經濟部

經濟部中央地質調查所

109年度委託技術服務執行期末報告書

(定稿本)

「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(4/4)」

（第四年度）

全 程 計 畫：自106年2月至109年12月止
本年度計畫：自109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期末報告書

「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(4/4)」

（第四年度）

全 程 計 畫：自106年2月至109年12月止
本年度計畫：自109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 (4/4)

（第四年度）

計畫主持人： 顏銀桐

協同主持人： 徐澔德

計畫督導： 張玉彝

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

目錄

目錄 I
表目錄 IV
圖目錄 VI
摘要 X
Abstract XIV
第一章、緒論 1
1-1 計畫整體概述 1
1-2 計畫目的 4
1-3 本(109)年度工作內容概述 7
1-3-1 本年度工作項目 7
1-3-2 本(年度)計畫期中交付以下工作項目 7
1-3-3 本(年度)計畫期末交付以下工作項目 8
第二章、米崙斷層潛勢評估 9
2-1 米崙斷層參數更新 9
2-1-1 前階段計畫成果 9
2-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 11
2-2 邏輯樹更新 16
2-3 規模與年發生率之關係 22
2-4 發震機率之推估 23
第三章、嶺頂斷層系統潛勢評估 24
3-1 嶺頂斷層參數更新 24
3-1-1 嶺頂斷層前階段計畫成果 24
3-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 26
3-2 邏輯樹更新 30
3-3 規模與年發生率之關係 33
3-4 發震機率之推估 36
第四章、瑞穗斷層潛勢評估 37
4-1 瑞穗斷層參數更新 37
4-1-1 瑞穗斷層前階段計畫成果 37
4-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 39
4-2 邏輯樹更新 40
4-3 規模與年發生率之關係 43
4-4 發震機率之推估 44

第五章、奇美斷層潛勢評估 45
5-1 奇美斷層參數更新 45
5-1-1 前階段計畫成果 45
5-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 47
5-2 邏輯樹更新 50
5-3 規模與年發生率之關係 53
5-4 發震機率之推估 55
第六章、玉里斷層潛勢評估 56
6-1 玉里斷層參數彙整 56
6-2 邏輯樹更新 59
6-3 規模與年發生率之關係 61
6-4 發震機率之推估 63
第七章、池上斷層潛勢評估 64
7-1 池上斷層參數更新 64
7-1-1 前階段計畫成果 64
7-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 67
7-2 邏輯樹更新 70
7-3 規模與年發生率之關係 75
7-4 發震機率之推估 78
第八章、鹿野斷層潛勢評估 79
8-1 鹿野斷層參數更新 79
8-1-1 鹿野斷層前階段計畫成果 79
8-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 82
8-2 邏輯樹更新 87
8-3 規模與年發生率之關係 90
8-4 發震機率之推估 91
第九章、利吉斷層系統潛勢評估 92
9-1 利吉斷層參數更新 92
9-1-1 利吉斷層前階段計畫成果 92
9-1-2 斷層幾何(本計畫更新) 95
9-2 邏輯樹更新 96
9-3 規模與年發生率之關係 99
9-4 發震機率之推估 101
第十章、制定各活動斷層參數說明書 102
10-1 活動斷層潛勢圖成果 102
10-2 彙整成果至活動斷層查詢平台 106

第十一章、本年度成果與建議調查工作 110
11-1 本年度成果彙整..... 110
11-2 後續建議調查工作..... 113
名詞解釋 114
參考文獻 116
委員審查意見 120
（附錄請參閱光碟）
[附錄 1] 邏輯樹專家諮詢會議記錄.....附錄 1-1
[附錄 2] 台灣東部地區斷層三維幾何模型.....附錄 2-1
[附錄 3] 台灣東部地區斷層活動機率圖.....附錄 3-1
[附錄 4] 潛勢評估方法論教育訓練.....附錄 4-1

表目錄

表 A 期末交付之各項工作項目 IX
表 1-1.1：全程計畫預期進度甘梯圖 3
表 2-1.1：米崙斷層幾何面各調查方法及斷層參數 15
表 2-2.1：米崙斷層抬升速率相關文獻及推估結果(摘自胡植慶等，2016) 18
表 2-2.2：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) 20
表 2-2.3：米崙斷層之破裂事件規模計算 21
表 2-4.1：前階段計畫米崙斷層發生機率評估(胡植慶等，2016) 23
表 2-4.2：本計畫米崙斷層發生機率評估 23
表 3-1.1：嶺頂斷層及瑞穗斷層幾何形貌相關文獻 29
表 3-2.1：嶺頂斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2020) 31
表 3-2.2：嶺頂-瑞穗斷層系統之破裂事件特徵地震規模計算 32
表 3-4.1：前階段計畫嶺頂斷層發生機率評估(胡植慶等，2016) 36
表 3-4.2：本計畫嶺頂斷層發生機率評估 36
表 4-2.1：瑞穗斷層長期抬升速率資料彙整 41
表 4-2.2：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) 42
表 4-2.3：嶺頂-瑞穗斷層系統之破裂事件特徵地震規模計算 42
表 4-4.1：前階段計畫瑞穗斷層發生機率評估(胡植慶等，2016) 44
表 4-4.2：本計畫瑞穗斷層發生機率評估 44
表 4-4.3：本計畫嶺頂-瑞穗斷層系統發生機率評估 44
表 5-1.1：奇美斷層幾何形貌相關文獻 49
表 5-2.1：奇美斷層各破裂事件規模計算 52
表 5-4.1：前階段計畫奇美斷層發生機率評估(胡植慶等，2016) 55
表 5-4.2：本計畫奇美斷層發生機率評估 55
表 6-1.1：玉里斷層幾何形貌相關文獻 56
表 6-1.2：玉里斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020) 56
表 6-1.3：玉里斷層參數表 57
表 6-2.1：玉里斷層各破裂事件規模計算 60
表 6-4.1：本計畫玉里斷層發生機率評估 63
表 7-1.1：池上斷層幾何相關文獻彙整 69
表 7-2.1：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) 73
表 7-2.2：池上斷層各破裂事件規模計算 74
表 7-4.1：前階段計畫玉里-池上斷層發生機率評估(胡植慶等，2016) 78
表 7-4.2：本計畫池上斷層發生機率評估 78
表 8-1.1：鹿野斷層及利吉斷層幾何形貌相關文獻 86
表 8-2.1：鹿野斷層長期抬升速率資料彙整 88
表 8-2.2：鹿野斷層淨滑移速率換算，淨滑移速率=抬升速率/SIN(傾角) 89
表 8-2.3：鹿野斷層之破裂事件特徵地震規模計算 89
表 8-4.1：鹿野斷層發生機率評估 91
表 9-2.1：利吉斷層長期抬升速率資料彙整 97
表 9-2.2：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) 98
表 9-2.3：利吉斷層之破裂事件特徵地震規模計算 98
表 9-4.1：利吉斷層系統發生機率評估 101
表 9-4.2：鹿野-利吉斷層系統發生機率評估 101

表 11.1：活動斷層參數修改情形(O 表示有修改) 110
表 11.2：東部地區活動斷層未來 30、50、100 年發生機率 111
表 11.3：本年度計畫交付之各項工作項目 111
表 11.4：本年度預期進度甘梯圖（GANTT CHART） 112
表 11.5：預期進度查核點（CHECK POINT） 112

圖目錄

圖 1-1.1：106-109 年度各年度評估地區與斷層及孕震構造分布。 2
圖 1-1.2：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估之專業分工架構。 3
圖 1-2.1：美國加州地區活動斷層與孕震構造潛勢評估之四大流程。 4
圖 1-2.2：加州地區孕震構造之三維幾何形貌(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。 5
圖 1-2.5：日本主要孕震構造未來 30 年之活動潛勢評估成果。 6
圖 2-1.1：米崙斷層之破裂模式 (胡植慶等，2016)。 10
圖 2-1.2：米崙斷層邏輯樹架構(胡植慶等，2016)。 10
圖 2-1.3：花蓮地區 A2 及 B3 震測剖面及 A-A'地質剖面圖。 12
圖 2-1.4：(A) 臺灣東部地區 1991-2002 之地震，利用 HYPODD 重定位，紅色線段為斷層線 (B) N110°E 方向之地震深度分布投影剖面，剖面中選取之地震為 (A) 中之 B 矩形內之地震（修改自 KUOCHEN ET AL., 2004）。 12
圖 2-1.5：台灣東部 1991~2010 年重定位震央分布、地震深度分布剖面及推測構造模型(摘自：陳俊甫，2013；SHYU ET AL., 2016)。 13
圖 2-1.6：重定位地震分布及 VP、VS 速度構造面(摘自：WEN ET AL., 2019)。 14
圖 2-1.7：花蓮地區及縱谷北段之構造解釋 (摘自：YEN ET AL., 2019)。 14
圖 2-1.8：本計畫以 WEN ET AL. (2019)地震深度分布剖面推估米崙斷層幾何面參數。 15
圖 2-2.1：米崙斷層海域多頻道反射震測線分布及五條震測剖面圖(林廉凱，2017)。 17
圖 2-2.2：米崙斷層幾何破裂模式及權重分配。 18
圖 2-2.3：1951 年 10 月 22 日震央及震源機制(震源機制解：鄭世楠等，1997)。 19
圖 2-2.4：2018 年 02 月 06 日花蓮地震 RMT 資料庫波形反演震源機制。 19
圖 2-2.5：中央氣象局 2018 年 0206 花蓮地震機制解 (中央氣象局網頁)。 20
圖 2-2.6：米崙斷層更新之邏輯樹架構。 21
圖 2-3.1：米崙斷層破裂事件特徵地震模式。 22
圖 2-3.2：米崙斷層破裂事件之規模-權重分布圖。 22
圖 2-3.3：米崙斷層 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。 22
圖 3-1.1：縱谷斷層分段與嶺頂斷層條帶地質圖。 25
圖 3-1.2：嶺頂斷層邏輯樹架構(胡植慶等，2016)。 25
圖 3-1.3：嶺頂斷層地電阻影像剖面圖（石瑞銓等，2004）。 26
圖 3-1.4：花東縱谷斷層分段與幾何(引自李建成等，2004)。 27
圖 3-1.5：跨縱谷北、中、南 3D 重定位地震深度分布剖面(摘自 LEE ET AL., 2008)。 27
圖 3-1.6：橫跨中台灣的地殼剖面示意圖(摘自 SHYU ET AL., 2006)。 28
圖 3-1.7：跨越縱谷斷層中北段之速度構造剖面及地震深度分布(KUOCHEN ET AL., 2012)。 28
圖 3-1.8：2009 年 12 月 19 日 ML4.7 地震序列(SHYU ET AL., 2016)。 29
圖 3-2.1：嶺頂-瑞穗斷層系統分段破裂模式。 31
圖 3-2.2：嶺頂-瑞穗斷層系統更新邏輯樹。 32
圖 3-3.1：嶺頂-瑞穗斷層系統三個破裂事件特徵地震模式。 33
圖 3-3.2：嶺頂-瑞穗斷層系統三個破裂事件之規模-權重分布圖。 34
圖 3-3.3：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。 34
圖 3-3.4：(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。 35
圖 4-1.1：瑞穗斷層條帶地質圖（引自林啟文等，2009）。 38

圖 4-1.2：瑞穗斷層邏輯樹架構(胡植慶等，2016)。.....38
圖 4-2.1：嶺頂-瑞穗斷層系統分段破裂模式。.....41
圖 4-2.2：嶺頂-瑞穗斷層系統更新邏輯樹。.....42
圖 5-1.1：奇美斷層條帶地質圖(林啟文等，2009)。.....46
圖 5-1.2：奇美斷層邏輯樹架構(胡植慶等，2016)。.....46
圖 5-1.3：豐濱附近奇美斷層露頭（CHEN ET AL., 1991）。.....47
圖 5-1.4：秀姑巒溪奇美村東南方奇美斷層露頭（林啟文等，2009）。.....48
圖 5-1.5：泰林地區地電阻影像剖面結果圖（董倫道等人，2005）。.....48
圖 5-1.6：奇美斷層沿線地質圖（陳文山與王源，1996）。.....49
圖 5-1.7：本計畫瑞穗斷層及奇美斷層幾何。點位為中央氣象局 1900-2015 地震。.....49
圖 5-2.1：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)。.....51
圖 5-2.2：奇美地區階地分布圖(SHYU ET AL., 2006)。.....51
圖 5-2.3：奇美斷層特徵地震模式，滑移速率採 0.5 MM/YR。.....52
圖 5-2.4：奇美斷層特徵地震模式，滑移速率採 3.0 MM/YR。.....52
圖 5-2.5：奇美斷層更新邏輯樹。.....52
圖 5-3.1：奇美斷層破裂事件特徵地震模式。.....53
圖 5-3.2：奇美斷層破裂事件之規模-權重分布圖。.....54
圖 5-3.3：奇美斷層 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。.....54
圖 6-2.1：玉里斷層條帶地質圖，座標系統 TWD67 (林啓文等，2009)。.....59
圖 6-2.2：本計畫玉里斷層及池上斷層幾何設定。玉里斷層傾角 51 度，深度 10 公里。....60
圖 6-2.3：玉里斷層邏輯樹。.....60
圖 6-3.1：玉里斷層破裂事件特徵地震模式。.....61
圖 6-3.2：玉里斷層破裂事件之規模-權重分布圖。.....62
圖 6-3.3：玉里斷層破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。.....62
圖 7-1.1：玉里-池上斷層系統分段、破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。.....65
圖 7-1.2：前階段計畫玉里-池上斷層系統幾何形貌剖面圖(胡植慶等，2016)。.....66
圖 7-1.3：前階段計畫玉里-池上斷層系統邏輯樹(胡植慶等，2016)。.....66
圖 7-1.4：池上斷層及附近之地震序列深度分布剖面（摘自 LEE ET AL., 2003）。.....68
圖 7-1.5：(A)2003 年成功地震餘震分布及斷層面解，(B)A-B 剖面餘震深度分布(CHENG ET AL., 2009)。.....68
圖 7-1.6：(A)臺灣地體架構及地震站分布，黑色實線為速度構造剖面分布，(B)為跨越縱谷斷層南段 S03 速度構造剖面(KUOCHEN ET AL., 2012)。.....69
圖 7-2.1：本計畫池上斷層分段破裂模式。.....71
圖 7-2.2：縱谷南段 PS 點位視衛星方向速度分布圖(CHAMPENOIS ET AL., 2012)。.....72
圖 7-2.3：池上斷層幾何破裂模式及權重分配。.....72
圖 7-2.4：池上斷層垂直滑移速率(修改自張冕，2013)。.....73
圖 7-2.5：美國 UCERF3 潛移速率/滑移速率比例與震矩折減之關係。.....73
圖 7-2.6：池上斷層更新邏輯樹。.....74
圖 7-3.1：池上斷層各破裂事件特徵地震模式。.....75
圖 7-3.2：池上斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。.....76
圖 7-3.3：池上斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。.....76
圖 7-3.4：(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。.....77
圖 8-1.1：鹿野斷層破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。.....80
圖 8-1.2：參考速度構造剖面及地震分布推估鹿野斷層及利吉斷層幾何面(胡植慶等，2016)。

.....80
圖 8-1.3：鹿野-利吉斷層系統邏輯樹(胡植慶等，2016)。.....81
圖 8-1.4：卑南山礫岩構造演化圖（LEE ET AL., 1998）。.....83
圖 8-1.5：(A)鹿野斷層條帶地質圖，震測線位於紅色實線處，(B)永安淺層震測剖面，(C)龍田淺層震測西側剖面（石瑞銓與陳平護，2001）。.....83
圖 8-1.6：鹿野斷層、利吉斷層地下構造模型（紀權宥，2007）。.....84
圖 8-1.7：研究區域之地下構造剖面（姜彥麟，2007）。.....84
圖 8-1.8：(A)鹿野 07P-LYHF-LT-1 測線位置圖，(B)淺層反射震測剖面圖（王蘭榛等，2010）。.....84
圖 8-1.9：（A）2006 臺東地震系列重新定位及震源機制解，（B）臺東地震剖面圖，圖中左側粗紅線為中央山脈斷層，上部紅色虛線為鹿野斷層位置，右側淡藍色多邊形為利吉斷層位置 (WU ET AL., 2006)。.....85
圖 8-1.10：左圖為臺灣地體架構及地震站分布，黑色實線為速度構造剖面分布，右圖為縱谷斷層最南段 S01 速度構造剖面（修改自 KUOCHEN ET AL., 2012）。.....85
圖 8-1.11：鹿野-利吉斷層系統三維幾何形貌。.....86
圖 8-2.1：鹿野斷層及利吉斷層條帶地質圖(改自林啟文等，2009)。.....88
圖 8-2.2：鹿野斷層及利吉斷層更新邏輯樹。.....89
圖 8-3.1：鹿野斷層破裂事件特徵地震模式。.....90
圖 8-3.2：鹿野斷層破裂事件之規模-權重分布圖。.....90
圖 8-3.3：鹿野斷層之地震復發間隔時間-權重分布圖。.....90
圖 9-1.1：利吉斷層破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。.....93
圖 9-1.2：參考速度構造剖面及地震分布推估鹿野斷層及利吉斷層幾何面。.....93
圖 9-1.3：鹿野-利吉斷層系統邏輯樹(胡植慶等，2016)。.....94
圖 9-2.1：鹿野斷層及利吉斷層條帶地質圖(改自林啟文等，2009)。.....97
圖 9-2.2：鹿野斷層及利吉斷層更新邏輯樹。.....98
圖 9-3.1：利吉斷層破裂事件特徵地震模式。.....99
圖 9-3.2：鹿野斷層及利吉斷層破裂事件之規模-權重分布圖。.....100
圖 9-3.3：利吉斷層之地震復發間隔時間-權重分布圖。.....100
圖 9-3.4：(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。.....100
圖 10-1.1：台灣東部水平速度場及斷層活動機率圖。.....104
圖 10-1.2：台灣東部垂直速度場及斷層活動機率圖。.....105
圖 10-2.1：中央地質調查所既有活動斷層查詢系統。.....106
圖 10-2.2：網站功能架構圖。.....107
圖 10-2.3：活動斷層查詢網站示意圖。.....107
圖 10-2.4：活動斷層查詢網頁新增連結。.....108
圖 10-2.5：活動斷層查詢網頁連結「斷層資訊與活動參數」。.....108
圖 10-2.6：活動斷層查詢網頁連結「分析潛勢與評估成果」。.....109

表 A 期末交付之各項工作項目

	工作項目	章節
東部活動斷層參數及潛勢圖更新	1. 精進活動斷層參數：依最新地質研究資料，檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新劃設東部地區 8 條活動斷層(26 米崙斷層、27 嶺頂斷層、28 瑞穗斷層、29 奇美斷層、30 玉里斷層、31 池上斷層、32 鹿野斷層、33 利吉斷層)邏輯樹。	2-2 3-2 4-2 5-2 6-2 7-2 8-2 9-2
	2. 召開 1 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議，進行邏輯樹架構與參數權重之合理性探討。	附錄 1
	3. 建立東部地區 8 條活動斷層視覺化三維斷層模型。	附錄 2
	4. 產製東部地區 8 條活動斷層潛勢圖。	附錄 3
制定各活動斷層參數說明書	1. 匯整潛勢評估成果，繪製並出版臺灣活動斷層潛勢圖。	10-1
	2. 將前階段蒐集之活動斷層成果包含斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果匯整至活動斷層查詢平台。	10-2
全臺 33 條活動斷層潛勢總結評估	1. 以西元 2020 年為起算時間，總評估全台 33 條活動斷層潛勢	階段總結報告書
	2. 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	階段總結報告書
	3. 辦理潛勢評估方法論教育訓練	附錄 4

臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估

摘要

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

本年度計畫重點為檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新劃設東部地區 8 條活動斷層(26 米崙斷層、27 嶺頂斷層、28 瑞穗斷層、29 奇美斷層、30 玉里斷層、31 池上斷層、32 鹿野斷層、33 利吉斷層)邏輯樹與斷層潛勢機率評估。本年度成果可參照「四、計畫成果」內文。

關鍵詞：斷層潛勢分析、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仍,依據過去一百多年的紀錄,臺灣地區主要的災害性地震大多是斷層活動所引起,加上1999 年集集地震造成的經濟與社會衝擊,以及公共工程耐震評估需求活動斷層潛勢資訊殷切,因此活動斷層相關的調查與研究,近年來是我國地球科學界熱門的研究主題之一。

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

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

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

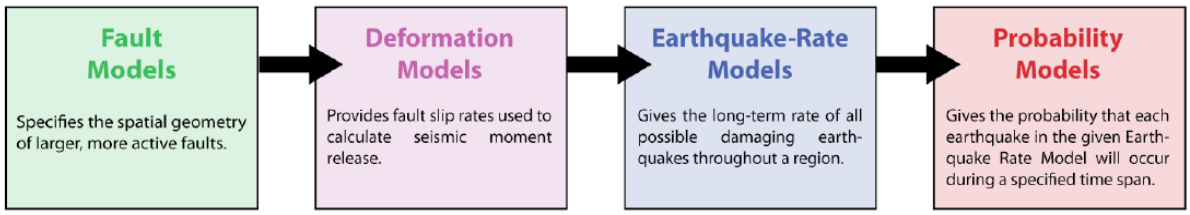
三、方法與工項

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

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

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

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



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

四、計畫成果

本計畫針對東部地區八條活動斷層進行新資料蒐集，並諮詢相關專家後，進行參數更新及邏輯樹重新劃設。

以機率法評估東部地區八條活動斷層未來 30、50、100 年特徵地震規模之發生機率，更新後各斷層發生機率詳如表一所示。

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、東部地區活動斷層未來 30、50、100 年發生機率

斷層名稱	最近一次發生時間	統計模式	規模 6.5 以上發生機率		
			未來 30 年	未來 50 年	未來 100 年
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	嶺頂：未知 瑞穗：西元 1951 年 整段：未知	嶺頂：POISSON 瑞穗：BPT 整段：POISSON	9.8%	15.1%	25.1%
瑞穗斷層			24.0%	32.4%	43.3%
奇美斷層	未知	POISSON	3.0%	4.9%	9.4%
玉里斷層	西元 1951 年	BPT	44.7%	53.9%	65.8%
池上斷層	北段：西元 1951 年 南段：西元 2003 年 整段：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%

五、結論與建議

本計畫現階段業已完成全台灣 33 條活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估，期能提供最新之斷層活動性參數及潛勢評估成果。而斷層參數、參數說明及相關資料則彙整於網頁資料庫平臺。

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

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

Abstract

From the 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 also launched a series of projects to investigate the details to better understand each active fault. 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 2020 project, we focused on the improvement of fault parameters and earthquake probability assessment of the eight active faults (26 Milun fault, 27 Lingding fault, 28 Rueyshui fault, 29 Chimei fault, 30 Yuli fault, 31 Chihshang fault, 32 Luyeh fault, 33 Lichi fault) in Eastern Taiwan. The logic trees of these faults were also been renewed according to experts’ comments. This year’s results are shown 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.

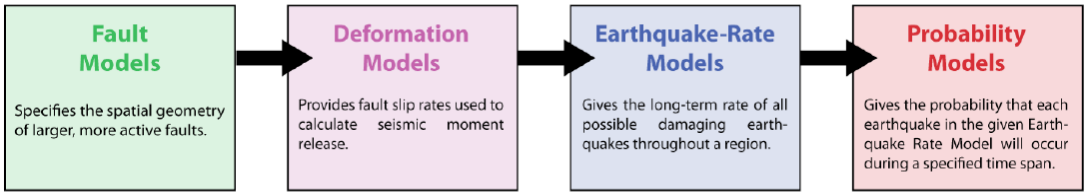


Figure 1. Four models adopted by earthquake probability assessment for active faults (excerpted from WG07, 2008)

4. Project Result

In this year's project, we reviewed the parameters of the eight active faults in Eastern Taiwan. The logic trees of these faults also have been renewed based on experts' comments. The renewed 30-, 50-, and 100- year conditional probability for M ≥ 6.5 earthquakes of each fault in Eastern Taiwan is 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 Eastern Taiwan

Fault name	The latest event time	Probability model	Mw ≧ 6.5 earthquake probability		
			30 years	50 years	100 years
Milun fault	1951 A.D.	BPT	28.6%	42.4%	64.9%
	2018 A.D.	BPT	2.9%	12.3%	41.5%
Lingding fault	Lingding: Unknown Rueyshui: 1951 A.D. Full: Unknown	Lingding: POISSON Rueyshui: BPT Full: POISSON	9.8%	15.1%	25.1%
Rueyshui fault			24.0%	32.4%	43.3%
Chimei fault	Unknown	POISSON	3.0%	4.9%	9.4%
Yuli fault	1951 A.D	BPT	44.7%	53.9%	65.8%
Chihshang fault	North: 1951 A.D. South: 2003 A.D. Full: 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%

5. Conclusion and Suggestions

At the present stage, this project has completed the improvement of earthquake probability assessment for the 33 active faults in Taiwan. The goal of this four-year project is to provide the latest activity parameters and the earthquake probability result of each active fault. The results of this project will be integrated into a database for the use of the web page query platform.

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

第一章、緒論

1-1 計畫整體概述

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

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

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

基於前階段完成之成果，參考目前國際間最新相關研究，如 Field et al. (2013)的 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。

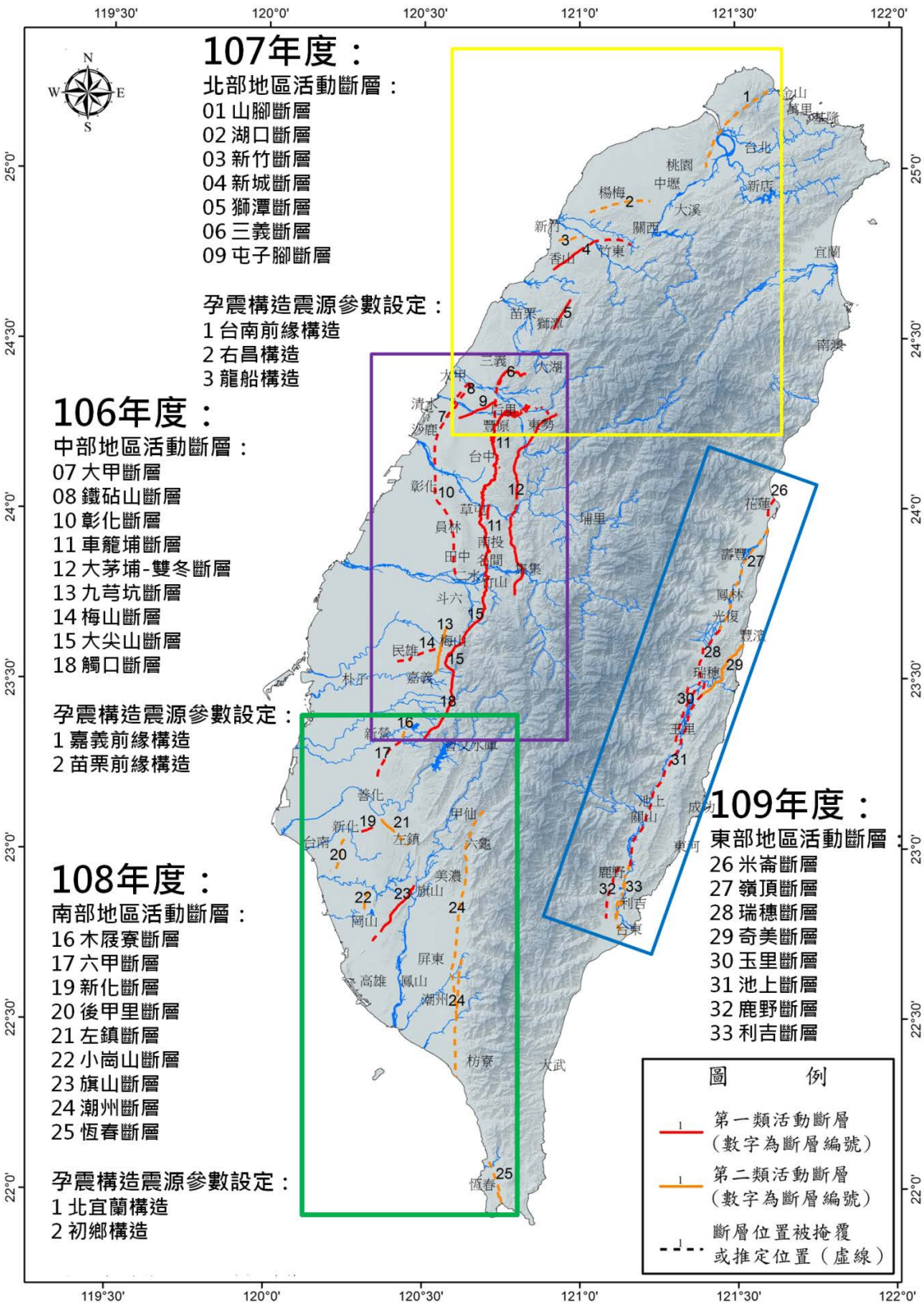


圖 1-1.1：106-109 年度各年度評估地區與斷層及孕震構造分布。

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

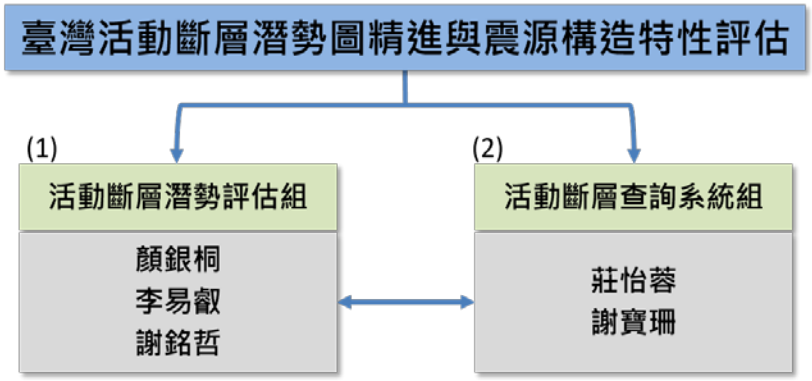


圖 1-1.2：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估之專業分工架構。

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，2019)如圖 1-2.5 所示，圖中包含了各活動斷層之位置分布、發生機率及可能引致之地震規模，各活動斷層潛勢以不同顏色表示。本計畫之目的乃產製如圖 1-2.5 之活動斷層地震潛勢成果，以供我國地震防災相關分析所需之基礎應用資料。

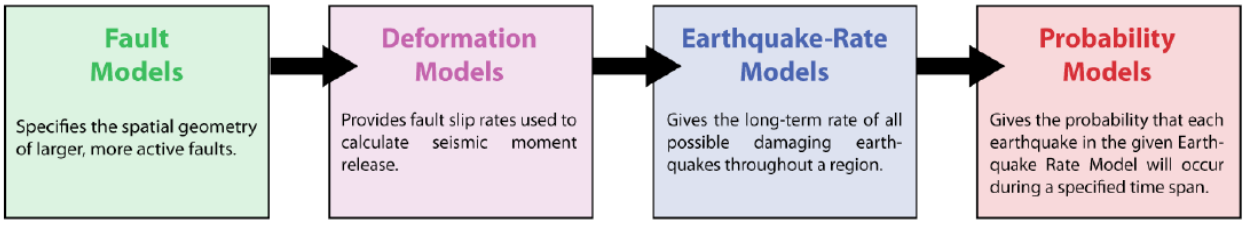


圖 1-2.1：美國加州地區活動斷層與孕震構造潛勢評估之四大流程(摘錄自 WG07, 2008)。

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

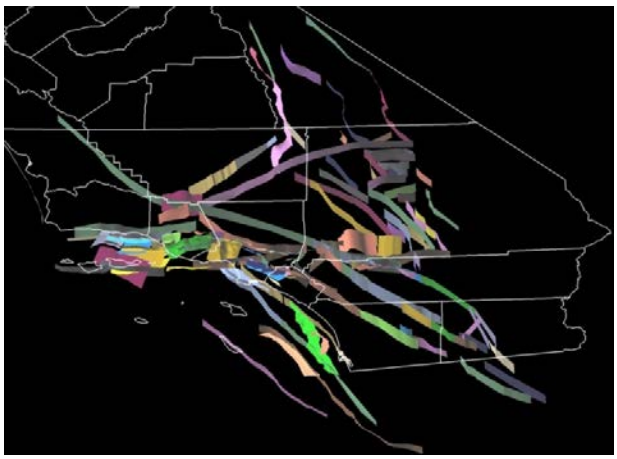


圖 1-2.2：加州地區孕震構造之三維幾何形貌(WG07, 2008)。

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

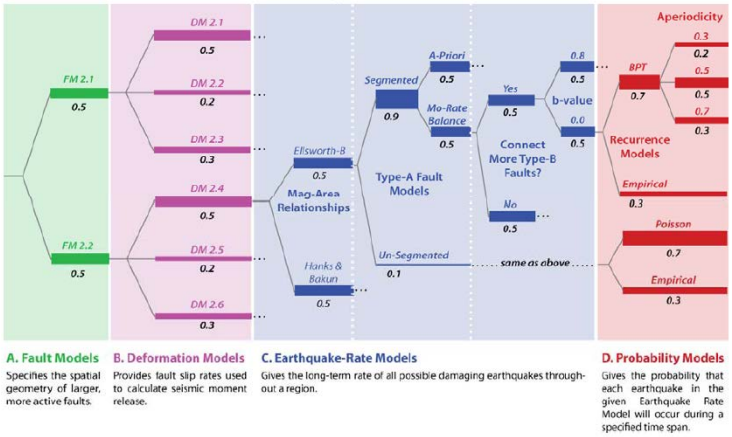


圖 1-2.3：加州地區地震潛勢評估之專家討論成果邏輯樹(摘錄自 WG07, 2008)。

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

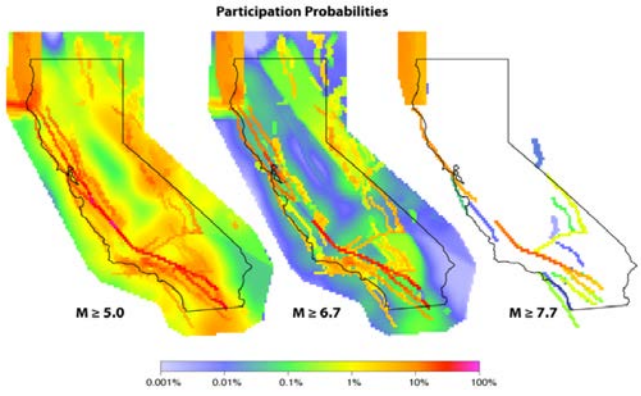


圖 1-2.4：加州地區未來 30 年發生地震規模為 5、6.7、7.7 以上之機率分布圖(摘錄自 WG07, 2008)。

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

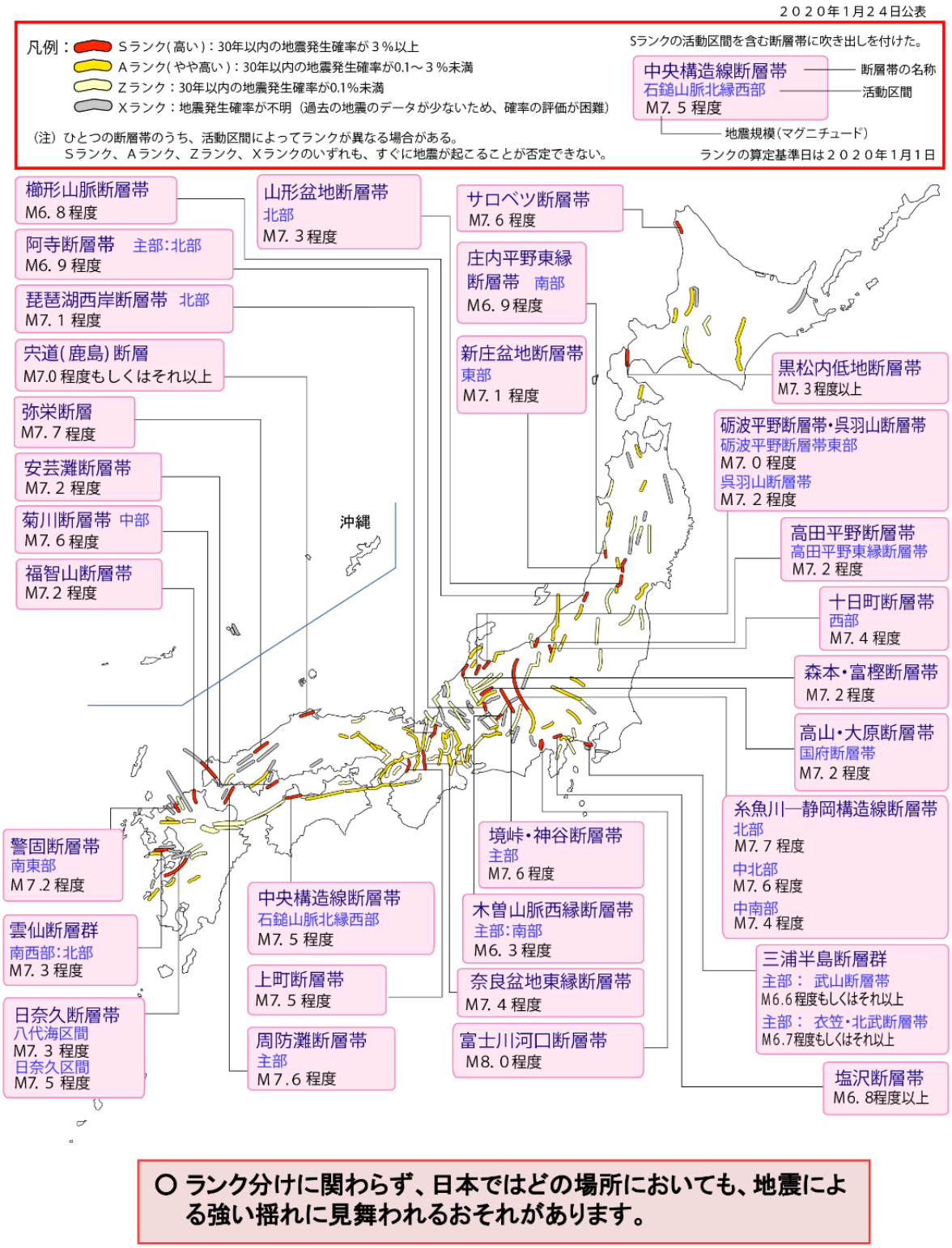


圖 1-2.5：日本主要孕震構造未來 30 年之活動潛勢評估成果(日本全國地震動預測圖，2020)。

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

1-3 本(109)年度工作內容概述

1-3-1 本年度工作項目

(1)東部活動斷層斷層參數及潛勢圖更新：

A. 精進活動斷層參數：依最新地質研究資料，檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新劃設東部地區 8 條活動斷層(26 米崙斷層、27 嶺頂斷層、28 瑞穗斷層、29 奇美斷層、30 玉里斷層、31 池上斷層、32 鹿野斷層、33 利吉斷層)邏輯樹。

B. 召開 1 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議，針對東部地區活動斷層分段特性、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. 建立東部地區 8 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。

F. 產製東部地區 8 條活動斷層潛勢圖。

(2)制定各活動斷層參數說明書：

A. 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。

B. 匯整年度潛勢評估成果，繪製並出版臺灣東部活動斷層潛勢圖。

(3)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。

1-3-2 本(年度)計畫期中交付以下工作項目

A. 東部地區 4 條活動斷層(26 米崙斷層、27 嶺頂斷層、28 瑞穗斷層、29 奇美斷層)邏輯樹。

B. 期中報告書面資料 15 份與簡報資料。

1-3-3 本(年度)計畫期末交付以下工作項目

A. 東部地區 4 條活動斷層(30 玉里斷層、31 池上斷層、32 鹿野斷層、33 利吉斷層)邏輯樹。

B. 東部地區 8 條活動斷層視覺化三維斷層模型。

C. 東部地區 8 條活動斷層潛勢評估成果。

D. 提供匯整至活動斷層查詢平台之斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果。

E. 期末報告書面資料 15 份與簡報資料。

第二章、米崙斷層潛勢評估

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

2-1 米崙斷層參數更新

2-1-1 前階段計畫成果

前階段計畫在評估米崙斷層之破裂，根據海陸域地形，米崙斷層除了陸域 8 公里，南段海域延伸約 2 公里，東北海域延伸約 25 公里，總長度 35 公里，詳圖 2-1.1。前階段計畫則考慮一種破裂情形，即 35 公里整段破裂。

米崙斷層之傾角及破裂深度，前階段計畫根據震測剖面及地震深度分布等資料，傾角範圍約 60~70 度。深度上，由於西元 1951 年米崙斷層發生規模 7 以上的地震，評估深度需達 30 公里才能產生此規模之地震，且縱谷斷層破裂深度也可達 30 公里，因此以 30 公里為邏輯樹中值，並加減 5 公里做為深度不確定性上下界。

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

米崙斷層之滑移速率，主要是利用階地定出抬升速率，其中早期的碳 14 定年資料因未經校正，前階段計畫中不予考慮。將所有樣本之抬升速率平均之後，得到抬升速率平均值為 5.29~6.21 mm/yr，以傾角 65 度換算至斷層面上。另外，參考西元 1951 年地表破裂及震源機制解，考慮斷層面滑移角 30±10 度之情形，得到淨滑移速率範圍為 9.08~20.03 mm/yr，前階段計畫以 9.08 mm/yr 及 20.03 mm/yr 作為上下界，兩者的平均值 14.56 mm/yr 作為中值。

前階段計畫最近一次活動時間為西元 1951 年，因此以 BPT 模式評估米崙斷層潛勢。

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

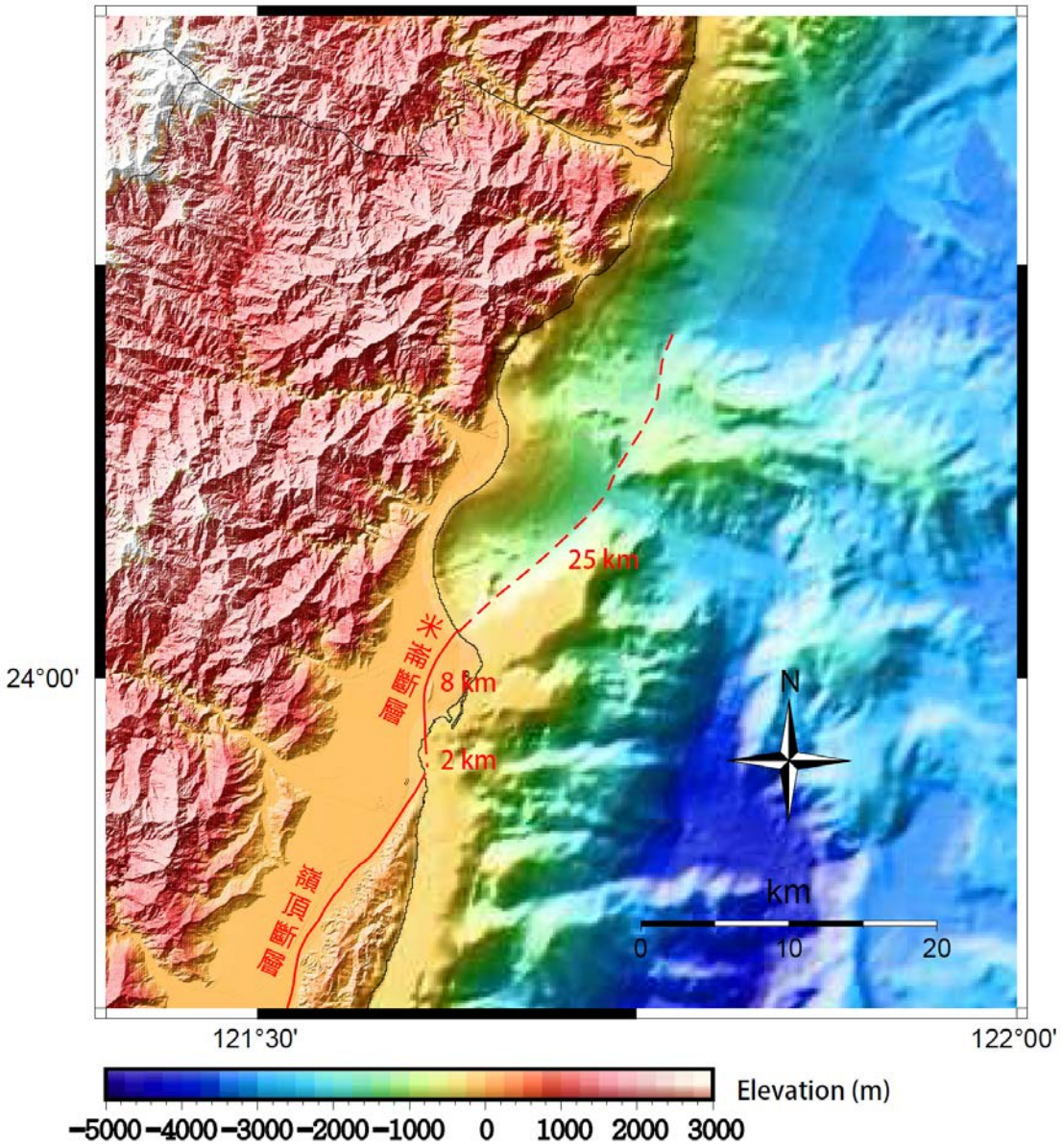


圖 2-1.1：米崙斷層之破裂模式 (胡植慶等，2016)。

Fig. 2-1.1 Rupture lineation of the Milun fault (Hu et al., 2016).

