經濟部
Ministry of Economic Affairs

計畫編號：B114034

經濟部地質調查及礦業管理中心

114年度委託專業服務期末報告書（完稿）

「重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估-第二階段（3/3）」

（第3年度）

全 程 計 畫：自 112 年 3 月至 114 年 12 月止
本年度計畫：自 114 年 7 月至 114 年 12 月止

委託機關：經濟部地質調查及礦業管理中心

執行單位：國立臺灣大學

中 華 民 國 114 年 12 月

計畫編號：B114034

經濟部地質調查及礦業管理中心

114年度委託專業服務期末報告書（完稿）

「重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估-第二階段（3/3）」

（第3年度）

全 程 計 畫：自 112 年 3 月至 114 年 12 月止
本年度計畫：自 114 年 7 月至 114 年 12 月止

委託機關：經濟部地質調查及礦業管理中心
執行單位：國立臺灣大學

中 華 民 國 114 年 12 月

重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估-第二階段（3/3）

（第3年度）

計畫主持人：莊昀叡

協同主持人：景國恩、張午龍、李易叡

研　究　員：莊怡蓉、邵國士

委託機關：經濟部地質調查及礦業管理中心

執行單位：國立臺灣大學

中　華　民　國　114　年　12　月

目錄

目錄 I
表目錄 V
圖目錄 VII
摘要 XV
Abstract XVII
第一章、緒　論 1
1-1 計畫整體概述 1
1-2 研究目的 10
1-3 本年度工作概述 10
第二章、東部地區大地測量資料分析與重要區域三維速度場 19
2-1 花東地區 GNSS 觀測網 19
2-2 東部地區精密水準測線 24
2-2-1 光復至豐濱測線 24
2-2-2 東部地區精密水準測量資料可靠度分析 28
2-3 重要區域三維速度場分析 30
2-3-1 重要區域水平與垂直速度場 30
第三章、東部地區重要斷層參數分析 37
3-1 斷層資料蒐集 37
3-1-1 米崙斷層 38
3-1-1-1 斷層長度 38
3-1-1-2 斷層傾角 38
3-1-1-3 斷層深度 40
3-1-1-4 滑移速率 40
3-1-2 池上斷層 56
3-1-2-1 斷層長度 56
3-1-2-2 斷層傾角 56
3-1-2-3 斷層深度 59
3-1-2-4 滑移速率 60
3-1-3 其他主要斷層 77
3-1-3-1 嶺頂斷層 77
3-1-3-2 瑞穗斷層 83
3-1-3-3 奇美斷層 91
3-1-3-4 玉里斷層 97
3-1-3-5 鹿野斷層 104
3-1-3-6 利吉斷層 114
第四章、東部地區斷層活動潛勢 123
4-1 米崙斷層 123
4-1-1 米崙斷層參數設定 123
4-1-2 米崙斷層規模與年發生率 125

4-1-3 米崙斷層機率評估 127
4-2 池上斷層 128
4-2-1 池上斷層參數設定 128
4-2-2 池上斷層規模與年發生率 131
4-2-3 池上斷層機率評估 133
4-3 嶺頂斷層 134
4-3-1 嶺頂斷層參數設定 134
4-3-2 嶺頂斷層規模與年發生率 137
4-3-3 嶺頂斷層機率評估 140
4-4 瑞穗斷層 141
4-4-1 瑞穗斷層參數設定 141
4-4-2 瑞穗斷層規模與年發生率 141
4-4-3 瑞穗斷層機率評估 141
4-5 奇美斷層 143
4-5-1 奇美斷層參數設定 143
4-5-2 奇美斷層規模與年發生率 146
4-5-3 奇美斷層機率評估 147
4-6 玉里斷層 148
4-6-1 玉里斷層參數設定 148
4-6-2 玉里斷層規模與年發生率 149
4-6-3 玉里斷層機率評估 151
4-7 鹿野斷層 152
4-7-1 鹿野斷層參數設定 152
4-7-2 鹿野斷層規模與年發生率 154
4-7-3 鹿野斷層機率評估 156
4-8 利吉斷層 157
4-8-1 利吉斷層參數設定 157
4-8-2 利吉斷層規模與年發生率 159
4-8-3 利吉斷層機率評估 160
4-9 東部地區斷層活動潛勢圖成果 161
第五章、大地測量資料分析（全臺） 163
5-1 GNSS 連續站資料解算與分析 163
5-1-1 GNSS 連續站資料解算軟體與流程 163
5-1-2 GNSS 連續站坐標時間序列擬合與坐標精度分析 164
5-1-3 GNSS 連續站資料處理與資（/雜）訊分析 168
5-1-4 GNSS 連續站觀測網 176
5-1-4-1 臺北地區 GNSS 觀測網 176
5-1-4-2 桃竹苗地區 GNSS 觀測網 179
5-1-4-3 中部地區 GNSS 觀測網 182
5-1-4-4 高屏地區 GNSS 觀測網 185
5-1-4-5 恆春地區 GNSS 觀測網 188
5-1-4-6 宜蘭地區 GNSS 觀測網 191
5-2 GNSS 移動站資料檢核、解算與分析 193
5-2-1 本年度（2025 年）GNSS 移動站抽樣檢核 193

5-2-2 GNSS 移動站資料解算流程與坐標精度分析 197
5-2-3 GNSS 移動站坐標時間序列擬合與可靠度分析 199
5-2-3-1 嘉南地區 GNSS 觀測網 199
5-3 精密水準測量資料檢核、解算與分析 204
5-3-1 精密水準測量資料檢核 204
5-3-2 精密水準測量資料解算與精度分析 205
5-3-3 嘉南地區精密水準測線 207
5-3-3-1 金湖至瑞峰測線 207
5-3-3-2 北門至楠西測線 210
5-3-3-3 善化至關廟測線 214
5-3-3-4 新化至玉井測線 217
5-3-3-5 安平至龍崎測線 220
5-3-3-6 嘉南地區精密水準測量資料可靠度分析 224
5-4 全臺三維速度場分析 226
5-4-1 全臺水平與垂直速度場 226
第六章、結論 229
參考文獻 231
期末審查意見回覆 237

（圖檔附錄請參閱隨身碟）

[附錄 01] 114 年期末_GNSS 連續站時間序列
[附錄 02] 114 年期末_GNSS 連續站速度表
[附錄 03] 114 年期末_GNSS 移動站時間序列
[附錄 04] 114 年期末_GNSS 移動站速度表
[附錄 05] 114 年期末_精密水準時間序列
[附錄 06] 114 年期末_精密水準速度表
[附錄 07] 114 年期末_重要區域水平與垂直速度場分布圖
[附錄 08] 114 年期末_114 年重要區域斷層活動潛勢圖

表目錄

表 1.1：經濟部地質調查及礦業管理中心（GSMMA）建置的 GNSS 連續觀測站列表 3
表 1.2：112 年至 114 年分年目標與重要區域.....6
表 1.3：GNSS 移動站預計施測與檢測時間表 13
表 1.4：精密水準測線預計施測時間表.....15

表 3.1：斷層幾何參數資料蒐集重點.....37
表 3.2：1951 年花蓮地震地表破裂分布表.....45
表 3.3：米崙斷層傾角相關文獻彙整.....55
表 3.4：米崙斷層深度相關文獻彙整.....55
表 3.5：米崙斷層長期滑移速率相關文獻彙整.....55
表 3.6：池上斷層傾角相關文獻彙整.....74
表 3.7：池上斷層深度相關文獻彙整.....74
表 3.8：池上地區階地年代及推估之斷層垂直滑移速率.....75
表 3.9：池上斷層長期滑移速率相關文獻彙整.....76
表 3.10：嶺頂斷層幾何形貌相關文獻.....82
表 3.11：瑞穗斷層幾何形貌相關文獻彙整.....90
表 3.12：瑞穗斷層長期滑移速率相關文獻彙整.....90
表 3.13：奇美斷層幾何形貌相關文獻.....96
表 3.14：奇美斷層長期滑移速率相關文獻.....96
表 3.15：玉里斷層幾何形貌相關文獻.....103
表 3.16：鹿野斷層幾何形貌相關文獻.....113
表 3.17：鹿野斷層長期滑移速率相關文獻彙整.....113
表 3.18：利吉斷層幾何形貌相關文獻.....121
表 3.19：利吉斷層斷層長期滑移速率相關文獻彙整.....121

表 4.1：米崙斷層之破裂事件面積與規模.....125
表 4.2：本計畫米崙斷層發生機率評估.....127
表 4.3：池上斷層各破裂事件規模計算.....130
表 4.4：本計畫池上斷層發生機率評估.....133
表 4.5：瑞穗斷層淨滑移速率換算.....136
表 4.6：嶺頂–瑞穗斷層系統之破裂事件特徵地震規模計算 136
表 4.7：本計畫嶺頂斷層發生機率評估.....140
表 4.8：本計畫瑞穗斷層發生機率評估.....142
表 4.9：奇美斷層之破裂事件面積與規模.....145
表 4.10：本計畫奇美斷層發生機率評估.....147
表 4.11：玉里斷層之破裂事件面積與規模.....148
表 4.12：本計畫玉里斷層發生機率評估.....151
表 4.13：鹿野斷層長期抬升速率資料彙整.....153
表 4.14：鹿野斷層淨滑移速率換算.....153
表 4.15：鹿野斷層之破裂事件特徵地震規模計算.....154
表 4.16：鹿野斷層發生機率評估.....156
表 4.17：利吉斷層長期抬升速率資料彙整.....158

表 4. 18：利吉斷層淨滑移速率換算.....158
表 4. 19：利吉斷層之破裂事件特徵地震規模計算.....158
表 4. 20：利吉斷層系統發生機率評估.....160

表 5. 1：GNSS 移動站施測與檢核時間表 194

圖目錄

圖 1.1：經濟部地質調查及礦業管理中心（GSMMA）建立之活動斷層大地測量觀測網 5
圖 1.2：計畫執行架構圖.....7
圖 1.3：114 年度目標活動斷層與重要區域.....8
圖 1.4：GNSS 移動站觀測分區圖 14
圖 1.5：精密水準測線分布圖.....16

圖 2.1：花東地區 GNSS 連續及移動測站分布情形 20
圖 2.2：移動站 GE57 與連續站 FLNM 之時間序列比較.....21
圖 2.3：移動站 GA11 與連續站 KNKO 之時間序列比較 21
圖 2.4：花東地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場 22
圖 2.5：花東地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場 23
圖 2.6：光復至豐濱測線水準點位 G991 與連續站 FONB 之時間序列比較.....25
圖 2.7：光復至豐濱測線水準高程變化圖.....26
圖 2.8：光復至豐濱測線水準累積高程差.....27
圖 2.9：花東地區相對於澎湖白沙站（S01R）之垂直方向速度場.....29
圖 2.10：花蓮重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場 31
圖 2.11：花蓮重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之垂直方向速度場.....32
圖 2.12：玉里重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場 33
圖 2.13：玉里重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之垂直方向速度場.....34
圖 2.14：臺東重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場 35
圖 2.15：臺東重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之垂直方向速度場.....36

圖 3.1：米崙斷層條帶地質圖與 2021 年更新之斷層分布圖.....42
圖 3.2：花蓮區活動構造分布圖.....43
圖 3.3：米崙斷層海域多頻道反射震測線分布及五條震測剖面圖.....44
圖 3.4：1951 年地震米崙斷層地表破裂圖.....45
圖 3.5：2018 年 02 月 06 日花蓮地震地表破裂.....47
圖 3.6：花崗山 1 號槽溝剖面圖與解釋圖.....48
圖 3.7：花崗山 2 號槽溝剖面圖與解釋圖.....49
圖 3.8：花蓮空軍基地 1 號槽溝西牆剖面圖與解釋圖.....50
圖 3.9：花蓮空軍基地 1 號槽溝東牆剖面圖與解釋圖.....50
圖 3.10：花蓮地區 A2 及 B3 震測剖面及 A-A’地質剖面圖 51
圖 3.11：米崙斷層海域震測剖面圖 MCSPK01、MCSPK02、MCSPK03.....52
圖 3.12：米崙台地之下米崙斷層與縱谷斷層（嶺頂斷層）的關係圖.....52
圖 3.13：縱谷斷層北端構造發育模型.....53
圖 3.14：重定位地震分布及 Vp、Vs 速度構造面 54
圖 3.15：花蓮地區及縱谷北段之構造解釋.....54
圖 3.16：池上斷層條帶地質圖與地質剖面.....61
圖 3.17：1951 年花蓮−台東系列地震主震之時空分布 62
圖 3.18：玉里附近 1951 與 2022 年地震的地表破裂分布.....63
圖 3.19：2003 年成功地震餘震分布.....64
圖 3.20：富里富池橋東方鱉溪露頭照片.....65

圖 3. 21：瑞源坪頂台地南側的斷層露頭.....65
圖 3. 22：池上斷層鑽井資料.....66
圖 3. 23：池上斷層於錦園地區之位置與地質剖面圖.....66
圖 3. 24：池上斷層錦園槽溝資料.....67
圖 3. 25：池上斷層萬安 1 號槽溝資料.....68
圖 3. 26：錦園、萬安震測剖面圖.....69
圖 3. 27：池上斷層震測測線.....69
圖 3. 28：十萬分之一海岸山脈地質圖.....70
圖 3. 29：鱉溪與木坑溪利吉層地質剖面.....71
圖 3. 30：縱谷縫合帶演化模型.....71
圖 3. 31：1991-2002 規模 2.5~8 地震重定位剖面圖 72
圖 3. 32：2003 年成功地震餘震重定位結果.....73
圖 3. 33：2006 年成功地震餘震重定位結果（Cheng et al., 2009）與本計劃擬定之斷層幾何 ..73
圖 3. 34：池上地區階地分布與抬升速率圖.....75
圖 3. 35：池上斷層上盤的階地與剖面。.....76
圖 3. 36：縱谷斷層分段.....78
圖 3. 37：嶺頂斷層條帶地質圖.....79
圖 3. 38：2018 年花蓮地震嶺頂斷層沿線地表破裂分布.....80
圖 3. 39：嶺頂斷層地電阻影像剖面圖.....81
圖 3. 40：臺灣東部地區 1991-2002 年利用 hypoDD 重定位之地震 81
圖 3. 41：2009 年 12 月 19 日 M_L4.7 地震序列（Shyu et al., 2016）與本計畫設定之嶺頂斷層傾角.....82
圖 3. 42：瑞穗斷層條帶地質圖.....84
圖 3. 43：1951 年玉里池上地震地表破裂及主要地質構造圖.....85
圖 3. 44：1951 年地震瑞穗地區地表破裂分布圖.....85
圖 3. 45：瑞穗斷層槽溝分布圖.....86
圖 3. 46：瑞穗斷層安定橋槽溝資料.....87
圖 3. 47：瑞穗斷層大富槽溝資料.....88
圖 3. 48：秀姑巒溪區域縱谷斷層地下幾何.....89
圖 3. 49：重定位之臺灣東部地震震央分布及 N70°W 剖面 89
圖 3. 50：奇美斷層條帶地質圖.....92
圖 3. 51：秀姑巒溪奇美村東南側的奇美斷層露頭.....93
圖 3. 52：位於豐濱附近的奇美斷層露頭.....93
圖 3. 53：泰林地區地電阻影像剖面結果圖.....94
圖 3. 54：奇美斷層沿線地質圖.....94
圖 3. 55：豐濱奇美斷層露頭剖面.....95
圖 3. 56：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.....95
圖 3. 57：重定位之臺灣東部地震震央分布及 S70°E 剖面 96
圖 3. 58：玉里斷層條帶地質圖.....98
圖 3. 59：1951 年地震於玉里國小的地表破裂分布情形.....99
圖 3. 60：1951 年地震玉里附近的地表破裂分布.....100
圖 3. 61：2022 年地震在長良一帶出現兼具垂直與水平位移的地表破裂.....101
圖 3. 62：玉里斷層反射震測剖面圖.....101
圖 3. 63：舞鶴台地北側 D2 淺層震測剖面.....102

圖 3. 64：玉里斷層淺層震測剖面構造解釋圖.....102
圖 3. 65：經 hypoDD 重定位之 SeisBlue 目錄的地震剖面圖.....103
圖 3. 66：鹿野斷層條帶地質圖.....106
圖 3. 67：鹿野斷層沿線構造地形判釋結果.....107
圖 3. 68：縱谷斷層南部剖面圖.....108
圖 3. 69：永安槽溝開挖結果.....108
圖 3. 70：永安地區槽溝、鑽井與剖面.....109
圖 3. 71：鹿野斷層沿線的地質與鑽井剖面.....109
圖 3. 72：鹿野斷層南端檳榔地區震測結果.....110
圖 3. 73：鹿野斷層之測線位置與震測剖面.....110
圖 3. 74：鹿野斷層龍田測線之位置與震測剖面.....111
圖 3. 75：鹿野溪北岸河階分布與地形剖面.....111
圖 3. 76：永安溝槽古地震恢復圖.....112
圖 3. 77：鹿野高台地質剖面圖.....112
圖 3. 78：利吉斷層條帶地質圖.....116
圖 3. 79：鸞山野溪中的利吉斷層露頭.....116
圖 3. 80：卑南大溪東岸的利吉斷層露頭.....117
圖 3. 81：岩灣國小（C 剖面）、臺東監獄岩灣技能訓練所（D 剖面）鑽井剖面.....117
圖 3. 82：Shyu et al.（2008）根據構造地形與地表破裂調查所描繪的卑南分支.....118
圖 3. 83：利吉斷層構造模型.....118
圖 3. 84：利用同震地表位移估計鹿野斷層近地表傾角.....119
圖 3. 85：橫跨縱谷斷層南段的剖線與速度構造剖面.....119
圖 3. 86：利吉斷層上盤位於鸞山大橋東側的卑南溪階地及其定年結果.....120
圖 3. 87：新良與利吉地區的階地分布.....120

圖 4. 1：米崙斷層之破裂模式.....124
圖 4. 2：米崙斷層垂直抬升速率之機率密度函數曲線及累積密度函數分布.....124
圖 4. 3：米崙斷層邏輯樹.....125
圖 4. 4：米崙斷層破裂事件特徵地震模式規模與年發生率之關係.....126
圖 4. 5：米崙斷層之全部邏輯樹分支規模−權重分布圖.....126
圖 4. 6：米崙斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間−權重分布圖.....126
圖 4. 7：池上斷層分段破裂模式及權重分配.....129
圖 4. 8：池上斷層邏輯樹.....130
圖 4. 9：池上斷層各破裂事件特徵地震模式規模與年發生率之關係.....131
圖 4. 10：池上斷層三種分段破裂事件之邏輯樹規模−權重分布圖.....132
圖 4. 11：池上斷層三種分段破裂事件之地震復發間隔時間−權重分布圖.....132
圖 4. 12：池上斷層之全部邏輯樹分支規模與地震復發間隔時間權重分布.....133
圖 4. 13：嶺頂−瑞穗斷層系統分段破裂模式.....135
圖 4. 14：嶺頂−瑞穗斷層系統邏輯樹.....136
圖 4. 15：嶺頂−瑞穗斷層系統三個破裂事件特徵地震模式規模與年發生率之關係.....138
圖 4. 16：嶺頂−瑞穗斷層系統三個破裂事件之規模−權重分布圖.....138
圖 4. 17：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.....139
圖 4. 18：嶺頂−瑞穗斷層系統之全部邏輯樹分支規模與地震復發間隔時間權重分布.....139
圖 4. 19：奇美地區階地分布圖.....144

圖 4. 20：奇美斷層特徵地震模式規模與年發生率之關係.....145
圖 4. 21：奇美斷層特徵地震模式規模與年發生率之關係.....145
圖 4. 22：奇美斷層邏輯樹.....145
圖 4. 23：奇美斷層破裂事件特徵地震模式.....146
圖 4. 24：奇美斷層破裂事件之規模−權重分布圖 147
圖 4. 25：奇美斷層破裂事件之地震復發間隔時間−權重分布圖 147
圖 4. 26：玉里斷層邏輯樹.....149
圖 4. 27：玉里斷層破裂事件特徵地震模式規模與年發生率之關係.....149
圖 4. 28：玉里斷層之全部邏輯樹分支規模−權重分布圖 150
圖 4. 29：玉里斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間−權重分布圖 150
圖 4. 30：鹿野−利吉斷層系統三維幾何形貌 153
圖 4. 31：鹿野斷層及利吉斷層邏輯樹.....154
圖 4. 32：鹿野斷層破裂事件特徵地震模式.....155
圖 4. 33：鹿野斷層破裂事件之規模−權重分布圖 155
圖 4. 34：鹿野斷層之地震復發間隔時間−權重分布圖 155
圖 4. 35：鹿野−利吉斷層系統之全部邏輯樹分支規模與地震復發間隔時間權重分布 156
圖 4. 36：利吉斷層破裂事件特徵地震模式.....159
圖 4. 37：利吉斷層破裂事件之規模−權重分布圖 159
圖 4. 38：利吉斷層之地震復發間隔時間−權重分布圖 160
圖 4. 39：臺灣東部重要區域斷層活動機率圖.....162

圖 5. 1：GNSS 連續站 PTDG 坐標時間序列擬合結果.....165
圖 5. 2：GNSS 連續站 PTDG 時間序列之殘差結果.....166
圖 5. 3：1994-2025 年截至 10 月份 GNSS 連續站點位坐標殘差分布圖 167
圖 5. 4：1994-2025 年 GNSS 連續站點位均方根誤差分布圖 167
圖 5. 5：地礦中心連續站 GS22（彰化快官交流道站）垂直分量的卡曼濾波分析結果 170
圖 5. 6：地礦中心連續站 GS22 垂直分量經卡曼濾波後所得之殘差時間序列、殘差與頻譜分析結果.....171
圖 5. 7：地礦中心連續站 GS22 之南北與東西分量之時間序列 172
圖 5. 8：地礦中心全臺 101 個測站三分量時間序列之卡曼濾波雜訊分析.....173
圖 5. 9：地礦中心連續站 GS10（桃園竹圍國中）與 GS73（高雄新光國小）之垂直時間序列與其卡曼濾波分析.....174
圖 5. 10：地礦中心連續站 GS95（大屯火山區八煙站）之垂直時間序列與其卡曼濾波分析 175
圖 5. 11：臺北地區 GNSS 連續站分布情形 176
圖 5. 12：臺北地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場 177
圖 5. 13：臺北地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場 178
圖 5. 14：桃竹苗地區 GNSS 連續站分布情形 179
圖 5. 15：桃竹苗地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場 180
圖 5. 16：桃竹苗地區 2002 至 2025 年相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場 181
圖 5. 17：中部地區 GNSS 連續站分布情形 182
圖 5. 18：中部地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場 183
圖 5. 19：中部地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場 184
圖 5. 20：高屏地區 GNSS 連續站分布情形 185

圖 5. 21：高屏地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場 186
圖 5. 22：高屏地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場 187
圖 5. 23：恆春地區 GNSS 連續站分布情形 188
圖 5. 24：恆春地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場 189
圖 5. 25：恆春地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場 190
圖 5. 26：宜蘭地區 GNSS 連續站分布情形 191
圖 5. 27：宜蘭地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場 192
圖 5. 28：宜蘭地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場 192
圖 5. 29：已完成施測的 GNSS 移動站與檢核點位分布圖 195
圖 5. 30：2002 至 2025 年 10 月 GNSS 移動站點位坐標殘差分布圖 197
圖 5. 31：2002 至 2025 年 10 月 GNSS 移動站點位均方根誤差分布圖 198
圖 5. 32：嘉南地區 GNSS 連續及移動測站分布情形 200
圖 5. 33：移動站 G390 與連續站 GS88 之時間序列比較.....201
圖 5. 34：移動站 G392 與連續站 SHWA 之時間序列比較 201
圖 5. 35：嘉南地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場 202
圖 5. 36：嘉南地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場 203
圖 5. 37：精密水準測量結果分析圖.....204
圖 5. 38：精密水準測線與各測線約制之 GNSS 連續站分布圖 206
圖 5. 39：金湖至瑞峰測線水準點位 G776 與連續站 GS17 之時間序列比較.....207
圖 5. 40：縣 164_金湖至瑞峰測線水準高程變化圖.....208
圖 5. 41：縣 164_金湖至瑞峰測線水準累積高程差.....209
圖 5. 42：北門至楠西測線水準點位 I088 與連續站 GS44 之時間序列比較 211
圖 5. 43：縣 174_北門至楠西測線水準高程變化圖.....212
圖 5. 44：縣 174_北門至楠西測線水準累積高程差.....213
圖 5. 45：善化至關廟測線水準點位 1157 與連續站 GS29 之時間序列比較.....214
圖 5. 46：台 19 甲_善化至關廟測線水準高程變化圖.....215
圖 5. 47：台 19 甲_善化至關廟測線水準累積高程差.....216
圖 5. 48：新化至玉井測線水準點位 J006 與連續站 GS89 之時間序列比較.....217
圖 5. 49：台 20_新化至玉井測線水準高程變化圖.....218
圖 5. 50：台 20_新化至玉井測線水準累積高程差.....219
圖 5. 51：安平至龍崎測線水準點位 TN04 與連續站 CKSV 之時間序列比較.....221
圖 5. 52：安平至龍崎測線水準高程變化圖.....222
圖 5. 53：安平至龍崎測線水準累積高程差.....223
圖 5. 54：嘉南地區相對於澎湖白沙站（S01R）之垂直方向速度場.....225
圖 5. 55：GNSS 速度場時間序列擬合事件分段 226
圖 5. 56：臺灣地區 2002 至 2025 年 GNSS 水平方向相對於澎湖白沙站（S01R）分段時間速度場圖.....227
圖 5. 57：臺灣地區 2002 至 2025 年垂直方向相對於澎湖白沙站（S01R）分段時間速度場圖 228

表 A：預期進度甘梯圖（Gantt Chart）：計畫進度控制及檢討之依據。
Table A：Gantt Chart of expected progress.

計畫名稱：重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估-第二階段（3/3）														
月次 / 工作項目	第1月	第2月	第3月	第4月	第5月	第6月								備註
期末報告														
GNSS 移動站抽樣檢測與檢核（由臺大工作團隊負責）														
GNSS 移動站資料平差解算與分析（由臺大工作團隊負責）														
精密水準測量資料處理、檢核、解算與分析（由臺大工作團隊負責）														
GNSS 連續觀測站資料處理、解算與分析（由臺大工作團隊負責）														
重要區域地表變形與斷層活動潛勢評估（由臺大與中興社工作團隊負責）														
預定進度（累積數）	20%	40%	60%	80%	90%	100%								

摘要

本計畫彙整並分析全臺大地測量資料，並透過斷層模型之建立整合測量與地質資料，推估臺灣東部地區重要區域鄰近斷層之斷層活動機率，並提供活動斷層地質敏感劃設之參考。本年度之工作區域為東部地區，報告完成之主要工作為：(1) 解算本年度至 2025 年 10 月份，全臺共約 380 個 GNSS 連續站、183 個 GNSS 移動站，以及 6 條精密水準測線主線等觀測資料，進行資料檢核、坐標解算及時間序列分析。再透過與長期觀測資料之彙整分析，獲得東部重要區域之地表水平與垂直速度場。重要區域相對於 S01R 測站之速度場顯示，玉里鎮內人口密集區與臺東市內人口密集區水平位移速度較大，且前者緊鄰池上斷層，跨斷層兩側垂直速度落差明顯；花蓮市及周遭人口密集區則自 2018 年花蓮地震震後垂直速度轉為抬升；(2) 整合過去計畫工作以及近期相關文獻與研究，特別針對米崙斷層與池上斷層之斷層幾何參數進行探討與分析。米崙斷層總長約 8 公里，斷層傾角約為 65°東傾，深度約 10 公里，滑移速率則介於 2.9-8.7 mm/yr 之間。池上斷層總長約 65 公里，斷層傾角 0~20 公里深為 60 度東傾、20~25 公里深為 25 度東傾，滑移速率則介於 16.2-53.5 mm/yr 之間；(3) 本計畫根據經驗式與機率模式推求與繪製斷層活動潛勢圖。米崙斷層與池上斷層均採用 BPT 模式評估，前者得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 4.5%、16.4%及 46.2%。後者得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.7~7.7 之機率為 29.2%、44.2%及 69.8%。

關鍵詞：大地測量、三維速度場、斷層活動機率

Abstract

In this project, we analyzed geodetic data to generate the velocity field near the protected objects in eastern Taiwan. The fault model was adopted to integrate the geodetic observations with geological materials. The working area in this year is the eastern Taiwan. We have completed the following missions: (1) The daily solutions from 380 continuous GNSS stations, 183 campaign-mode GNSS stations, and 6 leveling routes were calculated for the following time series analysis to get the velocity field of eastern Taiwan with respect to station S01R. The velocity fields indicate larger horizontal velocity in densely populated areas of Yuli Township and Taitung City. The former is located adjacent to the Chihshang Fault, where a pronounced vertical velocity contrast is observed across the fault. In contrast, Hualien City and its surrounding densely populated areas have exhibited vertical uplift since the 2018 Hualien earthquake. (2) The fault parameters of the Milun Fault and Chihshang Fault were mainly evaluated based on previous studies. The Milun Fault has an approximate total length of 8 km, an eastward dip of about 65°, a depth of approximately 10 km, and a slip rate ranging from 2.9 to 8.7 mm/yr. The Chihshang Fault extends approximately 65 km in length, with an eastward dip of about 60° at depths of 0-20 km and 25° at depths of 20-25 km, and exhibits slip rates ranging from 16.2 to 53.5 mm/yr. (3) The earthquake potential of each fault was derived through empirical functions and probabilistic model. Both the Milun Fault and the Chihshang Fault were evaluated using the BPT model. For the Milun Fault, the probabilities of earthquakes with moment magnitude ≥ 6.5 occurring within the next 30, 50, and 100 years are estimated to be 4.5%, 16.4%, and 46.2%, respectively. For the Chihshang Fault, the probabilities of earthquakes with moment magnitudes between 6.7 and 7.7 within the next 30, 50, and 100 years are estimated to be 29.2%, 44.2%, and 69.8%, respectively.

KEYWORDS: geodesy, velocity field, earthquake rupture probability

第一章、緒　論

1-1 計畫整體概述

發生於 2011 年 3 月 11 日 M_w 9.0 日本宮城外海地震，提醒我們兩件重要之事情：（1）辨識已知與未知高發震潛勢構造的位置及（2）評估其所蘊含之地震潛能。這些高發震潛勢構造不一定會通過主要城市，然其引發之重大地震卻會對周遭城市造成慘重之災情，因此瞭解活動斷層現今之活動性及分析潛在孕震斷層的潛勢評估是地震與活動斷層危害度評估的重要參考依據。此外，由於臺灣地區都市化程度的日益升高，未來因斷層潛移活動直接導致之建物破壞與經濟損失，以及斷層鎖定所引致的地震災損可能會更為嚴重。故對於活動斷層的加強調查與持續性觀測，與瞭解活動斷層的運動特性與危害度分析就顯得非常急迫與重要。

經濟部地質調查及礦業管理中心（原為經濟部中央地質調查所，以下簡稱地礦中心）於 91-95 年「地震地質調查及活動斷層資料庫建置」計畫中，逐年在臺灣陸上活動斷層帶設置全球導航系統（Global Navigation Satellite System，簡稱 GNSS）觀測網與精密水準測線。於 96-99 年「地震地質與地變動潛勢分析」計畫中，除了逐步累積 GNSS 與精密水準之觀測成果，並開始嘗試各種斷層模型建置之測試，試圖藉由斷層模型來擷取地表變形資訊所顯示之斷層運動特性。在 98-101 年「斷層活動性觀測研究第二階段–斷層監測與潛勢分析研究」與 102-105 年「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」計畫至今，已完成 81 站 GNSS 連續站（表 1.1）、782 站 GNSS 移動站及 43 條精密水準測線（含 30 條長測線及 13 條短測線）之設置（圖 1.1），並藉由高精度的 GNSS 與水準觀測數據分析，瞭解各斷層於震間、同震以及震後的變形型態變化，進一步計算出震間期的斷層滑移速率與同震及震後的斷層面滑移特性。經由過去近十年之大地測量監測資料，已觀測到包含花東縱谷、宜蘭平原及臺灣西南部等數個在臺灣可能存在高發震潛能構造之區域。

另一方面，在 98-101 年之「斷層活動性觀測研究第二階段–斷層監測與潛勢分析研究」計畫中，還針對臺灣 8 條活動斷層（瑞穗斷層、車籠埔斷層、山腳斷層、新城斷層、六甲斷層、木屐寮斷層、池上斷層和小崗山斷層）嘗試進行斷層活動度及地震潛能分析，逐步研究詳細的斷層幾何參數並評估其地震發生機率。在 102-105 年「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，透過蒐集與分析地礦中心及國內既有之 33 條活動斷層資料，並參考日本地震研究推進本計畫及美國加州之經驗方法，將各孕震構造之活動特性予以統計數量化，以製作臺灣地區第一版之斷層活動潛勢圖。然而在此工作中，並未很好的將大地測量監

測資料引用至此斷層活動潛勢分析工作中。

在 106-109 年「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」計畫中，（1）著重在活動斷層模型的建置工作上，利用近十數年來的地表變形觀測結果，同時針對活動斷層及潛在的活動構造，採用三種以上的斷層模型進行參數反演，推估斷層短期滑移虧損率等資訊，並將 102-105 年「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」計畫中所提出的斷層幾何參數進行評估，找出最佳的斷層幾何參數組合結果，並將其結果納入斷層潛勢分析計畫整體評估。此外，（2）由於過去礙於大地測量資料蒐集時間長度之不足，特別是 GNSS 移動站資料，難以對垂直速度場有足夠的解析能力，然而在蒐集近十數年的大地測量監測資料後，此階段計畫也嘗試分析 GNSS 移動站之垂直速度場，並嘗試建立臺灣地區三維地表速度場之時空變化。(3)另外，此階段計畫也利用精密單點定位技術(PPP)發展連續 GNSS 近即時資料解算技術，針對陸地上規模大於 6 的地震事件，在一週內完成連續 GNSS 同震位移場之解算工作。

在 110-111 年「重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估」計畫中，（1）彙整並分析全臺之大地測量資料，進行地表變形強度分布範圍之劃設，同時透過斷層模型之建立整合測量與地質資料，推估臺灣南部地區重要區域鄰近斷層之斷層滑移虧損速率與斷層活動機率分析，並繪製斷層活動潛勢圖，提供活動斷層地質敏感區劃設之參考；(2) 根據斷層幾何參數之探析與斷層滑移虧損速率分布，經由地動預估式與三維斷層錯位模型，推估並繪製旗山斷層、車瓜林斷層、小崗山斷層、新化斷層、口宵里斷層以及後甲里斷層於重要區域之景況地振動與同震位移分布圖。

接續過去歷年來的工作成果，本階段「重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估」計畫將進一步利用大地測量資料產製具體之應用成果，因此本階段的研究目的為計算並繪製斷層活動潛勢分布圖。

表 1. 1：經濟部地質調查及礦業管理中心（GSMMA）建置的 GNSS 連續觀測站列表

Table 1. 1: Continuous GNSS stations installed by GSMMA.

測站代碼	測站名稱	接收起始時間	測站代碼	測站名稱	接收起始時間
GS01	地質調查及礦業管理中心	2002/06/17	GS52	新發國小（2019.12.20 廢站）	2009/12/18
GS02	新竹高工（2015.8.17 廢站）	2004/10/21	GS53	星星兒的家	2009/12/19
GS03	工研院	2004/10/19	GS54	大洲國中（2013.7.12 廢站）	2009/12/15
GS04	大埔美農場（2009.11.11 廢站）	2004/10/16	GS55	舊寮國小	2009/12/11
GS05	半天寮淨水廠	2004/10/21	GS56	瑪家國中	2009/12/14
GS06	民和國中	2004/10/21	GS57	石門國小（2016.12.26 廢站）	2009/12/15
GS07	培英國小（2023.9.22 廢站）	2004/10/21	GS58	高士國小	2009/12/14
GS08	興華國小（2020.3.24 廢站）	2005/08/15	GS59	車城國小射寮分校	2009/12/17
GS09	大鵬國小	2005/08/16	GS60	永港國小	2009/12/18
GS10	竹圍國中	2005/09/06	GS61	梅花國小（已廢站）	2010/10/06
GS11	北投國小	2005/08/15	GS62	新樂國小（2021.10.25 廢站）	2010/09/20
GS12	樂善國小（2018.3.8 廢站）	2005/09/06	GS63	太興國小	2010/09/24
GS13	國光國小	2005/08/16	GS64	里佳國小	2010/09/28
GS14	西門國小	2005/09/13	GS65	茶山國小（2011.7.28 廢站）	2010/10/14
GS15	雙溪國小	2005/09/13	GS66	達邦（2023.11.13 廢站）	2010/09/28
GS16	寶山水庫	2005/09/13	GS67	新美國小	2010/09/28
GS17	太平國小	2005/09/14	GS68	三和國小	2010/12/17
GS18	嘉義農業試所	2005/09/14	GS69	樹林垃圾掩埋場(2023.8.6 廢站）	2011/09/22
GS19	保長國小（2012.5.25 廢站）	2006/07/12	GS70	玉田國小	2011/09/23
GS20	龜山島	2006/08/04	GS71	大隱國小	2011/09/22
GS21	大嘉國小	2006/06/10	GS72	利澤國中	2011/09/22
GS22	快官交流道	2006/06/10	GS73	新光國小	2012/11/02
GS23	五光國小	2006/05/30	GS74	內門國小	2012/11/02
GS24	文祥國小	2006/05/30	GS75	旗美高中	2012/10/31
GS25	寶山國小	2006/05/31	GS76	新興國小	2012/11/02
GS26	名崗國小	2006/05/31	GS77	深水國小	2012/11/14
GS27	彰化農場	2006/05/31	GS78	溪洲國小	2013/10/22
GS28	中崙加壓站	2006/06/17	GS79	中路國小	2013/10/16
GS29	潭頂自來水廠	2006/06/16	GS80	田寮國中	2013/10/16
GS30	大橋國小	2006/06/25	GS81	嘉興國中	2013/10/16
GS31	西勢國小	2006/06/17	GS82	卓蘭實中	2014/12/16
GS32	虎頭埤風景區	2006/06/23	GS83	土城國小	2014/12/22
GS33	永華國小（2022.12.6 廢站）	2006/06/22	GS84	水里國中	2014/12/17
GS34	成大航太試驗場	2006/06/24	GS85	水泉國小龍泉分校	2015/01/08
GS35	南沙崙農場	2006/06/24	GS86	水美國小	2015/09/15
GS36	德化國小	2006/10/21	GS87	水源國小	2015/09/08
GS37	泰安服務區（2019.12.6 廢站）	2006/10/25	GS88	那拔國小	2015/09/14
GS38	清水服務區	2006/10/21	GS89	新化國中	2015/09/14
GS39	龍井國小	2006/10/21	GS90	新埔工作站（2019.7.1 廢站）	2016/09/02
GS40	龍峰國小（2016.11.6 廢站）	2006/10/21	GS91	香山高中	2016/09/02
GS41	竹門國小（2022.12.4 廢站）	2007/11/23	GS92	獅潭國中	2016/09/05
GS42	東原國中	2007/11/23	GS93	七星山	2017/01/03
GS43	果毅國小	2007/11/27	GS94	中湖站	2017/12/20
GS44	六甲國小湖東分校	2007/11/30	GS95	八煙站	2017/12/20
GS45	霧台鄉公所	2009/01/05	GS96	二溪國小	2020/02/06
GS46	來義國小	2009/01/06	GS97	玉井國小	2020/02/06
GS47	台電南展館(2013.7.25 廢站）	2009/01/05	CG01	東華創研	2023/04/20
GS48	警光山莊	2009/04/01	CG02	海星中學	2023/04/18

測站代碼	測站名稱	接收起始時間	測站代碼	測站名稱	接收起始時間
GS49	馬赫坡民宿	2009/03/25	CG03	和平國中	2023/03/01
GS50	蔡宅	2009/04/01	CG04	月眉國小	2023/03/01
GS51	杉林國小	2009/12/18			

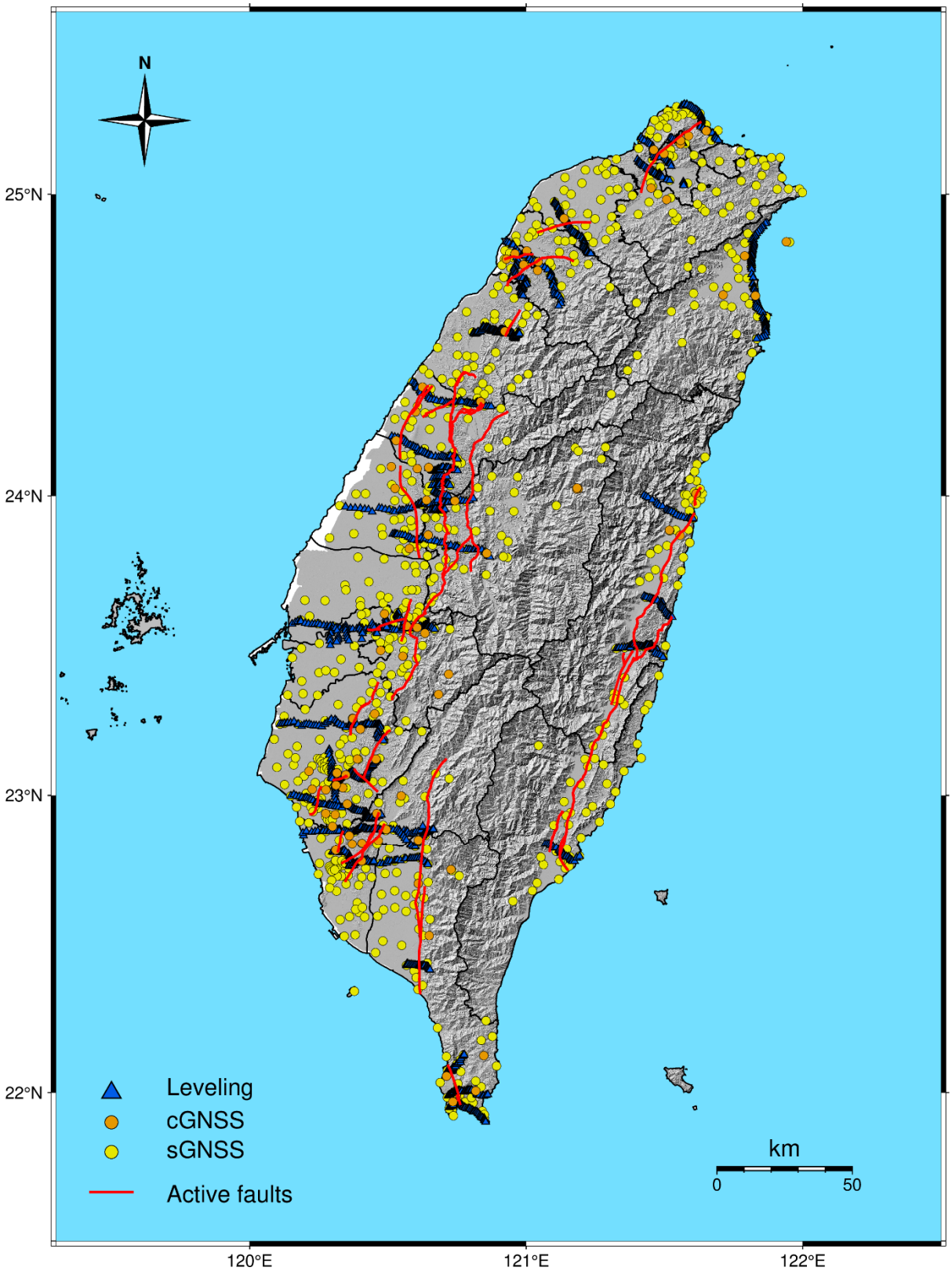


圖 1. 1：經濟部地質調查及礦業管理中心（GSMMA）建立之活動斷層大地測量觀測網。包含 81 站 GNSS 連續站（橘色圓圈）、782 站 GNSS 移動站（黃色圓圈）以及 43 條精密水準測線（藍色三角形）。

Figure 1. 1: GSMMA geodetic network for active fault monitoring, including 81 continuous GNSS stations (orange circle), 782 campaign-mode GNSS stations (yellow circle) and 43 precise leveling routes (blue triangle).

本計畫之目標為，利用大地測量資料整合地質與地球物理測勘成果，解析並綜合判釋重要活動斷層地區之地表變形，並評估其活動潛勢（圖 1.2）。因此，本計畫將致力於處理與整合 GNSS 連續站、GNSS 移動站及精密水準測量所獲得之觀測資料，透過坐標時間序列分析，獲取全臺之水平速度場及垂直速度場等觀測成果。進一步透過文獻回顧，綜合評估主要斷層之斷層幾何參數最佳值與可信區間，並解析不同地質時間尺度下斷層滑移速率的變化與再現週期間的關係，產製斷層活動潛勢圖（圖 1.2），以此作為地質敏感區範圍劃設之參考依據，並提供各重要區域之防災規劃參考。又由於地表變形不僅會受到已知活動構造的影響，過去以為非活動之斷層或是深埋地下未發震的孕震構造，同樣會改變地表變形型態。因此在分析大地測量資料時，同時也需要針對盲斷層的位置與斷層幾何進行推測，此結果對於區域地震災害的評估亦有重要之貢獻。

本計畫預計以 3 年（112 年至 114 年）為工作期程（本年度 114 年為第三年度，表 1. 2）進行全臺之大地測量觀測成果分析，並計算與繪製目標區域之斷層活動潛勢分布圖（圖 1.2）。此外，針對前期計畫「斷層活動性觀測研究第四階段」中，重要之活動斷層與重要區域（表 1. 2、圖 1.3），將進行最新地質調查研究成果資料之持續蒐集，以便分年更新各該區域主要活動斷層的發震潛勢，並搭配既已規劃更新的臺灣活動斷層分布圖，滾動更新增減的活動斷層，以納入斷層潛勢評估之標的。

表 1. 2：112 年至 114 年分年目標與重要區域

Table 1. 2: Objects in 2023 to 2025.

年度	目 標	重要區域
112	北部地區斷層潛勢分析 （包含山腳斷層、湖口斷層、新竹斷層、新城斷層、獅潭斷層、三義斷層、屯子腳斷層等區域）	新竹科學園區、臺北都會區
113	中部地區斷層潛勢分析 （包含大甲斷層、鐵砧山斷層、彰化斷層、車籠埔斷層、大茅埔-雙冬斷層、初鄉斷層等區域）	中部科學園區（臺中園區）、臺中都會區、臺中市精密機械科技創新園區
114	**東部地區斷層潛勢分析 （包含米崙斷層、嶺頂斷層、瑞穗斷層、奇美斷層、玉里斷層、池上斷層、鹿野斷層、利吉斷層等區域）**	**板塊交界地震頻繁之人口密集區，包含花蓮與臺東 2 縣轄市，以及重要城鎮**

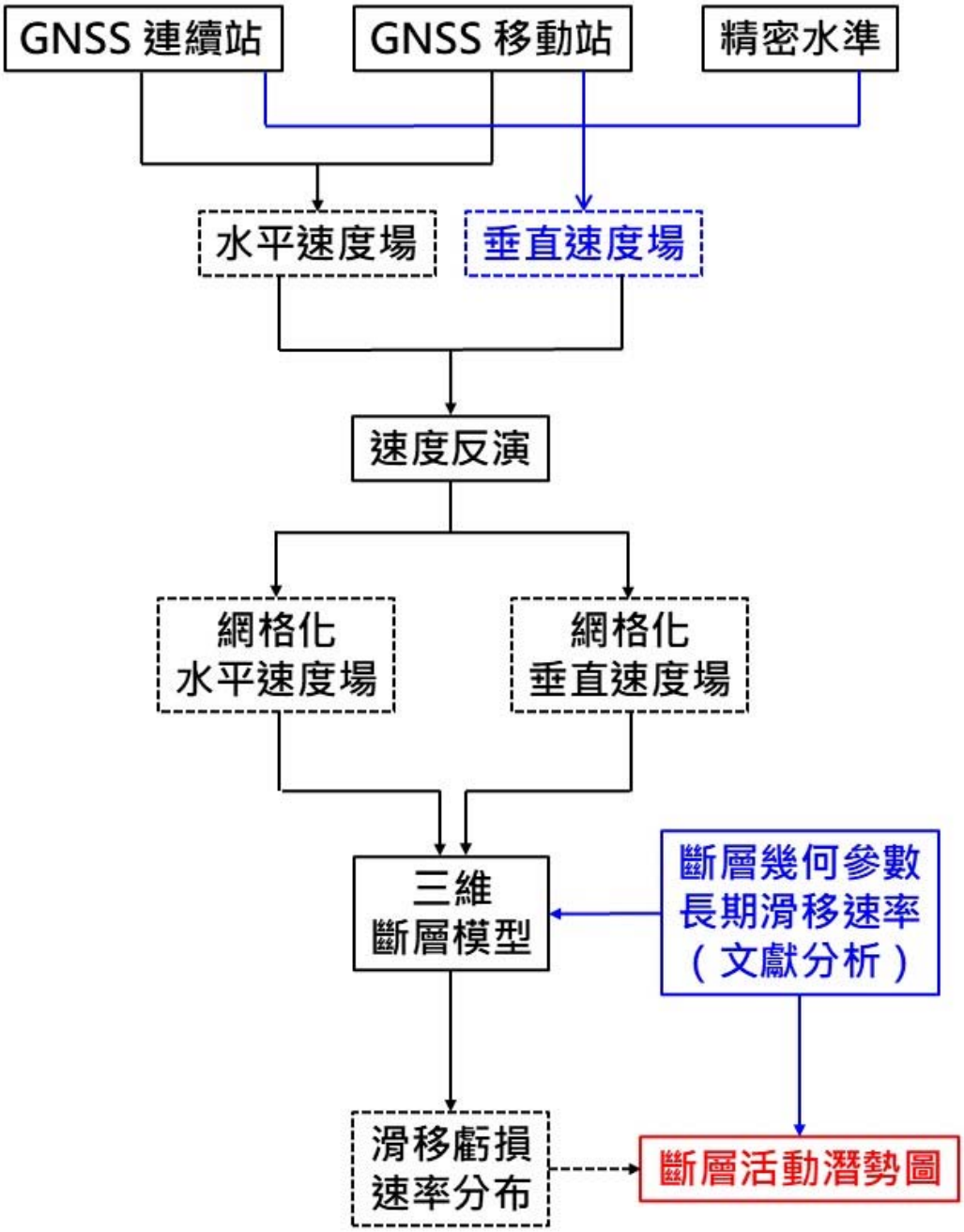


圖 1. 2：計畫執行架構圖

Figure 1. 2: Framework of the project.

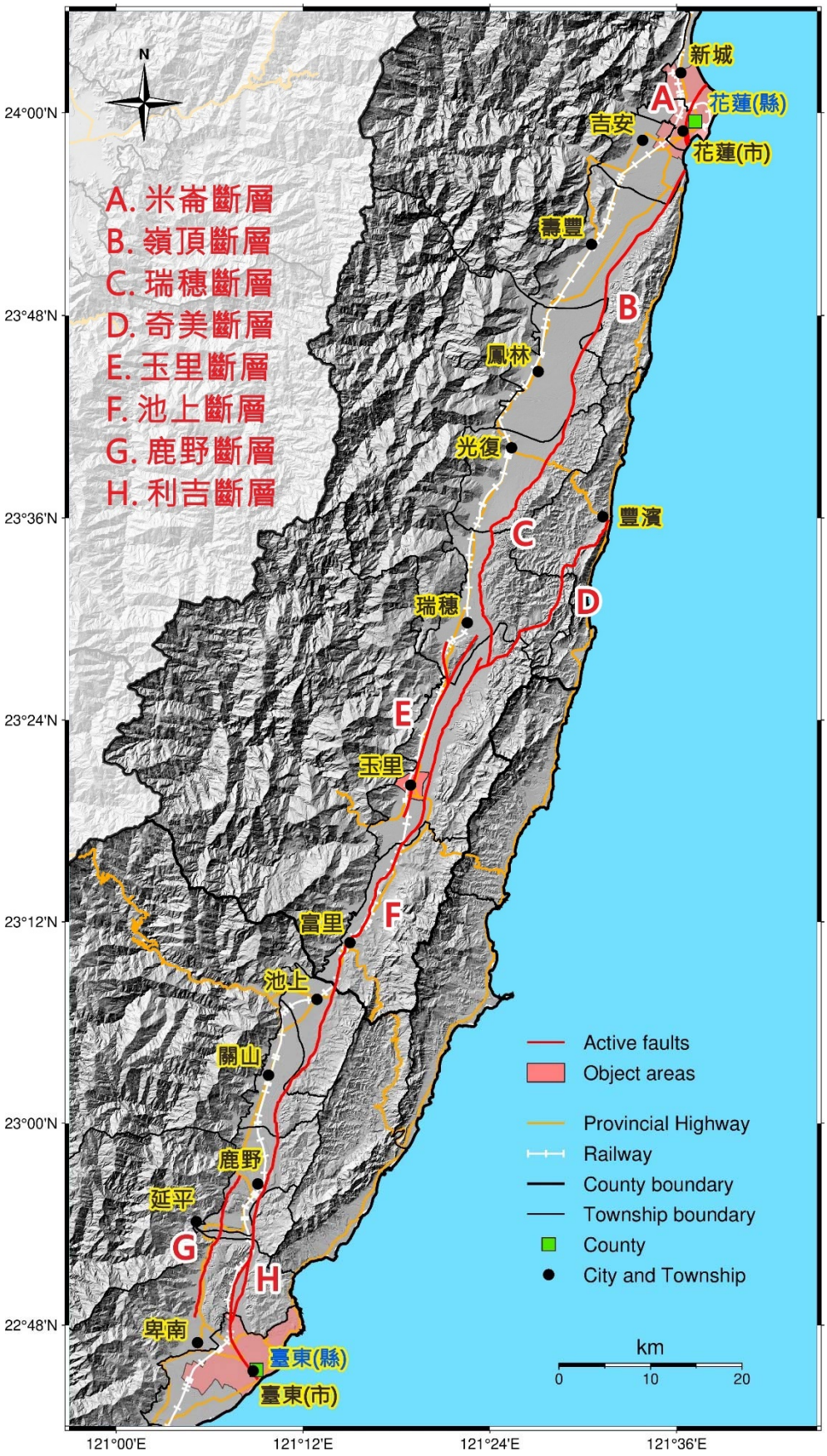


圖 1. 3：114 年度目標活動斷層與重要區域。

Figure 1. 3: Active faults and object areas of 2025.

執行策略上，除常規的大地測量資料檢核外，將於規劃的 3 年期程中，分別於北部、中部與東部 3 個目標區域中，根據重要區域挑選主要的活動斷層或活動構造，整合最新之地質地物調查研究成果資料，利用大地測量成果與數值模擬方式來進行詳細之斷層活動性分析。並彙整此步驟之成果，以進一步推估活動斷層潛勢分布圖，作為地質敏感區範圍繪製之重要參考依據（圖 1.2）。

1-2 研究目的

本計畫之研究目的為：透過文獻回顧，綜合評估主要斷層之斷層幾何參數最佳值與可信區間，並解析不同地質時間尺度下斷層滑移速率的變化與再現週期間的關係，產製斷層活動潛勢圖。

1-3 本年度工作概述

本年度為 112-114 年「重要活動斷層地區地表變形觀測與斷層潛勢評估–第二階段」之第三年，本年度之計畫分析目標，將著重於包含米崙斷層、嶺頂斷層、瑞穗斷層、奇美斷層、玉里斷層、池上斷層、鹿野斷層、利吉斷層，共 8 條活動斷層之臺灣東部地區（圖 1.3）。本年度之重要區域條件為板塊交界地震頻繁之人口密集區以及重要城鎮，主要包含以下三處區域：花蓮市及周遭人口密集區（包含花蓮市、新城鄉與吉安鄉所轄之部分村里）、玉里鎮內人口密集區（玉里鎮轄區內部分村里）、臺東市內人口密集區（臺東市轄區內部分村里）（表 1.2、圖 1.3），其中，「米崙斷層」與「池上斷層」是 2 條鄰近本年度重要區域，相當重要之活動斷層，因此本年度的計畫將著重於分析這 2 條斷層之斷層幾何參數與其活動性。以下將概述這 2 條斷層之地質背景。

1. 米崙斷層

米崙斷層，約呈南北走向，北起花蓮縣新城鄉七星潭海岸，向西南沿著美崙臺地西側崖坡延伸至美崙山西側後，轉往南南東延伸至花蓮市區，南迄花蓮市南濱海岸，陸地上全長約 8 公里（圖 1.3），為一左移兼具逆衝分量的斷層（林啟文等，2009；經濟部中央地質調查所，2016；2020）。

根據歷史地震紀錄，1951 年 10 月 22 日 5 時 34 分及 11 時 29 分花蓮外海分別發生規模 Ms 7.3 及 Ms 7.1 的地震（臺灣省氣象所，1952；Cheng et al., 1996），以及 2018 年 2 月 6 日 23 時 50 分 M_L 6.2 的花蓮地震，均造成米崙斷層地表破裂（地震斷層）（徐鐵良，1955；經濟部中央地質調查所，2018），地礦中心將米崙斷層列為第一類活動斷層（林啟文等，2009）。1951 年地震的斷層破裂帶通過花蓮市區，走向為北東 40-70°，南側具有 3 段地表破裂跡。斷層線以東抬升並向北移動，以西降側有斷層池，最大水平位移為 2 公尺，垂直位移為 1.2 公尺，（楊蔭清，1953；徐鐵良，1955；1956；林朝棨，1962）。劉啟清（1988）分析 1951 年花蓮地震的抬

升現象可延伸至海岸，造成花蓮港水位線下降 60 公分，推測整個米崙臺地可能都受到地震的影響顯著抬升。2018 年地震斷層兩側產生相對位移與變形，呈現左移運動（陳柏村等，2018），由干涉合成孔徑雷達（InSAR, Interferometric Synthetic Aperture Rader）與全球定位系統（GPS, Global Positioning System）資料，米崙斷層沿線出現左移及逆移的同震位移（Yen et al., 2019），衛星影像分析顯示通過米崙斷層有左移現象（Kuo et al., 2018）。

由米崙臺地（海階）珊瑚礁年代（2,620-2,300 yr BP）與海拔高度估算，斷層東側上盤的長期抬升速率約 5 mm/yr（Yamaguchi and Ota, 2004），水平錯移速率尚無法估算。余水倍等根據大地觀測資料估算之短期抬升速率約 4.4±3.3 mm/yr，水平錯移速率 8.5±3.0 mm/yr（Yu et al., 1990）。

2. 池上斷層

池上斷層，北起花蓮縣玉里鎮春日里，南迄臺東縣瑞隆村（坪頂山階地），全長約 67 公里（林啟文等，2012）。為縱谷斷層系統之一部分，往北連接瑞穗斷層，往南則連接利吉斷層（圖 1. 3），為一兼具左移分量之逆移斷層（經濟部中央地質調查所，2014）。斷層上盤為利吉層，下盤為更新世以來的階地堆積層與沖積層（林啟文等，2009）。根據歷史地震、GPS、強地動等資料，池上斷層地下的斷層面傾角依深度的改變而有所不同，近地表斷層傾角約為 60 度，深部（>18 公里）傾角約 45 度（Wu et al., 2006；Lee et al., 2006）。斷層沿線常有斷層崖、撓曲階地與壓力脊等新期構造產生的地形（陳文山，2016）。

池上斷層的震間活動行為屬於潛移式（creeping），大地觀測資料顯示斷層的短期水平潛移速率，於玉里大橋為 23.8 mm/yr，池上鄉為 26.4 mm/yr，瑞源村為 22.9 mm/yr（方位角 282°-285°；Yu and Kuo, 2001）。在古地震與長期滑移速率方面，陳文山等（2005；2006）在池上斷層沿線進行許多槽溝開挖工作。整合數個槽溝的調查結果，池上斷層於池上地區在過去 800 年以來至少有 5 次地震事件造成沉積層錯移，每次事件造成沉積層垂直位移數十公分，最大位移量約 60 公分，如此小規模的同震變形量應可能與斷層的潛移行為有關，或為震後產生的地表變形，推估斷層的活動周期約 50-160 年。又，陳文山等（2008）藉由鑽探與階地定年資料推估池上斷層長期抬升速率約為 23.5-27.0 mm/yr。另外，若以池上斷層近地表斷層傾角約 65°估算沿斷層面的淨滑移速率，為 26-30 mm/yr。

在歷史地震方面，1951 年 11 月 25 日臺灣東部發生強震（臺灣省氣象所，1952），造成與縱谷平行的地表破裂，東側抬升並略向北移動，池上斷層沿線的地表破裂跡分布於麻汝、東里、東竹村、新興村及富里國小，以及池上鄉慶豐村、錦園村至鹿野鄉巒山村。徐鐵良（Hsu, 1962）

認為池上斷層為 1951 年 11 月 25 日的地震斷層。2003 年 12 月 10 日於臺東成功西方 3 公里處發生芮氏規模 6.4 之地震，造成之地表破裂主要集中於池上斷層南段。同震地表破裂出露於瑞和附近的卑南大溪河床上具有多種形式。垂直位移可逾 30 公分，此等同震地表破裂多具線形，呈雁行或多重階狀排列，寬達數百公尺，長逾 2 公里，平行於池上斷層線，呈現同震地表破裂確切出露的位置（朱傚祖等，2004）。劉政等（2007）分析 2003 年 12 月 10 日成功地震前後的水準測量結果，顯示該次地震的同震垂直位移為 10.8 公分。胡植慶等（Hu et al., 2007）由強震站與 GPS 分析該次地震顯示，震央為 23.106°N、121.34°E，震源深度 16 公里（再定位為 25 公里深），由於震央分布顯示斷層帶呈弧形，在地下淺部（深度小於 10 公里）傾角為 60-70°、深度 20-30 公里的傾角為 40-50°，斷層機制為逆移斷層；由 GPS 資料顯示，同震最大水平位移為 4.5 公分，震央地區最大水平位移為 12.6 公分，垂直位移 26.3 公分。2022 年 9 月 17-18 於花東地區發生芮氏規模 6.4 與 6.8 強震，震央位於關山與池上，池上斷層沿線也有出現顯著地表破裂，破裂形式具左移兼具逆移分量（陳盈璇與劉彥求，2022；李忠勳，2022；梁勝雄等，2022）。基於 1951 年臺東地震與 2003 年成功地震皆有在斷層沿線部分地區造成地表破裂，可能與斷層活動有關；且斷層具有持續的潛移活動現象，地礦中心已將本斷層劃設為活動斷層地質敏感區（經濟部中央地質調查所，2014）。

本年度（114 年，第三年）為延續 112 年度（第一年）的研究計畫案，主要之工作項目為：（1）GNSS 移動站抽樣檢測與檢核、（2）GNSS 移動站資料平差解算與分析、（3）精密水準測量資料處理、檢核、解算與分析、（4）GNSS 連續觀測站資料處理、解算與分析、（5）重要區域地表變形與斷層活動潛勢評估（包含：水平與垂直速度場圖、斷層活動潛勢圖）。

整合上述工作項目，本年度之主要工作重點內容則為（1）大地測量資料之整合運用與分析：本計畫將彙整近十數年之 GNSS 連續站、GNSS 移動站以及精密水準測量等長期觀測資料，進行資料檢核、坐標解算及時間序列分析，提升觀測成果精度與解析力，以獲得包含地表水平與垂直分量之三維速度場；（2）最佳斷層幾何參數搜尋與斷層活動潛勢推求：整合上一期計畫「斷層活動性觀測研究第四階段」工作以及近期相關文獻與研究，進行斷層幾何參數探討與分析，並藉由三維斷層模型進行速度場反演，推求斷層滑移虧損速率，並進一步計算斷層活動機率與繪製斷層活動潛勢圖（圖 1.2）。前述之工作重點可細分如下：

1. 測量外業檢測與檢核部分

(1) 在測量外業檢測部分，本年度因時程規劃，資料檢核月份為 7 至 10 月，檢核作業須配合 GNSS 移動站施測時程。由於 GNSS 移動站測量自 7 月份為高屏（含橋頭）地區、8 月份為中部地區、9 月份為花東地區、10 月份為宜蘭地區（表 1.3、圖 1.4），因此本計畫將在以上 4 分區實際觀測時間之後，每區抽樣至少 2 站以上之 GNSS 移動站數量進行檢測。

(2) 在測量外業檢核部分，本計畫將針對 GNSS 移動站測量成果與抽測結果進行基線差檢核（表 1.3、圖 1.4），同時針對精密水準測量成果之閉合差進行檢核（表 1.4、圖 1.5）。

表 1.3：GNSS 移動站預計施測與檢測時間表

Table 1.3: Schedule of campaign-mode GNSS surveying and validation.

預計施測月份	預計檢測月份	地區	測站數量
2 月 （0121 大埔地震）	X*	嘉南（含臺南）地區	121
3 月	X*	臺北地區	62
4 月	X*	恆春半島地區	20
5 月	X*	桃竹苗地區	53
7 月	7 月	高屏（含橋頭）地區	82
8 月	8 月	中部地區	95
9 月	9 月	花東地區	62
10 月	10 月	宜蘭地區	23

註 1：GNSS 移動站預計施測與檢測時間表之「*」字號為非屬計畫執行期間，因此無法進行檢測。

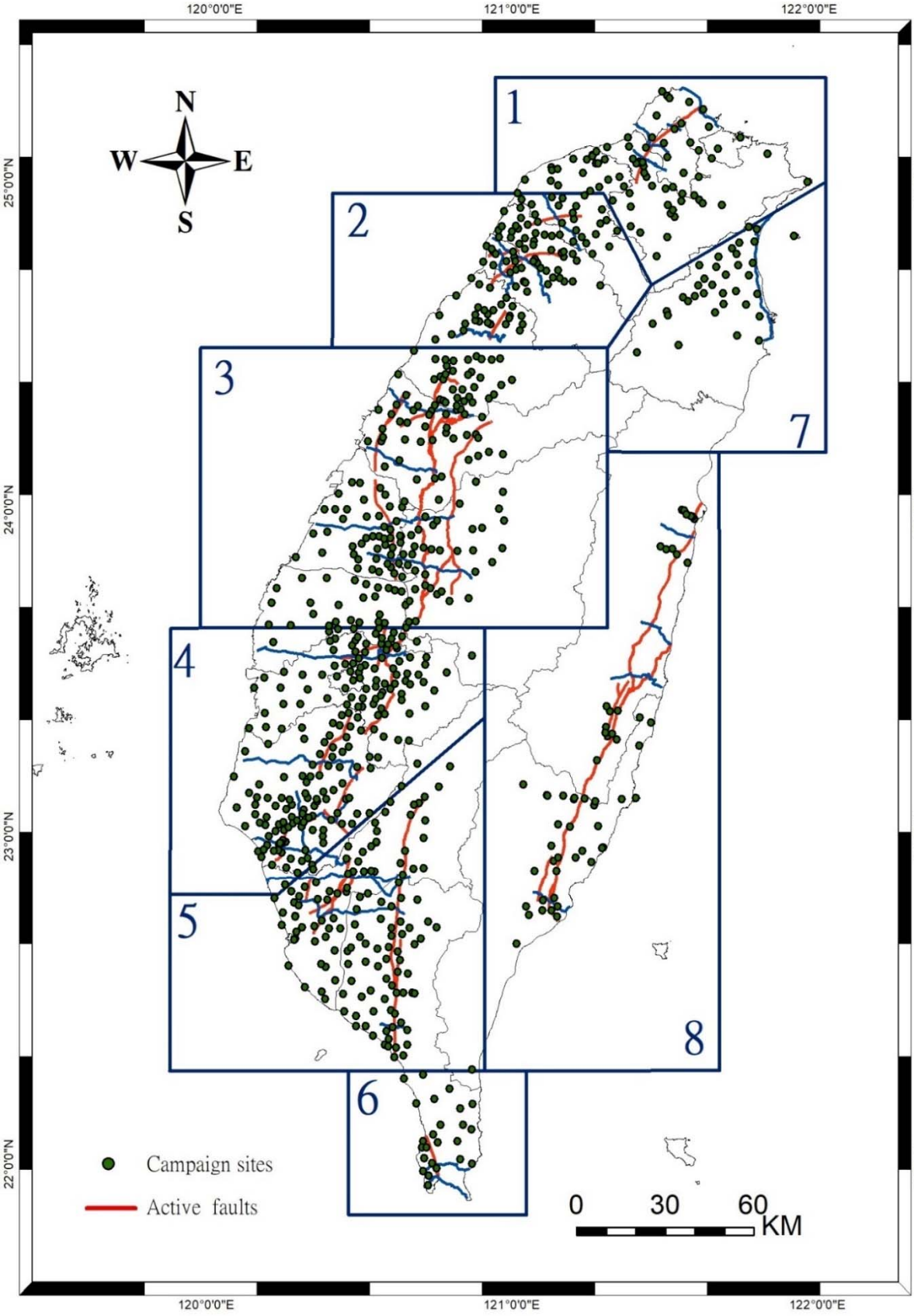


圖 1. 4：GNSS 移動站觀測分區圖。綠色圓圈為移動站，藍色框為移動站分區。

Figure 1. 4: Distribution and sections of campaign-mode GNSS stations. Green circles are campaign-mode GNSS stations and blue rectangles are sections.

表 1. 4：精密水準測線預計施測時間表

Table 1. 4: Schedule of leveling surveying.

測線編號	測線名稱	測線長度（km）		預計施測時間
		山區	平地	
1	石門–萬里測線	0	23	原訂 114 年不施測，進行補測
2	士林–三芝測線	8	2	9 月
3	淡水–士林測線	2	19	9 月
4	五股–臺北測線	1	17	原訂 114 年不施測，進行補測
5	信義測線	0	2	114 年未施測*
6	新屋–童話世界測線	11	21	7 月
7	新竹–五峰測線	2	40	6 月
8	新竹–峨眉測線	5	22	6 月
9	苗栗–南庄測線	27	16	原訂 114 年不施測，進行補測
10	大安–東勢測線	5	40	3 月
11	龍井–太平測線	7	29	7 月
12	五光–黃竹測線	1	15	原訂 114 年不施測，進行補測
13	曾厝–霧峰測線	0	6	114 年未施測*
14	北勢–峰谷測線	0	9	114 年未施測*
15	烏溪南岸測線	0	6	114 年未施測*
16	草屯–埔里測線	0	16	3 月
17	王功–草屯測線	6	42	3 月
18	中興新村測線	0	7	114 年未施測*
19	北斗–水里測線	6	40	3 月
20	金湖–瑞峰測線	39	53	2 月（0121 大埔地震）**
21	B003－B092 測線	0	7	114 年未施測*
22	B036－B086 測線	0	5	114 年未施測*
23	B087－B080 測線	0	6	114 年未施測*
24	B002－B059 測線	0	6	114 年未施測*
25	B110－B101 測線	0	4	114 年未施測*
26	B037－B095 測線	0	5	114 年未施測*
27	G088－G330 測線	0	6	114 年未施測*
28	北門–楠西測線	10	51	2 月（0121 大埔地震）**
29	善化–關廟測線	0	26	2 月（0121 大埔地震）**
30	安平–龍崎測線	6	46	2 月（0121 大埔地震）**
31	路竹–茂林主線	8	47	2 月
32	路竹–茂林副線	2	19	2 月
33	岡山–安坡測線	3	51	5 月
34	佳冬–七佳測線	5	7	原訂 114 年不施測，進行補測
35	恆春西臺地–佳樂水	2	18	4 月
38	嶺頂–龍澗測線	0	15	原訂 114 年不施測，進行補測
39	光復–豐濱測線	9	13	10 月
40	紅葉–靜浦測線	16	17	原訂 114 年不施測，進行補測
41	東成–富岡測線	9	17	原訂 114 年不施測，進行補測
42	梗枋–東澳測線	9	50	114 年未施測
43	玉井–新化測線	1	25	2 月（0121 大埔地震）**
44	南樹林–鵝鑾鼻測線	2	17	4 月

測線編號	測線名稱	測線長度（km）		預計施測時間
		山區	平地	
45	車城–牡丹測線	0	13	4 月

註 1：精密水準測線預計施測時間表之「*」字號為四年施測一次之短測線。
註 2：精密水準測線預計施測時間表之「**」字號為因應 0121 大埔地震提早至 2 月施測之測線。

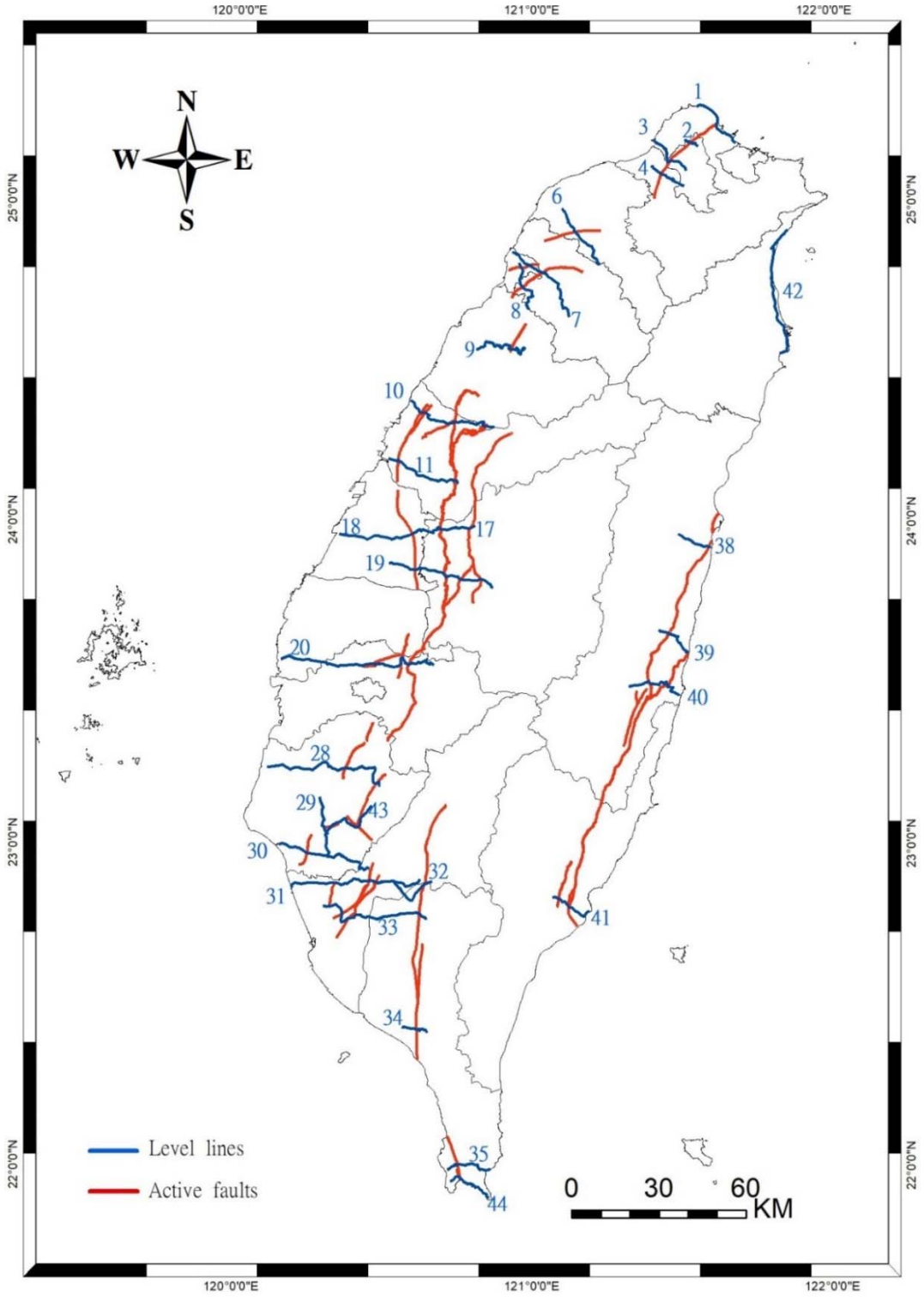


圖 1. 5：精密水準測線分布圖

Figure 1. 5: Distribution of leveling routes.

2. GNSS 連續站資料處理、解算與分析

處理地礦中心設置及與其它單位交換之 GNSS 連續站資料（視實際交換所得資料而定），進行資料檢核、坐標解算及時序分析，獲得地表水平與垂直速度場。

3. GNSS 移動站及精密水準測量成果解算分析

完成全臺 GNSS 移動站（共 8 測區，詳見表 1.3、圖 1.4）與精密水準（共 43 條測線，詳見表 1.4、圖 1.5）資料之時序分析（依本年度實際有施測，且需求說明書、契約書有載明之部分進行成果解算與分析），由連續 GNSS 坐標時間序列判斷地震同震變形、震後變形及其他擾動所造成地表變形之時間，確認各時期之 GNSS 移動站速度場及精密水準測量是否受相同影響，提供全臺不同時期之加密水平與垂直速度場。

本年度因時程規劃，僅針對重要區域（東部地區）以及發生大地震（1 月 21 日嘉義大埔地震）之嘉南地區進行資料解算與分析工作。

4. 斷層幾何參數分析

(1) 彙整「斷層活動性觀測研究第四階段」計畫之成果與相關文獻，進行東部地區主要斷層之幾何參數分析。

5. 重要區域鄰近區域地表變形與斷層活動潛勢評估

(1) 整合斷層幾何參數與斷層滑移虧損速率進行分析，評估東部地區重要區域鄰近區域之斷層活動機率。

第二章、東部地區大地測量資料分析與重要區域三維速度場

2-1 花東地區 GNSS 觀測網

本節針對今年已完成測量之花東地區（圖 2.1）觀測資料進行分析，已完成 GNSS 移動站共 62 個站點施測與分析。透過高時間解析度之 GNSS 連續站每日解算成果資料，可以顯示出測站周圍區域地表運動型態，也就是透過分析 GNSS 連續站資料，取得最可靠之速度場。移動站監測網之設置資料在完成解算後、進行速度場分析前，為檢核速度解算成果之可靠度，本計畫以相隔距離小於 2 公里為原則，選定站點並比較移動站與該地區連續站解算結果的坐標時間序列。

本計畫挑出 2 組 GNSS 移動站與連續站位置相近的測站進行時間序列結果比較（圖 2.2、圖 2.3）。這 2 組測站對分別為 GNSS 移動站 GE57 及連續站 FLNM（圖 2.2）與 GNSS 移動站 GA11 及連續站 KNKO（圖 2.3），藉由移動站與該地區連續站解算結果之坐標時間序列比對可知，移動站與連續站解算成果速度場分布趨勢吻合。

花東地區各觀測點位之速度場如圖 2.4 和圖 2.5 所示，2013 年的瑞穗地震、2018 年的花連地震、2022 年的關山−池上地震與 2024 年的花連地震，改變了本地區速度場。因此在估算臺灣花東地區速度場時，本研究將速度場區分為：2002-2013 年、2013-2018 年、2018-2022 年、2022-2024 年以及 2024-2025 年 5 個時間段來分別估算速度場。

本區水平速度場位移方向為北偏西，每年平均位移速度約 3~4 公分，縱谷斷層以東的海岸山脈地區具顯著之位移量（圖 2.4）。其中，2002 至 2013 年水平速度量值介於 5.7~85.9 mm/yr 之間、2013 至 2018 年速度量值為 9.2~84.3 mm/yr、2018 至 2022 年速度量值為 1.4~83.8 mm/yr、2022 至 2024 年速度量值為 0.5~112.0 mm/yr、2024 至 2025 年速度量值為 1.6~103.8 mm/yr。

垂直速度場方面（圖 2.5），在 2013 年瑞穗地震震前，縱谷斷層以東之海岸山脈南段區域顯著抬升、北段顯著沉降，跨縱谷斷層南段（池上斷層、利吉斷層）的兩側有不同的運動方向，東側約有 5~10 mm/yr 的抬升速度，西側則約為 -5~ -10 mm/yr 的沉降速度。2018 年花蓮地震震後，鄰近花蓮市的海岸山脈北端區域，垂直速度顯著轉為抬升，海岸山脈中段區域則維持沉降。2013 年瑞穗地震、2018 年花蓮地震、2022 年關山−池上地震震後，鄰近震央的中央山脈區域垂直速度也顯著轉為抬升。

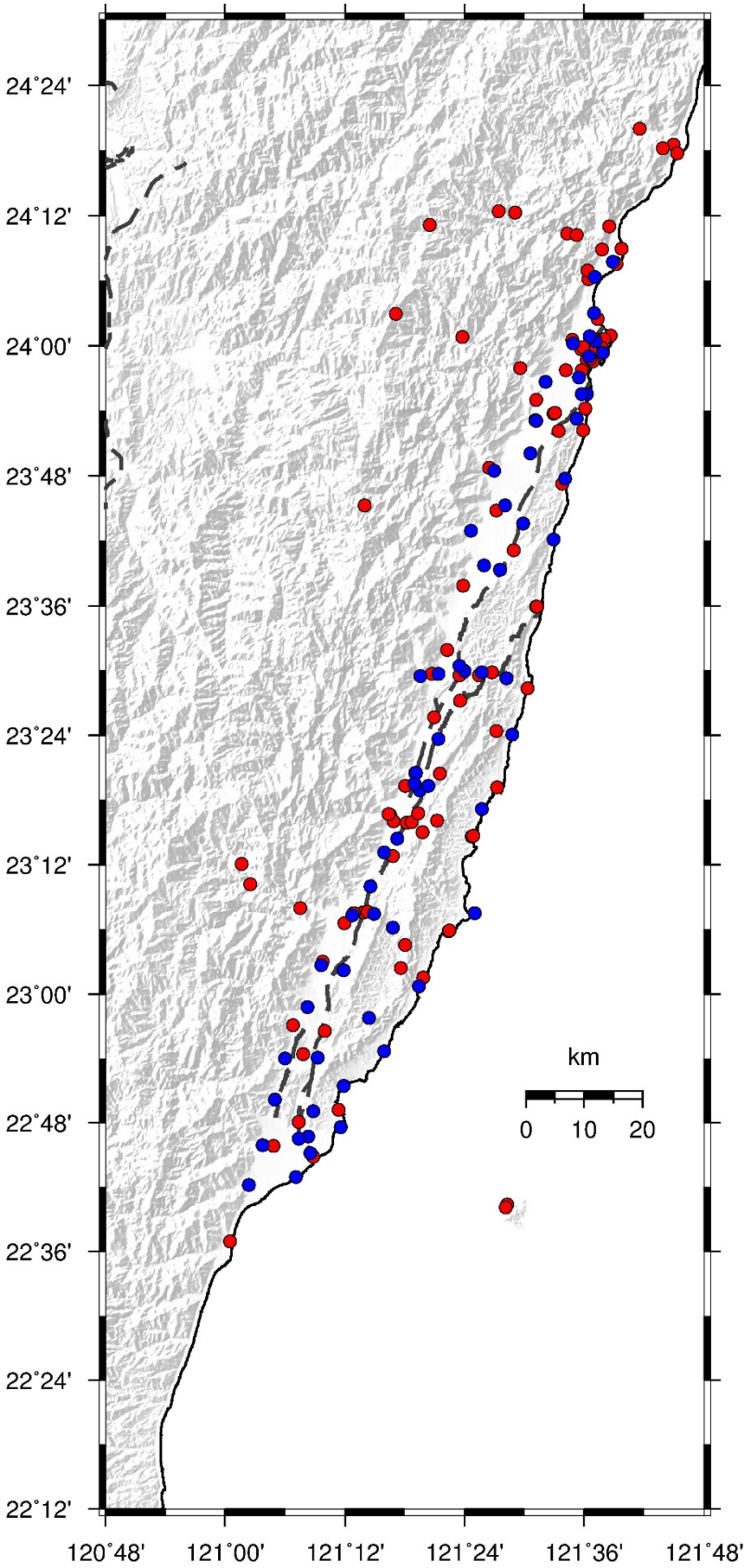


圖 2. 1：花東地區 GNSS 連續及移動測站分布情形，紅色圓形為連續站，藍色圓形則為移動站。

Figure 2. 1: GNSS distribution in Hualien and Taitung areas. Red circles are continuous GNSS stations and blue circles are campaign-mode GNSS stations.

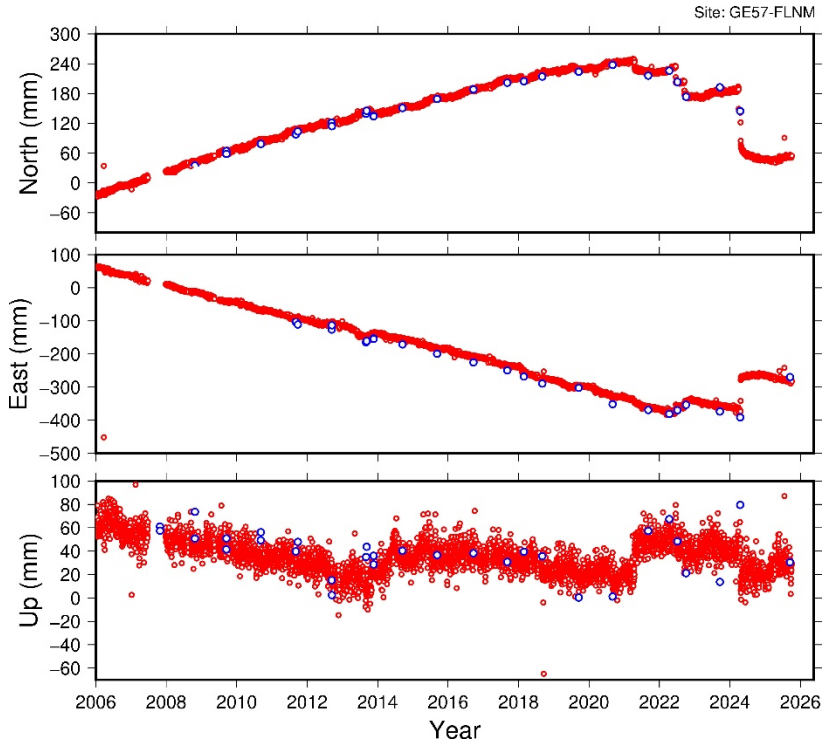


圖 2.2：移動站 GE57 與連續站 FLNM 之時間序列比較。藍色圓圈為移動站之時間序列，紅色圓圈為連續站之時間序列。

Figure 2. 2: Time series comparison between campaign-mode GNSS station GE57 (blue circles) and continuous GNSS station FLNM (red circles).

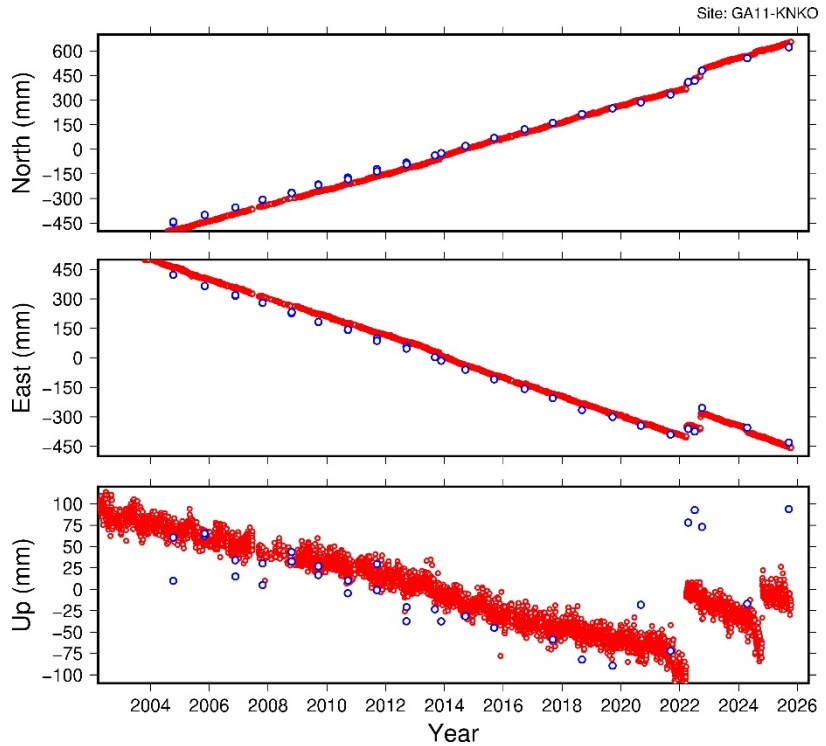


圖 2.3：移動站 GA11 與連續站 KNKO 之時間序列比較。藍色圓圈為移動站之時間序列，紅色圓圈為連續站之時間序列。

Figure 2. 3: Time series comparison between campaign-mode GNSS station GA11 (blue circles) and continuous GNSS station KNKO (red circles).

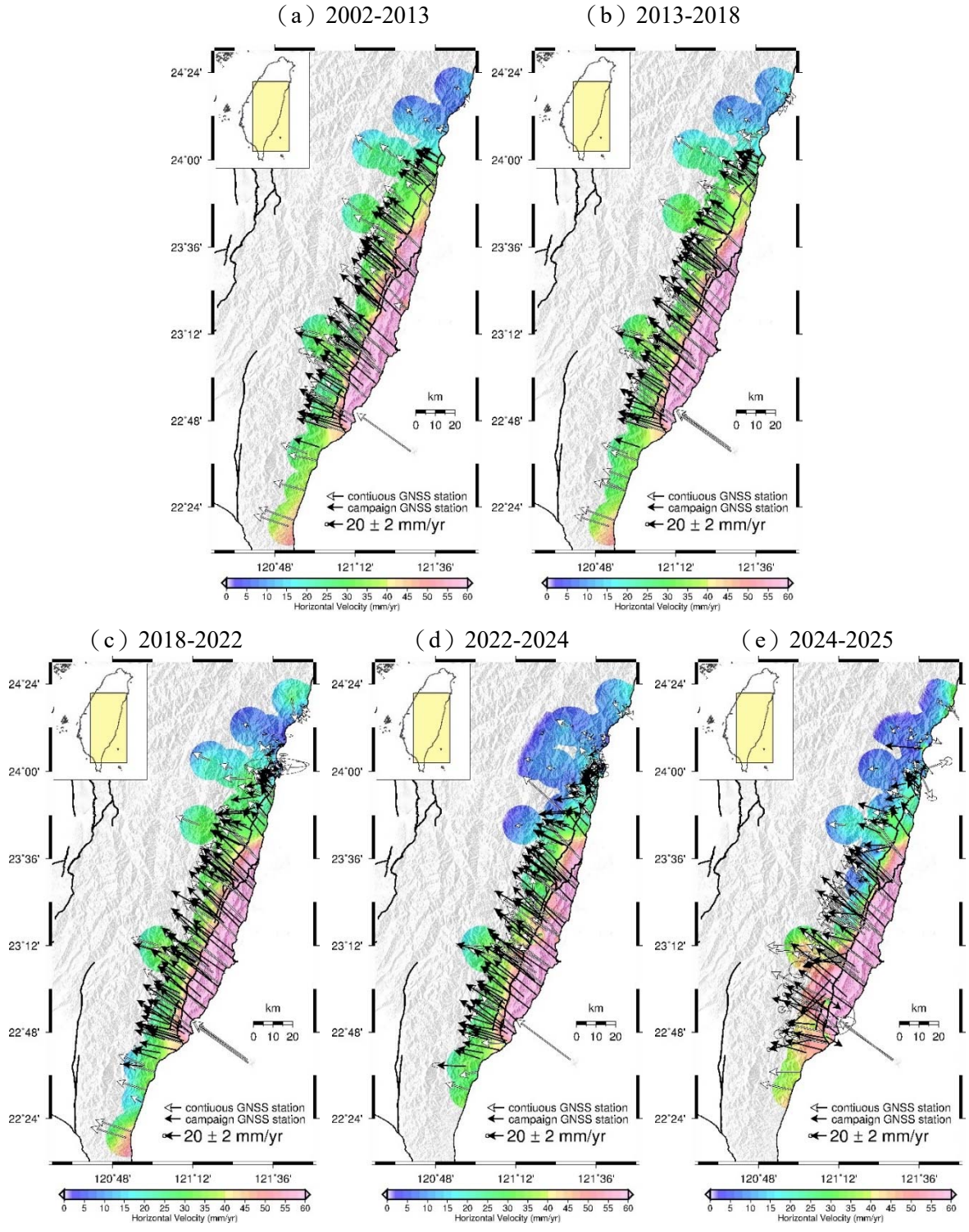


圖 2.4：花東地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場。(a) 2002-2013 年速度場，(b) 震後 2013-2018 年速度場，(c) 震後 2018-2022 年速度場，(d) 震後 2022-2024 年速度場，(e) 震後 2024-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之水平方向速度場分布。黑色箭號為 GNSS 移動站速度場，白色箭號為 GNSS 連續站速度場。

Figure 2. 4: GNSS horizontal velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Hualien and Taitung areas. (a) is the velocity field from 2002-2013, (b) is from 2013-2018, (c) is from 2018-2022, (d) is from 2022-2024 and (e) is from 2024-2025. The color ramp represents the horizontal velocity. Black arrows denote the campaign-mode GNSS velocities and the white arrows are continuous GNSS velocities.

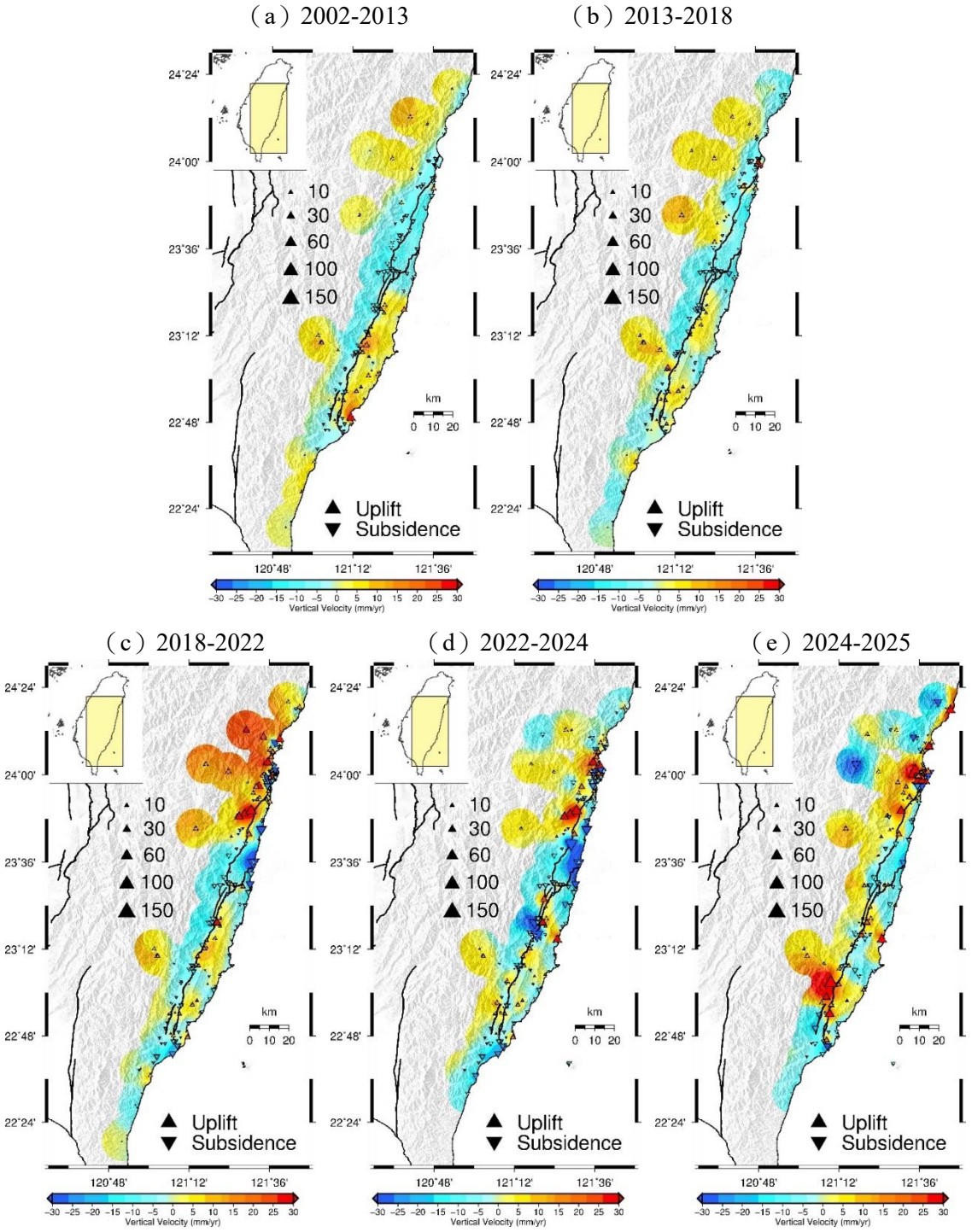


圖 2. 5：花東地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場。(a) 2002-2013 年速度場，(b) 震後 2013-2018 年速度場，(c) 震後 2018-2022 年速度場，(d) 震後 2022-2024 年速度場，(e) 震後 2024-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速度，冷色系表示沉降速度。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示 GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。

Figure 2. 5: GNSS vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Hualien and Taitung areas. (a) is the velocity field from 2002-2013, (b) is from 2013-2018, (c) is from 2018-2022, (d) is from 2022-2024 and (e) is from 2024-2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Campaign-mode GNSS is shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame.

2-2 東部地區精密水準測線

2-2-1 光復至豐濱測線

光復至豐濱測線（水準測線編號 39）橫跨瑞穗斷層與奇美斷層（圖 2.7），測線長 12.7 公里（投影至剖面的長度）。本測線自 2004 年起至 2025 年間共計有 24 次施測，其中 2013 年因為瑞穗地震，故在當年 10、11 月連續進行施測；又 2022 年因為光復地震，故在當年 4、7 月連續進行施測。測量點位與 2024 年相比，經查證後已確認測量樁點 X004（光復節點）、A096（馬太鞍橋）滅失，無法繼續觀測。各年度之水準施測成果，以累積高程差展示於圖 2.8，即從觀測期間的第 2 年開始，以相鄰兩年之高程差值進行累加，以圖 2.8 中 2025 年的線段為例，代表自觀測起始開始累加至 2024-2025 年之間的高程差值；2024 年則代表累加至 2023-2024 年之間的高程差值，以此類推。

本測線受 2013 年 10 月 31 日 M_L 6.4 的瑞穗地震影響，因此分別使用 GNSS 連續站 FONB（豐濱）之 2013 年地震前垂直速率（-9.252 mm/yr），以及 2013 年至今之垂直速率（-8.525 mm/yr）作為約制，自 2004 年以來校正 G991（豐濱國小）相對於 GNSS 測站 S01R 之垂直速度（圖 2.6），兩站點相距 0.15 公里。各時期之水準分段垂直速度呈現分為（圖 2.7）：綠色為 2004 年 11 月至 2013 年瑞穗地震期間之垂直速度、藍色為 2013 年瑞穗地震至 2025 年 10 月之垂直速度。

光復−豐濱測線在奇美斷層以西之地表高程變化與垂直速度趨勢一致，呈中間高起兩側降低，整段測線速度值介於 -21.6~10.9 mm/yr 之間（圖 2.7）。在 2013 年瑞穗地震前此測線以沉陷為主，震後在瑞穗斷層以東之海岸山脈西段區域垂直速度轉為抬升，東段則維持沉降。跨奇美斷層兩側約有 5 mm/yr 的速度落差，跨瑞穗斷層則無顯著落差。此外，圖 2.8 累積高程差圖也顯示，從花東縱谷向東跨瑞穗斷層到海岸山脈西段區域有較大的累積抬升趨勢，反映本區受 2022 年 6 月 20 日 M_L 6.0 的光復地震影響，有明顯的同震抬升。

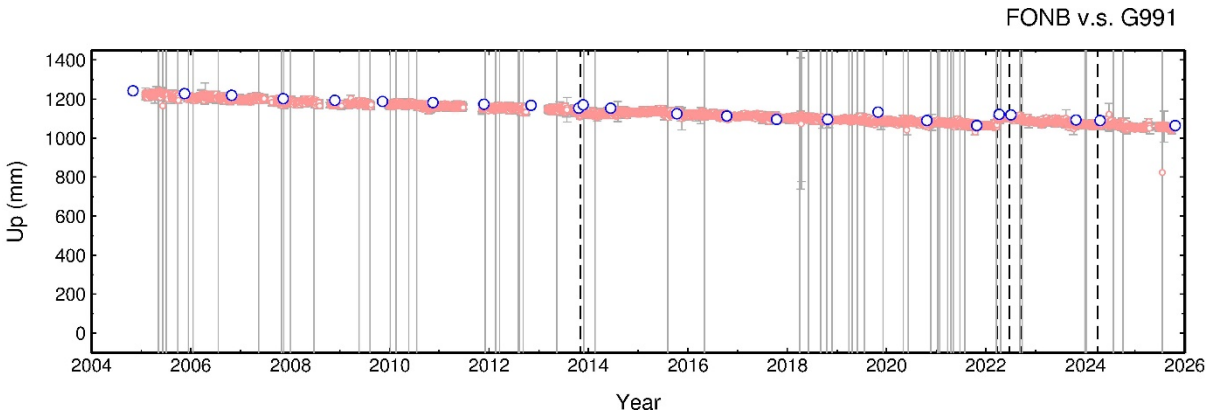


圖 2. 6：光復至豐濱測線水準點位 G991 與連續站 FONB 之時間序列比較，兩者相距 0.15 公里。左側虛線為 2013 年 10 月 31 日瑞穗地震，中間為 2022 年 3 月 23 日長濱地震、2022 年 6 月 20 日光復地震、2022 年 9 月 17-18 日關山-池上地震，右側為 2024 年 4 月 3 日花蓮地震。

Figure 2. 6: Time series comparison between Guangfu-Fengbin leveling bench mark G991 and continuous GNSS station FONB. The distance between two stations are 0.15 km. The left dashed line is the October 31th 2013 Rueyshui earthquake, the middle three are the March 23th 2022 Changbin earthquake, June 20th 2022 Guangfu earthquake, September 17-18th 2022 Guanshan-Chishang earthquakes, and the right one is the April 3rd 2024 Hualien earthquake.

