

摘要

民國 107 年 2 月 6 日深夜 11 點 50 分臺灣東部花蓮地區發生芮氏規模 6.26 的地震，震央在花蓮東北方立霧溪口的海上，震源深度 6.31 公里，此地震是位於板塊隱沒系統的發震構造所引起，造成米崙斷層與嶺頂斷層沿線地表破裂。本所動員構造與地震地質組人力針對周遭地區進行野外調查與大地測量工作，地表地質調查重點在地表破裂分布範圍與活動斷層的相關性，並評估陸上活動斷層是否為此次地震的發震構造，大地測量的目的在了解地表變動的範圍與程度。調查範圍涵蓋花蓮縣新城鄉、花蓮市、吉安鄉與壽豐鄉等破壞較集中的區域。

由餘震分布以及主震的斷層面解等資料，研判 0206 花蓮地震的發震構造係一個深度約 6 公里，呈北東走向且向西北傾斜約 60 度的海域發震構造所致，此構造與琉球海溝的隱沒系統有關。

地表地質調查結果顯示，米崙斷層與嶺頂斷層均有地表破裂與噴砂現象。米崙斷層方面，以美崙溪為界可以分為米崙斷層北段與米崙斷層南段，不同的區段所觀察到的地表破裂現象也不同。米崙斷層北段的地表變形以左移運動為主，局部可觀察到東側、南側抬升的情況，這個位置與米崙斷層的斷層跡相近，而絕大多數地表破裂位在米崙斷層活動斷層地質敏感區（F0011）內。米崙斷層南段的破壞現象大多位在弱帶上，地表破裂的東側局部抬升，或因壓縮產生的拱起現象為主；南段地表破裂現象的規模相對北段來得小，且更為分散。在美崙溪河道兩側與舊七星潭池沼群均有發現群聚的噴砂現象，美崙溪西側河堤內也有局部點狀噴砂情形。嶺頂斷層沿線以地裂與噴砂現象為主，分布於花蓮溪河道，地表的變形特徵也是以左移運動為主。

大地測量方面，利用 GPS 移動站、GPS 連續站測量、精密水準測量與雷達影像等的地殼變形觀測結果顯示，米崙斷層呈左移運動形式，整體水平同震位移量約 6.6~519.8 公厘。米崙斷層的上盤與下盤均有抬升的現象，嶺頂斷層北段同震變形的水平方向與垂直方向均有顯著的變化。使用差分合成孔徑雷達干涉技術（D-InSAR）取得的地表視衛星方向變形分析的結果，跨越米崙斷層兩側或嶺頂斷層北段兩側，位移量顯現明顯不同，可以說明此次地震兩條斷層均有錯動。

本次地震由板塊隱沒作用所引發，東部區域為臺灣陸上地震最為頻繁與平原區活動斷層最密集之區域，因此，建議本區域重要設施需檢討安全設計係數，並視需要進行結構物補強以提高耐震能力。未來針對此區域的發震構造，必須持續地進行地震地質與地表變形觀測等工作，以作為防災與應變的參據。此次地震地質調查結果，將納入米崙斷層地質敏感區範圍的修正，提供國土建設與建築規範的運用。政府已啟動耐震安檢、建築物耐震補強、加速都市更新等措施，本所會配合政策推動，提供基礎地質資料與專業意見。

目錄

摘要	I
目錄	II
圖目錄	IV
表目錄	IX
引言	X
誌謝	XII
壹、區域概況	1
1-1 地質背景	1
1-1-1 區域地質	1
1-1-2 活動斷層分布	4
1-2 地震活動	10
1-3 小結	14
貳、地表地質調查	15
2-1 活動斷層同震變形調查	15
2-1-1 米崙斷層北段地表變形調查	15
2-1-2 米崙斷層南段地表變形調查	37
2-1-3 嶺頂斷層北段地表變形調查	59
2-2 噴砂與沉陷現象調查	69
2-3 其他相關調查-人工結構物破壞、倒塌	76
2-4 小結	80
參、地表變形觀測結果	81
3-1 地震前的地表變動情形	81
3-2 GPS 連續追蹤站同震變形觀測	83
3-3 GPS 移動站同震變形觀測	83
3-4 水準測量同震變形觀測	93
3-5 合成孔徑雷達干涉差分同震變形觀測	97
3-6 小結	100
肆、結論與建議	104

4-1 結論	104
4-2 建議	105
參考文獻	106
附錄	108

圖目錄

圖 1-1-1-1、臺灣的地體構造圖.....	2
圖 1-1-1-2、臺灣地質分區圖.....	2
圖 1-1-1-3、海岸山脈的區域地質圖.....	3
圖 1-1-2-1、米崙斷層沿線的調查成果.....	6
圖 1-1-2-2、1951 年地震米崙斷層的地表破裂圖.....	7
圖 1-1-2-3、米崙斷層活動斷層地質敏感區位置圖.....	8
圖 1-1-2-4、嶺頂斷層沿線的調查成果.....	9
圖 1-2-1、臺灣地區 1900-2009 年的地震分布圖.....	11
圖 1-2-2、中央氣象局地震測報中心 0206 花蓮地震機制解.....	12
圖 1-2-3、0206 地震主震與餘震分布.....	13
圖 2-1-1-1、米崙斷層地表破裂調查分布圖.....	18
圖 2-1-1-2、七星潭南側砂礫灘地表破裂.....	19
圖 2-1-1-3、七星潭南側砂礫灘的逆衝斷層破裂.....	20
圖 2-1-1-4、七星潭與七星山周邊聚落內地表破裂.....	20
圖 2-1-1-5、七星山周邊地表破裂.....	21
圖 2-1-1-6、七星山西側步道左移錯動.....	22
圖 2-1-1-7、七星潭大橋橋面及周圍多為結構物控制的裂痕.....	22
圖 2-1-1-8、七星潭大橋南側步道的左移錯動現象.....	23
圖 2-1-1-9、華西路西側崖坡中段人工結構物受錯動.....	23
圖 2-1-1-10、華西路西側崖坡下方噴砂群.....	24
圖 2-1-1-11、位於日治時代舊七星潭池沼群的噴砂群.....	24
圖 2-1-1-12、華西路東側舊花師北側的破裂.....	25
圖 2-1-1-13、「花師」花圃附近地形崖造成一系列雁行排列伸張裂隙.....	25
圖 2-1-1-14、舊花師涵翠湖東側步道大理岩鋪設地磚多處擠壓破裂.....	26
圖 2-1-1-15、舊花師 PU 跑道西側形成左移型式的雁行排列伸張破裂.....	26
圖 2-1-1-16、舊花師涵翠湖西側地裂現象.....	27

