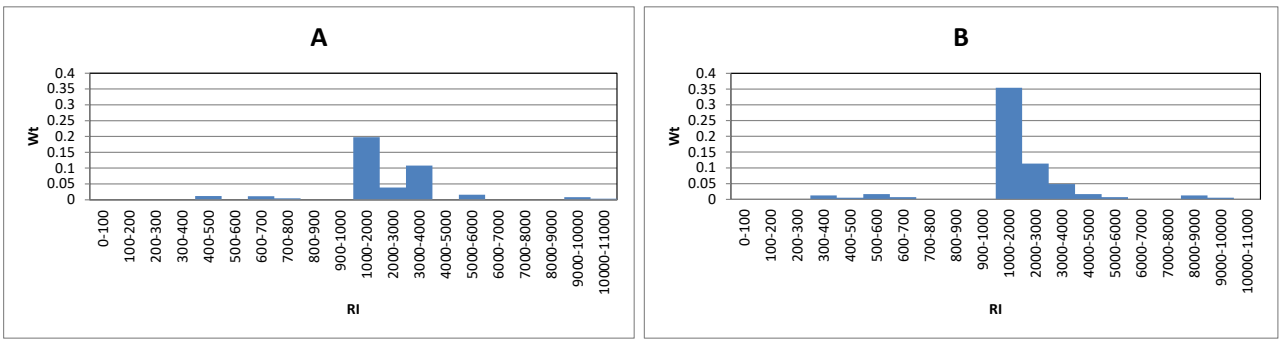


圖 14-3.4：大茅埔-雙冬斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

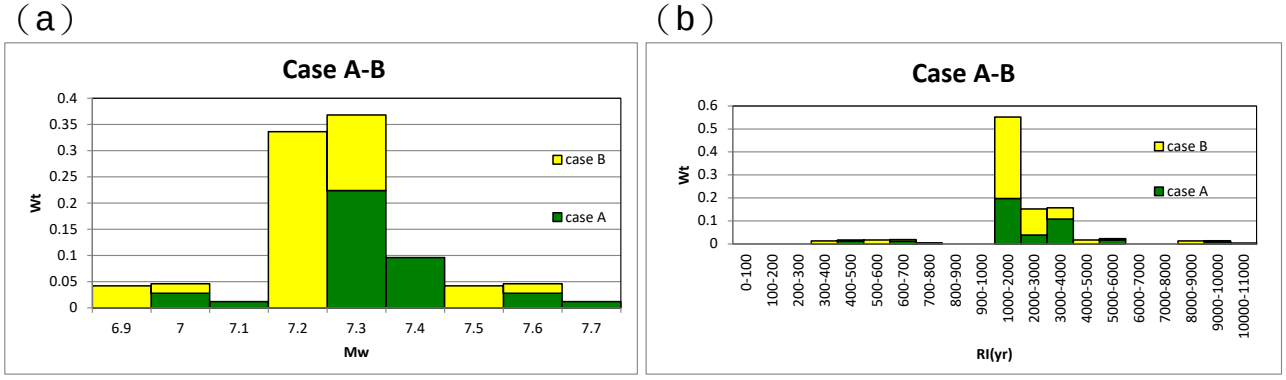


圖 14-3.5：（a）大茅埔-雙冬斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）大茅埔-雙冬斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

14-4 發震機率之推估

在獲得各事件之再現週期後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算大茅埔-雙冬斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，大茅埔-雙冬斷層最後一次發生時間為未知，雖然西元 1999 年 921 集集地震時在地表有觀察到地表破裂，但斷層並未達到特徵地震規模之程度，因此本計畫採用 Poisson 模式進行評估。表 14-4.1 為大茅埔-雙冬斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2020 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.9~7.7 之機率為 1.9%、3.2%及 6.2%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.0 以上之機率為 1.7%、2.8%及 5.6%。

表 14-4.1：本計畫大茅埔-雙冬斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.9 ≦ M ≦7.7	1.9%	3.2%	6.2%
M ≧ 7.0	1.7%	2.8%	5.6%

第十五章、九芎坑斷層潛勢評估

15-1 九芎坑斷層參數彙整

九芎坑斷層各項參數詳細內容詳附錄 13，九芎坑斷層幾何參考資料及參數如表 15-1.1 所示，九芎坑斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 15-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，九芎坑斷層平均滑移虧損速率下界 3.8 mm/yr，上界為 7.7 mm/yr，平均值為 5.5 mm/yr，如表 15-1.3 所示。

彙整前人對於九芎坑斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 15-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 15-1.1：九芎坑斷層幾何面各調查方法及斷層參數

作者	方法	傾角		深度
林慶偉等，1999	大湖口、梅山等地露頭	NE20°-25° /30°-35°E		-
林煌棋，1996	鑽井與震測資料	向東南傾斜 30°		-
楊耿明等，2001	震測、野外資料、井下資料	剖面 6	約 30 度向東下傾，地下 2.2 公里轉水平	-
		剖面 5	約 33-36 度，至深處更陡	7.5km（和鹿窟斷層相接）
		剖面 2	約 36 度	3.5-4km（未和其他斷層相接）
石瑞銓等，2003	地球物理(震測與地電)	25 度向東傾		-
黃旭燦等，2004	構造平衡剖面	Line 17	約 27 度	5 km 接大尖山斷層
		Line 18	約 28 度	2.5 公里接大尖山斷層
		Line 19	約 26 度	2 公里接大尖山斷層
翁子偉，2005	反射震測線、震測剖面	東傾 30°-36°		-

表 15-1.2：九芎坑斷層長期滑移速率彙整

參考文獻	方法	滑移速率(mm/yr)
Lin et al., 2007	大湖口溪露頭位移量 4.7-9.1 公尺，碳 14 定年為 16,450 yr B.P.	>0.28 -0.55 mm/yr
Chen et al., 2009	上盤處的華山橋古沖積扇露頭，光螢光定年結果為 80 ka；而位在下盤的岩心資料顯示，相同年代的地層在下盤的地下深度平均約 44.8 公尺	假設斷層傾角為 25 度，可得到沿斷層面的滑移量為 117 公尺，長期滑移速率約 1.5 mm/yr
TEM, 2014	大湖口地形崖，高差約 30 公尺高，崖面推估年代約 5~25 kyr。利用地形崖高度除以年代，抬升速率介於 1.2~6.0 mm/yr	以斷層面傾角 30 度換算。斷層面長期滑移速率約為 2.4~12.0 mm/yr

表 15-1.3：九芎坑斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速（mm/yr）	
九芎坑斷層	上界	5.1	14.5	13.9	11.2
	平均	4.1 ± 1.0	7.2 ± 4.3	7.6 ± 6.3	6.3
	下界	3.1	2.9	1.3	2.4

表 15-1.4：九芎坑斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
九芎坑斷層	斷層分段與破裂事件	A: 九芎坑斷層+桐樹湖斷層		地形、地層差異及斷層出露判釋	中國石油公司，1986；張徽正等，1998；林慶偉等，1999；林啟文等，2000；劉彥求等，2004
		B: 九芎坑斷層			
	長度 (km)	A: 28　B: 17			
	寬度(km)	22.2		Case 1：深度 0~4 km，27.5E； 深度 4~6 km，8.5E	本計畫幾何模型
		17.9		Case 2：深度 0~2 km，25E； 深度 2~2.5 km，3.5E； 深度 2.5~5 km，30E	
		15.7		Case 3：深度 0~1 km，35E； 深度 1~2 km，10E； 深度 2~7 km，37.5E	
	破裂深度 (km)	剖面 5	7.5km(和鹿窟斷層相接)	利用震測、野外資料、井下資料繪製地質剖面	楊耿明等，2001
		剖面 2	3.5-4km(未和其他斷層相接)		
		Line 17	5 km 接大尖山斷層	構造平衡剖面	黃旭燦等，2004
		Line 18	2.5 公里接大尖山斷層		
		Line 19	2 公里接大尖山斷層		
	面積 (km^2)	A: 502		長度×寬度 (寬度使用 Case 2)	本計畫幾何模型
		B: 305			
	走向	北北東		航空照片立體像對、數值地形模型	林啟文等，2007
	傾斜角度 (度)	NE20°-25° /30°-35°E		大湖口、梅山等地露頭	林慶偉等，1999
		向東南傾斜 30°		鑽井與震測資料	林煌棋，1996
		剖面 6	約 30 度向東下傾，地下 2.2 公里處轉水平	利用震測、野外資料、井下資料繪製地質剖面	楊耿明等，2001
		剖面 5	約 33-36 度，至深處更陡		
		剖面 2	約 36 度		

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
		25 度向東傾	地球物理（震測與地電）	石瑞銓等，2003
		約 27 度	構造平衡剖面 Line 17	黃旭燦等，2004
		約 28 度	構造平衡剖面 Line 18	
		約 26 度	構造平衡剖面 Line 19	
		東傾 30°-36°	反射震測線、震測剖面	翁子偉，2005；王乾盈等，2005
	斷層機制	逆移斷層(含右移分量)	野外地質調查、槽溝開挖	林啟文等，2000；陳文山等，2003
	長期滑移速率 (mm/yr)	0.28-0.55	大湖口溪露頭位移量 4.7-9.1 公尺，碳 14 定年為 16,450 yr B.P.	Lin et al., 2007
		1.55	華山橋古沖積扇露頭，光螢光定年為 80 ka；而下盤的岩心資料，相同年代的地層在下盤的地下深度平均約 44.8 公尺	Chen et al., 2009
		2.4~12.0 (以斷層面傾角 30 度換算)	大湖口地形崖，高差約 30 公尺高，崖面推估年代約 5~25 kyr。地形崖高度/年代=抬升速率 1.2~6.0 mm/yr	TEM, 2014
	滑移虧損率 (mm/yr)	上界 11.2 平均 6.3 下界 2.4	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	A：1.36 B：1.19	log D= 0.29Mw-1.84 σ=0.42	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模(M_W)	A: 6.8 B: 6.6	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.24（逆斷層） (破裂事件面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		A:6.7 B: 6.5	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (破裂事件面積參照本表)	Yen and Ma, 2011

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	地震重複週期(年)	A: 200-300 B: 100-200	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	<18,540 年	斷層截切階地躒岩定年	許晉耀，2003；陳文山，2003

15-2 邏輯樹更新

本計畫參考前階段計畫，在評估九芎坑斷層之破裂，主要分為 A：桐樹湖斷層+九芎坑斷層、B：九芎坑斷層兩種破裂模式，桐樹湖斷層和九芎坑斷層分布關係如圖 15-2.1 所示，權重設定為 A（0.4）、B（0.6）。

九芎坑斷層之傾角及破裂深度，根據幾何更新結果，斷層幾何考慮三種情形，分別為 Case 1：深度 0~4 公里，27.5E；深度 4~6 公里，8.5E。Case 2：深度 0~2 公里，25E；深度 2~2.5 公里，3.5E；深度 2.5~5 公里，30E。Case 3：深度 0~1 公里，35E；深度 1~2 公里，10E；深度 2~7 公里，37.5E，由於不確定哪種情形較可能，權重分配為接近等權重，Case 1(0.3)，Case 2(0.4)，Case 3(0.3)，詳圖 15-2.2 所示。

滑移速率根據表 15-1.2 所蒐集到之資料，其中 0.28 mm/yr 之值，Lin et al. (2007) 認為是九芎坑斷層帶中之分支斷層滑移速率，僅能代表其下限值。本計畫設定長期滑移速率最小為 0.3 mm/yr，最大為 12.0 mm/yr，以 0.3 mm/yr 及 12.0 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值(0.3+12.0)/2=6.2 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重分配為常態分布：0.3 mm/yr (0.2)，6.2 mm/yr (0.6)，12.0 mm/yr (0.2)。

各事件之特徵地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，如表 15-2.1 所示。

九芎坑斷層各節點權重的分配詳如圖 15-2.3 所示。

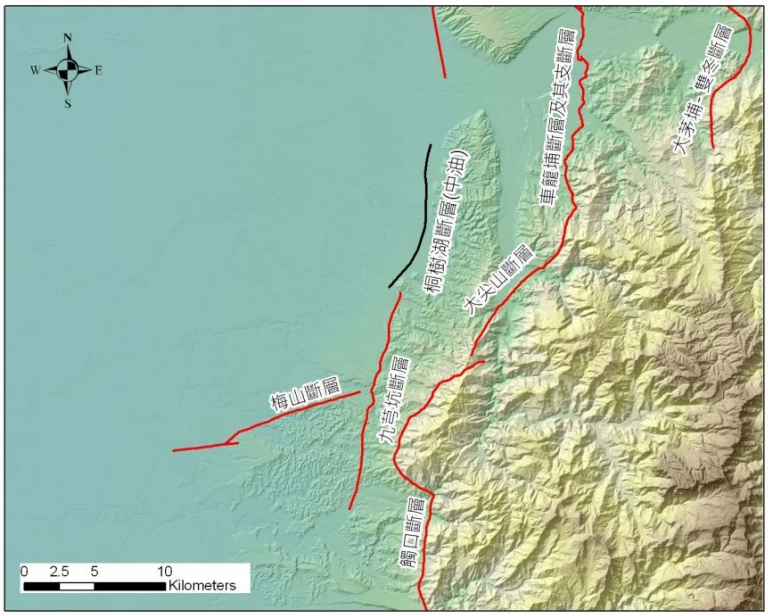


圖 15-2.1：桐樹湖斷層和九芎坑斷層之分布關係。

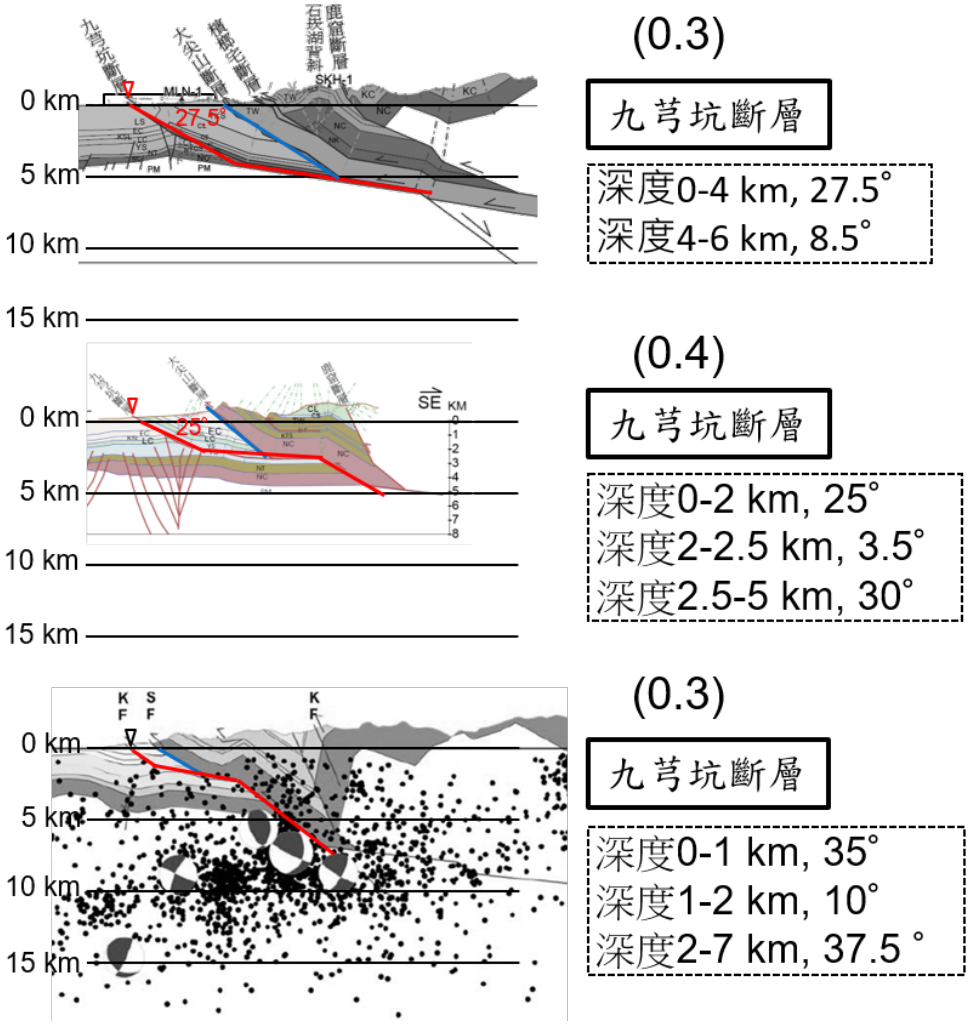


圖 15-2.2：本計畫九芎坑斷層、大尖山斷層幾何關係示意圖。

表 15-2.1：九芎坑斷層各破裂事件規模及權重

破裂事件	長度 (km)	斷層幾何	寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式) (Mw)
					-σ	中值	+σ	
A	28	深度 0~4 公里，27.5E 深度 4~6 公里，8.5E	22.2	621	6.5	6.8	7.1	6.8
		深度 0~2 km，25E 深度 2~2.5 km，3.5E 深度 2.5~5 km，30E	17.9	502	6.5	6.8	7.1	6.7
		深度 0~1 km，35E 深度 1~2 km，10E 深度 2~7 km，37.5E	15.7	440	6.4	6.7	7.0	6.6
B	17	深度 0~4 公里，27.5E 深度 4~6 公里，8.5E	22.2	377	6.3	6.6	6.9	6.6
		深度 0~2 km，25E 深度 2~2.5 km，3.5E 深度 2.5~5 km，30E	17.9	305	6.3	6.6	6.9	6.5
		深度 0~1 km，35E 深度 1~2 km，10E 深度 2~7 km，37.5E	15.7	267	6.2	6.5	6.8	6.4
權重					0.1	0.3	0.1	0.5

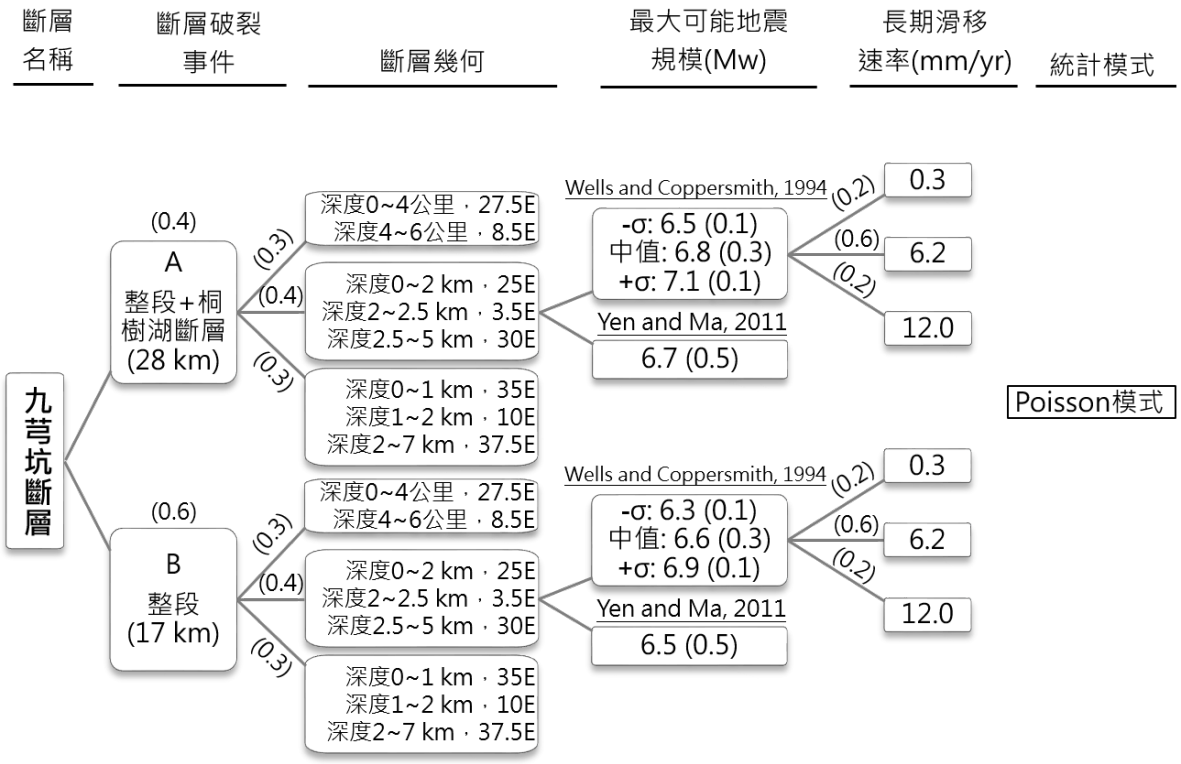


圖 15-2.3：九芎坑斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。

15-3 規模與年發生率之關係

九芎坑斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 15-3.1~圖 15-3.2 為 2 個破裂事件取邏輯樹傾角及深度中間值之特徵地震模式分布情形。

圖 15-2.3 之九芎坑斷層邏輯樹可得到 72 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 15-3.3 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 6.8 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 15-3.4 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 15-3.5（a）之九芎坑斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 15-3.5（b）之九芎坑斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

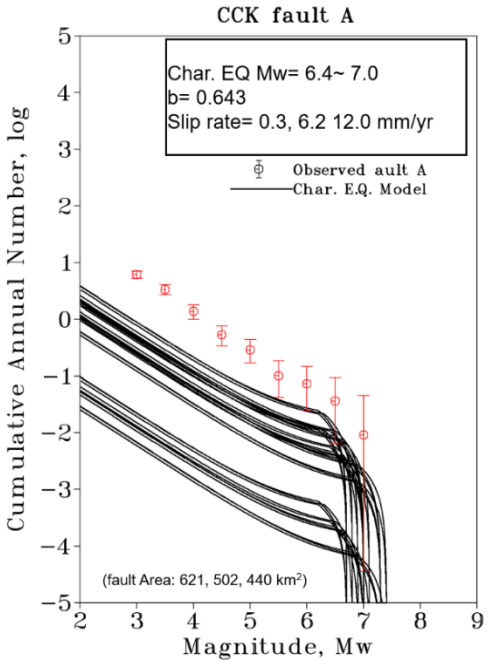


圖 15-3.1：A 事件特徵地震模式。

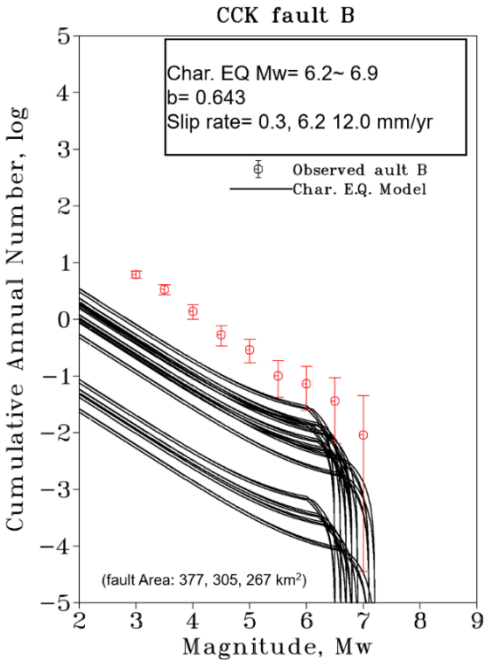


圖 15-3.2：B 事件特徵地震模式。

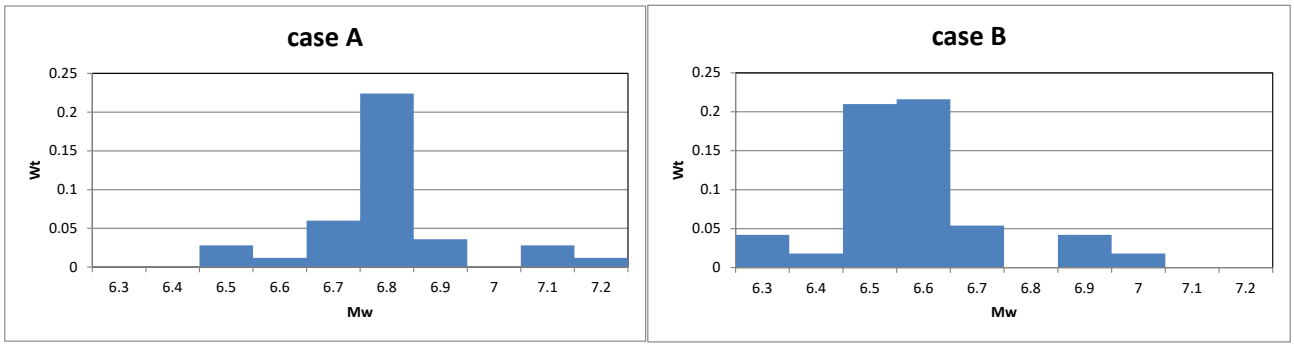


圖 15-3.3：九芎坑斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

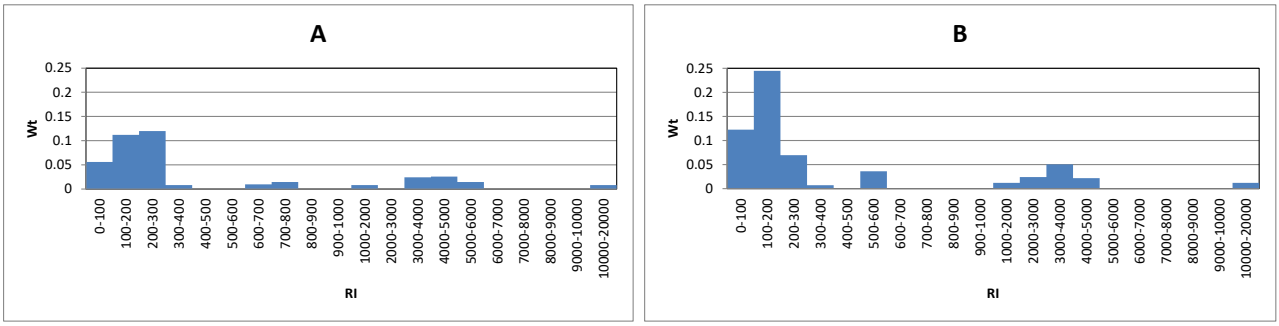


圖 15-3.4：九芎坑斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　　（b）

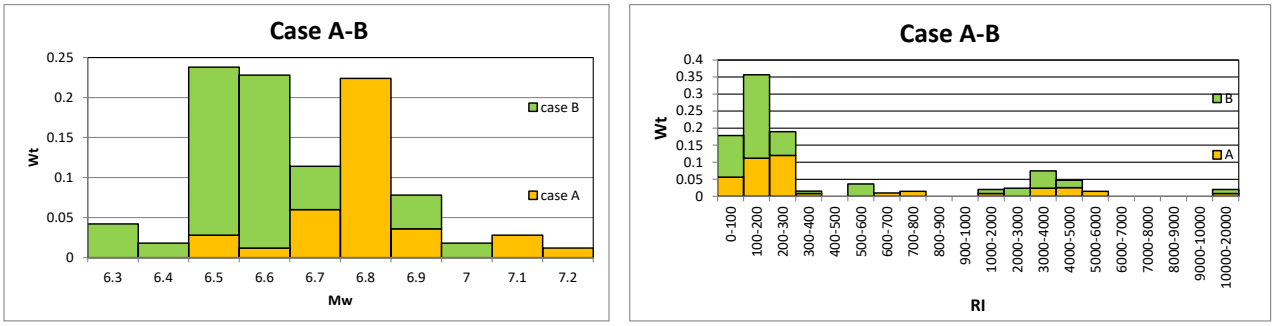


圖 15-3.5：（a）九芎坑斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）九芎坑斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

15-4 發震機率之推估

在獲得各事件之再現週期後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算九芎坑斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，九芎坑斷層最後一次發生時間為未知，因此本計畫採用 Poisson 模式進行評估。

表 15-4.1 為九芎坑斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2020 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.3~7.2 之機率為 15.8%、24.2%及 39.7%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 13.9%、21.4%及 35.8%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 7.0 以上之機率為 0.3%、0.4%及 0.8%。

表 15-4.1：九芎坑斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.3 ≦ M ≦7.2	15.8%	24.2%	39.7%
M ≧ 6.5	13.9%	21.4%	35.8%
M ≧ 7.0	0.3%	0.4%	0.8%

第十六章、梅山斷層潛勢評估

16-1 梅山斷層參數彙整

梅山斷層各項參數詳細內容詳附錄 14，梅山斷層幾何參考資料及參數如表 16-1.1 所示。

參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，梅山斷層平均滑移虧損速率下界為 1.5 mm/yr，上界為 9.9 mm/yr，平均值為 5.2 mm/yr，如表 16-1.2 所示。

彙整前人對於梅山斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 16-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 16-1.1：梅山斷層幾何面各調查方法及斷層參數

參考文獻	方法	傾角(度)	深度(公里)
葉義雄等，1984	微震與重力探勘	接近垂直地表	-
謝昭輝與辛在勤，1988；謝昭輝，1989	反射震測探勘	70S	-
石瑞銓等，1998；石瑞銓等，2002；彭秋紋等，2004	淺層反射震測	壓縮狀開花構造	-
黃旭燦，2003	地質平衡剖面	花狀構造	-
Chen et al., 2008	1999.10.22 嘉義地震餘震分布	-	約 10-16

表 16-1.2：梅山斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
梅山斷層	上界	2.6	11.9	15.1	9.9
	平均	2.6 ± 0.0	4.5 ± 7.4	8.5 ± 6.6	5.2
	下界	2.6	0.0	1.9	1.5

表 16-1.3：梅山斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
梅山斷層	斷層分段與破裂事件	A. 僅 1906 年地表破裂 B. 地表破裂+西部延伸 C. 地表破裂+東部延伸 D. 地表破裂+東、西部延伸	1906 年地表破裂、地形、航照判釋	Omori, 1907；張徽正等，1998；林啟文等，2000；陳文山等，2006
	長度(km)	A. 13　B. 25 C. 23　D. 35		
	寬度(km)	12.7	深度/ sin(傾角) (以深度 12.5 公里，傾角 80 度換算)	本計畫推估
	破裂深度(km)	約 10-16 (本計畫假設破裂深度最深為 15 km)	1999.10.22 嘉義地震餘震分布	Chen et al., 2008
	面積(km2)	A. 165　B. 317 C. 292　D. 444	長度×寬度 (寬度參照本表)	
	走向	東北東	地形、航照判釋、地震地表破裂判釋	張徽正等，1998；林啟文等，2000
	傾斜角度(度)	接近垂直地表	微震與重力探勘	葉義雄等，1984
		70S	反射震測探勘	謝昭輝與辛在勤，1988；謝昭輝，1989
		壓縮狀開花構造	淺層反射震測	石瑞銓等，1998；石瑞銓等，2002；彭秋紋等，2004
		花狀構造	地質平衡剖面	黃旭燦，2003
	斷層機制	右移斷層	1906 年地表破裂、反射震測探勘	Omori, 1907；陳文山等人，2006；石瑞銓等，1998；石瑞銓等，2002；彭秋紋等，2004
	長期滑移速率(mm/yr)	-	-	-
	滑移虧損率(mm/yr)	上界 9.9 平均 5.2 下界 1.5	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	最大右移量 2.4，最大垂直位移量 1.8	1906 梅山地震地表破裂	Omori, 1907；游明聖、鄭世楠，1994
	最大可能地震規模(Mw)	A. 6.2　B. 6.5 C. 6.5　D. 6.7	Mw =3.98+1.02 log A σ=0.24 (平移斷層) (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
		A. 6.2　B. 6.5 C. 6.5　D. 6.6	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1 + \max(1, \frac{A}{H^2 \beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震重複週期(年)	A: 100-200 B: 100-200 C: 100-200 D: 100-200	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	西元 1792，1906	歷史文獻記載，1906 梅山地震	歷史地震

16-2 邏輯樹更新

在評估梅山斷層之破裂，是以長度不確定性來區分破裂模式，如圖 16-2.1 所示為梅山斷層四種破裂模式，權重設定為 A（0.5）、B（0.2）、C（0.2）、D（0.1）。

梅山斷層之傾角及破裂深度，梅山斷層為走向滑移斷層，淺層震測顯示開花狀構造，本計畫推估梅山斷層傾角應在 75°S 到 85°S 左右，破裂之最深可達 15 公里。因參數不確定性較高，計畫設定傾角權重為 75 度（0.3）、80 度（0.4）、85 度（0.3），破裂深度權重為 10 公里（0.3）、12.5 公里（0.3）、15 公里（0.4）。

梅山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（2020）「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（4/4）」計畫推估之成果，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，加權後斷層平均滑移虧損速率如表 16-1.2 所示。本計畫據此設定邏輯樹權重為 1.5 mm/yr (0.3)、5.2 mm/yr (0.4)、9.9 mm/yr (0.3)。

各事件之特徵地震規模則代入 Wells and Coppersmith（1994）及 Yen and Ma（2011）之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith（1994）之標準差作為上下之分支，表 16-2.1 為梅山斷層取幾何參數中值計算的特徵地震規模。

梅山斷層各節點權重的分配詳如圖 16-2.2 所示。

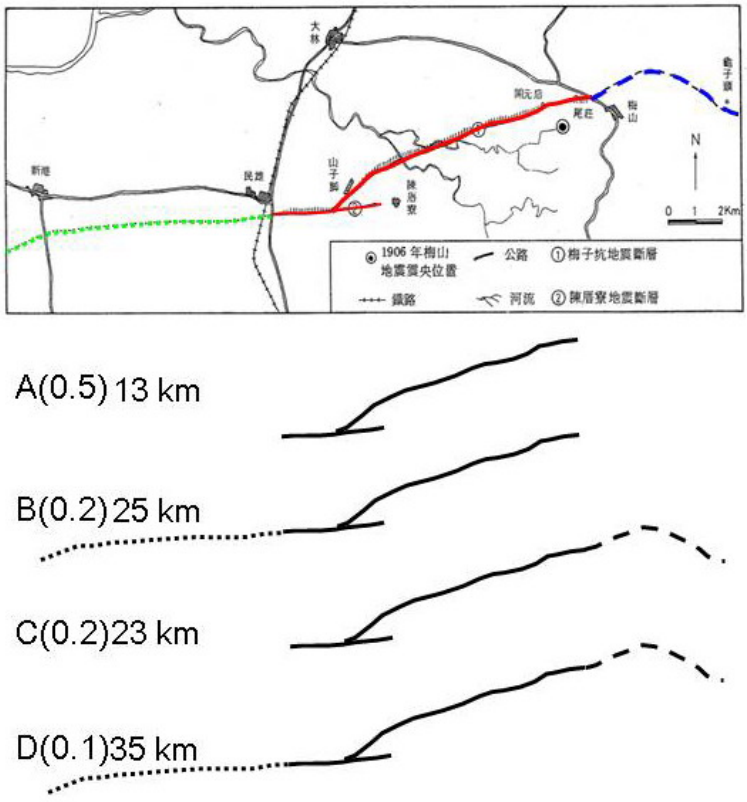


圖 16-2.1：梅山斷層四種可能破裂長度之模式。

表 16-2.1：梅山斷層各破裂事件規模及權重

破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	寬度 (km)	傾角 (度)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式) (Mw)
						-σ	中值	+σ	
A	13	12.5	12.7	80	165	6.0	6.2	6.4	6.2
B	25	12.5	12.7	80	317	6.3	6.5	6.7	6.5
C	23	12.5	12.7	80	292	6.3	6.5	6.7	6.5
D	35	12.5	12.7	80	444	6.5	6.7	6.9	6.6
權重						0.1	0.3	0.1	0.5

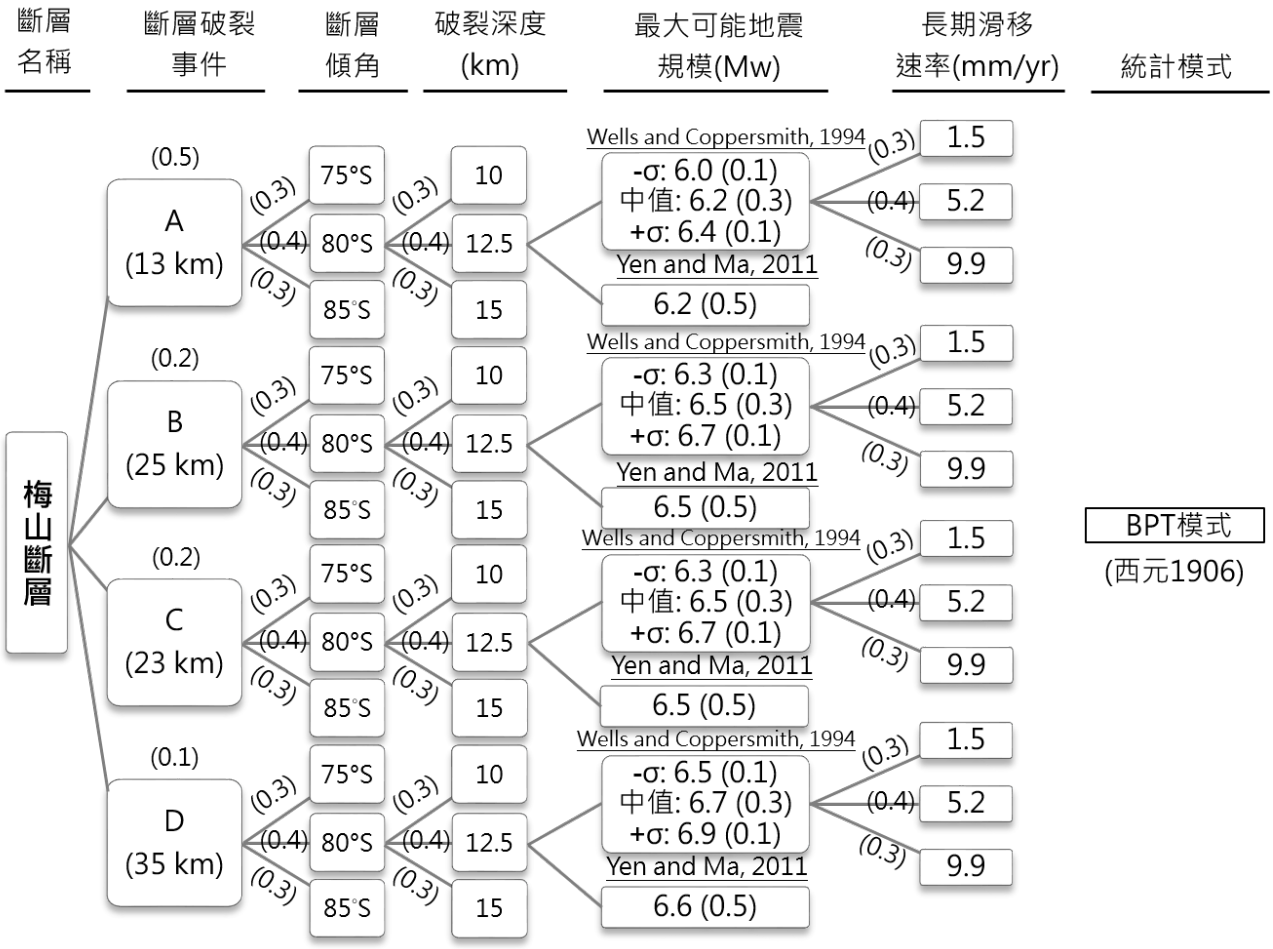


圖 16-2.2：梅山斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。

16-3 規模與年發生率之關係

梅山斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 16-3.1~圖 16-3.4 為 4 個破裂事件取邏輯樹傾角及深度中間值之特徵地震模式分布情形。

圖 16-2.2 之梅山斷層邏輯樹可得到 432 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 16-3.5 為 4 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.3 之權重最高；破裂模式 B 以規模 6.6 之權重最高；破裂模式 C 以規模 6.5 之權重最高；破裂模式 D 以規模 6.7 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 16-3.6 為 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖，4 種破裂模式在地震復發間隔時間 100 年~200 年間有較高之權重。

將四種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 16-3.7（a）之梅山斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 16-3.7（b）之梅山斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

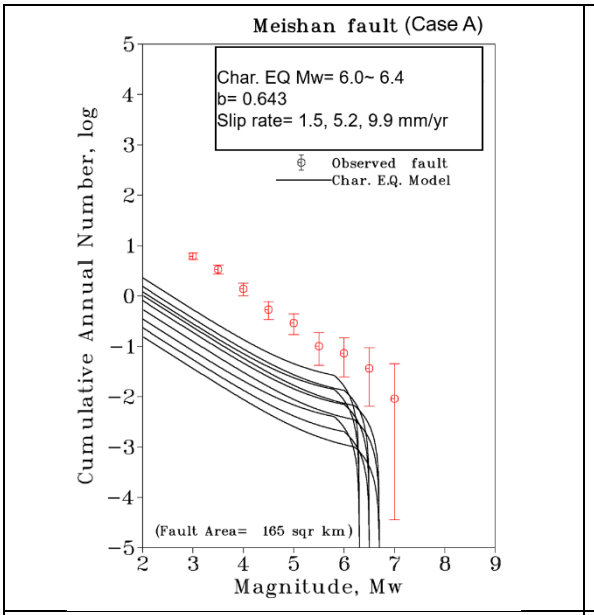


圖 16-3.1：A 事件特徵地震模式。

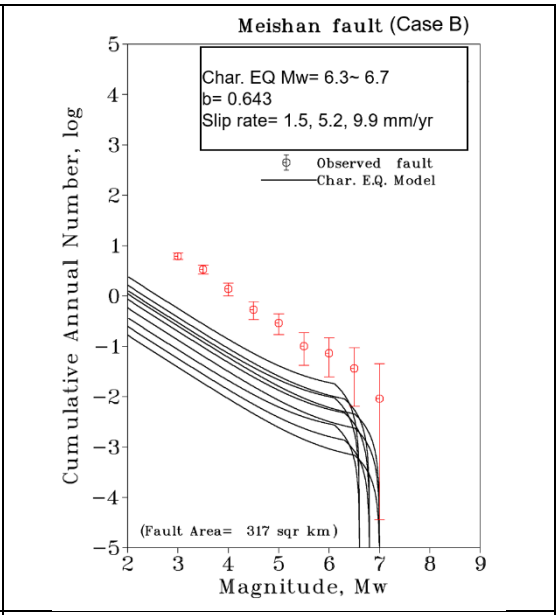


圖 16-3.2：B 事件特徵地震模式。

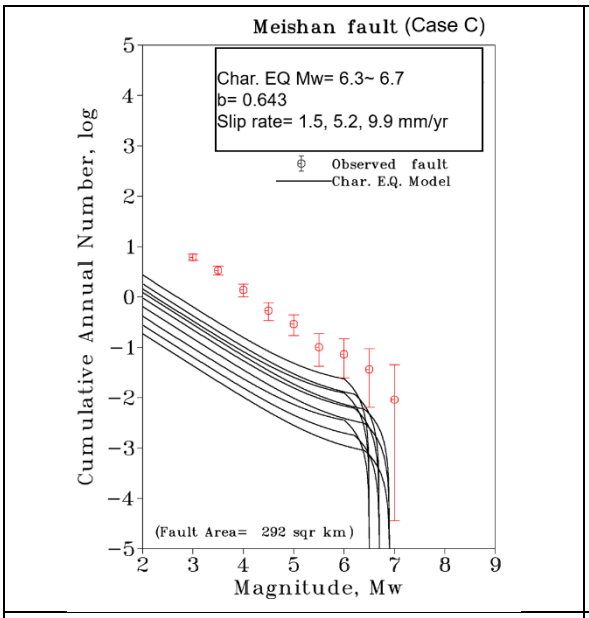


圖 16-3.3：C 事件特徵地震模式。

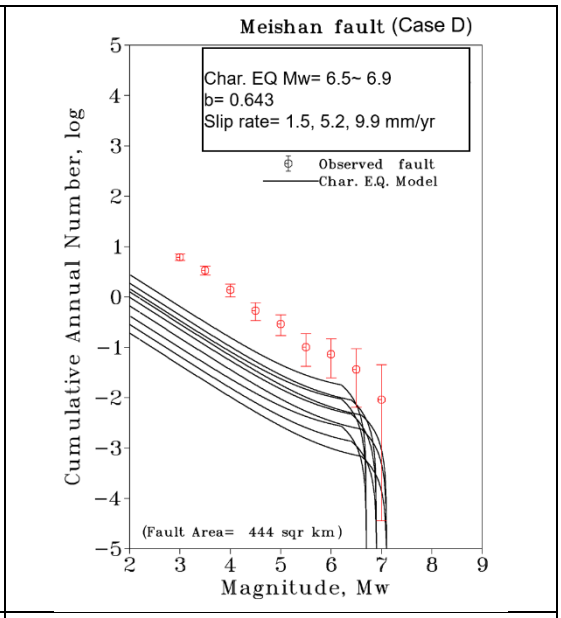


圖 16-3.4：D 事件特徵地震模式。

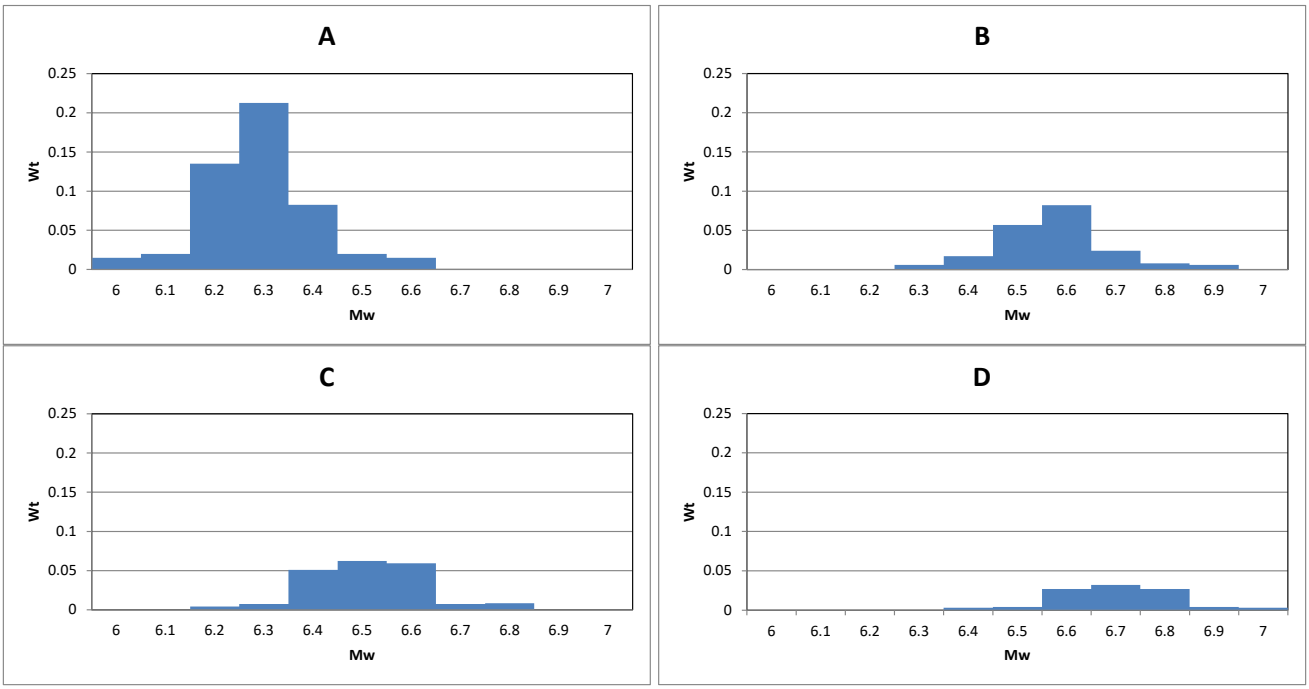


圖 16-3.5：梅山斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

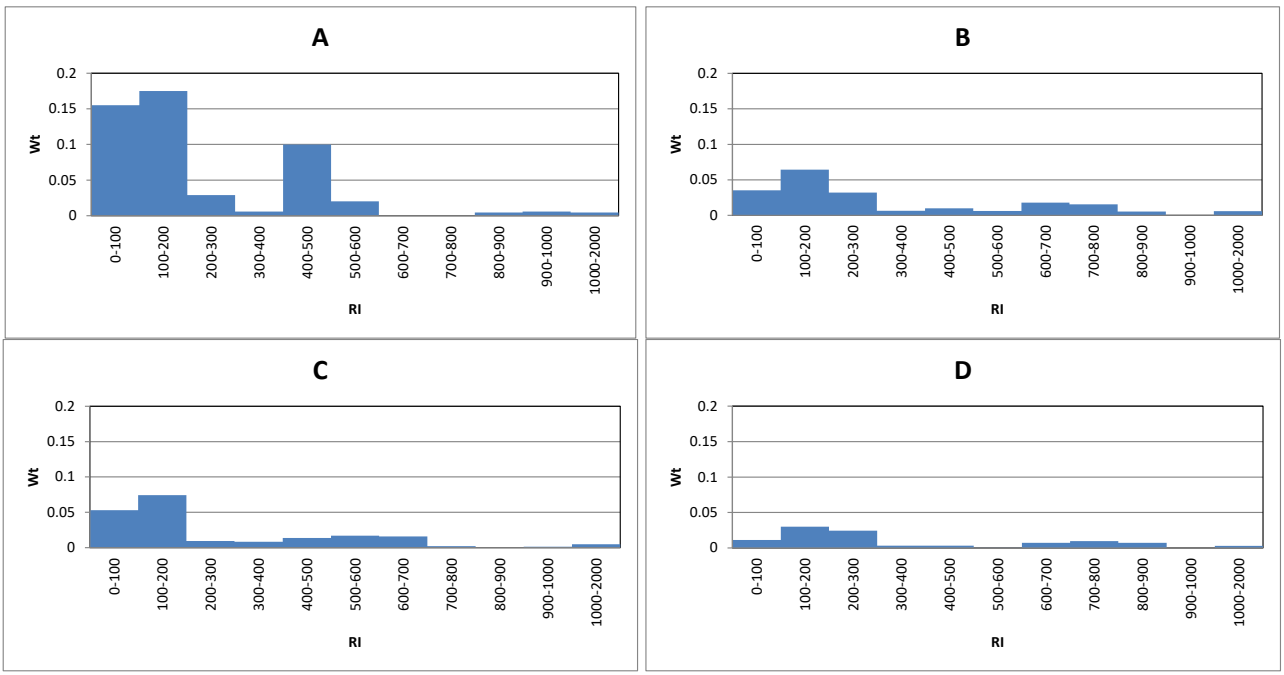


圖 16-3.6：梅山斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　　（b）

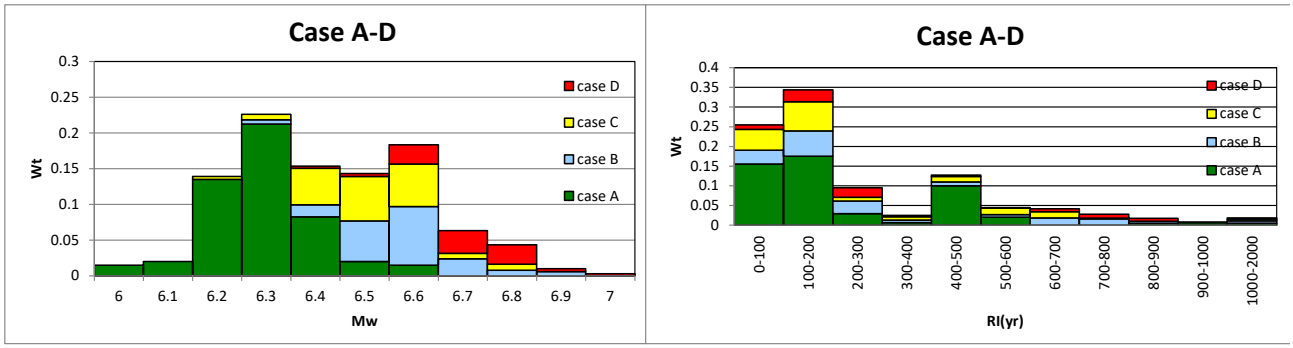


圖 16-3.7：（a）梅山斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）梅山斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

16-4 發震機率之推估

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

表 16-4.1 為梅山斷層 BPT 模式評估之結果，以西元 2020 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.0~7.0 之機率為 23.9%、33.6%及 47.9%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 6.1%、9.2%及 14.4%。

表 16-4.1：梅山斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.0~7.0	23.9%	33.6%	47.9%
M ≧ 6.5	6.1%	9.2%	14.4%

第十七章、大尖山斷層潛勢評估

17-1 大尖山斷層參數彙整

大尖山斷層各項參數詳細內容詳附錄 15，斷層幾何參考資料及參數如表 17-1.1 所示。

參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，大尖山斷層平均滑移虧損速率下界為 2.4 mm/yr，上界為 7.8 mm/yr，平均值為 4.9 mm/yr，如表 17-1.2 所示。

彙整前人對於大尖山斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 17-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 17-1.1：大尖山斷層幾何面各調查方法及斷層參數

作者	方法	位置	傾角	深度
林啟文等，2007	野外調查	北段	高角度向東南傾斜	-
		南段	低傾角	
劉彥求等，2004	嶺腳一號橋下的地質剖面	北段	45°E	-
林啟文等，2007	鑽井地層對比集集地震地表破裂	北段	>72 度	-
林啟文等，2007	鑽井地層對比地表斷層線型	南段	淺部的傾角約 43 度	-
楊耿明等，2001	震測、野外資料、井下資料	剖面 6	約 35 度向東下傾	2 公里接滑脫面
		剖面 5	約 25 度	2.2 公里合於九芎坑斷層
黃旭燦等，2004	構造平衡剖面	Line 17	約 32 度	5 公里接斷坪
		Line 18	約 40 度	2.8 公里接斷坪
		Line 19	約 27 度	2.2 公里合於九芎坑斷層
石瑞銓等，2010	構造剖面	北段	淺部約 60 度，於深度 2 公里轉為 25 度	3.5 公里接斷坪

表 17-1.2：大尖山斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

斷層名稱		BLOCKS Model 總變動量（mm/yr）	DEFNODE Model 平均值滑移虧損率（mm/yr）	Baseline Inversion Model 斷層平均滑移速（mm/yr）	加權平均滑移虧損速率（mm/yr）
大尖山斷層	上界	7.9	11.8	3.6	7.8
	平均	7.2 ± 0.7	5.5 ± 6.3	2.1 ± 1.5	4.9
	下界	6.5	0.0	0.6	2.4

表 17-1.3：大尖山斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
大尖山斷層	斷層分段與破裂事件	北段	地質特性	中國石油公司，1986；黃鑑水等，1994；劉桓吉與李錦發，1998；張徽正等，1998；林啟文等，2000；林啟文等，2007
		南段		
	長度 (km)	北段 15　南段 14		
	寬度 (km)	10	Case 1：深度 0~5 公里，30E	本計畫幾何模型
		3.9	Case 2：深度 0~2.5 公里，40E	
		3.0	Case 3：深度 0~1.5 公里，30E	
	破裂深度 (km)	2 公里接滑脫面	剖面 6 構造平衡剖面	楊耿明等，2001
		2.2 公里合於九芎坑斷層	剖面 5 構造平衡剖面	
		5 公里接斷坪	Line 17 構造平衡剖面	黃旭燦等，2004
		2.8 公里接斷坪	Line 18 構造平衡剖面	
		2.2 公里合於九芎坑斷層	Line 19 構造平衡剖面	
		3.5 公里接斷坪	北段構造剖面	石瑞銓等，2010
	面積 (km^2)	北段 150　南段 140	長度×寬度(Case 1)	本計畫幾何模型
	走向	北段: 東北	地形、地表地質調查	林啟文等，2007
		南段: 東南		
	傾斜角度 (度)	高角度向東南傾斜	北段野外調查	林啟文等，2007
		低傾角	南段野外調查	
		45°E	嶺腳一號橋下的地質剖面	劉彥求等，2004
		>72 度	鑽井地層對比集集地震地表破裂	林啟文等，2007
		淺部的傾角約 43 度	鑽井地層對比地表斷層線型	林啟文等，2007
		約 35 度向東下傾	剖面 6 構造平衡剖面	楊耿明等，2001
		約 25 度	剖面 5 構造平衡剖面	
		約 32 度	Line 17 構造平衡剖面	黃旭燦等，2004

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
		約 40 度	Line 18 構造平衡剖面	
		約 27 度	Line 19 構造平衡剖面	
		淺部約 60 度，於深度 2 公里轉為 25 度	北段構造剖面	石瑞銓等，2010
	斷層機制	北段: 右移形式兼逆移性質 南段: 逆移斷層	地質調查、震測資料	石瑞銓等，2003；林啟文等，2007
	長期滑移速率 (mm/yr)	-	-	-
	滑移虧損率 (slip deficit rate) (mm/yr)	上界 7.8 平均 4.9 下界 2.4	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	最大右移量 2.3 公尺	1999 集集地震投 45 號道	林啟文等，2000；林啟文等，2007
		最大抬升量 1.5 公尺	1999 集集地震嶺腳 3 號橋	
	特徵地震規模 (Mw)	北段 6.3 南段 6.3	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.24 （逆斷層）(面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		北段 6.2 南段 6.1	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	-	-	-
	最近一次活動時間	1999.9.21	大尖山斷層的變形帶從嶺腳至桶頭的安溪橋，長約 11 公里。但南段沒有發現近期活動的記錄	林啟文等，2000；林啟文等，2007

17-2 邏輯樹更新

大尖山斷層北段併入車籠埔斷層邏輯樹中，如圖 13-2.3 所示，大尖山斷層南段併入觸口斷層邏輯樹中，如圖 20-2.3 所示。

17-3 發震機率之推估

根據表 17-1.3，大尖山斷層的特徵地震規模均不超過 6.5，因此獨立發生規模 6.5 以上的可能性較低。而大尖山斷層北段於 1999 年有地表破裂現象，因此本計畫將大尖山斷層北段作為車籠埔斷層的南段延伸段，併入車籠埔斷層中進行評估。大尖山斷層南段則因為與觸口斷層相接，因此本計畫將大尖山斷層南段作為觸口斷層的北段延伸段，併入觸口斷層中進行評估。

大尖山斷層研判不會獨立發生規模 6.5 以上的地震，未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 0.0%。

第十八章、木屐寮斷層潛勢評估

18-1 木屐寮斷層參數彙整

木屐寮斷層各項參數詳細內容詳附錄 16，木屐寮斷層幾何參考資料及參數如表 18-1.1 所示，木屐寮斷層長期滑移速率相關研究資料彙整於表 18-1.2。

參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，木屐寮斷層平均滑移虧損速率下界為 2.4 mm/yr，上界為 5.9 mm/yr，平均值為 4.2 mm/yr，如表 18-1.3 所示。

彙整前人對於木屐寮斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 18-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 18-1.1：木屐寮斷層幾何面各調查方法及斷層參數

作者	方法	傾角	深度
王宏霖，2006	淺層震測剖面	跨越斷層之地層上有明顯的轉折	-
Camanni et al., 2016	P 波速度構造及地震深度分布剖面	-	地震沿著深度約 10 公里左右的帶狀分布

表 18-1.2：木屐寮斷層長期滑移速率相關文獻及推估結果

參考資料	方法	垂直滑移速率 (mm/yr)	年代 (年)	淨滑移速率 (mm/yr)
陳文山等，2010	白河與六重溪場址之鑽探及定年	5.6±2.0	1 萬年	7.2~15.2 (陳文山採用傾角 30 度)

表 18-1.3：木屐寮斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速（mm/yr）	
木屐寮斷層	上界	6.2	6.5	5.1	5.9
	平均	6.2 ± 0.0	3.5 ± 3.0	2.8 ± 2.3	4.2
	下界	6.2	0.5	0.5	2.4

表 18-1.4：木屐寮斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
木屐寮斷層	斷層分段與破裂事件	A：木屐寮斷層	遙測影像判釋、地形判釋、地表地質調查	Sun, 1970；張徽正等，1998；林啟文等，2000；林啟文等，2007；楊志成等，2005
	長度 (km)	A：13		
	寬度 (km)	27.6	Case 1：深度 0~6 km，45°E 深度 6~8 km，6°E	本計畫幾何模型
		29.5	Case 2：深度 0~4 km，傾角 45°E 深度 4~9 km，傾角 17°E 深度 9~9.7 km，傾角 6°E	
		31.9	Case 3：深度 0~11 km，45°E 深度 11~12 km，3.5°E	
	破裂深度 (km）	地震沿著深度約 10 公里左右的帶狀分布	P 波速度構造及地震深度分布剖面	Camanni et al., 2016
	面積 (km^2)	A：383	長度×寬度（寬度採用 Case 2）	本計畫幾何模型
	走向	北北東	地形、航照判釋	Sun, 1970；張徽正等，1998
	傾斜角度 (度)	跨越斷層之地層上有明顯的轉折	淺層震測剖面	王宏霖，2006
	斷層機制	逆移斷層	地表地質調查、地物探勘瞭解地下地層錯動情形、鑽井調查、大地測量（GPS，水準測量）	Sun, 1970；張徽正等，1998；楊志成等，2005；饒瑞鈞等，2006
	長期滑移速率 (mm/yr)	5.6±2.0(抬升)	藉由白河與六重溪場址之鑽探及定年，估算各井位置的抬升速率	陳文山等，2010
	滑移虧損率 (slip deficit rate) (mm/yr)	上界 5.9 平均 4.2 下界 2.4	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	A：1.27	1og D = 0.29 Mw - 1.84（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	特徵地震規模 (Mw)	A：6.7	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		A：6.6	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	地震復發間隔 (年)	A: 0-100	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	1 萬年內曾經活動過	鑽井定年結果	楊志成等，2005
		西元 1941 年(?)	深度=0 公里，規模 Mw=6.4 歷史地震位於斷層上盤	中央氣象局

18-2 邏輯樹更新

木屐寮斷層屬於木屐寮-六甲斷層斷層系統，木屐寮-六甲斷層分段破裂模式如圖18-2.1，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°，如圖 18-2.2 所示。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-六甲斷層長期滑移速率相關參數及文獻詳如表 18-2.1 所示。長期滑移速率最小為 4.4 mm/yr，最大為 15.2 mm/yr，本計畫以 4.4 mm/yr 及 15.2 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值(4.4+15.2)/2=9.8 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重分配為常態分布：4.4 mm/yr (0.2)，9.8 mm/yr (0.6)，15.2 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 18-2.2 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 18-2.3 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 18-2.4 所示。

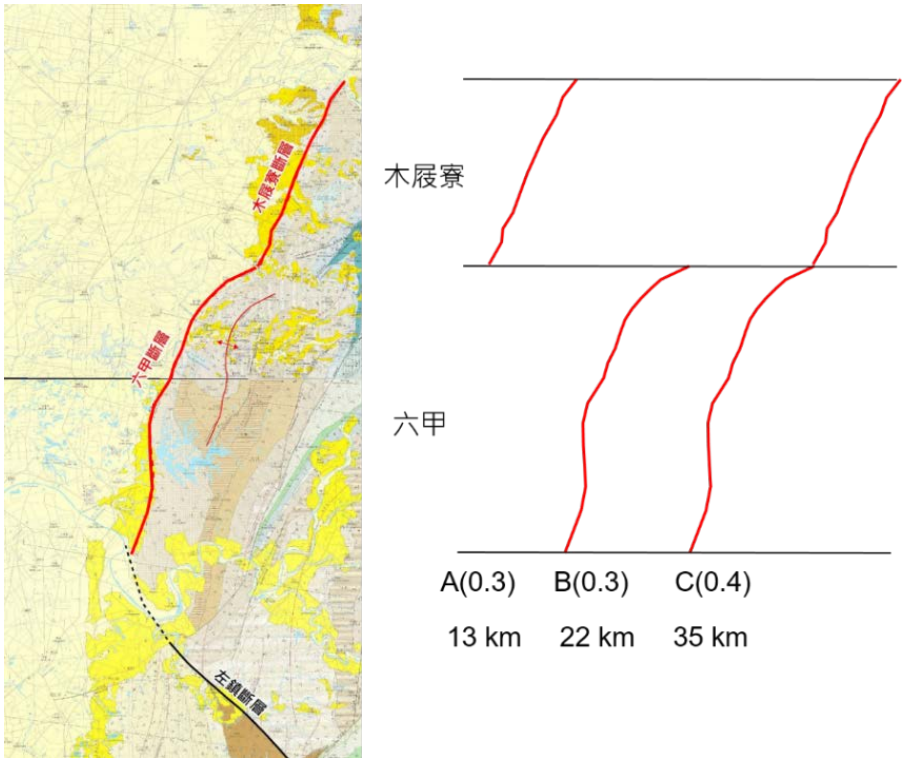


圖 18-2.1：本計畫木屐寮-六甲斷層之破裂模式及權重分配。

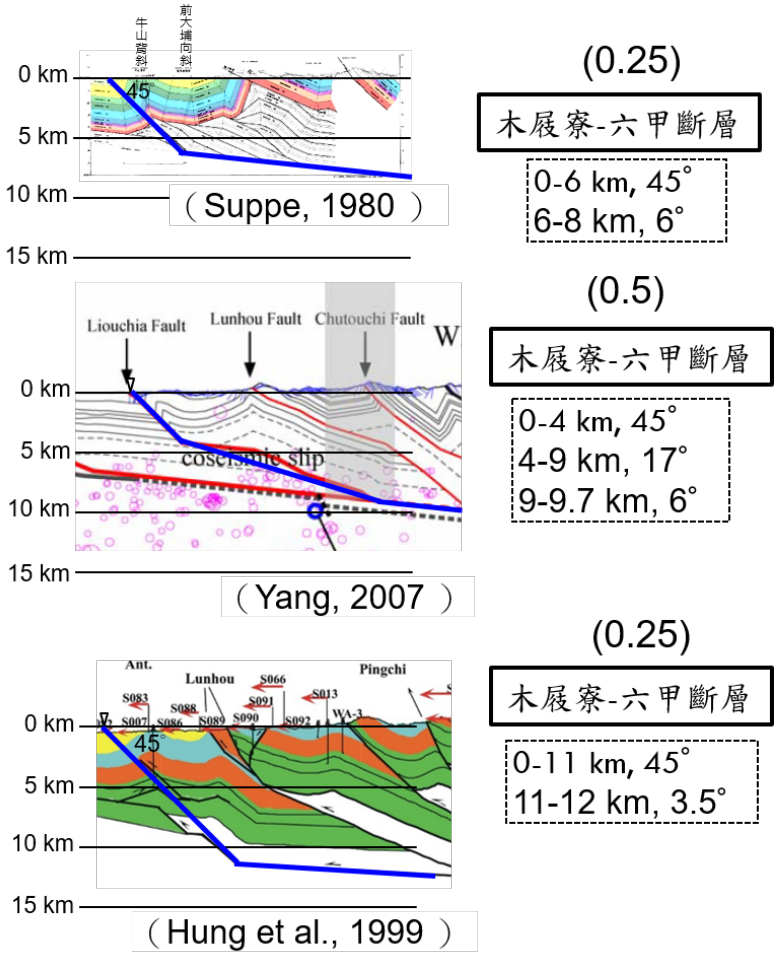


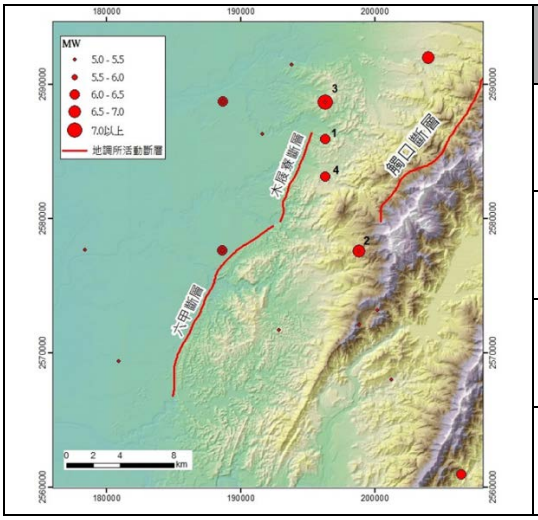
圖 18-2.2：本計畫木屐寮-六甲斷層幾何形貌設定。

表 18-2.1：木屐寮-六甲斷層長期滑移速率相關文獻及推估結果

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)
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)
	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)
	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)
	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)

表 18-2.2：木屐寮-六甲斷層之各破裂事件規模計算

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	383	6.4	6.7	7.0	6.6
B	六甲	22		29.5	648	6.6	6.9	7.2	6.8
C	整段	35		29.5	1031	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 18-2.3：木屐寮-六甲斷層規模 6 以上歷史地震分布。