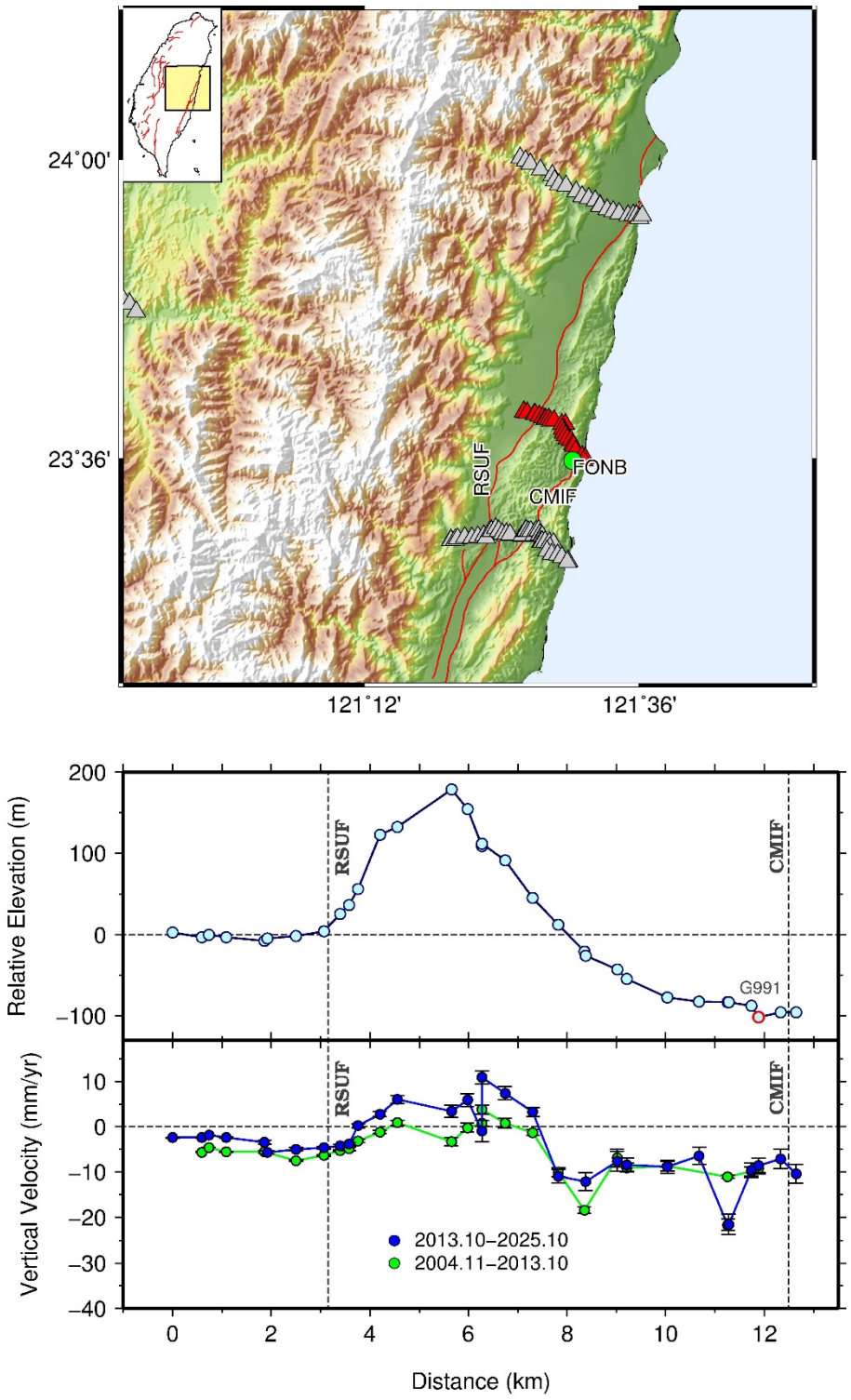


圖 2. 7：光復至豐濱測線水準高程變化圖。(a) 上圖為測線位置分布圖。(b) 下圖為高程地形變化和各時間分段之水準平均抬升速度，綠色為 2004-2013 年瑞穗地震震前垂直速度，藍色為 2013 年至今之垂直速度。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，RSUF 為瑞穗斷層、CMIF 為奇美斷層。

Figure 2. 7: Elevation change of the Guangfu-Fengbin leveling route. (a) The distribution of leveling route. (b) The elevation change and the average vertical velocity in different time periods. Green is the vertical velocity before the Rueyshui earthquake of 2004-2013 and red is the vertical velocity from 2013 to the present. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. RSUF is Rueyshui fault and CMIF is Chimei fault.

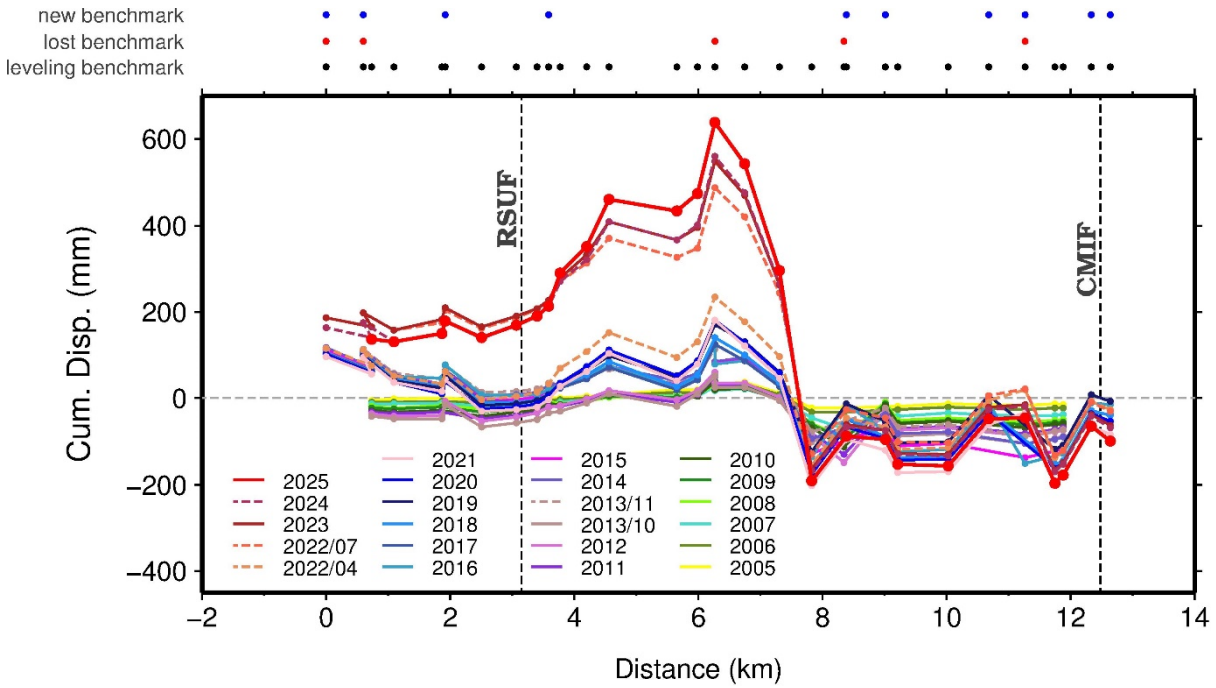


圖 2. 8：光復至豐濱測線水準累積高程差。以虛線表示之累積高程差線段代表地震後之量測。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，RSUF 為瑞穗斷層、CMIF 為奇美斷層。

Figure 2. 8: Cumulative elevation change of the Guangfu-Fengbin leveling route. The dashed cummulative elevation change line show the measurement after earthquake. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. RSUF is Rueyshui fault and CMIF is Chimei fault.

2-2-2 東部地區精密水準測量資料可靠度分析

為了分析東部地區精密水準資料可靠度，我們使用 GNSS 連續站、GNSS 移動站和精密水準所觀測各地區與時段之速度場展圖比較。東部地區依據速度變化與同震事件可分為 5 期：2002-2013 年、2013-2018 年、2018-2022 年、2022-2024 年、2024-2025 年，無論是水準、GNSS 連續站與 GNSS 移動站速度場型態都有相當好的一致性（圖 2. 9）。

在 2013 年瑞穗地震震前，縱谷斷層以東之海岸山脈南段區域顯著抬升，橫跨海岸山脈中段的光復–豐濱、紅葉–靜浦水準測線大抵為沉降；2018 年花蓮地震震後，海岸山脈北端的嶺頂–瀧澗水準測線垂直速度轉為顯著抬升，海岸山脈中段區域則維持沉降。2013 年瑞穗地震、2018 年花蓮地震、2022 年關山–池上地震震後，鄰近震央的中央山脈區域垂直速度也顯著轉為抬升。

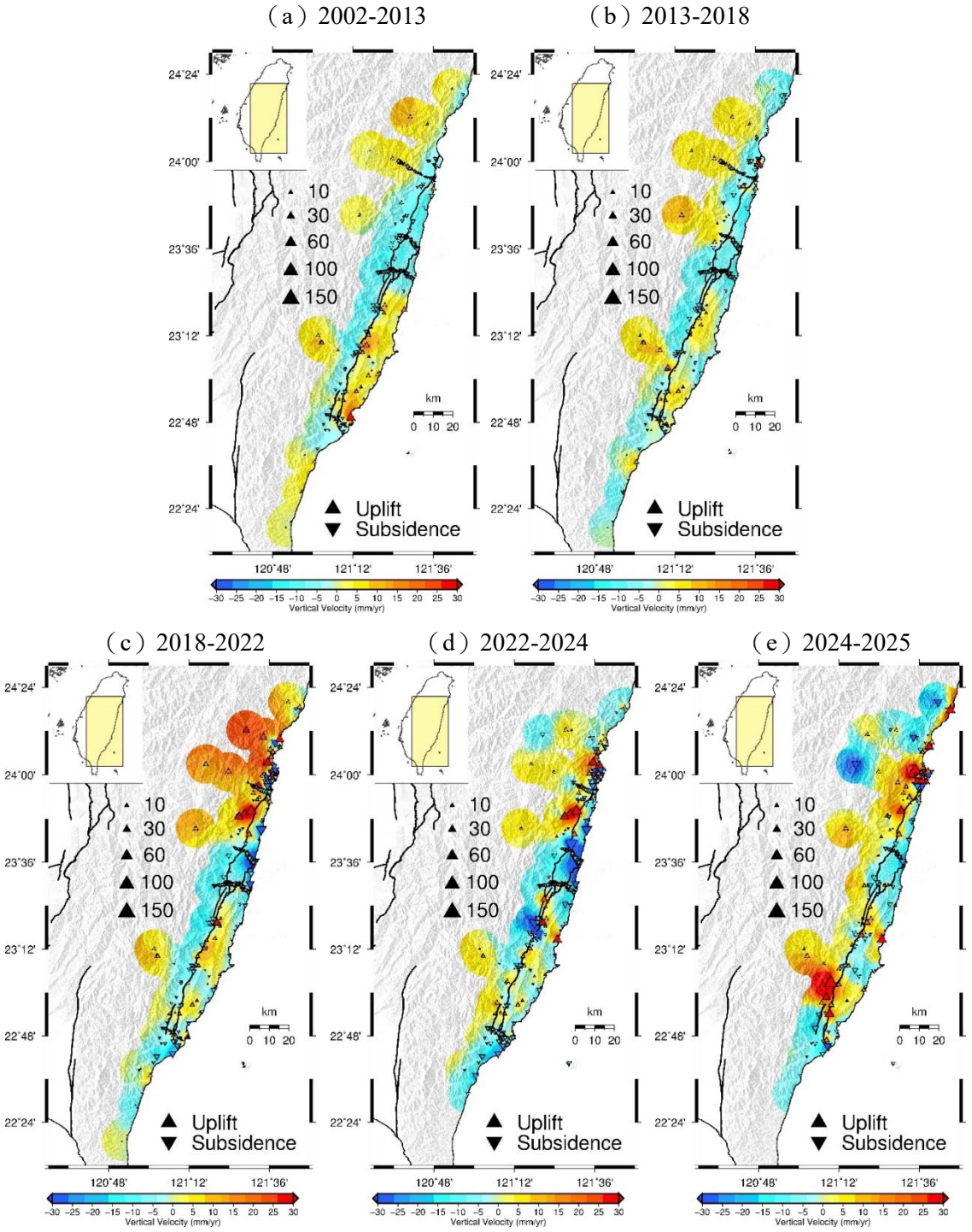


圖 2. 9：花東地區相對於澎湖白沙站（S01R）之垂直方向速度場。(a) 2002-2013 年速度場，(b) 震後 2013-2018 年速度場，(c) 震後 2018-2022 年速度場，(d) 震後 2022-2024 年速度場，(e) 震後 2024-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速率，冷色系表示沉降速率。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示精密水準、GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。

Figure 2. 9: Vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Hualien and Taitung areas. (a) is the velocity field from 2002-2013, (b) is from 2013-2018, (c) is from 2018-2022, (d) is from 2022-2024 and (e) is from 2024-2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Precise leveling and campaign-mode GNSS are shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame.

2-3 重要區域三維速度場分析

2-3-1 重要區域水平與垂直速度場

本年度之重要區域條件為板塊交界地震頻繁之人口密集區以及重要城鎮，主要包含以下三處區域：花蓮市及周遭人口密集區（包含花蓮市、新城鄉與吉安鄉所轄之部分村里，圖 2. 10、圖 2. 11）、玉里鎮內人口密集區（玉里鎮轄區內部分村里，圖 2. 12、圖 2. 13）、臺東市內人口密集區（臺東市轄區內部分村里，圖 2. 14、圖 2. 15），其中，「米崙斷層」與「池上斷層」是 2 條鄰近本年度重要區域，相當重要之活動斷層。花東地區的速度場依據速度變化與同震事件可分為 5 期：2002-2013 年、2013-2018 年、2018-2022 年、2022-2024 年、2024-2025 年，重要區域之水平速度場如圖 2. 10、圖 2. 12、圖 2. 14，垂直速度場如圖 2. 11、圖 2. 13、圖 2. 15。

花東地區水平速度場每年平均向西北位移約 3~4 公分，各時期的速度量值：2002 至 2013 年介於 5.7~85.9 mm/yr 之間、2013 至 2018 年為 9.2~84.3 mm/yr、2018 至 2022 年為 1.4~83.8 mm/yr、2022 至 2024 年為 0.5~112.0 mm/yr、2024 至 2025 年為 1.6~103.8 mm/yr。較顯著之水平位移速度分布於縱谷斷層以東的海岸山脈地區，玉里鎮內人口密集區與臺東市內人口密集區因緊鄰海岸山脈，故有較大的水平位移速度（圖 2. 12、圖 2. 14）；反之，花蓮市及周遭人口密集區因位於海岸山脈北方，故水平位移速度相對較小（圖 2. 10）。

垂直速度場方面，花蓮市及周遭人口密集區自 2018 年花蓮地震震後垂直速度顯著轉為抬升（圖 2. 11）；玉里鎮內人口密集區緊鄰縱谷斷層系統的池上斷層，跨斷層兩側具顯著的速度變化，東側上盤約有 5~10 mm/yr 的抬升速度，西側下盤則約為 -5~-10 mm/yr 的沉降速度（圖 2. 13）；臺東市內人口密集區北側緊鄰海岸山脈處抬升，南側為沉降（圖 2. 15）。

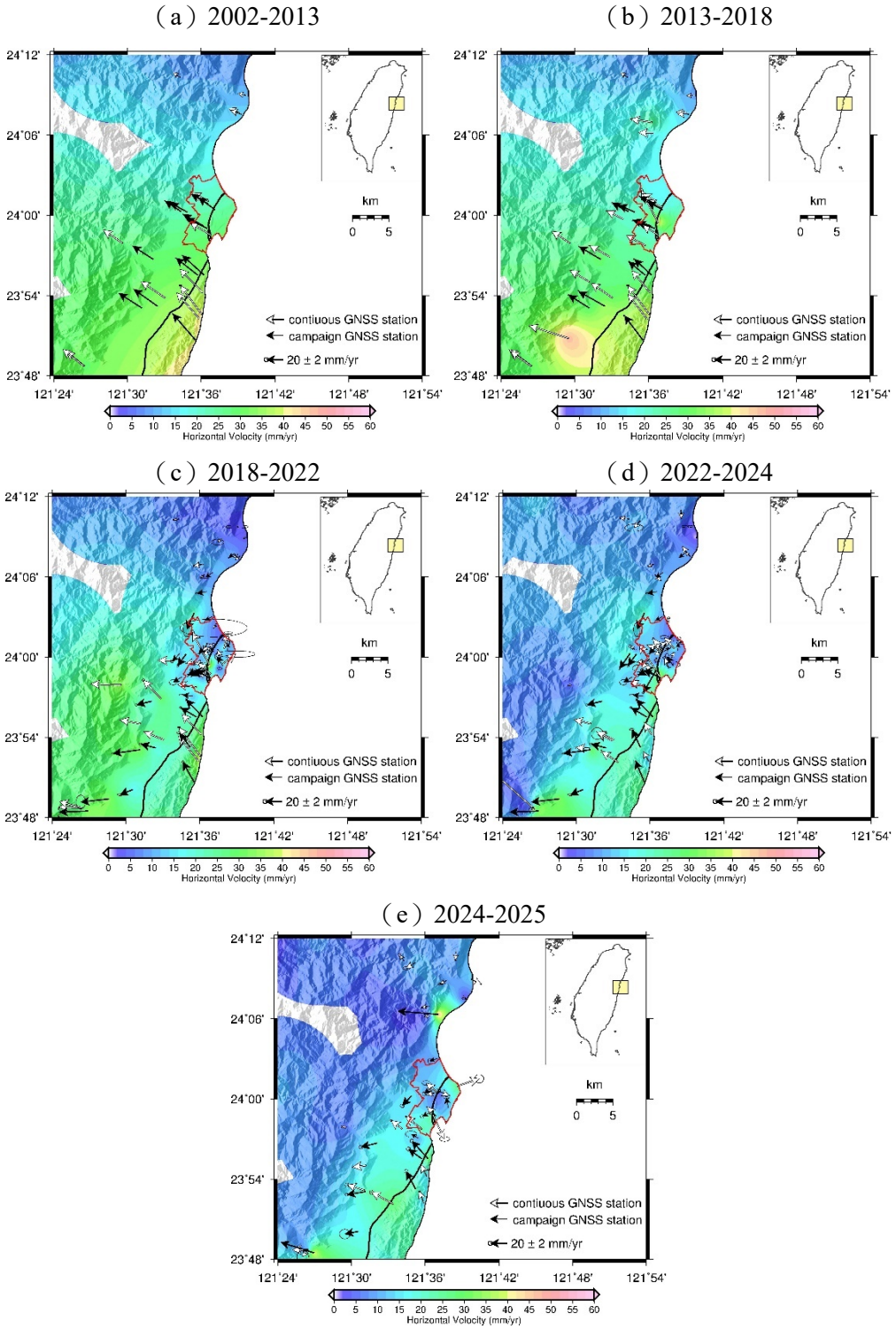


圖 2. 10：花蓮重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場。(a) 2002-2013 年速度場，(b) 震後 2013-2018 年速度場，(c) 震後 2018-2022 年速度場，(d) 震後 2022-2024 年速度場，(e) 震後 2024-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之水平方向速度場分布。黑色箭號為 GNSS 移動站速度場，白色箭號為 GNSS 連續站速度場。紅線為重要區域。

Figure 2. 10: GNSS horizontal velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in the Hualien object area. (a) is the velocity field from 2002-2013, (b) is from 2013-2018, (c) is from 2018-2022, (d) is from 2022-2024 and (e) is from 2024-2025. The color ramp represents the horizontal velocity. Black arrows denote the campaign-mode GNSS velocities and the white arrows are continuous GNSS velocities. Red line is the object areas.

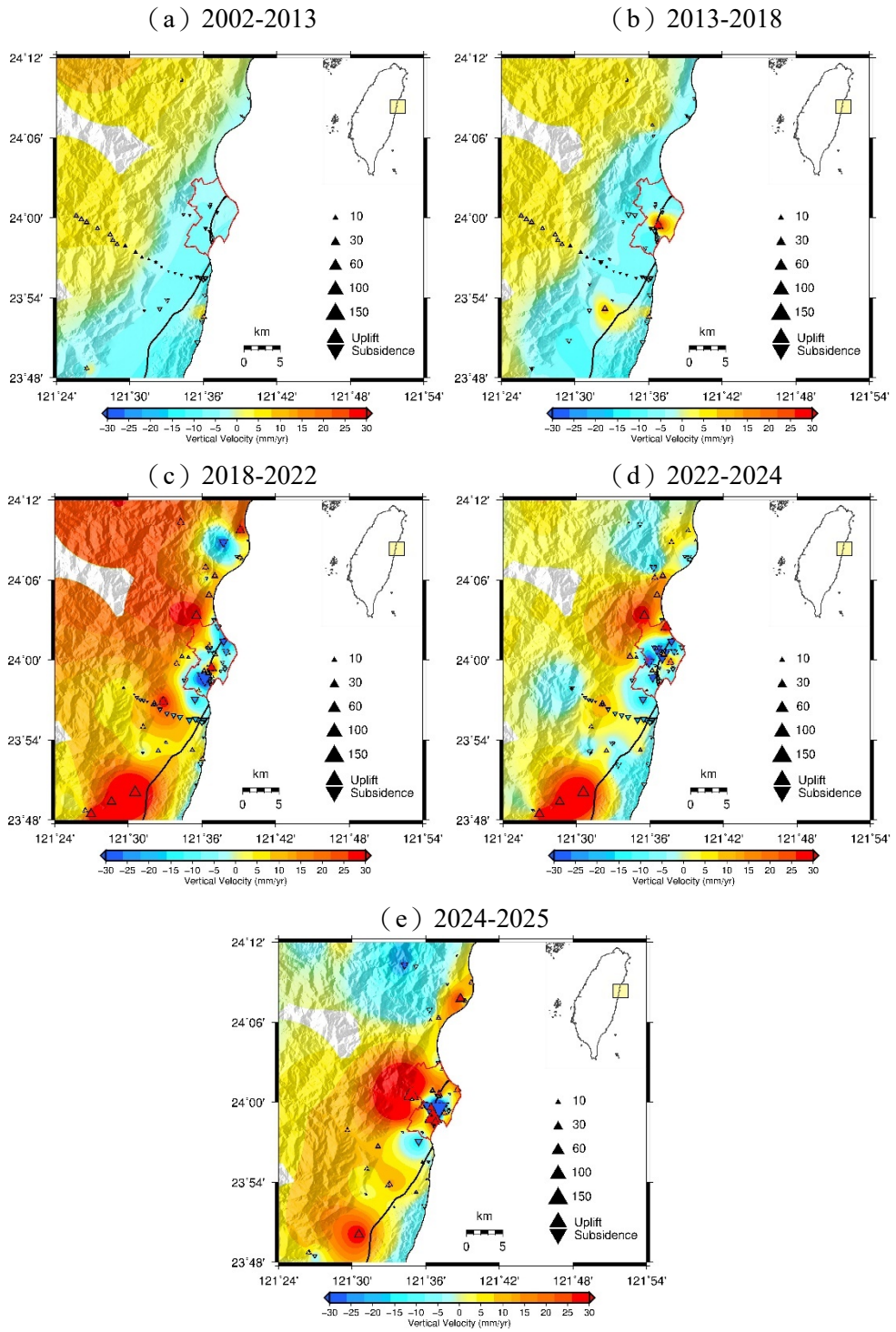


圖 2. 11：花蓮重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之垂直方向速度場。(a) 2002-2013 年速度場，(b) 震後 2013-2018 年速度場，(c) 震後 2018-2022 年速度場，(d) 震後 2022-2024 年速度場，(e) 震後 2024-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速率，冷色系表示沉降速率。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示精密水準、GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。紅線為重要區域。

Figure 2. 11: Vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in the Hualien object area. (a) is the velocity field from 2002-2013, (b) is from 2013-2018, (c) is from 2018-2022, (d) is from 2022-2024 and (e) is from 2024-2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Precise leveling and campaign-mode GNSS are shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame. Red line is the object areas.

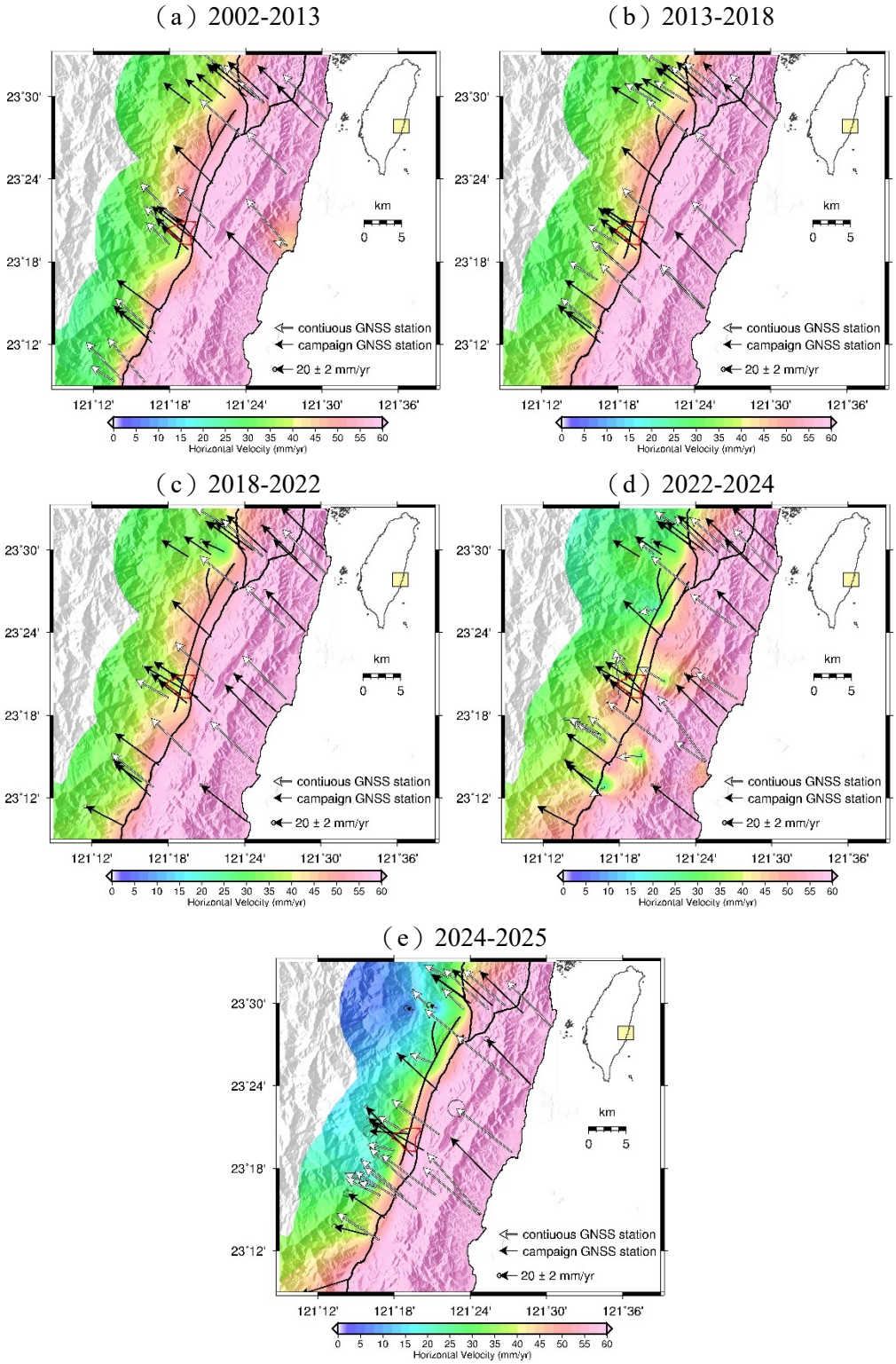


圖 2. 12：玉里重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場。(a) 2002-2013 年速度場，(b) 震後 2013-2018 年速度場，(c) 震後 2018-2022 年速度場，(d) 震後 2022-2024 年速度場，(e) 震後 2024-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之水平方向速度場分布。黑色箭號為 GNSS 移動站速度場，白色箭號為 GNSS 連續站速度場。紅線為重要區域。

Figure 2. 12: GNSS horizontal velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in the Yuli object area. (a) is the velocity field from 2002-2013, (b) is from 2013-2018, (c) is from 2018-2022, (d) is from 2022-2024 and (e) is from 2024-2025. The color ramp represents the horizontal velocity. Black arrows denote the campaign-mode GNSS velocities and the white arrows are continuous GNSS velocities. Red line is the object areas.

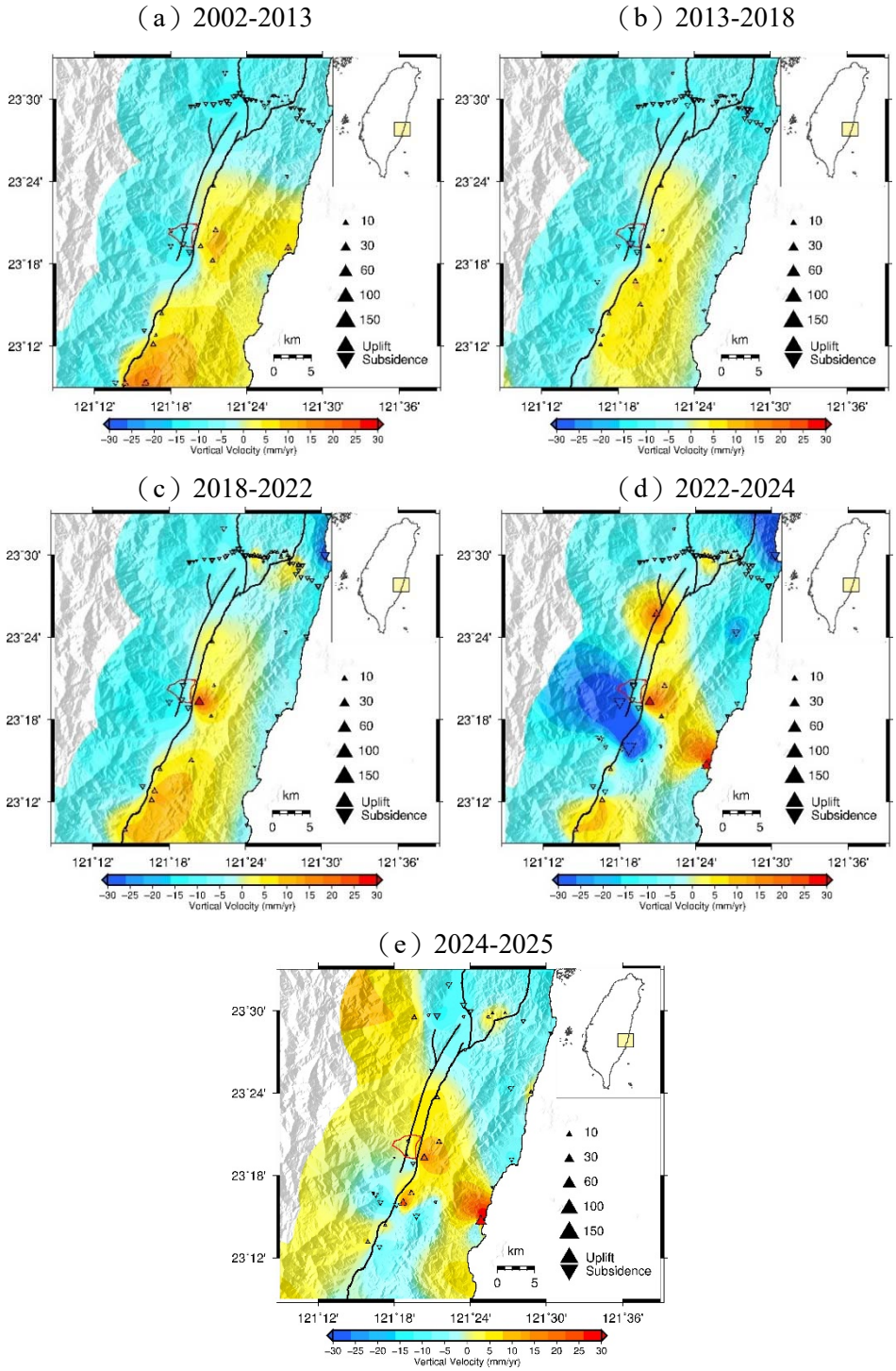


圖 2. 13：玉里重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之垂直方向速度場。(a) 2002-2013 年速度場，(b) 震後 2013-2018 年速度場，(c) 震後 2018-2022 年速度場，(d) 震後 2022-2024 年速度場，(e) 震後 2024-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速率，冷色系表示沉降速率。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示精密水準、GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。紅線為重要區域。

Figure 2. 13: Vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in the Yuli object area. (a) is the velocity field from 2002-2013, (b) is from 2013-2018, (c) is from 2018-2022, (d) is from 2022-2024 and (e) is from 2024-2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Precise leveling and campaign-mode GNSS are shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame. Red line is the object areas.

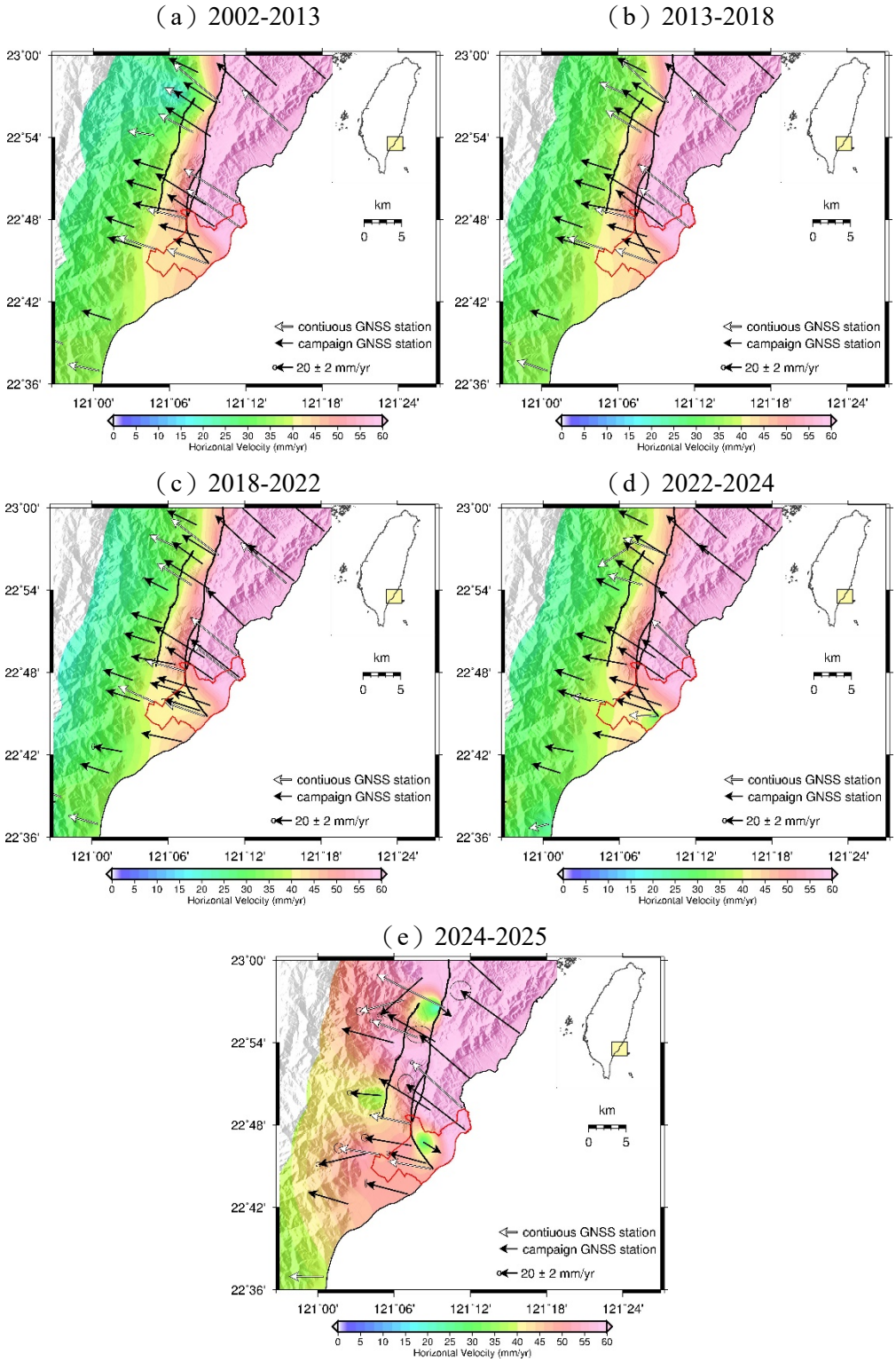


圖 2. 14：臺東重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場。(a) 2002-2013 年速度場，(b) 震後 2013-2018 年速度場，(c) 震後 2018-2022 年速度場，(d) 震後 2022-2024 年速度場，(e) 震後 2024-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之水平方向速度場分布。黑色箭號為 GNSS 移動站速度場，白色箭號為 GNSS 連續站速度場。紅線為重要區域。

Figure 2. 14: GNSS horizontal velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in the Taitung object area. (a) is the velocity field from 2002-2013, (b) is from 2013-2018, (c) is from 2018-2022, (d) is from 2022-2024 and (e) is from 2024-2025. The color ramp represents the horizontal velocity. Black arrows denote the campaign-mode GNSS velocities and the white arrows are continuous GNSS velocities. Red line is the object areas.

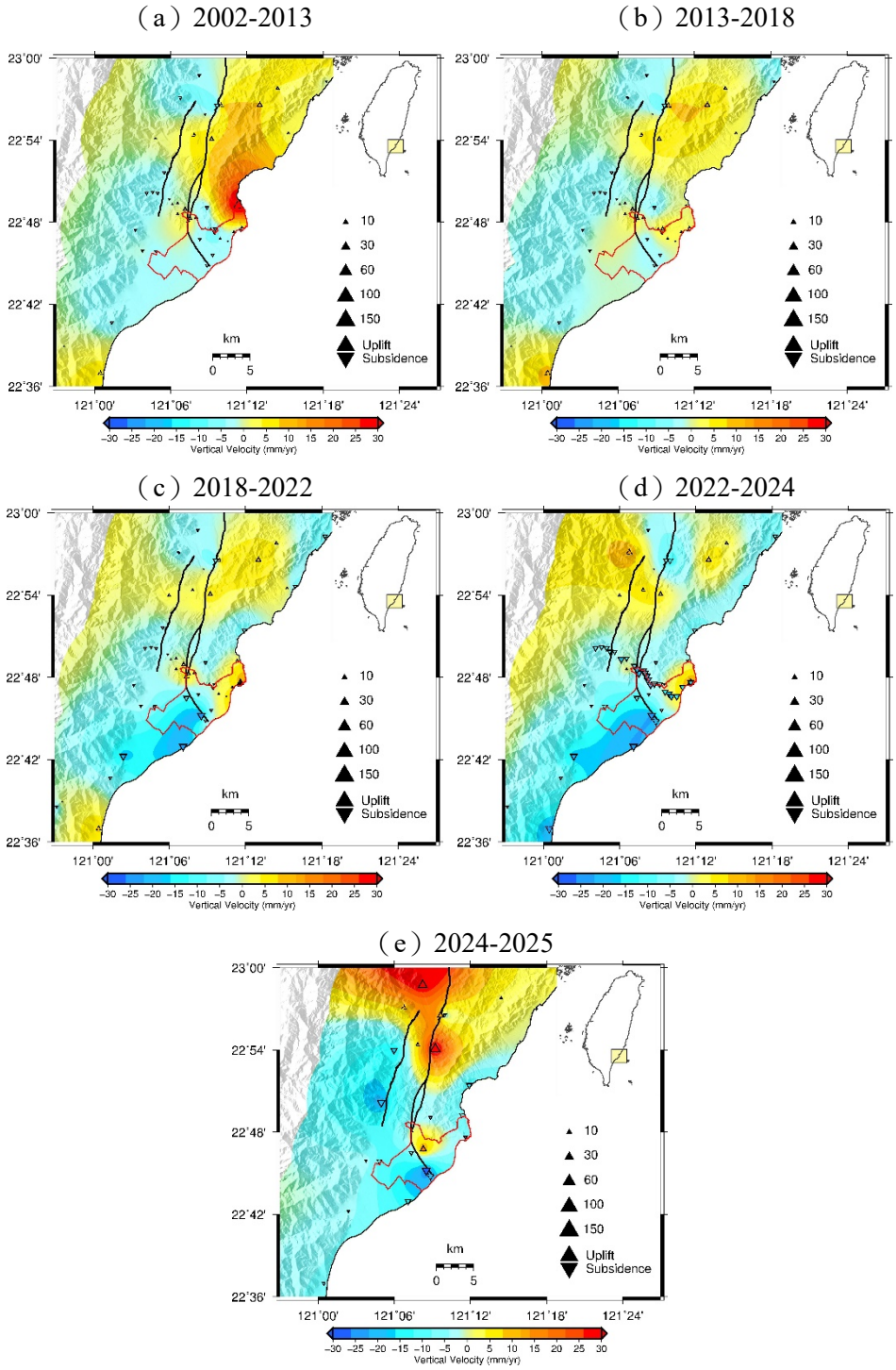


圖 2. 15：臺東重要區域相對於澎湖白沙站（S01R）之垂直方向速度場。(a) 2002-2013 年速度場，(b) 震後 2013-2018 年速度場，(c) 震後 2018-2022 年速度場，(d) 震後 2022-2024 年速度場，(e) 震後 2024-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速率，冷色系表示沉降速率。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示精密水準、GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。紅線為重要區域。

Figure 2. 15: Vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in the Taitung object area. (a) is the velocity field from 2002-2013, (b) is from 2013-2018, (c) is from 2018-2022, (d) is from 2022-2024 and (e) is from 2024-2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Precise leveling and campaign-mode GNSS are shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame. Red line is the object areas.

第三章、東部地區重要斷層參數分析

3-1 斷層資料蒐集

本章節主要蒐集、彙整及分析斷層資料，針對斷層長度、傾角、深度、滑移速率四種參數擬定最佳解。蒐集的地質資料包含野外露頭、槽溝資料、震測剖面、平衡剖面、地球物理資料、地震深度分布，如表 3.1。前兩節探討本年度的重要斷層，米崙斷層及池上斷層，第三節探討其他東部地區斷層，包含嶺頂斷層、瑞穗斷層、奇美斷層、玉里斷層、鹿野斷層、利吉斷層。依照不同的地質調查方法描述，探討、比較前人文獻，最後提出本計畫綜合評估的參數最佳解。為了後續測地資料的解算，本計畫會將剖面中複雜的斷層幾何進行簡化，取大致上的趨勢面做為後續分析用的斷層面。

表 3.1：斷層幾何參數資料蒐集重點

Table 3. 1: Key points of fault geometry parameter data collection.

調查方法	資料蒐集重點	傾角	深度
野外露頭	根據主要斷層跡的位置蒐集斷層位態資料。不考慮分支斷層。	V	X
鑽井資料	根據剪裂帶深度判斷斷層尖端是否出露地表或是屬於盲斷層。	X	V
槽溝開挖	槽溝中滑移量最大的斷層的位態資料。	V	X
震測剖面	將測線距離單位與深度單位調整至 1:1 後，量測剖面中的斷層傾角及深度。	V	依測線長度而定
平衡剖面	剖面中的斷層傾角及滑脫面深度。	V	V
地球物理資料	透過速度構造剖面推估基盤深度。	依解析度而定	V
地震深度分布	根據地震密集帶推估孕震深度，若地震事件與斷層地表破裂相關，可用來推估斷層深部的傾角與深度。	視地震事件分布情形而定	V

3-1-1 米崙斷層

3-1-1-1 斷層長度

米崙斷層又稱花蓮斷層（林朝棨，1962）或美崙斷層（楊貴三，1986），斷層由花蓮縣七星潭海岸向南延伸至花蓮市美崙山西南側，呈南北走向，長約 8 公里（林啟文等，2021）（圖 3. 1），為左移兼具逆移斷層，屬第一類活動斷層。1951 年花東縱谷地震系列中的地震斷層之一。2018 年 0206 花蓮地震震央位於花蓮東北方立霧溪口海上，芮氏規模 6.0，米崙斷層沿線出現地表破裂，七星潭南側的砂礫灘出現逆衝兼具左移的錯動，東側抬升約 20 公分。

何邦碩（1974）根據海底地形圖及震測剖面認為米崙斷層出七星潭後延伸至東北方外海。Shyu et al.（2005）根據陸域及海域地形資料描繪米崙斷層，米崙斷層以虛線的方式連接至海域中的左移斷層（圖 3. 2）。林廉凱（2017）透過多音束水深、側掃聲納影像、高解析底質剖面以及多頻道反射震測調查在花蓮海脊西側觀察到受擠壓的地層以及東傾的逆斷層，並認為這是米崙斷層延伸至海域的證據（圖 3. 3）。

3-1-1-2 斷層傾角

1. 野外露頭

米崙斷層沿線有斷層線崖的地形特徵，無發現野外斷層露頭，1951 年曾有斷層地震造成地表破裂的紀錄（圖 3. 4、表 3. 2）（朱傚祖與游明聖，1995；游明聖等，1996）。2018 年發生的地震震央位於外海，也引發米崙斷層沿線出現噴砂、裂隙及地表破裂等現象（劉彥求等，2018；徐乙君等，2018）（圖 3. 5）。

2. 鑽井資料

曾雅筑（2019）根據 2018 年花蓮地震地表破裂位置於花蓮空軍基地內進行鑽井及槽溝開挖，根據斷層上下盤鑽井資料（BH 01~04）推估的礫石層垂直錯移量以及井位之間的水平距離，計算得到斷層傾角至少 69 度。

3. 槽溝資料

陳文山參考 1951 年地震地表斷層跡與地形進行排排鑽與漕溝開挖，選定花崗山西側（陳文山等，2012）（圖 3. 6、圖 3. 7）、花蓮機場內東側崖邊（陳文山，2004）進行槽溝開挖，槽

溝未鑽遇主斷層。

曾雅筑（2019）根據 2018 年花蓮地震地表破裂位置於花蓮空軍基地內進行槽溝 1 號、2 號開挖（圖 3. 8、圖 3. 9）。1 號槽溝西牆剖面最南側的斷層為主斷層，其上盤出露米崙鼻礫岩，此斷層面於 2018 年花蓮地震時破裂至地表，主斷層走向 N34°E，80°東傾，另有一條分支斷層，走向為 N26°E，36°東傾。1 號槽溝東牆可觀察到一條主斷層及兩條分支斷層，主斷層走向為 N50°E，傾角 78°東傾，東牆未觀察到 2018 年花蓮地震造成的破裂跡，分支斷層位態分別是 N40°E，70°東傾，以及 N28°E，56°東傾。

4. 震測資料

根據花蓮地區之淺層震測 A2 剖面顯示米崙斷層淺部為高角度東傾的斷層，B3 震測剖面中顯示民意斷層為向西傾斜的斷層，可能為米崙斷層之背衝斷層（朱傚祖與游明聖，1996）（圖 3. 10）。

廖宏祥（2006）從震測剖面 04P-MLF-HL-4 中觀察到東傾的逆斷層，從 04P-MLF-HL-3 中觀察到西傾的斷層，認為米崙斷層以及民意斷層確實存在。

根據縱谷斷層北端海域的多頻道反射震測剖面（剖面 mcs1087-1,2,3）可觀察到花蓮海脊西側有東傾的逆斷層構造，推測為米崙斷層的海域延伸，剖面 mcs1087-5 中可觀察到新城海脊最西側之峽谷中的沉積層也有受到擠壓之特徵，且旁邊存在一東傾的逆衝斷層（林廉凱，2017）（圖 3. 3）。

Lin et al.（2021）根據海域震測剖面圖 MCSPK01 觀察到海脊的西側存在逆斷層，逆斷層東傾約 60 度，認為此逆斷層可與陸域的米崙斷層相連（圖 3. 11）。

5. 地質剖面

Chen et al.（2014）探討米崙斷層與縱谷斷層間的關係，並指出海岸山脈在北端區域向北、向下沉降，從力學性質而言，其變形難以向西傳遞，也不容易在下盤形成新的逆衝斷層分支，根據 GPS 結果，米崙斷層可能是高角度的左移斷層，且不屬於縱谷斷層的分支，推測米崙台地覆蓋於中央山脈的變質岩體之上，如圖 3. 12。

Shyu et al.（2016）野外調查發現美崙台地北部的基盤岩層呈東西走向，向南傾斜，認為美崙台地的抬升更有可能由其北側外海的一條東西向逆斷層所控制。此外，1951 年地震中米崙斷層曾發生明顯的地表破裂，然而米崙斷層在陸地上的長度不到 10 公里，與當時規模 7.3

的地震不相符，因此推測米崙斷層可能向北延伸至外海。結合地震重定位、GPS 以及 InSAR 觀測，提出一構造模型（圖 3. 13）。縱谷淺部沉積物因浮力而自下滑的菲律賓海板塊上拆離，在約 10 公里深處形成拆離面，並發育出一組弧形的逆斷層系統。

6. 本計畫綜整評估（傾角）

2018 年花蓮地震時，米崙斷層沿線出現雁行排列的地表破裂，為走向滑移形式的典型破裂特徵，槽溝資料中也顯示米崙斷層有多個分支斷層（曾雅筑，2019），地表中難以找到主要的破裂面，而是發散、不連續的多個小斷層。根據 Wen et al.（2019）繪製的 2018 花蓮地震餘震分布剖面（圖 3. 14），米崙台地之下的餘震群呈現東傾的線性特徵，我們認為此線性特徵可能是米崙斷層向下延伸的破裂面，傾角約 65 度。

米崙斷層傾角相關文獻彙整於表 3. 3。

3-1-1-3 斷層深度

1. 地震深度分布

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（圖 3. 14 a），其中 C-C’剖面通過米崙斷層（圖 3. 14 b），剖面中可觀察到米崙斷層下方有一群地震群，大致呈現東傾的線性特徵，深度約 10 公里以內。

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 3. 15），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。

2. 本計畫綜整評估（深度）

根據 Wen et al.（2019）繪製的地震分布剖面資料，米崙台地之下的餘震群呈現東傾的線性特徵，我們認為此線性特徵可能是米崙斷層向下延伸的破裂面，此地震群延伸至約 10 公里深，因此本計畫將米崙斷層的深度設定為 10 公里。

米崙斷層深度相關文獻彙整於表 3. 4。

3-1-1-4 滑移速率

Bonilla（1975）根據抬升海階的碳定年結果及海階高程推估米崙台地的抬升速率，其中 NTU-5 樣本年代為 3990±269 yr BP（Lin, 1969），海階高程為 20 公尺（Ma, 1967），全球海平

面高度校正 -0.6 公尺，因此抬升量為 20.6 公尺，抬升速率為 5.2 mm/yr。NTU-13 樣本年代為 3200±300 yr BP （Lin, 1969），海階高程為 14 公尺（Ma, 1967），全球海平面高度校正 -0.7 公尺，因此抬升量為 14.7 公尺，抬升速率為 4.6 mm/yr。CT-1 樣本年代為 2880±120 yr BP，海階高程為 25 公尺（Konishi et al., 1968），全球海平面高度校正 0 公尺，因此抬升量為 25 公尺，抬升速率為 8.7 mm/yr。綜合以上，抬升速率為 4.6~8.7 mm/yr。

Yamaguchi and Ota（2004）利用米崙台地之珊瑚樣本 GaK-14329 進行碳 14 定年，年代為 2,633-2,632 cal yr BP，海拔高程 12 公尺，抬升速率約 5 mm/yr。

陳俊甫（2013）在美崙台地北部海邊採珊瑚樣本進行 U/Th 定年，ML-001 樣本年代 6206±110 yr BP，高程 25.907 公尺，抬升速率 4.10-4.25 mm/yr。ML-002 樣本年代 6207±1561 yr BP，高程 37.668 公尺，抬升速率 4.85-8.11 mm/yr。ML-003 樣本年代 6441±142 yr BP，高程 35.579 公尺，抬升速率 5.40-5.65 mm/yr。ML-004 樣本年代 3936±16 yr BP，高程 27.292 公尺，抬升速率 6.91-6.96 mm/yr。以上抬升速率為 4.10-6.96 mm/yr。

根據曾雅筑（2019）於花蓮空軍基地鑽井與槽溝開挖研究，斷層兩側礫石層高差估算斷層垂直錯移量為 17.9~18.6 公尺，依據 1 號槽溝沉積層 Unit 6 定年結果，年代為 5400~6200 cal yr BP，推估垂直滑移速率為 2.9~3.4 mm/yr，接著以斷層傾角 69 度推算斷層面上垂直走向的滑移速率為 3.1~3.7 mm/yr。

米崙斷層長期滑移速率相關文獻彙整於表 3. 5。

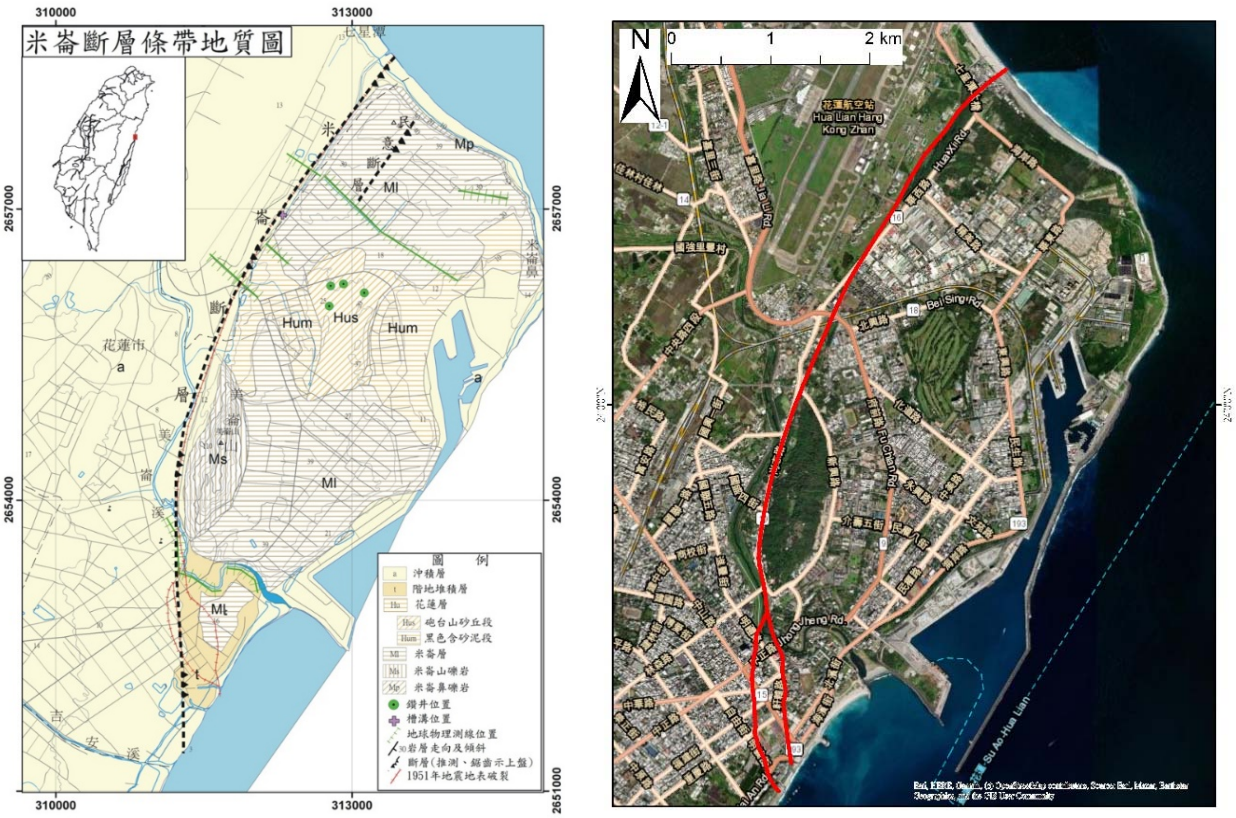


圖 3. 1：米崙斷層條帶地質圖與 2021 年更新之斷層分布圖。（左圖）為米崙斷層條帶地質圖（林啟文等，2009）；（右圖）為 2021 年更新之米崙斷層分布（斷層資料出自林啟文等，2021），底圖套疊道路圖層與 Google 衛星影像。

Figure 3. 1: (Left) Geological Strip Map of Milun Fault (Lin et al., 2009). (Right) Updated distribution map of the Milun Fault in 2021 (fault traces from Lin et al., 2021), with basemap of road layer and Google satellite imagery.

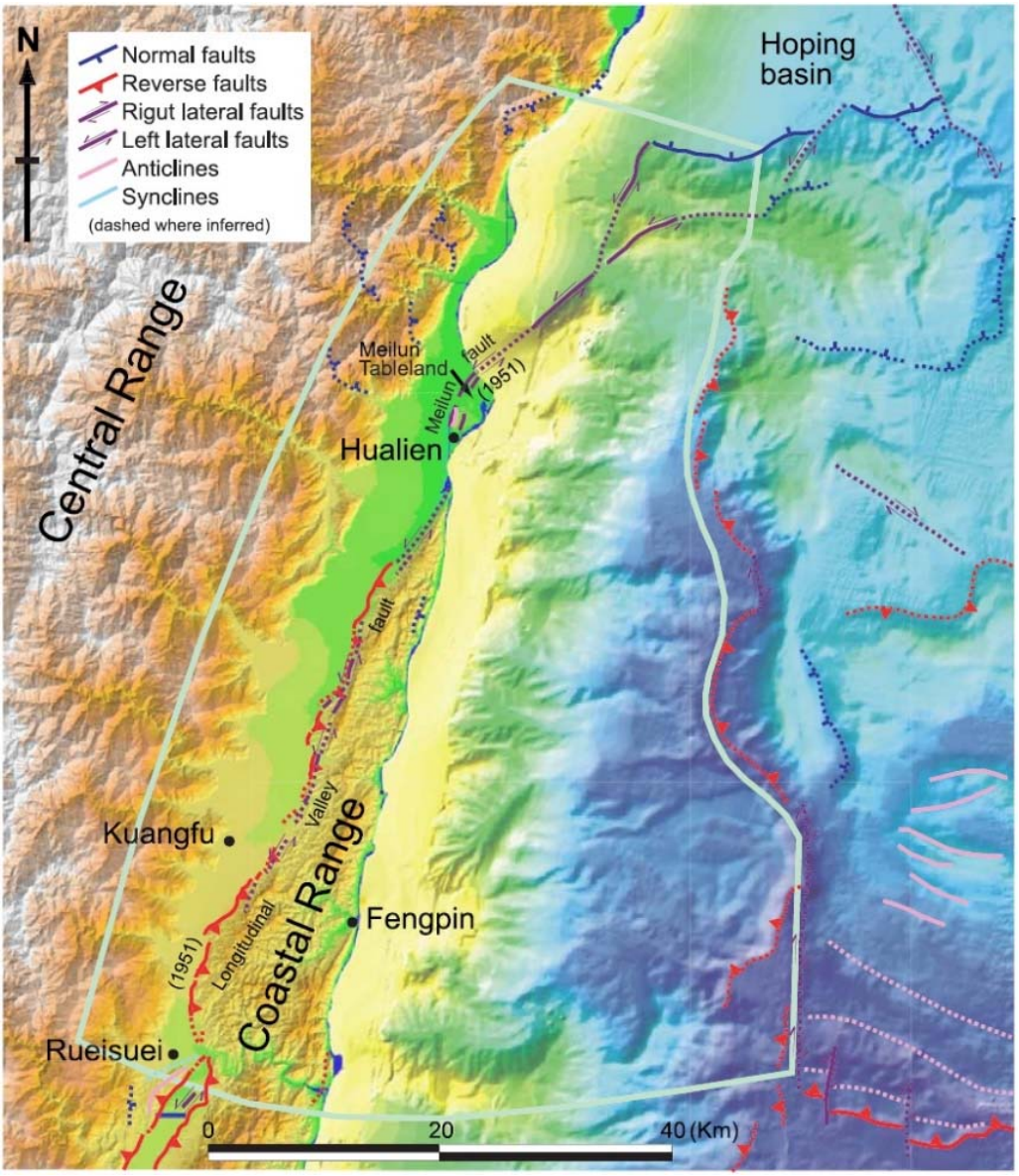


圖 3. 2：花蓮區活動構造分布圖（Shyu et al., 2005）。

Figure 3. 2: Distribution Map of Active Structures in the Hualien Area (Shyu et al., 2005).

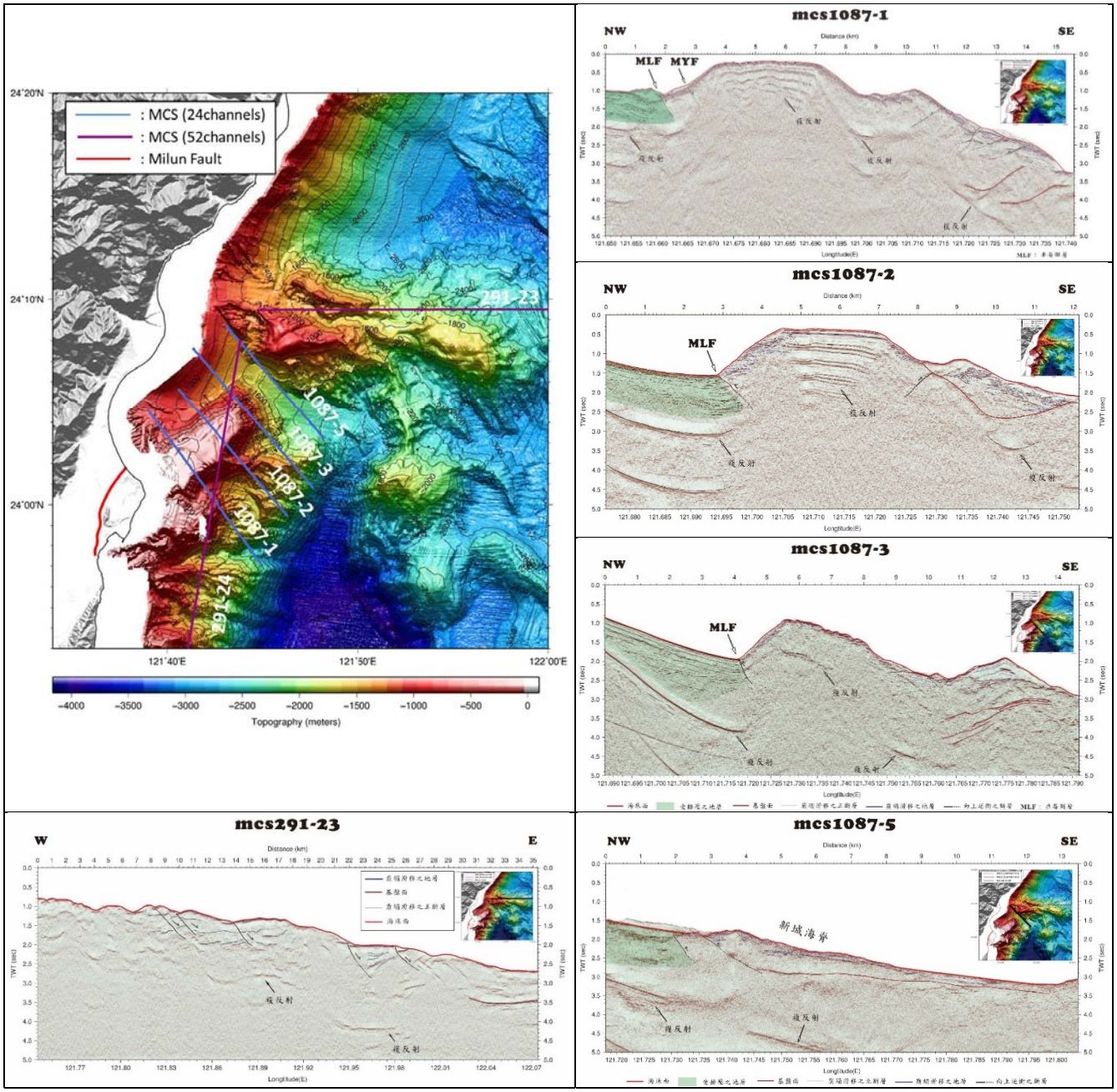


圖 3. 3：米崙斷層海域多頻道反射震測線分布及五條震測剖面圖（林廉凱，2017）。

Figure 3. 3: Distribution of Multichannel Seismic Profiles and 5 Seismic Reflection prefiles across the Offshore Milun Fault (Lin, 2017).

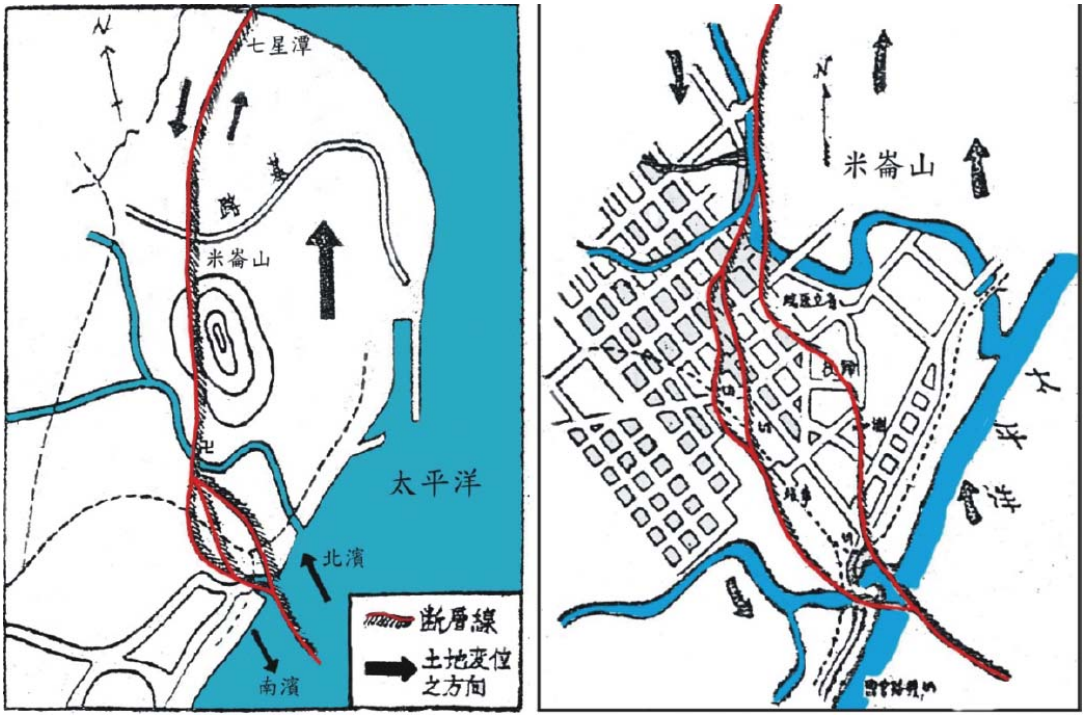


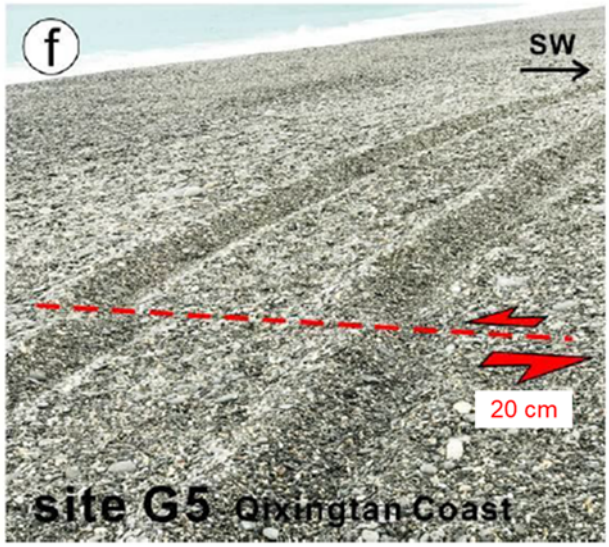
圖 3. 4：1951 年地震米崙斷層地表破裂圖（出自朱傚祖與游明聖，1995）

Figure 3. 4: Map of the 1951 Milun Fault surface ruptures (Chu and Yu, 1995).

表 3. 2：1951 年花蓮地震地表破裂分布表（出自游明聖等，1996）。

Table 3. 2: Distribution table of surface ruptures from the 1951 Hualien earthquake (Yu et al., 1996).

編號	斷層	量測位置	地裂走向	位移量（公分）		側傾角	備註
				水平	垂直		
1	美崙斷層	七星山			120（E）		
2	美崙斷層	七星潭			40（E）		
3	美崙斷層	加禮彎		40（N）			
4	美崙斷層	民意里	N30°E	200（N）	120（E）	31°	柚子樹
5	民意斷層	民意里路	N30°E				
6	南濱斷層	南濱海堤	N–S				
7	地裂	明禮國小	N10°W				
8	地裂	明禮操場	N40°W				
9	美崙斷層	北埔南端	N40°E				
10	南濱斷層	花蓮港	N–S		60（NW）		
11	烏漏斷層	富興村	N–S		150-120（E）		
12	烏漏斷層	大富農場	N–S		70（E）		

<table>
<tr>
<td>
</td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td>向西南拍攝七星潭南側砂礫灘，地表破裂變形為兼具左移的逆衝斷層，東側抬升約 20 公分，後方海堤擋土牆也遭外推破裂。(劉彥求等，2018) WGS84 經緯度：24.026869，121.632271。
View southwestward of the gravel beach south of Qixingtan, where surface ruptures show a reverse fault with a left-lateral component. The eastern side is uplifted by ~20 cm, and the seawall retaining wall in the background is pushed outward and fractured (Liu et al., 2018).
WGS84 coordinates: 24.026869° N, 121.632271° E</td>
<td>七星潭海灘上車行的痕跡左移 20 公分。(徐乙君等，2018) WGS84 經緯度：24.026798，121.632635
Vehicle track on the Qixingtan beach offset left-laterally by 20 cm (Hsu et al., 2018). WGS84 coordinates: 24.026798° N, 121.632635° E</td>
</tr>
<tr>
<td></td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td>向南俯瞰七星潭與七星山周邊聚落內地表破裂，東側山體向北東移動，造成周邊民宅、道路與停車場遭推擠拱起，位於山坡上建物與道路等則產生伸張破裂。(劉彥求等，2018)WGS84 經緯度：24.026990，121.631673。
Oblique southward view showing surface ruptures around Qixingtan and nearby settlements near Qixingshan. The eastern hillside moved northeastward, pushing and uplifting adjacent houses, roads, and parking lots, while buildings and roads on the slope developed extension cracks (Liu et al., 2018). WGS84 coordinates: 24.026990° N, 121.631673° E</td>
<td>花蓮空軍基地內雁形排列的地表破裂跡以及毀壞的溝渠，此處為槽溝開挖地點。(曾雅筑，2019)
WGS84 經緯度：24.014199，121.620837
Surface ruptures with en echelon patterns and damaged drainage channels inside the Hualien Air Base, marking the location of the trench excavation (Tseng, 2019). WGS84 coordinates: 24.014199° N, 121.620837° E</td>
</tr>
</table>



東華大學美崙校區操場 PU 跑道西側形成左移型式的雁行排列伸張破裂。向東北俯攝。(劉彥求等，2018) WGS84 經緯度：24.008923，121.617802。

En echelon extensional cracks with left-lateral displacement developed on the west side of the PU track at the Dong Hwa University Meilun Campus sports field. Oblique view toward the northeast (Liu et al., 2018). WGS84 coordinates: 24.008923° N, 121.617802° E



東華大學美崙校區的操場跑道左移 5 公分。(徐乙君等，2018) WGS84 經緯度：24.009177，121.617804

The running track at the Dong Hwa University Meilun Campus was offset left-laterally by 5 cm (Hsu et al., 2018). WGS84 coordinates: 24.009177° N, 121.617804° E

圖 3. 5：2018 年 02 月 06 日花蓮地震地表破裂

Figure 3. 5: Surface ruptures from the 6 February 2018 Hualien earthquake.

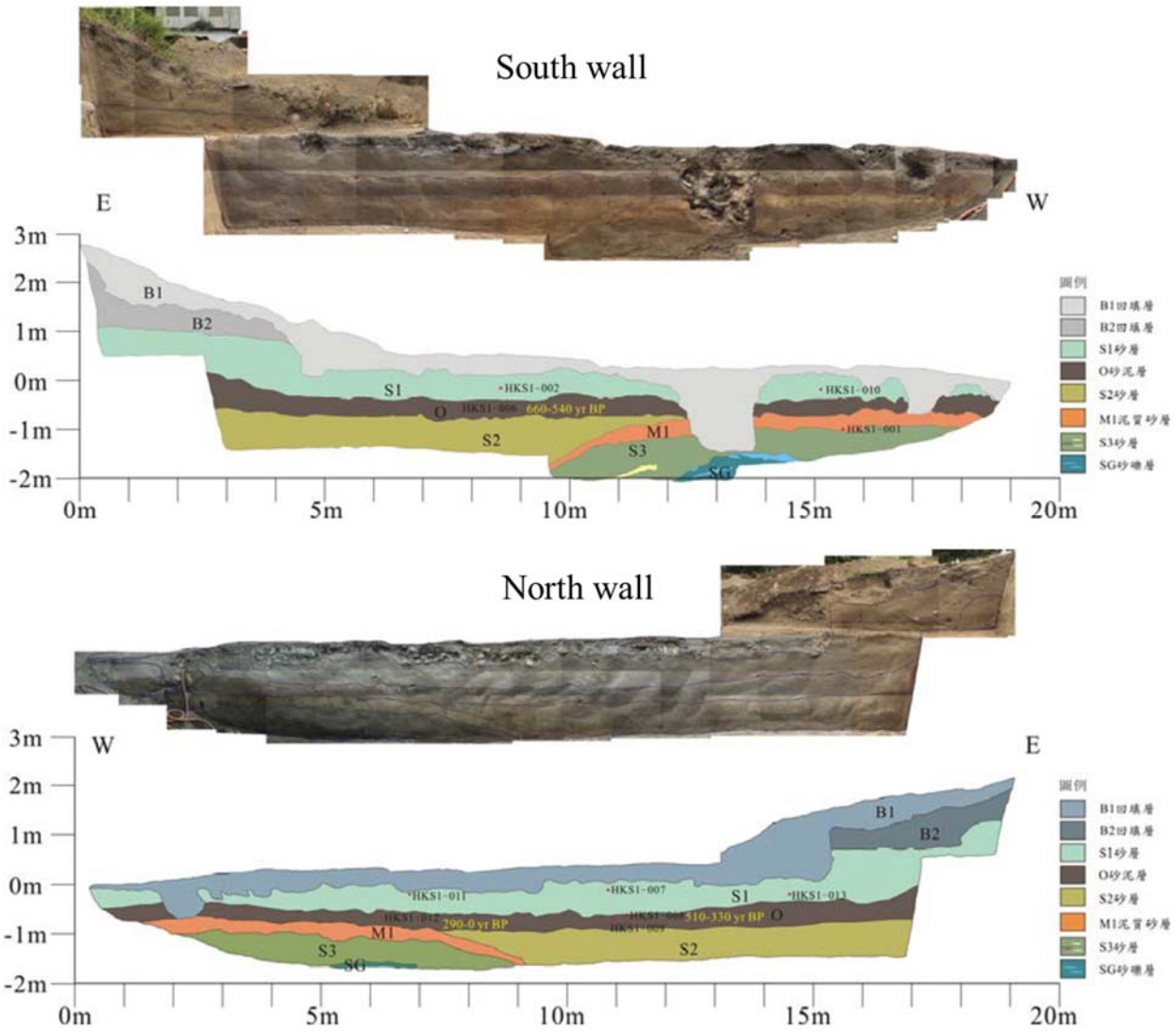


圖 3. 6：花崗山 1 號槽溝剖面圖與解釋圖（陳文山等，2012）。

Figure 3. 6: Trench profile and interpretation of Huagangshan No.1 (Chen et al., 2012).

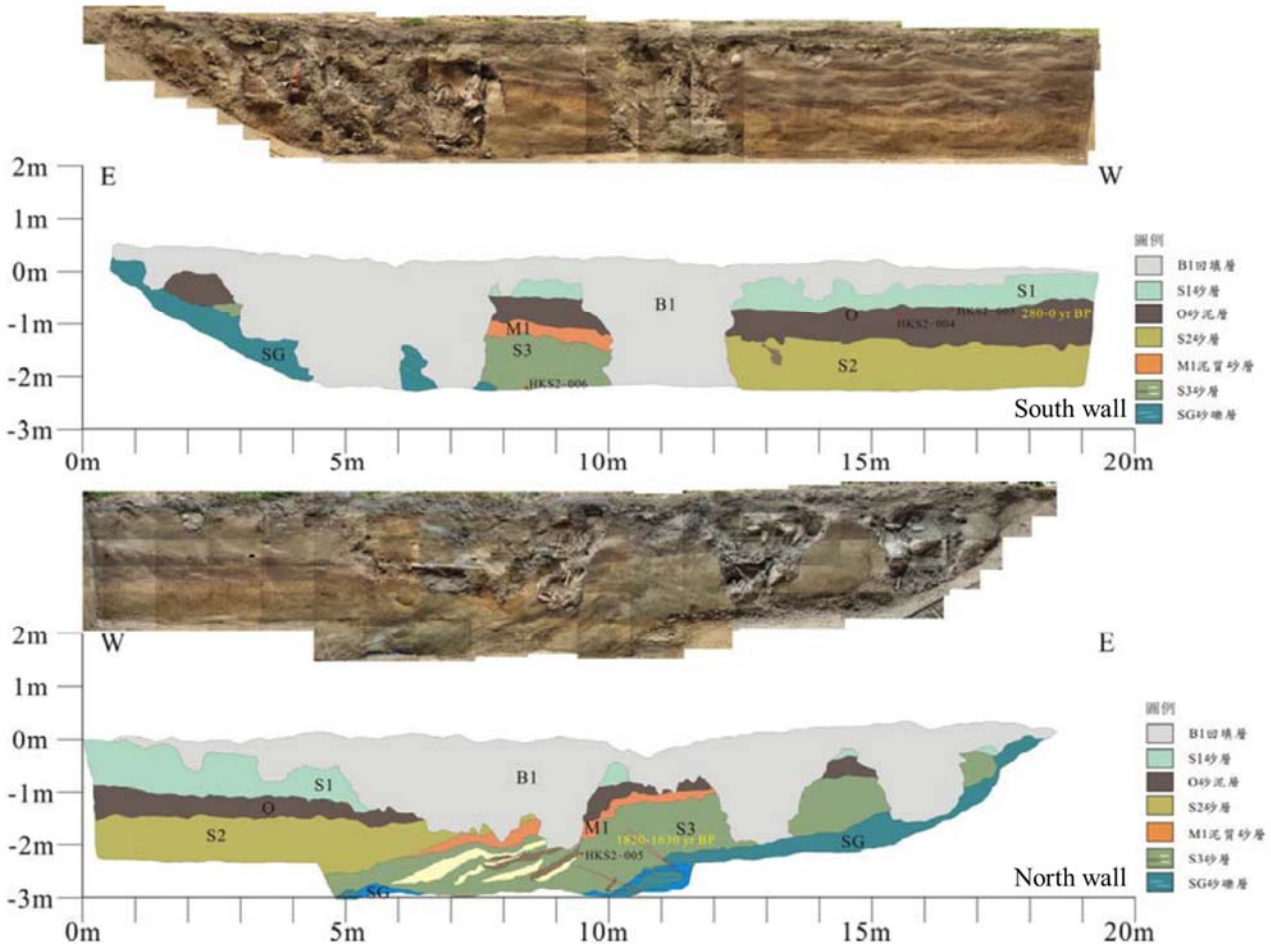


圖 3. 7：花崗山 2 號槽溝剖面圖與解釋圖（陳文山等，2012）。

Figure 3. 7: Trench profile and interpretation of Huagangshan No.2 (Chen et al., 2012).

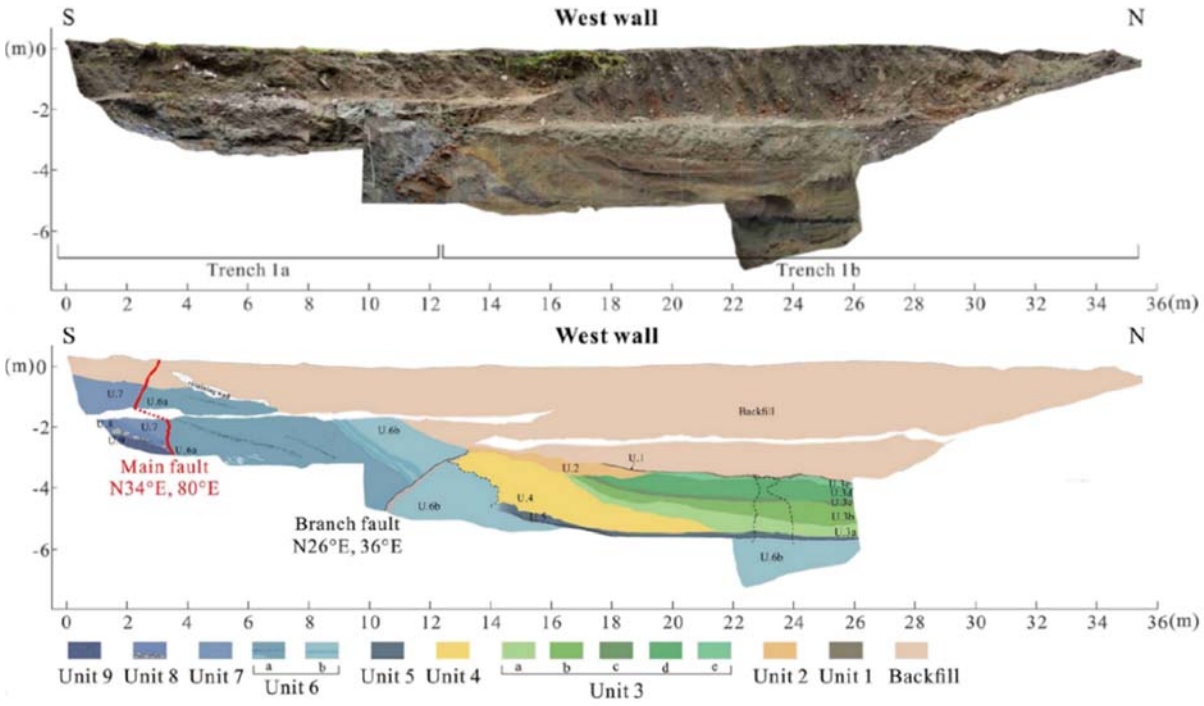


圖 3. 8：花蓮空軍基地 1 號槽溝西牆剖面圖與解釋圖（曾雅筑，2019）。

Figure 3. 8: West-wall trench profile and interpretation of Hualien Air Base Trench No. 1 (Tseng, 2019).

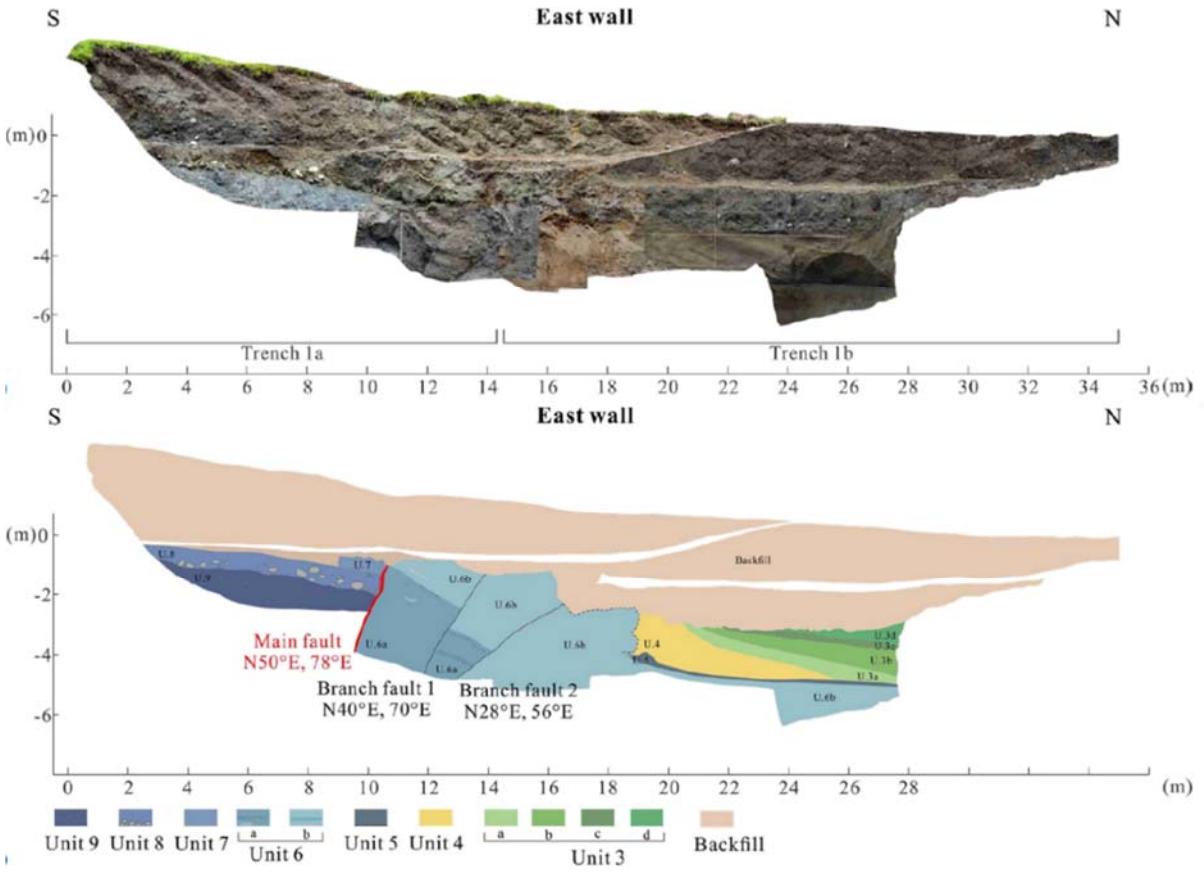


圖 3. 9：花蓮空軍基地 1 號槽溝東牆剖面圖與解釋圖（曾雅筑，2019）。

Figure 3. 9: East-wall trench profile and interpretation of Hualien Air Base Trench No. 1 (Tseng, 2019).

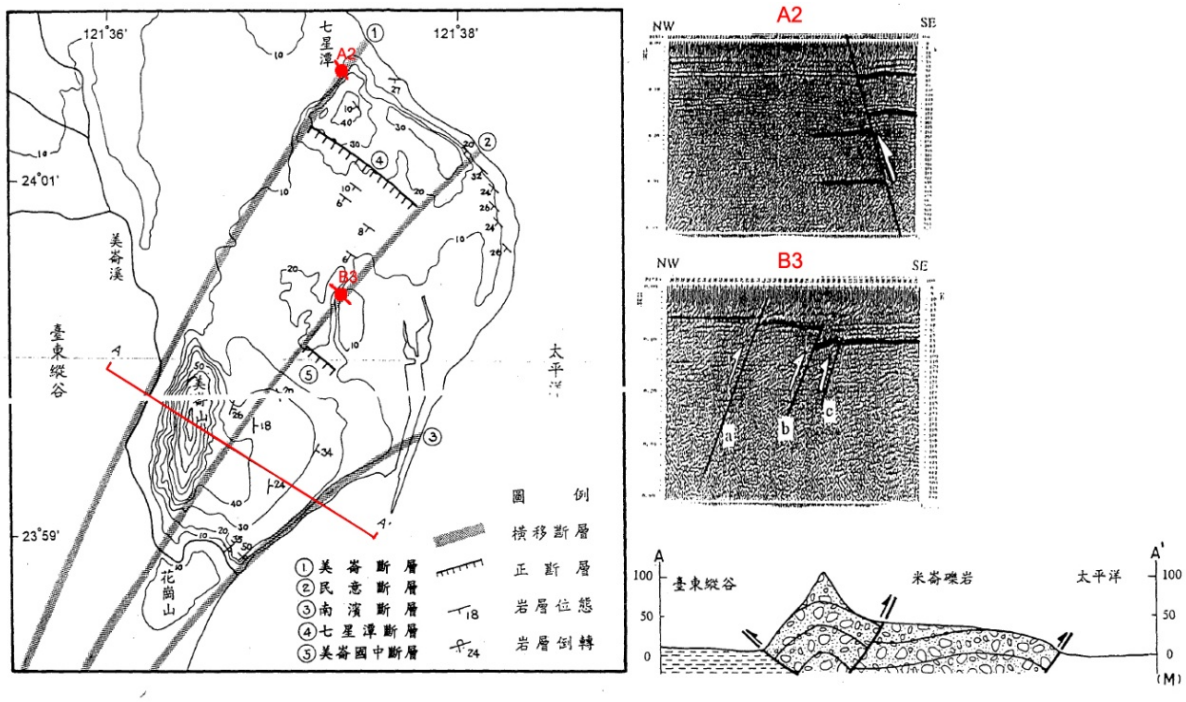


圖 3. 10：花蓮地區 A2 及 B3 震測剖面及 A-A'地質剖面圖（修改自朱傚祖與游明聖，1996）。

Figure 3. 10: Seismic profiles A2 and B3 and the geological cross section A-A' in the Hualien area (modified from Chu and Yu, 1996).

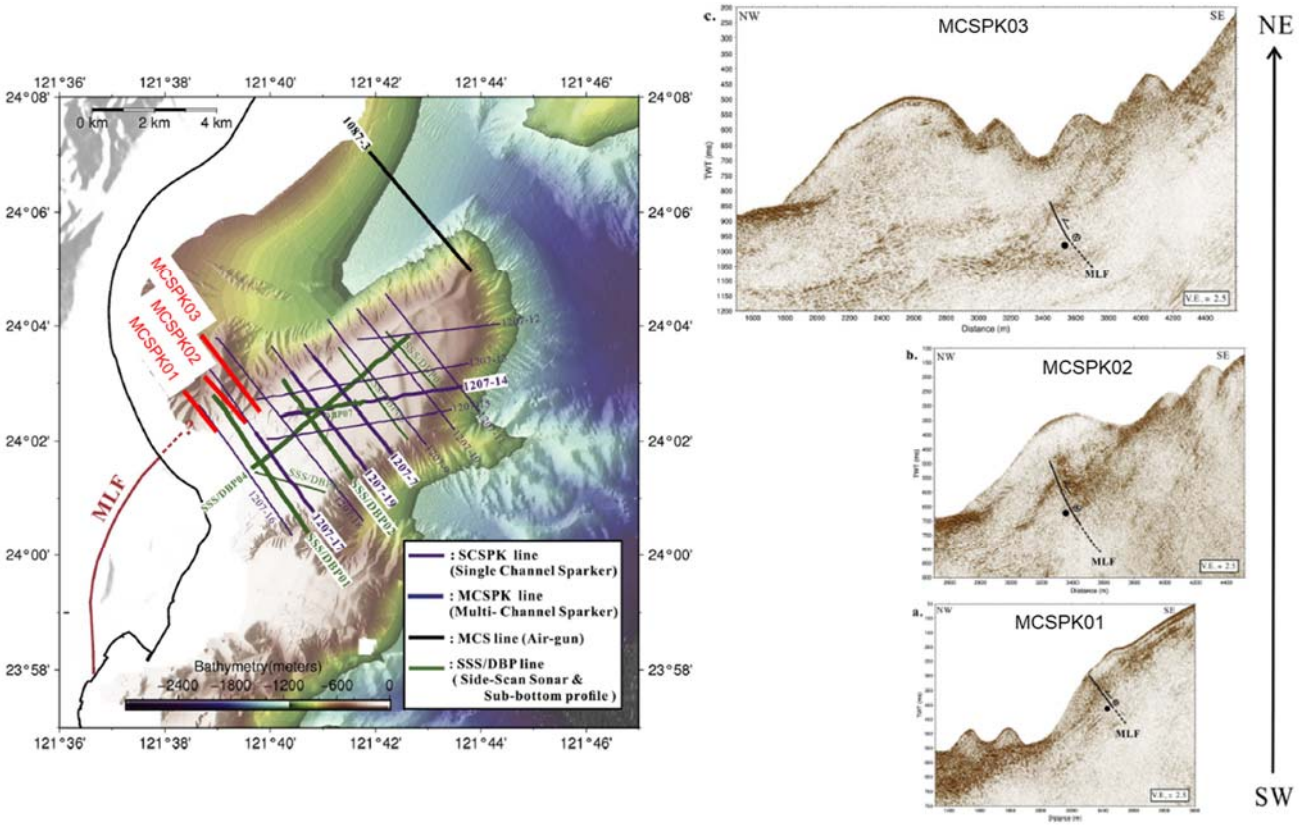


圖 3. 11：米崙斷層海域震測剖面圖 MCSPK01、MCSPK02、MCSPK03，右圖中 MLF 為米崙斷層於海域的延伸（Lin et al., 2021）。

Figure 3. 11: Offshore seismic profiles MCSPK01, MCSPK02, and MCSPK03 across the Milun Fault. In the right-hand figure, “MLF” denotes the offshore extension of the Milun Fault. (Lin et al., 2021)

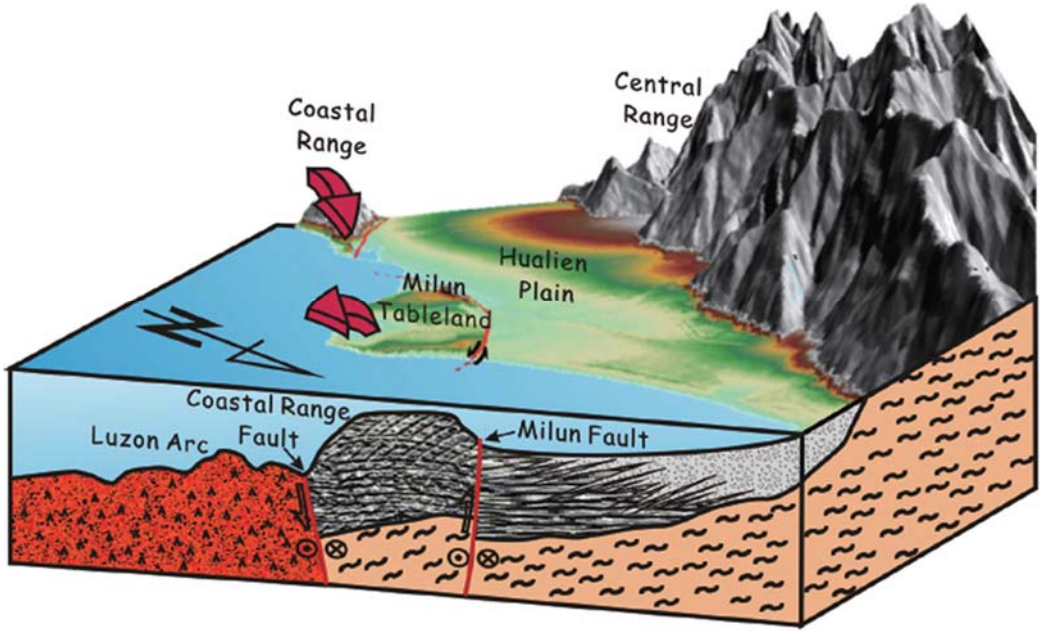


圖 3. 12：米崙台地之下米崙斷層與縱谷斷層（嶺頂斷層）的關係圖（Chen et al., 2014）。

Figure 3. 12: Relationship between the Milun Fault and the Longitudinal Valley (Lingtung) Fault beneath the Milun Terrace (Chen et al., 2014).

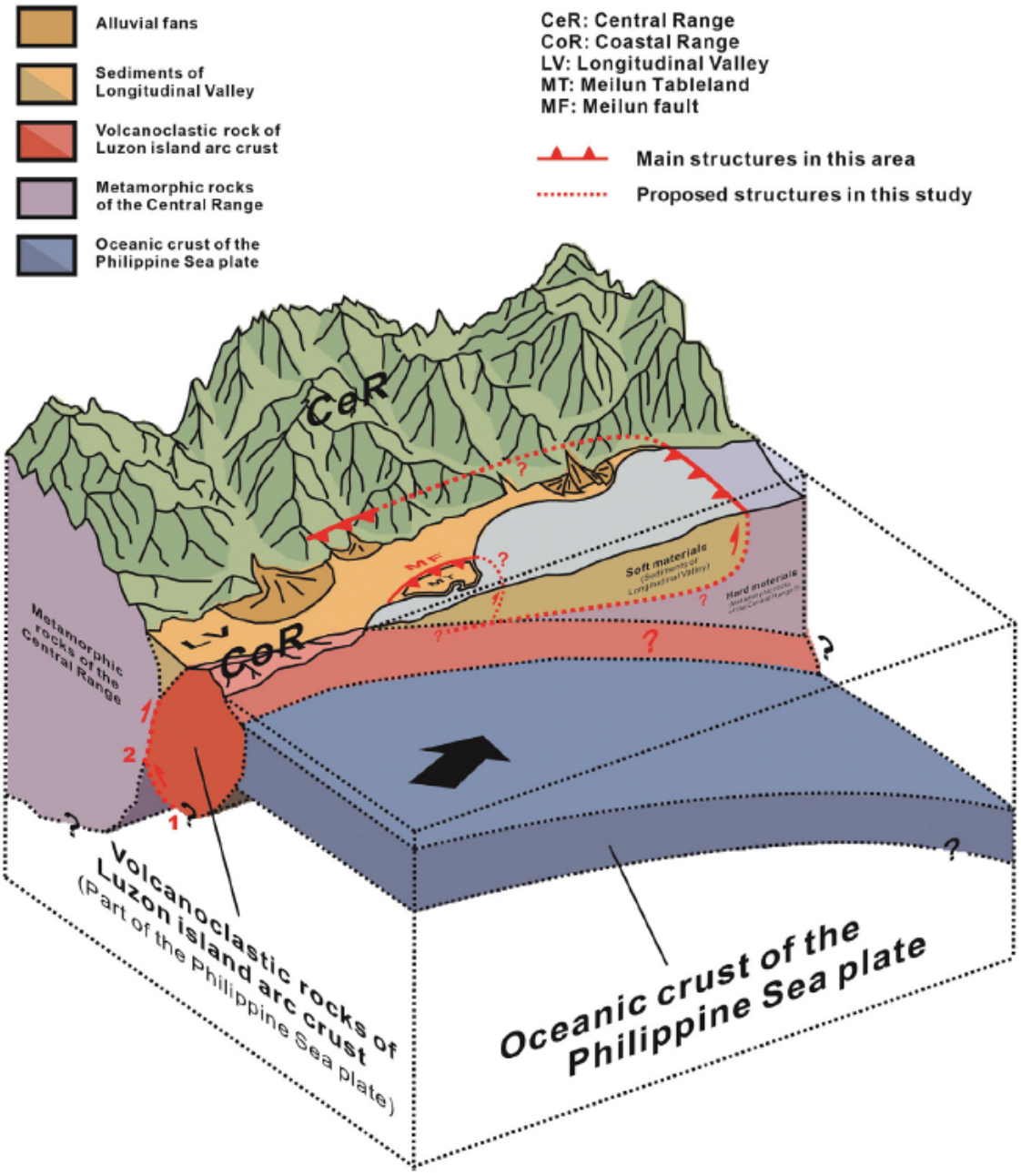


圖 3. 13：縱谷斷層北端構造發育模型。海岸山脈向北隱沒時，沉積物自下滑板塊上拆離，發育出向北與向西逆衝的斷層系統，米崙斷層與其向外海延伸的東西向逆斷層是此系統中的次要分支（Shyu et al., 2016）。

Figure 3. 13: Proposed structural development model for the northernmost Longitudinal Valley Fault. As the Coastal Range subducts northward, the shallow sediments detach from the downgoing plate and develop a system of north- and west-verging reverse faults. The Meilun fault and the E–W-striking reverse fault extending offshore are interpreted as secondary branches of this major system (Shyu et al., 2016).

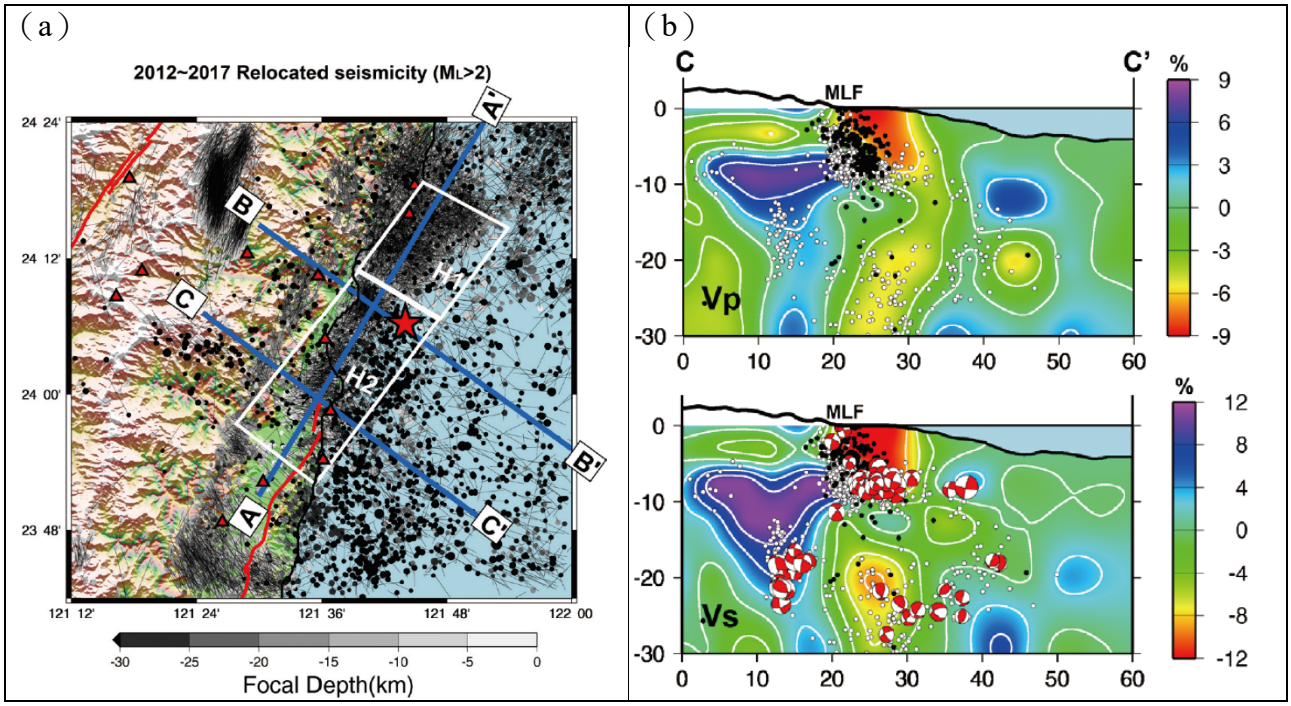


圖 3. 14：重定位地震分布及 Vp、Vs 速度構造面。(a) 2012-2017 重定位地震；(b) C-C'速度構造剖面及地震深度，上圖為 Vp，下圖為 Vs 速度構造剖面，圓圈代表西元 2012-2017 年，ML>2 的地震，黑色點代表 2018 年 2 月地震（摘自：Wen et al., 2019）。

Figure 3. 14: Relocated seismicity and Vp, Vs velocity structure. (a) Relocated earthquakes from 2012-2017. (b) Velocity structure and earthquake-depth distribution along profile C-C', with Vp shown in the upper panel and Vs in the lower panel. Circles denote ML>2 earthquakes from 2012-2017, and black dots represent the February 2018 events (Wen et al., 2019).

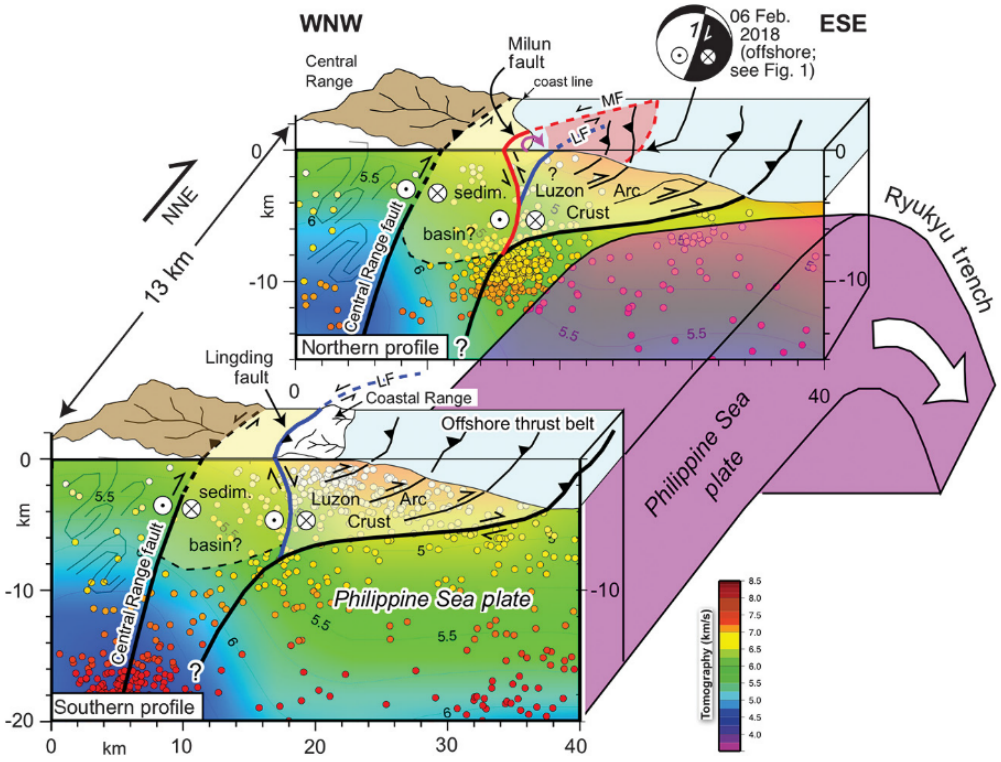


圖 3. 15：花蓮地區及縱谷北段之構造解釋（摘自：Yen et al., 2019）。

Figure 3. 15: Structural interpretation of the Hualien area and the northern Longitudinal Valley (Yen et al., 2019).