圖 2-1-1-17、舊花師體育館破裂與噴砂.....	27
圖 2-1-1-18、舊花師側門附近圍牆的地表破裂.....	28
圖 2-1-1-19、舊花師游泳池北側斷層潛移造成水泥地面鼓起.....	28
圖 2-1-1-20、府前路與分隔島東側地裂與抬升現象.....	29
圖 2-1-1-21、花蓮港線 CK4+400 處，復興陸橋附近軌道扭曲斷軌.....	29
圖 2-1-1-22、地表破裂呈雁行排列裂隙穿過嘉南路東側田地與民宅.....	30
圖 2-1-1-23、新興路與尚志路交叉口東側災損.....	30
圖 2-1-1-24、壓縮斷裂的渠道與彎曲的鋼筋.....	31
圖 2-1-1-25、美崙山北側南北向的線形谷內的地表破裂.....	31
圖 2-1-1-26、尚志淨水廠坡道邊坡向西推擠破裂.....	32
圖 2-1-1-27、美崙山公園內舊彈藥庫前破裂跡.....	32
圖 2-1-1-28、忠烈祠北側長春歌舞會地表破裂.....	33
圖 2-1-1-29、忠烈祠大殿與廣場地表破裂.....	33
圖 2-1-1-30、忠烈祠南側山坡，邊坡向西抬升.....	34
圖 2-1-1-31、新興路與尚志路交口北側河堤旁道路左移現象.....	34
圖 2-1-1-32、尚志路三號橋附近柏油路面拱起破裂.....	35
圖 2-1-1-33、停車場內小崖上、鐵皮屋內 3 條破裂.....	35
圖 2-1-1-34、尚志路西側路旁民宅內之開裂與陷落.....	36
圖 2-1-1-35、忠烈祠前，尚志橋下河堤受破裂向外推擠.....	36
圖 2-1-2-1、林森路尚志橋下水泥地面沉陷約 5 公分.....	39
圖 2-1-2-2、林森路尚志橋下橋樑裂開，水管遭到毀壞.....	40
圖 2-1-2-3、美崙溪河濱公園的步道拱起.....	40
圖 2-1-2-4、明禮路內民宅及停車場圍牆及地面受損.....	41
圖 2-1-2-5、美崙溪靠近明禮國小的東岸河床噴砂現象.....	41
圖 2-1-2-6、明禮國小正門北側、圍牆與人行道遭推擠向外突出與拱起.....	42
圖 2-1-2-7、明禮路旁之大樓邊緣裂隙.....	43
圖 2-1-2-8、中正路明禮國小附設幼兒園前人行道與馬路產生裂隙與拱起.....	43
圖 2-1-2-9、地表變形穿過中正路旁商辦混合大樓進入後方公園.....	44

圖 2-1-2-10、公正街附近民宅地板龜裂變形.....	45
圖 2-1-2-11、中央市場大樓前緣拱起破損.....	45
圖 2-1-2-12、明禮路破裂，裂隙可分為 2 組.....	46
圖 2-1-2-13、中正路破裂，裂隙可分為 2 組.....	46
圖 2-1-2-14、三民街與公正街口破裂.....	47
圖 2-1-2-15、花蓮醫院內大樓及路面破損.....	48
圖 2-1-2-16、花蓮醫院對面大樓因地震破損.....	48
圖 2-1-2-17、裂隙穿過民宅及圍牆以 N50°E 方向朝南延伸.....	49
圖 2-1-2-18、憲兵公園旁裂隙穿過民宅及圍牆以 N50°E 方向朝南延伸.....	49
圖 2-1-2-19、三民停車場後方圍牆因地震破損.....	50
圖 2-1-2-20、公園路旁之停車場微拱起並向西南側輕微抬升傾斜.....	50
圖 2-1-2-21、公園路 N30°W 龜裂，未見顯著錯距.....	51
圖 2-1-2-22、福町公園後方民宅有輕微受損.....	51
圖 2-1-2-23、鐵道博物館內建物、庭園及圍牆有輕微受損.....	52
圖 2-1-2-24、福建街與光復街口有兩組破裂.....	52
圖 2-1-2-25、福建街與福町街口破裂.....	53
圖 2-1-2-26、福建街與中山路口破裂.....	53
圖 2-1-2-27、東大門樂園旁呈現雁行排列地表破裂.....	54
圖 2-1-2-28、自由路東大夜市門口右側草皮地表變形.....	54
圖 2-1-2-29、花蓮代天府前地表變形以約 N20°W 方向朝南濱出海口延伸.....	55
圖 2-1-2-30、南濱出海口東側地表變形以約 N30°W 方向延伸出海.....	55
圖 2-1-2-31、南濱公園內觀音像受到強震影響從接縫處斷裂.....	56
圖 2-1-2-32、重慶路與福町路口破裂.....	56
圖 2-1-2-33、重慶路與博愛街口破裂.....	57
圖 2-1-2-34、廣東街與博愛街口破裂有兩組破裂.....	57
圖 2-1-2-35、重慶路與自由街口破裂.....	58
圖 2-1-2-36、南濱公園海堤道路呈 N40°W 方向裂隙.....	58
圖 2-1-3-1、花蓮大橋靠西半側橋台附近呈現平行橋台下陷.....	60

圖 2-1-3-2、由西向東拍攝花蓮大橋 P9、P10 橋墩左移形式錯動	61
圖 2-1-3-3、由東向西拍攝花蓮大橋東側橋頭橋墩右移形式錯動.....	61
圖 2-1-3-4、由花蓮大橋俯瞰下方南北向分佈之伸張破裂與噴砂.....	62
圖 2-1-3-5、花蓮大橋周邊變形，範圍寬達 180 公尺，延伸分為 3 道破裂.....	63
圖 2-1-3-6、花蓮大橋附近嶺頂斷層相關變形最東側破裂.....	64
圖 2-1-3-7、花蓮大橋周邊位於中央處破裂.....	64
圖 2-1-3-8、花蓮大橋下方最西側破裂.....	65
圖 2-1-3-9、木瓜溪匯流入花蓮溪沖積扇零星破裂跡與噴砂孔.....	65
圖 2-1-3-10、木瓜溪南岸沙洲破裂跡與噴砂孔.....	66
圖 2-1-3-11、崩坎北側沙洲破裂跡與噴砂孔.....	66
圖 2-1-3-12、崩坎南側堤防結構裂隙擴大並產生連續約 400 公尺噴砂現象.....	67
圖 2-1-3-13、193 縣道 30K 南側堤防旁沙洲噴砂現象.....	67
圖 2-1-3-14、月眉大橋東北側約 1.77 公里的破裂.....	68
圖 2-1-3-15、嶺頂斷層北段上盤受地震造成崩塌.....	68
圖 2-2-1、美崙溪河岸沉積物側潰	69
圖 2-2-2、水門至國盛八街之間美崙溪兩側河堤內發生側潰	70
圖 2-2-3、國軍花蓮總醫院周邊道路與建物產生沉陷導致傾倒與開裂.....	70
圖 2-2-4、美崙溪床在震後至數日內出現群聚噴砂現象.....	71
圖 2-2-5、細部觀察美崙溪噴砂現象	71
圖 2-2-6、美崙溪兩岸河堤部分地方沿著結構弱面受到些微破壞.....	72
圖 2-2-7、美崙溪堤旁水溝也可見小規模單點噴砂現象.....	72
圖 2-2-8、國盛七街水泥溝渠與道路間之破壞現象.....	73
圖 2-2-9、國盛八街，河堤下農田與擋土牆間隙擠出小規模噴砂.....	73
圖 2-2-10、美崙溪西側堤內房屋底層塌陷或建物傾斜.....	74
圖 2-2-11、美崙溪西側堤內房屋周邊沉陷	74
圖 2-2-12、國盛八街，靠房屋一側之沉陷造成道路連續龜裂.....	75
圖 2-2-13、國盛八街以北至十六股大橋之間農地調查並未發現沉陷與噴砂現象.....	75
圖 2-3-1、吾居吾宿大樓（左）及白金雙星大樓（右）倒塌現象.....	77