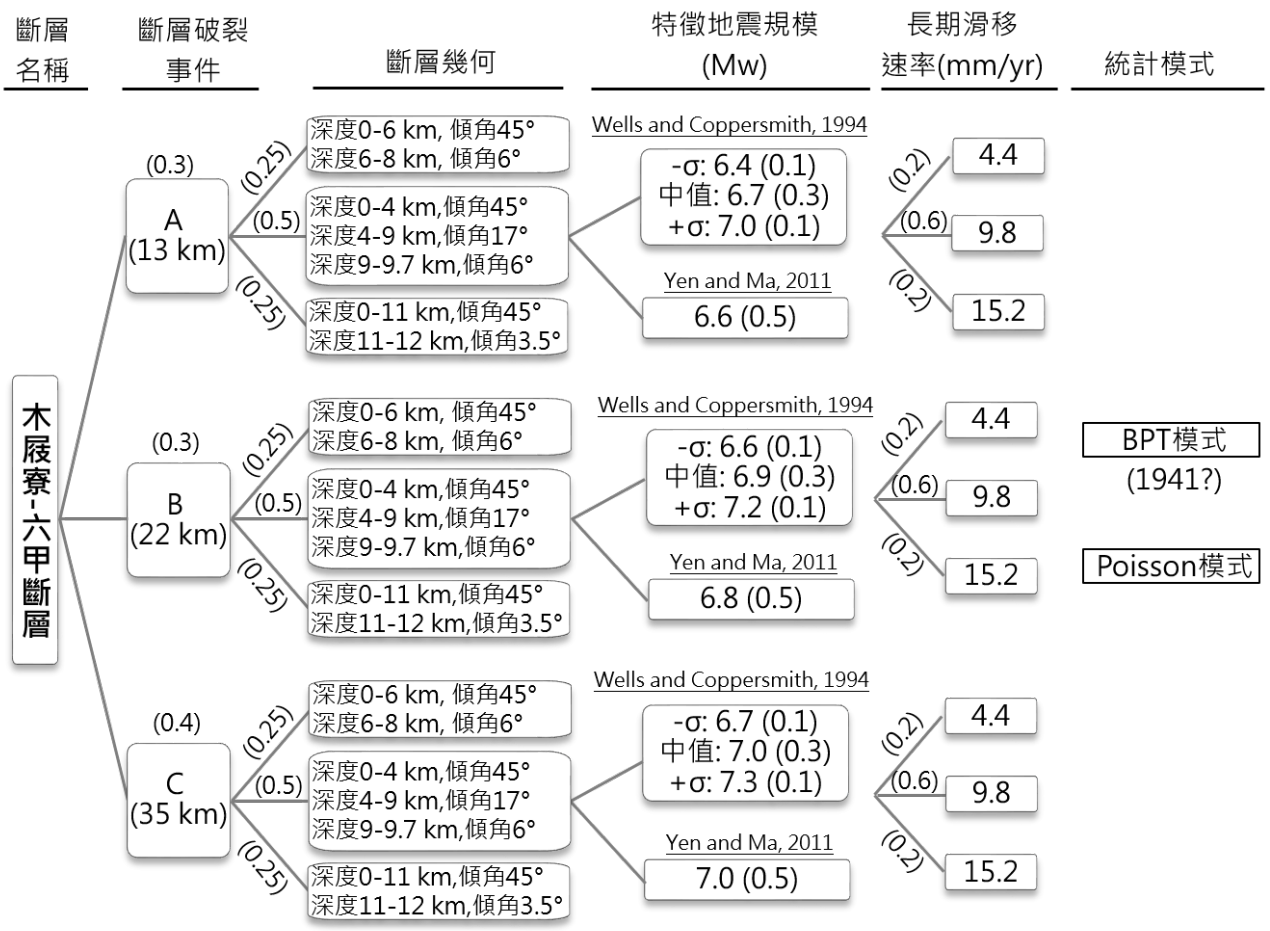


圖 18-2.4：木屐寮-六甲斷層更新邏輯樹(更新內容：分段破裂模式權重、斷層幾何、地震規模、長期滑移速率)。

18-3 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 18-3.1 為 3 個破裂事件取表 18-2.2 中參數計算特徵地震模式分布情形。

圖 18-2.4 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 18-3.2 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 18-3.3 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 18-3.4（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 18-3.4（b）之木屐寮-六甲斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

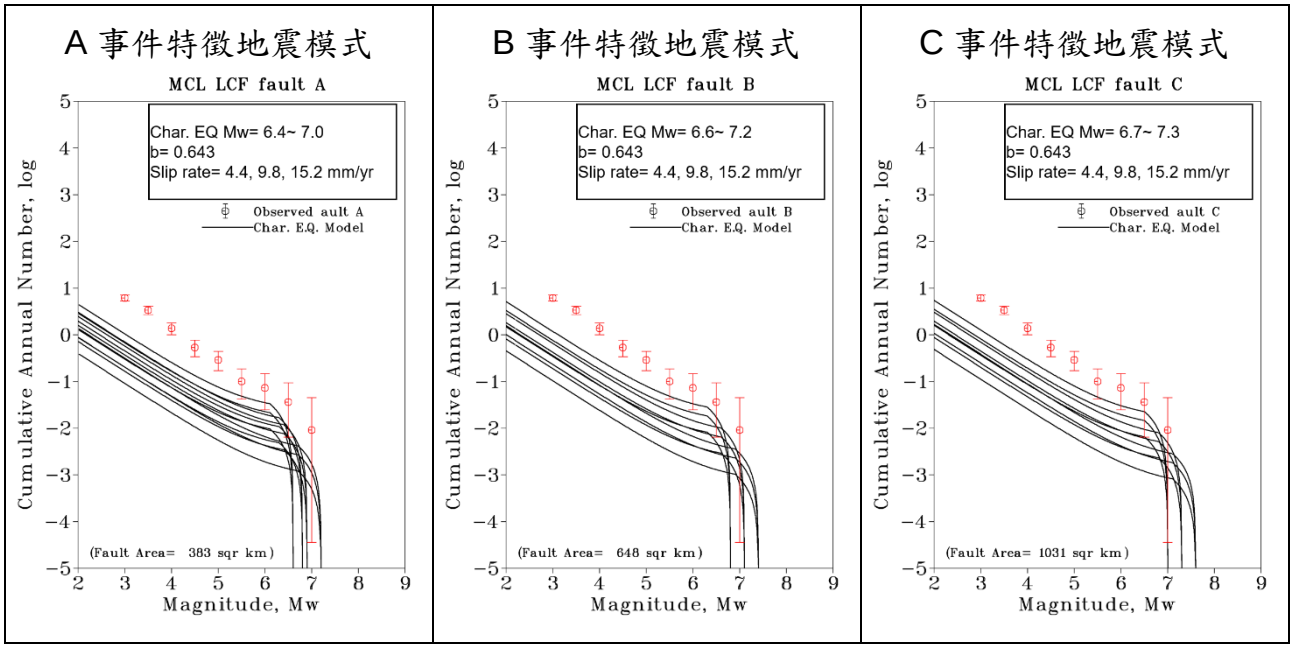


圖 18-3.1：木屐寮-六甲斷層各破裂事件特徵地震模式。

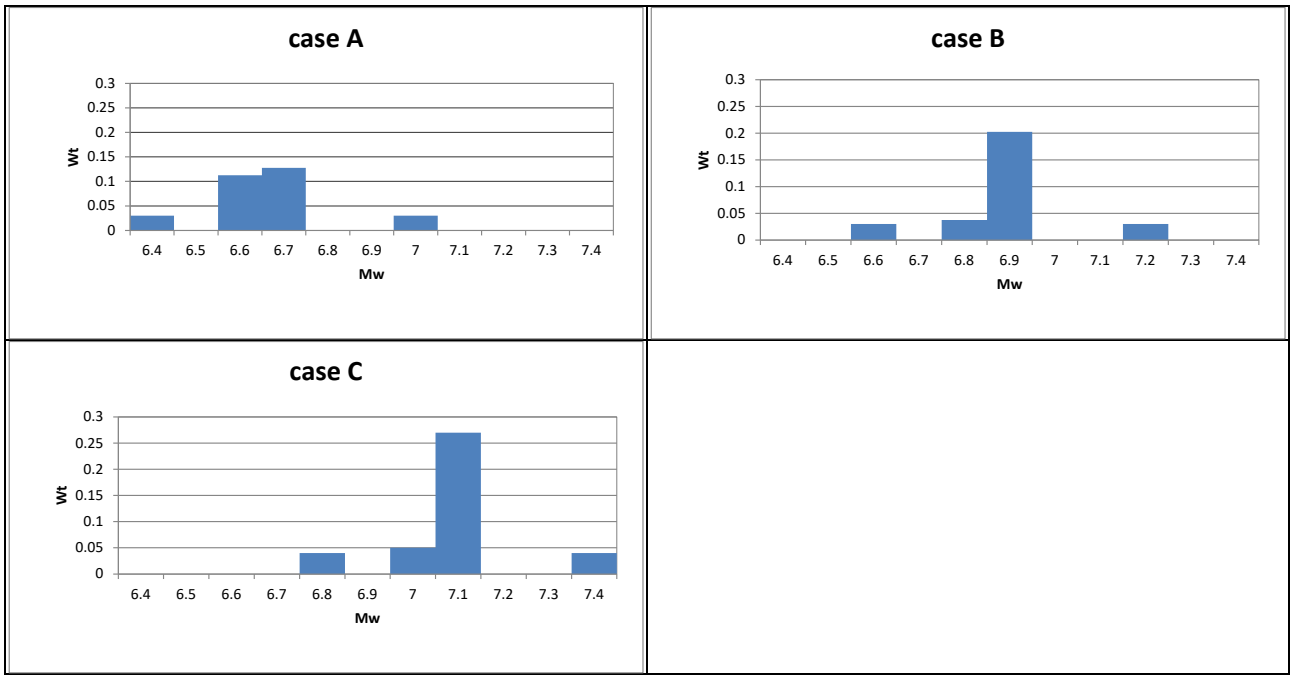


圖 18-3.2：木屐寮-六甲斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

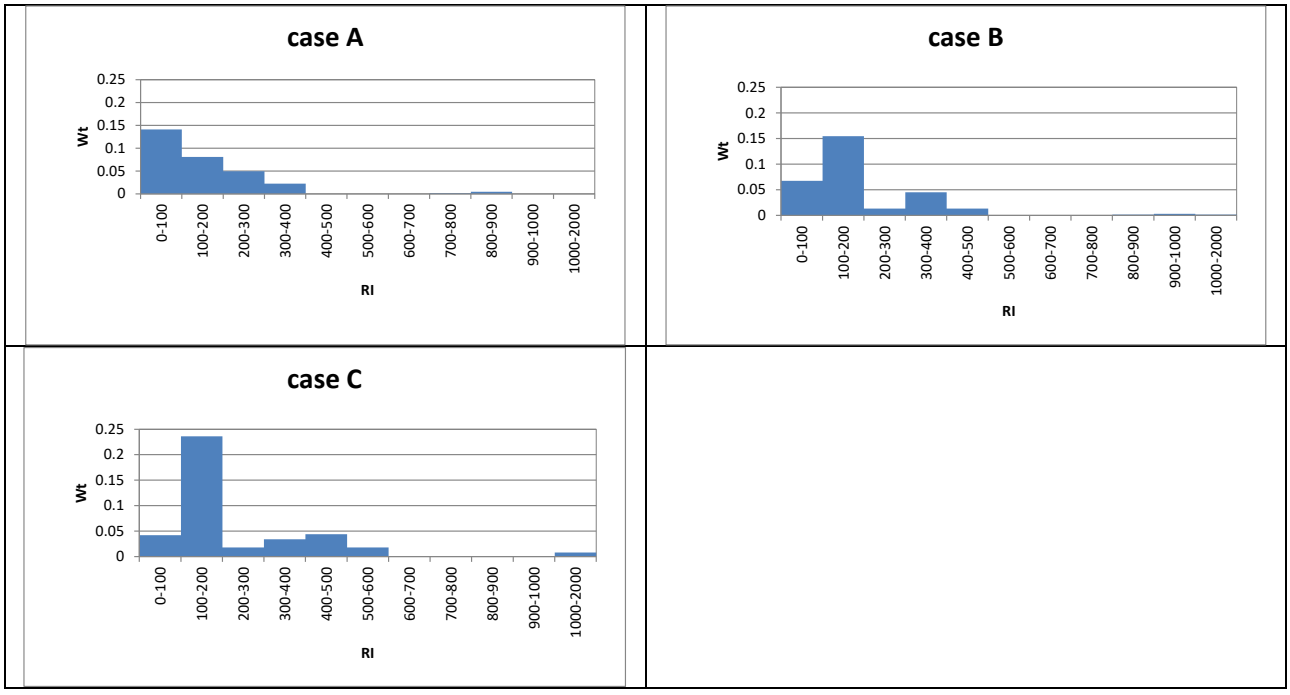


圖 18-3.3：木屐寮-六甲斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　　（b）

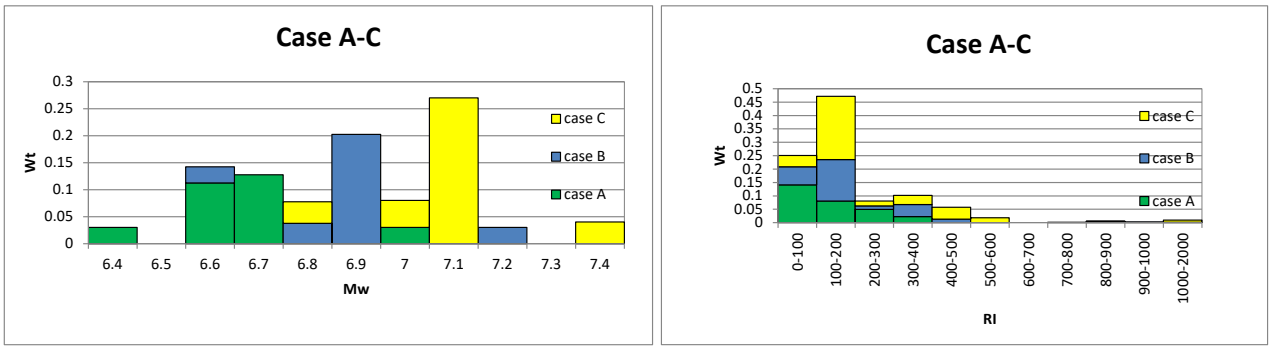


圖 18-3.4：(a) 木屐寮-六甲斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(b) 木屐寮-六甲斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

18-4 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 18-2.3)，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。

本章主要評估木屐寮斷層發生機率，因此移除六甲斷層破裂模式之發生機率，表 18-4.1 為木屐寮斷層 BPT 模式及評估之結果，起算時間為西元 2020 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 18.6%、27.2%及 41.6%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 16.4%、24.6%及 38.7%。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 13.8%、21.0%及 34.1%；發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 12.4%、19.1%及 31.5%。

表 18-4.1：本計畫木屐寮斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POISSON	BPT	POISSON	BPT	POISSON
6.4≦ M ≦7.4	18.6%	13.8%	27.2%	21.0%	41.6%	34.1%
M ≧ 6.5	16.4%	12.4%	24.6%	19.1%	38.7%	31.5%

第十九章、六甲斷層潛勢評估

19-1 六甲斷層參數彙整

六甲斷層各項參數詳細內容詳附錄 17，六甲斷層幾何參考資料及參數如表 19-1.1 所示，六甲斷層長期滑移速率相關研究資料彙整於表 19-1.2。

參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，六甲斷層平均滑移虧損速率下界為 2.4 mm/yr，上界為 5.9 mm/yr，平均值為 4.2 mm/yr，如表 19-1.3 所示。

彙整前人對於六甲斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 19-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 19-1.1：六甲斷層幾何面各調查方法及斷層參數

作者	方法	傾角(度)	深度(公里)
Suppe, 1980	地質平衡剖面	-	基底滑脫面至少 8 公里
Hu and Sheen, 1989	牛山背斜軸部 NS-27 鑽井	43E	-
Hung et al., 1999	地質剖面	-	上部滑脫面至少 8 公里， 下部滑脫面 12 公里
黃旭燦等，2004	地質平衡剖面	-	基底滑脫面至少 5.5 公里
楊志成等，2005	地質剖面	30~45E	至少 4 公里
陳文山等，2006	鑽井剪切面	近地表 30E	-
Yang, 2007	構造剖面及地震深度剖面	深度 0~4 公里：45 E	約 9 公里接基底滑脫面
Camanni et al., 2016	P 波速度構造及地震深度分布剖面	-	地震沿著深度約 10 公里左右的帶狀分布

表 19-1.2：六甲斷層長期滑移速率相關文獻及推估結果

參考資料	方法	垂直滑移速率 (mm/yr)	年代 (年)	淨滑移速率 (mm/yr)
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)
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)
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)

表 19-1.3：六甲斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速（mm/yr）	
六甲斷層	上界	6.2	6.5	5.1	5.9
	平均	6.2 ± 0.0	3.5 ± 3.0	2.8 ± 2.3	4.2
	下界	6.2	0.5	0.5	2.4

表 19-1.4：六甲斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
六甲斷層	斷層分段與破裂事件	B：六甲斷層 C：木屐寮六甲斷層系統	遙測影像判釋、地形判釋、地表地質調查	Sun, 1970；張徽正等，1998；林啟文等，2000；林啟文等，2007；楊志成等，2005
	長度 (km)	B：22　C：35		
	寬度 (km)	27.6	Case 1：深度 0~6 km，45°E 深度 6~8 km，6°E	本計畫幾何模型
		29.5	Case 2：深度 0~4 km，傾角 45°E 深度 4~9 km，傾角 17°E 深度 9~9.7 km，傾角 6°E	
		31.9	Case 3：深度 0~11 km，45°E 深度 11~12 km，3.5°E	
	破裂深度 (km)	基底滑脫面至少 8 公里	地質平衡剖面	Suppe, 1980
		上部滑脫面至少 8 公里， 下部滑脫面 12 公里	地質剖面	Hung et al., 1999
		基底滑脫面至少 5.5 公里	地質平衡剖面	黃旭燦等，2004
		約 9 公里接基底滑脫面	構造剖面及地震深度剖面	Yang, 2007
		地震沿著深度約 10 公里左右的帶狀分布	P 波速度構造及地震深度分布剖面	Camanni et al., 2016
	面積 (km^2)	A：383　B：648　C：1031	長度×寬度（寬度採用 Case 2）	本計畫幾何模型
	走向	木屐寮：北北東	地形、航照判釋	Sun, 1970；張徽正等，1998
		六甲：北北東轉南北走向	地形、航照判釋，地表地質調查	林啟文等，2007
	傾斜角度 (度)	43E	牛山背斜軸部 NS-27 鑽井	Hu and Sheen, 1989
		30~45E	地質剖面	楊志成等，2005
		近地表 30E	鑽井剪切面	陳文山等，2006
		深度 0~4 公里：45 E	構造剖面及地震深度剖面	Yang, 2007

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	斷層機制	逆移斷層	地表地質調查、地物探勘瞭解地下地層錯動情形、鑽井調查、大地測量（GPS，水準測量）	Sun, 1970；張徽正等，1998；楊志成等，2005；饒瑞鈞等，2006
	長期滑移速率 (mm/yr)	5.4~5.8(垂直)	六甲斷層野外露頭上下盤岩層錯動量及定年	楊志成等，2005
		6.3~6.4(垂直)	整合野外露頭、鑽井及定年資料	陳文山，2006
		3.0~4.6(垂直)	六甲斷層上盤龜重溪河道下切量	杜冠穎，2013
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	上界 5.9 平均 4.2 下界 2.4	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	A：1.27　B：1.45　C：1.55	1og D = 0.29 Mw - 1.84（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	特徵地震規模 (Mw)	A：6.7　B：6.9　C：7.0	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		A：6.6　B：6.8　C：7.0	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	100-200	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	1 萬年內曾經活動過	鑽井定年結果	楊志成等，2005
		西元 1941 年(?)	深度=0 公里，規模 Mw=6.4 歷史地震位於斷層上盤	中央氣象局

19-2 邏輯樹更新

六甲斷層屬於木屐寮-六甲斷層斷層系統，木屐寮-六甲斷層分段破裂模式如圖 18-2.1，長度上與前階段計畫相同，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°，如圖 18-2.2 所示。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-六甲斷層長期滑移速率相關參數及文獻詳如表 18-2.1 所示。長期滑移速率最小為 4.4 mm/yr，最大為 15.2 mm/yr，本計畫以 4.4 mm/yr 及 15.2 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值(4.4+15.2)/2=9.8 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重分配為常態分布：4.4 mm/yr (0.2)，9.8 mm/yr (0.6)，15.2 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 18-2.2 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。

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 18-2.4 所示。

19-3 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 18-3.1 為 3 個破裂事件取表 18-2.2 中參數計算特徵地震模式分布情形。

圖 18-2.4 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 18-3.2 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 18-3.3 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 18-3.4（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 18-3.4（b）之木屐寮-六甲斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

19-4 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，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。

本章主要評估六甲斷層發生機率，因此移除木屐寮斷層破裂模式之發生機率，表 19-4.1 為六甲斷層 BPT 模式及評估之結果，起算時間為西元 2020 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.6~7.4 之機率為 15.7%、23.8%及 38.4%。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 6.6~7.4 之機率為 12.4%、19.0%及 31.6%。

另外，評估木屐寮-六甲斷層系統整體未來 30、50 及 100 年的發生機率，列於表 19-4.2 供參考。

表 19-4.1：本計畫六甲斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POISSON	BPT	POISSON	BPT	POISSON
6.6≦ M ≦7.4	15.7%	12.4%	23.8%	19.0%	38.4%	31.6%

表 19-4.2：木屐寮-六甲斷層系統發生機率評估

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POI	BPT	POI	BPT	POI
6.4≦ M ≦7.4	26.5%	19.8%	39.0%	30.0%	59.9%	48.8%
M ≧ 6.5	24.3%	18.4%	36.4%	28.1%	57.0%	46.2%
M ≧ 7.0	5.5%	5.5%	9.2%	8.7%	17.2%	15.3%

第二十章、觸口斷層潛勢評估

20-1 觸口斷層參數彙整

觸口斷層各項參數詳細內容詳附錄 18，觸口斷層幾何參考資料及參數如表 20-1.1 所示。

參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，觸口斷層平均滑移虧損速率下界為 4.8 mm/yr，上界為 8.7 mm/yr，平均值為 6.8 mm/yr，如表 20-1.2 所示。

彙整前人對於觸口斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 20-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 20-1.1：觸口斷層幾何面各調查方法及斷層參數

參考文獻	方法	傾角		深度
林啟文等, 2007	地表特徵與岩芯	51°		
楊耿明等, 2001	震測剖面、鑽井之地下地層層位及傾角、地表地質圖幅	Line 2’	30° 1.7km ➔ 55°	
		Line 2	50°	7.5 km ➔ 水平
		Line 4	40°	3 km ➔ 水平
		Line 1 (崙後斷層)	30°	4 km ➔ 水平 5.5 km ➔ 水平
陳郁文, 2006	淺層反射震測法	C 剖面	35°	
		Dp 剖面	40°	
		E 剖面	42°	
石瑞銓, 2003	地電阻	近地表的斷層面約 60 度，向下傾角漸緩約 30~40 度		
饒瑞鈞, 2003	雙差分及三維地震重新定位、震源機制應力反演等分析	40°		0-10 km
Yang, 2007	構造剖面及地震深度剖面	深度 0~5 公里：23 E 深度 5~10 公里：40 E		約 10 公里接滑脫面
陳朝輝等, 1999	瑞里地震餘震定位	60°		
陳國誠等, 1999	瑞里地震餘震定位			餘震深度分布:2-8 km

表 20-1.2：觸口斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
觸口斷層	上界	4.6	17.1	4.5	8.7
	平均	3.3 ± 1.3	14.8 ± 2.3	2.2 ± 2.3	6.8
	下界	2.0	12.5	0.0	4.8

表 20-1.3：觸口斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
觸口斷層	斷層分段	大尖山南段		地質特性	吉田要，1931; 林啟文等，2007 中國石油公司，1986; 林啟文等，2000; 張徽正等，1998
		觸口斷層段			
		崙後斷層			
	長度(km)	A(觸口斷層)：28			
		B(觸口斷層+大尖山南段)：42			
		C(觸口斷層+崙後斷層)：58			
		D(大尖山南段+觸口斷層+崙後斷層)：72			
	寬度(km)	21.9		Case 1：深度 0~7 km，45E；水平延伸 12 公里	本計畫幾何模型
		26.5		Case 2：深度 0~7.5 km，30E；深度 7.5~8 km，2.5E	
		20.6		Case 3：深度 0~5 km，23E；深度 5~10 km，40E	
	破裂深度(km）	Line 2	7.5 km ➔ 水平	震測剖面、鑽井之地下地層層位及傾角、地表地質圖幅	楊耿明等，2001
		Line 4	3 km ➔ 水平		
		Line 1(崙後斷層)	4 km ➔ 水平 5.5 km ➔ 水平		
		0-10 km		雙差分及三維地震重新定位、震源機制應力反演等分析	饒瑞鈞，2003
		約 10 公里接滑脫面		構造剖面及地震深度剖面	Yang, 2007
		餘震深度分布: 2-8 km		瑞里地震餘震定位	陳國誠等，1999
	面積(km^2)	A：741, B：1111, C：1535, D：1905		長度×寬度(採用 Case 2)	本計畫幾何模型
	走向	觸口斷層北段: 南北		地形、地表地質調查	吉田要，1931; 林啟文等，2007
		觸口斷層南段: 北北東			
		崙後斷層: 東北			
	傾斜角度(度)	51°		地表特徵與岩芯	林啟文等， 2007
		Line 2’	30° 1.7km ➔ 55°	震測剖面、鉆井之地下地層層位及傾角、地表地質圖幅	楊耿明等，2001
		Line 2	50°		

	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
		Line 4	40°		
		Line 1(崙後斷層)	30°		
		C 剖面	35°	淺層反射震測法	陳郁文，2006
		Dp 剖面	40°		
		E 剖面	42°		
		近地表的斷層面約 60 度，向下傾角漸緩約 30~40 度		地電阻	石瑞銓，2003
		40°		雙差分及三維地震重新定位、震源機制應力反演等分析	饒瑞鈞，2003
		深度 0~5 公里：23 E 深度 5~10 公里：40 E		構造剖面及地震深度剖面	Yang, 2007
		60°		瑞里地震餘震定位	陳朝輝等，1999
	斷層機制	逆移斷層		平橫剖面、地質調查	黃鑑水等，1992; Hung et al., 1999;
	長期滑移速率 (mm/yr)	-		-	-
	滑移虧損率	上界 8.7 平均 6.8 下界 4.8		1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	A：1.45, B：1.66, C：1.77, D：1.89		$\log D = 0.29 M_w - 1.84$（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模(M_w)	A：6.9, B：7.1, C：7.2, D：7.3		$M_w = 4.33 + 0.90 \log A$ $\sigma = 0.24$（逆斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		A：6.9, B：7.0, C：7.2, D：7.3		$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1 + \max(1, \frac{A}{H^2 \beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	地震重複週期(年)	A: 100-200 B: 200-300 C: 200-300 D: 200-300	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	38,000 年前	定年結果	黃鑑水等，1994

20-2 邏輯樹更新

前階段計畫在評估觸口斷層之破裂，主要分為 A：觸口斷層（28 公里）、B：大尖山斷層南段+觸口斷層（14+28=42 公里）、C：觸口斷層+崙後斷層（28+30=58 公里）、D：大尖山斷層南段+觸口斷層+崙後斷層（14+28+30=72 公里）四種破裂模式，斷層分布關係及破裂模式示意如圖 20-2.1 所示，權重設定為 A（0.5）、B（0.2）、C（0.2）、D（0.1）。

觸口斷層不確定性的部份為斷層傾角、斷層深度、斷層滑移速率及特徵地震規模，觸口斷層之傾角及破裂深度，根據幾何更新結果，加入基底滑脫面，斷層幾何考慮三種情形，分別為 Case 1：深度 0~7 公里，45 度，水平延伸 12 公里。Case 2：深度 0~7.5 公里，30 度；深度 7.5~8 公里，2.5 度。Case 3：深度 0~5 公里，23 度；深度 5~10 公里，40 度，詳圖 20-2.3 所示。由於不確定哪種情形較可能，權重分配為接近等權重，Case 1(0.3)，Case 2(0.4)，Case 3(0.3)。

觸口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（2020）「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（4/4）」計畫推估之成果，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如表 20-1.2 所示。本計畫據此設定邏輯樹權重為 4.8 mm/yr (0.3)、6.8 mm/yr (0.4)、8.7 mm/yr (0.3)。

各事件之特徵地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 20-2.1 為斷層以 Case 2 幾何面積計算之各破裂事件地震矩規模。

觸口斷層各節點權重的分配詳如圖 20-2.3 所示。

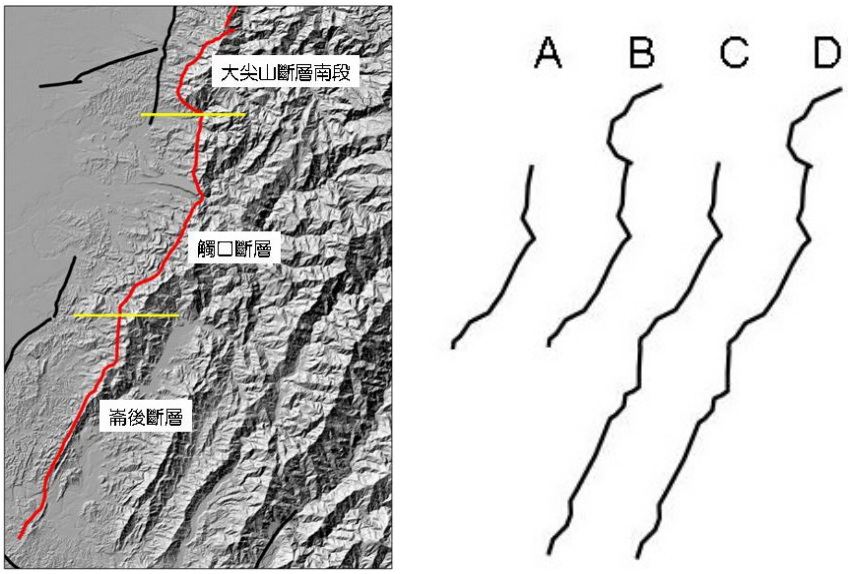


圖 20-2.1：觸口斷層各分段之分布關係及四種可能破裂之模式。

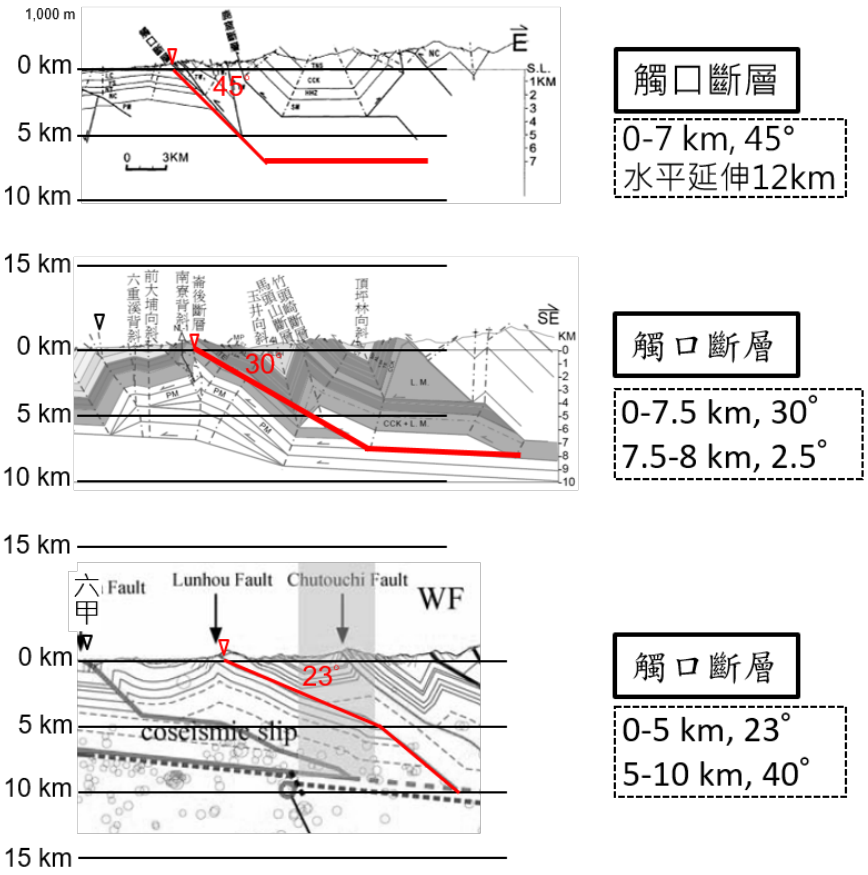


圖 20-2.2：本計畫觸口斷層三種幾何關係示意圖。

表 20-2.1：觸口斷層各破裂事件規模及權重

破裂事件	長度 (km)	斷層幾何	寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式) (Mw)
					-σ	中值	+σ	
A	28	Case 2： 深度 0~7.5 公里，30 度 深度 7.5~8 公里，2.5 度	26.5	741	6.6	6.9	7.2	6.9
B	42		26.5	1111	6.8	7.1	7.4	7.0
C	58		26.5	1535	6.9	7.2	7.5	7.2
D	72		26.5	1905	7.0	7.3	7.6	7.3
權重					0.1	0.3	0.1	0.5



圖 20-2.3：觸口斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件、斷層幾何、最大可能地震規模、長期滑移速率)。

20-3 規模與年發生率之關係

觸口斷層各破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 20-3.1~圖 20-3.4 為 4 個破裂事件取表 20-2.1 之特徵地震模式分布情形。

圖 20-2.3 之觸口斷層邏輯樹可得到 144 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 20-3.5 為 4 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 6.9 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.0 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.2 之權重最高；破裂模式 D 以規模 7.3 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 20-3.6 為 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。

將四種破裂模式之規模-權重加總即得到圖 20-3.7（a）之觸口斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 20-3.7（b）之觸口斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

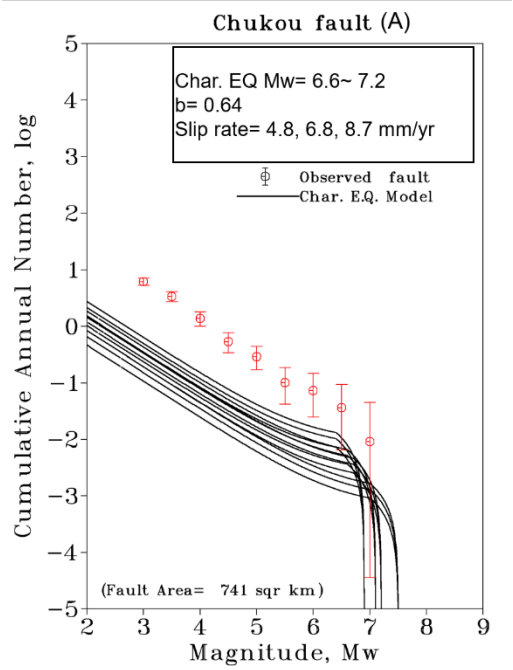


圖 20-3.1：A 事件特徵地震模式。

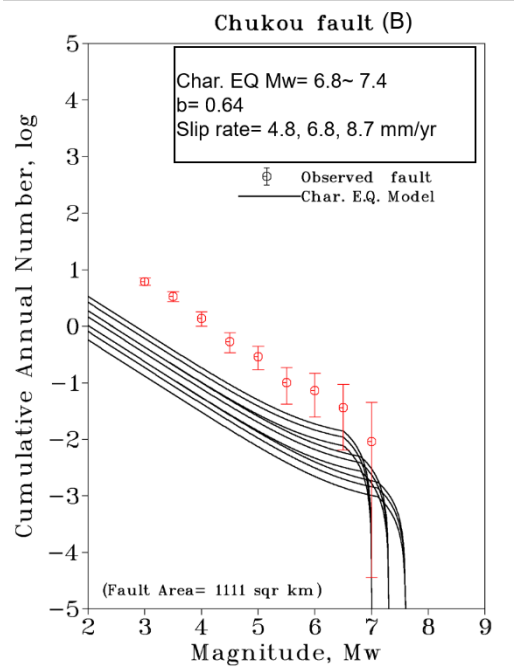


圖 20-3.2：B 事件特徵地震模式。

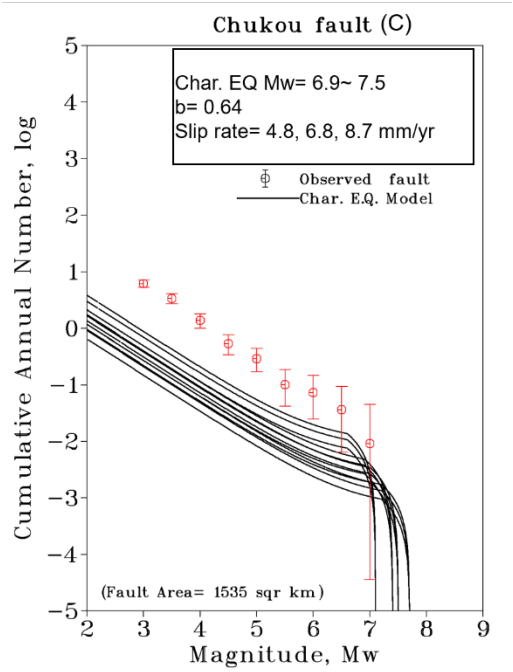


圖 20-3.3：C 事件特徵地震模式。

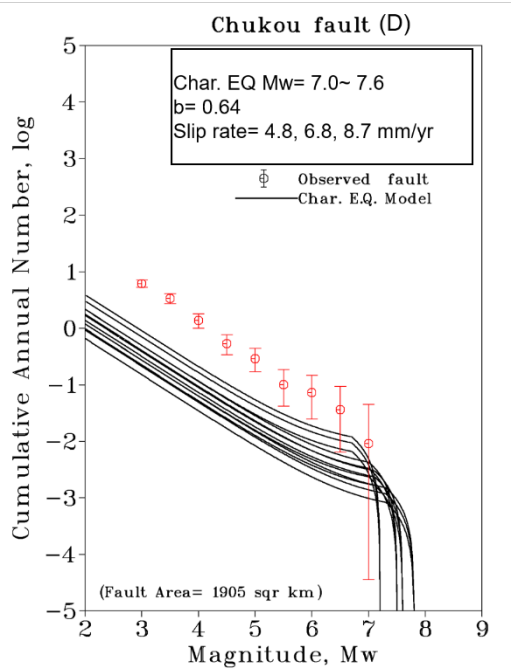


圖 20-3.4：D 事件特徵地震模式。

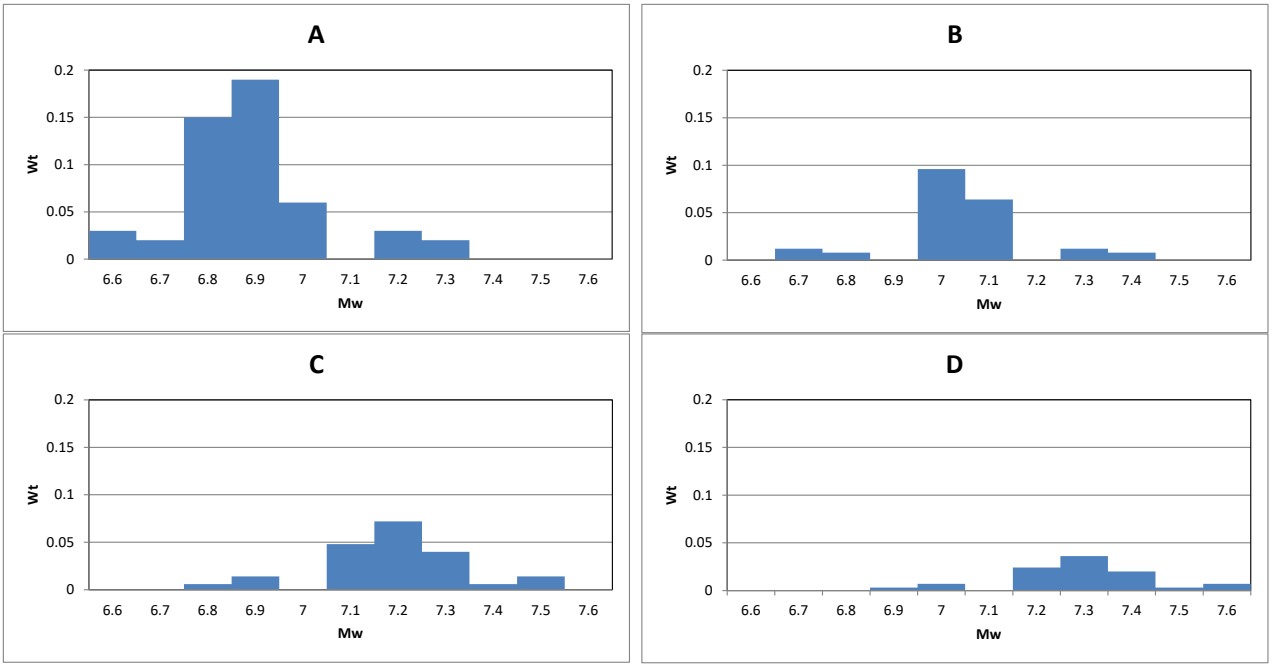


圖 20-3.5：觸口斷層 4 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

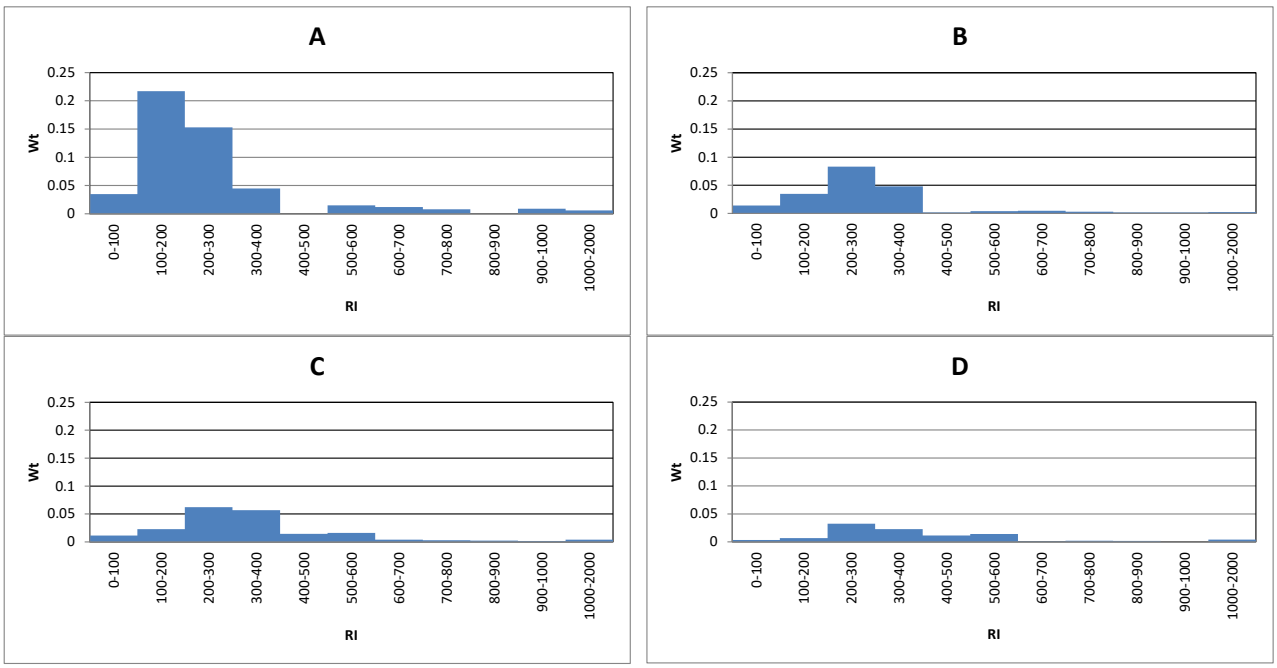


圖 20-3.6：觸口斷層 4 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　　（b）

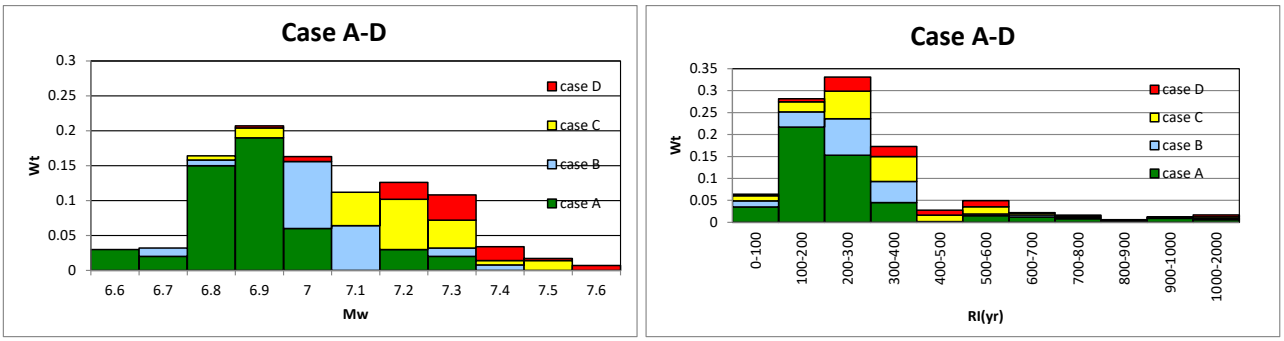


圖 20-3.7：（a）觸口斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）觸口斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

20-4 發震機率之推估

在獲得各事件之再現週期後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算觸口斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，觸口斷層最後一次發生時間為未知，因此本計畫採用 Poisson 模式進行評估。

表 20-4.1 為觸口斷層 Poisson 模式評估之結果，以西元 2020 年為基準，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.6~7.6 之機率為 12.8%、20.2%及 35.4%；發生地震矩規模 7.0 以上之機率為 5.3%、8.6%及 15.6%。

表 20-4.1：觸口斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（M_w）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.6 ≦ M ≦7.6	12.8%	20.2%	35.4%
M ≧ 7.0	5.3%	8.6%	15.6%

第二十一章、新化斷層潛勢評估

21-1 新化斷層參數彙整

新化斷層各項參數詳細內容詳附錄 19，新化斷層幾何參考資料及參數詳如表 21-1.1 所示。

參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，三種模型（BLOCKS，DEFNODE，Baseline Inversion）反演得到之結果，新化斷層平均滑移虧損速率下界為 18.0 mm/yr，上界為 19.8 mm/yr，平均值為 18.9 mm/yr，如表 21-1.2 所示。

彙整前人對於新化斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 21-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 21-1.1：新化斷層幾何面各調查方法及斷層參數(胡植慶等，2016)

文獻	方法	傾角	深度
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	--	滑離面約 3.5 公里
鄭世楠等人	1736 歷史地震重定位	--	5 公里
鄭世楠等，1999	1946 歷史地震重定位	--	14 公里
胡植慶等 2016	1973-2010 地震分布	--	12-18 公里

表 21-1.2：新化斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
新化斷層	上界	44.1	13.1	2.1	19.8
	平均	42.5 ± 1.6	12.9 ± 0.2	1.3 ± 0.8	18.9
	下界	40.9	12.7	0.5	18.0

表 21-1.3：新化斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
新化斷層	斷層分段與破裂事件	A：新化斷層與西部延伸段 B：新化斷層延伸至海岸附近	歷史地震紀錄、地表地形	林啟文等，2007；張麗旭等，1947；Bonilla, 1975, 1977；陳文山等，2004b
	長度 (km)	A：12 km　B：24 km		
	寬度 (km)	12.7	深度/sin 傾角 （以深度 12.5 公里，傾角 80 度計算）	
	破裂深度 (km)	基底滑脫面至少 3.5 公里	平衡剖面	黃旭燦等，2004
		5 公里	1736 歷史地震	鄭世楠等人整理
		14 公里	1946 歷史地震重定位	鄭世楠等，1999
		12-18 公里	1973-2010 地震深度分布	胡植慶等 2016
	面積 (km2)	A：152.4　B：304.8	長度×寬度	
	走向	東北偏東走向	歷史地震紀錄、地表地形	林啟文等，2007；張麗旭等，1947；Bonilla, 1975, 1977
	傾斜角度 (度)	高角度	鑽井資料	陳文山等，2011
		淺部呈開花狀構造	淺層震測	石瑞銓等，1998，2002；黃勝群等，2004
	斷層機制	帶垂直分量的右移斷層	斷層擦痕、歷史地震資料	張麗旭等，1947
	長期滑移速率 (mm/yr)	未知	-	-
	滑移虧損率 (slip deficit rate) (mm/yr)	上界 19.8 平均 18.9 下界 18.0	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	最大水平變位量 2 公尺，垂直變位量 0.76 公尺	1946 年歷史地震	張麗旭等，1947
	最大可能地震規模(MW)	A：6.2　B：6.5	Mw =3.98+1.02 log A σ=0.23（平移斷層）	Wells and Coppersmith, 1994

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
		A：6.2　B：6.5	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1 + \max(1, \frac{A}{H^2 \beta})]/2} + c$	Yen and Ma, 2011
		1946 年台南地震 Mw 6.3	歷史地震紀錄	張麗旭等，1947；鄭世楠等整理；鄭世楠等，1999
	地震復發間隔(年)	A: 0-50 B: 0-50	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
		觀察到 3 期地震，1946 年、1865-1690 yr BP、9546-8644 yr BP	槽溝	陳文山等，2004
		蔦松文化期（400~2000 yr BP）以來有 3 次	那拔林槽溝	李錫堤等，2002
		台南層（約 2700 年）以來有 4 次	農改場槽溝	李錫堤等，2000
		1946 年台南地震、1736 年台南地震	歷史地震	鄭世楠等整理
	最近一次活動時間	西元 1946 年	歷史地震	張麗旭等，1947

21-2 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)，如圖 21-2.1。

新化斷層幾何，根據前節之說明，傾角及破裂深度無修改，傾角權重因不確定性較高，採用為 70 度(0.3)、80 度(0.4)、90 度(0.3)，破裂深度權重因不確定性較高，採用 10 公里(0.3)、12.5 公里(0.4)、15 公里(0.3)。

新化斷層之滑移速率無發現地質事證。本計畫參考景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，加權後新化斷層平均滑移虧損速率如表 21-1.2 所示。本計畫據此設定邏輯樹權重為 18.0 mm/yr (0.3)、18.9 mm/yr (0.4)、19.8 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 21-2.1 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

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 21-2.2 所示。

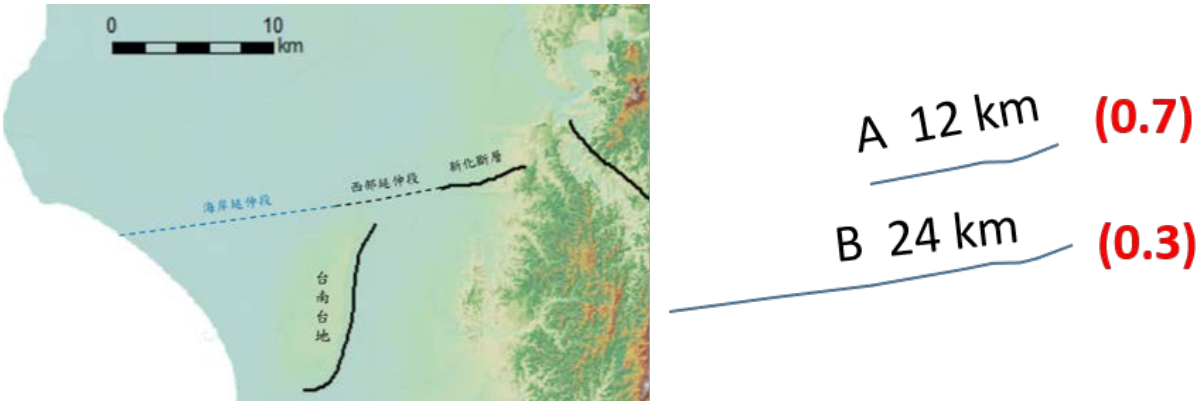


圖 21-2.1：新化斷層之破裂模式。

表 21-2.1：新化斷層之各破裂事件特徵地震規模計算

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

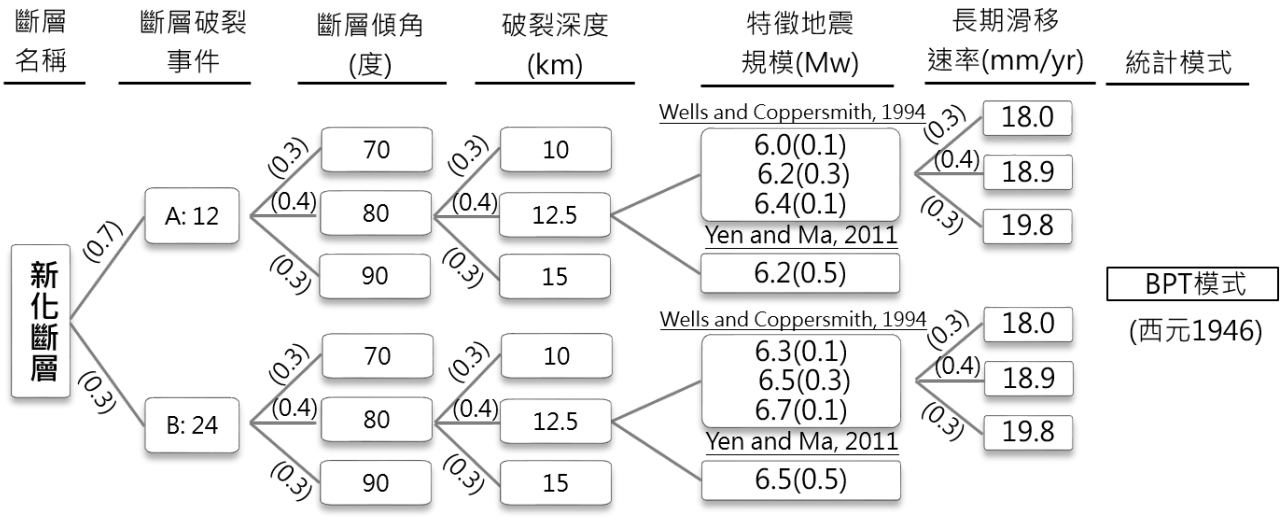


圖 21-2.2：新化斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層破裂事件權重、長期滑移速率)。

21-3 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 21-3.1 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 21-2.2 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 21-3.2 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 6.3 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 21-3.3 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 21-3.4（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 21-3.4（b）之新化斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

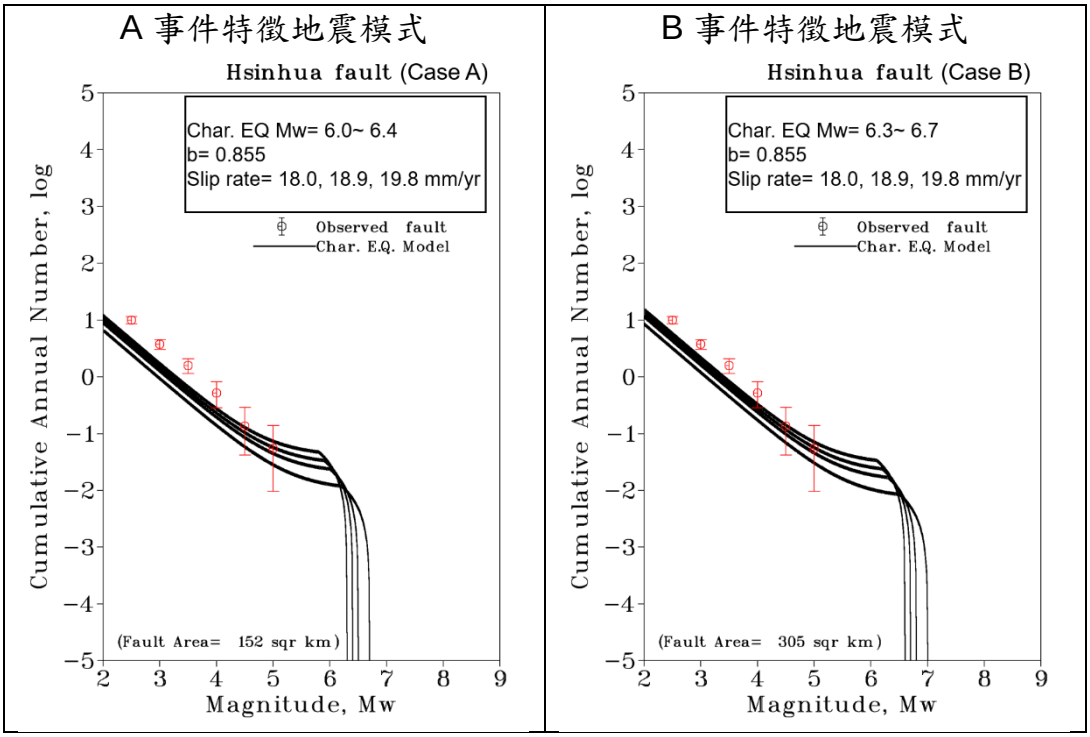


圖 21-3.1：新化斷層各破裂事件特徵地震模式。

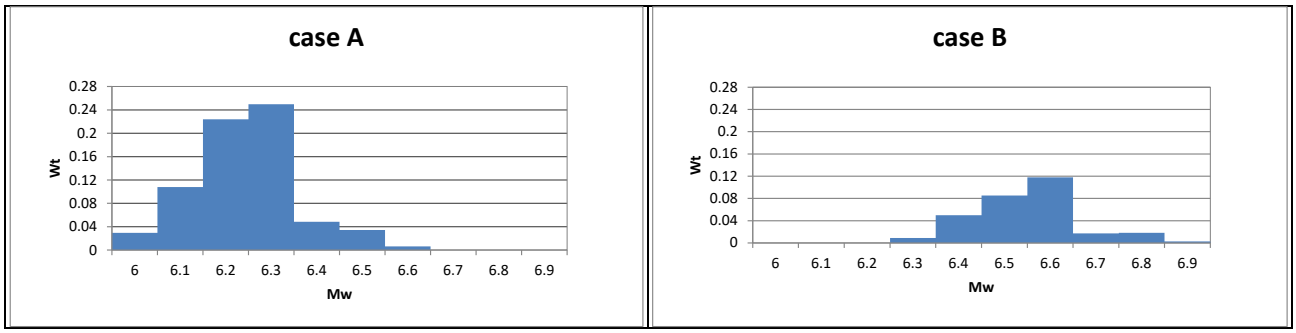


圖 21-3.2：新化斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和

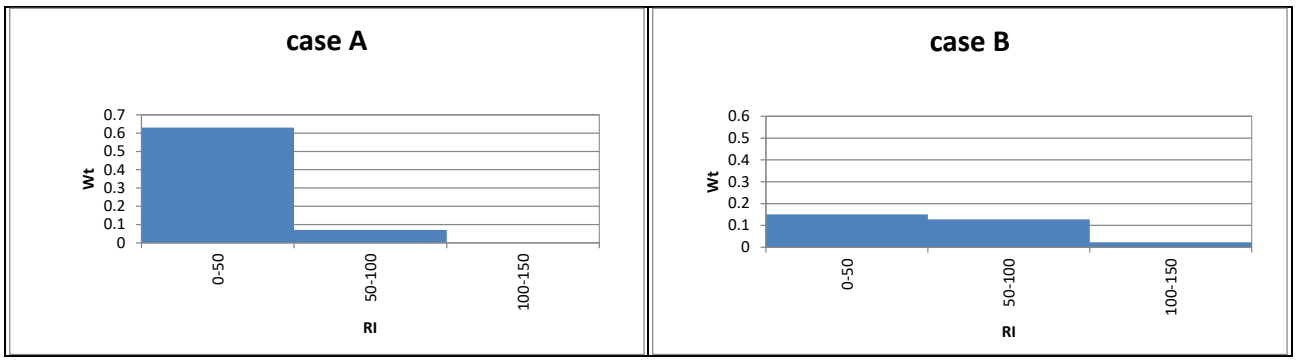


圖 21-3.3：新化斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

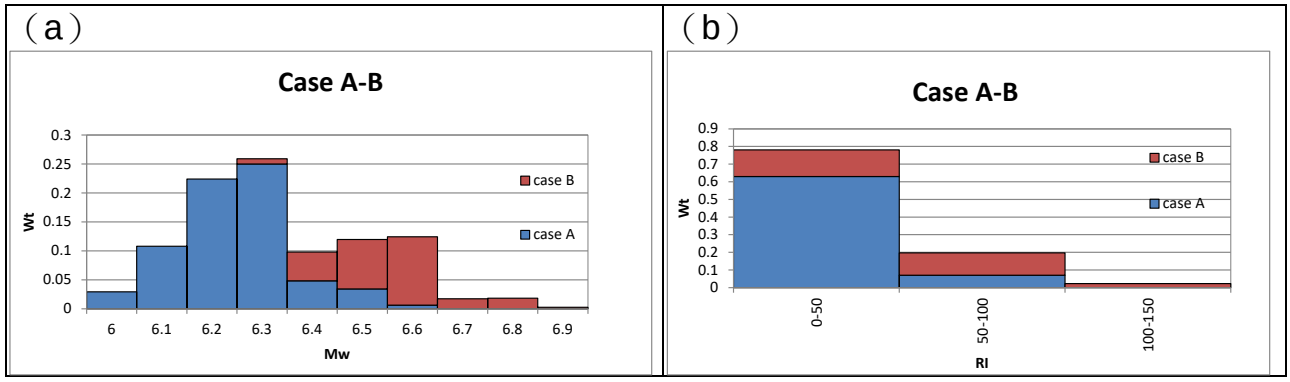


圖 21-3.4：（a）新化斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）新化斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

21-4 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 21-4.1 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 21-4.2 為新化斷層 BPT 模式評估之結果，以西元 2020 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 81.0%、92.5%及 98.7%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 18.4%、23.1%及 27.0%。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 6.5 以上之機率為 11.5%、16.3%及 22.9%。

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 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 21-4.1：前階段計畫新化斷層發生機率評估(胡植慶等，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 21-4.2：本計畫新化斷層發生機率評估

特徵地震矩 規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POISSON	BPT	POISSON	BPT	POISSON
6.0≦ M ≦6.9	81.0%	54.6%	92.5%	72.0%	98.7%	90.6%
M ≧ 6.5	18.4%	11.5%	23.1%	16.3%	27.0%	22.9%

第二十二章、後甲里斷層系統潛勢評估

22-1 後甲里斷層參數彙整

後甲里斷層各項參數詳細內容詳附錄 20，後甲里斷層幾何參考資料及參數如表 22-1.1 所示，後甲里斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 22-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，後甲里斷層平均滑移虧損速率下界為 4.9 mm/yr，上界為 6.9 mm/yr，平均值為 5.9 mm/yr，如表 22-1.3 所示。

彙整前人對於後甲里斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 22-1.4 所示，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 22-1.1：後甲里斷層幾何面各調查方法及斷層參數

作者	方法	傾角	深度
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		上部底脫面可達 4 公里，往東之底脫面可達 6 公里
Huang et al., 2004	台灣西南部構造平衡剖面		臺南台地滑脫面深度 5 公里
陳文山等，2011；2012	地質剖面建立	高角度	
Le Béon et al., 2019	參考鑽井資料及震測資料之地質剖面圖	47 度	

表 22-1.2：斷層長期滑移速率相關文獻及參數彙整

作者	方法	長期滑移速率
Chen and Liu, 2000	全新世海水面變化曲線及台地上之碳 14 定年	約為 5 mm/yr（抬升速率）
Le Béon et al., 2019	參考鑽井資料得到碳 14 定年等時線	4.4~5.9 mm/yr（抬升速率）

表 22-1.3：後甲里斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

斷層名稱		BLOCKS Model 總變動量（mm/yr）	DEFNODE Model 平均值滑移虧損率（mm/yr）	Baseline Inversion Model 斷層平均滑移速率（mm/yr）	加權平均滑移虧損速率（mm/yr）
後甲里斷層	上界	7.3	12.7	0.7	6.9
	平均	6.8 ± 0.5	10.6 ± 2.1	0.2 ± 0.5	5.9
	下界	6.3	8.5	0.0	4.9

表 22-1.4：後甲里斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
後甲里斷層	斷層分段與破裂事件	無分段	地形、航照判釋	林朝棨，1957；Sun, 1964；林啟文等，2000
	長度 (km)	A：12　B：15		
	寬度 (km)	5.7	深度 0-4 km, 傾角 45°	本計畫幾何模型
		5.2	深度 0-5 km, 傾角 75°	
	破裂深度 (km)	上部底脫面可達 4 公里，往東之底脫面可達 6 公里	參考鑽井資料及震測資料描繪台南地區之地質剖面	Lacombe et al., 1999
		臺南台地滑脫面深度 5 公里	台灣西南部構造平衡剖面	Huang et al., 2004
	面積 (km2)	A：62 ~ 68 B：78 ~ 86	長度×寬度	本計畫幾何模型
	走向	約呈南北走向	航照判釋、地形判釋	林朝棨，1957；Sun, 1964；林啟文等，2000
	傾斜角度 (度)	高角度	地質剖面建立	陳文山等，2011；2012
		47 度	參考鑽井資料及震測資料之地質剖面圖	Le Béon et al., 2019
	斷層機制	逆移斷層	航照判釋	Sun, 1964
		逆移形式兼具右移分量	GPS 速度場變化分析	饒瑞鈞等，2006
	長期滑移速率 (mm/yr)	約為 5 mm/yr（抬升速率）	全新世海水面變化曲線及台地上之碳 14 定年	Chen and Liu, 2000
		4.4~5.9 mm/yr（抬升速率）	參考鑽井資料得到碳 14 定年等時線	Le Béon et al., 2019
	滑移虧損率 (slip deficit rate) (mm/yr)	上界 6.9 平均 5.9 下界 4.9	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	A：0.74~ 0.79 B：0.79~0.85	log D= 0.29Mw-1.84 σ=0.42 (逆斷層)	Wells and Coppersmith, 1994

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	特徵地震規模 (Mw)	A：5.9~6.0 B：6.0~6.1	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 (逆斷層) (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		A：5.8 B：5.9	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	A：0~100 B：100~200	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	西元 1862 年（？）	後甲里斷層槽溝中發現地裂及古墳棺槨傾斜的古地震事件	李錫堤等，2001；翁淑卿，2002

22-2 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 22-2.1 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 22-2.2 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 22-2.2 所示。

後甲里斷層之滑移速率，圖 22-2.3 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。

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 22-2.1 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 22-2.4 所示。

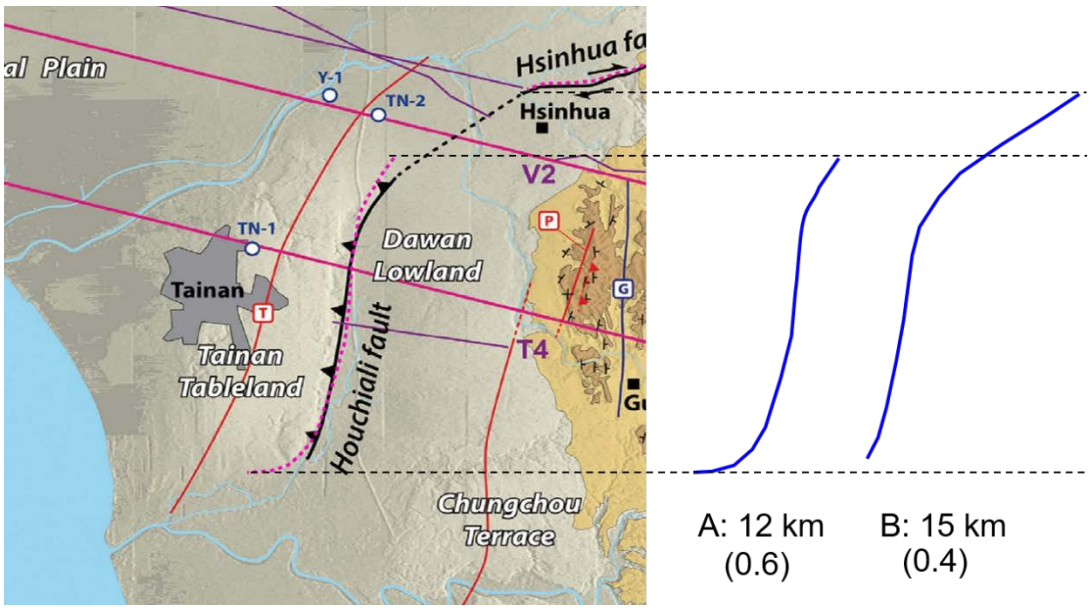


圖 22-2.1：本計畫後甲里斷層系統之破裂模式。

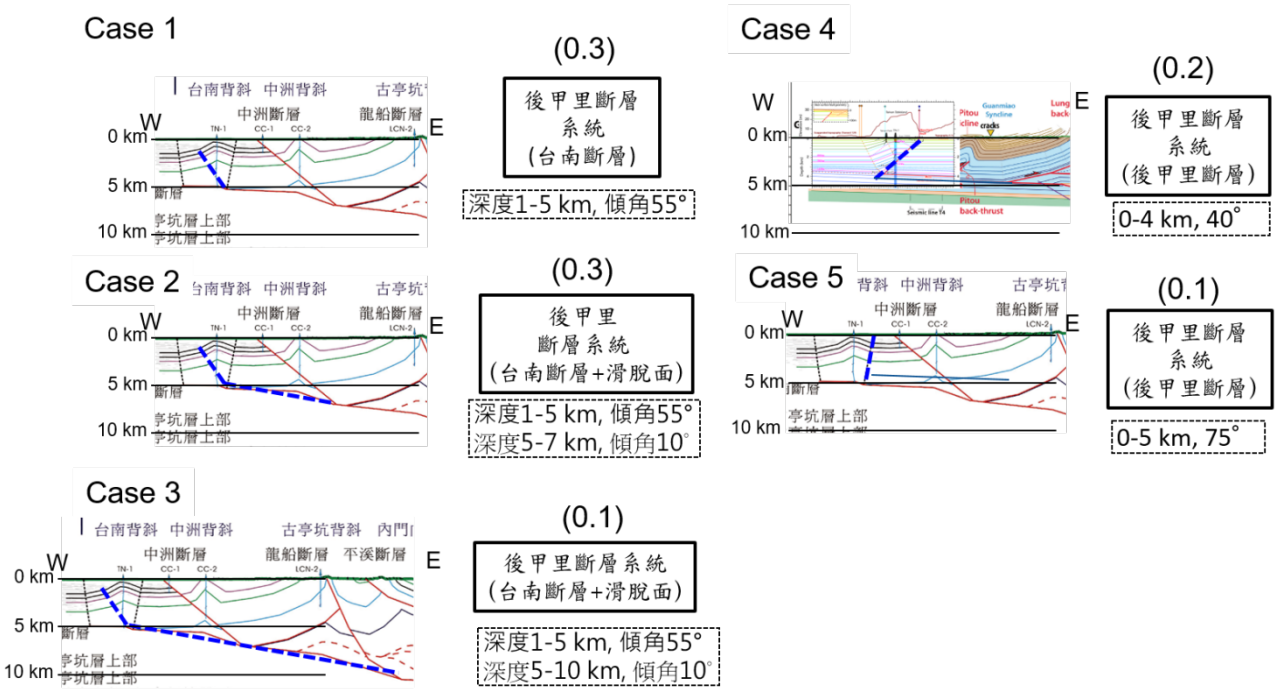


圖 22-2.2：台南-後甲里斷層系統幾何面破裂模式。

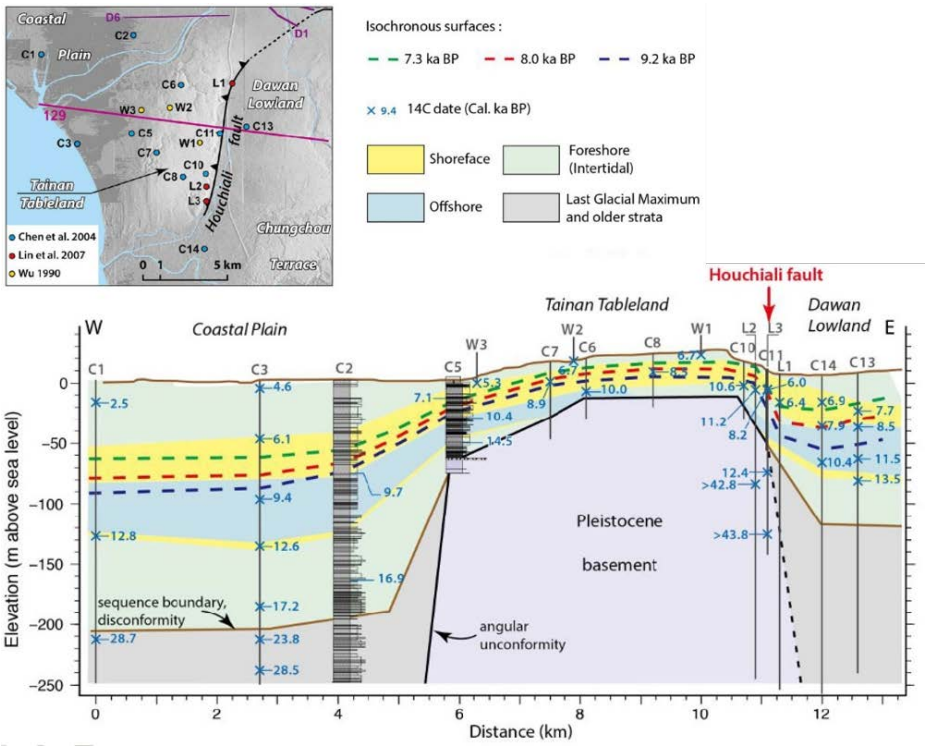


圖 22-2.3：台南台地及鄰近鑽井資料得到之碳 14 定年等時線及沉積古環境(Le Béon et al. 2019)。

表 22-2.1：後甲里斷層系統各破裂事件規模及權重

破裂事件	長度 (km)	斷層幾何	寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith, 1994(破裂面積-規模關係式)(Mw)			Yen and Ma, 2011(破裂面積-規模關係式)(Mw)
					-σ	中值	+σ	
A	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