表 3. 3：米崙斷層傾角相關文獻彙整

Table 3. 3: Summary of studies on the dip of the Milun Fault.

參考文獻	方法	傾角
曾雅筑（2019）	鑽井資料推估	至少 69 度
	花蓮空軍基地槽溝	主斷層傾角 78~80 度
朱傚祖與游明聖（1996）	淺層震測剖面	高角度東傾
林廉凱（2017）	海域的多頻道反射震測剖面	高角度東傾
Wen et al.（2019）	2018 花蓮地震分布與速度構造剖面 CC’	美崙台地之下的地震群呈現東傾的趨勢，推測可能是美崙斷層往下延伸的一部分
本計畫綜整評估		80（槽溝） 65（地震分布）

表 3. 4：米崙斷層深度相關文獻彙整

Table 3. 4: Summary of studies on the depth of the Milun Fault.

參考文獻	方法	深度
Wen et al.（2019）	2018 花蓮地震分布與速度構造剖面 CC’	米崙台地之下的地震群深度延伸到約 10 公里深
Yen et al.（2019）	2018 年花蓮地震分布及地表變形觀測	東傾的米崙斷層向下接到深部的走向滑移斷層帶。
本計畫綜整評估		10 公里

表 3. 5：米崙斷層長期滑移速率相關文獻彙整

Table 3. 5: Summary of studies on the long-term slip rate of the Milun Fault.

文獻	方法	垂直滑移速率（mm/yr）
Bonilla（1975）	海階高程與碳 14 定年	4.6~8.7
Yamaguchi and Ota（2004）	珊瑚樣本碳 14 定年	5
陳俊甫（2013）	珊瑚樣本 U/Th 定年	4.10~6.96
曾雅筑（2019）	槽溝與鑽探估算礫石層錯動量與碳 14 定年	2.9~3.4

3-1-2 池上斷層

3-1-2-1 斷層長度

池上斷層位於花東縱谷之中南段，北起玉里鎮春日里，經台東縣池上鄉萬安，南延至鹿野鄉瑞源，長約 65 公里，滑移方式為左移兼逆移，屬於第一類活動斷層（圖 3. 16）（林啟文等，2009；2021）。池上斷層歷經幾次地震事件，從過去的地震事件中可發現池上斷層有分段破裂的特性。

1951 年 11 月 24 日發生兩個大地震，先是在池上發生規模 Ms=6.8 的地震，三分鐘後在玉里發生規模 Ms=7.1 的地震，震央位於縱谷的東側（Cheng et al., 1996；Chen et al., 2008）（如圖 3. 17）。根據鍾令和（2003）及徐澔德等人（Shyu et al., 2007）調查之 1951 年地表破裂分布（圖 3. 18），1951 年地震的地表破裂可分為池上斷層破裂、玉里斷層破裂與瑞穗斷層破裂。池上斷層破裂自池上鎮南方的萬安村起，經富里延伸至玉里以南；玉里破裂穿越玉里鎮市區，造成校舍與橋樑損壞，並沿縱谷中央至秀姑巒溪河床與闊開寮一帶形成小規模張裂與水平錯移，未與縱谷斷層相連；瑞穗破裂則由鶴岡村延伸至瑞穗監獄北側。

Lee et al.（2006）根據測地資料觀察到池上斷層南段在 2003 年成功地震震後有加速潛移的現象，並根據餘震分布推測此次地震應與池上斷層南段的破裂有關（圖 3. 19）。

2022 年 9 月 17 日首先在關山發生規模 6.4 的地震，而後 9 月 18 日在池上發生規模 6.8 的地震，震央皆位於縱谷的西側，地震地表破裂集中於玉里斷層和池上斷層，徐澔德等（2023）認為與此地震與中央山脈斷層系統中深部的分支斷層活動有關。東里至竹田一帶有數條短而不連續的破裂帶（Wang et al., 2024）（圖 3. 18），此破裂帶位於池上斷層上盤。林啟文（2023）提出富北國中操場出現雁型排列的小型斷層，走向為北偏東 42 至 48 度，西北側為抬升側，抬升量<15 公分，東寧附近稻田也出現西側抬升的地表破裂，此斷層命名為東寧斷層，長約 3.5 公里。這些破裂帶接近池上斷層，但並未與既有的池上斷層跡重疊，推測是池上斷層帶中的分支斷層或背衝斷層誘發破裂。

3-1-2-2 斷層傾角

1. 野外露頭

富里富池橋東方的鱉溪河邊可觀察池上斷層露頭，利吉層向西逆衝至階地礫石之上，斷層位態為北 20 度東，傾角東傾 60 度（圖 3. 20）（陳文山等，2010）。瑞源坪頂台地南側的斷

層露頭可觀察到利吉層向西逆衝到河階礫石層之上，斷層位態為北偏東 15 度，東傾 63 度（圖 3. 21）（陳文山等，2006；紀權宜，2007）。

2. 鑽井資料

瑞源新良村的坪頂山西側共有四口鑽井（瑞源一號井 BH-01、瑞源二號井 BH-02、瑞源三號井 BH-03、瑞源四號井 BH-04），於 BH-04 井中觀察到利吉層逆衝至礫石層之上。BH-04 井深 7.0-35.6 公尺為利吉層，且在 33.7-35.6 公尺處有強烈的剪切構造，井位距離地表的階崖 37 公尺，推估斷層角度約為 70 度（陳文山等，2006）（圖 3. 22）。

Mu et al.（2011）在錦園地區鑽取三口岩芯（T1、T2、T3），T1 井位於主斷層東側上盤約 20-25 公尺處，井深共 60 公尺。在深度 12.8 公尺、14.5-15.6 公尺以及 36.4 公尺處觀察到三組斷層帶，傾角分別為 30 度、45-50 度以及 50 度（圖 3. 23）。

3. 槽溝資料

池上斷層沿線由北而南於大坡、錦園、萬安有槽溝資料（朱曜國，2007），其中大坡 1 號槽溝、大坡 2 號槽溝、錦園 1 號槽溝、錦園 2 號槽溝、萬安 2 號槽溝未見到池上斷層。

錦園 3 號槽溝位於錦園橋南側的張宅（座標：272002，2555995），2003 年成功地震發生後數個月間此處持續產生變形，造成房屋、圍牆和其他結構物龜裂。槽溝中可辨識出兩個斷層剪切面，斷層面皆呈現東傾，斷層角度約 30 度。錦園 3-2 槽溝南牆可觀察到 Fa1、Fb1 斷層，Fb1 切穿礫質砂層，並被上覆回填層覆蓋，垂直位移小於 5 公分；Fa1 則切穿上覆回填層，垂直位移約 8 公分。上覆回填層為 1951 年地震後整地形成，Fa1 年代對應至 2003 年的成功地震，Fb1 年代介於砂礫層與回填層之間，Fb1 年代可能對應 1951 年的地震（圖 3. 24）（顏一勤等，2014）。

萬安 1 號槽溝（座標：271647，2555346）位於保安宮南側約 10 公尺處，槽溝位於徐鐵良（Hsu, 1962）提出的池上斷層地形崖，槽溝東側地形崖高約 3-5 公尺。槽溝中可辨識出 7 個斷層剪切面，皆為東傾的逆斷層，垂直位移量 10~65 公分。根據斷層剪切面與沉積層的截切關係以及沉積層的年代，可歸納出四期活動時期，這四期中共有 9 次斷層活動紀錄（圖 3. 25）（顏一勤等，2014）。

4. 震測資料

曾彥祺等（2010）於錦園、萬安施測震測測線，在震測剖面中可觀察到花狀構造，在隆起小丘之下（龍仔尾線型）觀察到斷層擾動帶，主斷層傾角約 70 度東傾（圖 3. 26）。

陳昱菘（2022）於錦園、萬安的震測測線中（20-CSF-A、20-CSF-B、20-CSF-C）也觀察到池上斷層破裂帶以及花狀構造（圖 3. 27）。

5. 地質剖面

陳文山與王源（1996）繪製多個東西向橫跨花東縱谷以及海岸山脈區域的地質剖面（圖 3. 28），花東縱谷斷層帶為菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊的縫合帶。以瑞穗為界，花東縱谷斷層分為兩段，以北（現稱瑞穗斷層）主要是以平移的型態活動，以南（現稱池上斷層）主要是以逆移的型態活動。花東縱谷西側（中央山脈）的地層為古生代晚期至中生代變質岩，縱谷東側（海岸山脈）為利吉層，利吉層沿著花東縱谷斷層逆衝於變質岩之上，斷層覆蓋於全新世沖積層之下。

Chang et al.（2001）針對利吉層進行詳細的分類，根據利吉層中剪切程度由低至高分為四種類型（α、β、γ、δ），分別代表不同的變形程度（圖 3. 29），對比臺灣東南方外海的花東海脊，花東海脊具有強烈風化的沉積岩塊與晚更新世有孔蟲及黏土礦物，認為利吉層可以向南延伸至花東海脊，並推測利吉層再碰撞前就已存在，在隨後的碰撞過程中發展為主要斷層與縫合帶。也提到利吉混同層中泥質基質的變形極為複雜，而無法進行平衡剖面的滑移復原分析。

Shyu et al.（2006）提出另一種縱谷縫合帶的演化推測模型（圖 3. 30），（1）呂宋弧前的海洋岩石圈（Luzon forearc oceanic lithosphere, FAO）先隱沒至中央山脈（CR）之下，（2）當呂宋火山弧岩石圈（Luzon volcanic arc lithosphere, LVA）靠近中央山脈，發育出東傾的逆衝斷層，使 FAO 隱沒於 LVA 之下，此為第一條縱谷斷層，與此同時，LVA 與 CR 在淺層發育出新的西傾逆衝斷層。（3）當縫合帶進一步成熟，兩側的岩石圈日漸增厚，形成多組逆衝構造，新的構造在淺層發育，形成新的縱谷斷層，呈現匙狀，也就是現今在池上區域觀察到的縱谷斷層。（4）在秀姑巒溪一帶，縫合帶接近成熟，利用斷層–彎曲摺皺模型所建立的縱谷斷層是最新最淺的縱谷斷層，整個縫合帶呈現「聖誕樹」狀的構造，縱谷兩側的岩石圈堆積了厚層的沉積物，下方則是隱沒的 FAO。徐澔德等（2023）提到由於中央山脈斷層和縱谷斷層非常靠近，其中一條斷層的地震往往會影響到另一條斷層，例如 2003 年 12 月的成功地震與 2006 年 4 月的台東地震，以及 2022 年 9 月的關山–池上地震，都出現此現象。

林啟文（2023）根據 2022 年花蓮地震後最新資料重繪地質圖，池上斷層為東傾的斷層，上盤地層為利吉層，下盤為縱谷平原的沖積層，沖積層之下為縫合帶（Suture zone），縫合帶以西為中央山脈的變質岩地層（由北而南為崙山層、初來層以及紅葉層）（圖 3. 16）。

6. 地震分布

李元希等人（Lee et al., 2008）蒐集 1991-2002 地震資料，從北、中、南地震深度分布剖面可觀察到縱谷斷層於南段呈現匙狀幾何（圖 3. 31）。

Lee et al.（2006）根據野外調查與大地測量資料認為 2003 年成功地震在池上斷層上造成同震與震後變形，從餘震分布圖中可觀察到地震群呈現匙狀幾何的特徵（圖 3. 19）。

Cheng et al.（2009）針對 2003 年 Mw 6.8 成功地震的餘震進行重定位，從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，餘震的震源機制解多屬於逆斷層的事件，整體而言斷層幾何由地表高角度逐漸往深變為低角度，深度最大約為 25 公里（圖 3. 32）。

7. 本計畫綜整評估（傾角）

富池橋鱉溪河邊的斷層露頭顯示池上斷層位態為北 20 度東，傾角東傾 60 度。池上斷層上盤地層多屬於火成岩或受剪力變形的海洋沉積物，無法利用變形前後地層等厚度或等面積的假設推測地下斷層幾何形貌（Chang et al., 2001）。2003 年成功地震與池上斷層活動相關，餘震分布中可觀察到地震群呈現匙狀排列的特徵（Lee et al., 2006；Cheng et al., 2009）。本計畫參考 2003 年成功地震的重定位的餘震分布（Cheng et al., 2009）擬定池上斷層幾何，0~20 公里深為 60 度東傾，20~25 公里深為 25 度東傾（圖 3. 33）。

池上斷層傾角相關文獻資料彙整於表 3. 6。

3-1-2-3 斷層深度

1. 地震分布

根據 Lee et al.（2008）蒐集的 1991-2002 地震資料，該地區地震深度延伸至 40-50 公里（圖 3. 31）。Lee et al.（2006）繪製的 2003 年成功地震的餘震分布圖中可觀察到地震群延伸至約 25-30 公里（圖 3. 19）。Cheng et al.（2009）針對 2003 年 Mw 6.8 成功地震的餘震進行重定位，地震群延伸至約 25 公里深（圖 3. 32）。

2. 本計畫綜整評估（深度）

震測剖面中可觀察到上盤呈現花狀構造（錦園測線、萬安測線）（圖 3. 27），位於鱉溪的

地質剖面也有花狀構造的特徵（圖 3. 29），顯示此區域除具逆衝滑動以外，也可能伴隨走向滑移的分量。此外，二維剖面中斷層兩側的地層厚度不一致，也顯示池上斷層可能具有走向滑移的特性。由於斷層兩側地層無法互相對比，因而難以建立平衡剖面以推估斷層地下幾何與斷層深度。

根據 2003 年成功地震的測地資料，池上斷層在此地震中有同震及震後變形的現象（Lee et al., 2006）。餘震分布呈現匙狀排列的特徵（e.g. Lee et al., 2006；Cheng et al., 2009），假設此地震主要由池上斷層活動所引發，則可透過餘震分布推估斷層幾何。經過地震重定位分析後（Cheng et al., 2009），可發現斷層在 20 公里左右漸漸轉彎，由近地表的高角度往深部轉為低角度，地震群大約延伸至 25 公里深（圖 3. 33）。

池上斷層深度相關文獻資料彙整於表 3. 7。

3-1-2-4 滑移速率

朱曜國（2007）利用池上地區階地的比高及定年結果推估池上斷層之長期滑移速率（圖 3. 34，表 3. 8），採樣點位於富里、富南及錦園地區之階地。結果顯示池上斷層在一千年內平均的垂直滑移速率約為 26-27.4 mm/yr，FNC 高位階地計算所得到六千年來平均的垂直滑移速率為 7.6-7.8 mm/yr，明顯比其它一千年內的速率結果小很多，朱曜國（2007）認為可能早期斷層抬升速率較低，但此推論缺乏其他證據支持，也有可能定年樣本來自於東側較老地層，被沖積搬運到階地，因而其推估的抬升速率不可信。

陳文山等（2010）研究鱉溪富池橋南岸之池上斷層露頭剖面（圖 3. 20），量測河階與鱉溪河床比高為 27 公尺，河階礫石層碳 14 定年年代為 1180-940 yr BP，陳文山等（2010）推論池上斷層之長期抬升速率應與河流的下切速率相當，約為 23.5-27.0 mm/yr。

張冕（2013）於富南 T7 階地量得比高為 30 公尺，富南 T7 的碳 14 定年年代為 5750-6880 yr BP，得到河流下切速率為 1.4-1.7 cm/yr（圖 3. 35）。

以上池上斷層垂直滑移速率彙整於表 3. 9，本計畫假設斷層傾角為 60 度推算長期滑移速率，如表 3. 9。

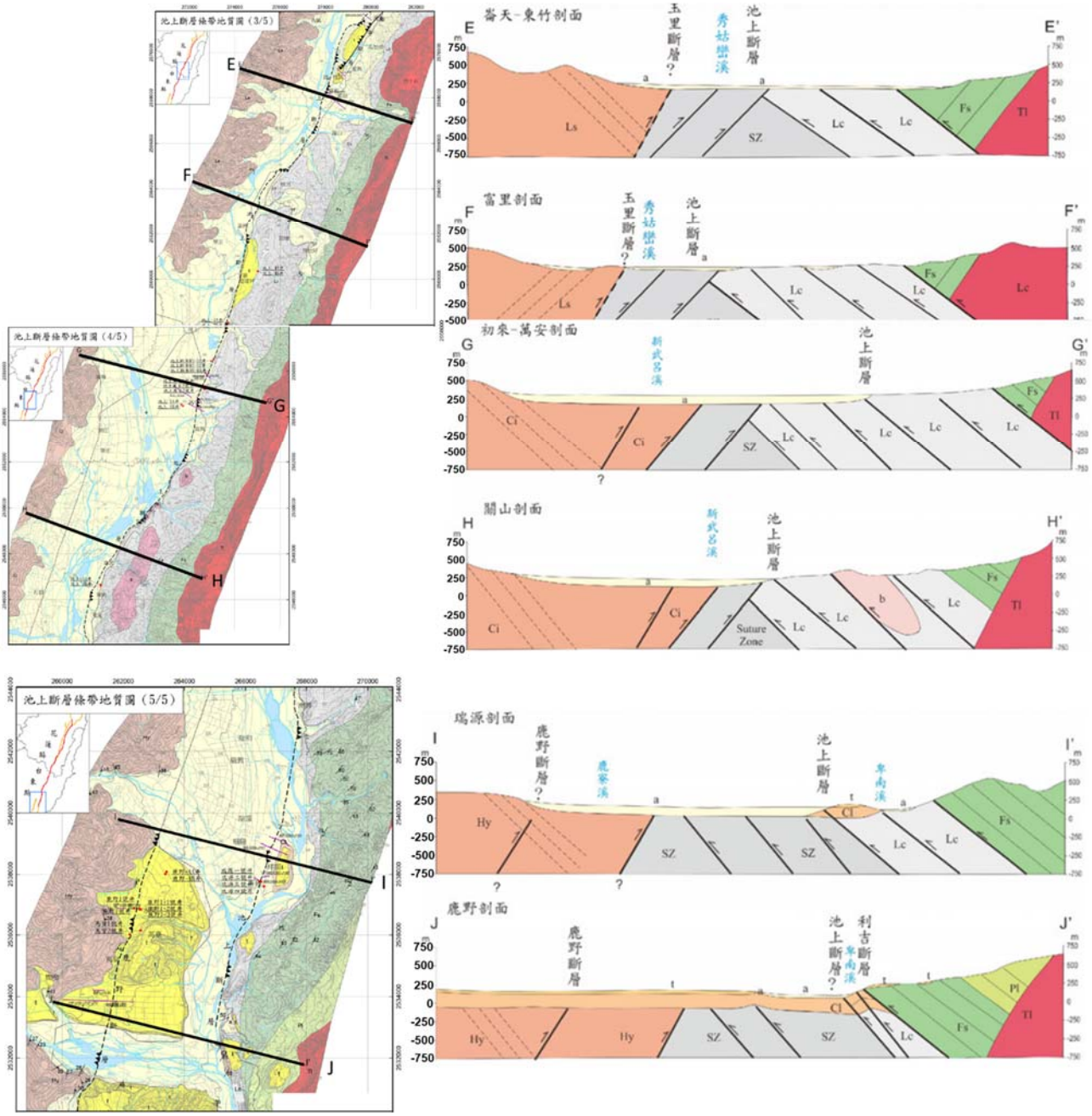


圖 3. 16：池上斷層條帶地質圖與地質剖面（林啟文，2023）。

Figure 3. 16: Strip map and geological cross section of Chihshang Fault (Lin, 2023).

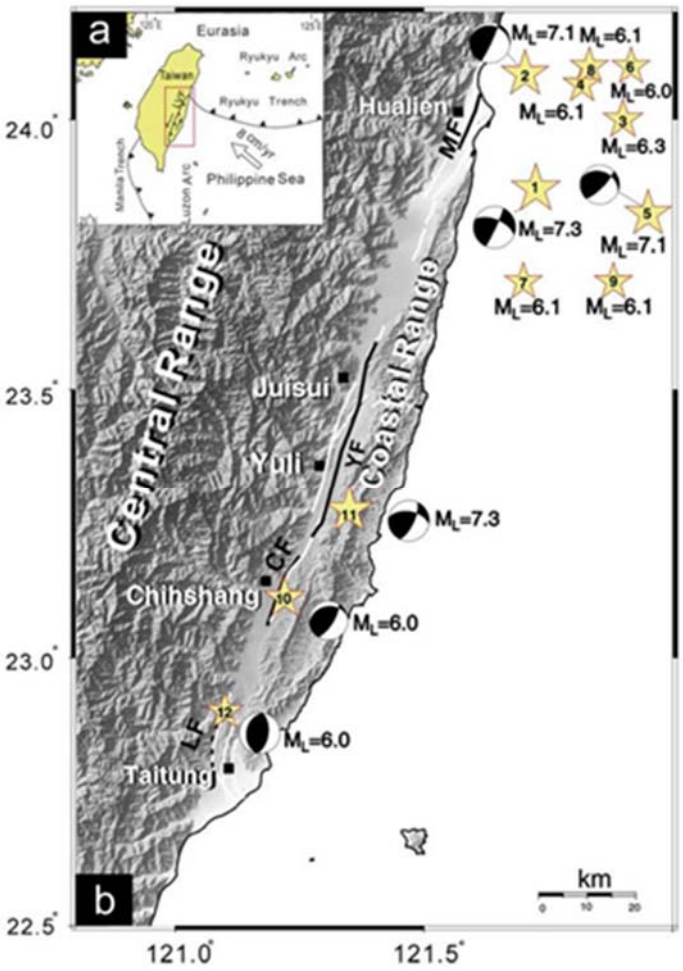


圖 3. 17：1951 年花蓮−台東系列地震主震之時空分布（Chen et al., 2008），CF 為池上斷層，YF 為玉里斷層。

Figure 3. 17: Spatiotemporal distribution of the main shocks of the 1951 Hualien–Taitung earthquake sequence (Chen et al., 2008). CF denotes the Chihshang Fault, and YF denotes the Yuli Fault.

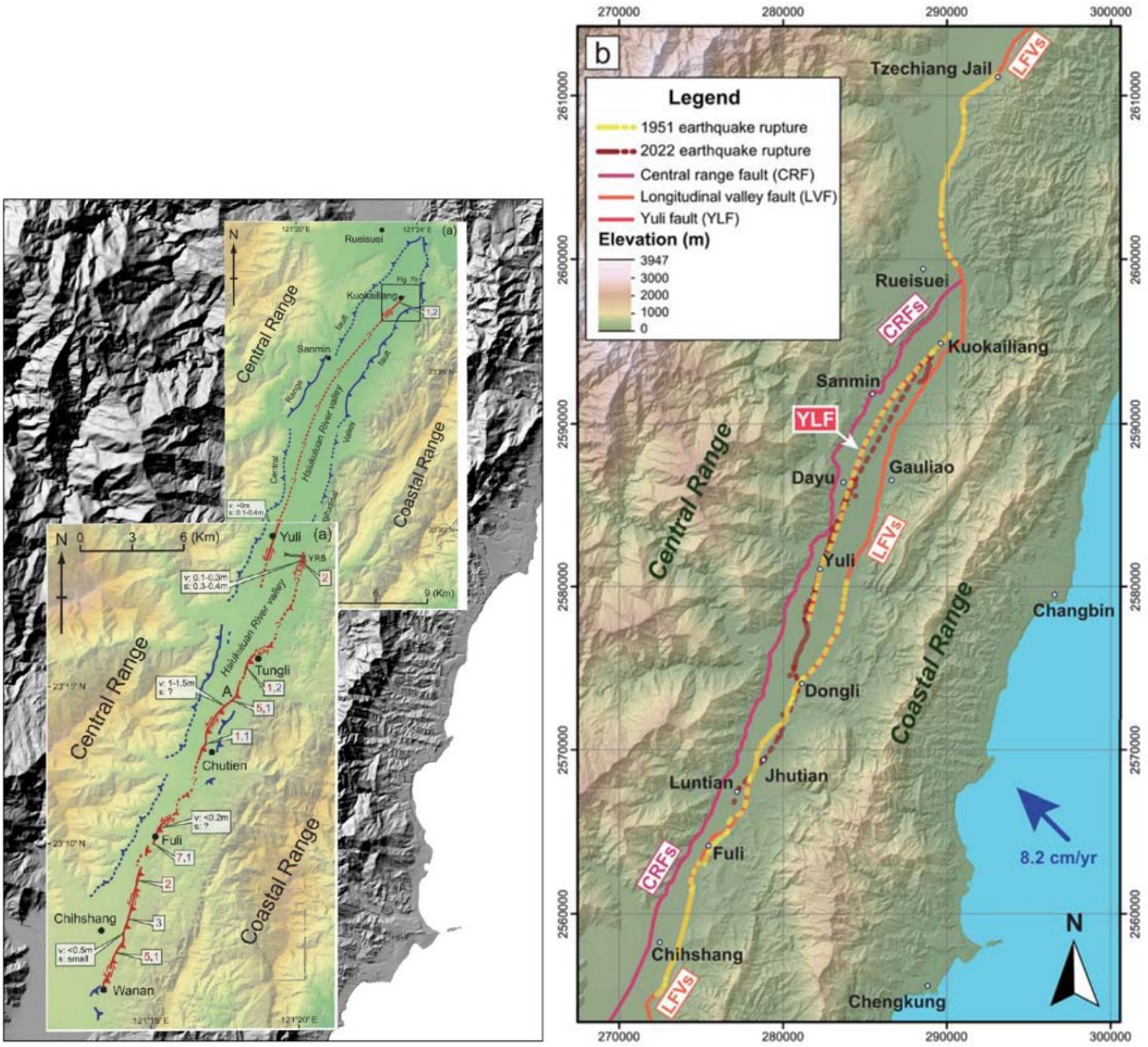


圖 3. 18：玉里附近 1951 與 2022 年地震的地表破裂分布。（左圖）1951 年花東縱谷地震玉里地區地表破裂分布圖，紅色線代表地表破裂，藍線代表 1951 年未產生地表破裂之活動構造（引自 Shyu et al., 2007）；（右圖）2022 年關山—池上地震地表破裂分布圖，紅線代表 2022 年地震地表破裂，黃線代表 1951 年地震地表破裂，橘線代表縱谷斷層，粉紫線代表中央山脈斷層，橘紅線代表玉里斷層（引自 Wang et al., 2024）。

Figure 3. 18: (Left) Surface ruptures of the 1951 Hualien–Taitung earthquake in the Yuli area. Red lines show surface ruptures; blue lines indicate active structures without 1951 surface breakage (Shyu et al., 2007). (Right) Surface ruptures of the 2022 Guanshan–Chihshang earthquake. Red lines denote the 2022 surface ruptures; yellow lines denote the 1951 ruptures; orange lines mark the Longitudinal Valley Fault; pink–purple lines mark the Central Range Fault; and orange–red lines mark the Yuli Fault. (Wang et al., 2024).

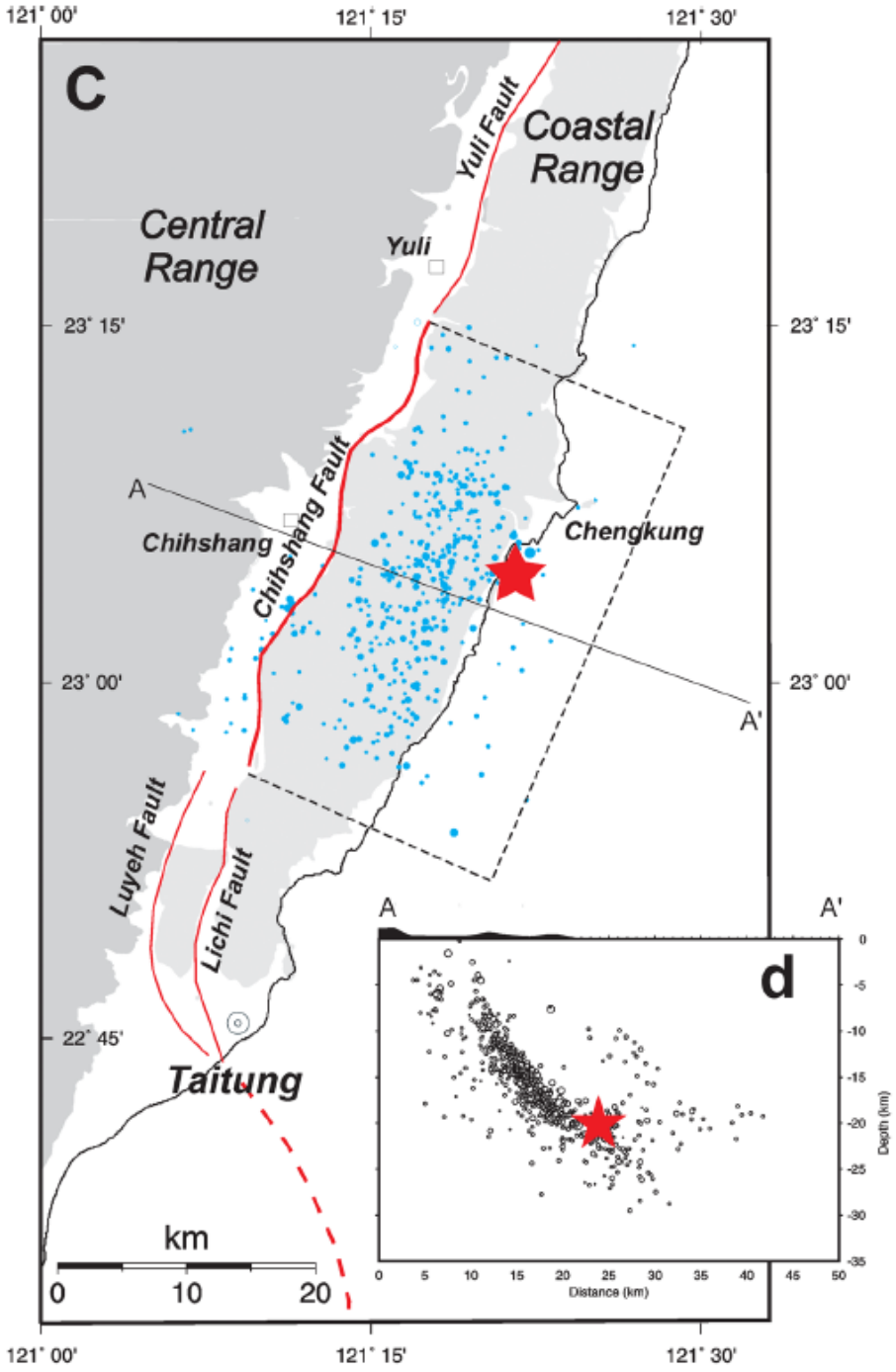


圖 3. 19：2003 年成功地震餘震分布（Lee et al., 2006）。

Figure 3. 19: Aftershock distribution of the 2003 Chengkung earthquake (Lee et al., 2006).

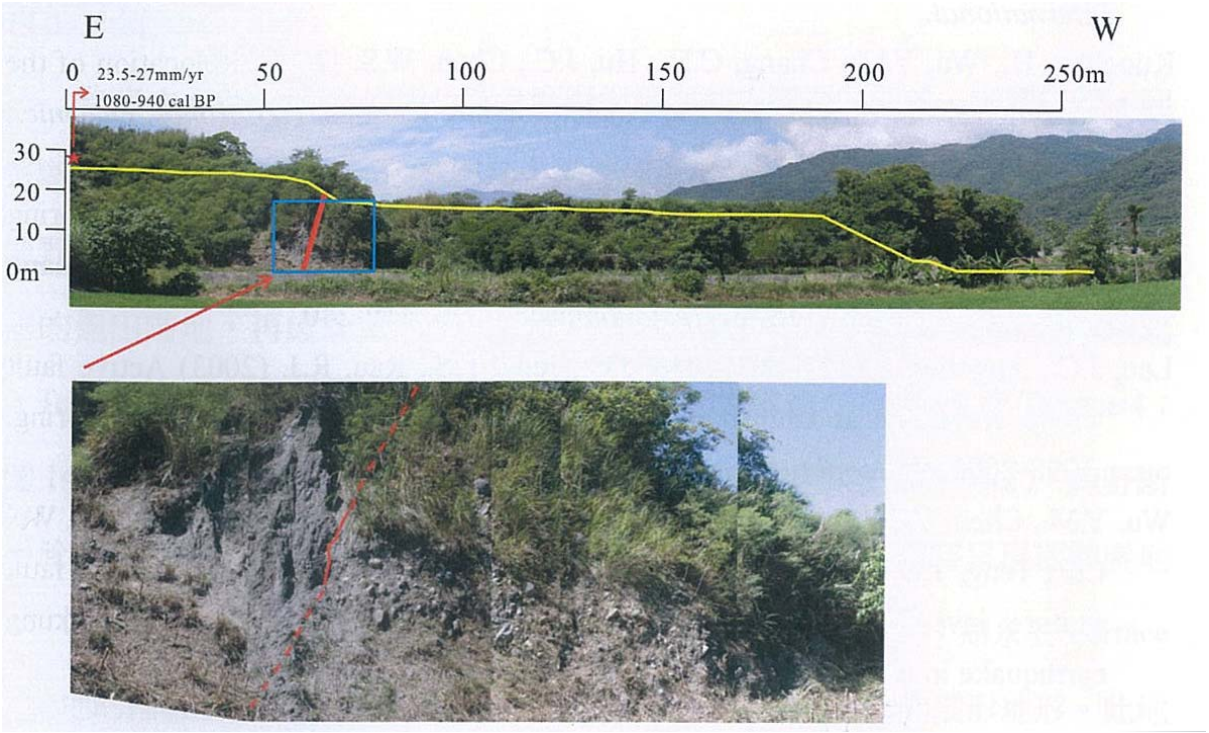


圖 3. 20：富里富池橋東方鱉溪露頭照片。此露頭為可直接觀察到池上斷層出露的位置。利吉層向西逆衝至第二階階地礫石之上，斷面位態為北 20 度東，傾角向東 60 度（陳文山等，2010）。

Figure 3. 20: Outcrop photo along the Biexi River east of Fuchih Bridge in Fuli, showing the surface exposure of the Chihshang Fault. The Lichi Mélange thrusts westward over the second-terrace gravels, with the fault striking N20°E and dipping 60°E (Chen et al., 2010).

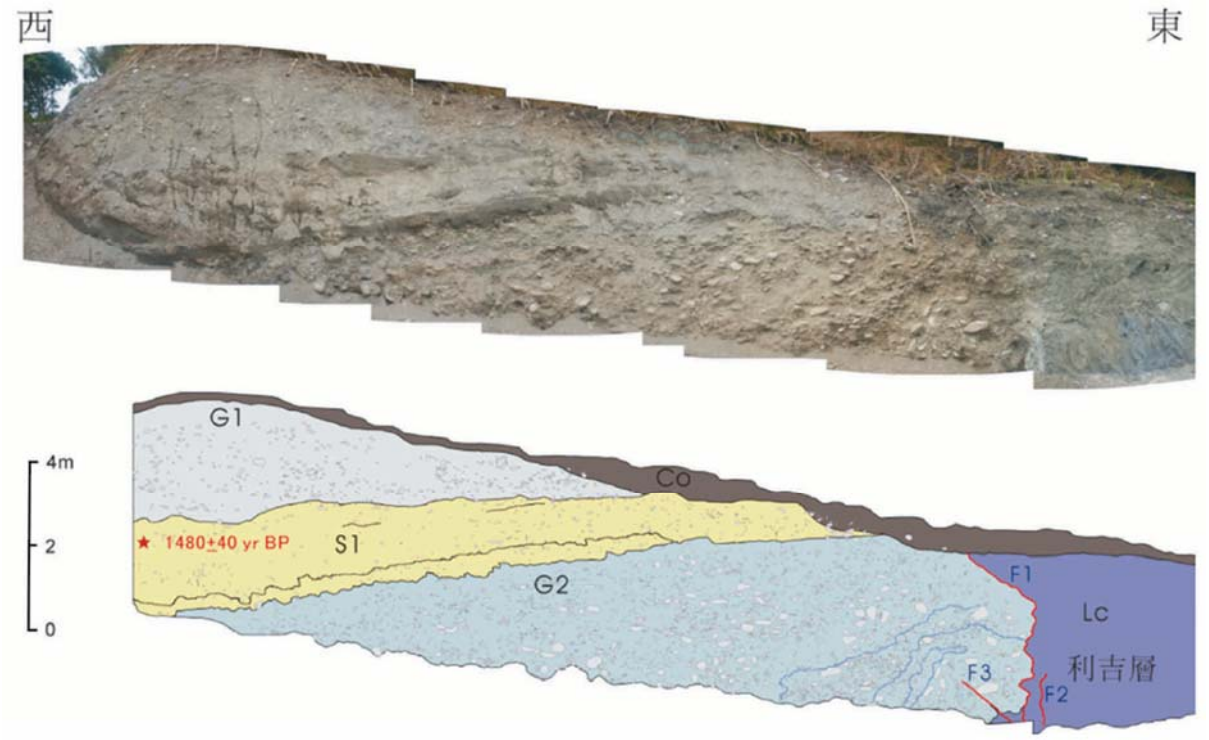


圖 3. 21：瑞源坪頂台地南側的斷層露頭（陳文山等，2006）。

Figure 3. 21: Fault outcrop on the southern side of the Ruyuan Pingding Terrace (Chen et al., 2006).

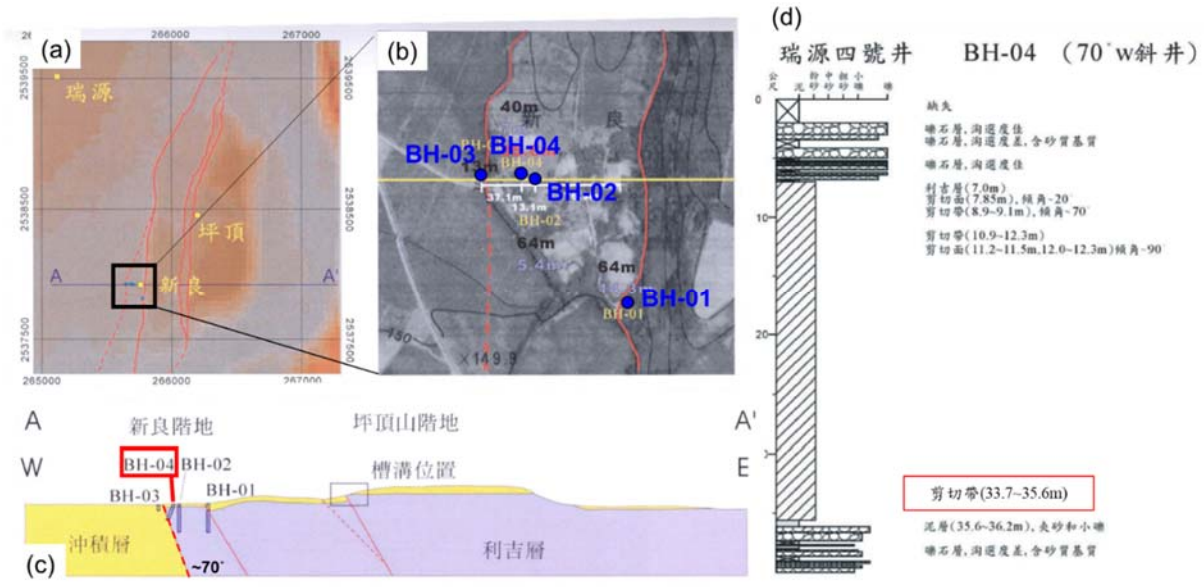


圖 3. 22：池上斷層鑽井資料（陳文山等，2006）。

Figure 3. 22: Borehole data of the Chihshang Fault (Chen et al., 2006).

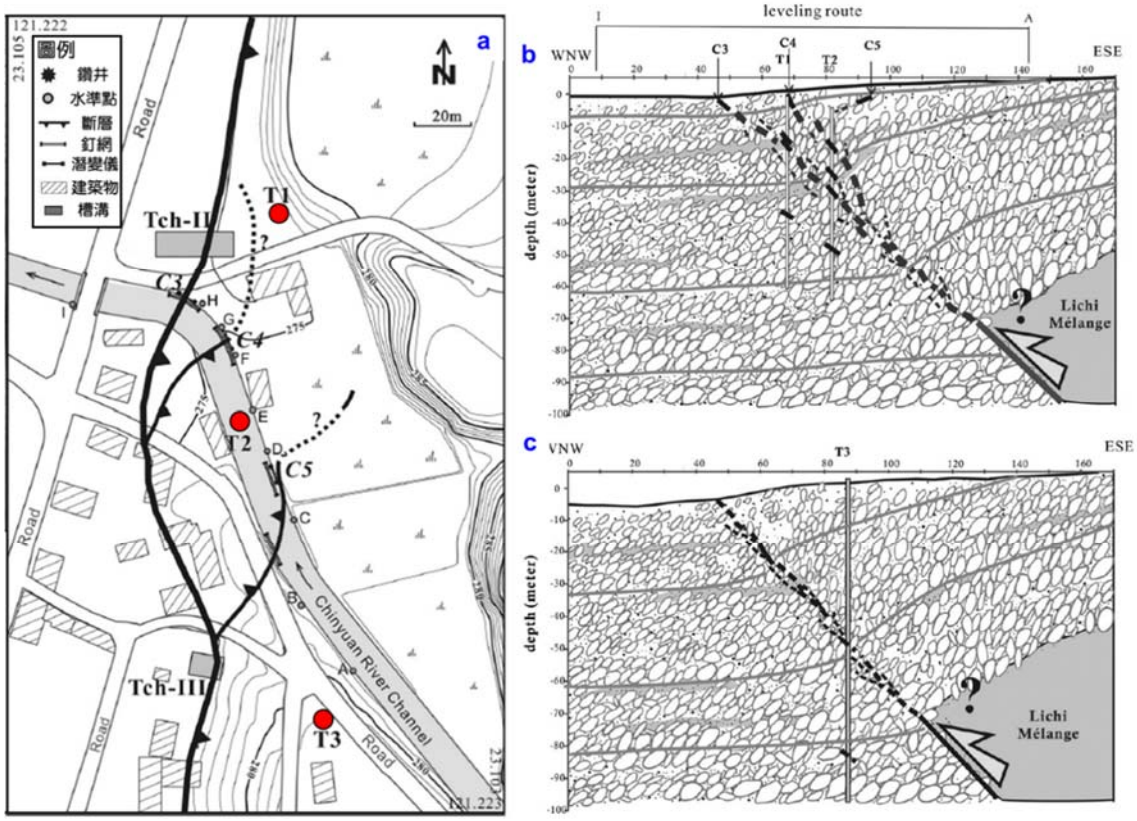


圖 3. 23：池上斷層於錦園地區之位置與地質剖面圖。（a）池上斷層於錦園地區之平面分布圖，此處進行了各式測量方法，包括水準測量、潛變儀、GPS、鑽井及槽溝開挖等；（b）結合地表破裂及鑽井資料描繪之錦園地區池上斷層地下幾何形貌二維地質剖面圖（Mu et al., 2011）。

Figure 3. 23: (a) Plan-view distribution of the Chihshang Fault in the Jinyuan area, where multiple measurement methods have been applied, including leveling, creepmeters, GPS, boreholes, and trenching. (b) Two-dimensional geological cross section of the subsurface geometry of the Chihshang Fault in the Jinyuan area, constructed from surface ruptures and borehole data (Mu et al., 2011).

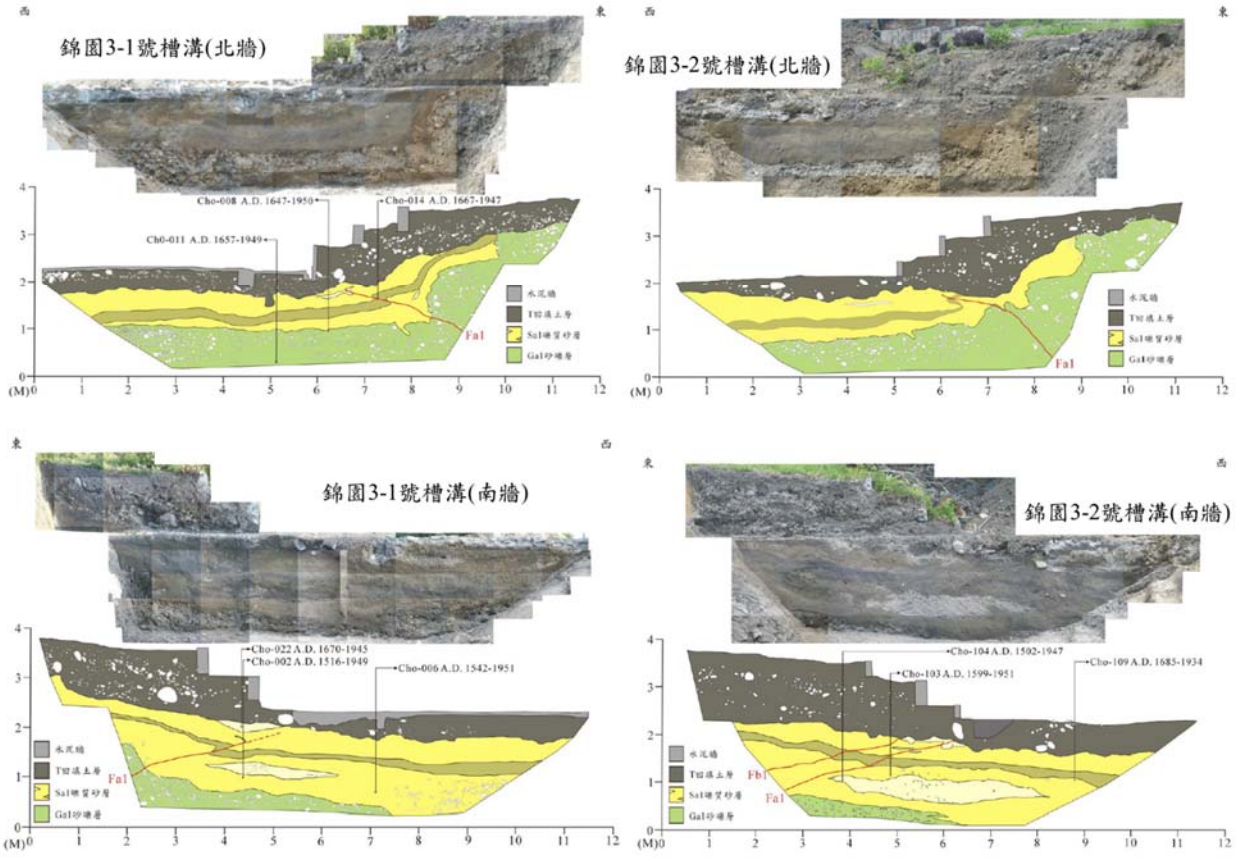


圖 3. 24：池上斷層錦園槽溝資料（顏一勤等，2014）

Figure 3. 24: Trench data of the Chihshang Fault at Jinyuan (Yen et al., 2014).

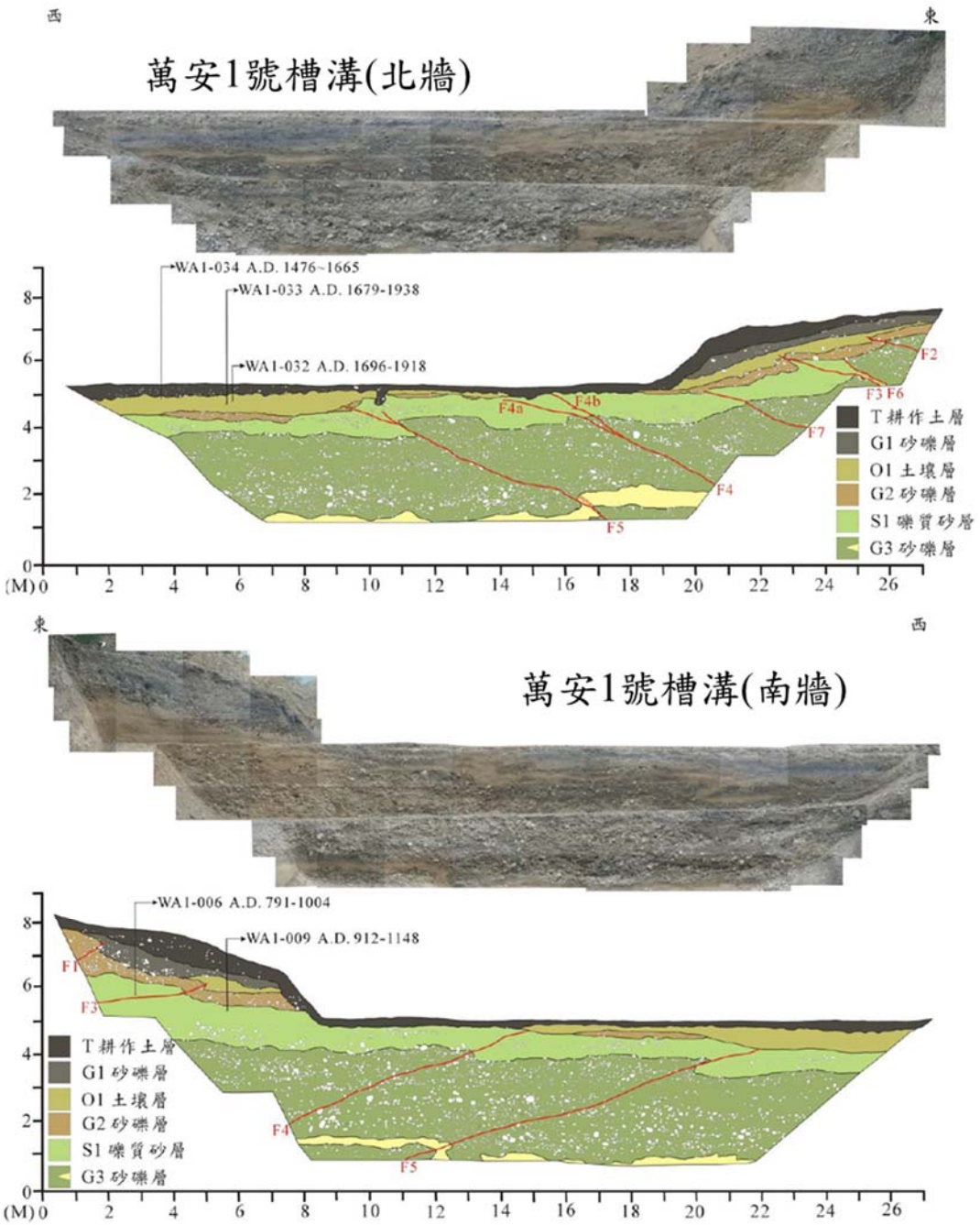


圖 3. 25：池上斷層萬安 1 號槽溝資料（顏一勤等，2014）

Figure 3. 25: Trench data of the Chihshang Fault at Wan-an Trench No. 1 (Yen et al., 2014).

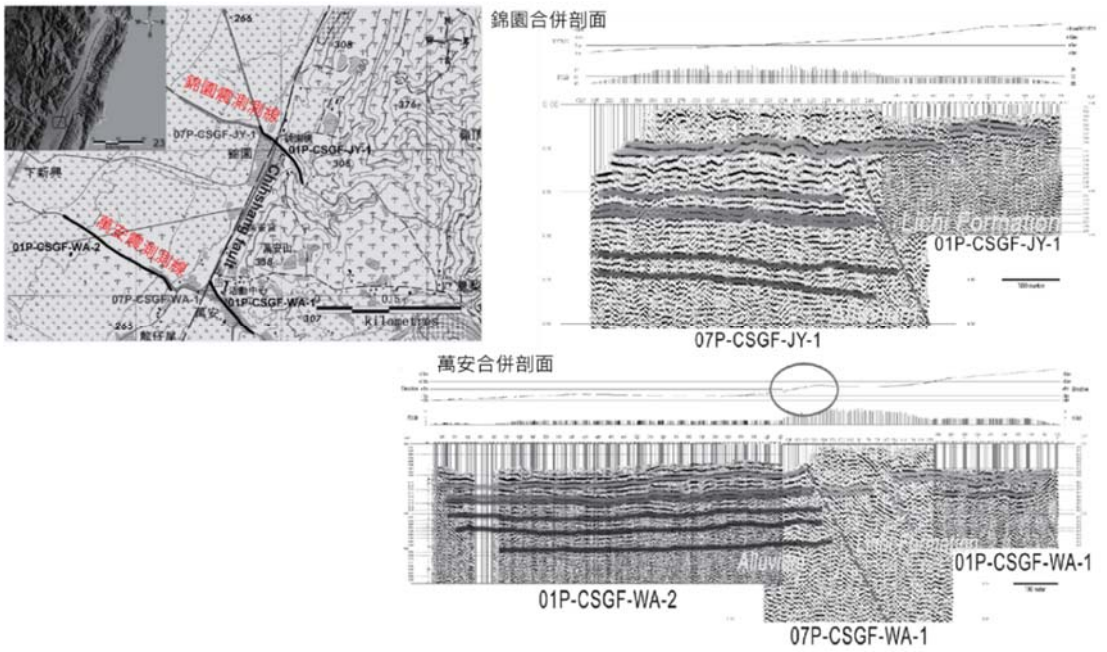


圖 3. 26：錦園、萬安震測剖面圖，黑色圓圈為地形崖位置，對應震測剖面中斷層擾動帶（曾彥祺等，2010）。

Figure 3. 26: Seismic profiles at Jinyuan and Wan-an, with black circles marking the locations of topographic scarps corresponding to fault-disturbed zones in the seismic sections (Tseng et al., 2010).

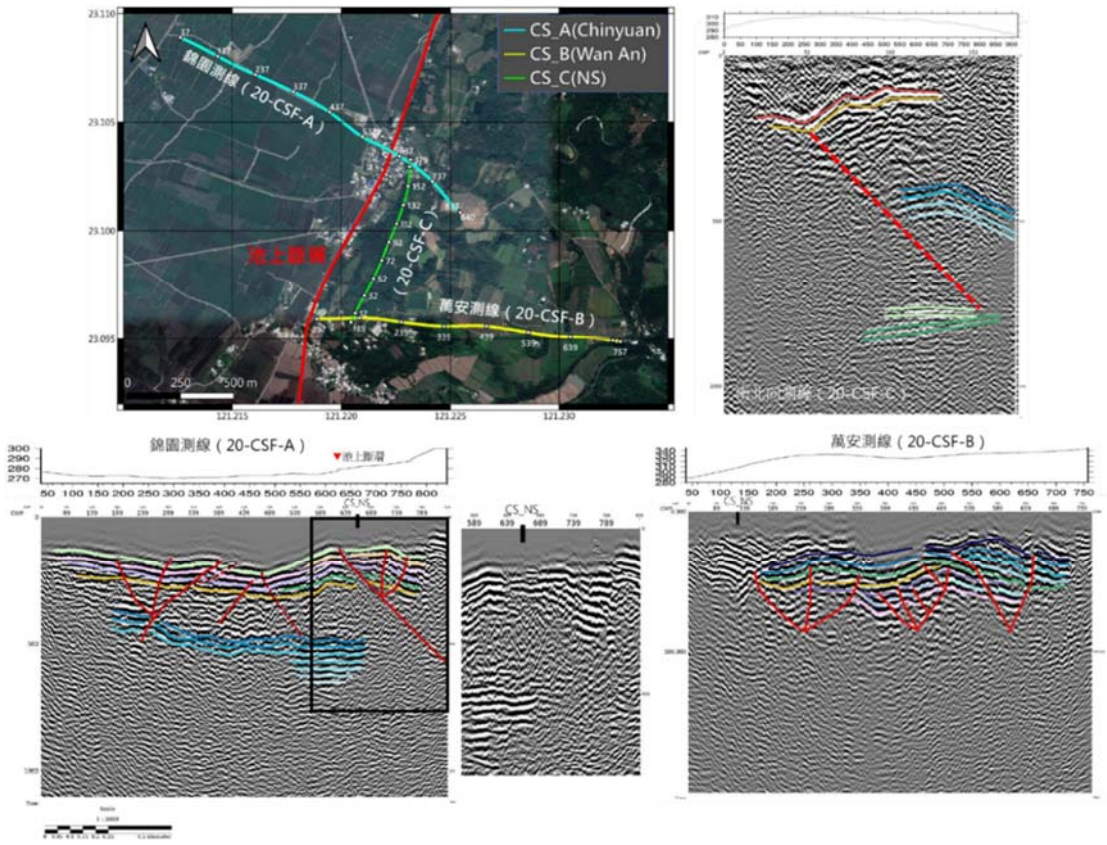


圖 3. 27：池上斷層震測測線（陳昱菘，2022）。在 20-CSF-A 震測剖面中可觀察到池上斷層的擾動帶，對應上方地形崖的位置。

Figure 3. 27: Seismic survey lines across the Chihshang Fault (Chen, 2022). The fault-disturbed zone is visible in the 20-CSF-A seismic profile, corresponding to the topographic scarp above.

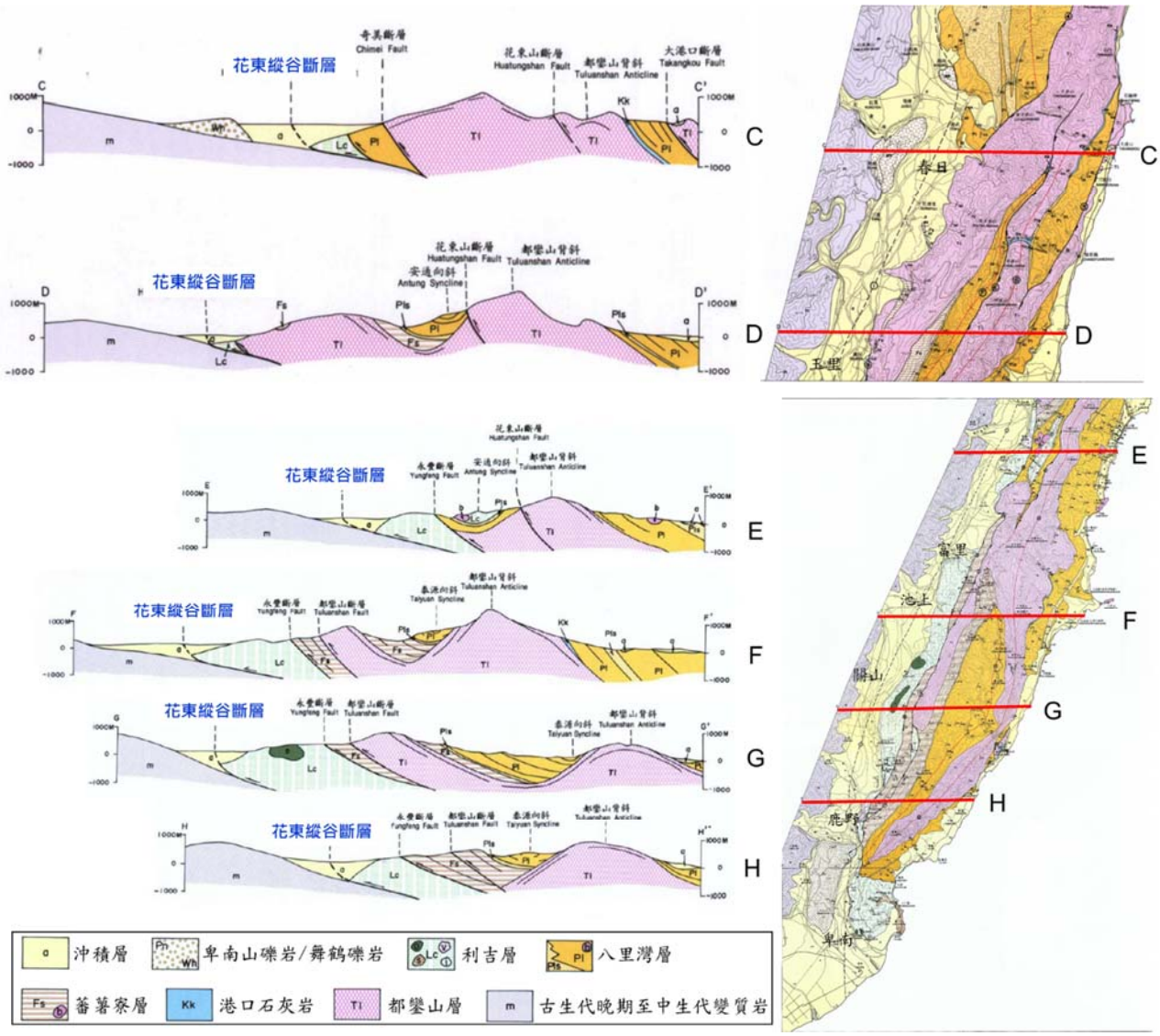


圖 3. 28：十萬分之一海岸山脈地質圖（陳文山與王源，1996）。

Figure 3. 28: 1:100,000 Geological Map of the Coastal Range (Chen and Wang, 1996).

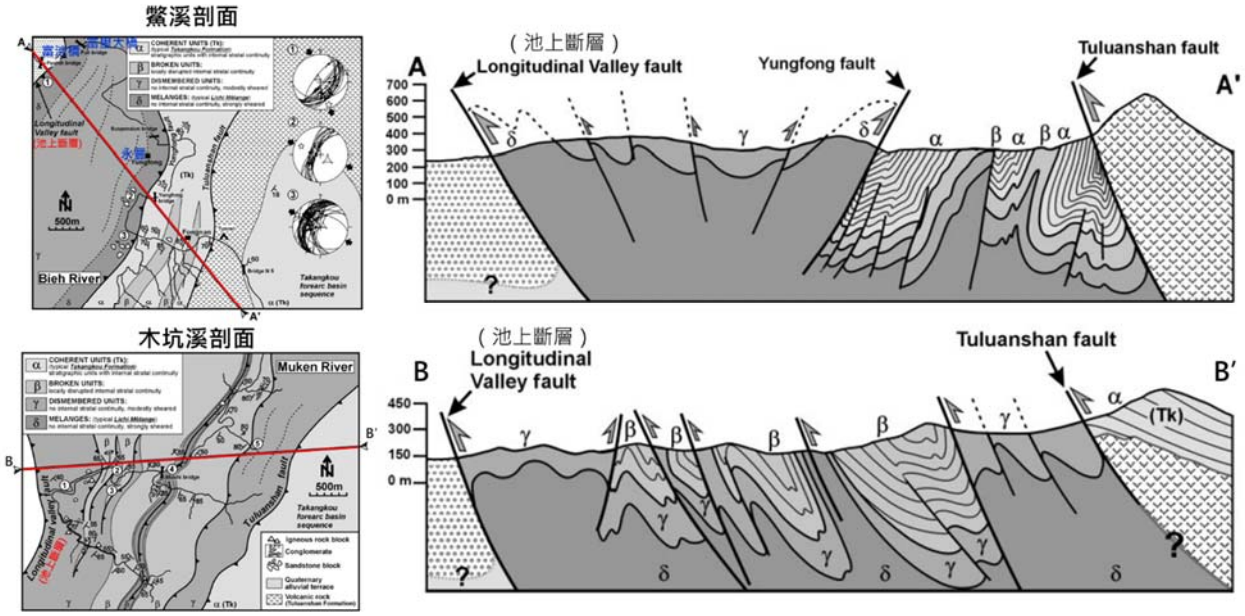


圖 3. 29：鰲溪與木坑溪利吉層地質剖面，α、β、γ、δ 代表變形程度由低至高的利吉層（Chang et al., 2001）。

Figure 3. 29: Geological cross section of the Lichi Mélange along the Biexi and Mukengxi Rivers, with α, β, γ, and δ denoting increasing degrees of deformation (Chang et al., 2001).

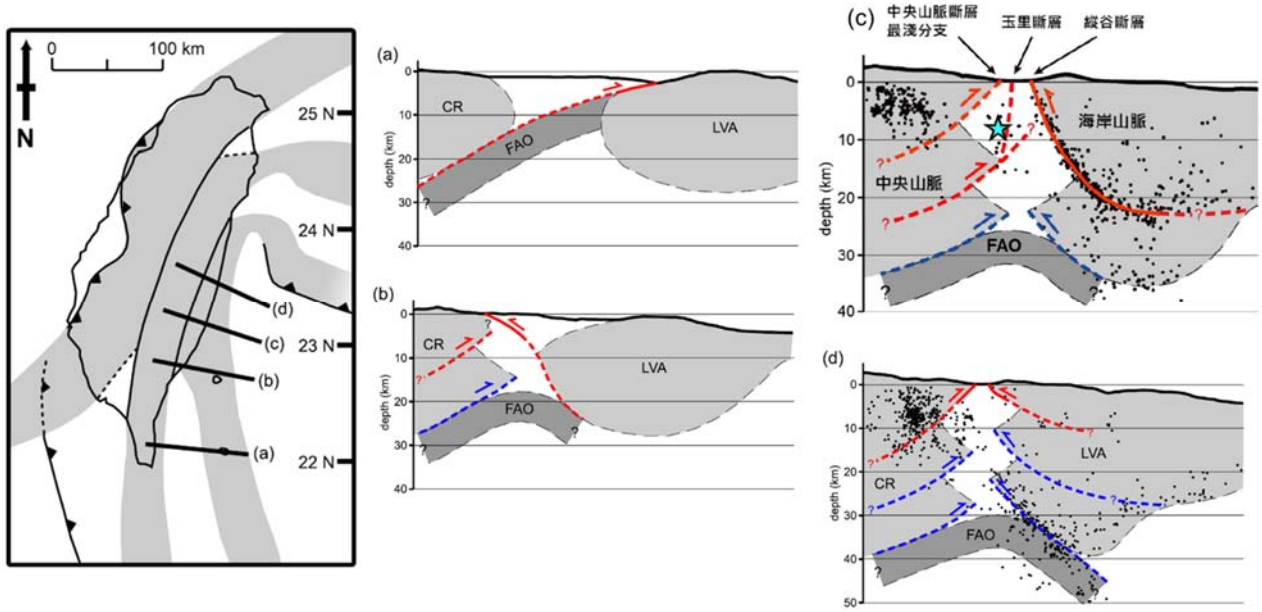


圖 3. 30：縱谷縫合帶演化模型。剖面位置由南而北為：(a) 早期隱沒階段；(b) 初始碰撞階段，發育出縱谷斷層；(c) 縫合帶發展階段，2022 年地震為深部的中央山脈斷層活動引起，進而誘發玉里斷層滑動；(d) 縫合帶成熟階段，呈現聖誕樹狀的構造。(Shyu et al., 2006；徐澔德等，2023)

Figure 3. 30: Evolutionary model of the Longitudinal Valley suture zone. Cross-sectional stages from south to north (Shyu et al., 2006, 2023). (a) Early subduction stage; (b) Initial collision stage with development of the Longitudinal Valley Fault; (c) Suture-zone development stage, in which the 2022 earthquake was generated by deeper activity of the Central Range Fault, subsequently triggering slip on the Yuli Fault; (d) Mature suture stage showing a Christmas-tree–shaped structural pattern.

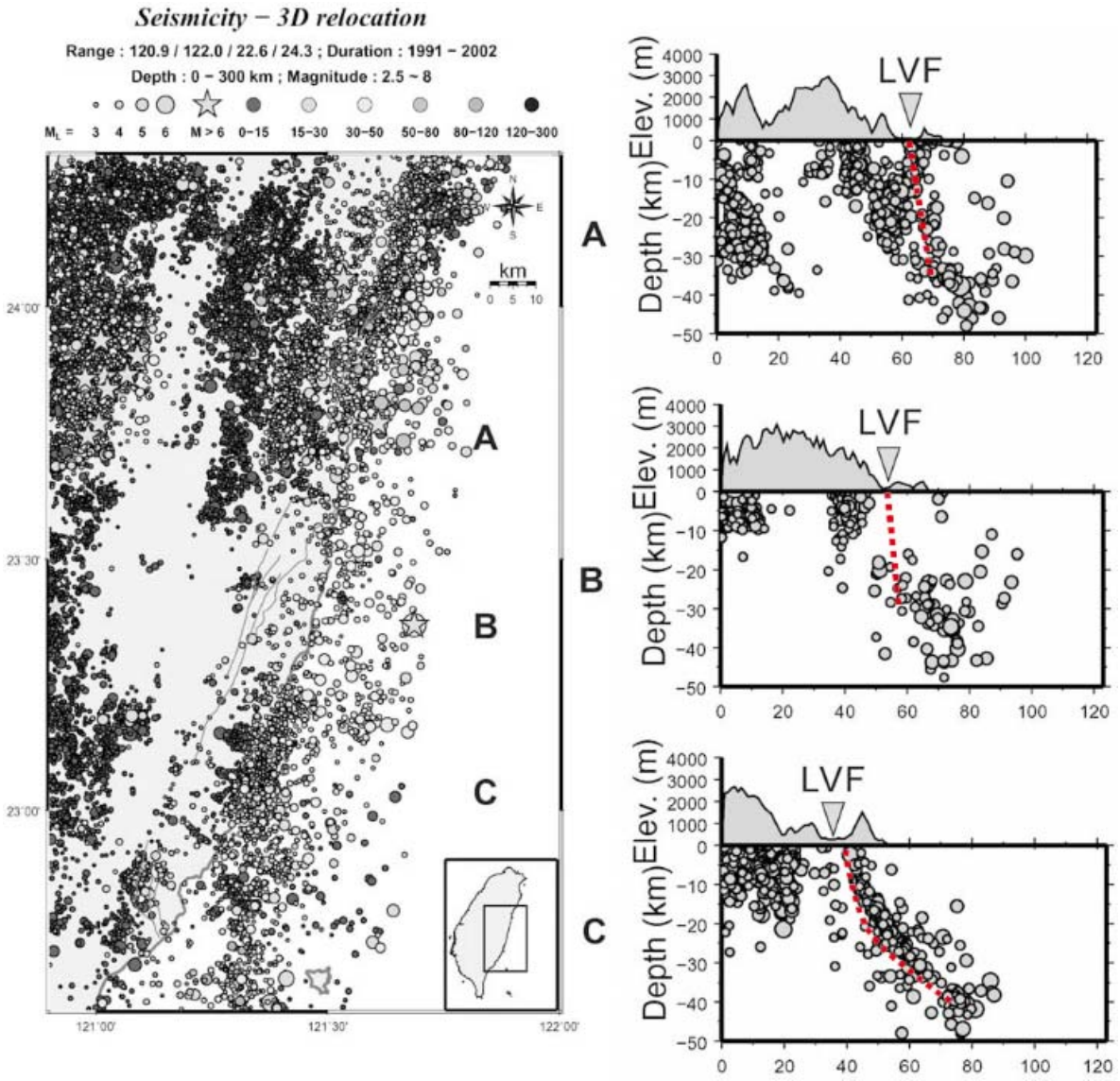


圖 3. 31：1991-2002 規模 2.5~8 地震重定位剖面圖，剖面由上而下分別位於縱谷北、中、南，紅色虛線代表可能的斷層面（Lee et al., 2008）。

Figure 3. 31: Relocated earthquake profiles for events of magnitude 2.5–8 from 1991–2002. The profiles, from top to bottom, correspond to the northern, central, and southern Longitudinal Valley. Red dashed lines indicate the possible fault planes (Lee et al., 2008).

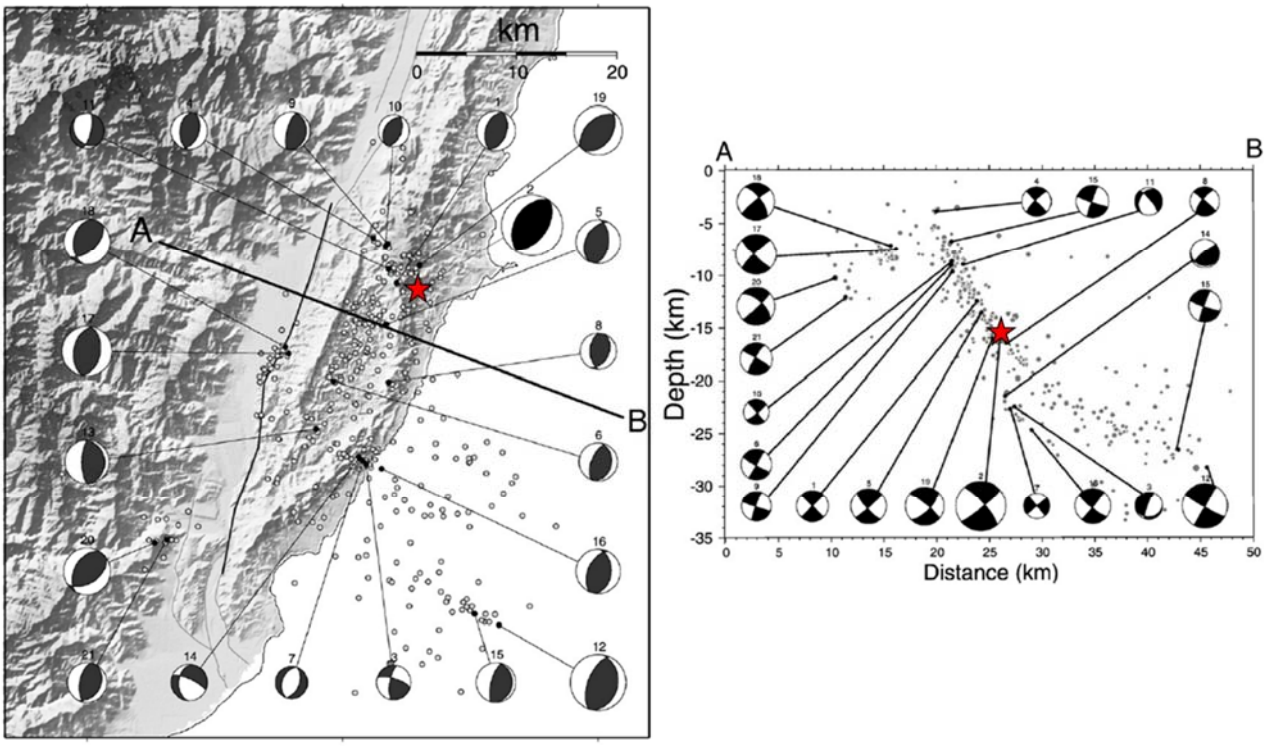


圖 3. 32：2003 年成功地震餘震重定位結果（Cheng et al., 2009）。

Figure 3. 32: Relocated aftershocks of the 2003 Chengkung earthquake (Cheng et al., 2009).

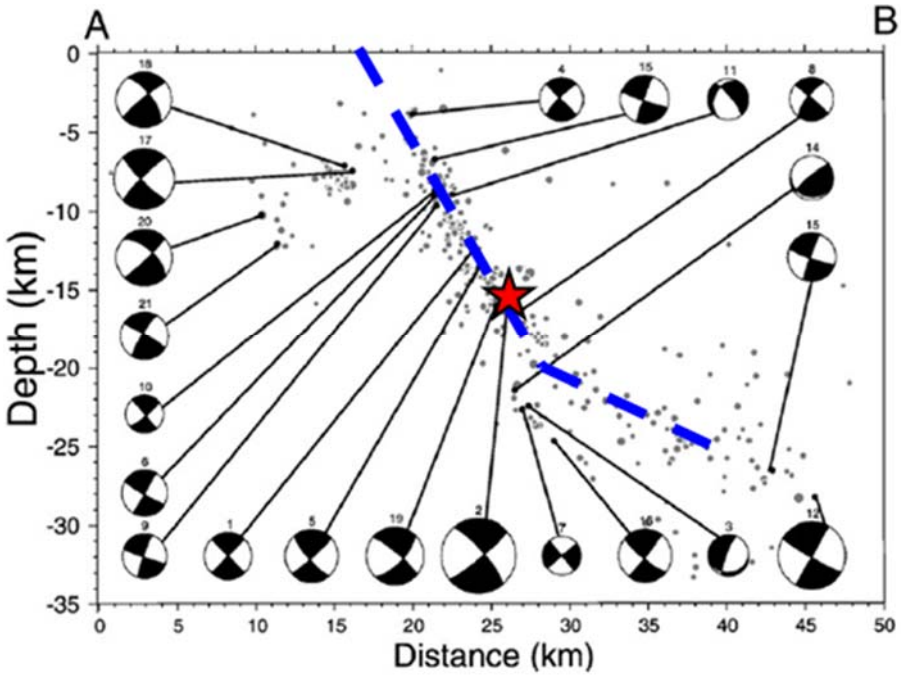


圖 3. 33：2006 年成功地震餘震重定位結果（Cheng et al., 2009）與本計劃擬定之斷層幾何（藍色虛線）。

Figure 3. 33: Relocated aftershocks of the 2006 Chengkung earthquake (Cheng et al., 2009), together with the fault geometry proposed in this study (blue dashed lines).

表 3. 6：池上斷層傾角相關文獻彙整

Table 3. 6: Summary of studies on the dip of the Chihshang Fault.

參考文獻	方法	傾角(度)	
陳文山等（2010）	富里富池橋東方之池上斷層露頭	60 度	
陳文山等（2006）	瑞源地區 BH-04 鑽井資料	70 度	
Mu et al.（2011）	錦園地區鑽井資料	Site I:	30-40 度（主斷層） 50-60 度（分支斷層）
		Site II:	40-50 度
朱曜國（2007）	錦園 3 號槽溝、萬安 1 號槽溝	--	
曾彥祺等（2010）	錦園、萬安震測資料	70 度	
陳昱菘（2022）	錦園、萬安的震測側測線	淺部有花狀構造	
Lee et al.（2008）	1991-2002 年 3D 地震重定位	匙狀幾何	
Lee et al.（2006）	2003 年成功地震分布與大地測量資料觀測	匙狀幾何	
Cheng et al.（2009）	2003 年成功地震餘震重定位	60 度（0-20 公里） 25 度（20-25 公里）	
本計畫	根據 2003 年成功地震餘震分布趨勢（Cheng et al., 2009）	60 度（0-20 公里） 25 度（20-25 公里）	

表 3. 7：池上斷層深度相關文獻彙整

Table 3. 7: Summary of studies on the depth of the Chihshang Fault.

參考文獻	方法	深度
Lee et al.（2008）	1991-2002 年 3D 地震重定位	地震深度延伸至 40-50 公里
Lee et al.（2006）	2003 年成功地震分布與大地測量資料觀測	地震深度延伸至約 25-30 公里
Cheng et al.（2009）	2003 年成功地震餘震重定位	約 25 公里
本計畫	根據 Cheng et al.（2009）對 2003 年成功地震餘震的重定位結果	底部延伸至 25 公里深

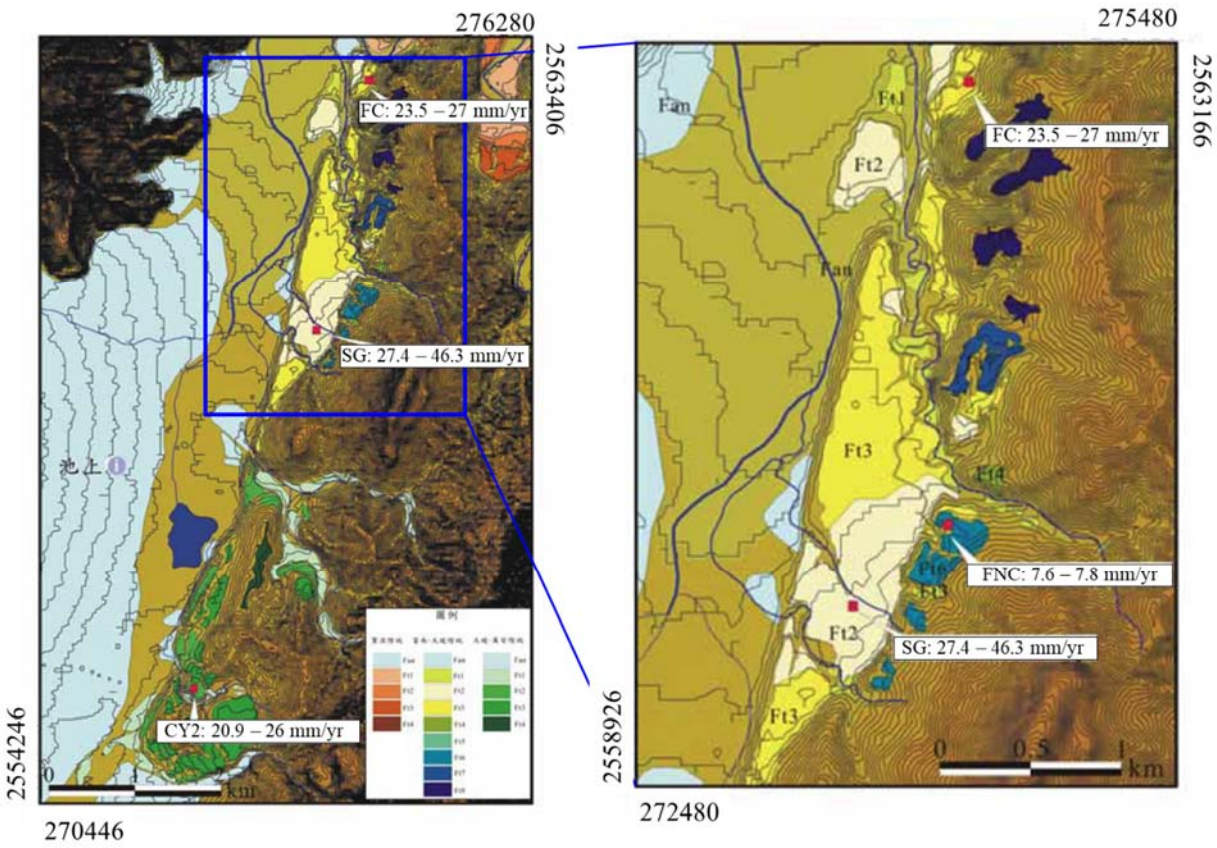


圖 3. 34：池上地區階地分布與抬升速率圖（朱曜國，2007）。

Figure 3. 34: Terrace distribution and uplift rates in the Chihshang area (Chu, 2007).

表 3. 8：池上地區階地年代及推估之斷層垂直滑移速率（朱曜國，2007）。

Table 3. 8: Terrace ages and inferred vertical slip rates of the Chihshang Fault in the Chihshang area (Chu, 2007).

階地編號	採樣深度（m）	階面河拔高（m）	階地校正年代（2δ）（Cal yr BP）	垂直滑移速率（mm/yr）
FC	1.61	27	940-1,080	23.5-27
FNC	1.26	50	6,280-6,410	7.6-7.8
SG	1.58	15	290-490	27.4-46.3
CY2	1.19	15	530-660	20.9-26

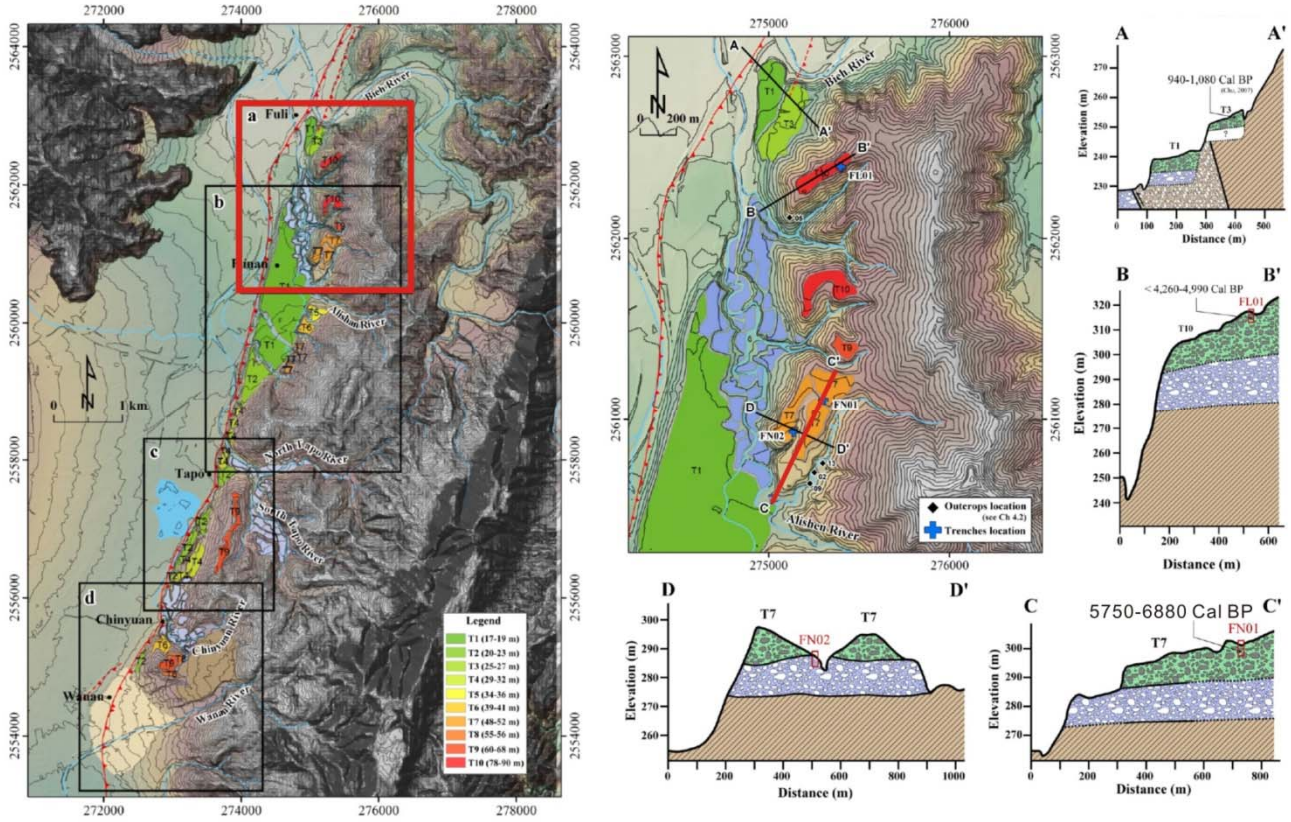


圖 3. 35：池上斷層上盤的階地與剖面。（左圖）為池上斷層上盤階地群圈繪及分布圖；（右圖）為富里–富南階地群及剖面圖，其中富南 T7 定年位於 CC'剖面中（摘錄自張冕，2013）。

Figure 3. 35: (Left) Mapped distribution of the hanging-wall terrace sequences of the Chihshang Fault. (Right) Distribution and cross section of the Fuli-Funan terrace sequence, with the Funan T7 age located along the CC' profile (Chang, 2013).

表 3. 9：池上斷層長期滑移速率相關文獻彙整

Table 3. 9: Summary of studies on the long-term slip rate of the Chihshang Fault.

參考文獻	方法	年代（Cal yr BP）	垂直滑移速率（mm/yr）	長期滑移速率（mm/yr）
朱曜國（2007）	富里（FC）階地定年	940-1080	23.5-27	27.1-31.2
	富南（FNC）階地定年	6280-6410	7.6-7.8	8.8-9.0
	富南（SG）階地定年	290-490	27.4-46.3	31.6-53.5
	錦園（CY2）階地定年	530-660	20.9-26	24.1-30.0
陳文山等（2010）	量測鱉溪富池橋南岸之池上斷層露頭剖面河階比高並進行碳 14 定年	1180-940	23.5-27.0	27.1-31.2
張冕（2013）	富南 T7 階地比高並進行碳 14 定年	5750-6880	14-17	16.2-19.6

3-1-3 其他主要斷層

3-1-3-1 嶺頂斷層

陳文山等（2008）將長度 150 公里的縱谷斷層分為四段，由北而南為嶺頂斷層、瑞穗斷層、池上斷層與利吉斷層（圖 3. 36）。嶺頂斷層之條帶地質圖如圖 3. 37（林啟文等，2009），圖中的月眉線形、米棧線形及山興線形為石再添等（1983）依據地形特徵所繪製的構造線型，這些線狀崖斷續出現，過去統稱為月眉斷層（張徽正等，1998；林啟文等，2000）。這些線性位於海岸山脈的都鑾山層中，而非位於板塊邊界之縱谷斷層，為了區分縱谷斷層與早期石再添等（1983）所稱之月眉斷層，陳文山等（2008）將縱谷斷層最北段命名為嶺頂斷層，嶺頂斷層由花蓮溪出海口的嶺頂岬向南延伸，經月眉至光復鄉東富村，長約 30 公里。根據地質調查所 2021 年資料，嶺頂斷層長 36 公里，兼具左移和逆移，屬於第一類活動斷層（林啟文等，2021）。2018 年 2 月 6 日發生於花蓮東北方立霧溪口海上，芮氏規模 6.0 地震，米崙斷層沿線出現地表破裂，嶺頂斷層的北端也有地裂與噴砂現象產生（經濟部中央地質調查所，2018）（圖 3. 38）。

Chen et al.（2014）探討米崙斷層與縱谷斷層間的關係，並指出海岸山脈在北端區域向北、向下沉降，從力學性質而言，其變形難以向西傳遞，也不容易在下盤形成新的逆衝斷層分支，因此米崙斷層並非縱谷斷層的北向延伸構造，而是彼此獨立的兩條斷層，米崙斷層與縱谷斷層的地質剖面圖如圖 3. 12。

目前野外未發現嶺頂斷層的露頭，斷層沿線也未呈現明顯的斷層地形特徵。石瑞銓等（2004）於花蓮月眉社區施測地電阻，嶺頂斷層測線（04E-YMI-SF01）中顯示標尺位置 210-250 公尺處存在一低電阻率帶，推測是斷層破碎帶，破碎帶呈高角度東傾（圖 3. 39）。Kuochen et al.（2004）針對 1991-2002 年地震進行 hypoDD 重定位（圖 3. 40），其中 C 剖面對應本計畫嶺頂斷層的位置，震源機制與地震分布顯示為逆斷層，然而此地震群延伸至中央山脈之下，本計畫認為非屬於縱谷斷層。李元希等人（Lee et al., 2008）蒐集 1991-2002 地震資料並繪製北（剖面 A）、中（剖面 B）、南（剖面 C）地震深度分布剖面，嶺頂斷層約位於剖面 A，剖面 A 可觀察到縱谷斷層呈高角度東傾（圖 3. 31）。Shyu et al.（2016）使用時空雙聯分析（spatiotemporal double-link cluster analysis）辨識地震序列的餘震活動，2009/12/19 ML4.7 地震序列發生於海岸山脈之下，地震深度主要集中於 20~40 公里，大部分為逆斷層機制，推測是由縱谷斷層北段的活動所引起（圖 3. 41）。嶺頂斷層幾何與前人文獻資料彙整於表 3. 10。

嶺頂斷層目前缺乏足夠的地質與地物資訊（例如野外露頭、槽溝、震測、鑽井等），因此無法明確辨識淺層的斷層幾何，2018 年地震時嶺頂斷層僅北端區域（例如花蓮大橋附近）出現裂隙與噴砂，並未出現明顯位移的地表斷層破裂，因此也無法據此推定斷層幾何。根據地震序列分布的趨勢推測，嶺頂斷層可能為高傾角斷層，本計畫以東傾 65 度，深度 27.5 公里估計。

嶺頂斷層缺乏地質資料推估之長期滑移速率。

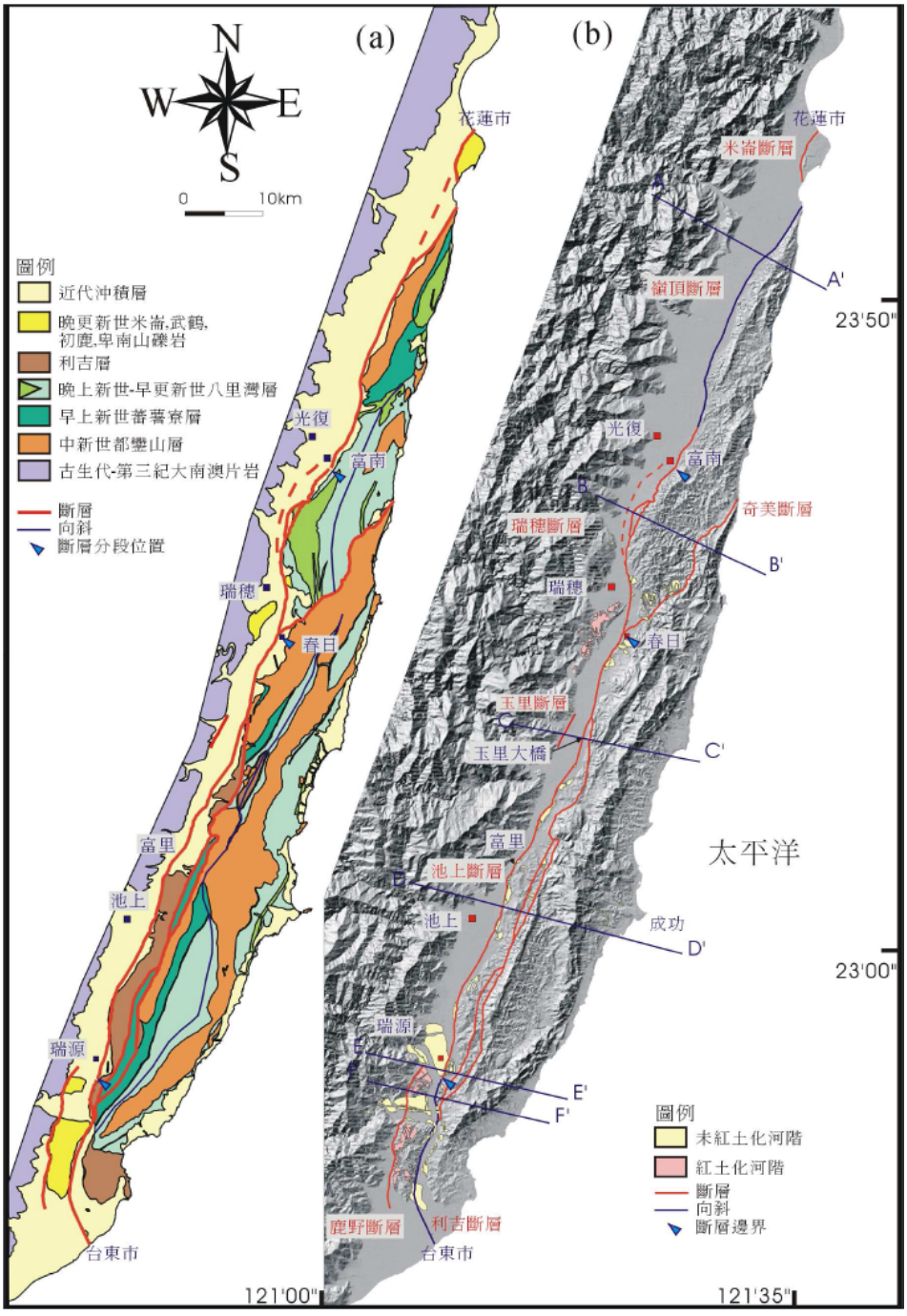


圖 3. 36：縱谷斷層分段（陳文山等，2008）。

Figure 3. 36: Segmentation of the Longitudinal Valley Fault (Chen et al., 2008).

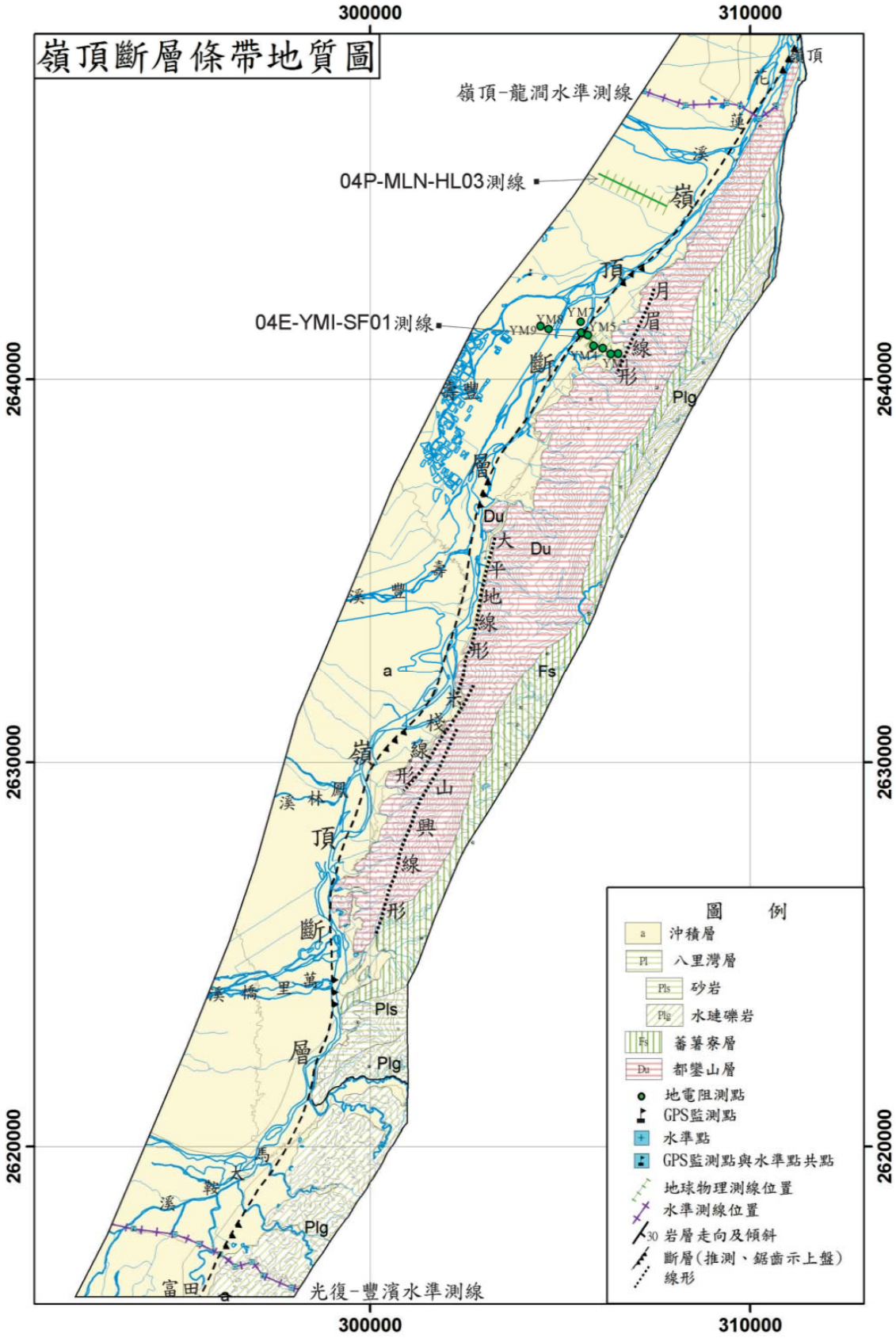


圖 3. 37：崙頂斷層條帶地質圖（林啟文等，2009）。

Figure 3. 37: Strip map of the Lingtung Fault (Lin et al., 2009).

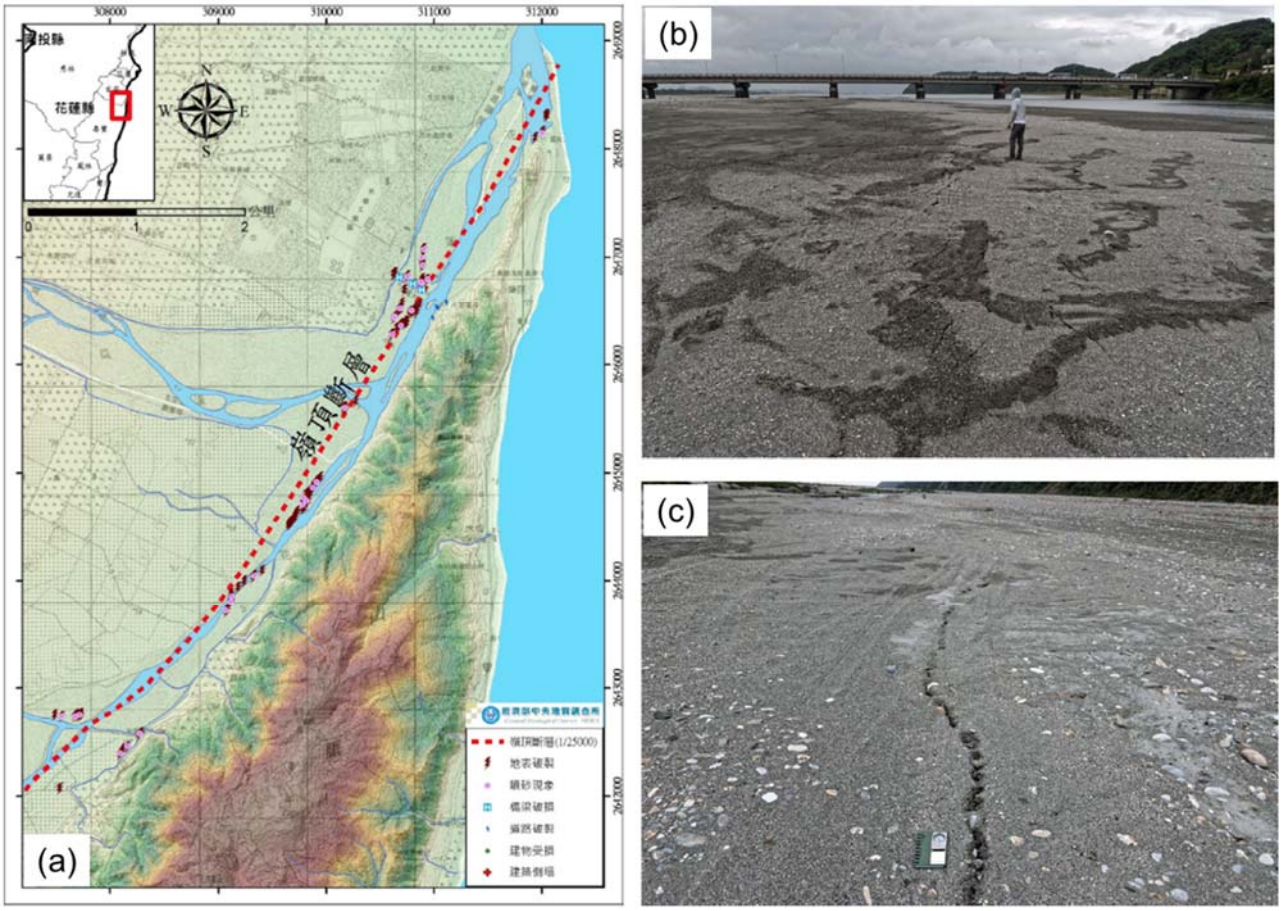


圖 3. 38：2018 年花蓮地震嶺頂斷層沿線地表破裂分布。（a）嶺頂斷層沿線地表破裂調查分布；（b）花蓮大橋附近河床破裂，向東北拍攝；（c）木瓜溪南岸沙洲噴砂孔，向東北拍攝。（出自經濟部中央地質調查所，2018）

Figure 3. 38: (a) Distribution of surface ruptures mapped along the Lingtung Fault. (b) Riverbed rupture near the Hualien Bridge, view toward the northeast. (c) Sand-boil vents on the sandbar along the south bank of the Mugua River, view toward the northeast. (Central Geological Survey, CGS, 2018)

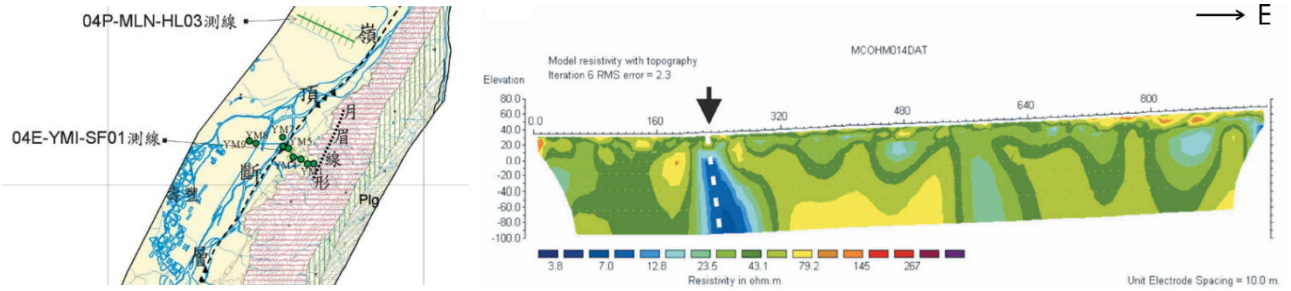


圖 3. 39：崁頂斷層地電阻影像剖面圖。剖面位置位於左圖之 04E-YMI-SF01 測線（石瑞銓等，2004）。

Figure 3. 39: Electrical resistivity imaging profile of the Lingtung Fault. The profile corresponds to survey line 04E-YMI-SF01 shown in the left figure (Shih et al., 2004).