圖 2-3-2、雲門翠堤大樓傾倒.....	77
圖 2-3-3、雲門翠堤大樓一樓結構柱之破壞.....	78
圖 2-3-4、統帥大飯店破壞現象.....	78
圖 2-3-5、花蓮舊遠百大樓破壞現象.....	79
圖 3-1-1、東部地區相對於澎湖白沙站之 GPS 水平方向速度場.....	81
圖 3-1-2、東部地區相對於澎湖白沙站之 GPS 垂直方向速度場.....	82
圖 3-2-1、GPS 連續追蹤站外觀.....	83
圖 3-2-2、GPS 連續追蹤站水平方向同震位移圖.....	84
圖 3-2-3、GPS 連續追蹤站垂直方向同震位移圖.....	85
圖 3-3-1、GPS 移動站分布圖.....	87
圖 3-3-2、本次地震後 GPS 移動站施測與檢測作業情形.....	88
圖 3-3-3、本所活動斷層觀測網監測點照片.....	88
圖 3-3-4、GPS 移動站水平方向同震位移圖.....	89
圖 3-3-5、GPS 移動站垂直方向之同震位移圖.....	90
圖 3-3-6、GPS 移動站在花蓮地震前後之南北、東西及垂直方向的變動時間序列圖.....	92
圖 3-4-1、嶺頂-龍澗測線及各水準點位分布圖.....	93
圖 3-4-2、本次地震後水準測量施測情形.....	94
圖 3-4-3、嶺頂-龍澗測線精密水準測量情形.....	94
圖 3-4-4、水準測量垂直同震位移圖.....	95
圖 3-4-5、精密水準點在垂直方向變動之時間序列圖.....	96
圖 3-5-1、Sentinel-1 衛星同震地表視衛星方向變形場.....	98
圖 3-5-2、Sentinel-1 與 ALOS-2 東西方向與垂直方向花蓮地震同震地表變形場.....	99
圖 3-6-1、花蓮地區 GPS 連續追蹤站、移動式 GPS 觀測點位及精密水準測線分布圖.....	101
圖 3-6-2、整合 GPS 連續站及移動站之水平方向同震位移圖.....	102
圖 3-6-3、整合 GPS 連續站、移動站及水準測量之垂直方向同震位移圖.....	103
圖 A-1、調查照片點位分佈圖-米崙區.....	108
圖 A-2、調查照片點位分佈圖-嶺頂區.....	109

表目錄

表 A-1、調查照片點位分佈表	110
表 A-2、GPS 連續追蹤站同震位移資料表	113
表 A-3、GPS 移動站同震位移資料表	114
表 A-4、水準測量同震位移資料表	115

引言

報告撰寫：盧詩丁、陳柏村

根據中央氣象局的測報，民國 107 年 2 月 6 日深夜 11 點 50 分於臺灣東部花蓮地區發生芮氏規模 6.26 的地震，震央在花蓮東北方立霧溪口的海上，震源深度 6.31 公里。本次地震位於花蓮市北方不遠處，同時在 105 年 2 月 6 日另外有一起規模 6.6 之 0206 高雄美濃地震（本所稱為 20160206 美濃地震），因此一般媒體都將此次地震稱為 0206 花蓮地震，本報告以地震發生時間加上地名作為地震的名稱，因此以「20180206 花蓮地震」作為本次地震之稱呼，簡稱為 0206 花蓮地震以便描述。

這是臺灣本島地區在 2016 年 2 月 6 號的高雄美濃地震以來，又一次傷亡嚴重的地震；也是花蓮地區自 1951 年烈震以來，再次發生規模 6 以上的災害性地震，由於本地震正巧為 20160206 美濃地震之兩周年，同樣也造成了大樓傾倒的嚴重災情，因此特別受到各界重視。在本次地震中，花蓮市、太魯閣，宜蘭南澳等處的震度達 7 級，而宜蘭縣的羅東、南投縣的合歡山與花蓮縣北部的多處地震站均可觀測到 5 級以上的震度，造成許多建物的破壞，進而產生重大傷亡。

據花蓮縣災害應變中心「0206 震災」災情彙整（截至 3 月 14 日 12 時止），地震災情集中在花蓮市，除造成 4 棟建物倒塌、17 人罹難與 295 人受傷外，同時也造成多處校園、道路與橋樑受損。亦造成一些地區的噴砂與沉陷的現象，以及部分道路和橋樑的破壞。

此次地震的震央與米崙斷層相當接近，且米崙斷層沿線也有明顯的地表破裂現象，引發各界對於本次地震是否為米崙斷層活動所引致的討論。同時，本次地震於主震發生前兩日已有密集的群震現象、震後亦有長達近一周的餘震。另外，氣象局也將原先初報的地震規模，於 3 月初上修至芮氏規模 6.26 (M_L)，震源深度也由 10 公里修改為 6.31 公里，因此不論在地質或是地震科學上，本次地震均受國內地球科學界重視，引發學界廣泛地討論。

依照目前中央氣象局的地震資料，此次地震乃是一條位於地下淺處約 6 公里，呈現近北東走向、向西北傾斜約 60 度的解釋斷層面，或是由西北西走向，向南傾斜約 70 度的解釋斷層面錯移所引起，震央位於立霧溪口的海域中。經與該區域的地質構造的比對結果，研判本次地震可能為花蓮外海板塊隱沒系統之斷層錯動引起，地表上的米崙斷層與嶺頂斷層雖有破裂與噴砂現象，但由於斷層幾何形貌的不同，野外調查與大地觀測的成果分析亦發現，本次地震的地表變形行為無法單以米崙斷層誘發本次地震解釋，因此研判米崙斷層與嶺頂斷層並非誘發本次地震的震源斷層。

在調查與撰寫報告過程中，動員了本所構造與地震地質組全組大部分的人力，同時亦有相關組室同仁協助進行空拍調查，參與的同仁有林啟文（組長）、盧詩丁（科長）、陳建良（科長）、劉彥求、陳致言、陳柏村、陳盈璇、許晉璋、莊釗鳴、陳思婷、李柏村、周稟珊、吳惠妹、黃志遠、鄭智仁、呂貞怡、范力仁、潘乙喬、許庭瑄、梁啟暉。總計投入超過 50 人日的調查人力與時間，室內同仁亦不斷協助資料收集與彙整，方於 3 月底前完成本次地震地質調

查報告。

本次地表地質調查重點在花蓮縣的花蓮市，新城鄉、吉安鄉與壽豐鄉等地區的活動斷層沿線普查與地表破裂分布調查，同時也紀錄調查區域內，本次地震併同發生的噴砂、地表沉陷或是部分建物、橋樑受損之現象。此外，本所也在地震後進行花蓮地區大範圍的 GPS 測量工作，瞭解地表變形的分布情形。活動斷層觀測資料分析部分，也同步進行 GPS 連續站、水準測量等觀測資料的檢視與研判。以下分別就區域概況、地表地質調查、地表變形觀測以及結論與建議等內容分別以不同章節加以描述。

誌謝

本報告為中央地質調查所於 20180206 花蓮地震後，短時間內進行現地調查及彙整許多資料撰寫而成，調查及撰寫期間承蒙下列單位及專家學者提供資料與協助，本所敬致謝忱。

地表地質調查：顏君毅教授、衣德成先生、顏一勤地質技師、鍾令和博士。

地變動觀測分析：景國恩教授、胡植慶教授、張午龍教授、鄭凱謙教授、莊昀叡教授、陳宏宇博士、童忻博士、陳江鑫先生。

GPS 資料提供與同震測量：中研院地科所、中央氣象局、內政部地政司、內政部國土測繪中心、經濟部水利署、中興測量公司。

壹、區域概況

報告撰寫：盧詩丁、陳柏村

1-1 地質背景

1-1-1 區域地質

臺灣位處環太平洋地震帶中，位於歐亞板塊和菲律賓海板塊的斜向聚合處，菲律賓海板塊以每年平均約 8 公分的速度朝西北碰撞歐亞板塊，於臺灣東部向北隱沒至歐亞板塊之下，臺東縱谷為此板塊碰撞的縫合帶，宜蘭外海的沖繩海槽及花蓮外海的琉球海溝與琉球島弧則屬於隱沒系統。本次地震發生區域位於縱谷的北端開口處，即為縱谷縫合系統與隱沒系統的交會處，因此在大地構造的背景上相對複雜（圖 1-1-1-1）。