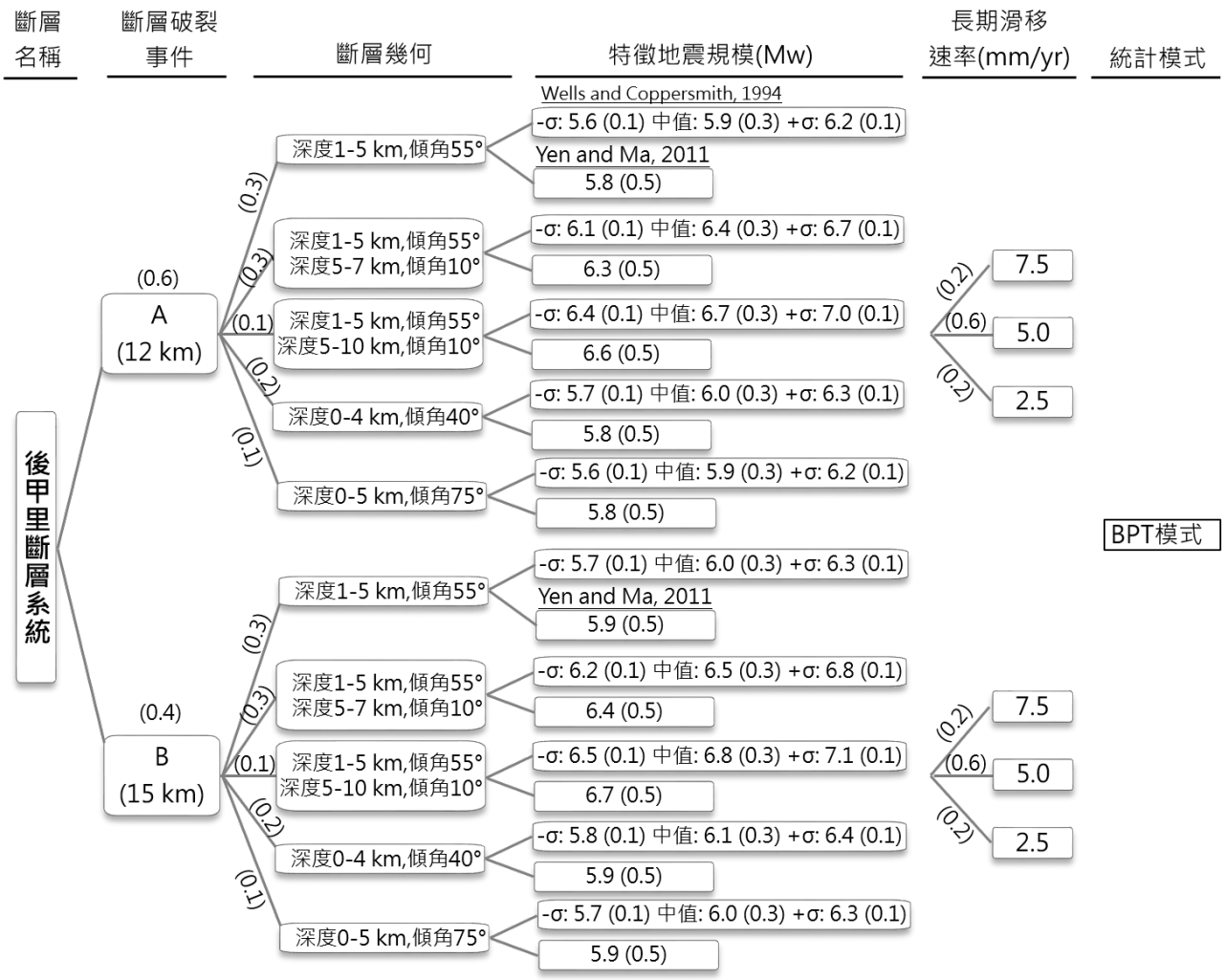


圖 22-2.4：後甲里斷層系統更新邏輯樹(更新內容：破裂模式、斷層幾何、地震規模)。

22-3 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 22-3.1 為破裂事件 A 之 5 種幾何特徵地震模式分布情形，圖 22-3.2 為破裂事件 B 之 5 種幾何特徵地震模式分布情形。

圖 22-2.4 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 22-3.3 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 22-3.4 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 22-3.5（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 22-3.5（b）之後甲里斷層系統地震復發間隔時間-權重分布圖。

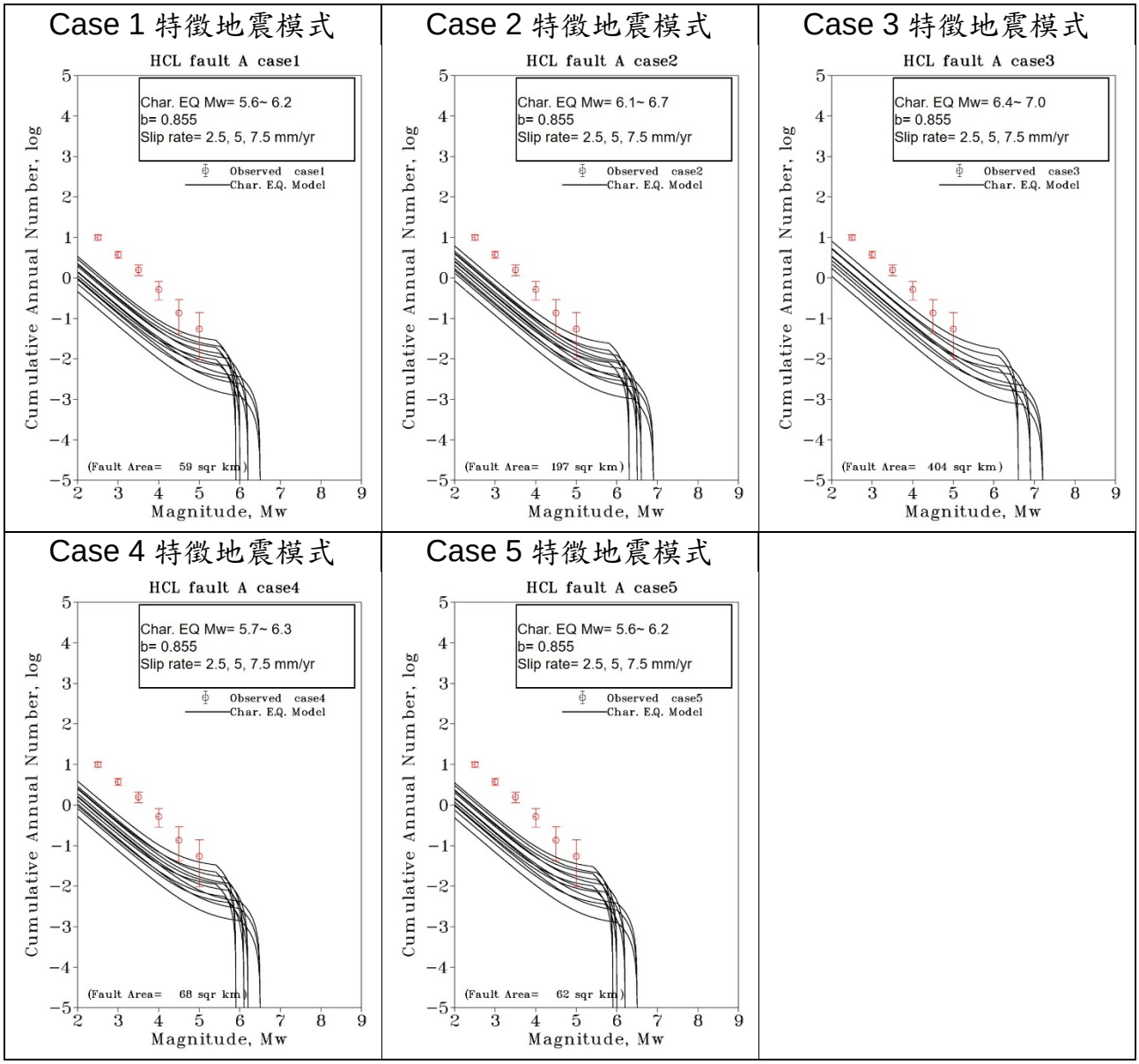


圖 22-3.1：後甲里斷層系統破裂模式 A 特徵地震模式。

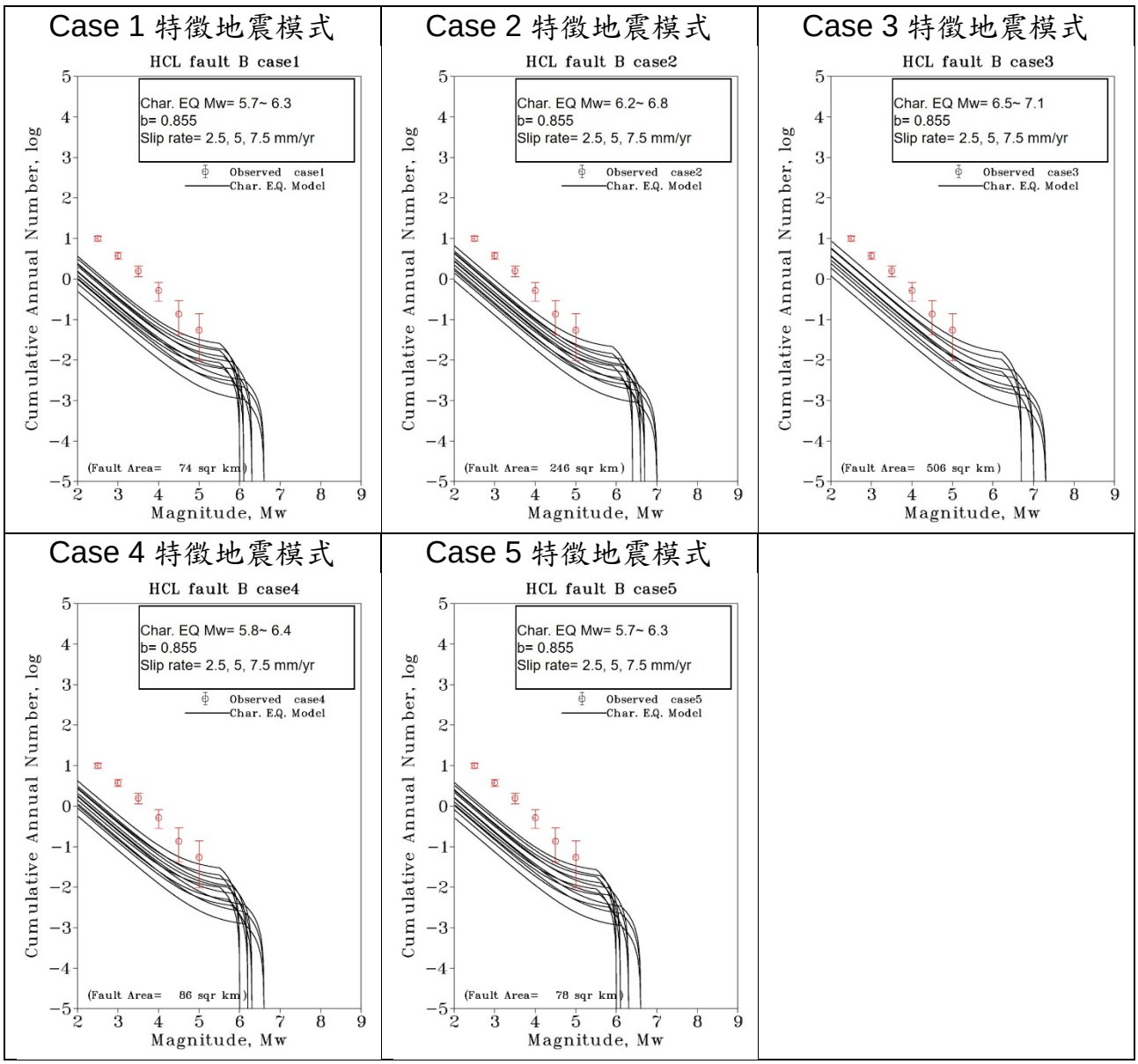


圖 22-3.2：後甲里斷層系統破裂模式 B 特徵地震模式。

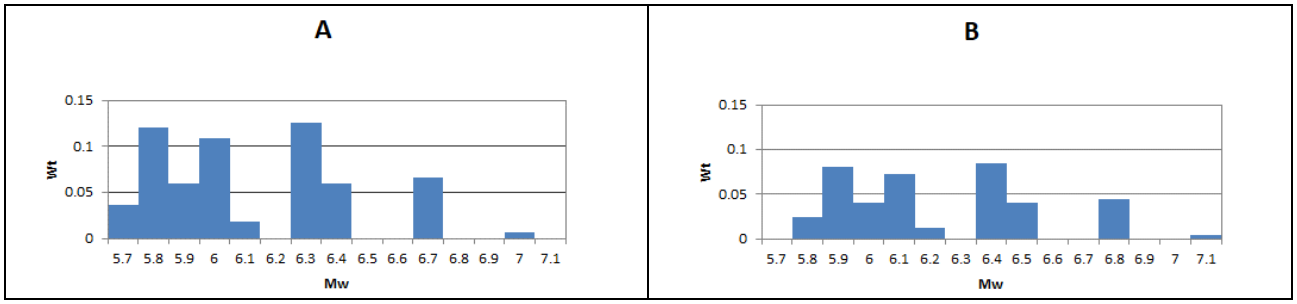


圖 22-3.3：後甲里斷層系統 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

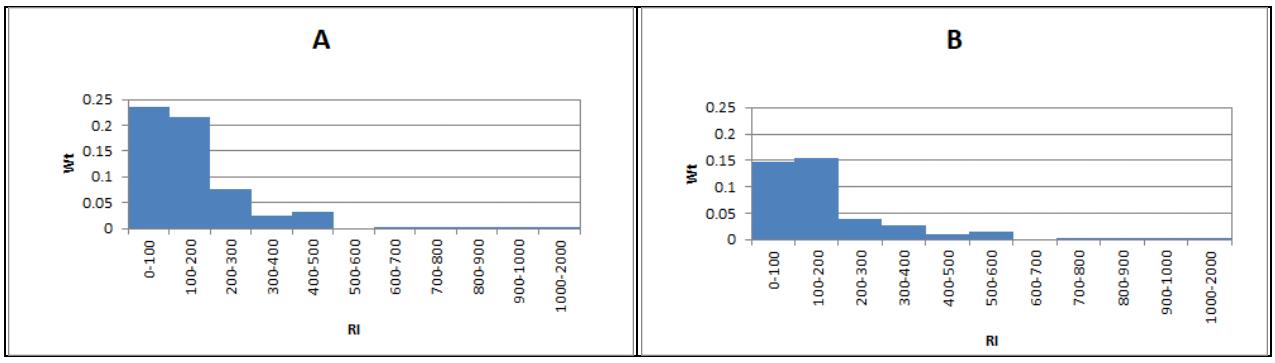


圖 22-3.4：後甲里斷層系統 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　　（b）

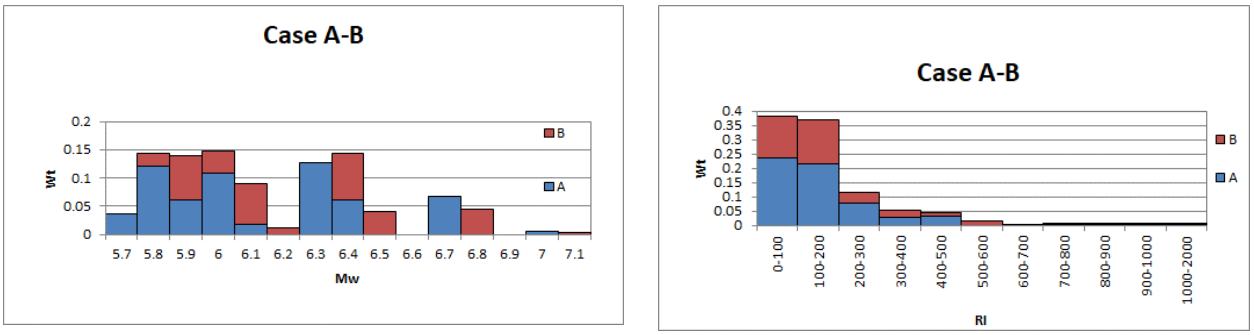


圖 22-3.5：（a）後甲里斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）後甲里斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

22-4 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 22-4.1 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 22-4.2 為後甲里斷層系統 BPT 模式及評估之結果，起算時間為西元 2020 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。

表 22-4.1：前階段計畫後甲里斷層系統發生機率評估(胡植慶等，2016)

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 22-4.2：本計畫後甲里斷層系統發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	POISSON	BPT	POISSON	BPT	POISSON
5.7≦ 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%

第二十三章、左鎮斷層潛勢評估

23-1 左鎮斷層參數彙整

左鎮斷層各項參數詳細內容詳附錄 21，左鎮斷層幾何參考資料及參數如表 23-1.1 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，左鎮斷層平均滑移虧損速率下界 1.9 mm/yr，上界為 5.5 mm/yr，平均值為 3.7 mm/yr，如表 23-1.2 所示。

彙整前人對於左鎮斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 23-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 23-1.1：左鎮斷層幾何面各調查方法及斷層參數

文獻	方法	傾角	深度
地調所五萬分之一地質圖幅	野外調查建立地質剖面	高傾角	--
陳延宗，2007	淺層震測	未知，訊號不明顯	--
本計畫團隊	1900-2015 地震分布	--	8~14 公里
Suppe, 1980	地質剖面	--	滑脫面 8 公里深
Hung et al., 1999	地質剖面	--	滑脫面 13 公里深

表 23-1.2：左鎮斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
左鎮斷層	上界	1.6	11.3	3.7	5.5
	平均	1.5 ± 0.1	7.8 ± 3.5	1.7 ± 2.0	3.7
	下界	1.4	4.3	0.0	1.9

表 23-1.3：左鎮斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
左鎮斷層	斷層分段與破裂事件	未分段	地表地形、岩層分布	Wang, 1976；中國石油公司，1989；張徽正等，1998；林啓文等，2000；陳文山等，2004
	長度 (km)	20 km		
	寬度 (km)	11.2	深度/sin 傾角 （以深度 11 公里，傾角 80 度計算）	本計畫設定幾何參數
	破裂深度 (km)	8~14 公里	1900-2015 地震分布	本計畫團隊
		滑脫面 8 公里深	地質剖面	Suppe, 1980
		滑脫面 13 公里深	地質剖面	Hung et al., 1999
	面積(km2)	223	長度×寬度	本計畫設定幾何參數
	走向	呈東南一西北走向	地表地形、岩層分布	林啓文等，2007
	傾斜角度 (度)	高傾角	地質剖面	地調所五萬分之一地質圖幅
	斷層機制	左移斷層	構造地形特徵	林啓文等，2007
	長期滑移速率 (mm/yr)	未知	--	--
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	上界 5.5 平均 3.7 下界 1.9	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	0.36	log D= 1.03Mw-7.03 σ=0.34 （平移斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模 (Mw)	6.4	Mw =3.98+1.02 log A σ=0.23 （平移斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		6.3	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	200-300	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	更新世晚期	地層年代分析	林啓文等，2007

23-2 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 23-2.1。

左鎮斷層幾何，如圖 23-2.2，傾角略修改為高角度斷層，因不確定性較高，權重為 75 度(0.3)、80 度(0.4)、85 度(0.3)。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，因不確定性較高，權重為 8 公里(0.3)、11 公里(0.4)、14 公里(0.3)。

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（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，加權後左鎮斷層平均滑移虧損速率如表 21-1.2 所示。本計畫據此設定邏輯樹權重為 1.9 mm/yr (0.3)、3.7 mm/yr (0.4)、5.5 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 23-2.1 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 23-2.3 所示。

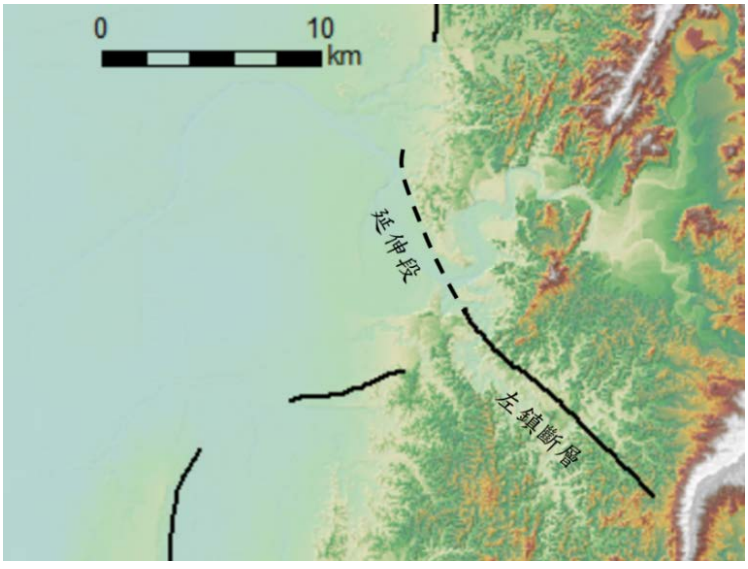


圖 23-2.1：左鎮斷層之破裂模式(胡植慶等，2016)。

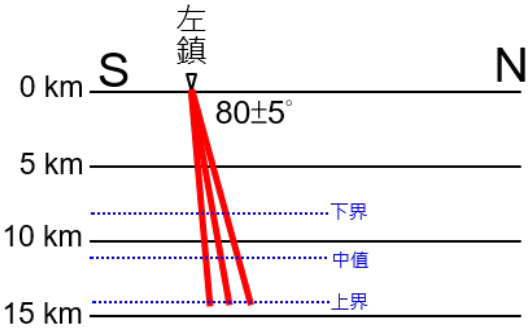


圖 23-2.2：本計畫左鎮斷層幾何面破裂模式。

表 23-2.1：左鎮斷層各破裂事件規模計算

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

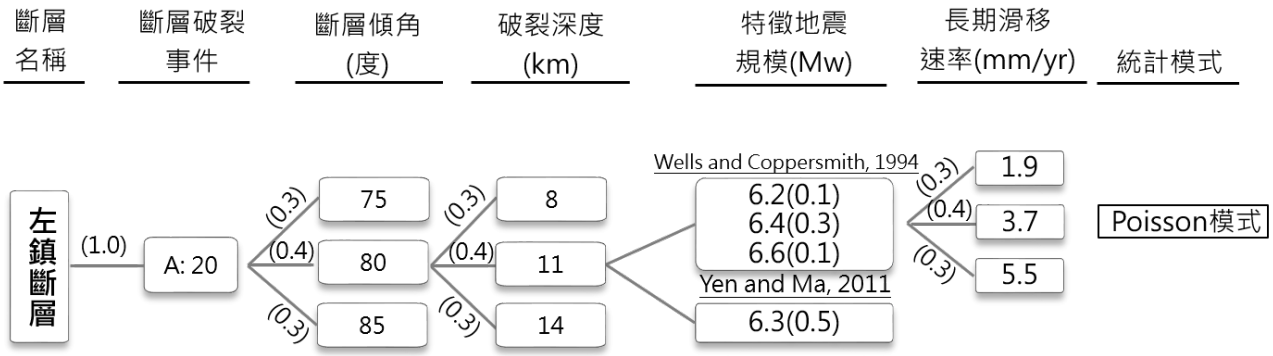


圖 23-2.3：左鎮斷層更新邏輯樹(更新內容：傾角、深度、規模、滑移速率)。

23-3 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 23-3.1 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 23-2.3 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 23-3.2 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 23-3.3 為 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

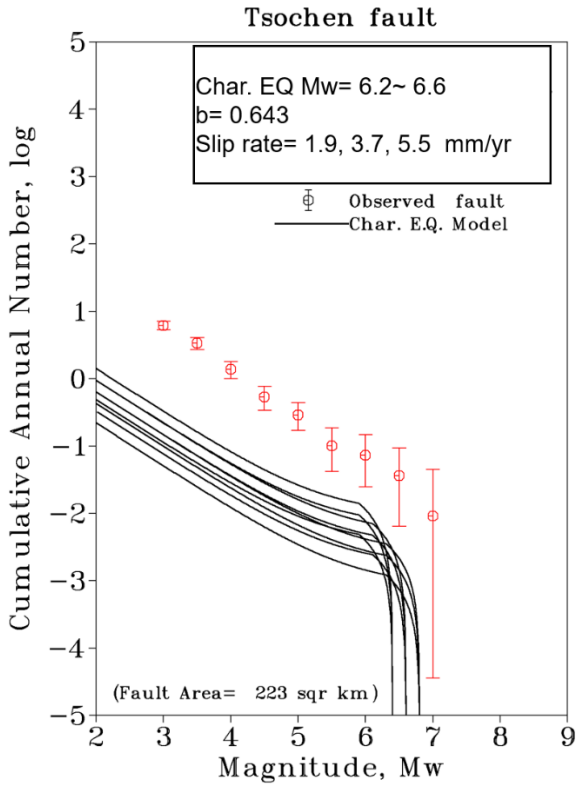


圖 23-3.1：左鎮斷層破裂事件特徵地震模式。

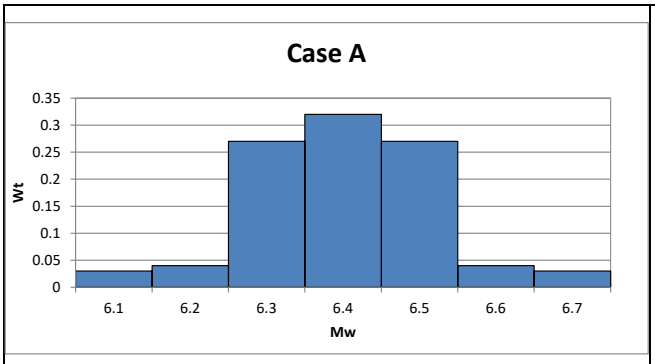


圖 23-3.2：左鎮斷層破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

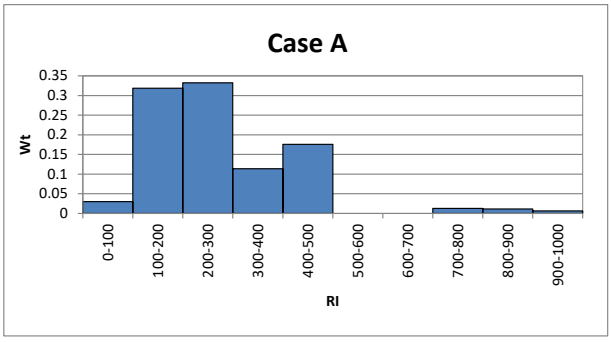


圖 23-3.3：左鎮斷層 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

23-4 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 23-4.1 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 23-4.2 為左鎮斷層 Poisson 模式評估之結果，起算時間為西元 2020 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 13.5%、21.2%及 37.1%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 3.6%、5.7%及 10.3%。

表 23-4.1：前階段計畫左鎮斷層發生機率評估(胡植慶等，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 23-4.2：本計畫左鎮斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.1≦ M ≦6.7	13.5%	21.2%	37.1%
M ≧ 6.5	3.6%	5.7%	10.3%

第二十四章、小崗山斷層潛勢評估

24-1 小崗山斷層參數彙整

小崗山斷層各項參數詳細內容詳附錄 22，小崗山斷層幾何參考資料及參數如表 24-1.1 所示，小崗山斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 24-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，小崗山斷層平均滑移虧損速率下界 1.9 mm/yr，上界為 9.1 mm/yr，平均值為 5.4 mm/yr，如表 24-1.3 所示。

彙整前人對於小崗山斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 24-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 24-1.1：小崗山斷層幾何相關文獻彙整。

參考文獻	方法	傾角	深度
石瑞銓等，2008	淺層震測	約 45 度	--
陳文山等，2010	鑽井	50-70 度剪切帶	--
鄭宏祺，2000	平衡剖面	--	10-11 公里
胡植慶等 2016	地震分布深度	--	--

表 24-1.2：小崗山斷層長期滑移速率相關文獻

參考文獻	方法	滑移速率
陳文山等，2012	鑽井資料樣本及定年計算抬升速率	抬升速率 1.1-4.4 mm/yr

表 24-1.3：小崗山斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
小崗山斷層	上界	3.4	21.2	2.6	9.1
	平均	3.4 ± 0.0	11.8 ± 9.4	1.1 ± 1.5	5.4
	下界	3.4	2.4	0.0	1.9

表 24-1.4：小崗山斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
小崗山斷層	斷層分段與破裂事件	A 小崗山斷層 B 小崗山斷層+北段延伸	地形、岩層分布與對比	Sun, 1964；林啟文等，2009；林啟文等，2010；陳文山等；2010
	長度 (km)	A：9　B：31		
	寬度 (km)	斷坡(14.1)+斷坪：26.9	深度 0-10 km,傾角 45° 深度 10-12 km,傾角 9°	本計畫幾何模型
	破裂深度 (km)	10-11	平衡剖面	鄭宏祺，2000
	面積 (km2)	A：127(斷坡)，242(斷坡+段坪)	長度×寬度	本計畫幾何模型
		B：438(斷坡)，834(斷坡+段坪)		
	走向	呈東北一西南走向	地形、岩層分布與對比	Sun, 1964；林啟文等，2009；林啟文等，2010；陳文山等；2010
	傾斜角度 (度)	45 度	震測資料	石瑞銓等，2008
		岩心剪切面大多呈 50-70 度	鑽井資料	陳文山等，2010
	斷層機制	逆移斷層	地形、鑽井	林啟文等，2009；陳文山等；2010
	長期滑移速率 (mm/yr)	抬升速率 1.1-4.4 mm/yr	鑽井資料樣本及定年計算抬升速率	陳文山等，2012
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	上界 9.1 平均 5.4 下界 1.9	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	A: 0.91(斷坡) 1.11(斷坡+段坪) B: 1.27(斷坡) 1.55(斷坡+段坪)	log D = 0.29 Mw - 1.84（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模 (Mw)	A: 6.2(斷坡) 6.5(斷坡+段坪) B: 6.7(斷坡) 7.0(斷坡+段坪)	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） (各破裂事件面積引用本表)	Wells and Coppersmith, 1994

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
		A: 6.1(斷坡) 6.4(斷坡+段坪) B: 6.6(斷坡) 6.9(斷坡+段坪)	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1 + \max(1, \frac{A}{H^2 \beta})]/2} + const.,$ (各破裂事件面積引用本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	A: 100-200 B: 400-500	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	N/A	N/A	N/A

24-2 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 24-2.1 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，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 24-2.2 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 24-2.3。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 (0.2)、平均(1.6+6.2)/2=3.9 mm/yr (0.6)、上界 6.2 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 24-2.1 所示為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 24-2.4 所示。

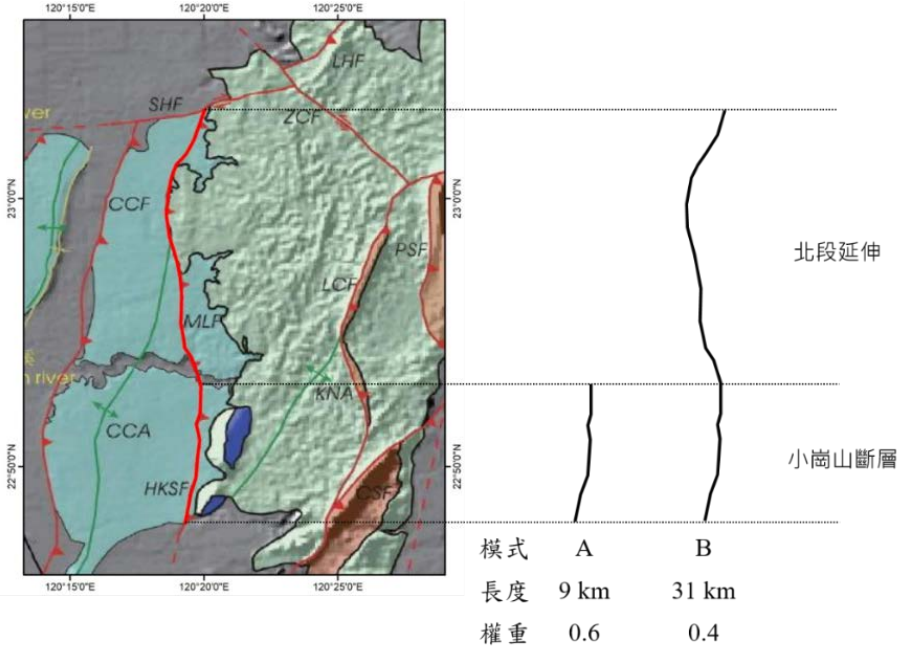


圖 24-2.1：本計畫小崗山斷層之破裂模式。

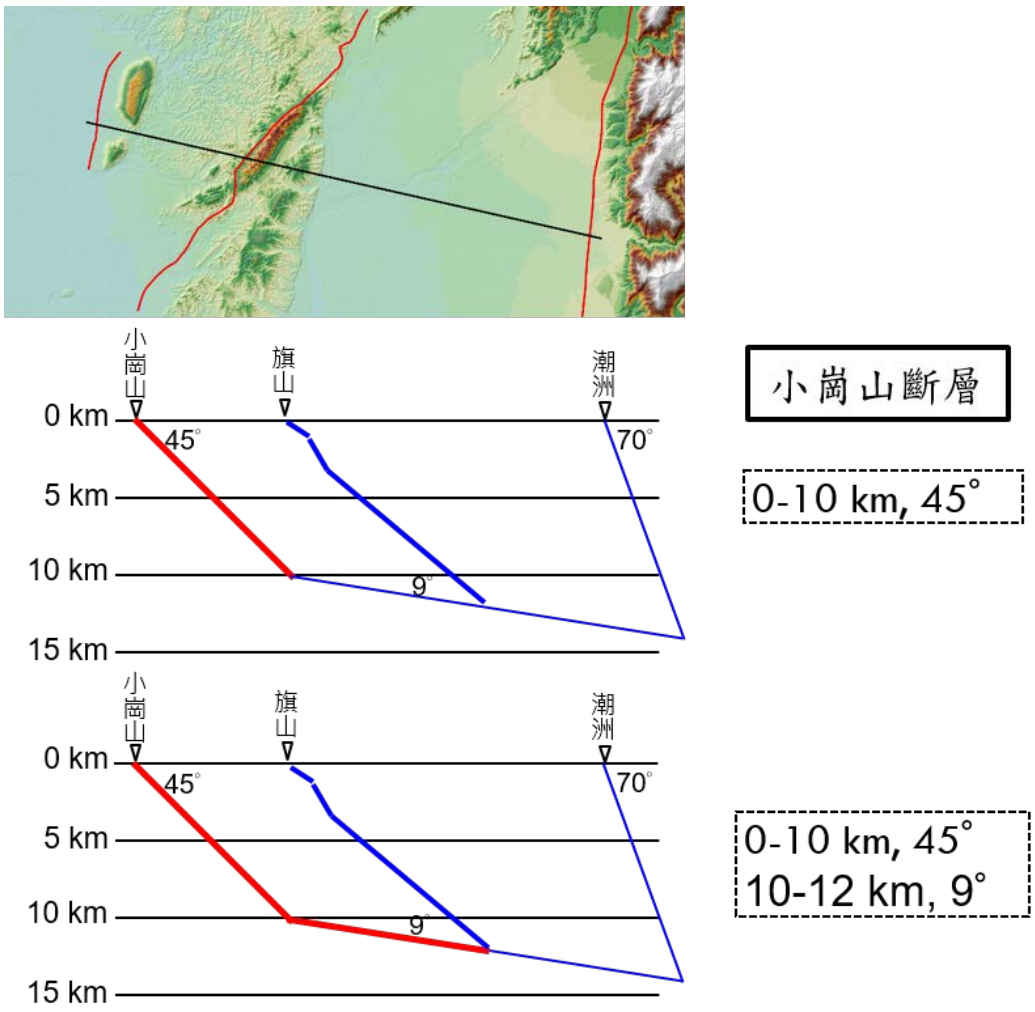


圖 24-2.2：本計畫小崗山斷層幾何面破裂模式。

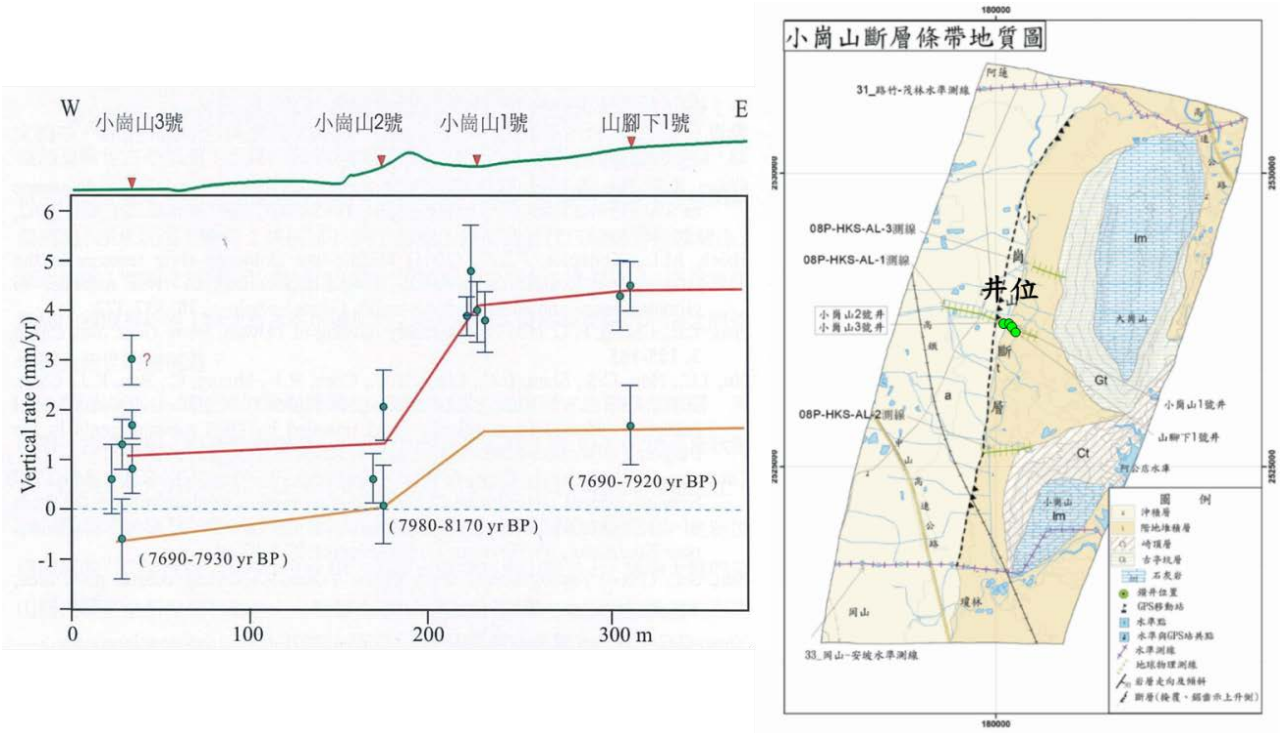


圖 24-2.3：小崗山斷層鑽井鑽井抬升速率計算結果（陳文山等，2010）。

表 24-2.1：小崗山斷層各破裂事件規模計算

破裂事件	長度 (km)	斷層幾何	寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coppersmith, 1994 (破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011 (破裂面積-規模關係式) (Mw)
					-σ	中值	+σ	
A	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

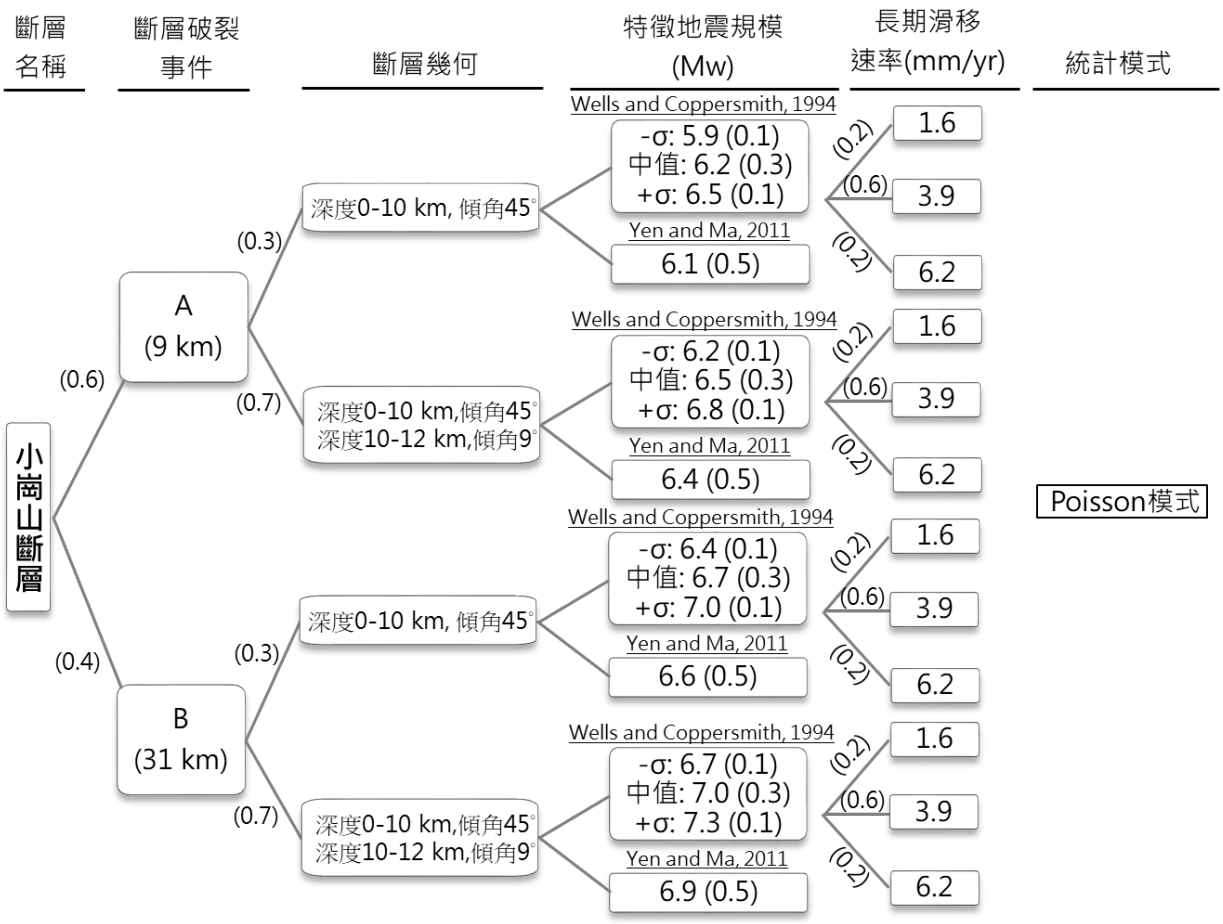


圖 24-2.4：小崗山斷層更新邏輯樹(更新內容：斷層幾何、地震規模、滑移速率)。

24-3 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 24-3.1 為 2 個破裂事件之特徵地震模式分布情形。

圖 24-2.4 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 24-3.2 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 24-3.3 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 24-3.4（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 24-3.4（b）之小崗山斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

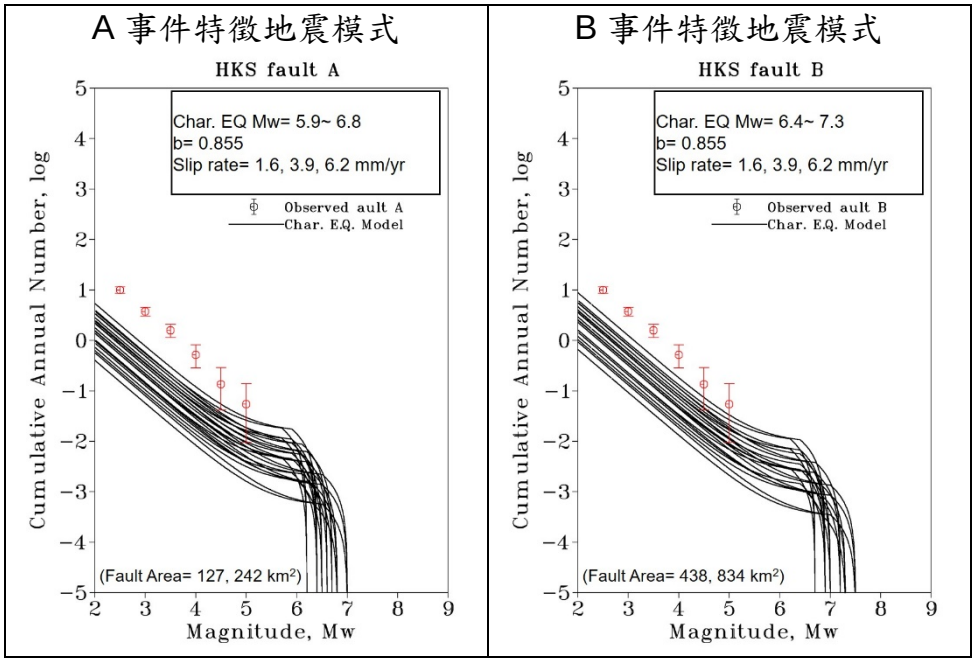


圖 24-3.1：小崗山斷層各破裂事件特徵地震模式。

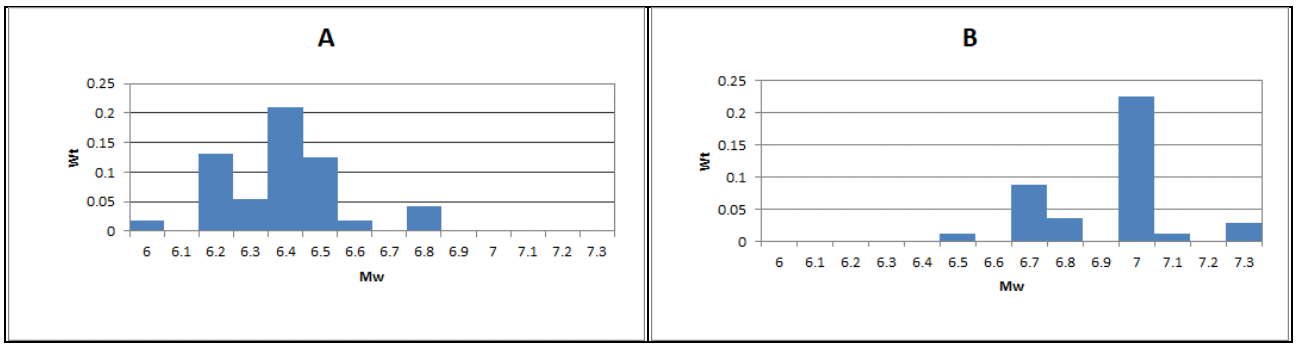


圖 24-3.2：小崗山斷層 2 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和

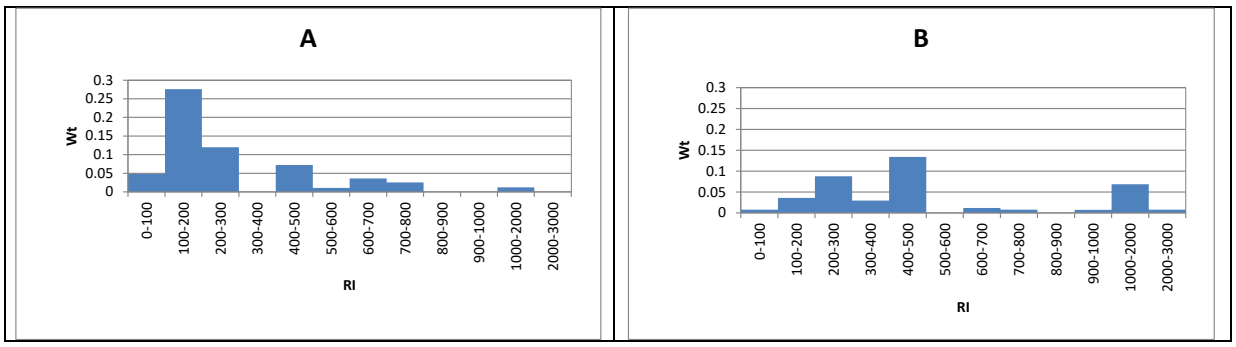


圖 24-3.3：小崗山斷層 2 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　　（b）

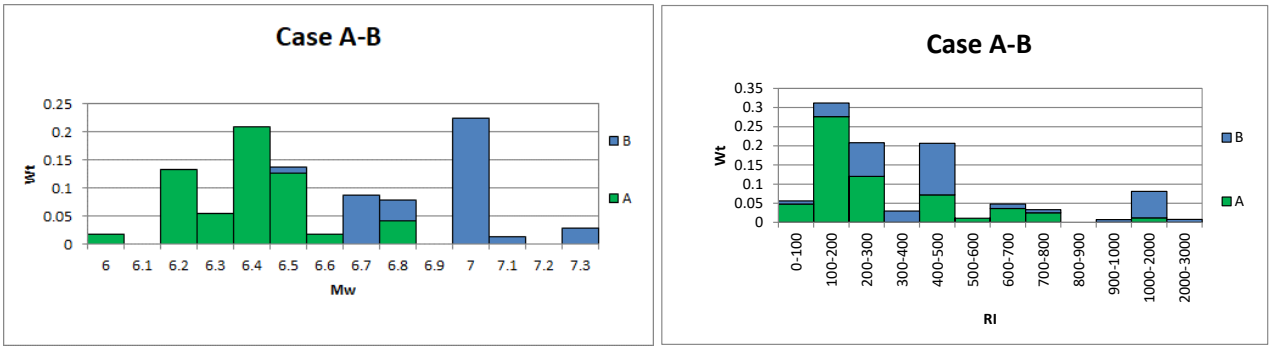


圖 24-3.4：（a）小崗山斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）小崗山斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

24-4 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 24-4.1 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 24-4.2 為小崗山斷層 Poisson 模式評估之結果，起算時間為西元 2020 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%、18.6%及 32.5%；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%、7.9%及 14.3%。

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 24-4.1：前階段計畫小崗山斷層發生機率評估(胡植慶等，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 24-4.2：本計畫小崗山斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.0≦ M ≦7.3	11.8%	18.6%	32.5%
M ≧ 6.5	4.9%	7.9%	14.3%

第二十五章、旗山斷層潛勢評估

25-1 旗山斷層參數彙整

旗山斷層各項參數詳細內容詳附錄 23，旗山斷層幾何參考資料及參數如表 25-1.1 所示，旗山斷層長期滑移速率參考陳文山等(2012)鑽井資料，抬升速率約 2.4-4.0 mm/yr。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，旗山斷層平均滑移虧損速率下界 2.6 mm/yr，上界為 8.3 mm/yr，平均值為 5.5 mm/yr，如表 25-1.2 所示。

彙整前人對於旗山斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 25-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 25-1.1：旗山斷層幾何相關文獻彙整。

參考文獻	方法	傾角	深度
陳柏村，2005	野外露頭觀察	約 60 度向東	--
張家鳳，2005	淺層反射震測	65 度向東	--
黃旭燦等，2004	平衡剖面	50 度向東（內英斷層)	--
洪日豪，2006	地質剖面圖	67.5 度（0-6 公里） 35 度（6-13.5 公里）	13.5 公里
Rodriguez-Roa and Wiltschiko, 2010	參考地表地質圖、地層位態及速度場建立地質剖面圖	淺部為低角度逆斷層 深部為高角度古斷層面	--
陳文山等，2011；2012	平衡剖面	近地表傾角大約 35 度	深度約 12 公里

表 25-1.2：旗山斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
旗山斷層	上界	1.2	20.5	3.2	8.3
	平均	1.1 ± 0.1	13.4 ± 7.1	1.9 ± 1.3	5.5
	下界	1.0	6.3	0.6	2.6

表 25-1.3：旗山斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
旗山斷層	斷層分段與破裂事件	A 旗山斷層 B 內英斷層 C 旗山斷層+內英斷層	地形、野外調查、岩層對比、鑽井、海域震測資料	吉田要，1932；鳥居敬造，1933；耿文溥，1967；Tsan and Keng, 1968；林啟文等，2009；陳文山等；2012；Liu et al., 1997
	長度 (km)	A：30　B：41　C：71		
	寬度 (km)	19.7	Case 1 深度 0-6 km，傾角 65° 深度 6-13.5 km，傾角 35°	本計畫幾何模型
		17.3	Case 2 深度 0-1 km，傾角 35°； 深度 1-3 km，傾角 60°； 深度 3-11.5 km，傾角 40°	
		16.4	Case 3 深度 0-3 km，傾角 30°； 深度 3-12 km，傾角 60°	
	破裂深度 (km）	13.5 公里	地質剖面圖	洪日豪，2006
		深度約 12 公里	平衡剖面	陳文山等，2011；2012
	面積 (km2)	A：518　B：708　C：1227	長度×寬度（以 Case 2 計算）	本計畫幾何模型
	走向	呈東北一西南走向	地質調查	林啟文等，2009
	傾斜角度 (度)	約 60 度向東	野外露頭觀察	陳柏村，2005
		65 度向東	淺層反射震測	張家鳳，2005
		50 度向東（內英斷層)	平衡剖面	黃旭燦等，2004
		67.5 度（0-6 公里） 35 度（6-13.5 公里）	地質剖面圖	洪日豪，2006
		淺部為低角度逆斷層 深部為高角度古斷層面	參考地表地質圖、地層位態及速度場建立地質剖面圖	Rodriguez-Roa and Wiltschiko, 2010
		近地表傾角大約 35 度	平衡剖面	陳文山等，2011；2012

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	斷層機制	逆移斷層	地形、野外調查、岩層對比、鑽井	吉田要，1932；鳥居敬造，1933；耿文溥，1967；Tsan and Keng, 1968；林啟文等，2009；陳文山等；2012；Liu et al., 1997
	長期滑移速率 (mm/yr)	2.4-4.0（長期抬升速率）	大社 A 鑽井資料(KH92-G02, KH92-G03-F, KH92-G03-E, KH92-G03-D)	陳文山等，2012
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	上界 8.3 平均 5.5 下界 2.6	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	A：1.36　B：1.45　C：1.66	log D = 0.29 Mw - 1.84（逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模 (Mw)	A：6.8　B：6.9　C：7.1	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		A：6.7　B：6.9　C：7.1	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	A: 200-300 B: 200-300 C: 300-400	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	7189±160 yr BP	深水溪北岸露頭	陳文山等，2005

25-2 邏輯樹更新

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 25-2.1)，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 25-2.2)，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 25-2.1 南延至澄清湖。本計畫修改之旗山斷層分段破裂模式，如圖 25-2.3 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，參考各地質剖面及平衡剖面考慮三種情形，如圖 25-2.4 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 25-2.5)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 25-2.1，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。本計畫設定邏輯樹權重為下界 2.6 mm/yr (0.2)、平均(2.6+8.0)/2=5.3 mm/yr (0.6)、上界 8.0 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 25-2.2 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

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 25-2.6 所示。

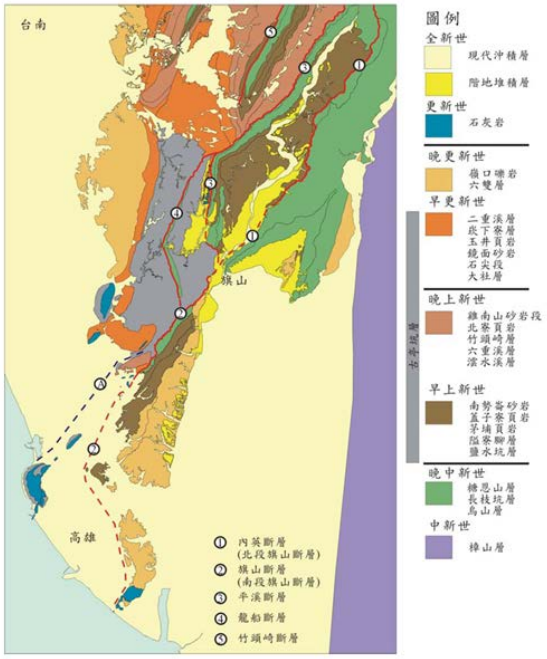


圖 25-2.1：旗山斷層鄰近區域地質圖(陳文山等，2005)。

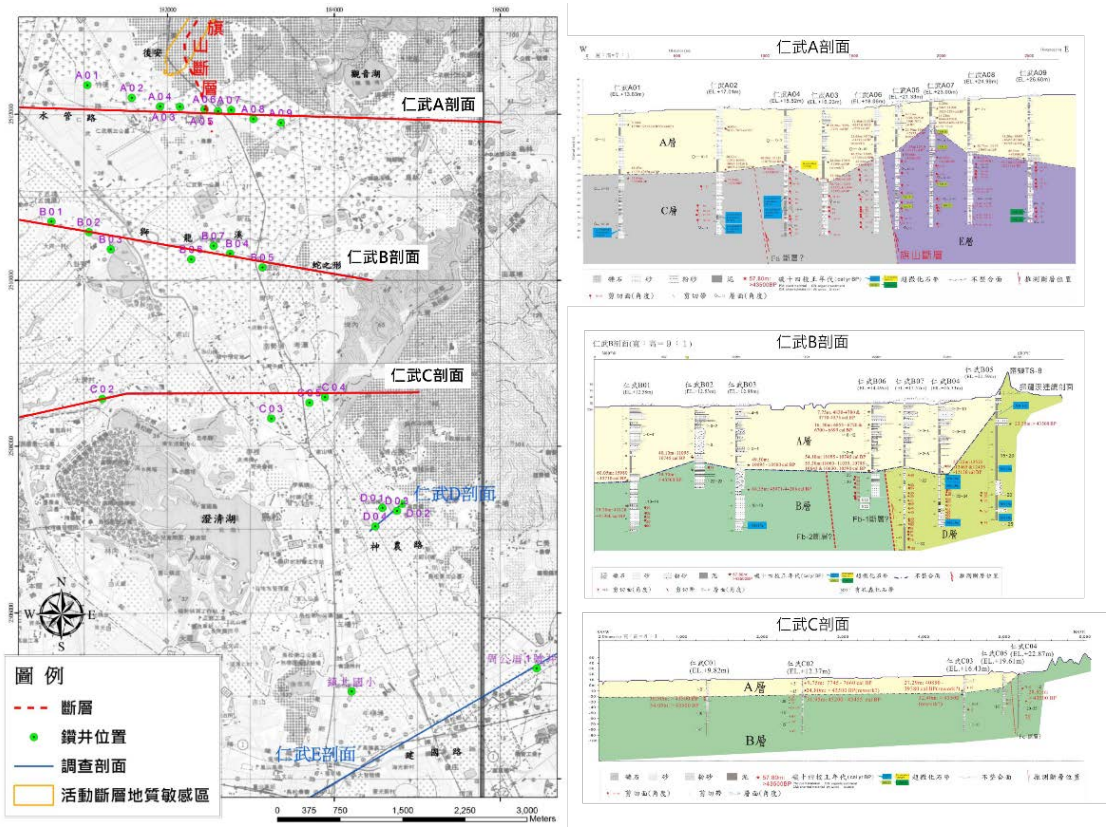


圖 25-2.2：旗山斷層向南延伸調查成果（富國公司及顏一勤事務所，2016）。

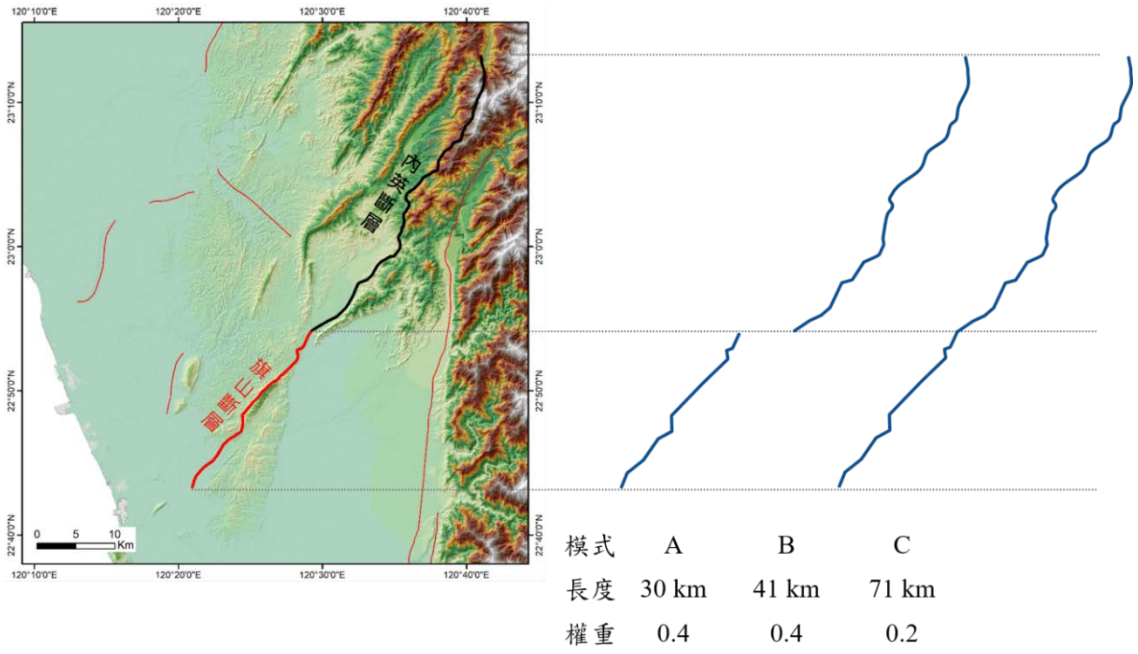


圖 25-2.3：本計畫旗山斷層之破裂模式。

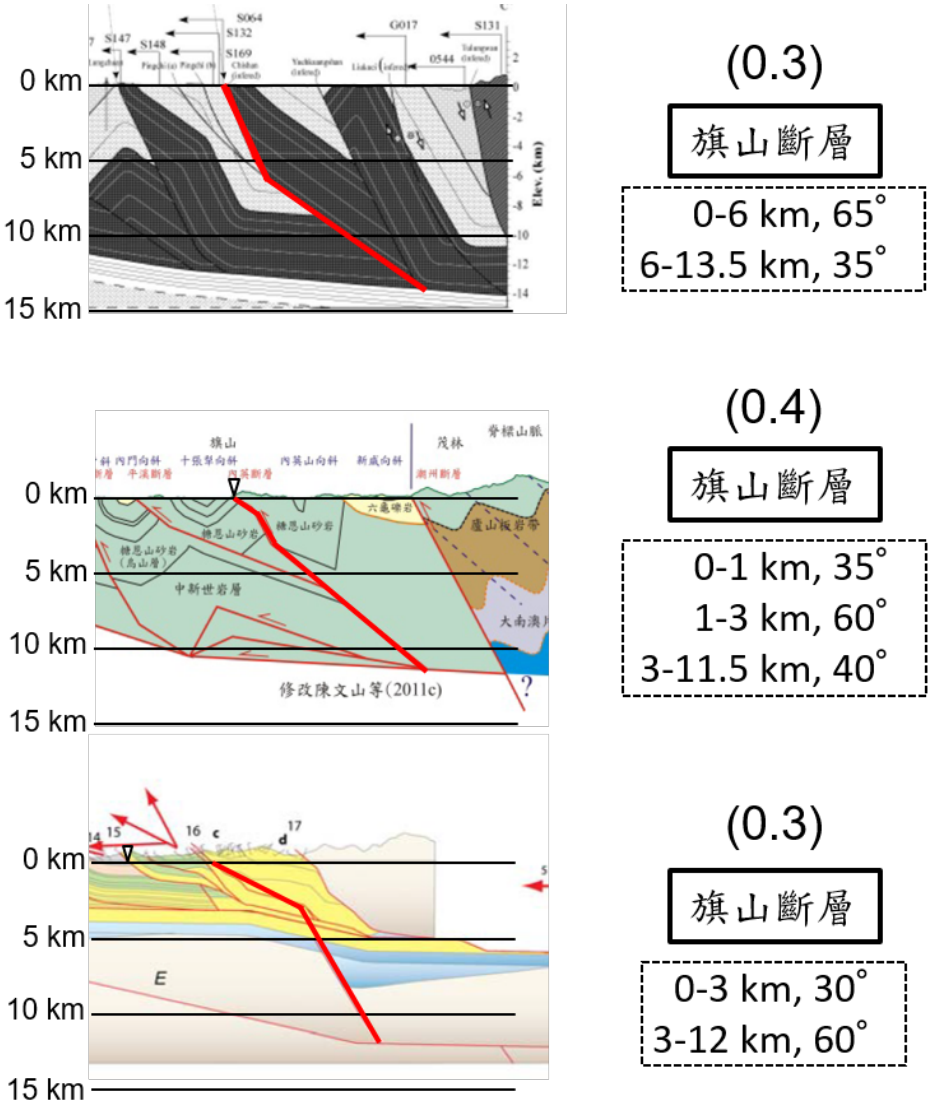


圖 25-2.4：本計畫旗山斷層幾何設定。

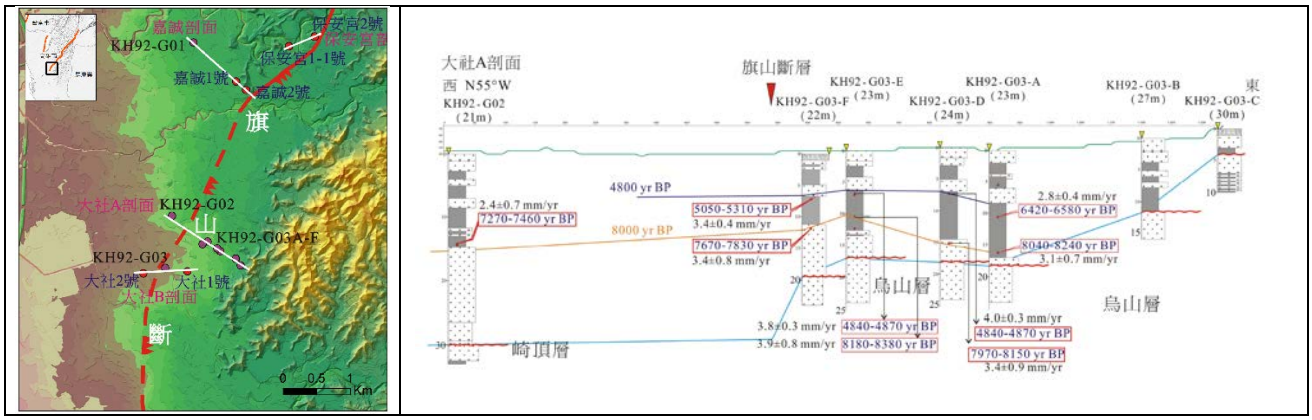


圖 25-2.5：大社 A 剖面岩芯柵狀圖(陳文山等，2012)。

表 25-2.1：大社 A 剖面鑽井樣本抬升速率彙整(陳文山等，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 25-2.2：旗山斷層各破裂事件規模計算