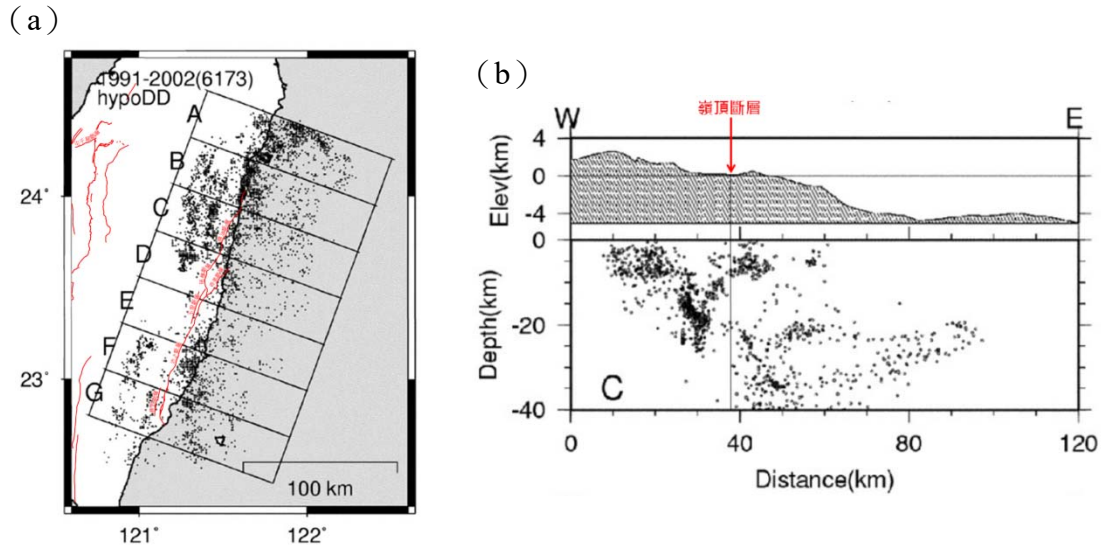


圖 3. 40：臺灣東部地區 1991-2002 年利用 hypoDD 重定位之地震。（a）臺灣東部地區 1991-2002 之地震，利用 hypoDD 重定位，紅色線段為斷層線；（b）N110°E 方向之地震深度分布投影剖面，剖面中選取之地震為（a）中之 C 矩形內之地震（修改自 Kuochen et al., 2004）。

Figure 3. 40: (a) Earthquakes in eastern Taiwan from 1991–2002 relocated using hypoDD, with red segments marking the fault traces. (b) Depth-projected seismicity along the N110°E profile, using events within the C area shown in (a) (modified from Kuochen et al., 2004).

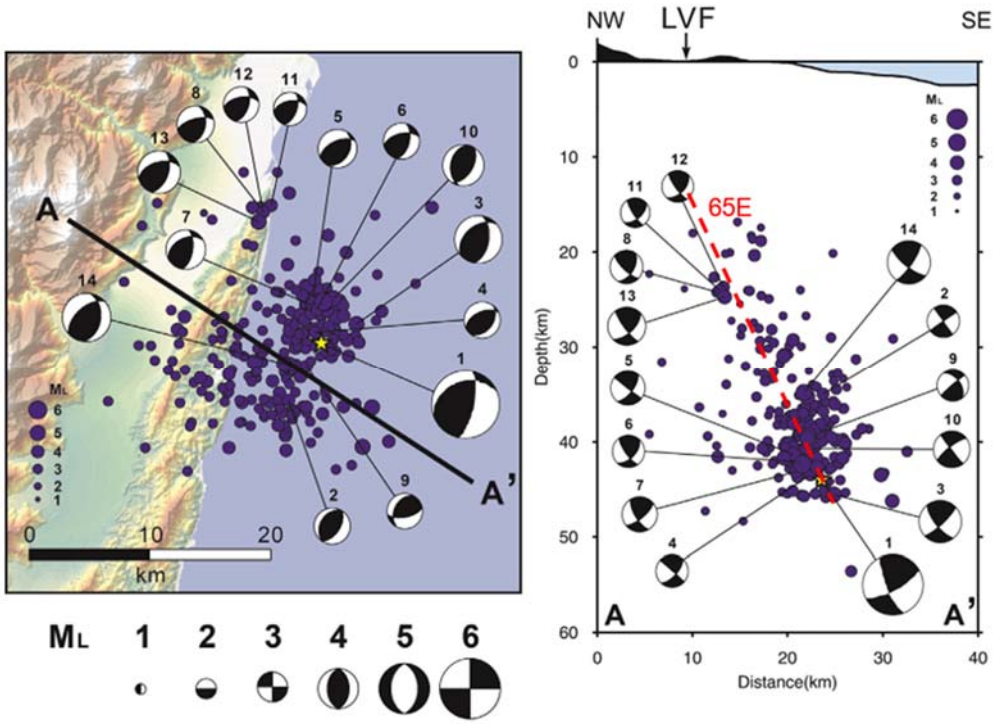


圖 3. 41：2009 年 12 月 19 日 M_L4.7 地震序列（Shyu et al., 2016）與本計畫設定之嶺頂斷層傾角（紅色虛線）。

Figure 3. 41: The 19 December 2009 M_L 4.7 earthquake sequence (Shyu et al., 2016) and the dip of the Lingtung Fault proposed in this study (red dashed line).

表 3. 10：嶺頂斷層幾何形貌相關文獻

Table 3. 10: Summary of studies on the geometry of the Lingtung Fault.

文獻	方法	傾角	深度（km）
石瑞銓等（2004）	花蓮月眉社區地電阻測線（04E-YMI-SF01）	高角度	-
Kuochen et al.（2012）	C02 速度構造剖面及地震分布	65E	可達 30 公里
Shyu et al.（2016）	2009/12/19 M_L4.7 地震序列	65E	20-40
本計畫推估	參考地震重定位資料（Shyu et al., 2016）	65E	27.5

3-1-3-2 瑞穗斷層

瑞穗斷層從花蓮縣光復鄉南富往南延伸至花蓮縣玉里鎮春日，長約 30 公里，為逆移兼左移的斷層，屬第一類活動斷層（林啟文等，2009；2021）（圖 3. 42）。瑞穗斷層南端與奇美斷層連接，北端為嶺頂斷層，相較於池上斷層具有潛移特性，瑞穗斷層在震間活動行為則呈現鎖定狀態（陳文山等，2008）。1951 年地震瑞穗斷層沿線出現地震地表破裂，破裂範圍北至自強外役監獄，南至瑞穗鄉鶴岡村（Hsu, 1962；鍾令和，2003；Shyu et al., 2007）（圖 3. 43、圖 3. 44）。

瑞穗斷層沿線的槽溝資料有大富槽溝、富興槽溝、安定橋槽溝，槽溝位置如圖 3. 45。根據陳文山等（2003）針對 1951 年地震斷層的古地震槽溝研究（圖 3. 46），安定橋一號溝於北牆剖面中量測到的斷層與剪切面位態為（N16°E，12°E）、（N20°E，22°E）、（N6°W，28°E）、（N8°E，24°E），南牆剖面中量測到的斷層與剪切面位態為（N14°E，30°E）、（N6°4E，40°E）。安定橋南溝北牆的斷層面位態為（N5°E，32°E），南牆斷層面位態為（N32°E，38°E）。安定橋北溝的北牆剖面中所量測到的斷層面位態為（N8E，32E），南牆剖面的斷層位態為（N44E，26E）和諧橋一號溝、和諧橋二號溝未發現斷層。顏一勤等（2005）於瑞穗鄉鶴岡村與自強外役監獄一帶開挖三個槽溝，由南而北分別為大富一號溝、大富二號溝、大富三號溝。大富一號溝中發現 F1 斷層，斷層位態為（N54°E，14°E）。大富二號溝中發現的斷層位態為 F1（N60°E，24°E），以及 F3（N68°E，28°E）。大富三號溝中發現的斷層位態則為 F1（N70°E，26°E），以及 F3（N46°E，44°E）（圖 3. 47）。

Shyu et al.（2006）根據秀姑巒溪底岩層面的傾角以及斷層彎曲褶皺模型（fault-bend fold model）建立縱谷斷層地下幾何，推測縱谷斷層傾角由約 50°向深部遞減至約 30°（圖 3. 48）。

Kuochen et al.（2004）針對 1991-2002 年地震進行 hypoDD 重定位（圖 3. 49），其中 D 剖面對應本計畫瑞穗斷層的位置，在海岸山脈之下可觀察到地震群呈東傾 50 度左右的線性分布。李元希等人（Lee et al., 2008）蒐集 1991-2002 地震資料繪製北（剖面 A）、中（剖面 B）、南（剖面 C）地震深度分布剖面，瑞穗斷層介於剖面 A 和 B 之間，剖面 A 和 B 中可觀察到縱谷斷層於北段和中段呈高角度東傾（圖 3. 31）。

Shyu et al.（2006）利用秀姑巒溪河階與階地定年資料，以及斷層彎曲褶皺模型（Fault-bend fold）推估斷層長期滑移速率為 22.7±2.2 mm/yr（圖 3. 48）。

顏一勤等（2005）根據大富槽溝沉積層的對比推得 G1 礫石層之後累積的垂直抬升量大於 6 公尺，O2 土壤層年代為 1550±50 A.D.，因此推算長期垂直抬升速率為大於 15±2 mm/yr。

（圖 3. 47）

陳文山等人（Chen et al., 2007）於大富槽溝、富興槽溝及安定橋槽溝中觀察到過去 700 年中有至少四次之古地震事件（包含 1951 年的花蓮地震），藉由槽溝中古地震事件的變位量以及定年資料，可獲得瑞穗斷層之長期抬升速率為 12.5~16.0 mm/yr。

瑞穗斷層幾何與長期滑移速率相關前人文獻彙整於表 3. 11 及表 3. 12。

從槽溝資料推測縱谷斷層可能是一個由多條平行逆斷層構成的寬廣變形帶（Chen et al., 2007），雖然此區域存在一群小地震震源（Kuochen et al., 2004），但斷層面仍難以清楚辨識或描繪。本計畫將嶺頂斷層與瑞穗斷層視為同一個斷層破裂系統，瑞穗斷層幾何參考嶺頂斷層幾何，擬定為傾角 65 度東傾，深度 27.5 公里。

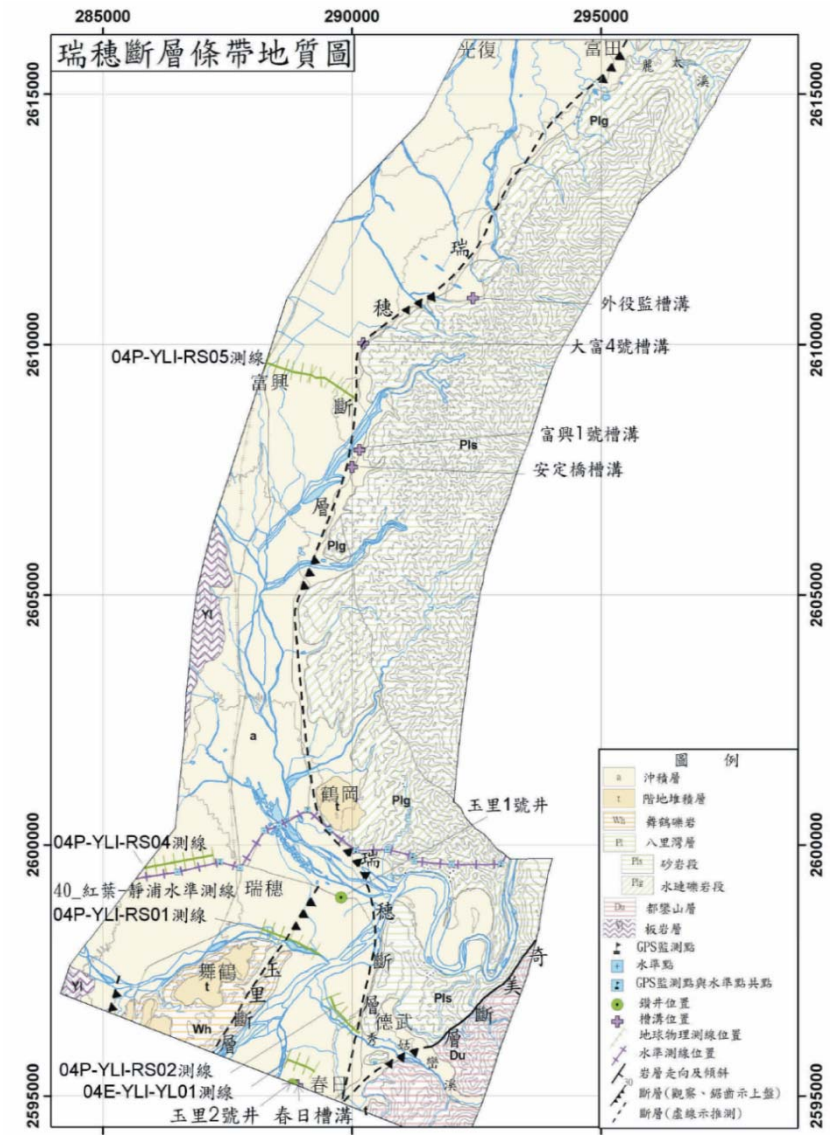
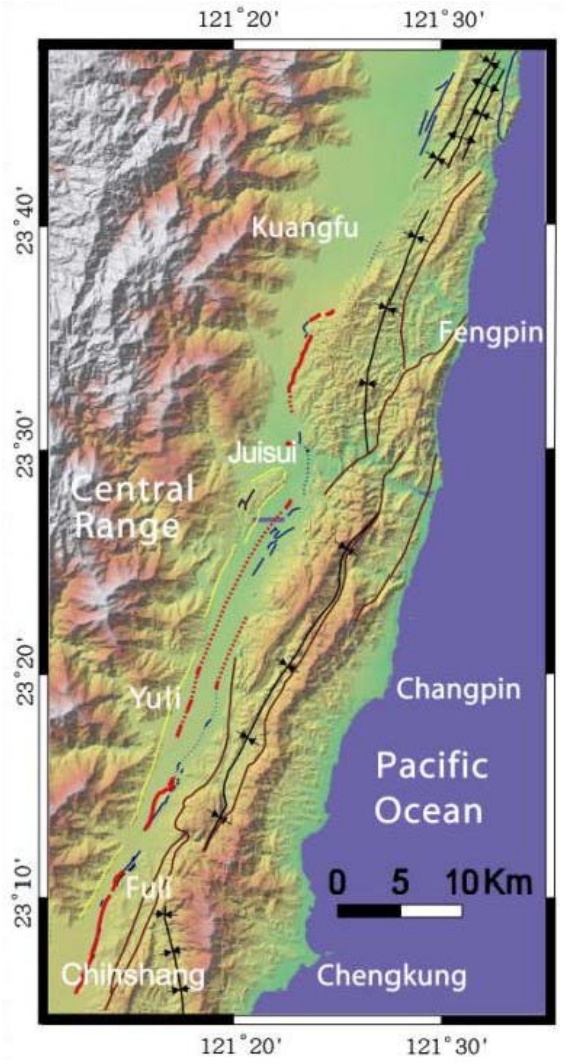


圖 3. 42：瑞穗斷層條帶地質圖（引自林啟文等，2009）。

Figure 3. 42: Strip map of the Ruisui Fault (Lin et al., 2009)



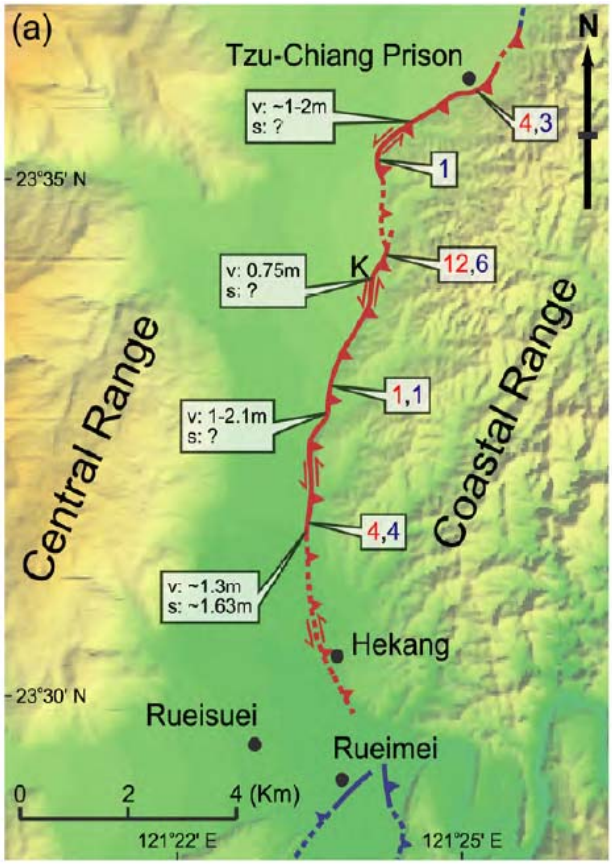


圖 3. 43：1951 年玉里池上地震地表破裂及主要地質構造圖。紅色線代表地表破裂，藍線代表花東縱谷可能之活動斷層地表調查位置，黃線代表中央山脈斷層（鍾令和，2003）。

Figure 3. 43: Map of surface ruptures and major geological structures associated with the 1951 Yuli–Chihshang earthquakes. Red lines denote surface ruptures; blue lines mark possible locations of active faults in the Longitudinal Valley based on field surveys; yellow lines indicate the Central Range Fault (Chung, 2003).

圖 3. 44：1951 年地震瑞穗地區地表破裂分布圖。紅色線代表地表破裂，藍線代表 1951 年未產生地表破裂之活動構造（Shyu et al., 2007）。

Figure 3. 44: Map of surface ruptures in the Ruisui area from the 1951 earthquake. Red lines denote surface ruptures, and blue lines mark active structures that did not produce surface rupture in 1951 (Shyu et al., 2007).

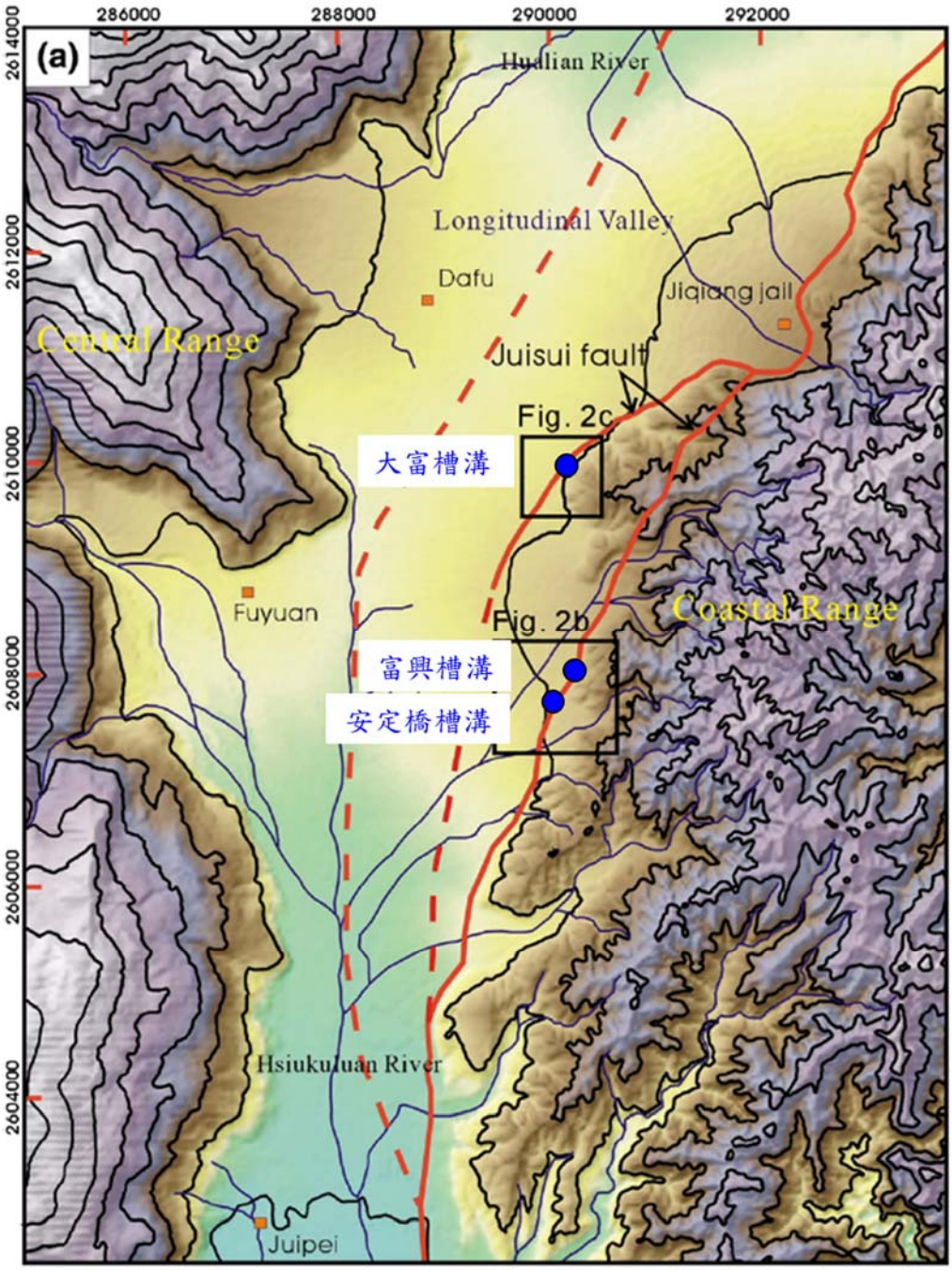


圖 3. 45：瑞穗斷層槽溝分布圖，出自陳文山（Chen et al., 2007）。

Figure 3. 45: Distribution map of trenches of the Ruisui Fault (Chen et al., 2007).

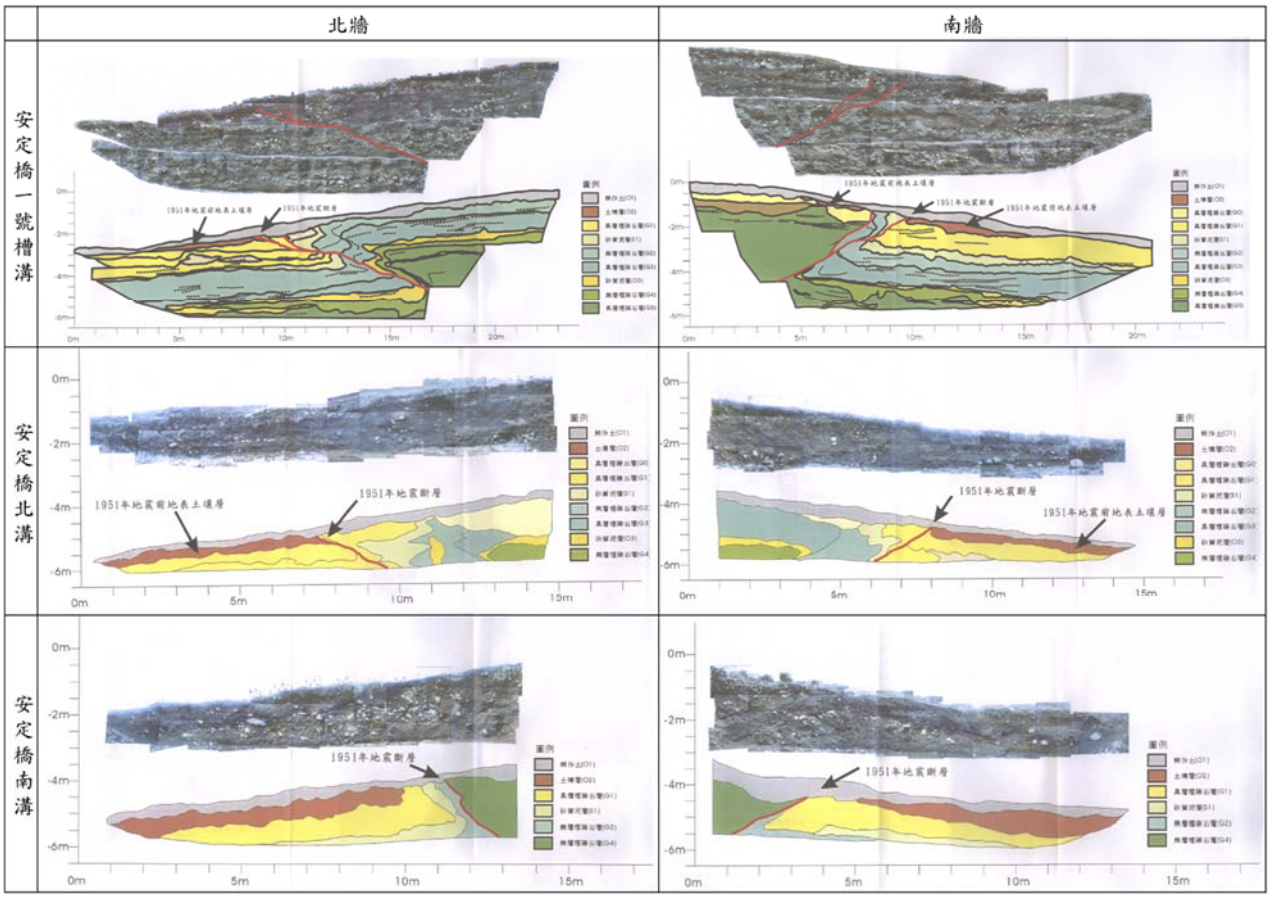


圖 3. 46：瑞穗斷層安定橋槽溝資料（出自陳文山等，2003）。

Figure 3. 46: Trench data of the Ruisui Fault at Anding Bridge (Chen et al., 2003).

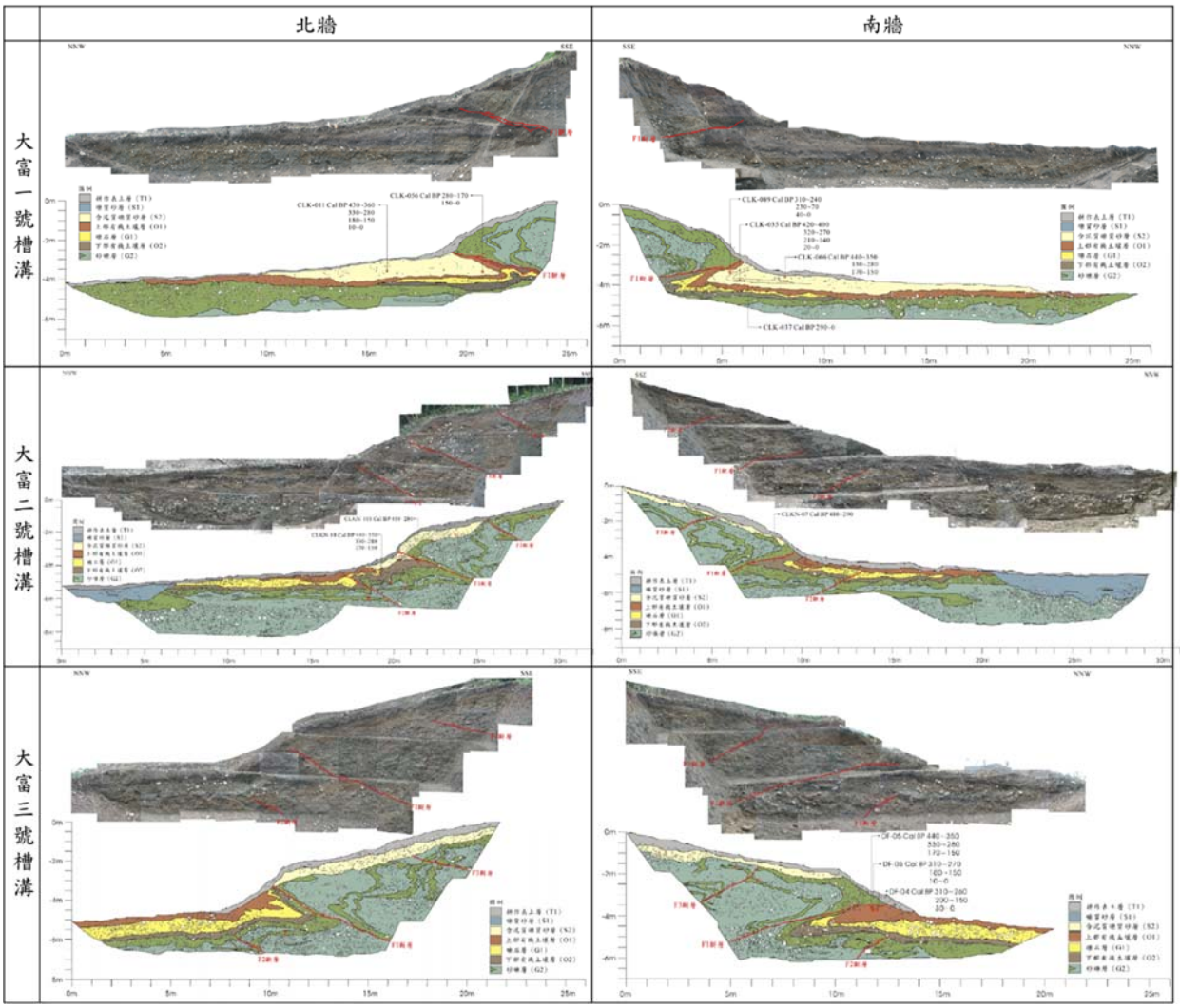


圖 3. 47：瑞穗斷層大富槽溝資料（出自顏一勤等，2005）。

Figure 3. 47: Trench data of the Ruisui Fault at Dafu (Yen et al., 2005).

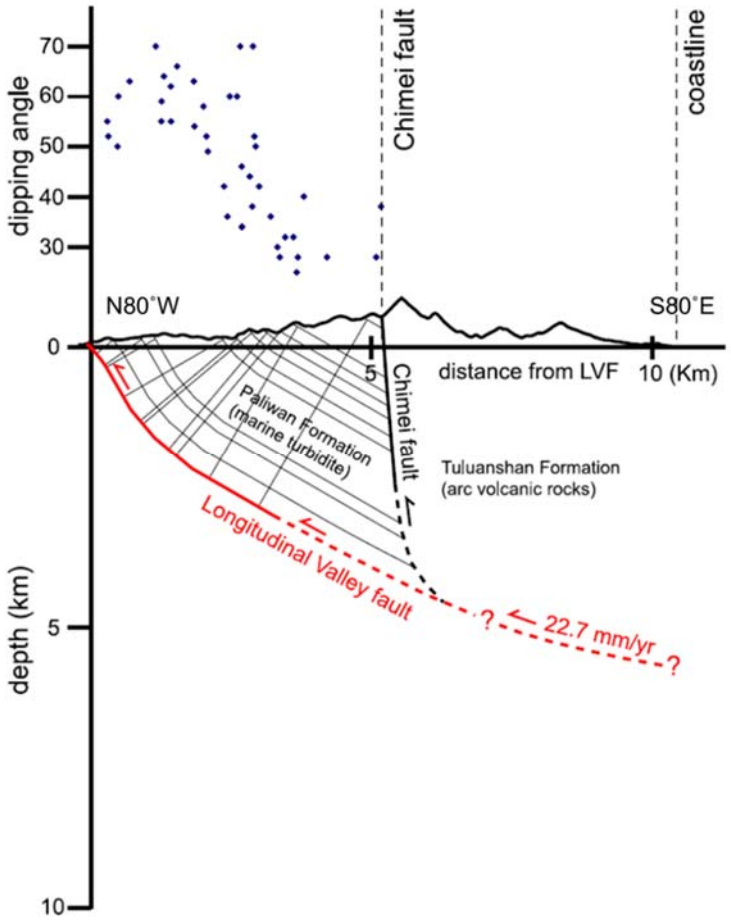


圖 3. 48：秀姑巒溪區域縱谷斷層地下幾何（出自 Shyu et al.,2006）。

Figure 3. 48: Subsurface geometry of the Longitudinal Valley Fault in the Hsiukuluan River area (Shyu et al., 2006).

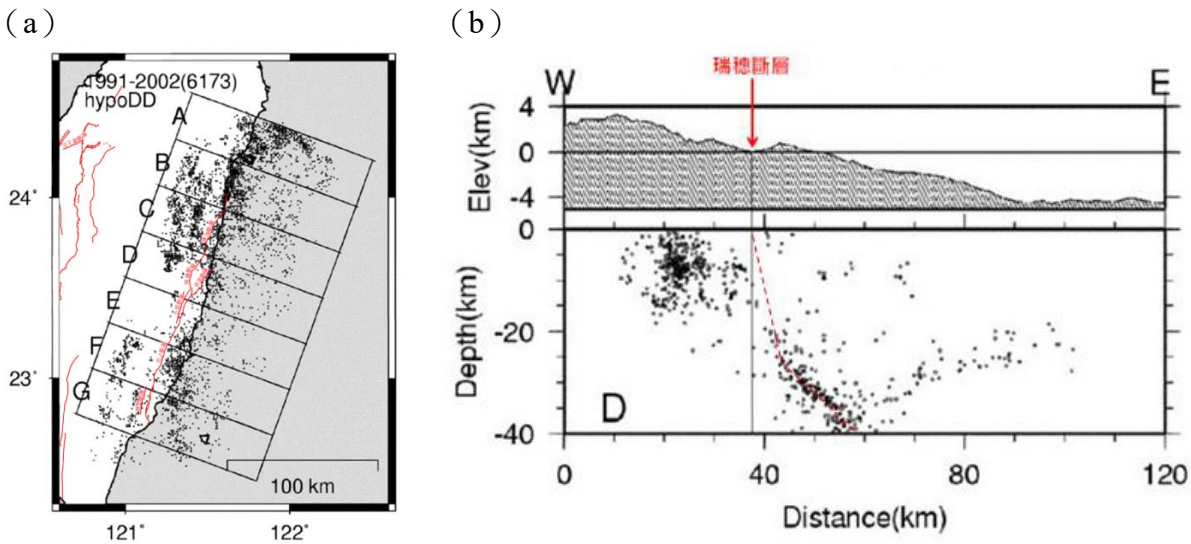


圖 3. 49：重定位之臺灣東部地震震央分布及 N70°W 剖面，其中 D 剖面即瑞穗斷層通過之處，剖面於 25~35 公里深處有明顯之地震富集（修改自 Kuochen et al., 2004）。

Figure 3. 49: Distribution of relocated earthquake epicenters in eastern Taiwan and the N70°W profile. Profile D corresponds to the trace of the Ruisui Fault, where a cluster of seismicity occurs at depths of 25-35 km (modified from Kuochen et al., 2004).

表 3. 11：瑞穗斷層幾何形貌相關文獻彙整

Table 3. 11: Summary of studies on the geometry of the Ruisui Fault

文獻	方法	傾角	深度（km）
陳文山等（2003）	安定橋一號溝	剪切面位態：（N16°E，12°E）、（N20°E，22°E）、（N6°W，28°E）、（N8°E，24°E）、（N14°E，30°E）、（N6°4E，40°E）	
	安定橋南溝	剪切面位態：（N5°E，32°E）、（N32°E，38°E）	
	安定橋北溝	剪切面位態：（N8E，32E）、（N44E，26E）	
顏一勤等（2005）	大富一號溝	F1（N54°E，14°E）	
	大富二號溝	F1（N60°E，24°E） F3（N68°E，28°E）	
	大富三號溝	F1（N70°E，26°E） F3（N46°E，44°E）	
Shyu et al.（2006）	秀姑巒溪底岩層面與斷層彎曲褶皺模型推估	淺部傾角 50°，向深部遞減至約 30°	
Kuochen et al.（2004）	利用 1991-2002 之 hypoDD 重定位地震推估	50 度	25-40 公里
Lee et al.（2008）	1991-2002 年 3D 重定位地震深度分布	高角度東傾	-
本計畫推估	參考嶺頂斷層幾何	65	27.5

表 3. 12：瑞穗斷層長期滑移速率相關文獻彙整

Table 3. 12: Summary of studies on the long-term slip rate of the Ruisui Fault

作者	方法	垂直抬升速率（mm/yr）	長期滑移速率（mm/yr）
Chen et al.（2007）	大富槽溝、復興槽溝及安定橋槽溝資料	12.5~16.0	
顏一勤等（2005）	大富槽溝資料	大於 15±2	
Shyu et al.（2006）	秀姑巒溪階地分析		22.7±2.2

3-1-3-3 奇美斷層

奇美斷層由玉里鎮春日里向東北延伸，經德武、奇美村至花蓮縣豐濱，長約 25 公里。運動方式為逆移斷層，屬第二類活動斷層（圖 3. 50）（林啟文等，2009；2021）。奇美斷層斜穿海岸山脈，於秀姑巒溪沿岸可觀察到斷層露頭，斷層上盤為都鑾山層，下盤為八里灣層（圖 3. 51）。奇美村、福音、觀音、松埔與豐濱等地觀察到階地面反傾的現象（張瑞津等，1992；羅偉與楊昭男，2004），秀姑巒溪以南地區有壓力脊、三角錐面、變位河階與錯斷河等地形特徵。此外，在八里灣溪出海口的海階上，可辨識出斷層線性特徵（林啟文等，2009）。

豐濱的斷層露頭中顯示奇美斷層截切全新世河階，斷層位態為 N40°E/80°E，斷層帶寬約 1 公尺（圖 3. 52）（Chen et al., 1991）。奇美村附近的秀姑巒溪河谷中的露頭可觀察到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，擦痕顯示斷層具有逆滑兼具左滑的特性（賴文基，1995）。羅偉與楊昭男（2004）於奇美村附近的秀姑巒溪發現 3 個奇美斷層的露頭，露頭中皆顯示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。

根據泰林地區地電阻影像剖面，奇美斷層為高傾角的逆衝斷層（圖 3. 53）（董倫道等，2005）。郭陳澔等人（Kuochen et al., 2004）針對 1991-2002 年地震進行 hypoDD 重定位（圖 3. 49），其中 D 剖面經過奇美斷層，剖面中深度 25~35 公里處有明顯之地震密集。

陳文山與王源（1996）繪製海岸山脈區域的地質圖（圖 3. 54），剖面 C 通過奇美斷層，奇美斷層為花東縱谷斷層上盤的高角度東傾斷層，上盤為都鑾山火成岩，下盤為八里灣層。

楊志成與陳文山（2005）於豐濱開挖奇美斷層露頭，發現斷層未錯移全新世河階礫石層，也無明顯位移現象（圖 3. 55）。陳文山等（Chen et al., 2020）彙整海岸山脈沿岸海階資料，在磯崎至八仙洞一帶平均抬升速率為 4.9 mm/yr。本計畫認為此區域位於瑞穗斷層及奇美斷層上盤，奇美斷層實際抬升速率可能小於 4.9 mm/yr（圖 3. 56）。

奇美斷層幾何與長期滑移速率相關前人文獻彙整於表 3. 13、表 3. 14。

奇美斷層露頭顯示斷層傾角為 70-80 度的高傾角，因此本計畫擬定奇美斷層傾角為 80 度高角度，奇美斷層的深度目前仍缺乏可信的控制，本計畫參考該區域的地震分布（Kuochen et al., 2004）（圖 3. 57）暫定為 25 公里。從應力機制的角度來看，高角度的斷層面並不利於逆衝滑動，因此，在目前的應力環境下，奇美斷層的變形模式可能：（1）以走向滑移活動為主，（2）以地層內部的褶皺變形為主，（3）奇美斷層本身不活動而透由其他縱谷斷層分支釋

放應變能量。

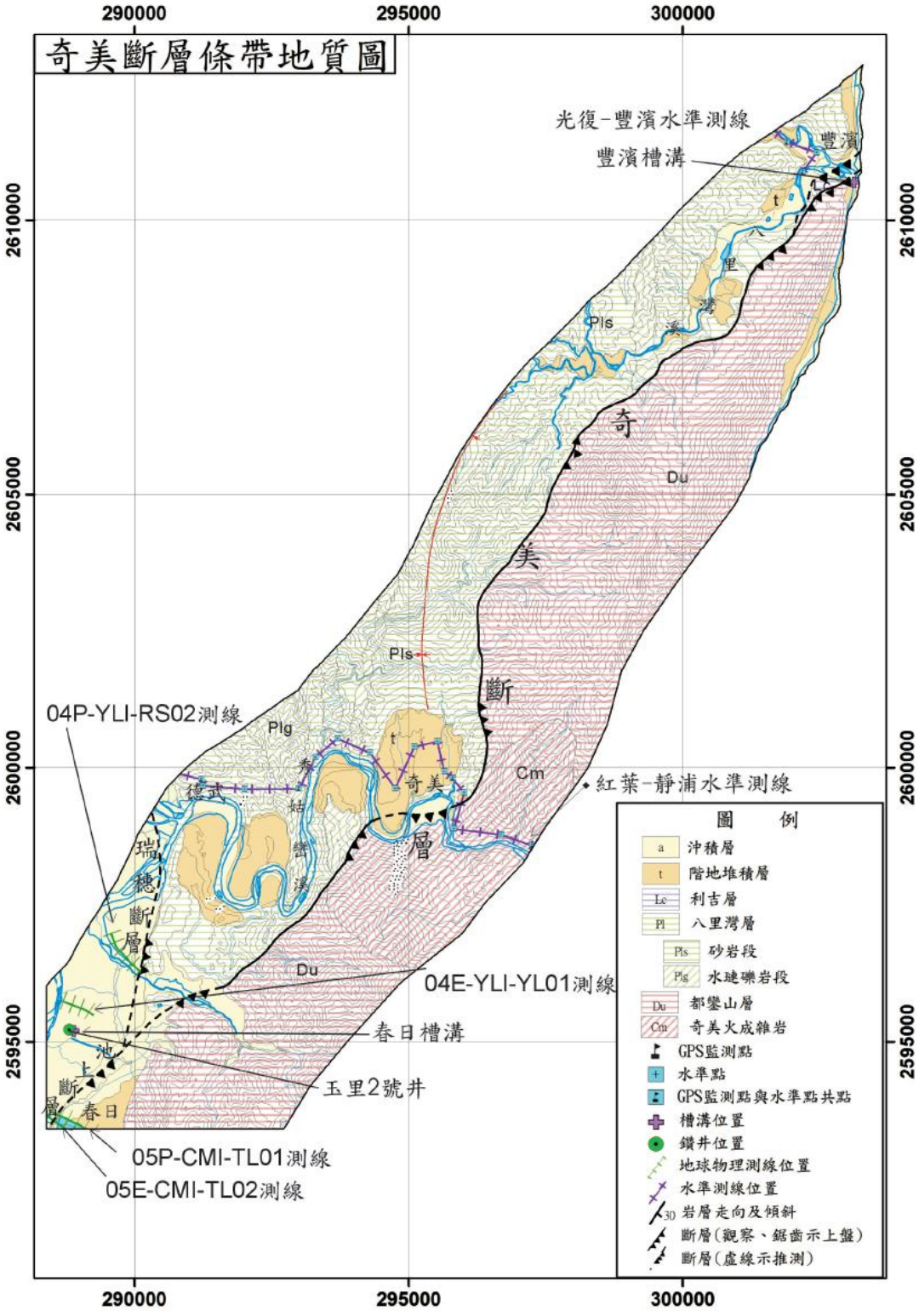


圖 3. 50：奇美斷層條帶地質圖（林啟文等，2009）。

Figure 3. 50: Geological strip map of the Chimei Fault (Lin et al., 2009).



圖 3. 51：秀姑巒溪奇美村東南側的奇美斷層露頭，斷層露頭出現黑色剪裂泥岩與剪裂砂岩層（林啟文等，2009）

Figure 3. 51: Fault outcrop of the Chimei Fault southeast of Chimei Village along the Hsiukuluan River, showing black cataclasized mudstone and cataclasized sandstone layers (Lin et al., 2009).

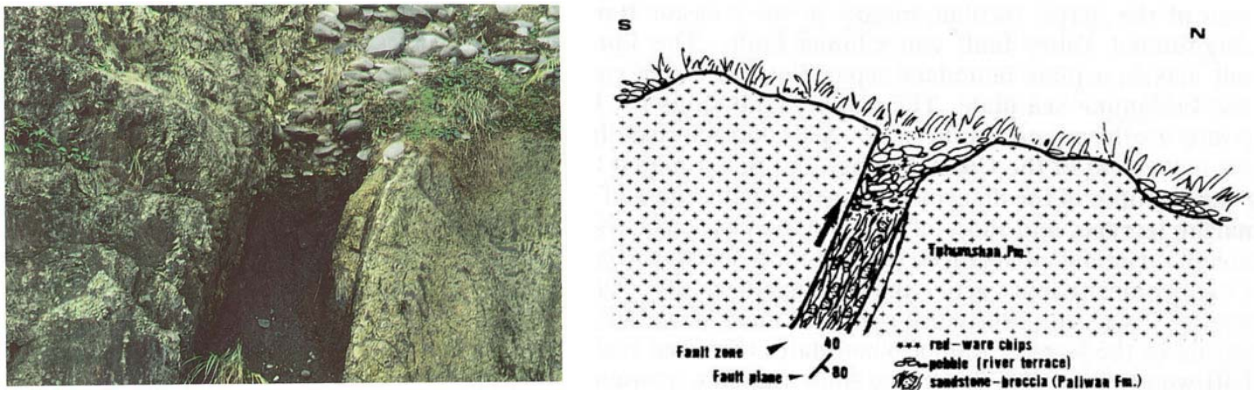


圖 3. 52：位於豐濱附近的奇美斷層露頭（Chen et al., 1991）。

Figure 3. 52: Fault outcrop of the Chimei Fault near Fengbin (Chen et al., 1991).

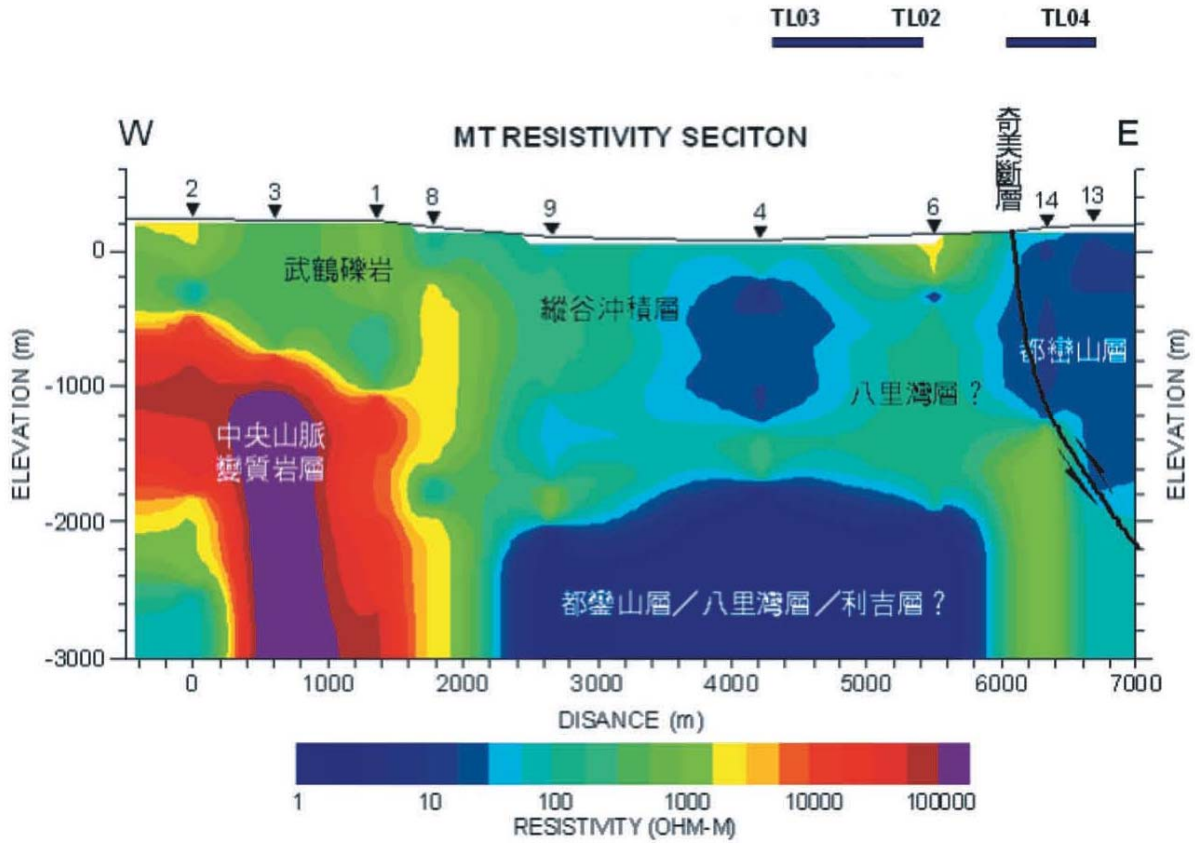


圖 3. 53：泰林地區地電阻影像剖面結果圖（董倫道等，2005）。

Figure 3. 53: Electrical resistivity tomography profile of the Tailin area (Tung et al., 2005).

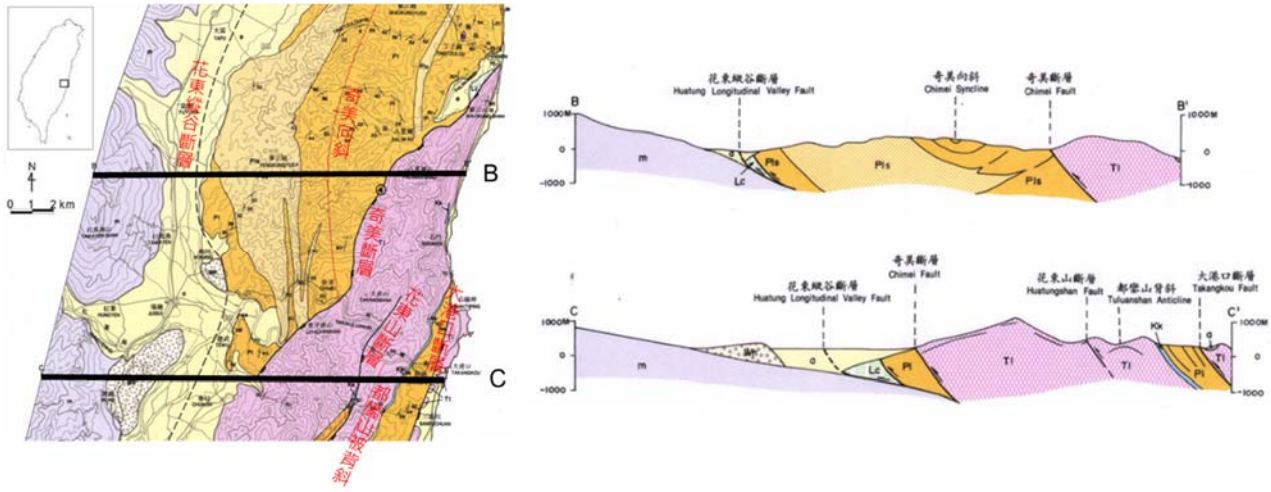


圖 3. 54：奇美斷層沿線地質圖（陳文山與王源，1996）。

Figure 3. 54: Geological map along the Chimei Fault (Chen and Wang, 1996).

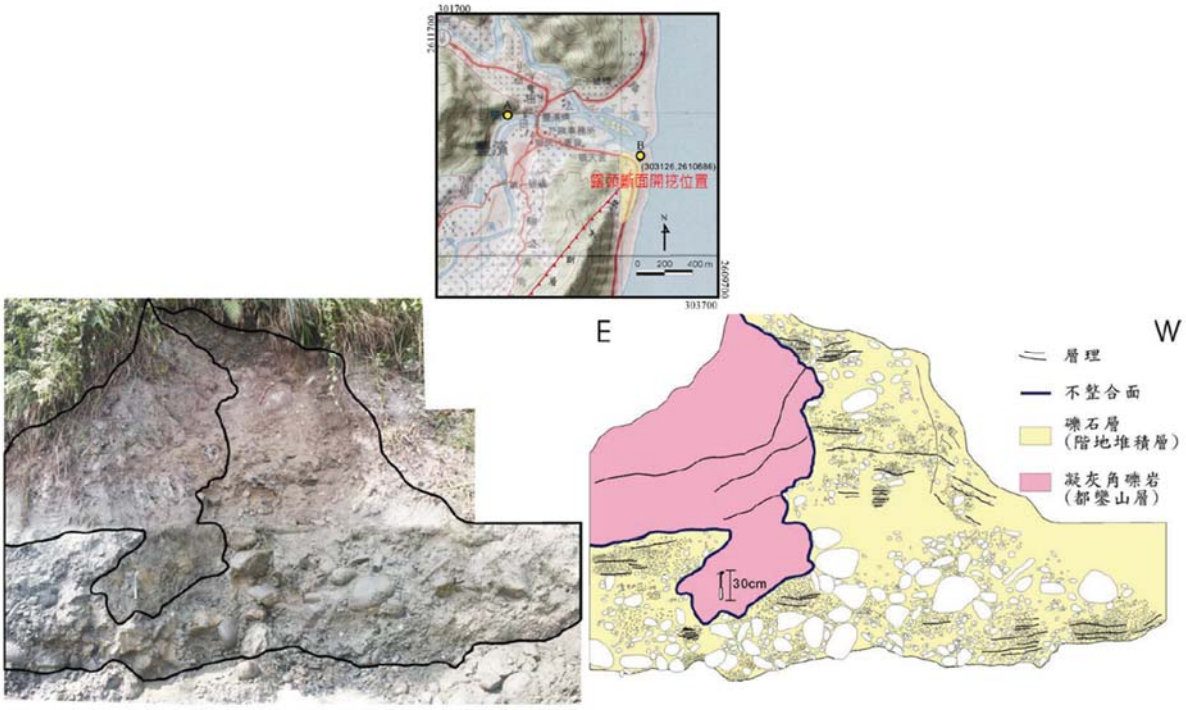


圖 3. 55：豐濱奇美斷層露頭剖面。上圖標示露頭位置，左下圖為露頭照片，從露頭可觀察到階地礫石層沉積不整合覆蓋於都巒山層之上（右下圖）（楊志成與陳文山，2005）。

Figure 3. 55: Outcrop profile of the Chimei Fault at Fengbin. The upper figure shows the outcrop location; the lower figures illustrate terrace gravels unconformably overlying the Tuluanshan Formation (Yang and Chen, 2005).

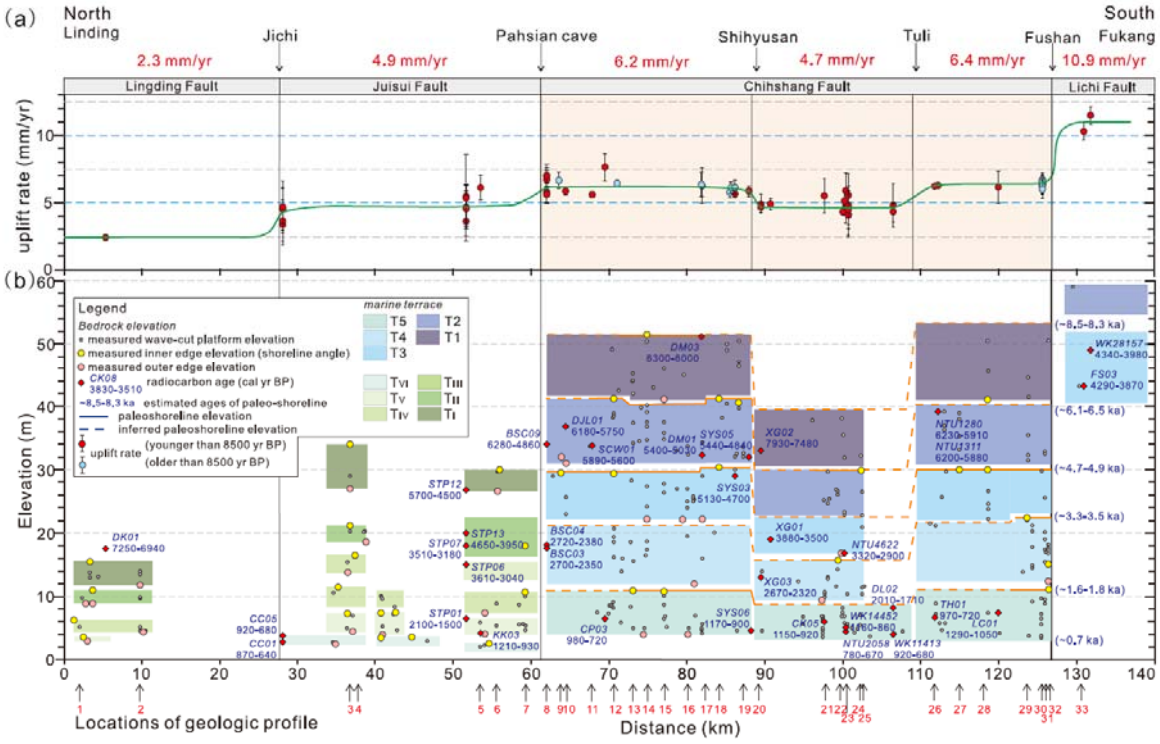


圖 3. 56：海岸山脈沿海岸的碳 14 定年、長期抬升速率及階地高程比對圖（摘自 Chen et al., 2020）。

Figure 3. 56: Comparison of coastal radiocarbon ages, long-term uplift rates, and terrace elevations along the Coastal Range (Chen et al., 2020).

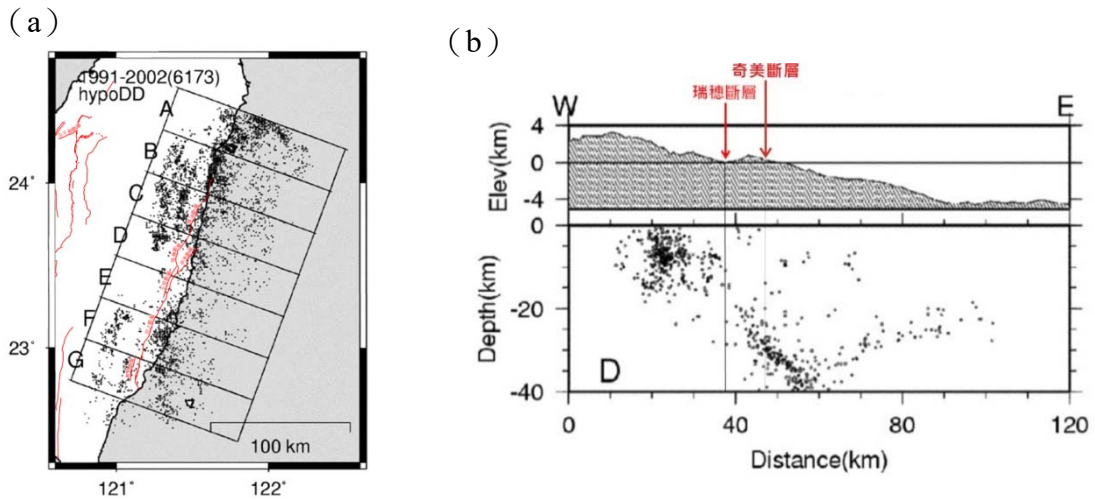


圖 3. 57：重定位之臺灣東部地震震央分布及 S70°E 剖面，其中 D 剖面即奇美斷層通過之處，剖面於 25~35 公里深處有明顯之地震密集（修改自 Kuochen et al., 2004）。

Figure 3. 57: Distribution of relocated earthquake epicenters in eastern Taiwan and the S70°E profile. Profile D corresponds to the trace of the Chimei Fault, where a pronounced cluster of seismicity occurs at depths of 25–35 km (modified from Kuochen et al., 2004).

表 3. 13：奇美斷層幾何形貌相關文獻

Table 3. 13: Summary of studies on the geometry of the Chimei Fault.

文獻	方法	傾角（度）	深度（km）
Chen et al.（1991）	豐濱野外露頭調查	80 度	--
賴文基（1995）	秀姑巒溪野外露頭調查	75 度	--
羅偉與楊昭男（2004）	奇美村野外露頭調查	70 度	--
董倫道等（2005）	泰林地區地電阻探勘	高角度	--
Kuochen et al.（2004）	Hypo-DD 地震重定位（1991-2002 年）	--	25~35 公里
本計畫推估	綜合以上文獻，本計畫根據野外露頭以及地電阻剖面資料設定斷層傾角為高角度，斷層深度參考地震群深度。	80	25

表 3. 14：奇美斷層長期滑移速率相關文獻

Table 3. 14: Summary of studies on the long-term slip rate of the Chimei Fault.

文獻	方法	長期抬升速率（mm/yr）
Chen et al.（2020）	磯崎至八仙洞海階資料	< 4.9

3-1-3-4 玉里斷層

玉里斷層北起花蓮縣瑞穗鄉瑞良村，向南延伸至玉里鎮長良里，長約 26 公里，呈北北東走向，為左移兼具逆衝的斷層（圖 3.58）（林啟文與周稟珊，2022）。玉里斷層在 1951 年以及 2022 年都有地震地表破裂的紀錄。1951 年花東縱谷地區發生多起地震，徐鐵良（Hsu, 1962）指出富興斷層崖於 1951 年臺東地震時有東側上衝，縱移 131 公分，左移 163 公分的斷層擦痕。鍾令和（2003）整合前人文獻、航照判釋、野外調查與訪談資料重建了 1951 年地震的地表破裂分布，並將地表破裂帶分為三個主要的區段：瑞穗段、玉里段與池上段（圖 3.43、圖 3.44）。Shyu et al.（2007）進一步彙整前人資料，推測當時的地表破裂位置。在玉里鎮內，尤其是在玉里國小（圖 3.59）到玉里圓環之間，可觀察到明顯的左移位移。根據地主口述，地表破裂可能經過鍋蓋樑的東側（圖 3.60）；由地形判釋中也可觀察出鍋蓋樑南側的小溪溝被左移約 400 公尺（圖 3.60 b）。鍋蓋樑本身為一線性稜脊，其形貌與走向滑移斷層中常見的擠壓丘（pressure ridge）相符。2022 年關山—池上地震玉里斷層沿線出現一系列地表破裂，地表破裂沿著 1951 年地震地表破裂位置通過舊玉里國小、玉里圓環，並在樂樂溪以南長良里出現 3 公里長的新斷層跡，從通過長良里西瓜田的地表破裂可觀察到斷層西側抬升兼左滑（圖 3.61）（林啟文與周稟珊，2022；徐澔德等，2023；Wang et al., 2024）。

在玉里斷層北部，石瑞銓等（2004）於舞鶴台地東北側（測線 A，04P-YLI-RS01）以及瑞穗溫泉路北側（測線 B，04P-YLI-RS04）施測淺層反射震測（圖 3.62）。測線 A 剖面顯示由地表至約 700 公尺深度的反射訊號清楚：西側地層向東緩傾且反射面連續，東側則可看到地層受到褶皺或斷錯的特徵。測線 B 剖面西側深部反射面幾乎水平，可能是中央山脈板岩與沖積層的接觸面，約在 140 公尺以下便不再出現層狀訊號；東側則自地表至約 450 公尺深度仍具良好層狀反射。兩側地層影像差異明顯，推測可能代表地層界線或斷裂帶。Kuochen et al.（2023）在舞鶴台地北側也施做一條淺層反射震測（D2）（圖 3.63），D2 測線在約 1.2 公里位置穿越玉里斷層，該區域的震測訊號呈現出低振幅、短反射訊號的特徵，分隔了兩側原本連續的反射層面訊號。斷層東側的反射面呈現背斜特徵，而西側的反射面則大致保持水平。在玉里斷層南部，張竝瑜等（2015）於玉里大橋西南側施測淺層震測（15P-YLI-F2P）（圖 3.64），剖面中顯示深部地層向東傾斜，在 100 公尺深有因斷層錯動而產生東側層面相對於西側抬升的現象，研判應有受斷層作用形成褶皺與隆起。

Sun et al.（2024）使用 SeisBlue AI 搭配 hypoDD 相對定位，建立高解析度的 2022 池上地震序列目錄（圖 3. 65）。在玉里–瑞穗一帶中央山脈下方（剖面 11-13），觀察到近直立的深部

地震群，並認為中央山脈下方實際上存在多條長度超過 10 公里，深度約 2-20 公里的近直立斷層，且此深部構造系統至少自玉里延伸至鹿野，全長達 70 公里以上。

2022 年關山—池上地震的地表破裂證據顯示玉里斷層沿線不僅出現左移破裂，在玉里以南更首次觀察到西高東低的逆衝抬升，這些同震變形與 2022 年主震的震源機制一致，暗示玉里斷層並非孤立的構造，而是中央山脈斷層系統的一個高角度西傾的分支（圖 3. 30 c）（徐澔德等，2023）。

無相關地質資料可推估長期滑移速率。

根據張竝瑜等（2015）的震測剖面資料，玉里斷層並非單一、連續的斷層面，而是由多條小型斷層所構成的花狀構造。1951 年地震的震央在縱谷東側，主要由縱谷斷層活動所致，而 2022 年地震震央則位於縱谷西側，屬中央山脈構造的活動。兩起地震皆非由玉里斷層破裂引起，但都誘發玉里斷層沿線出現同震地表破裂。2022 年地震，在長良一帶觀察到西高東低，並帶有左移的滑移特性，顯示玉里斷層可能是中央山脈斷層系統中一個高角度西傾的淺部分支（徐澔德等，2023）。因此，我們認為玉里斷層非主要的發震斷層，而是受鄰近深部構造活動而誘發破裂的活動斷層，其地下幾何推測為高角度西傾，本計畫暫訂為西傾 60 度，深度 10 公里，此幾何可信度較低，仍需更多資料協助判釋。玉里斷層幾何與前人文獻資料彙整於表 3. 15。

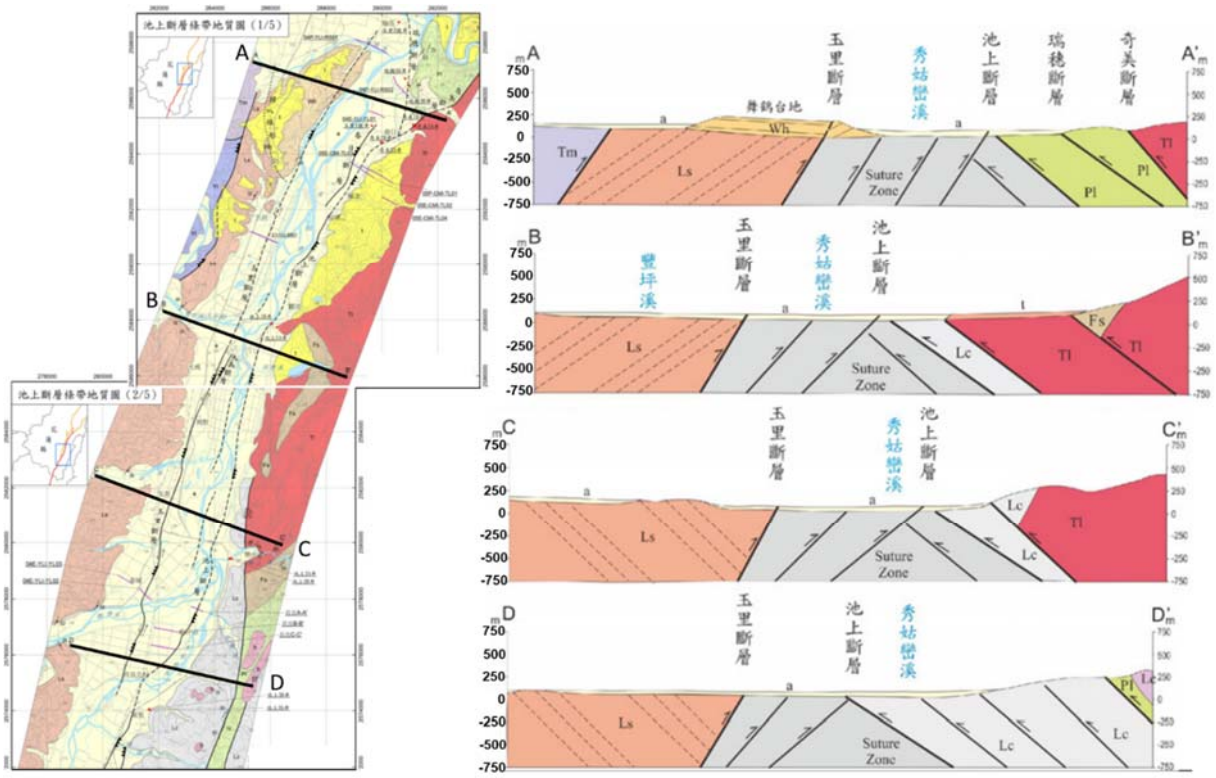


圖 3. 58：玉里斷層條帶地質圖（2022 年更新）（林啟文與周稟珊，2022）。

Figure 3. 58: Geological strip map of the Yuli Fault (updated in 2022) (Lin and Chou, 2022).

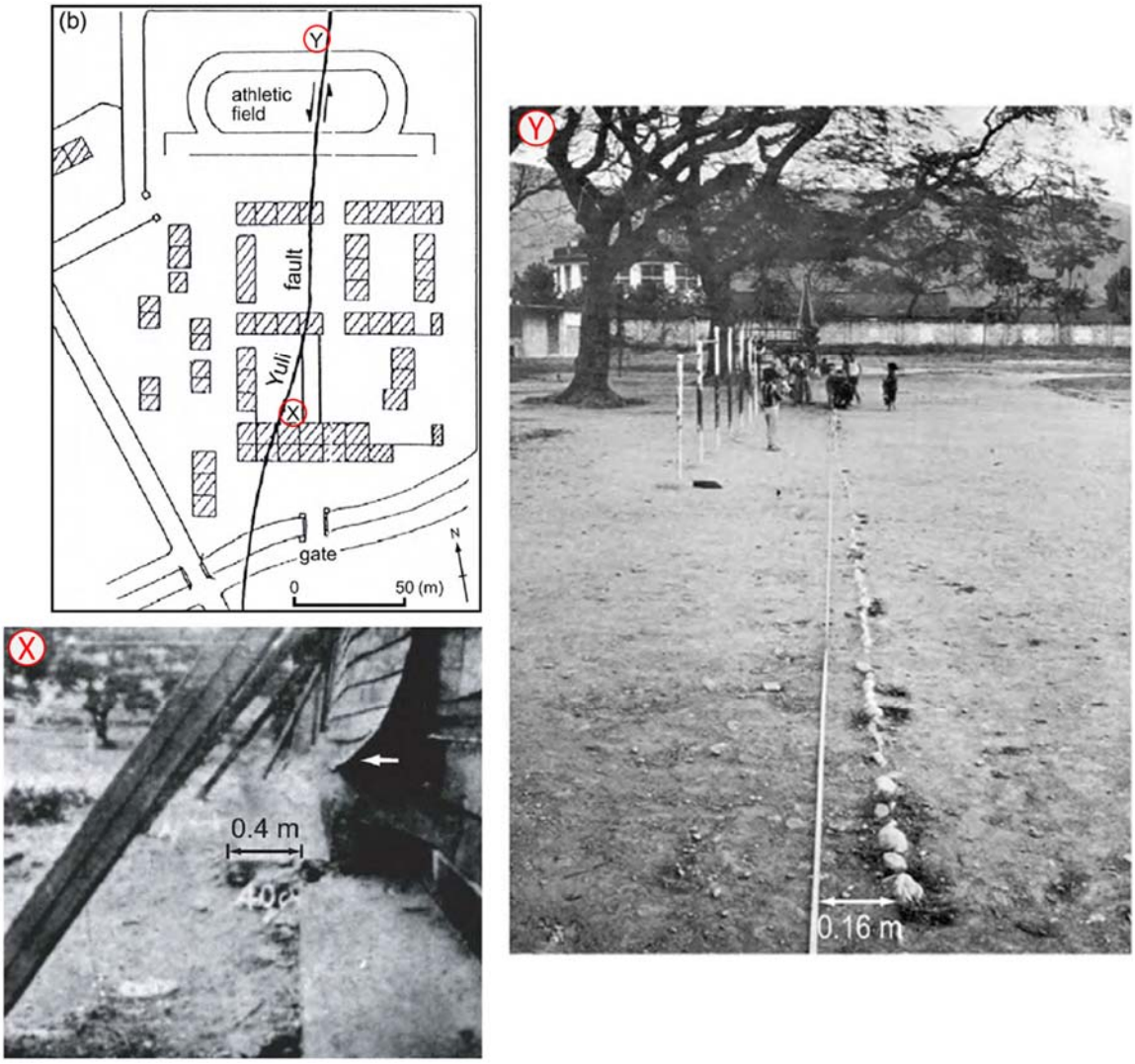


圖 3. 59：1951 年地震於玉里國小的地表破裂分布情形，X、Y 照片點位見左上圖（修改自 Shyu et al., 2007）。

Figure 3. 59: Surface rupture distribution at Yuli Elementary School during the 1951 earthquake, with photo locations X and Y shown in the upper-left map (modified from Shyu et al., 2007).

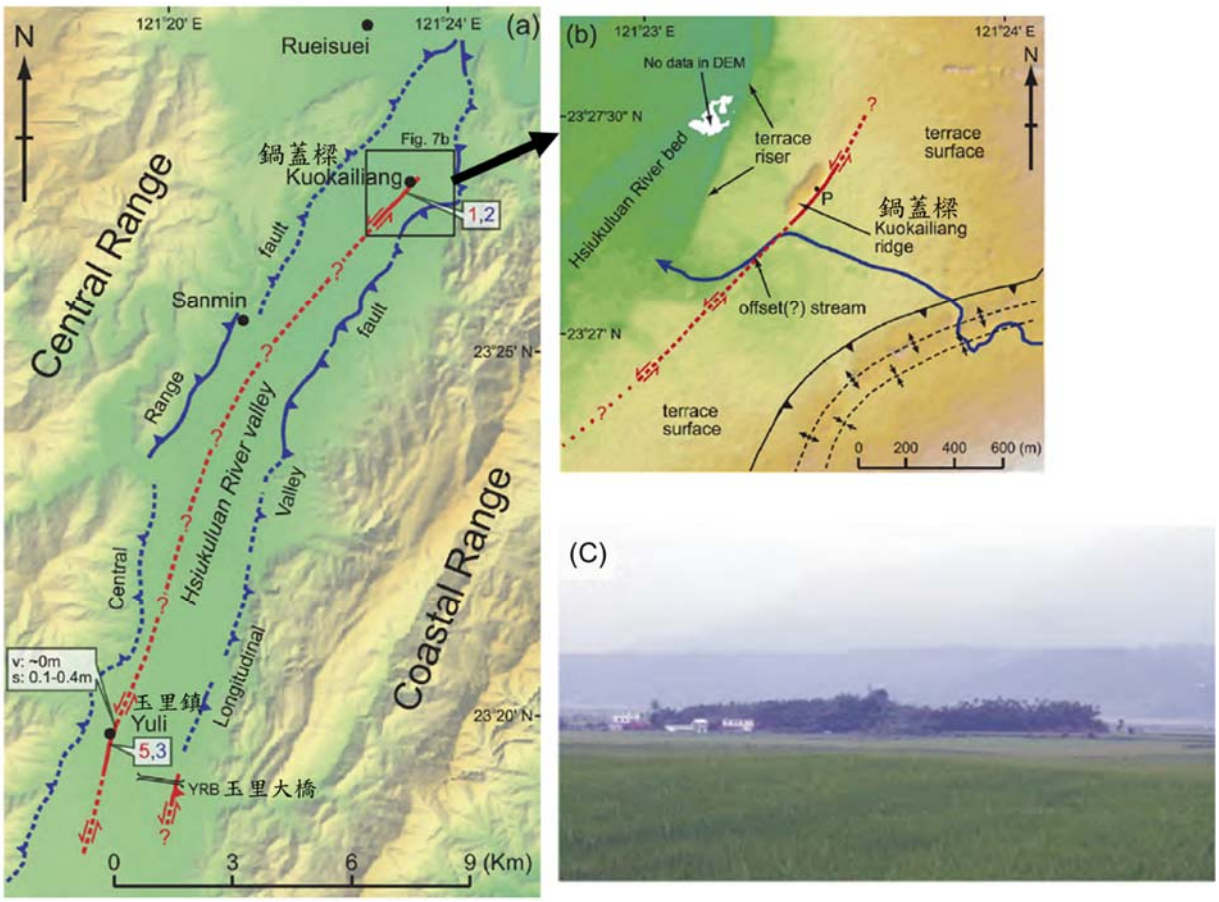


圖 3. 60：1951 年地震玉里附近的地表破裂分布。（a）Shyu et al.（2007）繪製之 1951 年地震地表破裂分布圖；（b）地表破裂通過鍋蓋樑東側，小溪溝（藍線，箭頭指向河流下游）也被左移約 400 公尺；（c）鍋蓋樑為一線性的小山脊，高約 10 公尺。

Figure 3. 60: (a) Map of the 1951 earthquake surface ruptures compiled by Shyu et al. (2007). (b) The surface rupture passed along the eastern side of Kuokailiang Ridge, and a small stream channel (blue line; arrow indicating downstream) was also offset left-laterally by about 400 m. (c) Kuokailiang Ridge is a linear hillcrest with an elevation of roughly 10 m.

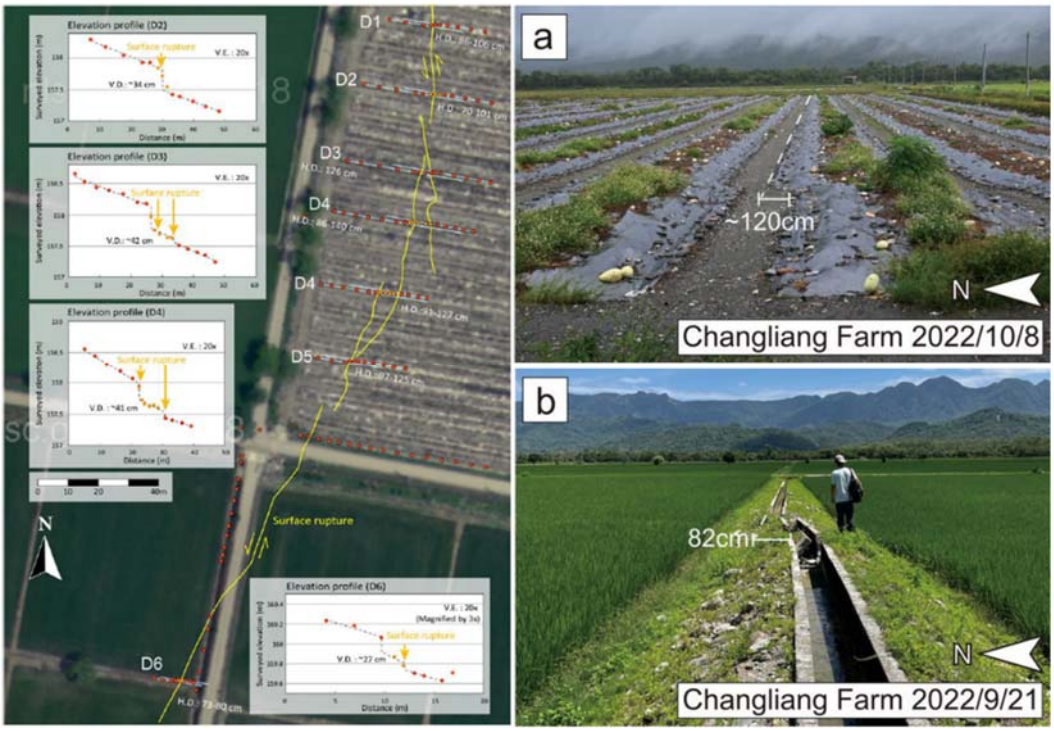


圖 3. 61：2022 年地震在長良一帶出現兼具垂直與水平位移的地表破裂（Wang et al., 2024）。

Figure 3. 61: Surface ruptures in the Chang-liang area during the 2022 earthquake, showing both vertical and horizontal offsets (Wang et al., 2024).

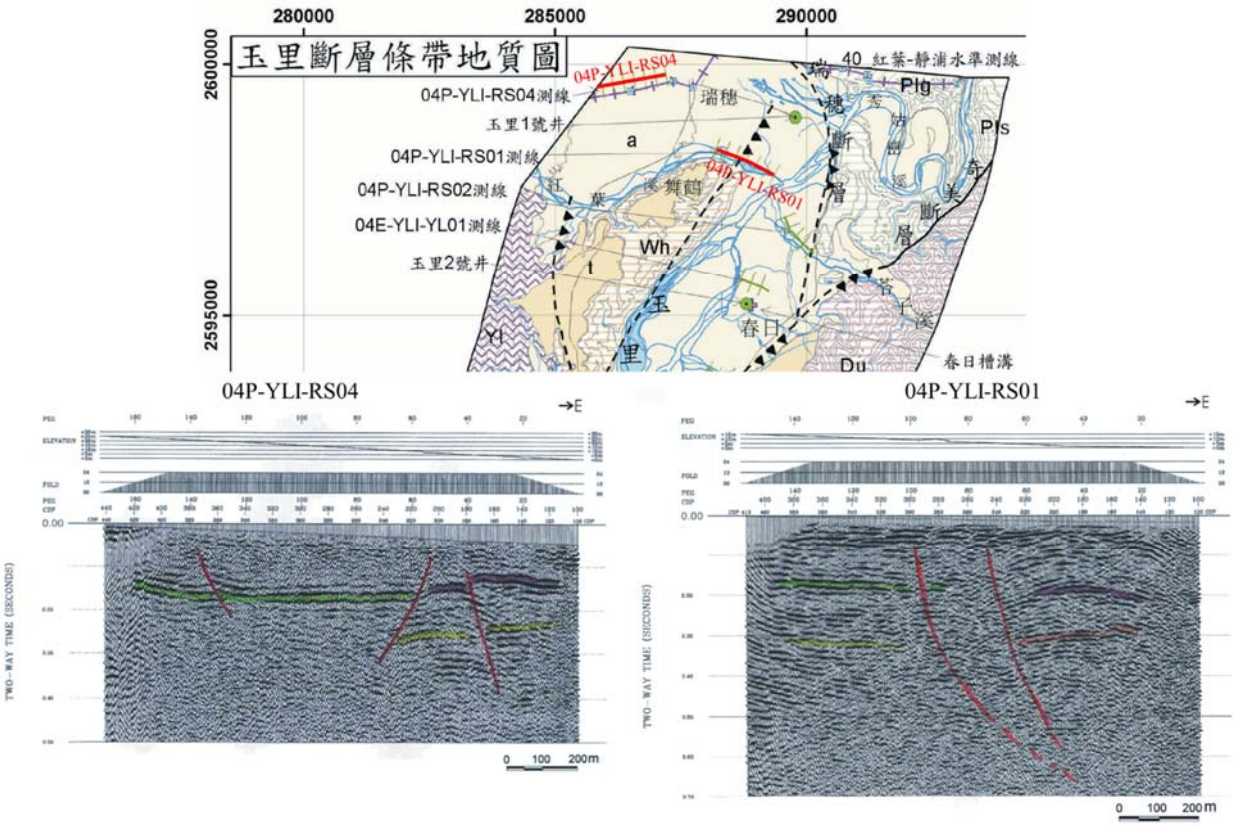


圖 3. 62：玉里斷層反射震測剖面圖（石瑞銓等，2004）。

Figure 3. 62: Reflection-seismic profile of the Yuli Fault (Shih et al., 2004).

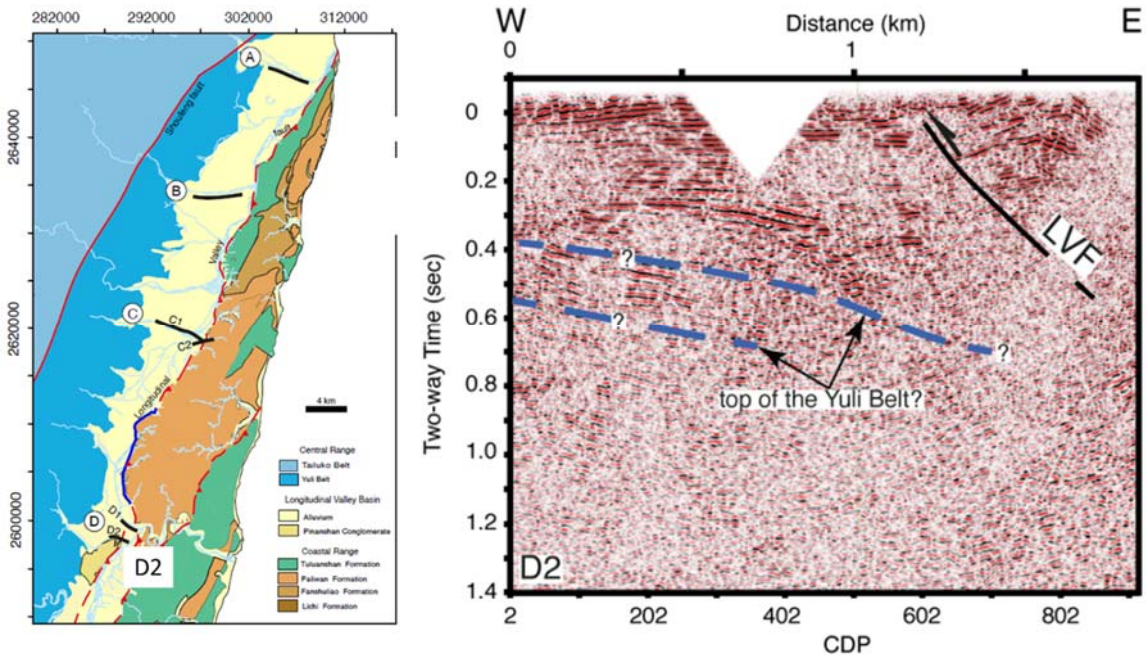


圖 3. 63：舞鶴台地北側 D2 淺層震測剖面（Kuochen et al., 2023）。

Figure 3. 63: Wuhe Tableland northern D2 shallow-seismic reflection profile (Kuochen et al., 2023).

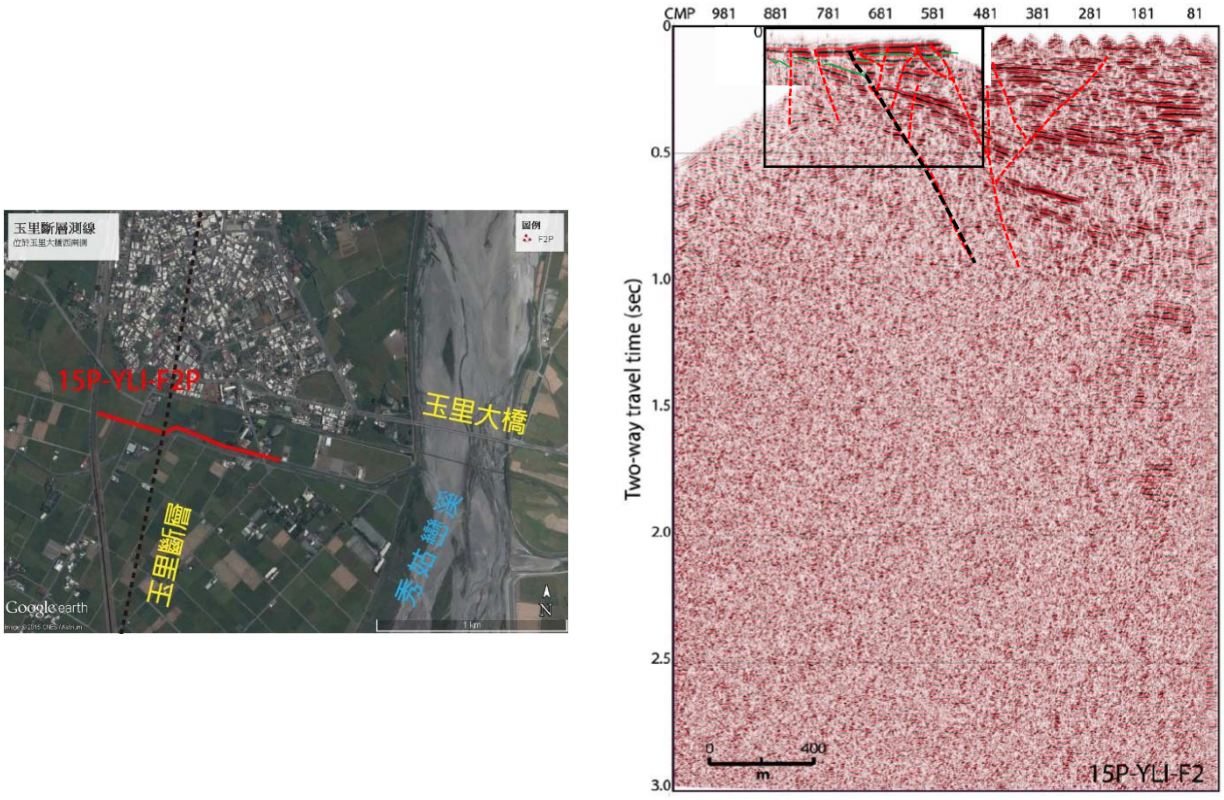


圖 3. 64：玉里斷層淺層震測剖面構造解釋圖（張竝瑜等，2015）。

Figure 3. 64: Yuli Fault shallow-seismic reflection structural interpretation profile (Chang et al., 2015).

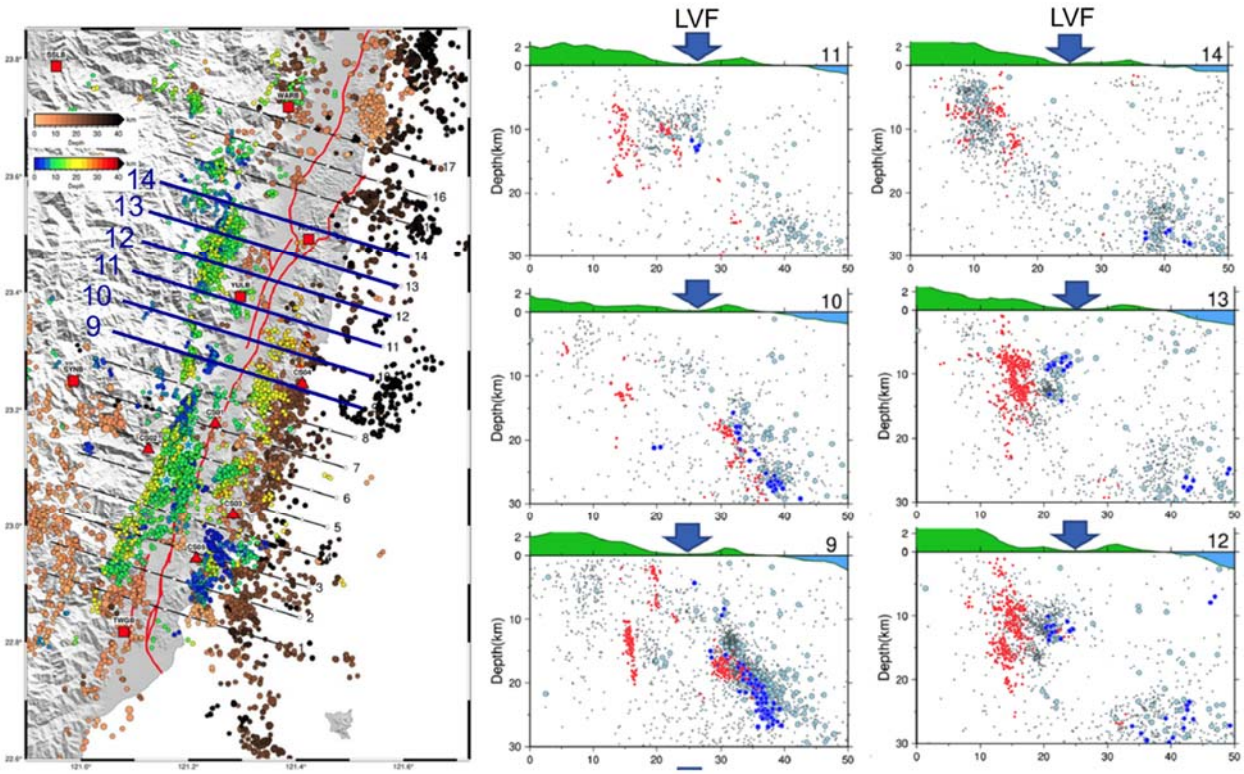


圖 3. 65：經 hypoDD 重定位之 SeisBlue 目錄的地震剖面圖（Sun et al., 2024）。紅色圓點代表 2022 年 9 月至 10 月的地震，藍色圓點為 2001-2020 M3+ 氣象局重定位地震分布，淡藍色圓點為 Wu et al.（2008）提供之 1990-2017 年氣象局重定位地震分布。

Figure 3. 65: Cross-section of earthquakes from the hypoDD-relocated SeisBlue catalog (Sun et al., 2024). Red circles represent earthquakes from September to October 2022; blue circles show the M3+ CWA relocated seismicity from 2001 to 2020; and light-blue circles indicate the CWA relocated seismicity from 1990 to 2017 provided by Wu et al. (2008).

表 3. 15：玉里斷層幾何形貌相關文獻

Table 3. 15: Summary of studies on the geometry of the Yuli Fault.

文獻	方法	傾角	深度
石瑞銓等（2004）	玉里斷層北部震測剖面	多個小型斷層	
Kuochen et al.（2024）	玉里斷層北部震測剖面	--	
張竝瑜等（2015）	玉里斷層南部震測剖面	花狀構造	延伸至 TWT~1s
Sun et al.（2024）	SeisBlue AI 及 hypoDD 地震重定位	近直立的深部斷層	2-20 公里
徐澔德等（2023）	地震地表破裂、地震分布、構造地形綜合分析	高角度西傾	
本計畫推估	淺層震測資料、1951 年、2022 年地震地表破裂綜合分析	60 度西傾	10 公里

3-1-3-5 鹿野斷層

鹿野斷層為逆移斷層，由台東縣鹿野鄉鹿寮向南延伸至卑南鄉檳榔附近，長約 18 公里，屬第一類活動斷層（林啟文等，2009；2021）（圖 3. 66）。鹿野斷層東側主要出露初鹿礫石層（紀權宜，2007），西側出露板岩層（林啟文與林偉雄，2005）。鹿野龍田階面上可觀察到東側較西側高約 5~8 公尺的撓曲崖特徵，顯示該階地形成後有再度活動（林啟文等，2009）。Shyu et al.（2008）根據構造地形判釋（圖 3. 67），認為鹿野斷層沿著高台河階西緣分布，往北在鹿寮溪以南逐漸消失，往南經過龍田階地，穿過鹿野溪，再沿著卑南山的西緣向南延伸，在卑南山的最南端斷層地形特徵轉變為單斜褶皺，並沿著卑南山南緣發育，走向轉為東西向。Shyu et al.（2008）認為鹿野分支（本計畫的鹿野斷層）為縱谷斷層系統中最西側的分支，其深部可能與其東側的卑南分支（本計畫的利吉斷層）相連（圖 3. 68）。

在斷層幾何方面，根據陳文山等（2009；2010）永安槽溝的開挖結果，鹿野斷層屬於逆斷層型態，斷層面東傾 20 度，剪切面截切至全新世沉積層，並造成全新世礫石層形成褶皺（圖 3. 69、圖 3. 70）。姜彥麟等（2014）於鹿野斷層沿線進行鑽井，由北而南分別為永安地區（4A、4B 井）、萬萬地區（1A、1B 井）、檳榔線形區域（2A、2B 井）、以及檳榔國小（3A、3B 井）共 4 處，並建立地質構造剖面（圖 3. 71，左圖）。剖面 A 中，4A 井的剪切角約 30~45 度，於 56.45 公尺井深處的礫石層有 1 公分厚的剪切帶，約 30 度，4B 井中剪切角約 15~25 度左右。剖面 B 中的 1A 井具有 35~60 度左右的剪切角度；1B 井具有 35~50 度的剪切面，井深 27~28 公尺處有剪切泥。剖面 C 中，2A 井中具有 30~40 度的剪切面，2B 井具有 30~40 度左右的剪切面。剖面 D 中，3A 井中的剪切角約 30~50 度，3B 中剪切面約 25~40 度（圖 3. 71，右圖）。根據初鹿台地西南方的淺層震測結果，鹿野斷層為低角度東傾的斷層（王執明與王乾盈，1991）。董倫道等（2006）在鹿野斷層南端的檳榔地區進行兩條淺層震測測線施測（06P-LYH-BL01、06P-LYH-BL02）（圖 3. 72），震測剖面中缺乏明顯的層序反射，推測與該區域由礫石層主導的沖積扇環境有關，此類地層缺乏穩定連續的反射界面。石瑞銓與陳平護（2001）於永安和龍田施測反射震測，永安測線重合剖面（00P-LYH-02）與龍田測線重合剖面（00P-LYH-01）如圖 3. 73，震測資料的訊號品質對斷層傾角的解析度不佳。王蘭榛等（2010）同樣於鹿野永安、龍田進行震測施測，改良施測設計，包含震源的改善、近之距與施測展距的改變、每筆炸點撞擊的次數、重合數與測線總長。淺層震測結果除了確認了鹿野斷層的位置，也發現卑南山礫岩層呈現背斜的樣貌（圖 3. 74）。龍田的震測剖面（07P-LYHF-LT-1）中可觀察到鹿野斷層的地下幾何呈現向東傾斜的樣貌。

在長期滑移速率方面，徐澔德等人（Shyu et al., 2008）根據構造地形的判釋針對鹿野高臺區域繪製階地分布（圖 3. 75 a），並進行定年採樣分析，鹿野高臺區域河階可分為 7 階，其中階地 4（Terrace 4）的垂直錯動量為 15 公尺（圖 3. 75 b），階地 4 上採集到的碳樣本定年為 3260-3440 yr cal BP，推算鹿野斷層長期垂直抬升速率約為 4.5 mm/yr。

陳文山等（2010）在永安沖積扇的隆起褶皺崖上進行槽溝開挖與淺層鑽探。依據槽溝剖面中超覆沉積層的變形量推估垂直位移量，並估算斷層淨滑移速率約為 4.4 mm/yr（北牆/南牆：4.5/4.3 mm/yr）。然而，褶皺崖前的沉積物未必會完整堆積至褶皺崖頂，因而可能低估實際變動量，若假設 G1 礫石層自 N1 事件後開始變形（4,335 yr cal BP），並以頂面約 8 公尺的垂直高差估算，其長期抬升速率約 1.85 mm/yr，以溝槽中的剪切面角度 20 度進一步估算斷層淨滑移速率為 5.4 mm/yr（圖 3. 76）。

陳文山等（2010）在馬背 1 號井中發現 0-77.1 公尺深具有剪切強烈的厚層湖相泥層，於井深 10.2 公尺以及 69.6 公尺兩處定年分別為 13,060-12,940 yr BP 與 18,510-17,690 yr BP，而泥層之下為厚 46 公尺的沖積扇礫石層（圖 3. 77）。假設沉積環境的變化與鹿野斷層活動有關，則泥層底部年代（18,870 yr BP），也就是堰塞湖形成的年代，可視為鹿野斷層開始活躍的時期。若將馬背 1 號井中礫石層的頂面與階地 Terrace 6 或 Terrace 7 對比，其垂直高差分別為 92 公尺與 116 公尺，估算斷層長期抬升速率分別為 4.9 mm/yr 與 6.1 mm/yr，假設斷層傾角為 30°則推估沿斷層面的滑移速率為 9.8~12.2 mm/yr。

鹿野斷層幾何與長期滑移速率前人文獻彙整於表 3. 16 及表 3. 17。

根據槽溝剖面（陳文山等，2009；2010）、震測資料（王蘭榛等，2010）、構造地形特徵（Shyu et al., 2008）可以推斷鹿野斷層為向東傾斜的逆斷層。然而，由於震測資料的反射訊號不明顯，且缺乏深度控制，因此難以辨識斷層傾角。本計畫參考姜彥麟等（2014）的鑽井資料，於不同剖面中推估的斷層傾角為：剖面 A（36 度），剖面 B（40 度），剖面 C（16 度），剖面 D（35 度）。綜整各剖面資訊後，本計畫將鹿野斷層簡化為東傾 35 度。此外，鹿野斷層可能為東側縱谷斷層（利吉斷層）的分支斷層，基於此，本計畫將鹿野斷層的底部深度設置於與利吉斷層會合的位置，約為 5 公里深。

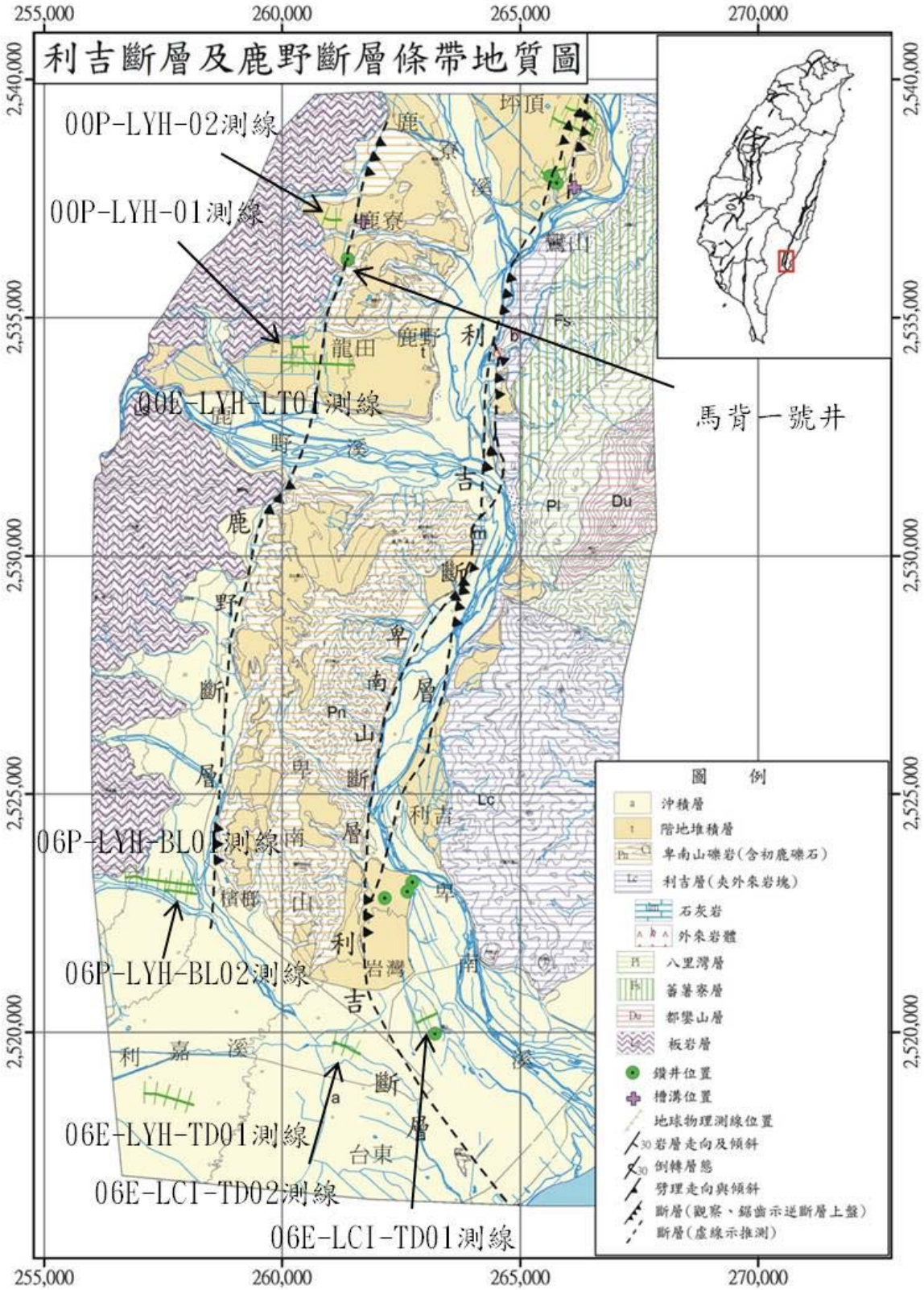


圖 3. 66：鹿野斷層條帶地質圖（林啟文等，2009）。

Figure 3. 66: Geological strip map of the Luye Fault (Lin et al., 2009).