依陳文山（2016）的臺灣地質構造區分類，此次地震影響範圍主要位於脊樑山脈地質區（IV、V）與海岸山脈地質區（VI）的交接地帶；西側為中央山脈地質區的變質岩，中央為未膠結的沖積扇與沖積層，東側為海岸山脈地質區的沈積岩與火成岩。地形上，自西向東由高達上千公尺的中央山脈，下降到略高於海平面的縱谷平原與米崙台地，再向東上升到丘陵地至局部數百公尺的山脊，再向東快速下降至近海區域，不論在岩石特性、變形與變質程度或地形特徵上，均顯現板塊交界位置的特徵。以下分別簡述地質分區與花東縱谷平原的基本組成與特徵（圖 1-1-1-2、圖 1-1-1-3）：

花東縱谷西側屬於脊樑山脈地質區的大南澳片岩帶（V）（陳文山，2016），大南澳片岩帶是臺灣陸上最老的地質構造單元，主要由綠色片岩相以上的變質岩構成。縱谷平原，分布於脊樑山脈地質區與海岸山脈地質區之間的縱谷地帶，寬度介於 3~6 公里，地勢平坦，表層為沖積層，主要由未膠結的泥沙與礫石所組成，沉積物來源為西側脊樑山脈與東側海岸山脈的岩層，局部受到縱谷的斷層系統影響，而有褶皺或斷層。海岸山脈地質區（VI）以火成岩與沉積岩為主要組成；海岸山脈地形、岩層、斷層與褶皺等主要構造多呈北 10 度至 20 度東走向，大致平行於板塊邊界的縱谷斷層走向，顯然板塊碰撞具有密切關係。海岸山脈北高南低，雖與火山岩地形有關，但也受到新期構造活動之影響。