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

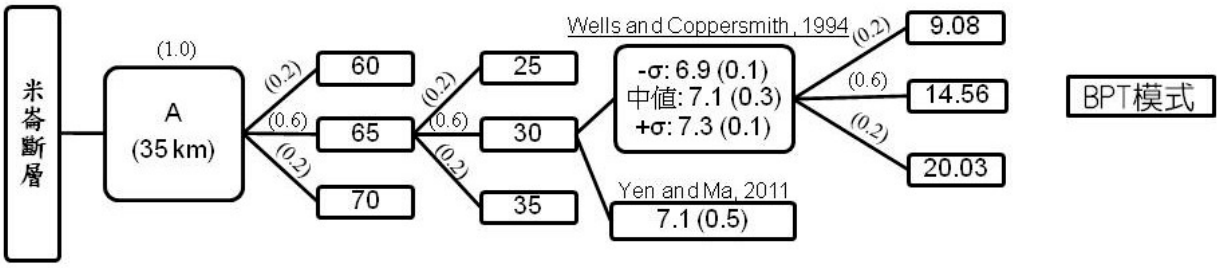


圖 2-1.2：米崙斷層邏輯樹架構(胡植慶等，2016)。

Fig. 2-1.2 Logic tree structure of the Milun fault (Hu et al., 2016).

2-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

圖 2-1.3 為花蓮地區之淺層震測剖面及推估之地質剖面(朱傚祖與游明聖,1996),由 A2 震測剖面推估米崙斷層淺部為高角度斷層,B3 震測剖面則顯示民意斷層為向西傾斜的斷層。推斷民意斷層為米崙斷層之背衝斷層,如圖 2-1.3 之 AA'地質剖面所示。

圖 2-1.4 為臺灣東部地區利用 hypoDD 重定位之 1991-2002 地震分布（Kuochen et al., 2004），其中 B 剖面即位於米崙斷層所在位置，在米崙斷層處 10 公里深度有地震密集區。

陳俊甫(2013)於台灣東部針對西元 1991-2010 年的地震進行重定位，地震分布如圖 2-1.5(a)所示，圖 2-1.5(b)則為 B-B'地震深度分布剖面，米崙斷層位於美崙台地處，圖 2-1.5(b)中，美崙台地下方有兩個地震群(編號 1 及編號 3)。陳俊甫(2013)認為深部地震群(編號 3)可能為海岸山脈深處與中央山脈，抑或是縱谷沈積物，碰撞所引發的地震活動，與美崙台地下方深 10 公里的地震群在深度上以及機制上有明顯的差異，陳俊甫(2013)認為兩者為不同系統的地震活動。根據圖 2-1.5(c)區域構造模型，米崙斷層可能只是縱谷北段的小型斷層。

2018 年 2 月花蓮地震後，Wen et al. (2019)蒐集米崙斷層附近 2012-2017 地震進行重定位，地震分布如圖 2-1.6(a)所示，其中 C-C'剖面正好跨過米崙斷層，圖 2-1.6(b)即為 C-C'剖面速度構造及地震深度分布圖，圖中可見米崙斷層下方 10 公里處有明顯的地震群。

Yen et al. (2019)依據 2018 年花蓮地震及地表變形觀測，提出區域的構造解釋模型(圖 2-1.7)，向東傾的高角度米崙斷層向下接到一近乎垂直的走向滑移斷層帶，這可能是向西傾的外海逆斷層的背衝停止(backstop)斷層。

米崙斷層幾何面各調查方法及斷層參數彙整於表 2-1.1。米崙斷層之傾角，根據震測剖面推斷為高角度斷層，然而從地震深度分布剖面中，從幾個地震群中要定出斷層面仍有不確定性，本計畫從 Wen et al. (2019)剖面中得到最符合地震深度分布趨勢線的傾角 65E 度作為斷層面(圖 2-1.8)。另外，根據圖 2-1.7 的模型，米崙斷層下方存在一向西傾的高角度斷層，陳俊甫(2013)認為是不同系統的斷層，本計畫依然參考 Wen et al. (2019)的剖面，以最符合地震深度分布趨勢線的傾角 80W 度作為斷層面。

在考慮米崙斷層的幾何破裂模式主要分為兩種，一個是米崙斷層在深度 0~10 公里傾角 65E 的破裂，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 公里及 30 公里的不確定性，如圖 2-1.8 所示。

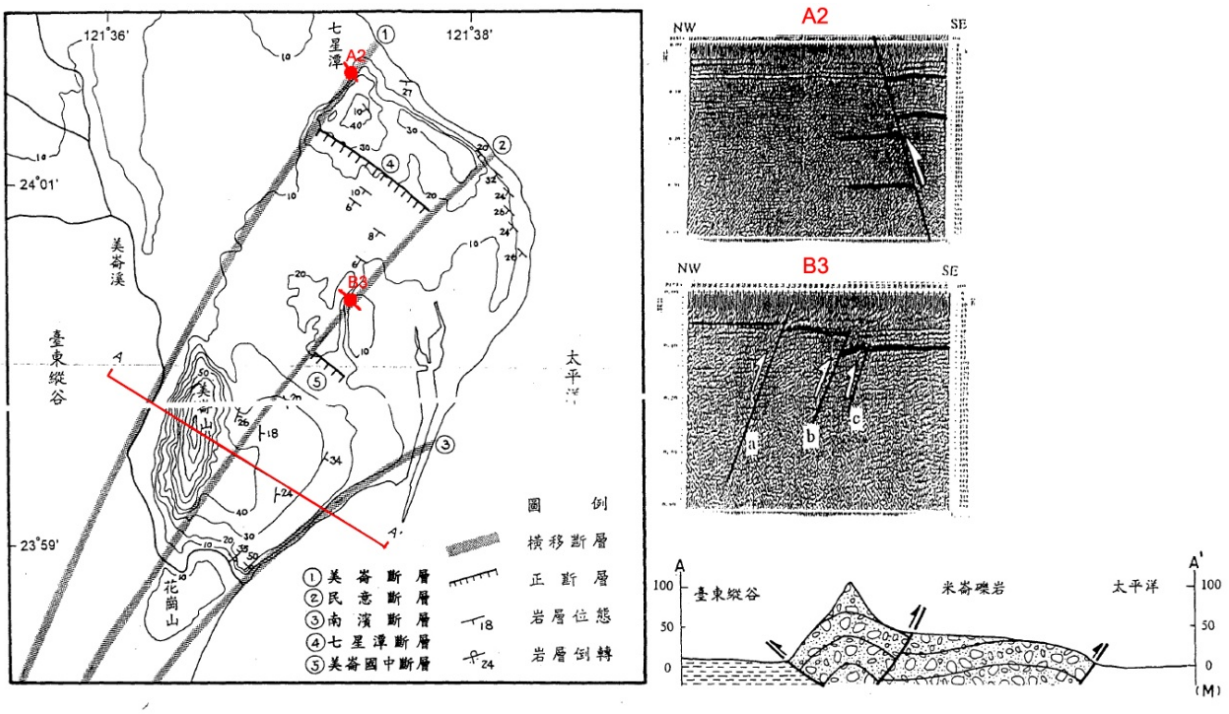


圖 2-1.3：花蓮地區 A2 及 B3 震測剖面及 A-A'地質剖面圖（修改自朱傚祖與游明聖，1996）。

Fig. 2-1.3 A2 and B3 seismic profiles and A-A' geological cross section in Hualien area (Chu and Yu, 1996).

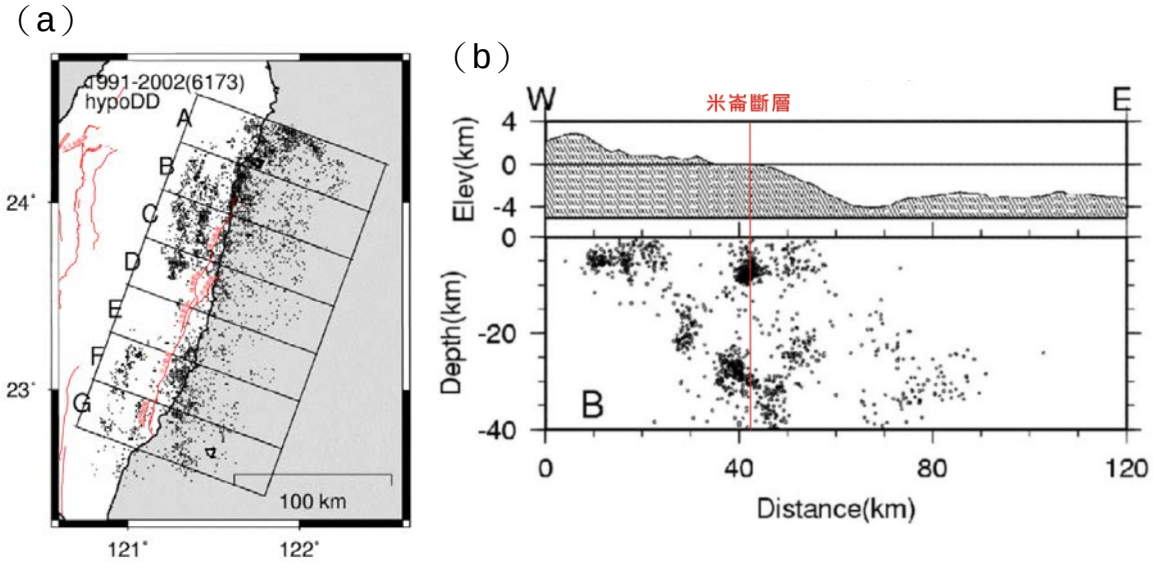


圖 2-1.4：（a）臺灣東部地區 1991-2002 之地震，利用 hypoDD 重定位，紅色線段為斷層線（b）N110°E 方向之地震深度分布投影剖面，剖面中選取之地震為（a）中之 B 矩形內之地震（修改自 Kuochen et al., 2004）。

Fig. 2-1.4 (a) Distribution map of 1991-2002 hypoDD relocated epicenters. (b) N110°E direction seismicity depth profiles within B rectangle range (Kuochen et al., 2004).

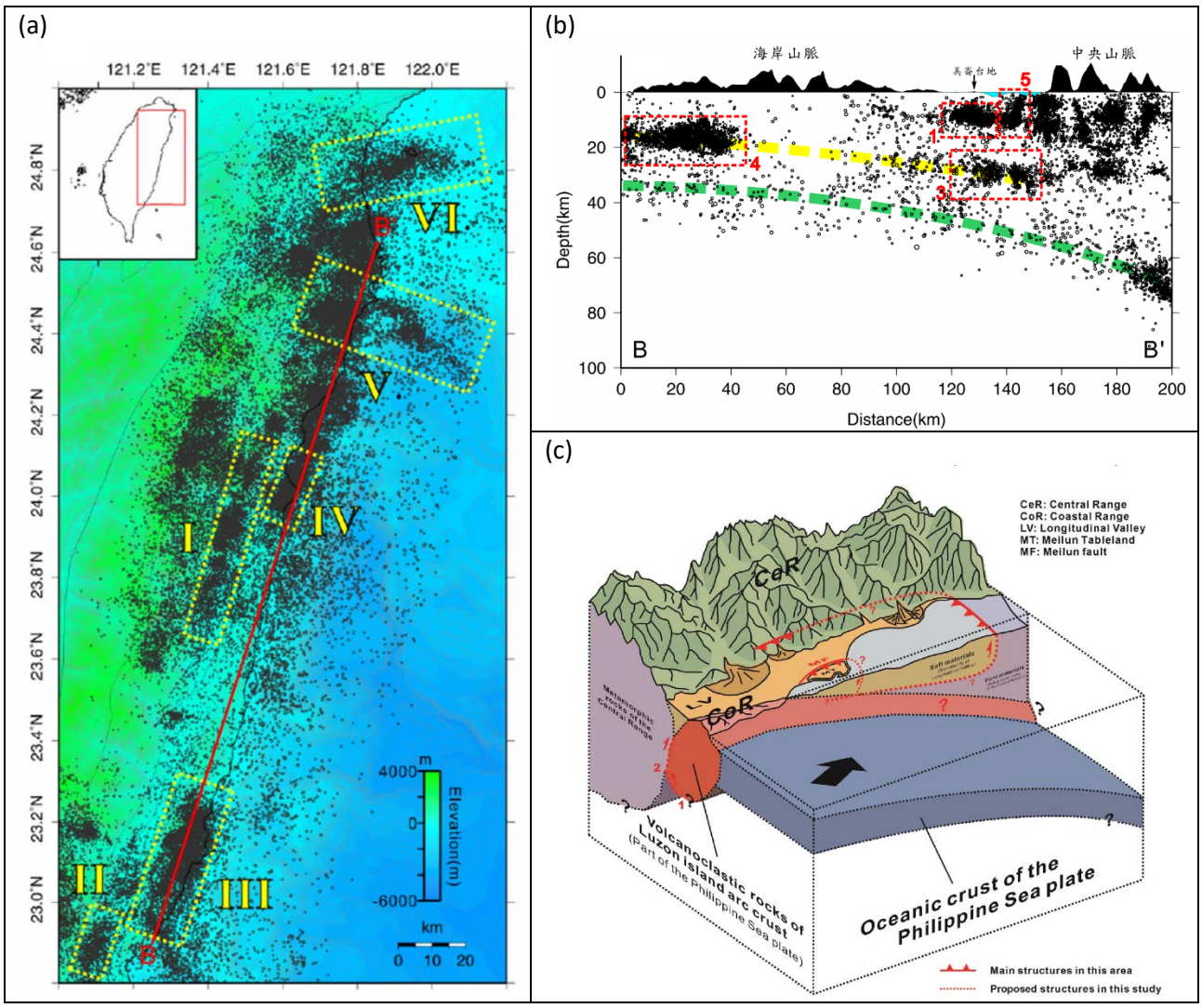


圖 2-1.5：台灣東部 1991~2010 年重定位震央分布、地震深度分布剖面及推測構造模型。(a)1991~2010 年重定位震央分布圖，(b)B-B'剖面地震深度分布，黃色虛線為縱谷斷層的地震活動帶，綠色虛線為班尼奧夫帶地震帶，(c)縱谷北端區域推測構造模型(摘自：陳俊甫，2013；Shyu et al., 2016)。

Fig. 2-1.5 Distribution of the 1991-2010 relocated epicenters, B-B' seismicity depth profiles, and proposed structural development model (Chen, 2013；Shyu et al., 2016).

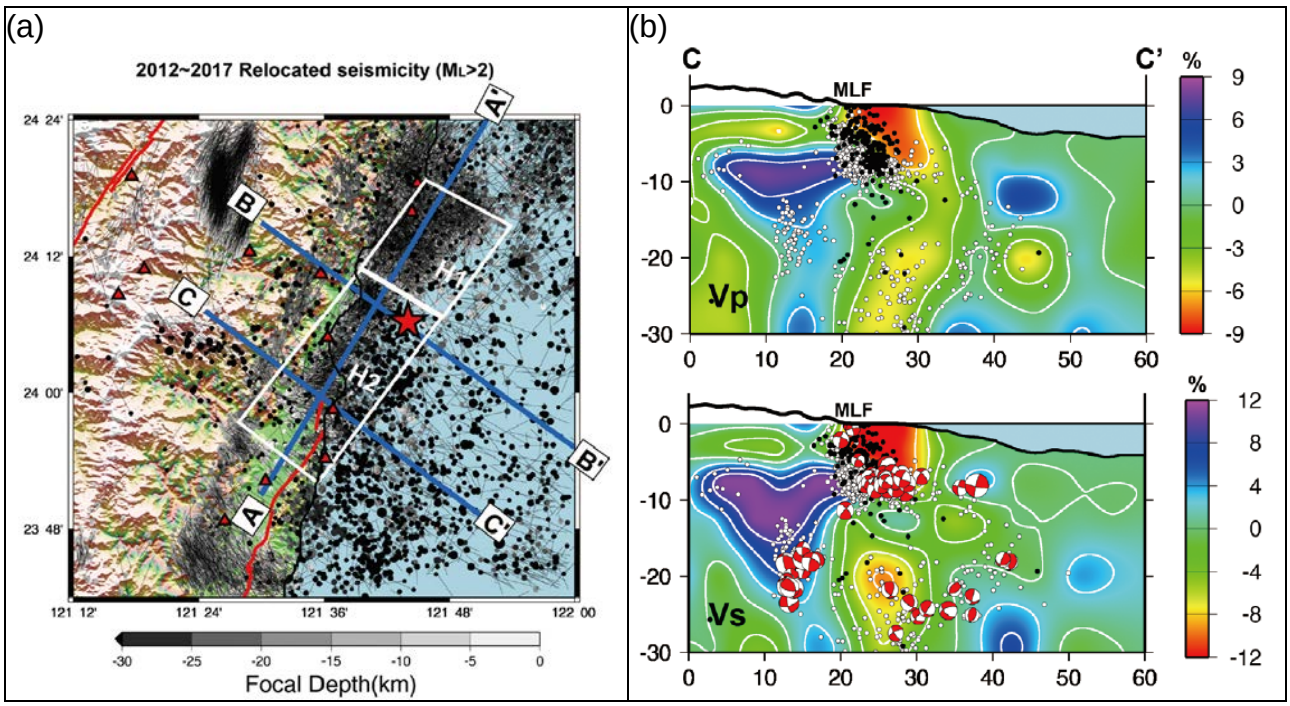


圖 2-1.6：重定位地震分布及 Vp、Vs 速度構造面。(a) 2012-2017 重定位地震；(b)C-C'速度構造剖面及地震深度，上圖為 Vp，下圖為 Vs 速度構造剖面，圓圈代表西元 2012-2017 年，ML>2 的地震，黑色點代表 2018 年 2 月地震 (摘自：Wen et al., 2019)。

Fig. 2-1.6 Spatial distribution of 2012-2017 relocated epicenters and tomographic Vp, Vs structures along C-C'profile (Wen et al., 2019).

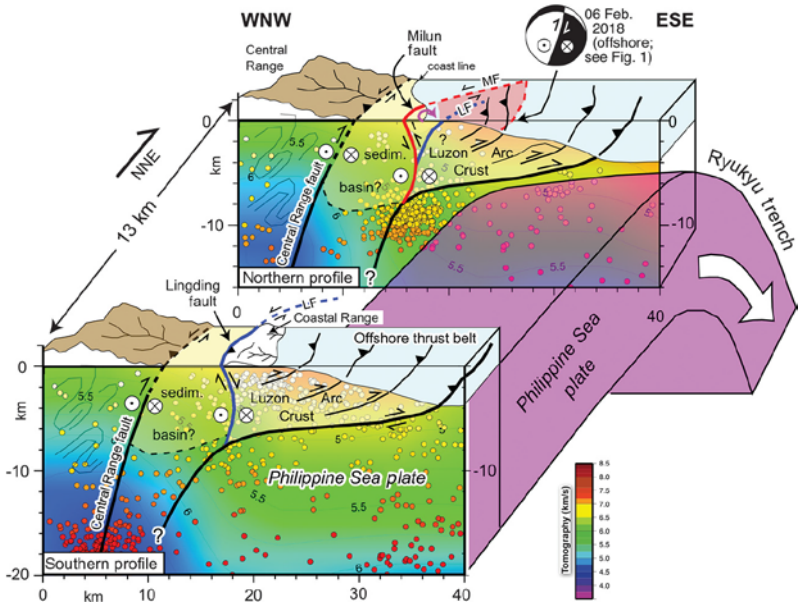


圖 2-1.7：花蓮地區及縱谷北段之構造解釋 (摘自：Yen et al., 2019)。

Fig. 2-1.7 Structural interpretation of faults involved in seismogenic deformation during the 6 February Hualien earthquake (focal mechanism in cross-section view), overlain on regional color tomography and seismicity (Yen et al., 2019).

表 2-1.1：米崙斷層幾何面各調查方法及斷層參數

Tab. 2-1.1 Parameters and references of the geometry of the Milun fault

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	NA	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	NA	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	NA	在 10 公里深度內有一地震密集區

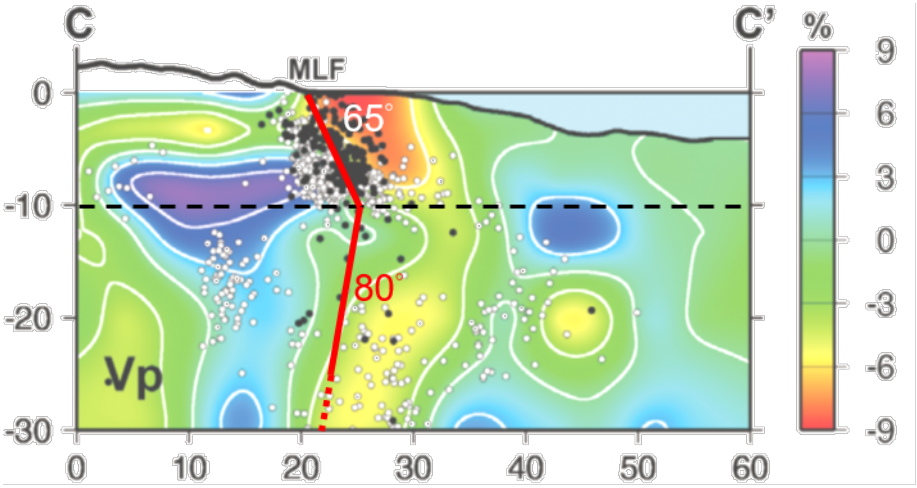


圖 2-1.8：本計畫以 Wen et al. (2019)地震深度分布剖面推估米崙斷層幾何面參數。

Fig. 2-1.8 This project's fault geometry setting of the Milun fault based on Wen et al. (2019) C-C' seismicity depth profile.

2-2 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 2-1.1。林廉凱(2017)於縱谷斷層北端海域進行了一系列精細的海底地形及地下構造調查，圖 2-2.1 為五條海域多頻道反射震測線調查成果，從花蓮海脊的三條震測剖面(mcs1087-1,2,3)可看到花蓮海脊西側有東傾的逆斷層構造，研判為米崙斷層的海域延伸，而新城海脊的 mcs1087-5 剖面可以觀察到在新城海脊最西側之峽谷中的沉積層也有受到擠壓之特徵，且旁邊存在一向東傾之逆衝斷層。最北端的 mcs291-23 剖面的淺層構造也可以看到許多的正斷層，可能是由於地滑移而崩塌所造成，林廉凱(2017)推測，米崙斷層有可能延伸至新城海脊的西側峽谷，可做為本計畫從地形推估的米崙斷層海域延伸的論證。

米崙斷層之幾何，根據 2-1-2 節的論述，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 2-2.2 所示。

米崙斷層上盤之抬升速率資料彙整如表 2-2.1 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，圖 2-2.3 為 1951 年 10 月 22 日花蓮地震震央分布及震源機制，根據鄭世楠等(1997)震源機制解，滑移角分別為 31 度及 73 度。另外，西元 2018 年 2 月 6 日發生的花蓮近海地震，根據 RMT 資料庫震源機制解，滑移角為 32 度，地震矩規模 Mw=6.3(圖 2-2.4)，根據中央氣象局震源機制解，滑移角為 25.57 度，地震矩規模 Mw=6.2(圖 2-2.5)。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 2-2.2)，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 2-2.3 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 2-2.6 所示。

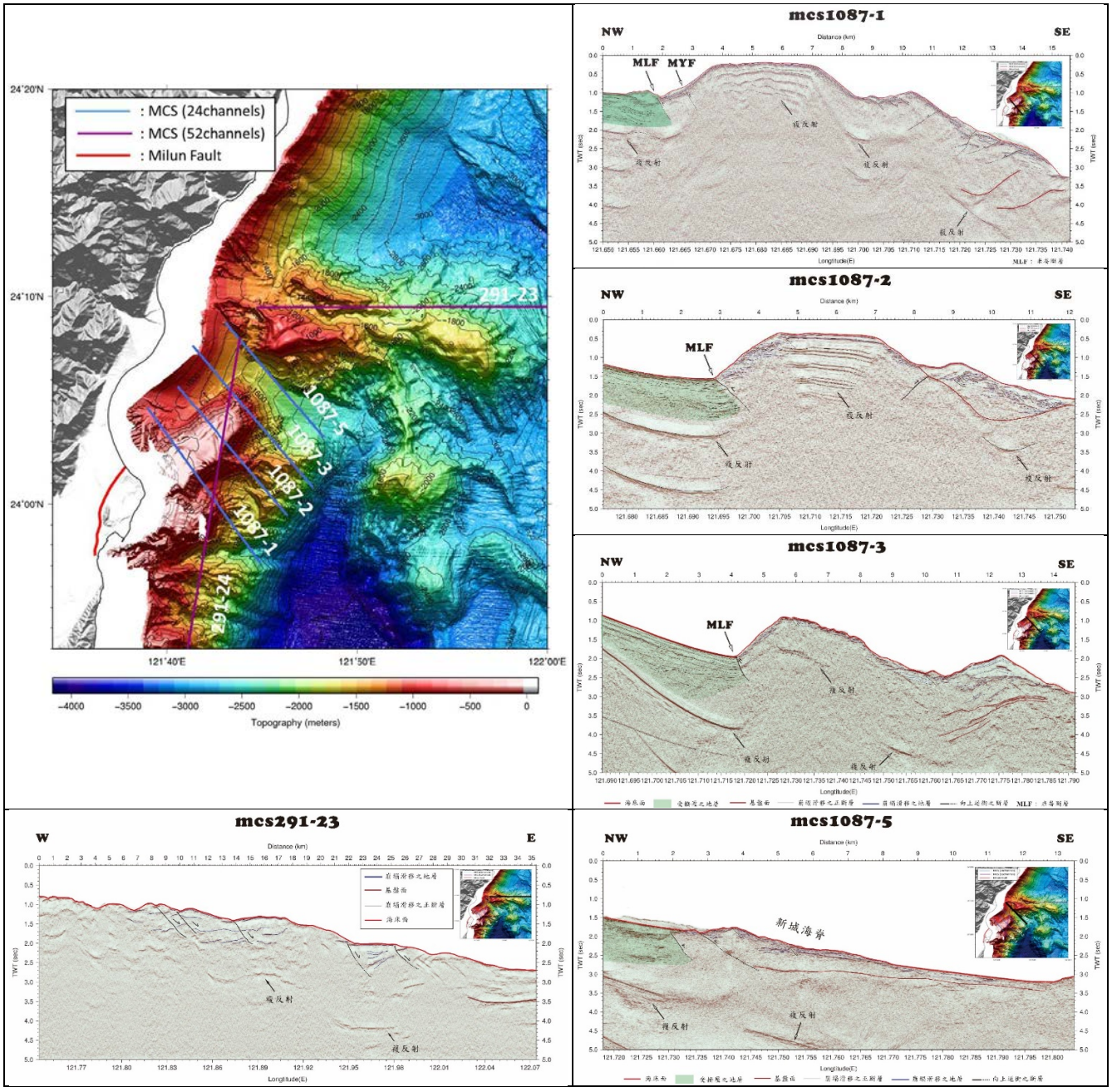


圖 2-2.1：米崙斷層海域多頻道反射震測線分布及五條震測剖面圖(林廉凱，2017)。

Fig. 2-2.1. Distribution map of the multi-channel reflection seismic profiles at the offshore portion of the Milun Fault, and the five seismic profiles (Lin, 2017).

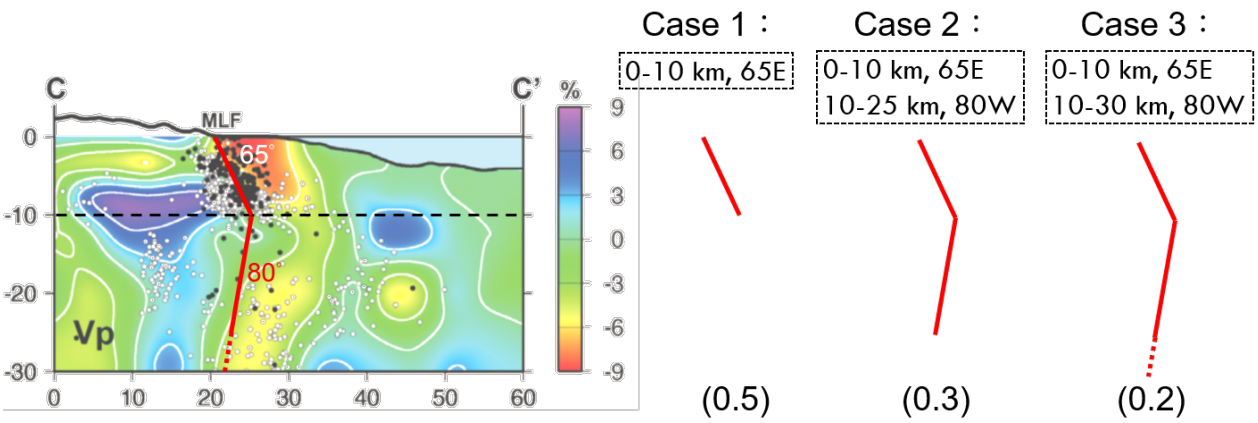


圖 2-2.2：米崙斷層幾何破裂模式及權重分配。

Fig. 2-2.2 Cases and weights of the geometric model for the Milun fault.

表 2-2.1：米崙斷層抬升速率相關文獻及推估結果(摘自胡植慶等，2016)

Tab. 2-2.1 Long-term uplift rate from references for the Milun fault(Hu et al., 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

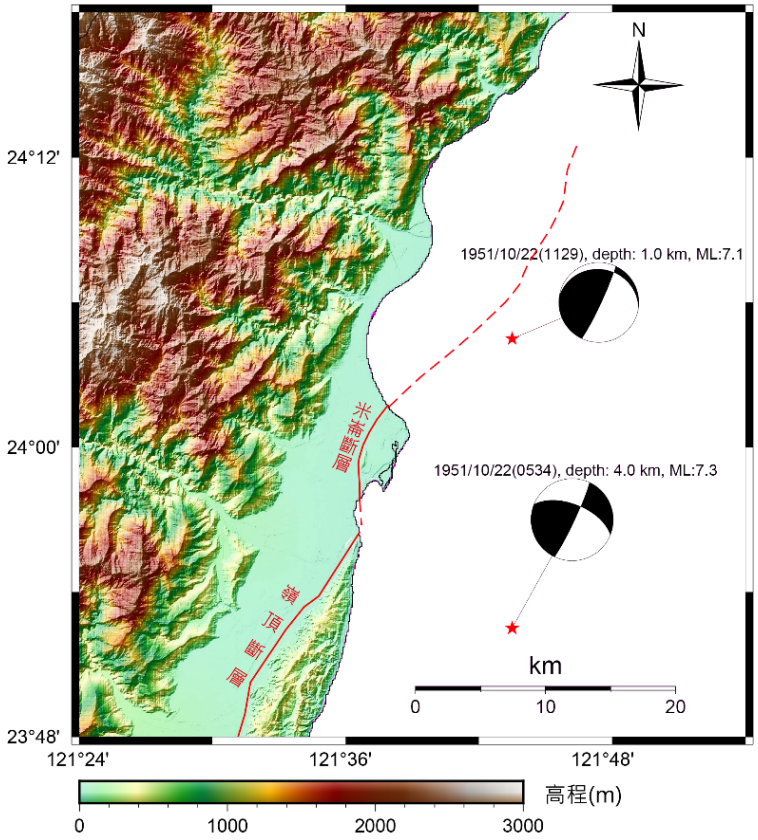


圖 2-2.3：1951 年 10 月 22 日震央及震源機制(震源機制解：鄭世楠等，1997)。

Fig. 2-2.3 Epicenter and focal mechanism of 10/22/1951 earthquakes.

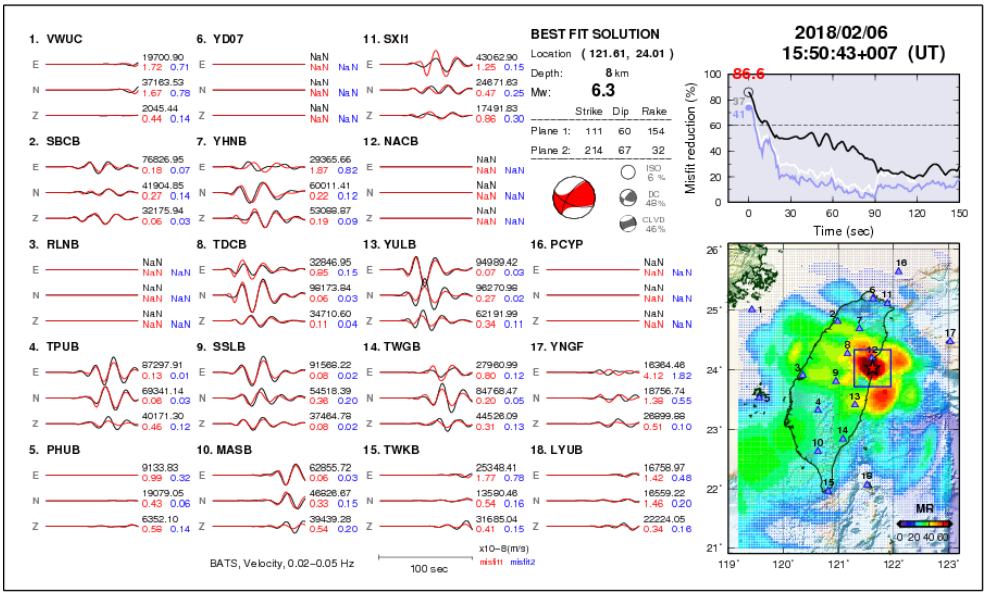


圖 2-2.4：2018 年 02 月 06 日花蓮地震 RMT 資料庫波形反演震源機制 (http://rmt.earth.sinica.edu.tw/)。

Fig. 2-2.4 02/06/2018 Hualien earthquake focal mechanism from RMT full-waveform inversion.

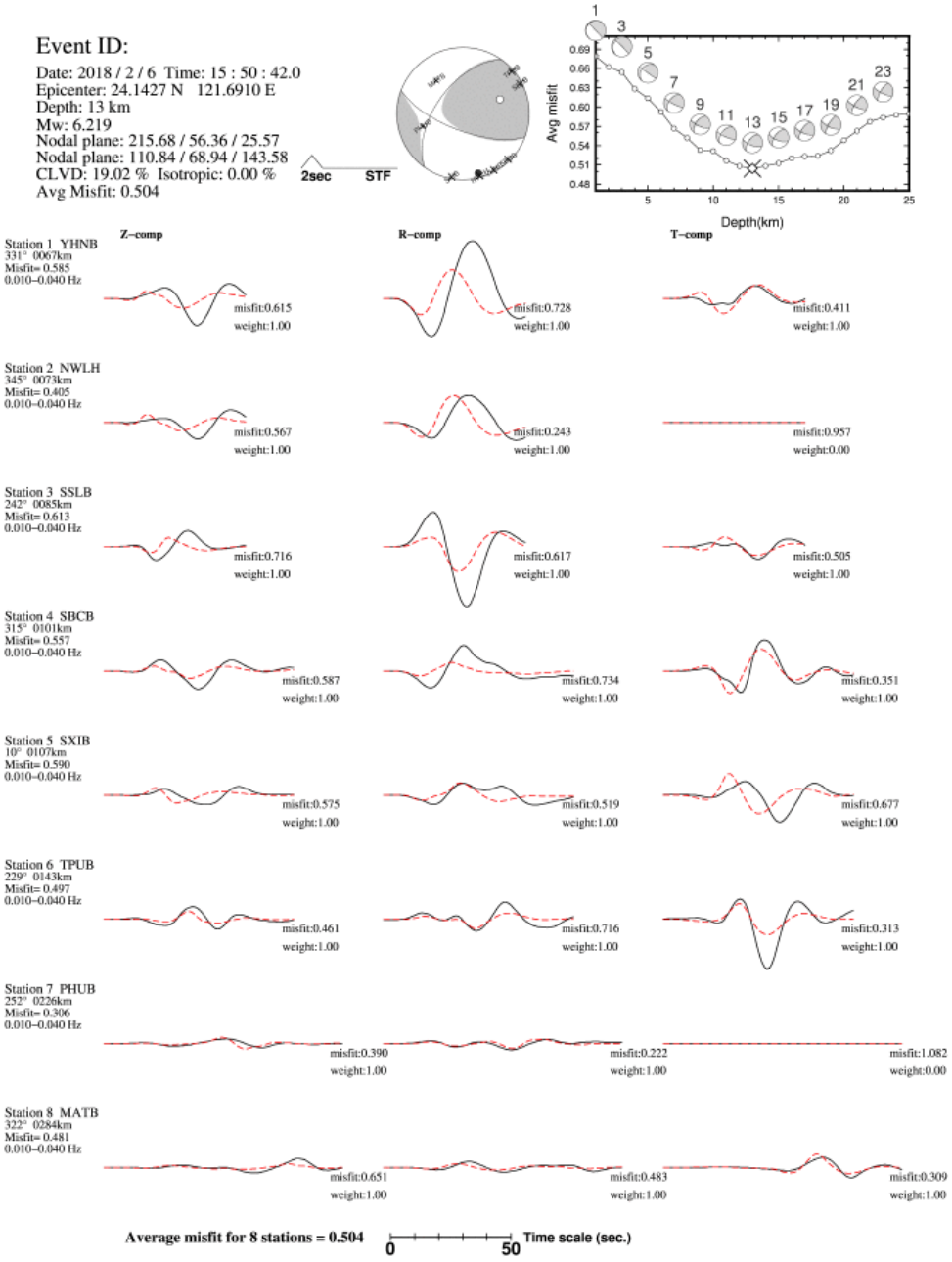


圖 2-2.5：中央氣象局 2018 年 0206 花蓮地震機制解 (中央氣象局網頁)。

Fig. 2-2.5 02/06/2018 Hualien earthquake focal mechanism from Central Weather Bureau.

表 2-2.2：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)

Tab. 2-2.2 Net slip rate calculation for the Milun fault.

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 2-2.3：米崙斷層之破裂事件規模計算

Tab. 2-2.3 Estimated magnitude for one rupture case of the Milun fault.

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

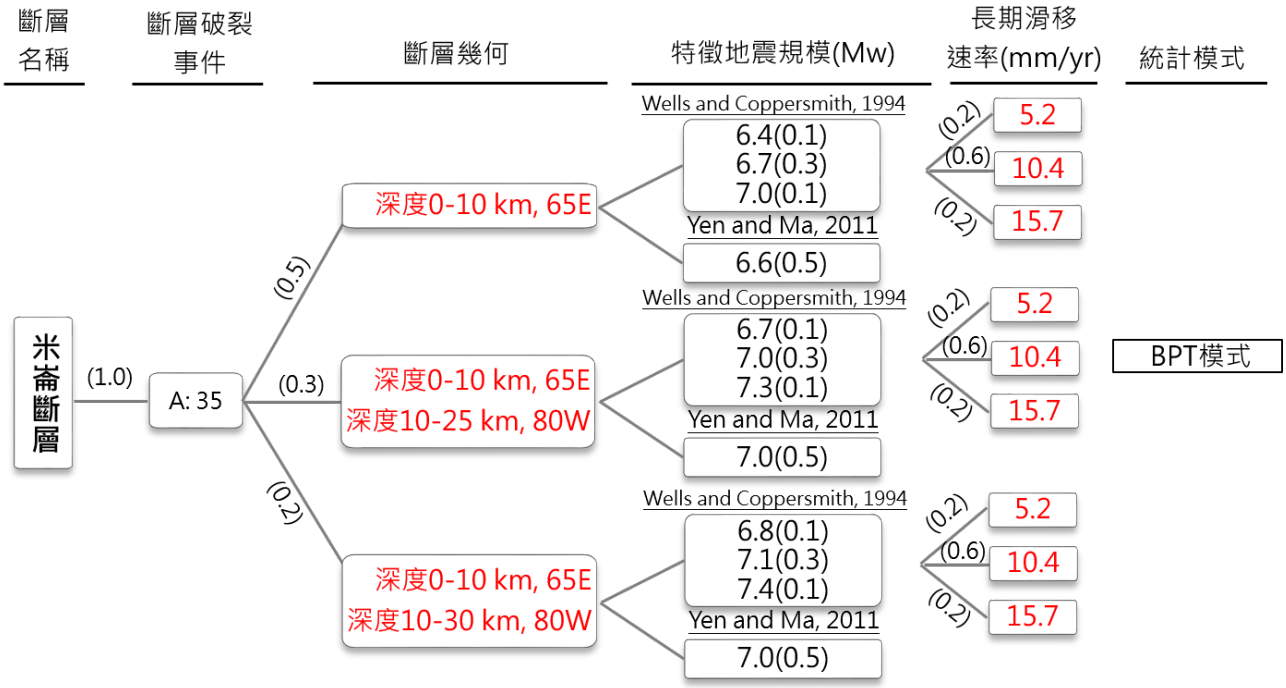


圖 2-2.6：米崙斷層更新之邏輯樹架構(更新內容：斷層幾何、地震規模、長期滑移速率)。

Fig. 2-2.6 Renewed logic tree structure of the Milun fault.

2-3 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 2-3.1 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 2-2.6 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 2-3.2 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 2-3.3 為 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

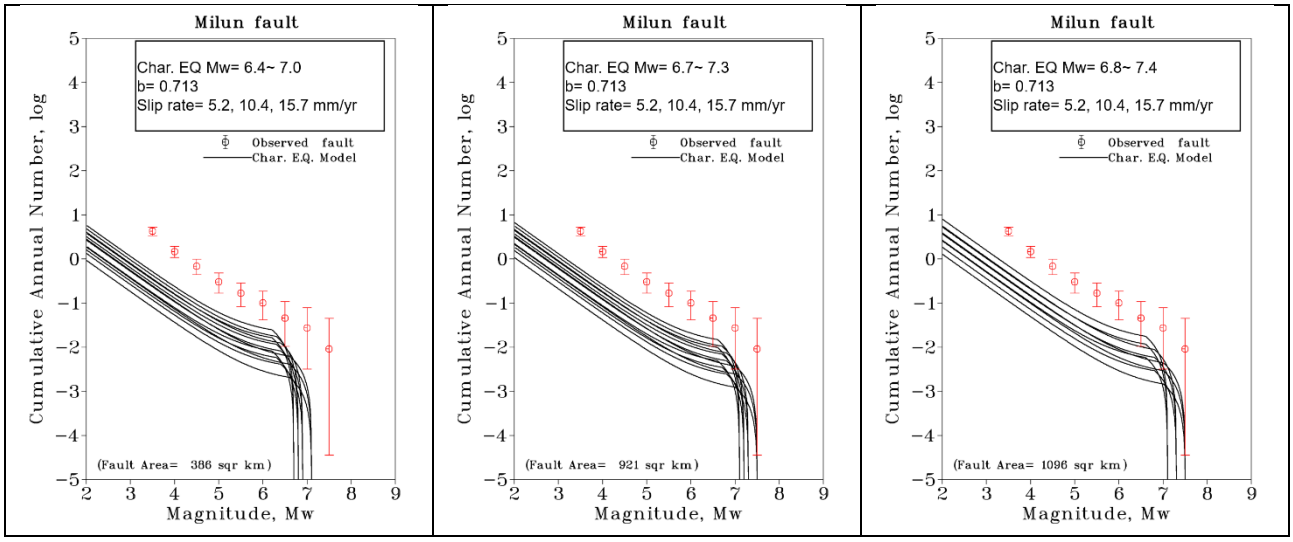


圖 2-3.1：米崙斷層破裂事件特徵地震模式。

Fig. 2-3.1 Recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for one rupture case with three geometric cases of the Milun fault.

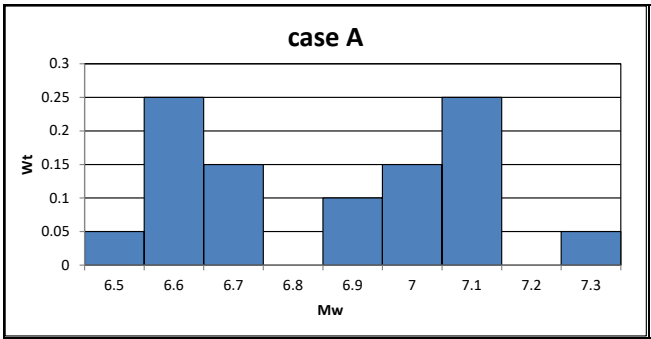


圖 2-3.2：米崙斷層破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Fig. 2-3.2 Relationships between magnitude and weighting for one rupture case of the Milun fault.

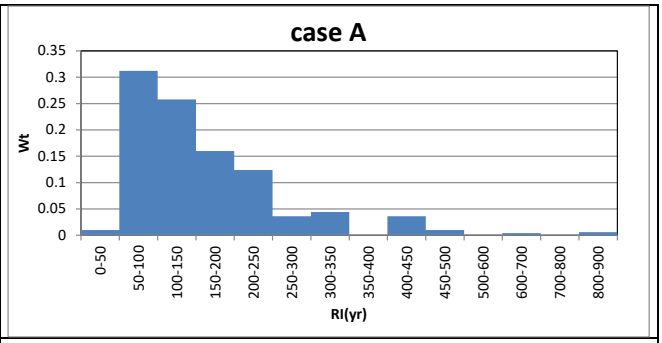


圖 2-3.3：米崙斷層 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 2-3.3 Relationships between recurrence interval and weighting for one rupture case of the Milun fault.