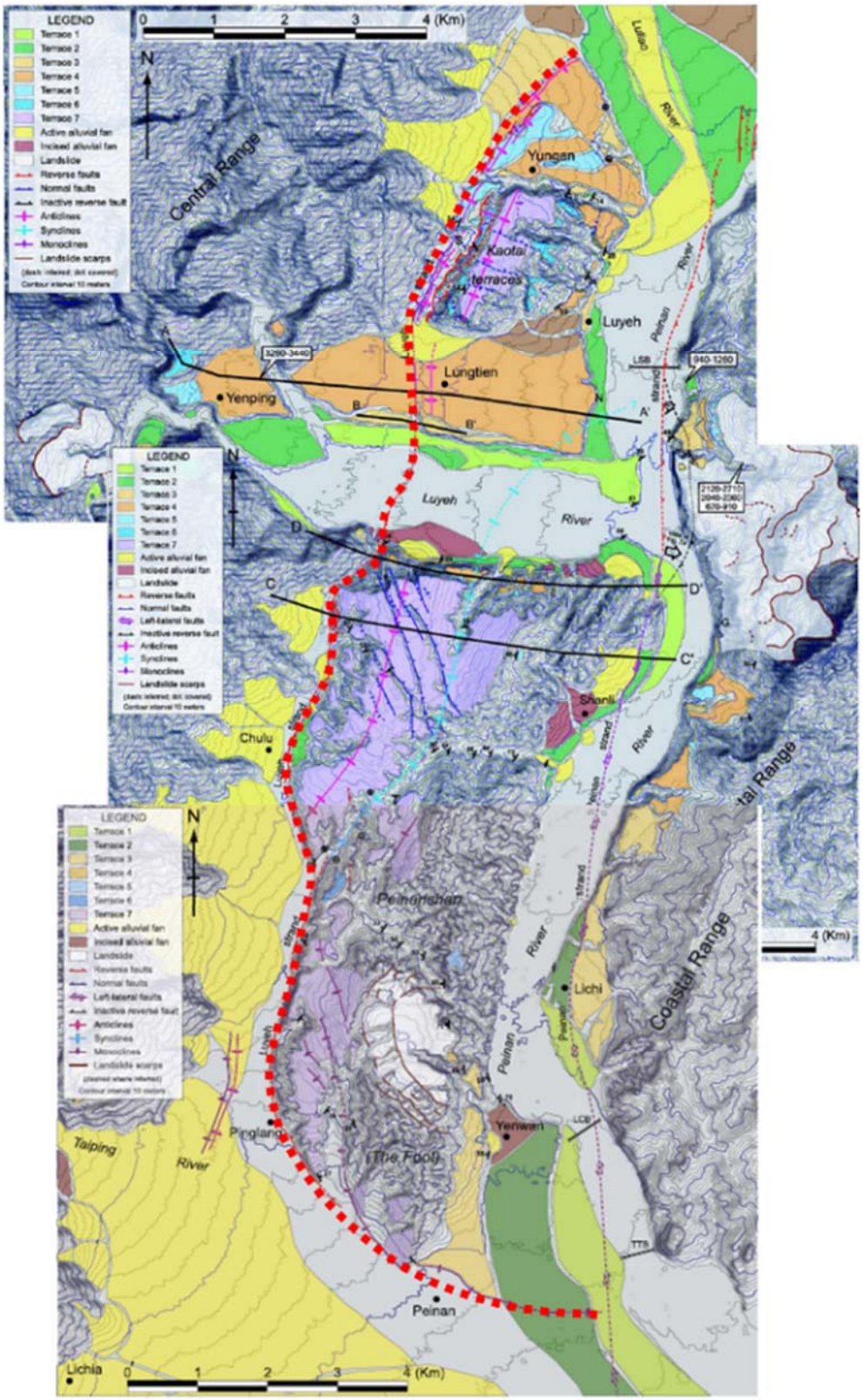


圖 3. 67：鹿野斷層沿線構造地形判釋結果，紅色虛線為鹿野斷層(Shyu et al., 2008)。

Figure 3. 67: Interpretation of tectonic geomorphology along Luye Fault, with the Luye Fault shown as red dashed lines (Shyu et al., 2008).

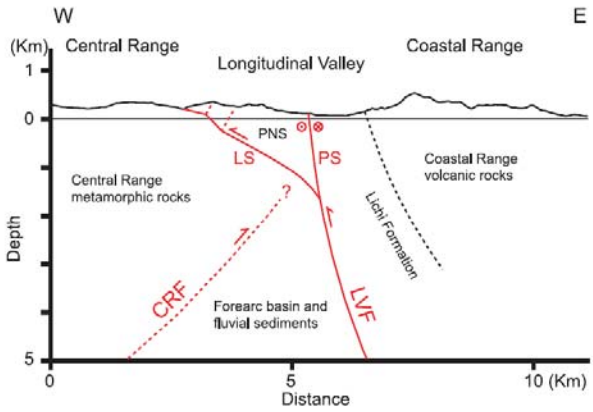


圖 3. 68：縱谷斷層南部剖面圖，縱谷斷層（Longitudinal Valley fault, LVF）在此區域分為卑南分支（Peinan strand, PS）與鹿野分支（Luyeh strand, LS）（Shyu et al., 2008）。

Figure 3. 68: Southern cross section of the Longitudinal Valley Fault (LVF), which in this area divides into the Peinan strand (PS) and the Luyeh strand (LS) (Shyu et al., 2008).

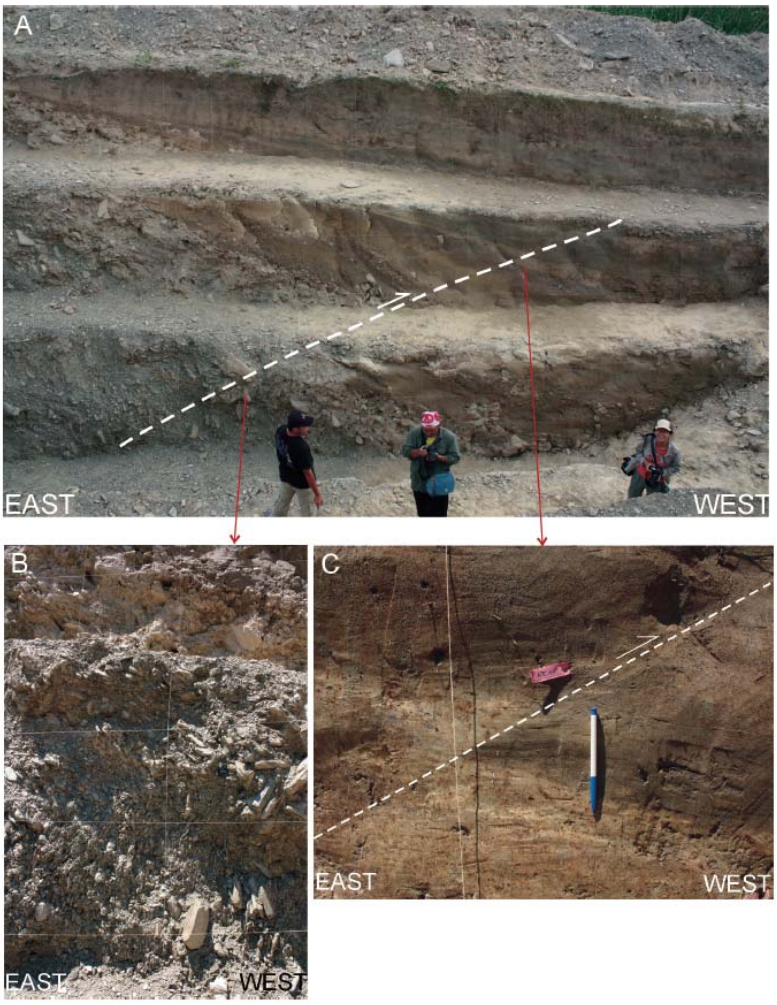


圖 3. 69：永安槽溝開挖結果。（A）斷層面向東傾斜，（B）槽溝底部礫石層近垂直排列，（C）斷層兩側砂層斷距 10 公分（資料出自陳文山等，2009，2010；林啟文等，2009）。

Figure 3. 69: Yong-an trench data. (A) East-dipping fault plane; (B) Near-vertical arrangement of gravels at the trench bottom; (C) ~10 cm offset in sand layers across the fault (data from Chen et al., 2009, 2010; Lin et al., 2009).

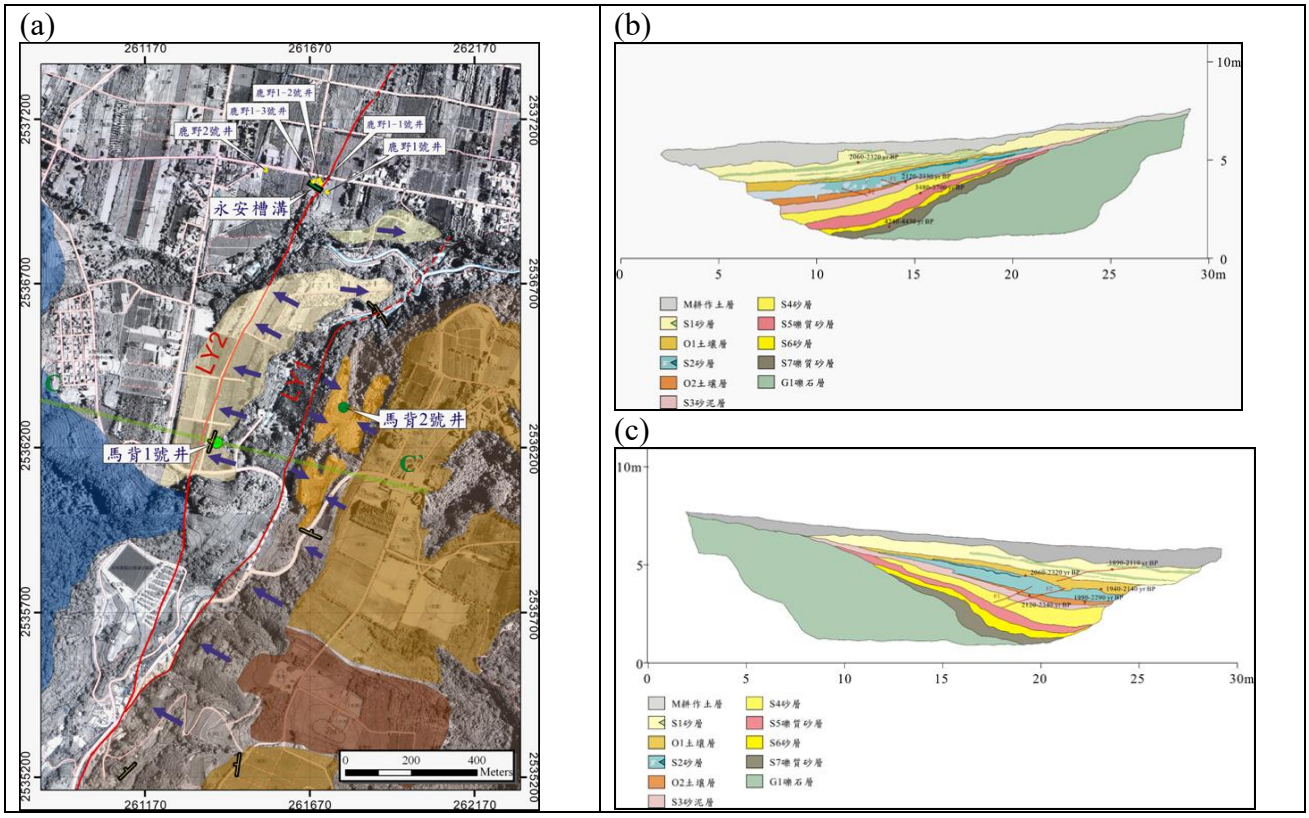


圖 3. 70：永安地區槽溝、鑽井與剖面。(a) 永安地區溝槽與鑽井位置分布圖；(b) 永安槽溝北牆剖面，(c) 永安槽溝南牆剖面（陳文山等，2010）。

Figure 3. 70: (a) Map showing the locations of the trench and boreholes at Yong-an. (b) North-wall profile of the Yong-an trench. (c) South-wall profile of the Yong-an trench (Chen et al., 2010).

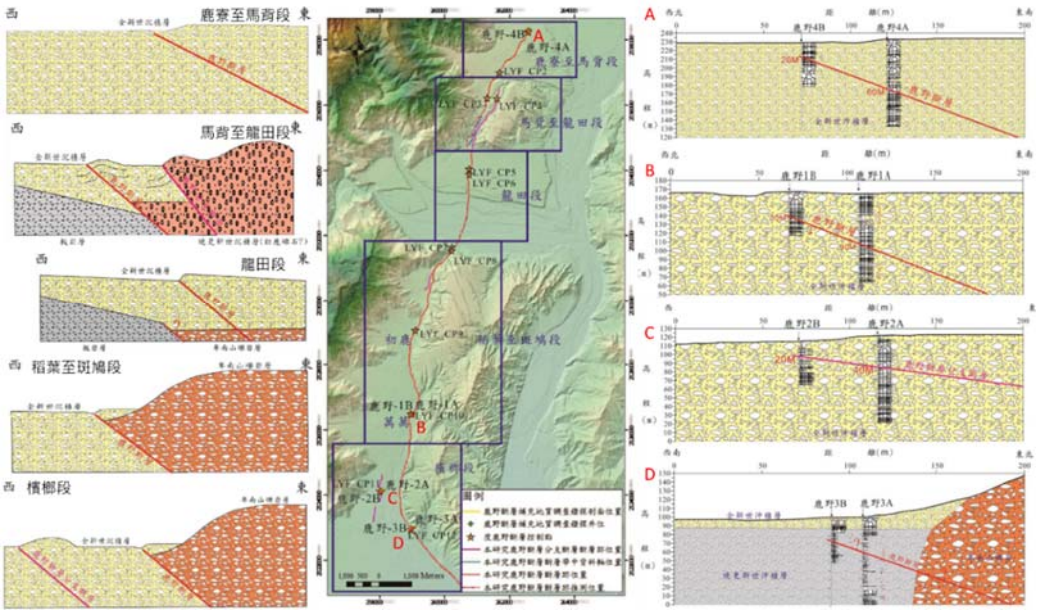


圖 3. 71：鹿野斷層沿線的地質與鑽井剖面。(左圖) 為地質剖面圖（鹿寮至馬背段、馬背至龍田段、龍田段、稻葉至斑鳩段、檳榔段）；(右圖) 為鑽井剖面圖（A、B、C、D）(距離與深度非等比例)（姜彥麟等，2014）

Figure 3. 71: (Left) Geological cross sections for the Luliao–Mabei, Mabei–Longtian, Longtian, Daoye–Vankiu, and Binlang segments. (Right) Borehole cross sections (A, B, C, D), not to scale (Chiang et al., 2014).

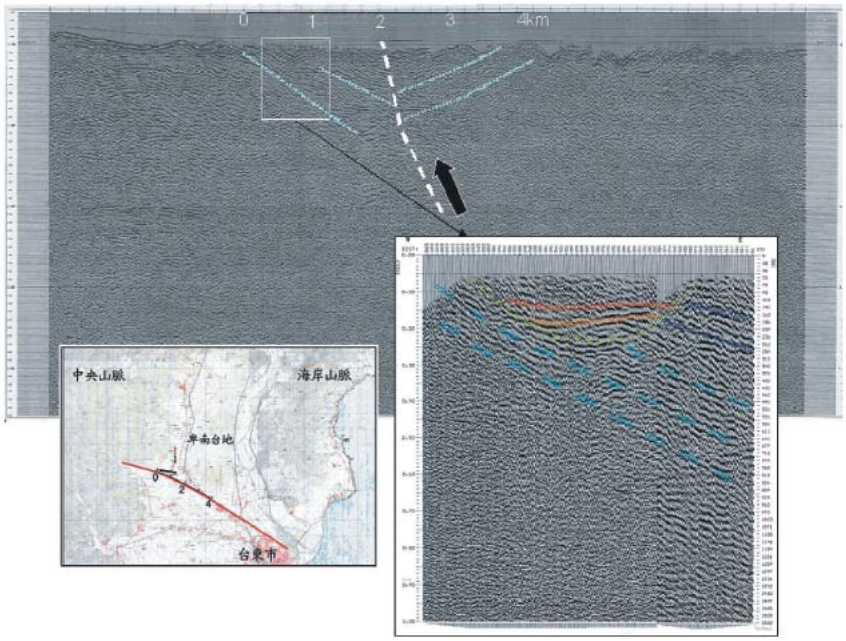


圖 3. 72：鹿野斷層南端檳榔地區震測結果，鹿野斷層如白色虛線所示（董倫道等，2006）。

Figure 3. 72: Seismic profile at the southern end of the Luye Fault in the Binlang area, with the Luye Fault indicated by white dashed lines (Tung et al., 2006).

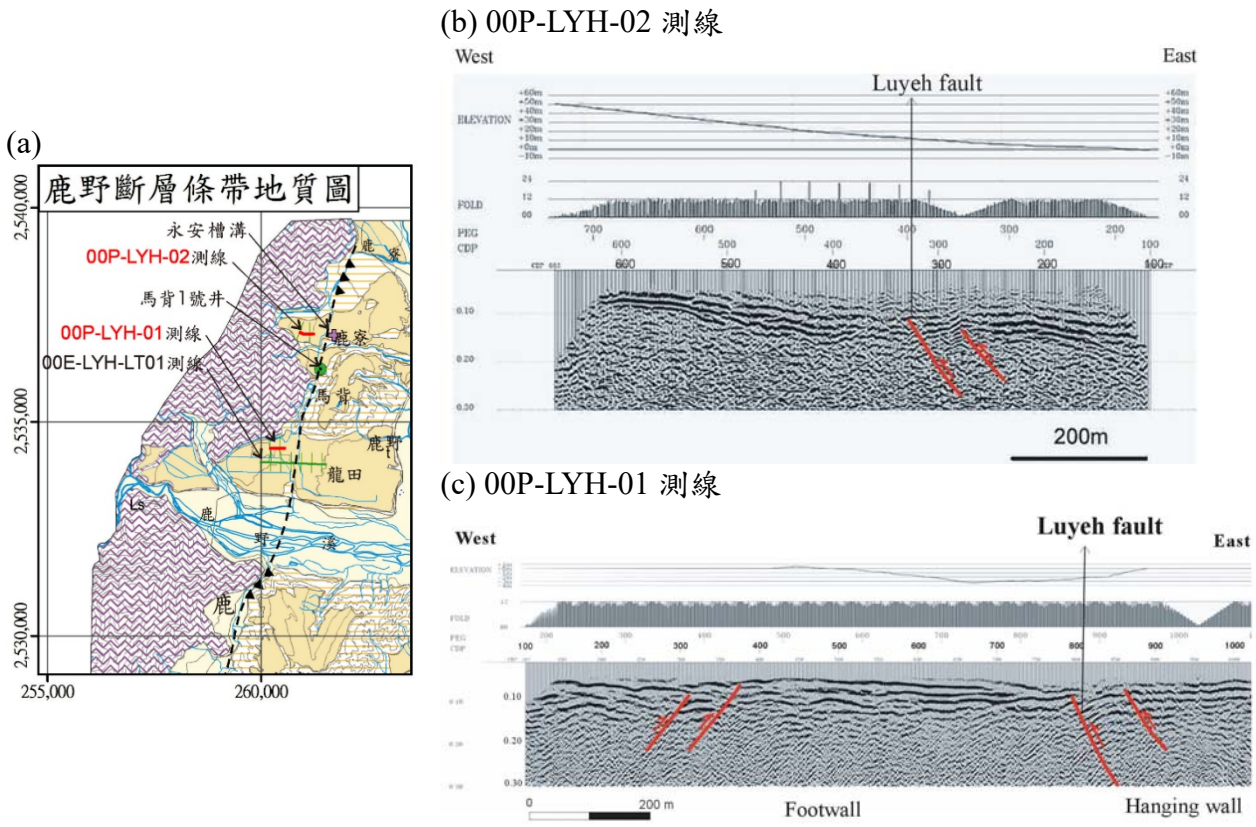


圖 3. 73：鹿野斷層之測線位置與震測剖面。（a）鹿野斷層條帶地質圖，震測線位於紅色實線處；（b）永安淺層震測剖面；（c）龍田淺層震測西側剖面（石瑞銓與陳平護，2001）。

Figure 3. 73: (a) Geological strip map of the Luye Fault, with the seismic line shown as red solid lines. (b) Yong-an shallow seismic profile (c) Longtian western shallow seismic profile (Shih and Chen, 2001).

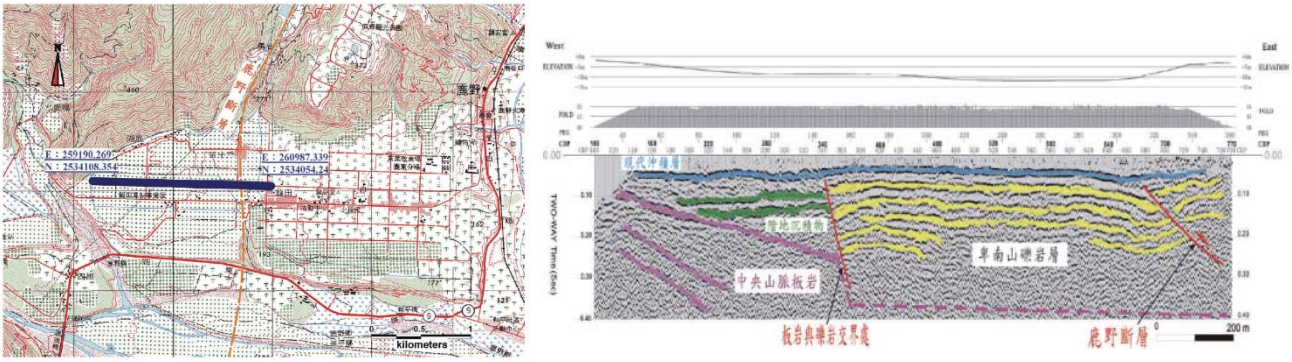


圖 3. 74：鹿野斷層龍田測線之位置與震測剖面。龍田測線（07P-LYHF-LT-1）位置圖（左）與震測剖面解釋（右）（王蘭榛等，2010）。

Figure 3. 74: Location map of the Longtian seismic line (07P-LYHF-LT-1) (left) and interpreted seismic profile (right) (Wang et al., 2010).

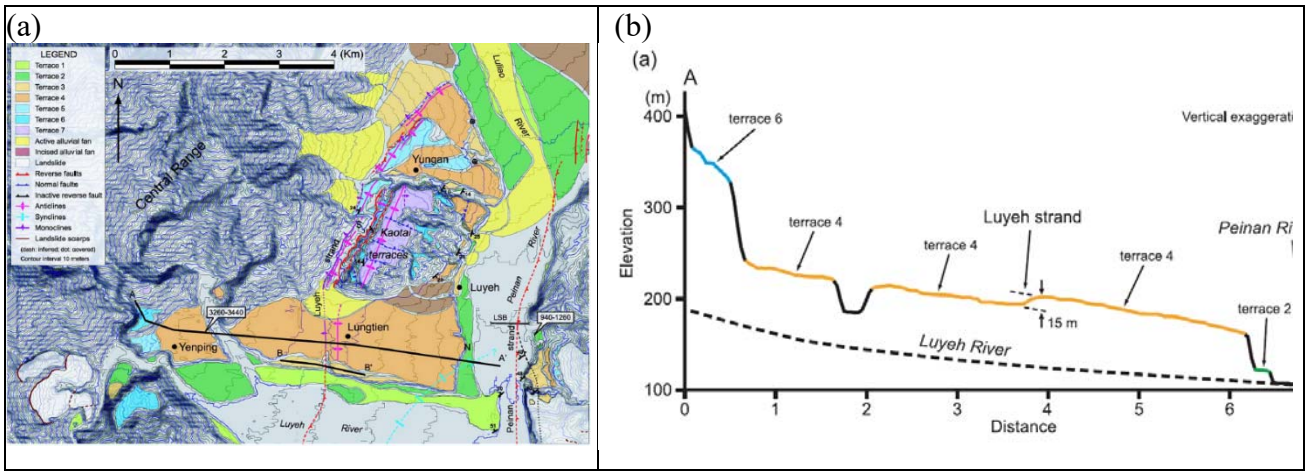


圖 3. 75：鹿野溪北岸河階分布與地形剖面。（a）鹿野高臺階地分布圖，（b）龍田階地剖面圖（Shyu et al., 2008）。

Figure 3. 75: (a) Terrace distribution map of the Luye Tableland. (b) Terrace cross section at Longtian (Shyu et al., 2008).

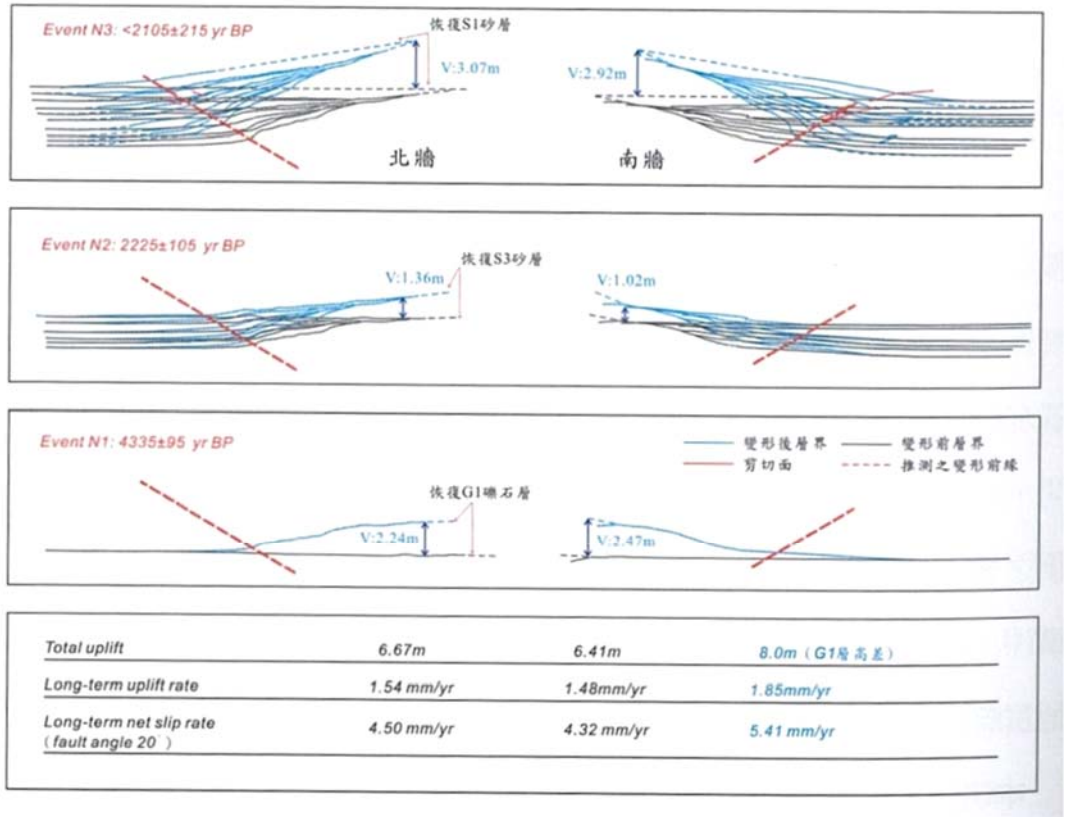


圖 3. 76：永安溝槽古地震恢復圖（陳文山等，2010）。

Figure 3. 76: Paleoseismic reconstruction of the Yong-an trench (Chen et al., 2010).

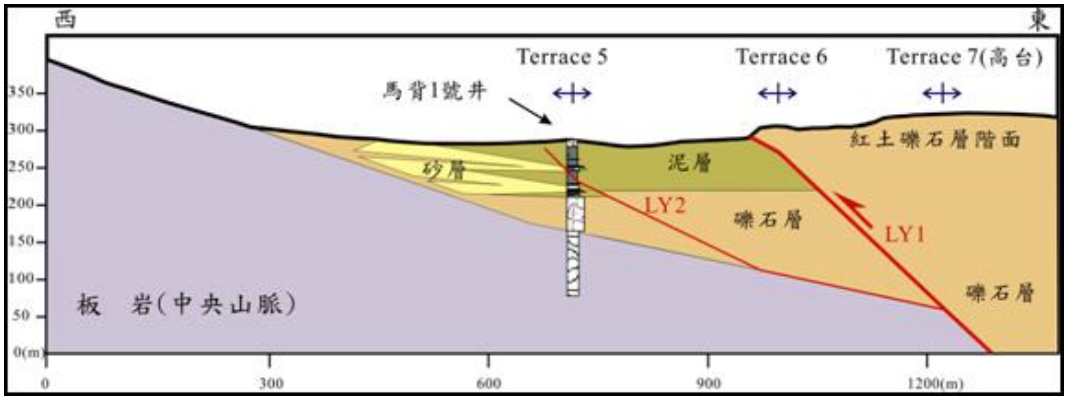


圖 3. 77：鹿野高台地質剖面圖，馬背 1 號井位置見圖 3. 66（陳文山等，2010）。

Figure 3. 77: Geological cross section of the Luye Tableland, with the location of Mabei Well No. 1 shown in Figure 3. 66 (Chen et al., 2010).

表 3. 16：鹿野斷層幾何形貌相關文獻

Table 3. 16: Summary of studies on the geometry of the Luye Fault.

文獻	方法	傾角（度）	深度（km）
陳文山等（2009；2010）	永安槽溝	東傾 20 度	
姜彥麟等（2014）	永安地區、萬萬地區、檳榔線形區域、檳榔國小鑽井資料		
王執明與王乾盈（1991）	初鹿台地西南方震測資料	低角度東傾	-
董倫道等（2006）	檳榔地區震測資料	--	
石瑞銓與陳平護（2001）	永安、龍田震測資料	--	--
王蘭榛等（2010）	永安、龍田震測資料	東傾	--
本計畫推估	參考姜彥麟等（2014）鑽井資料剖面推估斷層傾角，並將斷層底部深度設定為其與利吉斷層會合的位置。	35	5

表 3. 17：鹿野斷層長期滑移速率相關文獻彙整

Table 3. 17: Summary of studies on the long-term slip rate of the Luye Fault.

文獻	方法	長期垂直抬升速率（mm/yr）
Shyu et al.（2008）	龍田階地 Terrace 4 分析	4.5
陳文山等（2010）	永安槽溝 G1 礫石層	1.85
陳文山等（2010）	高臺馬背 1 號井與階地對比資料	Terrace 6：4.9 Terrace 7：6.1

3-1-3-6 利吉斷層

利吉斷層自台東縣延平鄉鸞山向南延伸至岩灣，再轉向東南延伸至台東市，全長約 25 公里，為逆移斷層，屬於第二類活動斷層（圖 3. 78）（林啟文等，2009；2021）。鸞山野溪中可觀察到利吉斷層的露頭，露頭中顯示利吉層逆衝至卑南山礫岩之上，但未截切上覆礫石層（圖 3. 79）（紀權宥，2007）。卑南大溪東岸也可觀察到利吉層逆衝至卑南山礫岩之上的斷層露頭（圖 3. 80）（紀權宥，2007）。利吉斷層條帶地質圖中（林啟文等，2009）利吉斷層包含其東側的卑南山斷層（圖 3. 78，左圖），林啟文等（2004）認為卑南山斷層與利吉斷層均發育於「利吉層」內，利吉層內部受強烈剪動，可視為一斷層帶，卑南山斷層分隔利吉層與卑南山礫岩，可視為主要斷層，過去所指的利吉斷層可視為利吉斷層帶中規模較大的次要斷層（圖 3. 78，右圖）。

根據紀權宥（2007）在野外量測的斷層位態，鸞山野溪露頭中的斷層位態為 N50°E，75°W（圖 3. 79），卑南大溪露頭中的斷層位態為 N50°E，70°SE（圖 3. 80）。

陳文山等（2014）在利吉斷層南部臺東火車站（LZ1）、岩灣國小（LZ2）、臺東監獄岩灣技能訓練所（LZ3）進行鑽探。岩灣國小 LZ2-1 井除了地表數公尺厚的沖積層外，其餘岩芯皆為利吉層，臺東火車站機廠內 LZ2-2 除地表數公尺厚沖積層外，其餘岩芯為卑南山礫岩層，推測斷層位於兩個井位之間。臺東監獄岩灣技能訓練所 LZ3-2 井於 8.9-30.1 公尺井深為利吉層，30.1 公尺以下為卑南山礫岩層，利吉斷層通過井深 30.1 公尺，利吉層中剪切面 40-55 度，推測斷層面傾角約 50 度（圖 3. 81）。

陳文山等（2006）在利吉斷層北部的坪頂山開挖槽溝，坪頂山南側槽溝剖面中觀察到利吉層逆衝至全新世階地礫石層之上，以及三條剪裂面，F1、F2、F3，其中 F1 剪裂面的位態為 N15°E，63°E。

Shyu et al.（2008）根據構造地形及地表破裂調查認為縱谷斷層在淺層分為兩個分支（圖 3. 68），一個為鹿野分支（本計畫的鹿野斷層），另一個為卑南分支（本計畫的利吉斷層）（圖 3. 82，左圖），在跨越卑南溪的鸞山大橋上，橋面出現因東西向壓縮所造成的破裂（圖 3. 82，右圖），由於大橋上一次維修是在 2003 年初，因此這些破裂極可能是 2003 年 12 月台東地震期間，卑南分支小規模錯動所造成的。

紀權宥（2007）認為利吉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，及 GPS 水平變化速率代表的長期地殼水平速率，估算斷層面傾角約為 53°（圖 3. 83）。

姜彥麟（2007）針對 2006 年 4 月 1 日台東地震，分析震前、跨地震時期以及震後時期的地殼變形與構造作用，並利用跨斷層同震期間所量測的地表水平壓縮量與垂直抬升量，推估近地表利吉斷層傾角約 70 度（圖 3. 84）。

根據 Kuochen et al.（2012）使用 TAIGER 計畫以及寬頻地震網資料建構速度構造剖面 S01 剖面通過縱谷南端，下方地震群呈現線性東傾約 55 度，於深度 22 公里處轉為傾角約 40 度，深度延伸至約 30 公里左右（圖 3. 85）。

Shyu et al.（2008）觀察階地剖面發現在基岩與崩塌堆積物之間存在一層薄的、磨圓度良好的河道礫石層，顯示崩塌體覆蓋曾經覆蓋於當時卑南溪河道，或覆蓋於當時已抬升的河階面上。在卑南溪東岸，位於鸞山大橋東側的階地（Terrace 2）採集到碳樣本，其高程與現生河床間的高差為 18 公尺，樣本碳十四定年結果為 940-1,260 yr cal BP，由此推估利吉斷層抬升速率約為 14.3~19.1 mm/yr（圖 3. 86）。

紀權宥（2007）利用新良階地與利吉階地分析結果計算抬升速率，新良地區 FT5 階地樣本年代為 1360±60 yr cal. BP、1610±80 yr cal. BP，利吉地區 FT5 階地樣本年代為 992±63 yr cal. BP，推算得到抬升速率約為 12.4~20.2 mm/yr（圖 3. 87）。

利吉斷層幾何與長期滑移速率前人文獻彙整於表 3. 18 及表 3. 19。

利吉斷層分為西側主斷層（過去文獻稱為卑南山斷層）與東側次要斷層（過去稱為利吉斷層）（林啟文等，2009；2021）。靠近主斷層的鑽井岩芯剪切面（陳文山等，2014），以及槽溝中觀察到的剪裂面（陳文山等，2006），傾角大約是 50-60 度。至於鸞山野溪與卑南大溪所觀察到的斷層露頭（紀權宥，2007），則屬於高角度的分支斷層。根據速度構造剖面及地震重定位結果（Kuochen et al., 2012），地震分布在淺部呈現 55 度東傾的線性分布，與鑽井及槽溝觀察結果一致。因此本計畫參考 Kuochen et al.（2012）的地震分布，擬定斷層傾角於 0~22 公里為 55 度，22~30 公里為 40 度。

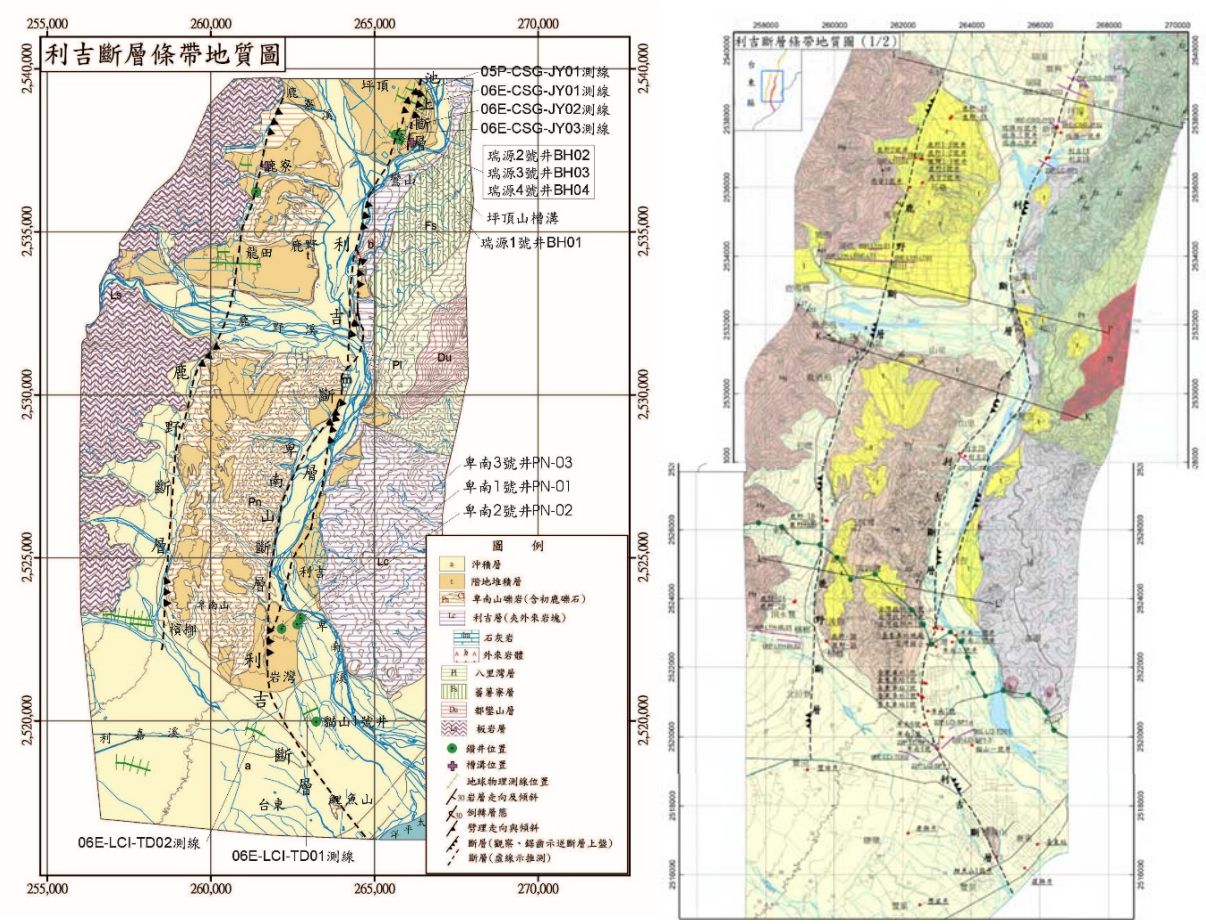


圖 3. 78：利吉斷層條帶地質圖。左圖出自林啟文等（2009）；右圖為更新後地質圖，出自梁勝雄與林啟文（2024）。

Figure 3. 78: Left: geological strip map from Lin et al. (2009); right: updated geological strip map from Liang and Lin (2024).

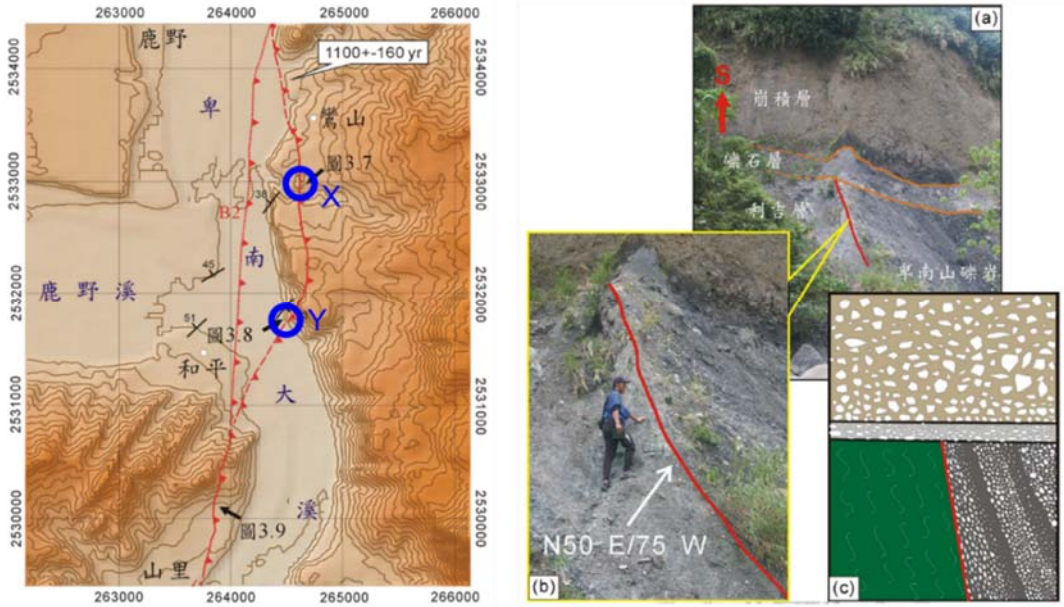


圖 3. 79：鶯山野溪中的利吉斷層露頭，露頭位置位於左圖 X 點位（紀權宜，2007）。

Figure 3. 79: Outcrop of the Lichi Fault exposed in the Luanshan Creek, located at point X in the left-hand map (Chi, 2007).

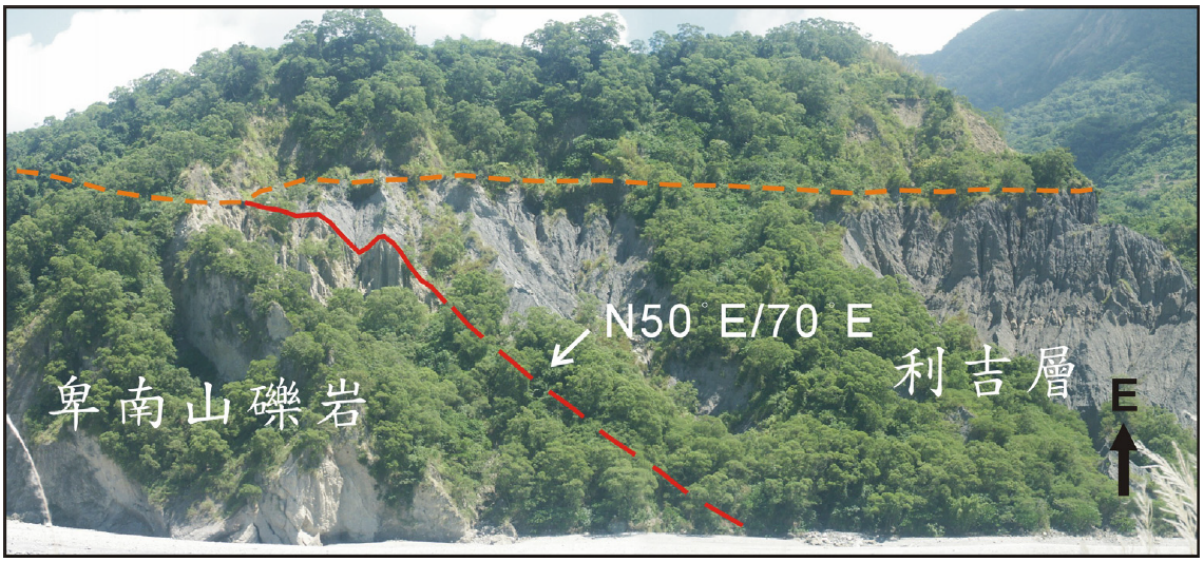


圖 3. 80：卑南大溪東岸的利吉斷層露頭，露頭位置位於圖 3. 79 左圖 Y 點位（紀權宥，2007）。

Figure 3. 80: Outcrop of the Lichi Fault on the east bank of the Beinan River; the outcrop location corresponds to point Y in the left panel of Figure 3. 79 (Chi, 2007).

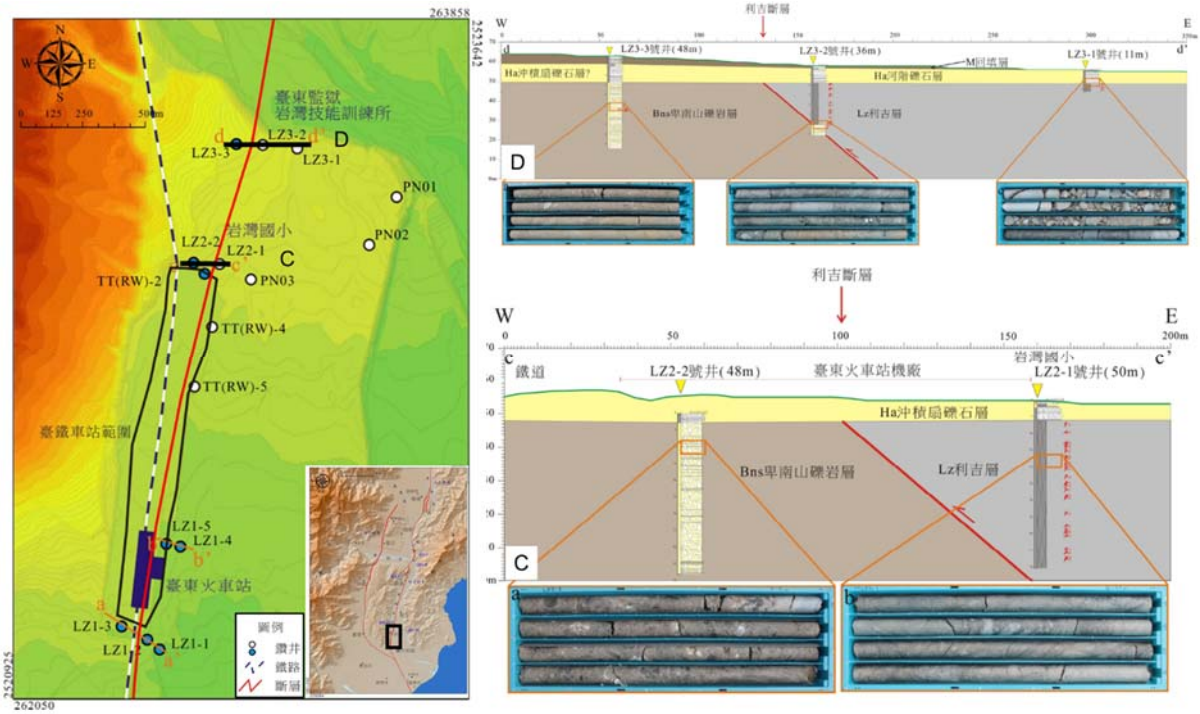


圖 3. 81：岩灣國小（C 剖面）、臺東監獄岩灣技能訓練所（D 剖面）鑽井剖面（陳文山等，2014）。

Figure 3. 81: Borehole profiles at Yanwan Elementary School (Profile C) and the Taitung Prison Yanwan Vocational Training Institute (Profile D) (Chen et al., 2014).

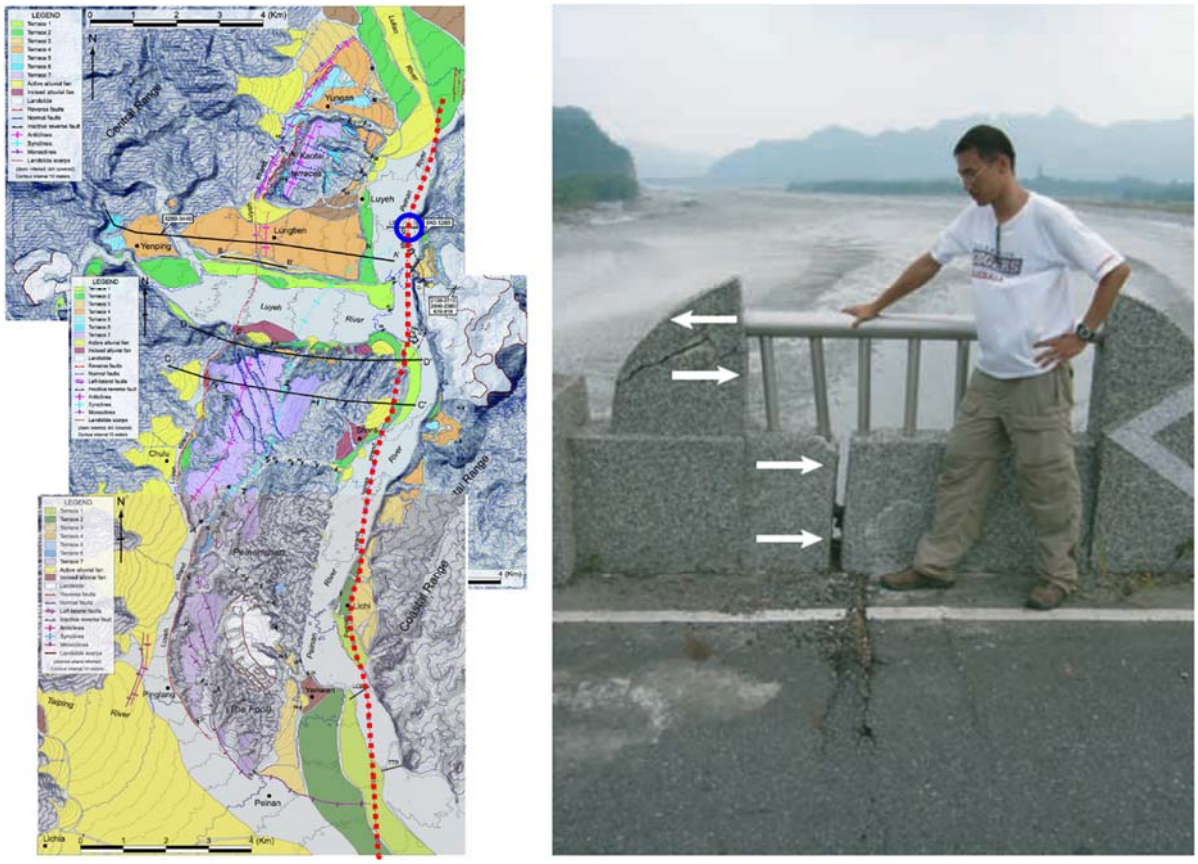


圖 3. 82：Shyu et al.（2008）根據構造地形與地表破裂調查所描繪的卑南分支（紅色虛線），藍色圈繪處為鸞山大橋，右圖為鸞山大橋 200 公尺處的破裂，東側橋面相對往西位移，照片往南拍攝。

Figure 3. 82: Shyu et al. (2008) delineated the Peinan strand (red dashed line) based on geomorphic interpretation and surface-rupture investigations. The blue circle marks the location of the Luanshan Bridge. The right photo shows the rupture observed at about 200 m from the eatern end of the bridge, with its eastern part displaced relatively westward. View is toward the south.

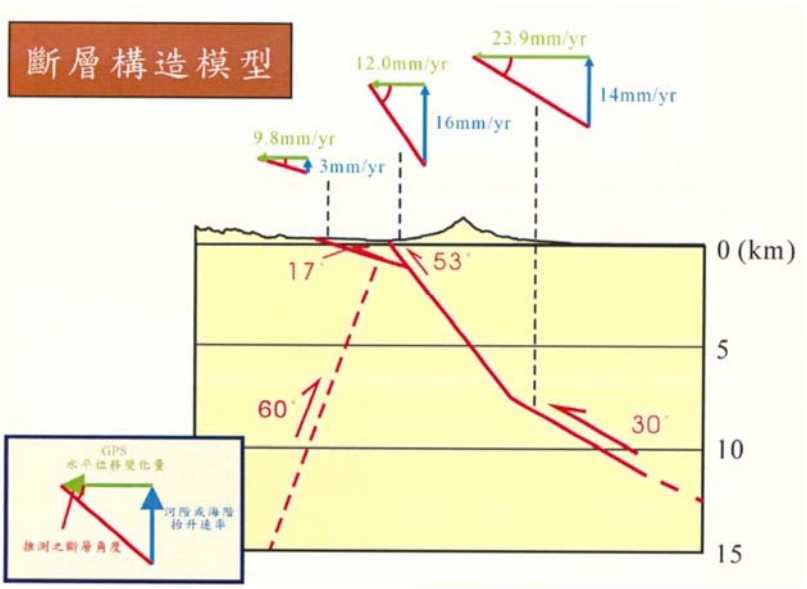


圖 3. 83：利吉斷層構造模型（紀權宥，2007）。

Figure 3. 83: fault model of the Lichi Fault (Chi, 2007).

	抬昇量(mm)	水平壓縮量(mm)	近地表傾角(°)
利吉斷層	15.5	5	70
鹿野斷層	10~11	13	35~40

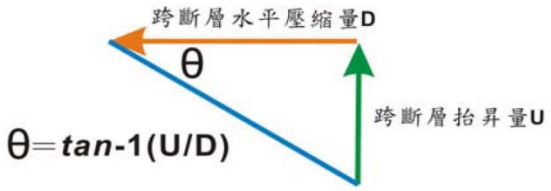


圖 3. 84：利用同震地表位移估計鹿野斷層近地表傾角（修改自姜彥麟，2007）。

Figure 3. 84: Estimation of the Luye Fault dip from coseismic displacement (Jiang, 2007).

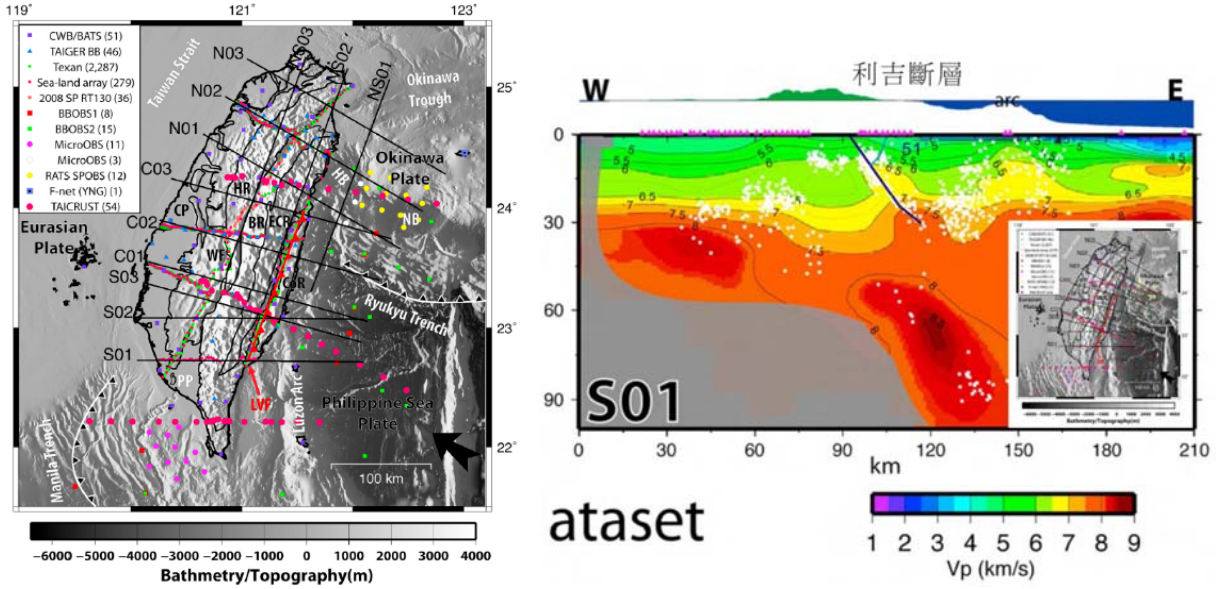


圖 3. 85：橫跨縱谷斷層南段的剖線與速度構造剖面。（左圖）臺灣地體架構與地震站分布，黑色實線為速度構造剖面位；（右圖）跨越縱谷斷層南段的 S01 速度構造剖面（修改自 Kuochen et al., 2012；陳文山等，2014）。

Figure 3. 85: (Left) Tectonic framework of Taiwan and distribution of seismic stations; black solid lines indicate the locations of the velocity-structure profiles. (Right) S01 velocity-structure profile across the southern segment of the Longitudinal Valley Fault (modified from Kuochen et al., 2012; Chen et al., 2014).

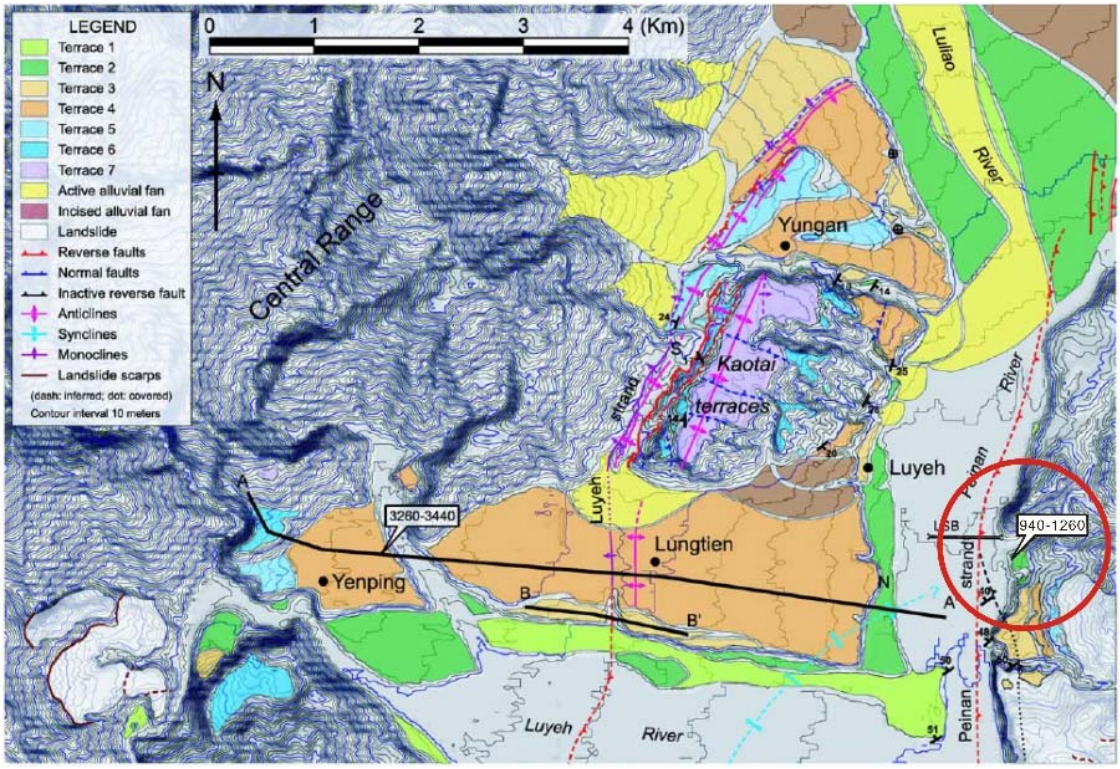


圖 3. 86：利吉斷層上盤位於鸞山大橋東側的卑南溪階地及其定年結果（Shyu et al., 2008）。

Figure 3. 86: Terrace on the hanging wall of the Lichi Fault east of the Luanshan Bridge and its radiocarbon ages (Shyu et al., 2008).

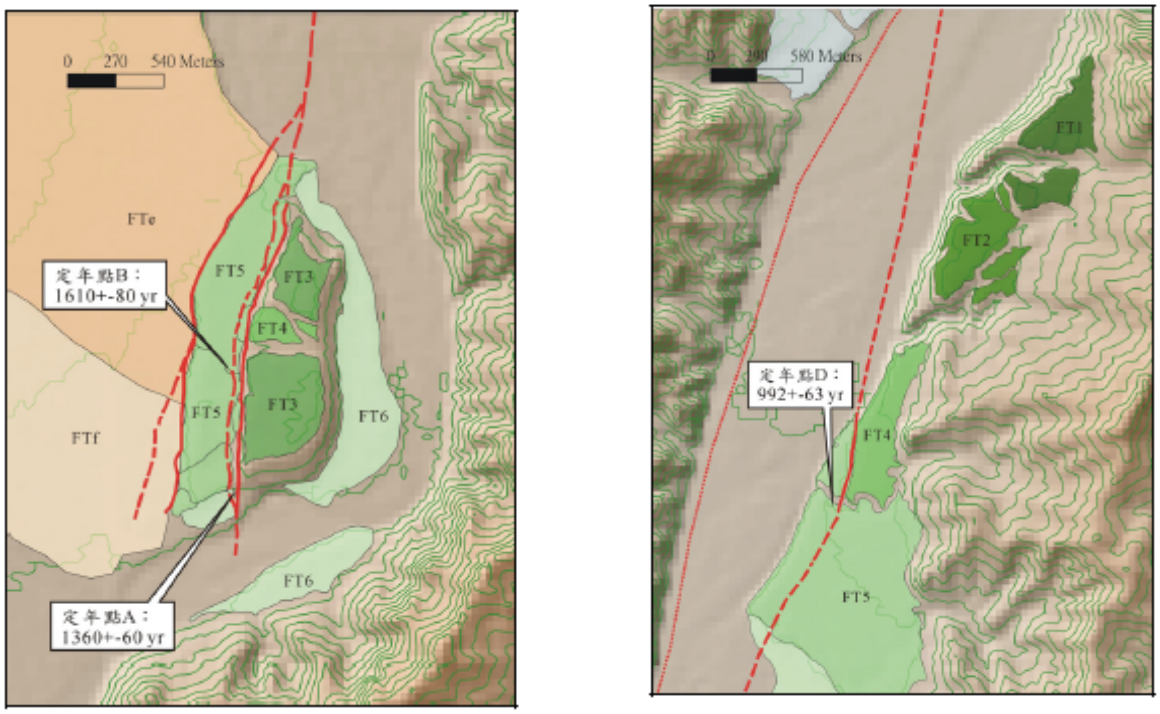


圖 3. 87：新良與利吉地區的階地分布。（左）新良地區及（右）利吉地區（紀權宥，2007）。

Figure 3. 87: (Left) Terrace distribution in the Xinliang area, and (right) terrace distribution in the Lichi area (Chi, 2007).

表 3. 18：利吉斷層幾何形貌相關文獻

Table 3. 18: Summary of studies on the geometry of the Lichi Fault.

文獻	方法	傾角（度）	深度（km）
紀權宥（2007）	斷層野外露頭	鸞山野溪：N50˚E，75˚W 卑南大溪：N50˚E，70˚SE	
陳文山等（2014）	臺東監獄岩灣技能訓練所 LZ3-2 井鑽井剖面	50 度東傾	
陳文山等（2006）	坪頂山南側槽溝	F1 剪裂面位態：N15˚E，63˚E	
紀權宥（2007）	地殼垂直變化速率及地殼水平速率反推斷層面	53 度東傾	
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	70 度東傾	
Kuochen et al.（2012）	速度構造剖面及地震重定位	0-22 km 傾角 55 22 km 以下傾角 40	30

表 3. 19：利吉斷層斷層長期滑移速率相關文獻彙整

Table 3. 19: Summary of studies on the long-term slip 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	1610±80	12.4±0.6
	利吉	FT5，定年點 D	C14	20	992±63	20.2±1.3
Shyu et al.（2008）	鸞山大橋東側	Terrace 2	C14	18	940~1260	14.3~19.1

第四章、東部地區斷層活動潛勢

4-1 米崙斷層

4-1-1 米崙斷層參數設定

米崙斷層之破裂模式，長度為 35 公里，包含陸域 8 公里，北段海域 25 公里，南段海域 2 公里，同圖 4. 1。米崙斷層之傾角及破裂深度參照第三章彙整，傾角為東傾 65 度，深度 10 公里。

米崙斷層之滑移速率，本計畫蒐集了 Bonilla（1975）、Yamaguchi and Ota（2004）、陳俊甫（2013）、曾雅筑（2019）之資料。圖 4. 2 左圖為四個模型的垂直抬升速率常態機率密度函數分布（Probability density function，簡寫 PDF）。因早期的定年結果未經校正，建議給予較低權重後再進行合併，權重分配為 Bonilla（0.1）、Yamaguchi and Ota（0.1）、陳俊甫（0.4）、曾雅筑（0.4），紅線為加權後合併的 PDF，圖 4. 2 右圖為模型合併後的累積分布函數（cumulative distribution function，簡寫 CDF）。本計畫斷層潛勢評估根據 CDF 分布，設定米崙斷層之垂直抬升速率下界為 2.0 mm/yr（10%累積分位數），中值 4.9 mm/yr（50%累積分位數），上界 7.0 mm/yr（90%累積分位數）。以傾角 80 度及滑移角 30 度換算至斷層面後之下界為 4.1 mm/yr，中值 10.0 mm/yr，上界 14.2 mm/yr。本計畫邏輯樹權重分配為 4.1 mm/yr（0.2），10.0 mm/yr（0.6），14.2 mm/yr（0.2）。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith(1994)及 Yen and Ma(2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith（1994）之標準差作為上下之分支，表 4. 1 所示為計算之各破裂事件地震矩規模。

米崙斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹如圖 4. 3 所示。

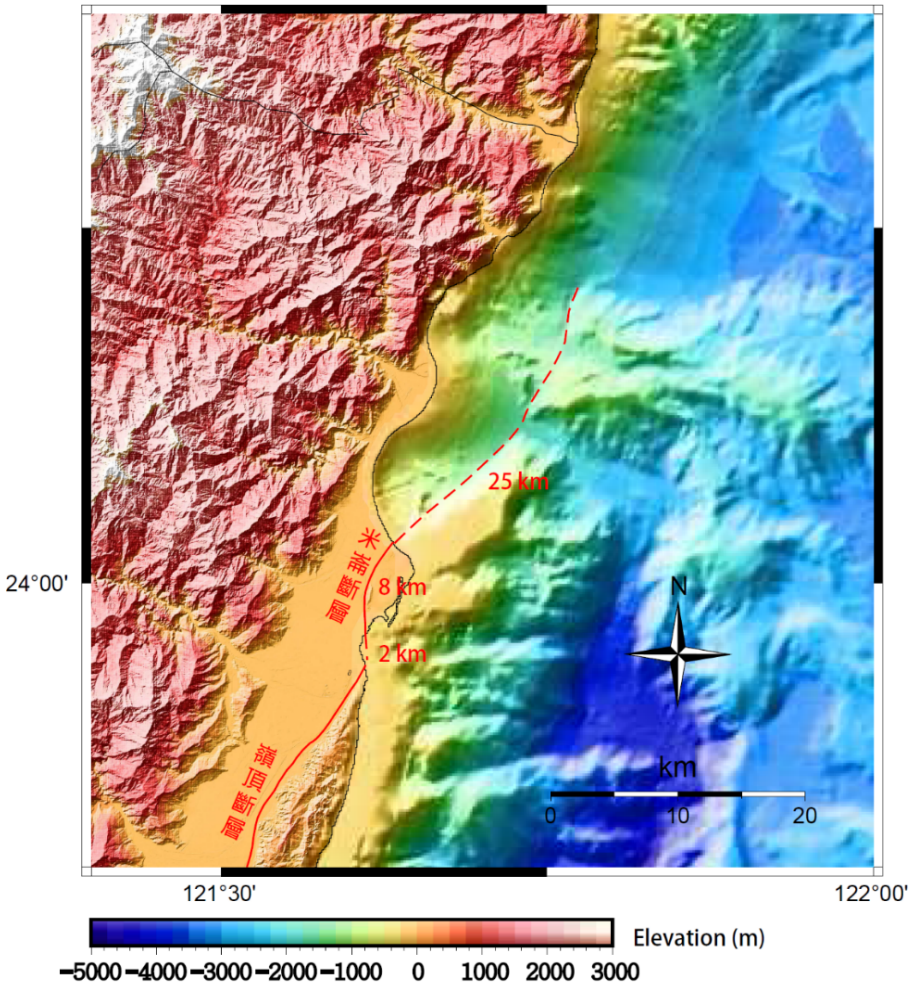


圖 4. 1：米崙斷層之破裂模式

Figure 4. 1: Rupture case of the Milun fault.

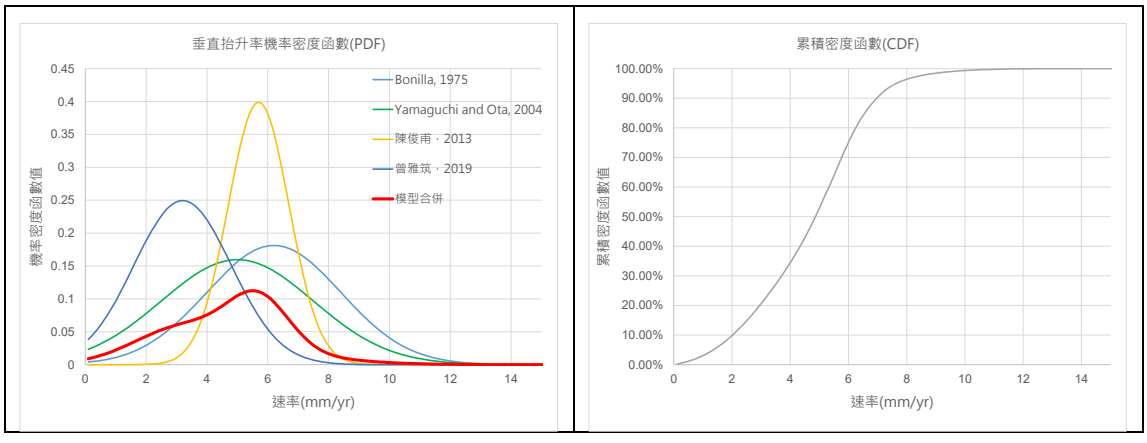


圖 4. 2：米崙斷層垂直抬升速率之機率密度函數曲線及累積密度函數分布

Figure 4. 2: Probability density function curves and cumulative distribution function of the Milun fault vertical uplift rate.

表 4. 1：米崙斷層之破裂事件面積與規模

Table 4. 1: Area and magnitude of each rupture case on the Milun fault.

斷層名稱	破裂事件	長度 (km)	傾角 (度)	深度 (km)	寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith（1994）（破裂面積−規模關係式）（Mw）			Yen and Ma（2011）（破裂面積−規模關係式）（Mw）
							-σ	中值	+σ	
米崙	A	35	65	10	11.0	386	6.4	6.6	6.8	6.6

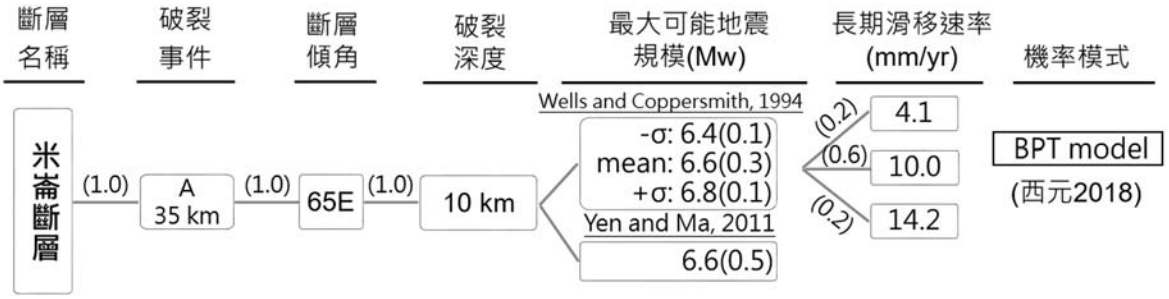


圖 4. 3：米崙斷層邏輯樹

Figure 4. 3: Logic tree of the Milun fault.

4-1-2 米崙斷層規模與年發生率

米崙斷層破裂事件的參數均可由特徵地震模式得到一地震復發間隔時間，圖 4. 4 為整段破裂計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 4. 3 之米崙斷層邏輯樹可得到 12 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 4. 5 為 12 個分支之規模−權重分布圖，以規模 6.6 之權重最高。圖 4. 6 為 12 個分支之地震復發間隔時間−權重分布圖。

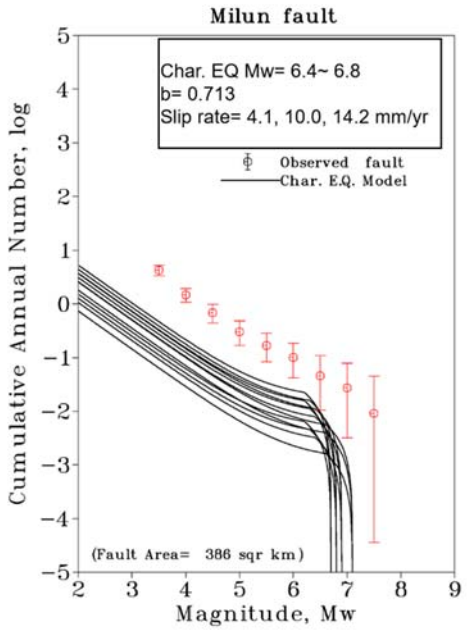


圖 4. 4：米崙斷層破裂事件特徵地震模式規模與年發生率之關係

Figure 4. 4: The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for each rupture case of the Milun fault.

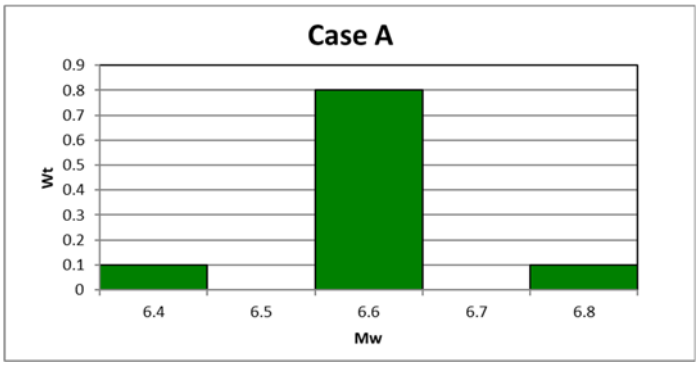


圖 4. 5：米崙斷層之全部邏輯樹分支規模−權重分布圖

Figure 4. 5: The summed magnitude- weighting relationship for the whole branches of the Milun fault.

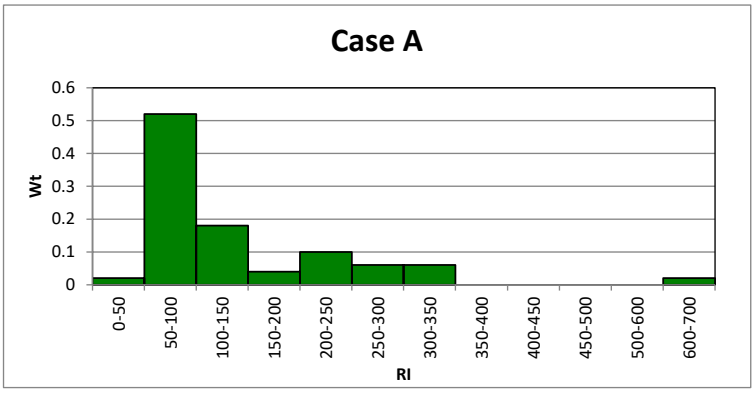


圖 4. 6：米崙斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間−權重分布圖

Figure 4. 6: The summed recurrence interval - weighting relationship for the whole branches of the Milun fault.

4-1-3 米崙斷層機率評估

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，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 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 2025 年，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 6.4~6.8 之機率為 6.7%、21.1%及 54.2%，發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 4.5%、16.4%及 46.2%。

表 4.2：本計畫米崙斷層發生機率評估

Table 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 2018）	BPT（Last 2018）	BPT（Last 2018）
6.4≦ M ≦6.8	6.7%	21.1%	54.2%
M ≧ 6.5	4.5%	16.4%	46.2%

4-2 池上斷層

4-2-1 池上斷層參數設定

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，如圖 4.7 所示。池上斷層破裂模式為三種破裂模式：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。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）。

本計畫參考 2003 年成功地震的重定位的餘震分布（Cheng et al., 2009）擬定池上斷層幾何，0~20 公里深為 60 度東傾，20~25 公里深為 25 度東傾。

池上斷層滑移速率，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。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，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，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 4.3 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 4.8 所示。

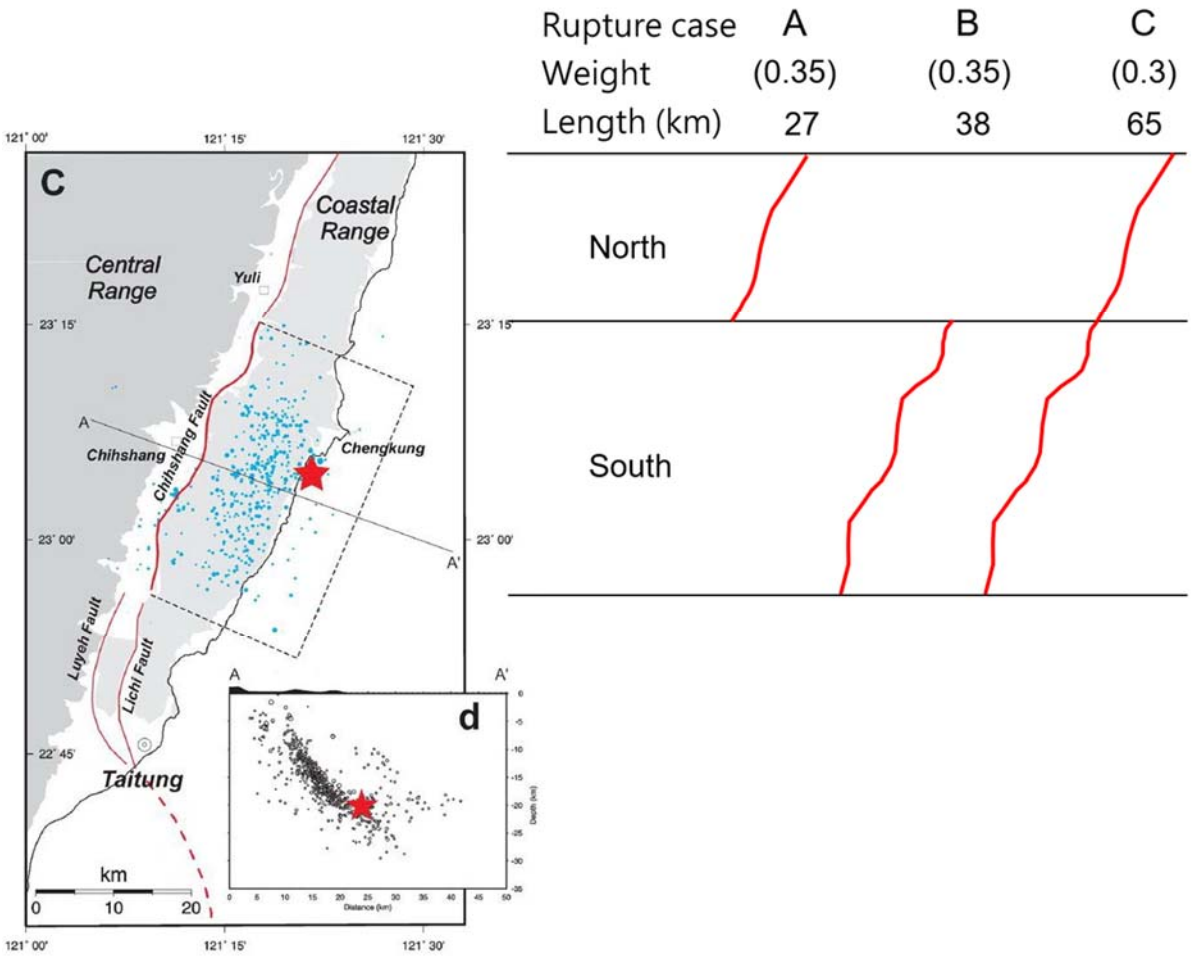


圖 4. 7：池上斷層分段破裂模式及權重分配，底圖取自 Lee et al.（2006）。

Figure 4. 7: Rupture cases and weights of the Chihshang fault.

表 4. 3：池上斷層各破裂事件規模計算

Table 4. 3: Area and magnitude of each rupture case on 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 (km^2)	Wells and Coopersmith（1994）（破裂面積−規模關係式）（Mw）			Yen and Ma（2011）（破裂面積−規模關係式）（Mw）
							-σ	中值	+σ	
池上斷層	A (北段)	27	深度 0-20 km, 60E 深度 20-25 km, 25E		34.9	942	6.7	7.0	7.3	7.0
	B (南段)	38	深度 0-20 km, 60E 深度 20-25 km, 25E		34.9	1326	6.8	7.1	7.4	7.1
	C (全段)	65	深度 0-20 km, 60E 深度 20-25 km, 25E		34.9	2269	7.1	7.4	7.7	7.4

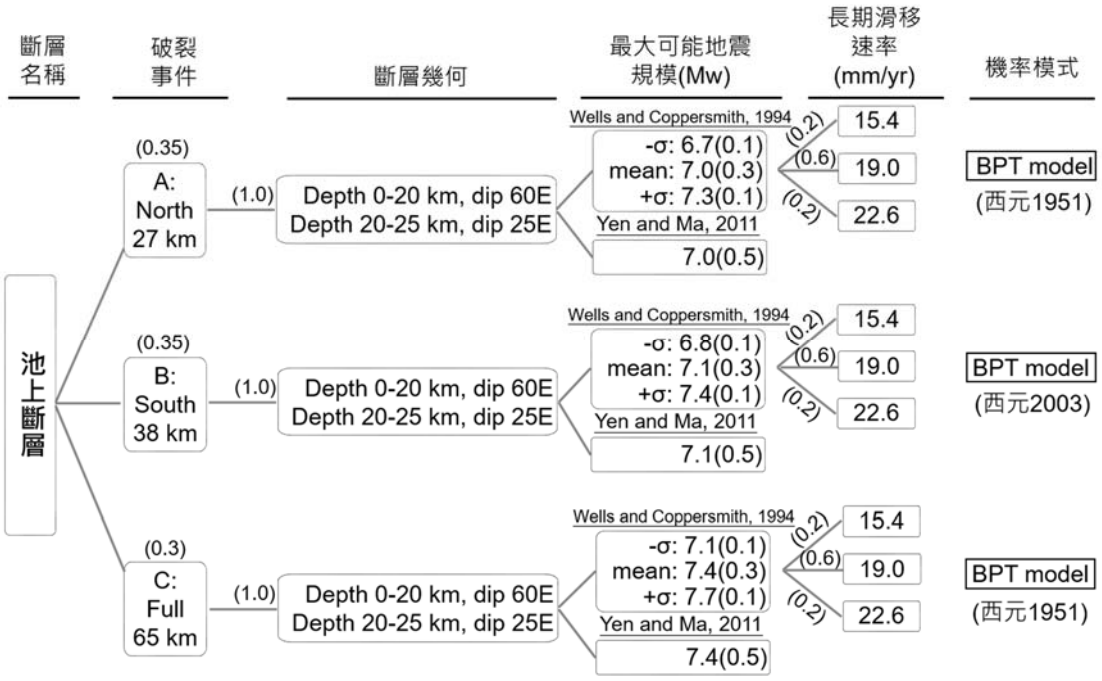


圖 4. 8：池上斷層邏輯樹

Figure 4. 8: Logic tree of the Chihshang fault.

4-2-2 池上斷層規模與年發生率

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 4.9 為 3 個破裂事件之特徵地震模式分布情形。

圖 4.8 之池上斷層邏輯樹可得到 36 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 4.10 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 7.0 之權重最高；破裂模式 B 以規模 7.1 之權重最高；破裂模式 C 以規模 7.4 之權重最高。

經由特徵地震模式計算之後，圖 4.11 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 4.12（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 4.12（b）之池上斷層地震復發間隔時間−權重分布圖。

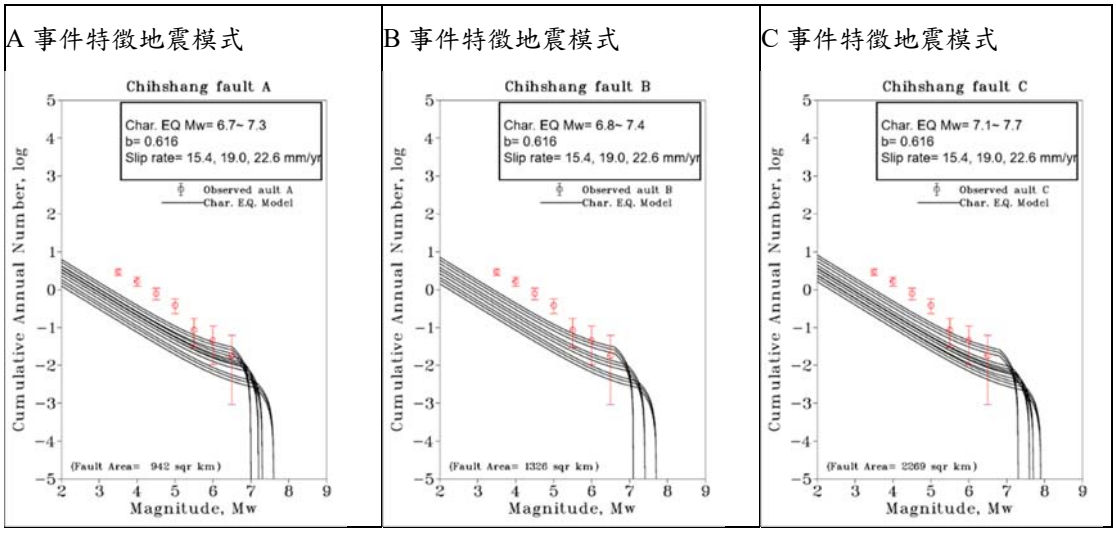


圖 4.9：池上斷層各破裂事件特徵地震模式規模與年發生率之關係

Figure 4.9: The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for each rupture case of the Chihshang fault.

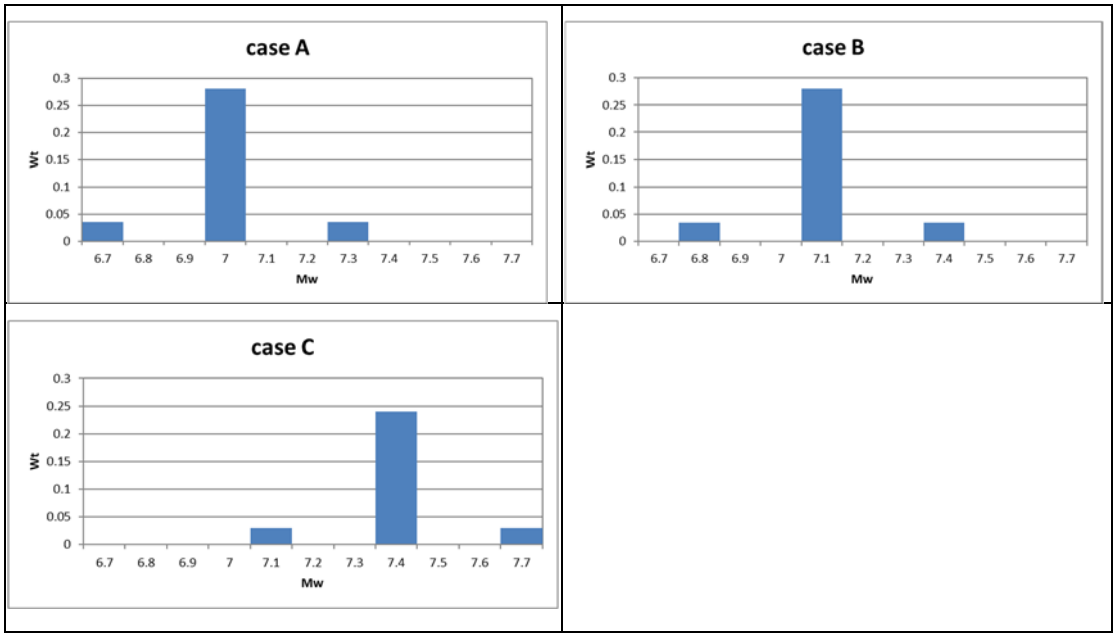


圖 4. 10：池上斷層三種分段破裂事件之邏輯樹規模−權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Figure 4. 10: The magnitude- weighting relationships for the three segment cases of the Chihshang fault.

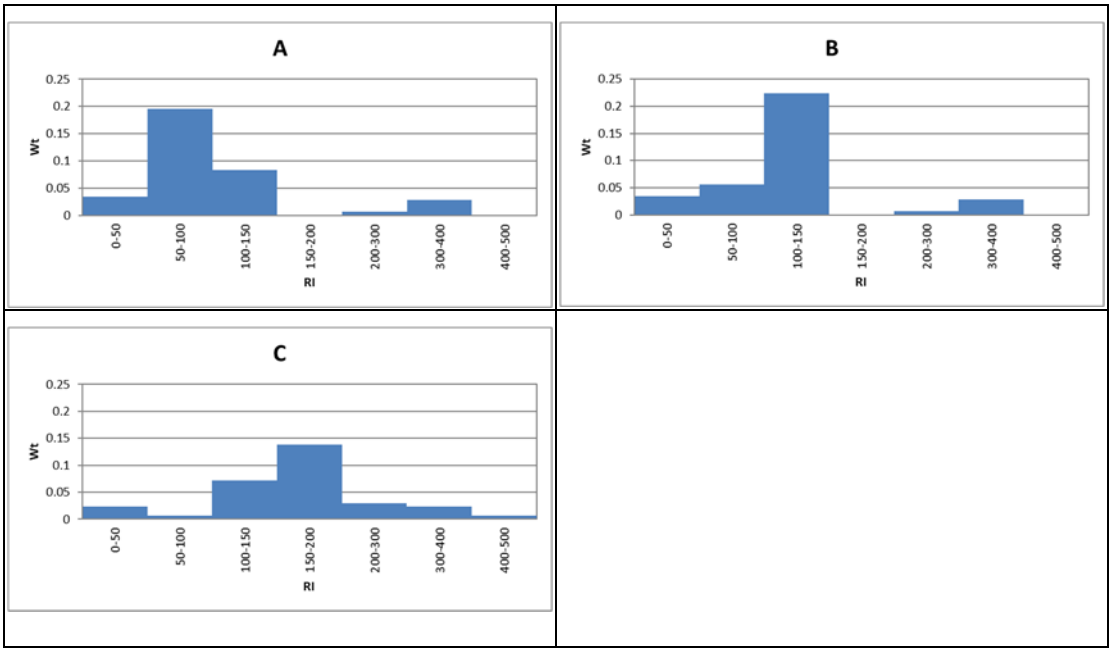


圖 4. 11：池上斷層三種分段破裂事件之地震復發間隔時間−權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Figure 4. 11: Recurrence interval- weighting relationships of the three segment cases of the Chihshang fault.

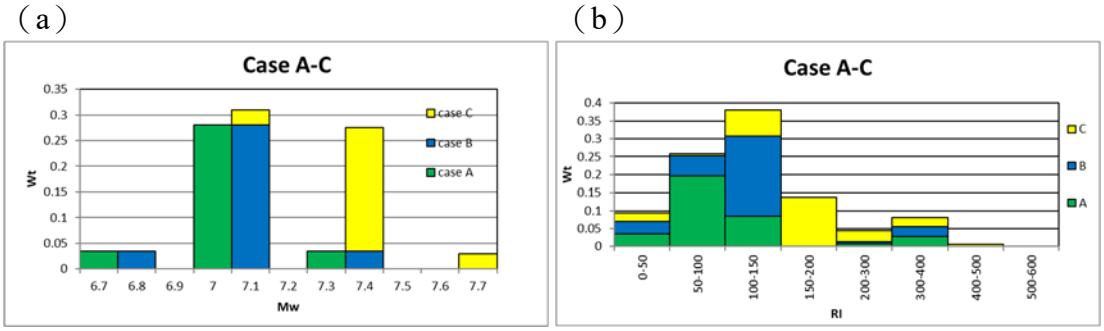


圖 4. 12：池上斷層之全部邏輯樹分支規模與地震復發間隔時間權重分布。(a) 池上斷層之全部邏輯樹分支規模−權重分布圖，(b) 池上斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間−權重分布圖。

Figure 4. 12: (a) The summed magnitude- weighting relationship for the whole branches of the Chihshang fault. (b) The summed recurrence interval- weighting relationship for the whole branches of the Chihshang fault.

4-2-3 池上斷層機率評估

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 4. 4 為本計畫池上斷層 BPT 模式及評估之結果，採用折減之滑移速率，起算時間為西元 2025 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.7~7.7 之機率為 29.2%、44.2% 及 69.8%。

表 4. 4：本計畫池上斷層發生機率評估

Table 4. 4: 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
6.7 ≦ M ≦7.7	29.2%	44.2%	69.8%

4-3 嶺頂斷層

4-3-1 嶺頂斷層參數設定

嶺頂斷層屬於嶺頂–瑞穗斷層系統，嶺頂–瑞穗斷層系統分段破裂模式如圖 4. 13 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，根據地震序列分布的趨勢推測，可能為高傾角斷層，本計畫以東傾 65 度，深度 27.5 公里估計。

嶺頂斷層之滑移速率無發現地質事證。本計畫參考陳建良等（2021）推估之斷層滑移虧損速率成果，斷層模型反演使用 tDEFNODE、BLOCKS、及 Baseline Inversion 三種方法。據此設定邏輯樹權重為下界 3.6 mm/yr（0.3）、中值 8.6 mm/yr（0.4）、上界 14.4 mm/yr（0.3）。

瑞穗斷層長期滑移速率，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. 5），本計畫以 14.0 mm/yr 及 24.9 mm/yr 作為邏輯樹上下界，兩者的平均值 19.5 mm/yr 作為邏輯樹中值，權重為常態分布：14.0 mm/yr（0.2），19.5 mm/yr（0.6）及 24.9 mm/yr（0.2）。

破裂模式 C（嶺頂+瑞穗）斷層長期滑移速率則根據能量累計公式計算，如下式：

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

上式中 A 為面積，移項得到

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

因嶺頂斷層及瑞穗斷層傾角及破裂深度一致，因此可得到：

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

上式中 L 為斷層長度，則計算 v（嶺頂+瑞穗）下界為 7.7 mm/yr；v（嶺頂+瑞穗）上界為

18.5 mm/yr；v（嶺頂+瑞穗）中值為 12.9 mm/yr。邏輯樹權重為 7.7 mm/yr（0.2）、12.9 mm/yr（0.6）、18.5 mm/yr（0.2）。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith(1994)及 Yen and Ma(2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith（1994）之標準差作為上下之分支，表 4. 6 所示為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. 14 所示。

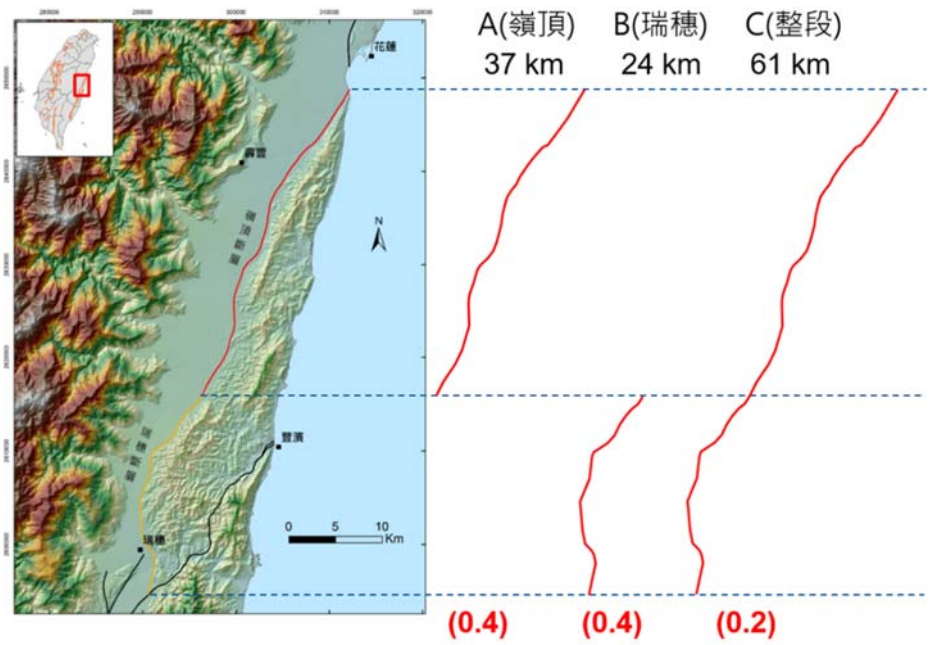


圖 4. 13：嶺頂–瑞穗斷層系統分段破裂模式

Figure 4. 13: Rupture cases and weights of the Lingding- Ruryshui fault system.

表 4. 5：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)

Table 4. 5: Calculation of net slip rate for the Rueyshui Fault.

Net slip rate = [Uplift rate / sin(dip angle)] / sin(rake angle)

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	60~80	14.0~15.9
	16		60~80	17.9~20.4

表 4. 6：嶺頂–瑞穗斷層系統之破裂事件特徵地震規模計算

Table 4. 6: Area and magnitude of each rupture case on the Lingding- Ruryshui fault system.

斷層名稱	破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	寬度 (km)	傾角 (度)	面積 (km^2)	Wells and Coppersmith (1994)（破裂面積–規模關係式）(Mw)			Yen and Ma (2011)（破裂面積–規模關係式）(Mw)
							-σ	中值	+σ	
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

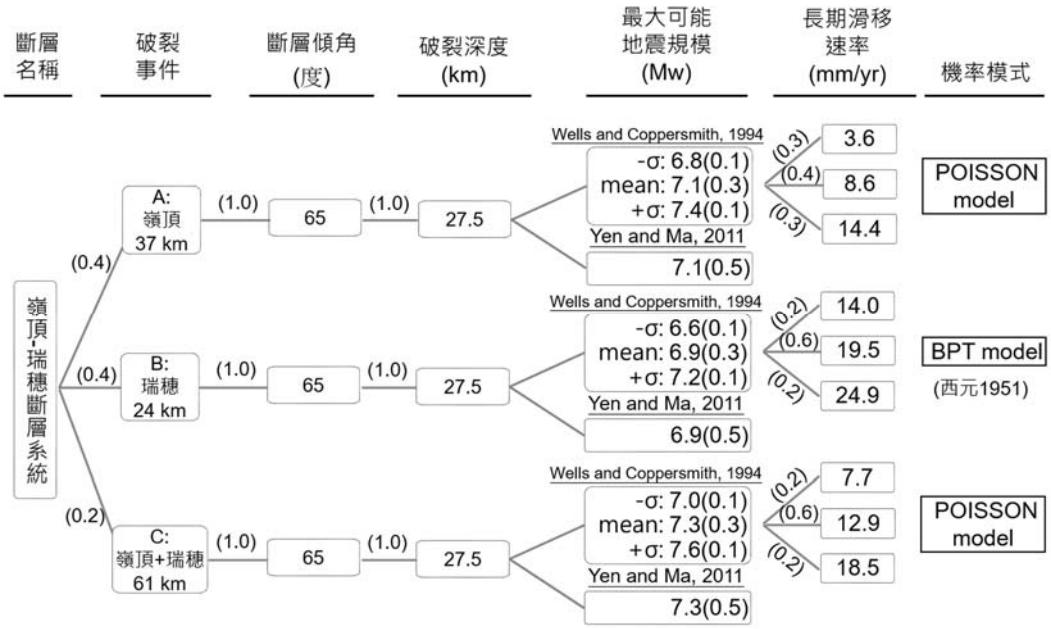


圖 4. 14：嶺頂–瑞穗斷層系統邏輯樹

Figure 4. 14: Logic tree of the Lingding- Ruryshui fault system.

4-3-2 嶺頂斷層規模與年發生率

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 4.15 為 3 個破裂事件計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 4.14 之嶺頂–瑞穗斷層系統邏輯樹可得到 36 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 4.16 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 4.17 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 4.18（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 4.18（b）之嶺頂–瑞穗斷層系統地震復發間隔時間–權重分布圖。

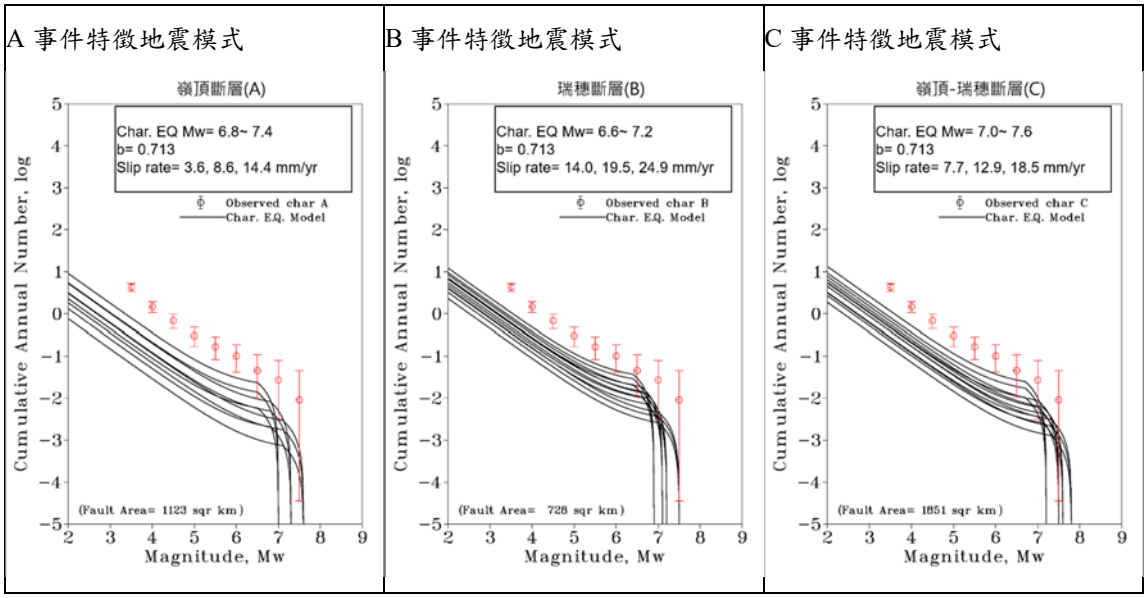


圖 4. 15：嶺頂–瑞穗斷層系統三個破裂事件特徵地震模式規模與年發生率之關係

Figure 4. 15: The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for each rupture case of the Lingding- Ruryshui fault system.