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

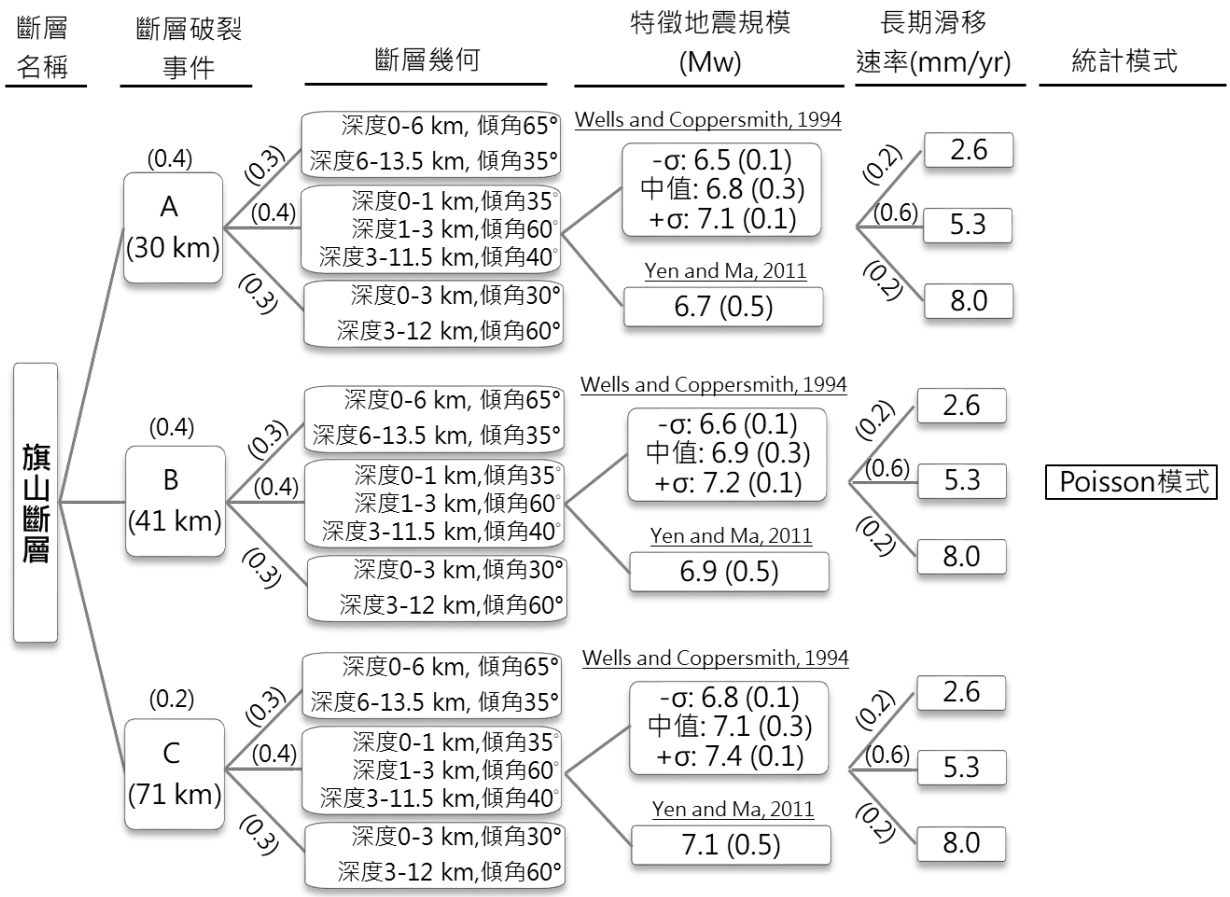


圖 25-2.6：旗山斷層更新邏輯樹(更新內容：破裂模式、幾何、規模、滑移速率)。

25-3 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 25-3.1 為 3 個破裂事件之特徵地震模式分布情形。

圖 25-2.6 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 25-3.2 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 25-3.3 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 25-3.4（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 25-3.4（b）之旗山斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

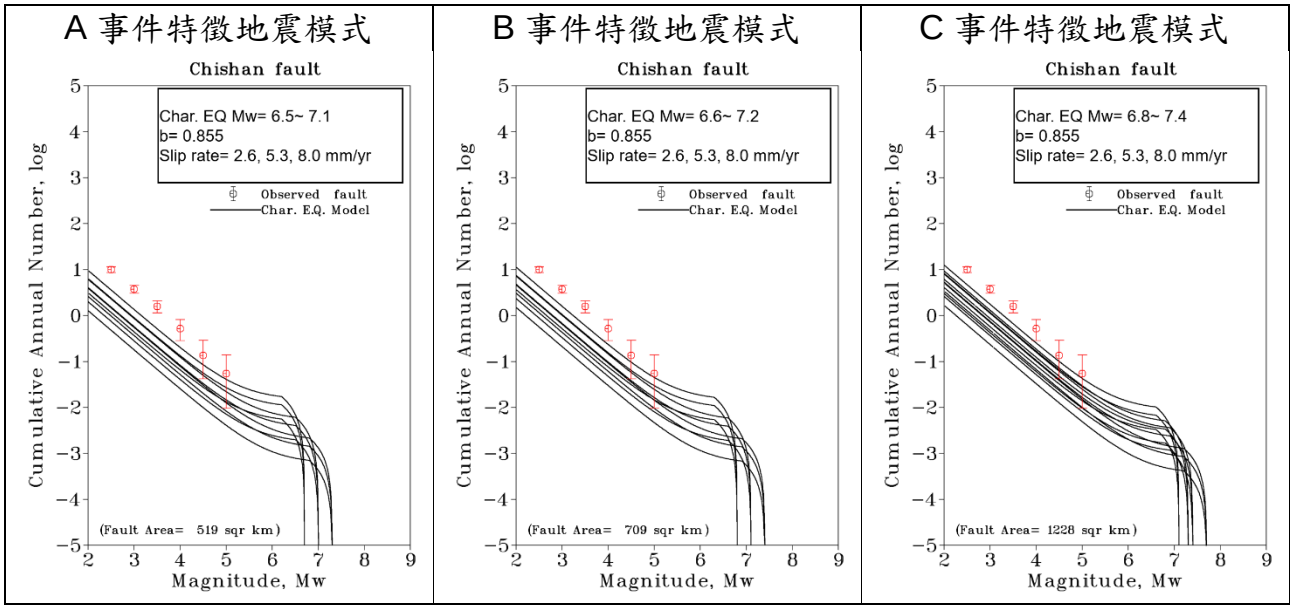


圖 25-3.1：旗山斷層各破裂事件特徵地震模式。

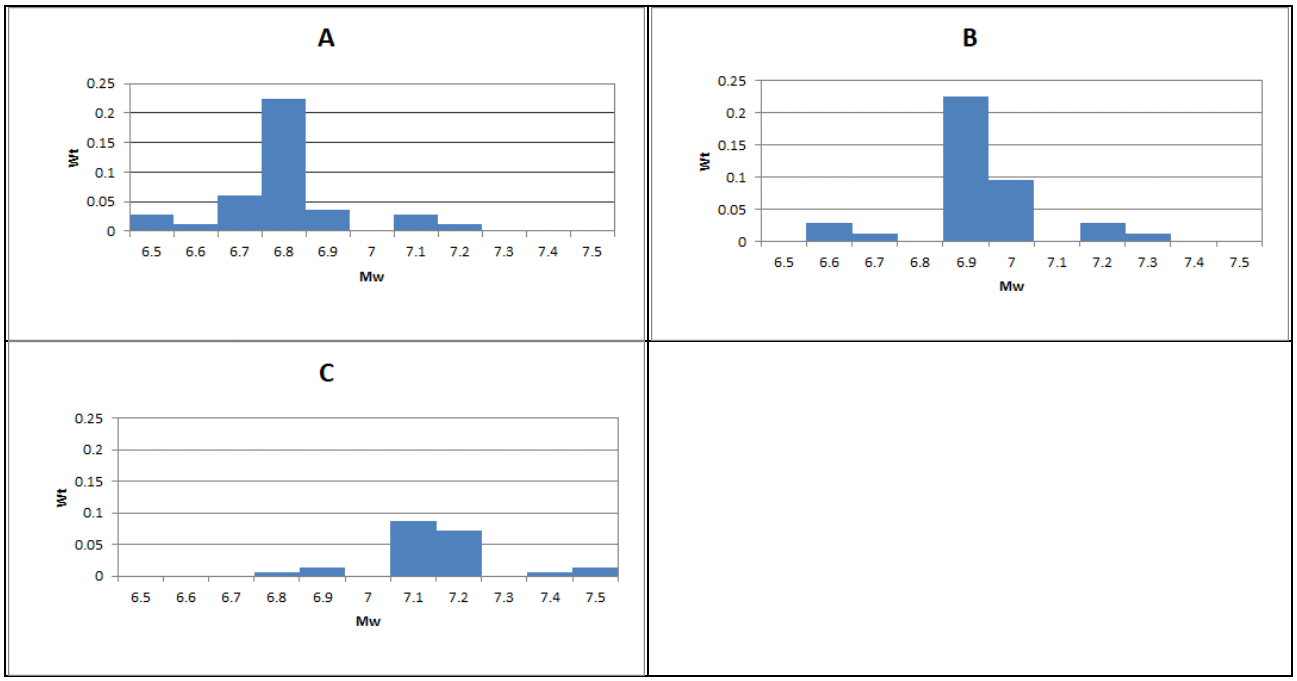


圖 25-3.2：旗山斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

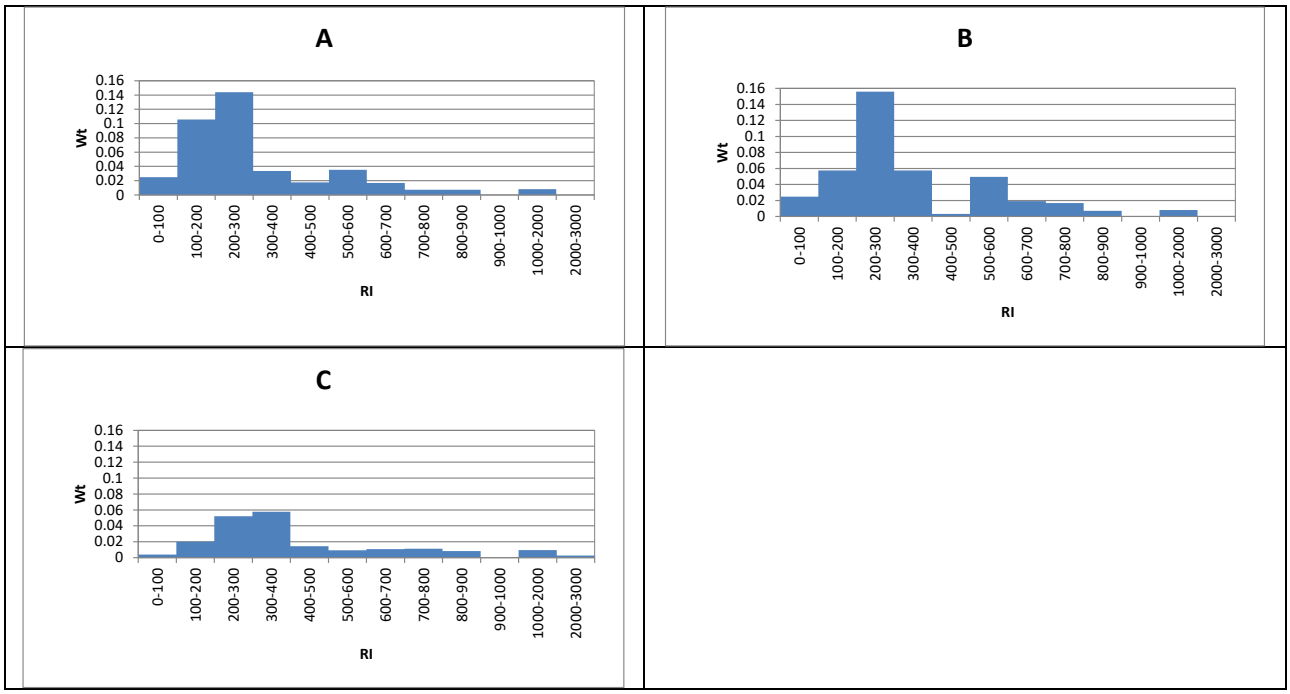


圖 25-3.3：旗山斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

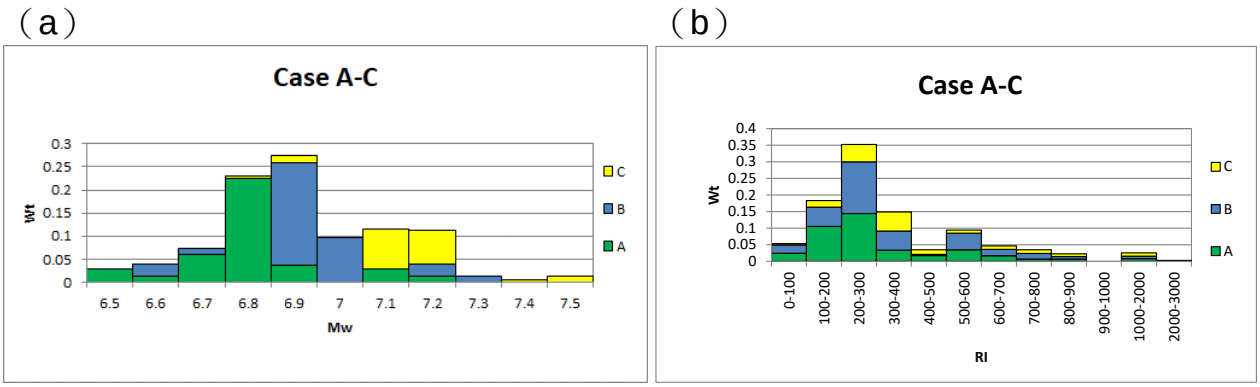


圖 25-3.4：（a）旗山斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）旗山斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

25-4 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 25-4.1 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 25-4.2 為本計畫旗山斷層 Poisson 模式評估之結果,起算時間為西元 2020 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%、18.1%及 31.9%。

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 25-4.1：前階段計畫旗山斷層發生機率評估(胡植慶等，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 25-4.2：本計畫旗山斷層發生機率評估

特徵地震矩 規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.5≦ M ≦7.5	11.4%	18.1%	31.9%
M ≧ 7.0	2.6%	4.2%	7.8%

第二十六章、潮州斷層潛勢評估

26-1 潮州斷層幾何(本計畫更新)

潮州斷層各項參數詳細內容詳附錄 24，潮州斷層幾何參考資料及參數如表 26-1.1 所示，潮州斷層長期滑移速率參考臺灣地震模型(TEM, 2014)資料。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，潮州斷層平均滑移虧損速率下界 0.8 mm/yr，上界為 5.5 mm/yr，平均值為 3.2 mm/yr，如表 26-1.2 所示。

彙整前人對於潮州斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 26-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 26-1.1：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
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；Wu et al., 2014	速度構造剖面及地震深度分布剖面	-	孕震帶約 15-20 公里
Camanni et al., 2016	P 波速度構造剖面及重定位地震	-	孕震帶約 20 公里

表 26-1.2：潮州斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
潮州斷層	上界	2.1	10.9	3.6	5.5
	平均	1.9 ± 0.2	5.7 ± 5.2	1.9 ± 1.7	3.2
	下界	1.7	0.5	0.2	0.8

表 26-1.3：潮州斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
潮州斷層	斷層分段與破裂事件	北段(A, B)	地形、野外調查、岩層對比、鑽井、海域地形判釋	鳥居敬造，1933；Tomita, 1955；林朝棨，1957；Bonilla, 1975； Wang, 1976；Hsu et al., 1985；張慧中，1986；石再添等，1984；楊貴三，1986；陳文山等，2004，2005；Lin et al., 2008；林啟文等，2009
		南段(C, D)		
		整段(E, F, G, H)		
	長度 (km)	北段 60 (含土壟灣斷層 16 公里)		
		南段 46 (含延伸段 16 公里)		
		整段 106		
	寬度 (km)	18.6	深度/sin 傾角 （以深度 17.5 公里，傾角 70 度計算）	本計畫幾何模型
	破裂深度 (km)	13 km	構造地質剖面	Wiltschko et al., 2010
		14 km	構造地質剖面	陳文山等，2011
		孕震帶約 15-20 公里	速度構造剖面及地震深度分布剖面	Cheng et al., 2012；Wu et al., 2014
		孕震帶約 20 公里	P 波速度構造剖面及重定位地震	Camanni et al., 2016
	面積 (km2)	A：819 B：1117 C：559 D：857 E：1378 F：1676 G：1676 H：1974	長度×寬度	本計畫幾何模型
	走向	呈南北走向	地形判釋	林啟文等，2009
	傾斜角度 (度)	東傾 75~80°	重力資料	Hsieh, 1970
		50°	震測與鑽井剖面	Chiang, 1971
		高角度	淺層震測資料	林昱圻，2008
		深度 0-9 km，65° 深度 9-13 km，30°	構造地質剖面	Wiltschko et al., 2010
		深度 0-14 km，62°	構造地質剖面	陳文山等，2011
	斷層機制	逆移斷層兼具左移性質	地形、野外地質調查	Meng，1967；詹新甫，1964；Yen and Tien, 1986；林昱圻，2008；林啟文等，2009

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	長期滑移速率 (mm/yr)	0.4~2.1 (以傾角 70 度換算)	青葉扇階地形崖高差約 60 公尺，從階面上土壤紅土化程度推估年代約 3 萬~15 萬年間，60 公尺/3-15 萬年=抬升速率 0.4~2.0 mm/yr	TEM, 2014
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	上界 5.5 平均 3.2 下界 0.8	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	A：1.55 B：1.66 C：1.36 D：1.55 E：1.77 F：1.77 G：1.77 H：1.89	log D= 0.29Mw-1.84 σ=0.42 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	特徵地震規模 (Mw)	A：7.0 B：7.1 C：6.8 D：7.0 E：7.2 F：7.2 G：7.2 H：7.3	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） （面積參照本表）	Wells and Coppersmith, 1994
		A：6.9 B：7.0 C：6.7 D：6.9 E：7.2 F：7.3 G：7.3 H：7.4	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ （面積參照本表）	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	北段: 1000-2000 南段: 1000-2000 整段: 1000-2000	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	全新世	由階地的變位顯示潮州斷層近期曾經活動，並且形成和主斷層平行的副斷層 ，該副斷層經過更新世的紅土階地及全新世尚未紅土化的沖積河階	Bonilla,1975

26-2 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 26-2.1。

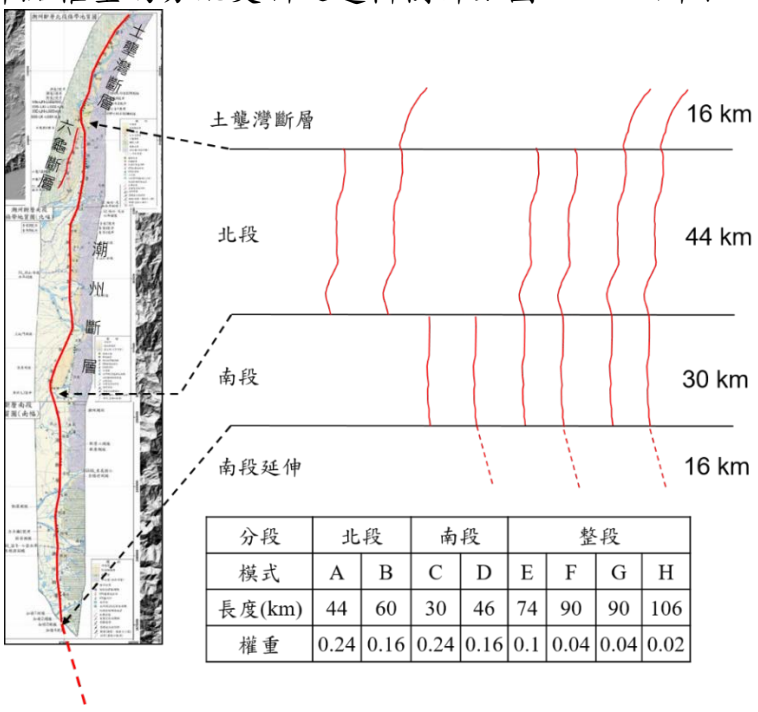
潮州斷層幾何，前一階段潮州斷層之傾角下限值設為 50 度，然而 50 度傾角比較不符合地震深度分布的情形，本計畫建議可將潮州斷層傾角範圍 50~70 度調整為 60~80 度。因不確定性較高，權重為 60 度(0.3)、70 度(0.4)、80 度(0.3)。破裂深度與前階段計畫一致，設為 15~20 公里，因不確定性較高，權重為 15 公里(0.3)、17.5 公里(0.4)、20 公里(0.3)。

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 26-2.2（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 26-2.2（b）所示。從階地崖照片（圖 26-2.2（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 0.4~2.0 mm/yr，以斷層面傾角 70 度換算，則斷層面長期滑移速率約為 0.4~2.1 mm/yr。計畫權重分配為 0.4 mm/yr（0.2），(0.4+2.1)/2=1.3 mm/yr（0.6），2.1 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 26-2.1 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

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 26-2.3 所示。



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 26-2.1：潮州斷層之破裂模式(胡植慶等，2016)。

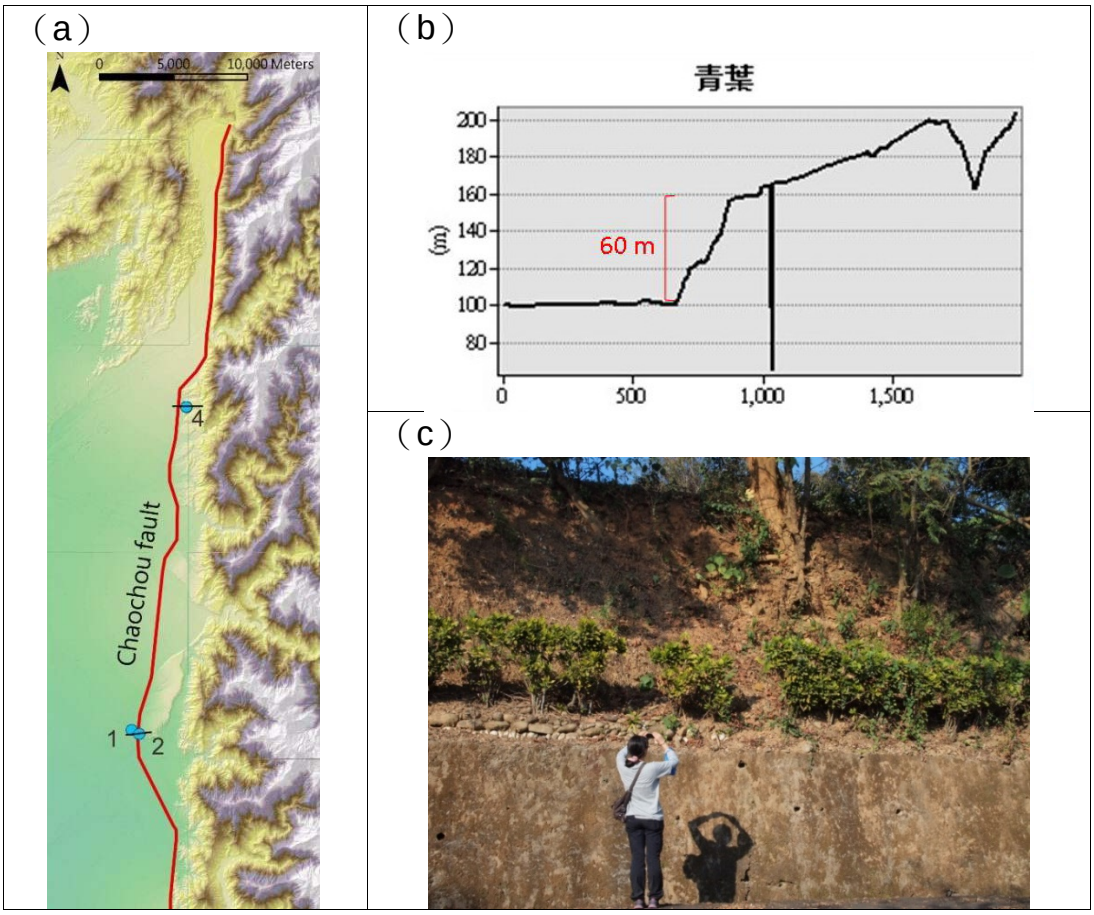


圖 26-2.2：潮州斷層沿線地形崖高程剖面及照片。（a）潮州斷層（紅色實線）沿線構造線形平面位置及野外調查點位（藍色實心圓圈）分布；（b）青葉之 DEM 地形剖面圖，剖面線位於（a）中之 4 號點位旁之黑色實線；（c）4 號調查點位階地崖照片（TEM, 2014）。

表 26-2.1：潮州斷層系統各破裂事件規模計算

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

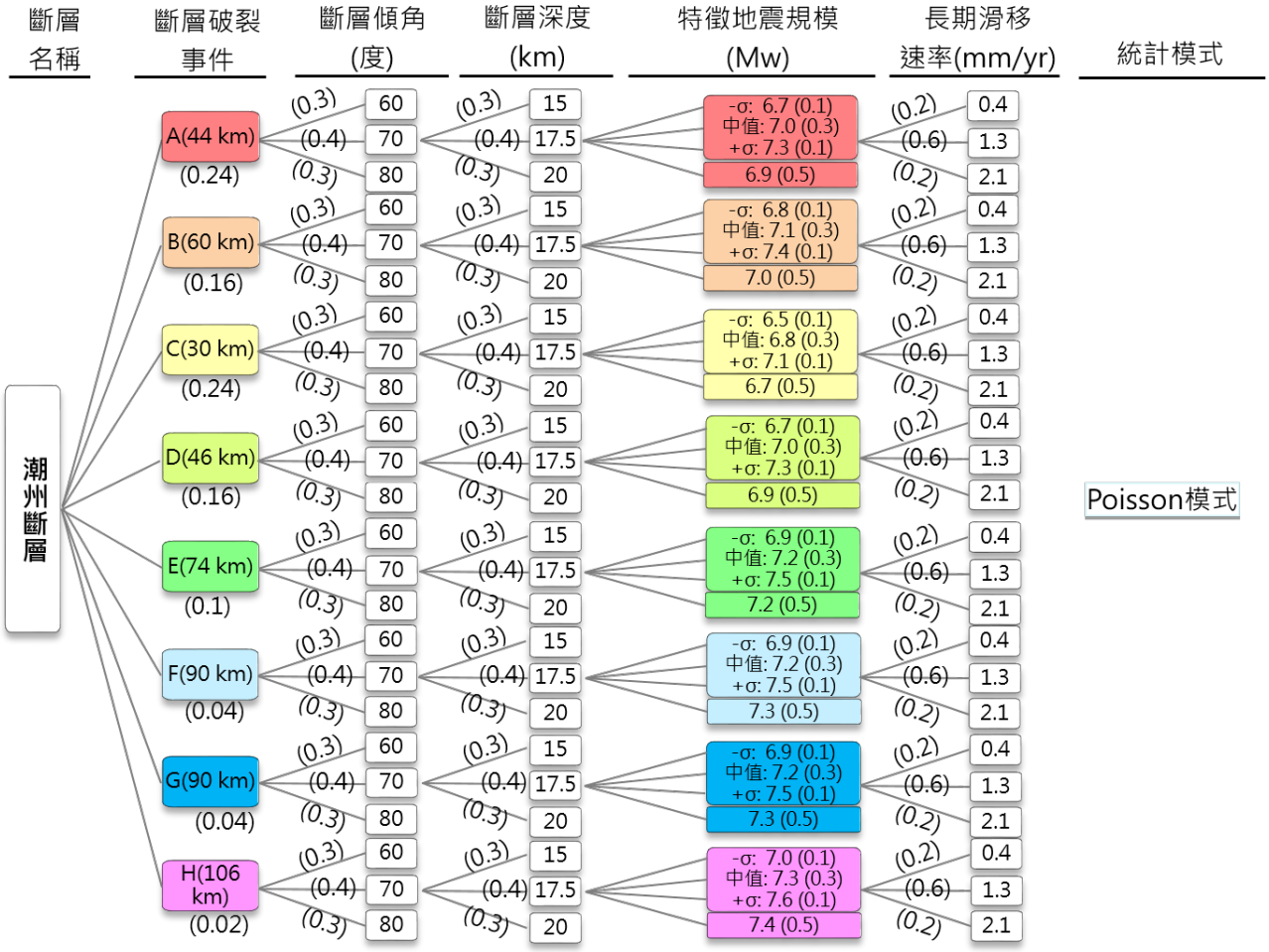


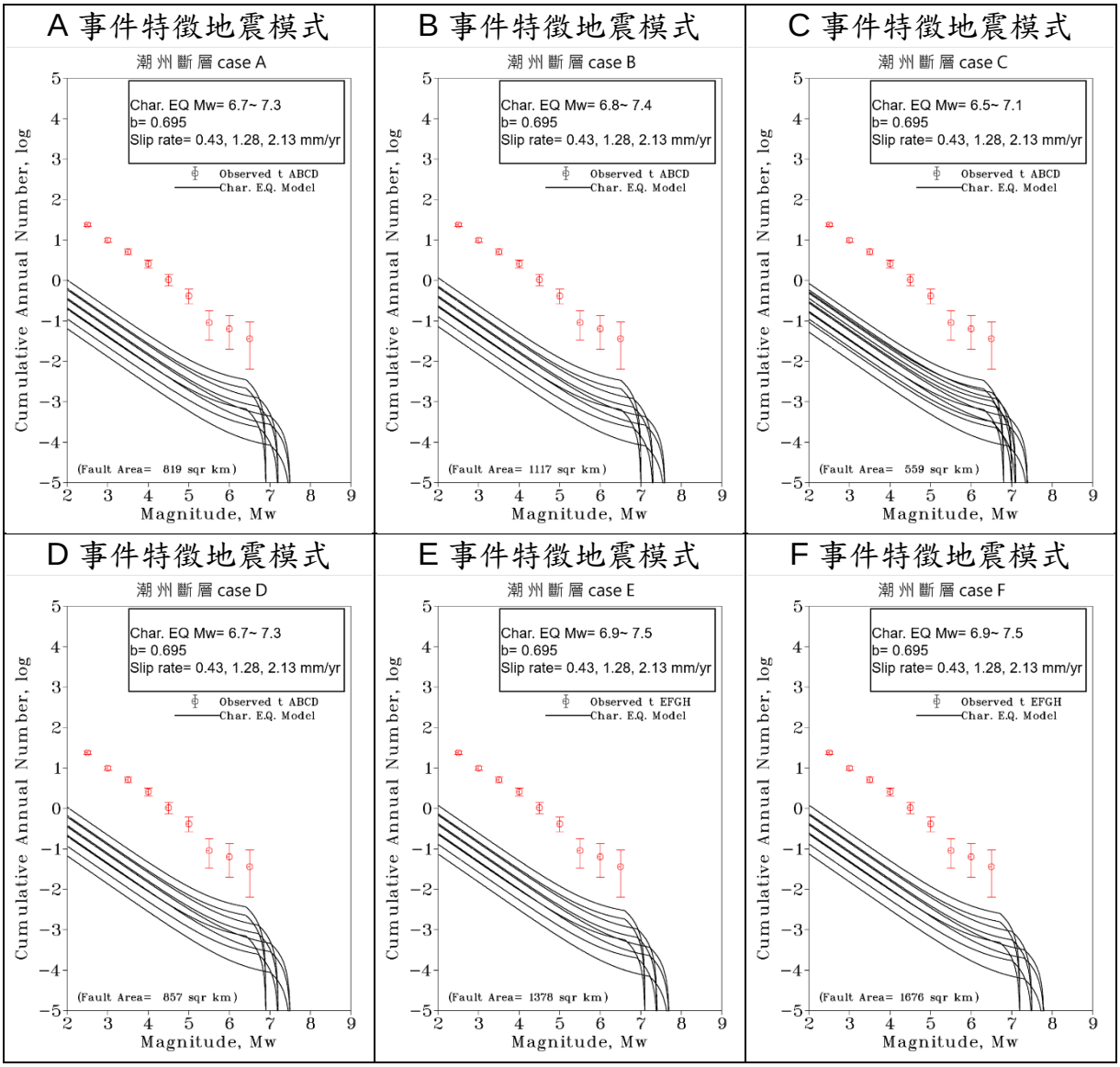
圖 26-2.3：潮州斷層更新邏輯樹。

26-3 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 26-3.1 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 26-2.3 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 26-3.2 為三種分段之規模-權重分布圖，其中北段破裂(A, B)以規模 7.0 之權重最高；南段破裂(C, D)以規模 6.8 之權重最高；整段破裂(E, F, G, H)以規模 7.3 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 26-3.3 為三種分段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 26-3.4（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 26-3.4（b）之潮州斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。



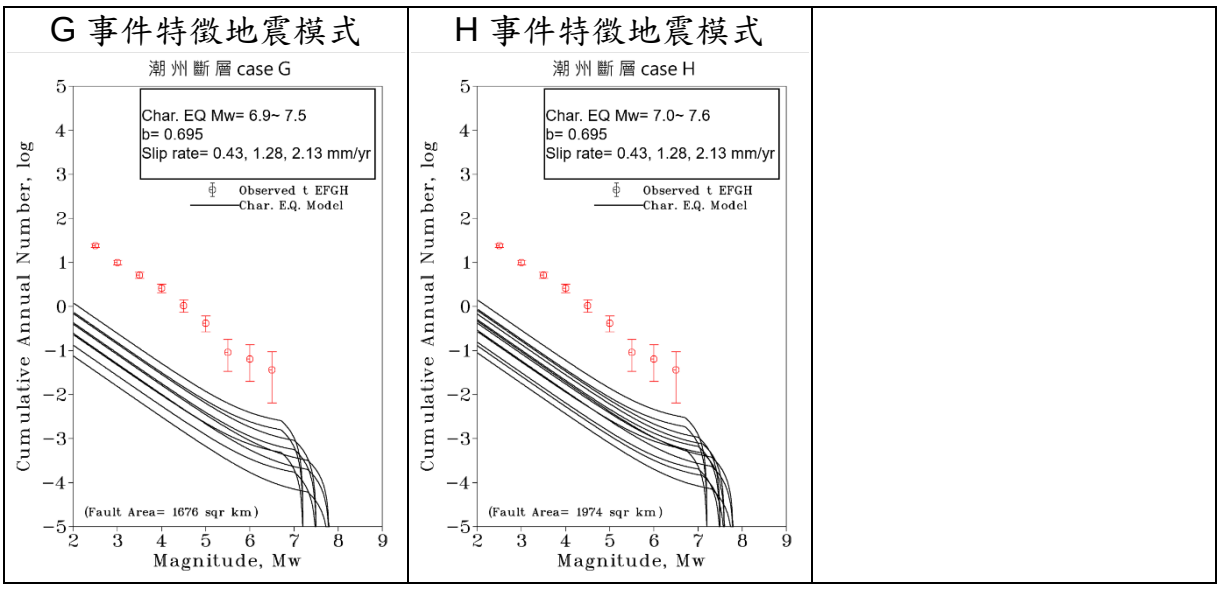


圖 26-3.1：潮州斷層各破裂事件特徵地震模式。

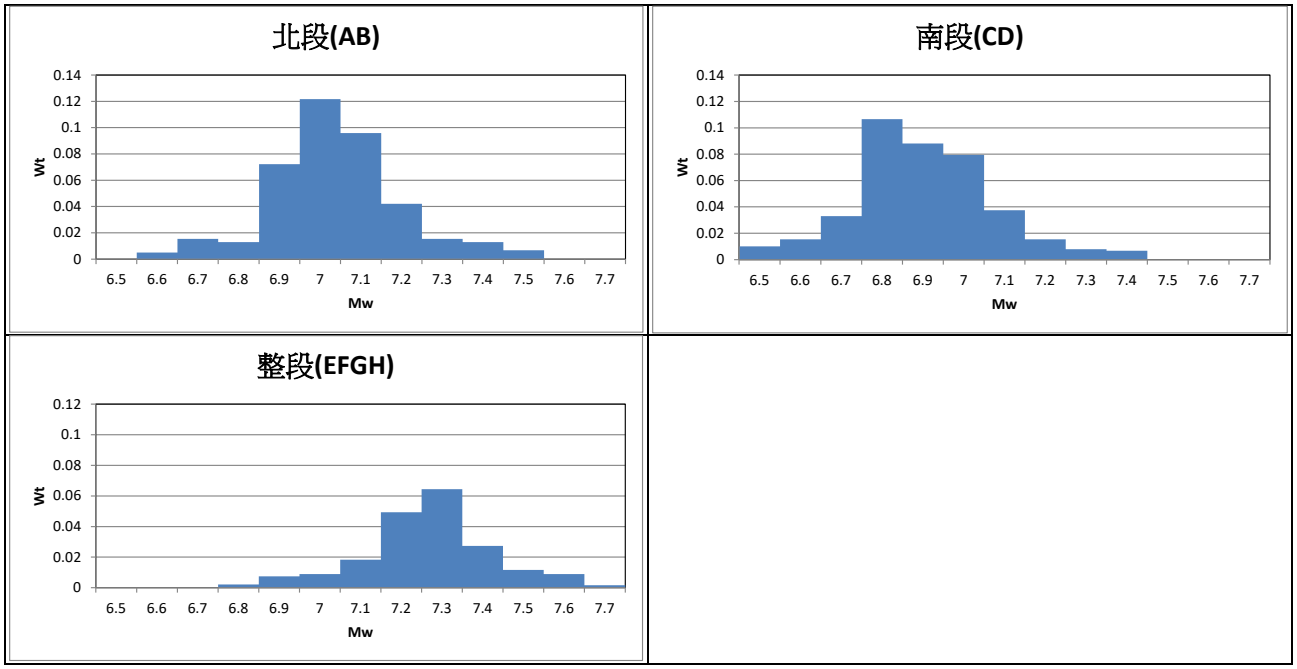


圖 26-3.2：潮州斷層 8 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

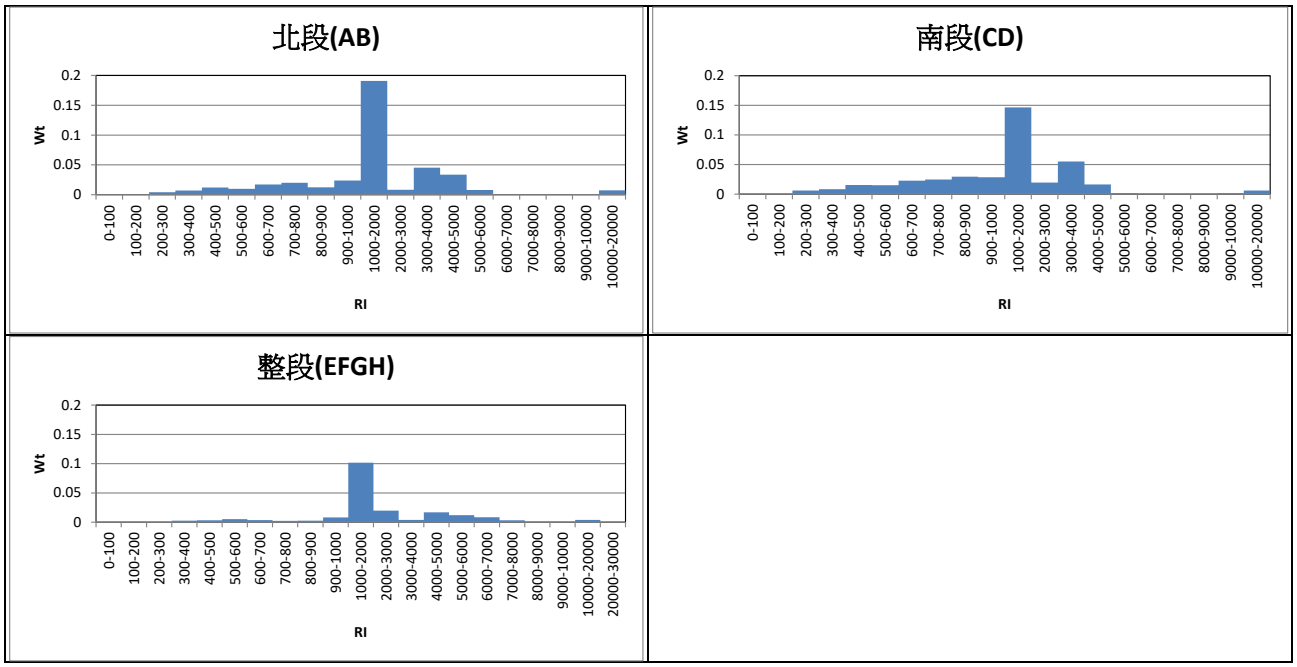


圖 26-3.3：潮州斷層三種分段之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

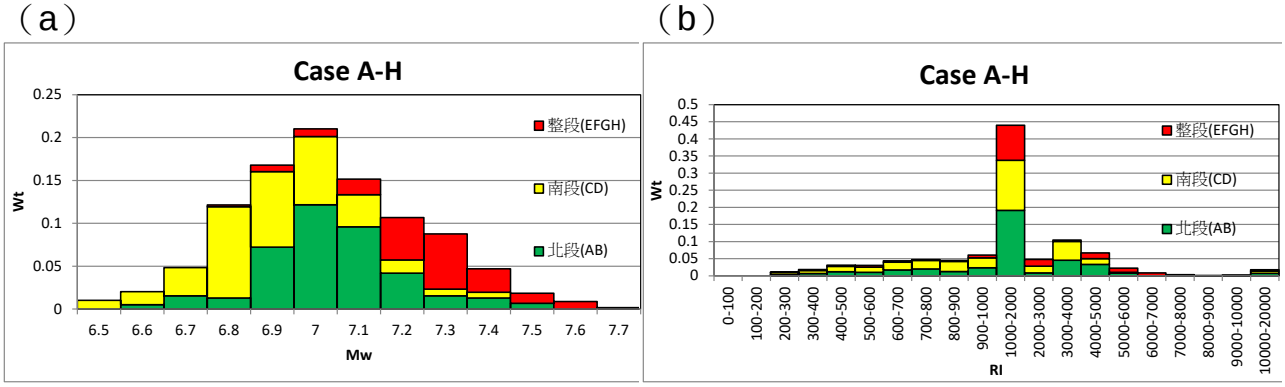


圖 26-3.4：（a）潮州斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）潮州斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

26-4 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 26-4.1 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 26-4.2 為潮州斷層 Poisson 模式評估之結果，起算時間為西元 2020 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 2.6%、4.2%及 8.2%。

本計畫機率與前階段計畫評估成果差別不大。

表 26-4.1：前階段計畫潮州斷層發生機率評估(胡植慶等，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 26-4.2：本計畫潮州斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.5≦ M ≦7.7	2.6%	4.2%	8.2%
M ≧ 7.0	1.2%	2.0%	3.9%

第二十七章、恆春斷層潛勢評估

27-1 恆春斷層參數彙整

恆春斷層各項參數詳細內容詳附錄 25，恆春斷層幾何參考資料及參數如表 27-1.1 所示，恆春斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 27-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，恆春斷層平均滑移虧損速率下界 5.3 mm/yr，上界為 15.0 mm/yr，平均值為 10.1 mm/yr，如表 27-1.3 所示。

彙整前人對於恆春斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 27-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 27-1.1：恆春斷層幾何面各調查方法及斷層參數

文獻	方法	傾角	深度
詹新甫，1974	斷層兩側之岩層與地形	向東傾 70 度	-
張若磐，1993	重力、線性逆推	向東傾高角度	-
李奕亨，2001	鼻仔頭地區淺層反射震測	高角度	-
Vita-Finzi and Lin, 2005	參考地調所地質圖	向東傾 70 度	-
中興公司，2012	地質鑽探剖面	西恆春斷層 45 度 南灣地區 70 度	-
李珀儂，2008； 中興公司，2012	海域震測剖面	高角度	-
Cheng et al., 2012	P 波速度構造剖面及附近地震群深度分布	-	孕震深度 14-18 公里
Lin et al., 2009	恆春半島震測剖面	高角度斷層	-
McIntosh et al., 2013	地震活動分布及速度構造剖面	-	地震深度約 15 公里，隱沒板塊上部深度達 25 公里

表 27-1.2：恆春斷層長期滑移速率相關文獻

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 27-1.3：恆春斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
恆春斷層	上界	6.2	28.4	10.3	15.0
	平均	6.2 ± 0.0	16.0 ± 12.4	8.2 ± 2.1	10.1
	下界	6.2	3.6	6.1	5.3

表 27-1.4：恆春斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
恆春斷層	斷層分段與破裂事件	A:陸域28 公里 B:海域延伸23 公里 C:陸域+海域51 公里		地形、野外調查、岩層對比、鑽井、淺層震測剖面、海域地形判釋	Liew and Lin, 1987；六角兵吉及牧山鶴彥，1934；詹新甫，1974；宋國城，1991；林啟文等，2009；石再添等，1985；楊貴三，1986；李珀儂，2008；陳柏村與紀權宥，2010；中興公司，2012
	長度 (km)	A：28 B：23 C：51			
	寬度 (km)	20.7		深度/sin 傾角（以深度20 公里，傾角75 度計算）	本計畫幾何模型
	破裂深度 (km)	推估孕震深度14-18 公里		P 波速度構造剖面及附近地震群深度分布	Cheng et al., 2012
		地震深度約15 公里， 隱沒板塊上部深度達25 公里		地震活動分布及速度構造剖面	McIntosh et al., 2013
	面積 (km2)	A：580 B：476 C：1056		長度×寬度	本計畫幾何模型
	走向	N22W		地形判釋	詹新甫，1974；林啟文等，2009
		N20W		地表地質、地球物理探查	中興公司，2012
	傾斜角度 (度)	向東傾70 度		斷層兩側之岩層與地形	詹新甫，1974
		向東傾高角度		重力、線性逆推	張若磐，1993
		高角度		鼻仔頭地區淺層反射震測	李奕亨，2001
		向東傾70 度		參考地調所地質圖	Vita-Finzi and Lin, 2005
		西恆春斷層45 度，南灣地區70 度		地質鑽探剖面	中興公司，2012
		高角度		海域震測剖面	李珀儂，2008；中興公司，2012
		高角度斷層		恆春半島震測剖面	Lin et al., 2009
	斷層機制	逆移斷層兼具左移性質		上下盤岩層及地形判釋	詹新甫，1974；李珀儂，2008；林啟文等，2009
		逆移斷層		地質鑽探	中興公司，2012
	長期滑移速率 (mm/yr)	垂直抬升速率	5.3~6.3(海口)	海階定年，主要為珊瑚礁C14 定年	Chen and Liu, 1993
			6.1~6.9(石牛橋)		
			3.4~3.8(潭仔灣)		
			3.8~4.3(墾丁)		
			5.9±0.1 (海口)	鑽井及珊瑚礁C14 定年計算抬升率	陳文山等，2006

	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
			4.2±0.2 (墾管處)	階地珊瑚礁定年，與恆春谷地鑽探剖面對比	陳文山等，2010
			~1.0(西恆春斷層)	四重溪鑽探剖面對比	中興公司，2012
			0.3 (下盤)	南灣鑽探剖面對比	
			1.5 (上盤)		
			3.4±0.4 (楓港地區)	隆起珊瑚礁海階年代及抬升量	陳文山等，2014
			4.2±1.3 (海口地區)		
			5.7±1.2 (南灣地區)		
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	上界15.0 平均10.1 下界5.3		1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	暫定為3.5		槽溝開挖，具有明顯之地形隆起與剪切紋理，地形高差約3.5 公尺	中興公司，2012
		A: 1.36 B: 1.27 C: 1.66		log D= 0.29Mw-1.84 σ=0.42 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	特徵地震規模 (Mw)	A：6.8 B：6.7 C：7.1		Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		A：6.8 B：6.7 C：7.0		$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔 (年)	A: 100-200 B: 100-200 C: 200-300		各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	更新世晚期		截切晚期更新世的石灰岩層	中央地調所
		4,450-4,310 年持續活動		隆起珊瑚礁之海階	陳文山等人，2006

27-2 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，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 27-2.1，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，將臺灣南部斷層設定綁定三種幾何情形(圖 27-2.2)。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，結合前階段計畫蒐集之恆春斷層滑移速率彙整於表 27-1.2，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 27-2.1 所示。本計畫設定邏輯樹權重為常態分布：下界 1.7 mm/yr (0.2)、平均(1.7+10.4)/2=6.05 mm/yr (0.6)、上界 10.4 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 27-2.2 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 27-2.3 所示。

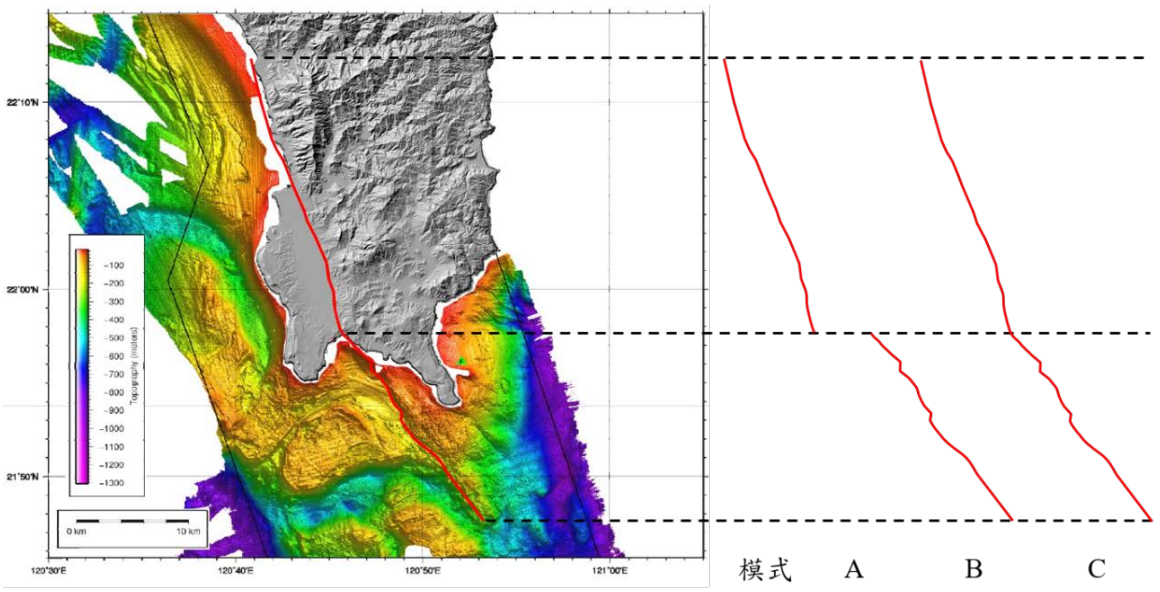


圖 27-2.1：本計畫恆春斷層分段破裂模式。海底地形取自中興公司(2012)。

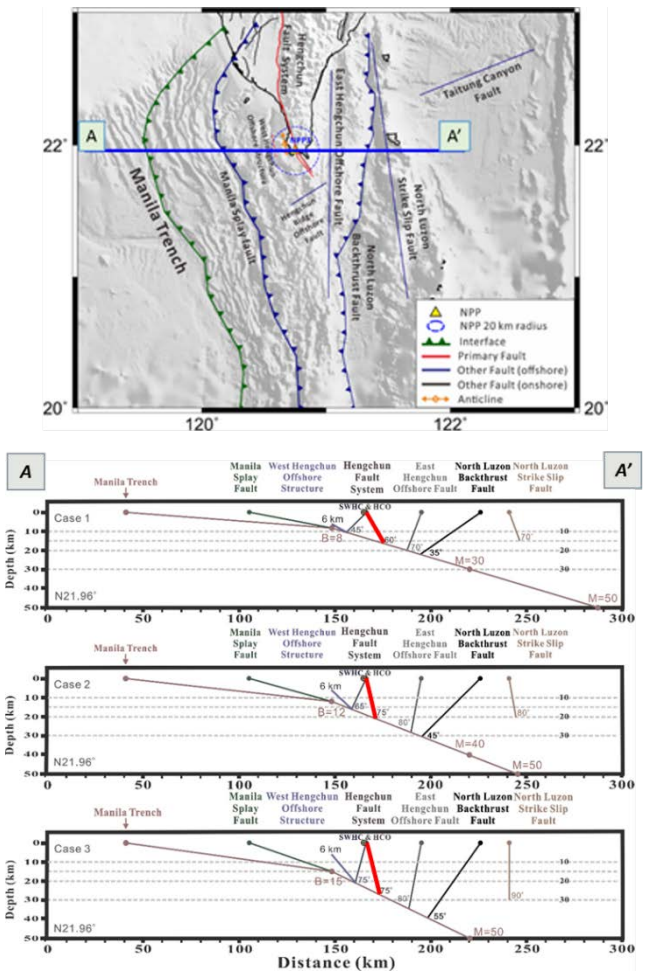


圖 27-2.2：南部斷層幾何形貌設定。上圖為臺灣南部活動斷層分布圖，下圖為臺灣南部活動斷層 AA’ 剖面之幾何形貌，其中 HCO 即恆春斷層。

表 27-2.1：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)

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 27-2.2：恆春斷層各破裂事件規模計算

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 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	
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

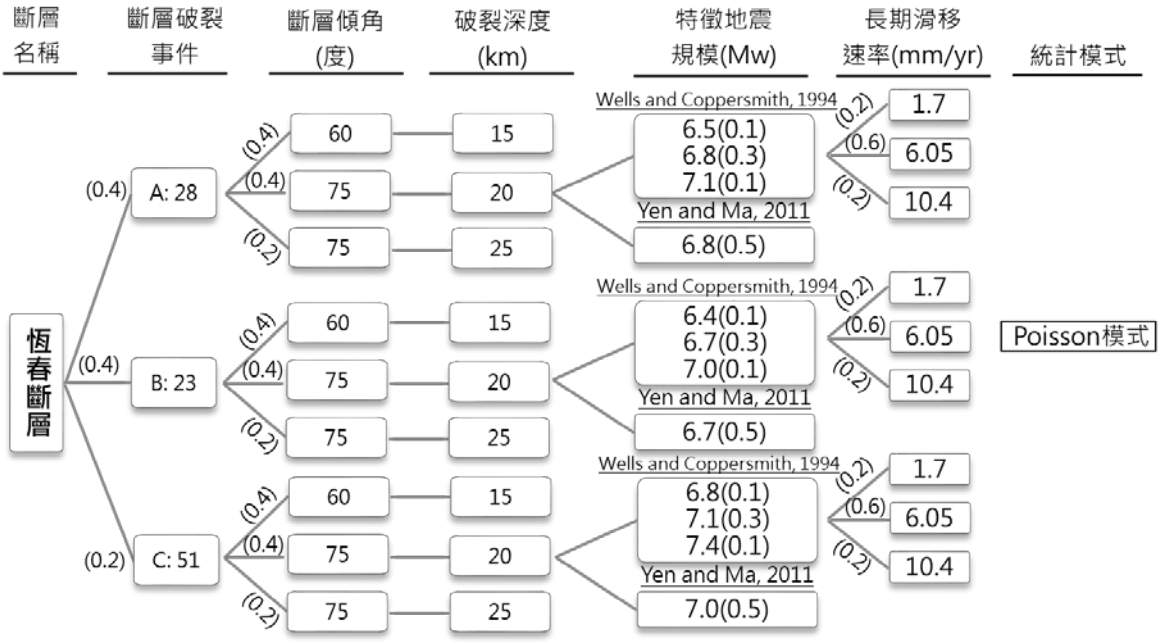


圖 27-2.3：恆春斷層更新邏輯樹(更新內容：破裂模式、幾何、規模、滑移速率)。

27-3 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 27-3.1 為 3 個破裂事件之特徵地震模式分布情形。

圖 27-2.3 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 27-3.2 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 27-3.3 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 27-3.4（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 27-3.4（b）之恆春斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

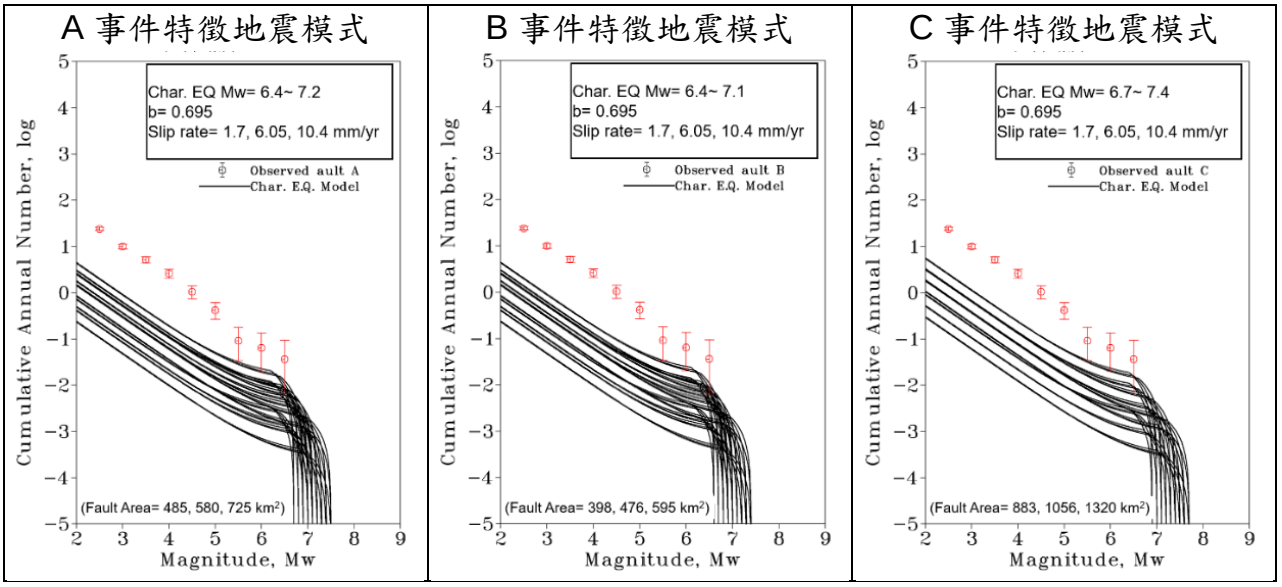


圖 27-3.1：恆春斷層各破裂事件特徵地震模式。

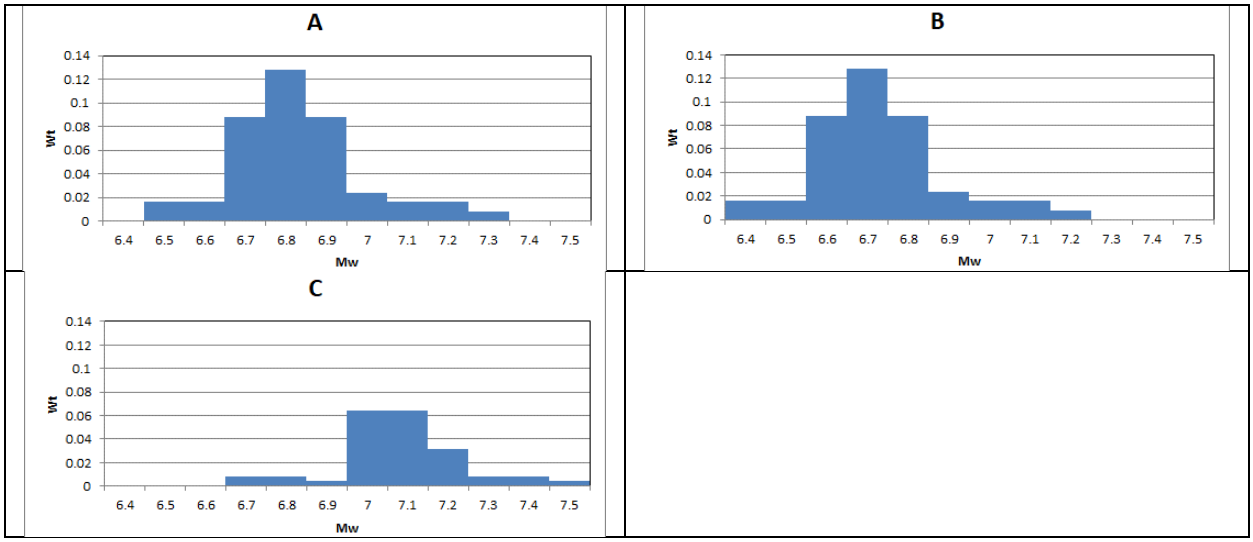


圖 27-3.2：恆春斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

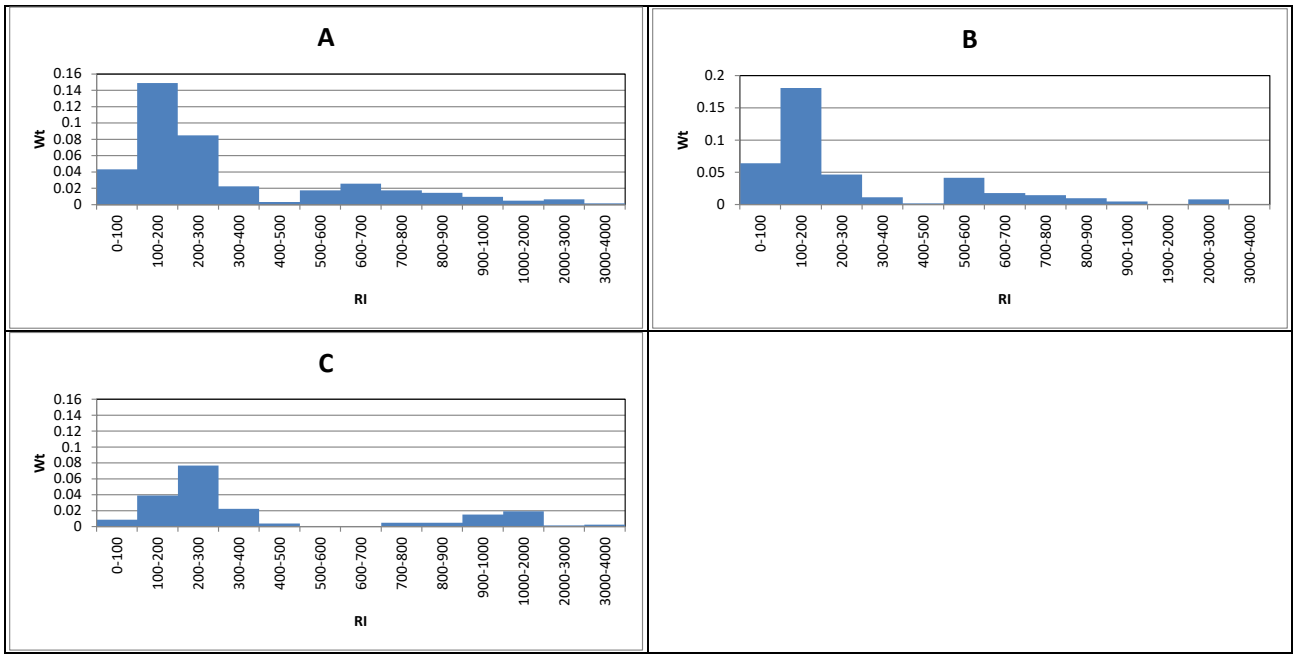


圖 27-3.3：恆春斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　（b）

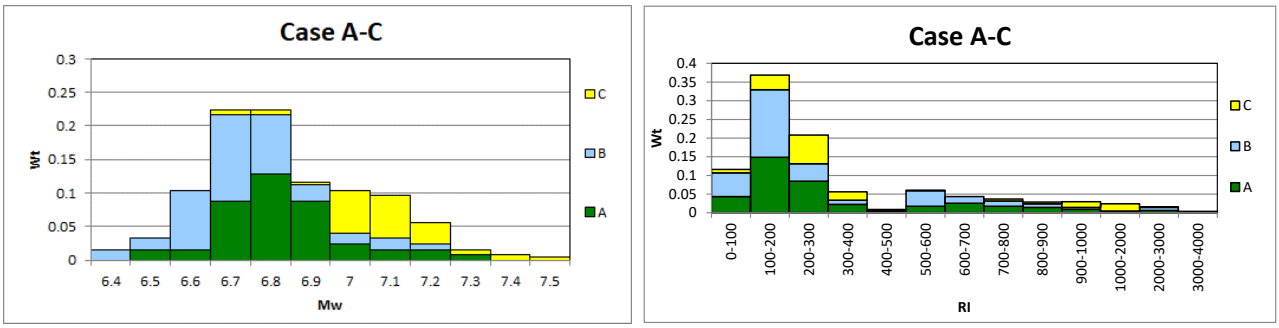


圖 27-3.4：（a）恆春斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，（b）恆春斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

27-4 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 27-4.1 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 27-4.2 為恆春斷層 Poisson 模式評估之結果，起算時間為西元 2020 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 13.9%、21.6%及 36.8%；未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 13.3%、20.8%及 35.7%。

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 27-4.1：前階段計畫恆春斷層發生機率評估(胡植慶等，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 27-4.2：本計畫恆春斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.4≦ M ≦7.5	13.9%	21.6%	36.8%
M ≧ 6.5	13.3%	20.8%	35.7%
M ≧ 7.0	2.2%	3.6%	6.5%

第二十八章、米崙斷層潛勢評估

28-1 米崙斷層參數彙整

米崙斷層各項參數詳細內容詳附錄 26，米崙斷層幾何參考資料及參數如表 28-1.1 所示，米崙斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 28-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，米崙斷層平均滑移虧損速率下界 4.7 mm/yr，上界為 10.6 mm/yr，平均值為 7.2 mm/yr，如表 28-1.3 所示。

彙整前人對於米崙斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 28-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 28-1.1：米崙斷層幾何面各調查方法及斷層參數

參考文獻	方法	傾角	深度
朱傚祖與游明聖，1996	淺層震測剖面	淺部為高角度斷層	-
Kuochen et al., 2004	1991-2002 之 hypoDD 重定位地震	-	在 10 公里深度內有一地震密集區
陳俊甫，2013	1991-2010 3DCOR 重定位地震	-	地震群 1：10 公里
			地震群 3：20-30 公里
Wen et al., 2019	2012-2017 重定位地震、速度構造剖面	-	在 10 公里深度內有一地震密集區
Yen et al., 2019	2018 年花蓮地震及地表變形觀測	-	-

表 28-1.2：米崙斷層各調查方法及抬升速率推估

文獻	樣本	方法	年代 (Y.B.P.)	高程 (公尺)	抬升量 (考慮古海水面) (公尺)	抬升速率 (mm/yr)
Konishi, 1968 Peng et al., 1977	N407	碳 14 定年	2880±115	25	27	9.38
		U/Th 定年	4200±370			5.91-7.05
Lin, 1969 Peng et al., 1977	NTU-5	碳 14 定年	3991±269	20	23	5.76
Lin, 1969 Peng et al., 1977	NTU-13	碳 14 定年	3200±300	14	16	5.0
Yamaguchi and Ota, 2004	HT28	碳 14 定年	2297-2618	12	12	4.58-5.22
陳俊甫，2013	ML-001	U/Th 定年	6206±110	26.5	25.907	4.10-4.25
陳俊甫，2013	ML-002	U/Th 定年	6207±1561	38	37.668	4.85-8.11
陳俊甫，2013	ML-003	U/Th 定年	6441±142	36	35.579	5.4-5.65
陳俊甫，2013	ML-004	U/Th 定年	3936±16	28	27.292	6.91-6.96

表 28-1.3：米崙斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
米崙斷層	上界	10.2	14.6	7.1	10.6
	平均	10.2 ± 0.0	5.8 ± 8.8	5.5 ± 1.6	7.2
	下界	10.2	0.0	3.9	4.7

表 28-1.4：米崙斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
米崙斷層	斷層分段與破裂事件	南段海域延伸 2 公里+陸域 8 公里+東北海域延伸 25 公里	遙測影像判釋、地形判釋、地震地表破裂、海域地形及震測	Hsu, 1956；林朝棨，1962；楊貴三，1986；何邦碩，1974；Bonilla, 1977；Shyu et al., 2005；林啟文等，2009；林廉凱，2017
	長度(km)	35 km		
	寬度(km)	11.0	Case 1：深度 0-10 km, 65E	本計畫幾何模型
		26.3	Case 2：深度 0-10 km, 65E 深度 10-25 km, 80W	
		31.3	Case 3：深度 0-10 km, 65E 深度 10-30 km, 80W	
	破裂深度(km）	在 10 公里深度內有一地震密集區	1991-2002 之 hypoDD 重定位地震	Kuochen et al., 2004
		地震群 1：10 公里	1991-2010 3DCOR 重定位地震	陳俊甫，2013
		地震群 3：20-30 公里	2012-2017 重定位地震、速度構造剖面	Wen et al. 2019
	面積(km2)	Case 1：386 Case 2：921 Case 3：1096	長度×寬度	本計畫幾何模型
	走向	陸域 N25E 海域 N40E	地形、遙測影像判釋，地表地質調查、地震地表破裂	Hsu, 1956；林朝棨，1962；楊貴三，1986；何邦碩，1974；Bonilla, 1977；Shyu et al., 2005；林啟文等，2009
	傾斜角度(度)	淺部為高角度斷層	淺層震測剖面	朱傚祖與游明聖，1996
	斷層機制	左移斷層兼逆移分量	1951 年地震地表破裂	林朝棨，1962
			1983-1988 年的三邊測量網及水準測量資料	Yu et al., 1990

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	長期滑移速率(mm/yr)	5.91-7.05（抬升）	米崙台地 N407 U/Th 定年	Konishi, 1968；Peng et al., 1977
		4.58-5.22（抬升）	米崙台地 HT28 的碳 14 定年	Yamaguchi and Ota, 2004
		4.10-4.25（抬升）	米崙台地 ML-001 U/Th 定年	陳俊甫，2013
		4.85-8.11（抬升）	米崙台地 ML-002 U/Th 定年	陳俊甫，2013
		5.4-5.65（抬升）	米崙台地 ML-003 U/Th 定年	陳俊甫，2013
		6.91-6.96（抬升）	米崙台地 ML-004 U/Th 定年	陳俊甫，2013
	滑移虧損率(slip deficit rate)(mm/yr)	上界 10.6 平均 7.2 下界 4.7	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	花蓮機場東側抬升 50 公分，七星山抬升 120 公分，七星潭東側抬升 40 公分，在加禮彎路基上斷層東側向北移動 40 公分	1951 年地震地表破裂	臺灣省氣象所，1951
		於七星潭，斷層東側向北移動 2.0 公尺，垂直上升 1.2 公尺		林朝棨，1962；朱傚祖與游明聖，1996
	最大可能地震規模(Mw)	Case 1：6.7 Case 2：7.0 Case 3：7.1	Mw =3.98+1.02 log A σ=0.23 (平移斷層)	Wells and Coppersmith, 1994
		Case 1：6.6 Case 2：7.0 Case 3：7.0	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔(年)	50-100	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	西元 1951 年	歷史地震	臺灣省氣象所，1951；鄭世楠等，1995