2-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算米崙斷層未來 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 2-4.1 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 2-4.2 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 2-4.1：前階段計畫米崙斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

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

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.8 ≦ M ≦7.5	30.4%	45.6%	70.1%

表 2-4.2：本計畫米崙斷層發生機率評估

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

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

第三章、嶺頂斷層系統潛勢評估

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

3-1 嶺頂斷層參數更新

3-1-1 嶺頂斷層前階段計畫成果

根據地調所對於縱谷斷層的分段，前階段計畫考慮嶺頂斷層整段破裂之模式，長度為 32 公里，如圖 3-1.1。

斷層傾角與深度部分，參考地物測量資料應為高角度斷層，然而從目前蒐集之地震分布不易協助判斷斷層面的傾角及破裂深度。前階段計畫認為可參考位於嶺頂斷層南側之瑞穗斷層的幾何設定，以傾角 65±5 度作為邏輯樹數值。深度部分以 30±5 公里為邏輯樹數值。

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

目前未有相關地質調查資料可供計算嶺頂斷層之長期滑移速率。前階段計畫參考塊體模型分析結果，嶺頂斷層長期平均滑移速率為 10.95 mm/yr，滑移虧損率為 3.40 mm/yr。

嶺頂斷層最近一次活動時間未知，前階段考慮最近一次活動時間是西元 1951 年的情形進行評估。統計模式則是提供 Poisson 模式與 BPT 模式並列參考。

嶺頂斷層前階段計畫邏輯樹詳如圖 3-1.2 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。

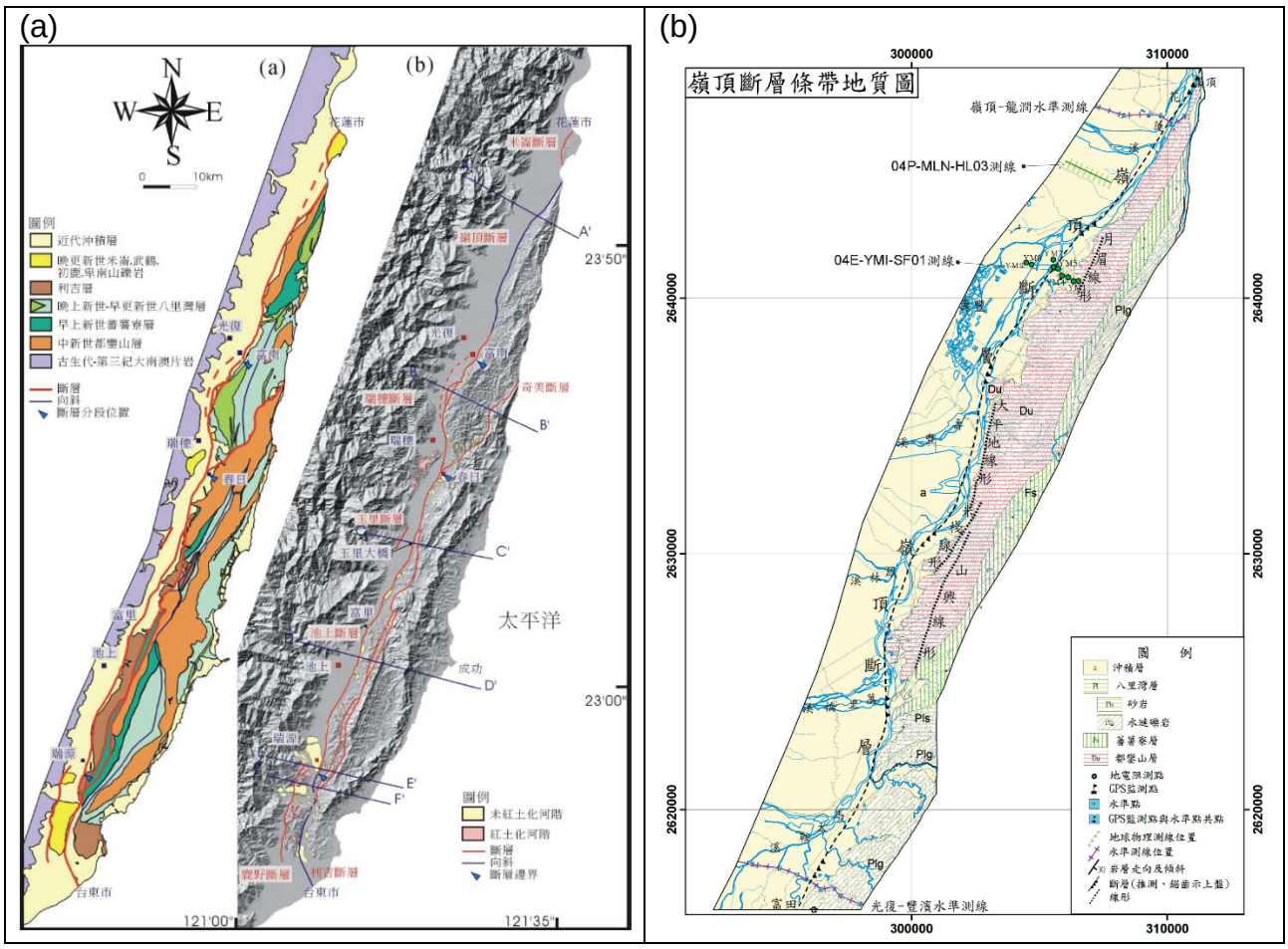


圖 3-1.1：縱谷斷層分段與嶺頂斷層條帶地質圖。(a)縱谷地區地質圖及縱谷斷層分段(陳文山等，2008)，(b)嶺頂斷層條帶地質圖(林啟文等，2009)。

Fig. 3-1.1 Segmentation of the Longitudinal Valley fault and the geological strip map of the Lingding fault (Chen et al., 2008；Lin et al., 2009).

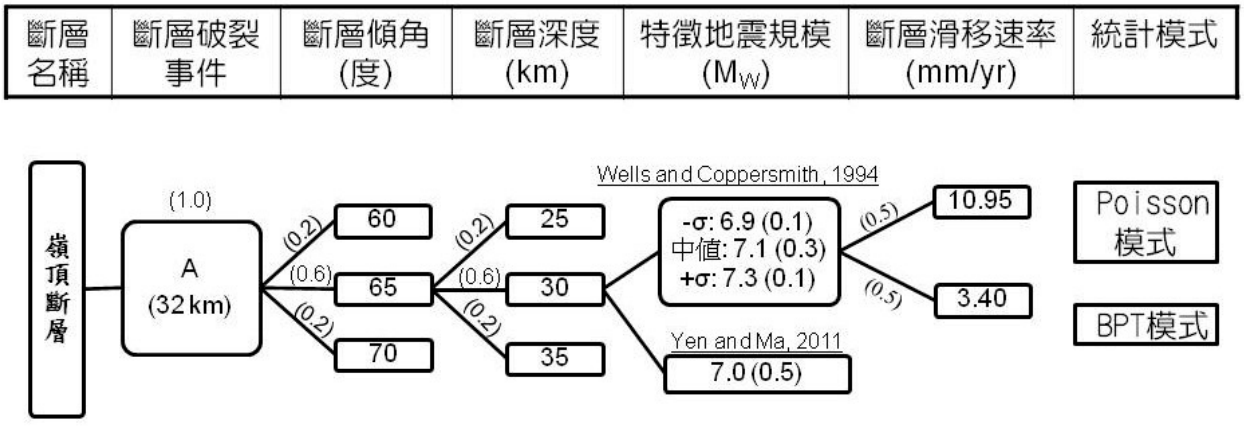


圖 3-1.2：嶺頂斷層邏輯樹架構(胡植慶等，2016)。

Fig. 3-1.2 Logic tree structure of the Lingding fault (Hu et al., 2016).

3-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

石瑞銓等(2004)跨嶺頂斷層的地電阻測線顯示，嶺頂斷層上盤處存在低電阻率帶，研判是斷層破碎帶(圖 3-1.3)，呈高角度分布。

根據李建成等(2004)描述花東縱谷斷層模型及分段，鳳林光復段即嶺頂斷層及瑞穗斷層位置(圖 3-1.4)，屬於高角度匙狀幾何。

圖 3-1.5 為李元希等人(Lee et al., 2008)蒐集跨縱谷北、中、南地震深度分布剖面，背景地震為 1991~2002 年重定位地震，根據其推估，縱谷斷層於北段及中段似乎呈現東傾高角度，而南段則呈現匙狀幾何，如圖 3-1.5 紅色虛線所示，而縱谷西側向西傾斜的高角度斷層，推測應是中央山脈斷層而非縱谷斷層，如圖 3-1.6 Shyu et al. (2006)的地殼剖面示意圖所示。

Kuochen et al. (2012)建立跨全臺灣之速度構造剖面，其中跨越縱谷斷層北段 C03 速度構造剖面如圖 3-1.7(b)所示，從 C03 速度構造剖面不易觀察斷層面的延伸。然而圖 3-1.7(c)跨越縱谷斷層中段 C02 速度構造剖面，可觀察到位於縱谷斷層地震群深度達到 30 公里，假設斷層面符合地震分布，則斷層傾角約為 65 度。

根據 Shyu et al. (2016)之 2009/12/19 ML4.7 地震序列，地震主要位於 20~40 公里深度，大部分為逆斷層機制(圖 3-1.8)，此地震序列的趨勢線呈現 65E 的傾角。

嶺頂斷層及瑞穗斷層幾何面各調查方法及斷層參數彙整於表 3-1.1。嶺頂斷層之傾角，根據地電阻剖面推斷為高角度斷層，然而從地震深度分布剖面中，要定出斷層面仍有不確定性，本計畫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。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。

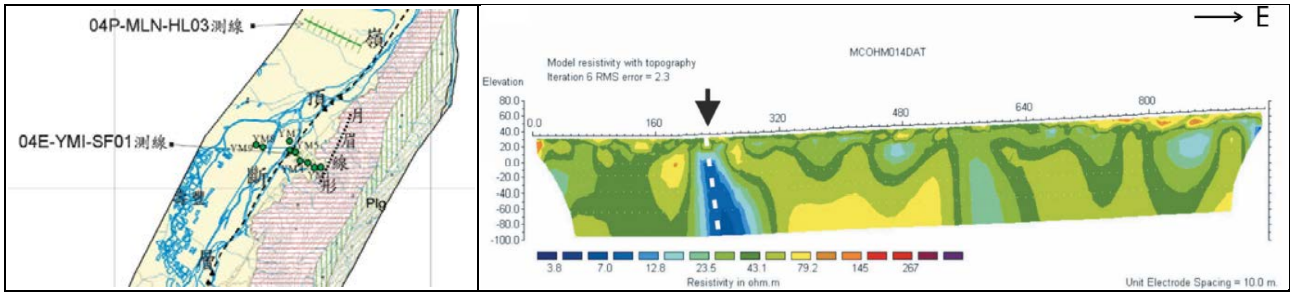


圖 3-1.3：嶺頂斷層地電阻影像剖面圖。剖面位置位於左圖之 04E-YMI-SF01 測線（石瑞銓等，2004）。

Fig. 3-1.3 Electrical resistivity profile across the Lingding fault (Lee et al., 2004).

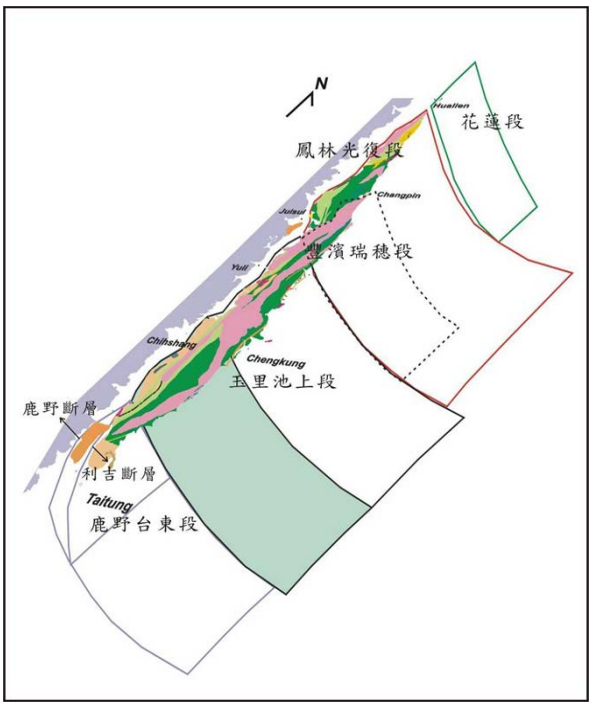


圖 3-1.4：花東縱谷斷層分段與幾何(引自李建成等，2004)。

Fig. 3-1.4 Geometry and segmentation of the Longitudinal Valley fault (Lee et al., 2004).

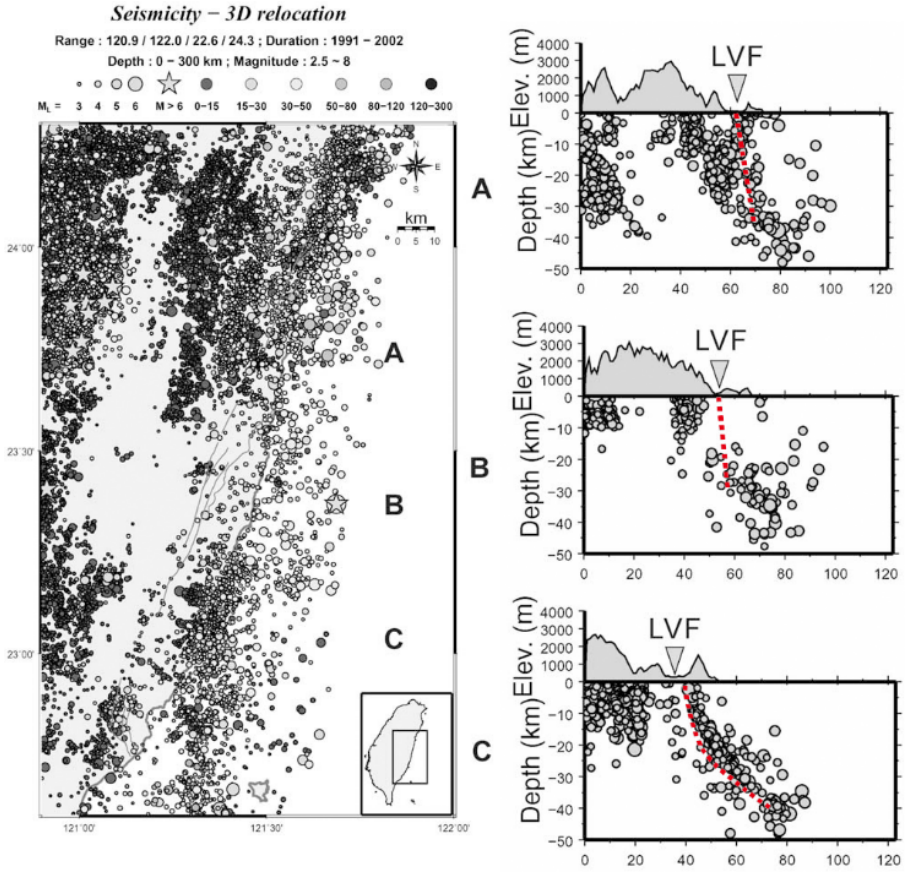


圖 3-1.5：跨縱谷北、中、南 3D 重定位地震深度分布剖面(摘自 Lee et al., 2008)。

Fig. 3-1.5 The 3-D relocation seismicity around the LVF and the seismicity profile across northern, central, and southern segments of the LVF (Lee et al., 2008).

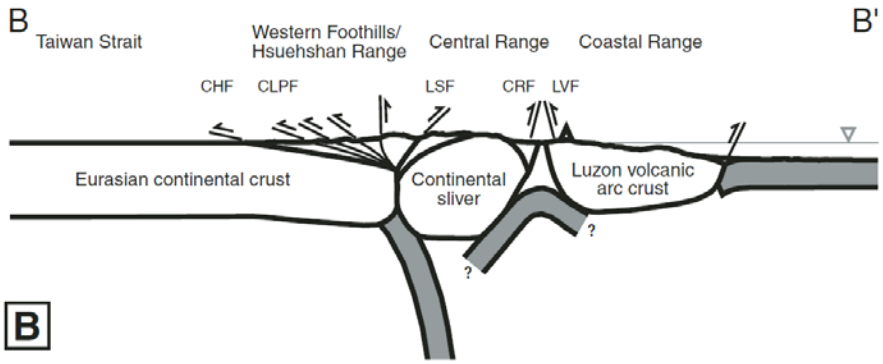


圖 3-1.6：橫跨中台灣的地殼剖面示意圖。其中 CHF 為彰化斷層，CLPF 為車籠埔斷層，LSF 為梨山斷層，CRF 為中央山脈斷層，LVF 為縱谷斷層(摘自 Shyu et al., 2006)。

Fig. 3-1.6 A schematic crustal cross section across central Taiwan (Shyu et al., 2006).

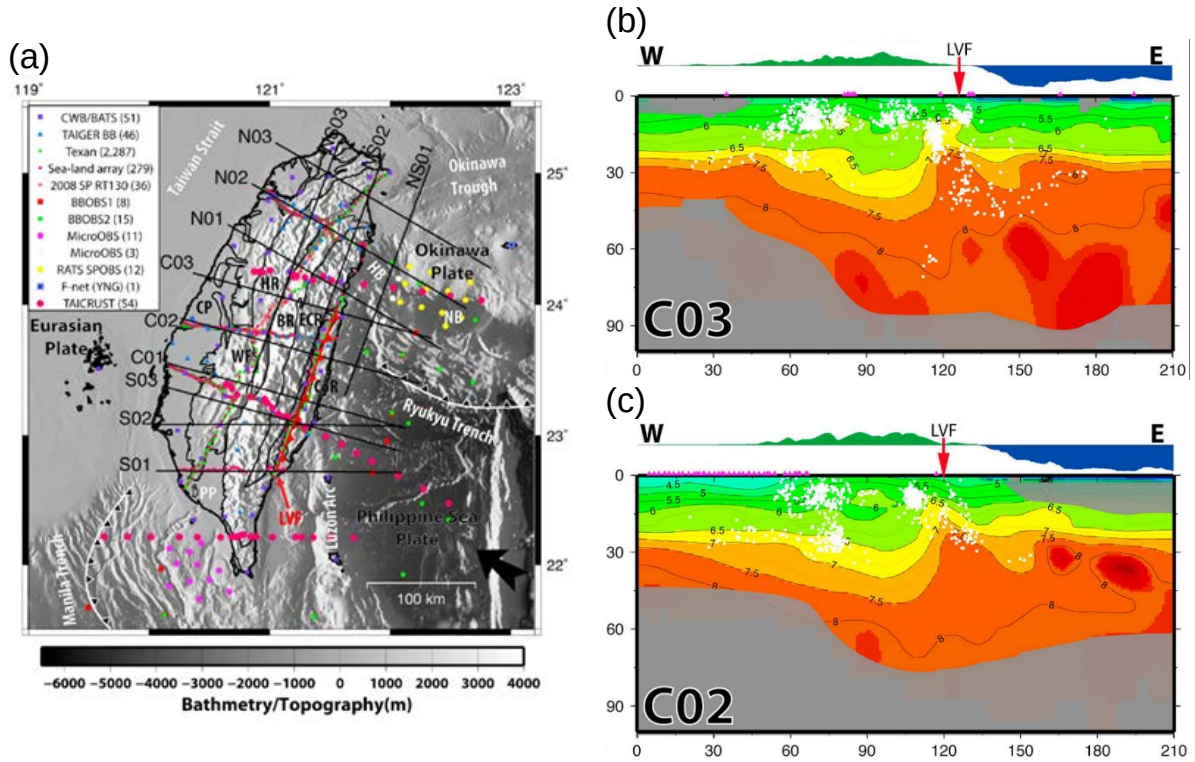


圖 3-1.7：跨越縱谷斷層中北段之速度構造剖面及地震深度分布。(a)臺灣地體架構及地震站分布，黑色實線為速度構造剖面分布，(b)為 C03 速度構造剖面，(c)為跨越縱谷斷層中段 C02 速度構造剖面(Kuochen et al., 2012)。

Fig. 3-1.7 East-west tomographic sections of absolute velocity and seismicity depth distribution across the northern and central Longitudinal Valley fault.

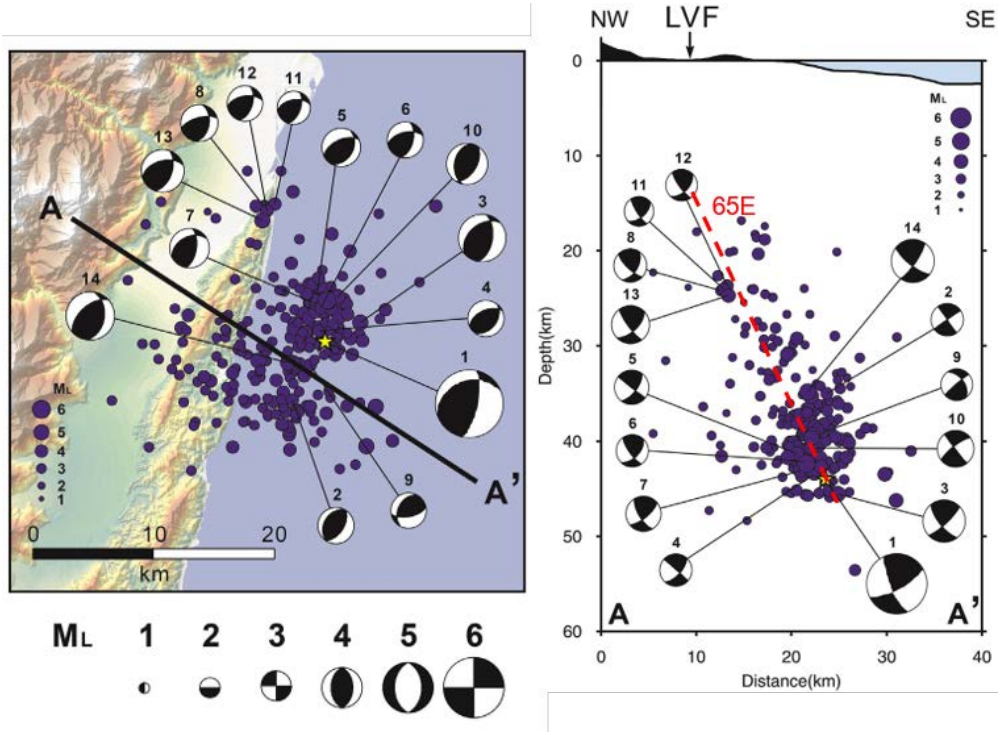


圖 3-1.8：2009 年 12 月 19 日 ML4.7 地震序列(Shyu et al., 2016)。

Fig. 3-1.8 The earthquake sequence related with a ML 4.7 event on 19 December 2009 beneath the northern part of the Coastal Range (Shyu et al., 2016).

表 3-1.1：嶺頂斷層及瑞穗斷層幾何形貌相關文獻

Tab. 3-1.1 Parameters and references of the geometry of the Lingding fault and the Rueyshui fault

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

3-2 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，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 3-2.1 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，根據 3-1-2 節之說明，傾角無修改，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（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，權重加總後嶺頂斷層平均滑移虧損速率下界為 3.5 mm/yr，上界為 16.6 mm/yr，平均為 9.7 mm/yr。表 3-2.1 為嶺頂斷層滑移虧損速率計算之結果，本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 3.5 mm/yr (0.3)、中值 9.7 mm/yr (0.4)、上界 16.6 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 3-2.2 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

本計畫評估斷層潛勢時，A(嶺頂)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 3-2.2 所示。

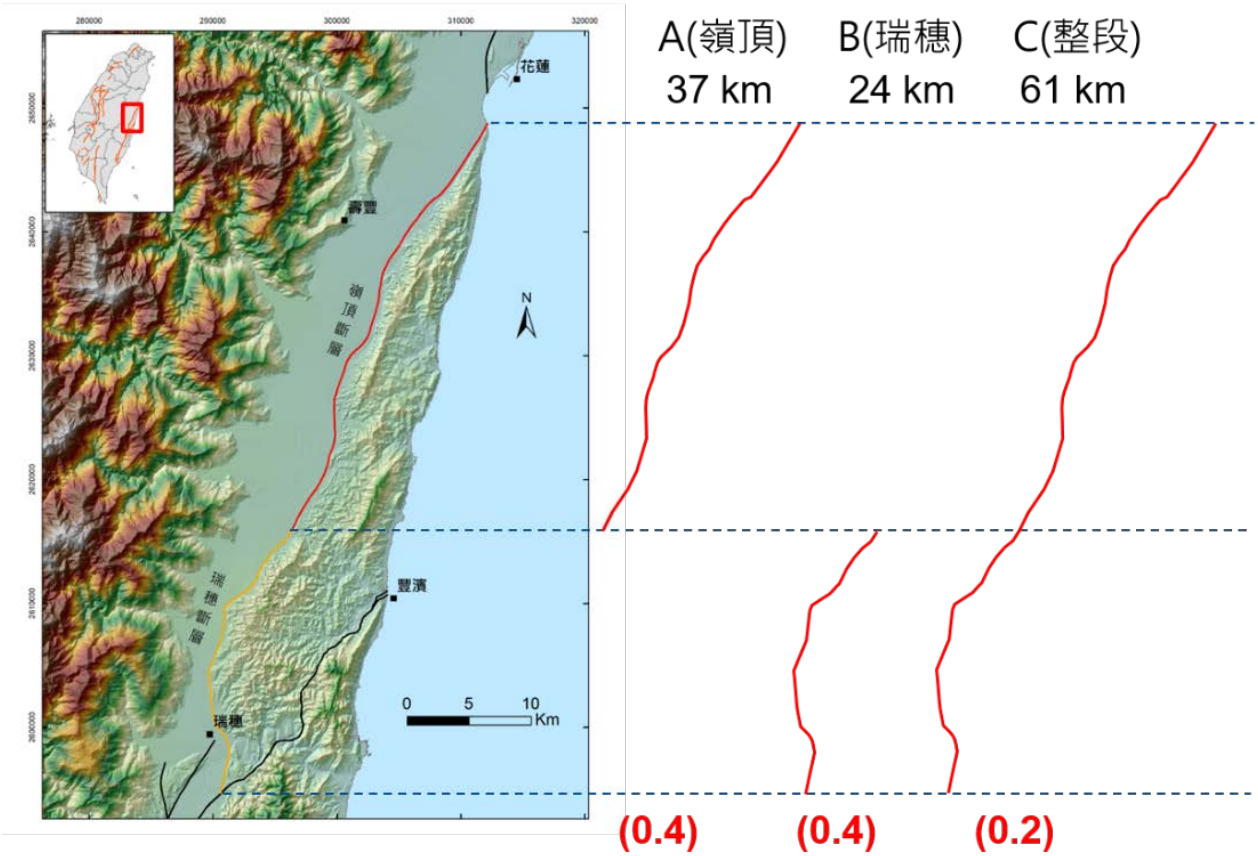


圖 3-2.1：嶺頂-瑞穗斷層系統分段破裂模式。

Fig. 3-2.1 Segmentation and rupture model of the the Lingding - Rueyshui fault system in this project.

表 3-2.1：嶺頂斷層模型滑移虧損率擬合結果(景國恩等，2020)

Tab. 3-2.1 Slip deficit rate of the Lingding fault by model inversion (Ching et al., 2020)

模型 / 斷層名稱		BLOCKS	DEFNODE	Baseline Inversion	加權平均滑移虧損速率 (mm/yr)
		總變動量 (mm/yr)	平均值滑移虧損率 (mm/yr)	斷層滑移速率平均值 (mm/yr)	
嶺頂斷層	上界	10.8	23.1	16.0	16.6
	平均	9.8±1.0	10.4±12.7	8.8±7.2	9.7
	下界	8.8	0.0	1.6	3.5

表 3-2.2：嶺頂-瑞穗斷層系統之破裂事件特徵地震規模計算

Tab. 3-2.2 Estimated magnitude for one rupture case of the Lingding - Rueyshui fault system.

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

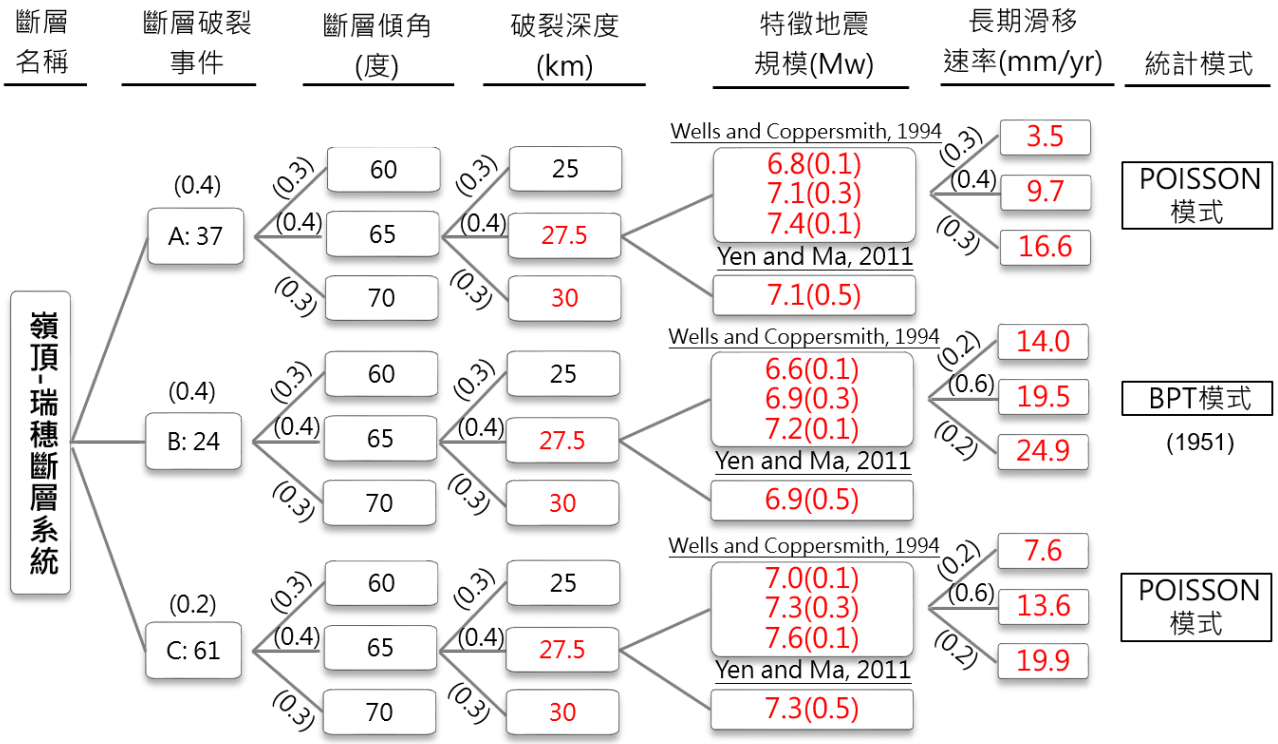


圖 3-2.2：嶺頂-瑞穗斷層系統更新邏輯樹。

Fig. 3-2.2 Renewed logic tree structure of the Lingding - Rueyshui fault system.

3-3 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 3-3.1 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 3-2.2 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 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 7.1 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 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 3-3.4（b）之嶺頂-瑞穗斷層系統地震復發間隔時間-權重分布圖。

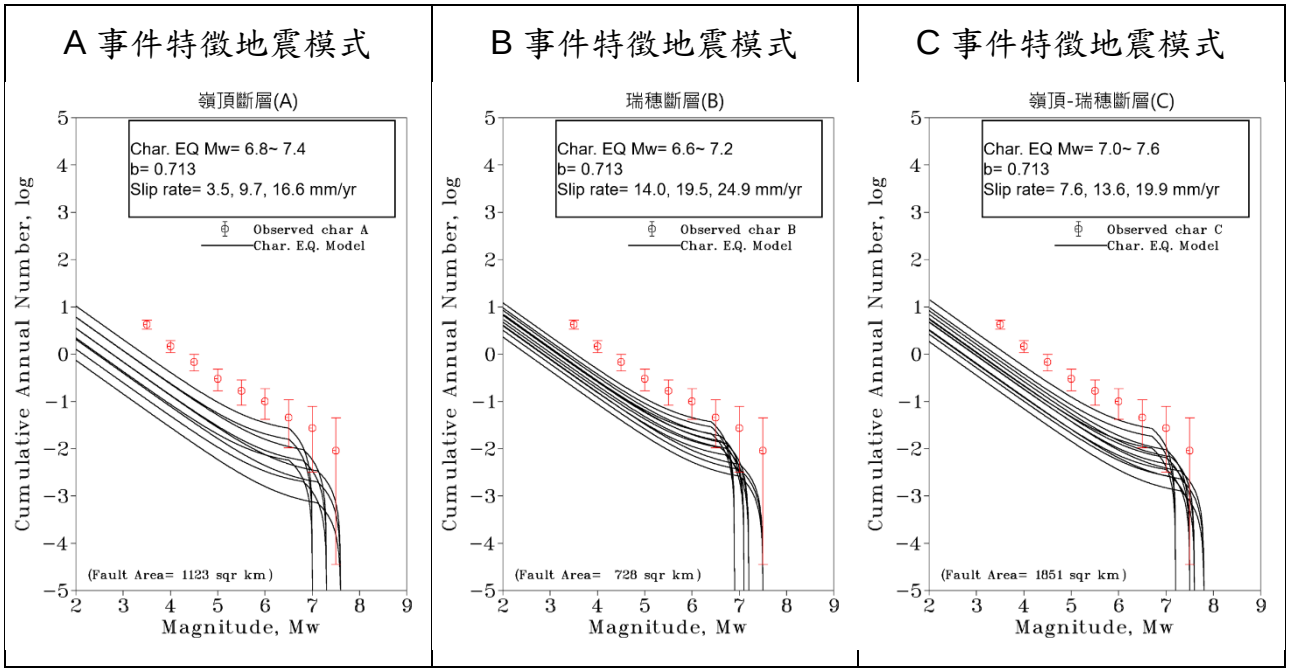


圖 3-3.1：嶺頂-瑞穗斷層系統三個破裂事件特徵地震模式。

Fig. 3-3.1 Recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for three rupture cases of the Lingding-Rueyshui fault system.

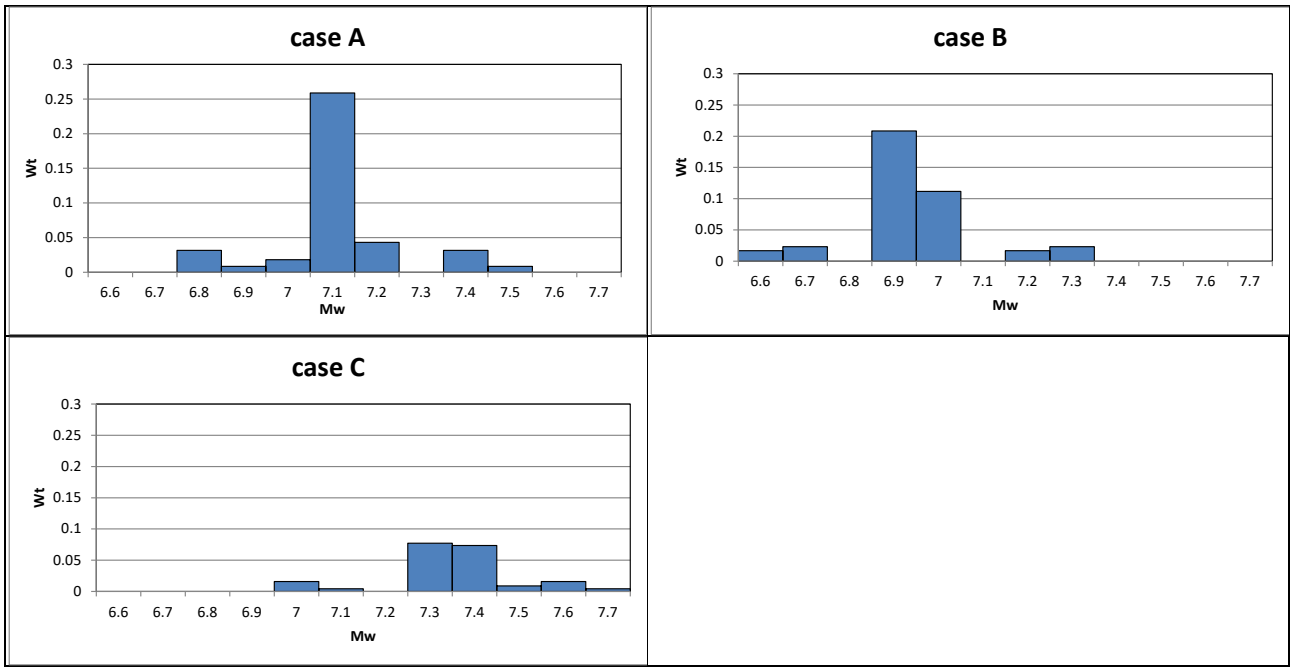


圖 3-3.2：嶺頂-瑞穗斷層系統三個破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Fig. 3-3.2 The relationships between magnitude and weighting for three rupture cases of the Lingding-Rueyshui fault system.

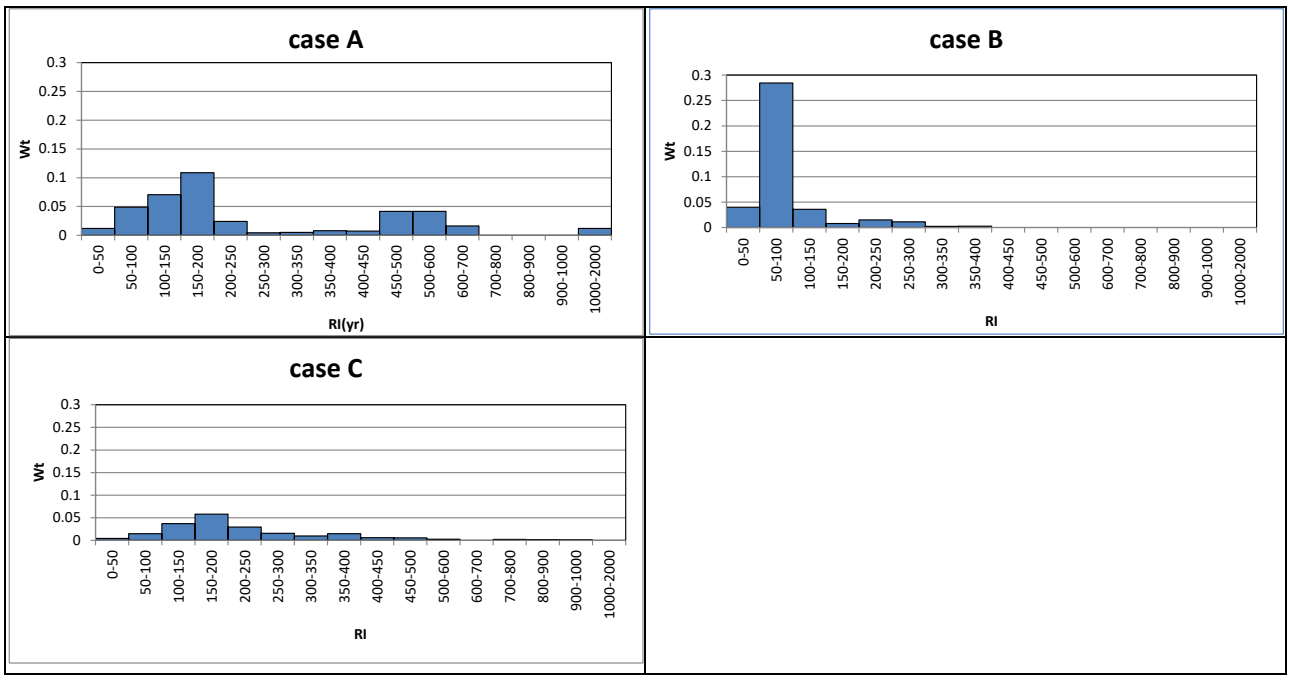
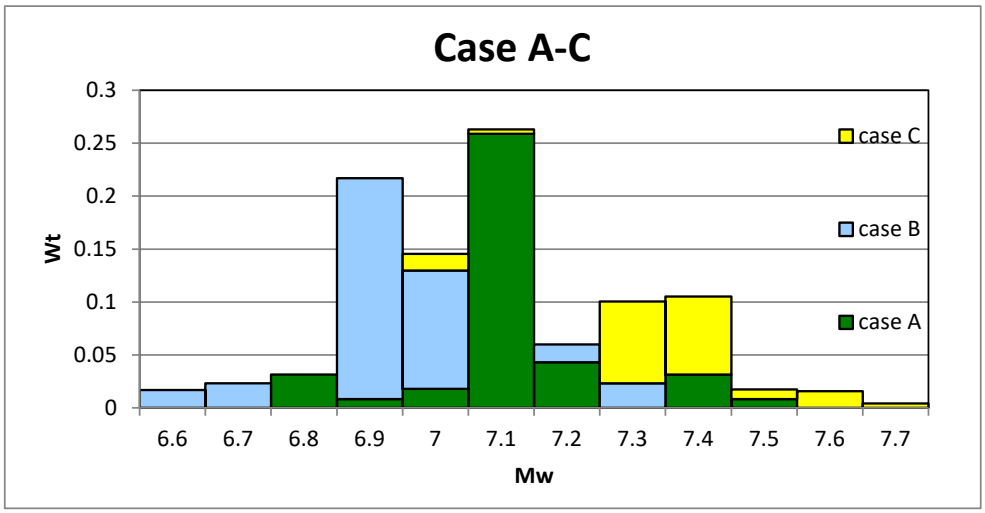


圖 3-3.3：嶺頂-瑞穗斷層系統三種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 3-3.3 The relationships between recurrence interval and weighting for three rupture cases of the Lingding-Rueyshui fault system.

（a）



（b）

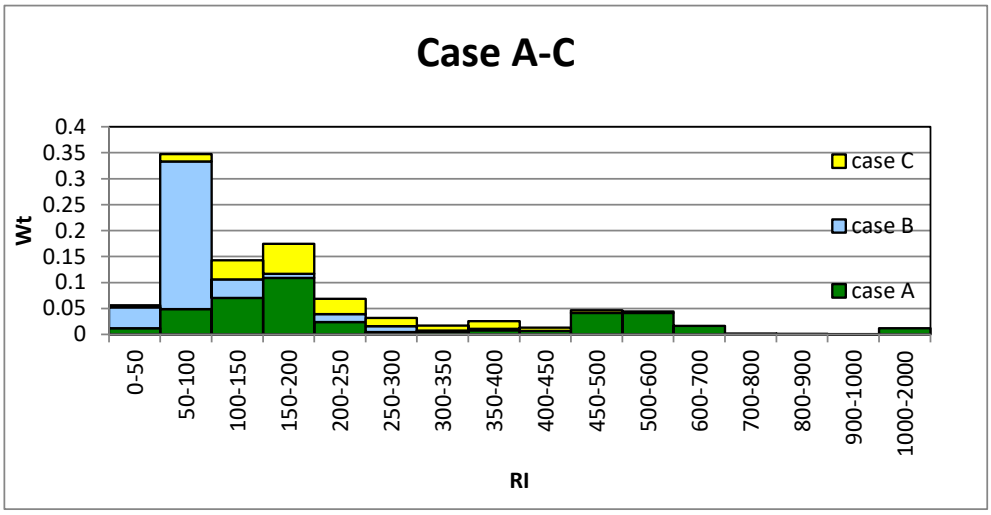


圖 3-3.4：(a) 嶺頂-瑞穗斷層系統之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(b) 嶺頂-瑞穗斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

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

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。

表 3-4.1 為嶺頂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。另假設最後一次發生時間為未知，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 3-4.2 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 9.8%、15.1%及 25.1%。

表 3-4.1：前階段計畫嶺頂斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

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

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT	Poisson	BPT	Poisson	BPT	Poisson
6.8 ≦ M ≦7.4	9.1%	11.6%	15.7%	18.3%	30.4%	32.2%

表 3-4.2：本計畫嶺頂斷層發生機率評估

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

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.8 ≦ M ≦7.7	9.8%	15.1%	25.1%

第四章、瑞穗斷層潛勢評估

前階段計畫，嶺頂斷層和瑞穗斷層是各別評估其潛勢，本期計畫則考慮這兩條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。

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

4-1 瑞穗斷層參數更新

4-1-1 瑞穗斷層前階段計畫成果

前階段計畫在評估瑞穗斷層之破裂模式，採用整段破裂模式，無分段破裂情形，如圖 4-1.1。

斷層傾角部分，主要參考地震重定位結果及 Kuochen et al. (2012)速度構造剖面，以傾角 65 度作為邏輯樹中值，並加減 5 度作為邏輯樹上下界。深度部分主要也是參考地震重定位結果，前階段計畫深度以 25、30、35 公里為邏輯樹數值。

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

瑞穗斷層之抬升速率根據槽溝開挖資料為 12.5~16.0 mm/yr (Chen et al., 2007)；根據德武台地 2,000 年以上樣本，計算河流下切速率為 15.1~19.3 mm/yr。前階段計畫以傾角 65 度換算至斷層面上。另外，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 14.00~24.59 mm/yr，前階段以 14.00 mm/yr 及 24.59 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 19.30 mm/yr 作為邏輯樹中值。

最近一次活動時間，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。西元 1972 年 4 月 24 日，在花蓮瑞穗發生規模 6.6 之地震（呂新民等，1976），中央氣象局公告的震源深度為 15 公里，規模為 6.9。前階段計畫以 BPT 模式評估瑞穗斷層潛勢。

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

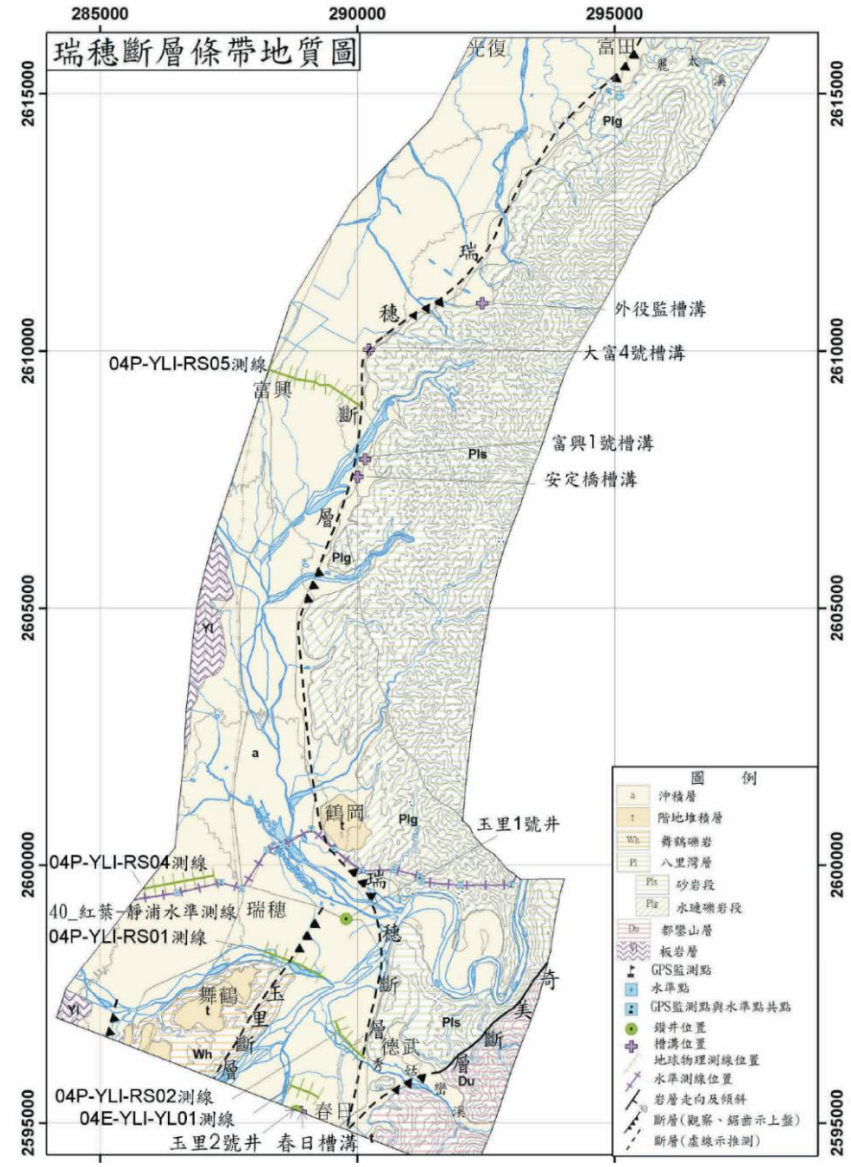


圖 4-1.1：瑞穗斷層條帶地質圖（引自林啟文等，2009）。

Fig. 4-1.1 Geological map of the Rueyshui fault (Lin et al., 2009).