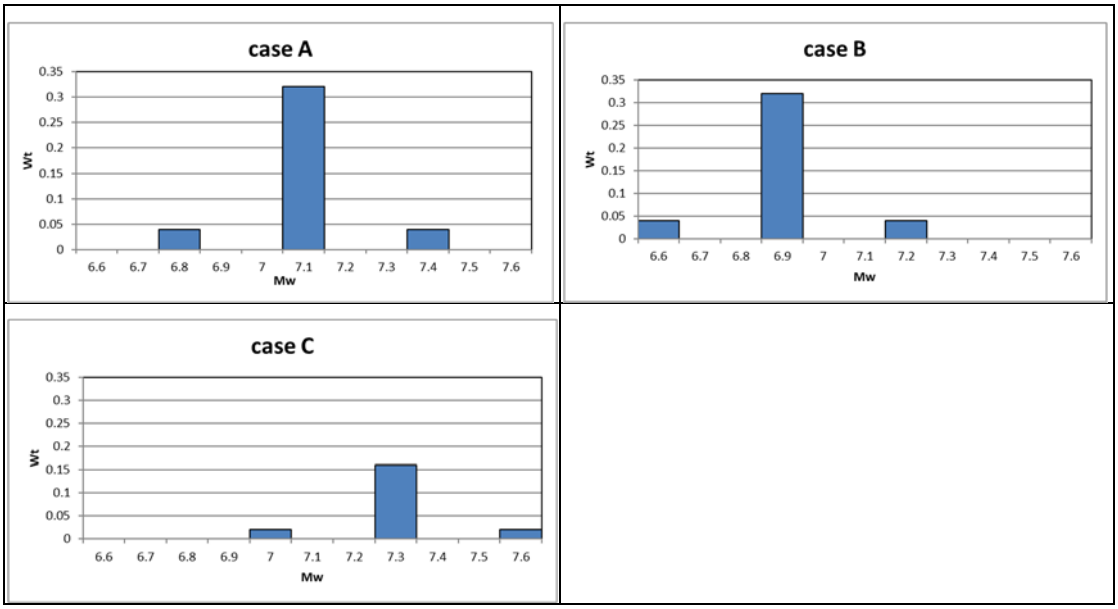


圖 4. 16：嶺頂–瑞穗斷層系統三個破裂事件之規模–權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Figure 4. 16: The magnitude- weighting relationships for the three segment cases of the Lingding- Ruryshui fault system.

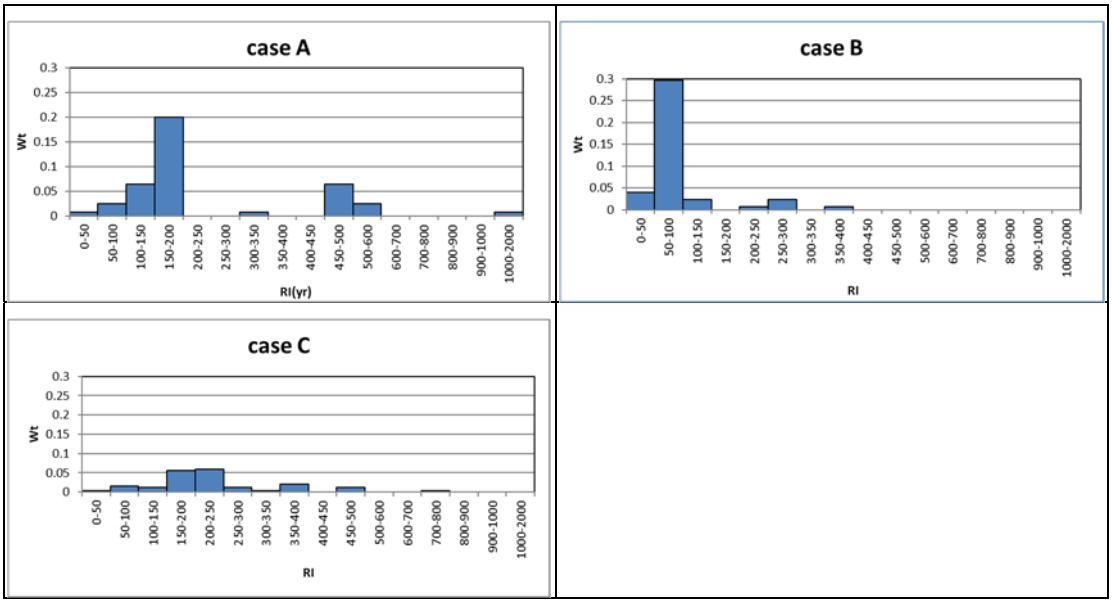


圖 4. 17：嶺頂–瑞穗斷層系統三種破裂事件之地震復發間隔時間–權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Figure 4. 17: Recurrence interval- weighting relationships of the three segment cases of the Lingding- Ruryshui fault system.

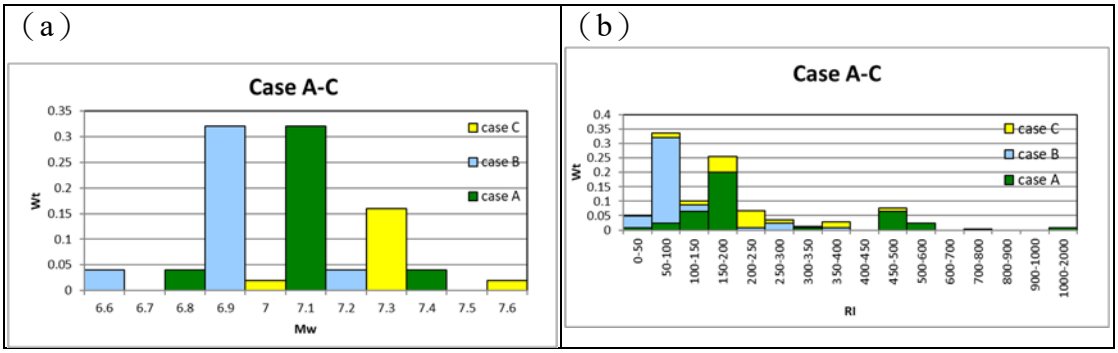


圖 4. 18：嶺頂–瑞穗斷層系統之全部邏輯樹分支規模與地震復發間隔時間權重分布（a）嶺頂–瑞穗斷層系統之全部邏輯樹分支規模–權重分布圖，（b）嶺頂–瑞穗斷層系統之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間–權重分布圖。

Figure 4. 18: (a) The summed magnitude- weighting relationship for the whole branches of the Lingding- Ruryshui fault system. (b) The summed recurrence interval- weighting relationship for the whole branches of the Lingding- Ruryshui fault system.

4-3-3 嶺頂斷層機率評估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算嶺頂斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，本計畫評估斷層潛勢時，A（嶺頂）建議採用 Poisson 模式進行評估，B（瑞穗）則以 1951 年為最近一次事件採用 BPT 模式進行評估，C（嶺頂+瑞穗）建議採用 Poisson 模式進行評估。

本章主要評估嶺頂斷層發生機率，因此移除瑞穗斷層破裂模式（case B）之發生機率，表 4. 7 為本計畫嶺頂斷層評估之結果，起算時間為西元 2025 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 9.1%、14.1%及 23.8%。

表 4. 7：本計畫嶺頂斷層發生機率評估

Table 4. 7: 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 ≦7.6	9.3%	14.3%	24.3%

4-4 瑞穗斷層

4-4-1 瑞穗斷層參數設定

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，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（圖 4. 13）。

嶺頂–瑞穗斷層系統幾何，根據地震序列分布的趨勢推測，可能為高傾角斷層，本計畫以東傾 65 度，深度 27.5 公里估計。

瑞穗斷層長期滑移速率，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）。

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，參照表 4. 6。

瑞穗斷層最近一次活動時間為西元 1951 年，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. 14 所示。

4-4-2 瑞穗斷層規模與年發生率

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 4. 15 為 3 個破裂事件計算得到的特徵地震模式分布情形。評估結果可參照第 4-3 節。

4-4-3 瑞穗斷層機率評估

在獲得各破裂事件之地震復發間隔時間後，還需要最後一次地震發生之時間，才能以 BPT 模式估算嶺頂斷層未來 30、50 及 100 年的發生機率，本計畫評估斷層潛勢時，A（嶺頂）建議採用 Poisson 模式進行評估，B（瑞穗）則以 1951 年為最近一次事件採用 BPT 模式進行評估，C（嶺頂+瑞穗）建議採用 Poisson 模式進行評估。

本章主要評估瑞穗斷層發生機率，因此移除嶺頂斷層破裂模式（case A）之發生機率，表 4. 8 為本計畫瑞穗斷層評估之結果，起算時間為西元 2025 年，最後一次發生時間採用西元 1951 年，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 23.6%、32.0%及 42.6 %。

表 4. 8：本計畫瑞穗斷層發生機率評估

Table 4. 8: Earthquake probabilities for the Rueyshui fault in this project.

特徵地震矩規模 M（Mw）	30 年機率 B：BPT C：Poisson	50 年機率 B：BPT C：Poisson	100 年機率 B：BPT C：Poisson
6.6 ≦ M ≦7.6	23.6%	32.0%	42.6%

4-5 奇美斷層

4-5-1 奇美斷層參數設定

奇美斷層之破裂模式，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，根據第三章之說明，傾角為高角度斷層，設定為 80 度。破裂深度參考與瑞穗斷層之幾何關係，暫定為 25 公里。

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。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 4. 19 所示，階地為 Terrace 3，定年樣本為 CM3，然而 Shyu et al.（2006）並未在該階地上發現斷層錯動的地形，奇美斷層露頭上覆階地礫石層，也未有錯動的現象。若是奇美斷層有 3,300 年未曾活動過，以 3,300 年為週期，用特徵地震模式反推，得到的奇美斷層滑移速率約為 0.5 mm/yr（圖 4. 20），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 4. 21），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 4. 9 所示為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 4. 22 所示。

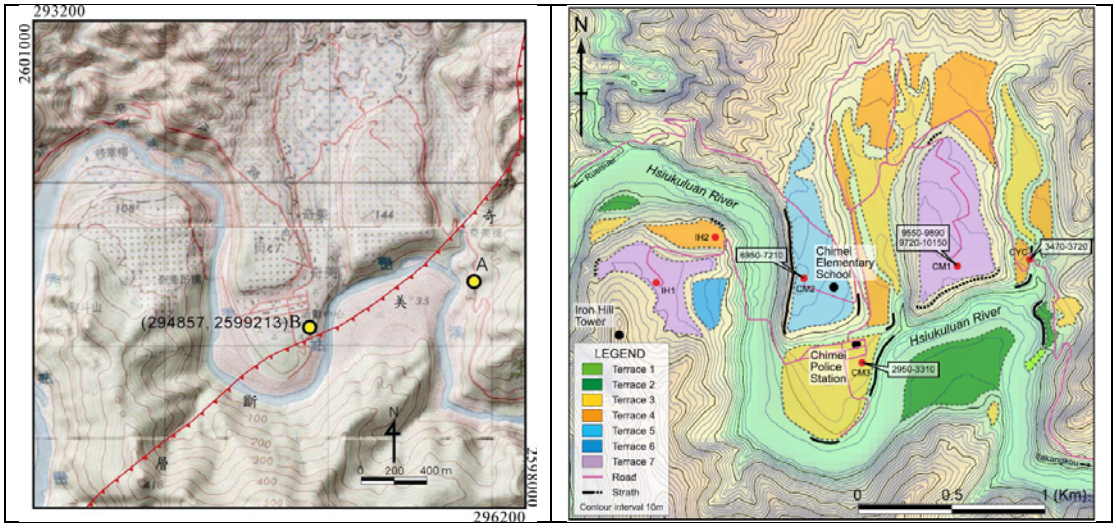


圖 4. 19：奇美地區階地分布圖（Shyu et al., 2006）。

Figure 4. 19: Detailed map of the fluvial terraces of the Chimei loops (Shyu et al., 2006).

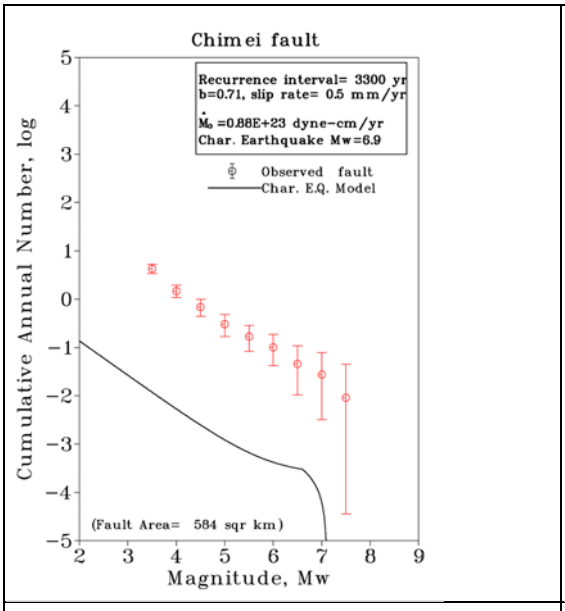


圖 4. 20：奇美斷層特徵地震模式規模與年發生率之關係，滑移速率採 0.5 mm/yr。

Figure 4. 20: The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution of the Chimei fault (slip rate: 0.5 mm/yr).

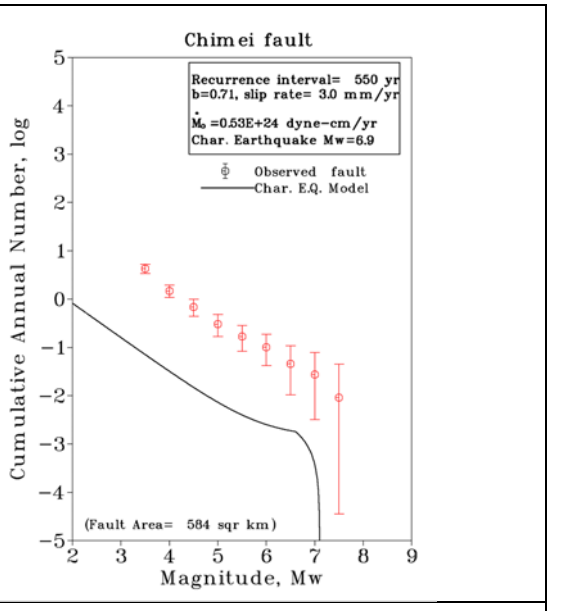


圖 4. 21：奇美斷層特徵地震模式規模與年發生率之關係，滑移速率採 3.0 mm/yr。

Figure 4. 21: The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution of the Chimei fault (slip rate: 3.0 mm/yr).

表 4. 9：奇美斷層之破裂事件面積與規模

Table 4. 9: Area and magnitude of each rupture case on 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 (km^2)	Wells and Coppersmith（1994）（破裂面積−規模關係式）（Mw）			Yen and Ma（2011）（破裂面積−規模關係式）（Mw）
							-σ	中值	+σ	
奇美	A	23	25	25.4	80	584	6.5	6.8	7.1	6.8

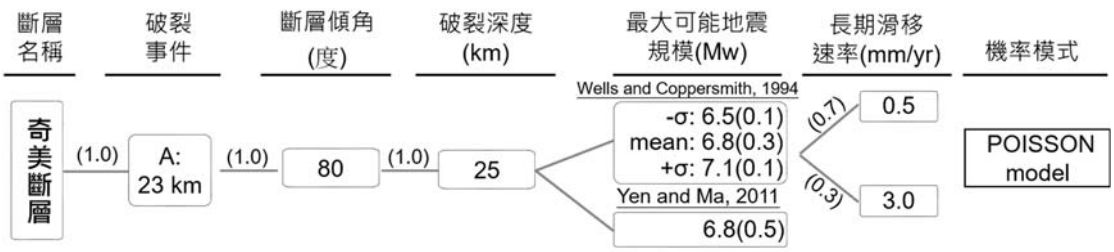


圖 4. 22：奇美斷層邏輯樹

Figure 4. 22: Logic tree of the Chimei fault.

4-5-2 奇美斷層規模與年發生率

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 4. 23 為 1 個破裂事件計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 4. 22 之奇美斷層邏輯樹可得到 8 個分支，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 4. 24 為 1 種破裂事件之規模−權重分布圖，以規模 6.8 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 4. 25 為 1 種破裂事件之地震復發間隔時間−權重分布。

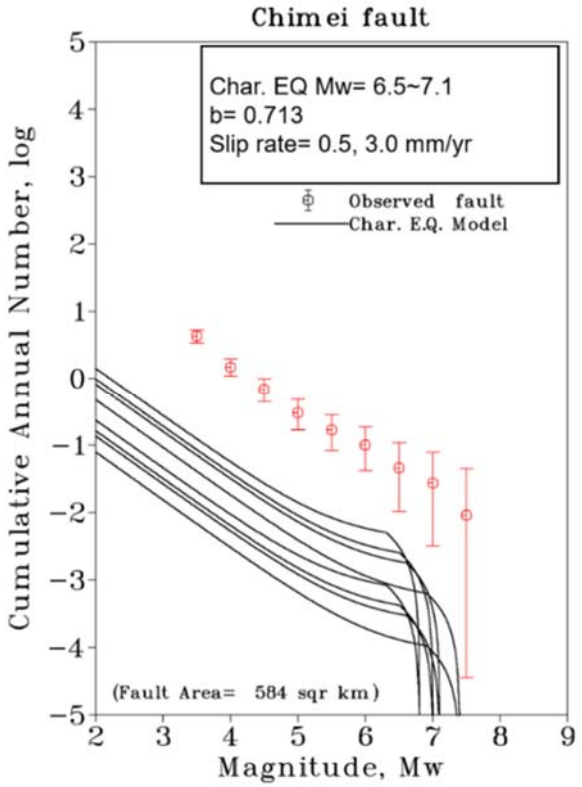


圖 4. 23：奇美斷層破裂事件特徵地震模式

Figure 4. 23: The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution of the Chimei fault.

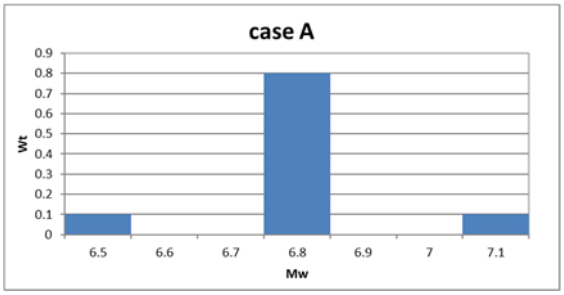


圖 4. 24：奇美斷層破裂事件之規模−權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Figure 4. 24: The summed magnitude- weighting relationship for the whole branches of the Chimei fault.

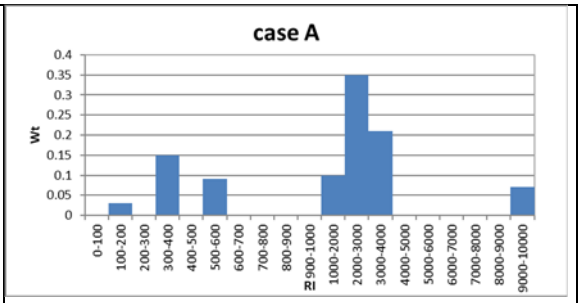


圖 4. 25：奇美斷層破裂事件之地震復發間隔時間−權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Figure 4. 25: The summed recurrence interval - weighting relationship for the whole branches of the Chimei fault.

4-5-3 奇美斷層機率評估

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 4. 10 為本計畫奇美斷層 Poisson 模式及評估之結果，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5~7.1 之機率為 2.9%、4.8%及 9.0%。

表 4. 10：本計畫奇美斷層發生機率評估

Table 4. 10: 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 ≦7.1	2.9%	4.8%	9.0%

4-6 玉里斷層

4-6-1 玉里斷層參數設定

本計畫考慮玉里斷層破裂模式，2022 年地震後，條帶地質圖（林啟文與周稟珊，2022）改為 26 公里。

傾角及破裂深度，2022 年地震後，本計畫更改玉里斷層幾何設定為「深度 0-10 公里，西傾 60 度」。

玉里斷層之滑移速率無發現地質事證。本計畫參考陳建良等（2021）推估之斷層滑移虧損速率成果，斷層模型反演使用 tDEFNODE、BLOCKS 及 Baseline Inversion 三種方法。據此設定邏輯樹權重為下界 3.6 mm/yr（0.3）、中值 15.1 mm/yr（0.4）、上界 26.6 mm/yr（0.3）。

各破裂事件之最大可能地震規模則代入 Wells and Coppersmith(1994)及 Yen and Ma(2011)之斷層幾何面積對地震矩規模之經驗公式，其中將 Wells and Coppersmith（1994）之標準差作為上下之分支，表 4. 11 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 2022 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 4. 26 所示。

表 4. 11：玉里斷層之破裂事件面積與規模

Table 4. 11: Area and magnitude of each rupture case on the Yuli fault.

斷層名稱	破裂事件	長度 (km)	深度 (km)	傾角 (度)	寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith（1994）（破裂面積−規模關係式）（Mw）			Yen and Ma（2011）（破裂面積−規模關係式）（Mw）
							-σ	中值	+σ	
玉里	A	26	10	60	11.5	300	6.3	6.6	6.9	6.5

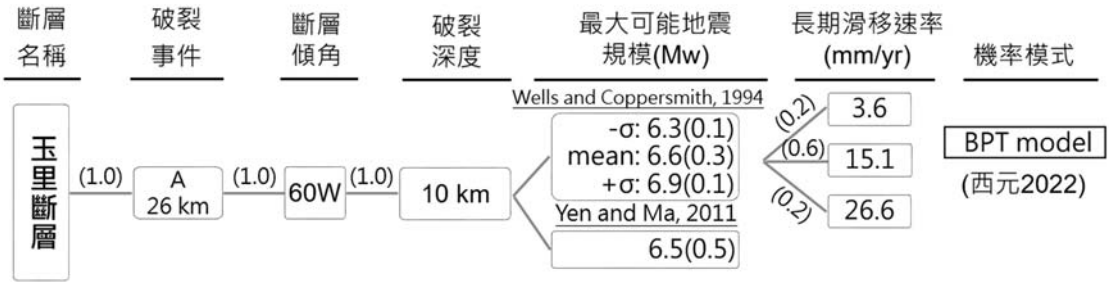


圖 4. 26：玉里斷層邏輯樹

Figure 4. 26: Logic tree of the Yuli fault.

4-6-2 玉里斷層規模與年發生率

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 4. 27 為 1 個破裂事件計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 4. 26 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 4. 28 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 4. 29 為 1 種破裂事件之地震復發間隔時間−權重分布。

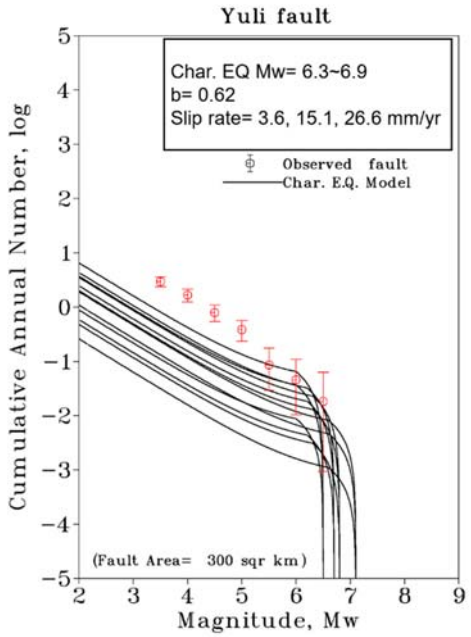


圖 4. 27：玉里斷層破裂事件特徵地震模式規模與年發生率之關係

Figure 4. 27: The recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution for each rupture case of the Yuli fault.

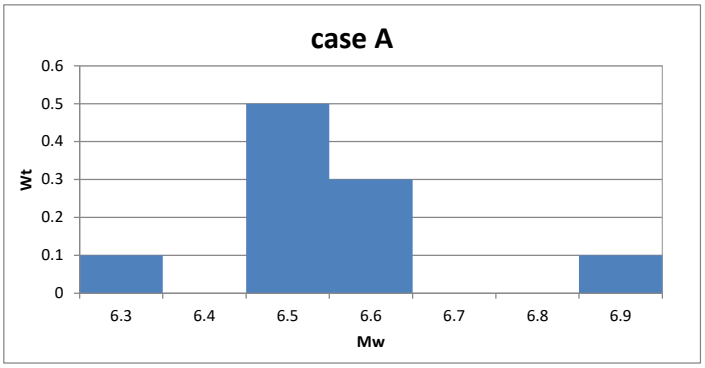


圖 4. 28：玉里斷層之全部邏輯樹分支規模−權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Figure 4. 28: The summed magnitude- weighting relationship for the whole branches of the Yuli fault.

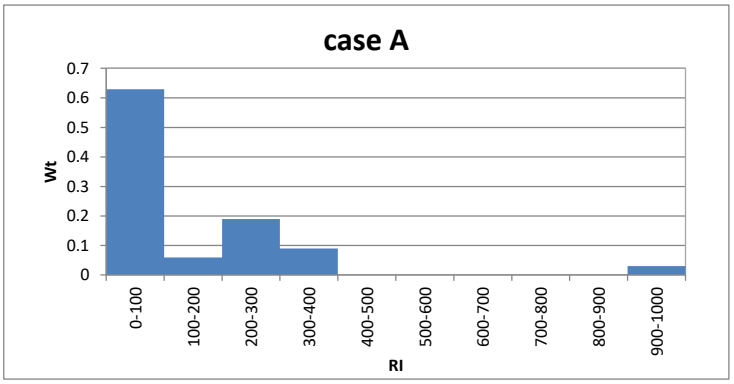


圖 4. 29：玉里斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間−權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Figure 4. 29: The summed recurrence interval - weighting relationship for the whole branches of the Yuli fault.

4-6-3 玉里斷層機率評估

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 2022 年，因此本計畫採用 BPT 模式進行評估。

表 4. 12 為本計畫玉里斷層 BPT 模式及評估之結果，起算時間為西元 2025 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 24.6%、43.1%及 64.1%。未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.5 以上之機率為 18.7%，36.1%，55.5%。

表 4. 12：本計畫玉里斷層發生機率評估

Table 4. 12: 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	24.6%	43.1%	64.1%
M ≧ 6.5	18.7%	36.1%	55.5%

4-7 鹿野斷層

4-7-1 鹿野斷層參數設定

鹿野斷層屬於鹿野–利吉斷層系統。本計畫鹿野斷層及利吉斷層的破裂模式，參考地礦中心條帶地質圖（林啟文等，2009），鹿野斷層長度為 17 公里。

鹿野斷層幾何，鹿野斷層為利吉斷層的分支斷層，因目前針對鹿野斷層幾何的研究僅從地表變形量反推或是僅地下 1 公里深度以內，經諮詢相關專家，幾何模型可設定為深度 0-5 公里傾角 35 度，而後銜接至利吉斷層，如圖 4. 30 所示。

鹿野斷層之抬升速率資料彙整如表 4. 13 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，因此未考慮鹿野斷層的滑移角），如表 4. 14 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 4. 15 所示為利用邏輯樹中值所求得之各破裂事件地震矩規模。

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

鹿野斷層及利吉斷層各節點權重的分配更新之邏輯樹詳如圖 4. 31 所示。

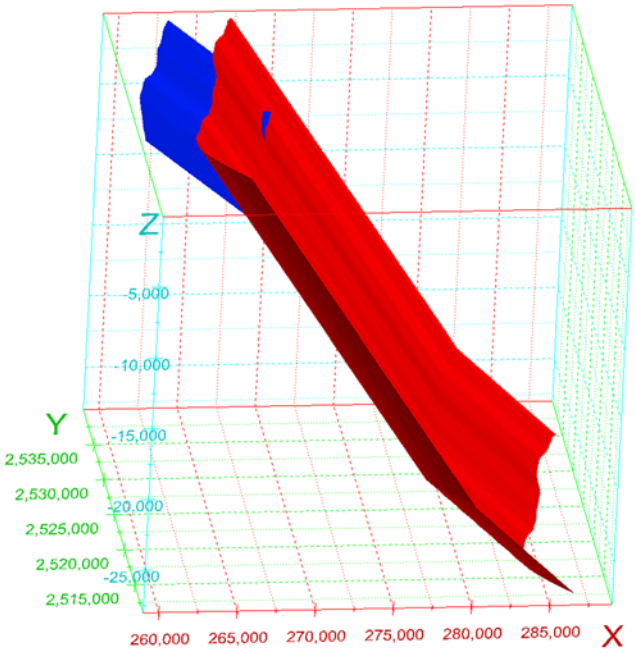


圖 4. 30：鹿野–利吉斷層系統三維幾何形貌

Figure 4. 30: Three dimensional geometry of the Luyeh and Lichi fault.

表 4. 13：鹿野斷層長期抬升速率資料彙整

Table 4. 13: Summary of studies on the long-term uplift rate of the Luye 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 4. 14：鹿野斷層淨滑移速率換算，淨滑移速率=抬升速率/sin(傾角)

Table 4. 14: Calculation of net slip rate for the Luyeh Fault. Net slip rate = Uplift rate / sin(dip angle)

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	25~35	7.8~10.6
	6.1		10.6~14.4

表 4. 15：鹿野斷層之破裂事件特徵地震規模計算

Table 4. 15: Area and magnitude of the Luyeh fault.

斷層名稱	長度 (km)	深度 (km)	傾角 (度)	寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith（1994）（破裂面積−規模關係式）（Mw）			Yen and Ma（2011）（破裂面積−規模關係式）（Mw）
						-σ	中值	+σ	
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

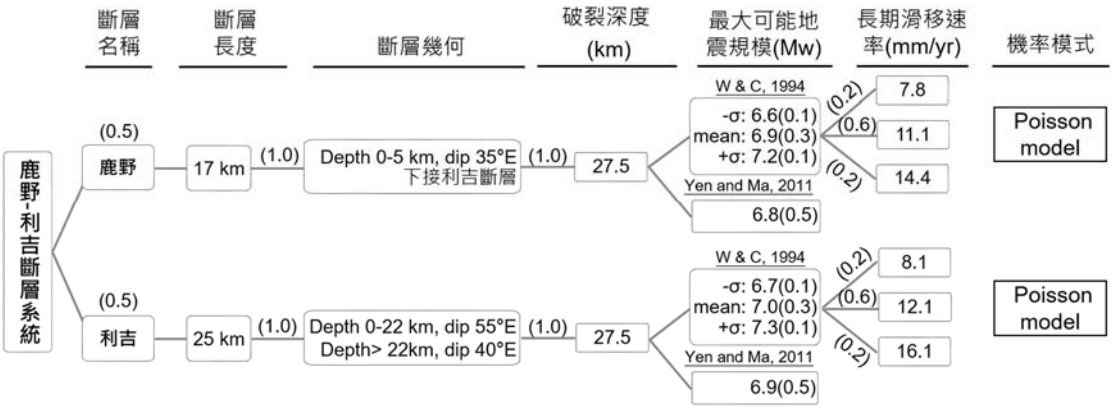


圖 4. 31：鹿野斷層及利吉斷層邏輯樹

Figure 4. 31: Logic tree of the Luyeh and Lichi fault.

4-7-2 鹿野斷層規模與年發生率

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 4. 32 為鹿野斷層 1 個破裂事件計算得到的特徵地震模式分布情形。

圖 4. 31 之鹿野−利吉斷層系統邏輯樹可得到 24 個分支（鹿野斷層 12 分支，利吉斷層 12 分支），每個分支皆有其權重，初步統計，圖 4. 33 為鹿野斷層之規模−權重分布圖，以規模 6.8 之權重最高。經由特徵地震模式計算之後，圖 4. 34 為地震復發間隔時間−權重分布圖。

將破裂模式之規模−權重加總即得到圖 4. 35（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 4. 35（b）之鹿野−利吉斷層系統地震復發間隔時間−權重分布圖。

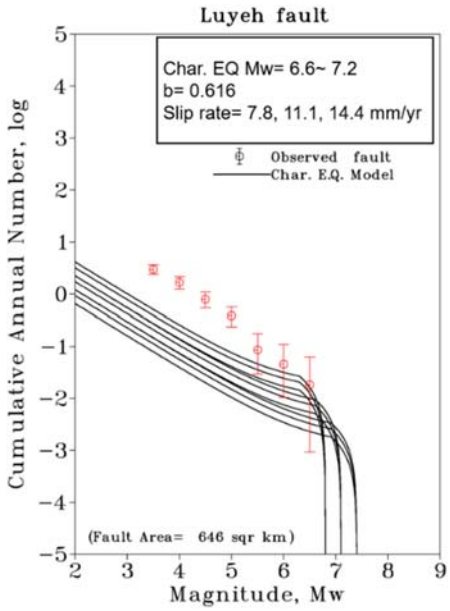


圖 4. 32：鹿野斷層破裂事件特徵地震模式

Figure 4. 32: Recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution of the Luyeh fault.

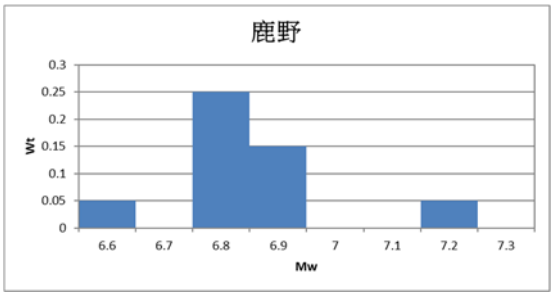


圖 4. 33：鹿野斷層破裂事件之規模−權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Figure 4. 33: The magnitude- weighting relationships for the Luyeh fault.

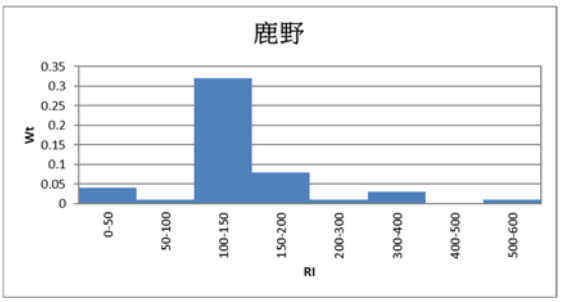


圖 4. 34：鹿野斷層之地震復發間隔時間−權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Figure 4. 34: Recurrence interval- weighting relationships of the Luyeh fault.

（a）　　（b）

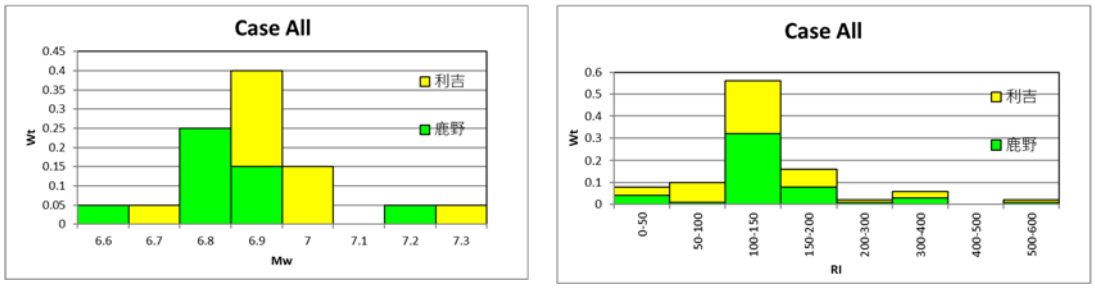


圖 4. 35：鹿野–利吉斷層系統之全部邏輯樹分支規模與地震復發間隔時間權重分布。（a）鹿野斷層及利吉斷層之全部邏輯樹分支規模–權重分布圖；（b）鹿野斷層及利吉斷層之全部邏輯樹分支地震復發間隔時間–權重分布圖。

Figure 4. 35: (a) The summed magnitude- weighting relationship for the whole branches of the Luyeh fault and the Lichi fault. (b) The summed recurrence interval- weighting relationship for the whole branches of the Luyeh fault and the Lichi fault.

4-7-3 鹿野斷層機率評估

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 模式估算鹿野斷層未來 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 4. 16 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 10.6%、16.1%及 26.1%。

表 4. 16：鹿野斷層發生機率評估

Table 4. 16: Earthquake probabilities for the Luyeh 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
M ≧6.5	10.6%	16.1%	26.1%

4-8 利吉斷層

4-8-1 利吉斷層參數設定

利吉斷層屬於鹿野–利吉斷層系。本計畫鹿野斷層及利吉斷層的破裂模式，參考地礦中心條帶地質圖（林啟文等，2009；2021），利吉斷層長度為 25 公里。

利吉斷層幾何，利吉斷層主要考慮地震深度分布剖面，在深度 0-22 公里的傾角約 55 度，深度 22 公里以下約 40 度，破裂深度以 27.5 公里估計。

利吉斷層之抬升速率資料彙整如表 4. 17 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 4. 18），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 4. 19 所示為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 4. 31 所示。

表 4. 17：利吉斷層長期抬升速率資料彙整

Table 4. 17: Summary of studies on 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 4. 18：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)

Table 4. 18: Calculation of net slip rate for the Lichi Fault.

Net slip rate = [Uplift rate / sin(dip angle)] / sin(rake angle)

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 4. 19：利吉斷層之破裂事件特徵地震規模計算

Table 4. 19: Area and magnitude of the Lichi fault.

斷層名稱	長度 (km)	深度 (km)	傾角 (度)	寬度 (km)	面積 (km^2)	Wells and Coopersmith（1994）（破裂面積–規模關係式）（Mw）			Yen and Ma（2011）（破裂面積–規模關係式）（Mw）
						-σ	中值	+σ	
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

4-8-2 利吉斷層規模與年發生率

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 4. 36 為利吉斷層 1 個破裂事件計算得到的特徵地震模式分布情形。

鹿野–利吉斷層系統邏輯樹參照前節圖 4. 31，每個分支皆有其權重，初步統計，圖 4. 37 為利吉斷層之規模–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 4. 38 為地震復發間隔時間–權重分布圖。

鹿野–利吉斷層系統之規模–權重分布圖及復發間隔時間–權重分布圖參照前節圖 4. 35。

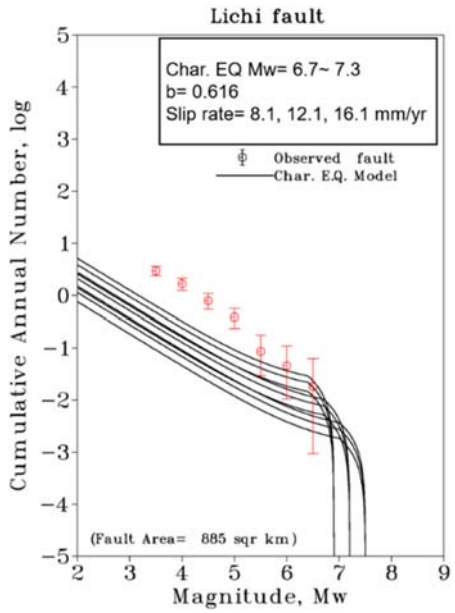


圖 4. 36：利吉斷層破裂事件特徵地震模式

Figure 4. 36: Recurrence relationships based on characteristic earthquake distribution of the Lichi fault.

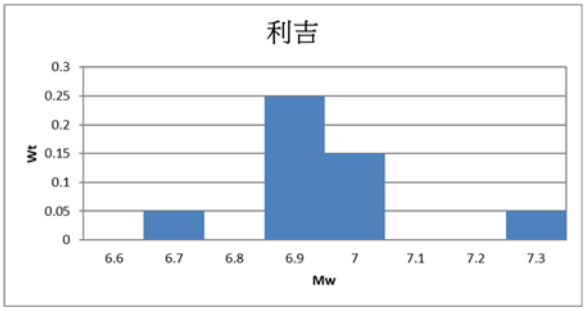


圖 4. 37：利吉斷層破裂事件之規模–權重分布圖。橫軸為地震矩規模，縱軸為各邏輯樹分支位於該規模區間之權重總和。

Figure 4. 37: The magnitude- weighting relationships for the Lichi fault.

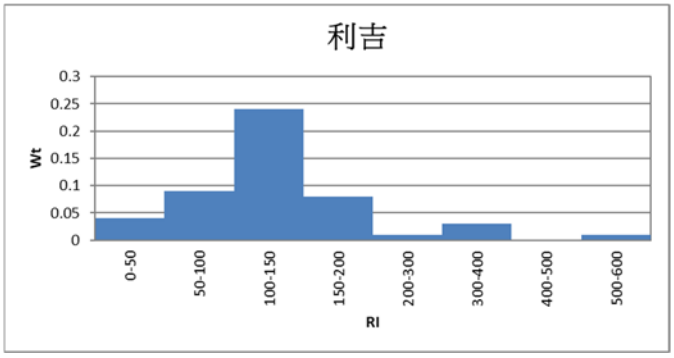


圖 4. 38：利吉斷層之地震復發間隔時間–權重分布圖。橫軸為地震復發間隔時間，縱軸為各邏輯樹分支位於該地震復發間隔時間之權重總和。

Figure 4. 38: Recurrence interval- weighting relationships of the Lichi fault.

4-8-3 利吉斷層機率評估

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 模式估算利吉斷層未來 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 4. 20 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 27.0%。

表 4. 20：利吉斷層系統發生機率評估

Table 4. 20: Earthquake probabilities for the Lichi 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
M ≧6.5	11.1%	16.8%	27.0%

4-9 東部地區斷層活動潛勢圖成果

本年度斷層潛勢圖為東部重要區域活動斷層潛勢評估之成果，名為「臺灣東部重要區域斷層活動機率圖」(圖 4.39)。以地表變形強度分布圖為底圖，套疊米崙斷層、嶺頂斷層、瑞穗斷層、奇美斷層、玉里斷層、池上斷層、鹿野斷層、利吉斷層之線形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。

圖例則包含重要區域範圍、斷層線形、鄉鎮市區公所、消防隊、醫院、學校、台鐵路線、高鐵路線、國省道（含快速公路）。

本圖使用須知如下：

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，有關地振動之評估必須進一步進行地震危害度分析（seismic hazard analysis）始能獲得。

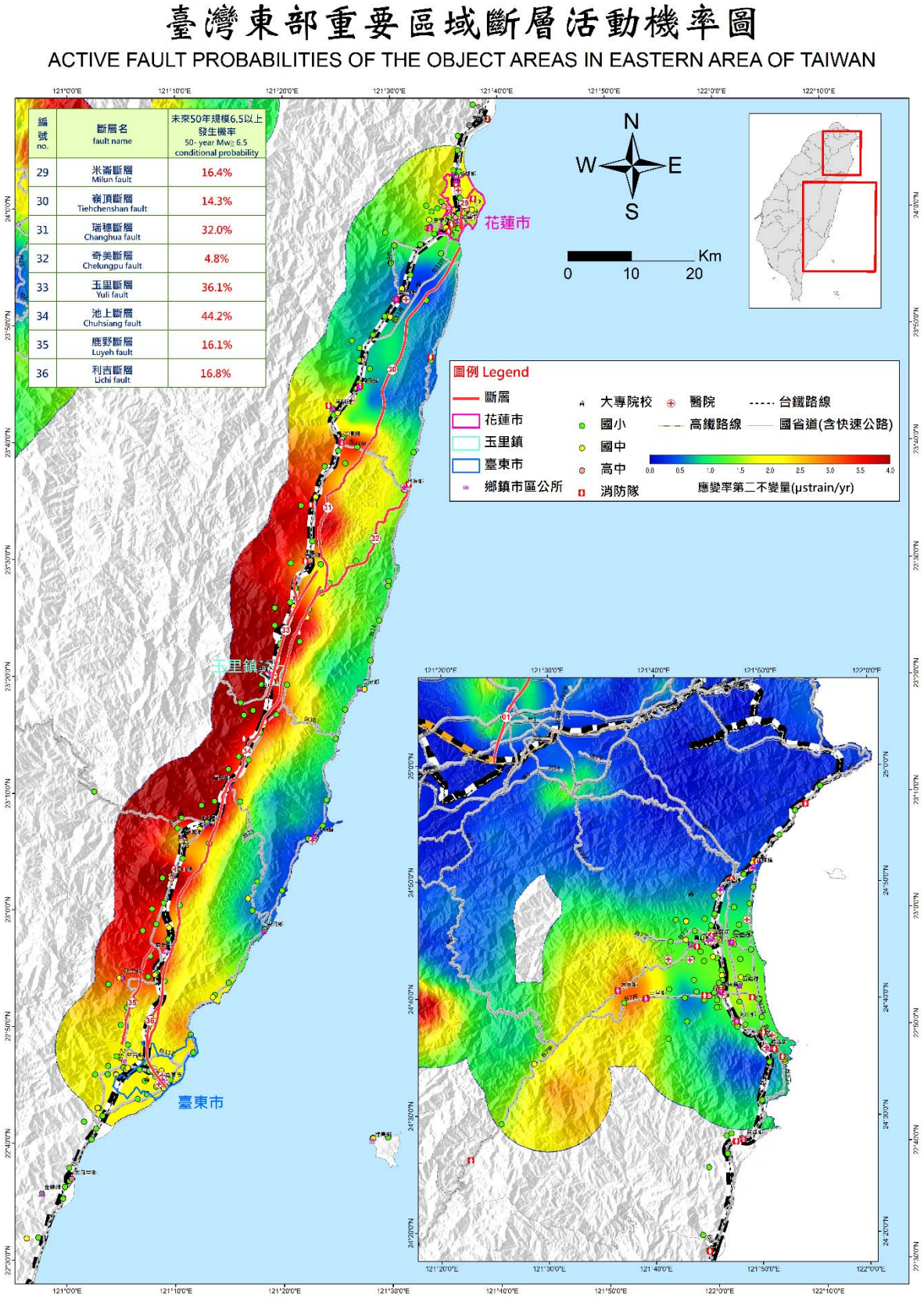


圖 4. 39：臺灣東部重要區域斷層活動機率圖

Figure 4. 39: Active fault probabilities of the object areas in eastern area of Taiwan.

第五章、大地測量資料分析（全臺）

5-1 GNSS 連續站資料解算與分析

本次報告所使用之 GNSS 連續站資料由經濟部地質調查及礦業管理中心提供，連續站所屬機構包括經濟部地質調查及礦業管理中心、中央研究院、交通部中央氣象署、內政部國土測繪中心及經濟部水利署等單位，共 380 站。以下為計算每日坐標解之方法與流程。

5-1-1 GNSS 連續站資料解算軟體與流程

本文利用美國太空總署噴射推進研究室（JPL）目前所研發新一代解算軟體 GipsyX 來解算 GNSS 連續測站資料。相較於 GAMIT/GLOBK 或 Bernese 等常用解算軟體，GipsyX 的優勢在於利用精密單點定位技術（Precise Point Positioning，PPP）對每個測站進行單獨之每日三維坐標值解算，而不須將所有測站先劃分為數個子網，因此解算速度較快，且各測站的結果有獨立性，不易受到其它資料品質較差的測站干擾。然而單站解算所引入的缺陷則為在資料處理過程中無法使用雙差分法（double difference）消除或減弱共同誤差來源（如衛星軌道誤差、鐘差和大氣誤差等），因此在設定一些誤差處理的參數時較為麻煩，需仰賴外部資料或依據使用者自身經驗。本文所使用之 GipsyX 詳細參數設定如下：

(1) 使用 JPL 提供之最終（Final）軌道解（https://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/JPL_GNSS_Products/Final）。

(2) 參考框架：IGS20。

(3) 截切角度（cutoff angle）：10°。

(4) 估算極潮（pole tide）、固體潮（earth tide）及海潮（ocean tide）等效應。

(5) 對流層估計：初始氣象參數模式採 GPT50；乾、濕映射函數（mapping function）則採用 VMF1 模式（Vienna Mapping Function 1; Böhm et al., 2008），估計間隔為 300 秒。

(6) 固體潮模式：IERS 2010。

(7) 海潮模式：FES2014b（網格精度為 0.0625° × 0.0625°）

(8) 高階電離層修正（Garcia-Fernandez et al., 2013）：使用 IGS 全球電離層濃度網格模型（IONEX），地球磁場為 IGRF-13（International Geomagnetic Reference Field 2013）。

(9) 天線相位中心修正：igs14.atx。

而 GipsyX 數據處理流程主要分為數據預處理（gde）、軌道計算和參數解算（rtgx）三個階段，最終從相位或偽距觀測數據中計算得出測站坐標及精度估計。而這裡的數據處理採取了以下步驟：

(1) 在 International GNSS Service（IGS）和 JPL 網站上獲取相應觀測日的精密衛星軌道、精密衛星時鐘改正、衛星掩蔽信息及有關地球的時間、極移、旋轉和極軸方向等資料。這些資料在數據處理中當作已知項，不再進行解算。

(2) 採用精密單點定位方法對測網網各觀測日的所有站點進行單獨處理，獲得各點的單日坐標解，然後將所有觀測站的單日坐標解合併，獲得觀測網內全部測站之坐標及共變異數矩陣的單日鬆弛約束解。並自 PPP 解出之測站坐標與共變異數矩陣中取出坐標與時間，形成測站坐標之時間序列，並轉換至地理坐標上。

5-1-2 GNSS 連續站坐標時間序列擬合與坐標精度分析

時間序列（time series）和速度場是 GNSS 資料處理的主要成果，可反映地表與地下構造的運動情形，提供重要的地殼變形訊息。本次報告彙整 1993 年至 2025 年 10 月為止，本計畫可取得之 GNSS 連續站資料，輔以各測站從設站以來長時間資料解算的結果，就測站速度場或地震跳階影響加以探討。

就連續站而言，為了對觀測資料做有效的時間序列分析，首先需要對所有的 GNSS 觀測數據辨別雜訊並加以剔除，如此才能真正地觀測時間序列上的微小變動，藉以瞭解斷層活動的特性。由於觀測值中的離群點會影響時間序列模型擬合的結果，因此在進行時間序列分析之前，我們針對每日解坐標誤差大於 1 cm 的資料先剔除，剩餘的坐標資料才進行進一步的時間序列分析。此外，為確保各 GNSS 點位之資料品質，須再藉由統計分析的方式，於坐標時間序列分析時，將資料較佳與較差的點位挑出，並篩選出資料時間至少兩年以上的測站進行速度場分析。對於 GNSS 時間序列資料之分析，將考慮長時間的地殼變動、週期性之變化以及地震引發的同震與震後活動。諸歸於此類的時間序列模式可以用下式表示（Nikolaidis, 2002）：

$$y(t_i) = a + bt_i + c\cos(2\pi t_i) + d\sin(2\pi t_i) + e\cos(4\pi t_i) + f\sin(4\pi t_i)$$
$$+\sum_{j=1}^{n_g} g_j \cdot H(t_i - T_{eq}) + \sum_{j=1}^{n_h} h_j \cdot H(t_i - T_{eq}) \cdot t_i + \sum_{j=1}^{n_k} k_j \cdot H(t_i - T_{eq}) \cdot \exp^{-(t_i - T_{eq})/\tau_j} + v_i \quad \text{（式 5.1）}$$

其中，a 為截距，b 為震間期（interseismic period）地殼運動速率；係數 c、d 為年週期（annual period）變化之震幅；係數 e、f 為半年週期（semi-annual period）變化之震幅；g 表示時間序列中的不連續跳動，可能為地震造成的同震位移或是人為天線更換；h 為震後線性速率改變量；

k 為震後變形呈指數衰減的現象；最後 v 為殘差項；其中 H 為階梯函數(Heaviside step function)，τ 則為鬆弛時間（relaxation time），代表震後變形衰減至總變形量的 1/e 所需時間。

而本計畫於進行坐標時間序列擬合前，先將各測站依其測站位置進行分區，以便針對各區域曾發生之重大歷史地震事件、區域性之地表位移或速度變化進行擬合。其中，在中部區域的同震位移部分，本計畫主要考慮 1999 年集集地震及 2013 年南投地震之影響；南部區域是 2006 年屏東外海地震、2010 年甲仙地震、2016 年美濃地震以及 2025 年大埔地震；東部則針對 2003 年成功地震、2013 年瑞穗地震、2018 年花蓮地震、2022 年關山−池上地震、2024 年花蓮地震等重大地震事件進行擬合。擬合成果範例如圖 5. 1 所示（其餘測站之時間序列請見附錄）。此外，由於環境變化與隨機誤差的存在，即使已完成同震位移與速度變化等事件之擬合，GNSS 坐標時間序列仍會呈現離散跳動的型態（圖 5. 2），此離散跳動即為坐標殘差，由此圖可知測站 PTDG 之於 N 方向之精度約 7.5 mm，E 方向之精度約 6.0 mm，U 方向則約為 20.0 mm。而本計畫之重要區域經坐標時間序列分析所獲得之速度場成果已於第 2-3 節進行分析。

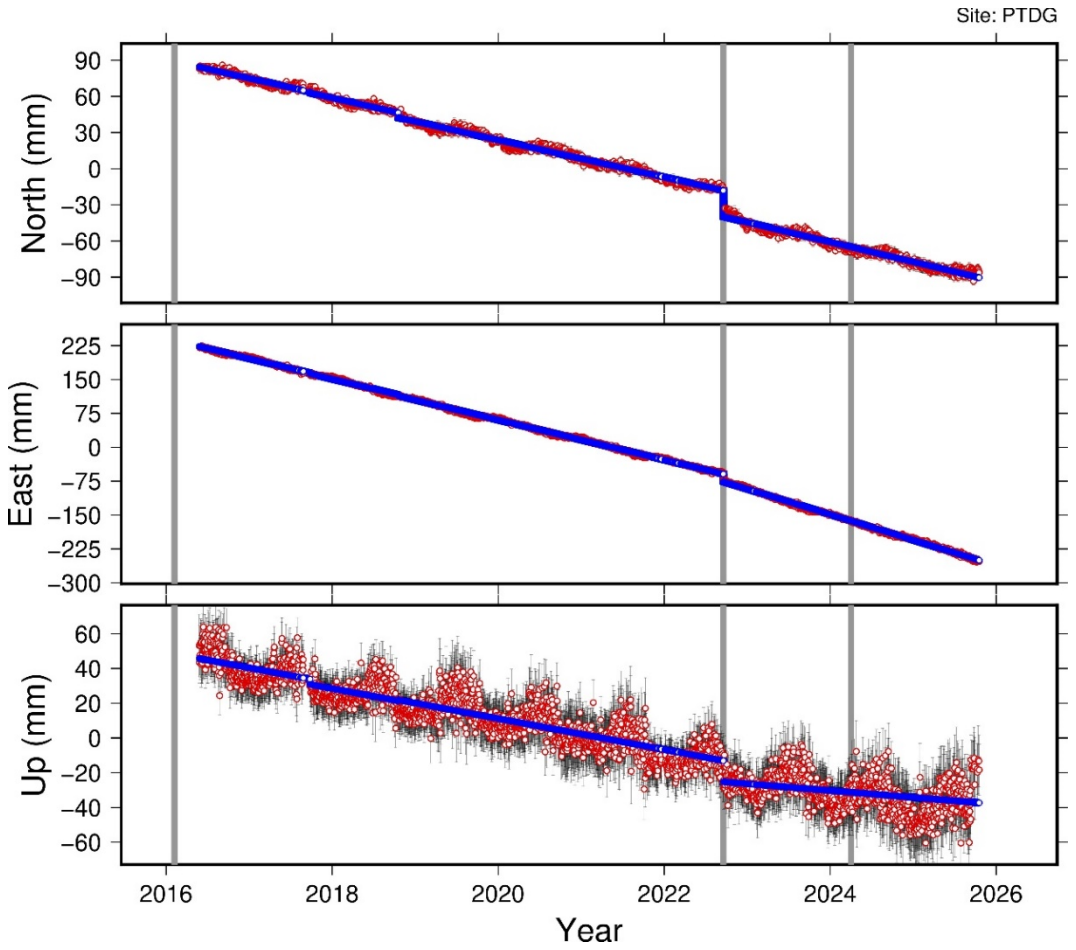


圖 5. 1：GNSS 連續站 PTDG 坐標時間序列擬合結果。紅色圓圈為原始坐標時間序列，藍色圓圈為坐標計算值。

Figure 5. 1: Coordinate time series of GNSS station PTDG. Red circles are observations; blue circles are calculation.

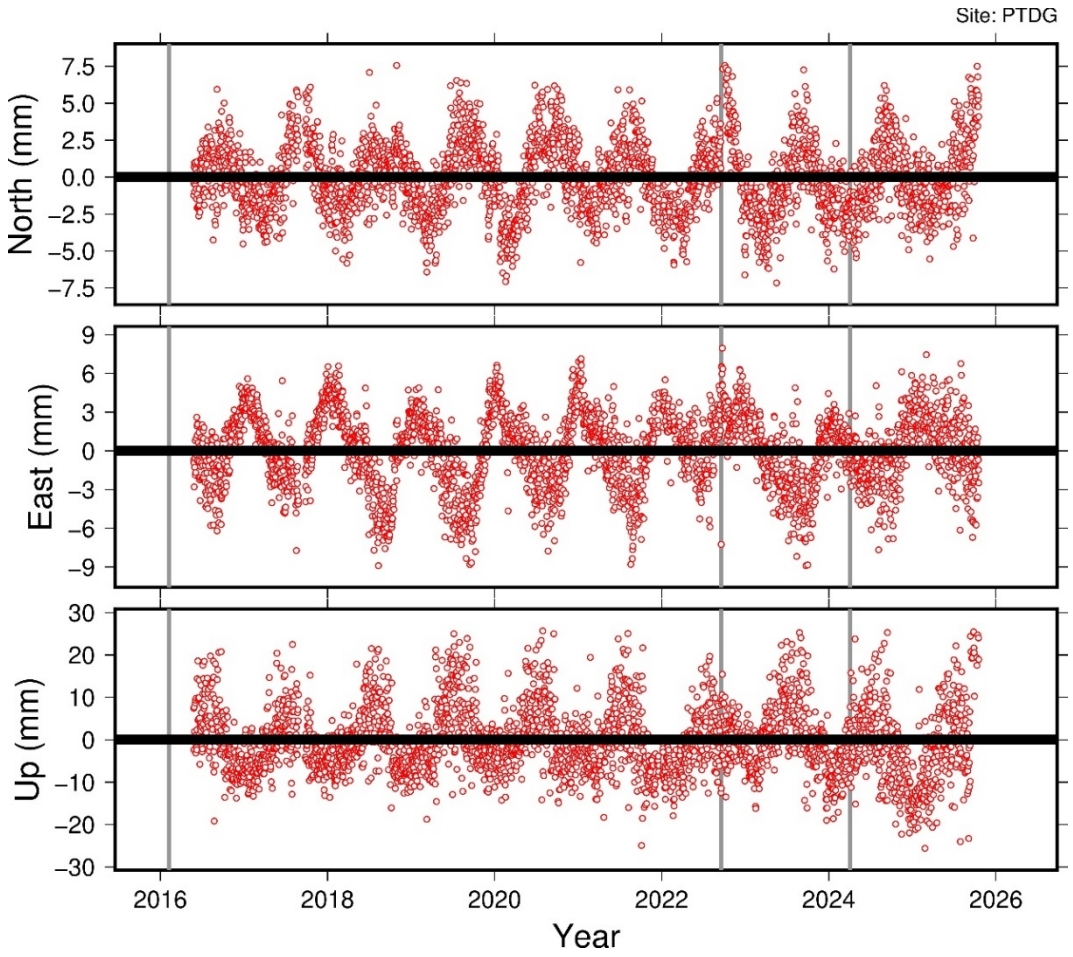


圖 5. 2：GNSS 連續站 PTDG 時間序列之殘差結果。紅色圓圈為移除地表運動速率及地震瞬時位移等事件後之殘差值。

Figure 5. 2: Residual time series of GNSS station PTDG. Red circles are residuals of the time series which have removed the interseismic velocities and coseismic displacements.

由於環境變化與隨機誤差的存在，使得 GNSS 坐標時間序列會呈現離散跳動的型態，因此本計畫採用坐標殘差及均方根誤差分析兩種方式來查核資料計算結果的穩定性。坐標殘差（residual）分析是將各站每次測量所獲得之坐標觀測值與擬合曲線上之坐標計算值相減，將所獲得之坐標殘差值進行統計，在測量學中又稱為外部誤差。在理想狀況下，如果坐標計算成果是穩定的，此殘差值會近乎等於零；均方根誤差（RMS error）分析為針對各測站每次坐標解算時所產生的均方根誤差量進行統計，在測量學中又稱為內部誤差。

根據 GNSS 連續站資料至 2025 年 10 月之監測成果，其坐標殘差之分布情形指出（圖 5. 3，1994-2025 年 E 方向之殘差值 95%信賴區間為 -0.06±5.13 mm；N 方向為 0.04±4.42 mm；U 方向為 -0.34±10.64 mm。而 1994-2025 年平面坐標之均方根誤差平均值為 5.34 mm，高程坐標的均方根誤差平均值為 15.48 mm（圖 5. 4）。

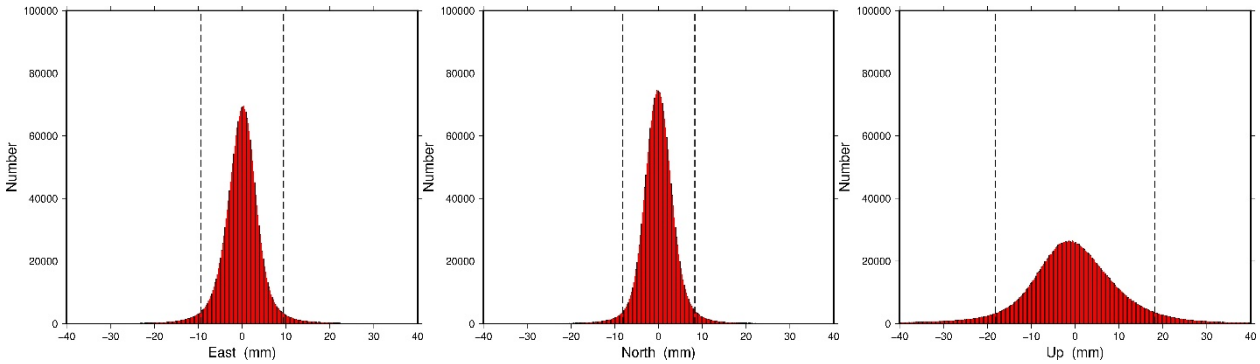


圖 5. 3：1994-2025 年截至 10 月份 GNSS 連續站點位坐標殘差分布圖，虛線表示 95%信賴區間範圍。

Figure 5. 3: GNSS coordinates residuals during 1994- October 2025. The dashed lines indicate 95% confidence interval.

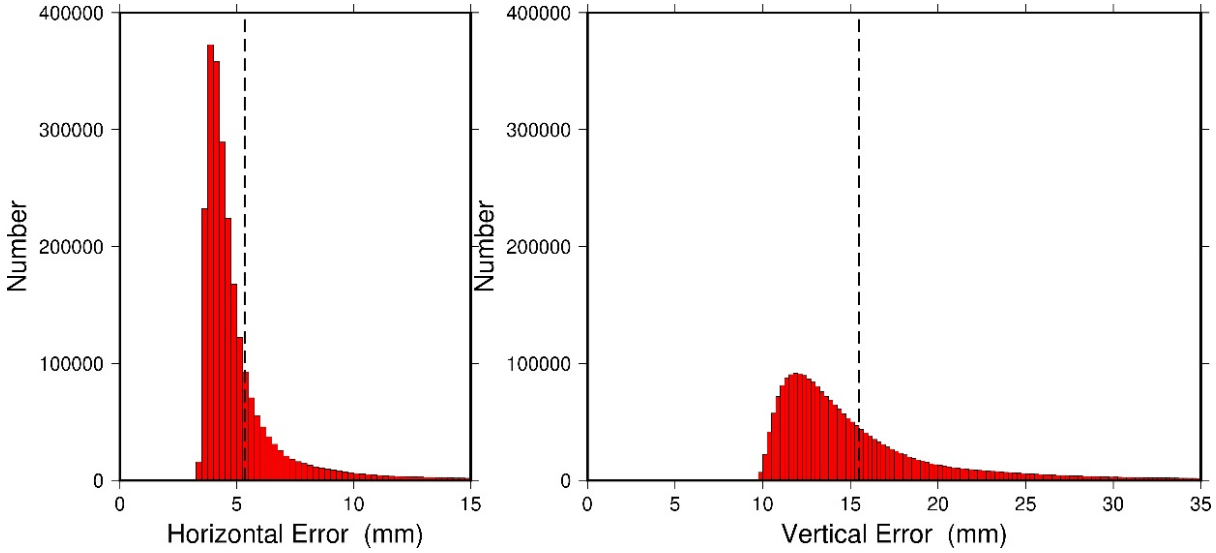


圖 5. 4：1994-2025 年 GNSS 連續站點位均方根誤差分布圖

Figure 5. 4: GNSS RMS error during 1994-2025.

5-1-3 GNSS 連續站資料處理與資（/雜）訊分析

前節中利用最小平方法進行坐標時間序列擬合時，需限定所有的係數，包括斜率及週期函數的振幅等，為不隨時間而變的常數。然而地表運動的長期速率與週期性變化可能均為時間相關（time dependent），此時以最小平方法擬合出的模型便會與實際有所偏差，導致趨勢（斜率）及週期性訊號等混雜在殘差之中，造成雜訊模型及模型參數之錯誤估計。考量此項因素，本節嘗試以卡曼濾波法（Kalman filtering）對模型參數進行動態擬合，此方法最大的特色，就是可讓模式中各項係數在給定的協方差矩陣約制下隨時間進行變動，以利最佳化描述觀測資料，提高訊噪比並"過濾"出更真實的訊號（如地表下陷趨勢等）。

此外，許多文獻指出 GNSS 時間序列普遍存在時間相關的雜訊，稱為色雜訊（color noise），如 flicker noise 或 random-walk noise 或其組合等，有別於時間上獨立（time independent）的白雜訊（white noise）。由於色雜訊成分會因時間序列而異，本文選擇在系統的狀態函數中引入自回歸移動平均模型（ARMA）做為色雜訊之假設模型（e.g., Didova et al., 2016）。根據一些相關研究成果及本計畫的測試，本文選擇 AR(3)作為色雜訊之合理參考模型，以利描述臺灣 GNSS 測站中普遍存在的閃爍雜訊（flicker noise, e.g., 李宥葭，2018）。

圖 5. 5 為地礦中心測站 GS22（彰化快官交流道站）垂直分量的卡曼濾波分析結果，可以看出無論在趨勢或振幅變化上，卡曼濾波都能更有效地描述資料隨時間的變化，且所得之斜率、年週期、半年週期等分項都具有顯著的時變性質。在 AR(3)色雜訊的頻譜分析上，其高頻部分（>30 cpy）具有明顯的冪次方衰減（power-law decay），與一般認定 GNSS 訊號所具有的 power-law noise 一致。而擬合後的殘差時間序列也接近白雜訊（圖 5. 6），代表原序列中大部分的時間相關訊號都已經被以上的卡曼濾波器所分離出來了。

值得注意的是，圖 5. 5 中卡曼濾波分析所得之 GS22 垂直雜訊振幅在約 2020 年中後有明顯增大的趨勢，此現象於此站之水平分量時間序列中亦可清楚看出（圖 5. 7），因此雜訊振幅或可做為判斷測站資料品質或環境因素改變之參考。本文將地礦中心全臺 101 個測站之三分量時間序列均以卡曼濾波分析其 AR(3)色雜訊與殘差雜訊之振幅，並將結果以統計柱狀圖呈現（圖 5. 8）。由圖可看出水平分量的雜訊多小於~2 mm，比較顯著的離群點（outliers）為 GS90 站的南北分量（color noise >5 mm）。而 GS90 為新埔工作站，已於 2019 年 7 月 1 日廢站。

垂直分量的雜訊振幅則相對較大且分佈較為離散：大部分都小於 8 mm，明顯的離群點有 3 個站。圖 5. 9 顯示不論是色雜訊或殘差雜訊，GS10 及 GS73 分別於 2015 年與 2018 年後都具有振幅明顯增加的趨勢。根據地礦中心的測站維護紀錄，GS10 於 2015 年 11 月 27 日與 2017

年 1 月 25 日均有更換接收儀（換為 Trimble 5700），GS73 則在 2017 年 11 月 15 日更換天線為 TRM41249.00 SCIT 及更換接收儀為 Trimble 5700，並在 2018 年 10 月 24 日更換天線為 TRM59900.00 SCIT 及更換接收儀為 Trimble NetR9。因為沒有測站環境改變（如植被變化）的紀錄作為佐證，這些儀器更換是否為造成雜訊振幅改變之因素仍需加以驗證。

另一方面，圖 5.10 顯示 GS95 偏高的雜訊振幅只在於色雜訊，其殘差雜訊則均維持在 ±2 mm。時間序列則顯示幾乎在 2018 年初建站的一年內，其每日解的誤差值就顯著增加。由於此站並無儀器更換紀錄，故猜測其色雜訊的高振幅應與測站環境因素有關。

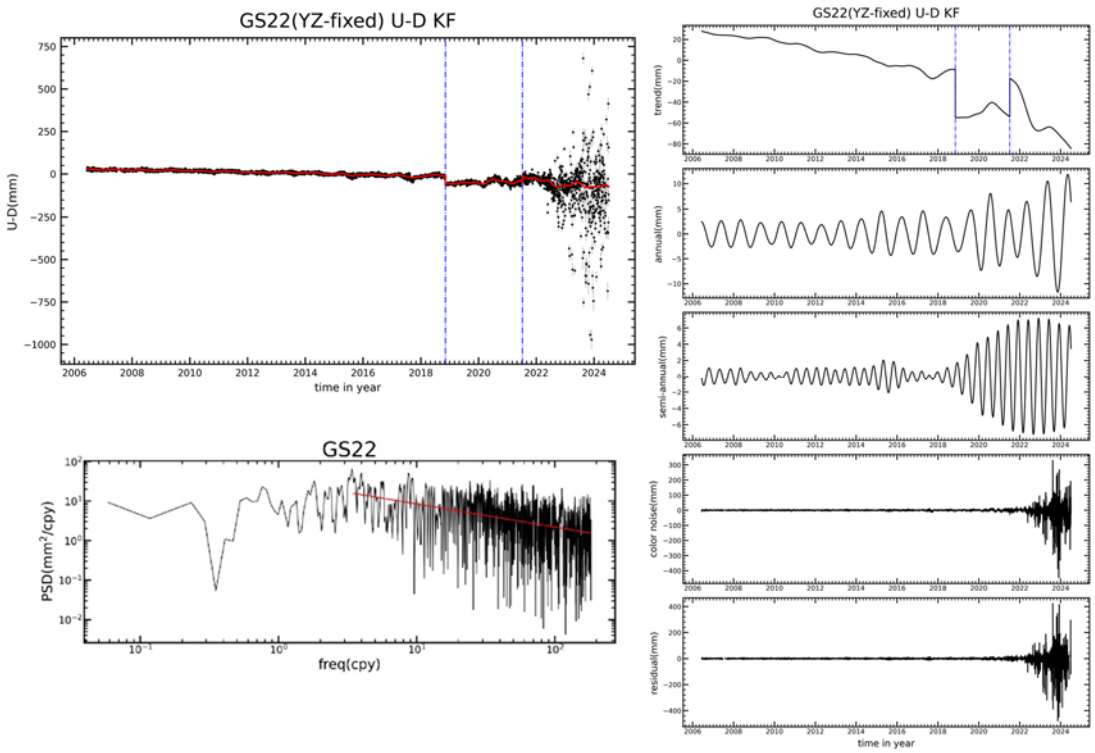


圖 5. 5：地礦中心連續站 GS22（彰化快官交流道站）垂直分量的卡曼濾波分析結果。左上子圖為原始時間序列（黑點）與卡曼濾波之擬合曲線（紅線）；左下子圖為擬合所得之色雜訊頻譜圖；右邊各子圖由上而下分別為擬合所得之斜率（或趨勢 trend）、年週期訊號、半年週期訊號、AR(3)色雜訊、殘差（residual）。斜率序列中藍色虛線所示之錯移（offset）為該站於 2018 年 11 月 8 日更換天線所造成。

Figure 5. 5: Kalman-filter (KF) analysis for the vertical time series of GS22. (Left-up): the original time series data (black dots) and the KF fitting curve (red line); (Left-bottom); Left-bottom: power spectrum density, or PSD, of the AR(3) color noise obtained from KF, with the red line showing the decay of PSD with frequency; (Right): Different components of the time series from KF, from top to bottom: the slope or the trend, the annual oscillation, the semi-annual oscillation, the AR(3) color noise, and the residual noise. The blue-dash line in the slope part indicates the change of station antenna.

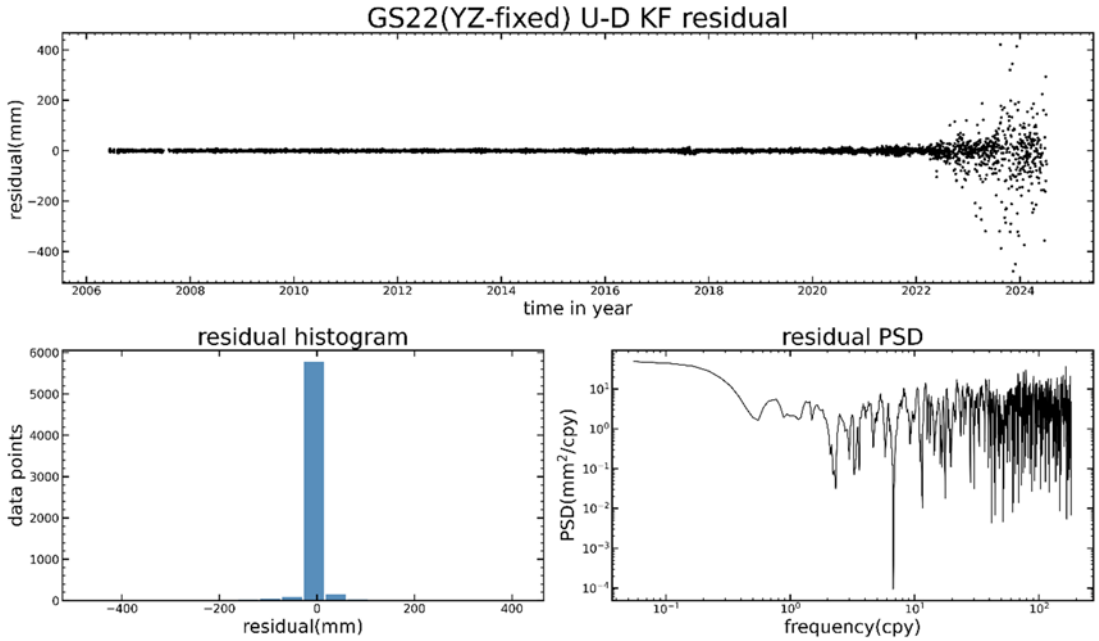


圖 5. 6：地礦中心連續站 GS22 垂直分量經卡曼濾波後所得之殘差時間序列、殘差與頻譜分析結果。上方子圖為殘差時間序列，下方左子圖為殘差，下方右子圖為頻譜。結果顯示此殘差序列較接近高斯分布之白雜訊。

Figure 5. 6: (Top) The time series of vertical residuals of GS22 from KF; (Bottom) The residual (left) and PSD (right) of the residual time series, which infer a possible Gaussian white noise.

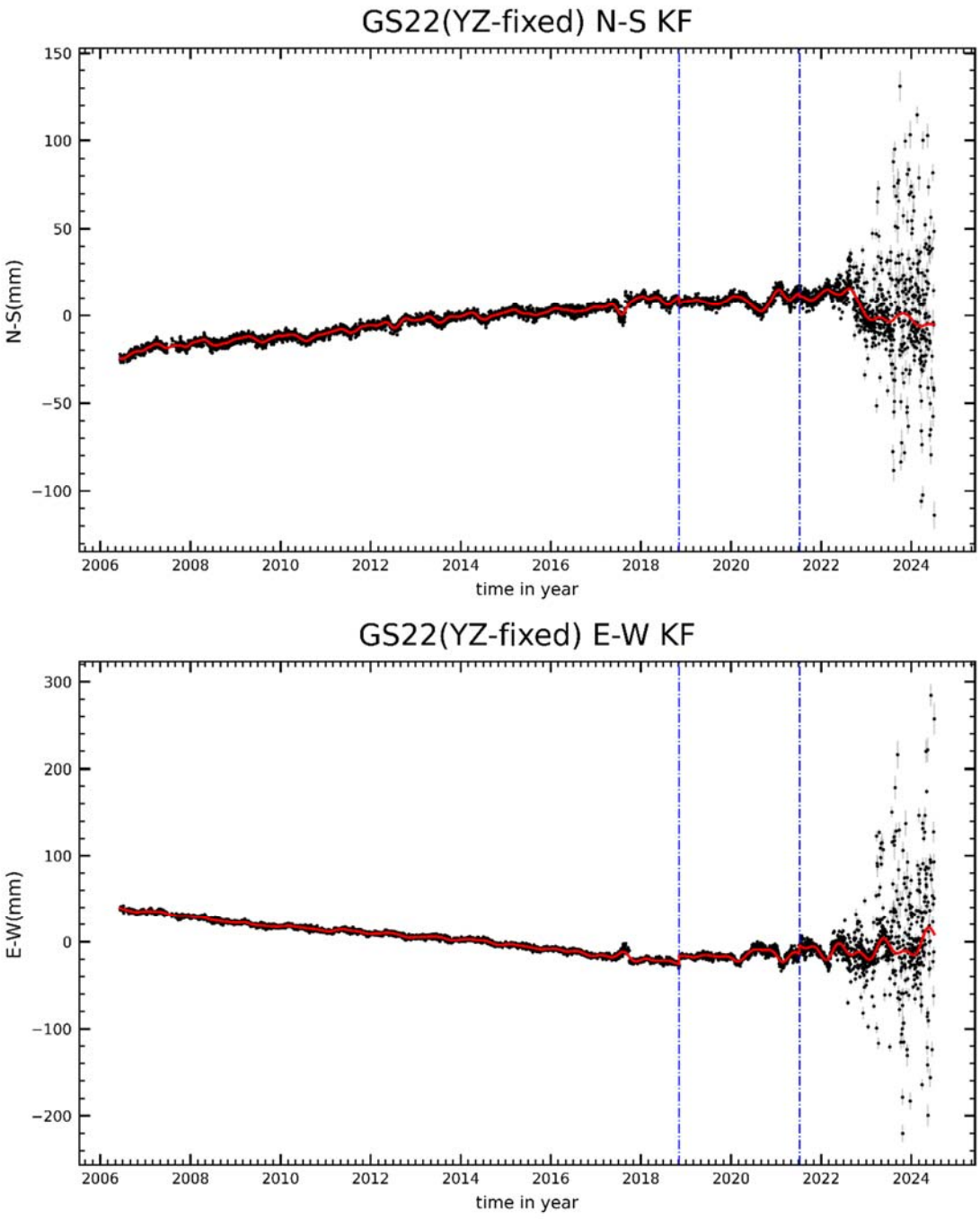


圖 5. 7：地磧中心連續站 GS22 之南北與東西分量之時間序列。上圖為南北分量之時間序列，下圖為東西分量之時間序列。紅色曲線為卡曼濾波之擬合結果，藍色虛線所示之錯移（offset）為該站於 2018 年 11 月 8 日更換天線所造成。

Figure 5. 7: The north-south (top) and east-west (bottom) time series of GS22, with red lines showing the KF-fitting results. The blue-dash line indicates the change of station antenna.

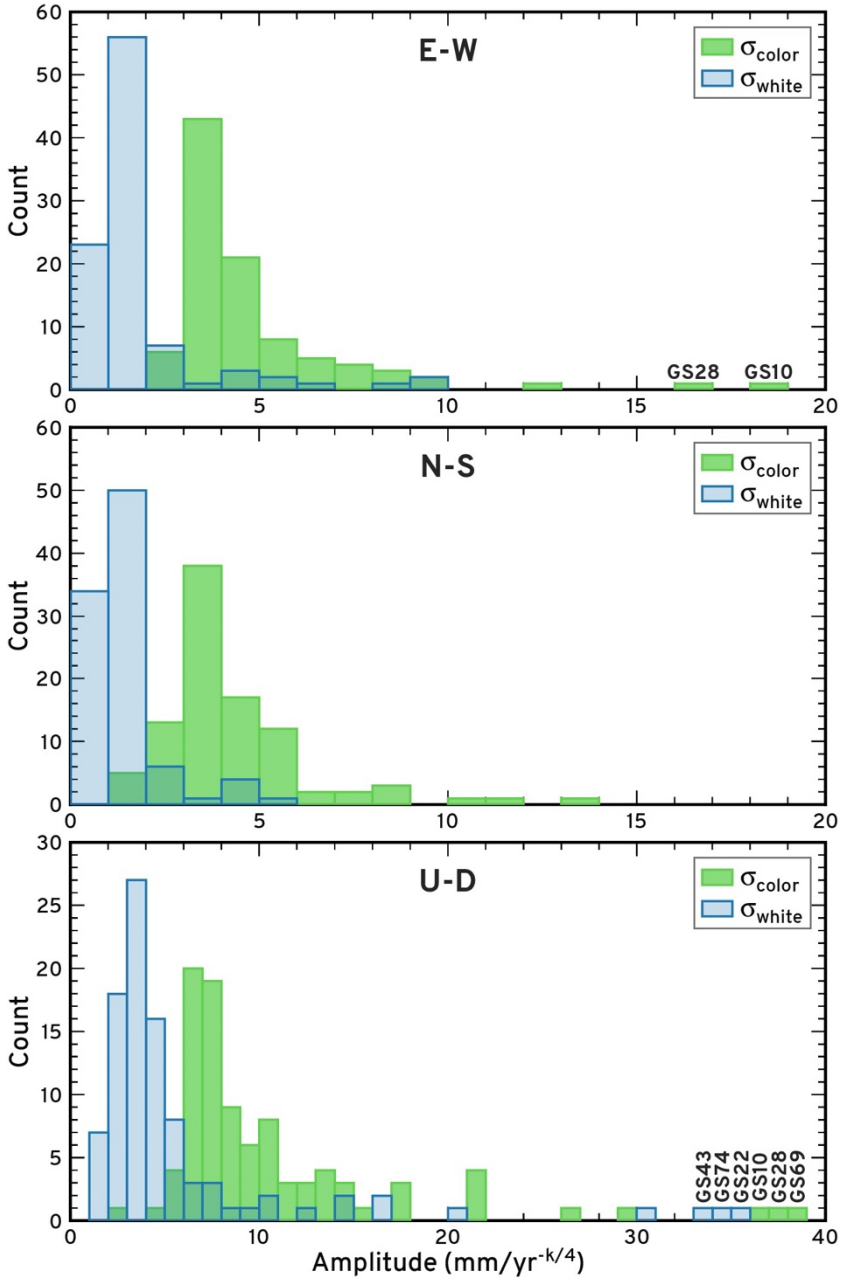


圖 5. 8：地礦中心全臺 101 個測站三分量時間序列之卡曼濾波雜訊分析。柱狀圖橫軸為振幅值，縱軸為該振幅值區間（±0.1 mm）的測站數目。綠色代表 AR(3)色雜訊，藍色為殘差雜訊。

Figure 5. 8: Histograms show amplitude ranges of three-component noises of the 101 GNSS stations installed and maintained by the GSMMA. Green and blue bars indicate the AR(3) color noise and residual noise from our KF analysis, respectively, and the bar width indicates ±0.1 mm. Few outliers with station names are discussed in the main text.

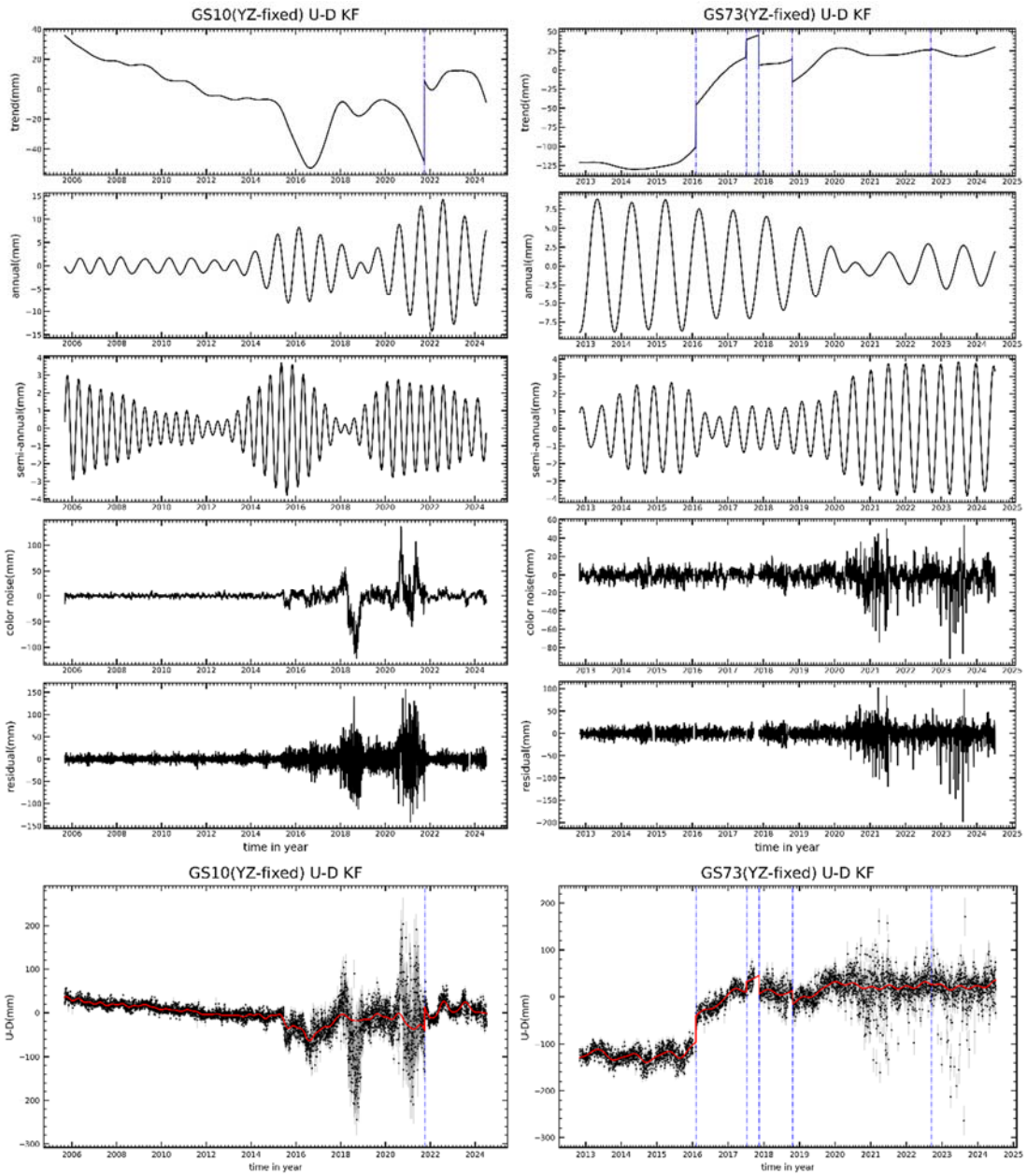


圖 5. 9：地礦中心連續站 GS10（桃園竹圍國中）與 GS73（高雄新光國小）之垂直時間序列與其卡曼濾波分析。各分項子圖說明請見圖 5. 5。GS73 中的藍色虛線對應的是 2016 年 2 月 6 日美濃地震之位移。

Figure 5. 9: Vertical time series and their KF analysis of the stations GS10 (left) and GS73 (right). See Figure 5. 5 for interpretations for all subplots. The blue-dash line indicates the 2016/2/6 MeiNong earthquake.

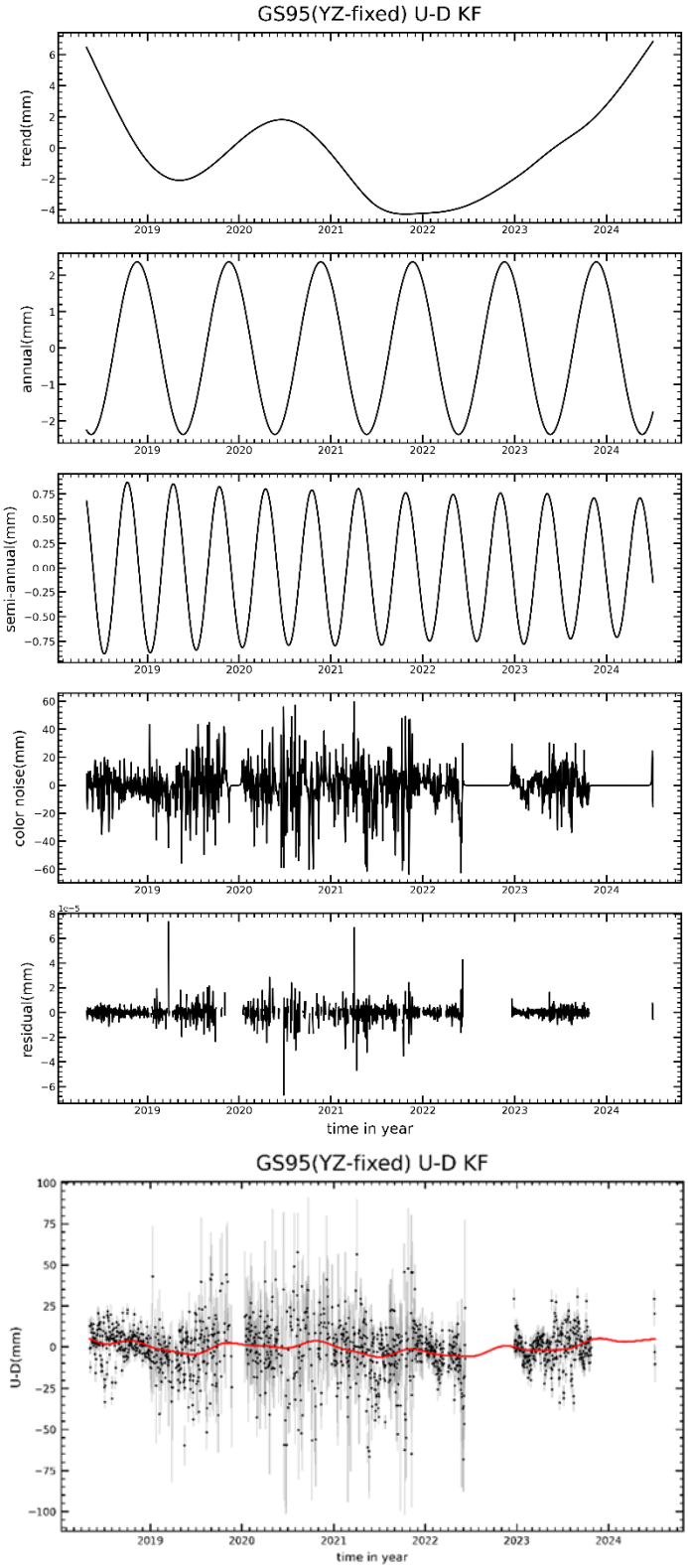


圖 5. 10：地礦中心連續站 GS95（大屯火山區八煙站）之垂直時間序列與其卡曼濾波分析。各分項子圖說明詳見圖 5. 5。

Figure 5. 10: Vertical time series and its KF analysis of the stations GS95. See Figure 5. 5 for interpretations for all subplots.

5-1-4 GNSS 連續站觀測網

5-1-4-1 臺北地區 GNSS 觀測網

臺北地區各觀測點位之測站位置如圖 5. 11 所示，各觀測點位相對於 S01R 測站之水平速度場如圖 5. 12 所示，本區 2002 年至 2025 年速度場大致朝東北向運動為主，由南向北略呈順時針旋轉，速度量值介於 0.7~10.7 mm/yr 之間。垂直速度場如圖 5. 13 所示，結果顯示山腳斷層上盤的臺北盆地區域為沉降，沉降速度大約落在 -7.3~ -0.1 mm/yr 之間；向東進入丘陵則以抬升為主，抬升速度大約落在 0.1~5.4 mm/yr 之間。

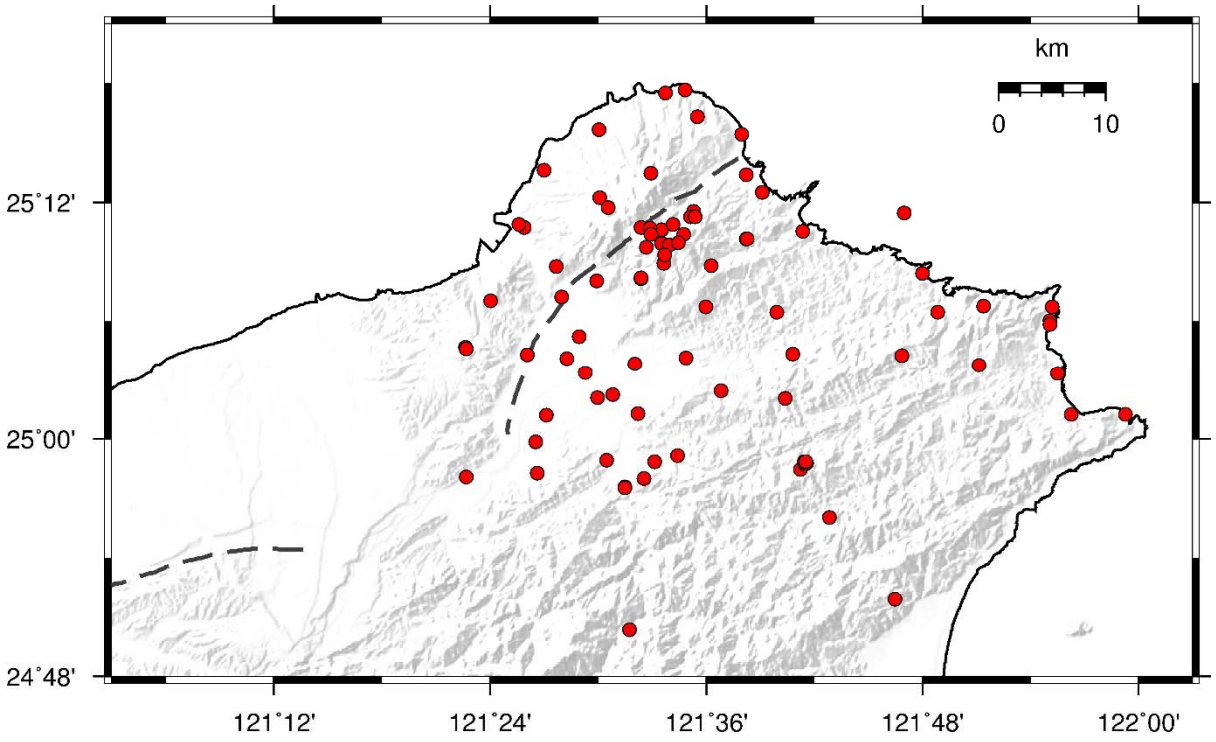


圖 5. 11：臺北地區 GNSS 連續站分布情形

Figure 5. 11: Continuous GNSS distribution in Taipei area.

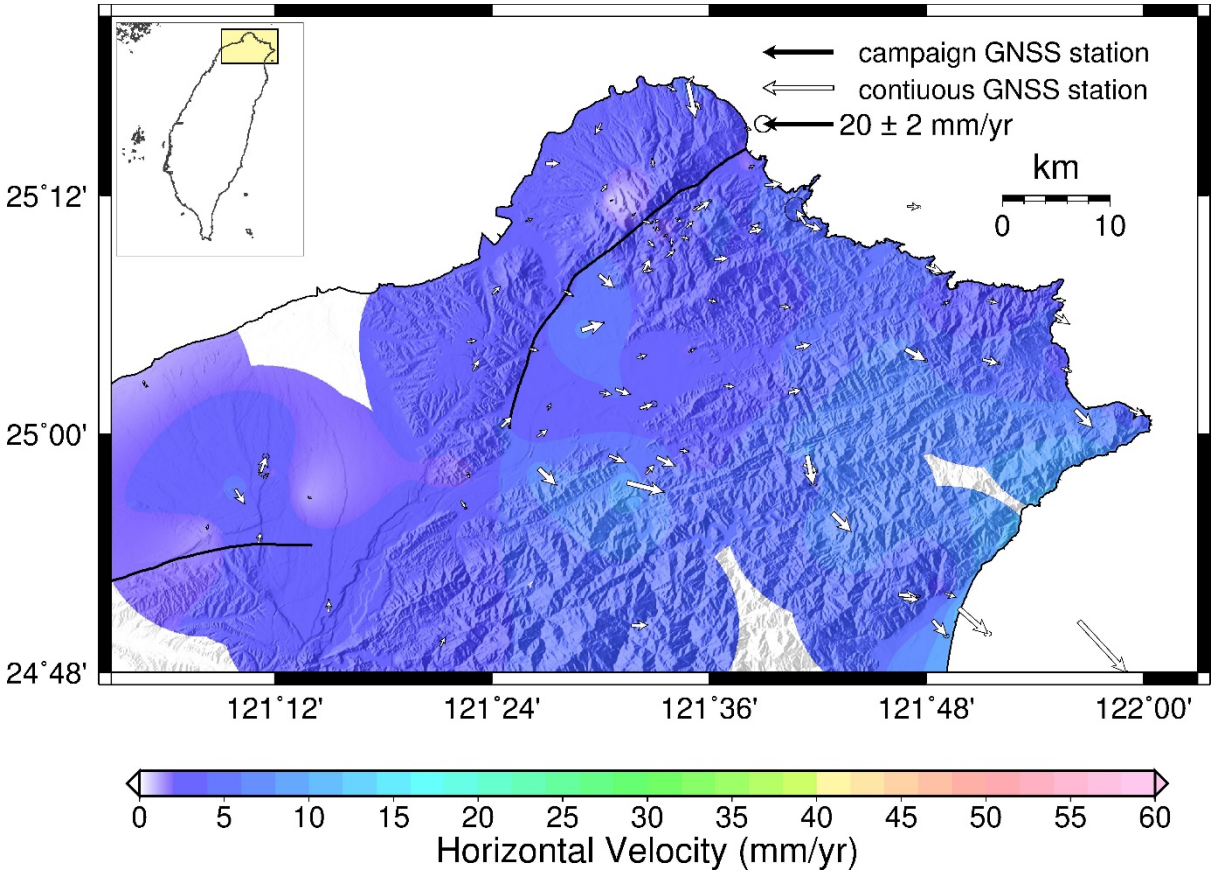


圖 5. 12：臺北地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場。彩色色階為 2002 至 2025 年資料所解算之水平方向速度場分布。

Figure 5. 12: GNSS horizontal velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Taipei area. The colored map represents the horizontal velocities from 2002 to 2025.

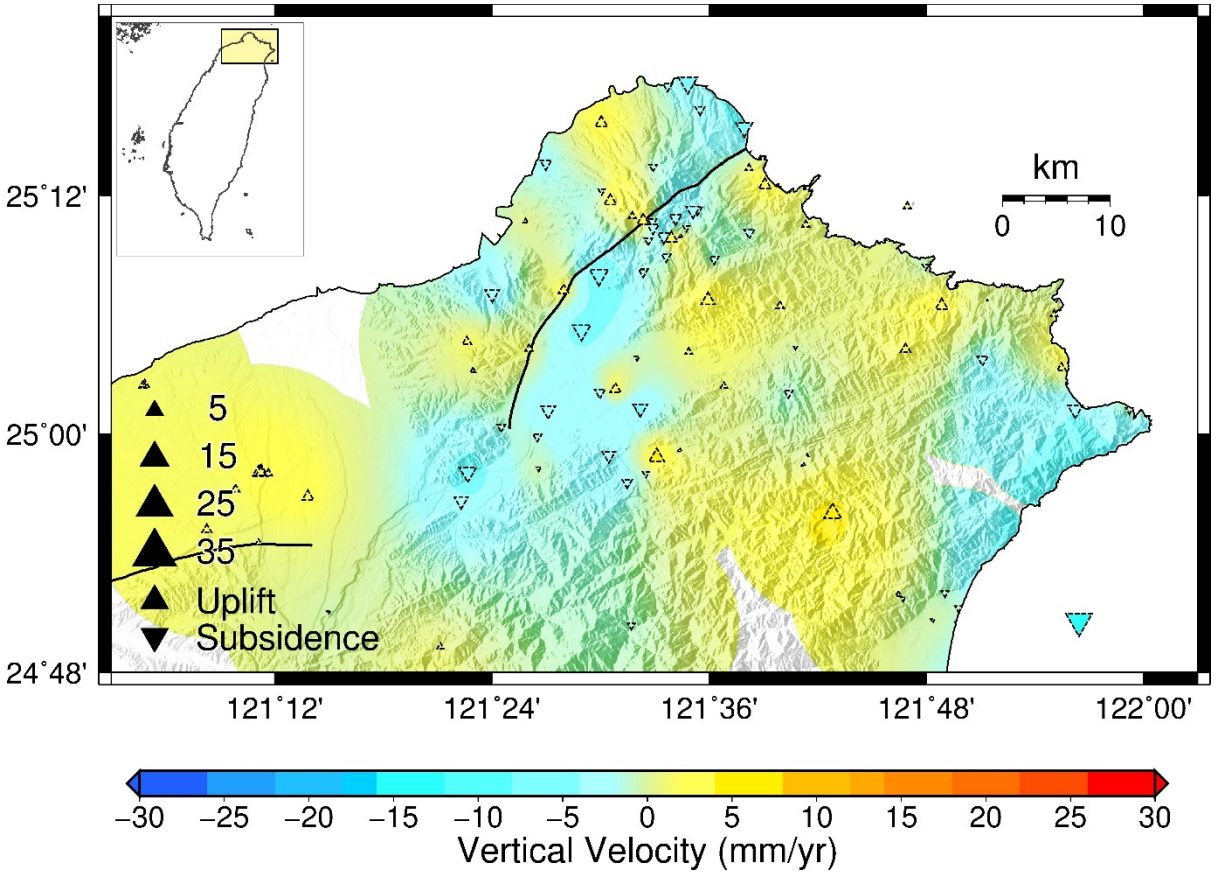


圖 5. 13：臺北地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速度，冷色系表示沉降速度。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。GNSS 觀測時間為 2002 至 2025 年。黑色邊框表示 GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。

Figure 5. 13: GNSS vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Taipei area. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. The duration of GNSS observation is from 2002 to 2025. Campaign-mode GNSS is shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame.

5-1-4-2 桃竹苗地區 GNSS 觀測網

桃竹苗地區各觀測點位之測站位置如圖 5. 14 所示，各觀測點位相對於 S01R 測站之水平速度場如圖 5. 15 所示，本區於 2002 至 2025 年間多為朝西北向運動，速度量值介於 1.0~10.2 mm/yr 之間。垂直速度場如圖 5. 16 所示，本區新竹平原、苗栗丘陵一帶主要為沉降，沉降速度大約落在 -0.4~ -5.0 mm/yr 以內；其他地區則為抬升，速度量值約落在 0.1-4.0 mm/yr 之間。

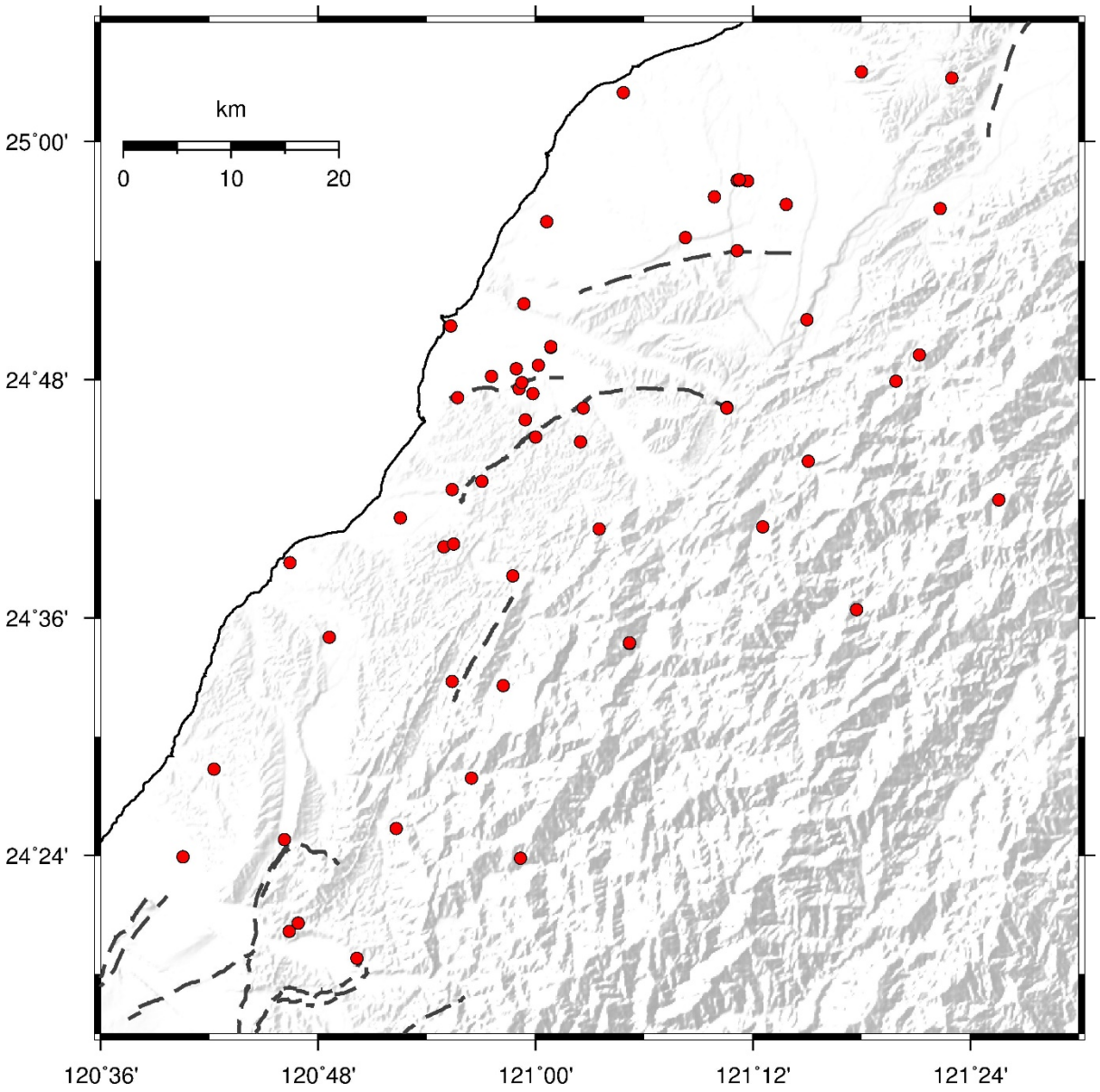


圖 5. 14：桃竹苗地區 GNSS 連續站分布情形

Figure 5. 14: Continuous GNSS distribution in Taoyuan, Hsinchu and Miaoli areas.