28-2 邏輯樹更新

本計畫針對米崙斷層邏輯樹更新，詳述如下：

米崙斷層之破裂模式無修改，長度為 35 公里，同圖 28-2.1。

米崙斷層之幾何，在考慮米崙斷層的幾何破裂模式主要分為兩種，一個是米崙斷層「深度 0~10 公里傾角 65E」的破裂(Case 1)，一個是米崙斷層「可往深部延伸接到傾角 80W 斷層面」的破裂，第二種模式則考慮破裂深度 25 公里(Case 2)及 30 公里(Case 3)的不確定性。本計畫考慮米崙斷層「深度 0~10 公里傾角 65E」及「可往深部延伸接到傾角 80W 斷層面」的破裂可能性一致，至於「可往深部延伸接到傾角 80W 斷層面」的部分，破裂深度 25 公里的可能性高於破裂深度 30 公里，綜上得到的權重分配為 Case 1(0.5)，Case 2(0.3)，Case 3(0.2)，如圖 28-2.2 所示。

米崙斷層上盤之抬升速率資料彙整如表 28-2.1 所示，因缺少下盤抬升速率資料，本計畫暫時假設下盤抬生速率為零。在移除未經校正之碳 14 定年資料及陳俊甫(2013)認為 ML-002 誤差較大的結果後，抬升速率範圍為 4.1~7.1 mm/yr。本計畫除了以斷層傾角 65 度換算至斷層面上，也考慮斷層面滑移角，米崙斷層目前的活動應為逆斷層帶有左移分量，然而對於推估滑移角仍有不確定性的因素，本計畫考慮斷層面滑移角 30~60 度之情形，得到淨滑移速率範圍為 5.2~15.7 mm/yr (表 28-2.2)，以 5.2 mm/yr 及 15.7 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 10.4 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重為常態分布：5.2 mm/yr (0.2)，10.4 mm/yr (0.6)及 15.7 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 28-2.3 所示為米崙斷層破裂事件地震矩規模。

米崙斷層最近一次活動時間：西元 1951 年 10 月 22 日花蓮地區分別於 05 時 34 分及 11 時 30 分發生兩次強震（臺灣省氣象所，1951），造成自七星潭海岸起，向南經花蓮市的地表破裂。另外，西元 2018 年 2 月 6 日發生的花蓮近海地震，此次地震則觸發米崙斷層沿線一帶地表破裂(七星潭大橋)及建物倒塌(雲門翠堤大樓，統帥飯店等)。

米崙斷層各節點權重的分配詳如圖 28-2.3 所示。

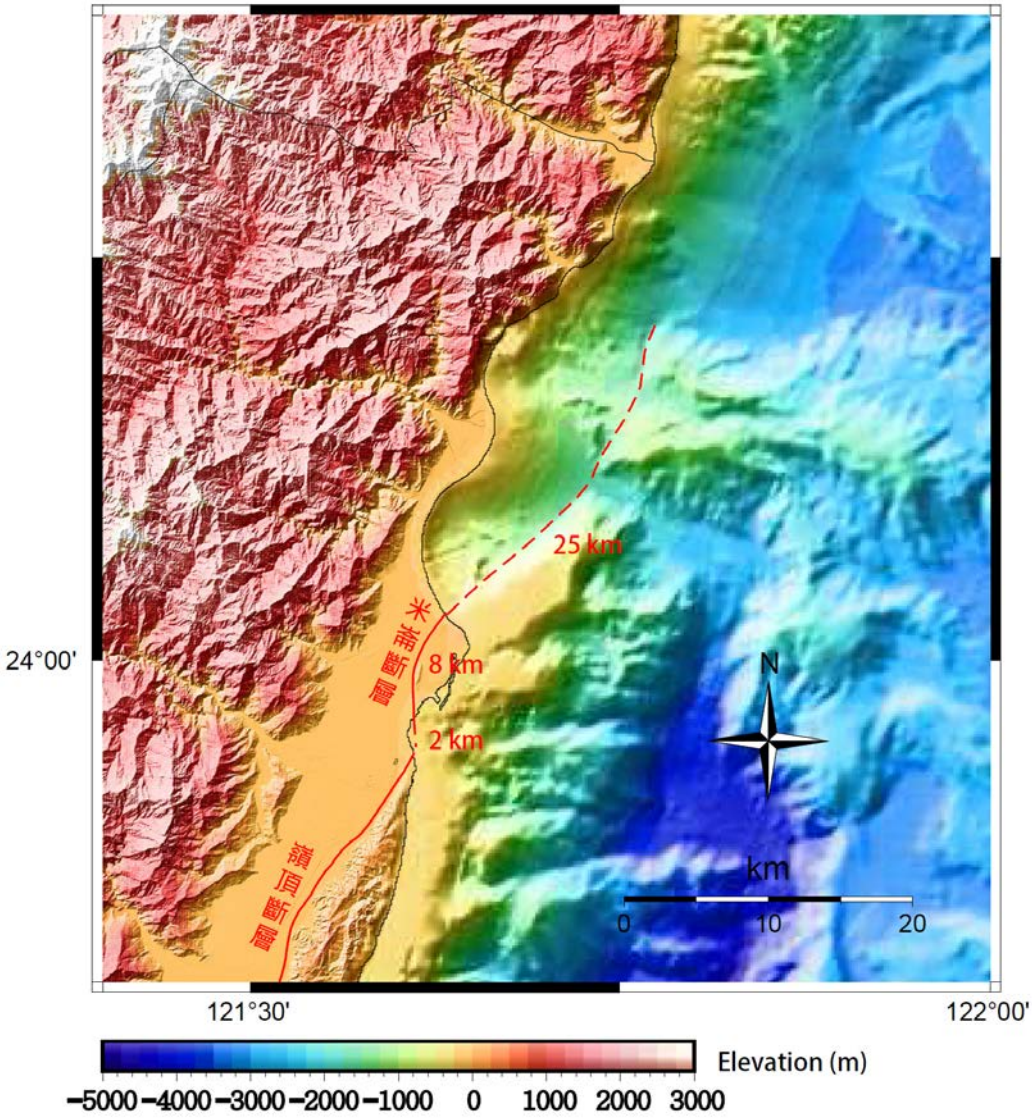


圖 28-2.1：米崙斷層之破裂模式 (胡植慶等，2016)。

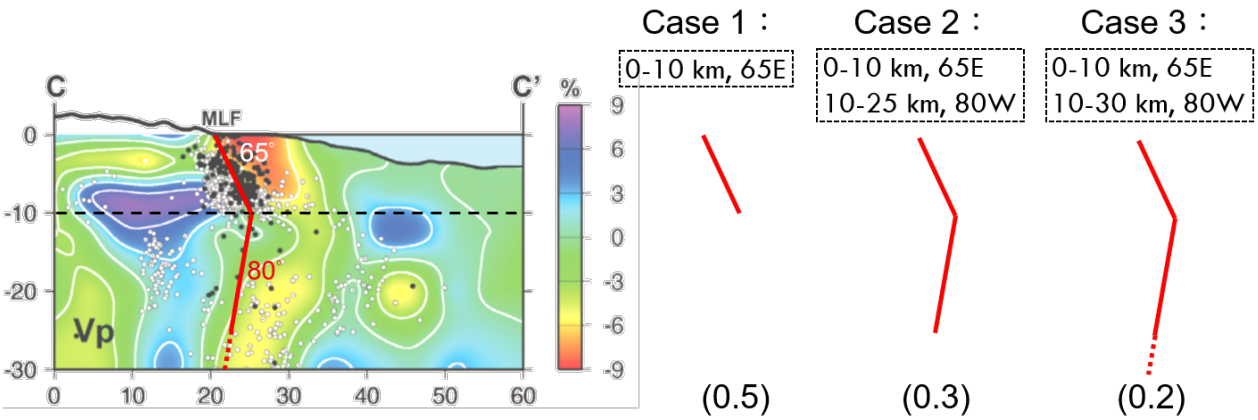


圖 28-2.2：米崙斷層幾何破裂模式及權重分配。

表 28-2.1：米崙斷層抬升速率相關文獻及推估結果(摘自胡植慶等，2016)

文獻	樣本	方法	年代 (Y.B.P.)	高程 (公尺)	抬升量 (考慮古海水面) (公尺)	抬升速率 (mm/yr)
Konishi, 1968 Peng et al., 1977	N407	碳 14 定年	2880±115	25	27	9.38
		U/Th 定年	4200±370			5.91-7.05
Lin, 1969 Peng et al., 1977	NTU-5	碳 14 定年	3991±269	20	23	5.76
Lin, 1969 Peng et al., 1977	NTU-13	碳 14 定年	3200±300	14	16	5.0
Yamaguchi and Ota, 2004	HT28	碳 14 定年	2297-2618	12	12	4.58-5.22
陳俊甫，2013	ML-001	U/Th 定年	6206±110	26.5	25.907	4.10-4.25
陳俊甫，2013	ML-002	U/Th 定年	6207±1561	38	37.668	4.85-8.11
陳俊甫，2013	ML-003	U/Th 定年	6441±142	36	35.579	5.4-5.65
陳俊甫，2013	ML-004	U/Th 定年	3936±16	28	27.292	6.91-6.96

表 28-2.2：米崙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)

斷層名稱	抬升速率(mm/yr)	傾角(度)	滑移角(度)	淨滑移速率(mm/yr)
米崙斷層	4.1	65	30	9.0
			60	5.2
	7.1		30	15.7
			60	9.0

表 28-2.3：米崙斷層之破裂事件規模計算

斷層名稱	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	
米崙	A	35	深度 0-10 km, 65E	11.0	386	6.4	6.7	7.0	6.6
			深度 0-10 km, 65E 深度 10-25 km, 80W	26.3	921	6.7	7.0	7.3	7.0
			深度 0-10 km, 65E 深度 10-30 km, 80W	31.3	1096	6.8	7.1	7.4	7.0

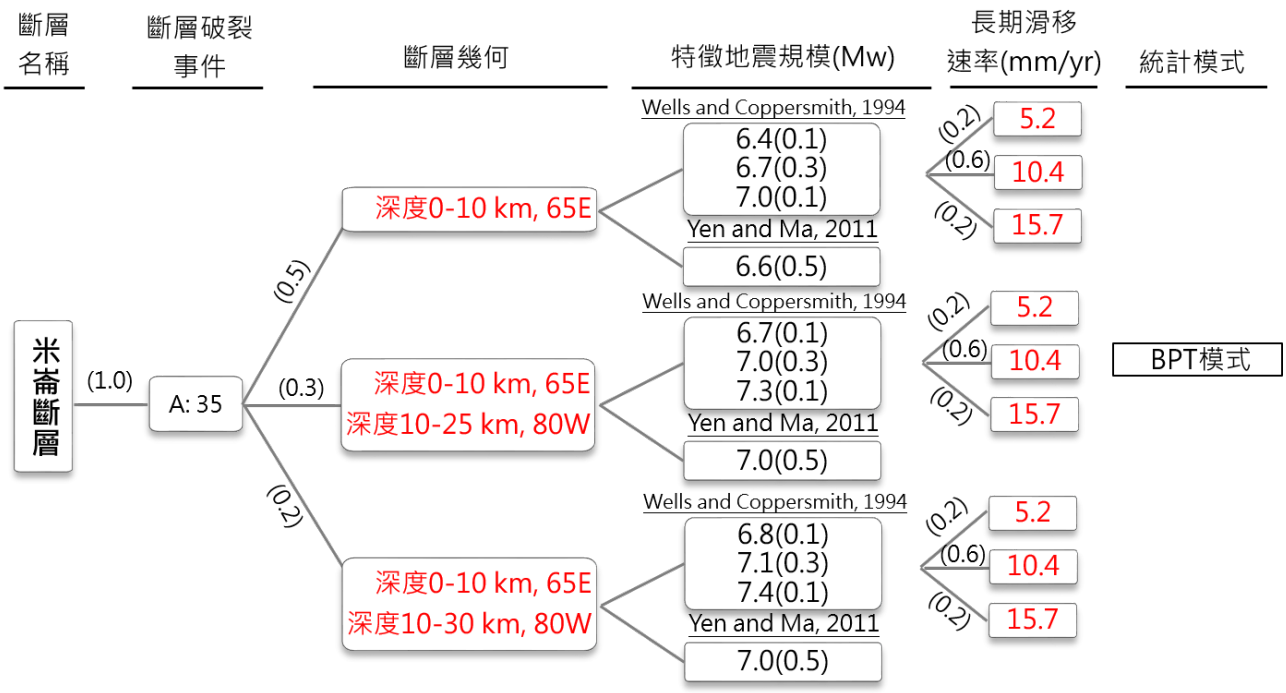


圖 28-2.3：米崙斷層更新之邏輯樹架構(更新內容：斷層幾何、地震規模、長期滑移速率)。

28-3 規模與年發生率之關係

米崙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 28-3.1 為 1 個破裂事件以 3 個斷層幾何模式計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 28-2.3 之米崙斷層邏輯樹可得到 36 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 28-3.2 為 1 種破裂事件之規模-權重分布圖，以規模 6.6 及規模 7.1 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 28-3.3 為 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

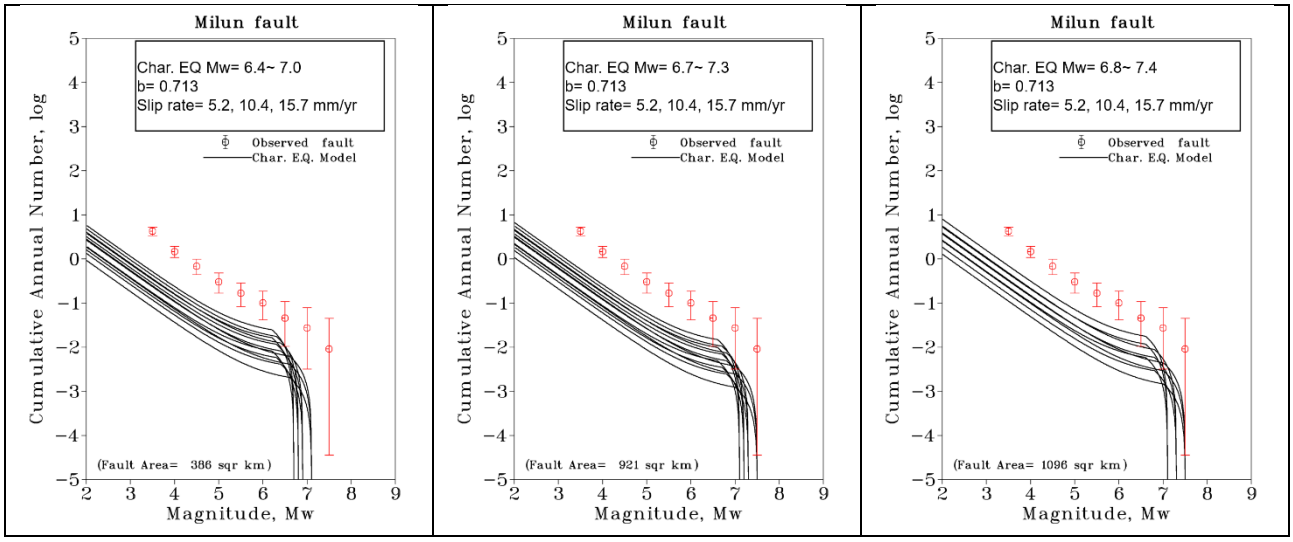


圖 28-3.1：米崙斷層破裂事件特徵地震模式。

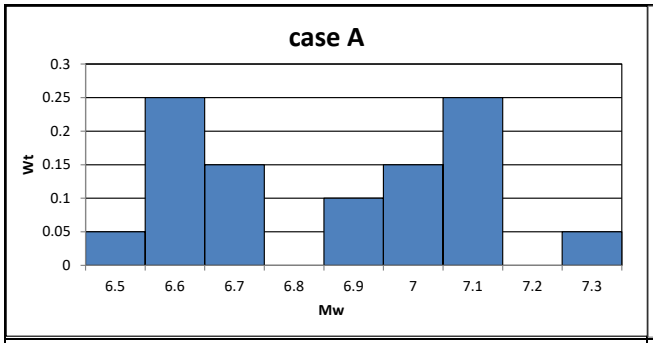


圖 28-3.2：米崙斷層破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

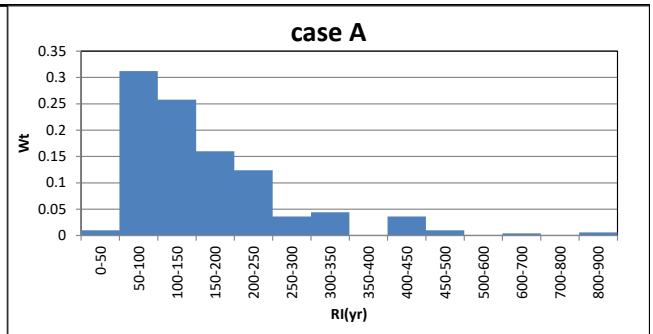


圖 28-3.3：米崙斷層 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

28-4 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 模式估算米崙斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，根據歷史地震，假設米崙斷層最後一次發生時間為西元 1951 年，採用 BPT 模式進行評估。另也假設米崙斷層最後一次發生時間為西元 2018 年，採用 BPT 模式進行評估。

表 28-4.1 為米崙斷層前階段計畫評估之結果，起算時間為西元 2016 年，前階段計畫最後一次發生時間為西元 1951 年，採用 BPT 模式進行評估。

表 28-4.2 為本計畫米崙斷層 BPT 模式及評估之結果，起算時間為西元 2020 年，假設米崙斷層最後一次發生時間為西元 1951 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5~7.3 之機率為 28.6%、42.4%及 64.9%。另假設米崙斷層最後一次發生時間為西元 2018 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5~7.3 之機率為 2.9%、12.3%及 41.5%。

表 28-4.1：前階段計畫米崙斷層發生機率評估(胡植慶等，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
6.8 ≦ M ≦7.5	30.4%	45.6%	70.1%

表 28-4.2：本計畫米崙斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT (Last 1951)	BPT (Last 2018)	BPT (Last 1951)	BPT (Last 2018)	BPT (Last 1951)	BPT (Last 2018)
6.5≦ M ≦7.3	28.6%	2.9%	42.4%	12.3%	64.9%	41.5%

第二十九章、嶺頂斷層潛勢評估

29-1 嶺頂斷層參數彙整

嶺頂斷層各項參數詳細內容詳附錄 27，嶺頂斷層參考資料及參數如表 29-1.1 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，嶺頂斷層平均滑移虧損速率下界 3.6 mm/yr，上界為 14.4 mm/yr，平均值為 8.6 mm/yr，如表 29-1.2 所示。

彙整前人對於嶺頂斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 29-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 29-1.1：嶺頂斷層幾何形貌相關文獻

文獻	方法	傾角	深度(km)
石瑞銓等，2004	04E-YMI-SF01 測線地電阻	高角度	-
Kuochen et al., 2004	利用 1991-2002 之 hypoDD 重定位地震推估	高角度	-
Lee et al., 2008	1991-2002 年 3D 重定位地震	高角度	-
Kuochen et al., 2012	C02 速度構造剖面及地震分布	65E	可達 30 公里
Shyu et al., 2016	2009/12/19 ML4.7 地震序列	65E	20-40

表 29-1.2：嶺頂斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
嶺頂斷層	上界	10.8	23.1	9.4	14.4
	平均	9.8 ± 1.0	10.4 ± 12.7	5.7 ± 3.7	8.6
	下界	8.8	0.0	2.0	3.6

表 29-1.3：嶺頂斷層幾何形貌相關文獻

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
嶺頂斷層	斷層分段與破裂事件	整段	地表地形、縱谷斷層北段	陳文山等，2008；林啟文等，2009
	長度 (km)	37 km		
	寬度 (km)	30.3	深度/sin 傾角 （以深度 27.5 公里，傾角 65 度計算）	
	破裂深度 (km)	20 公里	縱谷斷層北段塊體模型參數	Ching et al., 2011
		20-40 公里	2009/12/19 ML4.7 地震序列	Shyu et al., 2016
	面積 (km2)	1123	長度×寬度	
	走向	北北東	地表地形	石再添等，1983；楊貴三，1986；張徽正等，1998；林啟文等，2000；陳文山等，2008；林啟文等，2009
	傾斜角度(度)	高角度	04E-YMI-SF01 測線地電阻	石瑞銓等，2004
		高角度	利用 1991-2002 之 hypoDD 重定位地震推估	Kuochen et al., 2004
		高角度	1991-2002 年 3D 重定位地震	Lee et al., 2008
		65E	2009/12/19 ML4.7 地震序列	Shyu et al., 2016
	斷層機制	左移斷層兼具逆移性質	大地測量資料推估	陳文山等，2008；林啟文等，2009
	長期滑移速率 (mm/yr)	10.95	三維塊體模型，資料為臺灣 GPS 觀測網所觀測而得的平均水平速度場	胡植慶等，2016
	滑移虧損率(slip deficit rate)(mm/yr)	上界 14.4 平均 8.6 下界 3.6	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	1.92	log D= 1.03Mw-7.03 σ=0.34 （平移斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模 (MW)	7.1	Mw =3.98+1.02 log A σ=0.4-22 （平移斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
		7.1	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	地震復發間隔(年)	100-150	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	可能為西元 1951 年	-	-

29-2 邏輯樹更新

嶺頂斷層屬於嶺頂-瑞穗斷層系統，嶺頂-瑞穗斷層系統分段破裂模式如圖 29-2.1 所示，A 模式為嶺頂斷層破裂，長度為 37 公里；B 模式為瑞穗斷層破裂，長度為 24 公里；C 模式為整段破裂，長度 61 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)。

嶺頂-瑞穗斷層系統幾何，從地震深度分布剖面中得到最符合地震深度分布趨勢線的傾角 65E 作為斷層面中值，再加減 5 度作為不確定性的範圍。因從地震深度分布剖面中，要定出斷層面仍有不確定性，傾角權重採用接近等權重之 60 度(0.3)、65 度(0.4)、70 度(0.3)。破裂深度上，本計畫認為縱谷斷層深度不超過 30 公里，因此修改深度上限為 30 公里，深度範圍界於 25~30 公里，邏輯樹中值為(25+30)/2=27.5 公里，因不確定性較高，權重採用接近等權重之：25 公里(0.3)、27.5 公里(0.4)、30 公里(0.3)。

嶺頂斷層之滑移速率無發現地質事證。本計畫參考景國恩等（2020）「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（4/4）」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，加權後嶺頂斷層平均滑移虧損速率如表 29-1.2。本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 3.6 mm/yr (0.3)、中值 8.6 mm/yr (0.4)、上界 14.4 mm/yr (0.3)。

瑞穗斷層上盤之抬升速率資料彙整如表 29-2.1 所示。其中 Shyu et al. (2006)使用 Fault-bend fold 模式將秀姑巒溪河谷之階地抬升速率換算為縱谷斷層淨滑移速率，範圍為 20.5~24.9 mm/yr。另外，陳文山等人(Chen et al. 2007)槽溝資料並未換算成淨滑移速率，本計畫以斷層傾角 65 度換算至斷層面上，也參考斷層上盤速度場方位角，推估斷層面滑移角為 70±10 度，得到淨滑移速率範圍為 14.0~20.4 mm/yr (表 29-2.2)，本計畫以 14.0 mm/yr 及 24.9 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 19.5 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重為常態分布：14.0 mm/yr (0.2)，19.5 mm/yr (0.6)及 24.9 mm/yr (0.2)。

破裂模式 C (嶺頂+瑞穗)斷層長期滑移速率則根據能量累計公式計算，如下式：

$$\mu \cdot A_{(嶺頂+瑞穗)} \cdot v_{(嶺頂+瑞穗)} = \mu \cdot A_{嶺頂} \cdot v_{嶺頂} + \mu \cdot A_{瑞穗} \cdot v_{瑞穗}$$

上式中 A 為面積，移項得到

$$v_{(嶺頂+瑞穗)} = \frac{\mu \cdot A_{嶺頂} \cdot v_{嶺頂} + \mu \cdot A_{瑞穗} \cdot v_{瑞穗}}{\mu \cdot A_{(嶺頂+瑞穗)}}$$

因嶺頂斷層及瑞穗斷層傾角及破裂深度一致，因此可得到：

$$v_{(嶺頂+瑞穗)} = \frac{L_{嶺頂} \cdot v_{嶺頂} + L_{瑞穗} \cdot v_{瑞穗}}{L_{(嶺頂+瑞穗)}}$$

上式中 L 為斷層長度，則計算 v(嶺頂+瑞穗)下界為 7.7 mm/yr；v(嶺頂+瑞穗)上界為 18.5 mm/yr；v(嶺頂+瑞穗)中值為 12.9 mm/yr。邏輯樹權重為 7.7 mm/yr (0.2)、

12.9 mm/yr (0.6)、18.5 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 29-2.3 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

瑞穗斷層最近一次活動時間為西元 1951 年，花東縱谷從北而南發生一系列大地震，在一個月內發生了包括規模 7.2 花蓮地震、規模 7.1 玉里地震、規模 6.2 池上地震、規模 5.8 鹿野地震，而規模 7.1 的玉里地震造成瑞穗斷層破裂，然而當時的地表破裂並未向北延伸至嶺頂斷層，本計畫評估斷層潛勢時，A(嶺頂)建議採用 Poisson 模式進行評估，B(瑞穗)則以 1951 年為最近一次事件採用 BPT 模式進行評估，C(嶺頂+瑞穗)建議採用 Poisson 模式進行評估。

嶺頂-瑞穗斷層系統各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 29-2.2 所示。

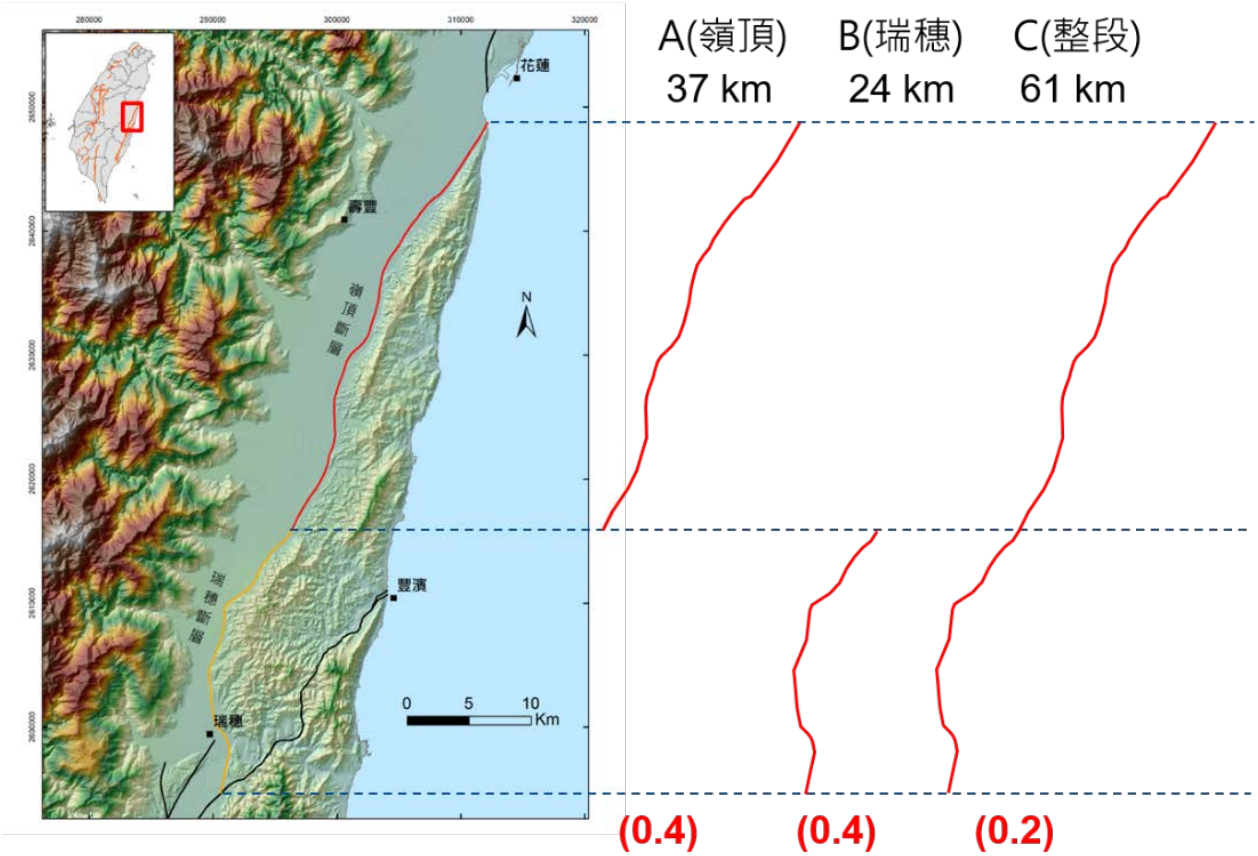


圖 29-2.1：嶺頂-瑞穗斷層系統分段破裂模式。

表 29-2.1：瑞穗斷層長期抬升速率資料彙整

斷層名	參考文獻	位置	資料	地層	定年方法	錯移量(m)	年代(年)	抬升速率(mm/yr)
瑞穗斷層	Chen et al., 2007	安定橋、富興、大富槽溝	碳木		碳 14	>8.7	500~640	12.5~16.0
瑞穗斷層	Shyu et al., 2006	德武階地 Terrace 7	TW1		碳 14	>158	8650~9010	>17.5-18.3
瑞穗斷層	Shyu et al., 2006	德武階地 Terrace 4	TW4		碳 14	83	4300~4820	17.2~19.3
瑞穗斷層	Shyu et al., 2006	德武階地 Terrace 3	TW5		碳 14	45	2360~2990	15.1~19.1

表 29-2.2：瑞穗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)

斷層名稱	抬升速率(mm/yr)	傾角(度)	滑移角(度)	淨滑移速率(mm/yr)
瑞穗斷層	12.5	65	60	15.9
			70	14.7
			80	14.0
	16		60	20.4
			70	18.8
			80	17.9

表 29-2.3：嶺頂-瑞穗斷層系統之破裂事件特徵地震規模計算

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	
嶺頂-瑞穗斷層系統	A 嶺頂	37	27.5	30.3	65	1123	6.8	7.1	7.4	7.1
	B 瑞穗	24	27.5	30.3	65	728	6.6	6.9	7.2	6.9
	C 整段	61	27.5	30.3	65	1851	7.0	7.3	7.6	7.3

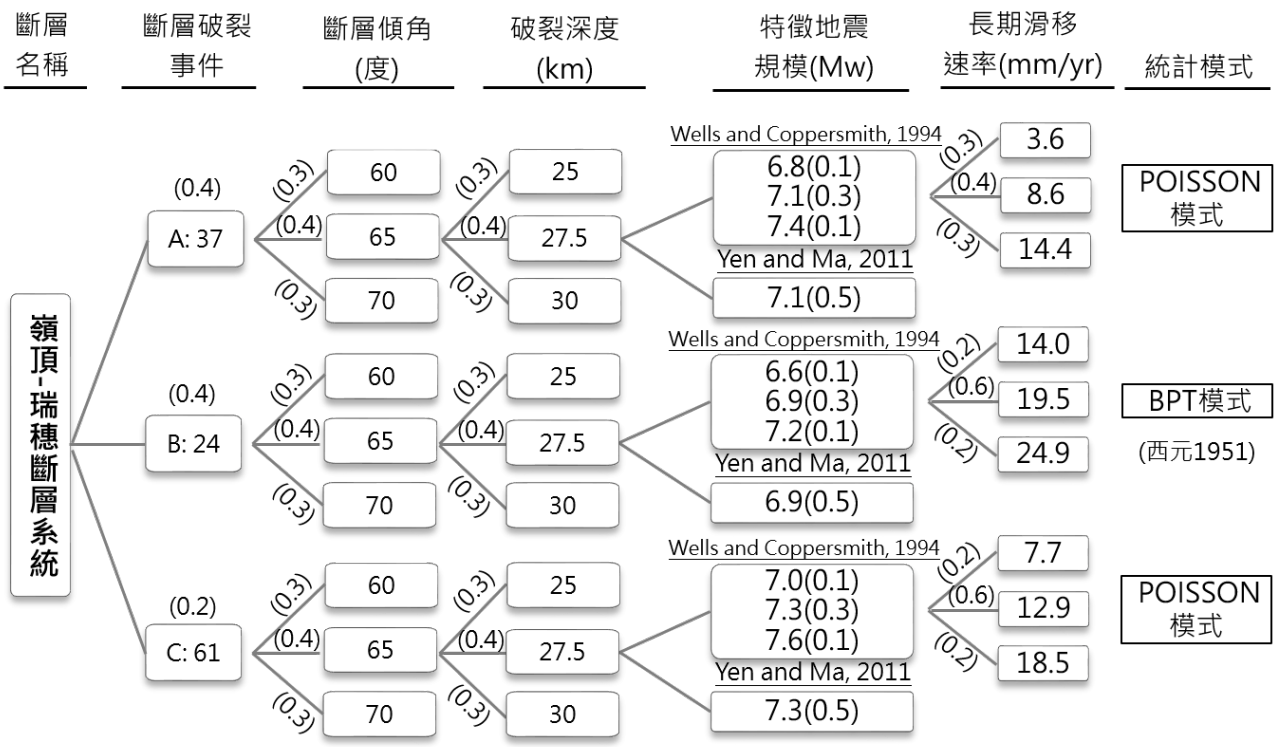


圖 29-2.2：嶺頂-瑞穗斷層系統更新邏輯樹。

29-3 規模與年發生率之關係

嶺頂-瑞穗斷層系統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 29-3.1 為 3 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 29-3.2 之嶺頂-瑞穗斷層系統邏輯樹可得到 324 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 29-3.2 為 3 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 7.1 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 7.3 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 29-3.3 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 29-3.4（a）之嶺頂-瑞穗斷層系統規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 29-3.4（b）之嶺頂-瑞穗斷層系統地震復發間隔時間-權重分布圖。

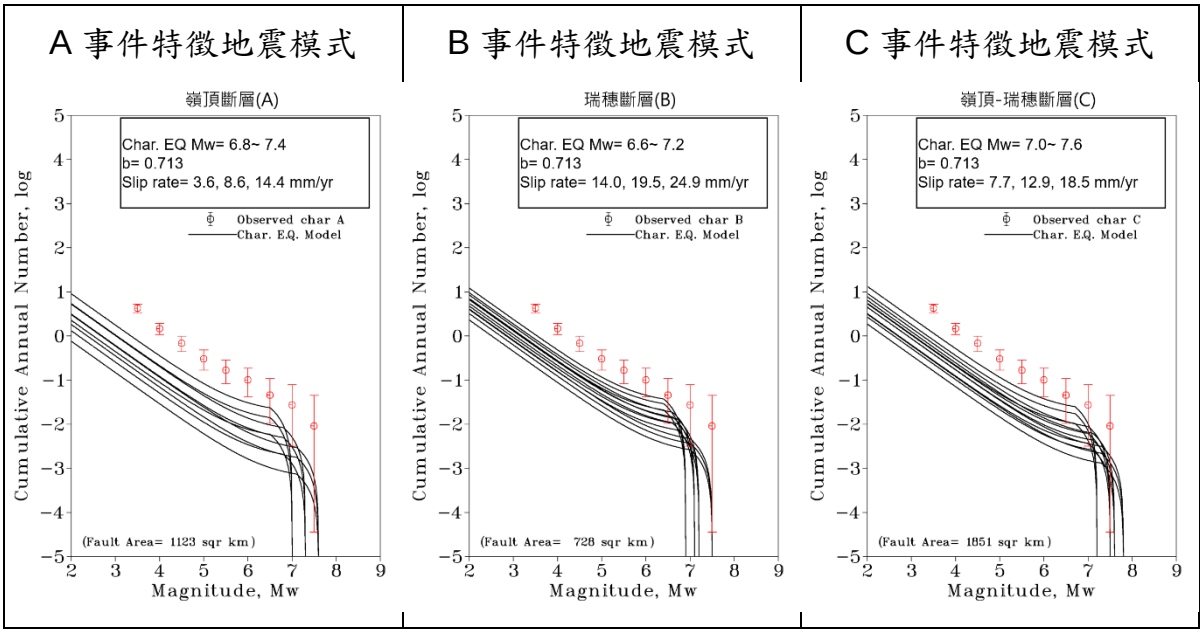


圖 29-3.1：嶺頂-瑞穗斷層系統三個破裂事件特徵地震模式。

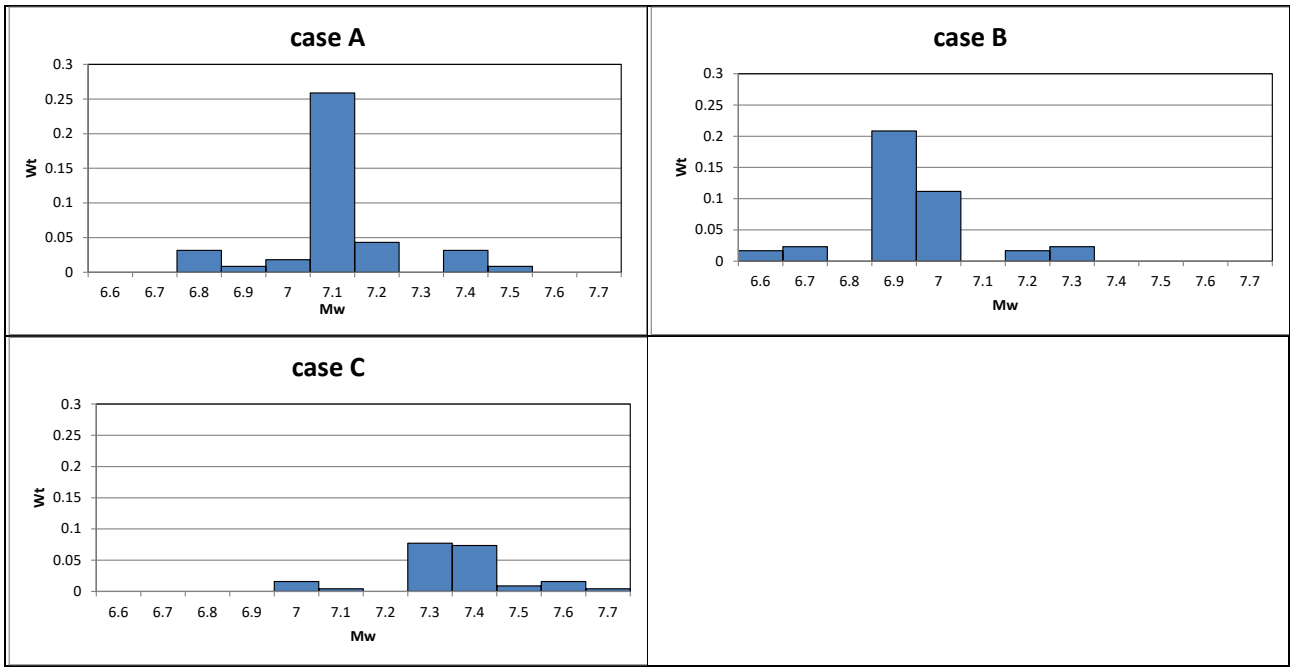


圖 29-3.2：嶺頂-瑞穗斷層系統三個破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

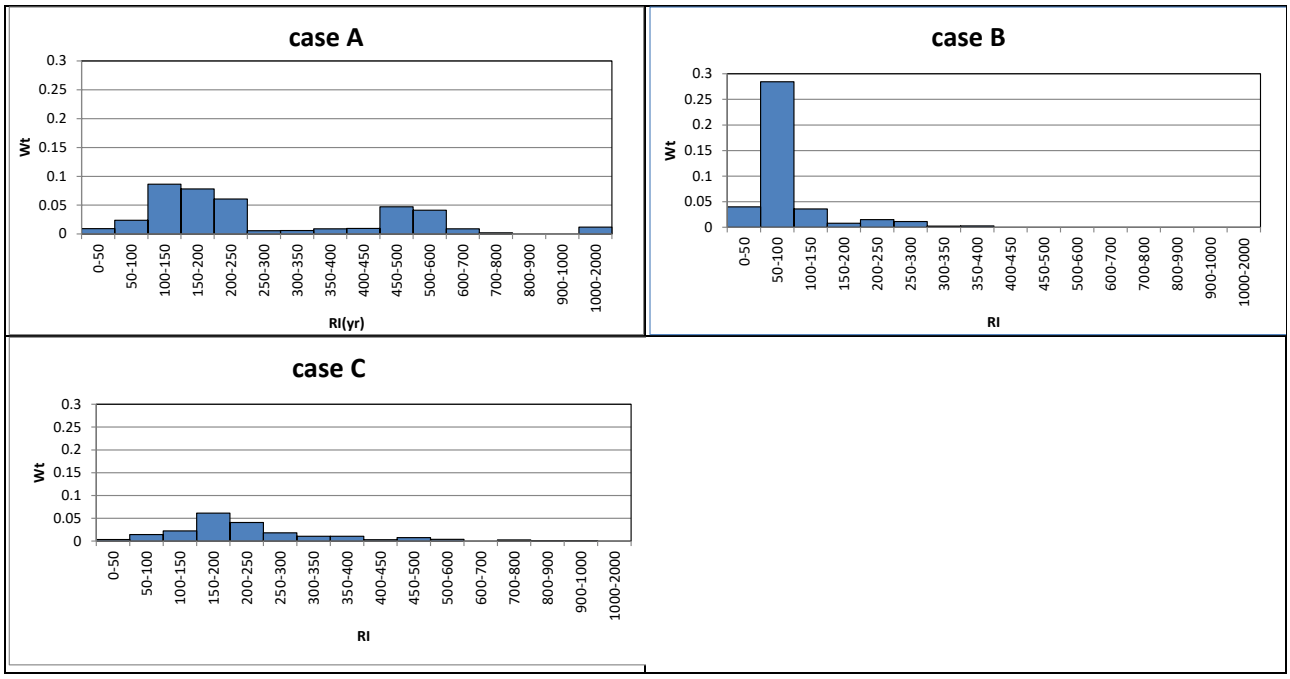
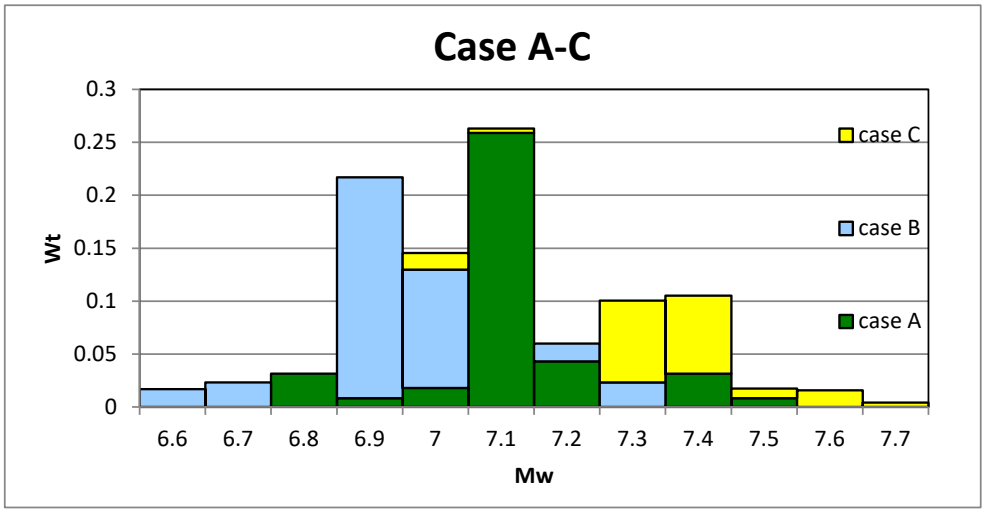


圖 29-3.3：嶺頂-瑞穗斷層系統三種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）



（b）

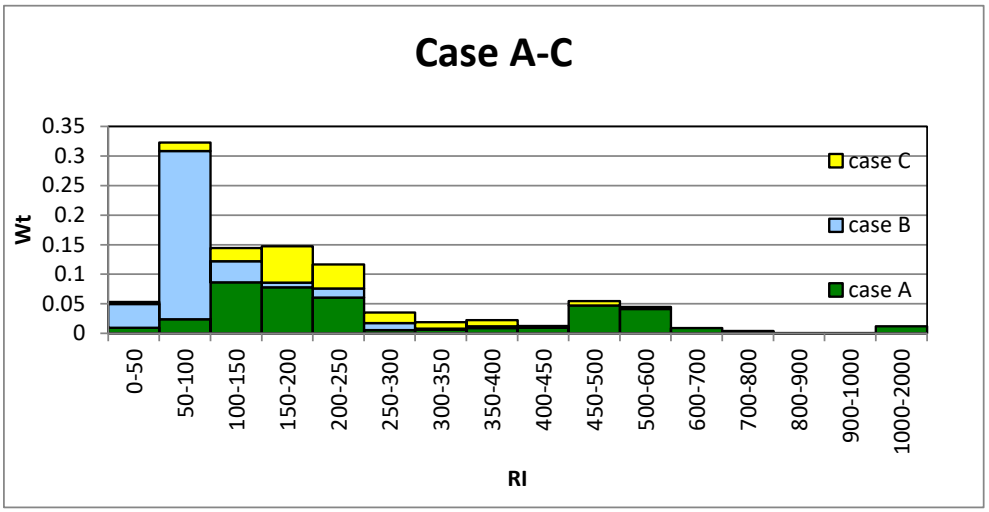


圖 29-3.4：(a) 嶺頂-瑞穗斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(b) 嶺頂-瑞穗斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

29-4 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 模式估算嶺頂斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，本計畫評估斷層潛勢時，A(嶺頂)建議採用 Poisson 模式進行評估，B(瑞穗)則以 1951 年為最近一次事件採用 BPT 模式進行評估，C(嶺頂+瑞穗)建議採用 Poisson 模式進行評估。

本章主要評估嶺頂斷層發生機率，因此移除瑞穗斷層破裂模式之發生機率，表 29-4.1 為本計畫嶺頂斷層評估之結果，起算時間為西元 2020 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 9.1%、14.1%及 23.8%。

表 29-4.1：本計畫嶺頂斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.8 ≦ M ≦7.7	9.1%	14.1%	23.8%

第三十章、瑞穗斷層系統潛勢評估

30-1 瑞穗斷層參數彙整

瑞穗斷層各項參數詳細內容詳附錄 28，瑞穗斷層幾何參考資料及參數如表 30-1.1 所示，瑞穗斷層長期抬升速率參考資料如表 30-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，瑞穗斷層平均滑移虧損速率下界 5.7 mm/yr，上界為 18.5 mm/yr，平均值為 12.1 mm/yr，如表 30-1.3 所示。

彙整前人對於瑞穗斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 30-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 30-1.1：瑞穗斷層幾何形貌相關文獻

文獻	方法	傾角	深度(km)
Kuochen et al., 2004	利用 1991-2002 之 hypoDD 重定位地震推估	0-25 公里，75 度 25-40 公里，45 度	可達 40 公里
Lee et al., 2008	1991-2002 年 3D 重定位地震深度分布	縱谷斷層於北段及中段呈現東傾高角度，南段呈現匙狀幾何	-
Kuochen et al., 2012	C02 速度構造剖面及地震分布	65E	可達 30 公里
胡植慶等 2016	1991-2010 地震矩規模 3 以上地震深度分布	-	集中於 30 公里左右

表 30-1.2：瑞穗斷層長期抬升速率資料彙整

參考文獻	位置	資料	定年方法	錯移量(m)	年代(年)	抬升速率(mm/yr)
Chen et al., 2007	安定橋、富興、大富槽溝	碳木	碳 14	>8.7	500~640	12.5~16.0
Shyu et al., 2006	德武階地 Terrace 7	TW1	碳 14	>158	8650~9010	>17.5-18.3
Shyu et al., 2006	德武階地 Terrace 4	TW4	碳 14	83	4300~4820	17.2~19.3
Shyu et al., 2006	德武階地 Terrace 3	TW5	碳 14	45	2360~2990	15.1~19.1

表 30-1.3：瑞穗斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

斷層名稱		BLOCKS Model 總變動量（mm/yr）	DEFNODE Model 平均值滑移虧損率（mm/yr）	Baseline Inversion Model 斷層平均滑移速率（mm/yr）	加權平均滑移虧損速率（mm/yr）
瑞穗斷層	上界	12.1	34.7	8.7	18.5
	平均	10.9 ± 1.2	19.4 ± 15.3	6.0 ± 2.7	12.1
	下界	9.7	4.1	3.3	5.7

表 30-1.4：瑞穗斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
瑞穗斷層	斷層分段與破裂事件	無分段	地形、航照判釋、1951 年地表破裂	Chen et al., 2007；Shyu et al., 2007；陳文山等，2008；林啟文等，2009
	長度(km)	24 公里		
	寬度(km)	30.3	深度/sin 傾角 （以深度 27.5 公里，傾角 65 度計算）	
	破裂深度（km）	可達 40 公里	利用 1991-2002 之 hypoDD 重定位地震推估	Kuochen et al., 2004
		可達 30 公里	C02 速度構造剖面及地震分布	Kuochen et al., 2012
		集中於 30 公里左右	1991-2010 地震矩規模 3 以上地震深度分布	胡植慶等 2016
	面積(km2)	728	長度×寬度	
	走向	N20E	地形、航照判釋、1951 地震地表破裂判釋	Chen et al., 2007；Shyu et al., 2007；陳文山等，2008；林啟文等，2009
	傾斜角度(度)	0-25 公里，75 度 25-40 公里，45 度	利用 1991-2002 之 hypoDD 重定位地震推估	Kuochen et al., 2004
		縱谷斷層於北段及中段呈現東傾高角度，南段呈現匙狀幾何	1991-2002 年 3D 重定位地震深度分布剖面	Lee et al., 2008
		65E	C02 速度構造剖面及地震分布	Kuochen et al., 2012
	斷層機制	具左移分量的逆斷層	GPS 觀測顯示，海岸山脈帶以 284-294°向中央山脈推擠	Yu and Kuo, 2001
	長期滑移速率(mm/yr)	20.5~24.9 mm/yr	Fault-bend fold model	Shyu et al., 2006
		14.0~20.4 mm/yr	槽溝資料	Chen et al. 2007
	滑移虧損率(slip deficit rate)(mm/yr)	上界 18.5 平均 12.1 下界 5.7	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	0.75，1.2，1.0	安定橋 2 號槽溝 F1，復興槽溝 F1，大富槽溝礫石層 F1(西元 1951 年)變位量	Chen et al., 2007

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
		1.75，1.06，1.22	安定橋1號槽溝F2，復興槽溝F2，大富槽溝F2(400±100~150年前)古地震變位量	
		0.7，0.65	復興槽溝F3，大富槽溝F3(595±45~500年前)古地震變位量	
	最大可能地震規模(Mw)	6.9	Mw=4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
		6.9	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔(年)	190~210	大富槽溝、復興槽溝、安定橋槽溝古地震事件	Chen et al., 2007
		50-100	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	西元1951年	玉里地震，規模7.1	歷史地震紀錄
		西元1972年(?)	瑞穗強震，中央氣象局公告的震源深度為15公里，規模為6.9	歷史地震紀錄

30-2 邏輯樹更新

瑞穗斷層屬於嶺頂-瑞穗斷層系統。嶺頂-瑞穗斷層系統分段破裂模式，本期計畫考慮嶺頂斷層與瑞穗斷層同屬於縱谷斷層北段斷層，兩斷層之間並無明顯的分段點或是構造分割，有聯合破裂的可能性，因此以嶺頂-瑞穗斷層系統評估，如圖 29-2.1 所示，A 模式為嶺頂斷層破裂，長度為 37 公里；B 模式為瑞穗斷層破裂，長度為 24 公里；C 模式為整段破裂，長度 61 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)。

嶺頂-瑞穗斷層系統幾何，從地震深度分布剖面中得到最符合地震深度分布趨勢線的傾角 65E 作為斷層面中值，再加減 5 度作為不確定性的範圍。因從地震深度分布剖面中，要定出斷層面仍有不確定性，傾角權重採用接近等權重之 60 度(0.3)、65 度(0.4)、70 度(0.3)。破裂深度上，本計畫認為縱谷斷層深度不超過 30 公里，因此修改深度上限為 30 公里，深度範圍界於 25~30 公里，邏輯樹中值為(25+30)/2=27.5 公里，因不確定性較高，權重採用接近等權重之：25 公里(0.3)、27.5 公里(0.4)、30 公里(0.3)。

瑞穗斷層上盤之抬升速率資料彙整如表 29-2.1 所示。其中 Shyu et al. (2006)使用 Fault-bend fold 模式將秀姑巒溪河谷之階地抬升速率換算為縱谷斷層淨滑移速率，範圍為 20.5~24.9 mm/yr。另外，陳文山等人(Chen et al. 2007)槽溝資料並未換算成淨滑移速率，本計畫以斷層傾角 65 度換算至斷層面上，也參考斷層上盤速度場方位角，推估斷層面滑移角為 70±10 度，得到淨滑移速率範圍為 14.0~20.4 mm/yr (表 29-2.2)，本計畫以 14.0 mm/yr 及 24.9 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 19.5 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重為常態分布：14.0 mm/yr (0.2)，19.5 mm/yr (0.6)及 24.9 mm/yr (0.2)。

破裂模式 C (嶺頂+瑞穗)斷層長期滑移速率則根據能量累計公式計算，如下式：

$$\mu \cdot A_{(嶺頂+瑞穗)} \cdot v_{(嶺頂+瑞穗)} = \mu \cdot A_{嶺頂} \cdot v_{嶺頂} + \mu \cdot A_{瑞穗} \cdot v_{瑞穗}$$

上式中 A 為面積，移項得到

$$v_{(嶺頂+瑞穗)} = \frac{\mu \cdot A_{嶺頂} \cdot v_{嶺頂} + \mu \cdot A_{瑞穗} \cdot v_{瑞穗}}{\mu \cdot A_{(嶺頂+瑞穗)}}$$

因嶺頂斷層及瑞穗斷層傾角及破裂深度一致，因此可得到：

$$v_{(嶺頂+瑞穗)} = \frac{L_{嶺頂} \cdot v_{嶺頂} + L_{瑞穗} \cdot v_{瑞穗}}{L_{(嶺頂+瑞穗)}}$$

上式中 L 為斷層長度，則計算 v(嶺頂+瑞穗)下界為 7.7 mm/yr；v(嶺頂+瑞穗)上界為 18.5 mm/yr；v(嶺頂+瑞穗)中值為 12.9 mm/yr。邏輯樹權重為 7.7 mm/yr (0.2)、12.9 mm/yr (0.6)、18.5 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 29-2.3 所示為利用邏輯樹中值所求

得之各破裂事件地震矩規模。

瑞穗斷層最近一次活動時間為西元 1951 年，花東縱谷從北而南發生一系列大地震，在一個月內發生了包括規模 7.2 花蓮地震、規模 7.1 玉里地震、規模 6.2 池上地震、規模 5.8 鹿野地震，而規模 7.1 的玉里地震造成瑞穗斷層破裂，然而當時的地表破裂並未向北延伸至嶺頂斷層，本計畫評估斷層潛勢時，A(嶺頂)建議採用 Poisson 模式進行評估，B(瑞穗)則以 1951 年為最近一次事件採用 BPT 模式進行評估，C(嶺頂+瑞穗)建議採用 Poisson 模式進行評估。

嶺頂-瑞穗斷層系統各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 29-2.2 所示。

30-3 規模與年發生率之關係

嶺頂-瑞穗斷層系統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 29-3.1 為 3 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 29-3.2 之嶺頂-瑞穗斷層系統邏輯樹可得到 324 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 29-3.2 為 3 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 7.1 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 7.3 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 29-3.3 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 29-3.4（a）之嶺頂-瑞穗斷層系統規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 29-3.4（b）之嶺頂-瑞穗斷層系統地震復發間隔時間-權重分布圖。

30-4 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 模式估算嶺頂斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，本計畫評估斷層潛勢時，A(嶺頂)建議採用 Poisson 模式進行評估，B(瑞穗)則以 1951 年為最近一次事件採用 BPT 模式進行評估，C(嶺頂+瑞穗)建議採用 Poisson 模式進行評估。

本章主要評估瑞穗斷層發生機率，因此移除嶺頂斷層破裂模式之發生機率，表 30-4.1 為本計畫瑞穗斷層評估之結果，起算時間為西元 2020 年，最後一次發生時間採用西元 1951 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 23.8%、32.2%及 43.0%。

表 30-4.2 則為本計畫嶺頂-瑞穗斷層系統評估之結果，起算時間為西元 2020 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 29.7%、41.4%及 58.5%。

表 30-4.1：本計畫瑞穗斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率 A：Poisson B：BPT C：Poisson	50 年機率 A：Poisson B：BPT C：Poisson	100 年機率 A：Poisson B：BPT C：Poisson
6.6 ≦ M ≦7.7	23.8%	32.2%	43.0%

表 30-4.2：本計畫嶺頂-瑞穗斷層系統發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率 A：Poisson B：BPT C：Poisson	50 年機率 A：Poisson B：BPT C：Poisson	100 年機率 A：Poisson B：BPT C：Poisson
6.6 ≦ M ≦7.7	29.7%	41.4%	58.5%

第三十一章、奇美斷層潛勢評估

31-1 奇美斷層參數彙整

奇美斷層各項參數詳細內容詳附錄 29，奇美斷層幾何參考資料及參數如表 31-1.1 所示，奇美斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 31-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，奇美斷層平均滑移虧損速率下界 9.0 mm/yr，上界為 16.2 mm/yr，平均值為 12.6 mm/yr，如表 31-1.3 所示。

彙整前人對於奇美斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 31-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 31-1.1：奇美斷層幾何形貌相關文獻

文獻	方法	傾角(度)	深度(km)
Chen et al., 1991	豐濱附近奇美斷層露頭	80 度	--
賴文基，1995	現地調查	75 度	--
羅偉與楊昭男，2004	現地調查	80 度	--
董倫道等，2005	大地電磁波探勘	高角度	--
Kuochen et al., 2004	Hypo-DD 地震重定位 (1991-2002 年)	--	25~35 公里

表 31-1.2：奇美斷層各調查方法及抬升速率推估

文獻	方法	抬升速率
Chen et al., 2020	海階定年	4.9 mm/yr

表 31-1.3：奇美斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
奇美斷層	上界	10.0	15.1	23.6	16.2
	平均	9.0 ± 1.0	10.7 ± 4.4	18.2 ± 5.4	12.6
	下界	8.0	6.3	12.8	9.0

表 31-1.4：奇美斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
奇美斷層	斷層分段與破裂事件	未分段	GPS 資料、地表地形、岩層分布	Hsu, 1956；羅偉與楊昭男，2004；林啟文等，2007；陳文山等，2008；林啟文等，2009
	長度(km)	23 公里		
	寬度(km)	約 25.4 公里	深度/sin 傾角 (以深度 25 公里，傾角 80 度計算)	--
	破裂深度(km)	25~35 公里	Hypo-DD 地震重定位(1991-2002 年)	Kuochen et al., 2004
	面積(km2)	584	長度×寬度	--
	走向	呈東北ㄧ西南走向	地表地形、岩層分布。	Hsu, 1956；林啓文等，2009
	傾斜角度(度)	80 度	豐濱附近奇美斷層露頭	Chen et al., 1991
		75 度	現地調查	賴文基，1995
		80 度	現地調查	羅偉與楊昭男，2004
		高角度	大地電磁波探勘	董倫道等，2005
	斷層機制	逆衝斷層兼具左移分量	岩層分布、構造地形特徵	林慶偉，1997；羅偉與楊昭男，2004
	長期滑移速率(mm/yr)	4.9 mm/yr	海階定年	Chen et al., 2020
	滑移虧損率(slip deficit rate)(mm/yr)	上界 16.2 平均 12.6 下界 9.0	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	1.36	log D= 0.29Mw-1.84 σ=0.42 (逆斷層)	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模(Mw)	6.8	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 (逆斷層)	Wells and Coppersmith, 1994
		6.8	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	地震復發間隔(年)	2000-3000	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	更新世晚期	野外露頭調查	楊志成與陳文山，2005

31-2 邏輯樹更新

奇美斷層之破裂模式無修改，同圖 31-2.1，然而根據 GIS 系統測量得到的奇美斷層長度為 23 公里。

奇美斷層幾何，根據前節之說明，傾角為高角度斷層，以 80 度為中值，加減 5 度為不確定性範圍，因斷層面仍有不確定性，傾角權重採用接近等權重之 75 度(0.3)、80 度(0.4)、85 度(0.3)。破裂深度參考與瑞穗斷層之幾何關係，以 25 公里為中值，加減 5 公里為不確定性範圍，因破裂深度不確定性仍高，權重採用接近等權重：20 公里(0.3)、25 公里(0.4)、30 公里(0.3)。

奇美斷層滑移速率，陳文山等(Chen et al., 2020)彙整海岸山脈沿海岸線的海階高程及定年資料，推估海岸山脈沿海岸的長期抬升速率，其中奇美斷層上盤的磯崎(Jichi)至八仙洞(Pahsian cave)一帶，計算的平均抬升速率為 4.9 mm/yr (圖 31-2.2)。然而因海岸山脈抬升速率包含了縱谷斷層的抬升，本計畫認為奇美斷層滑移速率低於 4.9 mm/yr。

張瑞津等(1992)認為奇美斷層通過的奇美階地有傾動現象，根據 Shyu et al. (2006)定年得到該階地年代為 2950~3310 cal B.P.，如圖 31-2.3 所示，階地為 Terrace 3，定年樣本為 CM3，然而 Shyu et al. (2006)並未在該階地上發現斷層錯動的地形，奇美斷層露頭上覆階地礫石層，也未有錯動的現象。若是奇美斷層有 3,300 年未曾活動過，以 3,300 年為週期，用特徵地震模式反推，得到的奇美斷層滑移速率約為 0.5 mm/yr (圖 31-2.4)，本計畫認為可視為奇美斷層滑移速率的下界。若是依張瑞津等(1992)的說法，奇美斷層週期在 3,300 年內有活動過，造成 Terrace 3 階面傾動，而更年輕的 Terrace 2 階地則無被斷層錯動，根據 Shyu et al. (2006)在 Terrace 2 階地的樣本定年結果約在 550 年以上，以 550 年為週期，用特徵地震模式反推，得到的奇美斷層滑移速率約為 3.0 mm/yr (圖 31-2.5)，本計畫認為可視為奇美斷層滑移速率的上界。鑒於奇美斷層沒有在階地礫石層中發現錯移，本計畫傾向於週期 3,300 年的說法，權重設定為 0.5 mm/yr (0.7)，3.0 mm/yr (0.3)。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma (2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 31-2.1 所示為利用邏輯樹中值所求得之奇美斷層地震矩規模。

奇美斷層最近一次發生時間未知，因此採用 Poisson 模式進行評估。

奇美斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 31-2.6 所示。

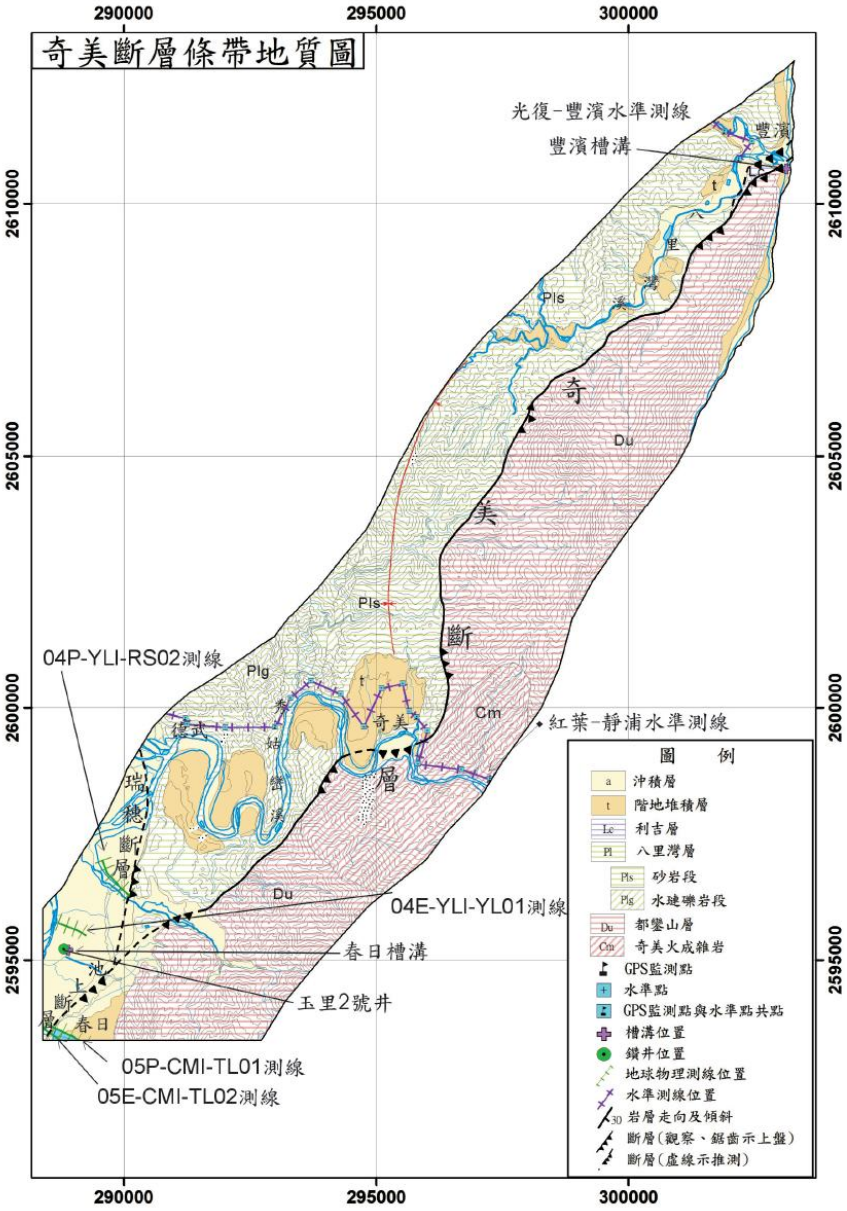


圖 31-2.1：奇美斷層條帶地質圖(林啟文等，2009)。

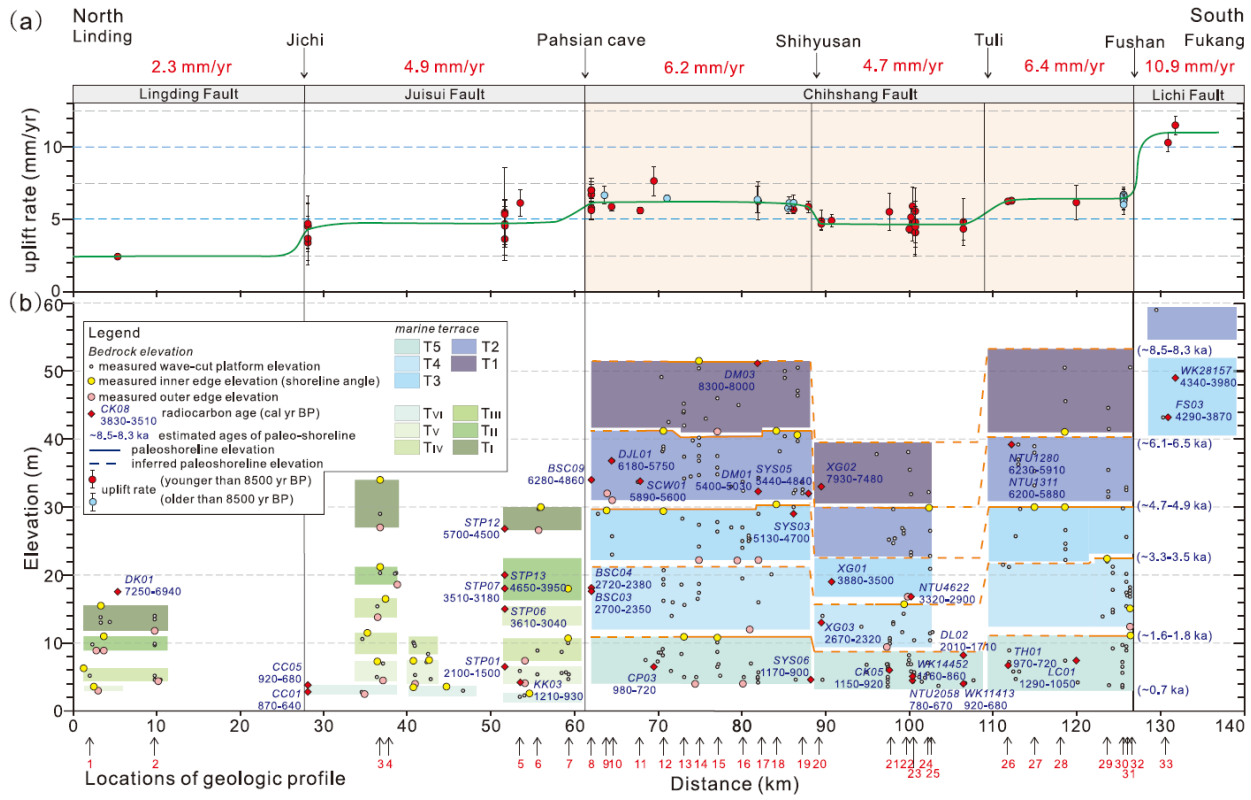


圖 31-2.2：海岸山脈沿海岸的碳 14 定年、長期抬升速率及階地高程比對圖(摘自 Chen et al., 2020)。

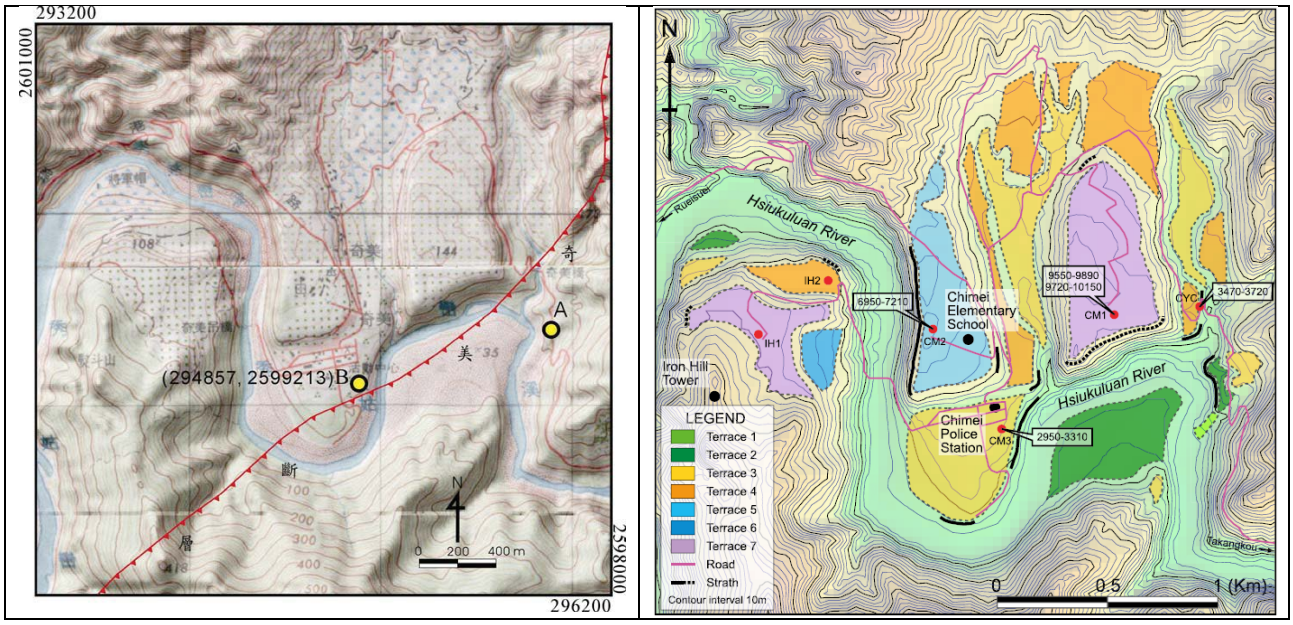


圖 31-2.3：奇美地區階地分布圖(Shyu et al., 2006)。

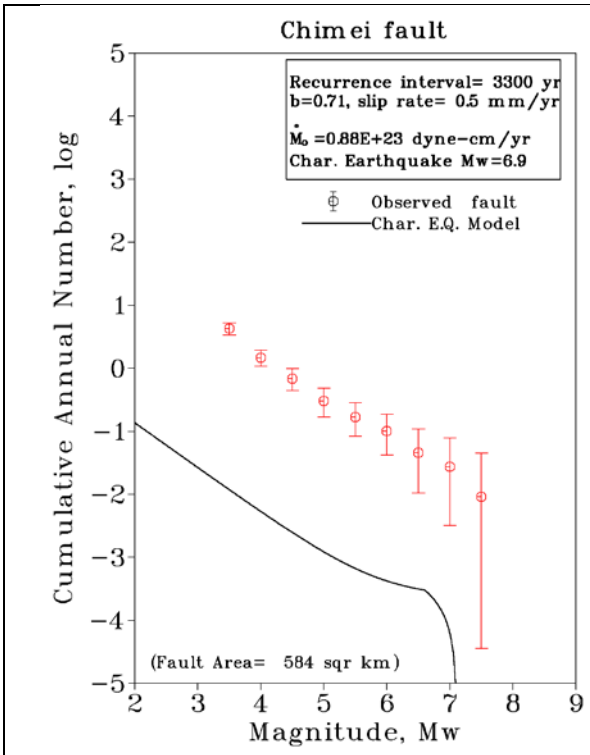


圖 31-2.4：奇美斷層特徵地震模式，滑移速率採 0.5 mm/yr。

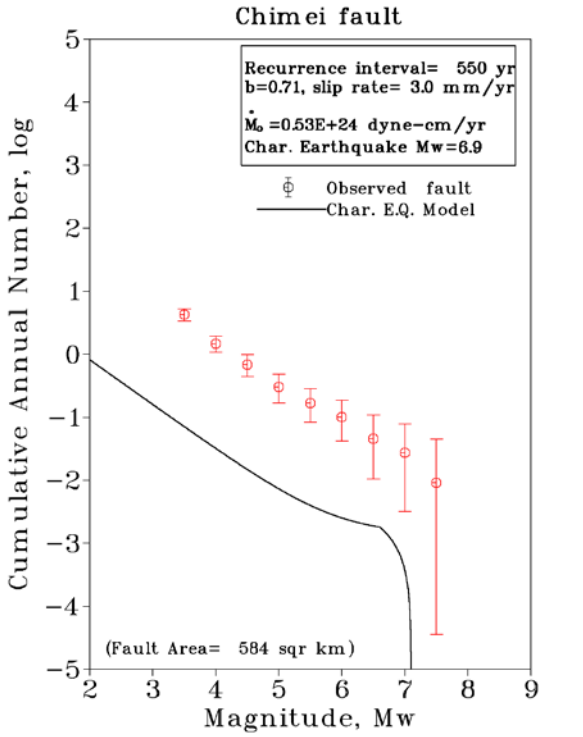


圖 31-2.5：奇美斷層特徵地震模式，滑移速率採 3.0 mm/yr。

表 31-2.1：奇美斷層各破裂事件規模計算

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	
奇美	A	23	25	25.4	80	584	6.5	6.8	7.1	6.8