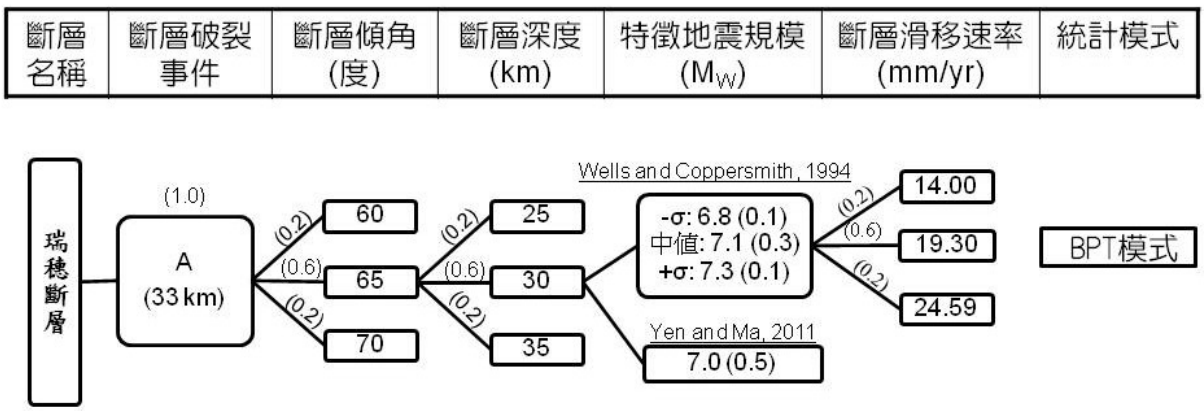


圖 4-1.2：瑞穗斷層邏輯樹架構(胡植慶等，2016)。

Fig. 4-1.2 Logic tree structure of the Rueyshui fault (Hu et al., 2016).

4-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

根據李建成等(2004)描述花東縱谷斷層模型及分段，鳳林光復段即嶺頂斷層及瑞穗斷層位置(圖 3-1.4)，屬於高角度匙狀幾何。

圖 3-1.5 為李元希等人(Lee et al., 2008)蒐集跨縱谷北、中、南地震深度分布剖面，背景地震為 1991~2002 年重定位地震，根據其推估，縱谷斷層於北段及中段似乎呈現東傾高角度，而南段則呈現匙狀幾何，如圖 3-1.5 紅色虛線所示，而縱谷西側向西傾斜的高角度斷層，推測應是中央山脈斷層而非縱谷斷層，如圖 3-1.6 Shyu et al. (2006)的地殼剖面示意圖所示。

Kuochen et al. (2012)建立跨全臺灣之速度構造剖面，其中跨越縱谷斷層北段 C03 速度構造剖面如圖 3-1.7(b)所示，從 C03 速度構造剖面不易觀察斷層面的延伸。然而圖 3-1.7(c)跨越縱谷斷層中段 C02 速度構造剖面，可觀察到位於縱谷斷層地震群深度達到 30 公里，假設斷層面符合地震分布，則斷層傾角約為 65 度。

瑞穗斷層幾何面各調查方法及斷層參數彙整於表 3-1.1。瑞穗斷層幾何參數則同於嶺頂斷層，從地震深度分布剖面中，要定出斷層面仍有不確定性，本計畫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。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。

4-2 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 4-2.1 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)。

瑞穗斷層幾何，根據 4-1-2 節之說明，傾角無修改，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 4-2.1 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 4-2.2)，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 7.6 mm/yr；v(嶺頂+瑞穗)上界為 19.9 mm/yr；v(嶺頂+瑞穗)中值為 13.6 mm/yr。邏輯樹權重為 7.6 mm/yr (0.2)、13.6 mm/yr (0.6)、19.9 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 4-2.3 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 4-2.2 所示。

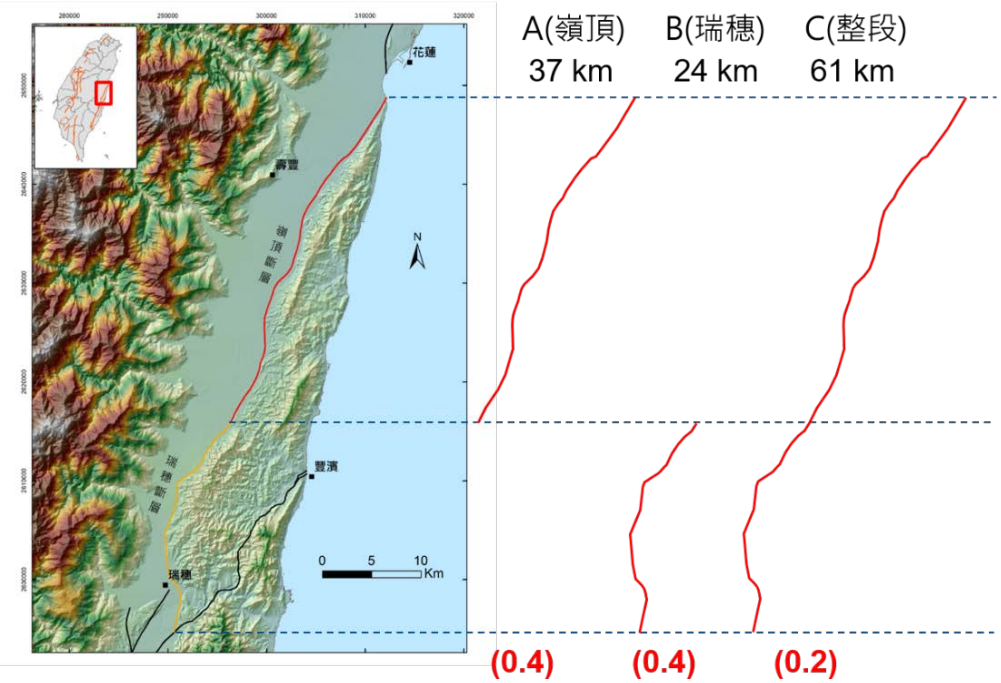


圖 4-2.1：嶺頂-瑞穗斷層系統分段破裂模式。

Fig. 4-2.1 Segmentation and rupture model of the the Lingding - Rueyshui fault system in this project.

表 4-2.1：瑞穗斷層長期抬升速率資料彙整

Tab. 4-2.1 Data collection of the long-term uplift rate of the Rueyshui fault.

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 4-2.2：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)

Tab. 4-2.2 Net slip rate calculation of the Rueyshui fault.

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 4-2.3：嶺頂-瑞穗斷層系統之破裂事件特徵地震規模計算

Tab. 4-2.3 Estimated magnitude for one rupture case of the Lingding - Rueyshui fault system.

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

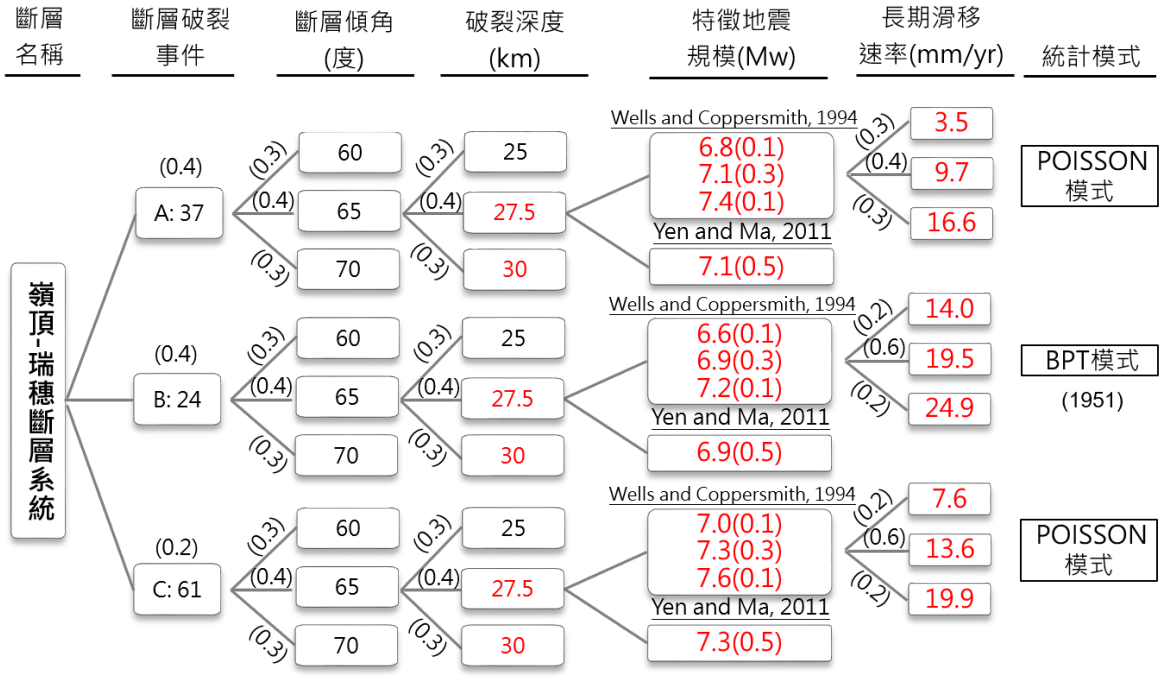


圖 4-2.2：嶺頂-瑞穗斷層系統更新邏輯樹。

Fig. 4-2.2 Renewed logic tree structure of the Lingding - Rueyshui fault system.

4-3 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 3-3.1 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 4-2.2 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 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 7.1 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 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 3-3.4（b）之嶺頂-瑞穗斷層系統地震復發間隔時間-權重分布圖。

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。

表 4-4.1 為瑞穗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採用西元 1972 年，用 BPT 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 4-4.2 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 24.0%、32.4%及 43.3%。

表 4-4.3 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 30.5%，42.4%，59.8%。

表 4-4.1：前階段計畫瑞穗斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

Tab. 4-4.1 Earthquake probabilities for the Rueyshui fault in this project (Hu et al., 2016)

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.8 ≦ M ≦7.4	31.1%	49.4%	76.7%

表 4-4.2：本計畫瑞穗斷層發生機率評估

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

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	A：Poisson B：BPT C：Poisson	A：Poisson B：BPT C：Poisson	A：Poisson B：BPT C：Poisson
6.6 ≦ M ≦7.7	24.0%	32.4%	43.3%

表 4-4.3：本計畫嶺頂-瑞穗斷層系統發生機率評估

Tab. 4-4.3 Earthquake probabilities for the Lingding- Rueyshui fault system in this project

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	A：Poisson B：BPT C：Poisson	A：Poisson B：BPT C：Poisson	A：Poisson B：BPT C：Poisson
6.6 ≦ M ≦7.7	30.5%	42.4%	59.8%

第五章、奇美斷層潛勢評估

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

5-1 奇美斷層參數更新

5-1-1 前階段計畫成果

綜合目前既有的奇美斷層調查文獻，皆無提出奇美斷層有分段或是被其他斷層截切之可能，因此前階段計畫評估奇美斷層僅有一種破裂模式，其長度為 30 公里，如圖 5-1.1。

奇美斷層傾角主要參考野外露頭觀察、地球物理推估及地震分布，前階段計畫以高傾角 80 度、85 度、90 度作為邏輯樹數值。假設奇美斷層以東傾 85 度向下延伸，約在深度 25 公里處與瑞穗斷層相交，因此深度邏輯樹中值設為 25 公里，並加減 5 公里不確定性做為邏輯樹上下界。

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

前階段計畫未有相關地質調查資料可供計算奇美斷層之長期滑移速率，因此參考塊體模型分析結果，奇美斷層長期平均滑移速率為 3.68 mm/yr，滑移虧損率為 1.62 mm/yr。

最近一次活動時間未知，由地層分布來分析，因奇美斷層活動年代至少在八里灣層沉積之後，然而並未擾動或截切全新世河階礫石層。前階段計畫以 Poisson 模式評估斷層潛勢。

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

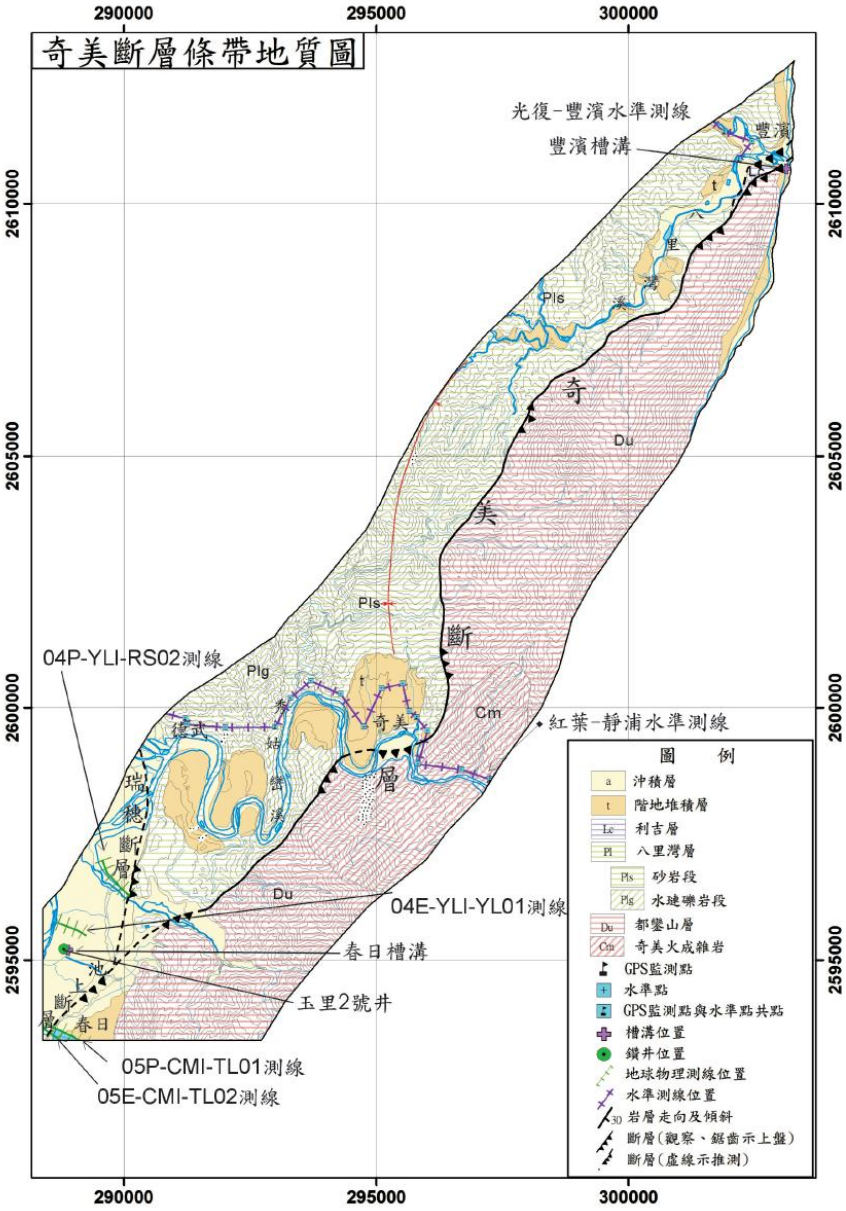


圖 5-1.1：奇美斷層條帶地質圖(林啟文等，2009)。

Fig. 5-1.1 Geological map of the Chimei fault (Lin et al., 2009).

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

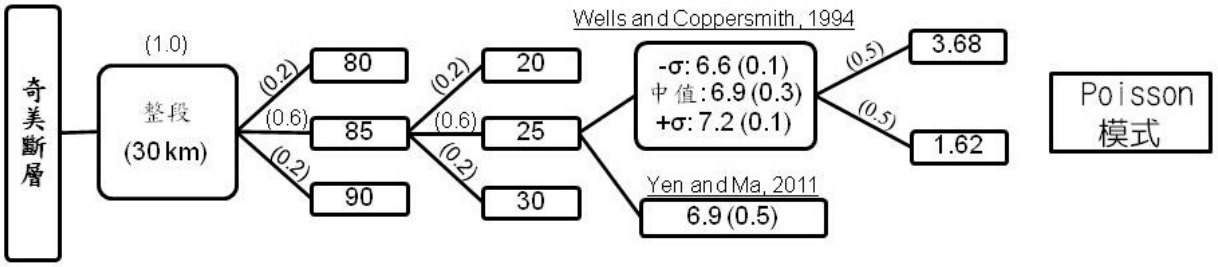


圖 5-1.2：奇美斷層邏輯樹架構(胡植慶等，2016)。

Fig. 5-1.2 Logic tree structure of the Chimei fault (Hu et al., 2016).

5-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

陳文山等(Chen et al., 1991)於豐濱附近發現一奇美斷層露頭，斷層截切全新世河階，斷層位態為 N40E/80° E，斷層帶寬約 1 公尺，如圖 5-1.3 所示。

賴文基（1995）在奇美村附近的秀姑巒溪河谷的觀察結果，安山岩逆衝於大港口層（八里灣層）之上，斷層面位態為 N81°E/75°S，擦痕顯示逆滑兼具左滑性質。

羅偉與楊昭男（2004）的調查結果，在奇美村附近的秀姑巒溪有 3 個奇美斷層的露頭，都鑾山層的火成岩逆衝至八里灣層砂頁岩互層之上，斷層面位態為 N70-80°E/70°S，斷層帶中斷面擦痕的傾向補角（rake）分別為 80°與 16°，為逆滑形式兼具左移分量。秀姑巒溪奇美村東南方奇美斷層露頭則顯示黑色剪裂泥岩與剪裂砂岩層，如圖 5-1.4 所示。

董倫道等人（2005）利用大地電磁波進行探勘，在春日以南泰林地區三條剖面線的地電阻影像整合剖面判讀結果，奇美斷層為逆衝斷層，傾角為高角度，如圖 5-1.5。

根據圖 5-1.6 陳文山與王源（1996）奇美斷層沿線地質圖及 A-A'剖面，奇美斷層上盤為都鑾山火成岩，下盤為八里灣層並形成向斜構造。

奇美斷層幾何形貌相關文獻彙整於表 5-1.1 中。奇美斷層傾角，主要參考野外露頭、地球物理推估，以高傾角 80 度作為斷層面邏輯樹中值，並加減 5 度不確定性做為邏輯樹上下界。奇美斷層的破裂深度，從目前的地震深度分布中，並無法解析奇美斷層的破裂深度，本計畫考慮奇美斷層與瑞穗斷層之空間關係，假設奇美斷層為瑞穗斷層的分支斷層，則奇美斷層以 80 度傾角向下延伸時，約在 25 公里處與瑞穗斷層相接，如圖 5-1.7，因破裂深度不確定性仍高，所以加減 5 公里不確定性做為邏輯樹上下界。

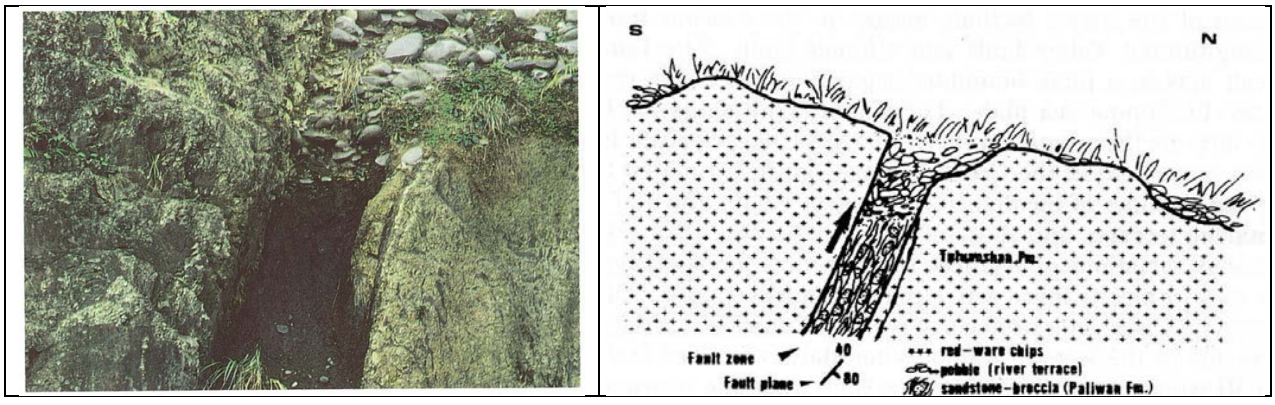


圖 5-1.3：豐濱附近奇美斷層露頭（Chen et al., 1991）。

Fig. 5-1.3 Chimei fault outcrop near Fengpin(Chen et al., 1991)



圖 5-1.4：秀姑巒溪奇美村東南方奇美斷層露頭（林啟文等，2009）。

Fig. 5-1.4 Chimei fault outcrop at Hsiukuluan-chi, southeast of Chimei village (Lin et al., 2009).

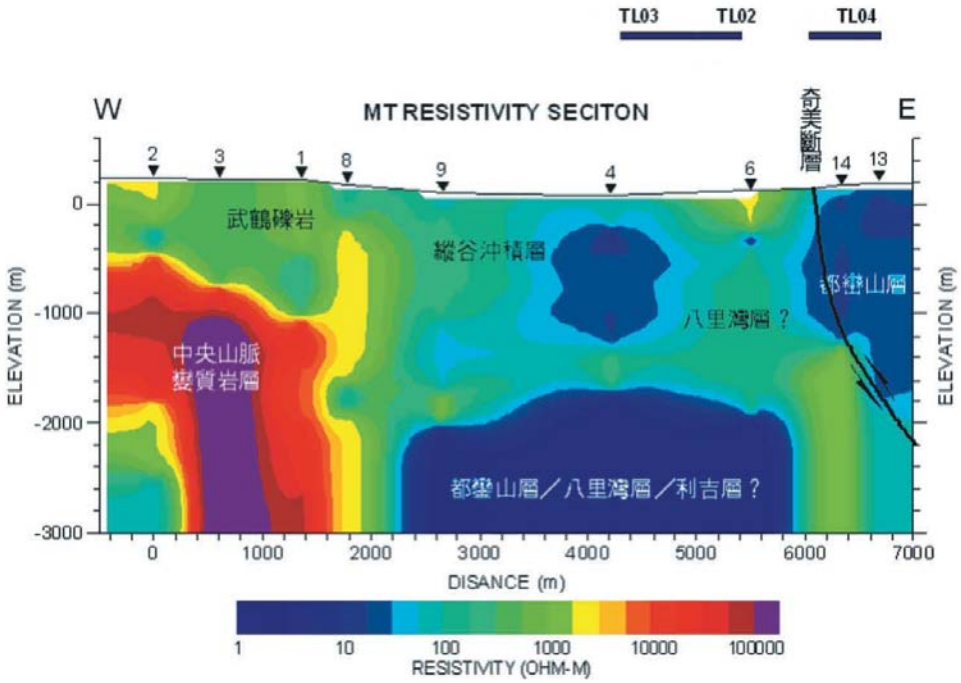


圖 5-1.5：泰林地區地電阻影像剖面結果圖（董倫道等人，2005）。

Fig. 5-1.5 Ground resistance image profile(Dong et al., 2005).

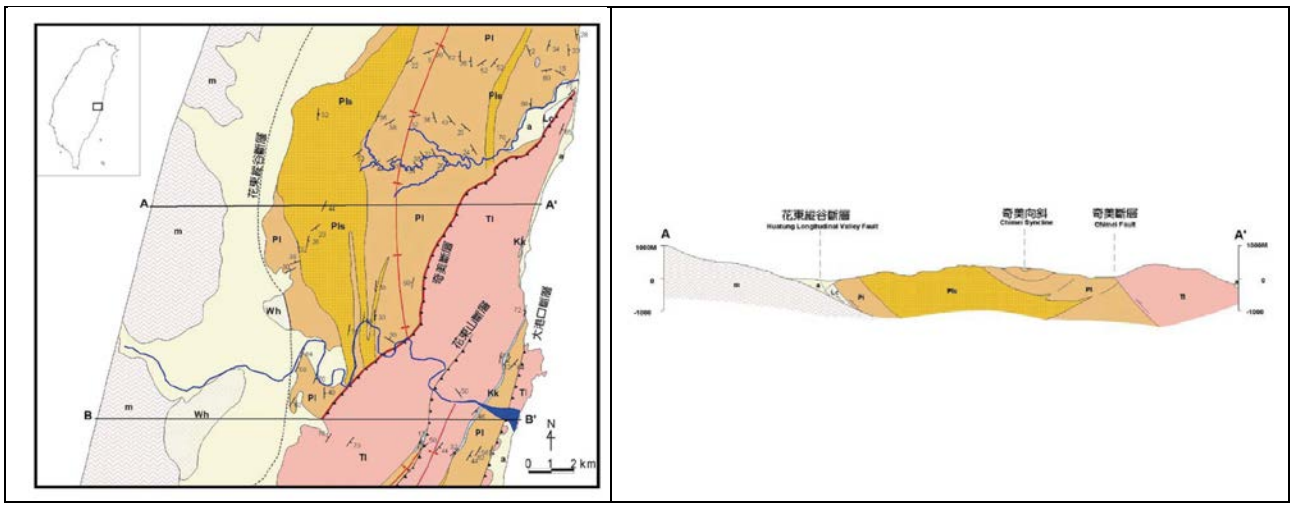


圖 5-1.6：奇美斷層沿線地質圖（陳文山與王源，1996）。

Fig. 5-1.6 Geologic map along the Chimei fault (Chen and Wang, 1996).

表 5-1.1：奇美斷層幾何形貌相關文獻

Tab. 5-1.1 Parameters and references of the geometry of the Chimei fault

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	--
賴文基，1995	秀姑巒溪河谷現地調查	75	--
羅偉與楊昭男，2004	秀姑巒溪奇美斷層的露頭	70	--
董倫道等，2005	地電阻剖面	高角度	--

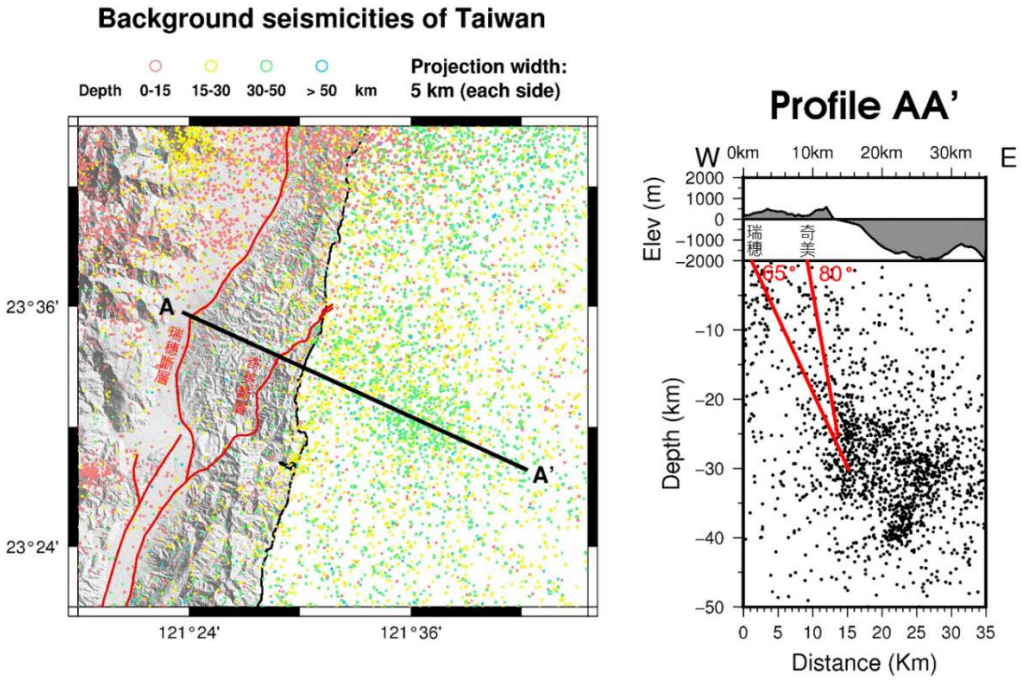


圖 5-1.7：本計畫瑞穗斷層及奇美斷層幾何。點位為中央氣象局 1900-2015 地震。

Fig. 5-1.7 This project's fault geometry setting of the Rueyshui fault and the Chimei fault.

5-2 邏輯樹更新

本計畫針對奇美斷層邏輯樹更新，詳述如下：

奇美斷層之破裂模式無修改，同圖 5-1.1，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 5-1-2 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 5-2.1)。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 5-2.2 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，圖 5-1.4 中的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 5-2.3)，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 5-2.4)，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 5-2.1 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 5-2.5 所示。

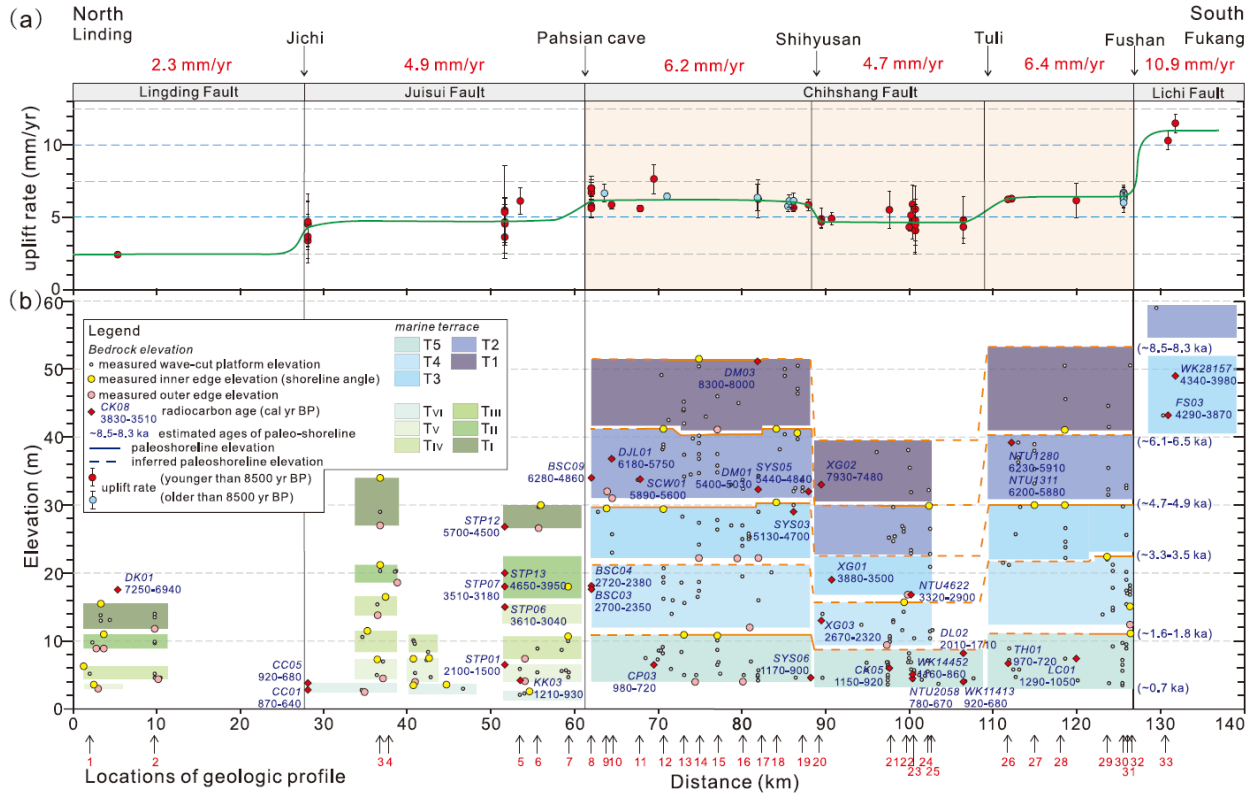


圖 5-2.1：海岸山脈沿海岸的碳 14 定年、長期抬升速率及階地高程比對圖(摘自 Chen et al., 2020)。

Fig. 5-2.1 Relationships between ^{14}C age, long-term uplift rate, elevation, and distance along the Coastal Range coast (Chen et al., 2020).

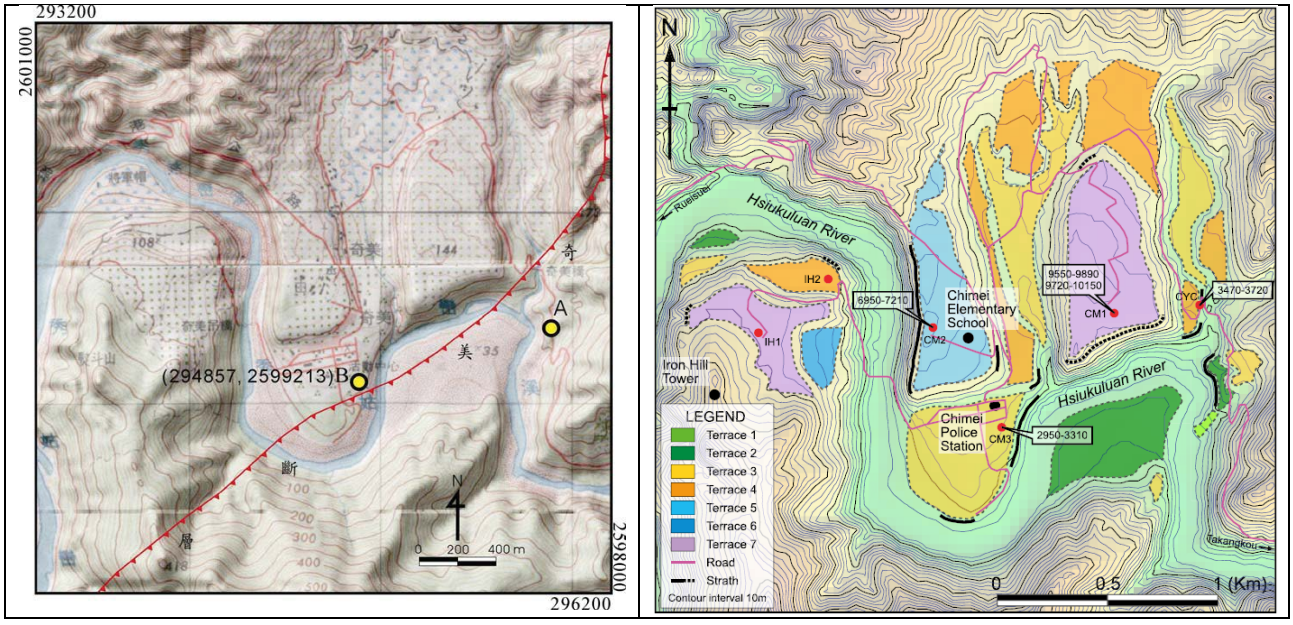


圖 5-2.2：奇美地區階地分布圖(Shyu et al., 2006)。

Fig. 5-2.2 Detailed map of the fluvial terraces of the Chimei loops (Shyu et al., 2006).

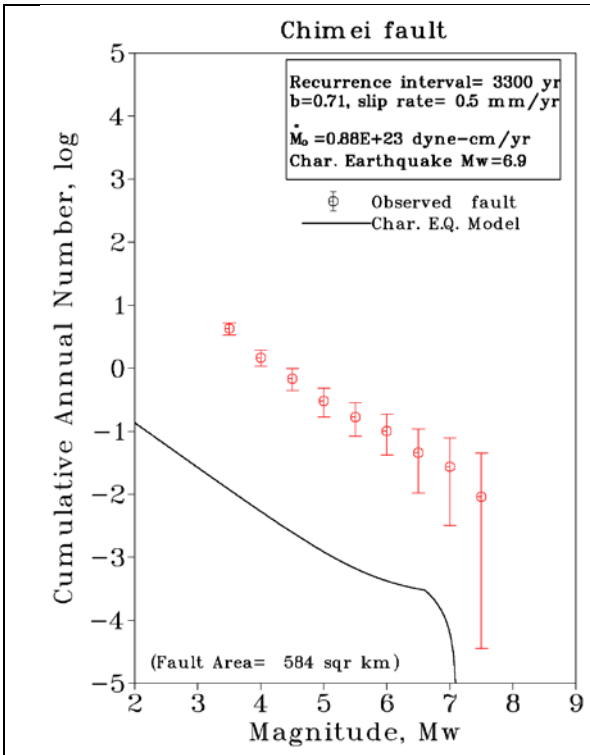


圖 5-2.3：奇美斷層特徵地震模式，滑移速率採 0.5 mm/yr。

Fig. 5-2.3 The recurrence relationships based on slip rate= 0.5 mm/yr characteristic earthquake distribution for the Chimei fault.

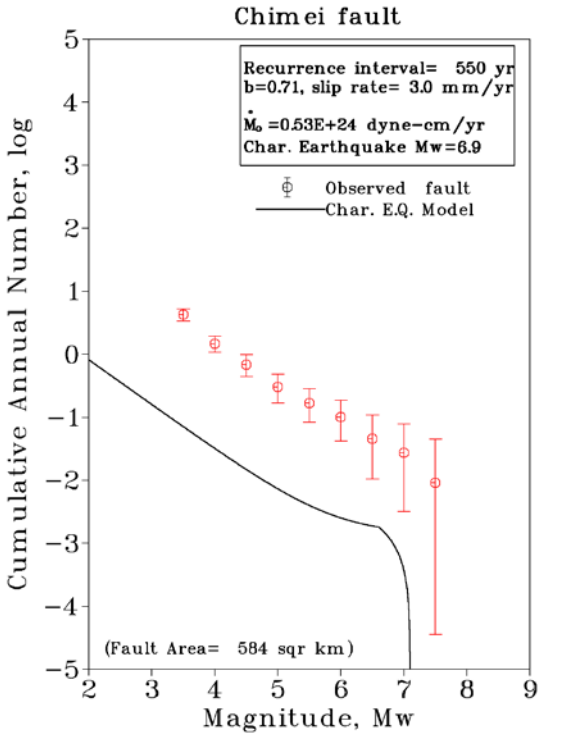


圖 5-2.4：奇美斷層特徵地震模式，滑移速率採 3.0 mm/yr。

Fig. 5-2.4 The recurrence relationships based on slip rate= 3.0 mm/yr characteristic earthquake distribution for the Chimei fault.

表 5-2.1：奇美斷層各破裂事件規模計算

Tab. 5-2.1 Estimated magnitude for one rupture case of the Chimei fault.

斷層名稱	破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	寬度 (km)	傾角 (度)	面積 (km2)	Wells and Coopersmith, 1994 (破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011 (破裂面積-規模關係式) (Mw)
							-σ	中值	+σ	
奇美	A	23	25	25.4	80	584	6.5	6.8	7.1	6.8

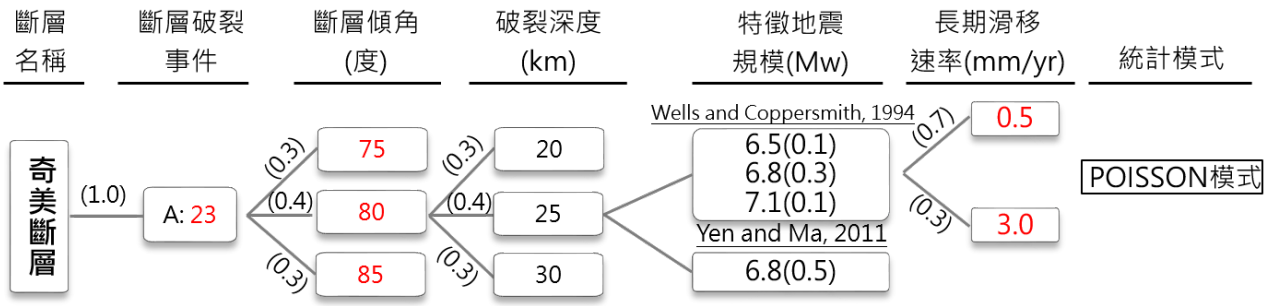


圖 5-2.5：奇美斷層更新邏輯樹。

Fig. 5-2.5 Renewed logic tree of the Chimei fault.

5-3 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 5-3.1 為 1 個破裂事件以傾角及深度中值計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 5-2.5 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 5-3.2 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 5-3.3 為 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

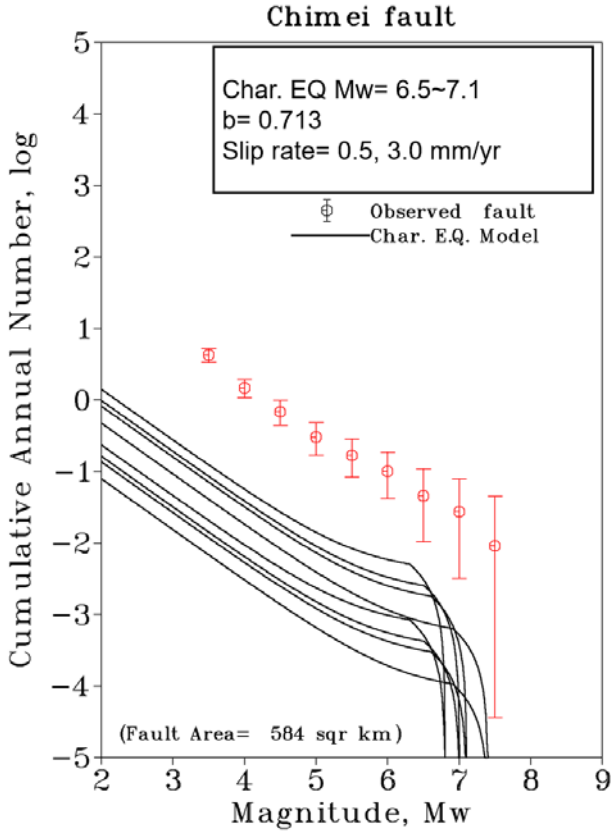


圖 5-3.1：奇美斷層破裂事件特徵地震模式。

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

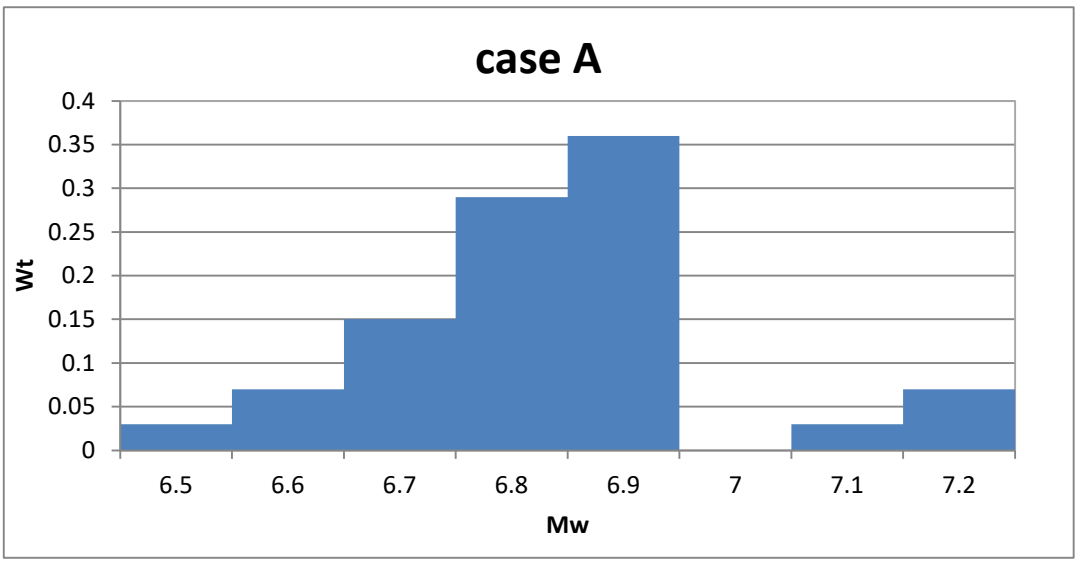


圖 5-3.2：奇美斷層破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

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

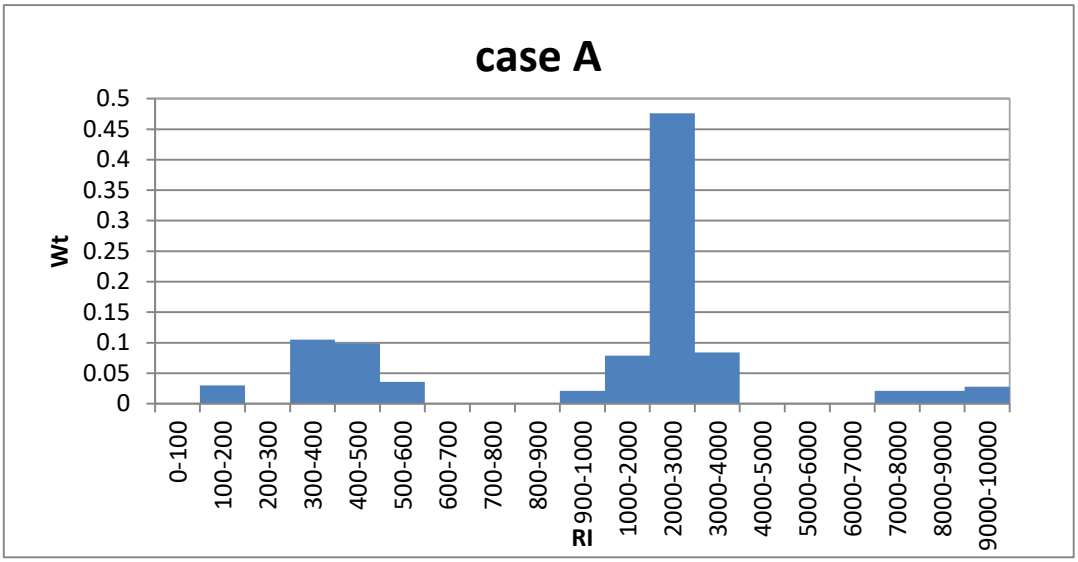


圖 5-3.3：奇美斷層 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

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

5-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算奇美斷層未來 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 5-4.1 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 5-4.2 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 5-4.1：前階段計畫奇美斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

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

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	Poisson	Poisson	Poisson
6.6 ≦ M ≦7.3	5.8%	9.3%	17.5%

表 5-4.2：本計畫奇美斷層發生機率評估

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

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

第六章、玉里斷層潛勢評估

6-1 玉里斷層參數彙整

玉里斷層幾何參考資料及參數如表 6-1.1 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 3.7 mm/yr，上界為 27.5 mm/yr，平均值為 15.4 mm/yr，如表 6-1.2 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 6-1.3 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 6-1.1：玉里斷層幾何形貌相關文獻

Tab. 6-1.1 Parameters and references of the geometry of the Yuli fault

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 6-1.2：玉里斷層模型加權平均斷層滑移虧損率(景國恩等，2020)

Tab. 6-1.2 Slip deficit rate of the Yuli fault by model inversion (Ching et al., 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	6.8	72	3.6	27.5
	平均	6.2±0.6	38.7±33.3	1.2±2.4	15.4
	下界	5.6	5.4	0.0	3.7

表 6-1.3：玉里斷層參數表

Tab. 6-1.3 Parameter table of the Yuli fault

	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 27.5 平均 15.4 下界 3.7	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

6-2 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 6-2.1。

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 6-2.2 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 6-1.2，本計畫據此設定邏輯樹權重為下界 3.7 mm/yr (0.3)、中值 15.4 mm/yr (0.4)、上界 27.5 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 6-2.1 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 6-2.3 所示。

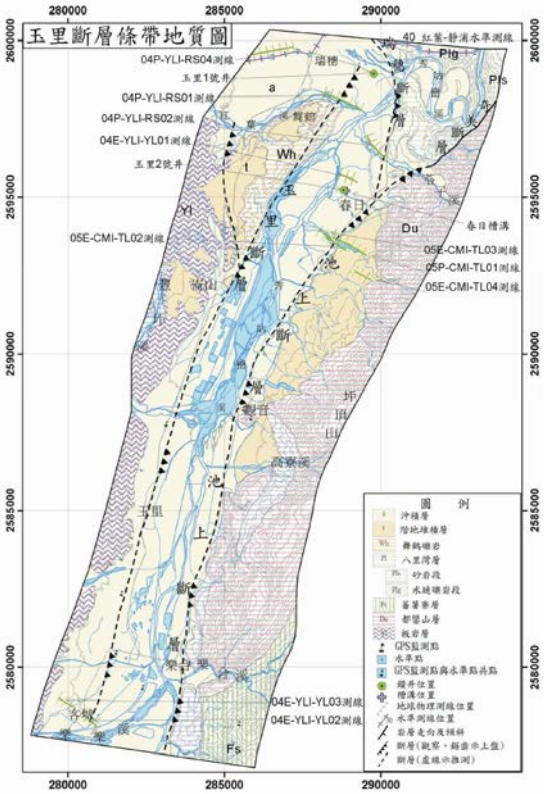


圖 6-2.1：玉里斷層條帶地質圖，座標系統 TWD67 (林啓文等，2009)。

Fig. 6-2.1 Geological map of the Yuli fault (Lin et al., 2009).