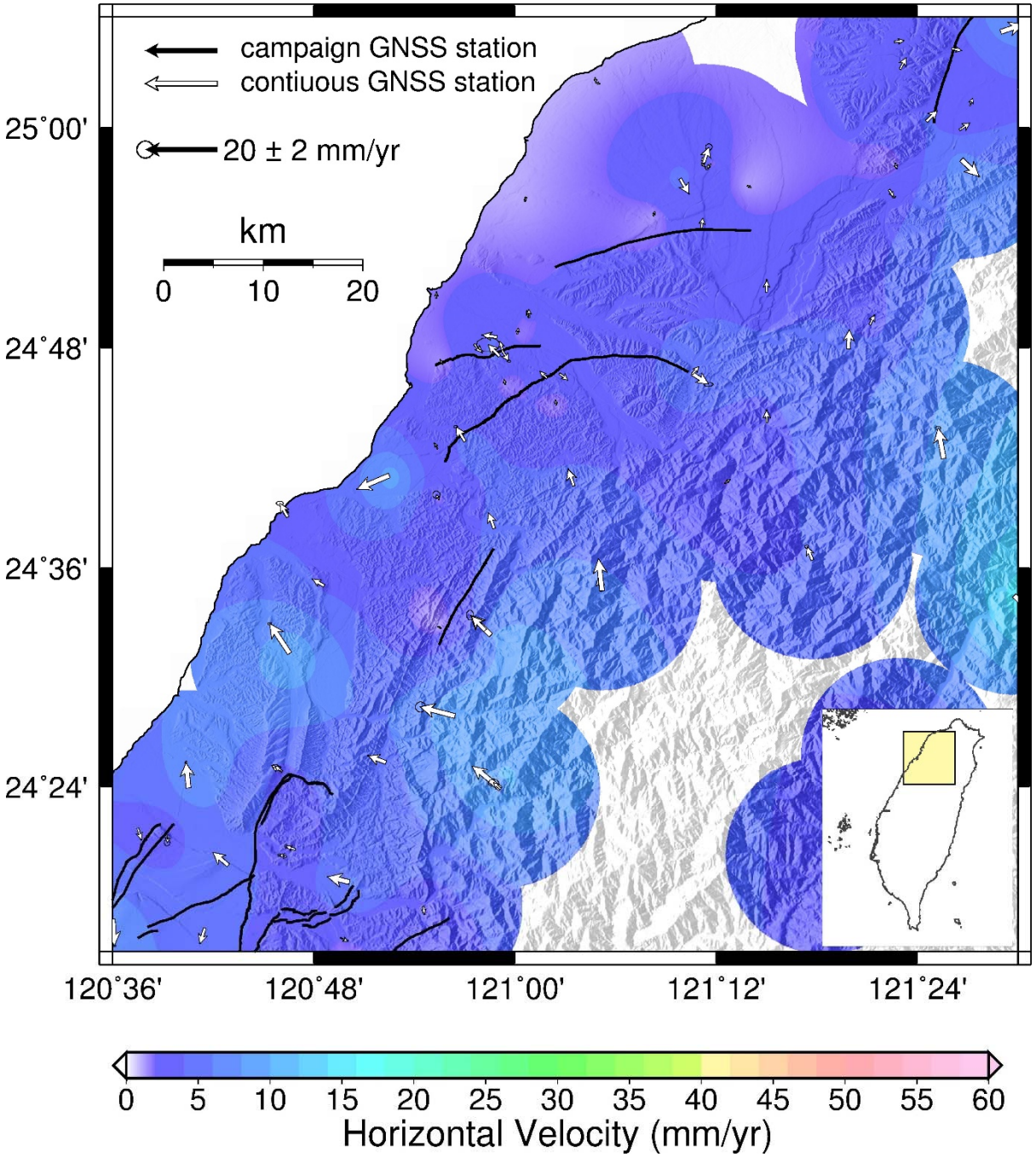


圖 5. 15：桃竹苗地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場。彩色色階為 2002 至 2025 年資料所解算之水平方向速度場分布。

Figure 5. 15: GNSS horizontal velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in the Taoyuan, Hsinchu and Miaoli areas. The colored map represents the horizontal velocities from 2002 to 2025.

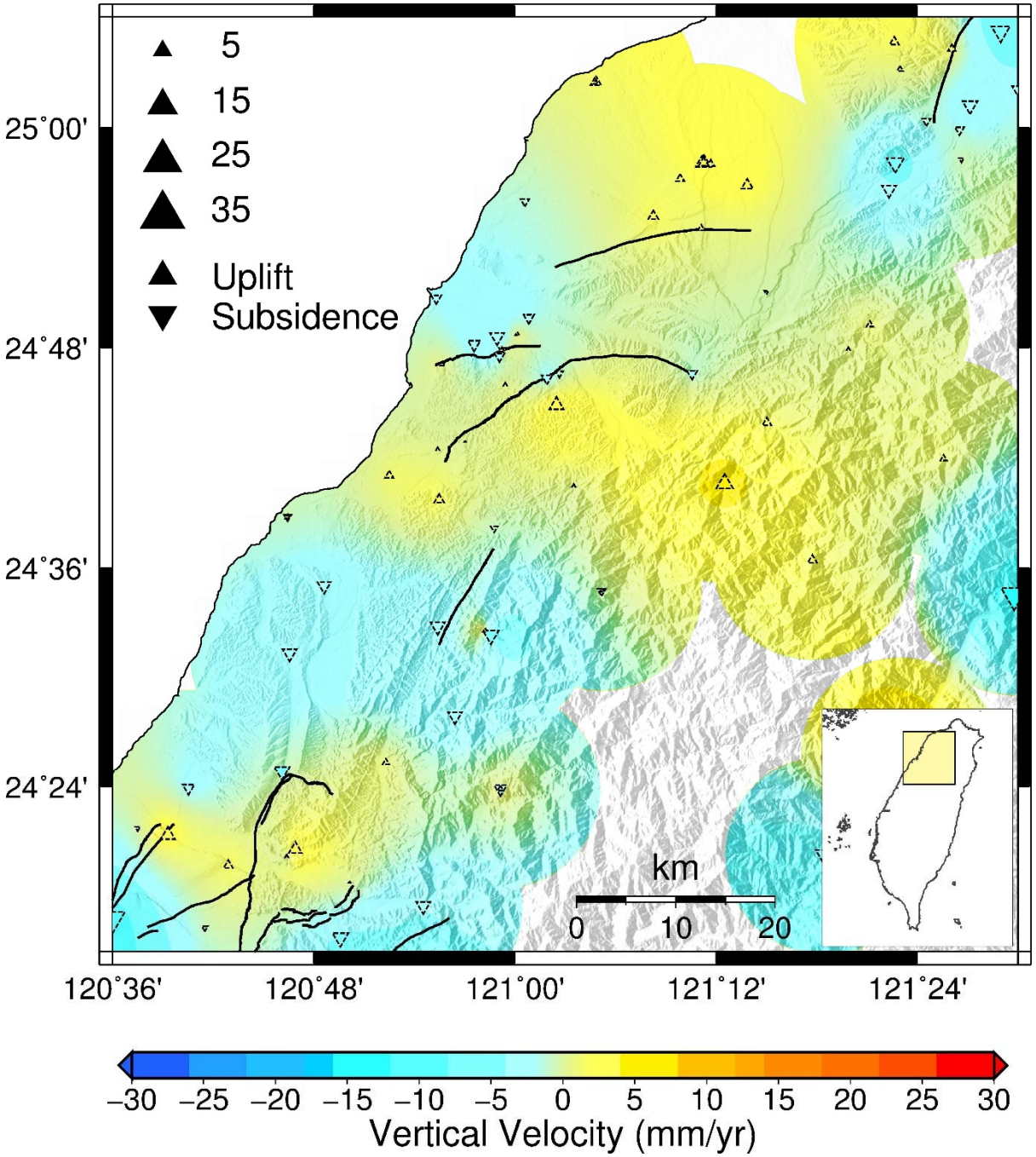


圖 5. 16：桃竹苗地區 2002 至 2025 年相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速度，冷色系表示沉降速度。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示 GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。

Figure 5. 16: GNSS vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in the Taoyuan, Hsinchu and Miaoli areas from 2002 to 2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Campaign-mode GNSS is shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame.

5-1-4-3 中部地區 GNSS 觀測網

中部地區各觀測點位之測站位置如圖 5. 17 所示，各觀測點位相對於 S01R 測站之速度場如圖 5. 18 和圖 5. 19 所示。因 2007 年時間序列可看出有速度轉折，而 2013 年 6 月 ML 6.5 之南投地震與 2022 年 9 月 ML 6.8 的關山-池上地震，改變了本地區之速度場。因此在估算臺灣中部地區速度場時，本研究將速度場區分為：2002-2007 年、2007-2013 年、2013-2022 年以及 2022-2025 年 4 個時間段分別估算速度場。

中部地區各觀測點位之水平速度場如圖 5. 18 所示，由結果可知本區速度大致朝西北向運動，2002-2007 年速度約為 0.8~42.1 mm/yr，2007-2013 年速度約為 0.3~39.0 mm/yr，2013-2022 年速度約為 0.7~39.0 mm/yr，2022-2025 年速度約為 0.2~36.5 mm/yr。

垂直速度場如圖 5. 19，2002-2007 年速度約為 -45.1~12.4 mm/yr，2007-2013 年速度約為 -46.6~13.9 mm/yr，2013-2022 年速度約為 -56.2~12.9 mm/yr，2022-2025 年速度約為 -51.4~9.4 mm/yr。中部地區跨斷層之垂直速度大致以車籠埔斷層為界，以東顯著抬升，以西除局部地區為抬升外，均為沉降。此外，在彰化、雲林地區的平原地區至沿海一帶有相當大的沉陷量，沉降速度最大值約 -56.2 mm/yr；進入南投山區則呈抬升，最大速度可達到約 13.9 mm/yr。

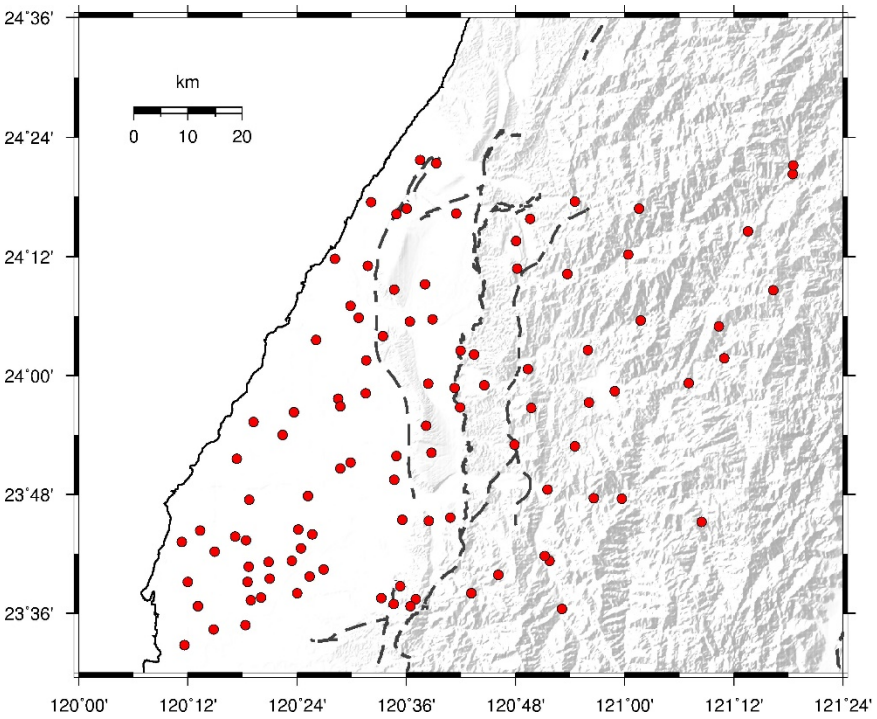


圖 5. 17：中部地區 GNSS 連續站分布情形 Figure 5. 17: Continuous GNSS distribution in central Taiwan.

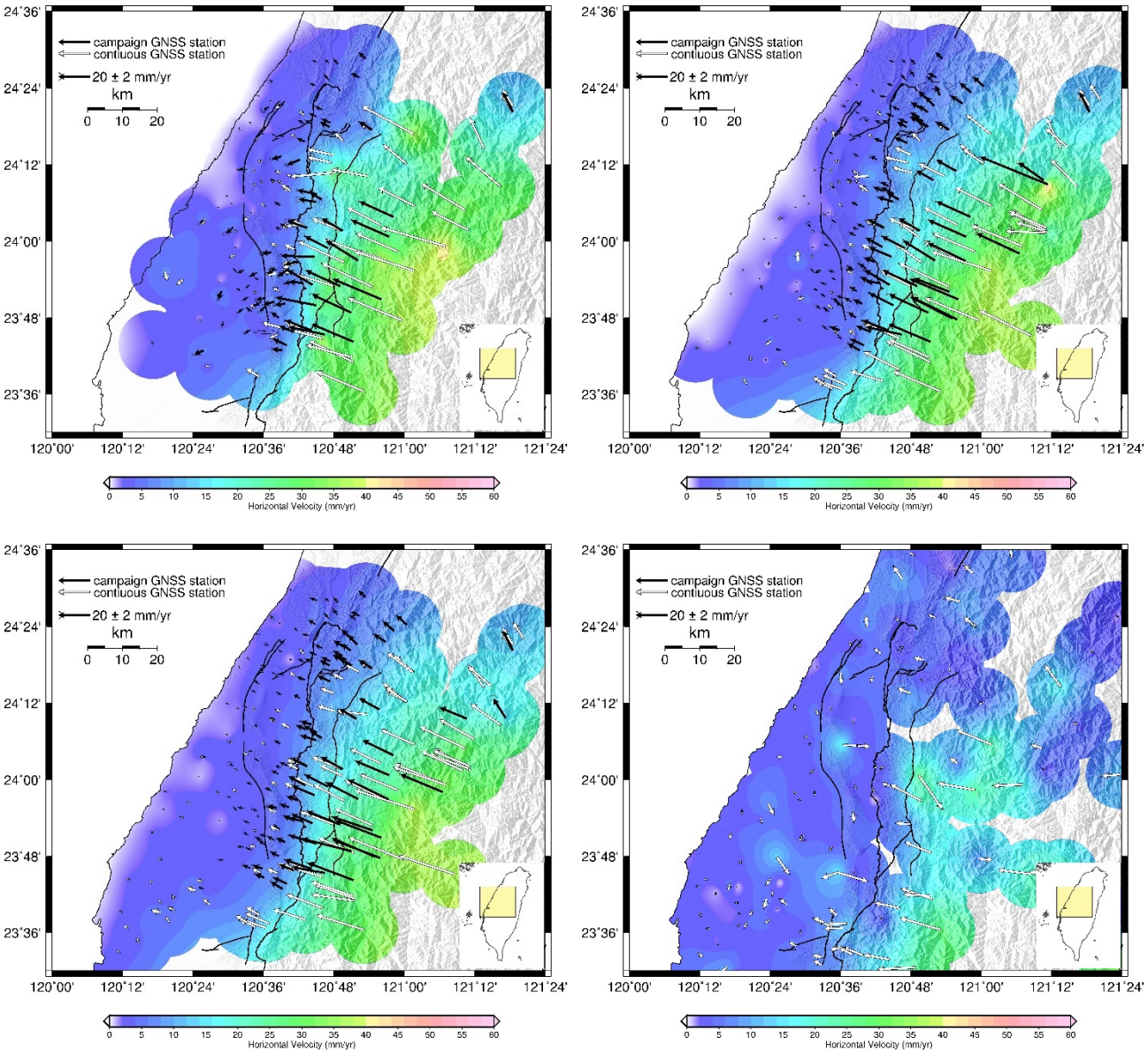


圖 5. 18：中部地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場。左上圖表示 2002-2007 年速度場；右上圖表示 2007-2013 年速度場；左下圖表示震後 2013-2022 年速度場；右下圖表示震後 2022-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之水平方向速度場分布。

Figure 5. 18: GNSS horizontal velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in central Taiwan. The top left figure is the velocity field from 2002-2007; the top right one is from 2007-2013; the bottom left is from 2013-2022 and the bottom right is from 2022-2025. The color ramp represents the horizontal velocity.

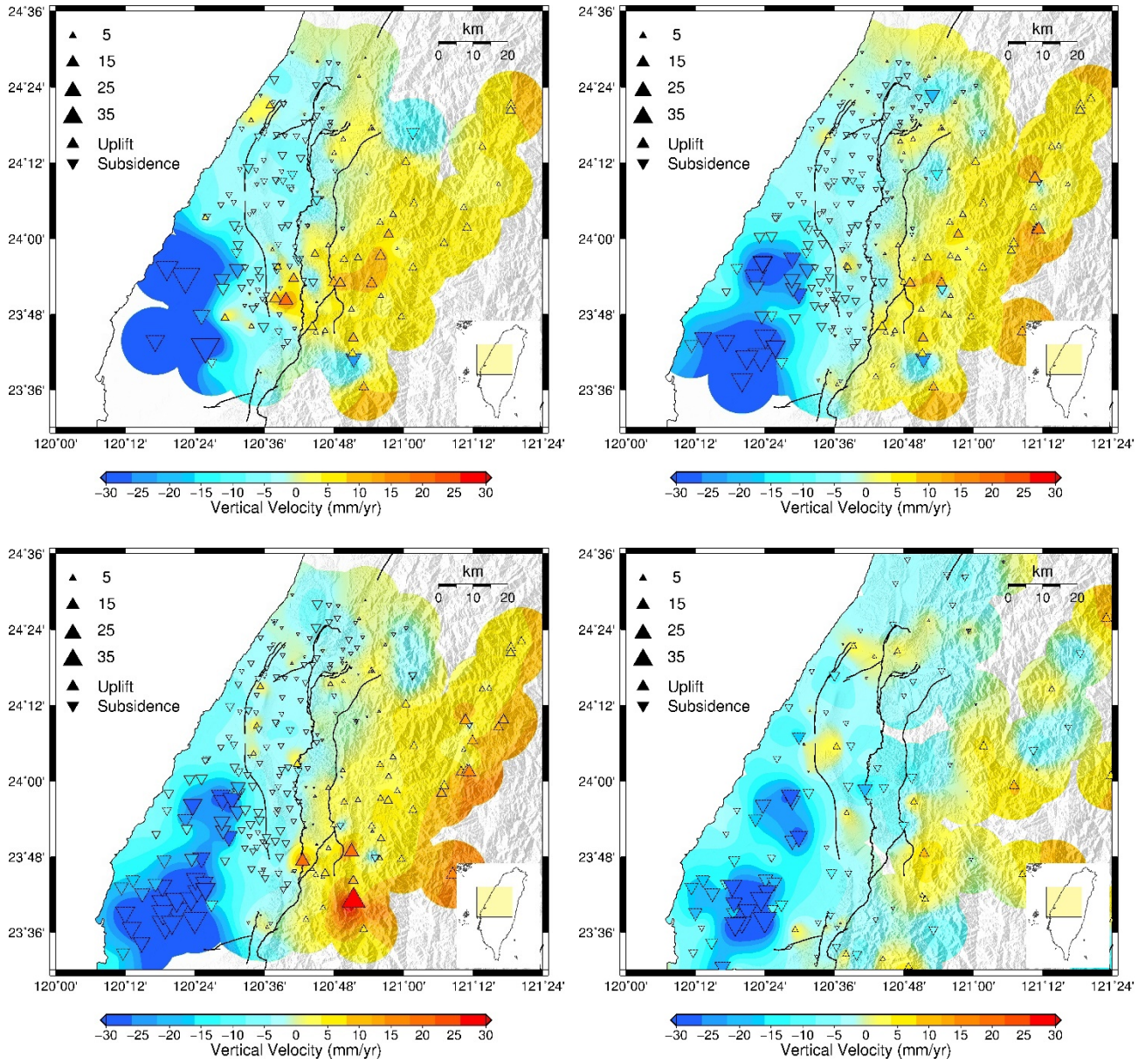


圖 5. 19：中部地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場。左上圖表示 2002-2007 年速度場，右上圖表示 2007-2013 年速度場，左下圖表示震後 2013-2022 年速度場，右下圖表示震後 2022-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速率，冷色系表示沉降速率。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示 GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。

Figure 5. 19: GNSS vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in central Taiwan. The top left figure is the velocity field from 2002-2007; the top right one is from 2007-2013; the bottom left is from 2013-2022 and the bottom right is from 2022-2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Campaign-mode GNSS is shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame.

5-1-4-4 高屏地區 GNSS 觀測網

高屏地區各觀測點位之測站位置如圖 5. 20 所示，各觀測點位相對於 S01R 測站之速度場如圖 5. 21 和圖 5. 22 所示。受 2010 年甲仙地震、2016 年美濃地震以及 2022 年關山-池上地震的影響，本研究將速度場區分為：2002-2010 年、2010-2016 年、2016-2022 年以及 2016-2025 年 4 個時間段分別估算速度場。高屏地區的各觀測點位相對於 S01R 測站之水平速度場（圖 5. 21）結果顯示自山區到海岸平原呈逆時鐘旋轉，速度量值於鳳山丘陵及屏東平原地區最大，平均達 40 mm/yr 以上。在垂直速度場部分（圖 5. 22），高屏地區沿海地區以沉降速度為主，鳳山丘陵與潮州斷層以東之中央山脈地區則以抬升為主。

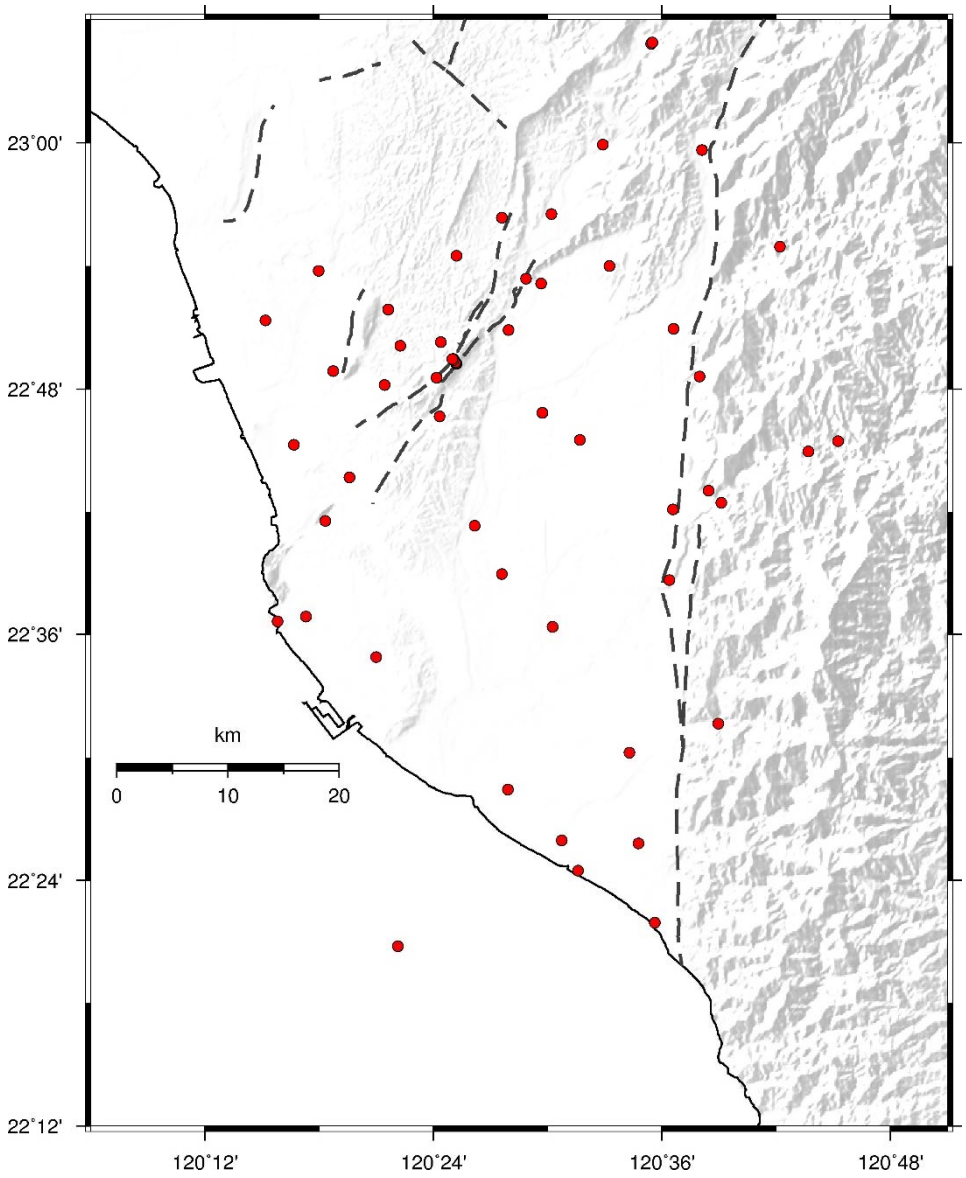


圖 5. 20：高屏地區 GNSS 連續站分布情形

Figure 5. 20: Continuous GNSS distribution in Kaohsiung and Pingtung areas.

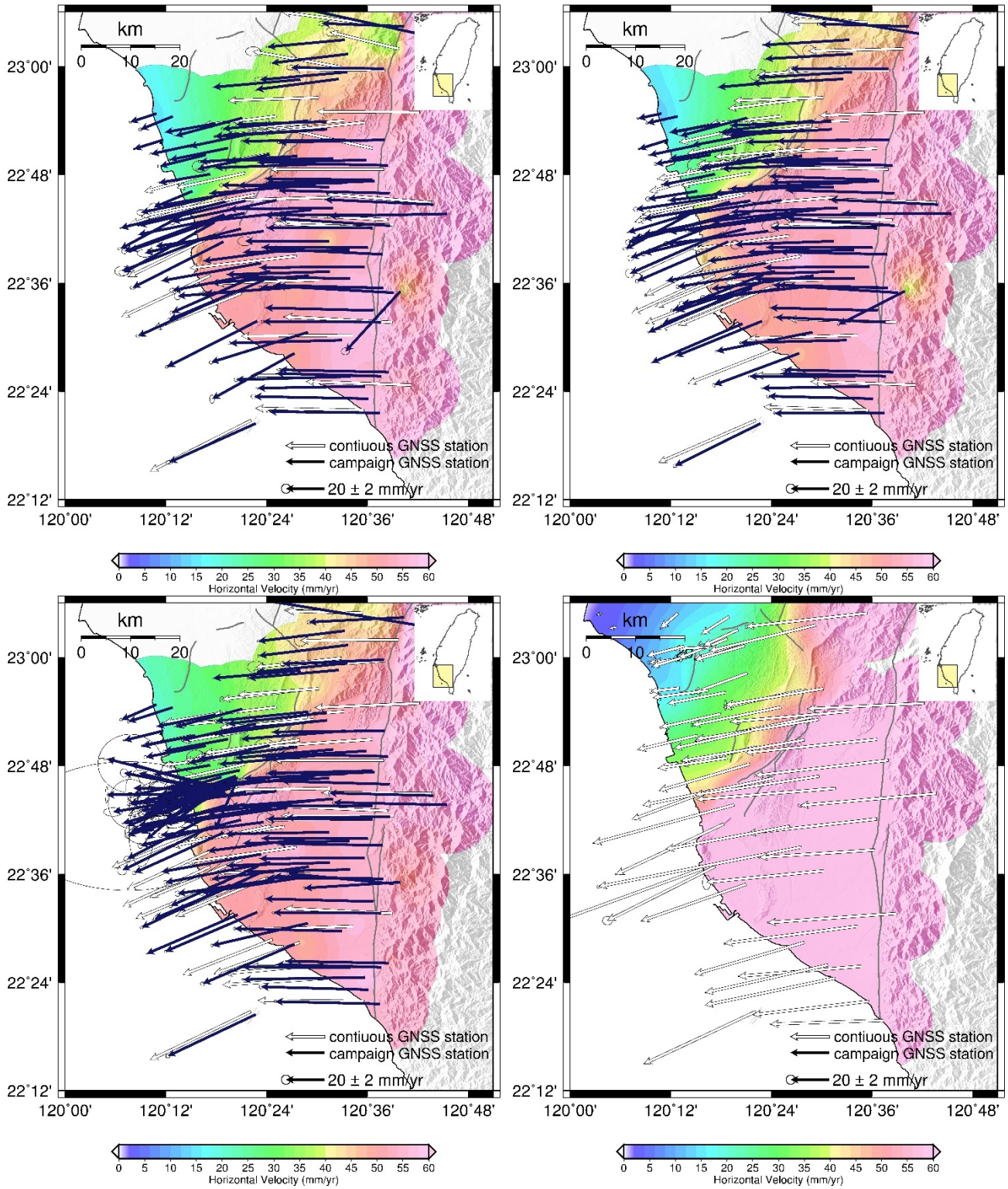


圖 5. 21：高屏地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場。左上圖表示 2002-2010 年速度場；右上圖表示震後 2010-2016 年速度場；左下圖表示震後 2016-2022 年速度場；右下圖表示震後 2022-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之水平方向速度場分布。

Figure 5. 21: GNSS horizontal velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Kaohsiung and Pingtung areas. The top left figure is the velocity field from 2002-2010; the top right one is from 2010-2016; the bottom left is from 2016-2022 and the bottom right is from 2022-2025. The color ramp represents the horizontal velocity.

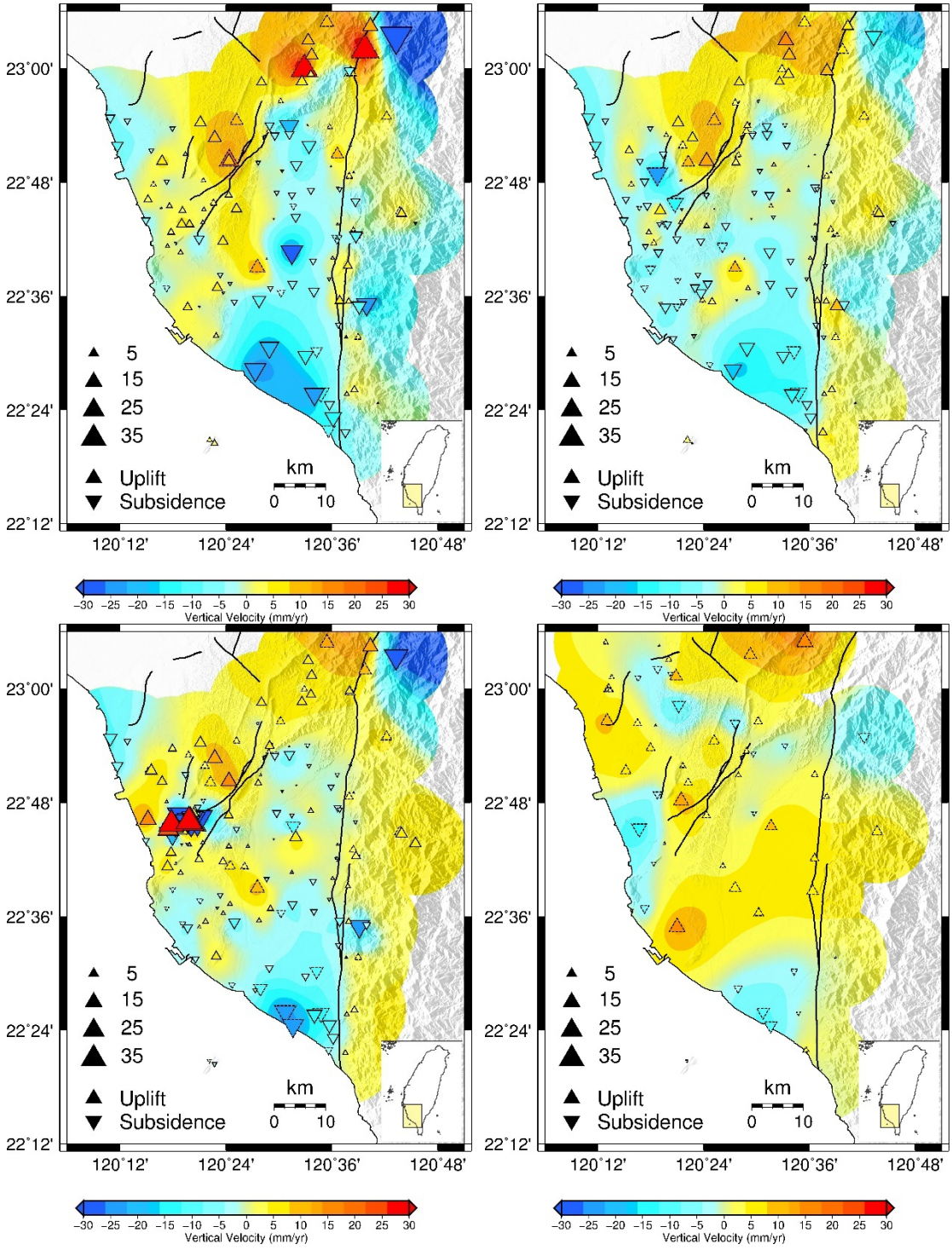


圖 5. 22：高屏地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場。左上圖表示 2002-2010 年速度場，右上圖表示震後 2010-2016 年速度場，左下圖表示震後 2016-2022 年速度場，右下圖表示震後 2022-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速度，冷色系表示沉降速度。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示 GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。

Figure 5. 22: GNSS vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Kaohsiung and Pingtung areas. The top left figure is the velocity field from 2002-2010; the top right one is from 2010-2016; the bottom left is from 2016-2022 and the bottom right is from 2022-2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Campaign-mode GNSS is shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame.

5-1-4-5 恆春地區 GNSS 觀測網

恆春地區各觀測點位之測站位置如圖 5. 23 所示，各觀測點位相對於 S01R 測站之速度場如圖 5. 24、圖 5. 25 所示。恆春地區受 2006 年屏東外海地震、2022 年關山−池上地震以及速度變化的影響，本研究將速度場區分為 2002-2006 年、2006-2010 年、2010-2016 年、2016-2022 年以及 2022-2025 年 5 個時間段分別估算速度場。

恆春地區各個觀測點位之水平速度場如圖 5. 24 所示，大抵朝西、西北位移，平均位移量達 40 mm/yr 以上。垂直速度場如圖 5. 25 所示，整體在 2010 年以前為沉降，僅零星地區呈現抬升，但在 2010 年以後，整體轉為抬升為主，尤以西側的恆春西臺地更為顯著。

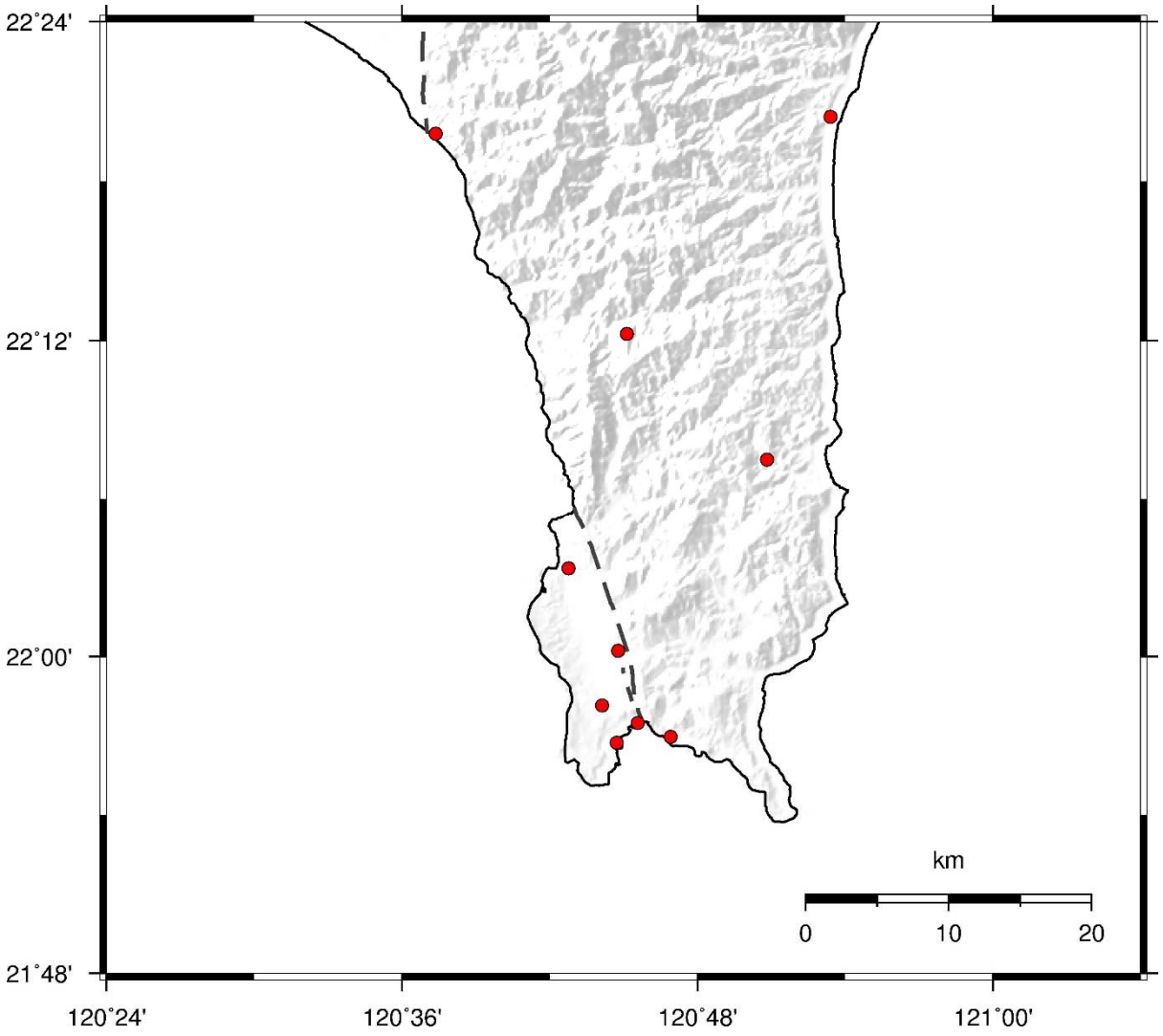


圖 5. 23：恆春地區 GNSS 連續站分布情形

Figure 5. 23: Continuous GNSS distribution in Hengchun area.

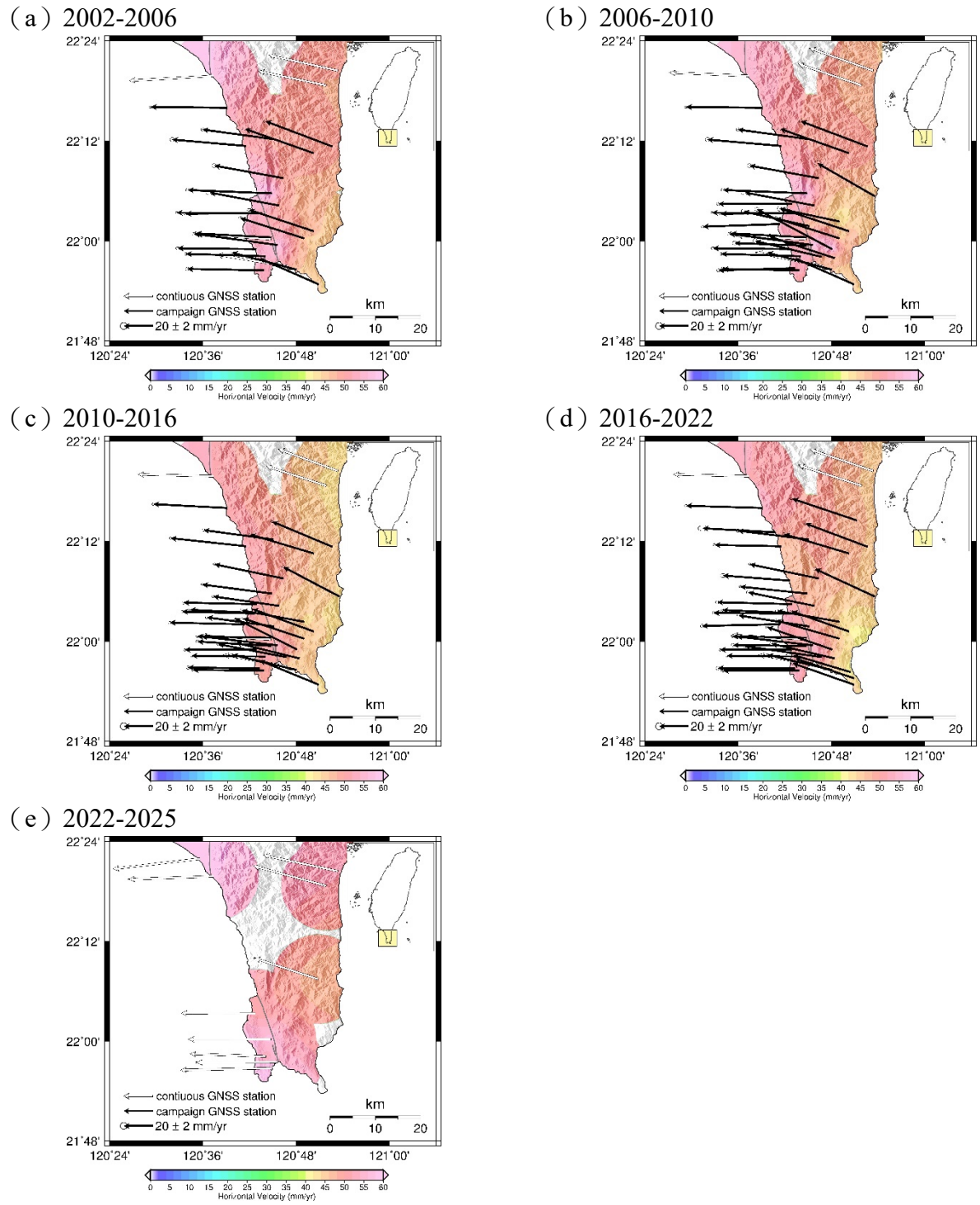


圖 5. 24：恆春地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場。(a) 為 2002-2006 年速度場；(b) 為震後 2006-2010 年速度場；(c) 為 2010-2016 年速度場；(d) 為 2016-2022 年速度場；(e) 為震後 2022-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之水平方向速度場分布。

Figure 5. 24: GNSS horizontal velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Hengchun area. Figure (a) is the velocity field from 2002-2006, (b) 2006-2010, (c) 2010-2016, (d) 2016-2022, (e) 2022-2025. The color ramp represents the horizontal velocity.

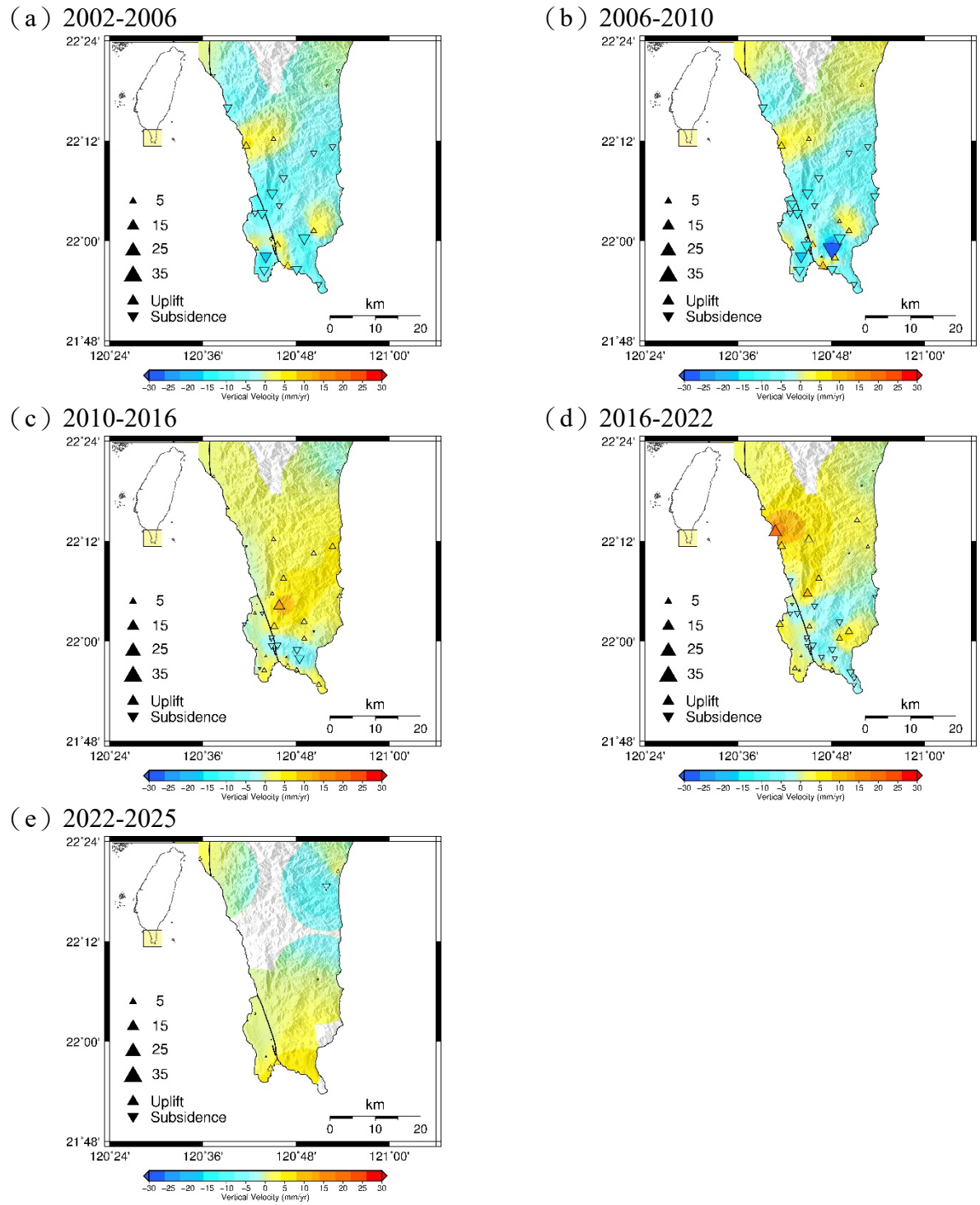


圖 5. 25：恆春地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場。(a）為 2002-2006 年速度場；(b）為震後 2006-2010 年速度場；(c）為 2010-2016 年速度場；(d）為 2016-2022 年速度場；(e）為震後 2022-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速度，冷色系表示沉降速度。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示 GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。

Figure 5. 25: GNSS vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Hengchun area. Figure (a) is the velocity field from 2002-2006, (b) 2006-2010, (c) 2010-2016, (d) 2016-2022, (e) 2022-2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Campaign-mode GNSS is shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame.

5-1-4-6 宜蘭地區 GNSS 觀測網

宜蘭地區各觀測點位之測站位置如圖 5. 26 所示，各觀測點位相對於 S01R 測站之速度場如圖 5. 27、圖 5. 28 所示。受 2022 年關山-池上地震的影響，本研究將速度場區分為 2004-2022 年以及 2022-2025 年 2 個時間段分別估算速度場。水平速度場顯示大抵向東南方移動，並呈順時鐘方向旋轉（圖 5. 27）；垂直速度場如圖 5. 28 所示，2004 至 2025 年在蘭陽平原垂直方向大致為沉陷，其沉陷量由北至南先增加後再減少，往南至南澳亦呈現沉陷。

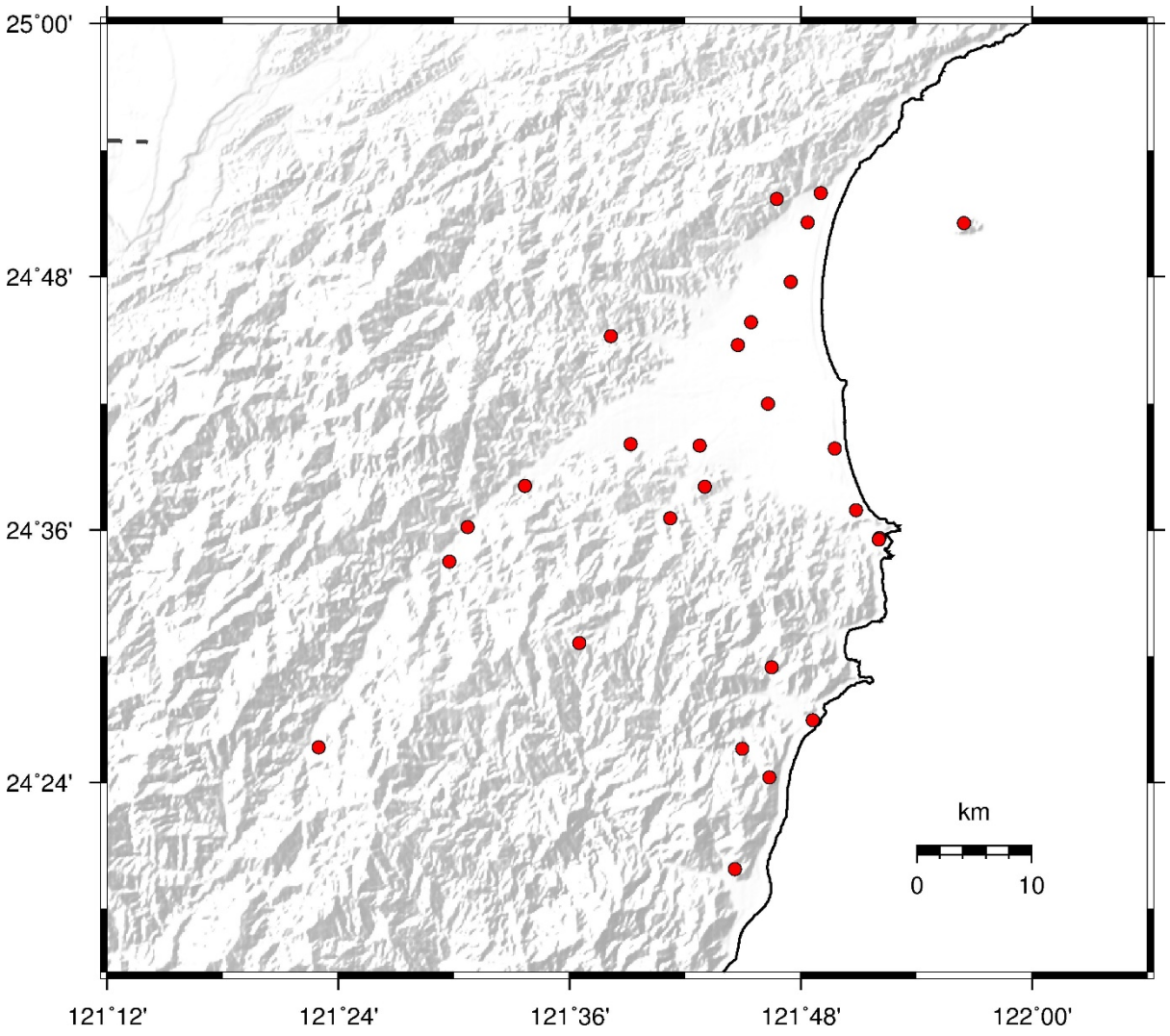


圖 5. 26：宜蘭地區 GNSS 連續站分布情形

Figure 5. 26: Continuous GNSS distribution in Yilan area.

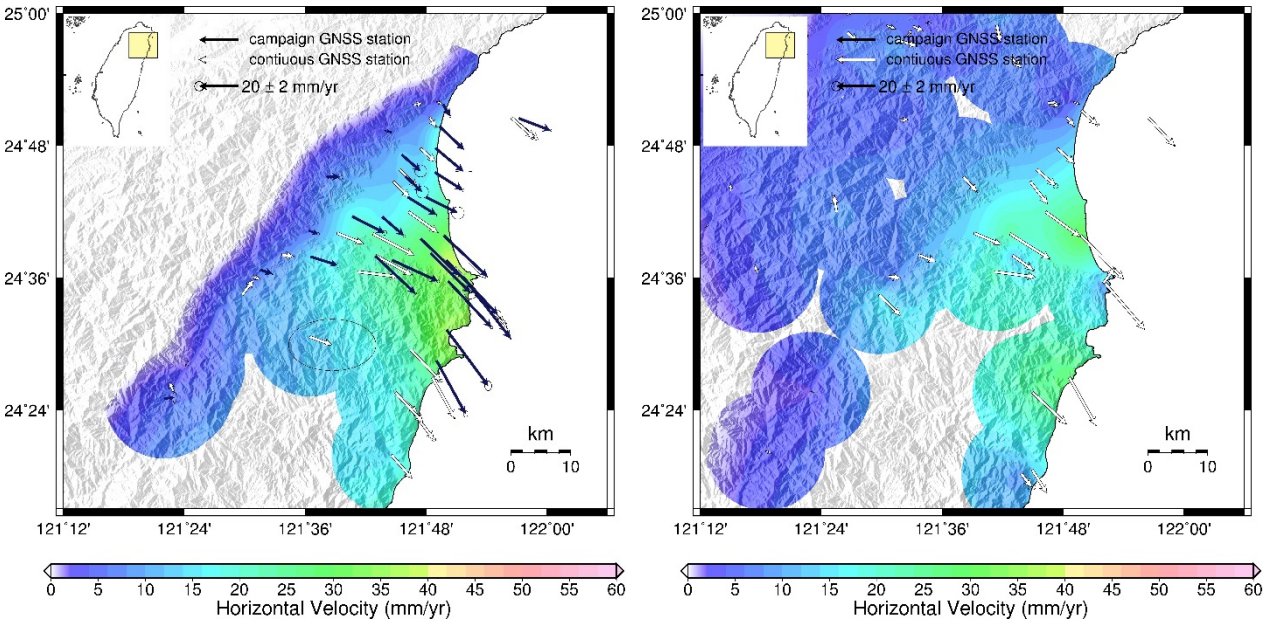


圖 5.27：宜蘭地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場。左圖表示 2004-2022 年速度場；右圖表示震後 2022-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之水平方向速度場分布。

Figure 5. 27: GNSS horizontal velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Yilan area. The left figure is the velocity field from 2004-2022, and the right one is from 2022-2025. The color ramp represents the horizontal velocity.

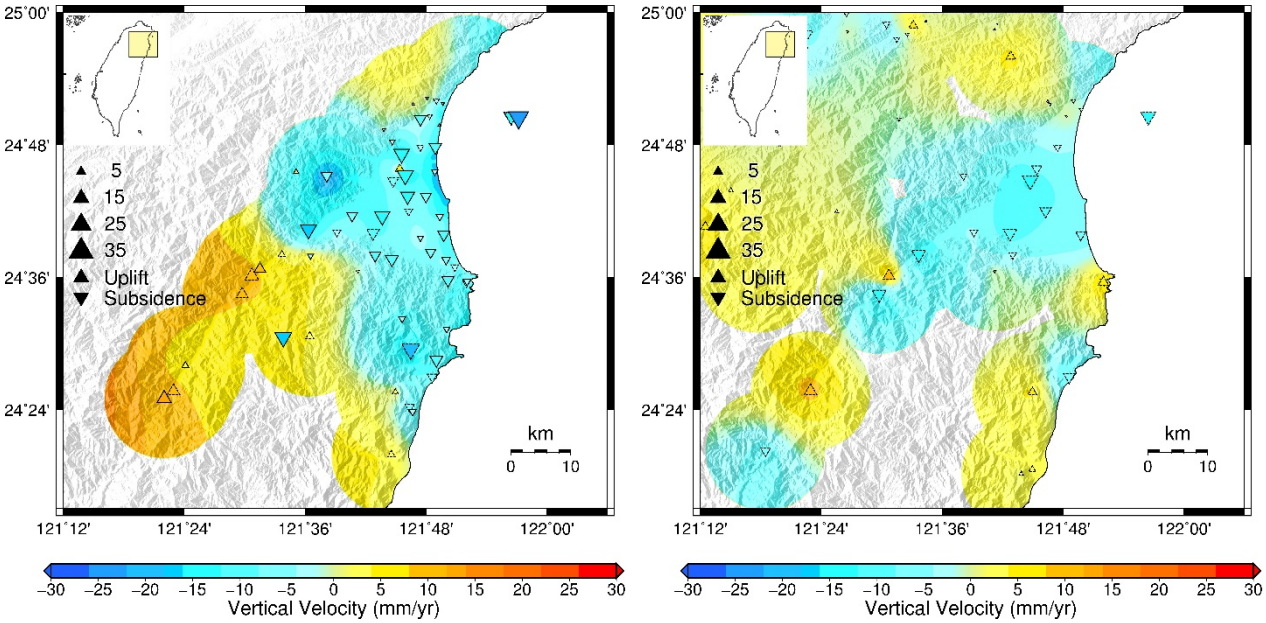


圖 5.28：宜蘭地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場。左圖表示 2004-2022 年速度場，右圖表示震後 2022-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速度，冷色系表示沉降速度。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示 GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。

Figure 5. 28: GNSS vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Yilan area. The left figure is the velocity field from 2004-2022, and the right one is from 2022-2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Campaign-mode GNSS is shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame.

5-2 GNSS 移動站資料檢核、解算與分析

5-2-1 本年度（2025 年）GNSS 移動站抽樣檢核

本年度至 10 月為止，GNSS 移動站部分嘉南（含臺南）（0121 大埔地震）地區於 2 月 3 至 14 日完成 121 個點位施測，臺北地區於 3 月 24 至 29 日完成 60 個點位施測，恆春地區於 4 月 7 日至 10 日完成 20 個點位施測，桃竹苗地區於 5 月 19 日至 24 日完成 52 個點位施測，高屏（含橋頭）地區於 7 月 14 日至 23 日完成 79 個點位施測，中部地區於 8 月 18 日至 31 日完成 94 個點位施測、花東地區於 9 月 15 日至 21 日完成 62 點位施測，宜蘭地區於 9 月 9 日、10 月 1 日至 3 日完成 23 個點位施測，共計完成 511 個 GNSS 移動站點施測（圖 5. 29）。

根據測量外業檢核規範要求，GNSS 移動站測量全臺灣分為 8 個地區，每區抽樣至少 2 站以上之 GNSS 移動站數量進行檢測。檢核採取靜態測量方式觀測，同一個測點連續觀測 6 小時以上。檢核成果計算採用研究用軟體 Bernese 5.2、配合 IGS 精密星曆解算，重複基線須小於 5 mm + 0.2 ppm × L（基線長：公尺）。

本年度因時程規劃，資料檢核月份為 7 至 10 月，檢核作業須配合 GNSS 移動站施測時程。由於 GNSS 移動站測量自 7 月份為高屏（含橋頭）地區、8 月份為中部地區、9 月份為花東地區、10 月份為宜蘭地區，因此本計畫將在以上 4 分區實際觀測時間之後，每區抽樣至少 2 站以上之 GNSS 移動站數量進行檢測。GNSS 移動站檢核截至 10 月為止已完成高屏（含橋頭）、中部、花東、宜蘭地區測量外業檢核，高屏（含橋頭）地區於 7 月 31 日完成 4 個點位施測檢核，中部地區於 8 月 20 日完成 5 個點位施測檢核，花東地區於 9 月 18 日完成 4 個點位施測檢核，宜蘭地區於 10 月 8 日完成 5 個點位施測檢核（表 5. 1、圖 5. 29）。

表 5. 1：GNSS 移動站施測與檢核時間表

Table 5. 1: Schedule of campaign-mode GNSS surveying, supervising and validation.

測量月份	點位數量	地區	檢核點數	中興測量	檢核結果細項說明
				施測日期	檢核日期
2	121	嘉南（含臺南）（0121 大埔地震）	-	2025/2/3~2025/2/14	-
3	60	臺北	-	2025/3/24~2025/3/29	-
4	20	恆春	-	2025/4/7~2025/4/10	-
5	52	桃竹苗	-	2025/5/19~2025/5/24	-
7	79	高屏（含橋頭）	4	2025/7/14~2025/7/23	2025/7/31
8	94	中部	5	2025/8/18~2025/8/31	2025/8/20
9	62	花東	4	2025/9/15~2025/9/21	2025/9/18
10	23	宜蘭	5	2025/9/9 2025/10/1~2025/10/3	2025/10/8

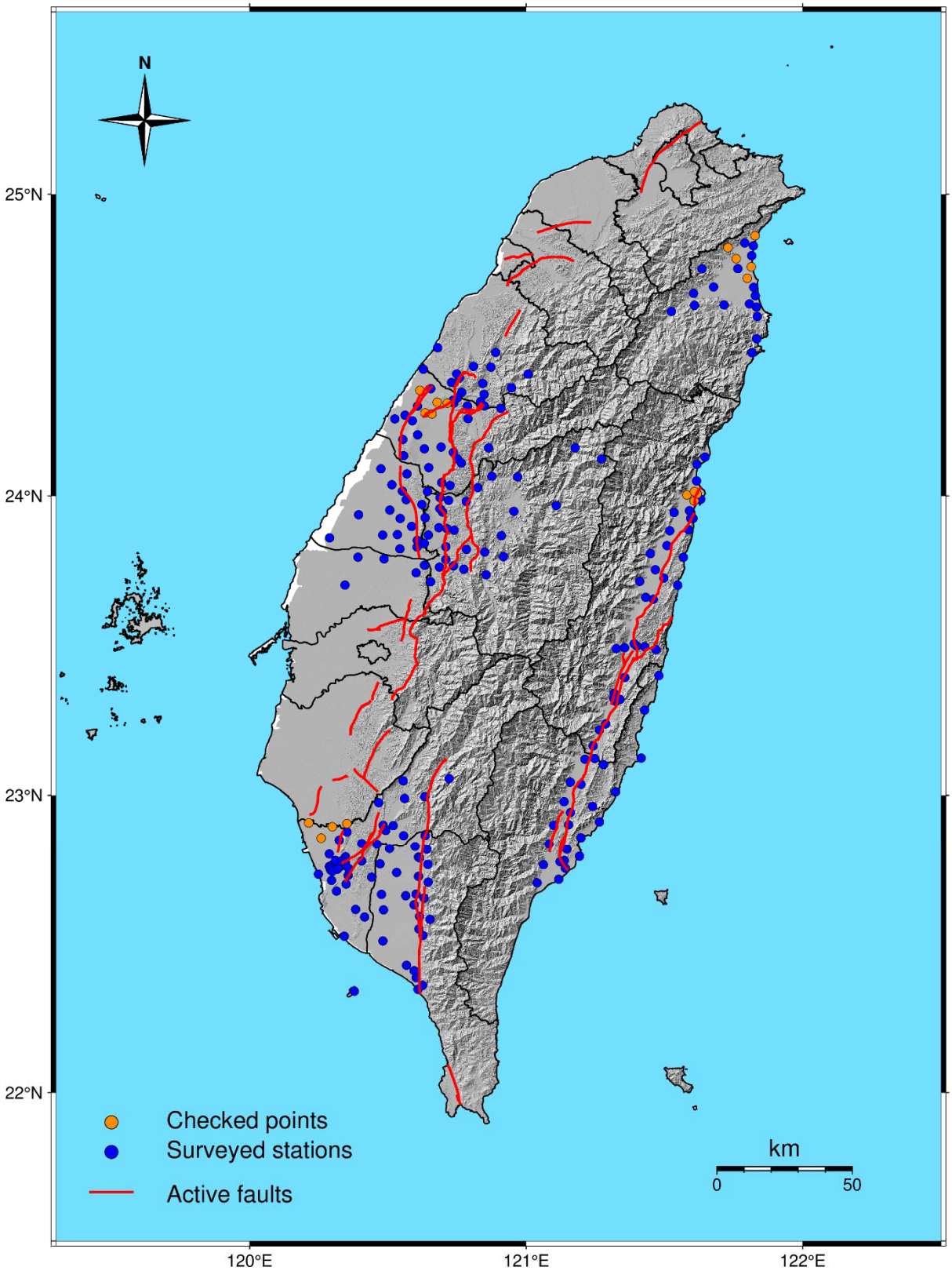


圖 5. 29：已完成施測的 GNSS 移動站與檢核點位分布圖。藍色圓圈為施測站點，橘色圓圈為檢核站點。

Figure 5. 29: Distribution of surveyed campaign-mode GNSS stations and check points. Blue circles are surveyed stations. Orange circles are checked points.

高屏（含橋頭）地區共有 79 個移動站點，本年度於此區選擇 4 個點位進行檢核，共有 6 條基線。本區 6 條基線之長度落在 5,534 m 至 14,196 m，基線差規範值在 6.1 mm 至 7.8 mm 之間，計算後的基線差在 0.1 mm 至 5.3 mm 間，此區測量結果皆符合規範。

中部地區共有 94 個移動站點，本年度於此區選擇 5 個點位進行檢核，共有 10 條基線。本區 10 條基線之長度落在 2,510 m 至 11,083 m，基線差規範值在 5.5 mm 至 17.3 mm 之間，計算後的基線差在 0.5 mm 至 7.2 mm 間，此區測量結果皆符合規範。

花東地區共有 62 個移動站點，本年度於此區選擇 4 個點位進行檢核，共有 6 條基線。本區 6 條基線之長度落在 1,296 m 至 3,787 m，基線差規範值在 5.6 mm 至 6.8 mm 之間，計算後的基線差在 0.8 mm 至 5.7 mm 間，此區測量結果皆符合規範。

宜蘭地區共有 23 個移動站點，本年度於此區選擇 5 個點位進行檢核，共有 10 條基線。本區 10 條基線之長度落在 4,409 m 至 15,823 m，基線差規範值在 6.0 mm 至 10.9 mm 之間，計算後的基線差在 0.4 mm 至 8.2 mm 間，此區測量結果皆符合規範。

5-2-2 GNSS 移動站資料解算流程與坐標精度分析

在 GNSS 移動站資料解算中，與解算 GNSS 連續站資料時相同，本計畫同樣採用 GipsyX 軟體求解各測站之坐標。由於存在環境變化和隨機誤差，造成 GNSS 坐標時間序列會呈現離散跳動的型態，因此本計畫採用坐標殘差與均方根誤差分析兩種方式來查核資料計算結果的穩定性。坐標殘差（residual）分析在測量學中稱為外部誤差，是將各站每次測量所獲得之坐標觀測值與擬合曲線上之坐標計算值相減，將所獲得之坐標殘差值進行統計。在理想狀況下，若坐標計算成果為穩定的，殘差值會近乎為零；均方根誤差（RMS error）分析在測量學中稱為內部誤差，為針對各個測站每次坐標解算時產生的均方根誤差量進行統計。

本年度因時程規劃，僅針對重要區域（東部地區）以及發生大地震（1 月 21 日嘉義大埔地震）之嘉南地區進行資料解算與分析工作。

根據嘉南（含臺南）和花東地區之 GNSS 移動站監測成果，其坐標殘差之分布情形如圖 5. 30 所示，2002 至 2025 年 E 方向殘差值之 95%信賴區間約為 0.05±9.9 mm，N 方向為 -0.01±8.4 mm，U 方向為 0.13±27.1 mm。而 2002 至 2025 年平面坐標均方根誤差平均值為 9.0 mm，高程坐標的均方根誤差平均值為 27.3 mm（圖 5. 31）。

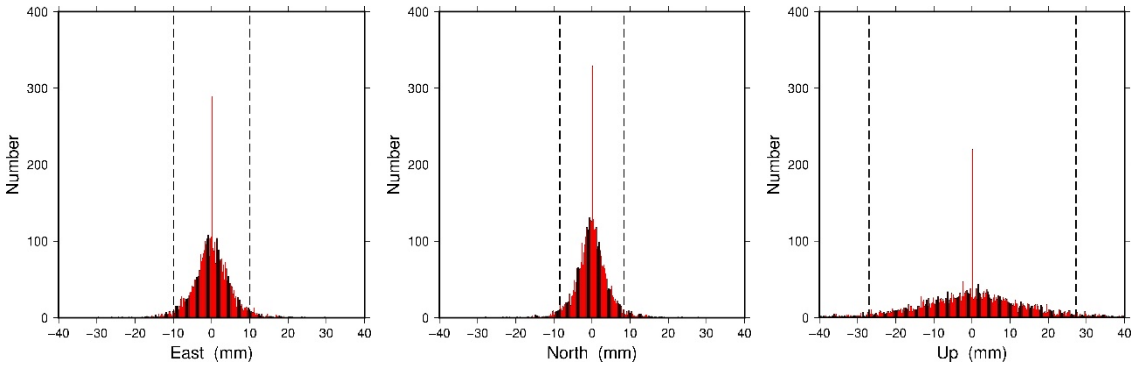


圖 5. 30：2002 至 2025 年 10 月 GNSS 移動站點位坐標殘差分布圖，虛線表示 95%信賴區間範圍。

Figure 5. 30: GNSS coordinates residuals during 2002 to October 2025. The dash lines indicate 95% confidence interval.

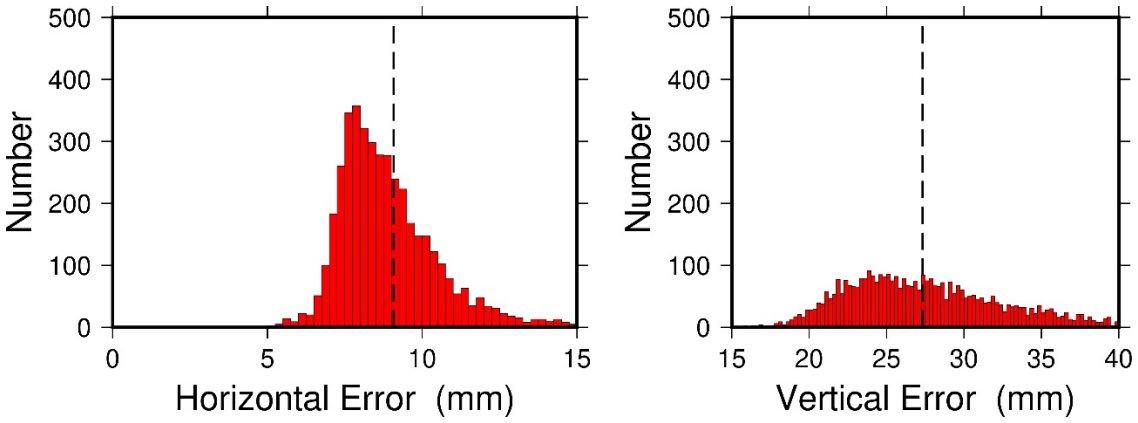


圖 5. 31：2002 至 2025 年 10 月 GNSS 移動站點位均方根誤差分布圖，虛線表示 95%信賴區間範圍。

Figure 5. 31: GNSS RMS error during 2002 to October 2025. The dash lines indicate the average.

5-2-3 GNSS 移動站坐標時間序列擬合與可靠度分析

5-2-3-1 嘉南地區 GNSS 觀測網

本節針對今年已完成測量之嘉南地區觀測資料進行分析，已完成 GNSS 移動站共 121 個站點施測與分析（圖 5.32）。透過高時間解析度之 GNSS 連續站每日解算成果資料，可以顯示出測站周圍區域地表運動型態，也就是透過分析 GNSS 連續站資料，取得最可靠之速度場。移動站監測網之設置資料在完成解算後、進行速度場分析前，為檢核速度解算成果之可靠度，本計畫以相隔距離小於 2 公里為原則，選定站點並比較移動站與該地區連續站解算結果的坐標時間序列。

本計畫挑出 2 組 GNSS 移動站與連續站位置相近的測站進行時間序列結果比較（圖 5.33、圖 5. 34）。這 2 組測站對分別為 GNSS 移動站 G390 及連續站 GS88（圖 5. 33）與 GNSS 移動站 G392 及連續站 SHWA（圖 5. 34），藉由移動站與該地區連續站解算結果之坐標時間序列比對可知，移動站與連續站解算成果速度場分布趨勢吻合。

受 2010 年甲仙地震、2016 年美濃地震以及 2022 年關山−池上地震的影響，本研究將速度場區分為：2002-2010 年、2010-2016 年、2016-2022 年以及 2022-2025 年 4 個時間段分別估算速度場。嘉南地區各觀測點位之速度場如圖 5. 35 和圖 5. 36，相對於 S01R 測站，嘉南地區的水平運動方向由南而北呈順時針旋轉，而越往嘉南平原其水平速度量值則越小。雲林沿海一帶沉降速度最大達到 -30.0 mm/yr，推測與超抽地下水導致地層下陷有關，而嘉義地區在沿海一帶的垂直沉降速度也達到 -15.0 至 -25.0 mm/yr，進入嘉南地區的山區則有超過約 3.0 mm/yr 的抬升速度。臺南地區之沿海亦呈現約 -10.0 mm/yr 之平均沉陷速度，山區則有超過約 7.0 mm/yr 的抬升速度。

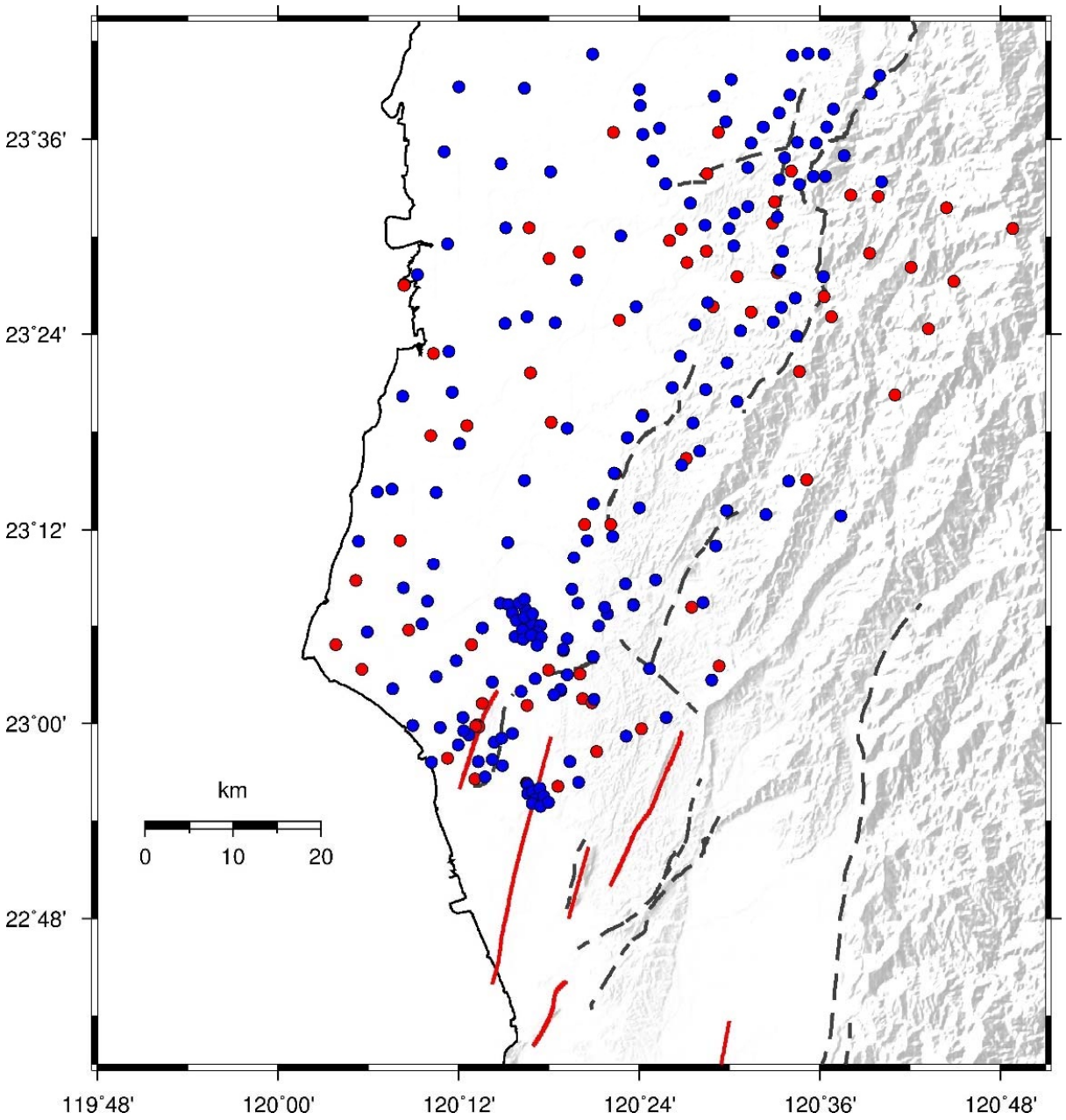


圖 5. 32：嘉南地區 GNSS 連續及移動測站分布情形，紅色圓形為連續站，藍色圓形則為移動站。

Figure 5. 32: GNSS distribution in Chiayi and Tainan areas. Red circles are continuous GNSS stations and blue circles are campaign-mode GNSS stations.

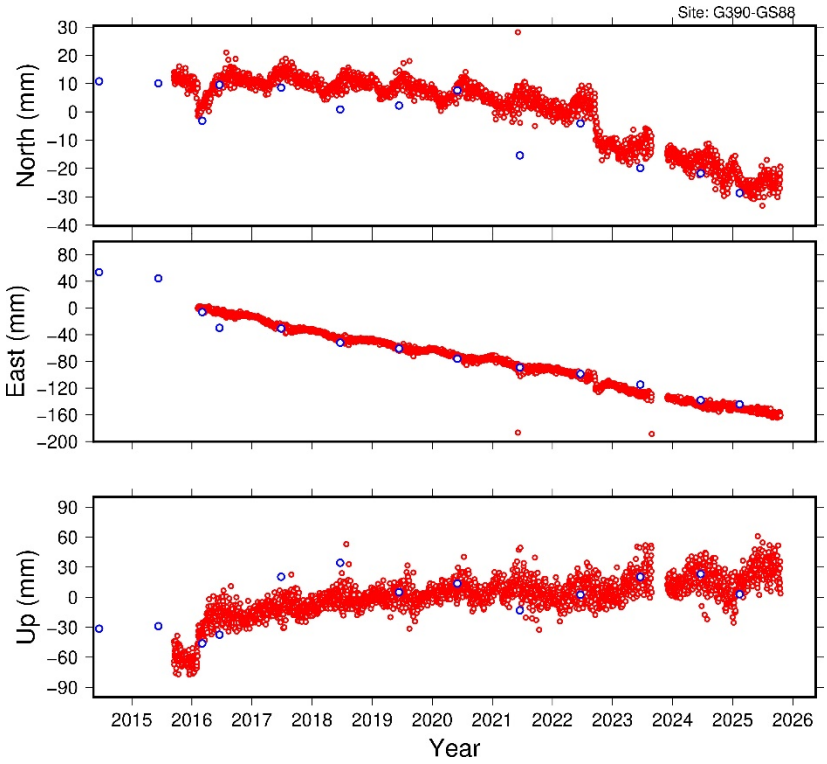


圖 5. 33：移動站 G390 與連續站 GS88 之時間序列比較。藍色圓圈為移動站之時間序列，紅色圓圈為連續站之時間序列。

Figure 5. 33: Time series comparison between campaign-mode GNSS station G390 (blue circles) and continuous GNSS station GS88 (red circles).

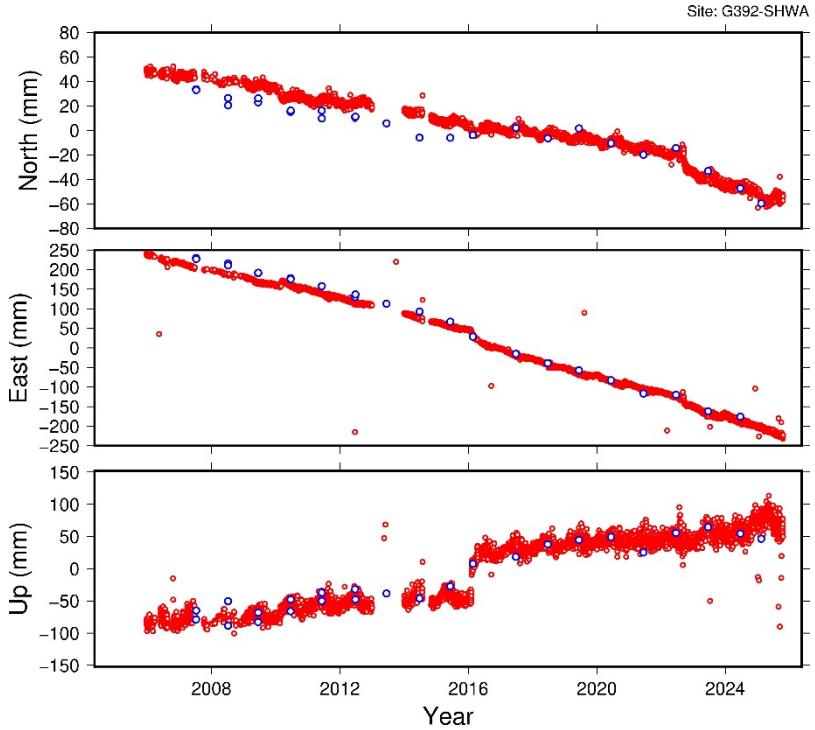


圖 5. 34：移動站 G392 與連續站 SHWA 之時間序列比較。藍色圓圈為移動站之時間序列，紅色圓圈為連續站之時間序列。

Figure 5. 34: Time series comparison between campaign-mode GNSS station G392 (blue circles) and continuous GNSS station SHWA (red circles).

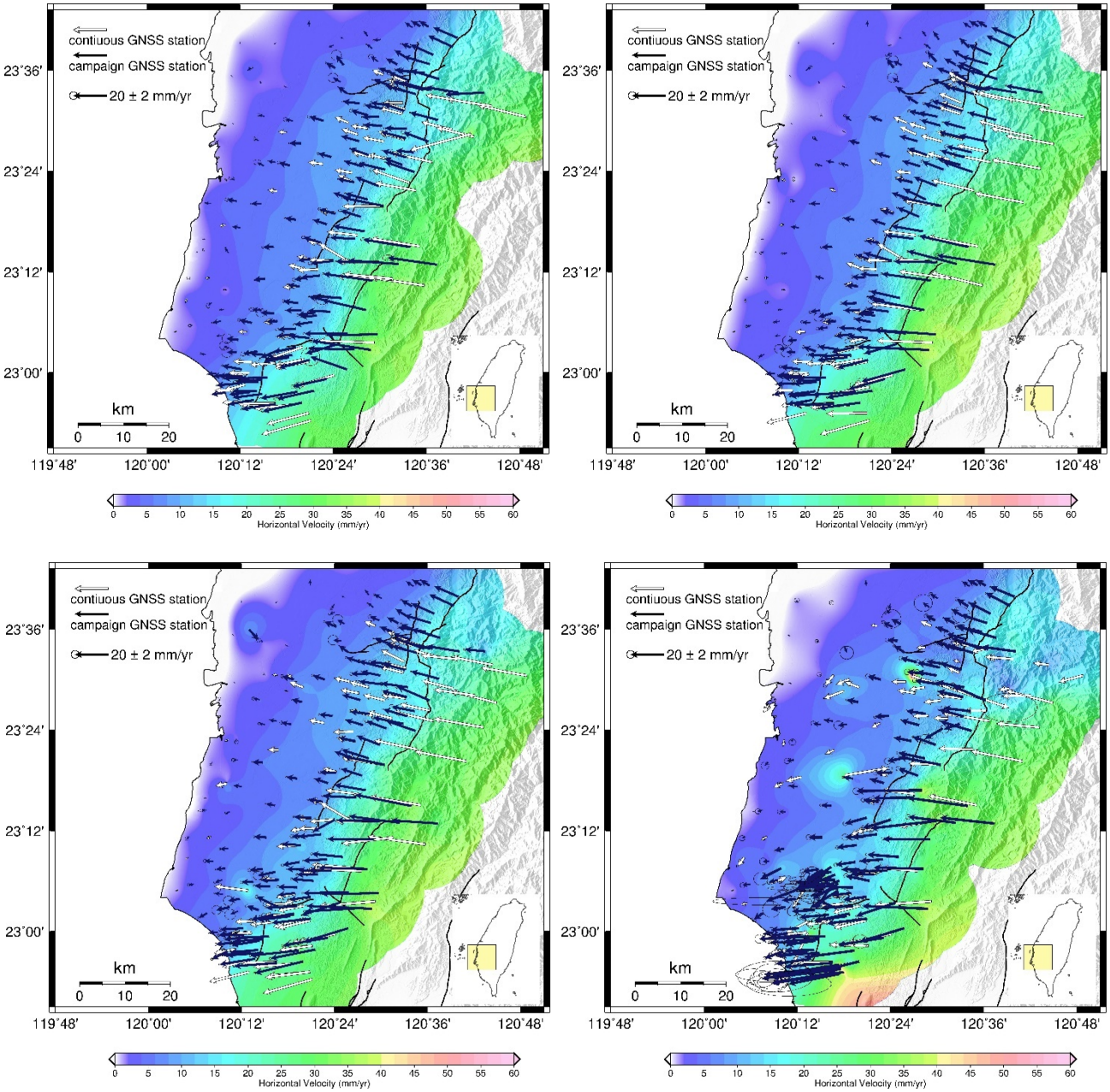


圖 5. 35：嘉南地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 水平方向速度場。左上圖表示 2002-2010 年速度場；右上圖表示震後 2010-2016 年速度場；左下圖表示震後 2016-2022 年速度場；右下圖表示震後 2022-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之水平方向速度場分布。黑色箭號為 GNSS 移動站速度場，白色箭號為 GNSS 連續站速度場。

Figure 5. 35: GNSS horizontal velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Chiayi and Tainan areas. The top left figure is the velocity field from 2002-2010; the top right one is from 2010-2016; the bottom left is from 2016-2022 and the bottom right is from 2022-2025. The color ramp represents the horizontal velocity. Black arrows denote the campaign-mode GNSS velocities and the white arrows are continuous GNSS velocities.

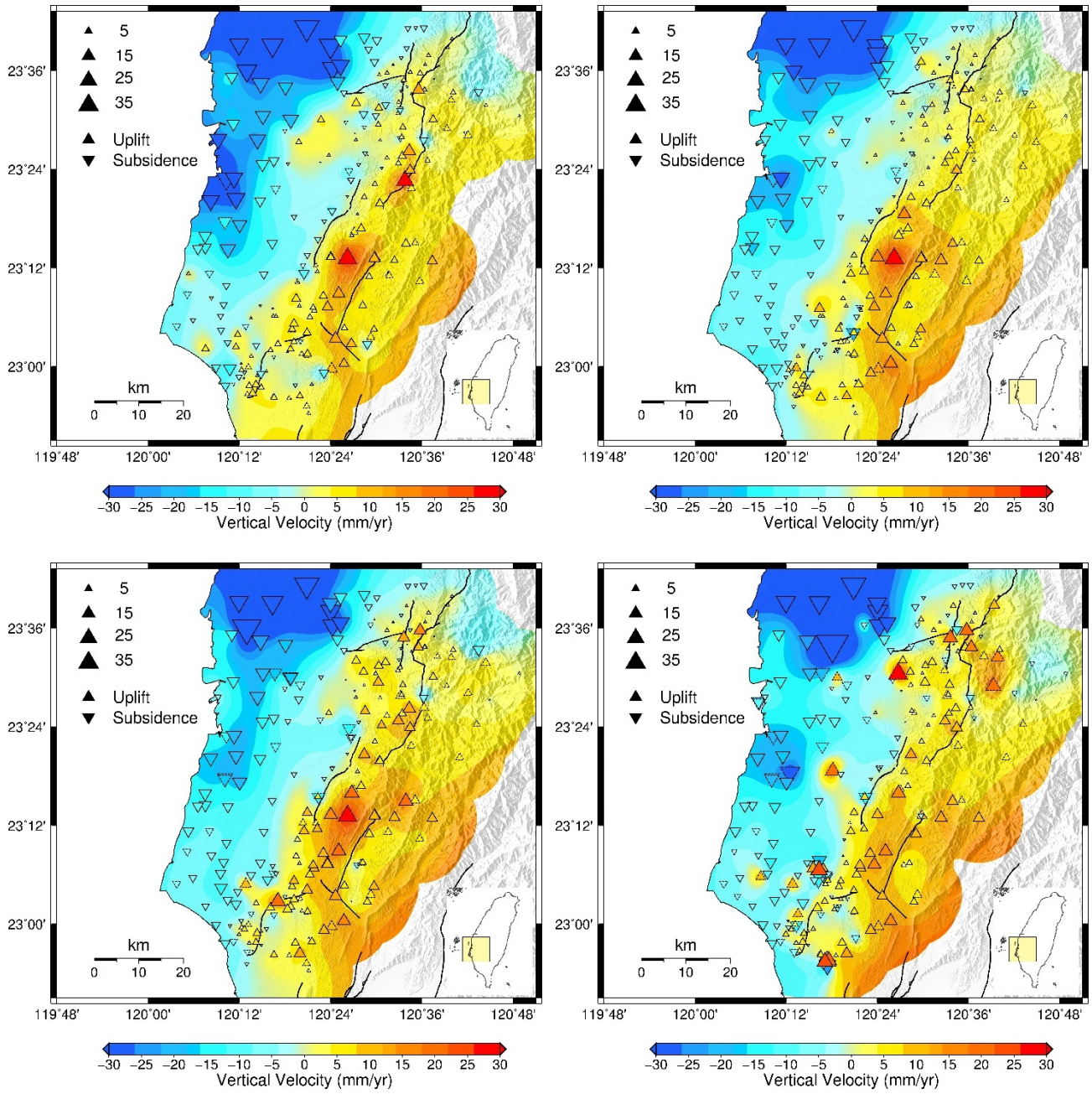


圖 5. 36：嘉南地區相對於澎湖白沙站（S01R）之 GNSS 垂直方向速度場。左上圖表示 2002-2010 年速度場，右上圖表示震後 2010-2016 年速度場，左下圖表示震後 2016-2022 年速度場，右下圖表示震後 2022-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速度，冷色系表示沉降速度。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示 GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。

Figure 5. 36: GNSS vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Chiayi and Tainan areas. The top left figure is the velocity field from 2002-2010; the top right one is from 2010-2016; the bottom left is from 2016-2022 and the bottom right is from 2022-2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Campaign-mode GNSS is shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame.

5-3 精密水準測量資料檢核、解算與分析

5-3-1 精密水準測量資料檢核

2025 年 10 月前所獲得共計 1,038 個測段，其往返閉合差均合乎內政部九十年度編印之「一等水準測量作業規範」。其中，測段往返閉合差絕對值小於 2.0 mm 以下者，有 1,017 個測段（圖 5. 37，左圖），佔所有測段比例之 98.0 %；考慮與測段距離的關係後（Bomford, 1985），每公里觀測精度小於 2.0 mm 者有 1,030 個測段，佔所有測段比例之 99.2 %（圖 5. 37，右圖）。顯示外業觀測品質相當穩定可靠。

本年度因時程規劃，資料檢核月份為 7 至 10 月，檢核作業須配合精密水準施測時程，並依本年度實際有施測，且需求說明書、契約書有載明之 5 條水準測線（表 1. 4，包含：02_士林−三芝、03_淡水−士林、06_新屋−童話世界、11_龍井−太平、39_光復−豐濱測線）進行檢核（水準測線編號以紅色字體標示於圖 5. 38）。

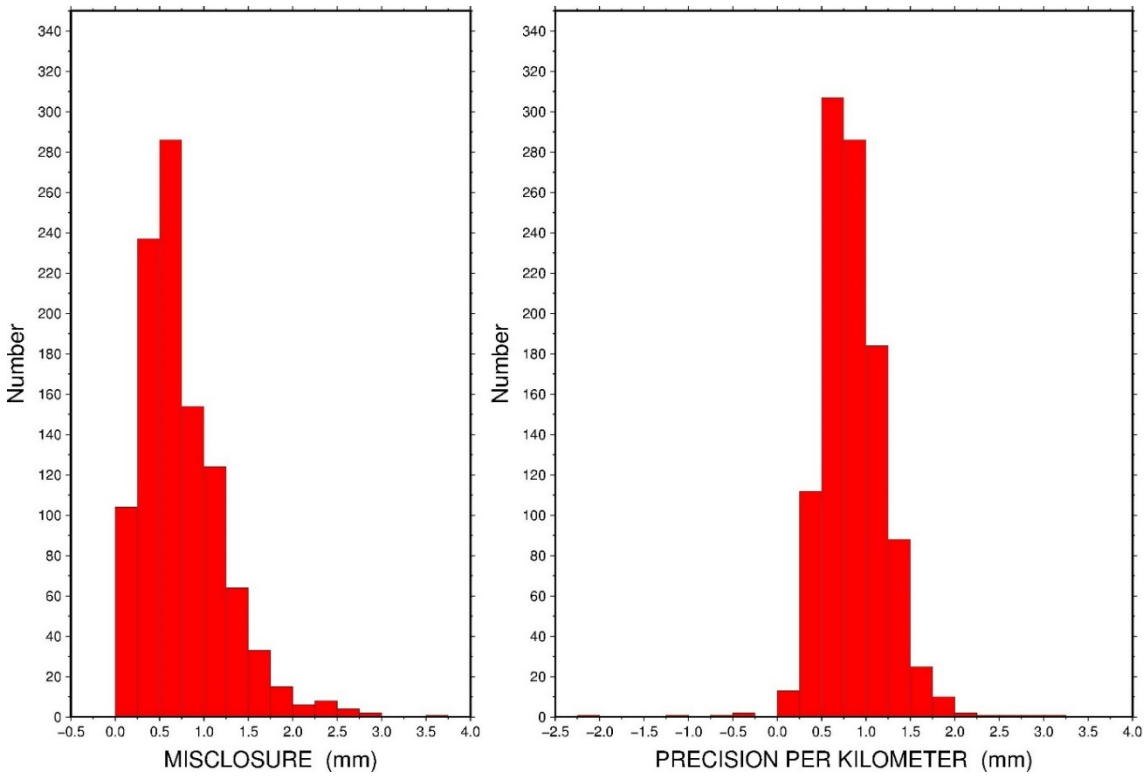


圖 5. 37：精密水準測量結果分析圖。紅色柱狀為 0.25 mm 數字間隔之數量統計值。（a）左圖為測段往返閉合差之統計結果，最大值在 0.5~0.75 mm 上；（b）右圖為考慮與測段距離的關係後之每公里觀測精度，最大值在 0.5~0.75 mm 上。

Figure 5. 37: Diagram of precise leveling data. Red column is the amount of 0.25 mm statistics value. (a) The error of closure, maximum is around 0.5~0.75 mm. (b) Observation accuracy of every kilometer, maximum is around 0.5~0.75 mm.

5-3-2 精密水準測量資料解算與精度分析

水準測量是獲得高精度相對高程的測量方法。水準測量誤差來源分為儀器誤差、觀測誤差及受外界因素影響的自然誤差。按其影響的性質則分為偶然誤差(隨機誤差)和系統誤差兩類。對系統誤差而言，有些可通過選線或觀測的安排加以消除或減弱（許榮欣和高書屏，1996)。在精密水準測量中，最常注意的系統誤差包括有：(1）視準軸誤差、(2）折射誤差、(3）地球曲率改正、(4）水準尺溫度改正、(5）水準尺刻劃改正與（6）正高改正。這些系統誤差在嚴格的精密測量程序中，如：規定往返測必須在不同的環境中進行、相鄰兩測站採用不同之觀測次序、每測段的總測站為偶數等方法，均可消除一些系統性誤差的影響。然而，縱使依照如此嚴格的觀測程序，最後仍會存有部分的系統誤差必須依靠儀器之校準與修正模式來消除或降低（劉啟清，1986)。這些系統誤差的修正方法，主要參照 Ching et al.（2011）使用的方式。其中，因為本研究分析水準資料的目的在於求取垂直速度場，在此計算過程中，正高改正量會因為是定值而被移除掉，所以不進行正高改正的系統誤差修正。

就精密水準的測量成果而言，採與 GNSS 移動站相同之方法來擬合水準坐標時間序列，推估精密水準資料之垂直速度場。由於精密水準獲得之高程坐標為相對高程值，會受到參考點高程設定之不同而變化。此外參考點坐標時間序列的穩定性，也會因誤差傳播的效應，影響其他水準點位之速度精度。因此，本計畫會先測試不同參考點之時間序列穩定性，挑選最佳之參考點來計算該測線之相對垂直速度場。然而，在討論水平速度場時，根據 Yu et al.（1997）的建議，本計畫水平速度場採用之參考站為澎湖白沙 S01R 站。因此，為了讓臺灣地表速度場有統一的參考點，且澎湖白沙站相對於地心也確實近乎不動，本計畫採用以下的策略，重新計算各水準垂直速度場相對 S01R 測站之速度值。首先，假設 GNSS 連續站與水準點共點，則兩者之垂直速度差異，即是兩個速度場參考點的速度差異，因此可直接將水準垂直速度場修正至相對 S01R 測站之速度值。若該水準測線上並無和 GNSS 連續站共點之水準點，我們可以合理地假設，如果 GNSS 連續站和水準點位間的距離越接近，則兩者的垂直速度將越一致。因此，本計畫會尋找距離水準點位最接近且坐標時間序列較穩定的 GNSS 連續站，假設該站與其最近之水準點為共點，來進行速度場參考站之轉換，獲得相對於測站 S01R 的垂直速度場（圖 5.38)，惟部分 GNSS 連續站因架設時間較晚且該地區發生速度變化，因此僅在較穩定之區域約制該共點站速度。

本年度因時程規劃，僅針對重要區域（東部地區，包含：39_光復−豐濱測線）以及發生大地震（1 月 21 日嘉義大埔地震）之嘉南地區（包含：20_金湖−瑞峰、28_北門−楠西、29_善化

－關廟、30_安平－龍崎、43_新化－玉井測線）進行資料解算與分析工作，共計有 6 條水準測線（水準測線編號以藍色字體標示於圖 5. 38）。

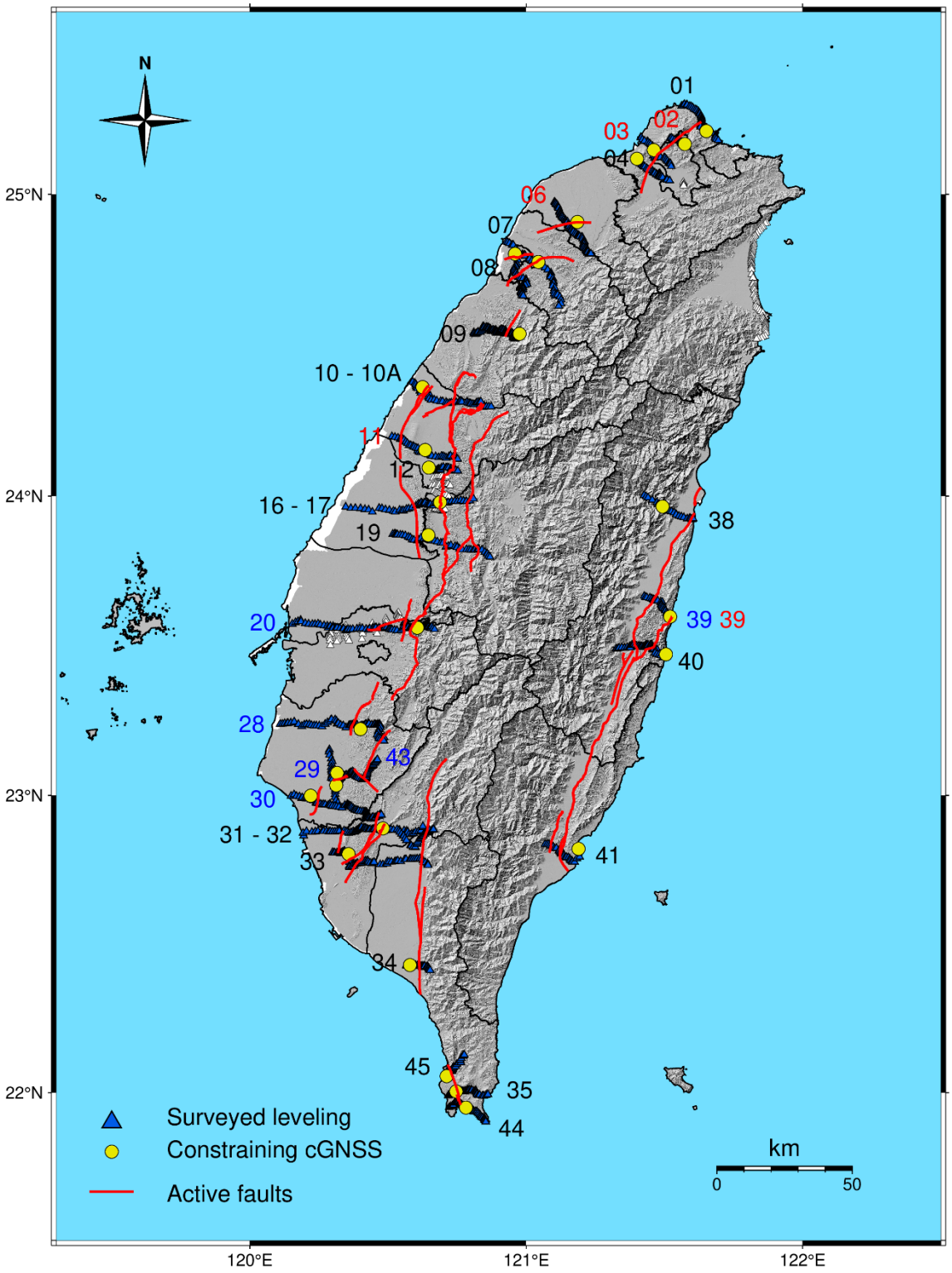


圖 5. 38：精密水準測線與各測線約制之 GNSS 連續站分布圖，黃色點位表示 GNSS 站點位置。

Figure 5. 38: Distribution map of the precise leveling and the GNSS continuous stations which were chose for constraining each surveying line. Yellow circles are the GNSS stations.