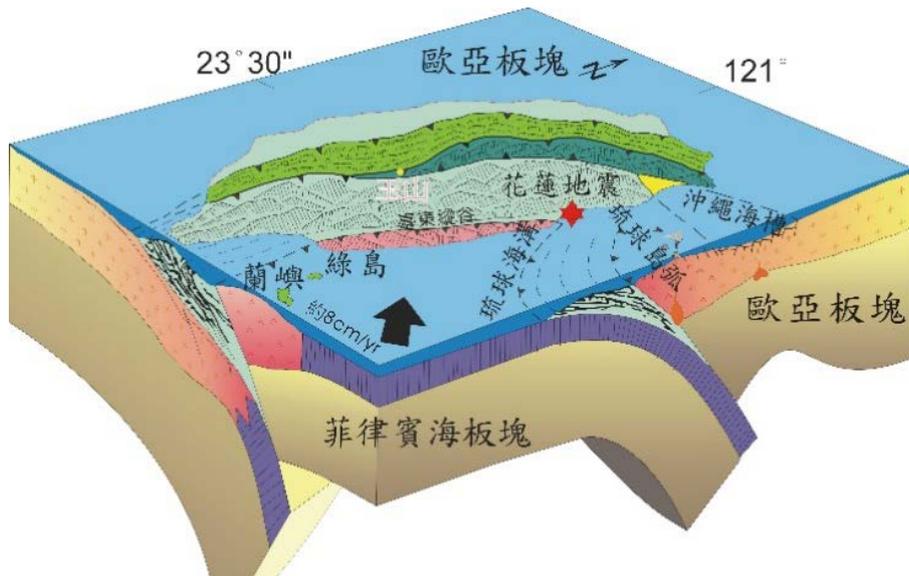


圖 1-1-1-1、臺灣的地體構造圖，本次地震發生區域位於歐亞板塊與菲律賓海板塊的碰撞位置（修改自地質第 22 卷 1 期）。

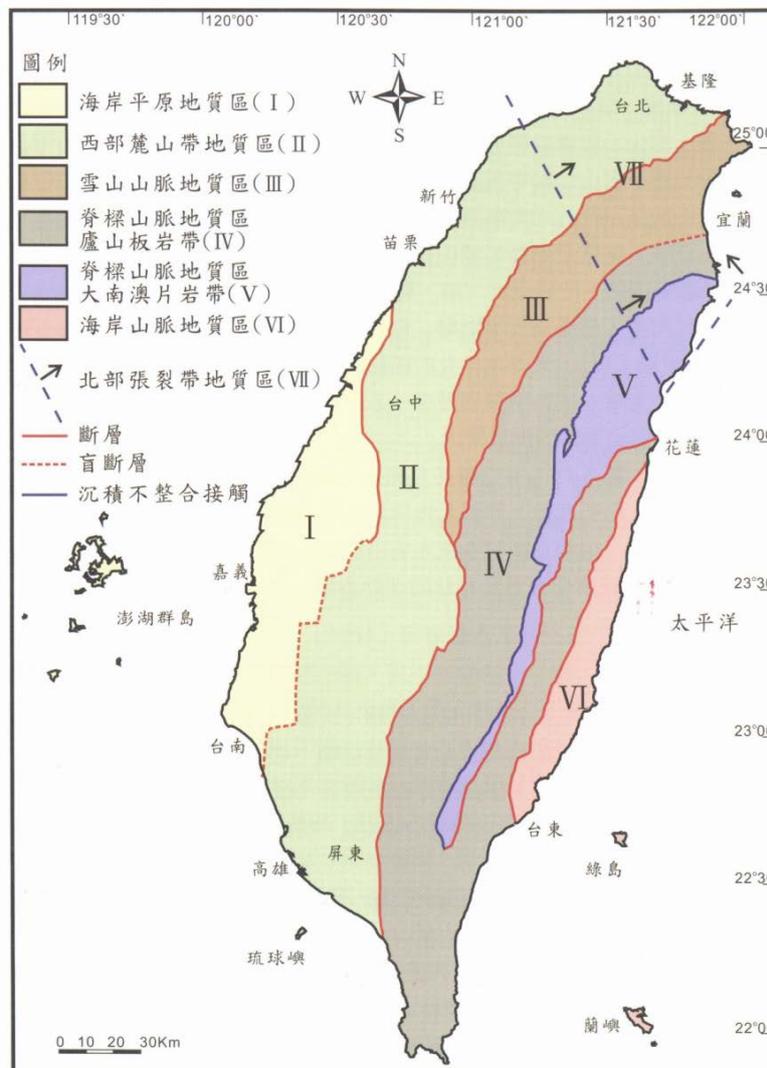


圖 1-1-1-2、臺灣地質分區圖（陳文山，2016）。

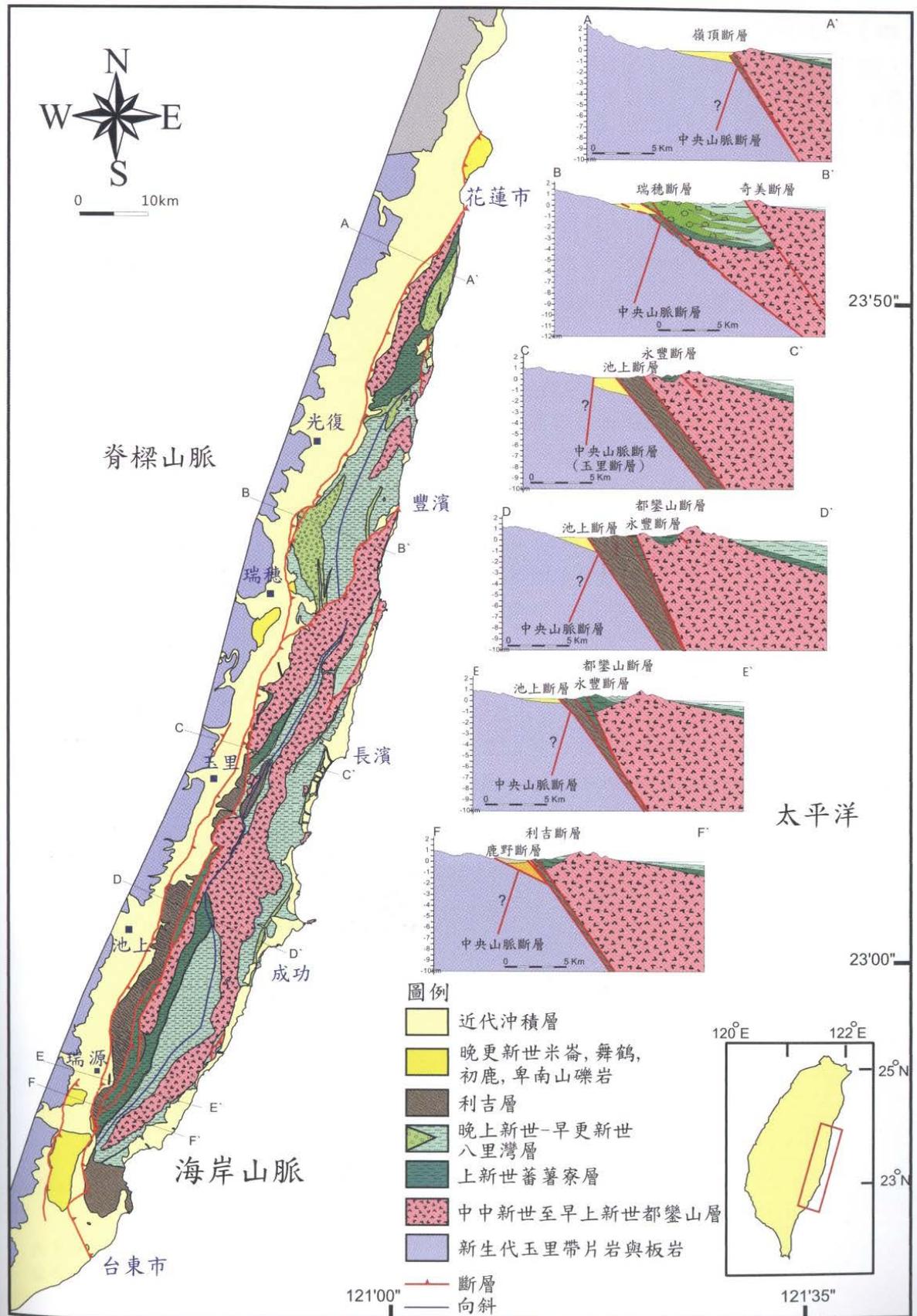


圖 1-1-1-3、海岸山脈的區域地質圖 (陳文山, 2016)。

1-1-2 活動斷層分布

在 0206 花蓮地震與活動斷層的空間關係方面，此次地震主震的震央位置位於花蓮北側海域，靠近米崙斷層向北的延伸，地震災情也密集的分布在米崙斷層沿線，因此地震發生時，有相當多調查與致震原因推測可能與米崙斷層有關。同時，隨後的大地觀測資料也顯示在米崙斷層與嶺頂斷層兩側，有明顯的位移，因此米崙斷層與嶺頂斷層在本次地震中所扮演的角色，則成為各界探討的重點之一。為釐清上述活動斷層與此地震的關係，並分析震後相關破壞的可能原因，以下便針對這些活動斷層略作簡述，詳細的活動斷層資料內容請參閱本所出版之兩萬五千分之一活動斷層條帶地質圖說明書，以及於 2016 年公告的米崙斷層活動斷層地質敏感區 (F0011) 劃定計畫書等資料。

米崙斷層：

米崙斷層為左移斷層兼具逆移分量，約呈南北走向，由花蓮縣七星潭海岸向南延伸至花蓮市美崙山西南側 (圖 1-1-2-1)，長約 8 公里 (Hsu, 1956)。本斷層又稱花蓮斷層 (林朝榮, 1962) 或美崙斷層 (楊貴三, 1986)。花蓮地區在 1951 年 10 月 22 日的 5 時 34 分及 11 時 30 分發生 2 次強震 (臺灣省氣象所, 1952)。鄭世楠等 (Cheng *et al.*, 1996) 將 2 次地震重新定位後，第 1 個地震位於花蓮東方外海，震源深度 9 公里，規模 (Ms) 7.4，第 2 個地震位於七星潭北部外海，震源深度 30 公里，規模 (Ms) 7.2，並造成花蓮地區地表破裂 (圖 1-1-2-2)。依據臺灣省氣象所 (1952) 的紀錄，1951 年地震時花蓮機場東側抬升 50 公分，七星山抬升 120 公分，七星潭東側抬升 40 公分，在加禮彎路基上斷層東側向北移動 40 公分。林朝榮 (1962) 指出當年地震時七星潭附近斷層的視左移移距約 2 公尺，東側上升約 1.2 公尺。徐鐵良 (Hsu, 1962) 指出地震當時斷層上盤抬升 50~60 公分，下降側有斷層池。劉啟清 (1988) 分析 1951 年的花蓮大地震抬升現象一直延伸至海岸，造成花蓮港水位線下降 60 公分，整個米崙台地可能都受到地震造成的抬升作用，米崙斷層則是該次地震的地震斷層。由地表破裂分析與地形分析結果，米崙斷層可能有多次活動的跡象，部分位置有潛移或過去破裂的紀錄 (梁勝雄等, 2017)，以往曾經將斷層向南延伸至木瓜溪附近，而由近期的地形地質與地球物理探勘結果，在吉安鄉就沒有發現斷層存在的證據。米崙斷層於 2016 年公告劃定活動斷層地質敏感區 (F0011)。

依據地震後的調查結果，米崙斷層沿線有分布廣泛的地表破裂，部分地點有噴砂現象，這些地表破裂大多位於前述的米崙斷層活動斷層地質敏感區的範圍內，初步研判的原因是米崙斷層附近的地質材料較破碎，為相對軟弱的地質環境。(圖 1-1-2-1、圖 1-1-2-3)。米崙斷層在此次地震中曾被懷疑可能為致震的構造，但是，本次的地震的震源機制、震源深度及主、餘震分布與米崙斷層無法比對，研判米崙斷層並非本次地震的發震斷層。

嶺頂斷層：

嶺頂斷層，可能是左移斷層兼具逆移性質，呈北北東走向，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 (陳文山等, 2008)，長約 30 公里 (圖 1-1-2-4)。在斷層上盤有一系列斷續出現的線狀崖，原被稱為月眉斷層 (林啟文等, 2000)。嶺頂斷層可能是海岸

山脈向西、北運動時所形成的前緣斷層，向南延伸至富田一帶連接至瑞穗斷層，由大地觀測的結果顯示嶺頂斷層兩側在垂直與水平的速度場有明顯的變化，透過鑽探分析該斷層曾於 10 萬年內活動（許晉璋及劉彥求，2017），列為第 2 類活動斷層。

依據地震後的調查結果，本次地震嶺頂斷層壽豐以北之沿線發現有地表破裂與噴砂的現象，但規模不若米崙斷層沿線，亦因沿線較少人為建物，因此變形現象較難觀察。由本次的地震之震源機制、震源深度及主、餘震分布與嶺頂斷層無法比對，同時分布於嶺頂斷層沿線之破壞僅約 6 公里，破壞程度與範圍遠小於米崙斷層，因此研判嶺頂斷層亦非本次地震的發震斷層。