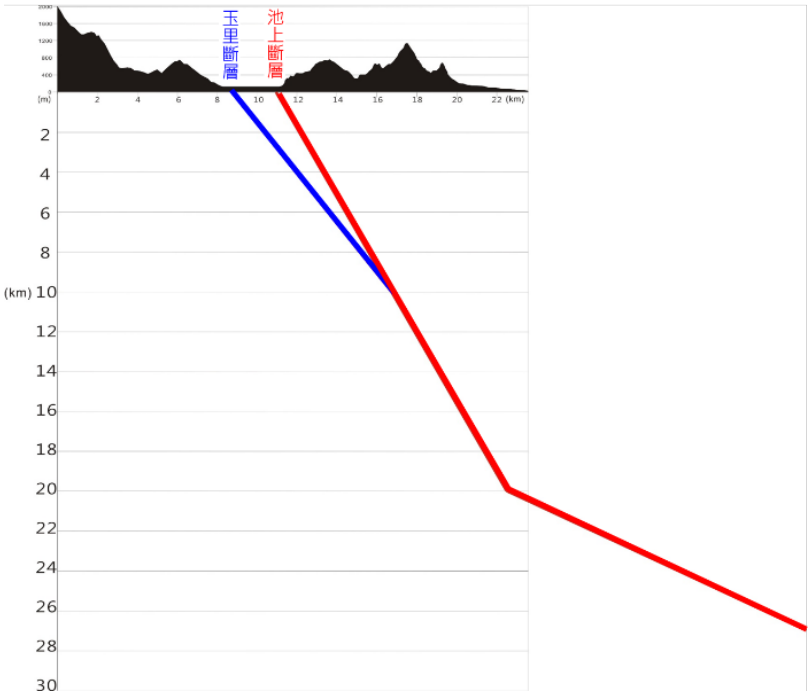


圖 6-2.2：本計畫玉里斷層及池上斷層幾何設定。玉里斷層傾角 51 度，深度 10 公里。

Fig. 6-2.2 This project's fault geometry setting of the Yuli fault and the Chihshang fault.

表 6-2.1：玉里斷層各破裂事件規模計算

Tab. 6-2.1 Estimated magnitude for one rupture case of the Yuli fault.

斷層名稱	破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	寬度 (km)	傾角 (度)	面積 (km2)	Wells and Coopersmith, 1994 (破裂面積-規模關係式) (Mw)			Yen and Ma, 2011 (破裂面積-規模關係式) (Mw)
							-σ	中值	+σ	
玉里	A	23	10	12.9	51	296	6.3	6.6	6.9	6.5

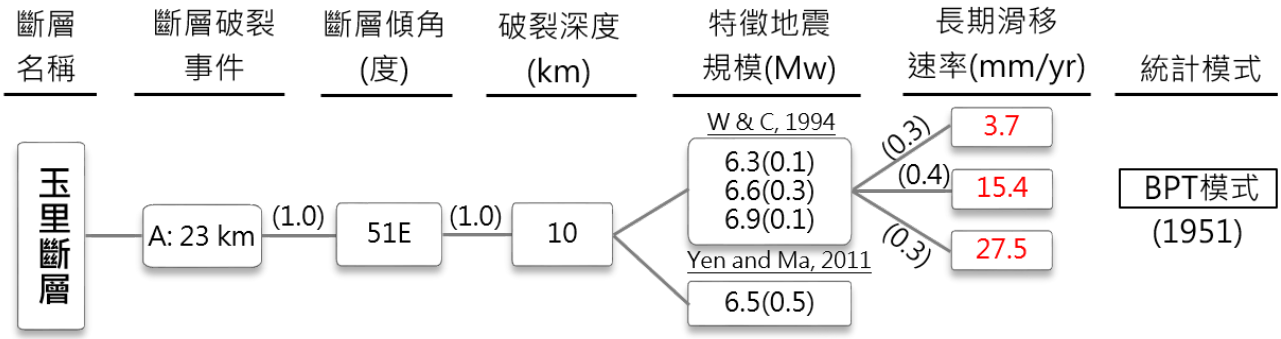


圖 6-2.3：玉里斷層邏輯樹。

Fig. 6-2.3 Logic tree structure of the Yuli fault.

6-3 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 6-3.1 為 1 個破裂事件計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 6-2.3 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 6-3.2 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 6-3.3 為 1 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布。

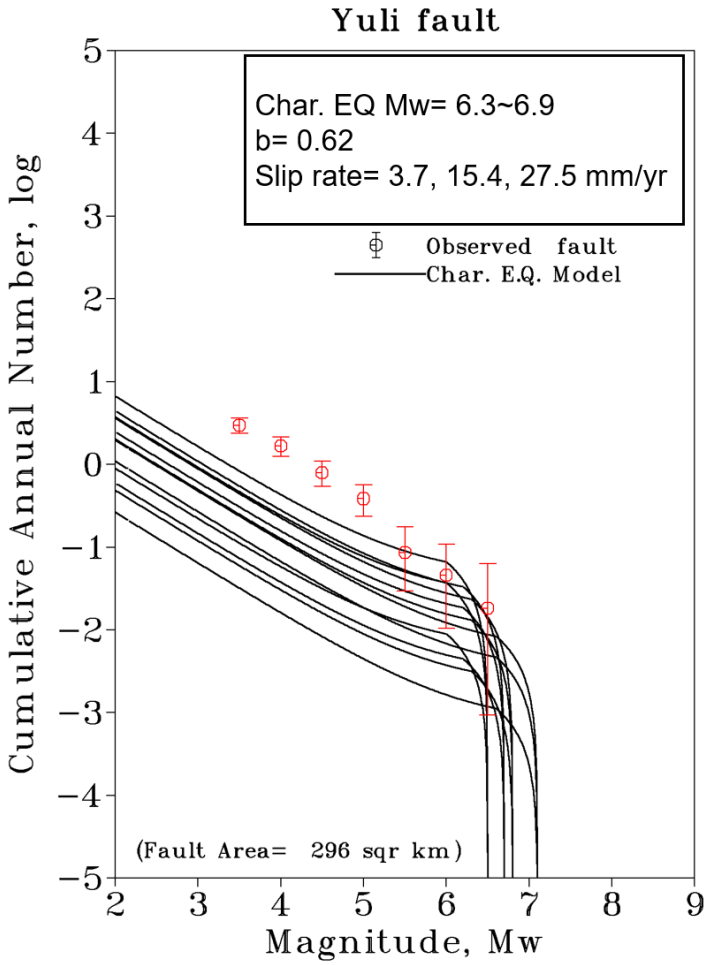


圖 6-3.1：玉里斷層破裂事件特徵地震模式。

Fig. 6-3.1 The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for one rupture case of the Yuli fault.

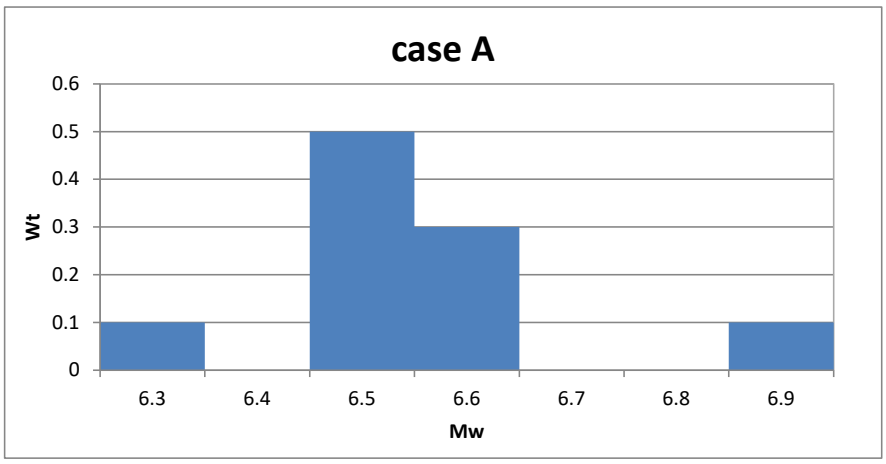


圖 6-3.2：玉里斷層破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Fig. 6-3.2 The relationships between magnitude and weighting for one rupture case of the Yuli fault.

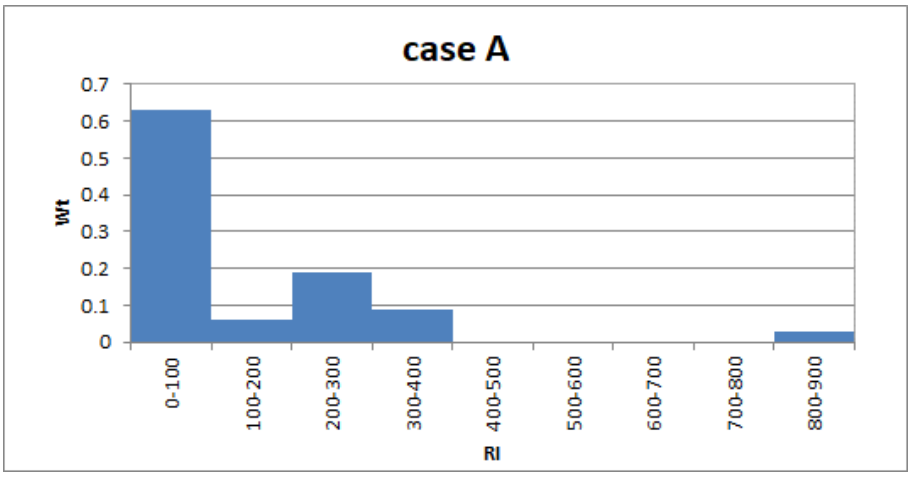


圖 6-3.3：玉里斷層破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 6-3.3 The relationships between recurrence interval and weighting for one rupture case of the Yuli fault.

6-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算玉里斷層未來 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 6-4.1 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 52.7%、62.5%及 75.2%。未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 44.7%，53.9%，65.8%。

表 6-4.1：本計畫玉里斷層發生機率評估

Tab. 6-4.1 Earthquake probabilities for the Yuli fault in this project

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.3 ≦ M ≦ 6.9	52.7%	62.5%	75.2%
M ≧ 6.5	44.7%	53.9%	65.8%

第七章、池上斷層潛勢評估

前階段計畫考慮了玉里、池上斷層的系統破裂，然而目前玉里斷層是屬於中央山脈斷層或是池上斷層的分支仍有爭議。前階段計畫為了評估玉里斷層的潛勢，將玉里斷層視為池上斷層的分支，而與玉里斷層相關的參數，如幾何面、滑移速率等都是採用間接方法推估或是一些假設而得到的，可能與實際斷層活動有很大的差異，評估成果也可能會對資料相對齊全的池上斷層造成影響，因此本階段計畫將玉里斷層與池上斷層的潛勢分開進行評估。

本章 7-1 節介紹前階段計畫本團隊劃設之池上斷層及玉里斷層邏輯樹，而本計畫參數更新之項目則只針對池上斷層進行說明，7-2 節針對池上斷層更新之參數進行邏輯樹重新劃設。7-3 節為利用特徵地震模式計算各邏輯樹節點之地震復發間隔結果，7-4 節為斷層未來 30、50 及 100 年的發震機率評估結果。

7-1 池上斷層參數更新

7-1-1 前階段計畫成果

前階段將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。前階段計畫認為池上斷層有和玉里斷層形成系統破裂之可能性，因此考慮池上斷層及玉里斷層為一個系統，分段及破裂模式詳如圖 7-1.1 所示。其中破裂模式 A、B、C 屬於北段破裂，權重總和為 0.4；破裂模式 D 屬於南段破裂，權重為 0.4；破裂模式 E、F、G 屬於整段破裂，權重總和為 0.2。

池上斷層之傾角及破裂深度，主要參考 P 波速度構造剖面、地震震源分布、2003 年成功地震餘震分布等資料，前階段計畫認為傾角可採用雙傾角方式呈現。依據地震震源分布，池上斷層在深度 0-20 公里的傾角約 60 度，上下值各加減 5 度作為邏輯樹上下界，深度 20 公里以下約 25 度，權重分配為「0-20 公里 55 度，20 公里以下 25 度」，權重 0.2；「0-20 公里 60 度，20 公里以下 25 度」，權重 0.6；「0-20 公里 65 度，20 公里以下 25 度」，權重 0.2。池上斷層深度則以 27 公里當作邏輯樹中值，上下加減 2 公里作為邏輯樹上下界，破裂深度權重為 25 公里（0.2）、27 公里（0.6）、29 公里（0.2）。

玉里斷層之傾角及破裂深度，前階段計畫則假設玉里斷層於一定深度與池上斷層相接，如圖 7-1.2 所示，權重分配為「0-10 公里 47 度，10-20 公里 55 度，20 公里以下 25 度」，權重 0.2；「0-10 公里 51 度，10-20 公里 60 度，20 公里以下 25 度」，權重 0.6；「0-10 公里 55 度，10-20 公里 65 度，20 公里以下 25 度」，權重 0.2，斷層深度則以 27 公里當作邏輯樹中值，上下加減 2 公里作為邏輯樹上下界，玉里斷層破裂深度權重為 25 公里（0.2）、27 公里（0.6）、29 公里（0.2）。

各破裂事件之特徵地震規模則代入 Wells and Coppersmith (1994)及 Yen and Ma

(2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith (1994)之標準差作為上下之分支，其中 Yen and Ma (2011)為臺灣本土之經驗公式，因此給予較高之權重 0.5。

池上斷層之滑移速率，依據朱曜國（2007）、陳文山等（2010）及張晃（2013）階地定年結果，得到池上斷層最近一千年抬升速率約為 25~30 mm/yr，前階段計畫以斷層近地表傾角 40 度，50 度，60 度換算至斷層面上，推估池上斷層之淨滑移速率範圍為 28.9~46.7 mm/yr。前階段計畫設定邏輯樹中值為(28.9+46.7)/2=37.8 mm/yr，上下值則為 28.9 mm/yr 及 46.7 mm/yr。權重分配為 28.9 (0.3)，37.8 (0.4)，46.7 (0.3)。玉里斷層由於缺少長期滑移速率資料，且短期滑移速率也無明顯變化，前階段計畫考慮池上斷層滑移速率之走向滑移分量作為玉里斷層之長期滑移速率，池上斷層之滑移速率 28.9 ~46.7 mm/yr，假設滑移角為 60~70 度，則走向滑移分量範圍 10.5~27.0 mm/yr，前階段計畫設定玉里斷層滑移速率邏輯樹中值為(10.5+27.0)/2=18.8 mm/yr，上下值則為 27.0 mm/yr 及 10.5 mm/yr。權重分配為 10.5 (0.3)，18.8 (0.4)，27.0 (0.3)。

前階段計畫池上、玉里斷層系統各節點權重的分配詳如圖 7-1.3 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。

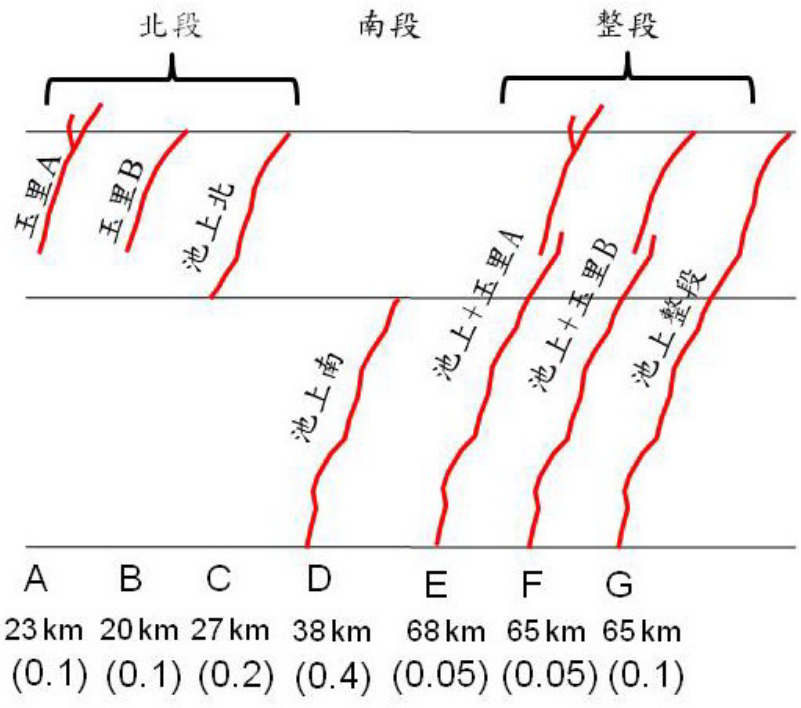


圖 7-1.1：玉里-池上斷層系統分段、破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。

Figure 7-1.1 Segmentation, rupture cases and weights of the Yuli - Chihshang fault system(Hu et al., 2016).

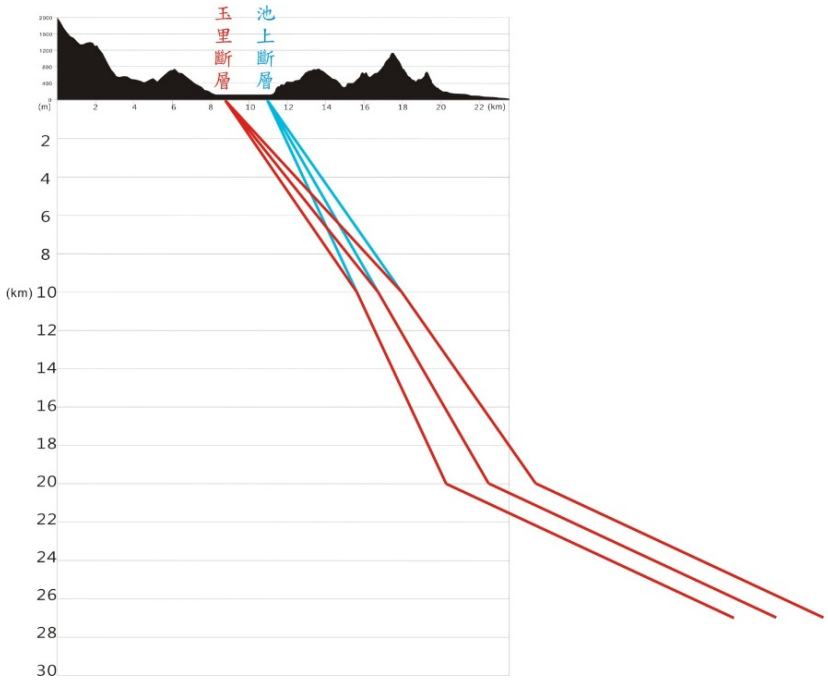


圖 7-1.2：前階段計畫玉里-池上斷層系統幾何形貌剖面圖(胡植慶等，2016)。

Fig. 7-1.2 The previous project's fault geometry model of the Yuli - Chihshang fault system (Hu et al., 2016).

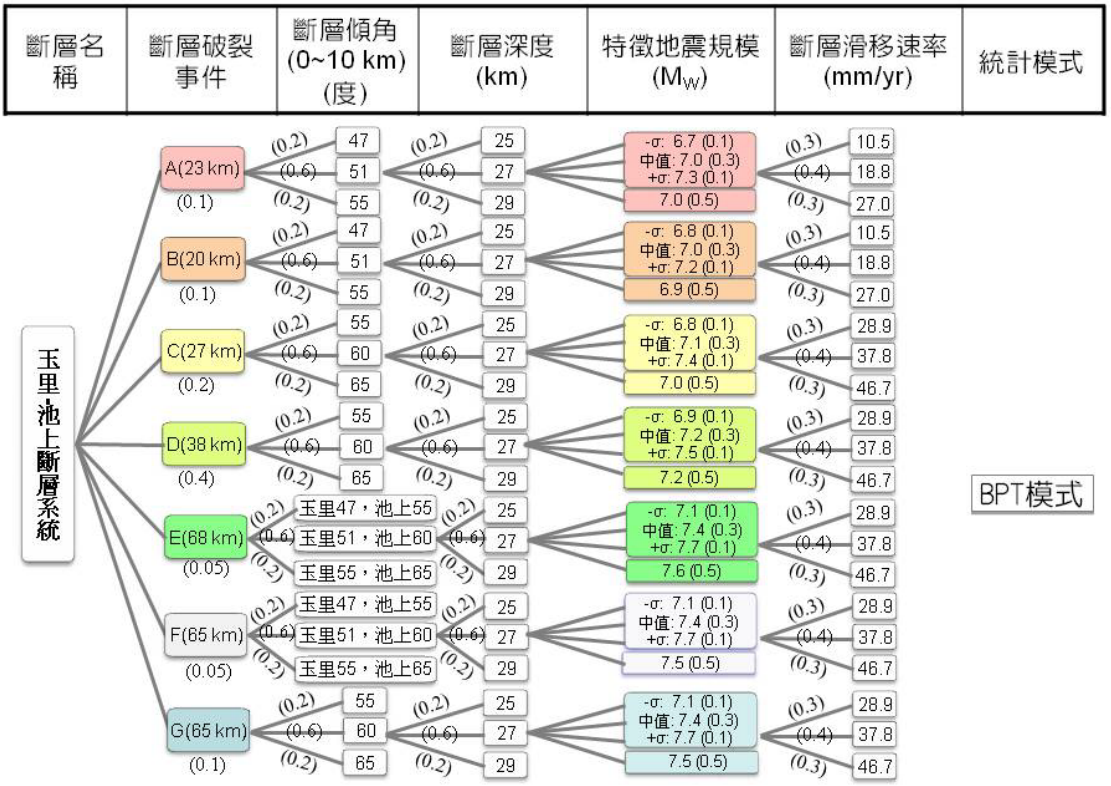


圖 7-1.3：前階段計畫玉里-池上斷層系統邏輯樹(胡植慶等，2016)。

Fig. 7-1.3 Logic tree of the Yuli - Chihshang fault system (Hu et al., 2016).

7-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

根據圖 3-1.5 李元希等人(Lee et al., 2008)跨縱谷北、中、南地震深度分布剖面，縱谷斷層於南段呈現匙狀幾何，如圖 3-1.5 紅色虛線所示。

Lee et al. (2003) 蒐集池上斷層附近 1998-2001 及 1995 年規模 5.4 地震序列之地震記錄（圖 7-1.4），認為地震應是沿著池上斷層之斷層面分布，得到斷層面在 0-10 公里深度傾角約 60-65 度，10-20 公里深度傾角變為 45 度，20-25 公里深度時傾角變為 10 度。

Cheng et al. (2009) 重定位 2003 年 Mw 6.8 成功地震之餘震結果，可作為池上斷層幾何形貌之參考，由縱谷東邊的餘震序列分佈可以看出有一明顯的地震帶沿著傾角向東的斷層面分佈。縱谷斷層南段 2003 年成功地震餘震分布及斷層面解，詳如圖 7-1.5，整體而言在深度 0-20 公里斷層面傾角約 60 度，20-27 公里斷層面傾角約 25 度。

根據 Kuochen et al. (2012) 速度構造剖面及地震震源分布，推估池上斷層傾角 60 度，深度約 27 公里左右（圖 7-1.6）。

池上斷層幾何相關研究資料彙整於表 7-1.1，池上斷層之傾角及破裂深度，主要參考 P 波速度構造剖面、地震震源分布、2003 年成功地震餘震分布等資料，本計畫認為傾角可採用雙傾角方式呈現，與前階段計畫相同，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。

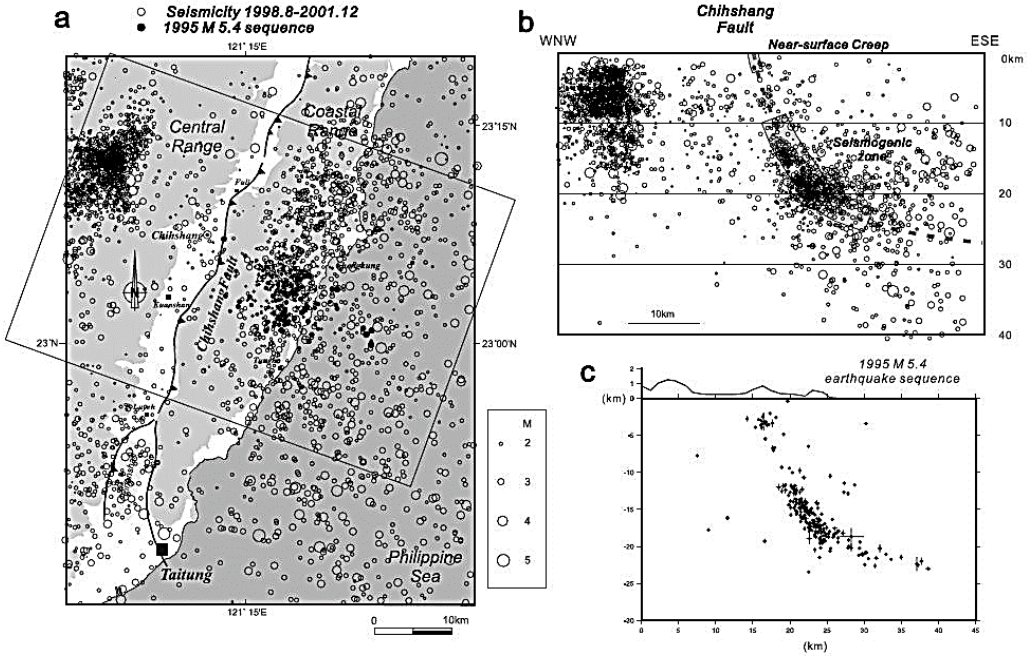


圖 7-1.4：池上斷層及附近之地震序列深度分布剖面。(a)池上斷層及附近之地震分布，空心圓圈為 1998-2001 之地震，黑色實心圓圈為 1995 年 M5.4 地震序列(b)1998-2001 地震深度分布剖面(c)1995 年 M5.4 地震序列深度分布剖面，圖中的十字代表定位誤差（摘自 Lee et al., 2003）。

Fig. 7-1.4: (a) Seismicity in the Chishan fault areas. Opened circles are the earthquakes during 1998-2001, and the black solided circles are the 1995 M5.4 earthquake sequence. (b) Background seismicity and distribution of focal depth from 1998 to 2001. (c) The earthquake profile of the M5.4 earthquake sequence in 1995. The cross in the figure represents the positioning error (after Lee et al., 2003).

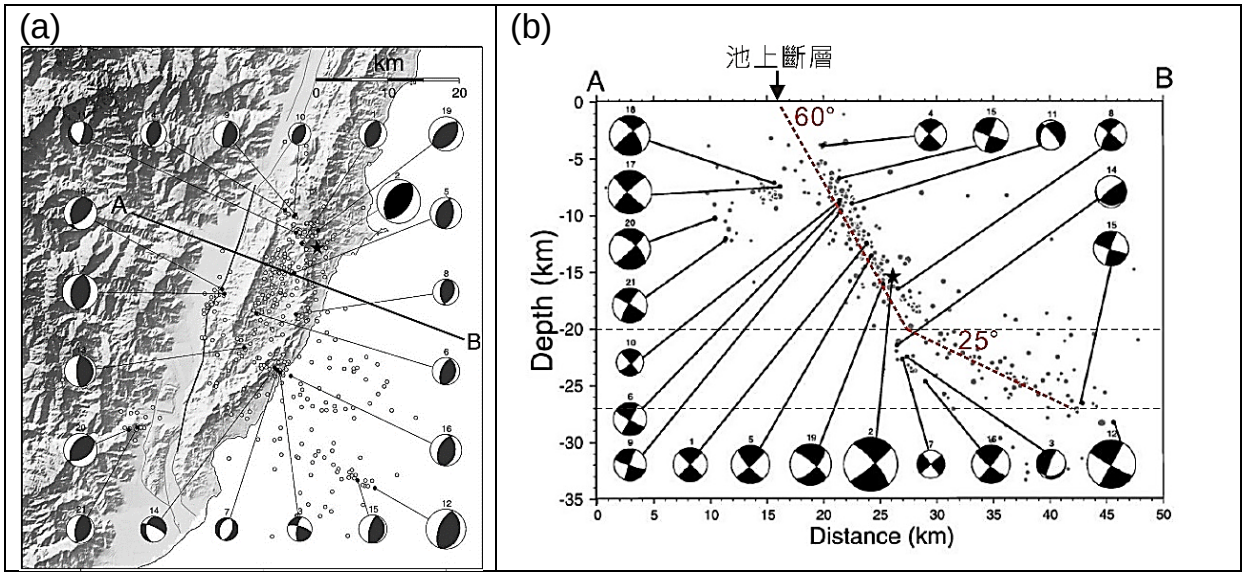


圖 7-1.5：(a)2003 年成功地震餘震分布及斷層面解，(b)A-B 剖面餘震深度分布 (Cheng et al., 2009)。

Fig. 7-1.5: (a) Aftershock distribution of the 2003 Chengkung earthquake and their focal mechanism solutions. (b) A-B profile aftershock distribution (Cheng et al., 2009).

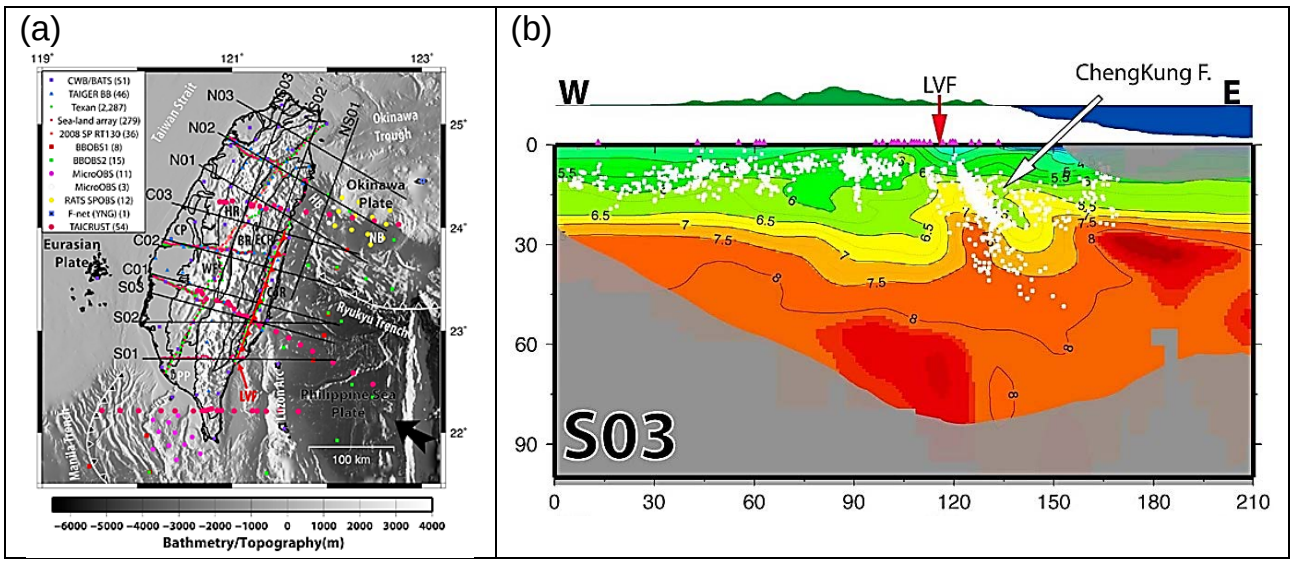


圖 7-1.6：(a)臺灣地體架構及地震站分布，黑色實線為速度構造剖面分布，(b)為跨越縱谷斷層南段 S03 速度構造剖面(Kuochen et al., 2012)。

Figure 7-1.6: (a) Taiwan seismotectonics and the distribution of seismic stations. The solid black lines are the distribution of velocity profiles. (b) S03 velocity structure profile across the southern section of the longitudinal valley fault (Kuochen et al., 2012).

表 7-1.1：池上斷層幾何相關文獻彙整

Tab. 7-1.1 Parameters and references of the geometry of the Chihshang fault

參考文獻	方法	傾角(度)	深度
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
陳文山等，2010	富里富池橋東方之池上斷層露頭	60 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

7-2 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 7-2.1 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 7-2.2 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 5-1-2 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 7-2.3 所示。

池上斷層滑移速率，圖 7-2.4 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 7-2.1)，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 7-2.5 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 7-2.5 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 7-2.2 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 7-2.6 所示。

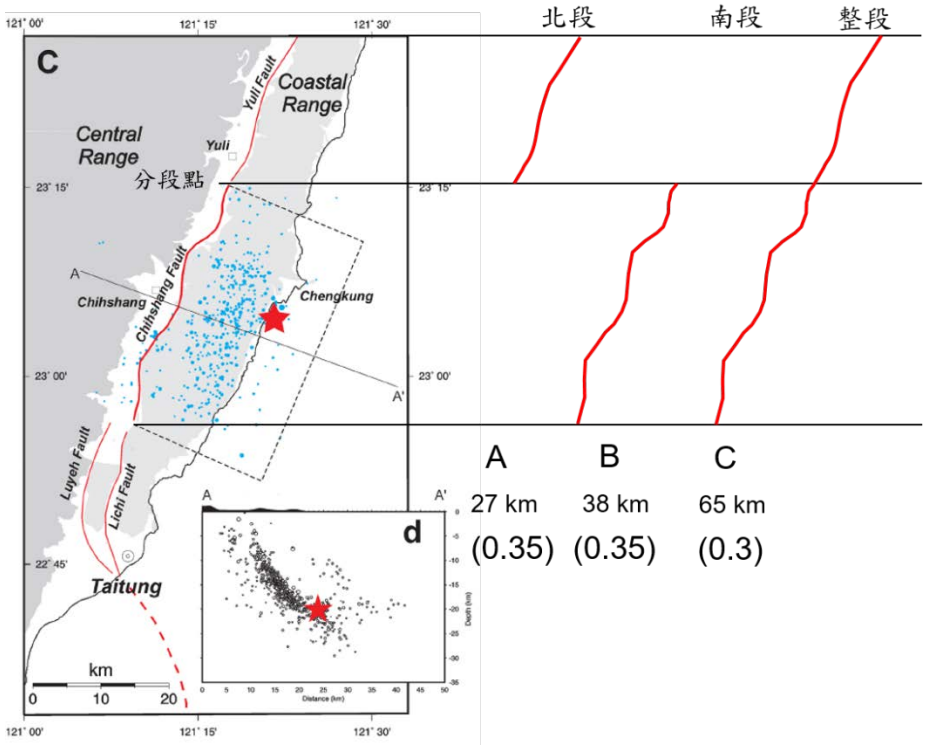


圖 7-2.1：本計畫池上斷層分段破裂模式。

Fig. 7-2.1 Segmentation and rupture model of the Chihshang fault in this project.

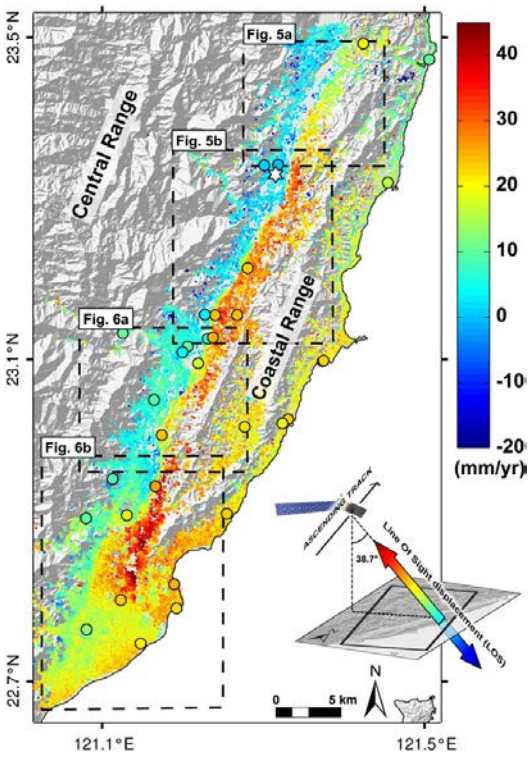


圖 7-2.2：縱谷南段 PS 點位視衛星方向速度分布圖。觀測時間為 2007 年一月至 2010 年二月(Champenois et al., 2012)。

Fig. 7-2.2 Map of PS mean LOS velocities(in mm/yr) on the southern part of Longitudinal Valley between January 2007 and February 2010 derived from PALSAR dataset (Champenois et al., 2012).

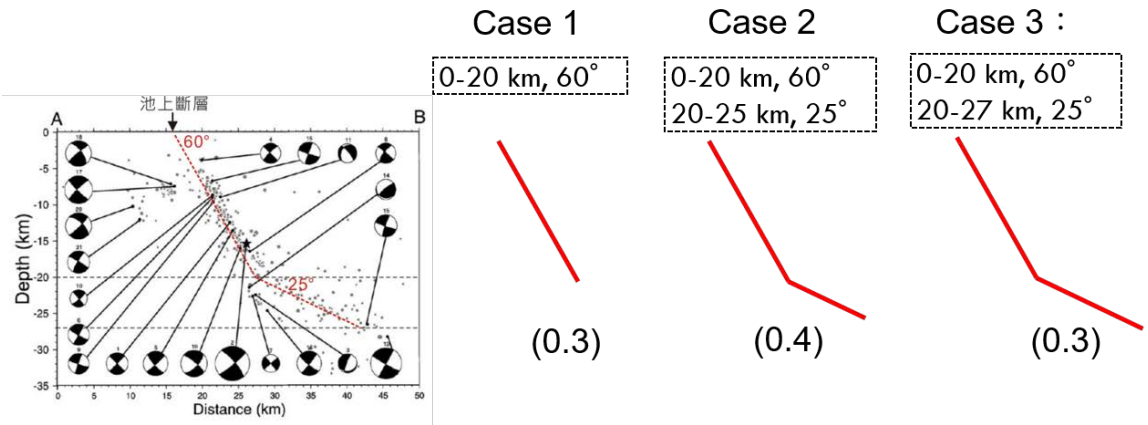


圖 7-2.3：池上斷層幾何破裂模式及權重分配。

Fig. 7-2.3 Cases and weights of the geometric model for the Chihshang fault.

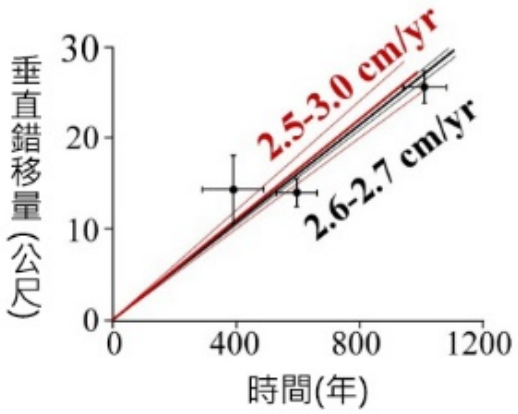


圖 7-2.4：池上斷層垂直滑移速率。黑色實線為利用階地定年回歸後所計算出的長期垂直滑移速率，紅色實線為大地測量所得到的現今垂直滑移速率(修改自張冕，2013)。

Fig. 7-2.4 Vertical slip rate estimated by terrace data for the Chihshang fault.

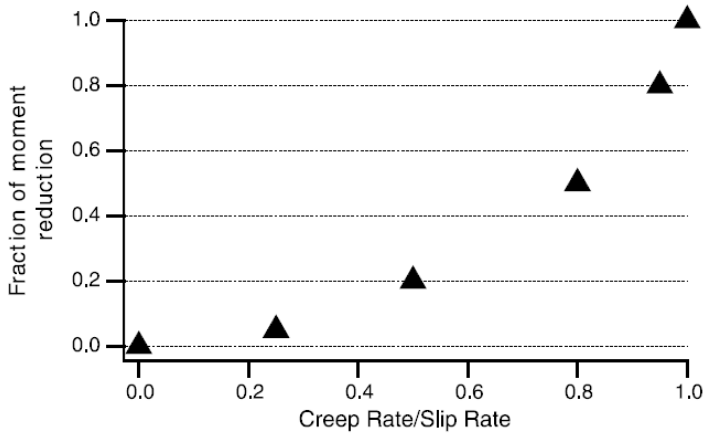


圖 7-2.5：美國 UCERF3 潛移速率/滑移速率比例與震矩折減之關係(Field et al, 2014)。

Fig. 7-2.5 The UCERF3 creep model, which specifies moment rate reduction as a function of the creep-rate–to–slip-rate ratio (Field et al, 2014).

表 7-2.1：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)

Tab. 7-2.1 Net slip rate calculation for the Chihshang fault.

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 7-2.2：池上斷層各破裂事件規模計算

Tab. 7-2.2 Estimated magnitude for each rupture case of the Chihshang fault.