5-3-3 嘉南地區精密水準測線

5-3-3-1 金湖至瑞峰測線

金湖至瑞峰測線（水準測線編號 20）橫跨梅山斷層、九芎坑斷層與觸口斷層（圖 5.40），測線長 52.6 公里（投影至剖面的長度）。本測線自 2003 年起至 2025 年間共計有 23 次施測，測量點位與 2024 年相比，經查證後已確認測量樁點 B037（會家厝）、G751（崎仔頂）滅失，無法繼續觀測。各年度之水準施測成果，以累積高程差展示於圖 5.41，即從觀測期間的第 2 年開始，以相鄰兩年之高程差值進行累加，以圖 5.41 中 2025 年的線段為例，代表自觀測起始開始累加至 2024-2025 年之間的高程差值；2024 年則代表累加至 2023-2024 年之間的高程差值，以此類推。

本測線使用 GNSS 連續站 GS17（太平國小）之垂直速度（2.182 mm/yr）作為約制，自 2006 年以來校正 G776（太平國小）相對於 GNSS 測站 S01R 之垂直速度（圖 5. 39），兩站點相距 0.02 公里。

金湖—瑞峰測線之垂直速度大抵以梅山斷層為界，往東呈現抬升，往西則為沉降。最大抬升量值達 5.2 mm/yr，最大沉陷量值達 -25.2 mm/yr（圖 5. 40）。跨梅山斷層後，有逐漸往東抬升的趨勢，九芎坑斷層兩側則有約 2-3 mm/yr 的速度落差；往西跨梅山斷層則逐漸沉降，其中在剖面水平距離約 4-19 公里處出現較顯著的沉降速度（圖 5. 40）與累積下陷趨勢（圖 5. 41），為地層下陷之故。

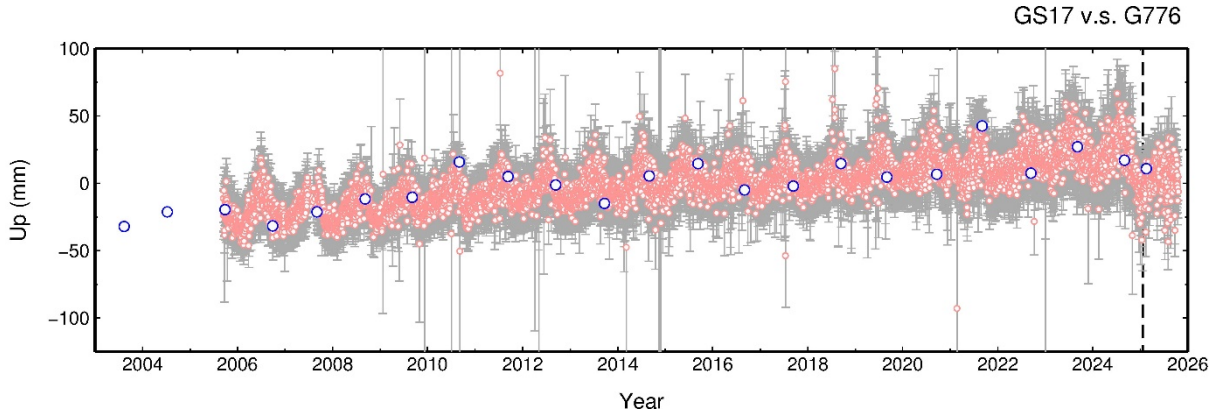


圖 5. 39：金湖至瑞峰測線水準點位 G776 與連續站 GS17 之時間序列比較，兩者相距 0.02 公里。虛線為 2025 年 1 月 21 日大埔地震。

Figure 5. 39: Time series comparison between Jinhu-Ruifeng leveling bench mark G776 and continuous GNSS station GS17. The distance between two stations are 0.02 km. The dashed line is the January 21th 2025 Dapu earthquake.

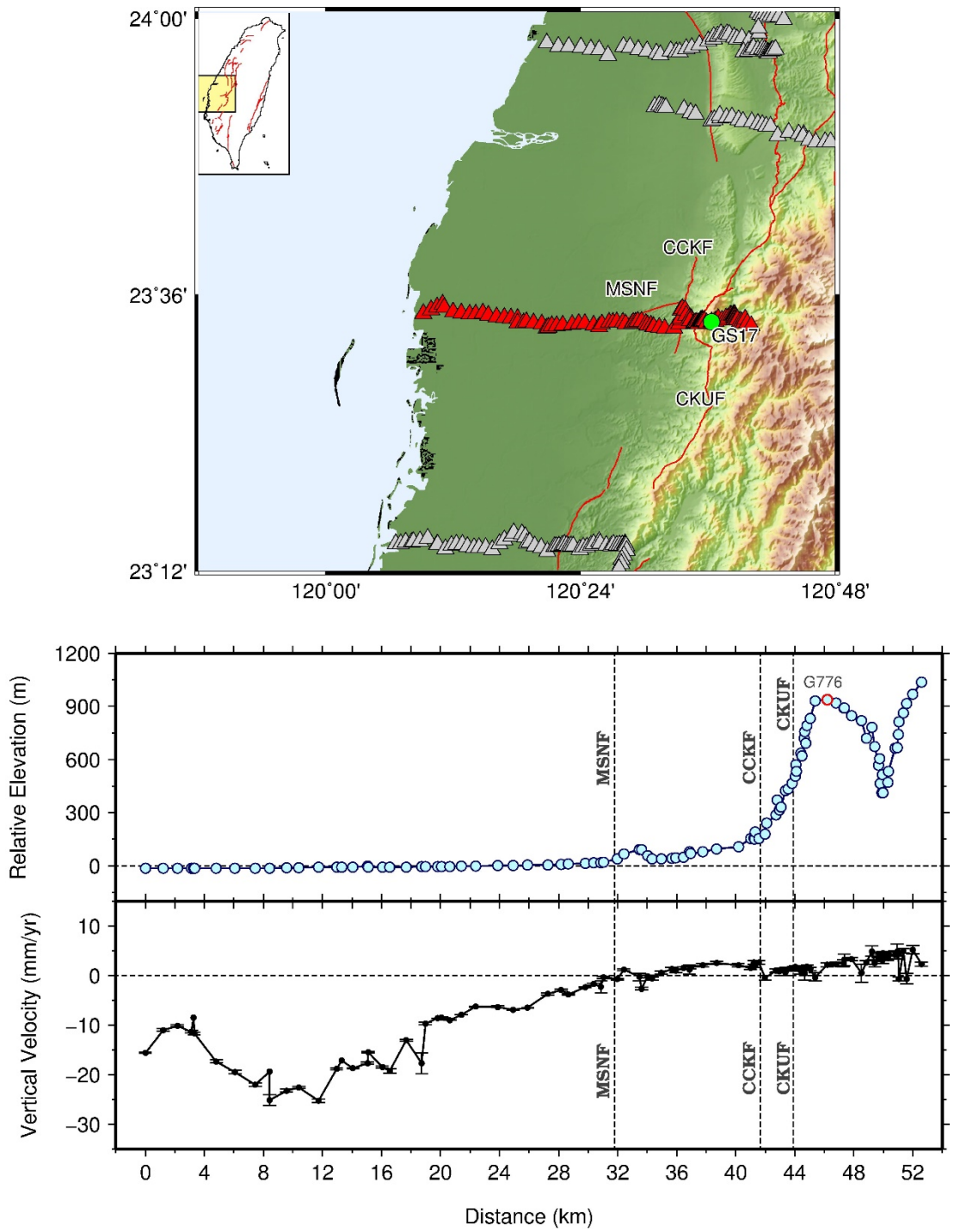


圖 5. 40：縣 164_金湖至瑞峰測線水準高程變化圖。(a) 上圖為測線位置分布圖。(b) 下圖為高程地形變化和各時間分段之水準平均抬升速度。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，MSNF 為梅山斷層、CCKF 為九芎坑斷層、CKUF 為觸口斷層。

Figure 5. 40: Elevation change of the Jinhu-Ruifeng leveling route. (a) The distribution of leveling route. (b) The elevation change and the average vertical velocity in different time periods. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. MSNF is Meishan fault, CCKF is Chiuchiungkeng fault, and CKUF is Chukou fault.

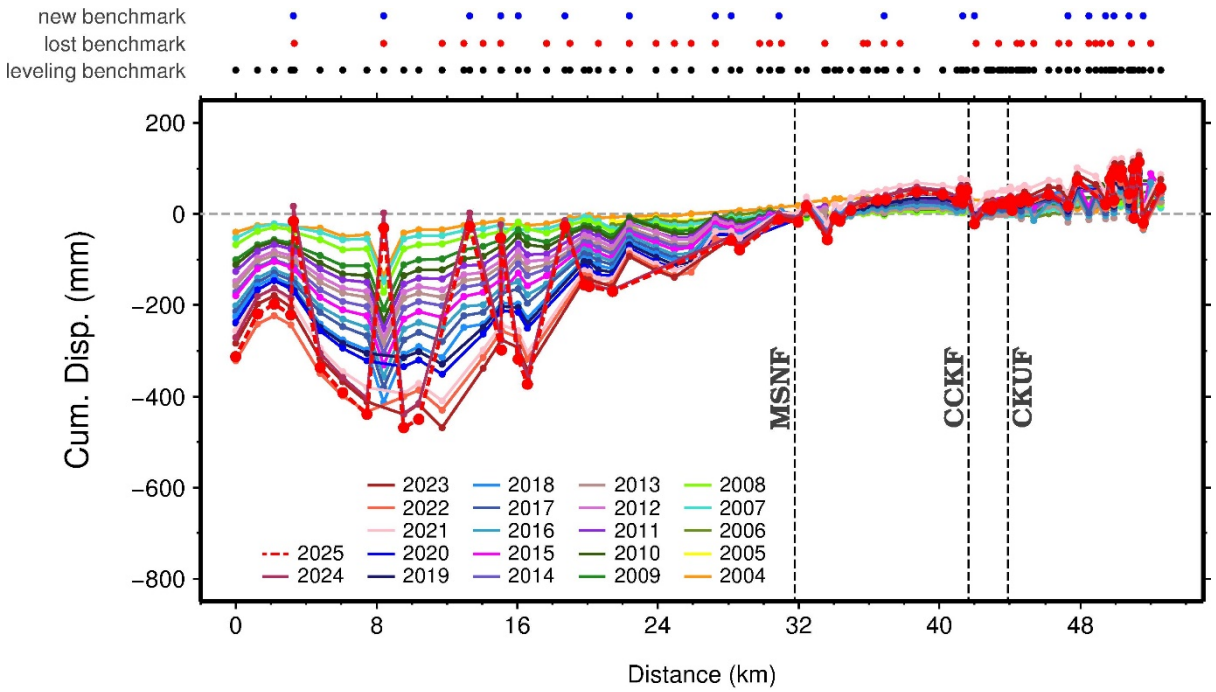


圖 5. 41：縣 164_金湖至瑞峰測線水準累積高程差。以虛線表示之累積高程差線段代表地震後之量測。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，MSNF 為梅山斷層、CCKF 為九芎坑斷層、CKUF 為觸口斷層。

Figure 5. 41: Cumulative elevation change of the Jinhu-Ruifeng leveling route. The dashed cummulative elevation change line show the measurement after earthquake. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. MSNF is Meishan fault, CCKF is Chiuchiungkeng fault, and CKUF is Chukou fault.

5-3-3-2 北門至楠西測線

北門至楠西測線（水準測線編號 28）橫跨六甲斷層與口宵里斷層（圖 5.43），測線長 38.4 公里（投影至剖面的長度）。本測線自 2003 年起至 2025 年間共計有 22 次施測，測量點位與 2024 年相比無增減。各年度之水準施測成果，以累積高程差展示於圖 5. 44，即從觀測期間的第 2 年開始，以相鄰兩年之高程差值進行累加，以圖 5.44 中 2025 年的線段為例，代表自觀測起始開始累加至 2024-2025 年之間的高程差值；2024 年則代表累加至 2023-2024 年之間的高程差值，以此類推。

本測線同時受 2010 年 3 月 4 日 M_L 6.4 的甲仙地震與 2016 年 2 月 6 日 M_L 6.6 的美濃地震影響，因此分別使用 GNSS 連續站 GS44(六甲國小湖東分校)之 2010 年地震前垂直速率(9.031 mm/yr)、震後至 2016 年地震前垂直速率（6.667 mm/yr），以及 2016 年至今之垂直速率（8.269 mm/yr）作為約制，自 2008 年以來校正 I088（土地崎）相對於 GNSS 測站 S01R 之垂直速度（圖 5.42），兩站點相距 0.97 公里。各時期之水準分段垂直速度呈現分為（圖 5.43）：綠色為 2003 年 8 月至 2010 年甲仙地震期間之垂直速度、藍色為 2010 年甲仙地震至 2016 年美濃地震間之垂直速度、紅色為 2016 年美濃地震至 2025 年 2 月之垂直速度。

北門–楠西測線之垂直速度大抵以六甲斷層西側（圖 5. 43 剖面水平距離約 18 公里處）為界，往東呈現抬升，往西則為沉降。最大抬升量值達 18.7 mm/yr，最大沉陷量值達 -14.7 mm/yr（圖 5.43）。六甲斷層以西為西部海岸平原，地形高程變化和緩，測線西段呈現約 0~-10 mm/yr 之沉陷量（圖 5. 43）與累積下陷趨勢（圖 5. 44）。然而，在六甲斷層以西（剖面 18 公里處）至六甲斷層之間呈 0.0~5.0 mm/yr 之抬升速度，並向東逐漸抬升。六甲斷層兩側則約有 5-7 mm/yr 的速度落差，抬升趨勢可向東延續到口宵里斷層的上盤地區（斷層線以西），跨斷層後也存在約 7-9 mm/yr 的速度落差。由於本測線自六甲斷層以東點位的地形變化趨勢變得較為顯著，顯示自進入山區地段，地表垂直運動活動性增加。此外，圖 5. 44 累積高程差圖也顯示，在口宵里斷層兩側的水準點有較大的累積抬升趨勢，反映本測線東段受 2025 年 1 月 21 日 M_L 6.4 的大埔地震影響，有明顯的同震抬升。

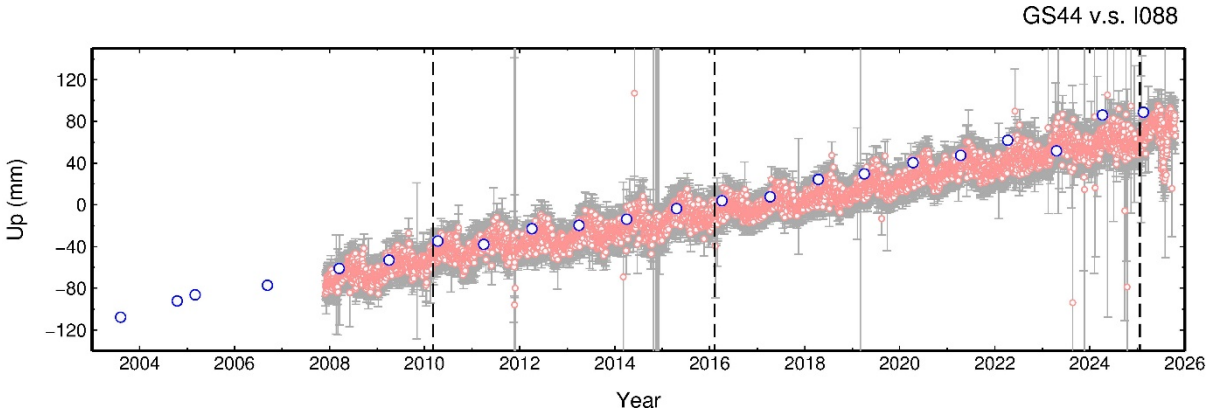


圖 5. 42：北門至楠西測線水準點位 I088 與連續站 GS44 之時間序列比較，兩者相距 0.97 公里。左側虛線為 2010 年 3 月 4 日甲仙地震，中間為 2016 年 2 月 6 日美濃地震，右側為 2025 年 1 月 21 日大埔地震。

Figure 5. 42: Time series comparison between Beimen-Nanxi leveling bench mark I088 and continuous GNSS station GS44. The distance between two stations are 0.97 km. The left dashed line is the March 4 th 2010 Jiaxian earthquake, the middle one is the Feburary 6th 2016 Meinong earthquake, and the right one is the January 21th 2025 Dapu earthquake.

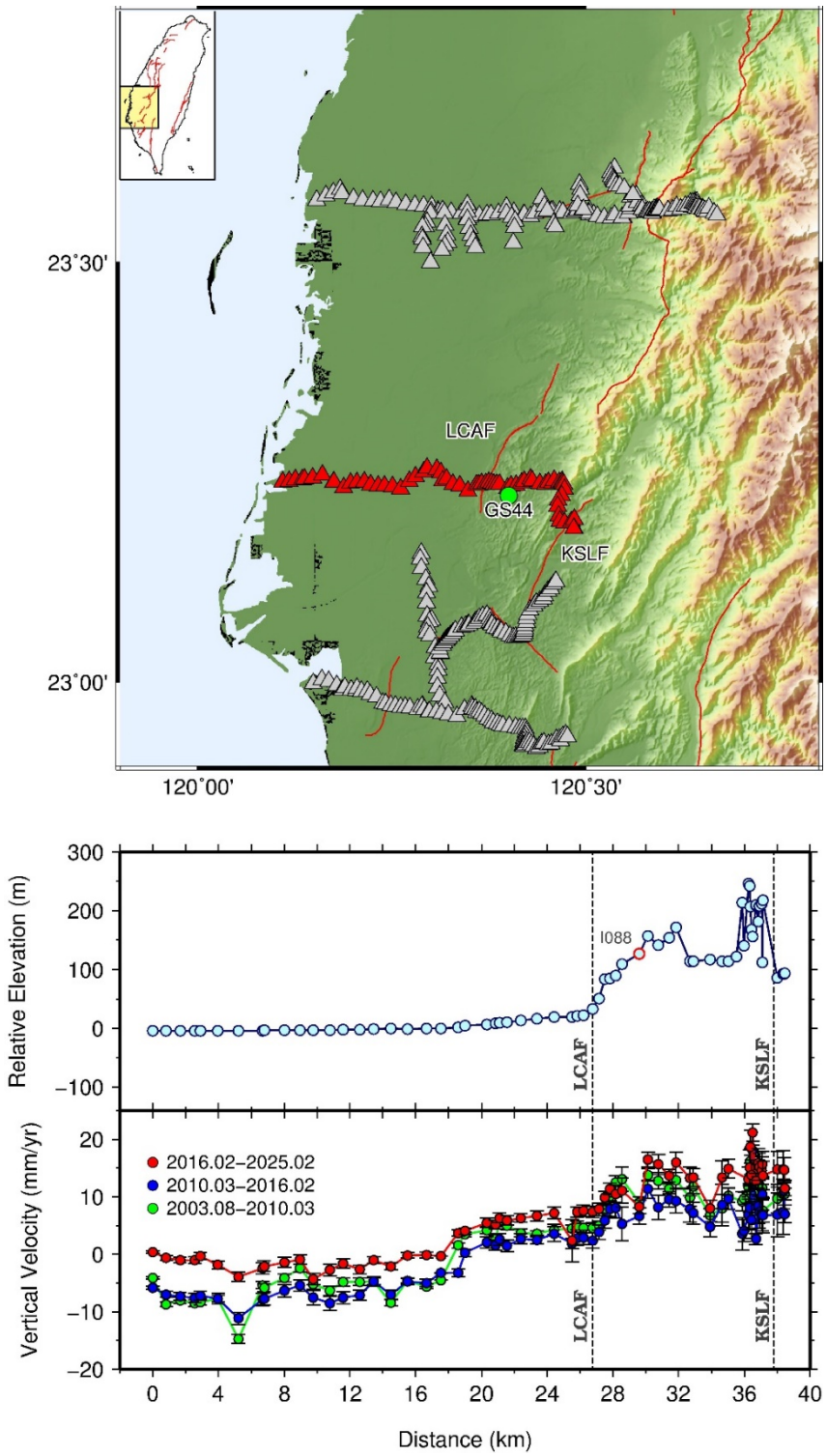


圖 5. 43：縣 174_北門至楠西測線水準高程變化圖。(a) 上圖為測線位置分布圖。(b) 下圖為高程地形變化和各時間分段之水準平均抬升速度，綠色為 2003-2010 年甲仙地震震前垂直速度，藍色為 2010 至 2016 年 2 月之垂直速度，紅色為 2016 年 2 月至今之垂直速度。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，LCAF 為六甲斷層、KSLF 為口宵里斷層。

Figure 5. 43: Elevation change of the Beimen-Nanxi leveling route. (a)The distribution of leveling route. (b) The elevation change and the average vertical velocity in different time periods. Green is the vertical velocity before the Jiaxian earthquake of 2003-2010, blue is the vertical velocity from 2010 to 2016, and red is the vertical velocity from 2016 to the present. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. LCAF is Liuchia fault and KSLF is Kouhsiaoli fault.

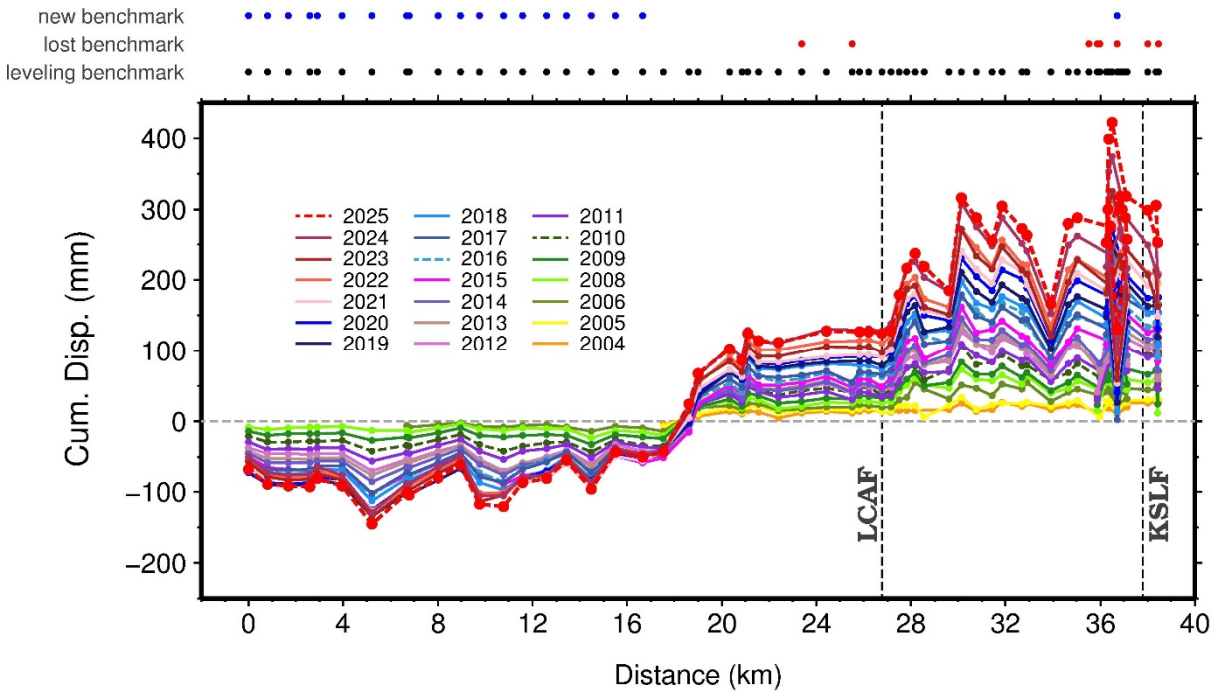


圖 5. 44：縣 174_北門至楠西測線水準累積高程差。以虛線表示之累積高程差線段代表地震後之量測。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，LCAF 為六甲斷層、KSLF 為口宵里斷層。

Figure 5. 44: Cumulative elevation change of the Beimen-Nanxi leveling route. The dashed cummulative elevation change line show the measurement after earthquake. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. LCAF is Liuchia fault and KSLF is Kouhsiaoli fault.

5-3-3-3 善化至關廟測線

善化至關廟測線（水準測線編號 29）由北往南橫跨新化斷層（圖 5. 46），測線長 21.3 公里（投影至剖面的長度）。本測線自 2002 年起至 2025 年間共計有 21 次施測，測量點位與 2024 年相比，經查證後已確認測量椿點 1157（潭頂）滅失，無法繼續觀測。各年度之水準施測成果，以累積高程差展示於圖 5. 47，即從觀測期間的第 2 年開始，以相鄰兩年之高程差值進行累加，以圖 5. 47 中 2025 年的線段為例，代表自觀測起始開始累加至 2024-2025 年之間的高程差值；2024 年則代表累加至 2023-2024 年之間的高程差值，以此類推。

本測線受 2016 年 2 月 6 日 M_L6.6 的美濃地震影響，因此分別使用 GNSS 連續站 GS29（潭頂自來水廠）之 2016 年地震前垂直速率（4.999 mm/yr），以及 2016 年至今之垂直速率（1.063 mm/yr）作為約制，自 2006 年以來校正 1157（潭頂）相對於 GNSS 測站 S01R 之垂直速度（圖 5. 45），兩站點相距 1.5 公里。各時期之水準分段垂直速度呈現分為（圖 5. 46）：綠色為 2002 年 11 月至 2016 年美濃地震期間之垂直速度、藍色為 2016 年美濃地震至 2025 年 2 月之垂直速度。

善化−關廟測線之垂直速度整體均呈現抬升，大抵以新化斷層為界，由北往南逐漸抬升，跨斷層兩側約有 1.9-4.9 mm/yr 的速度落差。在美濃地震發生以前，最大抬升量值達 7.9 mm/yr，震後則抬升速度整體降低（圖 5. 46）。此外，圖 5. 47 累積高程差圖也顯示，在美濃地震發生後有較顯著的累積抬升趨勢，反映本測線整體受美濃地震影響，具顯著的同震抬升。

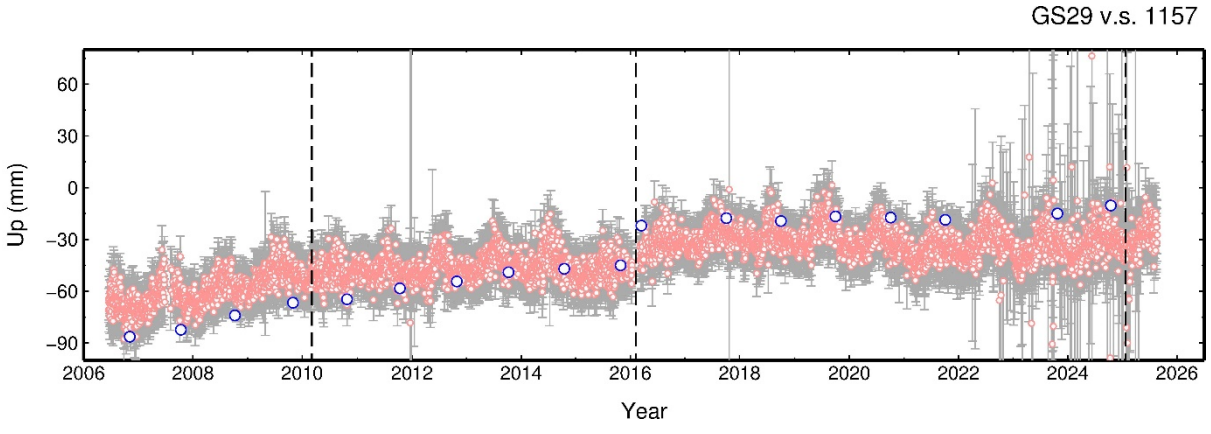


圖 5. 45：善化至關廟測線水準點位 1157 與連續站 GS29 之時間序列比較，兩者相距 1.5 公里。左側虛線為 2010 年 3 月 4 日甲仙地震，中間為 2016 年 2 月 6 日美濃地震，右側為 2025 年 1 月 21 日大埔地震。

Figure 5. 45: Time series comparison between Shanhua-Guanmiao leveling bench mark 1157 and continuous GNSS station GS29. The distance between two stations are 1.5 km. The left dashed line is the March 4 th 2010 Jiaxian earthquake, the middle one is the Feburary 6th 2016 Meinong earthquake, and the right one is the January 21th 2025 Dapu earthquake.

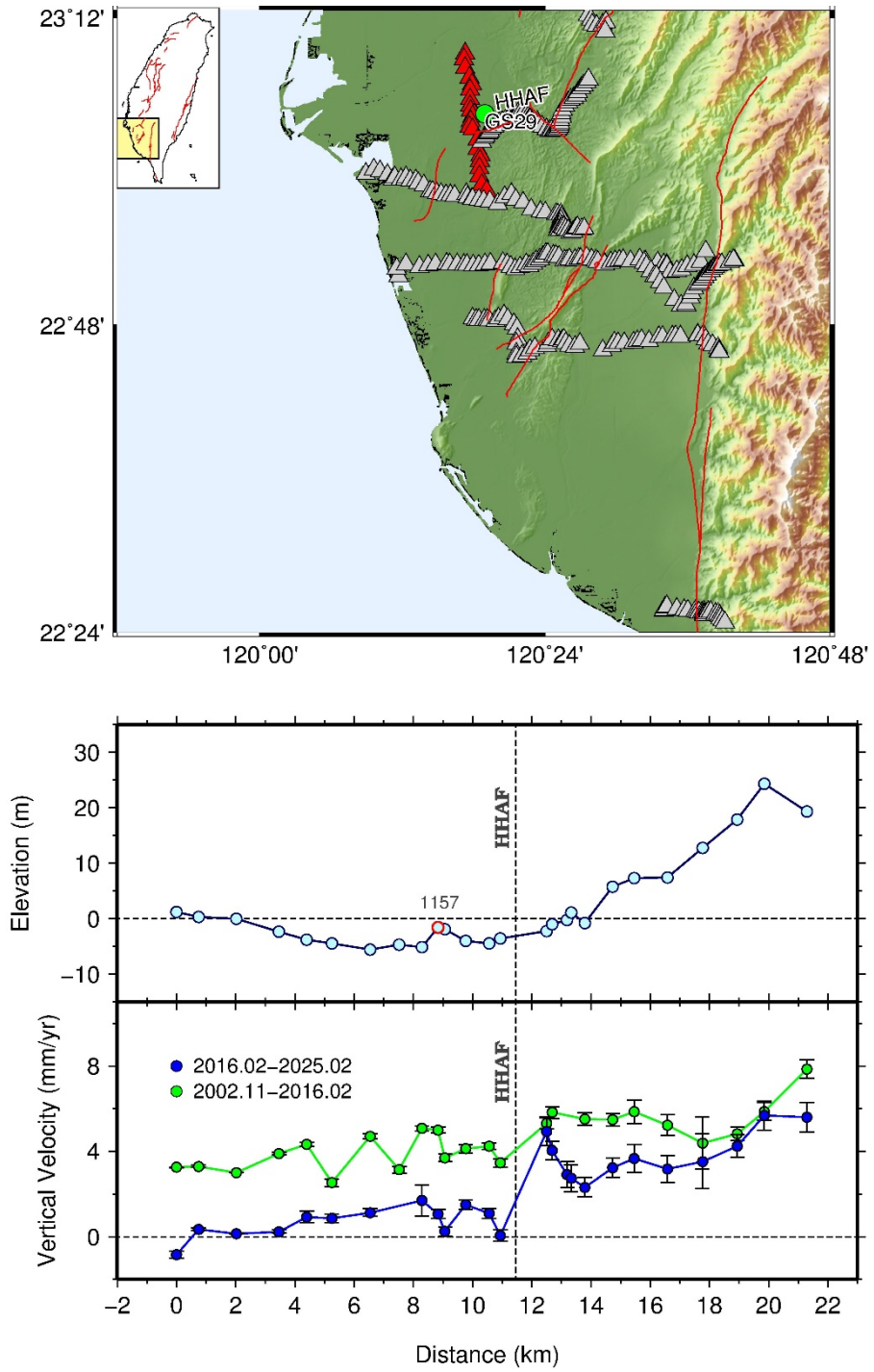


圖 5.46：台 19 甲_善化至關廟測線水準高程變化圖。(a) 上圖為測線位置分布圖。(b) 下圖為高程地形變化和各時間分段之水準平均抬升速率，綠色為 2002-2016 年美濃地震震前垂直速度，藍色為 2016 年 2 月至今之垂直速度。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，HHAF 為新化斷層。

Figure 5. 46: Elevation change of the Shanhua-Guanmiao leveling route. (a) The distribution of leveling route. (b) The elevation change and the average vertical velocity in different time periods. Green is the vertical velocity before the Meinong earthquake of 2002-2016 and blue is the vertical velocity from 2016 to the present. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. HHAF is Hsinhua fault.

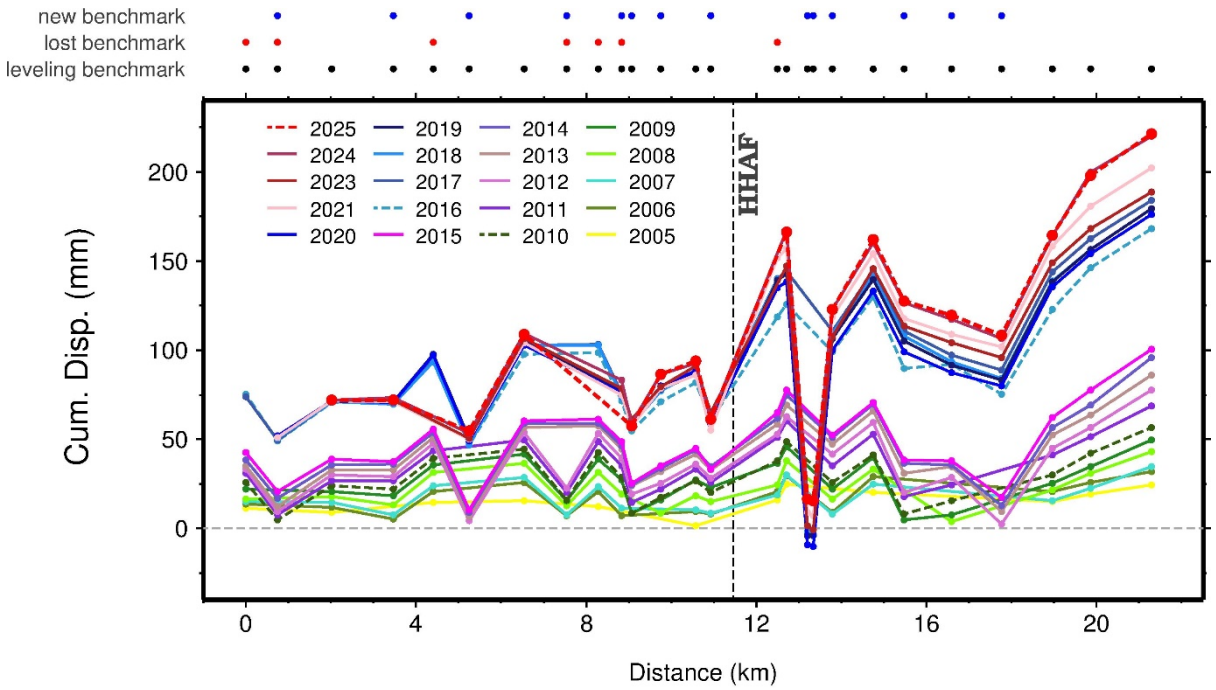


圖 5.47：台 19 甲_善化至關廟測線水準累積高程差。以虛線表示之累積高程差線段代表地震後之量測。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，HHAF 為新化斷層。

Figure 5. 47: Cumulative elevation change of the Shanhua-Guanmiao leveling route. The dashed cummulative elevation change line show the measurement after earthquake. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. HHAF is Hsinhua fault.

5-3-3-4 新化至玉井測線

新化至玉井測線（水準測線編號 43）橫跨新化斷層與左鎮斷層（圖 5.49），測線長 17.6 公里（投影至剖面的長度）。本測線自 2016 年起至 2025 年間共計有 10 次施測，測量點位與 2024 年相比無增減。各年度之水準施測成果，以累積高程差展示於圖 5.50，即從觀測期間的第 2 年開始，以相鄰兩年之高程差值進行累加，以圖 5.50 中 2025 年的線段為例，代表自觀測起始開始累加至 2024-2025 年之間的高程差值；2024 年則代表累加至 2023-2024 年之間的高程差值，以此類推。

本測線使用 GNSS 連續站 GS89（新化國中）之垂直速度（0.983 mm/yr）作為約制，自 2016 年以來校正 J006（新化高中）相對於 GNSS 測站 S01R 之垂直速度（圖 5.48），兩站點相距 0.64 公里。本測線的 J006 水準點與善化−關廟測線（編號 29）共點，又善化−關廟與安平−龍崎（編號 30）測線亦有共同水準點 G415（大亞電纜），因此新化−玉井測線、善化−關廟與安平−龍崎測線可以組成更好的垂直速度場觀測網。

新化−玉井測線之垂直速度大抵均呈現抬升，跨新化斷層至左鎮斷層之間呈逐漸抬升，過左鎮斷層後，向東北抬升速度逐漸降低（圖 5.49）。本測線於新化斷層兩側有明顯的垂直速度變化，約有 2 mm/yr 的速度落差；而橫跨左鎮斷層兩側並無明顯垂直速度變化。此外，圖 5.50 累積高程差圖也顯示，在測線東北端玉井地區的水準點有較大的累積抬升趨勢，反映該區域受 2025 年 1 月 21 日 M_L 6.4 的大埔地震影響，有明顯的同震抬升。

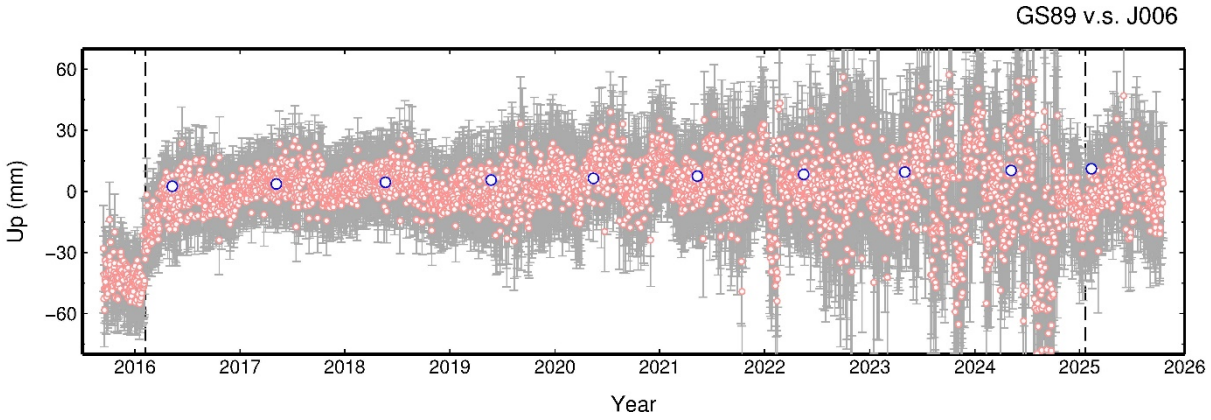


圖 5.48：新化至玉井測線水準點位 J006 與連續站 GS89 之時間序列比較，兩者相距 0.64 公里。左側虛線為 2016 年 2 月 6 日美濃地震，右側為 2025 年 1 月 21 日大埔地震。

Figure 5.48: Time series comparison between Xinhua-Yujing leveling benchmark J006 and continuous GNSS station GS89. The distance between two stations are 0.64 km. The left dashed line is the Feburary 6th 2016 Meinong earthquake and the right one is the January 21th 2025 Dapu earthquake.

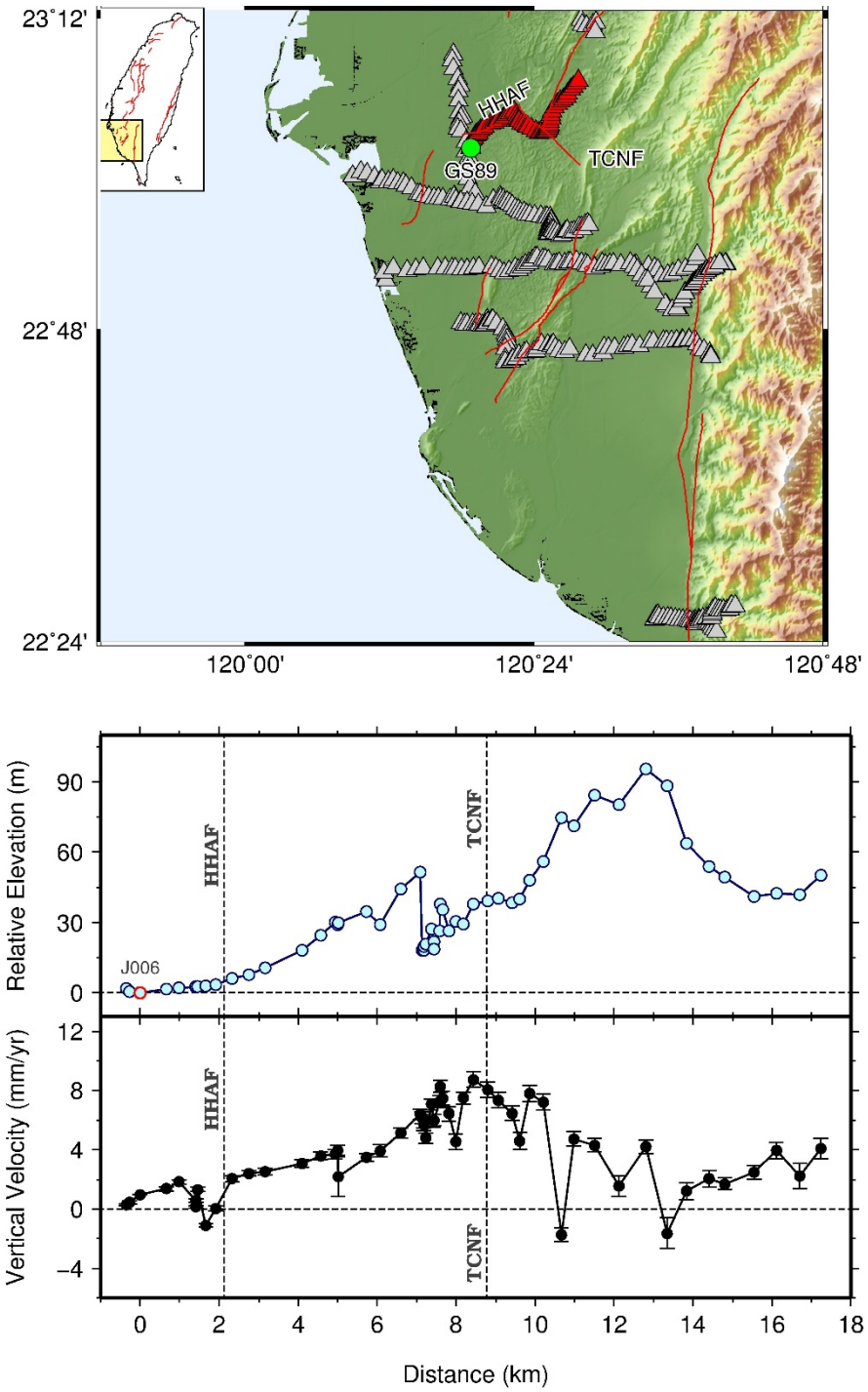


圖 5. 49：台 20_新化至玉井測線水準高程變化圖。(a) 上圖為測線位置分布圖。(b) 下圖為高程地形變化和各時間分段之水準平均抬升速率。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，HHAF 為新化斷層、TCNF 為左鎮斷層。

Figure 5. 49: Elevation change of the Xinhua-Yujing leveling route. (a) The distribution of leveling route. (b) The elevation change and the average vertical velocity in different time periods. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. HHAF is Hsinhua fault and TCNF is Tsochen fault.

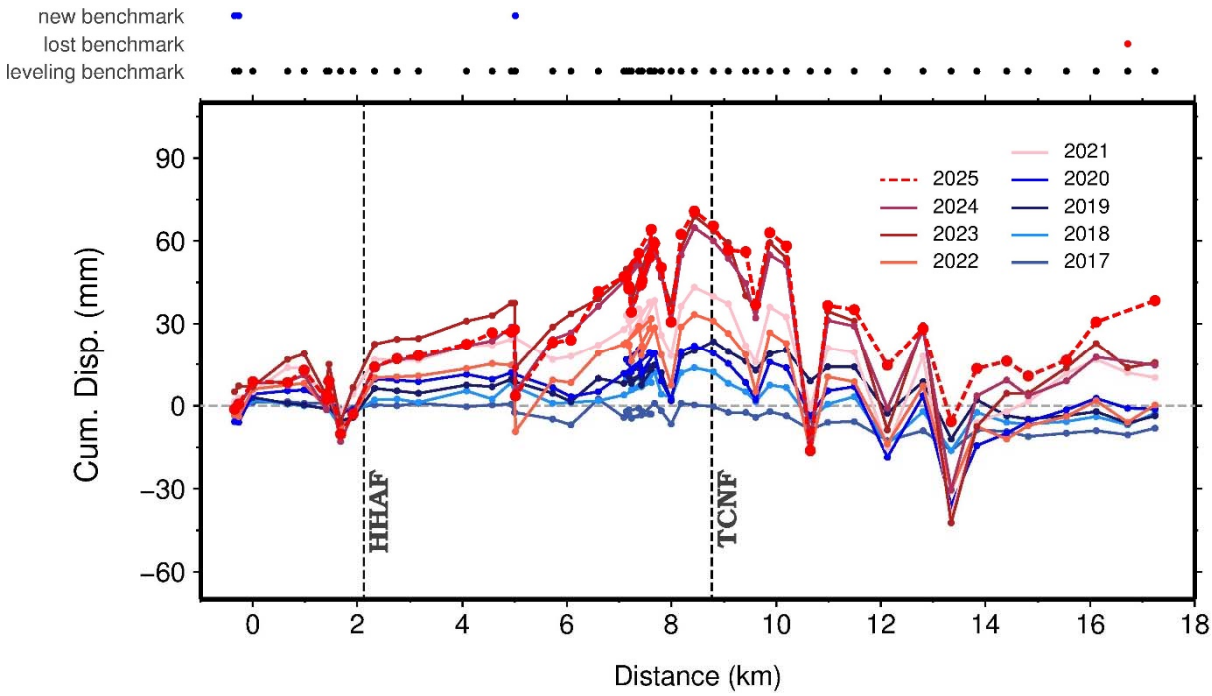


圖 5. 50：台 20_新化至玉井測線水準累積高程差。以虛線表示之累積高程差線段代表地震後之量測。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，HHAF 為新化斷層、TCNF 為左鎮斷層。

Figure 5. 50: Cumulative elevation change of the Xinhua-Yujing leveling route. The dashed cummulative elevation change line show the measurement after earthquake. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. HHAF is Hsinhua fault and TCNF is Tsochen fault.

5-3-3-5 安平至龍崎測線

安平至龍崎測線（水準測線編號 30），西起臺南市安平區，東迄臺南市龍崎區，橫跨後甲里斷層（圖 5.52）。2012 年起向東延長 4.1 公里至高雄市內門區，補設 18 樁點（GG94 龍湖宮至 3202 菜公坑）；2021 年起再向東延長 1.4 公里，補設 6 樁點（GI71 樸子腳至 GI76 東埔髮夾彎），跨越車瓜林斷層（圖 5. 52），測線總長 34.3 公里（投影至剖面的長度）。本測線自 2001 年起至 2025 年間共計有 26 次施測，測量點位與 2024 年相比，經查證後已確認測量樁點 G365（五甲國小）滅失，無法繼續觀測。各年度之水準施測成果，以累積高程差展示於圖 5.53，即從觀測期間的第 2 年開始，以相鄰兩年之高程差值進行累加，以圖 5. 53 中 2025 年的線段為例，代表自觀測起始開始累加至 2024-2025 年之間的高程差值；2024 年則代表累加至 2023-2024 年之間的高程差值，以此類推。

本測線受 2016 年 2 月 6 日 M_L 6.6 的美濃地震影響，因此分別使用 GNSS 連續站 CKSV（成大測量系）之 2016 年地震前垂直速率（1.523 mm/yr），以及 2016 年至今之垂直速率（2.132 mm/yr）作為約制，自 2007 年以來校正 TN04（東門圓環）相對於 GNSS 測站 S01R 之垂直速度（圖 5.51），兩站點相距 1.42 公里。各時期之水準分段垂直速度呈現分為（圖 5.52）：藍色為 2001 年 7 月至 2016 年美濃地震期間之垂直速度、紅色為 2016 年美濃地震至 2025 年 2 月之垂直速度。

安平─龍崎測線之垂直速度大抵以後甲里斷層西側（圖 5.52 剖面水平距離約 5 公里處）為界，往東呈現抬升，往西則為沉降。最大抬升量值達 23.9 mm/yr，最大沉陷量值達 -10.0 mm/yr（圖 5.52）。後甲里斷層以西為台南台地，呈現約 0~5 mm/yr 之抬升量（圖 5.52）與累積抬升趨勢（圖 5. 53）；再往西到安平，則轉變為累積沉降趨勢（圖 5. 53）。後甲里斷層兩側約有 3-6 mm/yr 的速度落差，往東逐漸抬升，至圖 5. 52 剖面水平距離約 29 公里處達最大值，再往東逐漸降低至車瓜林斷層通過處，呈中間高起兩側低下的樣貌，反映「龍船背斜」的高抬升速度與持續的抬升趨勢（圖 5.53）。向東跨過車瓜林斷層後，垂直速度又再逐漸增加。此外，圖 5.53 累積高程差圖也顯示在台南台地西緣（剖面 5 公里處）以東的地區，在美濃地震發生後有較顯著的累積抬升趨勢，反映該區域受地震影響，具顯著的同震抬升。

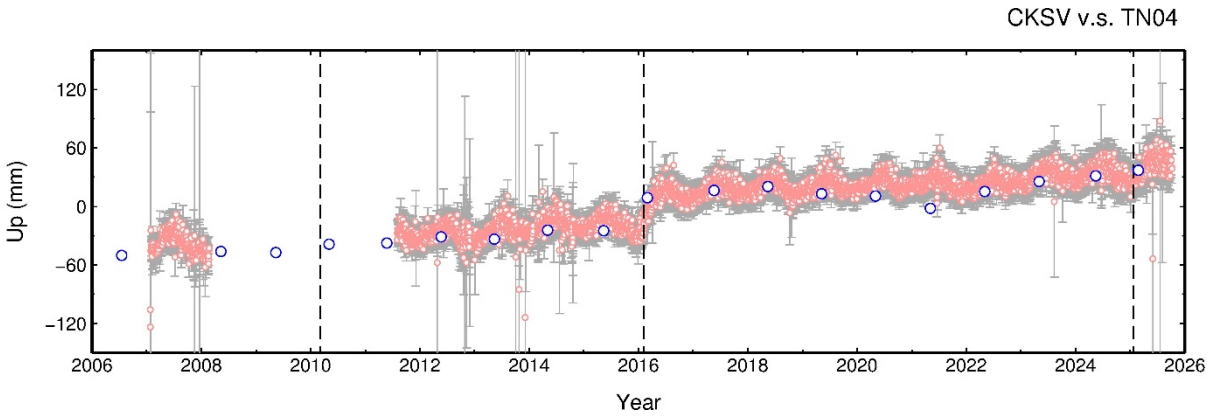


圖 5. 51：安平至龍崎測線水準點位 TN04 與連續站 CKSV 之時間序列比較，兩者相距 1.42 公里。左側虛線為 2010 年 3 月 4 日甲仙地震，中間為 2016 年 2 月 6 日美濃地震，右側為 2025 年 1 月 21 日大埔地震。

Figure 5. 51: Time series comparison between Anping-Longci leveling bench mark TN04 and continuous GNSS station CKSV. The distance between two stations are 1.42 km. The left dashed line is the March 4 th 2010 Jiaxian earthquake, the middle one is the Feburary 6th 2016 Meinong earthquake, and the right one is the January 21th 2025 Dapu earthquake.

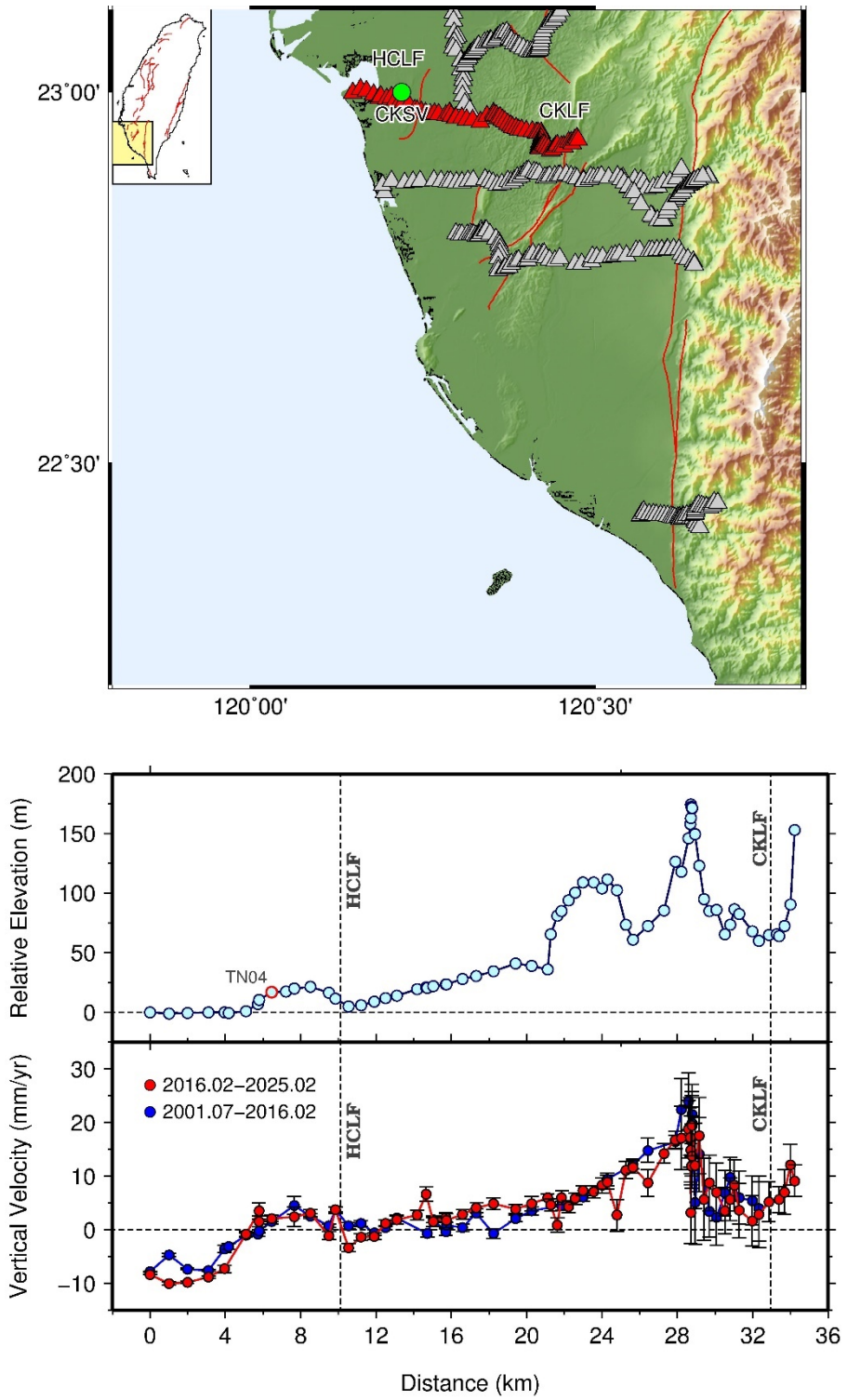


圖 5. 52：安平至龍崎測線水準高程變化圖。(a) 上圖為測線位置分布圖。(b) 下圖為高程地形變化和各時間分段之水準平均抬升速率，藍色為 2001-2016 年美濃地震震前垂直速度，紅色為 2016 年 2 月至今之垂直速度。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，HCLF 為後甲里斷層、CKLF 為車瓜林斷層。

Figure 5. 52: Elevation change of the Anping-Longci leveling route. (a) The distribution of leveling route. (b) The elevation change and the average vertical velocity in different time periods. Blue is the vertical velocity before the Meinong earthquake of 2001-2016 and red is the vertical velocity from 2016 to the present. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. HCLF is the Houchiali fault and CKLF is Chekualin fault.

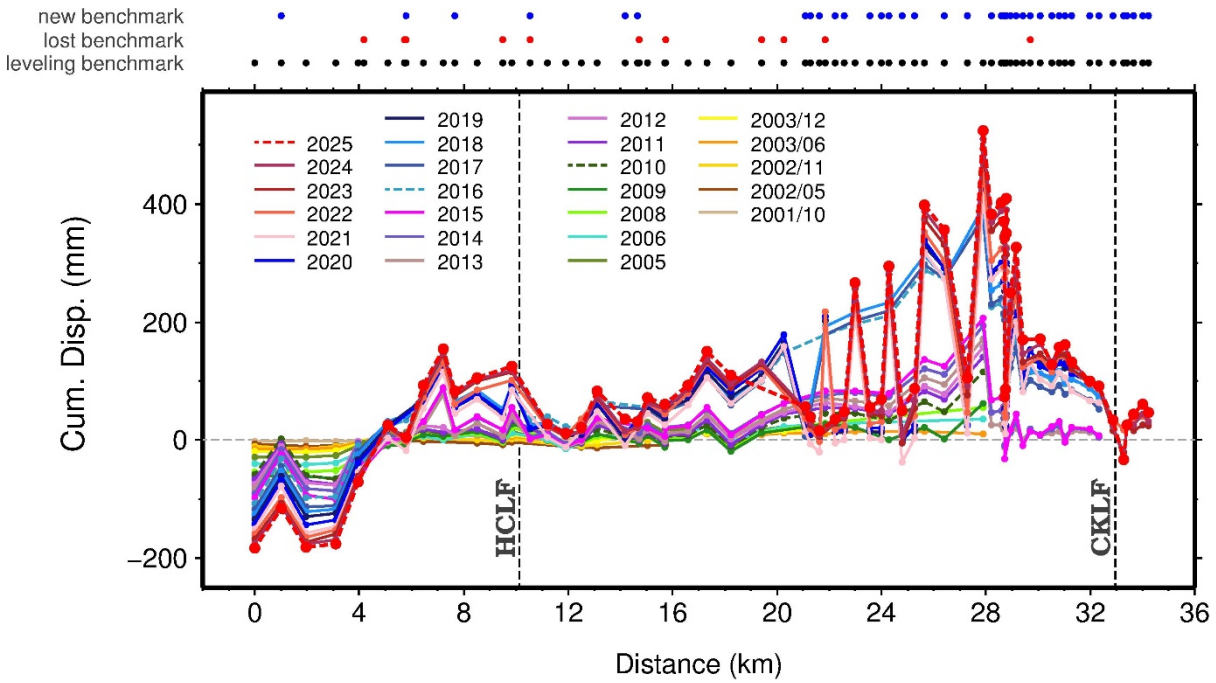


圖 5. 53：安平至龍崎測線水準累積高程差。以虛線表示之累積高程差線段代表地震後之量測。橫軸為投影於垂直斷層剖面之距離。垂直虛線標示主要地質構造之地表出露位置，HCLF 為後甲里斷層、CKLF 為車瓜林斷層。

Figure 5. 53: Cumulative elevation change of the Anping-Longci leveling route. The dashed cummulative elevation change line show the measurement after earthquake. X-axis is the distance projected along the fault-perpendicular profile. Vertical dashed lines indicate the location of active faults. HCLF is the Houchiali fault and CKLF is Chekualin fault.

5-3-3-6 嘉南地區精密水準測量資料可靠度分析

為了分析精密水準資料可靠度，我們使用 GNSS 連續站、GNSS 移動站和精密水準所觀測各地區與時段之速度場展圖比較。

嘉南地區從 2002 年至今於水準、GNSS 連續站與 GNSS 移動站速度場型態都相當類似(圖 5. 54)，九芎坑斷層、六甲斷層與後甲里斷層以東為抬升，西側接近海岸線為沉降。

雲林沿海一帶、金湖–瑞峰水準測線以北地區，因超抽地下水導致地層下陷，沉降速度最大達到 -30.0 mm/yr；嘉義地區沿海一帶、金湖–瑞峰與北門–楠西水準測線之間區域，垂直沉降速度也達到 -15.0 至 -25.0 mm/yr，進入嘉南山區的水準測線東段則有超過約 3.0 mm/yr 的抬升速度；臺南地區沿海、北門–楠西與安平–龍崎水準測線之間區域，亦呈現約 -10.0 mm/yr 之平均沉陷速度，大抵以善化–關廟水準測線為分界，以東往山區則有超過約 7.0 mm/yr 的抬升速度，其中的新化–玉井水準測線自觀測以來主要為抬升。

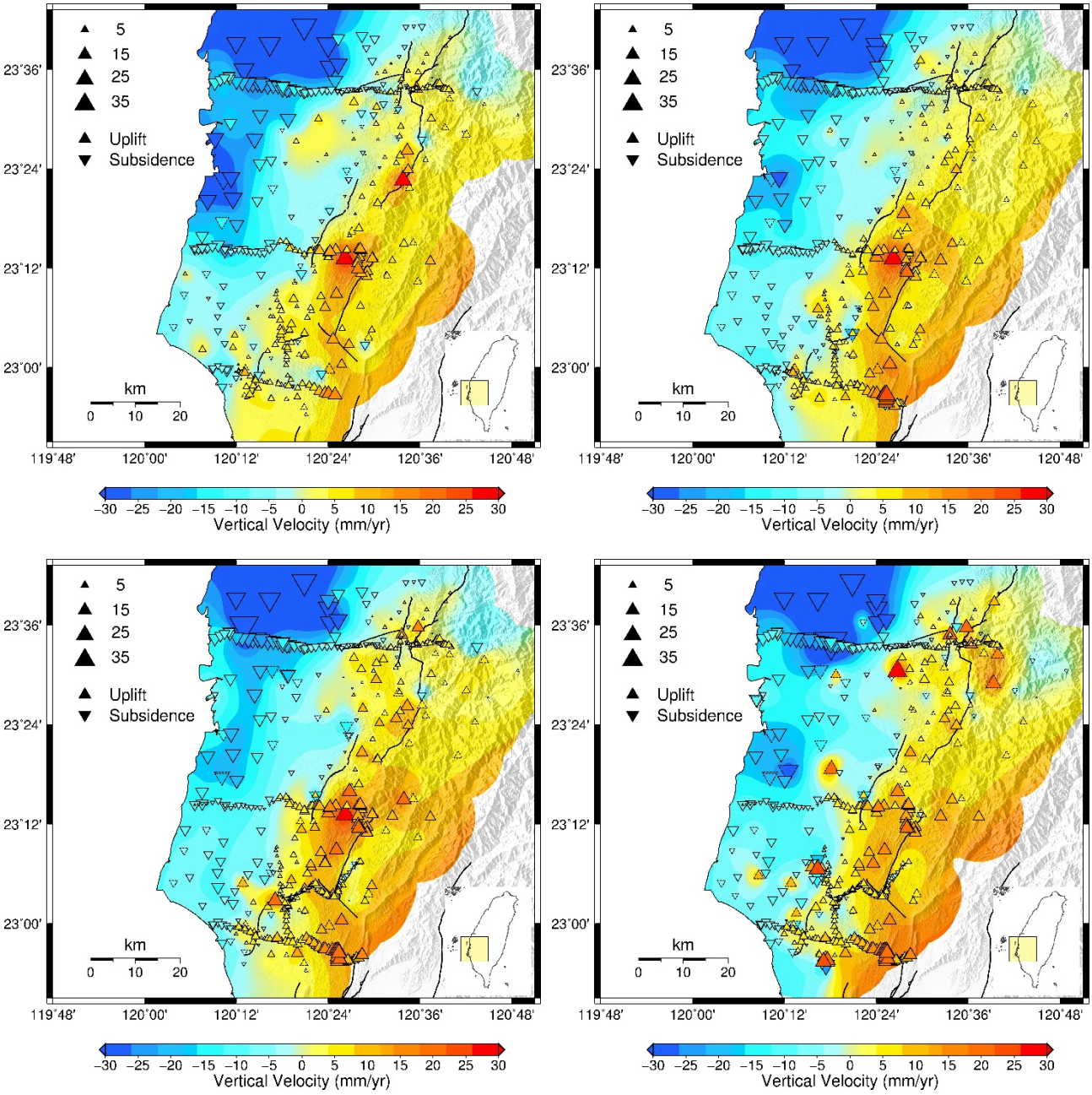


圖 5. 54：嘉南地區相對於澎湖白沙站（S01R）之垂直方向速度場。左上圖表示 2002-2010 年速度場，右上圖表示震後 2010-2016 年速度場，左下圖表示震後 2016-2022 年速度場，右下圖表示震後 2022-2025 年速度場。彩色色階為資料解算之垂直方向速度場分布，暖色系表示抬升速率，冷色系表示沉降速率。三角形方向表示抬升或沉降，三角形大小表示速度大小。黑色邊框表示精密水準、GNSS 移動站，虛線邊框表示 GNSS 連續站。

Figure 5. 54: Vertical velocity field relative to Penghu Paisha (S01R) station in Chiayi and Tainan areas. The top left figure is the velocity field from 2002-2010; the top right one is from 2010-2016; the bottom left is from 2016-2022 and the bottom right is from 2022-2025. The color ramp represents the vertical velocity. Warm colors represent uplift while cool colors represent subsidence. The direction of the triangle indicates uplift or subsidence; the size of the triangle represents the velocity. Precise leveling and campaign-mode GNSS are shown in dark frames, and continuous GNSS is shown in dotted frame.

5-4 全臺三維速度場分析

5-4-1 全臺水平與垂直速度場

藉由檢視過去 GNSS 連續站、移動站及精密水準測量之坐標時間序列，發現地表速度場會隨著主要地震事件的發生而變化，因此本計畫以 2006 年恆春地震與中部地區速度轉折、2010 年甲仙地震與恆春地區速度轉折、2013 年南投地震與瑞穗地震、2016 年美濃地震與恆春地區速度轉折、2018 年花連地震、2022 年關山−池上地震及 2024 年花蓮地震等，分為 8 個時間段（圖 5. 55）分別解算水平（圖 5. 56）與垂直（圖 5. 57）速度場，各地區也會依地震之影響與否再區分出不同時期之速度場。此外，2025 年 1 月份的 0121 大埔地震對於速度的變化影響尚不明朗，仍需待後續累積較長時間的觀測資料後方能確認，因此本年度速度場的分析暫未以該地震事件作為新增分段點。

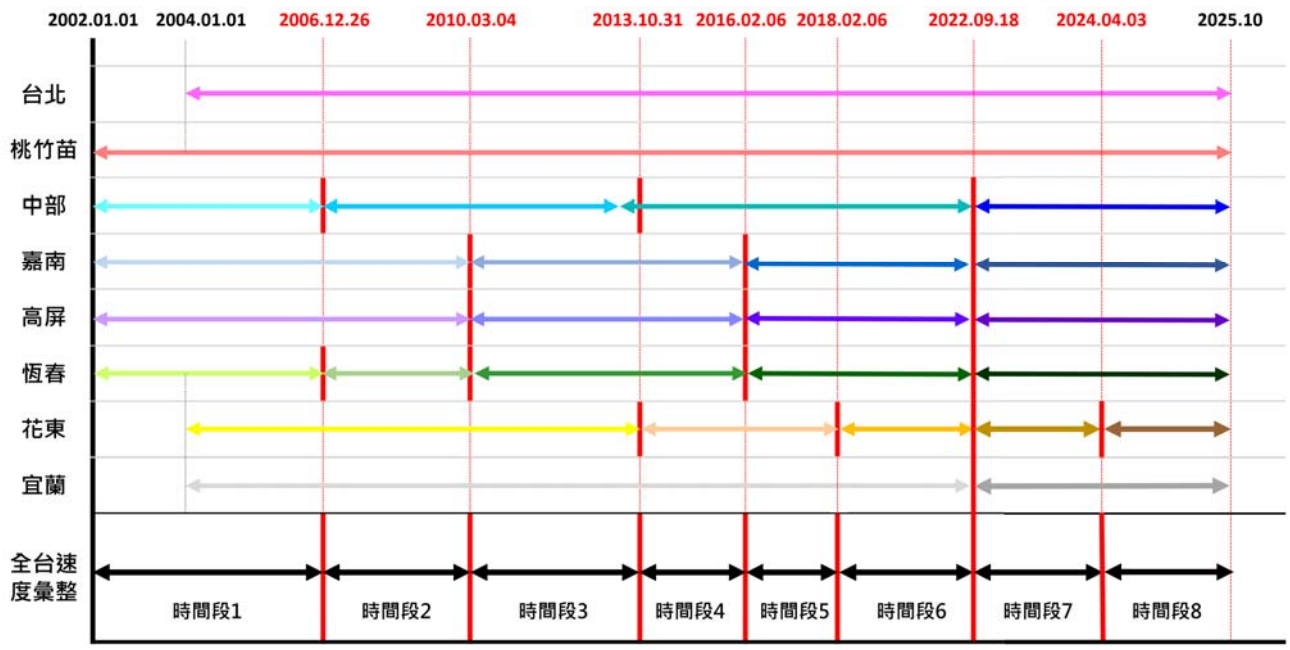


圖 5. 55：GNSS 速度場時間序列擬合事件分段

Figure 5. 55: 8 period of GNSS velocity field,Taiwan.

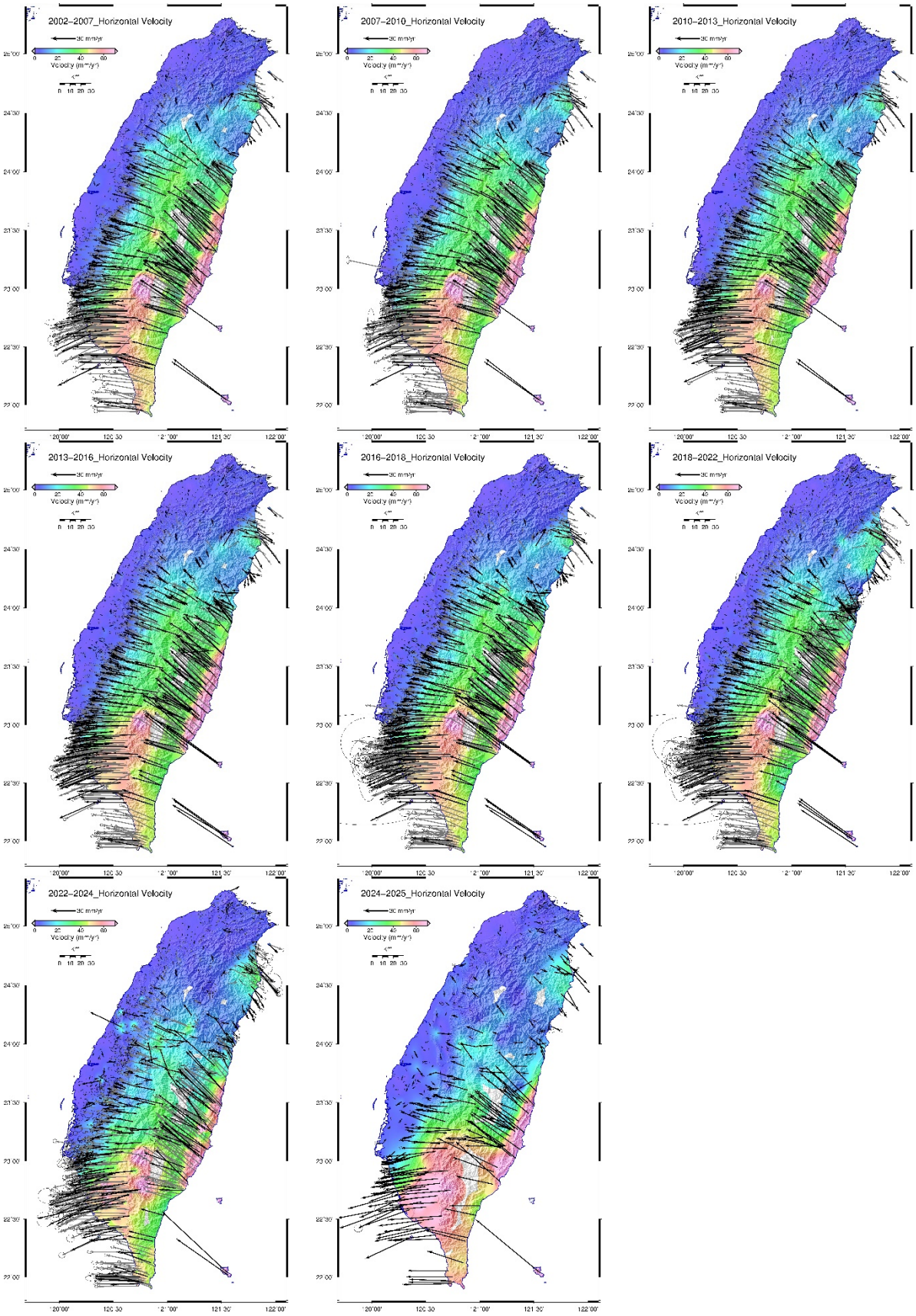


圖 5. 56：臺灣地區 2002 至 2025 年 GNSS 水平方向相對於澎湖白沙站（S01R）分段時間速度場圖

Figure 5. 56: GNSS horizontal velocity field from 2002 to 2025, Taiwan.

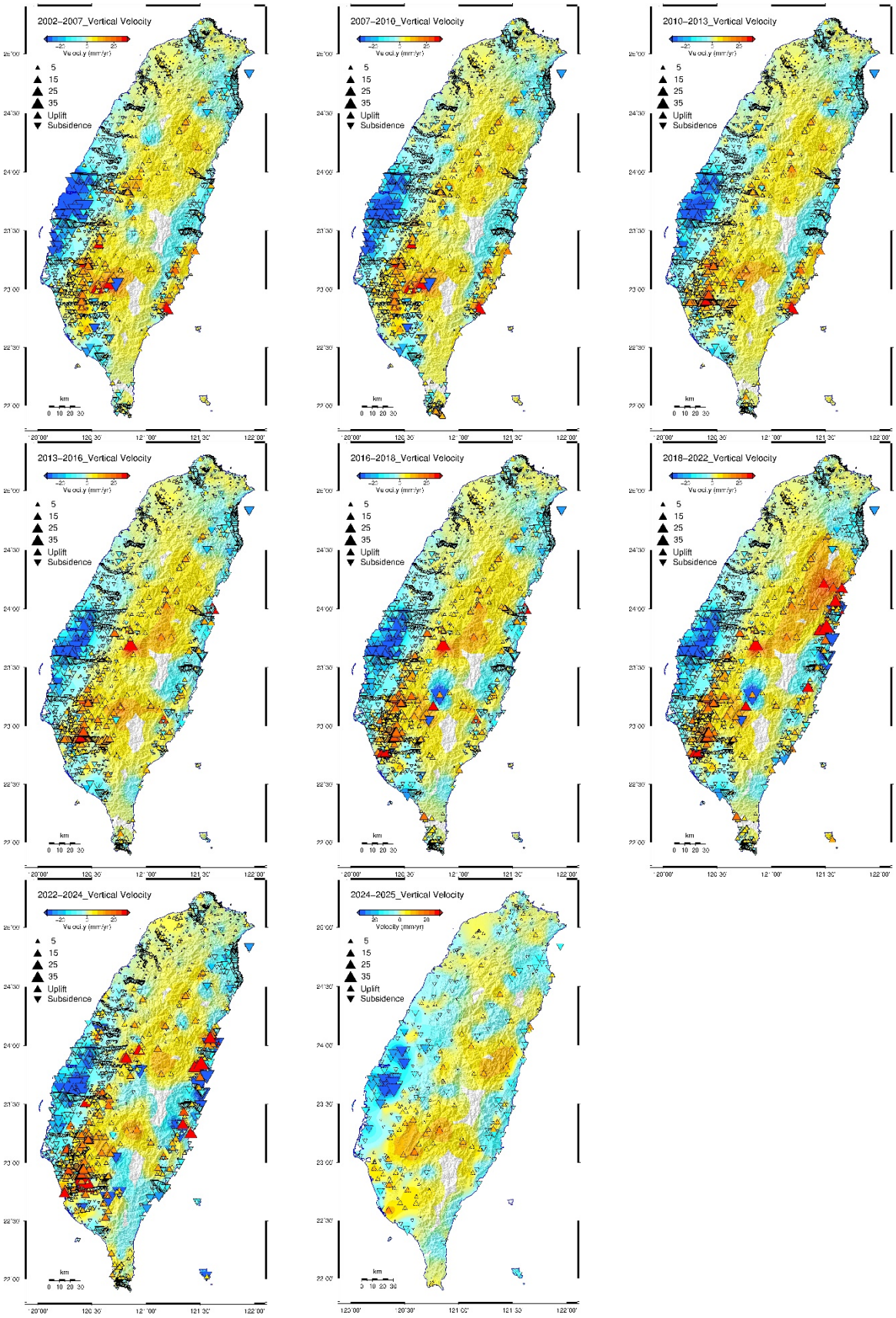


圖 5. 57：臺灣地區 2002 至 2025 年垂直方向相對於澎湖白沙站（S01R）分段時間速度場圖

Figure 5. 57: Vertical velocity field from 2002 to 2025, Taiwan.

第六章、結論

本年度期末報告之主要工作重點在於：(1) 大地測量資料之整合運用與分析：本計畫將彙整近十數年之 GNSS 連續站、GNSS 移動站以及精密水準測量等長期觀測資料，進行資料檢核、坐標解算及時間序列分析，提升觀測成果精度與解析力，以獲得包含地表水平與垂直分量之三維地表速度場；(2) 最佳斷層幾何參數搜尋與斷層活動潛勢推求：整合上一期計畫「斷層活動性觀測研究第四階段」工作以及近期相關文獻與研究，進行斷層幾何參數探討與分析，並分析斷層活動潛勢。

在 GNSS 連續站資料處理方面，計算累積至 2025 年 10 月全臺連續 GNSS 測站約 380 站之資料。在 GNSS 移動站與精密水準資料處理方面，本年度截至 10 月底為止已完成嘉南（含臺南）與花東 2 分區，GNSS 移動站共 183 點、精密水準共 6 條主測線之分析。本計畫重要區域相對於 S01R 測站之速度場顯示，玉里鎮內人口密集區與臺東市內人口密集區水平位移速度較大，且前者緊鄰池上斷層，跨斷層兩側垂直速度落差明顯；花蓮市及周遭人口密集區則自 2018 年花蓮地震震後垂直速度轉為抬升。

針對東部地區重要斷層活動潛勢分析，首先蒐集了米崙斷層、嶺頂斷層、瑞穗斷層、奇美斷層、玉里斷層、池上斷層、鹿野斷層及利吉斷層之斷層幾何、滑移速率以及斷層活動性等相關文獻。米崙斷層總長約 8 公里，斷層傾角約為 65°東傾，深度約 10 公里，滑移速率則介於 2.9-8.7 mm/yr 之間；池上斷層總長約 65 公里，斷層傾角 0~20 公里深為 60 度東傾、20~25 公里深為 25 度東傾，滑移速率則介於 16.2-53.5 mm/yr 之間。

接著，本計畫藉由經驗式推估最大地震規模，並利用特徵地震模式計算各斷層之年發生率，再以機率密度函數模式探討各斷層之活動潛勢並繪製潛勢圖。本計畫根據重要斷層之不同狀況，分別採 BPT 模式、Poisson 模式評估進行評估，由西元 2025 年起算，年度重要斷層之計算結果如下：米崙斷層採用 BPT 模式評估，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 4.5%、16.4%及 46.2%；池上斷層採用 BPT 模式評估，得到未來 30 年、50 年及 100 年發生地震矩規模 6.7~7.7 之機率為 29.2%、44.2%及 69.8%。

參考文獻

王執明、王乾盈（1991）卑南文化公園基地附近地質調查。國立臺灣史前文化博物館報告，共 74 頁。
王源、陳文山（1993）海岸山脈地質圖（北幅），1:100,000。新北市中和區：經濟部中央地質調查所。
王源、陳文山（1993）海岸山脈地質圖（南幅），1:100,000。新北市中和區：經濟部中央地質調查所。
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。
石再添、張瑞津、黃朝恩、石慶得、楊貴三、孫林耀明（1983）臺灣北部與東部活斷層的地形學研究。臺灣師範大學地理研究所地理研究報告，第 9 期，20-72 頁。
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、李建成、詹瑜璋、盧佳遇、胡植慶、饒瑞鈞、姜國彰、張勝 雄、鐘令和、紀建梅（2004）2003 年 1210 成功地震同震地表破裂：池上斷層之再活動，經濟部中央地質調查所九十二年度業務成果發表會手冊，92 年度，第 36 頁。
朱傚祖、游明聖（1995）花東縱谷活動斷層調查研究。行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC83-0202-M-047-001，共 186 頁。
朱傚祖、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。
何邦碩（1974）花蓮近海海域地球物理初步測勘。海洋彙刊，第 12 期，39-47 頁。
李忠勳（2022）池上斷層中段—富里地區地表變形調查。地質，第 41 卷，第 3 - 4 期，第 36 - 40 頁。
李宥葭（2018）臺灣 GPS 時間序列的雜訊分析，國立中央大學地球科學系碩士論文，共 144 頁。
林啟文（2023）池上斷層條帶地質圖說明書。經濟部地質調查及礦業管理中心，共 16 頁。
林啟文、石瑞銓、林燕慧（2004）臺東縱谷南段的活動斷層特性研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 15 號，第 161–174 頁。
林啟文、林偉雄（2005）臺灣東部鹿野地區之地質構造研究。經濟部中央地質調查所彙刊，第 18 號，第 29–52 頁。
林啓文、周稟珊（2022）玉里斷層條帶圖說明書。經濟部地質調查及礦業管理中心，共 14 頁。
林啟文、陳文山、劉彥求、陳柏村（2009）台灣東部與南部的活動斷層-二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第二十三號，共 178 頁。
林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正（2000）台灣活動斷層概論，第二版。經濟部中央地質調查所，共 122 頁。
林啟文、劉彥求、周稟珊、林燕慧（2021）臺灣活動斷層調查的近期發展。經濟部中央地質調查所彙刊，第 34 號，第 1–40 頁。
林啟文、盧詩丁、陳文山（2012）臺灣活動斷層分布圖 2012 年版說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第 26 號，第 1 - 30 頁。
林朝棨（1962）花蓮地方的第四系－臺灣之第四紀研究（三）。國家長期發展科學委員會研究報告，共 42 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。
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。
姜彥麟、顏一勤、劉彥求、黃志遠（2014）鹿野斷層之斷層跡精查及地下構造研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 28 號，第 71–111 頁。
紀權宥（2007）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。國立台灣大學理學院地質科學所碩士論文，共 84 頁。
徐乙君、張中白、郭陳澔、顏君毅、王淳璟、吳柏霖、張有和、張文彥、盧志恆（2018）應用遙測技術觀測 0206 花蓮地震同震形變與地表調查成果。地工技術，第 156 期，第 15-24 頁。
徐澔德、王昱、周海寧（2023）中央山脈斷層系統：由 2022 年 9 月關山–池上地震之地表破裂特性得到的啟示。地工技術，第 176 期，第 1–8 頁。

徐鐵良（1955）臺灣之地震。臺灣銀行季刊，第 7 卷，第 2 期，第 148 - 164 頁。
徐鐵良（1956）臺灣東部海岸山脈地質。臺灣省地質調查所彙刊，第 8 號，第 15 - 41 頁（中文），第 39 - 63 頁（英文）。
張竝瑜、陳文山、陳建志、郭陳澔、黃文正、何恭睿、徐漢倫（2015）104 年度重要活動斷層構造特性調查二期一年度重要活動斷層構造特性調查(1/4)。經濟部中央地質調查所報告第 104-6 號，共 211 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。
張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁（1998）台灣活動斷層分布圖說明書，經濟部中央地質調查所特刊第十號，共 103 頁。
梁勝雄、林啟文（2024）利吉斷層條帶地質圖說明書。經濟部地質調查及礦業管理中心，共 17 頁。
梁勝雄、劉彥求、陳盈璇、黃志遠（2022）池上斷層南段—因 0917 關山地震造成的地表破裂跡。地質，第 41 卷，第 3 - 4 期，第 41 - 45 頁。
許榮欣、高書屏（1996）臺灣地區一等水準網測量殘留之系統誤差之研究。行政院國家科學委員專題研究計畫成果報告，共 82 頁。
陳文山（2004）槽溝開挖與古地震研究計畫（3/5）－一、槽溝開挖與古地震研究。經濟部中央地質調查所報告，共 97 頁。
陳文山（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－槽溝開挖與古地震研究計畫（5/5）－一、槽溝開挖與古地震研究與「光螢光定年」。經濟部中央地質調查所報告，第 95-08-1 號，委辦計畫編號：95-5226902000-02-95-01。
陳文山（2016）臺灣地質概論。中華民國地質學會，共 250 頁。
陳文山、王源（1996）臺灣地質系列第 7 號：臺灣東部海岸山脈地質。臺北縣中和市：經濟部中央地質調查所，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、陳于高、楊小青（2006）地震地質調查及活動斷層層資料庫建置－槽溝開挖與古地震研究計畫（5/5）。經濟部中央地質調查所報告，第 95-08-1 號，共 146 頁。
陳文山、陳于高、楊小青（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－槽溝開挖與古地震研究計畫總報告。經濟部中央地質調查所研究報告，共 133 頁。
陳文山、顏一勤、陳勇全（2005）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫－槽溝開挖與古地震研究計畫（4/5），一、槽溝開挖與古地震研究。經濟部中央地質調查所研究報告，第 94 - 08 - 1 號，共 165 頁。
陳文山、顏一勤、楊志成、劉立豪、陳勇全、楊小青（2003）地震地質調查及活動斷層層資料庫建置計畫：槽溝開挖與古地震研究計畫（2/5）──三、花蓮瑞穗槽溝 1951 年地震斷層的古地震研究。經濟部中央地質調查所報告，第 92-7 號。
陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2008）地震地質與地變動潛勢分析計畫─斷層長期滑移速率與再現週期研究（1/4）。經濟部中央地質調查所報告，第 96 - 10 號，共 86 頁。
陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2009）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（3/4）期末報告書。經濟部中央地質調查所報告，第 98-09 號，計畫編號：98-5226904000-01-01，共 125 頁。
陳文山、游能悌、松多信尚、楊小青（2010）地震地質與地變動潛勢分析計畫－斷層長期滑移速率與再現週期研究（總報告）。經濟部中央地質調查所報告，第 99 - 09 號，共 141 頁。
陳文山、游能悌、楊小青（2012）重要活動斷層構造特性調查研究計畫－活動斷層特性分析與評估（2/4）。經濟部中央地質調查所報告，101-9。
陳文山、游能悌、楊小青（2014）重要活動斷層構造特性調查研究計畫－斷層活動特性分析與評估（4/4）。經濟部中央地質調查所報告，第 103-5 號，計畫編號：103-5226904000-01-03。
陳俊甫（2013）台灣東部縱谷北端區域的地震構造特性。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 112 頁。
陳建良、景國恩、張午龍、莊昀叡、饒瑞鈞、胡植慶（2021）臺灣陸域 33 條活動斷層滑移速率之評估。臺灣地殼變形論文集，第 4 - 25 頁。
陳昱菘（2022）利用高解析反射與折射震測探測池上斷層。國立中央大學地球科學學系碩士論文，共 91 頁。
陳柏村、陳致言、江婉綺、黃志遠、李柏村、盧詩丁（2018）0206 花蓮地震地表變形現象之觀察與探討，經濟部中央地質調查所彙刊，第 31 號，第 117 - 145 頁。

陳盈璇、劉彥求（2022）池上斷層北段—地表破裂調查實錄。地質，第 41 卷，第 3 - 4 期，第 32 - 35 頁。
曾彥祺、石瑞銓、陳文山（2010）由淺層反射震測探討錦園與萬安地區之池上斷層地下構造。經濟部中央地質調查所特刊，第 24 號，第 93–110 頁。
曾雅筑（2019）台灣東部花蓮地區米崙活動斷層之古地震研究。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，共 154 頁。
游明聖、鄭世楠、葉永田（1996）1951 年 10 月 22 日花蓮地震的再探討。經濟部中央地質調查所年報，八十四年度年報，第 36-42 頁。
楊志成、陳文山（2005）第三章、奇美斷層。地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫─槽溝開挖與古地震研究計畫(4-5)，第 58-74 頁。
楊貴三（1986）臺灣活斷層的地形學研究-特論活斷層與地形面的關係。私立中國文化大學地學研究所博士論文，共 178 頁。
楊蔭清（1953）四十一年來之花蓮地震。花蓮文獻，創刊號，第 67 - 71 頁。
經濟部中央地質調查所（2014）活動斷層地質敏感區劃定計畫書：F0002 池上斷層。經濟部中央地質調查所，共 28 頁。
經濟部中央地質調查所（2016）活動斷層地質敏感區劃定計畫書：F0011 米崙斷層。經濟部中央地質調查所，共 22 頁。
經濟部中央地質調查所（2018）20180206 花蓮地震地質調查報告，共 115 頁。
經濟部中央地質調查所（2020）活動斷層地質敏感區變更計畫書：F1011 米崙斷層。經濟部中央地質調查所，共 19 頁。
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。
董倫道、陳文山、李奕亨（2006）地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫-地球物理探勘計畫(5/5)。經濟部中央地質調查所報告第 95-09 號，共 221 頁。
廖宏祥（2006）米崙斷層淺層震測研究。國立中正大學地震研究所碩士論文，共 82 頁。
臺灣省氣象所（1952）民國四十年地震報告，共 83 頁。
劉彥求、陳柏村、莊釗鳴（2018）0206 花蓮地震米崙斷層沿線調查實錄。地質，第 37 卷，第 1 期，第 22-29 頁。
劉政、黃明偉、蔡義本（2007）2003 年 12 月 10 日成功地震前後池上斷層錯動及水準測量結果。經濟部中央地質調查所彙刊，第 20 號，23 - 51 頁。
劉啟清（1986）水準測量的系統誤差。第五屆測量學術及應用研討會論文集，國科會工程研究中心及成功大學，F1-F25。
劉啟清（1988）台灣地區地殼變動對驗潮紀錄的影響。第二屆台灣地區地球物理研討會論文集，第 324 - 331 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。
鍾令和（2003）1951 年池上-玉里地震地表破裂與其所指示之新構造意義。國立台灣大學地質科學研究所碩士論文，共 138 頁。
顏一勤、陳文山、蔡坤智、黃能偉、楊志成、陳勇全、朱曜國、宋時驊、劉彥求、林啟文、林偉雄、侯進雄、林燕慧（2005）縱谷斷層中段之古地震研究。經濟部中央地質調查所特刊，第 16 號，第 17–29 頁。
顏一勤、陳文山、宋時驊、黃能偉、楊志成、劉彥求、林啟文（2014）臺灣東部池上斷層於錦園至萬安地區間的古地震學研究。經濟部中央地質調查所特刊，第二十八號，第 43-70 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。
Bomford, G. (1985) Geodesy, 4th Ed., Oxford University Press.
Bonilla, M. G. (1975) A review of recently active faults in Taiwan. U.S. Geological Survey Open-File Report 75-41, 58 pp., Menlo Park, California.
Chang, C. P., Angelier, J., Huang, C. Y., and Liu, C. S. (2001) Structural evolution and significance of a mélange in a collision belt: the Lichi Mélange and the Taiwan arc–continent collision. Geol. Mag., 138(6), 633–651.
Chen, C.-Y., Lee, J.-C., Chen, Y.-G., and Chen, R.-F. (2014) Campaigned GPS on present-day crustal deformation in northernmost Longitudinal Valley: Preliminary results, Hualien Taiwan. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 25(3), 337–357. doi:10.3319/TAO.2013.12.25.01(TT)
Chen, K.H., Toda, S., Rau, R.J. (2008) A leaping, triggered sequence along a segmented fault: The 1951 ML 7.3 Hualien-Taitung earthquake sequence in eastern Taiwan. J. Geophys. Res., 113, B02304. https://doi.org/10.1029/2007JB005048

Chen, W.S., Huang, M.T. and Liu, T.K. (1991) Neotectonic significance of the Chimei fault in the coastal range, eastern Taiwan. Proc. Geol. Soc. China, no.34, p.43-56.
Chen, W.-S., Yang, C.-Y., Chen, S.-T., and Huang, Y.-C. (2020) New insights into Holocene marine terrace development caused by seismic and aseismic faulting in the Coastal Range, eastern Taiwan. Quatern. Sci. Rev., 240, 106369.
Chen, W.-S., Yen, I.-C., Fengler, K. P., Rubin, C. M., Yang, C.-C., Yang, H.-C., Chang, H.-C., Lin, C.-W., Lin, W.-H., Liu, Y.-C., and Lin, Y.-H. (2007) Late Holocene paleoearthquake activity in the middle part of the Longitudinal Valley fault, eastern Taiwan. Earth Planet. Sci. Lett., 264(3–4), 420–437. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.09.043
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.
Ching, K.-E., Rau, R.-J., Johnson, K. M., Hu, J.-C. and Lee, J.-C. (2011) Present-day kinematics of active mountain building in Taiwan from GPS observations during 1995-2005, J. Geophys. Res., 116, B09405, doi:10.1029/2010JB008058.
Didova, Olga, Brian Gunter, Riccardo Riva, Roland Klees, and Lutz Roese-Koerner (2016) “An Approach for Estimating Time-Variable Rates from Geodetic Time Series.” Journal of Geodesy 90 (11): 1207-1221.
Garcia-Fernandez, M., S. D. Desai, M. D. Butala, and A. Komjathy (2013), Evaluation of different approaches to modeling the second-order ionospheric delay on GPS measurements, J. Geophys. Res., 118 (12), 7864-7873. doi:10.1002/2013JA019356
Hsu, T.-L. (1962) Recent faulting in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan. Mem. Geol. Soc. China, 1, 95–102.
Hu, J. C., Cheng, L. W., Chen, H. Y., Wu, Y. M., Lee, J. C., Chen, Y. G., Lin, K. C., Rau, R. J., Kuochen, H., Chen, H. H., Yu, S. B. and Angelier J. (2007) Coseismic deformation revealed by inversion of strong motion and GPS data: the 2003 Chengkung earthquake in eastern Taiwan. Geophys. J. Int., 169, 667-674. doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03359.x
Konishi, K., Omura, A., and Kimura, T. (1968) 234U–230Th dating of some late Quaternary coralline limestone from southern Taiwan (Formosa). Geology and Palaeontology of Southeast Asia, 5, 211–224.
Kuo, Y. T., Wang, Y., Hollingsworth, J., Huang, S. Y., Chuang, R. Y., Lu, C. H., Hsu, Y. C., Tung, H., Yen, J. Y., and Chang, C. P. (2018) Shallow Fault Rupture of the Milun Fault in the 2018 Mw 6.4 Hualien Earthquake: A High-Resolution Approach from Optical Correlation of Pléiades Satellite Imagery. Seismological Research Letters, 90(1), 97-107. doi: 10.1785/0220180227
Kuochen, H., Brown, D., Lai, S.-Y., and Chen, J.-Y. (2023) Reflection seismic profiling along the Longitudinal Valley Basin, eastern Taiwan: In search of the Central Range fault. Tectonophysics, 869, 230129.
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.
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.
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. https://doi.org/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.
Lin, L.-K., Hsu, S.-K., Tsai, C.-H., Yeh, Y.-C., Wang, S.-Y., Chen, K.-T., Chen, S.-C., and Lin, H.-S. (2021) Hualien Ridge: A tectonic ridge transitioning from plate collision to subduction. Tectonophysics, 816, 229010.
Ma, T. Y. H. (1967) The two fundamental laws of earth evolution derived from the formation of peneplains and deposition of sediments on sea and ocean bottoms. Oceanographia Sinica, 9.
Mu, C.H., Angelier, J., Lee, J.C., Chu, H.T., Dong, J.J. (2011) Structure and Holocene evolution of an active creeping thrust fault: the Chihshang Fault at Chinyuan (Taiwan). J. Struct. Geol. 33, 743–755.
Nikolaidis, R. (2002), Observation of geodetic and seismic deformation with the Global Positioning System, thesis, Univ. of Calif., San Diego.
Shyu, J. B. H., K. Sieh, Y. G. Chen, C. S. Liu (2005) Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes. Journal of Geophysical Research, Vol. 110, B08402.
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., Avouac, J.-P., and 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. J. Geophys. Res., 111, B08403.
Shyu, J. B. H., L. H. Chung, Y. G. Chen, J. C. Lee, K. Sieh (2007) Re-evaluation of the surface ruptures of the November 1951 earthquake series in eastern Taiwan, and its neotectonic implications. Journal of Asian Earth Sciences, 31 (3). pp. 317-331.
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.
Sun, W.-F., Pan, S.-Y., Huang, C.-M., Guan, Z.-K., Yen, I.-C., Ho, C.-W., Chi, T.-C., Ku, C.-S., Huang, B.-S., Fu, C.-C., and Kuo-Chen, H. (2024) Deep learning-based earthquake catalog reveals the seismogenic structures of the 2022 Mw 6.9 Chihshang earthquake sequence. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 35, 5.
Wang, Y., Wu, S.-H., Chou, H. L. B., Huang, H.-M., Chen, C.-H., Chen, Y.-G., Kuo, Y.-T., Hsu, Y.-J., Lee, J.-C., and Hu, J.-C. (2024) Surface ruptures of the 2022 Guanshan–Chihshang earthquakes in central Longitudinal Valley area, eastern Taiwan. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 35, 16.
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.
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.
Wu, Y.-M., Chang, C.-H., Zhao, L., Teng, T.-L., & Nakamura, M. (2008) A comprehensive relocation of earthquakes in Taiwan from 1991 to 2005. Bull Seismol Soc Am, 98(3), 1471–1481.
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., Lu, C.-H., Dorsey, R. J., Kuo-Chen, H., Chang, C.-P., Wang, C.-C., Chuang, R. Y., Kuo, Y.-T., Chiu, C.-Y., Chang, Y.-H., Bovenga, F., and Chang, W.-Y. (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.
Yu, S. B. and Kuo, L. C. (2001) Present-day crustal motion along the Longitudinal Valley fault, eastern Taiwan. Tectonophysics, 333, 199-217.
Yu, S.B., Jackson, D.D., Yu, G.K. and Liu, C.C. (1990) Dislocation model for crustal deformation in the Longitudinal Valley area, eastern Taiwan. Tectonophysics, vol.183, p.97-109.
Yu, S.-B., H.-Y. Chen, and L.-C. Kuo (1997) Velocity field of GPS Stations in the Taiwan area, Tectonophysics, 274, 41-59.

期末審查意見回覆

期末審查意見	處理情形
（一）報告書內容相關建議：	
1. 比較圖4.13 和圖4.7，建議說明瑞穗斷層被分為兩段的理由。	感謝委員建議，瑞穗斷層本計畫中並未進行分段處理。圖 4. 7 僅考慮地礦中心發布之池上斷層分布範圍，並未包含瑞穗斷層的範圍；圖 4. 13 是考慮了瑞穗斷層和北側嶺頂斷層可能會在同一地震事件中一起破裂的情形，而採用嶺頂–瑞穗斷層系統。
2. 圖4.7 和圖4.13 整合兩段地表不同斷層，且幾何參數不相同，建議說明為何是同一斷層的理由。	感謝委員建議，如前題回覆，圖 4. 7 僅考慮池上斷層，因此採用池上斷層的幾何參數。圖 4. 13 之嶺頂–瑞穗斷層系統均屬於縱谷斷層北段，從重定位之地震深度分布剖面來看差異不大，因此考慮了相同的斷層幾何。
3. 請說明池上斷層向南延伸是否也可以合併利吉斷層為同一斷層以從事斷層發震機率的評估？	感謝委員建議，本計畫目前未考慮池上斷層連接利吉斷層破裂，主要考量在於歷史地震觀測結果顯示，1951 年及 2003 年地震事件中，池上斷層的破裂範圍皆未延伸至利吉斷層。惟池上斷層與利吉斷層是否具備在特定條件下共同破裂的可能性，仍有進一步討論空間，後續將配合相關地質與地震學證據，並諮詢專家意見後，評估是否納入破裂情境與斷層發震機率分析之中。
4. 建議評估第五章是否往前移動。	感謝委員建議，由於本計畫為延續性計畫，先前地礦中心已建議將重要區域的成

期末審查意見	處理情形
	果列在報告書前面章節，以凸顯重要區域斷層活動性相關之分析成果。本年度計畫的重要區域為東部，因此於報告書第二章優先陳列東部重要區域之相關成果。
5. 報告書第10頁，第1-3章節為「本年度工作概述」，然此處出現針對兩個斷層的地質背景概述，稍嫌突兀。建議移至其他章節。	感謝委員建議，「米崙斷層」與「池上斷層」是2條鄰近本年度重要區域，相當重要之活動斷層，因此本年度的計畫將著重於分析這2條斷層之斷層幾何參數與其活動性。於本段先概述這2條斷層之地質背景主要為凸顯該斷層未來如果發震可能對重要區域造成影響之重要性。後續於第三章已針對前述2條斷層做更詳盡完整之說明。
6. 報告書第27頁，圖2.6 比較水準測量與GNSS連續站觀測值，但圖之縱軸似乎因為少數離群值而有拉到0-1400 mm，但大多數值均落於1000-1400 mm，建議應予適當調整。	感謝委員建議，已調整修正。
7. 報告書第30頁，章節2-2-2與報告書第226頁章節5-3-3-6均為水準測量資料可靠度分析，但內容都僅為數個句子描述與大圖呈現。建議除了以視覺化呈現水準資料與GNSS觀測比較外，應提供量化統計並於文中增加描述。	感謝委員建議，已補充相關文字描述。
8. 報告書第166頁，建議詳加說明經擬合後之時間序列採用那些週期。	感謝委員建議，時間序列主要採用季節性的週期變化，詳見式 5.1 之擬合公式。
9. 報告書第211頁，圖5.41 等顯示各水準測線各年之累積高程差，建議各年資料以漸層顏	感謝委員建議，已調整修正。

期末審查意見	處理情形
色顯示，較易閱讀以及比較。	
10. 幾個重要區域的觀測成果希望能放大呈現，並嘗試討論與鄰近斷層的變形關係為何。	感謝委員建議，已調整修正。
11. 建議評估兩案合併之必要性，將InSAR之SBAS演算法加入以提供較好成果與更完整之解釋，或執行不同波長之比較。	感謝委員建議，地礦中心於115年度已規劃兩計畫案合併執行。
（二）報告書內容格式以及勘誤相關建議：	
12. 圖3.19、4.7，請釐清Yuli fault是否應該改為瑞穗斷層。	感謝委員建議，圖3.19中的Yuli fault位於春日以南，而地礦中心所公布的瑞穗斷層則位於春日以北，因此圖中的Yuli fault非地礦中心所定義的瑞穗斷層。圖3.19仍維持文獻（Lee et al., 2006）原始斷層命名。 此外，此段斷層應對應至地礦中心定義的池上斷層，本計畫將其視為池上斷層之北段，並已刪除圖4.7中標示的Yuli fault，以避免讀者產生誤解。
13. 報告書第36-37頁，為方便讀者閱讀，報告書請避免圖與圖說不在同一頁的情形。	感謝委員建議，已調整修正。
14. 建議甘梯圖應分離工作項目與查核點。	感謝委員建議，已調整修正。
15. 建議統一摘要中、英文的內容。	感謝委員建議，已調整修正。
16. 摘要過於簡短，僅針對工項進行敘述，建議同結論般針對本計畫之重點成果提供質性、量性說明。	感謝委員建議，已調整修正。
17. 本報告書之章節安排較為特別，並未針對使用之方法設專章或引用前期報告，而是將方法、成果、討論依主題安排。建議考慮於各主題新增小節簡要說明方法。	感謝委員建議，各工項之方法已詳列於各章節中之首節做說明。

期末審查意見	處理情形
18. 重要區域斷層活動機率圖的繪圖原始檔，因應未來可能的使用需求，建議交付繪圖來源檔，並標註使用軟體及版本。	感謝委員建議，遵照辦理。