圖 1-1-2-1、米崙斷層沿線的調查成果（地質底圖引用自林啟文等，2009）。

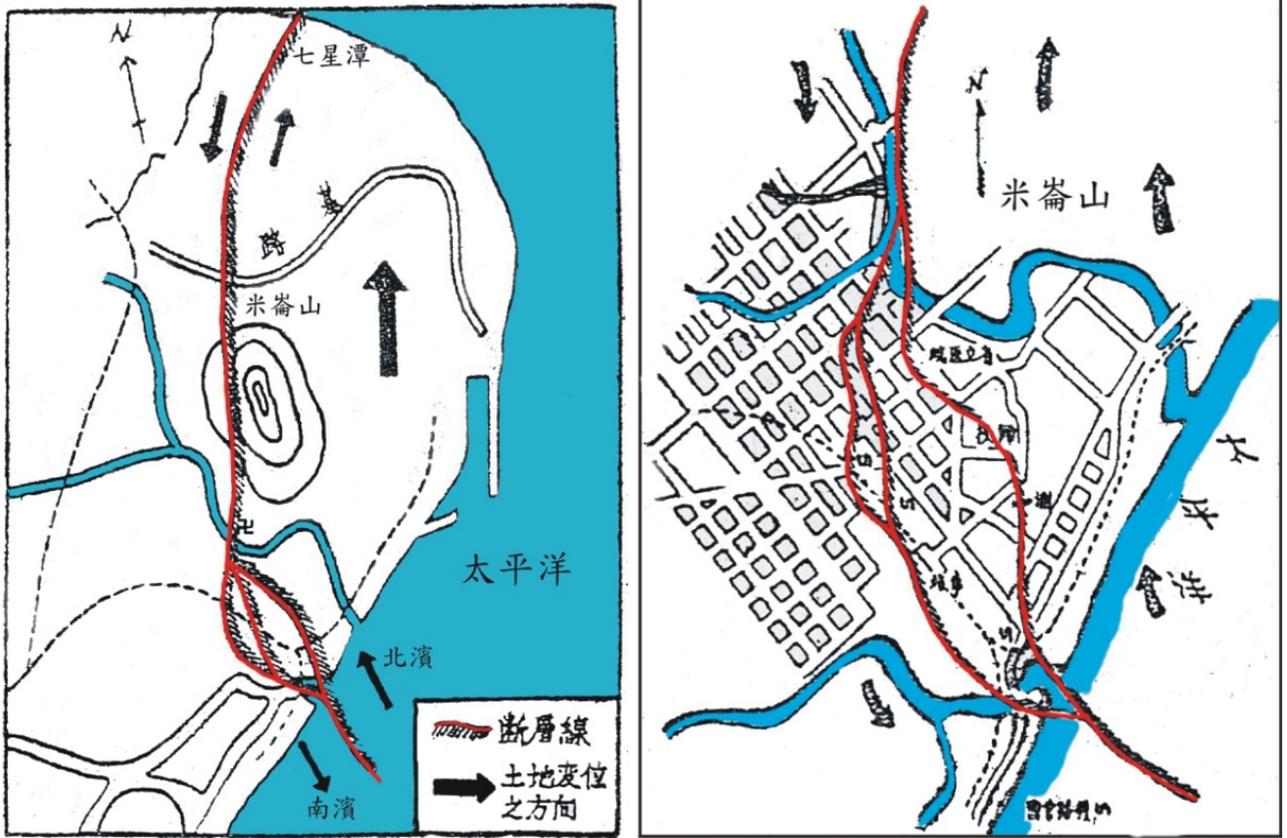
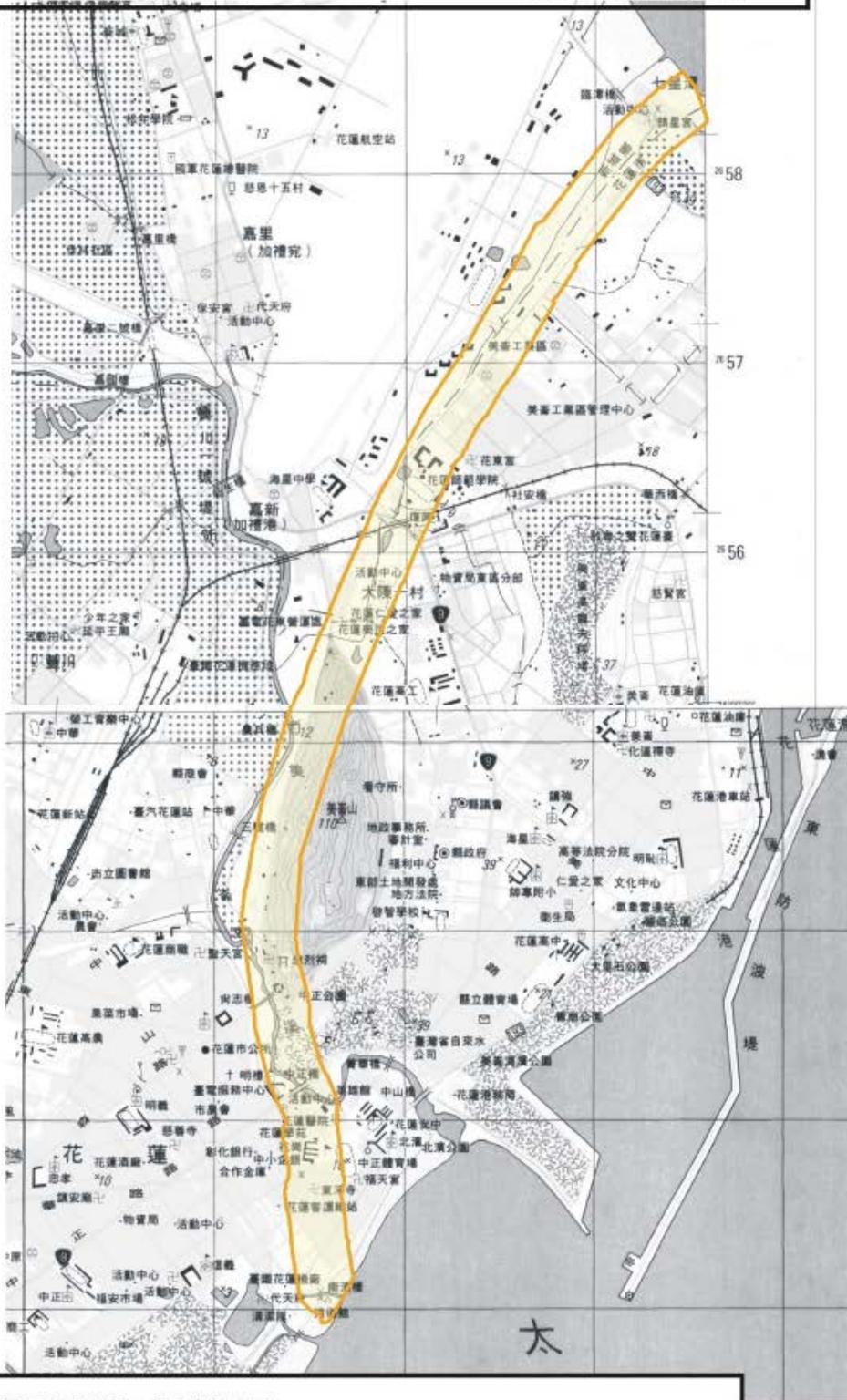