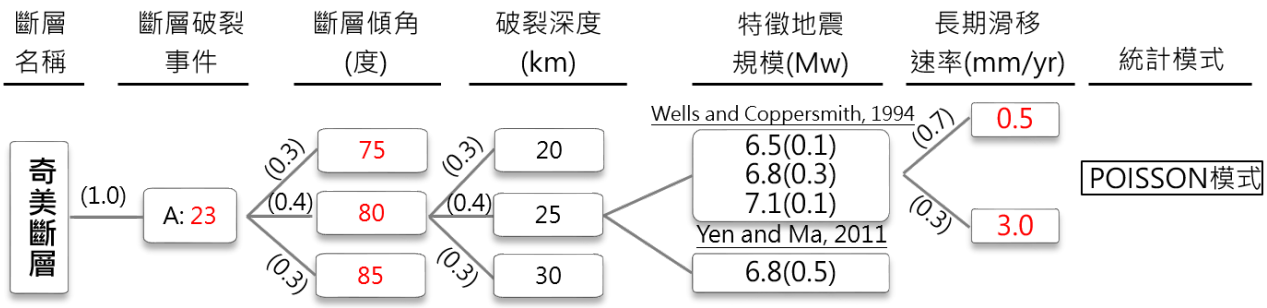


圖 31-2.6：奇美斷層更新邏輯樹。

31-3 規模與年發生率之關係

奇美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 31-3.1 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 31-2.6 之奇美斷層邏輯樹可得到 72 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 31-3.2 為 1 種破裂事件之規模-權重分布圖，以規模 6.9 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 31-3.3 為 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

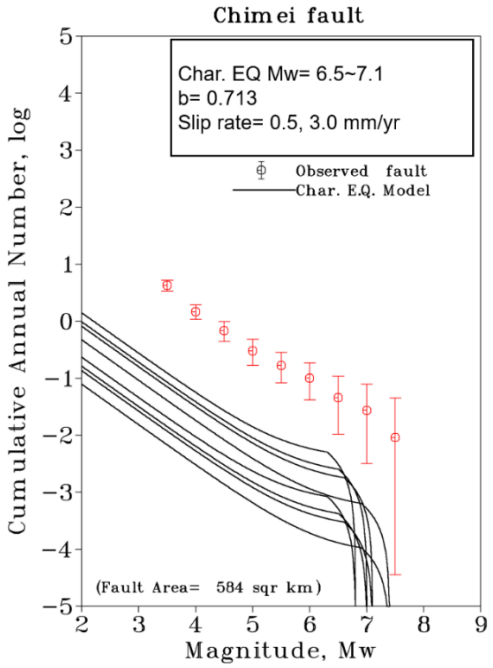


圖 31-3.1：奇美斷層破裂事件特徵地震模式。

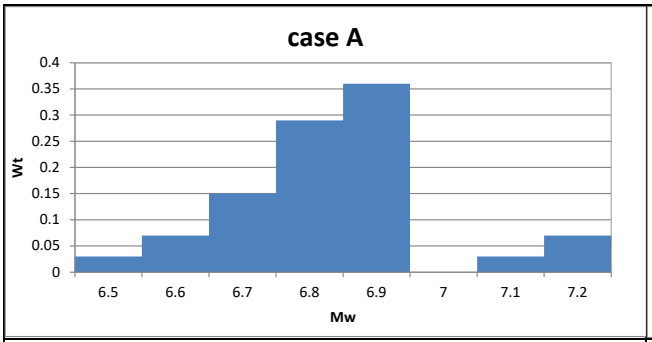


圖 31-3.2：奇美斷層破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

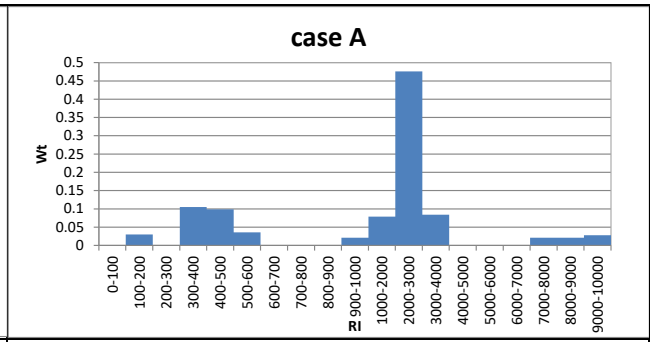


圖 31-3.3：奇美斷層 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

31-4 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 模式估算奇美斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，奇美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 31-4.1 為奇美斷層前階段計畫評估之結果，起算時間為西元 2016 年，前階段計畫最後一次發生時間為未知，採用 Poisson 模式進行評估。

表 31-4.2 為本計畫奇美斷層 Poisson 模式及評估之結果，起算時間為西元 2020 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5~7.2 之機率為 3.0%、4.9%及 9.4%。

表 31-4.1：前階段計畫奇美斷層發生機率評估(胡植慶等，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
6.6 ≦ M ≦7.3	5.8%	9.3%	17.5%

表 31-4.2：本計畫奇美斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.5 ≦ M ≦7.2	3.0%	4.9%	9.4%

第三十二章、玉里斷層潛勢評估

32-1 玉里斷層參數彙整

玉里斷層各項參數詳細內容詳附錄 30，玉里斷層幾何參考資料及參數如表 32-1.1 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，玉里斷層平均滑移虧損速率下界 3.6 mm/yr，上界為 26.6 mm/yr，平均值為 15.1 mm/yr，如表 32-1.2 所示。

彙整前人對於玉里斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 32-1.3 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 32-1.1：玉里斷層幾何形貌相關文獻

文獻	方法	傾角	深度
石瑞銓等人，2004	反射震測剖面	約 75 度	--
石瑞銓等人，2004	地電阻 04E-YLI-YL02 剖面	在西北端中層尖滅，顯示可能有斷層存在	
張竝瑜等人，2015	淺層震測剖面	約 60 度	--
Shyu et al., 2007	現地調查與模型重建	75 度	> 5 公里
Kuochen et al., 2012	地震層析法速度剖面	約 55 度	--

表 32-1.2：玉里斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速率（mm/yr）	
玉里斷層	上界	6.4	72.0	1.3	26.6
	平均	5.7 ± 0.7	38.7 ± 33.3	0.8 ± 0.5	15.1
	下界	5.0	5.4	0.3	3.6

表 32-1.3：玉里斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
玉里斷層	斷層分段與破裂事件	無分段	野外調查、構造地型特徵	Hsu, 1956；Hsu, 1962；徐鐵良，1955；鍾令和等，2004；Shyu et al., 2007
	長度(km)	23 公里	野外調查、構造地形特徵	徐鐵良，1955；林啟文等，2009
	寬度(km)	12.9 公里	深度/sin 傾角（0~10 km：51 度）	--
	破裂深度(km)	-	-	-
	面積(km^2)	296	長度×寬度	--
	走向	呈東北一西南走向	野外調查、構造地型特徵	Hsu, 1956；林啓文等，2009
	傾斜角度(度)	約 75 度	反射震測剖面	石瑞銓等人，2004
		約 60 度	淺層震測剖面	張竝瑜等人，2015
		75 度	現地調查與模型重建	Shyu et al., 2007
		約 55 度	地震層析法速度剖面	Kuochen et al., 2012
	斷層機制	逆衝斷層兼具左移分量	野外調查、構造地型特徵	徐鐵良，1955；鍾令和等，2004
		左移斷層	1951 年地表位移	Shyu et al., 2007
	短期滑移速率(mm/yr)	跨玉里斷層無明顯抬升變化	1985-1996 年水準測線	Yu and Kuo, 2001
	長期滑移速率(mm/yr)	因缺乏定年資料，目前無相關可推估長期滑移速率之文獻	春日槽溝中兩期剪切構造，第一期至少大於五萬年，第二期於現生河相沖積層發育前發生	鍾令和等，2004
	滑移虧損率(slip deficit rate)(mm/yr)	上界 26.6 平均 15.1 下界 3.6	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	玉里國小內斷層東側花壇上升 10 到 30 公分，東側教室向北移動 40 公分，操場外側位移 16 公分	1951 年地震地表破裂	楊蔭清，1953；Shyu et al., 2007

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	最大可能地震規模 (Mw)	6.6 (逆斷層) 6.5 (平移斷層)	Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） Mw =3.98+1.02 log A σ=0.23 (平移斷層)	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)	0-100	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	西元 1951 年	歷史地震、地表破裂調查	Hsu, 1956；Hsu, 1962；徐鐵良，1955；鍾令和等，2004；陳文山等，2004；Shyu et al., 2007

32-2 邏輯樹更新

本計畫考慮玉里斷層破裂模式，為地調所斷層線型，長度 23 公里，如圖 32-2.1。

玉里斷層之傾角及破裂深度，根據前階段計畫的設定，本計畫假設玉里斷層於一定深度與池上斷層相接，如圖 32-2.2 所示，幾何設定為「0-10 公里 51 度」。

玉里斷層之滑移速率無發現地質事證。本計畫參考景國恩等（2020）「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（4/4）」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，加權後玉里斷層平均滑移虧損速率如表 32-1.2，本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 3.6 mm/yr (0.3)、中值 15.1 mm/yr (0.4)、上界 26.6 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 32-2.1 為玉里斷層地震矩規模計算結果。

玉里斷層最近一次發生時間為西元 1951 年，因此採用 BPT 模式進行評估。

玉里斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 32-2.3 所示。

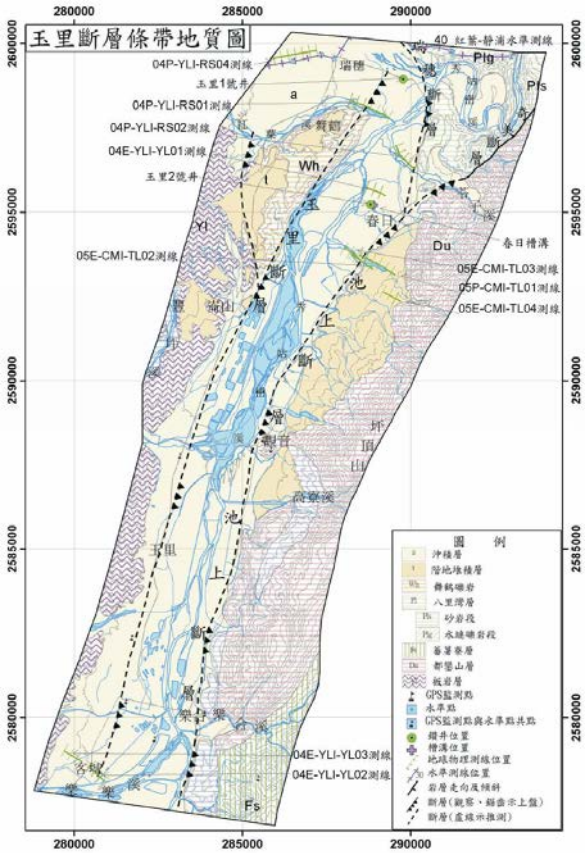


圖 32-2.1：玉里斷層條帶地質圖，座標系統 TWD67 (林啓文等，2009)。

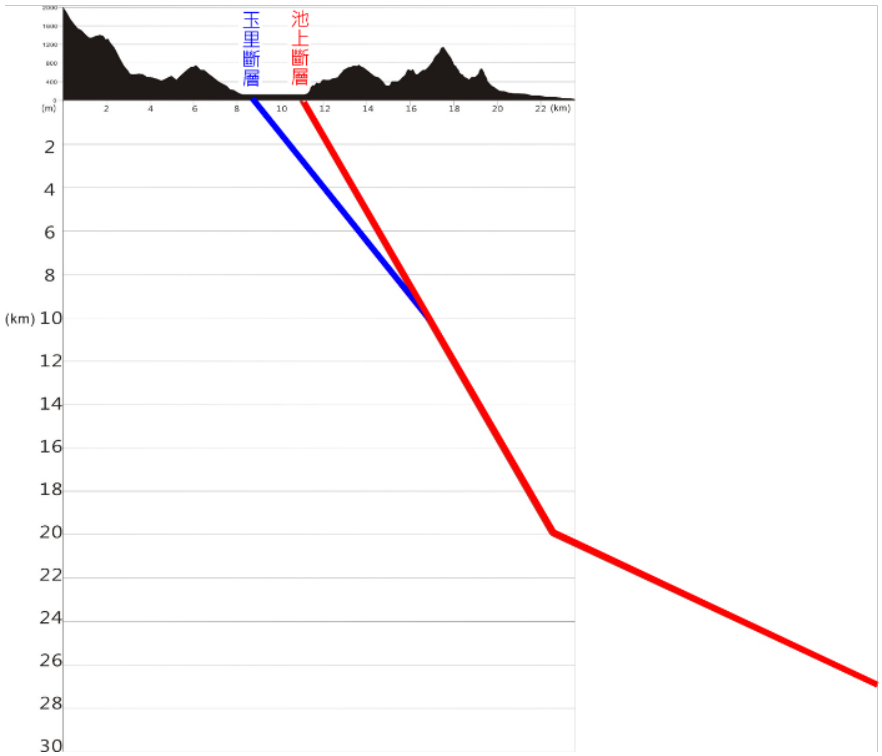


圖 32-2.2：玉里斷層幾何設定，傾角 51 度，深度 10 公里。

表 32-2.1：玉里斷層各破裂事件規模計算

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	
玉里	A	23	10	12.9	51	296	6.3	6.6	6.9	6.5

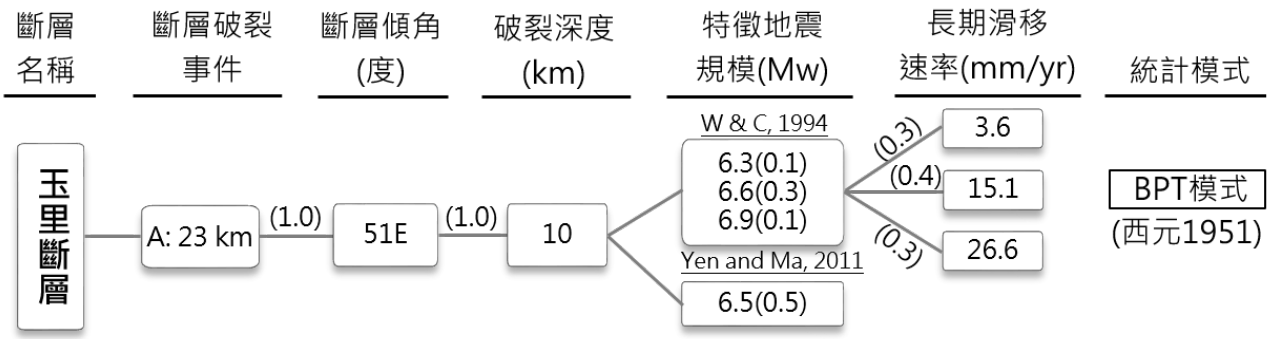


圖 32-2.3：玉里斷層邏輯樹。

32-3 規模與年發生率之關係

玉里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 32-3.1 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 32-2.3 之玉里斷層邏輯樹可得到 12 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 32-3.2 為 1 種破裂事件之規模-權重分布圖，以規模 6.5 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 32-3.3 為 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

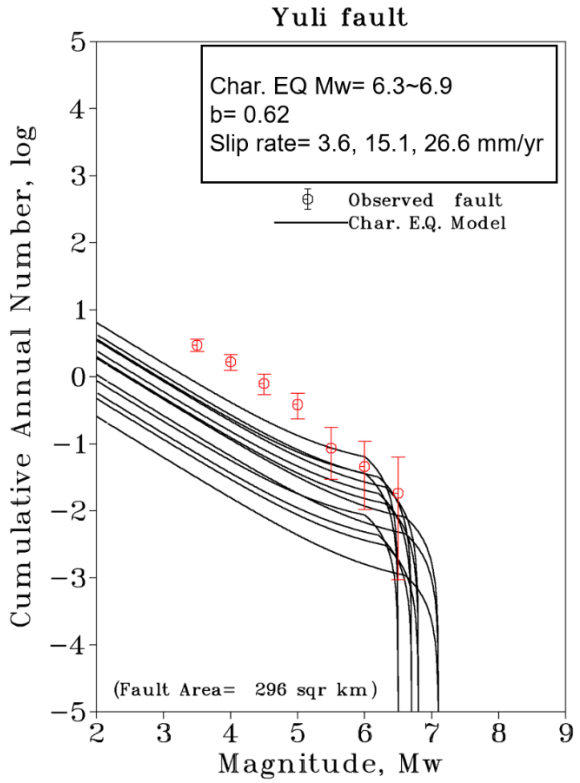


圖 32-3.1：玉里斷層破裂事件特徵地震模式。

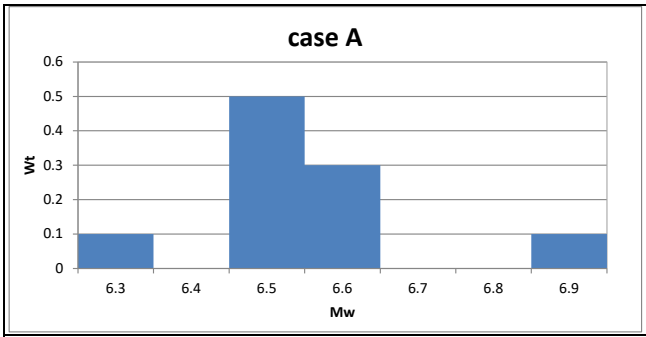


圖 32-3.2：玉里斷層破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

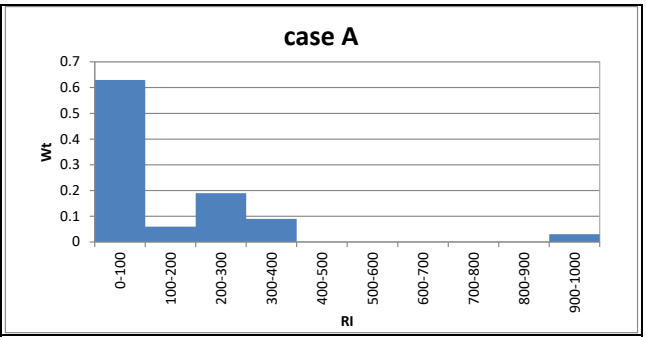


圖 32-3.3：玉里斷層破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

32-4 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 模式估算玉里斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，玉里斷層最後一次發生時間為西元 1951 年，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

表 32-4.1 為本計畫玉里斷層 BPT 模式及評估之結果，起算時間為西元 2020 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.3~6.9 之機率為 52.1%、61.9%及 74.6%。未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 44.2%，53.4%，65.1%。

表 32-4.1：本計畫玉里斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.3 ≦ M ≦ 6.9	52.1%	61.9%	74.6%
M ≧ 6.5	44.2%	53.4%	65.1%

第三十三章、池上斷層潛勢評估

33-1 池上斷層參數彙整

池上斷層各項參數詳細內容詳附錄 31，池上斷層幾何參考資料及參數如表 33-1.1 所示，池上斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 33-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，池上斷層平均滑移虧損速率下界 2.7 mm/yr，上界為 19.2 mm/yr，平均值為 10.4 mm/yr，如表 33-1.3 所示。

彙整前人對於池上斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 33-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 33-1.1：池上斷層幾何面各調查方法及斷層參數

參考文獻	方法	傾角(度)		深度
陳文山等，2010	富里富池橋東方之池上斷層露頭	60 度		--
Lee et al., 2003	1.1995 規模 5.6 地震深度分布 2.1998-2001 地震深度分布	0-10 公里：60-65 度 10-20 公里：45 度 20-25 公里：10 度		25 公里
Lee et al., 2008	1991-2002 年 3D 重定位地震	匙狀幾何		地震深度達 40 公里
Kuochen et al., 2007 Cheng et al., 2009	2003 年成功地震餘震分布	0-20 公里：60 度 20-27 公里：25 度		27 公里
Mu et al., 2011	錦園地區鑽井資料及地表斷層面推估淺部斷層形貌	Site I	主斷層：30-40 度 分支斷層：50-60 度	--
		Site II	45-50 度	
Kuochen et al., 2012	P 波速度構造剖面及地震震源分布	60 度		27 公里

表 33-1.2：池上斷層長期滑移速率相關文獻彙整

參考文獻	方法	年代 (Cal yr BP)	長期滑移速率(mm/yr)
朱曜國，2007	富里(FC) 階地定年	940-1080	23.5-27(垂直滑移速率)
	富南(FNC)階地定年	6280-6410	7.6-7.8(垂直滑移速率)
	富南(SG)階地定年	290-490	27.4-46.3(垂直滑移速率)
	錦園(CY2)階地定年	530-660	20.9-26(垂直滑移速率)
陳文山等，2010	量測鱉溪富池橋南岸之池上斷層露頭剖面河階比高並進行碳 14 定年	940-1080	23.5-27.0 (下切速率)
張冕，2013	富南 T7 階地比高並進行碳 14 定年	5750-6880	14-17 (下切速率)

表 33-1.3：池上斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

		BLOCKS Model	DEFNODE Model	Baseline Inversion Model	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）	斷層平均滑移速（mm/yr）	
池上斷層	上界	17.3	19.6	20.7	19.2
	平均	12.0 ± 5.3	8.1 ± 11.5	11.0 ± 9.7	10.4
	下界	6.7	0.0	1.3	2.7

表 33-1.4：池上斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
池上斷層	斷層分段與破裂事件	A: 北段 B: 南段 C: 整段	地形及航照判釋、1951 年地震地表破裂、斷層潛移破裂位置	Hsu, 1962；石再添等，1986；楊貴三，1986；沈淑敏等，2006；陳文山等，2008；林啟文等，2009
	長度(km)	A：27 B：38 C：65		
	寬度(km)	23.1	Case 1：0-20 公里, 60 度	本計畫幾何模型
		34.9	Case 2：0-20 公里, 60 度；20-25 公里, 25 度	
		39.7	Case 3：0-20 公里, 60 度；20-27 公里, 25 度	
	破裂深度(km）	25 公里	1.1995 規模 5.6 地震深度分布 2.1998-2001 地震深度分布	Lee et al., 2003
		地震深度達 40 公里	1991-2002 年 3D 重定位地震	Lee et al., 2008
		27 公里	2003 年成功地震餘震分布	Kuochen et al., 2007 Cheng et al., 2009
		27 公里	P 波速度構造剖面及地震震源分布	Kuochen et al., 2012
	面積(km^2)	A：942　B：1326　C：2269	長度×寬度（寬度採用 Case 2）	本計畫幾何模型
	走向	北北東	地形及航照判釋、1951 年地震地表破裂、斷層潛移破裂位置	林啟文等，2009
	傾斜角度(度)	60 度	富里富池橋東方之池上斷層露頭	陳文山等，2010
		0-10 公里：60-65 度 10-20 公里：45 度 20-25 公里：10 度	1.1995 規模 5.6 地震深度分布 2.1998-2001 地震深度分布	Lee et al., 2003
		0-20 公里：60 度 20-27 公里：25 度	2003 年成功地震餘震分布	Kuochen et al., 2007 Cheng et al., 2009
		匙狀幾何	1991-2002 年 3D 重定位地震	Lee et al., 2008

	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
		Site I	主斷層：30-40 度 分支斷層：50-60 度	錦園地區鑽井資料及地表斷層面推估淺部斷層形貌	Mu et al., 2011
		Site II	45-50 度		
		60 度		P 波速度構造剖面及地震震源分布	Kuochen et al., 2012
	斷層機制	帶左移分量的逆衝斷層		大地測量、歷史地震	Lee and Angelier, 1993；Yu et al., 1997；Yu and Kuo, 2001；Hu et al., 2007；Wu et al., 2006；林啟文等，2009
	長期滑移速率 (mm/yr)	23.5-27(垂直滑移速率)		富里(FC) 階地定年	朱曜國，2007
		7.6-7.8(垂直滑移速率)		富南(FNC)階地定年	
		27.4-46.3(垂直滑移速率)		富南(SG)階地定年	
		20.9-26(垂直滑移速率)		錦園(CY2)階地定年	
		23.5-27.0 (下切速率)		量測鱉溪富池橋南岸之池上斷層露頭剖面河階比高並進行碳 14 定年	陳文山等，2010
		14-17 (下切速率)		富南 T7 階地比高並進行碳 14 定年	張冕，2013
	滑移虧損率(slip deficit rate)(mm/yr)	上界 19.2 平均 10.4 下界 2.7		1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量 (m)	0.1		錦園 3 號槽溝，2003 年成功地震錯移	陳文山等，2008；顏一勤等，2014
		0.2、0.38、0.31、0.65、0.66		萬安 1 號槽溝，5 次古地震事件錯移	
	最大可能地震規模 (M_w)	A：7.0 B：7.1 C：7.4		Mw =4.33+0.90 log A σ=0.25 （逆斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
		A：7.0　B：7.1　C：7.4	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔(年)	A：50-100 B：100-150 C：150-200	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	西元 1951 年	池上 M_L6.0（Mw6.59）地震 玉里 M_L7.3（Mw6.95）地震	Hsu, 1962；Cheng et al., 1996；Chen et al., 2008
		西元 1992 年	成功地震，規模為 ML＝5.4，震源深度 13.7 公里	中央氣象局；游明聖等，1994
		西元 2003 年	成功地震，規模為 Mw＝6.8，震源深度 10 公里	中央氣象局

33-2 邏輯樹更新

本計畫針對池上斷層邏輯樹更新，詳述如下：

池上斷層分為南北兩段，以成功地震餘震分布範圍當作池上斷層之南段，分段點並無修改，如圖 33-2.1 所示。相較於前階段計畫，本計畫移除了玉里斷層相關的破裂事件，因此池上斷層破裂模式簡化為三種破裂模式：A 北段破裂，長度 27 公里；B 南段破裂，長度 38 公里；C 整段破裂，長度 65 公里。圖 33-2.2 為 2007 年至 2010 年衛星觀測之速度場變化(Champenois et al., 2012)，池上斷層除關山地區，大部分都有 20-30 mm/yr 視衛星方向的位移速率，由於目前池上斷層整段的潛移行為及活動性均很高，本計畫認為各破裂事件發生的可能性差異不大，權重設定上也儘量接近等權重，而由於整段破裂須累積較多的能量，因此權重稍低，權重分別為 A(0.35)、B(0.35)、C(0.3)。

池上斷層幾何，根據前節之說明決定，由於池上斷層的幾何面較明確，本計畫認為設定傾角的不確定性對於評估結果不會產生顯著的差異，因此在邏輯樹中不以傾角不確定性來劃分。本計畫設定池上斷層在深度 0-20 公里的傾角約 60 度，深度 20-27 公里約 25 度，破裂模式則根據破裂深度不確定性分為三種情形，Case 1 為「深度 0~20 公里傾角 60E」，Case 2 為「深度 0~20 公里傾角 60E，深度 20~25 公里傾角 25E」，Case 3 為「深度 0~20 公里傾角 60E，深度 20~27 公里傾角 25E」，由於不確定哪種情形較可能，權重分配為接近等權重，Case 1(0.3)，Case 2(0.4)，Case 3(0.3)，如圖 33-2.3 所示。

池上斷層滑移速率，圖 33-2.4 為張晃(2013)推估之池上斷層滑移速率，圖中滑移速率 2.5~3.0 cm/yr 為根據大地測量所得，2.6~2.7cm/yr 為彙整朱曜國(2007)的階地定年資料，推估之池上斷層近一千年垂直抬升速率。因階地資料抬升速率範圍位於 2.5~3.0 cm/yr 之內，本計畫仍採用 2.5~3.0 cm/yr 作為垂直抬升速率的上下界值。本計畫除了以斷層傾角 60 度換算至斷層面上，也考慮斷層面滑移角 50~70 度之情形，得到淨滑移速率範圍為 30.7~45.2 mm/yr (表 33-2.1)，以 30.7 mm/yr 及 45.2 mm/yr 作為上下界，兩者的平均值 38.0 mm/yr 作為中值。

池上斷層由於間震期會藉由潛移釋放部分能量，因此需考慮折減地震矩率以符合目前觀測之現況，根據美國 UCERF3(2013)報告中提到潛移速率與長期滑移速率的比例，可決定地震矩率的折減比例，如圖 33-2.5 所示，以池上斷層為例，根據蒐集之池上斷層滑移速率量測資料，池上斷層的潛移速率約占長期滑移速率的 0.8，對照圖 33-2.5 需折減 0.5 左右的地震矩率。根據斷層滑移速率(slip rate, S)及地震矩率(seismic moment rate, $\dot{M}_0$)之關係：$\dot{M}_0 = \mu \cdot A_f \cdot S$ (Anderson, 1979; Anderson and Luco, 1983)，本計畫將 S(滑移速率)×0.5，以折減 0.5 地震矩率。將前述之滑移速率折減一半即為本計畫邏輯樹數值，權重採用常態分布：15.4 mm/yr (0.2)，19.0 mm/yr (0.6)及 22.6 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 33-2.2 所示為利用邏輯樹中值所求得之池上斷層地震矩規模。

池上斷層最近一次發生時間：1951 年 11 月 25 日的台灣東部的強震，造成與縱谷平行之地表破裂，徐鐵良（Hsu, 1962）認為池上斷層為 1951 年 11 月 25 日的地震斷層，鄭世楠等（Cheng et al., 1996）對地震重新定位，規模為 Ms＝6.8。2003 年 12 月 10 日之成功地震規模為 Mw＝6.8，李建成等（Lee et al., 2006）認為該次地震是屬於池上斷層之破裂造成，也造成了部份地表破裂之情形。本計畫採用 BPT 模式進行評估，其中 B(南段破裂)最後一次發生時間為西元 2003 年，A(北段破裂)及 C(整段破裂)則設定為 1951 年。

池上斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 33-2.6 所示。

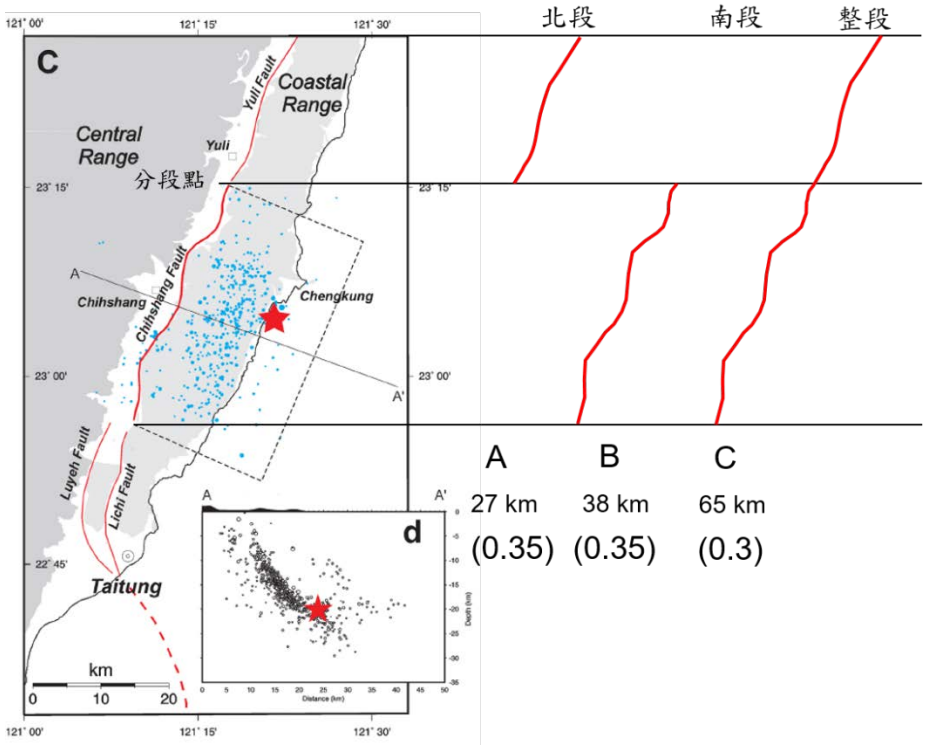


圖 33-2.1：本計畫池上斷層分段破裂模式。

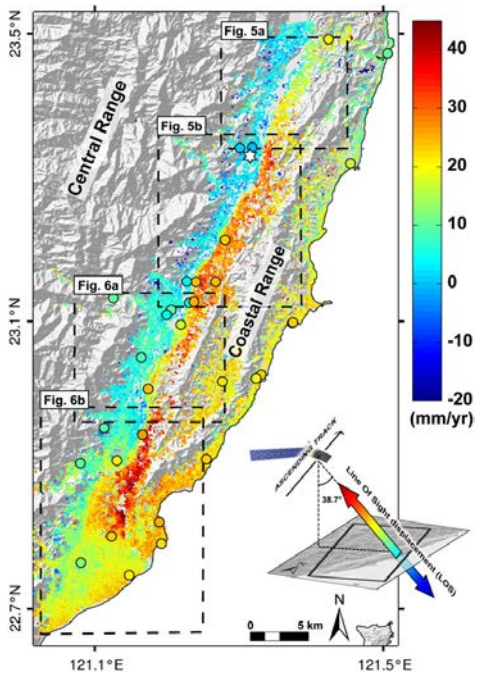


圖 33-2.2：縱谷南段 PS 點位視衛星方向速度分布圖。觀測時間為 2007 年一月至 2010 年二月(Champenois et al., 2012)。

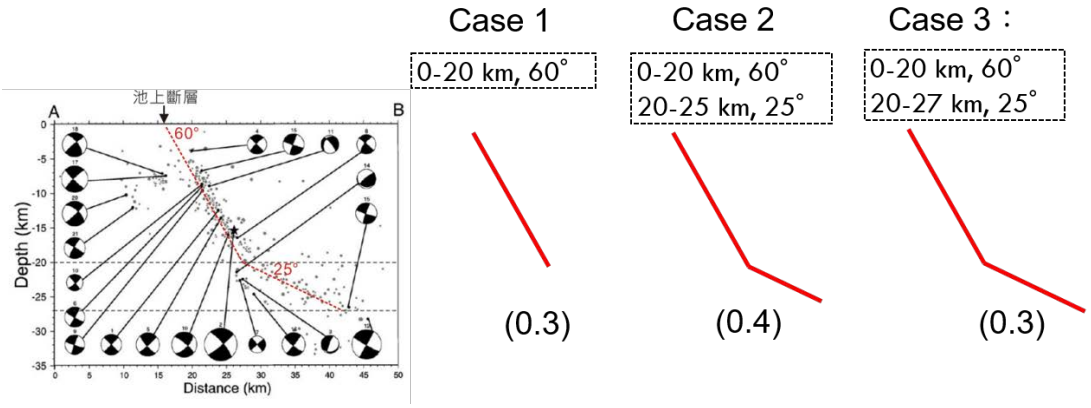


圖 33-2.3：池上斷層幾何破裂模式及權重分配。

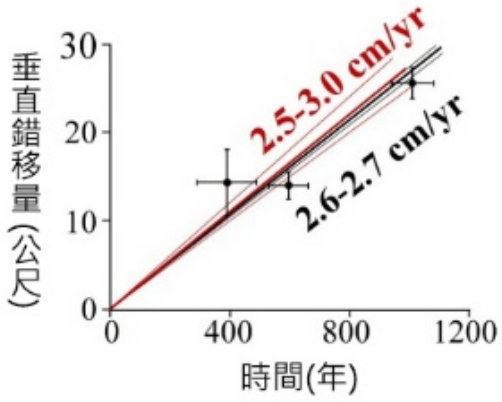


圖 33-2.4：池上斷層垂直滑移速率。黑色實線為利用階地定年回歸後所計算出的長期垂直滑移速率，紅色實線為大地測量所得到的現今垂直滑移速率(修改自張冕，2013)。

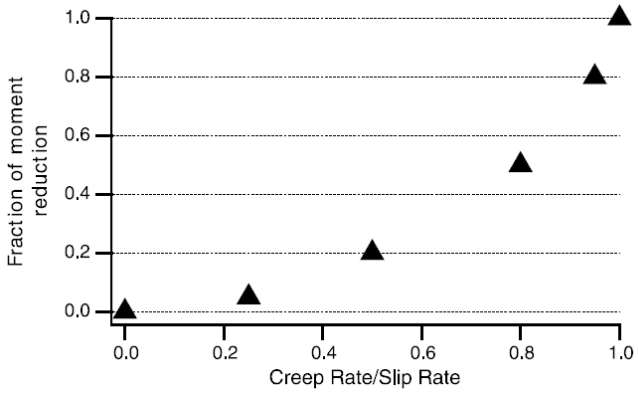


圖 33-2.5：美國 UCERF3 潛移速率/滑移速率比例與震矩折減之關係(Field et al, 2014)。

表 33-2.1：池上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)

抬升速率 (mm/yr)	傾角(度)	滑移角(度)	淨滑移速率 (mm/yr)
25	60	50	37.7
25		60	33.3
25		70	30.7
30		50	45.2
30		60	40.0
30		70	36.9

表 33-2.2：池上斷層各破裂事件規模計算

斷層名稱	破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	傾角 (度)	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	
池上斷層	A (北段)	27	深度 0-20 km, 60E		23.1	624	6.5	6.8	7.1	6.8
			深度 0-20 km, 60E 深度 20-25 km, 25E		34.9	942	6.7	7.0	7.3	7.0
			深度 0-20 km, 60E 深度 20-27 km, 25E		39.7	1072	6.8	7.1	7.4	7.0
	B (南段)	38	深度 0-20 km, 60E		23.1	878	6.7	7.0	7.3	6.9
			深度 0-20 km, 60E 深度 20-25 km, 25E		34.9	1326	6.8	7.1	7.4	7.1
			深度 0-20 km, 60E 深度 20-27 km, 25E		39.7	1509	6.9	7.2	7.5	7.2
	C (全段)	65	深度 0-20 km, 60E		23.1	1501	6.9	7.2	7.5	7.2
			深度 0-20 km, 60E 深度 20-25 km, 25E		34.9	2269	7.1	7.4	7.7	7.4
			深度 0-20 km, 60E 深度 20-27 km, 25E		39.7	2581	7.1	7.4	7.7	7.5

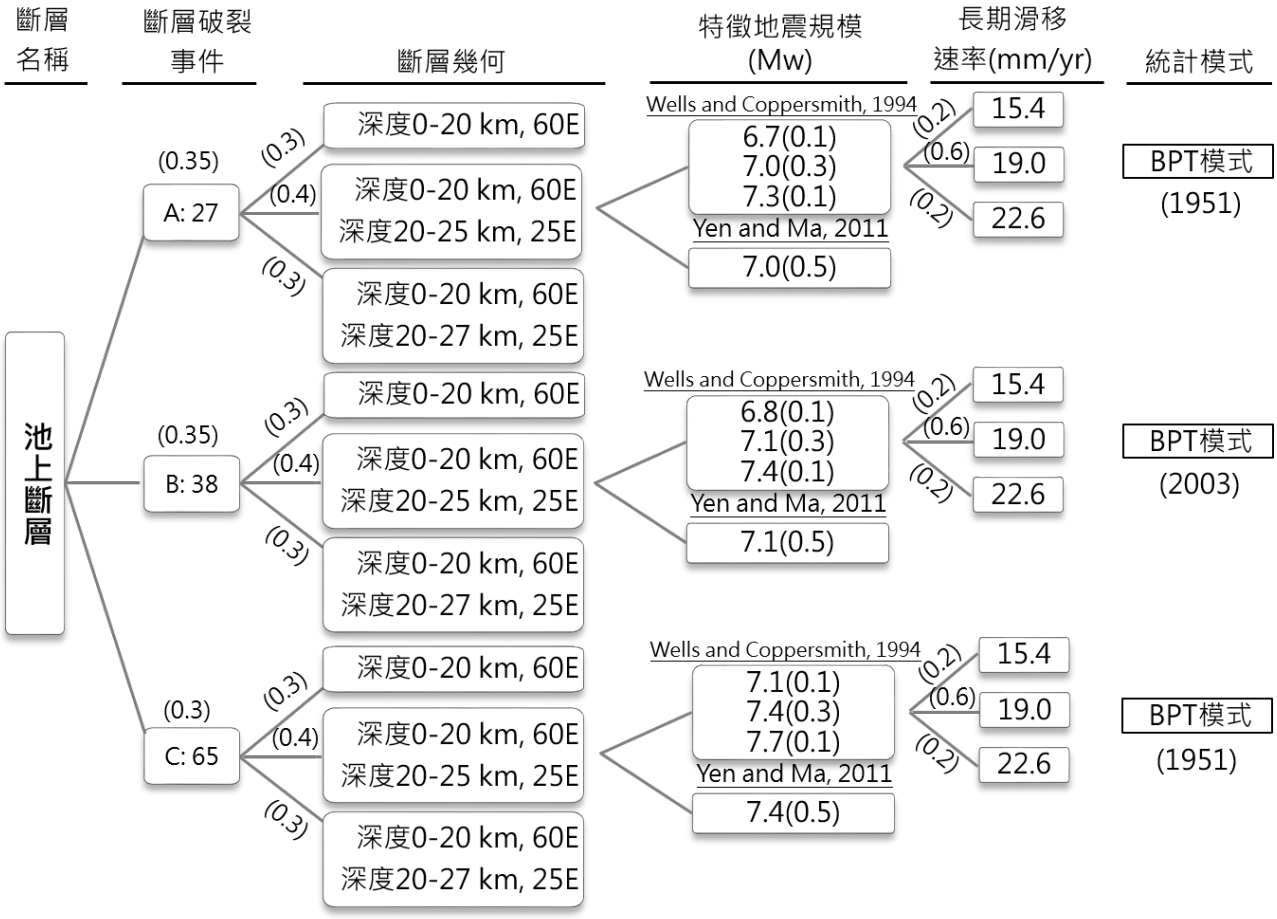


圖 33-2.6：池上斷層更新邏輯樹。

33-3 規模與年發生率之關係

池上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 33-3.1 為 3 個破裂事件取斷層幾何中值之參數計算特徵地震模式分布情形。

圖 33-2.6 之池上斷層邏輯樹可得到 108 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 33-3.2 為 3 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 7.1 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.2 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.5 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 33-3.3 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 33-3.4（a）之池上斷層規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 33-3.4（b）之池上斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

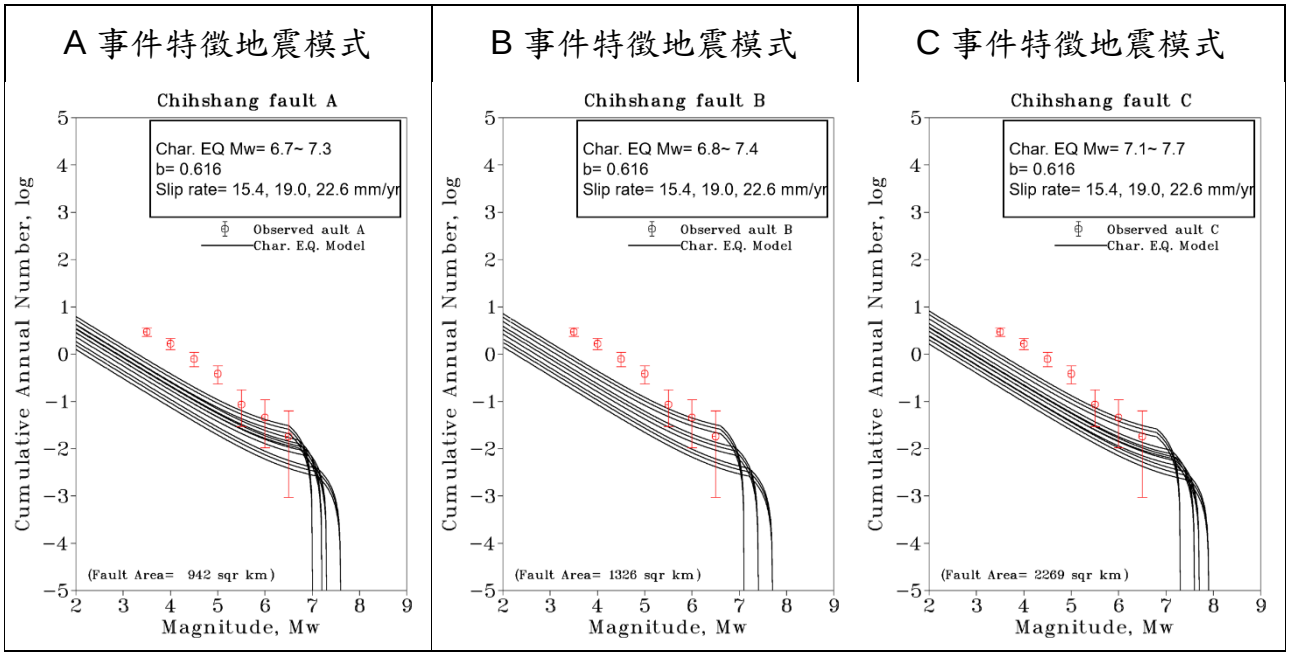
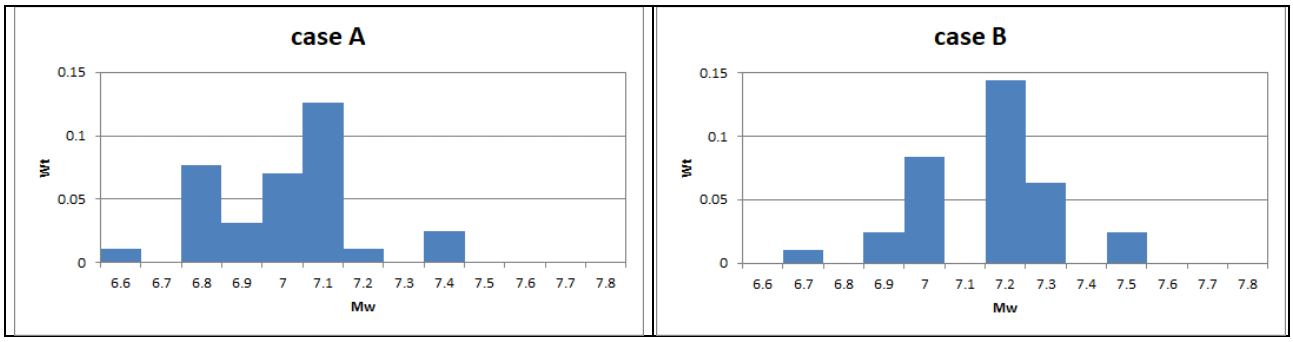


圖 33-3.1：池上斷層各破裂事件特徵地震模式。



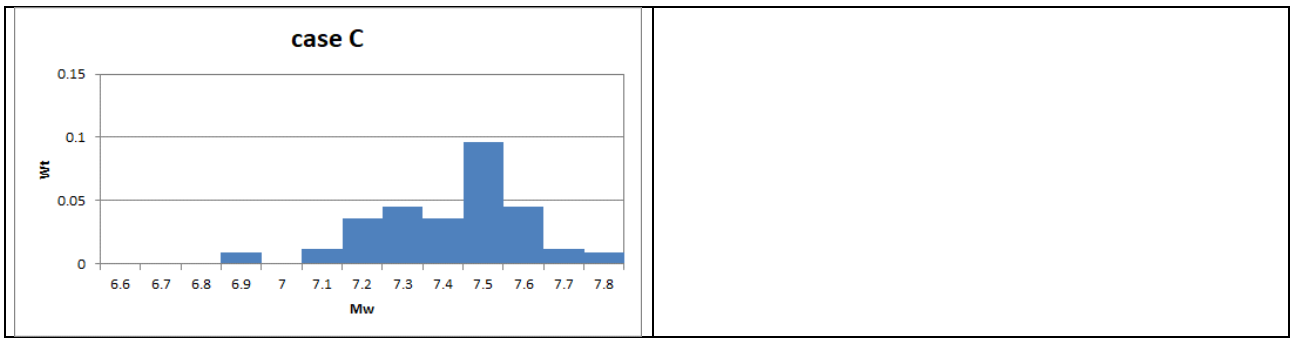


圖 33-3.2：池上斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

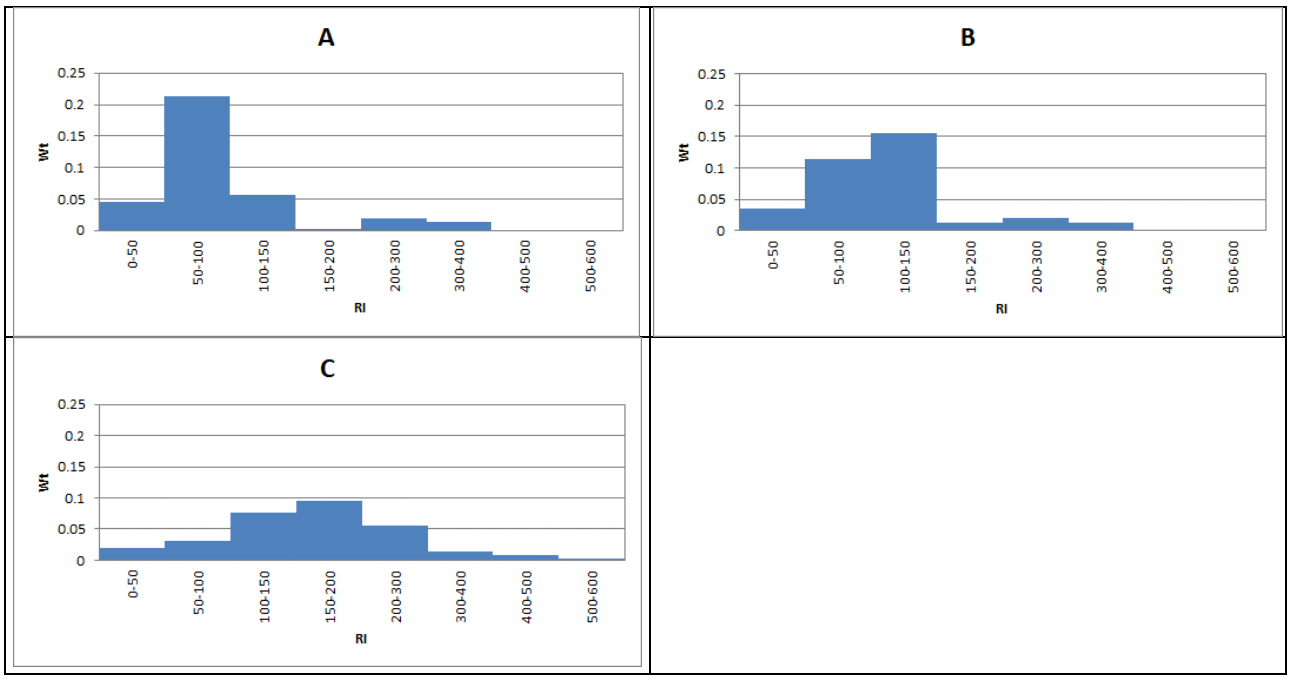


圖 33-3.3：池上斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　　（b）

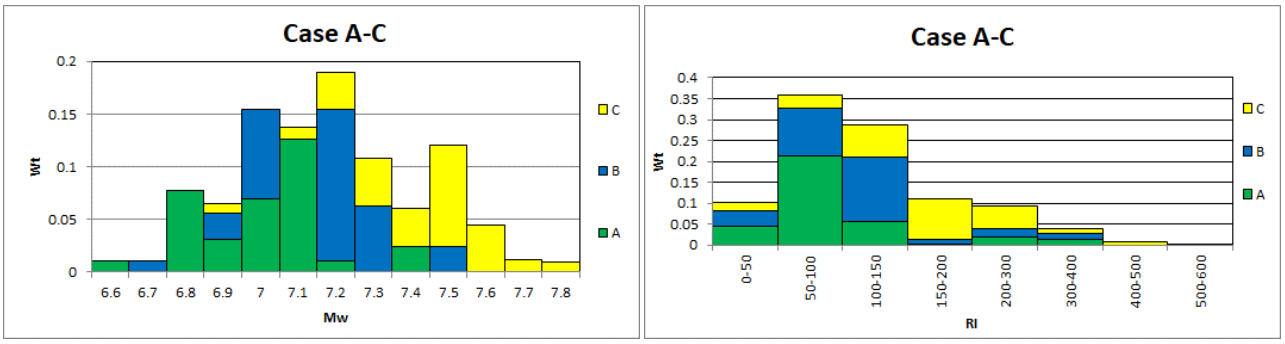


圖 33-3.4：(a) 池上斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(b) 池上斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

33-4 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 模式估算池上斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，本計畫採用 BPT 模式進行評估，其中 B(南段破裂)最後一次發生時間為西元 2003 年，A(北段破裂)及 C(整段破裂)則設定為 1951 年。

表 33-4.1 為玉里-池上斷層前階段計畫評估之結果，起算時間為西元 2016 年，前階段計畫最後一次發生時間為 2003 年，採用 BPT 模式進行評估。

表 33-4.2 為本計畫池上斷層 BPT 模式及評估之結果，不考慮玉里斷層破裂，直接採用折減之滑移速率，起算時間為西元 2020 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.6~7.8 之機率為 29.9%、45.0%及 70.3%。

表 33-4.1：前階段計畫玉里-池上斷層發生機率評估(胡植慶等，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	
	未折減	震矩折減	未折減	震矩折減	未折減	震矩折減
未折減 6.6 ≦ M ≦7.8 震矩折減 6.5 ≦ M ≦7.7	33.3%	25.8%	53.4%	45.4%	80.2%	74.6%

表 33-4.2：本計畫池上斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.6 ≦ M ≦7.8	29.9%	45.0%	70.3%

第三十四章、鹿野斷層潛勢評估

34-1 鹿野斷層參數彙整

鹿野斷層各項參數詳細內容詳附錄 32，鹿野斷層幾何參考資料及參數如表 34-1.1 所示，鹿野斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 34-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，鹿野斷層平均滑移虧損速率下界 2.6 mm/yr，上界為 7.1 mm/yr，平均值為 4.5 mm/yr，如表 34-1.3 所示。

彙整前人對於鹿野斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 34-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 34-1.1：鹿野斷層幾何面各調查方法及斷層參數

文獻	方法	傾角(度)	深度 (km)
王執明與王乾盈，1991	震測	低角度，向東傾斜	-
石瑞銓與陳平護，2001	淺層震測	龍田測線 65°E 永安測線 60°E	--
董倫道，2006	震測	74°E	-
紀權宥，2007	以地殼垂直變化速率及地殼水平速率反推斷層面	鹿野 17E	--
		利吉 53°E	--
姜彥麟，2007	跨斷層 2006 年臺東地震同震時期，地表的水平壓縮量和垂直抬升量反推斷層面	鹿野 35°E~40°E	--
		利吉 70°E	--
王蘭榛，2010	淺層反射震測	45°E	--
Wu et al., 2006	2006 年四月間在臺東地區地震事件(包含 4 月 1 號臺東地震)重新定位後剖面	0-18 km 傾角 60°E 18 km 以下傾角 29°E	集中於 20 公里

表 34-1.2：鹿野斷層長期滑移速率相關文獻彙整

參考文獻	位置	資料	定年方法	高差 (m)	年代(年)	抬升速率 (mm/yr)
Shyu et al., 2008	龍田階地	Terrace 4	C14	15	3,260-3,440	至少 4.5
陳文山等，2010	永安槽溝	G1 礫石層	C14	8	4,240-4,430	至少 1.81~1.89
陳文山等，2010	高臺	Terrace 6	C14	92	18,870	4.9
		Terrace 7	C14	116	18,870	6.1

表 34-1.3：鹿野斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

斷層名稱		BLOCKS Model 總變動量（mm/yr）	DEFNODE Model 平均值滑移虧損率（mm/yr）	Baseline Inversion Model 斷層平均滑移速（mm/yr）	加權平均滑移虧損速率（mm/yr）
鹿野斷層	上界	6.4	11.3	3.5	7.1
	平均	6.4 ± 0.0	4.6 ± 6.7	2.4 ± 1.1	4.5
	下界	6.4	0.0	1.3	2.6

表 34-1.4：鹿野斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
鹿野斷層	斷層分段與破裂事件	鹿野斷層		地表地形判釋、岩層分布	林啟文與林燕慧，2006；Chen et al., 2013
	長度(km)	17 km			
	寬度(km)	38.0		深度/sin 傾角（0~5 km：35 度，下接利吉斷層）	本計畫幾何模型
	深度(km)	5		鹿野斷層於淺部接利吉斷層	
	面積(km2)	646		長度×寬度	
	走向	北北東-南南西		地表地質調查	林朝棨，1957
	傾斜角度(度)	低角度，向東傾斜		震測	王執明與王乾盈，1991
		龍田測線 65°E 永安測線 60°E		淺層震測	石瑞銓與陳平護，2001
		74°E		震測	董倫道，2006
		17°E		以地殼垂直變化速率及地殼水平速率反推斷層面	紀權宥，2007
		35°E~40°E		跨斷層 2006 年臺東地震同震時期，地表的水平壓縮量和垂直抬升量反推斷層面	姜彥麟，2007
		45°E		淺層反射震測	王蘭榛，2010
		0-18 km 傾角 60°E 18 km 以下傾角 29°E		2006 年四月間在臺東地區地震事件(包含 4 月 1 號臺東地震)重新定位後剖面	Wu et al., 2006
	斷層機制	逆斷層		鑽井、地物探勘及地表地質調查	林啟文等，2004
	長期滑移速率 (mm/yr)	抬升速率	至少 4.5	龍田階地定年	Shyu et al., 2008
			至少 1.81~1.89	永安槽溝資料	陳文山等，2010
			4.9	階地礫石層頂面高差對比	
			6.1		
	滑移虧損率(slip deficit rate) (mm/yr)	上界 7.1 平均 4.5 下界 2.6		1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	單一事件變位量(m)	2.24/2.47 公尺(北牆/南牆)	永安槽溝古地震事件	陳文山等，2010
		1.36/1.02 公尺(北牆/南牆)		
		3.07/2.92 公尺(北牆/南牆)		
	最大可能地震規模(Mw)	6.9	Mw =4.33+0.90 log A (逆斷層)	Wells and Coppersmith, 1994
		6.8	$M = \log A + \frac{2}{3}\log\frac{\max(1,\sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1,\frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔(年)	100-150	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	<1,890-2,110 yr BP	永安槽溝	陳文山等，2010

34-2 邏輯樹更新

鹿野斷層屬於鹿野-利吉斷層系統。本計畫鹿野斷層及利吉斷層的破裂模式，參考地調所條帶地質圖，鹿野斷層長度為 17 公里，如圖 34-2.1 所示。

鹿野斷層幾何，鹿野斷層為利吉斷層的分支斷層，因目前針對鹿野斷層幾何的研究僅從地表變形量反推或是僅地下 1 公里深度以內，經諮詢相關專家，幾何模型可設定為深度 0-5 公里傾角 35 度，而後銜接至利吉斷層，如圖 34-2.2 所示。

鹿野斷層之抬升速率資料彙整如表 34-2.1 所示。抬升速率根據階地高差、鑽井之礫石層高程對比得到的範圍為 4.5~6.1 mm/yr，本計畫以斷層傾角 25~35 度換算至斷層面上，得到的淨滑移速率範圍為 7.8~14.4 mm/yr（鹿野斷層為利吉斷層的逆斷層分支，因此本計畫未考慮鹿野斷層的滑移角），如表 34-2.2 所示。本計畫以 7.8 mm/yr 及 14.4 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 11.1 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重為常態分布：7.8 mm/yr (0.2)，11.1 mm/yr (0.6)及 14.4 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，

表 34-2.3 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

鹿野斷層及利吉斷層最近一次發生時間未知，因此採用 Poisson 模式進行評估。

鹿野斷層及利吉斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 34-2.3 所示。

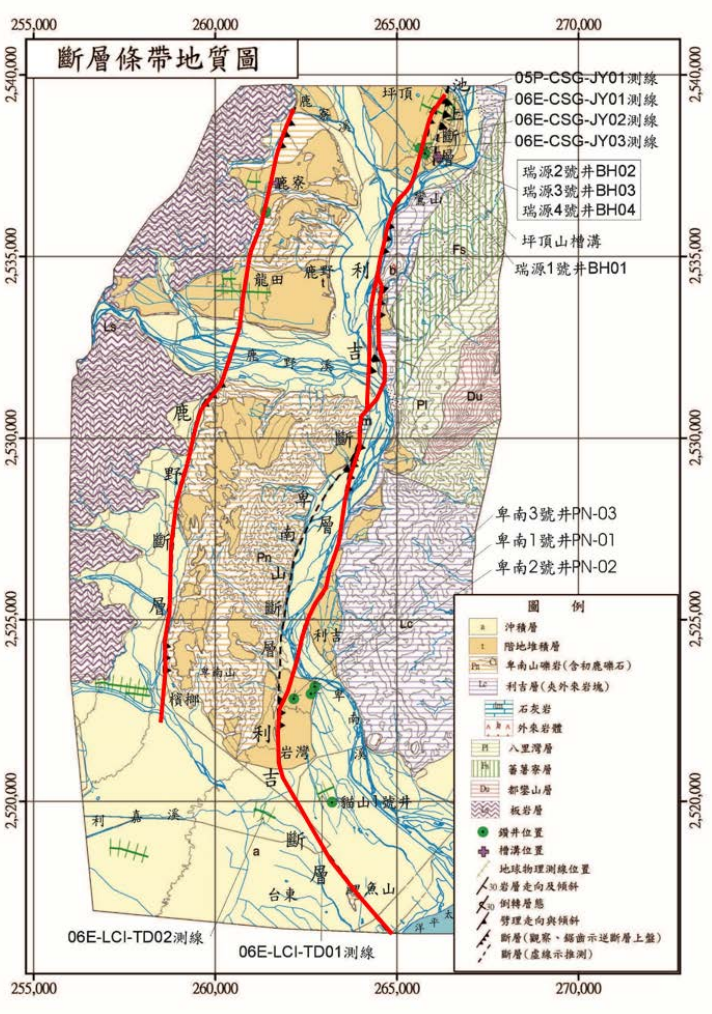


圖 34-2.1：鹿野斷層及利吉斷層條帶地質圖(改自林啟文等，2009)。

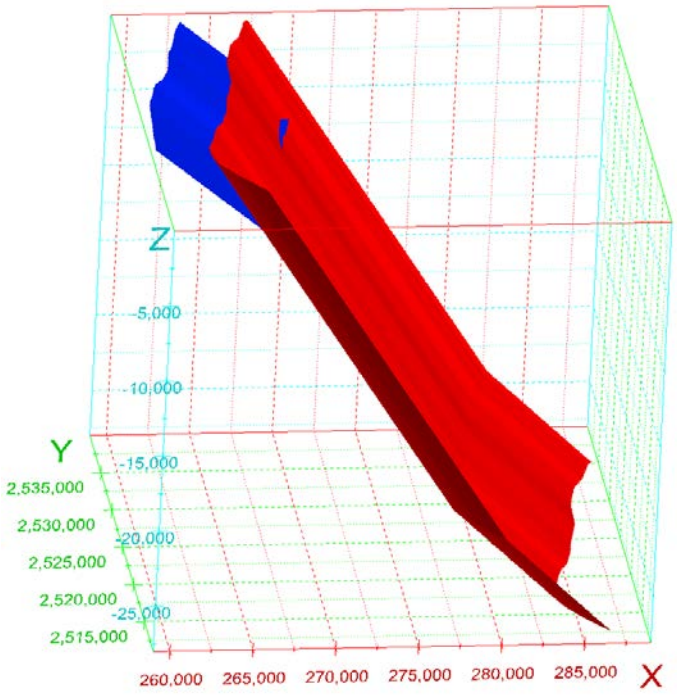


圖 34-2.2：鹿野-利吉斷層系統三維幾何形貌。

表 34-2.1：鹿野斷層長期抬升速率資料彙整

參考文獻	位置	資料	定年方法	高差(m)	年代(年)	抬升速率(mm/yr)
Shyu et al., 2008	龍田階地	terrace 4	C14	15	3,260-3,440	至少 4.5
陳文山等，2010	永安槽溝	G1 礫石層	C14	8	4,240-4,430	至少 1.81~1.89
陳文山等，2010	高臺	Terrace 6	C14	92	18,870	4.9
		Terrace 7	C14	116	18,870	6.1

表 34-2.2：鹿野斷層淨滑移速率換算，淨滑移速率=抬升速率/sin(傾角)

斷層名稱	抬升速率(mm/yr)	傾角(度)	淨滑移速率(mm/yr)
鹿野斷層	4.5	25	10.6
		30	9.0
		35	7.8
	6.1	25	14.4
		30	12.2
		35	10.6