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

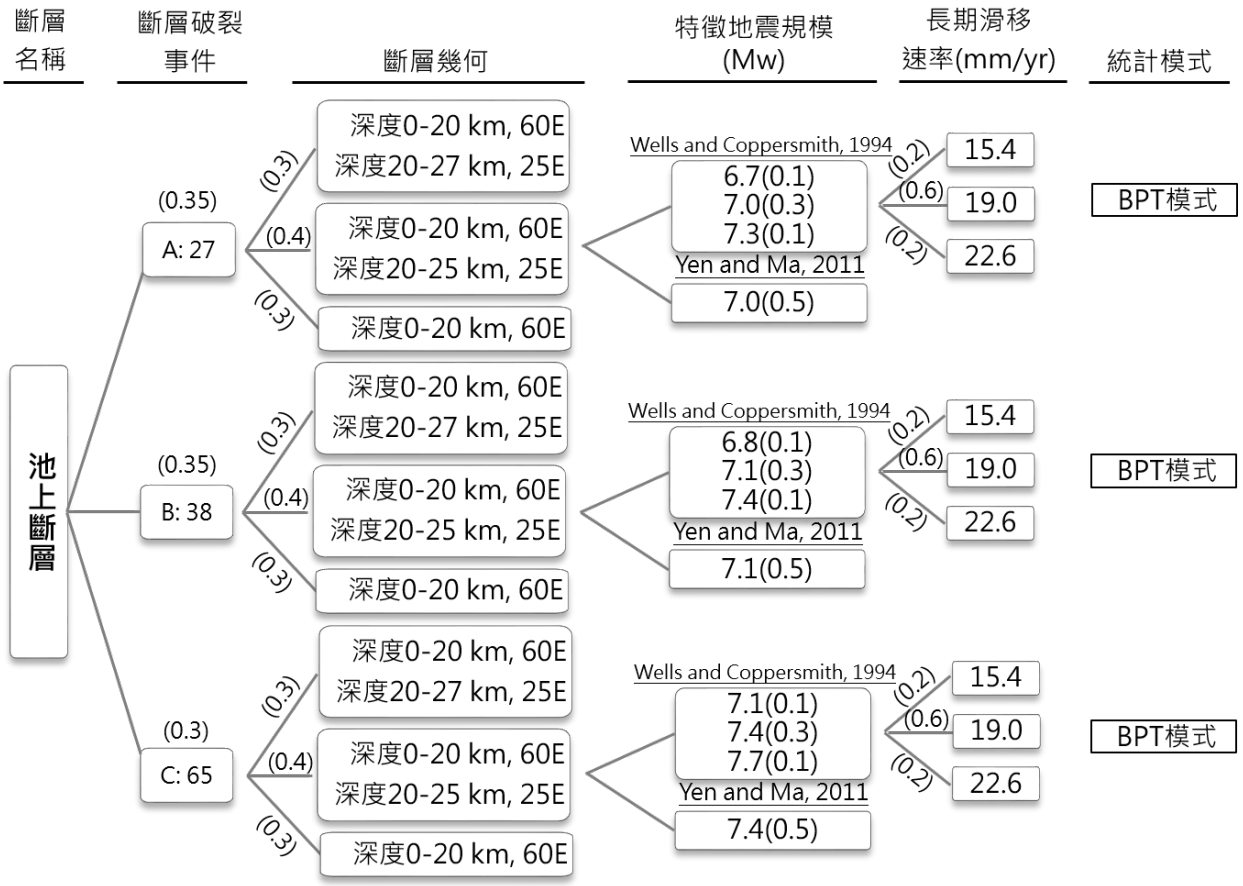


圖 7-2.6：池上斷層更新邏輯樹。

Fig. 7-2.6 Renewed logic tree of the Chihshang fault.

7-3 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 7-3.1 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 7-2.6 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 7-3.2 為 3 種破裂事件之規模-權重分布圖，其中破裂模式 A 以規模 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 7-3.3 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 7-3.4（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 7-3.4（b）之池上斷層地震復發間隔時間-權重分布圖。

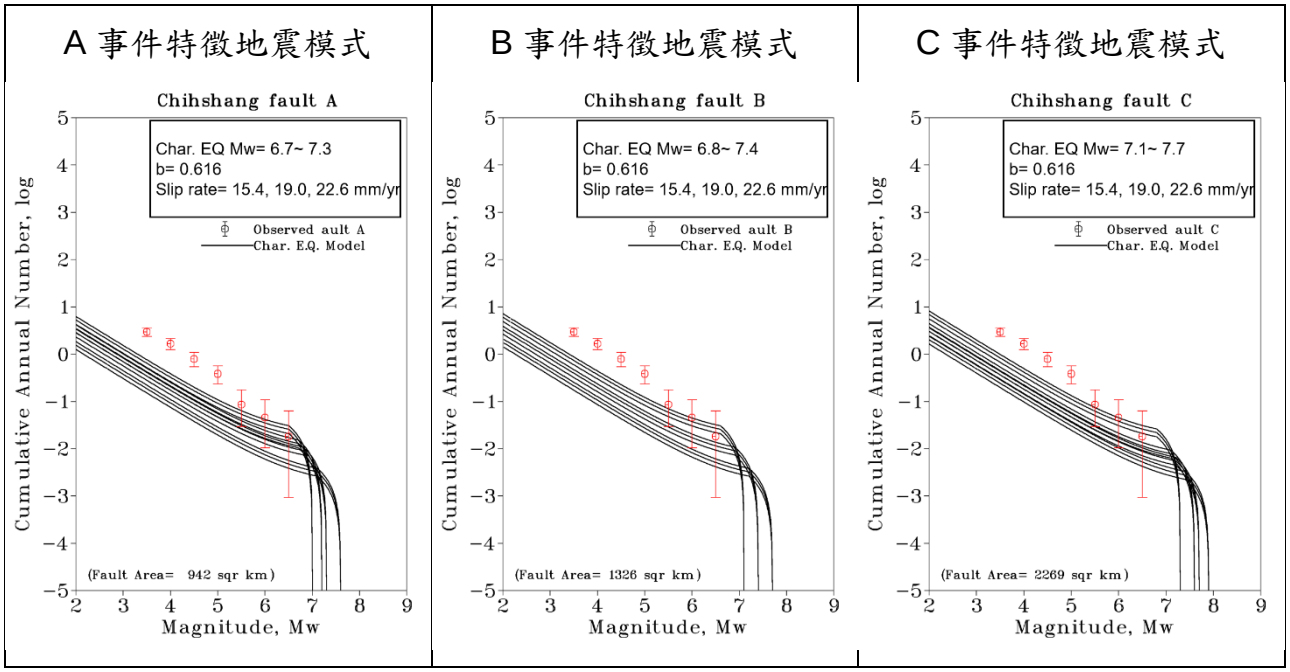


圖 7-3.1：池上斷層各破裂事件特徵地震模式。

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

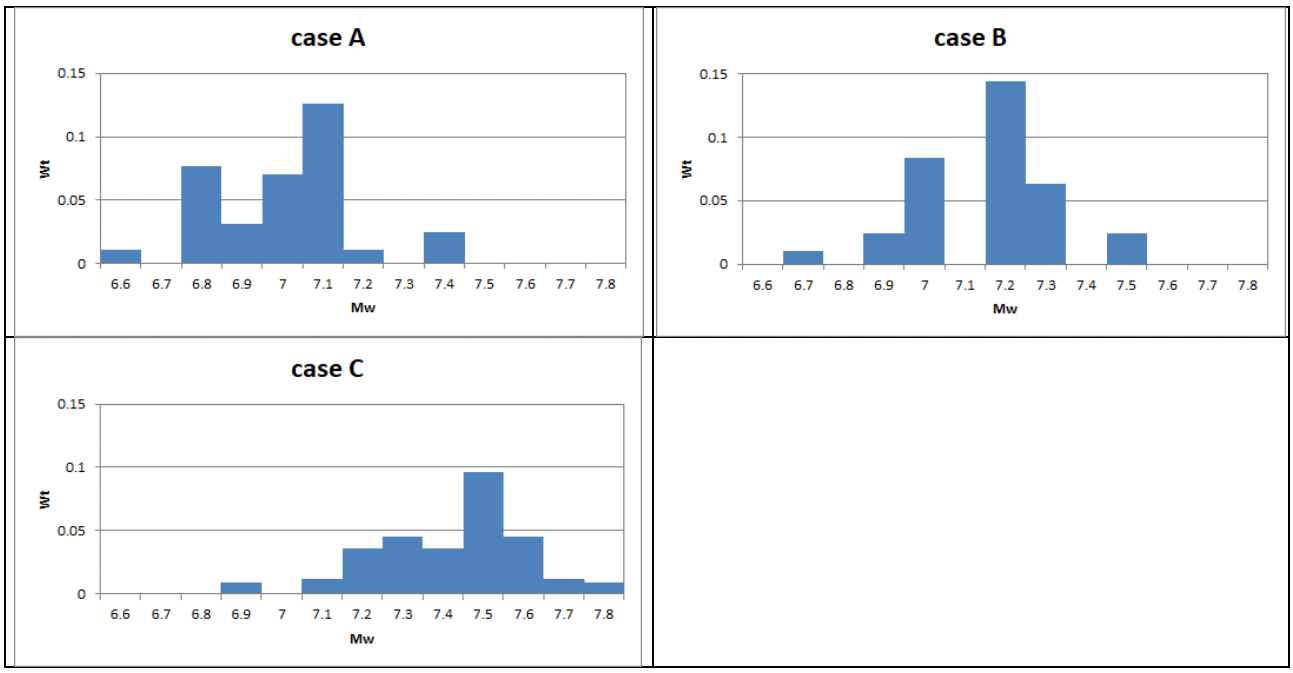


圖 7-3.2：池上斷層 3 種破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

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

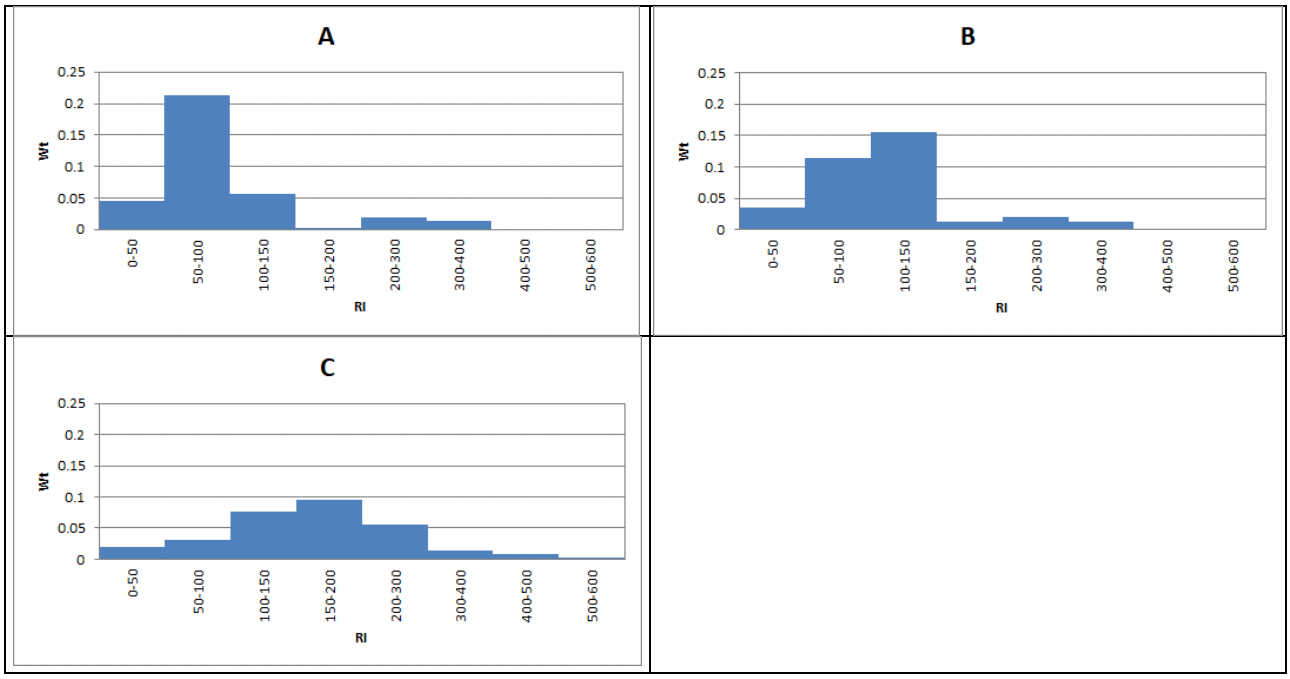


圖 7-3.3：池上斷層 3 種破裂事件之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

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

（a）　　（b）

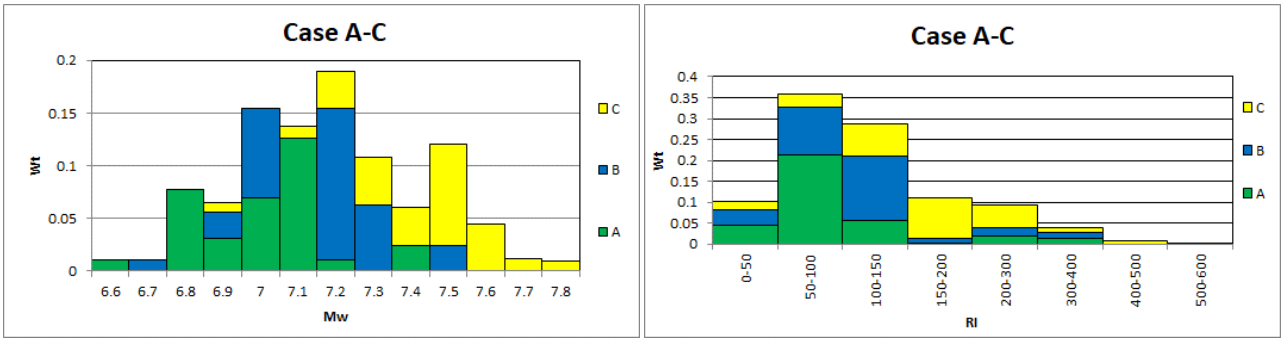


圖 7-3.4：(a) 池上斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(b) 池上斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

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

7-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算池上斷層未來 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 7-4.1 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 7-4.2 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 7-4.1：前階段計畫玉里-池上斷層發生機率評估(胡植慶等，2016)

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

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率		50 年機率		100 年機率	
	BPT		BPT		BPT	
	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 7-4.2：本計畫池上斷層發生機率評估

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

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

第八章、鹿野斷層潛勢評估

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

8-1 鹿野斷層參數更新

8-1-1 鹿野斷層前階段計畫成果

前階段計畫在評估鹿野-利吉斷層系統之破裂，鹿野和利吉權重各為 0.5，每條斷層各有兩種破裂模式。鹿野斷層：鹿野 A 為地調所鹿野斷層位置破裂，鹿野 B 為鹿野斷層+東南延伸破裂（圖 8-1.1）。鹿野 A 權重為 0.6，鹿野 B 權重為 0.4。所有破裂模式之權重分配如圖 8-1.3 所示。

鹿野-利吉斷層之傾角及破裂深度，前階段計畫主要參考 P 波速度構造剖面、地震震源分布(圖 8-1.2)、2006 年臺東地震序列分布等資料。鹿野斷層在深度 0-5 公里的傾角約 30 度，誤差值加減 5 度作為邏輯樹上下界，而後銜接至利吉斷層。權重分配為「0-3 公里 25 度，3-22 公里 55 度，22 公里以下 40 度，權重 0.2」;「0-5 公里 30 度，5-22 公里 55 度，22 公里以下 40 度，權重 0.6」;「0-7 公里 35 度，7-22 公里 55 度，22 公里以下 40 度，權重 0.2」。前階段計畫鹿野斷層系統深度則以 30 公里當作邏輯樹中值，誤差值 2 公里作為邏輯樹上下界，破裂深度權重為 28 公里（0.2）、30 公里（0.6）、32 公里（0.2）。

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

鹿野斷層長期滑移速率，依據 Shyu et al. (2008)龍田階地定年結果，約 8.8~9.2 mm/yr（平均為 9.0 mm/yr）、陳文山等(2010)永安槽溝開挖為 5.4 mm/yr、鑽井定年結果為 9.8~12.2 mm/yr（平均為 11.0 mm/yr），前階段計畫設定鹿野斷層邏輯樹中值為 9.0 mm/yr(0.4)，上下值則為 11.0 mm/yr(0.3)及 5.4mm/yr(0.3)。

前階段計畫鹿野-利吉斷層系統各節點權重的分配詳如圖 8-1.3 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。

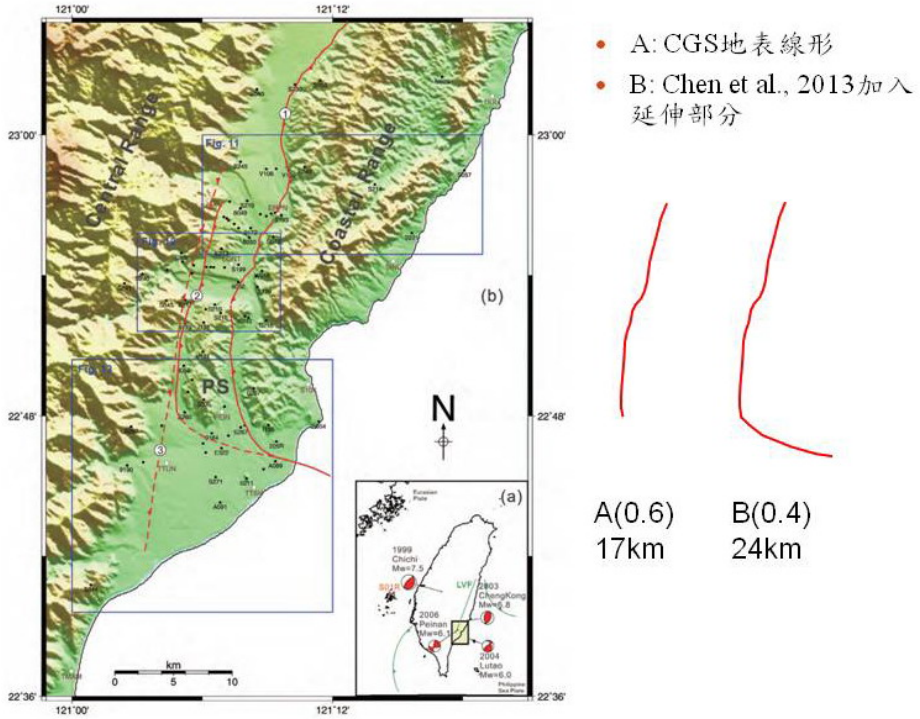


圖 8-1.1：鹿野斷層破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。

Figure 8-1.1 Rupture cases and weights of the Luyeh fault (Hu et al., 2016).

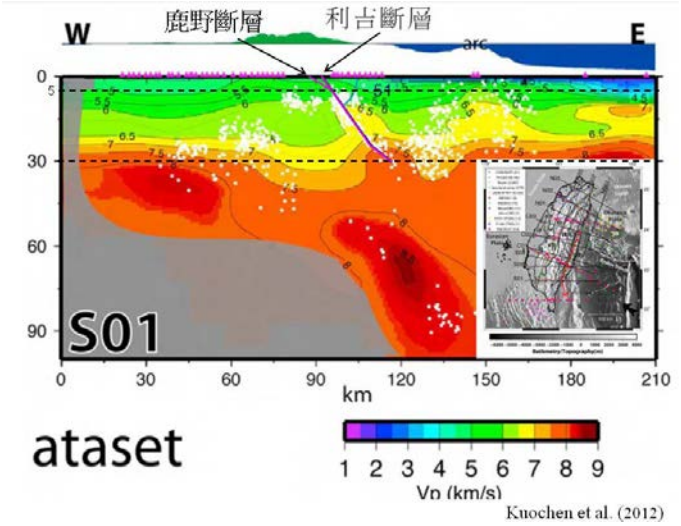


圖 8-1.2：參考速度構造剖面及地震分布推估鹿野斷層及利吉斷層幾何面(胡植慶等，2016)。

Figure 8-1.2 Geometric model of the Luyeh fault and Lichi fault (Hu et al., 2016).

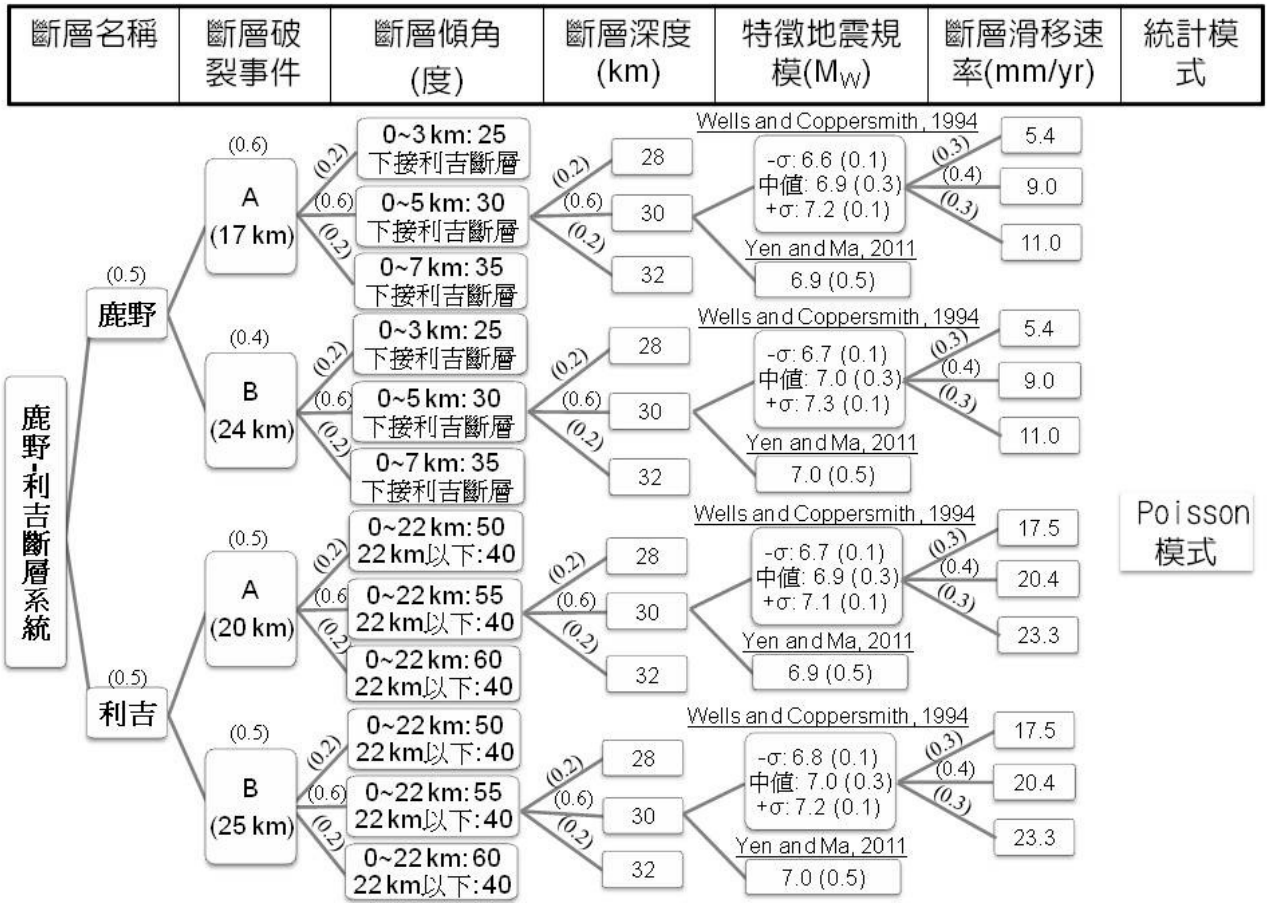


圖 8-1.3：鹿野-利吉斷層系統邏輯樹(胡植慶等，2016)。

Fig. 8-1.3 Logic tree structure of the Luyeh-Lichi fault system (Hu et al., 2016).

8-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

圖 8-1.4 為李建成等人(Lee et al., 1998)根據大地測量資料推估之卑南山地區的構造演化模型，(a)卑南山礫岩於漸新世中期沉積於縱谷斷層(利吉斷層)下盤，(b)後由於逆衝作用使卑南山礫岩摺曲，(c)縱谷斷層逆衝作用於此處傳遞至卑南山礫岩西側，形成鹿野斷層，縱谷斷層(利吉斷層)則變為左移為主的斷層。由此演化模型可知鹿野斷層應為縱谷斷層於淺處分岔出來的低傾角分支逆斷層。

石瑞銓與陳平護（2001）利用反射震測，在永安（00P-LYH-02）)與龍田（00P-LYH-01）地區兩條剖面線的震測影像判讀結果，永安測線重合剖面，如圖 8-1.5（b），經量測斷層傾角約為 60°E；龍田測線西段的重合剖面，如圖 8-1.5（c），經量測斷層傾角約為 65°E。

紀權宥（2007）認為利吉斷層及鹿野斷層為潛移作用為主的活動斷層，故以階地抬升速率代表長期地殼垂直變化速率，GPS 水平變化速率代表長期地殼水平速率，估算利吉斷層面傾角約為 53°，而鹿野斷層則為利吉斷層的分支斷層，傾角 17°，斷層構造模型如圖 8-1.6 所示。

姜彥麟（2007）利用跨斷層 2006 年 4 月 1 號的臺東地震同震時期，地表的水平壓縮量和垂直抬升量，估算近地表利吉斷層傾角約 70°，鹿野斷層傾角約 35~40°（圖 8-1.7）。

王蘭榛等（2010）利用改良淺層震測影像探討鹿野斷層之構造，在龍田階地西側，跨越鹿野斷層位置設置一條測線（07P-LYHF-LT-1）（圖 8-1.8），經剖面量測鹿野斷層傾角約為 45°。

Wu et al. (2006)利用 CWBSN 和 TSMIP 於 2006 年四月間在臺東地區所記錄的 1265 筆地震事件，包含 2006 年 4 月 1 號的臺東地震，重新定位後得到剖面圖。初步描繪中央山脈斷層、鹿野斷層、利吉斷層三者的斷層面，如圖 8-1.9 所示。Wu et al. (2006)認為鹿野斷層為利吉斷層的分支斷層。

根據 Kuochen et al. (2012)速度構造剖面及地震震源分布，推估利吉斷層傾角約 55 度，深度約 30 公里左右(圖 8-1.10)。

鹿野-利吉斷層之幾何參數彙整於表 8-1.1，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 8-1.11 所示。

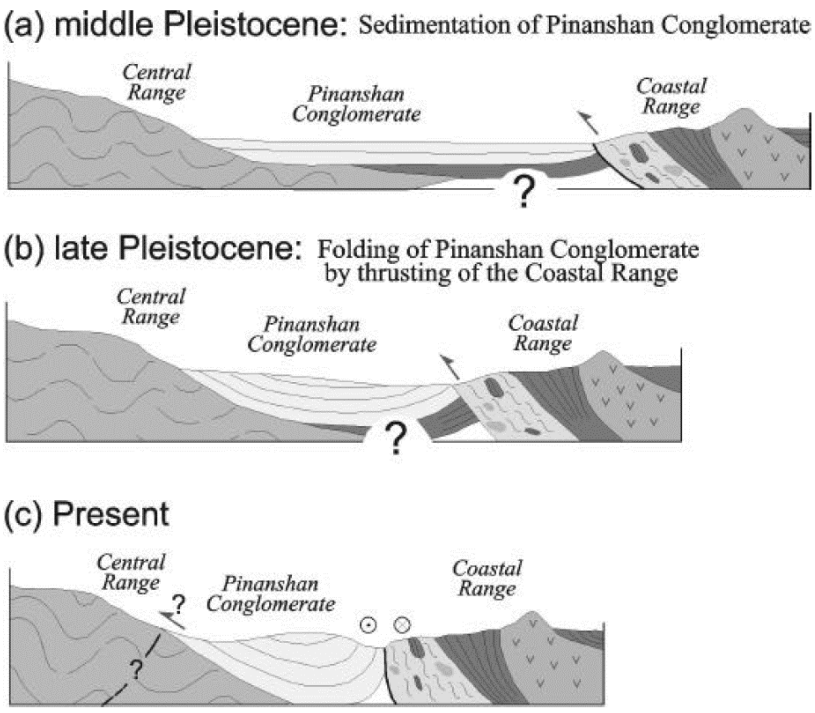


圖 8-1.4：卑南山礫岩構造演化圖（Lee et al., 1998）。

Figure 8-1.4 Tectonic evolution of the Pinanshan Conglomerate (Lee et al., 1998).

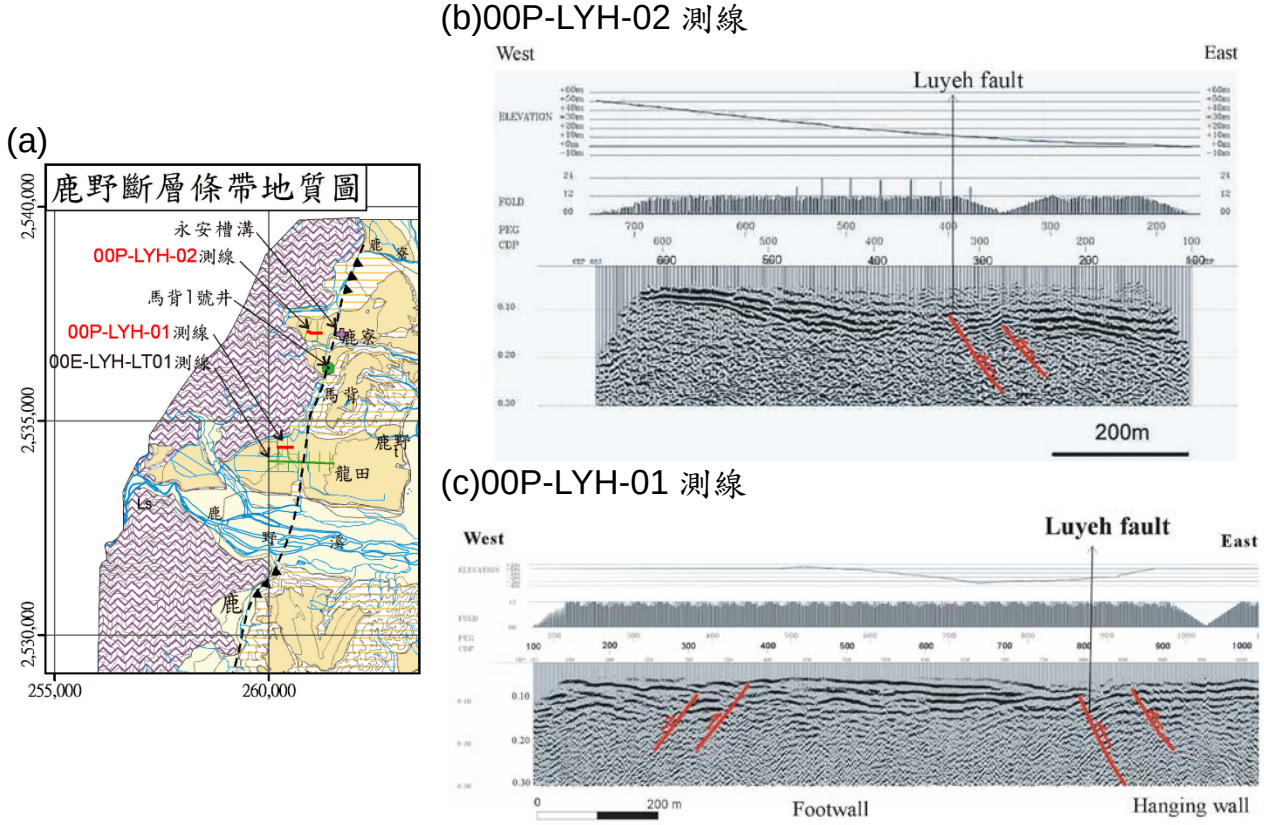


圖 8-1.5：(a)鹿野斷層條帶地質圖，震測線位於紅色實線處，(b)永安淺層震測剖面，(c)龍田淺層震測西側剖面（石瑞銓與陳平護，2001）。

Figure 8-1.5 Shallow seismic reflection profiles at Yongan and Longtian respectively (Shih and Chen, 2001).

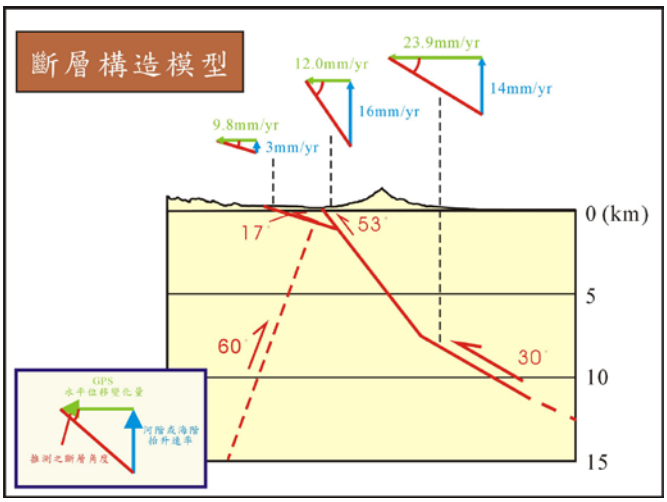


圖 8-1.6：鹿野斷層、利吉斷層地下構造模型（紀權宥，2007）。

Figure 8-1.6 Structural model of the Luyeh fault and Lichi fault (Chi, 2007).

跨地震時期	抬升量 (mm)	水平壓縮量 (mm)	近地表傾角 (度)
利吉斷層	15.5	5	70
鹿野斷層	10~11	13	35~40

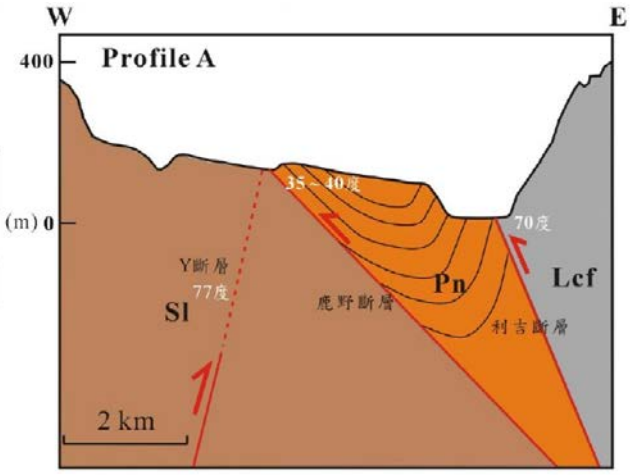
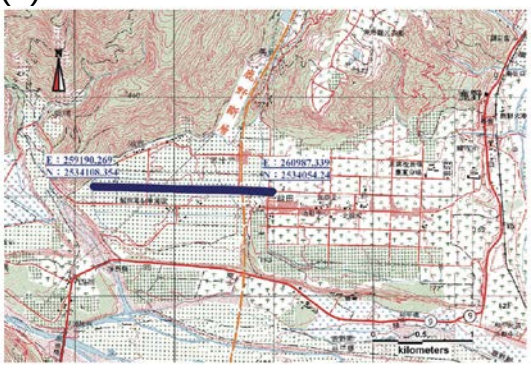


圖 8-1.7：研究區域之地下構造剖面。Lcf：利吉層；Pn：卑南山礫岩；Sl：中央山脈板岩層（姜彥麟，2007）。

Figure 8-1.7 Structural section of the study area (姜彥麟，2007).

(a)



(b)

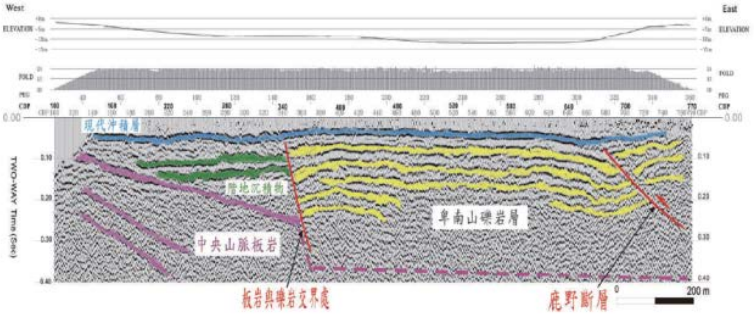


圖 8-1.8：(a)鹿野 07P-LYHF-LT-1 測線位置圖，(b)淺層反射震測剖面圖（王蘭榛等，2010）。

Figure 8-1.8 Shallow seismic reflection profile 07P-LYHF-LT-1 (Wang et al., 2010).

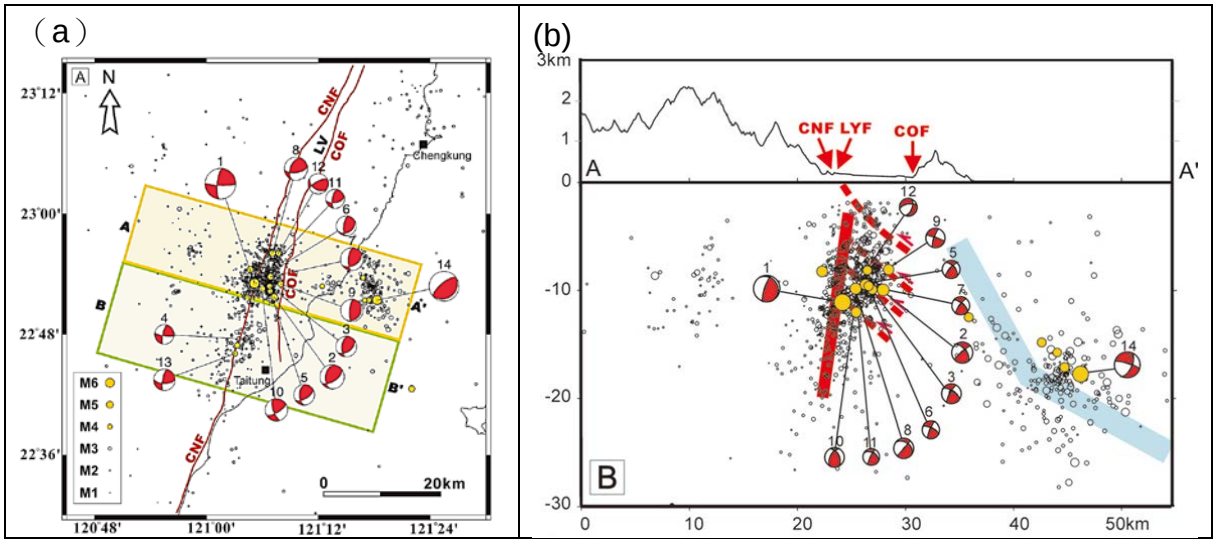


圖 8-1.9：（a）2006 臺東地震系列重新定位及震源機制解，（b）臺東地震剖面圖，圖中左側粗紅線為中央山脈斷層，上部紅色虛線為鹿野斷層位置，右側淡藍色多邊形為利吉斷層位置 (Wu et al., 2006)。

Figure 8-1.9 (a) Relocation and focal mechanism solutions of the 2006 Taitung earthquake squence. (b) Earthquake profile. Thick red line on the left is the central mountain fault, the upper red dotted line is the Luyeh fault location, and the right light blue polygon is the Lichi fault (Wu et al., 2006).

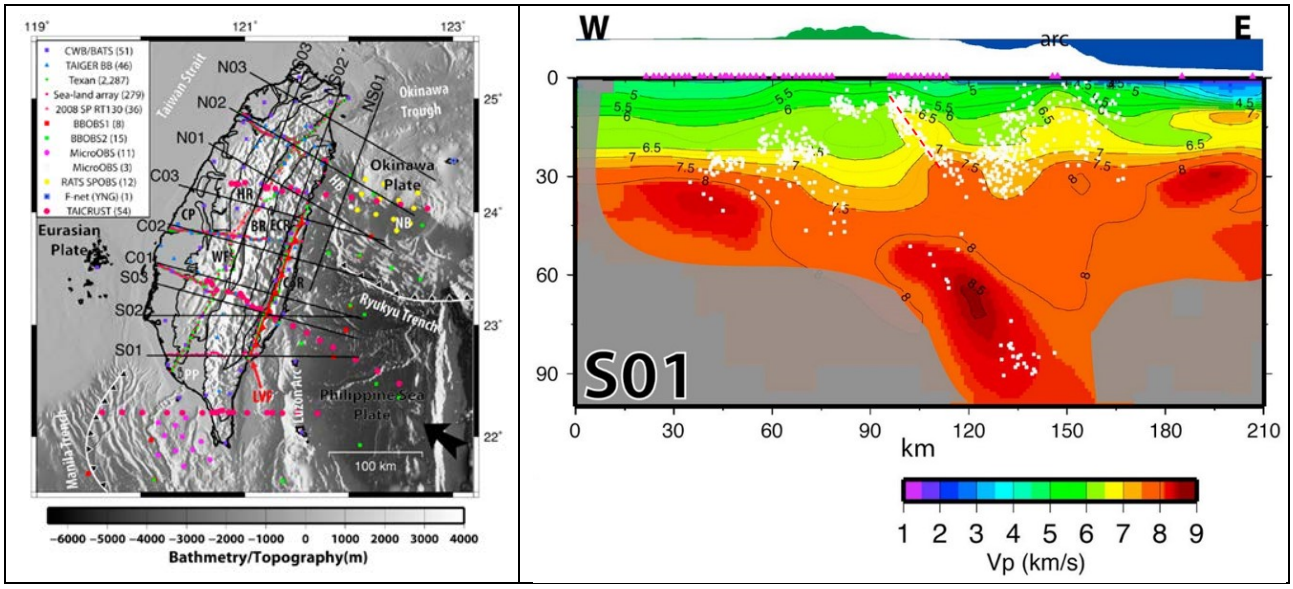


圖 8-1.10：左圖為臺灣地體架構及地震站分布，黑色實線為速度構造剖面分布，右圖為縱谷斷層最南段 S01 速度構造剖面（修改自 Kuochen et al., 2012）。

Figure 8-1.10 Taiwan seismotectonics and the distribution of seismic stations. The solid black lines show the distribution of velocity structure profiles. The picture on the right is the S01 velocity structure section of the southernmost section of the longitudinal valley fault (modified from Kuochen et al., 2012).

表 8-1.1：鹿野斷層及利吉斷層幾何形貌相關文獻

Tab. 8-1.1 Parameters and references of the geometry of the Luyeh fault and the Lichi fault

文獻	方法	所在斷層	傾角(度)	深度(km)
石瑞銓與陳平護，2001	淺層震測	鹿野	龍田測線 65E 永安測線 60E	NA
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	53E	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	70E	NA
		利吉	35E~40E	NA
王蘭榛，2010	淺層反射震測	鹿野	45E	NA
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	利吉	0-18 km 傾角 60E 18 km 以下傾角 29E	集中於 20 公里
Kuochen et al., 2012	S01 速度構造剖面及地震分布	利吉	0-22 km 傾角 55E 22 km 以下傾角 40E	可達 30 公里

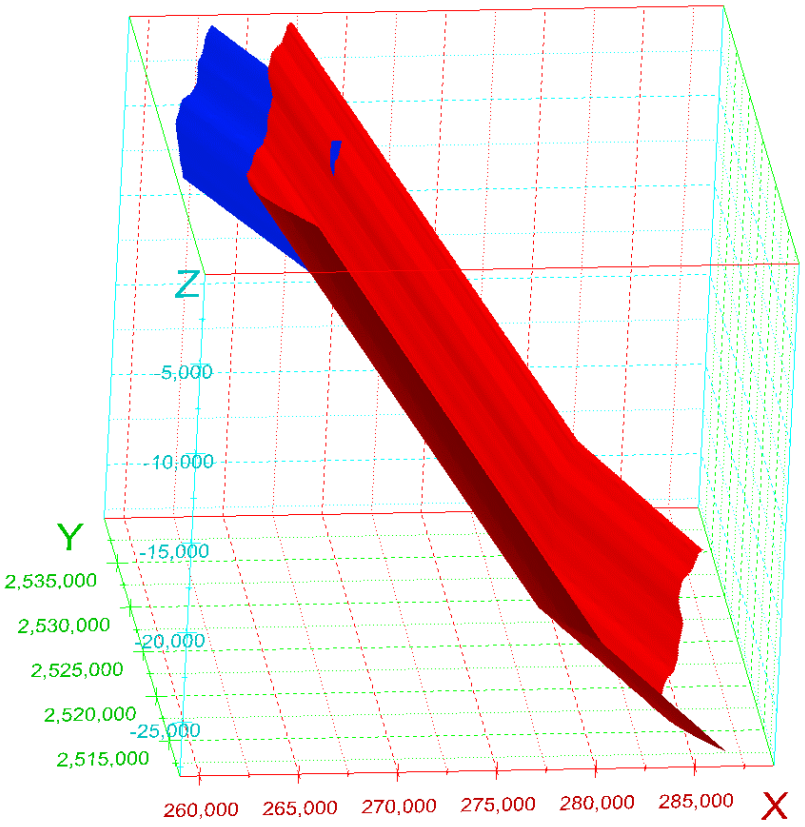


圖 8-1.11：鹿野-利吉斷層系統三維幾何形貌。

Figure 8-1.11 3D geometry of the Luyeh - Lichi fault system.

8-2 邏輯樹更新

針對鹿野斷層邏輯樹更新，詳述如下：

本計畫鹿野斷層的破裂模式，參考地調所條帶地質圖，鹿野斷層長度為 17 公里，如圖 8-2.1 所示。

鹿野斷層幾何，根據 8-1-2 節之說明，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。

鹿野斷層之抬升速率資料彙整如表 8-2.1 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 8-2.2 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 8-2.3 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 8-2.2 所示。

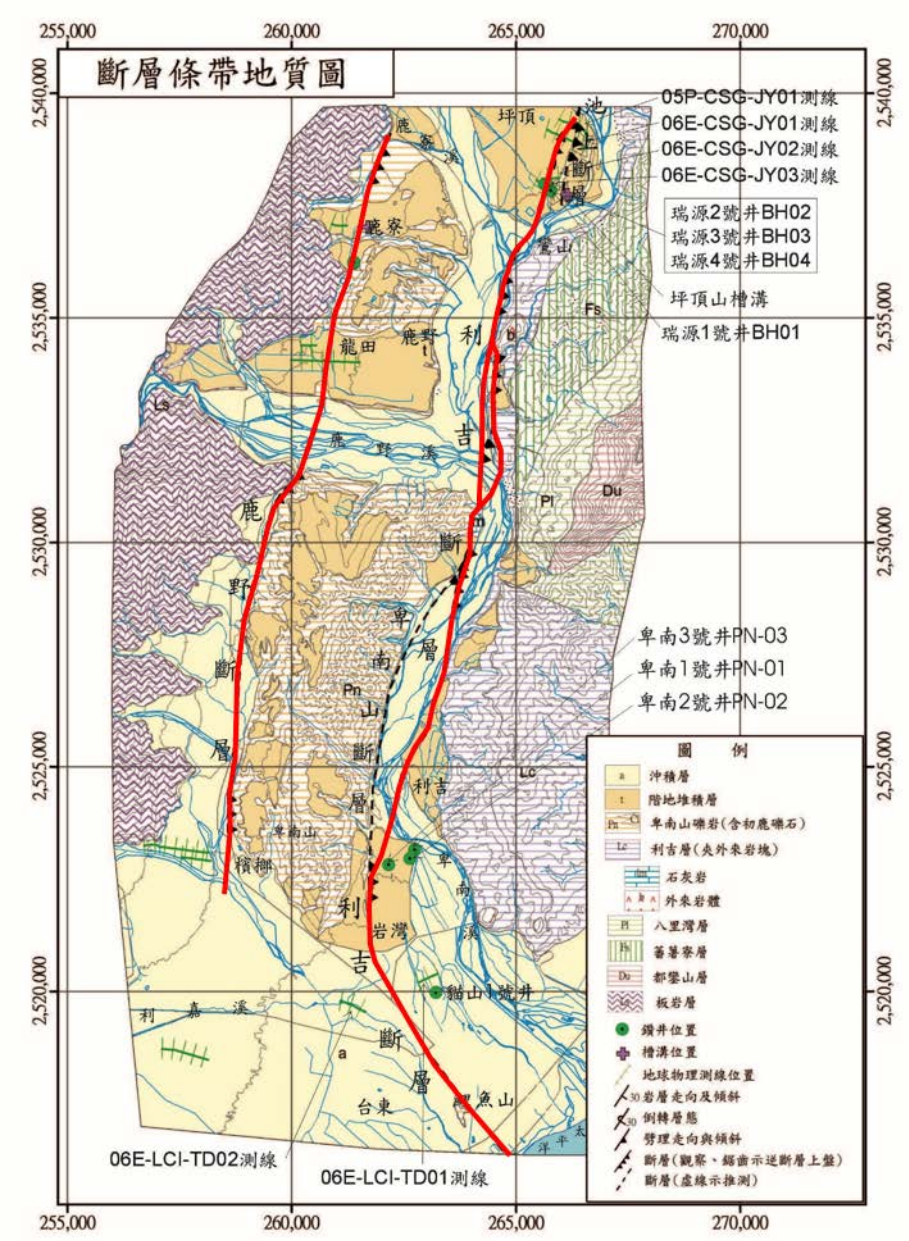


圖 8-2.1：鹿野斷層及利吉斷層條帶地質圖(改自林啟文等，2009)。

Fig. 8-2.1 Geological map of the Luyeh fault and the Lichi fault (Lin et al., 2009).