圖 1-1-2-2、1951 年地震米崙斷層的地表破裂圖。地震當時報紙所報導花蓮市的地表破裂分布圖（林啟文等，2009）。

活動斷層地質敏感區範圍圖

F0011米崙斷層

【97213SW 北埔】



活動斷層地質敏感區範圍圖

F0011米崙斷層

【97204NW 花蓮】

圖 1-1-2-3、米崙斷層活動斷層地質敏感區位置圖（經濟部，2016）。

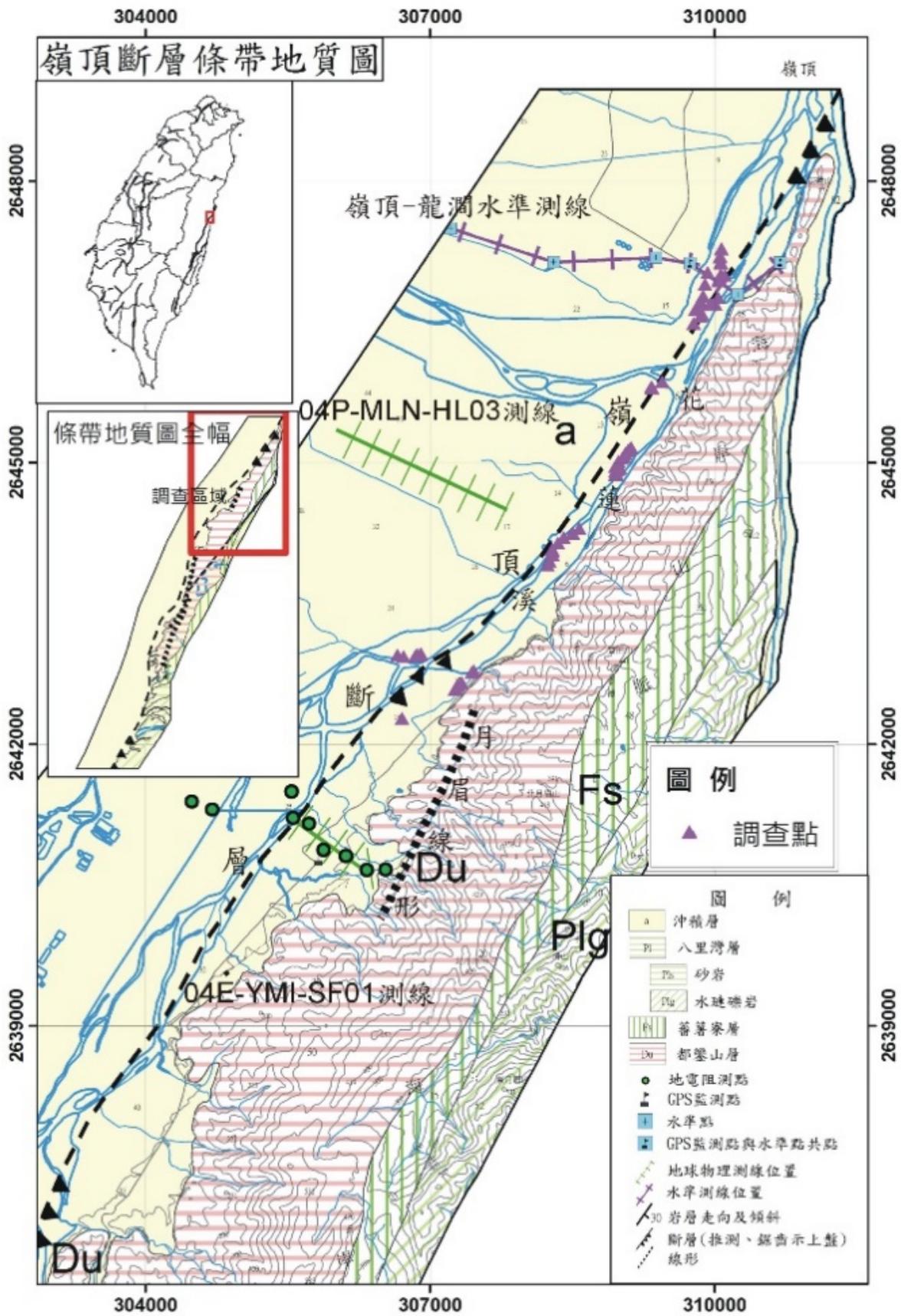


圖 1-1-2-4、嶺頂斷層沿線的調查成果（地質底圖引用自林啟文等，2009）。

1-2 地震活動

臺灣位處環太平洋地震帶上，地震發生的次數相當頻繁，並且經常有強烈的地震發生，本區域更是屬於地震密集的区域（圖 1-2-1）。依據中央氣象局 1994~2015 資料，臺灣地區每年約發生 20,000 次地震，其中約有 700~1,000 次為有感地震。地震發生次數最多的是在 1999 年，主要是受到 921 地震之影響，該年共計發生了 49,928 次地震，其中有感地震達 3,233 次之多；就災害性地震資料統計分析，從 1901 年至 2016 年底共計發生了百次以上之災害性地震。

依據氣象局資料，由地震觀測資料顯示（圖 1-2-2），0206 地震發生於 107 年 2 月 6 日深夜 11 點 50 分，芮氏地震規模為 6.26（ M_L 氣象局 3 月修正資料），全島均有感受到本次地震的搖晃，震度以花蓮縣的花蓮市、太魯閣，宜蘭縣的南澳等地震站達 7 級最高，除此之外，花蓮縣北部的多處地震站、宜蘭縣羅東站與南投縣合歡山站等多處測站觀測到之震度達 5 級以上。0206 地震震央在花蓮縣政府北偏東方近海處，震源深度 6.31 公里，震央位置則位在東經 121.73 度，北緯 24.10 度的位置。

本次地震 2 月 4 日至主震發生期間共發生超過 90 次的有感前震，主震發生後至 2 月 26 日為止，累計有感餘震次數總計超過 300 次，其中規模 5 以上（含）的地震，在前震、餘震中各有 5 次。依據氣象局資料，本次地震事件前、後相關的地震活動主要分布於宜蘭縣南澳鄉至花蓮縣壽豐鄉之間，在時間序列上有發生位置逐漸向南、深度逐漸變淺的特徵，根據震源機制解與餘震活動等資訊研判，應與板塊擠壓與隱沒作用有關。

在震源機制方面（圖 1-2-2），依據氣象局寬頻 CMT 資料、顯示本次地震深度約 6.31 公里，震源機制有兩個解釋的斷層面，分別為北東走向，向北西傾斜約 60 度，以及西北西走向，向南傾斜約 70 度的解釋斷層面，由主、餘震及震度、災情的分布，一般認為本次地震為北東走向，向北西傾斜近 60 度的解釋斷層面較為合理（圖 1-2-3），但仍有部分學者認為無法排除為西北西走向，向南傾斜約 70 度的解釋斷層面。

氣象局於震後 1 個月（107 年 3 月）經人工重新處理資料後修正震源規模與深度，與最初氣象局速報系統公布的地震報告內容略有不同，唯部分圖片因本報告截稿時，氣象局網站的資料尚未更新為人工修正後的內容，因此本報告係依截稿時（107 年 3 月 26 日）所能取得的最新資料撰擬。

依據花蓮縣災害應變中心「0206 震災」災情彙整（截至 3 月 14 日 12 時止），本次地震災情主要集中在花蓮縣花蓮市，除造成 4 棟建物倒塌、17 人罹難與 295 人受傷外，同時也造成多處校園、道路與橋樑受損。