表 34-2.3：鹿野斷層之破裂事件特徵地震規模計算

斷層名稱	長度(km)	深度(km)	傾角(度)	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	
鹿野	17	深度 0-5 km, 35E 下接利吉斷層		38.0	646	6.6	6.9	7.2	6.8

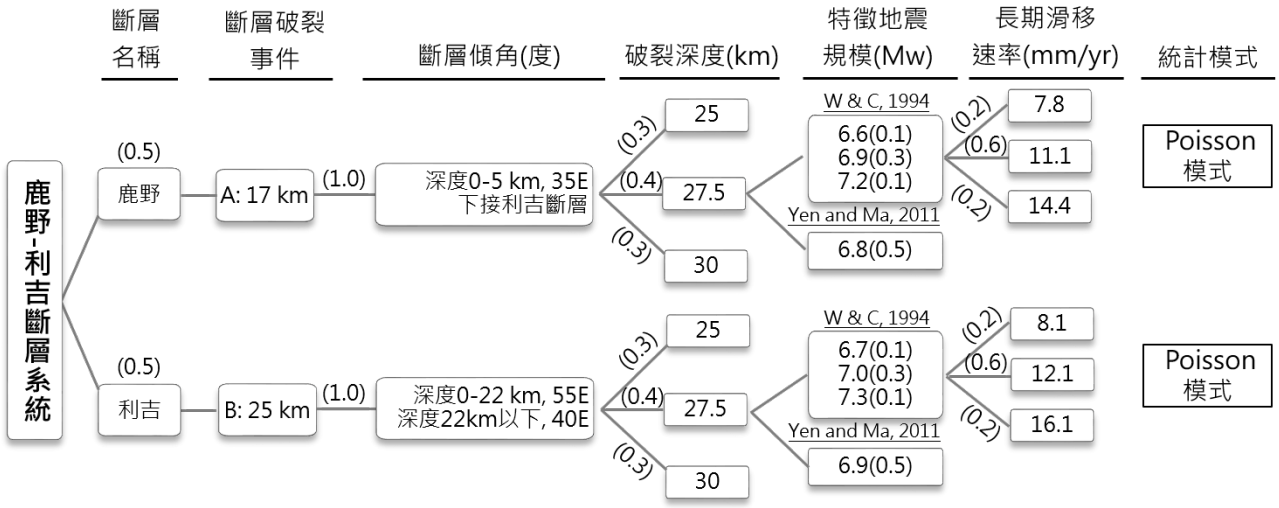


圖 34-2.3：鹿野斷層及利吉斷層更新邏輯樹。

34-3 規模與年發生率之關係

鹿野-利吉斷層系統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 34-3.1 為鹿野斷層 1 個破裂事件以深度中值計算得到的特徵地震模式分布情形，圖 34-3.2 為利吉斷層 1 個破裂事件以深度中值計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 34-2.3 之鹿野-利吉斷層系統邏輯樹可得到 72 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 34-3.3 為鹿野斷層及利吉斷層之規模-權重分布圖，其中鹿野斷層以規模 6.9 之權重最高，利吉斷層以規模 7.0 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 34-3.4 為地震復發間隔時間-權重分布圖，鹿野斷層在地震復發間隔時間 100~150 年間有較高之權重，而利吉斷層在地震復發間隔時間 100~150 年間有較高之權重。

將破裂模式之規模-權重加總即得到圖 34-3.5（a）之鹿野-利吉斷層系統規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 34-3.5（b）之鹿野-利吉斷層系統地震復發間隔時間-權重分布圖。

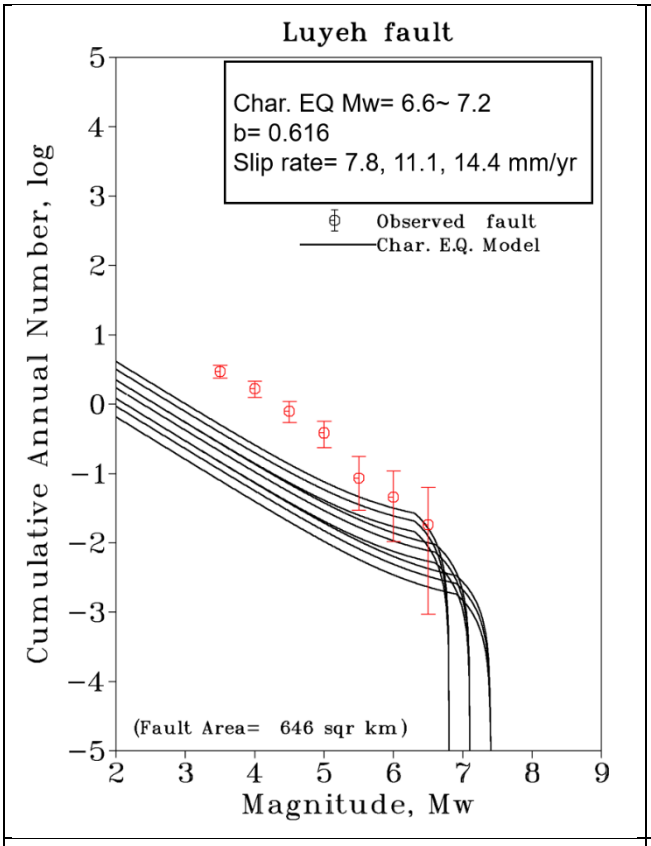


圖 34-3.1：鹿野斷層破裂事件特徵地震模式。

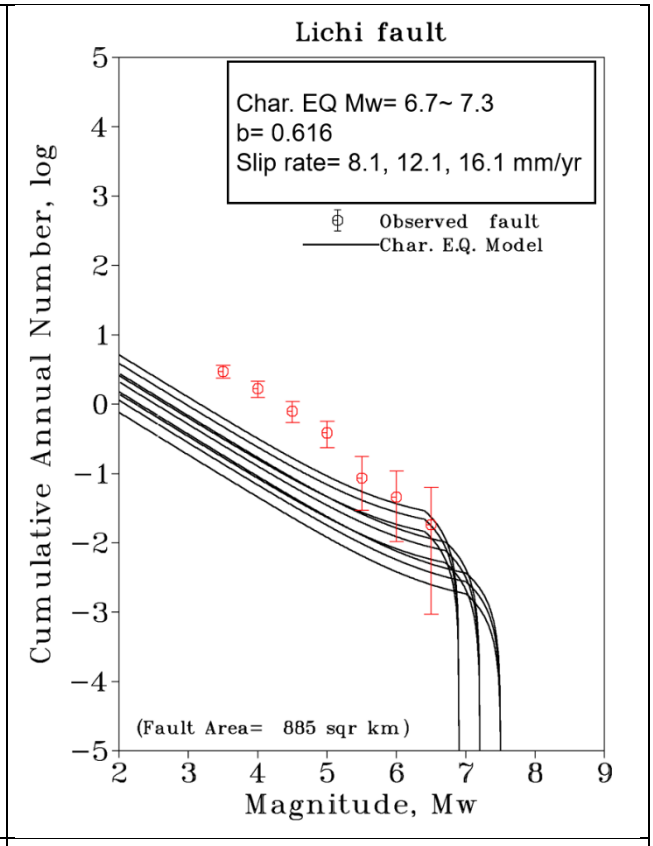


圖 34-3.2：利吉斷層破裂事件特徵地震模式。

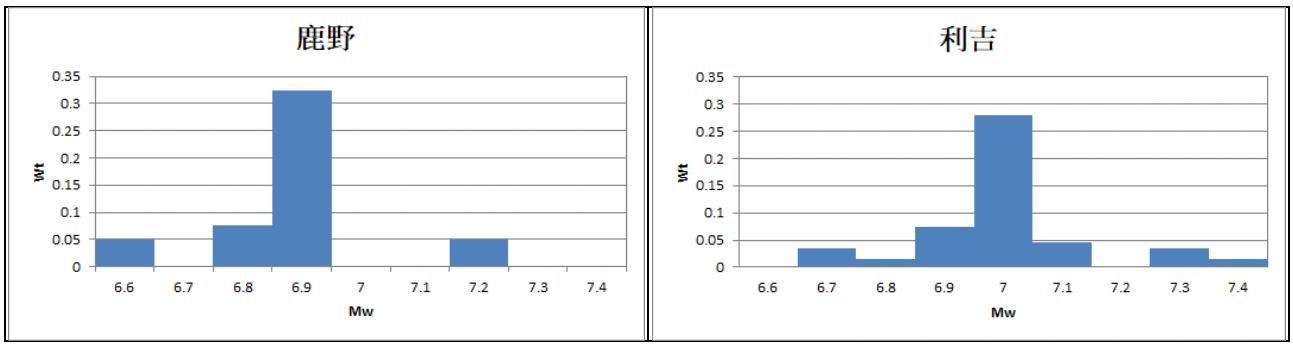


圖 34-3.3：鹿野斷層及利吉斷層破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

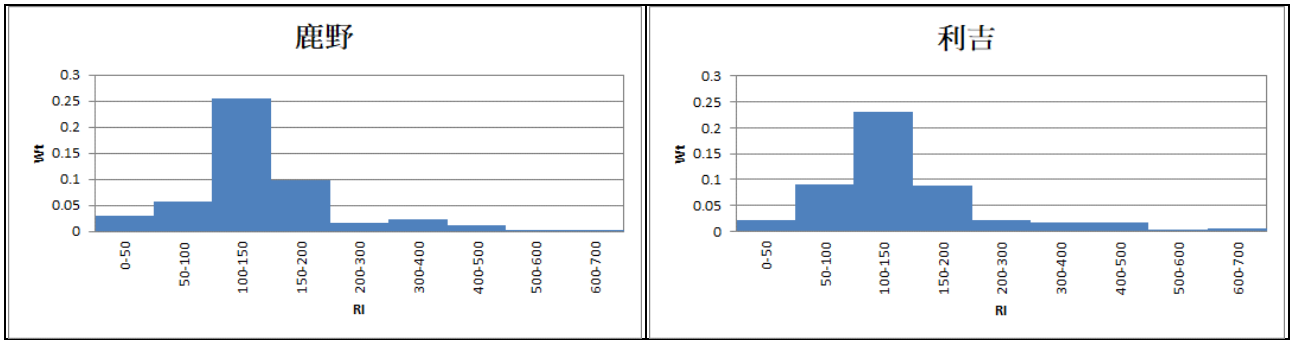


圖 34-3.4：鹿野斷層及利吉斷層之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

（a）　　（b）

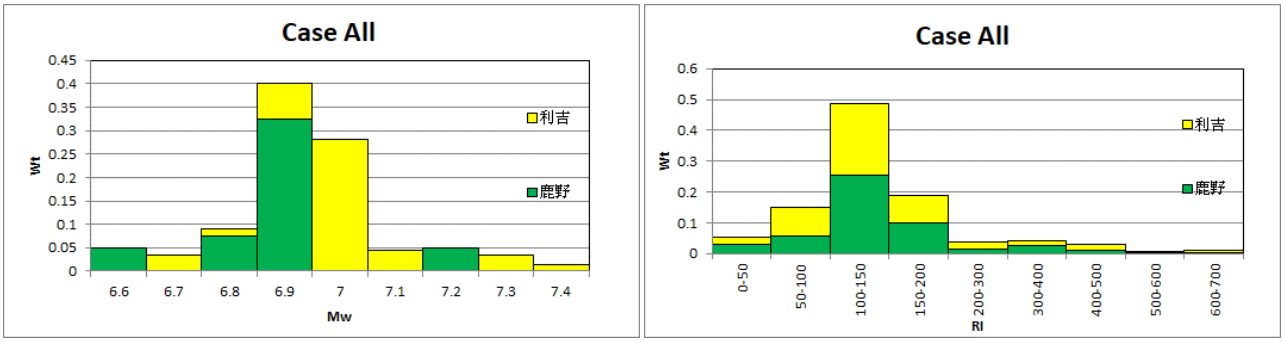


圖 34-3.5：(a) 鹿野斷層及利吉斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(b) 池上斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

34-4 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 模式估算嶺頂斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，鹿野-利吉斷層系統最後一次發生時間為未知，本計畫採用 Poisson 模式進行評估。

將鹿野-利吉斷層系統之發生率拆解為鹿野斷層及利吉斷層，可得到各別斷層之發生機率，表 34-4.1 為鹿野斷層評估之結果，以 Poisson 模式得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 11.1%、16.7%及 27.1%。

表 34-4.1：鹿野斷層發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
M ≧6.5	11.1%	16.7%	27.0%

第三十五章、利吉斷層系統潛勢評估

35-1 利吉斷層參數彙整

利吉斷層各項參數詳細內容詳附錄 33，利吉斷層幾何參考資料及參數如表 35-1.1 所示，利吉斷層長期滑移速率參考資料及參數如表 35-1.2 所示。

景國恩等（2020）「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」計畫推估之斷層滑移速率成果，斷層模型反演採用 DEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion，三種模型反演得到之結果，利吉斷層平均滑移虧損速率下界 4.4 mm/yr，上界為 10.7 mm/yr，平均值為 6.8 mm/yr，如表 35-1.3 所示。

彙整前人對於利吉斷層的相關調查與研究，斷層參數資訊整合如表 35-1.4 所示，若斷層可能有分段的特性也在參數表中展現，並詳細列出各參數的研究方法及參考文獻資料來源。

表 35-1.1：利吉幾何面各調查方法及斷層參數

文獻	方法	傾角(度)	深度(km)
Wu et al., 2006	地震重新定位	0-18 km 傾角 60 18 km 以下傾角 29	26
顏郁捷，2008	2006 年 4 月間臺東地區的地震重新定位	0-17 km 傾角 57 17 km 以下傾角 22	23
Kuochen et al., 2012	速度構造剖面及地震重定位	0-22 km 傾角 55 22 km 以下傾角 40	30
紀權宥，2007	以地殼垂直變化速率及地殼水平速率反推斷層面	鹿野 17E	NA
		利吉 53°E	NA
姜彥麟，2007	跨斷層 2006 年臺東地震同震時期，地表的水平壓縮量和垂直抬升量反推斷層面	鹿野 35°E~40°E	NA
		利吉 70°E	NA

表 35-1.2：利吉斷層長期滑移速率相關文獻及推估結果

參考文獻	位置	資料	定年方法	高差 (m)	年代(年)	抬升速率 (mm/yr)
紀權宥，2007	新良	FT5, 定年點 A	C14	25	1360±60	18.4±0.8
		FT5, 定年點 B	C14	20	1610±80	12.4±0.6
	利吉	FT5, 定年點 D	C14	20	992±63	20.2±1.3
Shyu et al., 2008	鸞山大橋東側	Terrace 2	C14	18	940~1260	14.3~19.1

表 35-1.3：利吉斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

斷層名稱		BLOCKS Model 總變動量（mm/yr）	DEFNODE Model 平均值滑移虧損率（mm/yr）	Baseline Inversion Model 斷層平均滑移速（mm/yr）	加權平均滑移虧損速率（mm/yr）
利吉斷層	上界	9.2	12.0	10.8	10.7
	平均	8.3 ± 0.9	3.9 ± 8.1	8.3 ± 2.5	6.8
	下界	7.4	0.0	5.8	4.4

表 35-1.4：利吉斷層參數表

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
利吉斷層	斷層分段與破裂事件	北起台東縣鹿野鄉瑞隆村的坪頂台地西側，沿海岸山脈西緣向南延伸，經台東縣延平鄉、卑南鄉至台東市北方轉東南方向至海濱	地形判釋、地層分布狀況、PS 速度場分布、GPS 速度場資料	Hsu, 1956；游明聖，1997；陳柏村等，2006；Champenois et al., 2012；Chen et al., 2013；陳文山等，2014
	長度(km)	25		
	寬度(km)	35.4	深度/sin 傾角 （0~22 km：55 度，22 km 以下：40 度）	胡植慶等，2016
	破裂深度（km）	26	地震重新定位	Wu et al., 2006
		30	速度構造剖面及地震重定位	Kuochen et al., 2012
	面積(km^2)	885	長度×寬度	
	走向	東北走向，進入臺東平原轉為南南西向	地形判釋、PS 速度場分布、GPS 速度場資料	Hsu,1956；陳柏村等，2006；Champenois et al., 2012；Chen et al., 2013
	傾斜角度(度)	0-18 km 傾角 60 18 km 以下傾角 29	地震重新定位	Wu et al., 2006
		53E	以地殼垂直變化速率及地殼水平速率反推斷層面	紀權宥，2007
		70E	跨斷層 2006 年臺東地震同震時期，地表的水平壓縮量和垂直抬升量反推斷層面	姜彥麟，2007
		0-22 km 傾角 55 22 km 以下傾角 40	速度構造剖面及地震重定位	Kuochen et al., 2012
	斷層機制	逆斷層帶左移分量	地形判釋、地層分布狀況、PS 速度場分布、GPS 速度場資料	Hsu, 1956；游明聖，1997；陳柏村等，2006；Champenois et al., 2012；Chen et al., 2013；陳文山等，2014
	長期滑移速率(mm/yr)	18.4±0.8, 12.4±0.6, 20.2±1.3（抬升速率）	階地定年	紀權宥，2007
		14.3~19.1（抬升速率）	階地定年	Shyu et al., 2008

	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
	滑移虧損率(slip deficit rate)(mm/yr)	上界 10.7 平均 6.8 下界 4.4	1. BLOCKS Model 2. DEFNODE Model 3. Baseline Inversion Model	景國恩等，2020
	單一事件變位量(m)	1.51	log D= 1.03Mw-7.03 σ=0.34 （平移斷層）	Wells and Coppersmith, 1994
	最大可能地震規模(Mw)	7.0	Mw =3.98+1.02 log A σ=0.23 （平移斷層） (面積參照本表)	Wells and Coppersmith, 1994
		6.9	$M = \log A + \frac{2}{3}\log \frac{\max(1, \sqrt{\frac{A}{H^2}})}{[1+\max(1, \frac{A}{H^2\beta})]/2} + const.,$ (面積參照本表)	Yen and Ma, 2011
	地震復發間隔(年)	100-150	各破裂事件特徵地震模式權重最高之地震復發間隔時間區間	本計畫推估
	最近一次活動時間	未知	-	-

35-2 邏輯樹更新

利吉斷層屬於鹿野-利吉斷層系。本計畫鹿野斷層及利吉斷層的破裂模式，參考地調所條帶地質圖，利吉斷層長度為 25 公里，如圖 34-2.1 所示。

利吉斷層幾何，利吉斷層主要考慮地震深度分布剖面，在深度 0-22 公里的傾角約 55 度，深度 22 公里以下約 40 度，破裂深度上，本計畫認為岩石在深度超過 30 公里已屬於塑性帶，不易產生脆性破裂，因此以深度 30 公里作為邏輯樹上限值，深度範圍為 25~30 公里，中值則取平均值為 27.5 公里。

利吉斷層之抬升速率資料彙整如表 35-2.1 所示。抬升速率根據階地高差得到的範圍為 12.4~20.2 mm/yr，本計畫除了以斷層傾角 55 度換算至斷層面上，也考慮斷層面滑移角 50~70 度之情形，得到淨滑移速率範圍為 16.1~32.2 mm/yr (表 35-2.2)，以 16.1 mm/yr 及 32.2 mm/yr 作為上下界，兩者的平均值 24.2 mm/yr 作為中值。

利吉斷層位於池上斷層南邊，上盤出露利吉層，也屬於活動性高的潛移斷層，間震期會藉由潛移釋放部分能量，因此需考慮折減地震矩率以符合目前觀測之現況。本計畫考慮滑移速率×0.5，將前述之滑移速率折減一半即為本計畫邏輯樹數值，權重採用常態分布：8.1 mm/yr (0.2)，12.1 mm/yr (0.6)及 16.1 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，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，表 35-2.3 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

利吉斷層最近一次發生時間未知，因此採用 Poisson 模式進行評估。

鹿野斷層及利吉斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 34-2.3 所示。

表 35-2.1：利吉斷層長期抬升速率資料彙整

參考文獻	位置	資料	定年方法	高差 (m)	年代(年)	抬升速率 (mm/yr)
紀權宥，2007	新良	FT5, 定年點 A	C14	25	1360±60	18.4±0.8
		FT5, 定年點 B	C14	20	1530~1690	12.4±0.6
	利吉	FT5, 定年點 D	C14	20	992±63	20.2±1.3
Shyu et al., 2008	鸞山大橋東側	Terrace 2	C14	18	940~1260	14.3~19.1

表 35-2.2：利吉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)

抬升速率 (mm/yr)	傾角(度)	滑移角(度)	淨滑移速率 (mm/yr)
12.4	55	50	19.8
	55	60	17.5
	55	70	16.1
20.2	55	50	32.2
	55	60	28.5
	55	70	26.2

表 35-2.3：利吉斷層之破裂事件特徵地震規模計算

斷層名稱	長度 (km)	深度 (km)	傾角 (度)	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	
利吉	25	深度 0-22 km, 55E 深度 22km 以下, 40E		35.4	885	6.7	7.0	7.3	6.9

35-3 規模與年發生率之關係

鹿野-利吉斷層系統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 34-3.1 為鹿野斷層 1 個破裂事件以深度中值計算得到的特徵地震模式分布情形，圖 34-3.2 為利吉斷層 1 個破裂事件以深度中值計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 34-2.3 之鹿野-利吉斷層系統邏輯樹可得到 72 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 34-3.3 為鹿野斷層及利吉斷層之規模-權重分布圖，其中鹿野斷層以規模 6.9 之權重最高，利吉斷層以規模 7.0 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 34-3.4 為地震復發間隔時間-權重分布圖，鹿野斷層在地震復發間隔時間 100~150 年間有較高之權重，而利吉斷層在地震復發間隔時間 100~150 年間有較高之權重。

將破裂模式之規模-權重加總即得到圖 34-3.5（a）之鹿野-利吉斷層系統規模-權重分布圖，同理，將地震復發間隔時間-權重加總即得到圖 34-3.5（b）之鹿野-利吉斷層系統地震復發間隔時間-權重分布圖。

35-4 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 模式估算嶺頂斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，鹿野-利吉斷層系統最後一次發生時間為未知，本計畫採用 Poisson 模式進行評估。

將鹿野-利吉斷層系統之發生率拆解為鹿野斷層及利吉斷層，可得到各別斷層之發生機率，表 35-4.1 為利吉斷層評估之結果，以 Poisson 模式得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 11.1%、16.8%及 27.1%。

表 35-4.2 為鹿野-利吉斷層系統評估之結果，以 Poisson 模式得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 22.2%、33.6%及 54.1%。

表 35-4.1：利吉斷層系統發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
M ≧6.5	11.1%	16.8%	27.1%

表 35-4.2：鹿野-利吉斷層系統發生機率評估

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.6 ≦ M ≦7.4	22.2%	33.6%	54.1%

第三十六章、斷層參數總彙整

經彙整文獻後，蒐集完成各活動斷層之參數，建立活動斷層邏輯樹之分段、參數及權重詳列於表 36.1 中。

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，探討參數合適性加入後續斷層潛勢評估中。

表 36.1：活動斷層參數表

斷層名稱	分段		長度（km）	斷層幾何	深度（km）	面積(km^2)(邏輯樹中值)	滑移特性	斷層滑移速率（mm/yr）	最近一次活動時間（yr）	特徵地震規模(Mw)			
										W & C, 1994			Y & M, 2011
										-σ	中值	+σ	
山腳	整段	A	83	深度 0-6 km, 傾角 60E 深度>6 km, 傾角 25E	10(0.3) **12.5(0.4)** 15(0.3)	1851	正移	0.8(0.2) 1.8(0.6) 2.8(0.2)	未知	7.0	7.3	7.6	7.3
				深度 0-9 km, 傾角 70E 深度>9 km, 傾角 35E		1303				6.8	7.1	7.4	7.1
				傾角 80E		1054				6.7	7.0	7.3	7.0
	北段	B	53	深度 0-6 km, 傾角 60E 深度>6 km, 傾角 25E	10(0.3) **12.5(0.4)** 15(0.3)	1182		0.8(0.2) 1.5(0.6) 2.2(0.2)	A.D.1867(？)	6.8	7.1	7.4	7.1
				深度 0-9 km, 傾角 70E 深度>9 km, 傾角 35E		832				6.6	6.9	7.2	6.9
				傾角 80E		673				6.5	6.8	7.1	6.8
	南段	C	30	深度 0-6 km, 傾角 60E 深度>6 km, 傾角 25E	10(0.3) **12.5(0.4)** 15(0.3)	669		0.7(0.2) 2.3(0.6) 3.8(0.2)	A.D.1694(？)	6.5	6.8	7.1	6.8
				深度 0-9 km, 傾角 70E 深度>9 km, 傾角 35E		471				6.4	6.7	7.0	6.7
				傾角 80E		381				6.3	6.6	6.9	6.6
湖口	A		21	深度 0-7 km, 傾角 60E	-	170	逆移	0.2(0.2) 1.6(0.6) 2.9(0.2)	三萬年以來曾經活動	6.0	6.3	6.6	6.2
				深度 0-7 km, 傾角 60E 深度 7-11 km, 傾角 10E		653				6.6	6.9	7.2	6.8
				深度 7-11 km, 傾角 10E		483				6.4	6.7	7.0	6.7
	B		30	深度 0-7 km, 傾角 60E		243				6.2	6.5	6.8	6.4
				深度 0-7 km, 傾角 60E 深度 7-11 km, 傾角 10E		933				6.7	7.0	7.3	7.0
				深度 7-11 km, 傾角 10E		690				6.6	6.9	7.2	6.8
	C		47	深度 0-7 km, 傾角 60E		381				6.4	6.7	7.0	6.6
				深度 0-7 km, 傾角 60E 深度 7-11 km, 傾角 10E		1462				6.9	7.2	7.5	7.2
				深度 7-11 km, 傾角 10E		1081				6.8	7.1	7.4	7.0
新竹	A		17	深度 0-10 km, 傾角 50E	-	223	逆移兼右移	1.9(0.2) 2.7(0.6) 3.5(0.2)	更新世晚期	6.1	6.4	6.7	6.3
				深度 0-7 km, 傾角 50E 深度 7-10 km, 傾角 10E		449				6.4	6.7	7.0	6.7
				深度 0-6 km, 傾角 45E 深度 6-10 km, 傾角 10E		536				6.5	6.8	7.1	6.7
	B		29	深度 0-10 km, 傾角 50E		380				6.4	6.7	7.0	6.6
				深度 0-7 km, 傾角 50E 深度 7-10 km, 傾角 10E		766				6.6	6.9	7.2	6.9
				深度 0-6 km, 傾角 45E 深度 6-10 km, 傾角 10E		914				6.7	7.0	7.3	7.0
	C		34	深度 0-10 km, 傾角 50E		445				6.4	6.7	7.0	6.6

			深度 0-7 km，傾角 50E 深度 7-10 km，傾角 10E		898				6.7	7.0	7.3	7.0
			深度 0-6 km，傾角 45E 深度 6-10 km，傾角 10E		1071				6.8	7.1	7.4	7.0
	D	46	深度 0-10 km，傾角 50E		603				6.5	6.8	7.1	6.8
			深度 0-7 km，傾角 50E 深度 7-10 km，傾角 10E		1214				6.8	7.1	7.4	7.1
			深度 0-6 km，傾角 45E 深度 6-10 km，傾角 10E		1449				6.9	7.2	7.5	7.2
新城	A	28	深度 0-10 km，傾角 40S	-	437	逆移	1.8(0.2) 2.2(0.6) 2.5(0.2)	＜300 yr	6.4	6.7	7.0	6.6
			深度 0-4 km，傾角 35S 水平延伸 7 km 深度 4-9 km，傾角 35S		636				6.6	6.9	7.2	6.8
			深度 0-3.5 km，傾角 30S 水平延伸 7 km 深度 3.5-9 km，傾角 30S		700				6.6	6.9	7.2	6.8
	B	16	深度 0-10 km，傾角 40S		250				6.2	6.5	6.8	6.4
			深度 0-4 km，傾角 35S 水平延伸 7 km 深度 4-9 km，傾角 35S		363				6.3	6.6	6.9	6.6
			深度 0-3.5 km，傾角 30S 水平延伸 7 km 深度 3.5-9 km，傾角 30S		400				6.4	6.7	7.0	6.6
獅潭-屯子腳系統	屯子腳 A	17	傾角 65S(0.2) **傾角 75S(0.6)** 傾角 85S(0.2)	11(0.2) **13(0.6)** 15(0.2)	229	右移	0.3(0.3) 1.1(0.4) 1.9(0.3)	A.D.1935	6.2	6.4	6.6	6.4
	屯子腳 B	40			538				6.6	6.8	7.0	6.7
	獅潭 C	15	傾角 40W(0.2) **傾角 50W(0.6)** 傾角 60W(0.2)	6(0.2) **8(0.6)** 10(0.2)	157	逆移	1.0(0.3) 2.7(0.4) 4.5(0.3)		6.0	6.3	6.6	6.2
	獅潭 D	25			261				6.2	6.5	6.8	6.4
	獅潭 E	35			366				6.3	6.6	6.9	6.6
	獅潭-屯子腳 F	40(屯) 35(獅)	屯子腳：傾角 75S 獅潭：傾角 50W	屯：13 獅：8	904	-	0.5(0.3) 1.7(0.4) 3.3(0.3)		6.7	7.0	7.3	7.0
三義	A	18	深度 0-10 km，傾角 25E	-	426	逆移	0.4(0.2) 1.8(0.6) 3.1(0.2)	全新世	6.4	6.7	7.0	6.6
			深度 0-10 km，傾角 15E		695				6.6	6.9	7.2	6.8
	B	21	深度 0-10 km，傾角 25E		497				6.5	6.8	7.1	6.7
			深度 0-10 km，傾角 15E		811				6.6	6.9	7.2	6.9
	C	23	深度 0-8 km，傾角 25E		435				6.4	6.7	7.0	6.6
			深度 0-8 km，傾角 35E		321				6.3	6.6	6.9	6.5
			深度 0-8.5 km，傾角 40E		304				6.3	6.6	6.9	6.6
	D	44	A: 深度 0-10 km，傾角 15E C: 深度 0-8 km，傾角 25E		1247				6.8	7.1	7.4	7.1
			A: 深度 0-10 km，傾角 25E C: 深度 0-8.5 km，傾角 40E		801				6.6	6.9	7.2	6.9

大甲-彰化系統	大甲	A	30	深度 2-4 km, 傾角 20E 深度 4-8 km, 傾角 8.5E **深度 2-6 km, 傾角 25E** **深度 6-8 km, 傾角 5E** 深度 2-4.5 km, 傾角 30E 深度 4.5-8.5 km, 傾角 10E	-	972	逆移	3.4(0.2) 9.8(0.6) 16.1(0.2)	A.D.1848(？)	6.7	7.0	7.3	7.0
	彰化	B	36	深度 2-6 km, 傾角 20E 深度 6-8 km, 傾角 8.5E **深度 2-7.5 km, 傾角 25E** **深度 7.5-8 km, 傾角 5E** 深度 2-7 km, 傾角 30E 深度 7-8.5 km, 傾角 10E	-	677		4.0(0.2) 15.2(0.6) 26.3(0.2)		6.6	6.9	7.2	6.8
		C	51	深度 2-6 km, 傾角 20E 深度 6-8 km, 傾角 8.5E **深度 2-7.5 km, 傾角 25E** **深度 7.5-8 km, 傾角 5E** 深度 2-7 km, 傾角 30E 深度 7-8.5 km, 傾角 10E	-	959				6.7	7.0	7.3	7.0
		D	50	深度 2-6 km, 傾角 20E 深度 6-8 km, 傾角 8.5E **深度 2-7.5 km, 傾角 25E** **深度 7.5-8 km, 傾角 5E** 深度 2-7 km, 傾角 30E 深度 7-8.5 km, 傾角 10E	-	940				6.7	7.0	7.3	7.0
	系統破裂	E	66	同南北段數值	-	1649		3.6(0.2) 12.0(0.6) 20.3(0.2)		6.9	7.2	7.5	7.3
		F	81	同南北段數值	-	1931				7.0	7.3	7.6	7.4
		G	80	同南北段數值	-	1912				7.0	7.3	7.6	7.3
車籠埔	整段	A	103	深度 0-8 km, 傾角 25E 深度 8-11 km, 傾角 8.5E **深度 0-8 km, 傾角 35E** **深度 8-10 km, 傾角 5E** 深度 0-8.5 km, 傾角 40E 深度 8.5-14 km, 傾角 10E	-	3800	逆移	10.8(0.2) 14.1(0.6) 17.5(0.2)	A.D.1999	7.3	7.6	7.9	7.7
		B	88		-	3247				7.2	7.5	7.8	7.7
		C	87		-	3210				7.2	7.5	7.8	7.6
		D	72		-	2656				7.1	7.4	7.7	7.5
	北段	E	40		-	1476				6.9	7.2	7.5	7.2
		F	24		-	885				6.7	7.0	7.3	6.9
	南段	G	63		-	2324				7.1	7.4	7.7	7.5
		H	48		-	1771				7.0	7.3	7.6	7.3
大茅埔-雙冬	整段	A	69	深度 0-5 km, 傾角 40E 深度 5-6.5 km, 傾角 5.5E **深度 0-5 km, 傾角 50E** **水平延伸 17 公里**	-	1623	逆移	0.7(0.3) 1.3(0.4) 2.0(0.3)	未知	6.9	7.2	7.5	7.3
	雙冬	B	55	深度 0-5 km, 傾角 45E 深度 5-9 km, 傾角 10.5E	-	1294				6.8	7.1	7.4	7.1

九芎坑	九芎坑+桐樹湖	A	28	深度 0-4 km, 傾角 27.5E 深度 4-6 km, 傾角 8.5E **深度 0~2 km，25E** **深度 2~2.5 km，3.5E** **深度 2.5~5 km，30E**	-	502	逆移	0.3(0.2) 6.2(0.6) 12.0(0.2)	＜18,540 年	6.5	6.8	7.1	6.7
	九芎坑	B	17	深度 0~1 km，35E 深度 1~2 km，10E 深度 2~7 km，37.5E	-	305				6.3	6.6	6.9	6.5
梅山	A		13	傾角 75S(0.3) **傾角 80S(0.4)** 傾角 85S(0.3)	10(0.3) **12.5(0.4)** 15(0.3)	165	右移	1.5(0.3) 5.2(0.4) 9.9(0.3)	A.D.1906	6.0	6.2	6.4	6.2
	B		25			317				6.3	6.5	6.7	6.5
	C		23			292				6.3	6.5	6.7	6.5
	D		35			444				6.5	6.7	6.9	6.6
觸口	觸口	A	28	深度 0-7 km, 傾角 45E 水平延伸 12 km	-	741	逆移	4.8(0.3) 6.8(0.4) 8.7(0.3)	38,000 年前	6.6	6.9	7.2	6.9
	大尖山+觸口	B	42	**深度 0-7.5 km, 傾角 30E**	-	1111				6.8	7.1	7.4	7.0
	觸口+崙後	C	58	**深度 7.5-8 km, 傾角 2.5E**	-	1535				6.9	7.2	7.5	7.2
	大尖山+觸口+崙後	D	72	深度 0-5 km, 傾角 23E 深度 5-10 km, 傾角 40E	-	1905				7.0	7.3	7.6	7.3
木屐寮-六甲	木屐寮	A	13	深度 0-6 km, 傾角 45E 深度 6-8 km, 傾角 6E	-	383	逆移	4.4(0.2) 9.8(0.6) 15.2(0.2)	1 萬年以內	6.4	6.7	7.0	6.6
	六甲	B	22	**深度 0-4 km, 傾角 45E** **深度 4-9 km, 傾角 17E** **深度 9-9.7 km, 傾角 6E**	-	648				6.6	6.9	7.2	6.8
	木屐寮+六甲	C	35	深度 0-11 km, 傾角 45E 深度 11-12 km, 傾角 3.5E	-	1031				6.7	7.0	7.3	7.0
新化	A		12	傾角 70S(0.3) **傾角 80S(0.4)** 傾角 90S(0.3)	10(0.3) **12.5(0.4)** 15(0.3)	152	帶垂直分量的右移	18.0(0.3) 18.9(0.4) 19.8(0.3)	A.D.1946	6.0	6.2	6.4	6.2
	B		24			305				6.3	6.5	6.7	6.5
後甲里斷層系統	A		12	深度 1-5 km, 傾角 55E	-	59	逆移	2.5(0.2) 5.0(0.6) 7.5(0.2)	A.D.1862(?)	5.6	5.9	6.2	5.8
				深度 1-5 km, 傾角 55E 深度 5-7 km, 傾角 10E	-	197				6.1	6.4	6.7	6.3
				深度 1-5 km, 傾角 55E 深度 5-10 km, 傾角 10E	-	404				6.4	6.7	7.0	6.6
				深度 0-4 km, 傾角 45W	-	68				5.7	6.0	6.3	5.8
				深度 0-5 km, 傾角 75W	-	62				5.6	5.9	6.2	5.8
	B		15	深度 1-5 km, 傾角 55E	-	74				5.7	6.0	6.3	5.9
				深度 1-5 km, 傾角 55E 深度 5-7 km, 傾角 10E	-	246				6.2	6.5	6.8	6.4
				深度 1-5 km, 傾角 55E 深度 5-10 km, 傾角 10E	-	506				6.5	6.8	7.1	6.7

			深度 0-4 km, 傾角 45W	-	86				5.8	6.1	6.4	5.9
			深度 0-5 km, 傾角 75W	-	78				5.7	6.0	6.3	5.9
左鎮	A	20	傾角 75N(0.3) **傾角 80N(0.4)** 傾角 85N(0.3)	8(0.3) **11(0.4)** 14(0.3)	223	左移	1.9(0.3) 3.7(0.4) 5.5(0.3)	-	6.2	6.4	6.6	6.3
小崗山	A	9	深度 0-10 km,傾角 45E	-	127	逆移	1.6(0.2) 3.9(0.6) 6.2(0.2)	更新世晚期	5.9	6.2	6.5	6.1
			深度 0-10 km,傾角 45E 深度 10-12 km,傾角 9E		242				6.2	6.5	6.8	6.4
	B	31	深度 0-10 km,傾角 45E		438				6.4	6.7	7.0	6.6
			深度 0-10 km,傾角 45E 深度 10-12 km,傾角 9E		834				6.7	7.0	7.3	6.9
旗山	A	30	深度 0-6 km, 傾角 65E 深度 6-13.5 km, 傾角 35E		519	逆移	2.6(0.2) 5.3(0.6) 8.0(0.2)	距今 7,189 年	6.5	6.8	7.1	6.7
	B	41	**深度 0-1 km, 傾角 35E** **深度 1-3 km, 傾角 60E** **深度 3-11.5 km, 傾角 40E**		709				6.6	6.9	7.2	6.9
	C	71	深度 0-3 km, 傾角 30E 深度 3-12 km, 傾角 60E		1228				6.8	7.1	7.4	7.1
潮州	北段 A	44	傾角 60E(0.3) **傾角 70E(0.4)** 傾角 80E(0.3)	15(0.3) **17.5(0.4)** 20(0.3)	819	逆移斷層 兼具左移	0.4(0.2) 1.3(0.6) 2.1(0.2)	更新世晚期	6.7	7.0	7.3	6.9
	北段 B	60			1117				6.8	7.1	7.4	7.0
	南段 C	30			559				6.5	6.8	7.1	6.7
	南段 D	46			857				6.7	7.0	7.3	6.9
	整段 E	74			1378				6.9	7.2	7.5	7.2
	整段 F	90			1676				6.9	7.2	7.5	7.3
	整段 G	90			1676				6.9	7.2	7.5	7.3
	整段 H	106			1974				7.0	7.3	7.6	7.4
恆春	A	28	深度 0-15 km, 傾角 60E	-	485	逆移斷層 兼具左移	1.7(0.2) 6.05(0.6) 10.4(0.2)	更新世晚期	6.4	6.7	7.0	6.7
			深度 0-20 km, 傾角 75E		580				6.5	6.8	7.1	6.8
			深度 0-25 km, 傾角 75E		725				6.6	6.9	7.2	6.9
	B	23	深度 0-15 km, 傾角 60E		398				6.4	6.7	7.0	6.6
			深度 0-20 km, 傾角 75E		476				6.4	6.7	7.0	6.7
			深度 0-25 km, 傾角 75E		595				6.5	6.8	7.1	6.8
	C	51	深度 0-15 km, 傾角 60E		883				6.7	7.0	7.3	6.9
			深度 0-20 km, 傾角 75E		1056				6.8	7.1	7.4	7.0
			深度 0-25 km, 傾角 75E		1320				6.8	7.1	7.4	7.1
米崙	A	35	深度 0-10 km, 65E	-	386	左移斷層 兼逆移	5.2(0.2) 10.4(0.6) 15.7(0.2)	A.D.1951 A.D.2018	6.4	6.7	7.0	6.6
			深度 0-10 km, 65E 深度 10-25 km, 80W		921				6.7	7.0	7.3	7.0
			深度 0-10 km, 65E 深度 10-30 km, 80W		1096				6.8	7.1	7.4	7.0

嶺頂-瑞穗斷層系統	嶺頂	A	37	傾角 60E(0.3) **傾角 65E(0.4)** 傾角 70E(0.3)	25(0.3) **27.5(0.4)** 35(0.3)	1123	左移斷層兼逆移	3.6(0.3) 8.6(0.4) 14.4(0.3)	未知	6.8	7.1	7.4	7.1
	瑞穗	B	24			728	逆移斷層兼具左移	14.0(0.2) 19.5(0.6) 24.9(0.2)	A.D.1951	6.6	6.9	7.2	6.9
	整段	C	61			1851	-	7.7(0.2) 12.9(0.6) 18.5(0.2)	未知	7.0	7.3	7.6	7.3
奇美	A		23	傾角 75S(0.3) **傾角 80S(0.4)** 傾角 85S(0.3)	20(0.3) **25(0.4)** 30(0.3)	584	逆移	0.5(0.7) 3.0(0.3)	更新世晚期	6.5	6.8	7.1	6.8
玉里	A		23	51E	10	296	左移斷層兼逆移	3.6(0.3) 15.1(0.4) 26.6(0.3)	A.D.1951	6.3	6.6	6.9	6.5
池上斷層	北段	A	27	深度 0-20 km, 60E	-	624	逆移斷層兼具左移	15.4(0.2) 19.0(0.6) 22.6(0.2)	A.D.1951	6.5	6.8	7.1	6.8
				深度 0-20 km, 60E 深度 20-25 km, 25E		942				6.7	7.0	7.3	7.0
				深度 0-20 km, 60E 深度 20-27 km, 25E		1072				6.8	7.1	7.4	7.0
	南段	B	38	深度 0-20 km, 60E		878			A.D.2003	6.7	7.0	7.3	6.9
				深度 0-20 km, 60E 深度 20-25 km, 25E		1326				6.8	7.1	7.4	7.1
				深度 0-20 km, 60E 深度 20-27 km, 25E		1509				6.9	7.2	7.5	7.2
	整段	C	65	深度 0-20 km, 60E		1501			A.D.1951	6.9	7.2	7.5	7.2
				深度 0-20 km, 60E 深度 20-25 km, 25E		2269				7.1	7.4	7.7	7.4
				深度 0-20 km, 60E 深度 20-27 km, 25E		2581				7.1	7.4	7.7	7.5
鹿野-利吉斷層系統	鹿野		17	深度 0-5 km, 35E 下接利吉斷層	25(0.3) **27.5(0.4)** 30(0.3)	646	逆移	7.8(0.2) 11.1(0.6) 14.4(0.2)	<1,890-2,110 yr BP	6.6	6.9	7.2	6.8
	利吉		25	深度 0-22 km, 55E 深度 22km 以下, 40E		885	逆移兼具左移	8.1(0.2) 12.1(0.6) 16.1(0.2)		6.7	7.0	7.3	6.9

註 1：斷層幾何及深度中以粗體表示，為用來計算面積的參數。

註 2：斷層幾何、深度、斷層滑移速率中參數旁之括弧內數字為參數之權重。

註 3：特徵地震規模以斷層面積分別以 Yen and Ma（2011）及 Wells and Coppersmith（1994）之經驗公式推求得知。

第三十七章、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。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。

37-1 活動斷層潛勢圖成果

本計畫斷層潛勢圖為 33 條活動斷層潛勢圖精進之成果，分為兩種版型，分別為「台灣水平速度場及斷層活動機率圖」(圖 37-1.1)以及「台灣垂直速度場及斷層活動機率圖」(圖 37-1.2)。

「台灣水平速度場及斷層活動機率圖」是以 GPS 測站點位及 2002-2020 年水平速度場為底圖，套疊地調所 33 條活動斷層及每條活動斷層未來 50 年地震矩規模 6.5 以上之發生機率圖框，潛勢圖右下角之說明文字圖框中包含：

一、 使用者須知，共三點：

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

二、 圖版說明，包含以下內容：

- 製圖日期：中華民國 109 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 2020 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：池上斷層及利吉斷層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 2002-2020 年垂直速度場為底圖，套疊地調所 33 條活動斷層及每條活動斷層未來 50 年地震矩規模 6.5 以上之發生機率圖框，潛勢圖右下角之說明文字圖框中包含：

一、 使用者須知，共三點：(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。

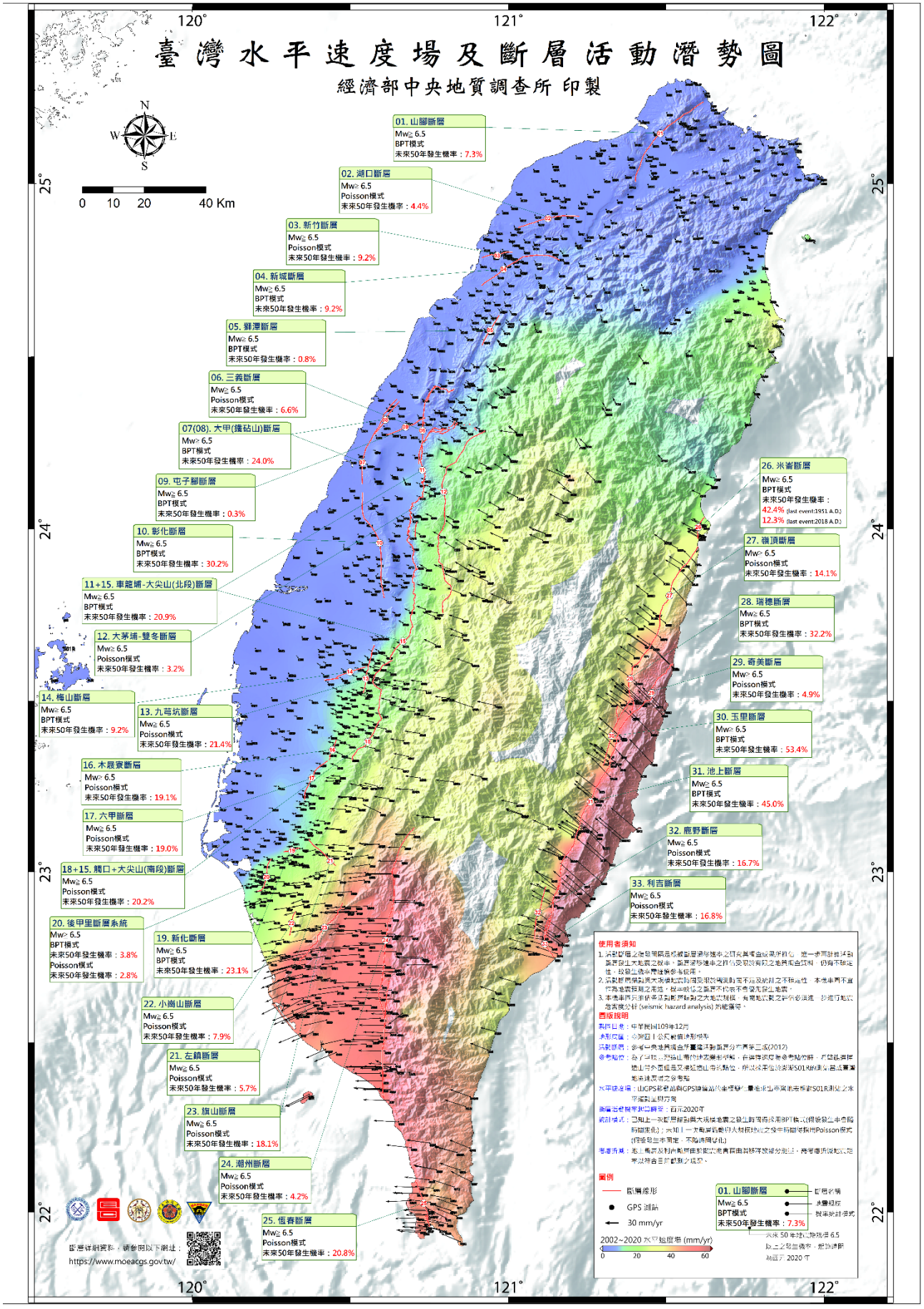


圖 37-1.1：台灣水平速度場及斷層活動機率圖。

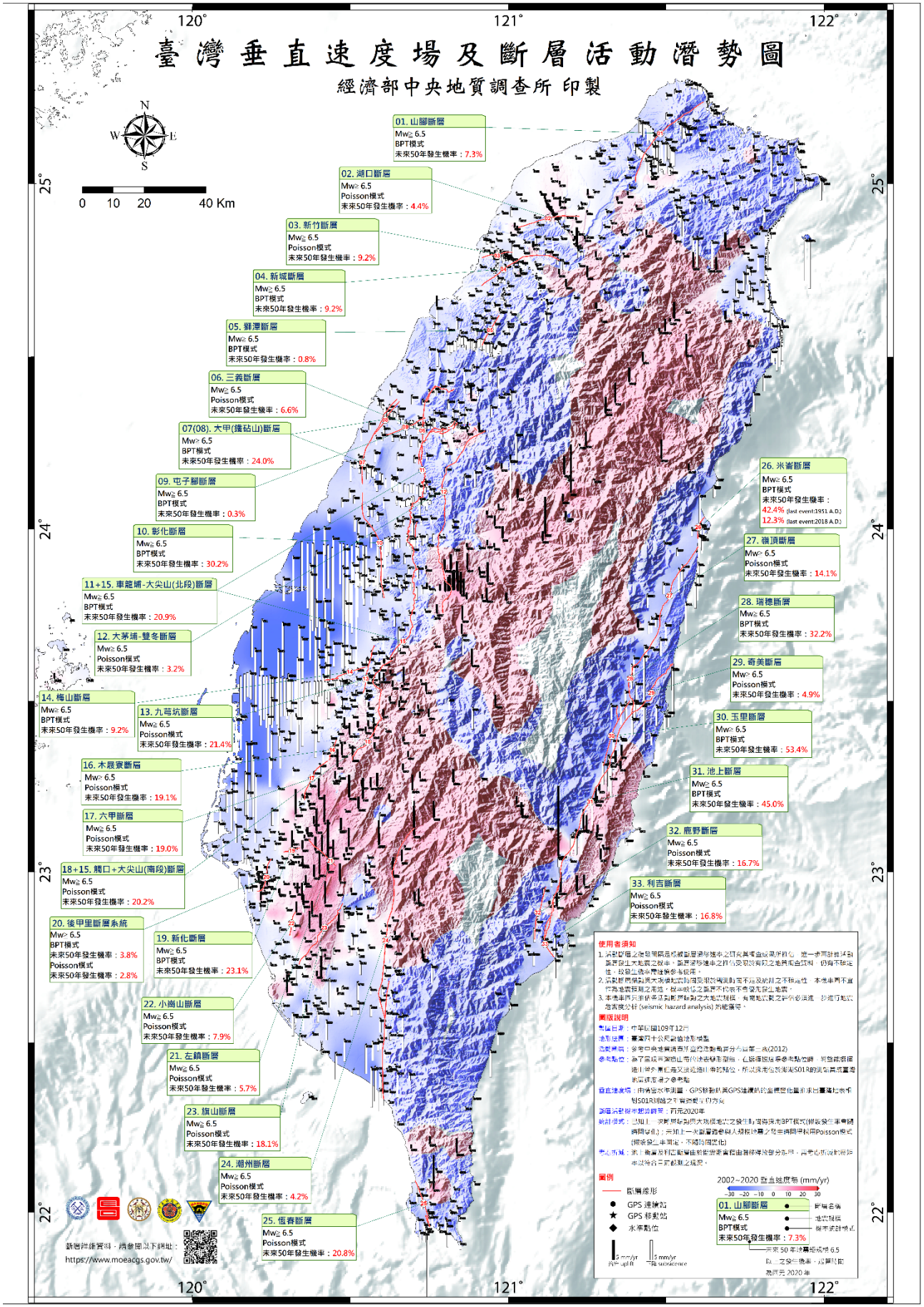


圖 37-1.2：台灣垂直速度場及斷層活動機率圖。

37-2 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 37-2.1)。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 37-2.2)。

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 37-2.3)。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 37-2.4)，「斷層資訊與活動參數」格式如圖 37-2.5 所示，「分析潛勢與評估成果」格式如圖 37-2.6。

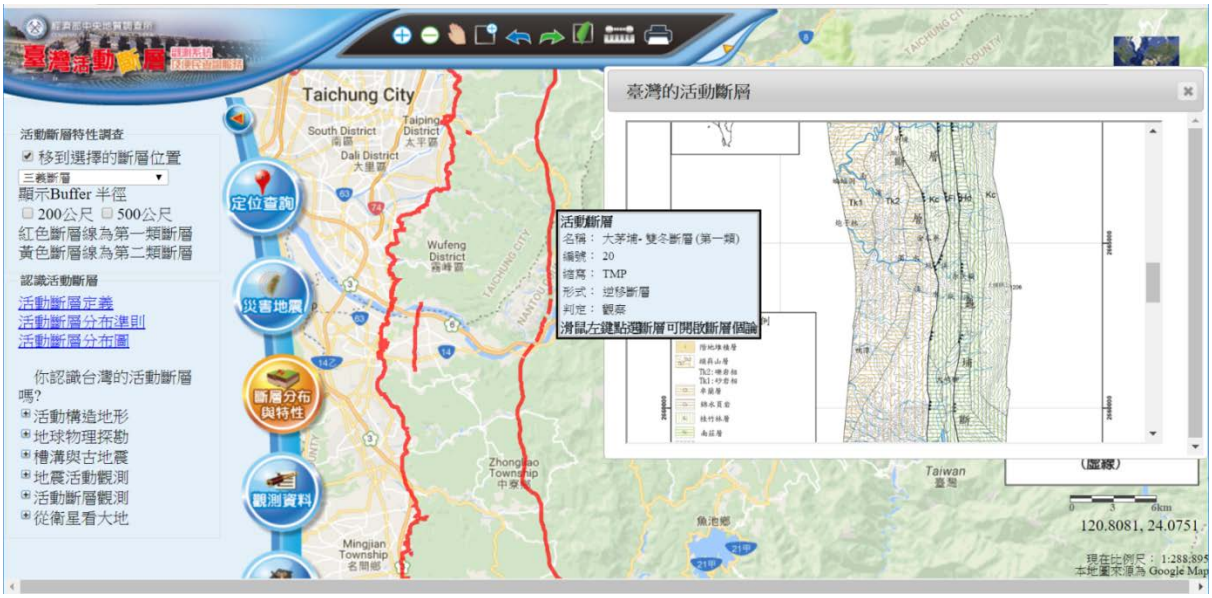


圖 37-2.1：中央地質調查所既有活動斷層查詢系統。

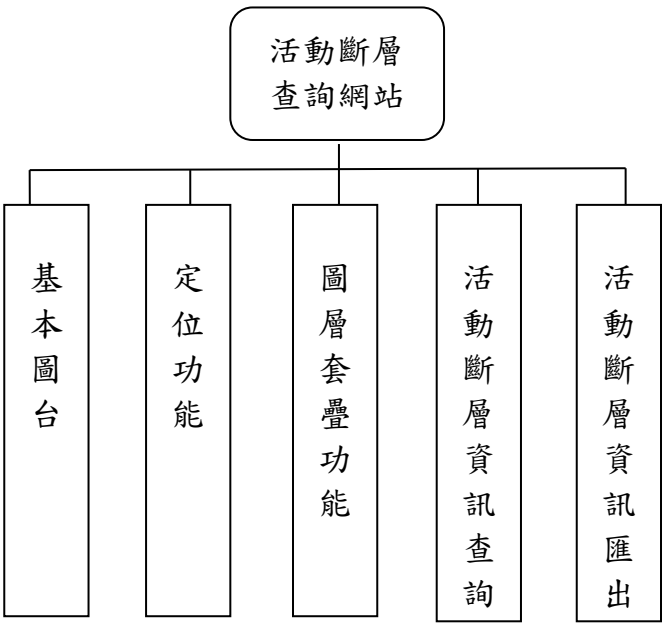


圖 37-2.2：網站功能架構圖。



圖 37-2.3：活動斷層查詢網站示意圖。

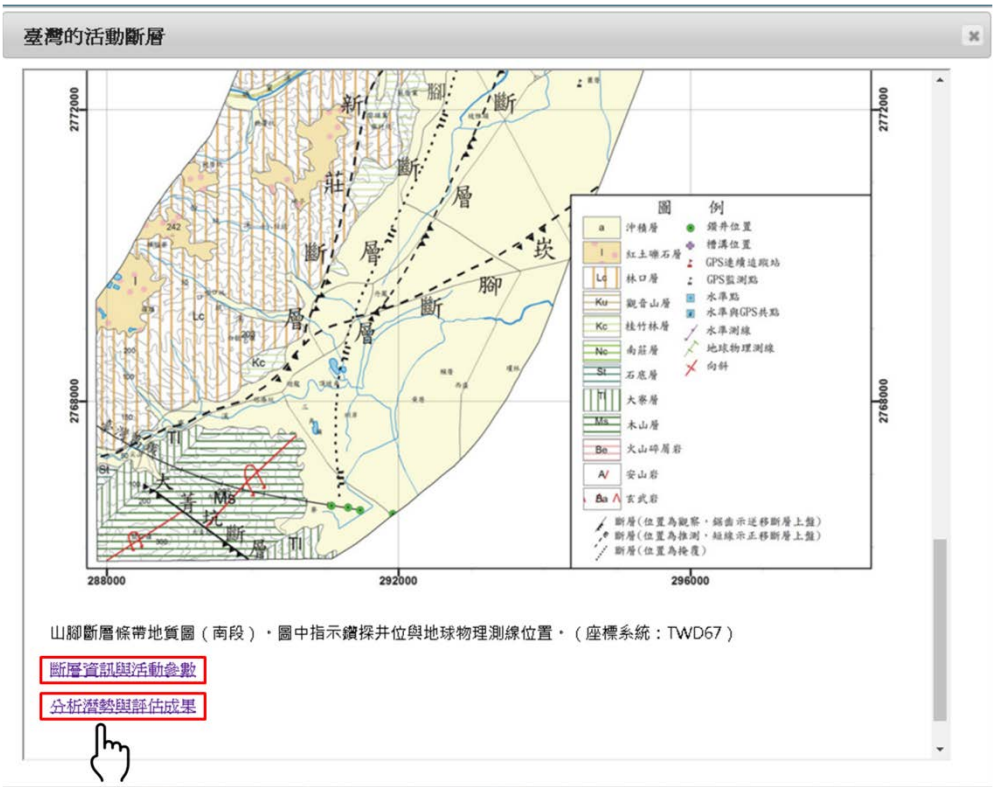
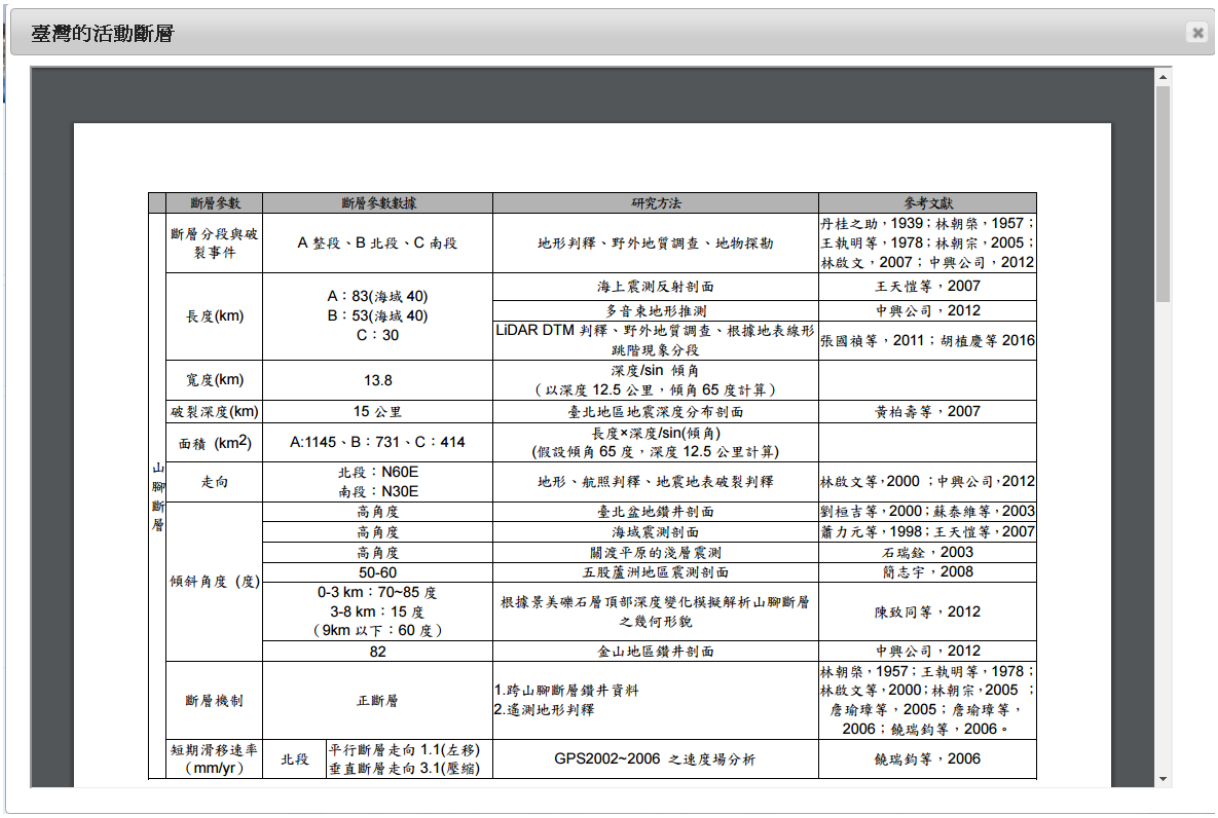
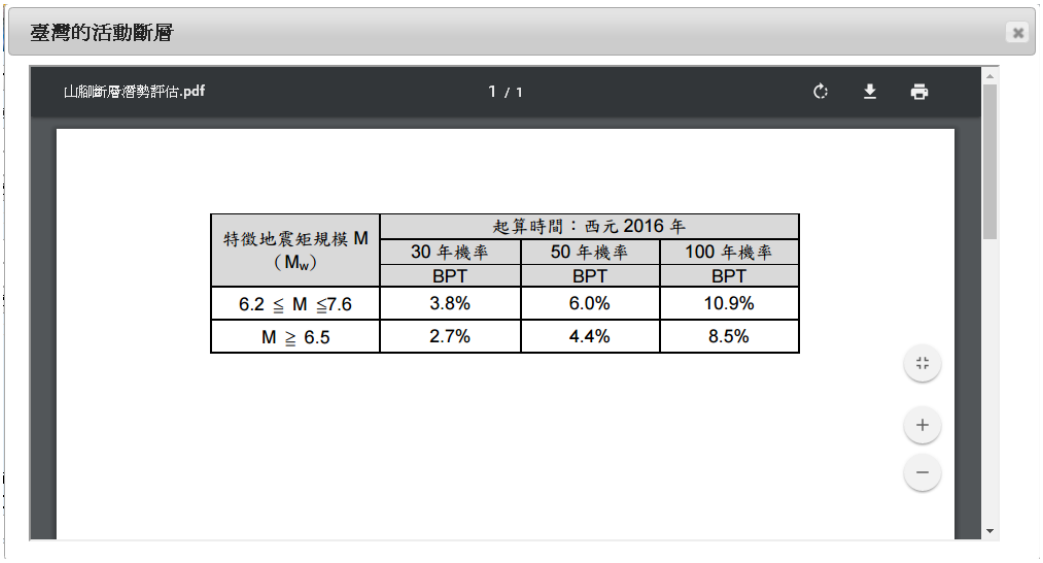


圖 37-2.4：活動斷層查詢網頁新增連結。



	斷層參數	斷層參數數據		研究方法	參考文獻
山腳斷層	斷層分段與破裂事件	A 整段、B 北段、C 南段		地形判釋、野外地質調查、地物探勘	丹桂之助，1939；林朝榮，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 37-2.5：活動斷層查詢網頁連結「斷層資訊與活動參數」。



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

圖 37-2.6：活動斷層查詢網頁連結「分析潛勢與評估成果」。

37-3 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。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 37-3.1。

照片資訊欄位如表 37-3.1 所示，說明如下：

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

本計畫各活動斷層照片、位置及說明詳見附錄 41。

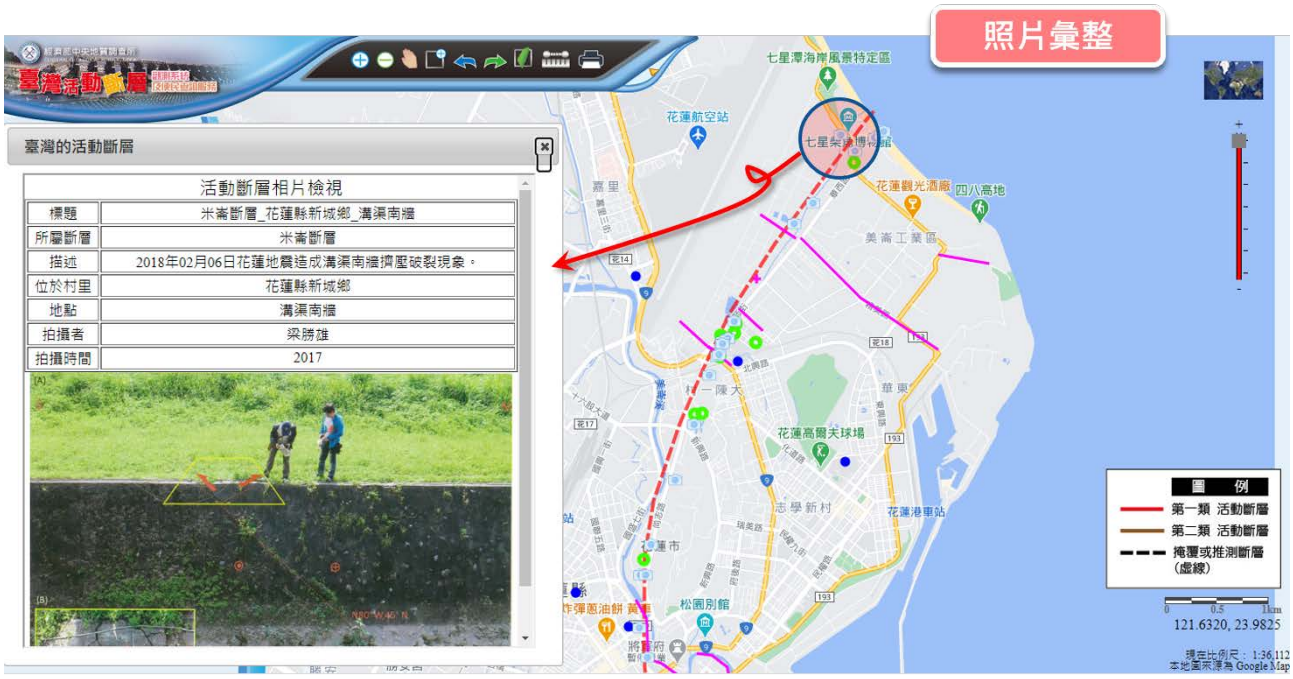


圖 37-3.1：圖臺照片連結及照片資訊。

表 37-3.1：照片欄位規劃

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

第三十八章、活動斷層潛勢圖公布相關問題研析

38-1 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。

38-1-1 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 38-1.1)，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。

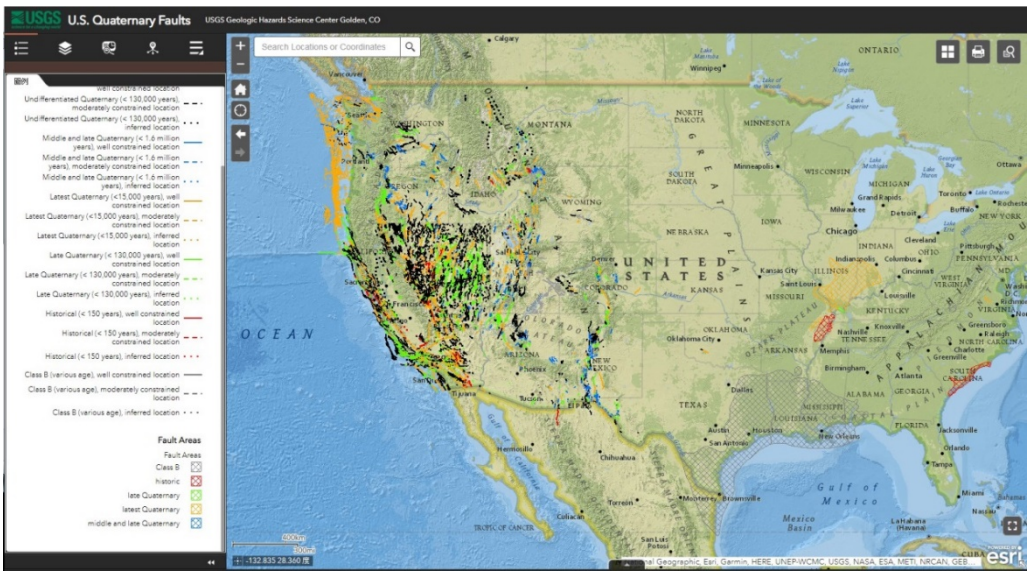


圖 38-1.1：美國地質調查所建置之活動斷層互動資訊平台。

38-1-2 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 38-1.2)。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 38-1.3)，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。