表 8-2.1：鹿野斷層長期抬升速率資料彙整

Tab. 8-2.1 Data collection of the long-term uplift rate of the Luyeh fault.

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 8-2.2：鹿野斷層淨滑移速率換算，淨滑移速率=抬升速率/sin(傾角)

Tab. 8-2.2 Net slip rate calculation of the Luyeh fault.

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 8-2.3：鹿野斷層之破裂事件特徵地震規模計算

Tab. 8-2.3 Estimated magnitude for rupture cases of the Luyeh fault.

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

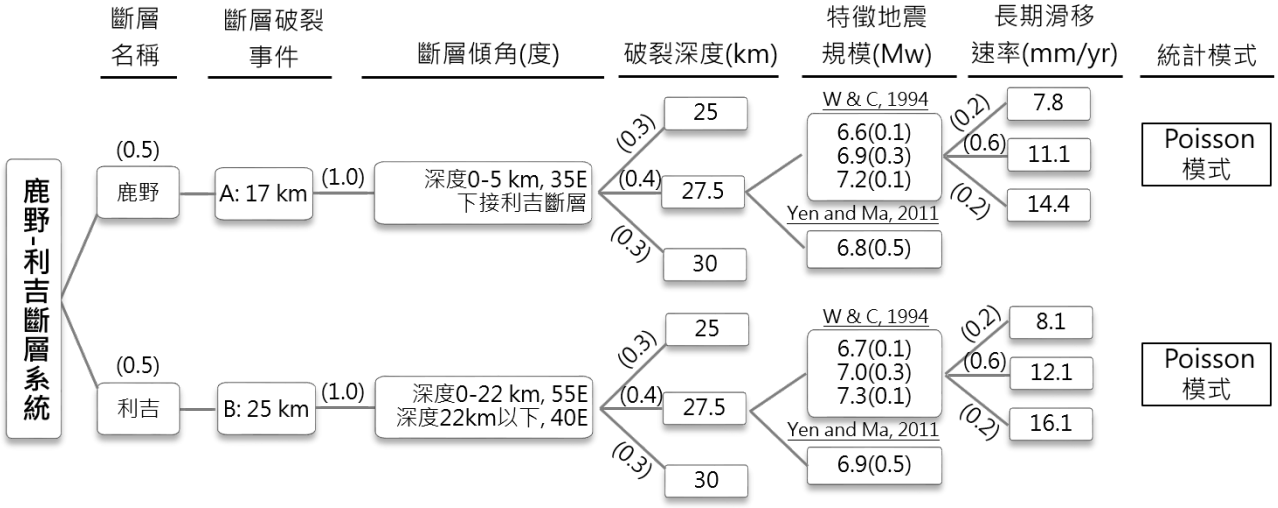


圖 8-2.2：鹿野斷層及利吉斷層更新邏輯樹。

Fig. 8-2.2 Renewed logic tree structure of the Luyeh fault and Lichi fault.

8-3 規模與年發生率之關係

鹿野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 8-3.1 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 8-2.2 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 8-3.2 為鹿野斷層之規模-權重分布圖，鹿野斷層以規模 6.9 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 8-3.3 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。

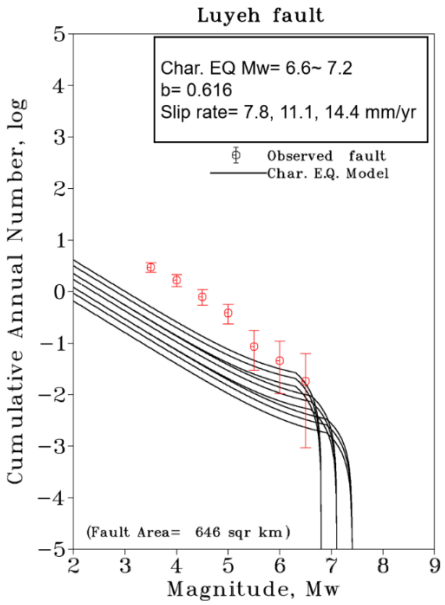


圖 8-3.1：鹿野斷層破裂事件特徵地震模式。

Fig. 8-3.1 Recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for one rupture case of the Luyeh fault.

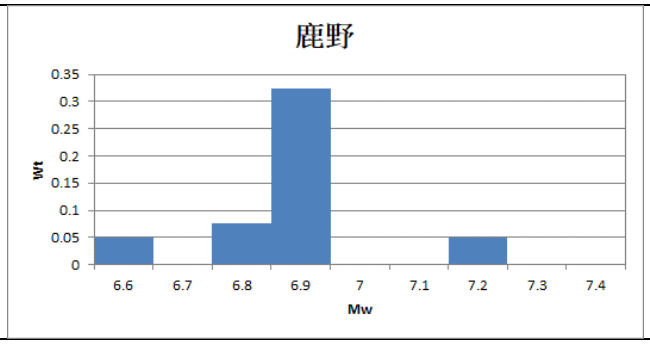


圖 8-3.2：鹿野斷層破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Fig. 8-3.2 The relationships between magnitude and weighting for the Luyeh fault.

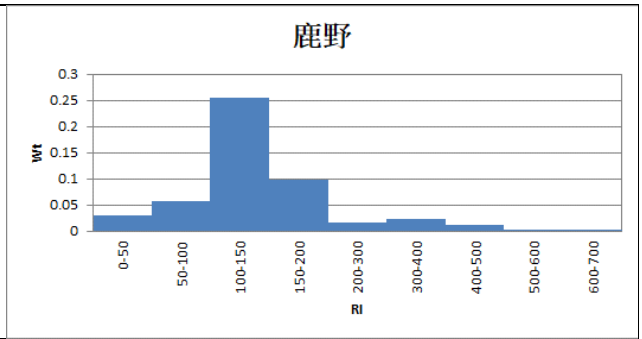


圖 8-3.3：鹿野斷層之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 8-3.3 The relationships between recurrence interval and weighting for the Luyeh fault.

8-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算嶺頂斷層未來 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 8-4.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 8-4.1：鹿野斷層發生機率評估

Tab. 8-4.1 Earthquake probabilities for the Luyeh fault

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%

第九章、利吉斷層系統潛勢評估

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

9-1 利吉斷層參數更新

9-1-1 利吉斷層前階段計畫成果

前階段計畫在評估鹿野-利吉斷層系統之破裂，鹿野和利吉權重各為 0.5，每條斷層各有兩種破裂模式。利吉斷層：利吉 A 為利吉斷層近期活動位置破裂，利吉 B 為地調所利吉斷層位置破裂（圖 9-1.1）。利吉 A 與 B 給予相同權重。所有破裂模式之權重分配如圖 9-1.3 所示。

鹿野-利吉斷層之傾角及破裂深度，前階段計畫主要參考 P 波速度構造剖面、地震震源分布(圖 9-1.2)、2006 年臺東地震序列分布等資料。利吉斷層在深度 0-22 公里的傾角約 55 度，誤差值加減 5 度作為邏輯樹上下界，深度 22 公里以下約 40 度，權重分配為「0-22 公里 50 度，22 公里以下 40 度，權重 0.2」;「0-22 公里 55 度，22 公里以下 40 度，權重 0.6」;「0-22 公里 60 度，22 公里以下 40 度，權重 0.2」。前階段計畫鹿野-利吉斷層系統深度則以 30 公里當作邏輯樹中值，誤差值 2 公里作為邏輯樹上下界，破裂深度權重為 28 公里（0.2）、30 公里（0.6）、32 公里（0.2）。

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

利吉斷層滑移速率部分，依據 Shyu et al. (2008)卑南溪階地定年結果為 17.5~23.3 mm/yr（平均為 20.4 mm/yr），前階段計畫取邏輯樹中值為 20.4 mm/yr(0.4)，上下值則為 23.3 mm/yr(0.3)及 17.5 mm/yr(0.3)。

前階段計畫鹿野-利吉斷層系統各節點權重的分配詳如圖 9-1.3 所示，各節點權重分配可參考胡植慶等（2016）第三階段總結報告書。

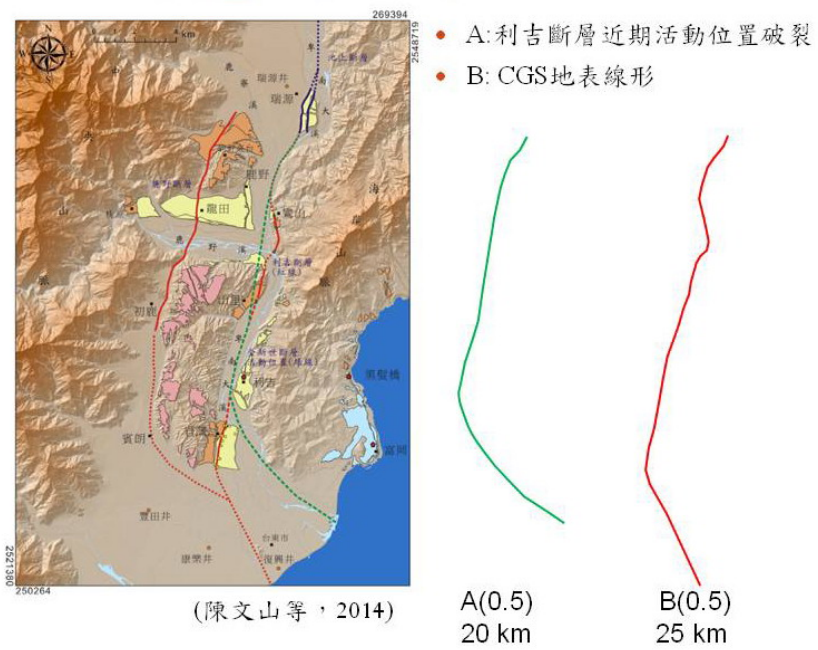


圖 9-1.1：利吉斷層破裂模式及權重分配(胡植慶等，2016)。

Figure 9-1.1 Rupture cases and weights of the Lichi fault (Hu et al., 2016).

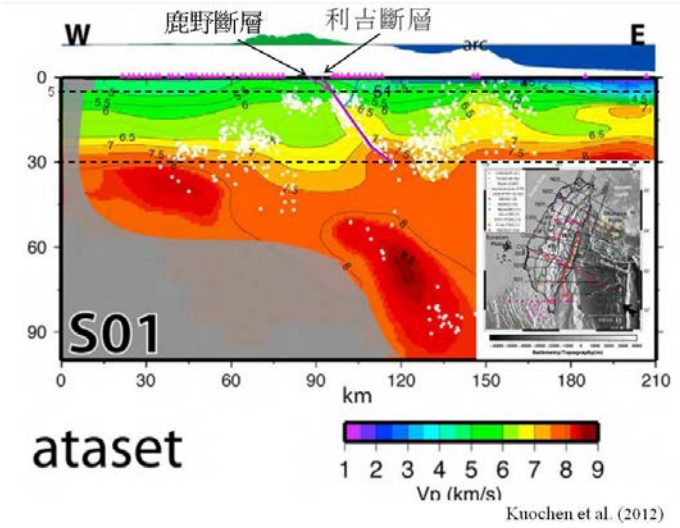


圖 9-1.2：參考速度構造剖面及地震分布推估鹿野斷層及利吉斷層幾何面(胡植慶等，2016)。

Figure 9-1.2 Geometric model of the Luyeh fault and Lichi fault (Hu et al., 2016).

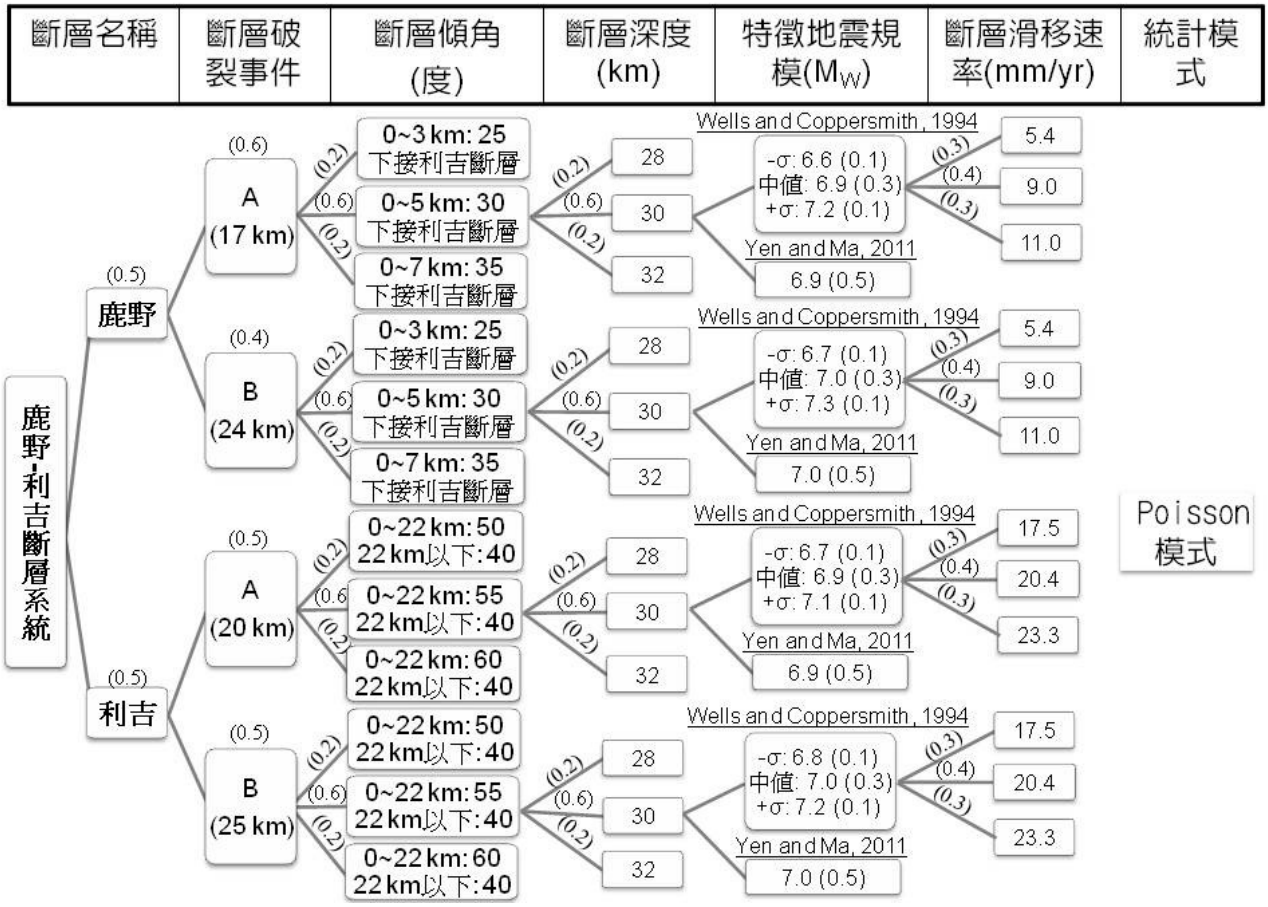


圖 9-1.3：鹿野-利吉斷層系統邏輯樹(胡植慶等，2016)。

Fig. 9-1.3 Logic tree structure of the Luyeh-Lichi fault system (Hu et al., 2016).

9-1-2 斷層幾何(本計畫更新)

圖 8-1.4 為李建成等人(Lee et al., 1998)根據大地測量資料推估之卑南山地區的構造演化模型，(a)卑南山礫岩於漸新世中期沉積於縱谷斷層(利吉斷層)下盤，(b)後由於逆衝作用使卑南山礫岩摺曲，(c)縱谷斷層逆衝作用於此處傳遞至卑南山礫岩西側，形成鹿野斷層，縱谷斷層(利吉斷層)則變為左移為主的斷層。由此演化模型可知鹿野斷層應為縱谷斷層於淺處分岔出來的低傾角分支逆斷層。

紀權宥（2007）認為利吉斷層及鹿野斷層為潛移作用為主的活動斷層，故以階地抬升速率代表長期地殼垂直變化速率，GPS 水平變化速率代表長期地殼水平速率，估算利吉斷層面傾角約為 53°，斷層構造模型如圖 8-1.6 所示。

姜彥麟（2007）利用跨斷層 2006 年 4 月 1 號的臺東地震同震時期，地表的水平壓縮量和垂直抬升量，估算近地表利吉斷層傾角約 70°（圖 8-1.7）。

Wu et al. (2006)利用 CWBSN 和 TSMIP 於 2006 年四月間在臺東地區所記錄的 1265 筆地震事件，包含 2006 年 4 月 1 號的臺東地震，重新定位後得到剖面圖。初步描繪中央山脈斷層、鹿野斷層、利吉斷層三者的斷層面，如圖 8-1.9 所示。Wu et al. (2006)認為鹿野斷層為利吉斷層的分支斷層。

根據 Kuochen et al. (2012)速度構造剖面及地震震源分布，推估利吉斷層傾角約 55 度，深度約 30 公里左右(圖 8-1.10)。

鹿野-利吉斷層之幾何參數彙整於表 8-1.1，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，如圖 8-1.11 所示。

9-2 邏輯樹更新

針對利吉斷層邏輯樹更新，詳述如下：

本計畫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 9-2.1 所示。

鹿野斷層及利吉斷層幾何，根據 9-1-2 節之說明，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 9-2.1 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 9-2.2)，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 9-2.3 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 9-2.2 所示。

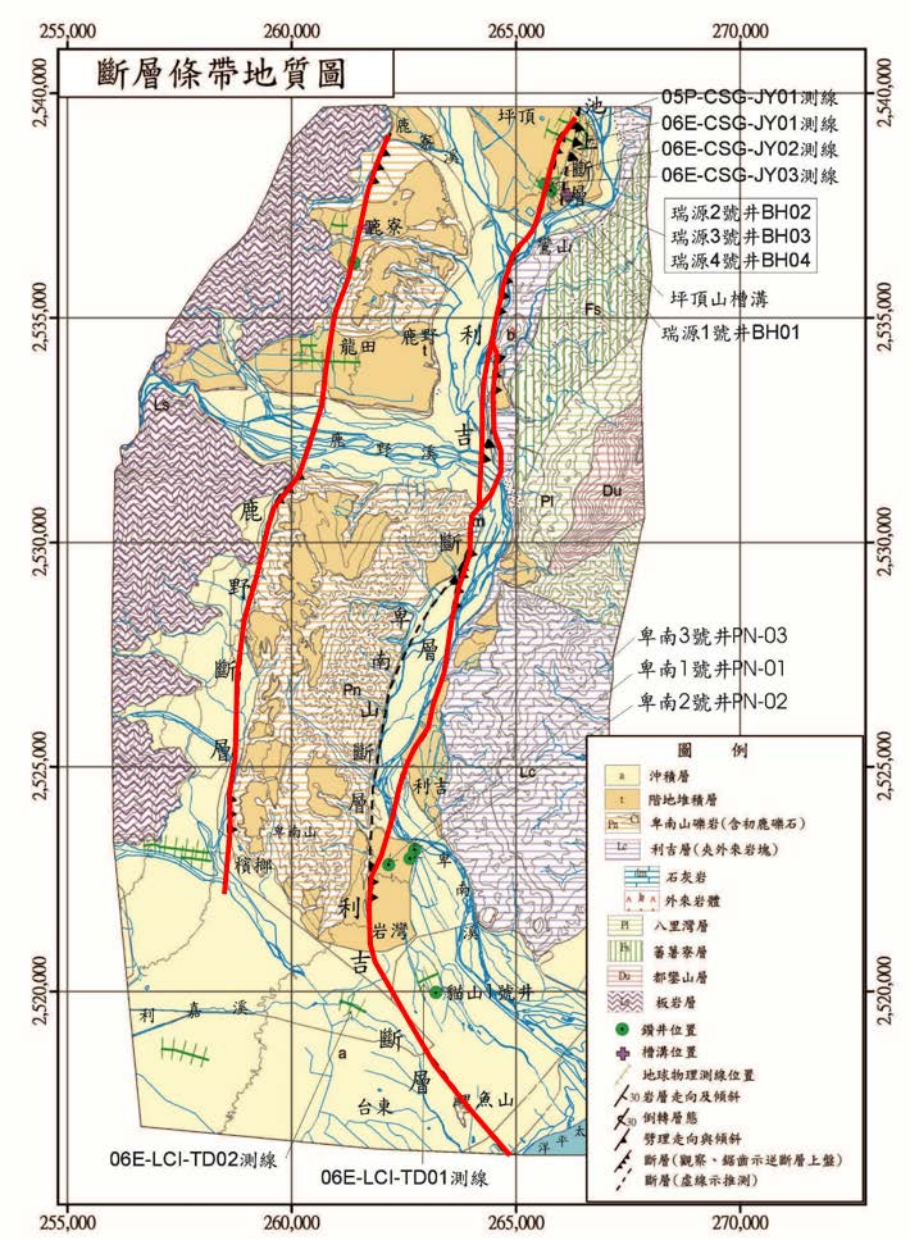


圖 9-2.1：鹿野斷層及利吉斷層條帶地質圖(改自林啟文等，2009)。

Fig. 9-2.1 Geological map of the Luyeh fault and the Lichi fault (Lin et al., 2009).

表 9-2.1：利吉斷層長期抬升速率資料彙整

Tab. 9-2.1 Data collection of the long-term uplift rate of the Lichi fault.

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 9-2.2：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)

Tab. 9-2.2 Net slip rate calculation of the Lichi fault.

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 9-2.3：利吉斷層之破裂事件特徵地震規模計算

Tab. 9-2.3 Estimated magnitude for rupture cases of the Lichi fault.

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

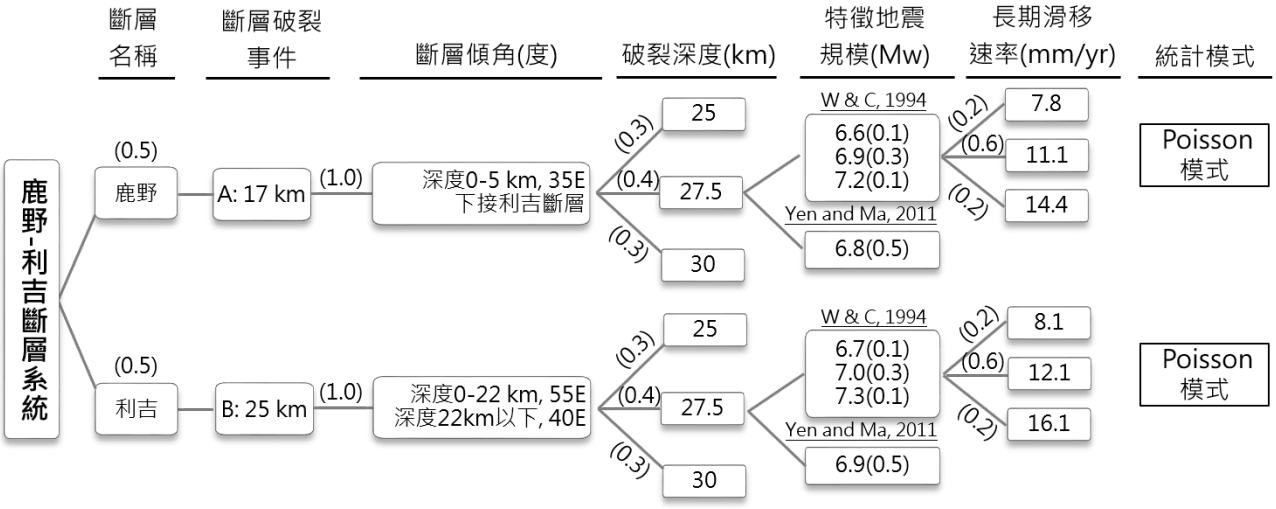


圖 9-2.2：鹿野斷層及利吉斷層更新邏輯樹。

Fig. 9-2.2 Renewed logic tree structure of the Luyeh fault and Lichi fault.

9-3 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 9-3.1 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 9-2.2 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 9-3.2 為利吉斷層之規模-權重分布圖，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 9-3.3 為地震復發間隔時間-權重分布圖，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 9-3.4（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 9-3.4（b）之鹿野-利吉斷層系統地震復發間隔時間-權重分布圖。

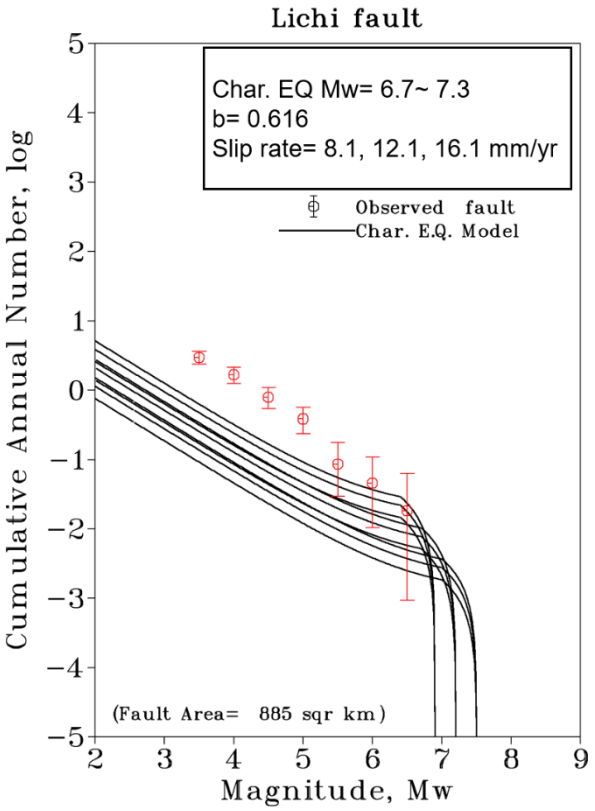


圖 9-3.1：利吉斷層破裂事件特徵地震模式。

Fig. 9-3.1 Recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for one rupture case of the Lichi fault.

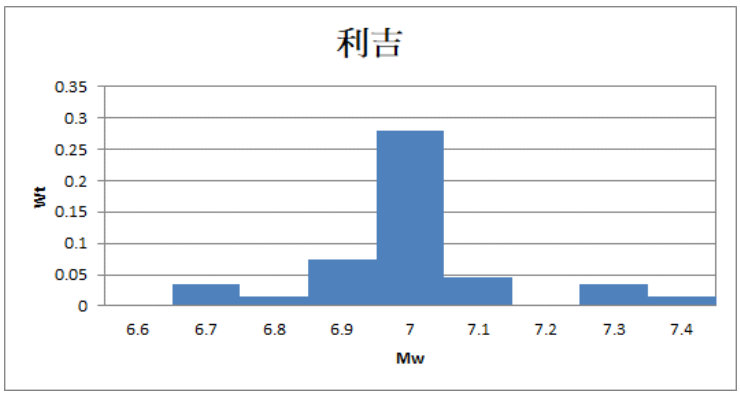


圖 9-3.2：利吉斷層破裂事件之規模-權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Fig. 9-3.2 The relationships between magnitude and weighting for the Lichi fault.

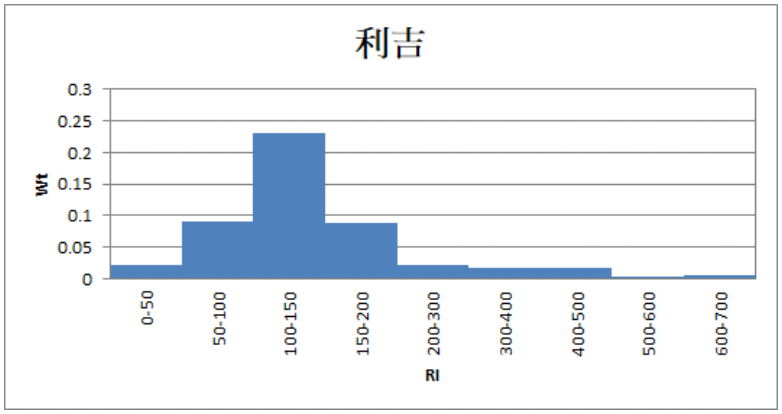


圖 9-3.3：利吉斷層之地震復發間隔時間-權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Fig. 9-3.3 The relationships between recurrence interval and weighting for the Lichi fault.

（a）　　（b）

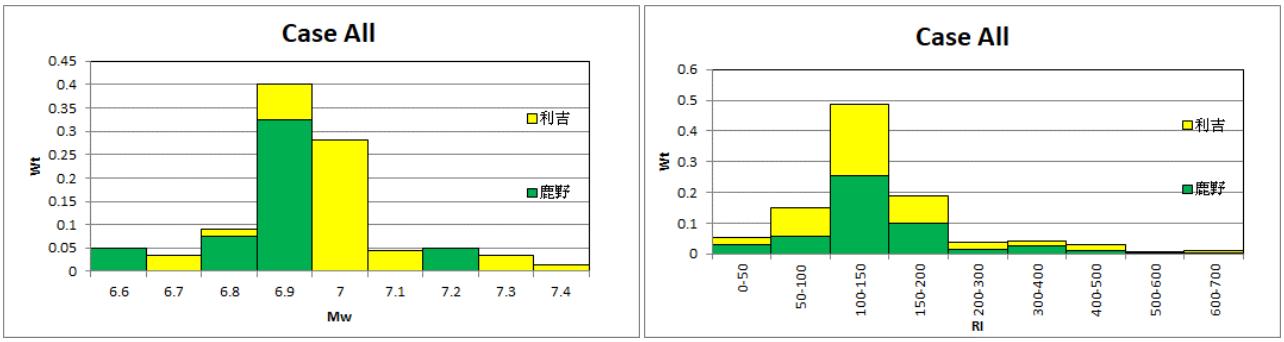


圖 9-3.4：(a) 鹿野斷層及利吉斷層之全部邏輯樹分支規模-權重分布圖，(b) 池上斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間-權重分布圖。

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

9-4 發震機率之推估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算嶺頂斷層未來 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 9-4.1 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 9-4.2 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 9-4.1：利吉斷層系統發生機率評估

Tab. 9-4.1 Earthquake probabilities for the Lichi fault

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 9-4.2：鹿野-利吉斷層系統發生機率評估

Tab. 9-4.2 Earthquake probabilities for the Luyeh - Lichi fault system

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%

第十章、制定各活動斷層參數說明書

本期計畫目標之一為公布活動斷層潛勢結果。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。

10-1 活動斷層潛勢圖成果

經濟部中央地質調查所已於 102~105 年度執行「斷層活動性觀測研究第三階段-斷層整合性觀測與潛勢分析計畫」，評估全臺 33 條活動斷層之潛勢。本年度斷層潛勢圖為 109 年東部地區活動斷層潛勢圖精進之成果，分為兩種版型，分別為「台灣東部水平速度場及斷層活動機率圖」(圖 10-1.1)以及「台灣東部垂直速度場及斷層活動機率圖」(圖 10-1.2)。

「台灣東部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，套疊地調所東部地區 8 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。

「台灣東部垂直速度場及斷層活動機率圖」是以水準點、GPS 測站點位及 2002-2020 年垂直速度場為底圖，套疊地調所東部地區 8 條活動斷層及每條活動斷層未來 50 年地震矩規模 6.5 以上之發生機率圖框，潛勢圖右下角之說明文字圖框中包含：

一、 使用者須知，共三點：(同上)

二、 圖版說明，包含以下內容：

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

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

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

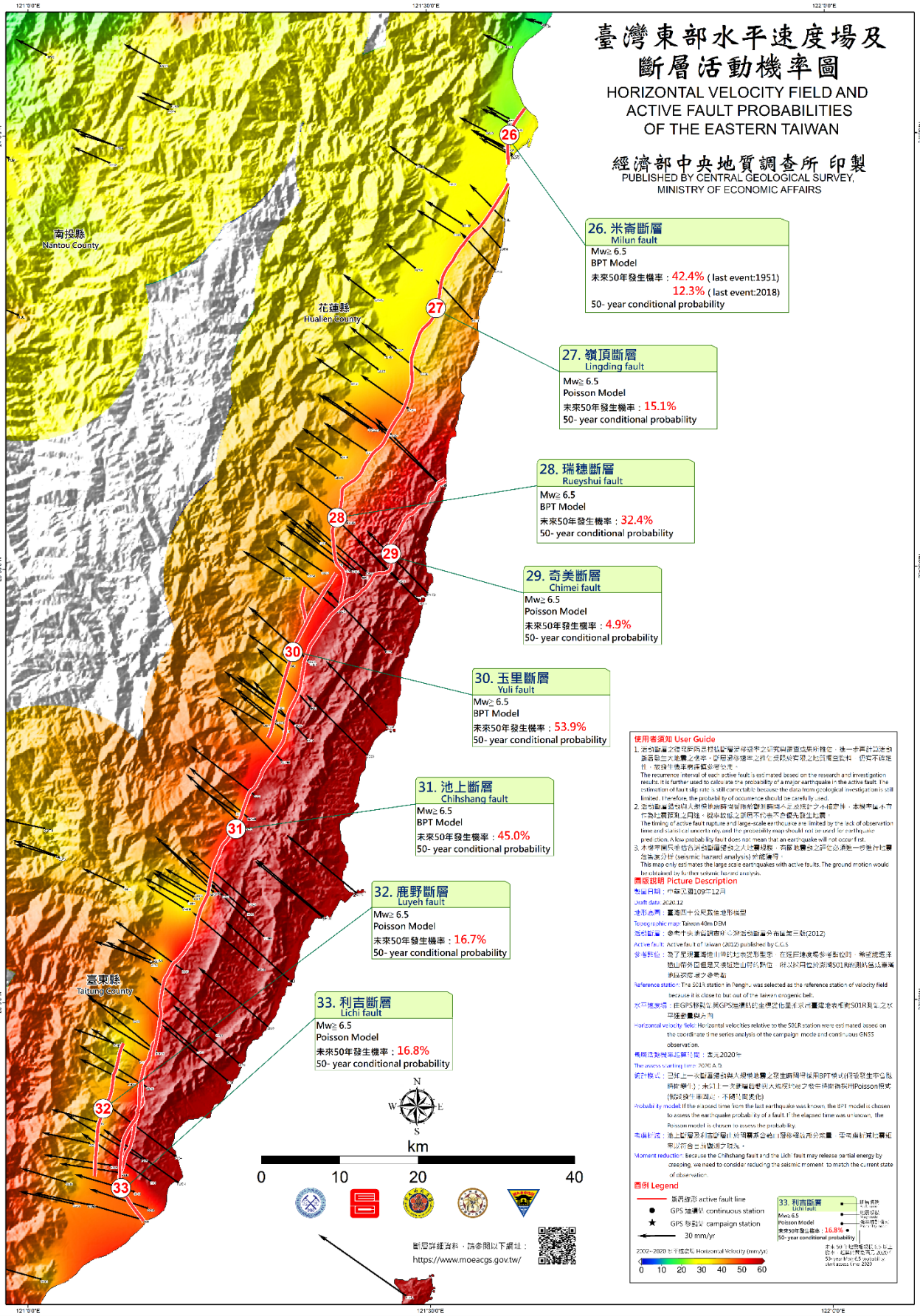


圖 10-1.1：台灣東部水平速度場及斷層活動機率圖。

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

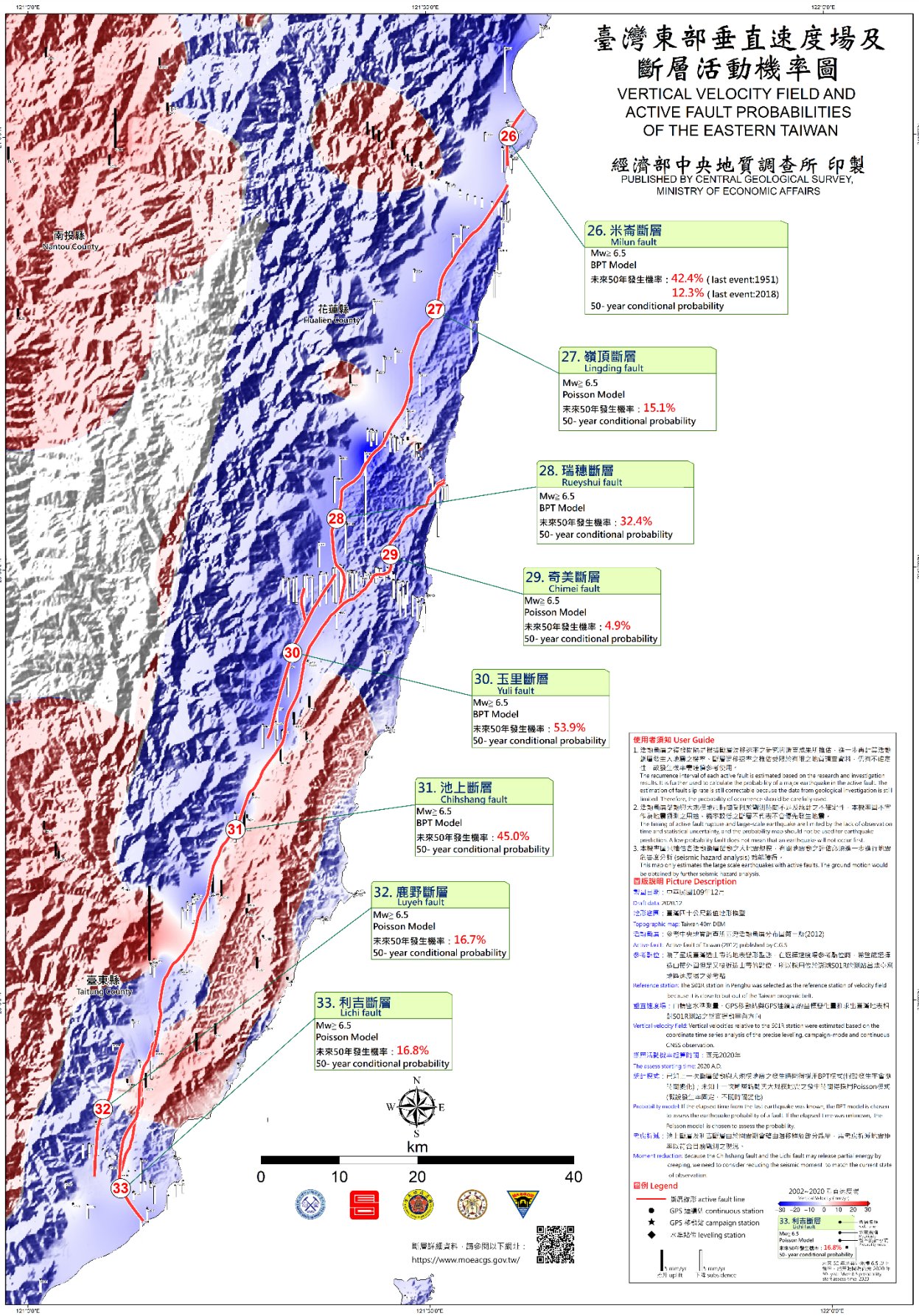


圖 10-1.2：台灣東部垂直速度場及斷層活動機率圖。

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

10-2 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 10-2.1)。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 10-2.2)。

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 10-2.3)。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。

以米崙斷層為例，既有活動斷層查詢網頁之斷層資訊除了條帶地質圖及說明文字外，在最下方會新增「斷層資訊與活動參數」及「分析潛勢與評估成果」之連結(圖 10-2.4)，「斷層資訊與活動參數」格式如圖 10-2.5 所示，「分析潛勢與評估成果」格式如圖 10-2.6。

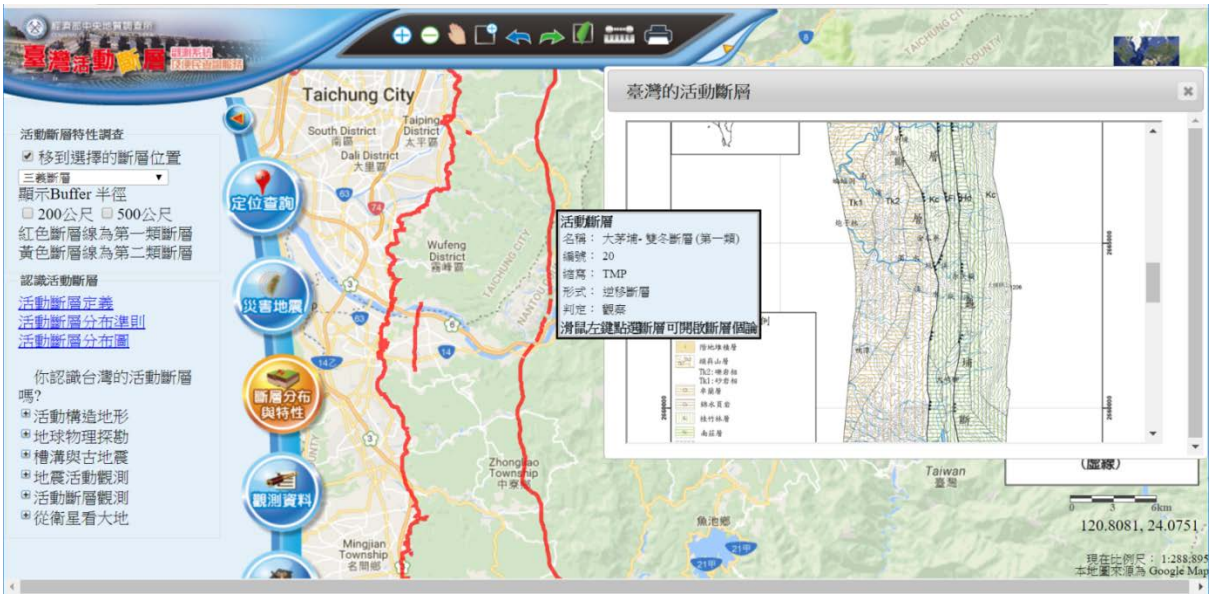


圖 10-2.1：中央地質調查所既有活動斷層查詢系統。

Fig. 10-2.1 Central Geological Survey active fault web query system.

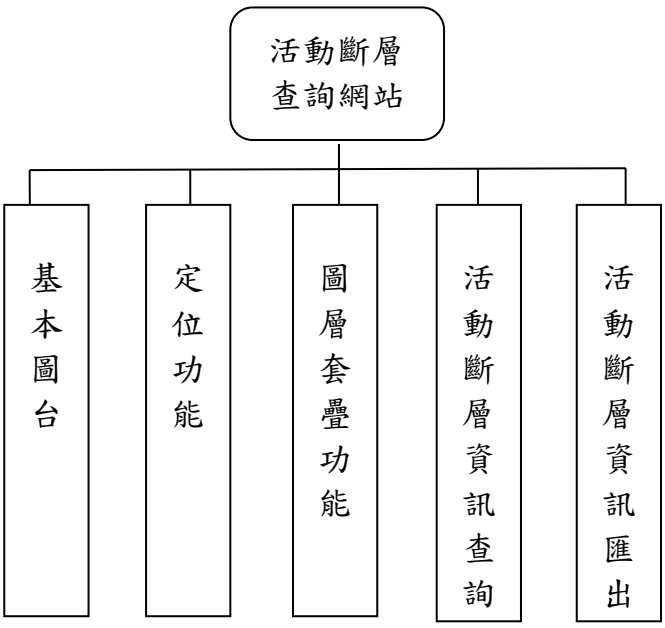


圖 10-2.2：網站功能架構圖。

Fig. 10-2.2 Website function diagram.



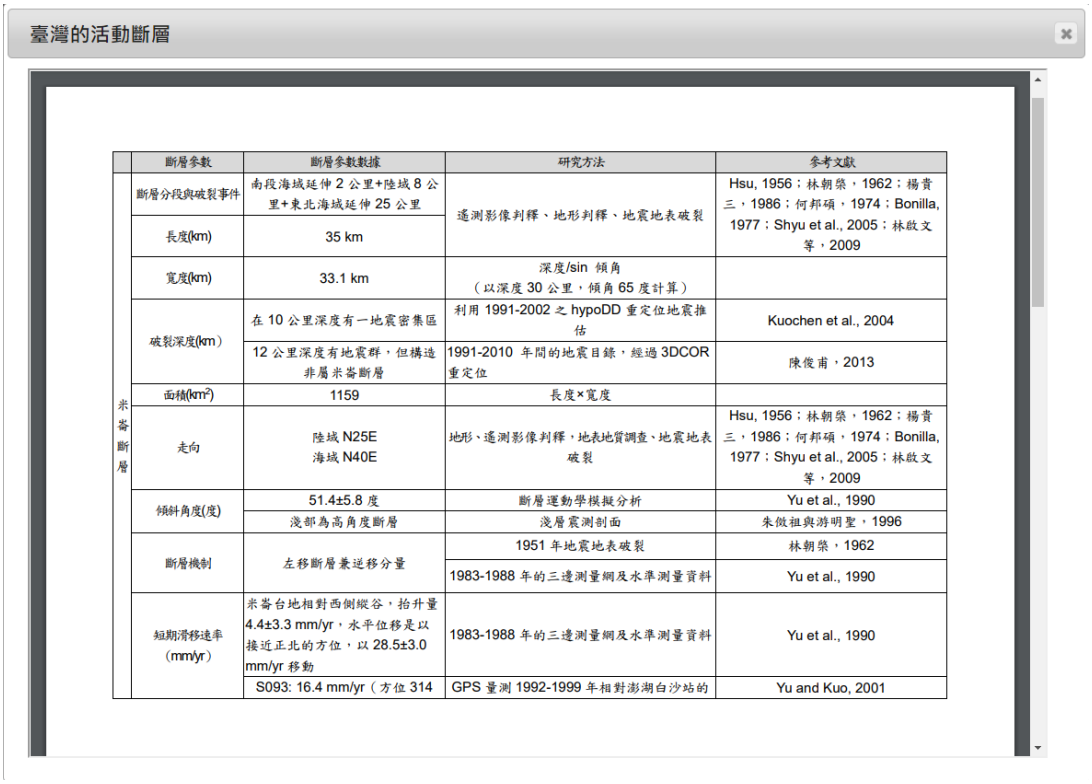
圖 10-2.3：活動斷層查詢網站示意圖。

Fig. 10-2.3 Active fault information website system.



圖 10-2.4：活動斷層查詢網頁新增連結。

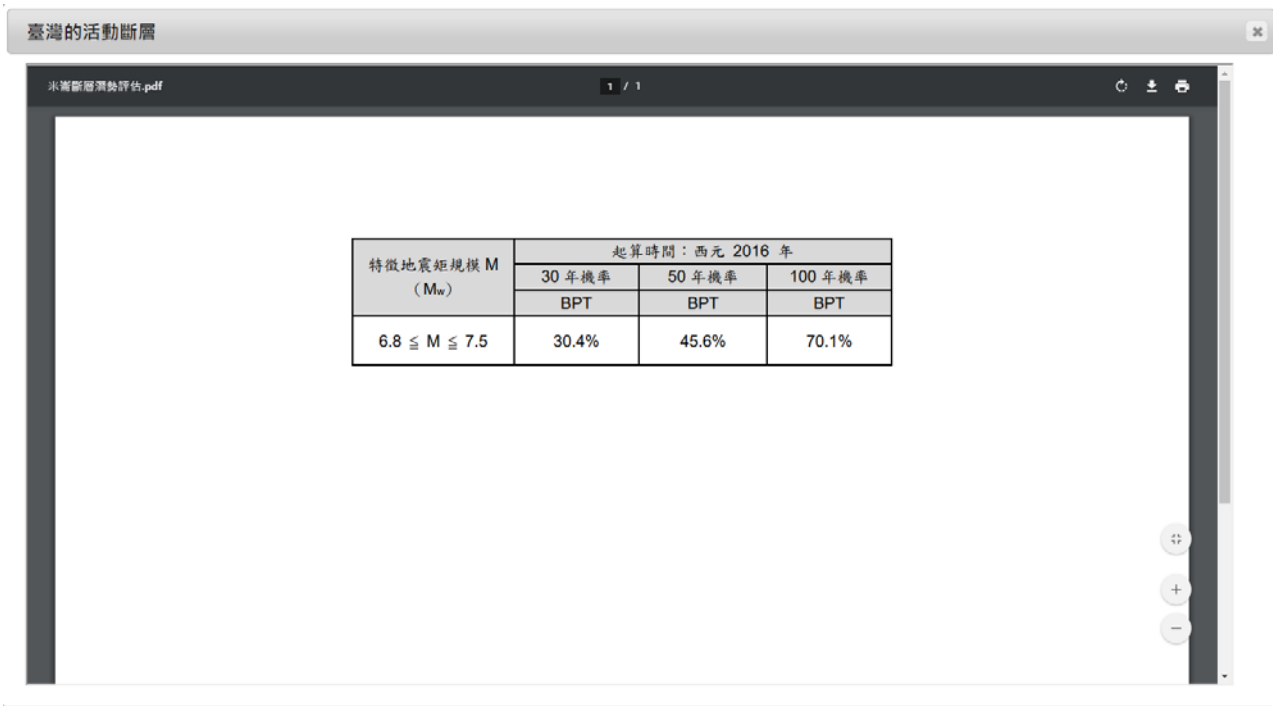
Fig. 10-2.4 Hyperlink of the active fault query system.



	斷層參數	斷層參數數據	研究方法	參考文獻
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	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
	長度(km)	35 km		
	寬度(km)	33.1 km	深度/sin 傾角（以深度 30 公里，傾角 65 度計算）	
	破裂深度(km)	在 10 公里深度有一地震密集區	利用 1991-2002 之 hypoDD 重定位地震推估	Kuochen et al., 2004
		12 公里深度有地震群，但構造非屬米崙斷層	1991-2010 年間的地震目錄，經過 3DCOR 重定位	陳俊甫，2013
	面積(km²)	1159	長度×寬度	
	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)	51.4±5.8 度	斷層運動學模擬分析	Yu et al., 1990
		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
	短期滑移速率（mm/yr）	米崙台地相對西側縱谷，抬升量 4.4±3.3 mm/yr，水平位移是以接近正北的方位，以 28.5±3.0 mm/yr 移動	1983-1988 年的三邊測量網及水準測量資料	Yu et al., 1990
		S093: 16.4 mm/yr（方位 314	GPS 量測 1992-1999 年相對澎湖白沙站的	Yu and Kuo, 2001

圖 10-2.5：活動斷層查詢網頁連結「斷層資訊與活動參數」。

Fig. 10-2.5 “Fault parameter information table” of the hyperlink in the active fault query system.



特徵地震矩規模 M（M_w）	起算時間：西元 2016 年		
	30 年機率	50 年機率	100 年機率
	BPT	BPT	BPT
6.8 ≦ M ≦ 7.5	30.4%	45.6%	70.1%

圖 10-2.6：活動斷層查詢網頁連結「分析潛勢與評估成果」。

Fig. 10-2.6 “Earthquake potential assessment results” of the hyperlink in the active fault query system.

第十一章、本年度成果與建議調查工作

11-1 本年度成果彙整

1. 針對東部地區八條活動斷層(26 米崙斷層、27 嶺頂斷層、28 瑞穗斷層、29 奇美斷層、30 玉里斷層、31 池上斷層、32 鹿野斷層、33 利吉斷層)進行新資料蒐集，並諮詢相關專家後，進行參數更新及邏輯樹重新劃設，各斷層參數更新之狀況詳表 11.1 所示。
2. 完成東部地區活動斷層之錯動機率評估。其項目包括：(a)建立活動斷層之特徵地震模式、(b)評估活動斷層未來發生機率、(c)製作活動斷層發生機率潛勢圖。
3. 以機率法評估活動斷層未來 30、50、100 年特徵地震規模之發生機率。東部地區各斷層發生機率詳如表 11.2 所示。
4. 建立東部地區活動斷層視覺化三維斷層模型，說明詳附錄 2。
5. 本計畫新增景國恩等（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虧損速率，斷層模型反演除 DEFNODE 外，還新增 BLOCKS 及 Baseline Inversion 兩種方法加入比較，並加入斷層潛勢評估中。
6. 召開一次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議，針對斷層分段特性、三維幾何形貌、最近一次活動時間、長期滑移速率、可能引致地震規模等參數不確定性，進行邏輯樹架構與參數權重之合理性探討，會議記錄詳附錄 1。
7. 匯整東部地區活動斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果至活動斷層查詢平台。活動斷層照片檔及相關資訊提供給資訊廠商建置於圖臺上。

表 11.1：活動斷層參數修改情形(O 表示有修改)

Tab. 11.1 Modify summary for the parameters of the active faults

斷層參數 / 斷層名稱	分段破裂模式	斷層傾角	破裂深度	特徵地震規模	滑移速率 (mm/yr)
米崙斷層		O	O	O	O
嶺頂斷層	O		O	O	O
瑞穗斷層	O		O	O	
奇美斷層	O(長度)	O		O	O
池上斷層	O				O
玉里斷層	O				O
鹿野斷層	O	O	O	O	O
利吉斷層	O	O	O	O	O

表 11.2：東部地區活動斷層未來 30、50、100 年發生機率

Tab. 11.2 The 30-, 50-, and 100-year conditional probability for M ≥ 6.5 earthquakes of each fault in Eastern Taiwan

斷層名稱	最近一次發生時間	統計模式	規模 6.5 以上發生機率		
			未來 30 年	未來 50 年	未來 100 年
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	嶺頂：未知 瑞穗：西元 1951 年 整段：未知	嶺頂：POISSON 瑞穗：BPT 整段：POISSON	9.8%	15.1%	25.1%
瑞穗斷層			24.0%	32.4%	43.3%
奇美斷層	未知	POISSON	3.0%	4.9%	9.4%
玉里斷層	西元 1951 年	BPT	44.7%	53.9%	65.8%
池上斷層	北段：西元 1951 年 南段：西元 2003 年 整段：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%

表 11.3：本年度計畫交付之各項工作項目

Tab. 11.3 Deliver items of this year project

	工作項目	章節
東部活動斷層參數及潛勢圖更新	1. 精進活動斷層參數：依最新地質研究資料，檢討前期各斷層之幾何模型參數，重新劃設東部地區 8 條活動斷層(26 米崙斷層、27 嶺頂斷層、28 瑞穗斷層、29 奇美斷層、30 玉里斷層、31 池上斷層、32 鹿野斷層、33 利吉斷層)邏輯樹。	2-2 3-2 4-2 5-2 6-2
	2. 召開 1 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議，進行邏輯樹架構與參數權重之合理性探討。	附錄 1
	3. 建立東部地區 8 條活動斷層視覺化三維斷層模型。	附錄 2
	4. 產製東部地區 8 條活動斷層潛勢圖。	附錄 3
制定各活動斷層參數說明書	1. 匯整潛勢評估成果，繪製並出版臺灣活動斷層潛勢圖。	7-1
	2. 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。	7-2
全臺 33 條活動斷層潛勢總結評估	1. 以西元 2020 年為起算時間，總評估全台 33 條活動斷層潛勢	階段總結報告書
	2. 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	階段總結報告書
	3. 辦理潛勢評估方法論教育訓練	附錄 4

表 11.4：本年度預期進度甘梯圖（Gantt Chart）

Tab. 11.4 The Gantt Chart for this year project

計畫名稱：臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估(4/4)													
月次 / 月份 / 工作項目	第1月(1)	第2月(2)	第3月(3)	第4月(4)	第5月(5)	第6月(6)	第7月(7)	第8月(8)	第9月(9)	第10月(10)	第11月(11)	第12月(12)	備註
工作計畫書繳交、契約書簽訂	■	■											
建立米崙斷層、嶺頂斷層之活動斷層參數邏輯樹		■	■										
建立瑞穗斷層、奇美斷層之活動斷層參數邏輯樹				■	■								
建立玉里斷層、池上斷層之活動斷層參數邏輯樹						■							
建立鹿野斷層、利吉斷層之活動斷層參數邏輯樹							■						
召開第 1 次活動斷層參數表及邏輯樹專家討論會議								■					
建立東部地區 8 條活動斷層視覺化三維斷層模型								■	■	■	■		
東部地區 8 條活動斷層潛勢評估								■	■	■			
總評估全臺 33 條活動斷層潛勢										■	■	■	
匯整東部地區 8 條活動斷層資訊、活動參數、分析潛勢與評估成果至活動斷層查詢平台					■	■	■	■	■	■	■		
辦理潛勢評估方法論教育訓練				■	■	■	■	■					
期中報告繳交及期中審查						■	■						
期末報告繳交及期末審查											■	■	
驗收												■	

表 11.5：預期進度查核點（Check Point）

Tab. 11.5 Project check points

序號	查核點(交付項目)	預定達成日期	完成狀態
1	工作計畫書繳交、契約書簽訂	2 月 15 日	工作計畫書修正與契約書簽訂
2	期中報告繳交	6 月 30 日	繳交期中報告書面與簡報資料
3	期中審查會議	7 月 31 日	1. 召開期中審查會議，依據會議紀錄回覆委員意見辦理狀況 2. 第一期款請款
4	期末報告繳交	11 月 30 日	繳交期末報告書面初稿與簡報資料
5	期末審查會議	12 月 15 日	召開期末審查會議，依據會議紀錄回覆委員意見辦理狀況
6	驗收	12 月 31 日	1. 提送成果報告書 30 份 2. 提送全臺三十三條活動斷層潛勢總結評估報告 30 份及斷層活動潛勢圖 30 份 3. 尾款請款

註：依計畫需求，與業主辦理工作進度會議

11-2 後續建議調查工作

1. 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。
2. 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，建議加密跨斷層大地測量點位佈設。

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：$M_0 = \mu \times A \times \bar{D}$。其中 μ：斷層上物質的剛性係數（rigidity 或 shear modulus）；A：斷層面積；$\bar{D}$：斷層的平均滑動量。
地震矩規模 (Seismic moment magnitude)	是從地震矩演算而來的地震規模標度，現在常用來比較大型地震的強度。
地震危害度分析 (Probability seismic hazard analysis)	可分為定值法(deterministic method)，係經由古地震學(paleoseismology) 之研究推求大地震發生之位置、規模、回復週期及其對場址之可能影響。機率法(probability method)，以機率統計方法推求結構物在使用年限下，超過各程度強地動值的機率及可能性或回復週期。

參考文獻

王蘭榛、石瑞銓、林啟文、陳文山（2010）由淺層震測影像探討鹿野斷層之構造。經濟部中央地質調查所特刊，第 24 號，第 1-15 頁。

日本地震調查研究推進本部地震調查委員會(2020)全國地震動預測地圖 2020 年版。

石瑞銓、陳平護（2001）活動斷層地球物理探勘計畫(4/5)–台灣東部地區活動斷層地球物理探勘。經濟部中央地質調查所，共 103 頁。

石瑞銓、陳平護、呂明達、陳文山（2004）地震地質調查及活動斷層資料庫建置：淺層地球物理探勘（3/5）。經濟部中央地質調查所報告第 93-7 號，共 185 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。

朱曜國（2007）池上斷層的古地震研究。台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 110 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。

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。

林廉凱（2017）台灣東部縱谷北端海域海底地形及構造之研究。國立中央大學地球科學學系碩士論文，共 150 頁。

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

紀權宥（2006）南段花東縱谷之新期構造研究-利吉斷層與鹿野斷層的活動特性。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文。共 84 頁。

姜彥麟（2007）使用橫跨鹿野斷層的水準與 GPS 測量實施大地測量調查。國立台灣師範大學地球科學研究所碩士論文，共 131 頁。

張冕（2013）池上斷層沿線全新世河階的演育： 斷層活動與河川沉積之交互作用。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 134 頁。

張瑞津、石再添、沈淑敏、張政亮（1992）花蓮縱谷北段河階的地形學研究。師大地理研究報告，第 18 期，第 241-292 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、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。
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末報告書。
董倫道、陳文山、李益亨（2005）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(4/5)。經濟部中央地質調查所報告第 94-09 號，共 176 頁。
臺灣省氣象所（1951）民國四十年地震報告，共 83 頁。
鄭世楠、余騰鐸、葉永田、張建興（1997）1951 年花蓮-台東地震系列之重定位。紀念台灣地區氣象測報一百年-天氣分析與預報研討會 海象與地震論文彙編，690-699 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。
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。
Champenois, J., Fruneau, B., Pathier, E., Deffontaines, B., Lin, K.C., Hu, J.C. (2012) Monitoring of active tectonic deformations in the Longitudinal Valley (Eastern Taiwan) using Persistent Scatterer InSAR method with ALOS PALSAR data. Earth and Planetary Science Letters 337, 144–155.
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. 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, 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.
Cheng, L. W., J. C. Lee, J. C. Hu, and H. Y. Chen (2009) Coseismic and postseismic slip distribution of the 2003 Mw=6.5 Chengkung Earthquake in eastern Taiwan: elastic modeling from inversion of GPS data. Tectonophysics, 466, 335-343.
Cheng, S. N., Y. T. Yeh, and M. D. Yu (1996) The 1951 Taitung earthquake in Taiwan, J. Geol. Soc. China, 39(3), 267– 285.
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., Ramon J. Arrowsmith, 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 (2014) Uniform California Earthquake Rupture Forecast,

Version 3 (UCERF3) - The Time-Independent Model. Bull. Seismo. Soc. Am., Vol. 104, No. 3, pp. 1122-1180.
Hsu, T.L. (1962) Recent faulting in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan. Memoir of the Geological Society of China, 1: 95-102.
Konishi, K., Omura, A., Kimura, T. (1968) 234U–230Th dating of some late Quaternary coral limestones from southern Taiwan (Formosa). Geology and Paleontology of Southeast Asia, 5, 211-224.
Kuochen, H., Wu, Y.M., Chang, C.H., Hu, J.C., Chen, W.S. (2004) Relocation of Eastern Taiwan Earthquakes and Tectonic Implications, TAO, 15(4), 647-666.
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.
Lee, Jian-Cheng, Jacques Angelier, Hao-Tsu Chu, Shui-Beih Yu, and Jyr-Ching Hu (1998) Plate-boundary strain partitioning along the sinistral collision suture of the Philippine and Eurasian plates: Analysis of geodetic data and geological observation in southeastern Taiwan. TECTONICS, 17, 6, 859-871.
Lee, J. C., J. Angelier, H. T. Chu, J. C. Hu, F. S. Jeng, and R. J. Rau (2003) Active fault creep variations at Chihshang, Taiwan, revealed by creep meter monitoring, 1998–2001, J. Geophys. Res., 108(B11), 2528.
Lee, J.-C., Chu, H.-T., Angelier, J., Hu, J.-C., Chen, H.-Y. and Yu, S.-B. (2006) Quantitative analysis of surface coseismic faulting and postseismic creep accompanying the 2003, MW=6.5, Chengkung earthquake in eastern Taiwan. J. Geophys. Res., 111, B02405, doi:10.1029/2005JB003612.
Lee, Yuan-Hsi, Guin-Ting Chen, Ruey-Juin Rau, & Kuo-En Ching (2008) Coseismic displacement and tectonic implication of 1951 Longitudinal Valley earthquake sequence, eastern Taiwan. J. Geophys. Res., 113, B04305.
Lin, C. C. (1969) Holocene geology of Taiwan. Acta Geology Taiwan, 13, 83-126.
Peng, T. H., Li, Y. H., Wu, F. T. (1977) Tectonic uplift of Taiwan Island since the early Holocene. Memoir, Geological Society of China, 2, 57-69.
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., K. Sieh, Y. G. Chen, and L. H. Chung (2006) Geomorphic analysis of the Central Range fault, the second major active structure of the Longitudinal Valley suture, eastern Taiwan. Geol. Soc. Am. Bull., 118, 1447-1462, doi: 10.1130/B25905.1.
Shyu, J. B. H., Sieh, K., Chen, Y. G., Chuang, R. Y., Wang, Y., & Chung, L. H. (2008) Geomorphology of the southernmost longitudinal valley fault: implications for evolution of the active suture of eastern Taiwan. Tectonics, 27.
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.
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.
Working Group On California Earthquake Probabilities (2008) The Uniform California Earthquake Rupture Forecast, Version 2. USGS Open-File Report 07-1437.
Wu, Yih-Min, Yue-Gau Chen, Chien-Hsin Chang, Ling-Ho Chung, Ta-Liang Teng, Francis T. Wu, and Chien-Fu Wu (2006) Seismogenic structure in a tectonic suture zone: With new constraints from 2006 Mw6.1 Taitung earthquake. Geophys. Res. Lett., Vol.33, L22305.
Yamaguchi, M. and Y. Ota (2004) Tectonic interpretations of Holocene marine terraces, east coast of Coastal Range, Taiwan. Quaternary International, 115-116, 71-81.
Yen, J. Y., C. H. Lu, Rebecca J. Dorsey, H. Kuo‐Chen, C. P. Chang, C. C. Wang, Ray Y. Chuang, Y. T. Kuo, C. Y. Chiu, Y. H. Chang, Fabio Bovenga, W. Y. Chang (2019) Insights into Seismogenic Deformation during the 2018 Hualien, Taiwan, Earthquake Sequence from InSAR, GPS, and Modeling. Seismological Res. Lett., 90(1), 78-87.
Yen, Y. T., and Ma, K. F. (2011) Source-Scaling Relationship for M 4.6–8.9 Earthquakes, Specifically for Earthquakes in the Collision Zone of Taiwan. Bull. Seismo. Soc. Am., 101(2), 464–481.

委員審查意見

期中委員審查意見

期中審查意見	處理情形
1. 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	(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

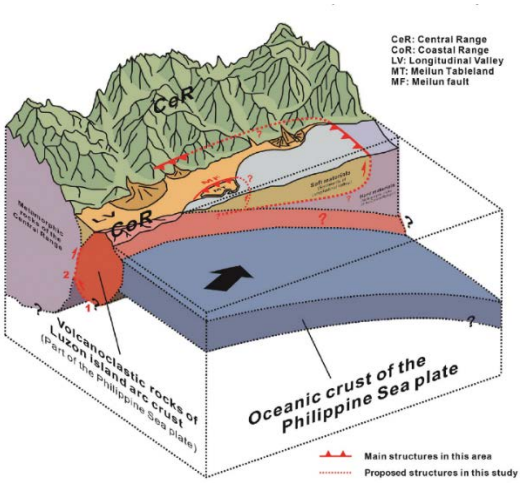
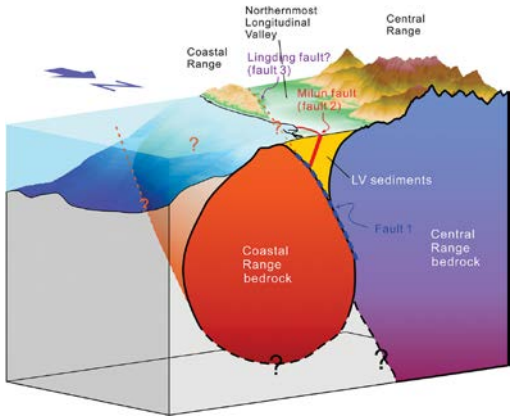
度，向東或是向西？應標明如何得到，另第 15 頁斷層位置與地震位置之關係為何？斷層向東或是向西？	計畫中斷層傾角對於評估結果的敏感度並不比破裂深度及滑移速率高，因此本計畫會儘可能簡化斷層傾角。 (2) 米崙斷層面傾角 65 度向東。本計畫依地震深度分布剖面，會加上趨勢線並量測其角度。 (3) 本計畫僅顯示歷史地震與斷層位置的關係，無法據此判斷斷層面。
6. 瑞穗斷層的長期抬升速率和其東部海階的抬升速率一致嗎？海岸海階年代所估算的長期抬升速率並非斷層錯移速率，這部分應於報告書內容說明清楚。	感謝委員建議，由於東部海岸的海階抬升速率並不能代表縱谷斷層的長期滑移速率，本計畫期末階段將不會以海階抬升速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	遵照辦理，各斷層參數彙整表會於總結

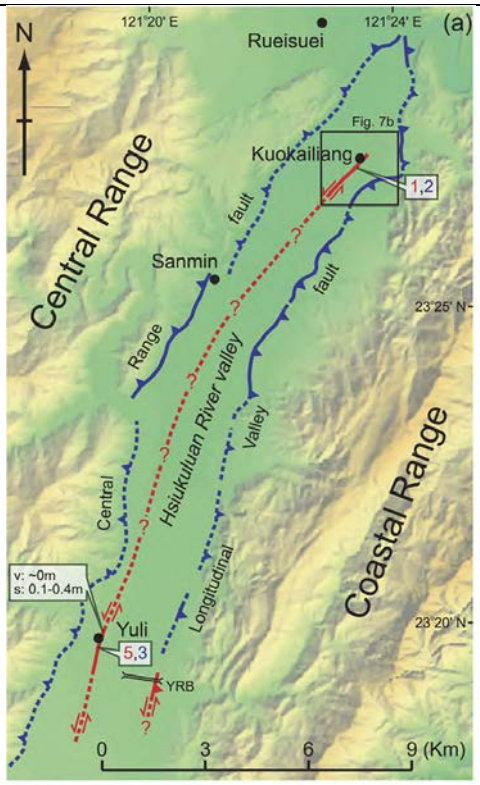
彙整表，清楚表示斷層參數數據、研究方法及參考文獻，建議本階段應摘錄前一階段的成果，將修正部分加載標示，突顯整合精進的總成果。	報告中增列。

期末委員審查意見

期中審查意見	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。

附錄 1 邏輯樹專家諮詢會議記錄

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

<table>
<tr><td colspan="2">會議名稱</td><td colspan="5">專家諮詢會議(一)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">主席</td><td rowspan="2">顏銀桐
研究員</td><td>日
期</td><td>2020 年 10 月 19 日</td><td>時
間</td><td>14:00~16:30</td></tr>
<tr><td>地
點</td><td>中興社五樓會議室</td><td>記
錄</td><td>李易叡、莊怡蓉</td></tr>
<tr><td rowspan="2">出席
人員</td><td colspan="5">專家委員：
臺灣大學：胡植慶 教授、徐澔德 教授、莊昀叡 助理教授</td></tr>
<tr><td colspan="5">其他與會人員：
中興社：顏銀桐 研究員、李易叡 副研究員、莊怡蓉 助理研究員</td></tr>
<tr><td>會
議
內
容</td><td colspan="5">1. 米崙斷層參數討論、問題與意見
(1) Strike-slip 與 vertical-slip 的滑移量在 1951 年的地震分別為 2 公尺及 1.6 公尺，顯示具有相當程度的抬升量。本計畫計算所得的滑移速率相當高，是受滑移角影響，可再確認 BATS 及 CMT 的 2018 年花蓮地震震源機制解，是否有較高的滑移角。
(2) 滑移角範圍建議由 20~40 度改為 35~55 度。
(3) 米崙斷層的斷層幾何邏輯樹中，斷層深度延伸至 10 公里以下的權重佔 70%，代表米崙斷層有較高的機會破裂至下部的構造，請再斟酌權重分配是否得宜。
(4) 米崙斷層之長期滑移速率資料中提到不考慮未經校正之碳 14 定年資料，因此在碳 14 定年方法中只考慮了 Yamaguchi and Ota (2004)一篇文獻，需確認此文獻有做過校正。
2. 嶺頂-瑞穗斷層系統參數討論、問題與意見
(1) 除了 Rau et al. (2007)有提出向西傾的斷層為中央山脈斷層外，建議再補充其他文獻。
(2) 1972 年的地震視為瑞穗斷層的前次地震是否合理？
(3) 嶺頂斷層前次地震為 1951 年，瑞穗地震前次地震為 1972 年，在計算 BPT 模式時，兩斷層同時破裂的前次地震如何設定？是否合理？
3. 奇美斷層參數討論、問題與意見
(1) 奇美斷層傾角之邏輯樹根據文獻蒐集結果可由(75,80,85)改為</td></tr>
</table>

	(70,75,80)。 (2) 建議參考陳宏宇的水準測量結果。 **4. 池上斷層參數討論、問題與意見** (1) 池上斷層的分段破裂模式中提及整段破裂模式的權重有提高，這一段的文字描述需再詳細說明。 (2) 為何潛移占長期滑移速率為 0.8，短期量測是否一定代表潛移？ **5. 鹿野-利吉斷層參數討論、問題與意見** (1) 鹿野斷層、利吉斷層聯合破裂的可能性在目前實務中有計算模式可使用嗎？
備 註	

附錄 2 台灣東部地區斷層三維幾何模型

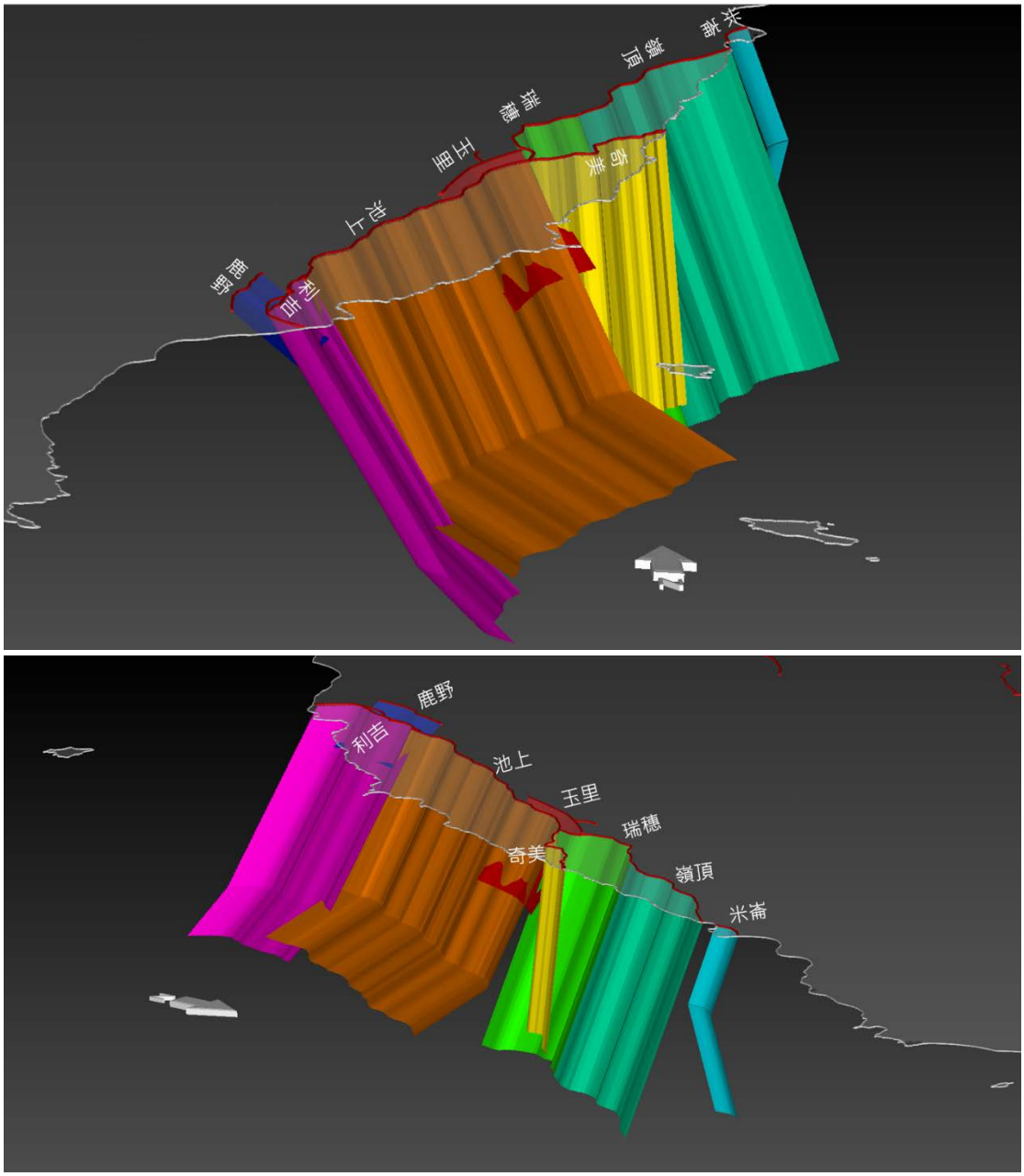
台灣東部地區斷層三維幾何模型，是針對本年度東部地區 8 條活動斷層的幾何參數建立的斷層幾何面網格檔，在三維地理資訊系統中(例如：ArcScene)可呈現斷層三維幾何面的形貌，附錄 2 資料夾中的斷層網格檔均來自報告內文中各斷層邏輯樹中的幾何參數。需要注意的是，此斷層面網格檔是針對簡化的幾何參數建立的，無法呈現實際上較為複雜的斷層幾何形貌，本計畫建立斷層三維幾何模型的目的，主要是了解各斷層於三維空間分布之間的合理性，進而針對斷層間可能存在互相穿插的問題進行調整。

附表 2-1 為斷層各 case 的幾何參數對照表，附圖 2-1 則是將附表 2-1 中黃色底 case 的斷層幾何面呈現在三維地理資訊系統中的情形。

附表 2-1 斷層三維幾何模型參數對照表

斷層	case	深度(km)	傾角(度)
26 米崙斷層	1	0-10	65E
	2	0-10	65E
		10-25	80W
	3	0-10	65E
		10-30	80W
27 嶺頂斷層	1	0-25	60E
	2	0-27.5	60E
	3	0-30	60E
	4	0-25	65E
	5	0-27.5	65E
	6	0-30	65E
	7	0-25	70E
	8	0-27.5	70E
	9	0-30	70E
28 瑞穗斷層	1	0-25	60E
	2	0-27.5	60E
	3	0-30	60E
	4	0-25	65E
	5	0-27.5	65E
	6	0-30	65E
	7	0-25	70E
	8	0-27.5	70E
	9	0-30	70E

29 奇美斷層	1	0-20	75S
	2	0-25	75S
	3	0-30	75S
	4	0-20	80S
	5	0-25	80S
	6	0-30	80S
	7	0-20	85S
	8	0-25	85S
	9	0-30	85S
30 玉里斷層	1	0-10	51E
31 池上斷層	1	0-20	60E
	2	0-20	60E
		20-25	25E
	3	0-20	60E
		20-27	25E
32 鹿野斷層	1	0-5	35E
33 利吉斷層	1	0-22	55E
		22-25	40E
	2	0-22	55E
		22-27.5	40E
	3	0-22	55E
		22-30	40E



附圖 2.1：台灣東部地區活動斷層三維幾何面

附錄 3 台灣東部地區斷層活動機率圖

「台灣東部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，套疊地調所東部地區 8 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。

「台灣東部垂直速度場及斷層活動機率圖」是以水準點、GPS 測站點位及 2002-2020 年垂直速度場為底圖，套疊地調所東部地區 8 條活動斷層及每條活動斷層未來 50 年地震矩規模 6.5 以上之發生機率圖框，潛勢圖右下角之說明文字圖框中包含：

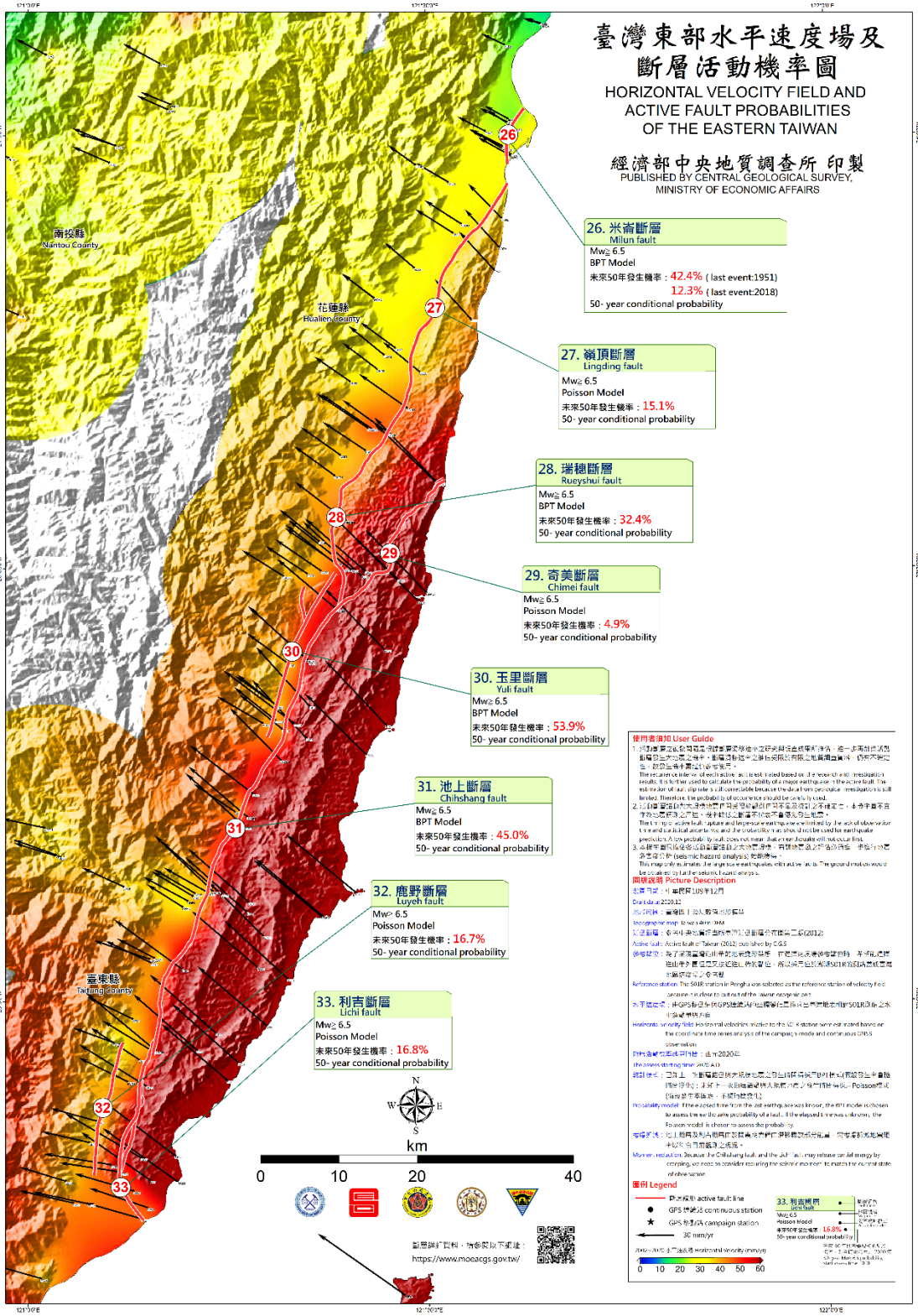
一、使用者須知，共三點：(同上)

二、圖版說明，包含以下內容：

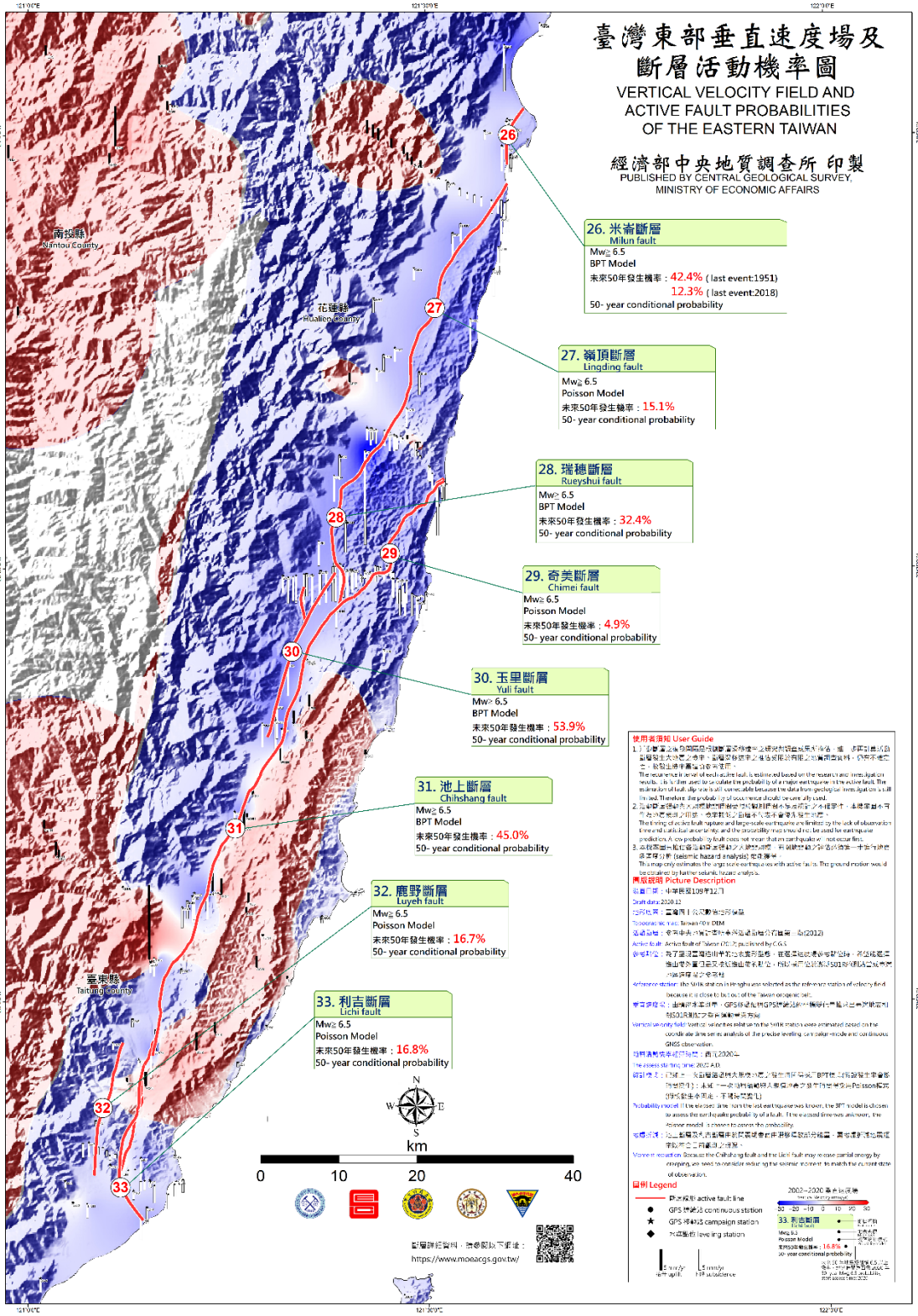
- 製圖日期：(同上)
- 地形底圖：(同上)
- 活動斷層：(同上)
- 參考點位：(同上)
- 垂直速度場：由精密水準測量、GPS 移動站與 GPS 連續站的坐標變化量推求出臺灣地表相對 S01R 測站之垂直運動量與方向
- 斷層活動機率起算時間：(同上)
- 統計模式：(同上)
- 考慮折減：(同上)

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

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



附圖 3.1：台灣東部水平速度場及斷層活動機率圖



附圖 3.2：台灣東部垂直速度場及斷層活動機率圖

附錄 4 潛勢評估方法論教育訓練

時間：109 年 7 月 2 日上午 10 點

地點：經濟部地質調查所地質研究館二樓第二會議室

時程：

時間	議題	報告人
10:00~10:25	台灣 33 條活動斷層邏輯樹參數及權重建立概念及準則	李易叡
10:25~10:40	斷層發生機率評估方法論	李易叡
10:40~11:05	斷層特徵照片蒐集及判釋方法論	莊怡蓉
11:05~11:30	斷層長期滑移速率評估精進方案：統計學模型&動力學模型	李易叡
11:30~11:50	活動斷層地振動景況模擬	顏銀桐
12:00~13:30	午休	
13:30~15:30	斷層邏輯樹及機率評估程式實作	莊怡蓉、李易叡

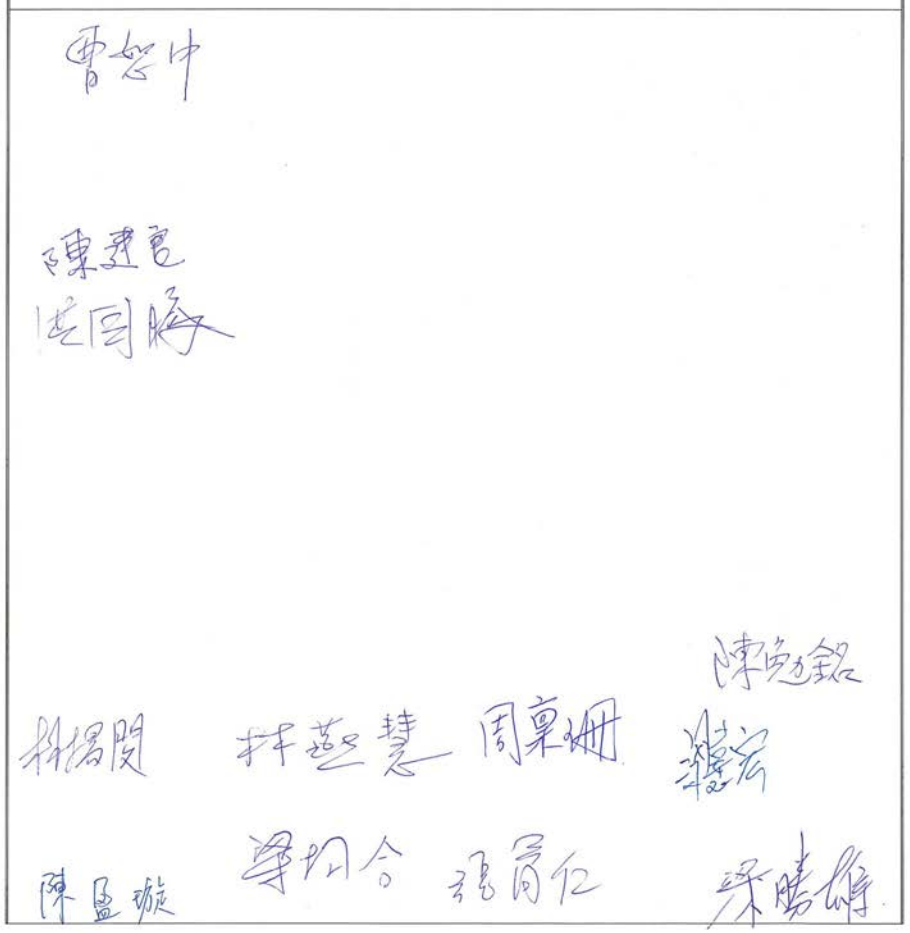


附圖 4.1：教育訓練照片

109 年度「臺灣活動斷層潛勢圖精進與震源構造特性評估」委託技術服務案教育訓練簽名單

主辦單位：經濟部中央地質調查所構造與地震地質組

時　間	109 年 7 月 2 日(星期四)	地點	本所 2 樓第 2 會議室
列　席　者　簽　名			



附圖 4.2：教育訓練簽到表