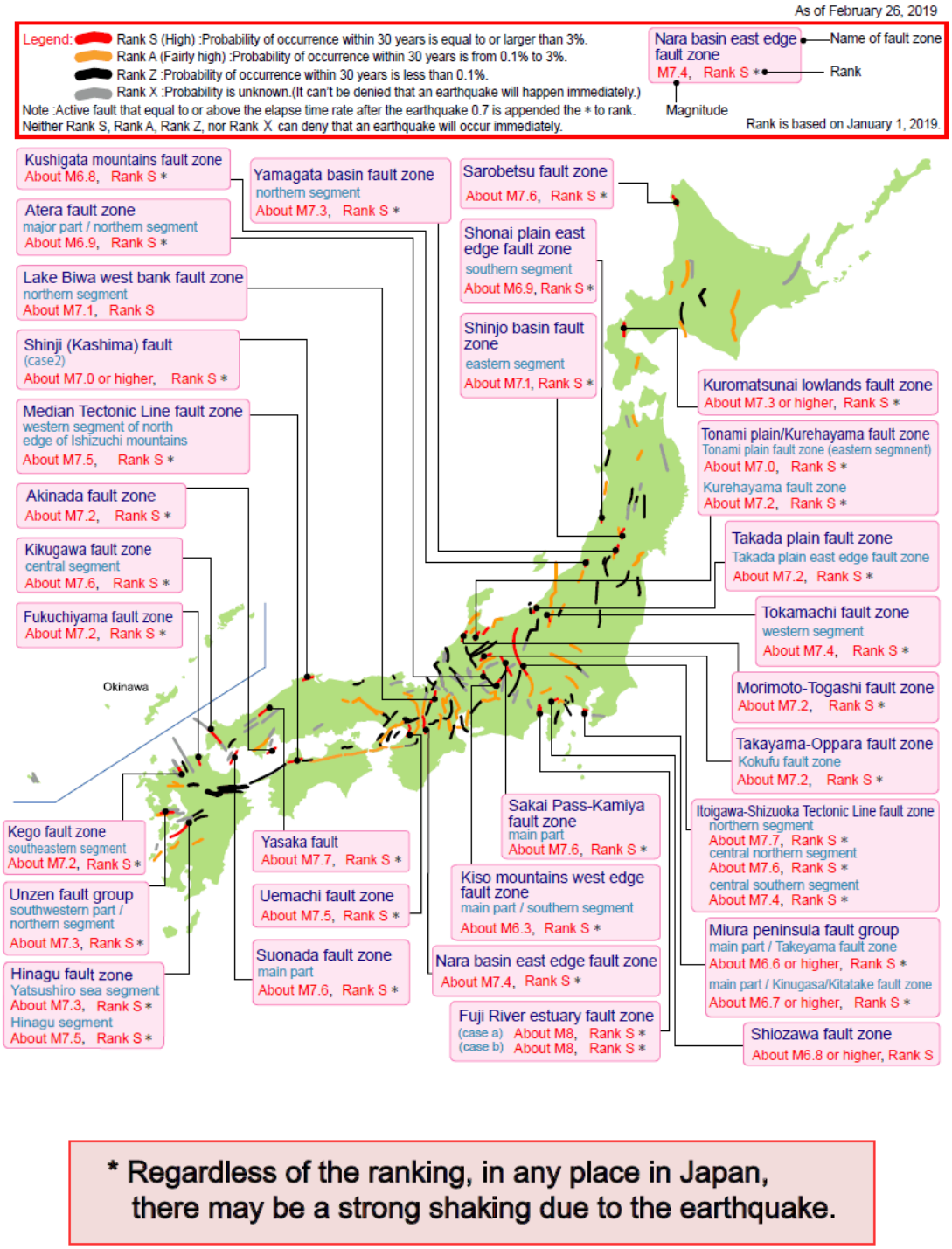


圖 38-1.2：斷層發震機率潛勢圖資。

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

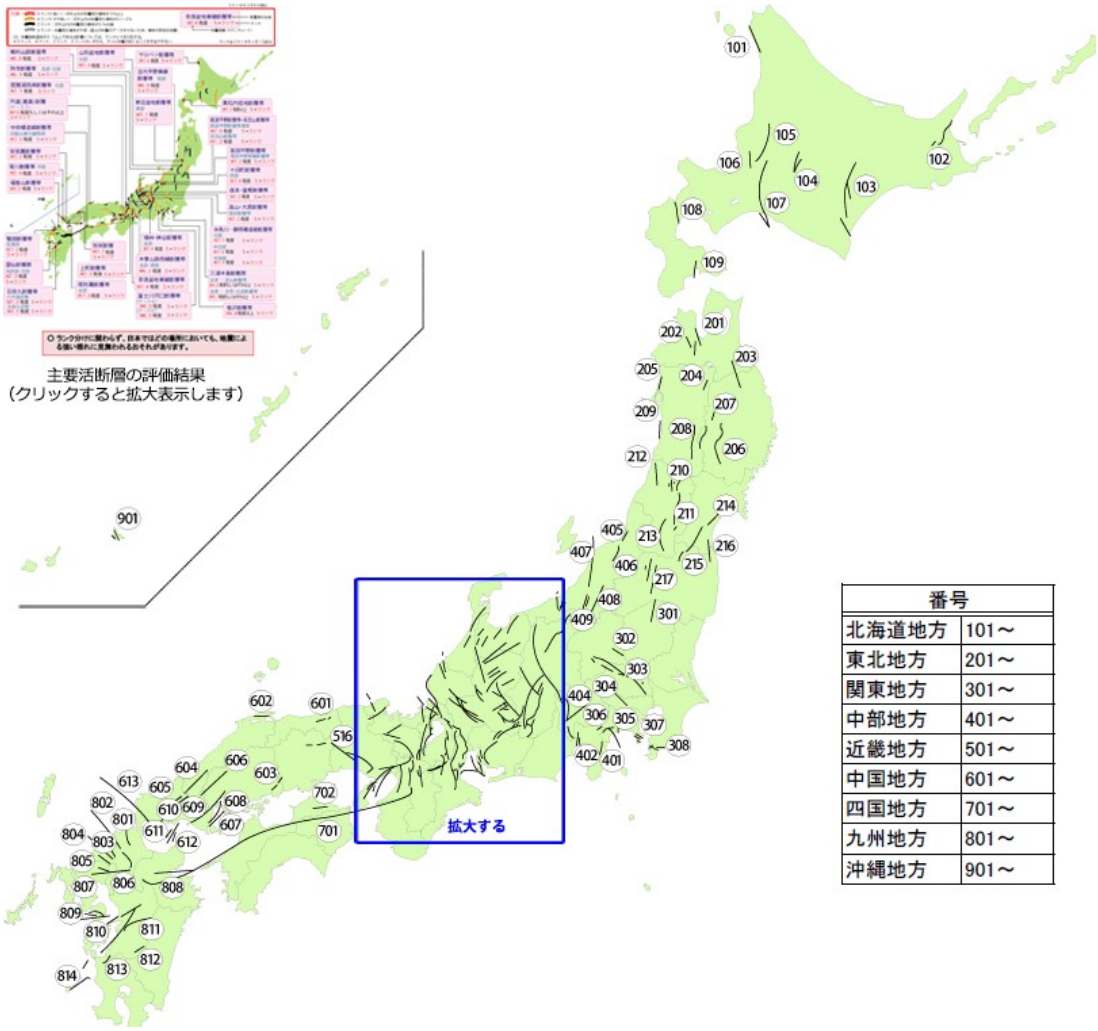


圖 38-1.3：長期評估之主要活動斷層帶概略位置圖。

38-1-3 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 38-1.4），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。

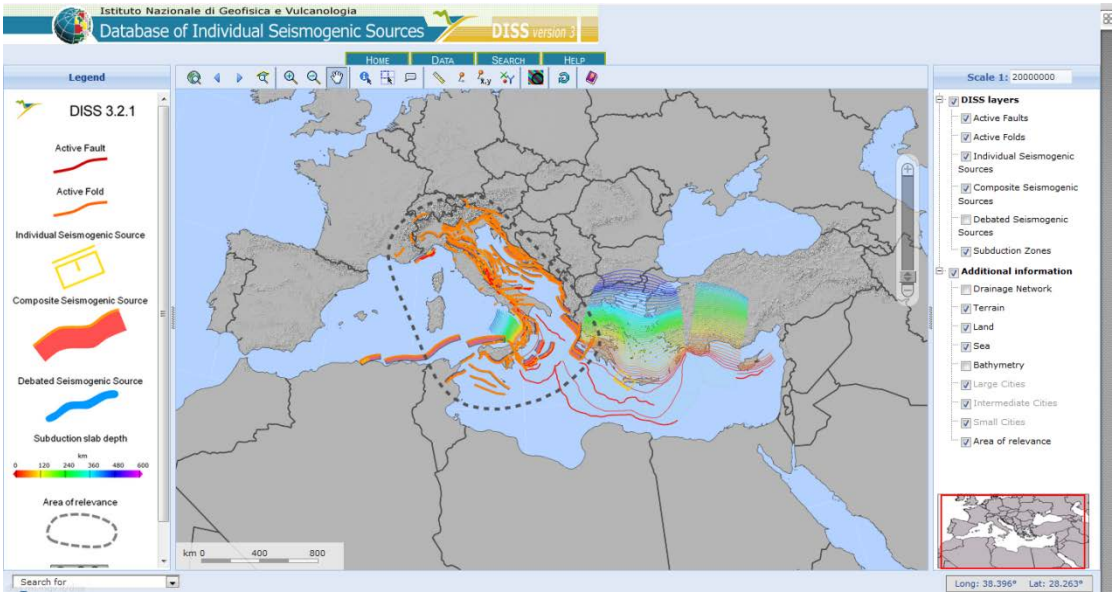


圖 38-1.4：歐洲部份區域個別孕震震源之資料庫系統。

38-2 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，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。108 年度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」。會議照片如圖 38-2.1。




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 38-2.1：106~108 年度專家座談會會議情況。

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。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。」

第三十九章、結論及建議事項

本計畫完成台灣地區 33 條活動斷層邏輯樹更新，參數持續進行資料蒐集及精進之工作，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。

綜整各別年度諮詢專家及審查委員之意見，歸納重點建議以作為未來衍生研究及精進作業工作參酌。

1. 活動斷層參數議題：

(1) 中央地質調查所目前所定義之活動斷層範圍僅限於陸域內，而斷層系統理應不會以海岸線作為斷層系統終點；因此從斷層的完整性而言，未來斷層之延伸議題，是為完整地評估活動斷層潛勢的關鍵議題之一。另，地表地質調查、鑽探及地球物理震測等淺部構造調查並未能釐清斷層深部延伸深度決定，建議可由背景地震及流變性質深入探討，更加確認斷層潛勢破裂深度。

(2) 斷層幾何細緻化及可信賴依據上，則建議以密集地震網地震監測方式，提升斷層幾何解析，再進一步檢核既有之構造地質或地質剖面所建構之幾何。

(3) 建議由大地測量資料研究存在斷層潛移現象之活動斷層，釐清潛移對於斷層孕震潛勢的貢獻並予以扣除，避免評估結果過度保守。

(4) 斷層活動與歷史地震事件關聯性往往僅使用相對空間上來做評斷，需更謹慎地檢核歷史地震與各斷層分段間的關聯性，以確保斷層潛勢評估模式套用的合理性。

2. 潛勢機率推估結果之可靠度議題：

(1) 復發週期需要由過往歷史地震文獻及觀測地震目錄的驗證，確定推估斷層發震機率所反應之最短再現週期的合理性。

(2) 影響潛勢機率推估之長期滑移速率，則建議針對評估結果潛勢高、經濟影響大之活動斷層進行更細緻地調查，加上以匯總大地測量及地震等綜合資訊反算推演之方式進行覆核，提升潛勢評估準確性。

(3) 建議可針對長期滑移速率之蒐集數據，建立文獻可靠度評估方法並提出等級。

3. 圖資公開資訊議題：

(1) 未來潛勢圖資若公布，則建議依據公布對象分級定義圖資表現方式，確保資訊傳遞效率及正確解讀。

(2) 圖資公布前需邀集產官學相關圖資上、中、下游之連帶關係組織，討論資訊影

響層面，經調整後再行公布。

(3) 圖資公開方式及作法建議逐步進行，以影響層面最小之教育宣導為起始，再行政策性及民生應用上的面向。

4. 活動斷層後續調查工作建議如下：

湖口斷層：目前滑移速率資料都是位於斷層最西側濱海處，建議可於主斷層線上(湖口背斜)進行調查，是否有可評估滑移速率的相關資料，例如進行排鑽，對比上下盤層位落差。本計畫於湖口斷層考慮了西部延伸段部分，建議於此段進行震測以釐清其是否存在及確切位置，並建立地下地質平衡剖面，釐清斷層面地下構造是否與湖口背斜處的斷層幾何不同。

三義斷層：三義斷層由於與車籠埔斷層有部分線段平行且距離很近，僅從階地推估抬升速率難以區分兩斷層的比例分配，建議可於跨三義斷層處進行排鑽，對比上下盤層位落差可較精確獲得斷層抬升速率。

車籠埔斷層：車籠埔斷層沿線地下構造剖面資料豐富，斷層幾何可朝更精細化程度發展。

屯子腳斷層：建議沿斷層線加密大地測量點位，增加模型反演解析力。

左鎮斷層：建議沿斷層線加密大地測量點位，增加模型反演解析力。

小崗山斷層：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，建議可整理相關地質調查資料並發表。

旗山斷層：從近期大地測量資料顯示，旗山斷層應帶有走向滑移分量，建議斷層模型反演時可加入滑移角的估算，以提供給潛勢評估團隊進行換算。

米崙斷層、池上斷層、利吉斷層：建議於跨斷層進行上下盤地層的錯移量調查，例如排鑽，可準確評估斷層滑移速率。

奇美斷層：目前跨奇美斷層上下盤大地測量點位數明顯不夠，使得模型反演解析力不足，建議加密跨斷層點位佈設。

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：$M_0 = \mu \times A \times \overline{D}$。其中 μ：斷層上物質的剛性係數（rigidity 或 shear modulus）；A：斷層面積；$\overline{D}$：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

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

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

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

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

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

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

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

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。

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

王宏霖（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。

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

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

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

石瑞銓、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。

石瑞銓、詹益湘、劉桓吉（2003）山腳斷層於關渡平原之淺層震測調查。經濟部中央地質調查所特刊，第 15 號，1–11 頁。

地質調查所（2016）20160206 地震地質調查報告，共 103 頁。

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

朱傚祖與游明聖（1996）臺灣花東縱谷新期大地構造：古地震、應力、應變及活動斷層位移之研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC85-2111-M-047-001，共 57 頁。

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

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。

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。
吳福泰（1965）臺北盆地新莊構造地下地質之研究。台灣石油地質，第 4 號，第 271–282 頁。
呂新民、徐友鎔、施楠（1976）中華民國六十一年六月二十四日花蓮縣瑞穗強震調查報告，中央氣象局。
李奕亨（2009）以中尺度反射震測法研究屯子腳斷層活動機制及構造上的意義，國立中央大學地球物理研究所博士論文，共 125 頁。
李建成、朱傚祖、安朔葉、胡植慶（2004）台灣東部縱谷斷層的快速潛移特性及地質災害。2004 年台灣活動斷層與地震災害研討會摘要，國立成功大學，11-18 頁。
李錫堤（1993）活斷層工程評估新發展。地工技術，第 44 期，第 5–18 頁。
李錫堤、翁淑卿、鄭錦桐、廖啟雯 (2001)台南後甲里斷層的構造發育及古地震研究之初步成果，九十年度中國地球物理年會暨學術研討會論文集，第 226-231 頁。
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。
沈玟劭（2008）新竹外海構造研究，國立台灣大學海洋研究所碩士論文，共 46 頁。
東京帝國大學地震研究所（1936）地震研究所彙報別冊－昭和 10 年台灣中部地震論文及報告，第 3 號，238 頁（日文）。
林久芳（1989）台灣恆春半島及東部海岸全新世隆起珊瑚之鈾系定年研究。國立台灣大學地質研究所碩士論文，共 119 頁。
林良安（1999）湖口斷層淺層反射震測之研究。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 109 頁。
林昱圻（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。
林啟文（2013）五萬分之一臺灣地質圖—旗山圖幅。經濟部中央地質調查所。
林啟文、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、陳文山、劉彥求、陳柏村（2009）臺灣東部與南部的活動斷層─兩萬五千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 23 號，共 178 頁。
林啟文、游鎮源、洪國騰、周稟珊（2012）臺灣南部臺南-高雄泥岩區的地質構造研究。經濟部中央地質調查所彙刊，第二十五號，第 143-174 頁。
林啟文、盧詩丁、石同生、陳致言、林燕慧（2007）臺灣北部的活動斷層─二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第 19 號，共 130 頁。
林啟文、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、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。
林燈河（1987）1935 年新竹、台中烈震之震源機制。國立中央大學地球物理研究所碩士論文。
花井重次（1930）台灣桃園台地之活斷層。地理學評論，vol.6，no.7，226–237 頁。
洪日豪（2006）台灣西南部前陸地區斷層演化與具油氣潛能之地塊構造。行政院國家

科學委員會經濟部能源局九十五年度能源科技學術研討暨成果發表會。
胡植慶、黃孟涵、景國恩、饒瑞鈞（2006）利用差分合成孔徑雷達干涉及大地測量觀測臺南台地之地殼變形，1906 梅山地震百週年紀念研討會。
胡植慶、劉啟清、楊燦堯、景國恩、鄭錦桐（2016）斷層活動性觀測研究第三階段-斷層整合性觀測與潛勢分析。經濟部中央地質調查所第三階段總結報告書(二)，共 468 頁。
孫習之（1959）高雄縣及台南縣小滾水、坑內及龍船構造地質調查報告。中油內部報告。
徐慶雲（1975）台南縣坑內、龍船及高雄縣小滾水構造地質查核報告。中油內部報告。
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。
張李群（2014）以大地測量資料進行龍船斷層與旗山斷層行為分析之研究。成功大學測量及空間資訊研究所碩士論文，共 110 頁。
張家鳳（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。
張國楨等人（2011）重要活動斷層調查特性研究－近斷層高精度地形資料之判釋與分析（1/4）。經濟部中央地質調查所報告第 100–10 號，共 289 頁。
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。
許民陽、高慶珍、高鵬飛、鄭紹龍（1998）花東海岸後退的研究 — 花蓮至長濱段，中國地理學會學刊，no. 26，第 73-98 頁。
郭泰融（1990）新城斷層之地球物理探勘。國立中央大學碩士論文，共 81 頁。
郭鶯萍（2017）探討泥岩區對臺灣西南部褶皺逆衝帶的高異常變形量之影響。國立臺灣大學理學院地質科學研究所碩士論文，共 137 頁。
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（2010）地震地質與地變動潛勢分析計畫─斷層長期滑移速率與再現週期研究（總報告）。經濟部中央地質調查所報告第 99–09 總號，共 141 頁。
陳文山、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、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、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。
陳文山、林益正、顏一勤、楊志成、紀權宥、黃能偉、林啟文、林偉雄、侯進雄、劉彥求、林燕慧、石同生（2008）從古地震研究與 GPS 資料探討縱谷斷層的分段意義。經濟部中央地質調查所特刊，第二十號，第 165-191 頁。
陳文山、林朝宗、楊志成、費立沅、謝凱旋、龔慧敏、林佩儀、楊小青（2008）晚期更新世以來台北盆地沉積環境與構造演化的時空演變。經濟部中央地質調查所彙

刊，第 21 號，61–106 頁。
陳文山、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、游能悌、松多信尚、楊小青（2008）地震地質與地變動潛勢分析計畫─斷層長期滑移速率與再現週期研究（1/4）。經濟部中央地質調查所報告第 96–10 號，共 86 頁。
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、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、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、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、楊志成、楊小青、吳樂群、林啟文、張徽正、石瑞銓、林偉雄、李元希、石同生、盧詩丁（2004）從構造地形探討嘉南地區的活動構造。經濟部中央地質調查所彙刊，17 期，53-77 頁。
陳文山、葉明官、楊志成、石瑞銓、林啟文、侯進雄（2006）梅山斷層的構造特性，經濟部中央地質調查所彙刊，19，135-151。
陳文山、劉力豪、顏一勤、楊小青、李龍昇、游能悌、張徽正、石瑞銓、陳于高、李元希、林偉雄、石同生、盧詩丁（2003）新城斷層的古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊第十四號，第 11–23 頁。
陳文山與王源（1996）台灣東部海岸山脈地質。經濟部中央地質調查所－台灣地質之七，共 101 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。
陳俊甫（2013）台灣東部縱谷北端區域的地震構造特性。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 112 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。
陳柏村（2005）旗山斷層南段變形特性之研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 125 頁。
陳致同、李建成、詹瑜璋、盧佳遇、鄧屬予（2012）台北都會區山腳斷層之地下形貌建構與分析：先存構造之再活化？101 年地質學會及地球物理學會年會暨學術研討會論文集，第 84 頁。

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。
鳥居敬造（1931）龍船附近地形及地質圖。臺灣總督府殖產局縮尺壹萬五千分之一地質圖。
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（2018）斷層活動性觀測研究第四階段-地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估（2/4）。經濟部中央地質調查所報告。
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。
景國恩、胡植慶、陳宏宇、張午龍、鄭凱謙、莊昀叡（2020）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（4/4）經濟部中央地質調查所 109 年度委辦計畫執行期中報告書。
黃旭燦、沈顯全、童英銓、紀文榮（1996）苗栗、新竹海域及濱海地區之構造逆轉與油氣聚積關係，中國石油公司探採研究彙報第 19 期，第 266-297 頁。
黃旭燦、楊耿明、吳榮章、丁信修、李長之、梅文威、徐祥宏（2004） 斷層活動性觀測與地震潛勢評估調查研究 台灣陸上斷層帶地質構造與地殼變形調查研究(5/5)–台灣西部麓山帶地區地下構造綜合分析。經濟部中央地質調查所報告第 93–13 號，共 59 頁。
黃姝琳(2009)台灣南部嘉義地區麓山帶構造型態轉換之研究。國立臺灣大學理學院地質科學系碩士論文，共 101 頁。
黃宣維（2012）以三維構造幾何形貌和大地測量分析台灣西北部新竹地區之新期構造活動。國立台灣大學地質科學系碩士論文，共 139 頁。
黃柏壽、陳國誠、劉忠智、溫國樑、黃文紀、林正洪（2007）大台北地區特殊地質災害調查與監測：地球物理微震調查與監測（4/4）期末總結報告書，經濟部中央地質調查所報告; 96–04 號。
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。
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。
楊耿明、洪日豪、吳榮章、黃旭燦（2001）斷層活動性觀測與地震潛勢評估調查研究_台灣陸上斷層帶地質構造與地殼變形調查研究（1/5）-西南地區（觸口斷層），經濟部中央地質調查所報告第 89–4 號，共 93 頁。
楊耿明、洪日豪、饒瑞鈞、吳榮章、黃旭燦（2001）斷層活動性觀測與地震淺勢評估調查研究－台灣陸上斷層帶地質構造與地殼變動調查研究(2/5)六甲、新化地區，經濟部中央地質調查所報告，第 90-4 號。
溫國樑、謝昭暉（2002）高雄都會區地動特性分析及地層震測研究計畫(1/2)。經濟部中央地質調查所計畫 91EC2A380303。

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。
董倫道、李奕亨、陳文山（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫─地球物理探勘計畫（5/5），經濟部中央地質調查所報告第 95–09 號，共 187 頁。
詹軍威與王錦華（1990）以 HYPO71 定位程式重定 1969 年 1 月至 1972 年 5 月瑞穗地區之地震的定位誤差範圍及 P 波剩餘值。氣象學報季刊，第 36 卷，第 4 期，第 305-314 頁。
臺北觀測所（1936）昭和 10 年 4 月 21 日新竹－台中烈震報告，台北，共 160 頁（日文）。
臺灣省氣象所（1951）民國四十年地震報告，共 83 頁。
蒲新杰（2010）藉由高密度地震網之監測資料探討新竹地區地殼構造的特性。國立中央大學地球物理研究所博士論文，共 159 頁。
劉力豪（2004）竹東丘陵的活動斷層古地震及相關活動性研究。國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，共 90 頁。
劉彥求（2013）龍船斷層地質調查。經濟部中央地質調查所 101 年度業務成果發表會手冊，第 32 頁。
劉桓吉、蘇泰維、李錦發、紀宗吉、林朝宗（2000）山腳斷層之活動性及其對工程安全之影響。經濟部 89 年度研究發展專題，共 30 頁。
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。
鄭世楠（1995）台灣及鄰近地區大地應力分布的研究，國立中央大學地球物理研究所博士論文，196–207。
鄭宏祺（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。
盧建中（2006）台灣西南平原末次冰期以來之地層及構造運動。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，共 143 頁。
蕭力元、黃旭燦、鄧屬予、林國安（1998）台灣新畿褶皺帶南段的構造特徵。台灣石油地質，第 32 期，133–153 頁。
賴文基（1995）台灣東部海岸山脈中段地質構造特性研究。國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 107 頁。
賴政國（1986）臺灣東部海岸山脈成功至豐濱海階地形之研究。國立臺灣大學地理研究所碩士論文，共 111 頁。
簡志宇（2008）台北盆地西北深部構造之研究。國立中央大學地球物理研究所碩士論文，共 60 頁。
羅偉、楊昭男（2004）地震地質調查及活動斷層資料庫建置─奇美斷層條帶地質圖。經濟部中央地質調查所報告第 93-11 號，共 51 頁。
蘇泰維、劉桓吉、劉憲德、黃健政（2003）台北盆地西緣山腳斷層調查研究初步成果─環境與工程地質調查研究。91 年度經濟部中央地質調查所年報，第 118–121 頁。
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。
饒瑞鈞、景國恩、謝宗訓、余致義、侯進雄、李元希、胡植慶、詹瑜璋、李建成、洪日豪（2003）台南台地的地表變形與地震潛能。經濟部中央地質調查所特刊，第十四號，第 161-171 頁。
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.
Bonilla, M.G. (1977) Summary of Quaternary faulting and elevation changes in Taiwan: Geological Society of China Memoir 2, p. 43-55.
Bonner, J.L., Blackwell, D.D. & Herrin, E.T. (2003) Thermal constraints on earthquake depths in California, Bull. Seism. Soc. Am., 93, 2333-2354.
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, C.T., Lee, J.C., Chan, Y. C., and Lu, C.Y. (2010) Growth normal faulting at the western edge of the Metropolitan Taipei Basin since the last glacial maximum, northern Taiwan. Terr. Atmos. Ocean., 21(3), p.409–428.
Chen, K.P., and Tsai, Y.B. (2008) A catalog of Taiwan earthquakes (1900–2006) with homogenized Mw magnitudes. Bull. of the Seismol. Soc. Am., 98, 483–489.
Chen, W. S., I. C. Yen, Keegan P. Fengler, Charles M. Rubin, C. C. Yang, H. C. Yang, H. C. Chang, C. W. Lin, W. H. Lin, Y. C. Liu, and Y. H. Lin (2007) Late Holocene paleoearthquake activity in the middle part of the Longitudinal Valley fault, eastern Taiwan. Earth Planet. Sci. Lett., 264, 420-437.
Chen, W. S., M. T. Huang, T. K. Liu (1991) Neotectonic significance of the Chimei Fault in the Coastal Range, Eastern Taiwan. Proc. Geol. Soc. China, Vol. 34, No. 1, 43-56.
Chen, W.P. & Molnar, P. (1977) Seismic moments of major earthquakes and the average rate of slip in central Asia, J. Geophys. Res., 82, 2945-2969.
Chen, W.-P., Hung, S.-H., Tseng, T.-L., Brudzinski, M., Yang, Z. & Nowack, R.L. (2012) Rheology of the continental lithosphere: Progress and new perspectives, Gondwana research, 21, 4-18.
Chen, W.-S., C.-C. Yang, I.-C. Yen, L.-S. Lee, K.-J. Lee, H.-C. Yang, H.-C. Chang, Y. Ota, C.-W. Lin, W.-H. Lin, T.-S. Shih and S.-T. Lu (2007) Late Holocene paleoseismicity of the southern part of the Chelungpu Fault in central Taiwan: evidence from the Chushan excavation site. Bull. Seism. Soc. Am., 97(1B), 1–13. doi:10.1785/0120050161
Chen, Wen-Shan, Ching-Yuan Yang, Szu-Ting Chen, Yi-Chang Huang (2020) New insights into Holocene marine terrace development caused by seismic and

aseismic faulting in the Coastal Range, eastern Taiwan. Quaternary Science Reviews, Vol. 240, 15, 106369.
Chen, Y.-G., Liu, T.-K. (2000) Holocene uplift and subsidence along an active tectonic margin southwestern Taiwan. Quat. Sci. Rev. 19, 923–930.
Chen, Y.G., Shyu, J.B.H., Ota, Y., Chen, W.S., Hu, J.C., Tsai, B.W., and Wang, Y.(2004) Active structures as deduced from geomorphic features: a case in Hsinchu Area, northwestern Taiwan. Quat. Int., pp.189–199.
Chen, Y.-G., Y.-W. Chen, W.-S. Chen, J.-F. Zhang, H. Zhao, L.-P. Zhou and S.-H. Li (2003) Preliminary results of long-term slip rates of 1999 earthquake fault by luminescence and radiocarbon dating. Quat. Sci. Rev., 22(10–13), 1213–1221. doi:10.1016/S0277-3791(03)00037-4.
Chen, Y.W., Chena, Y.G., Murray, A.S., Watanuki, T., Chena, W.S., Yanga, C.C.B., Liua, T.K., Lin, C.W. (2009) Long-term crustal movement caused by the Chiuchiungkeng Fault in southwestern Taiwan: Constraints from luminescence dating. Quatern. International, 199, 1-2, 15–24. doi.org/10.1016/j.quaint.2008.07.014.
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.
Cheng, C. T., S. J. Chiou, C. T. Lee, and Tsai, Y. B. (2007) Study on probabilistic seismic hazard maps of Taiwan after Chi-Chi earthquake. J. GeoEngineering, 2, 19-28.
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.
Chiarabba, C., & De Gori, P. (2016) The seismogenic thickness in Italy: constraints on potential magnitude and seismic hazard. Terra Nova, 28(6), 402-408.
Ching, K.-E., Rau, R.-J., Johnson, K.M., Lee, J.-C., and Hu, J.-C. (2011) Present-day kinematics of active mountain building in Taiwan from GPS observations during 1995–2005. J. Geophys. Res., 116, B09405, doi:10.1029/2010JB008058.
Chiu, H.T. (1970) Structure Features of the area between Hsinchu And Taoyuan, northern Taiwan, Memoir of the Geological Society of China, no. 13, 63-75.
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)
Dominguez, S., J. P. Avouac, and R. Michel (2003) Horizontal coseismic deformation of the 1999 Chi-Chi earthquake measured from SPOT satellite images: Implications for the seismic cycle along the western foothills of central Taiwan. J. Geophys. Res., 108(B2), 2083. doi:10.1029/2001JB000951
Doser, D.I. & Kanamori, H. (1986) Depth of seismicity in the Imperial Valley Region (1977-1983) and its relationship to heat flow, crustal structure and the October 15, 1979, earthquake, J. Geophys. Res., 91, 675-688.
Field, 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.

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, Edward H., Glenn P. Biasi, Peter Bird, Timothy E. Dawson, Karen R. Felzer, David D. Jackson, Kaj M. Johnson, Thomas H. Jordan, Christopher Madden, Andrew J. Michael, Kevin R. Milner, Morgan T. Page, Tom Parsons, Peter M. Powers, Bruce E. Shaw, Wayne R. Thatcher, Ray J. Weldon, II, and Yuehua Zeng (Working Group on California Earthquake Probabilities) (2013) The Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 3 (UCERF3). USGS Open-File Report 2013–1165, 115 pp.

Field, Edward H., Glenn P. Biasi, Peter Bird, Timothy E. Dawson, Karen R. Felzer, David D. Jackson, Kaj M. Johnson, Thomas H. Jordan, Christopher Madden, Andrew J. Michael, Kevin R. Milner, Morgan T. Page, Tom Parsons, Peter M. Powers, Bruce E. Shaw, Wayne R. Thatcher, Ray J. Weldon II, and Yuehua Zeng (2015) Long-Term Time-Dependent Probabilities for the Third Uniform California Earthquake Rupture Forecast (UCERF3). Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 105, No. 2A, pp. 511–543, doi:10.1785/0120140093.

Hsiao, P.-T.(1970) Seismic study of the area between the coastal plain and the foothills, Chiayi, Taiwan. Petroleum Geology of Taiwan, 7, 17-45.

Hsieh, M. L., and Rau R. J. (2009) Late Holocene coseismic uplift on the Hua-tung Coast, eastern Taiwan: evidence from mass mortality of intertidal organisms. Tectonophysics, 474, 595–609.

Hsieh, S. H. (1970) A study on geology and gravity anomaly on the Pingtung Plain, Taiwan: Proc. Geol. Soc. China, no13.

Hsu, T. L. and Chang, H. C. (1979) Quaternary faulting in Taiwan. Memoir Geol. Soc. China, No. 3, p. 155-165.

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, B.S., Yeh, Y.T. (1992) Source geometry and slip distribution of the April 21, 1935 Hsinchu–Taichung, Taiwan earthquake. Tectonophysics, 210, 77–90.

Huang, Mong-Han, Jyr-Ching Hu, Kuo-En Ching, Ruey-Juin Rau, Chia-Sheng Hsieh, et al. (2009) Active deformation of Tainan tableland of southwestern Taiwan based on geodetic measurements and SAR interferometry. Tectonophysics, 466, pp.322-334.

Huang, S.-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.

Huang, S.Y., Rubin, C.M., Chen, Y.G., and Liu, H.C. (2007) Prehistoric earthquakes along the Shanchiao fault, Taipei Basin, northern Taiwan. Journal of Asian Earth Sciences, 31, p265–276.

Hung, J.H., and Wiltschko, D.V. (1993) Structure and kinematics of arcuate thrust faults in the Miaoli-Cholan area of western Taiwan: Petrol. Geol. Taiwan, 28, 59–96.

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.

Ito, K. (1990) Regional variations of the cutoff depth of seismicity in the crust and their relation to heat flow and large inland-earthquakes, J. Phys. Earth, 38, 223-250.

Kao, H. and Chen, W.-P. (2000) The Chi-Chi earthquake sequence: active, out-of-sequence thrust faulting in Taiwan. Science, 288(5475), 2346–2349, doi:10.1126/science.288.5475.2346.

KuoChen, H., Francis T. Wu, Steven W. Roecker (2012) Three-dimensional P velocity structures of the lithosphere beneath Taiwan from the analysis of TAIGER and related seismic data sets. JGR, 117, B06306.

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, 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.

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.

Lee, Y.-H. and Shih, Y.-X. (2011) Coseismic displacement, bilateral rupture, and structural characteristics at the southern end of the 1999 Chi-Chi earthquake rupture, central Taiwan. J. Geophys. Res., 116(B7), B07402, doi:10.1029/2010JB007760.

Lettis Consultants International, Inc. (LCI) (2015) Preliminary Seismic Source Characterization and Earthquake Magnitude Approach (Phase 1) to Probabilistic Fault Displacement Hazard Analysis of the Shanchiao Fault for the Jinshan and Kuosheng Nuclear Power Plants Northern Taiwan, Taiwan (Revision 1), August 5, 2015, 110 p.

Lin, A. T. and A. B. Watts (2002) Origin of the West Taiwan basin by orogenic loadin and flexure of a rifted continental margin. JGR, VOL. 107, NO. B9, 2185.

Lin, 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.

Lin, C.H., Yeh, Y.H., and Roecker, S.W. (1989) Seismic velocity structures in the Sanyi-Fengyuan area, central Taiwan: Proc.Geol. Soc. China, 32, 101–120.

Lin, C.W., Hsu, C.Y., Yu, T.D. (2007) The Chiuhsiungken fault: a candidate to trigger a hazardous earthquake in western Taiwan. Journal of Asian Earth Science, 30, 390–402.

Lin, D.H., Chen, K.H., Rau, R.J., and Hu, J.C. (2013) The role of a hidden fault in

stress triggering: Stress interactionswithin the 1935 Mw7.1 Hsinchu–Taichung earthquake sequence in central Taiwan. Tectonophysics, 601, 37–52.
Lin, Y.N., (2005) Surface Deformation and Seismogenic Structure Model of the 1935 Hsinchu–Taichung Earthquake (MGR = 7.1), in Miaoli, Northwestern Taiwan. Master Thesis National Taiwan University, 77 pp.
Liu, C. S., Huang, I. L., Teng, L. S. (1997) Structural features off southwestern Taiwan. Marine Geology, 137, pp. 305-319.
Magistrale, H. (2002) Relative contributions of crustal temperature and composition to controlling the depth of earthquakes in Southern California, Geophys. Res. Lett., 29, 1447.lation to heat flow and large inland-earthquakes, J. Phys. Earth, 38, 223-250.
McCaffrey, R. (2005) Block kinematics of the Pacific–North America plate boundary in the southwestern United States from inversion of GPS, seismological, and geologic data, J. Geophys. Res., 110, B07401, doi:10.1029/2004JB003307.
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.
Namson, J. (1984) Structure of the western foothills belt, Miaoli-Hsinchu area, Taiwan (III): central part. Petrol. Geol. Taiwan, no.20, 35–52.
Namson, Jay (1981) Structure of the western foothills belt, Miaoli-Hsinchu area, Taiwan : (I) southern part. Petroleum Geology of Taiwan, 18, 31-51.
Nazareth, J.J. and Hauksson, E. (2004) The seismogenic thickness of the southern California crust, Bull. Seism. Soc. Am., 94, 940-960.
Okada, Y. (1992) Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bulletin of the Seismological Society of America, 82(2), 1018-1040.
Omuralieva, A.M., Hasegawa, A., Matsuzawa, T., Nakajima, J. & Okada, T. (2012) Lateral variation of the cutoff depth of shallow earthquakes beneath the Japan Islands and its implications for seismogenesis, Tectonophysics, 518-612, 93-105.
Pan, Y.S. (1965) Interpretation and seismic coordination of the Bouguer gravity anomalies obtained in northwestern Taiwan. Petroleum Geology of Taiwan, 4, 287–301.
Pan, Y.S. (1968) Interpretation and seismic coordination of the bouguer gravity anomalies obtained in southwester n Taiwan, Petrol. Geol. Taiwan, no. 6, p.197-208.
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.
Savage, J.C., and Lisowski, M. (1993) Inferred depth of creep on the Hayward Fault, central California. Journal of Geophysical Research, v. 98, no. B1, p. 787–793, doi: 10.1029/92JB01871.
Scholz, C.H. (1998) Earthquakes and friction laws, Nature, 391, 37-42.
Sheu, H.C., Kosuga, M., and Sato, H. (1982) Mechanism and fault model of the Hsinchu–Taichung (Taiwan) earthquake of 1935. Zisin, 2 (35), 567–574 (in Japanese).
Shyu, J. B. H., Chuang, Y. R., Chen, Y. L., Lee, Y. R. and C. T. Cheng (2016) A New On-Land Seismogenic Structure Source Database from the Taiwan Earthquake Model (TEM) Project for Seismic Hazard Analysis of Taiwan, Terr. Atmos. Ocean. Sci., 27, 3, p. 311-323.

Shyu, J. B. H., Chuang, Y.-R., Chen, Y.-L., Lee, Y.-R., Cheng, T. C.-T. (2014) Progress of constructing a new seismogenic structure source model for the Taiwan Earthquake Model (TEM). 2014 Taiwan-Japan-New Zealand Seismic Hazard Assessment Meeting, NCREE, Taipei, Taiwan.

Shyu, J. B. H., Chun-Fu Chen, Yih-Min Wu (2016) Seismotectonic characteristics of the northernmost Longitudinal Valley, eastern Taiwan: Structural development of a vanishing suture. Tectonophysics, Vol. 692, Part B, Pages 295-308.

Shyu, J. B. H., Sieh, K., Avouac, J.P., Chen, W.S. (2006) Millennial slip rate of the Longitudinal Valley fault from river terraces: Implications for convergence across the active suture of eastern Taiwan. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 111, B08403.

Shyu, J. B. H., Sieh, K., Chen, Y.G., and Liu, C.S. (2005) Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes: J. Geophys. Res., Vol.110, B08402.

Shyu, J. 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.

Siame L.L., Chen, R.F., Derrieux, F., Lee, J.C., Chang, K.J., Bourlès, D.L. Braucher, R., Léanni, L., Kang, C.C., Chang, C.P., and Chu, H.T. (2012) Pleistocene alluvial deposits dating along frontal thrust of Changhua Fault in western Taiwan: The cosmic ray exposure point of view. J. Asian Earth Sci., 51, 1–20.

Sibson, R.H. (1982) Fault zone models, heat flow, and the depth distribution of earthquakes in the continental crust of the United States, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 151-163.

Sibson, R.H. (1986) Earthquakes and rock deformation in crustal fault zones, Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 14, 149-175.

Simoes, M., Avouac, J.P., Chen, Y.G., Singhvi, A.K., Wang, C.Y., Jaiswal, M., Chan, Y.C., and Bernard, S. (2007) Kinematic analysis of the Pakuashan fault tip fold, west central Taiwan: shortening rate and age of folding inception. Journal of Geophysical Research 112, B03S14. doi:10.1029/2005JB004198.

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.

Song, S. R., Chen, T. M., Tsao, S., Chen, H. F., & Liu, H. C. (2007) Lahars in and around the Taipei basin: Implications for the activity of the Shanchiao fault.Journal of Asian Earth Sciences, 31(3), 277-286.

Sun, S. C. (1964) Photogeologic study of the Tainan-Kaohsiung coastal plain area, Taiwan, Petrol. Geol. Taiwan, no.3, P.35-51.

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

Suppe, J., and Namson, J. (1979) Fault-bend origin of frontal folds of the Western Taiwan Fold-and-Thrust belt. Proceedings of the Geological Society of China, No. 16, 1–18.

Tanaka, A. & Ishikawa, Y. (2002) Temperature distribution and focal depth in the crust of the northeastern Japan, Earth Planets Space, 54, 1109-1113.

Tang, C. H. and Hsu, C. H. (1970) Subsurface geology and petroleum deposits in the Hsinchu area. Petrol. Geol. Taiwan, no.7, 89-101.

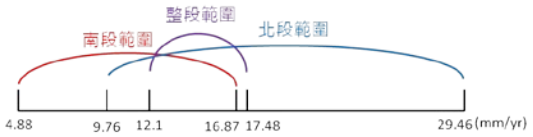
Tang, C.H. (1963) Geology and oil potentialities of the Hukou anticline, Hsinchu.

Petroleum Geology of Taiwan, No. 2, 241–252.
Teng, L. S., Lee, C. T., Peng, C. H., Chen, W. F., & Chu, C. J. (2001) Origin and geological evolution of the Taipei basin, northern Taiwan. Western Pacific Earth Sciences, 1(2), 115-142.
Wang, C. Y., 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.
Wang, C. Y., Chang, C.H., Yen, H.Y. (2000) An interpretation of the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan based on the thin-skinned thrust model. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences 11 (3), 609– 630.
Wang, C.Y., Yang, R.K., and Tsai, D.T. (1991) Shallow reflection seismics using firecrackers as the source II: field experiments. TAO, 2(3), 163–185.
Ward, S. N. (1998) On the consistency of earthquake moment release and space geodetic strain rates: Europe. Geophys. J. Int., 135, 1011-1018.
Wei, K., Chen, Y.G., and Liu, T.K. (1998) Sedimentary history of the Taipei basin with constraints from thermoluminescence dates. Jour. Geol. Soc. China, 41, 109–125.
Wells, D. L., and Coppersmith, K.J. (1994) New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bull. Seism. Soc. Am., 84, 974-1002.
Wen Strong, Yi-Ying Wen, Kuo-En Ching, Yu-Lien Yeh, and Yuan-Hsi Lee (2019) Tectonic implications on the 2018 Hualien Earthquake. Terr. Atmos. Ocean. Sci., Vol. 30, No. 3, 389-398.
Williams, C.F. (1996) Temperature and the seismic/aseismic transition: Observations from the 1992 Landers earthquake, Geophys. Res. Lett., 23, 2029-2032.
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.
Yamaguchi, M. and Y. Ota (2004) Tectonic interpretations of Holocene marine terraces, east coast of Coastal Range, Taiwan. Quaternary International, 115-116, 71-81.
Yang, C. C. (2007) Seismogenic Structure of the Chiayi-Tainan Area and the Long-term Slip Rates of Frontal Thrusts in Southwestern Taiwan. Department of Geosciences NTU Doctoral Dissertation, pp. 116.
Yang, C.C.B., Chen W.S., Wu, L.C., Lin, C.W. (2007) Active deformation front delineated by drainage pattern analysis and vertical movement rates, southwestern coastal plain of Taiwan, J. Asian Ear. Sci., doi: 10.1016/j.jseaes.2006.07.026
Yang, K. M., Wu, J. C., Ting, H. H., Wang, J. B., and Chi, W. R. (1994) Sequential deformation in foothills belt, Hsinchu and Miaoli areas: Implications in hydrocarbon accumulation: Petrol. Geol. Taiwan, no.29, 47–74.
Yang, K. M., Wu, J. C., Wickham, J. S., Ting, H. H., Wang, J. B., and Chi, W. R. (1996) Transverse structures in Hsinchu and Miaoli areas: Structure mode and evolution in the foothills belt, northwestern Taiwan. Petrol. Geol. Taiwan, no.30,

111–150.
Yang, K.-M., Huang, S.-T., Wu, J.-C., Ting, H.-H., Mei, W.-W., Lee, M., Hsu, H.-H., and Lee, C.-J. (2007) 3D Geometry of the Chelungpu thrust system in central Taiwan: Its implications for active tectonics. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 18(2), 143–181.
Yen, Y. T., and Ma, K. F. (2011) Source-Scaling Relationship for M 4.6–8.9 Earthquakes, Specifically for Earthquakes in the Collision Zone of Taiwan. Bull. Seismo. Soc. Am., 101(2), 464–481.
Yue, L. F., Suppe, J., and Hung, J.H. (2005) Structural geology of a classic thrust belt earthquake: the 1999 Chi-Chi earthquake Taiwan (Mw=7.6). J. Struct. Geol., 27, 2058–2083.

委員審查意見

106 年期中委員審查意見

期中審查意見	處理情形
1. 依美國之經驗，針對走向斷層之孕震深度有較佳對應，而逆衝斷層及正斷層案例較少，不確定性高，而台灣的環境卻以逆斷層為主，是否會影響評估？運用地震矩累計量所分析之孕震深度(大於 20 公里)似乎過深，除地溫梯度外有無其他合理估算的方法或資訊？	後續工作針對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震測剖面、Vp 速度構造剖面綜合判斷，針對各斷層進行分析探討，期能提出活動斷層最合理之孕震深度，作為活動斷層三維深度建立的依據。另外本計畫也將考量 Wu et al. (2017)提出對於 921 集集地震可以合理推估震矩規模之區域孕震厚度，進行孕震深度比對資料進行統計，作為另一個斷層孕震厚度擬定參考之討論因子。
2. 斷層潛移分量對於滑移速率折減之估算是否適合套用美國之理論？請加入台灣地質環境之考量。	關於滑移速率折減，會參考委員意見，與建立台灣塊體模型之研究團隊討論塊體模型之鎖定率適用及使用之方法準則。而考慮台灣地質環境，本計畫已參考 Shyu et al. (2016)之地質資料，加入內部形變進行模擬。
3. 車籠埔斷層北段垂直滑移速率較快、南段較慢，整段居中；但加入斷層傾角及滑移角後，整段淨滑移速率之最小值，明顯超越南北段之最小值，請說明此一狀況之合理性。還是北段滑移速率遭低估或整段滑移速率高估？	整段的資料是參考陳文山的槽溝回歸之滑移速率，其數值大約也是將北段的速率和南段的速率取平均而得，因此整段的滑移速率經換算後，應會位於南段和北段的滑移速率範圍內，如下圖所示：
4. 1935 年地震事件時許多餘震分布於屯子腳斷層以北及獅潭斷層斷層以西區域，且有 3 個規模超過 6 的地震分布於此，與預估之最大可能地震規模相近，是否代表苗栗盲斷層當時曾活動？	根據 1935 年餘震分布，可得知餘震並非位於屯子腳斷層及獅潭斷層，應是由西側苗栗前緣構造之破裂所造成，因此考慮苗栗前緣構造單獨破裂之情形。而獅潭及屯子腳斷層則考慮為系統破裂，即 1935 年之主震破裂情形。
5. 本計畫蒐集美國、歐洲及日本的活動斷層查詢系統，請比較各國呈現之資料內容，並考量台灣調查現況，提供相關建議，另考量查詢系統展圖之最大比例尺是否	感謝委員意見，本計畫已蒐集國外之網頁平臺系統，並會與地調所討論網頁查詢平台需加入的斷層參數格式及照片內容，提

有所限制？	供給資訊廠商建置於活動斷層查詢系統中。目前活動斷層查詢平台展圖之最大比例尺為 1:36,000，不會提供外界更大之比例尺。
6. 活動斷層潛勢圖和孕震構造分析，不必侷限現有的活動斷層，例如可能的盲斷層就很重要。最好提醒是盲斷層或線形或變形前緣。	感謝委員意見，本團隊會蒐集過去以及其他單位劃設之活動斷層分布圖，並規劃可評估之活動斷層，討論可行性之後，作為後續斷層潛勢評估之工項。
7. 專家討論會，可以考慮請一些生產資料的學者或是工作者，有助於提供更全面性的資料分析基礎。	感謝委員建議，本團隊會與相關生產資料專家，例如陳文山教授、徐澔德副教授聯繫討論，獲得更多基本調查資料，以完善斷層參數。
8. 建議可以省略 100 年發震潛勢的分析工作。	感謝委員意見，100 年發震潛勢本團隊仍會進行評估，但是僅於報告中呈現，不會公布於潛勢圖中。
9. 孕震深度是否一定要連結地表淺部的斷層。	經評估近期透過地震隨深度之地震矩累計所推估之孕震深度資訊，比對本計畫中部斷層幾何之深部延伸深度來的較深，搭配鄰近地體構造與背景地震資訊，深度大於 10 公里以下有其他孕震構造存在，因此並不適宜直接採行地震矩累計評估之孕震深度，也表示不一定將此孕震深度連結地表淺部斷層。
10. 本階段不用建立局部塊體模型。	感謝委員意見，本團隊會與「地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估」計畫團隊溝通，建立並修改全臺整體之塊體模型。
11. 斷層幾何雖然有所精進，但以現在版本，雖考慮有些斷層雖有兩段傾角的變化，但兩段傾角之轉折仍不夠精細或相關資料之輔助仍然不足。建議仍然需要參考地質剖面，以車籠埔斷層為例，其破裂面大致沿著錦水頁岩往東延至基底滑脫斷層並與滑脫斷層下之高角度構造相關，因此精細化可以再加強。	感謝委員建議，本計畫已蒐集斷層剖面資料協助判斷中部地區活動斷層的幾何形貌，後續會清楚呈現相關資料如何輔助決定斷層幾何面之過程。
12. 潛移之折減滑移速率，建議參考塊體模型之鎖定率，另外沒有長期滑移速率部分，可以考慮用斷層面之滑移虧損之平均，代表同震變形之可能滑移量。	感謝委員建議，關於鎖定率是否可運用於潛移之折減率，會與建立塊體模型之研究團隊討論其適用及使用之方法準則。本計畫會參考「地表變形觀測資料處理分析與斷層模型反演評估」計畫中兩種斷層模型

	反演所得之滑移虧損率，納入潛勢評估中。
13. 有關 D10 和 D90 之孕震深度，需考慮是斷層與孕震帶之關係如何？另外中部地區有深度的孕震構造，但不見得會連接到地表的斷層系統。	與意見 9 合併回覆，請詳意見 9 之回覆內容。
14. 此計劃的執行及成果報告未來呈現，為地震防災及後續許多政府單位及產業重要依據，為提高台灣地區斷層及其相關潛勢防災的精進作為。	感謝委員意見。
15. 孕震深度與斷層深度其相關程度，有必要釐清，因為 Areal Source and Fault Source 有互相干擾的現象。	感謝委員建議，本計畫參酌美國經驗依據地震矩累計分析之孕震深度與斷層深度初步評估其相關性結果，中部斷層與孕震深度無法以孕震深度直接作為斷層深度依據，尤其是逆衝形式斷層，需配合地質、地物及地震相關資訊統整分析決定。Areal Source 及 Fault Source 為地震危害度分析之重要地震源輸入資訊，本計畫之結果期彙整該項分析結果，作為提供地震危害度分析之重要參考資訊。
16. 目前斷層相關參數的邏輯樹，未來應用為何？	斷層參數邏輯樹劃設目的是為了收斂斷層發震之機率，也可提供後續地震危害度分析參用。
17. GPS Block model 其平均滑移及虧損率的應用為何？機率評估。Blind fault 的部分，GPS modeling 應可提供相關暗示。	感謝委員建議，目前滑移虧損率應用於無地質資料推估滑移速率之斷層，作為代替長期滑移速率之值。本團隊會蒐集 GPS 速度場資料，找出可能之孕震構造，並於後續工項中提出建議新增評估之孕震構造。
18. 網頁資料，對於輸入參數時的日期應標上，以免造成後續舊資料及新資料混淆的困擾。	感謝委員建議，會於網頁平台上加上輸入日期。

106 年期末委員審查意見

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

107 年期中委員審查意見

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

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

107 年期末委員審查意見

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

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

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

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

108 年期中委員審查意見

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	感謝委員建議，杜冠穎（2013）資料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。

何？或是適度調整權重？	
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，	感謝委員意見，本計畫會補充相關章

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。	節於期末繳交的定稿版中。

108 年期末委員審查意見

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	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

(權重 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。

109 年期中委員審查意見

期中審查意見	處理情形
1. 東部斷層相關斷層幾何請參考地球物理資料。而本計畫於執行時，是否有考慮無震滑移的貢獻？所有模型(model)的敏感度(sensitivity)為何，請於期末報告與總結報告統一說明。	(1) 東部斷層幾何除了地球物理速度構造剖面外，我們主要參考了地震的分布進行判斷。 (2) 潛移或是無震滑移的貢獻，本計畫主要會考慮縱谷南段的池上斷層及利吉斷層，針對滑移速率進行折減。 (3) 參數敏感度會於總結報告中以一斷層為例進行說明。
2. 權重給定與邏輯樹，例舉第 9 頁及第 29 頁等在描述權重給定時，應把大致的給定原則描述一下，而不是只列出參考文獻，而邏輯樹中，為何斷層傾角、破裂深度等如何設定機率，理論為何或有何論證，應說明之。	感謝委員建議，本計畫會於報告中說明參數給定原則，而權重給定原則仍置於各斷層邏輯樹章節中。
3. 米崙斷層如果長度只有 35 公里，是否可產生 1951 年規模 7 的地震？1986 年花蓮地震斷層面向西傾，本報告只考慮 2018、1951 地震的相關結果，請說明原因？於 1951 年發生地震之震源約 30 公里深，建議建立邏輯樹可以分別採用 14 公里和 30 公里深的兩種情境進行。	(1) 本計畫會新增破裂事件，假設米崙斷層下方達 25 公里的深部構造連接至淺部構造一起破裂，其破裂面積足以產生規模 7 以上的地震。 (2) 本計畫目的主要是以地調所 33 條活動斷層的潛勢評估為主。東部地區向西傾斷層可能為中央山脈斷層，不屬於 33 條活動斷層的範圍，因此建議暫不考慮。 (3) 感謝委員建議，會於期末邏輯樹中考慮米崙斷層淺部及深部破裂事件兩種情境。
4. 承上，1951 年、1986 年與 2018 年地震發生都在外海，按照操作是否都可以不算米崙斷層的錯動？	目前對於前次破裂事件認定上，本計畫認為有於斷層沿線產生地表破裂，可視為斷層已被錯動過，需重新累積孕震能量。1951 年與 2018 年地震均有導致米崙斷層地表破裂，可視為米崙斷層前次發生事件，而 1986 年無地表破裂則不視為前次發生事件。
5. 於第 11 頁利用重定位結果來修正斷層深度與角度，但吳逸民(徐)與溫等人的重定位結果都不相同，誰的比較正確？此外，第 14 頁標示傾角 65 度，向東或是向西？應標明如何得到，另第 15 頁斷層位置與地震位置之關係為何？斷層向東或是向西？	(1) 各地震重定位結果雖然存在差異，仍可協助判斷斷層傾角。在邏輯樹中以誤差範圍 5 度作為傾角的上下界值，可涵蓋重定位的不確定性。然而於本計畫中斷層傾角對於評估結果的敏感度並不比破裂深度及滑移速率高，因此本計畫會儘可能簡化斷層傾角。

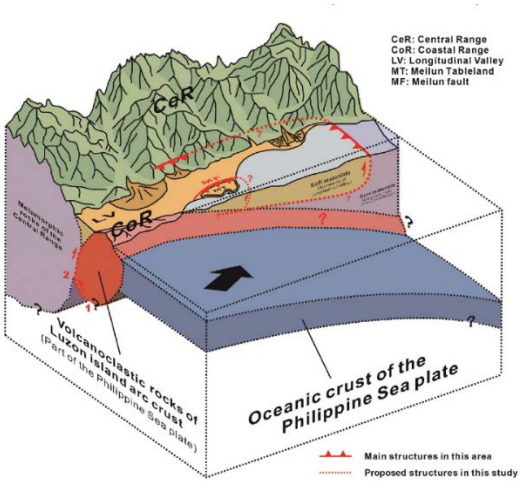
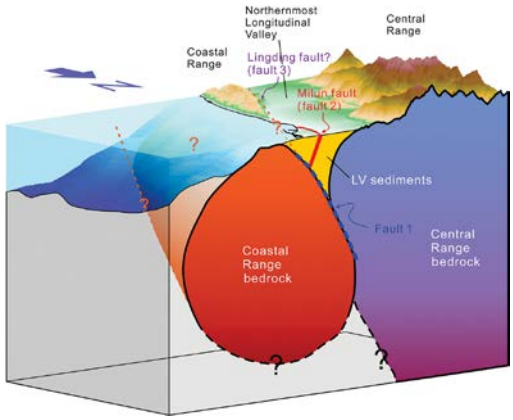
	(2) 米崙斷層面傾角 65 度向東。本計畫依地震深度分布剖面，會加上趨勢線並量測其角度。 (3) 本計畫僅顯示歷史地震與斷層位置的關係，無法據此判斷斷層面。
6. 瑞穗斷層的長期抬升速率和其東部海階的抬升速率一致嗎？海岸海階年代所估算的長期抬升速率並非斷層錯移速率，這部分應於報告書內容說明清楚。	感謝委員建議，由於東部海岸的海階抬升速率並不能代表縱谷斷層的長期滑移速率，本計畫期末階段將不會以海階抬升速率作為縱谷斷層長期滑移速率的參考值。嶺頂斷層改用模型反演之滑移虧損率評估，奇美斷層則採用週期反推其滑移速率。
7. 報告書建立瑞穗斷層和嶺頂斷層的幾何形貌皆根據同一地震速度剖面，是否暗示這兩條斷層可能屬同一條斷層？若然，建議建立這兩條斷層的邏輯樹可以採用兩條斷層為分開的不同斷層和這兩條斷層可以視為連結的同一條斷層兩種情境。	感謝委員建議，嶺頂斷層和瑞穗斷層同屬於縱谷斷層北段，本計畫會於期末邏輯樹中考慮嶺頂斷層及瑞穗斷層系統破裂的情境。
8. 本計畫的邏輯樹參數設定，皆有不確定性作為，如奇美斷層的深度邏輯樹中值設為 25 公里，並加減 5 公里不確定性作為邏輯樹上下界，應有設定 5 公里的依據與評估方式，若沒有 5 公里上下界的來源依據，請說明為何要創造那麼多邏輯樹分支？	目前對於奇美斷層破裂深度並未有更新或是明確資料可協助判釋，不確定性仍高。取上下 5 公里的範圍，則代表目前並無法減少此不確定性範圍，因此破裂深度設定上保持與上階段計畫相同的邏輯樹分支。
9. 活動斷層潛勢分析與評估綜整斷層活動各項參數與因子，包含斷層的幾何與活動速率，然而促使斷層活動的誘因尚有能量累積程度，雖然本計畫已納入斷層滑移速率加以推估，然而應變率與滑移速率亦非皆為正相關之關係，國外是否有此模型可供參考？	關於區域應變率，本團隊認為可採用有限元素動力學模型進行模擬。在美國 UCERF3 評估中，採用了 Neokinema 程式，可將觀測之 GPS 速度場、斷層地質長期滑移速率、應變方向及板塊運動邊界條件合理地分配至區域應變速率及斷層長期滑移速率上(Bird, 2009)，目前經本團隊測試可應用於臺灣地區，預計於下一階段工作中可提供全臺灣成果。
10. 第 50-53 頁彙整成果至活動斷層查詢平台應具體說明今年工作進度為何。	感謝委員建議，本計畫會於期末報告中呈現今年度斷層的案例。
11. 前一期的報告書有整理各斷層參數彙整表，清楚表示斷層參數數據、研究方法及參考文獻，建議本階段應摘錄前一階段的成果，將修正部分加載	遵照辦理，各斷層參數彙整表會於總結報告中增列。

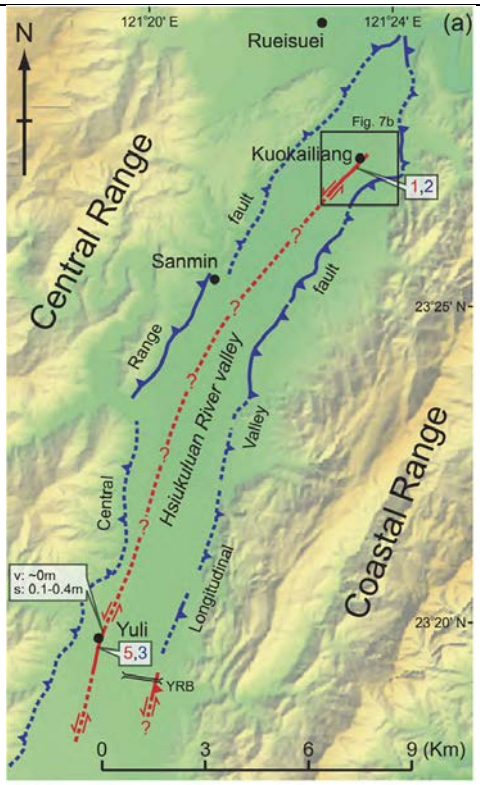
標示，突顯整合精進的總成果。	

109 年期末委員審查意見

期末審查意見	處理情形
1. 期末報告書與總結報告書內容，請依契約書規範，將 33 條斷層分開撰寫。若有同時發震或破裂可能，再另章節撰寫或撰寫在某一條斷層內一小節，如池上－玉里斷層，池上與玉里斷層兩條斷層皆要有獨立評估的一章，另於摘要處或之前增加報告書與本案契約書對應表方便行政程序查驗。	遵照辦理修改及補充。
2. 期末報告書及總結報告書中，若斷層有一起同時發震或破裂之可能，綜合評估應明確表示，並在斷層活動機率圖中加入說明，避免後續驗收問題；另外代理所長請去除代理二字，或只列印機關名稱即可；總結報告書請補上「垂直速度場及斷層活動潛勢圖」。	遵照辦理修改及補充。
3. 期末報告書及總結報告書中結論與建議應將 33 條各條活動斷層及前三年之可能孕震構造評估後，應針對資料不足處、需要加強調查項目提出建議，委託機關可據此加強投入資源之規劃與參考；並請說明、分析本期計畫在加入斷層模型反演結果精進後的評估效果如何？	遵照辦理，將於總結報告最後一章補充相關說明。
4. 期末報告書及總結報告書中，摘要或內文贅字很多，文字不順暢，請修正。另報告書內容關於分段破裂的權重如何給定？如何影響結果？應加強說明。	(1) 遵照辦理修改。 (2) 總結報告書中會於第二章說明分段權重給定的基本原則，若有特殊例外則會在各斷層邏輯樹章節中詳細說明。 (3) 以恆春斷層為例，將權重北段(0.4)，南段(0.4)，整段(0.2)調整為北段(0.1)，南段(0.1)，整段(0.8)，其未來 30 年，50 年，100 年發生規模 6.5 以上的機率變化分別是 13.3→11.4%，20.8→17.9%，35.7→31.3%。若是滑移速率不變，提高整段破裂的權重會使發生機率降低，然而差異不會超過 5%。
5. 期末報告書及總結報告書中用到的許多斷層之滑移速率多利用上盤海	(1) 感謝委員的提醒，目前東部地區斷層除了瑞穗斷層有槽溝資料外，大多數

（河）階的抬升速率，但是抬升速率並不是代表斷層錯移（滑移）速率，必須考慮下盤的垂直變動速率。滑移速率的估算會影響到機率的運算值，在滑移速率的誤差值如何獲得會影響到機率。	未有針對斷層上下盤地層錯動進行滑移速率評估相關資料，因此暫時間接地採用斷層上盤階地抬升速率，並假設下盤是不活動來進行評估。本計畫會於報告中補充相關的假設說明文字，並會於總結報告中建議應補充上下盤錯移速率相關地質調查工作。 (2) 根據委員提到之恆春斷層，本計畫將滑移速率權重由 1.7 (0.3)、6.05 (0.4)、10.4 (0.3)調整為 1.7 (0.1)、6.05 (0.8)、10.4 (0.1)，調整後未來 30 年，50 年，100 年發生規模 6.5 以上機率變化 13.2→13.5%、20.5→21.1%及 34.9→36.6%。看來提高中值權重會使機率提高，然而影響不超過 2%。
6. 報告書中之抬升速率可以精準到小數點第 2 位嗎？例如：第 9 頁、第 27 頁、第 41 頁等，及表 2-2.1 等地方，建議說明理由或取小數點以下 1 位即可。	審查意見中所提到有小數點以下 2 位的均是引用前階段計畫或是文獻的原始數據，本計畫引用文獻時會儘量保留文獻中之數據。至於本計畫在邏輯樹中或是換算淨滑移速率評估時會遵照意見取至小數點以下一位。
7. 期末報告書及總結報告書中，米崙斷層 2018 年之前的機率為 42.4%，是否暗示 2018 年（或附近）會發生？是否能驗證？另外，是否能用簡單例子示範說明機率呈現方式與誤差呈現方式。	本計畫採用的統計模式並不會讓斷層在鄰近其再現週期或是超過再現週期時，得到無限放大的機率。案例應可根據前階段計畫於 2016 年對米崙斷層的評估結果，其中未來 30 年的機率為 30.4%，或許可指示此機率即是一個相對高的機率。
8. 期末報告書有關奇美及嶺頂斷層採用另一計畫模型之結果，但另一平行計畫的斷層模型和本案不同，如何能套用其結果？嶺頂斷層與米崙斷層於 2018 年地震有位移，對本案評估出來之結果會有什麼差異？	(1) 本計畫會提供幾何參數之中值或是經由討論後雙方較能接受之幾何面予另一平行計畫進行評估，若是幾何面沒有過大幅度的修改，對於滑移虧損率評估結果不會有太大的變化。 (2) 嶺頂斷層距離 2018 年的震央較遠，而且地表破裂也只出現在斷層線北邊局部地區，不像米崙斷層於整個斷層沿線都有破裂，因此本計畫不會將 2018 年地震作為嶺頂斷層最近一次活動時間。
9. 第 15 頁，圖 2-1.8 在板塊聚合作用之下，是否有可能存在這樣的斷層構	(1) 根據 Shyu et al. (2016)，米崙斷層下方可能是板塊碰撞的邊界斷層，呈高

造？第 58 頁，如何判定池上斷層的潛移速率占長期速率的 0.8？為何玉里斷層的資料從缺（第 90 頁）？水準資料顯示跨過玉里大橋垂直速度有 30mm/yr 之差異？請說明。	角度，如下圖：  李憲忠等人(Lee et al., 2019)的模型，則顯示下方這條斷層是海岸山脈基岩和中央山脈基岩的邊界斷層，且呈高角度向西傾，如下圖：  2018 年的地震可能是這條斷層的錯動向上傳遞至米崙斷層，造成米崙斷層沿線的地表破裂。 (2) 目前對於池上斷層地表破裂及潛移的位置較為明確，近年來針對跨池上斷層潛移的觀測均顯示相當高的潛移量，約可達到 2 cm/yr，因此本計畫推估在池上斷層潛移量占整體滑移速率相當高的比例。 (3) 感謝委員的提醒，本團隊期末報告定稿時會補充玉里斷層參數。 (4) 玉里大橋處其實為縱谷斷層通過之處，因此有較高的滑移速率，而非玉里斷層造成。根據 Shyu et al. (2007) 平面圖，如下圖：

	 其中 YRB 即玉里大橋位置，為縱谷斷層，而位於玉里大橋西側則為 1951 年玉里的地表破裂，為地調所的玉里斷層位置。
10. 第三章提及 2013 年在瑞穗發生的地震是往西傾之斷層，如果延伸至地表可能在海岸山脈，這條斷層顯然不是中央山脈斷層，也非本報告中的斷層，請進一步說明。	感謝委員意見，目前本計畫是針對地調所 33 條活動斷層的潛勢評估為主，位於東部的深部孕震構造由於參數不足以進行潛勢評估(缺少滑移速率)，因此建議不納入本計畫討論範圍中。
11. 本案使用之玉里斷層資料與地調所 33 條活動斷層資料不大一致，請利用地調所出版之活動斷層條帶圖說明書為底，如不同，請說明，避免混淆。	感謝委員意見，本計畫於定稿時會補充玉里斷層的評估工作，以地調所玉里斷層線型為主。