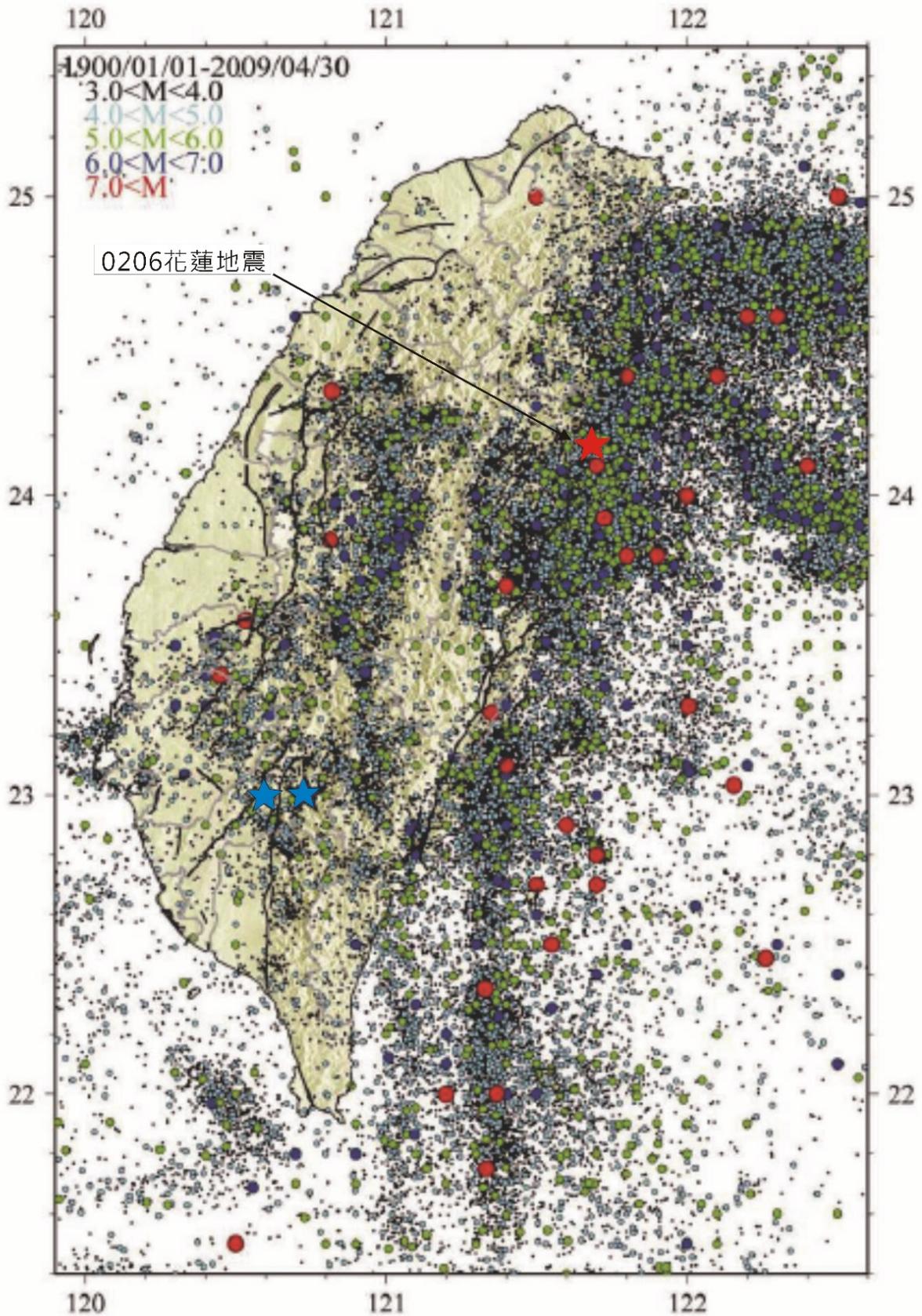


圖 1-2-1、臺灣地區 1900-2009 年的地震分布圖。藍色星號為 2010 年 0304 地震震央與 2016 年 0206 地震位置，紅色星號為 20180206 花蓮地震的位置（修改自林哲民等，2010）。

Event ID:

Date: 2018 / 2 / 6 Time: 15 : 50 : 42.0
 Epicenter: 24.1427 N 121.6910 E
 Depth: 13 km
 Mw: 6.219
 Nodal plane: 215.68 / 56.36 / 25.57
 Nodal plane: 110.84 / 68.94 / 143.58
 CLVD: 19.02 % Isotropic: 0.00 %
 Avg Misfit: 0.504

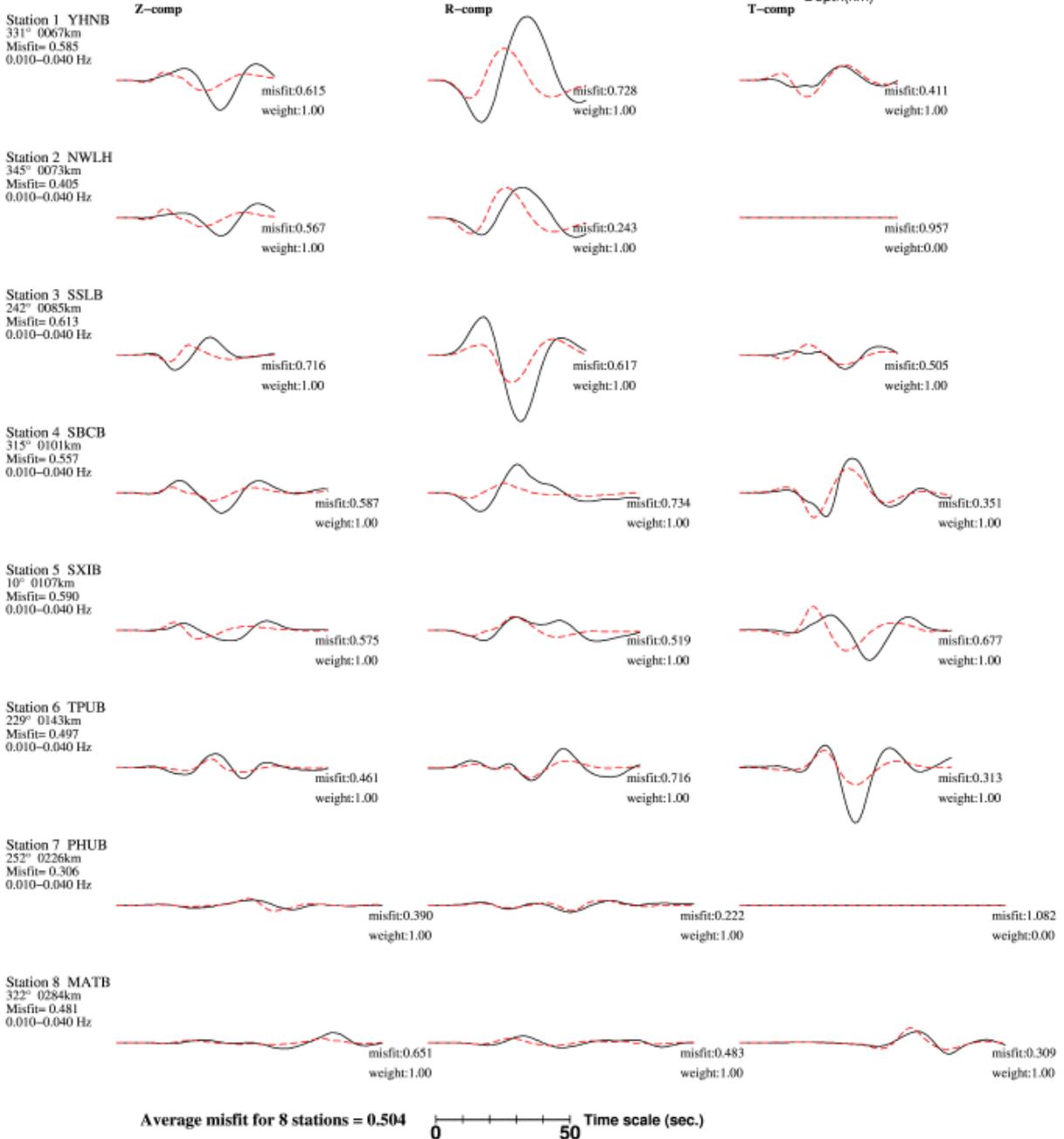
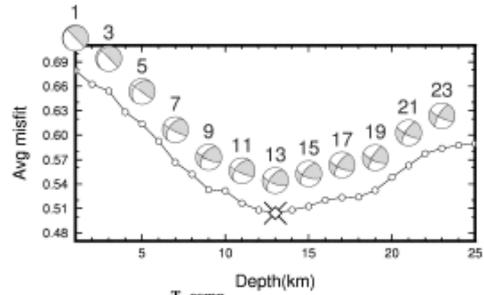
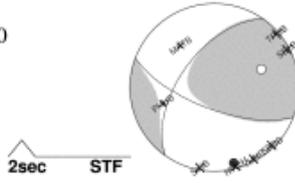


圖 1-2-2、中央氣象局地震測報中心 0206 花蓮地震機制解 (中央氣象局網頁, 107 年 3 月 26 日)。

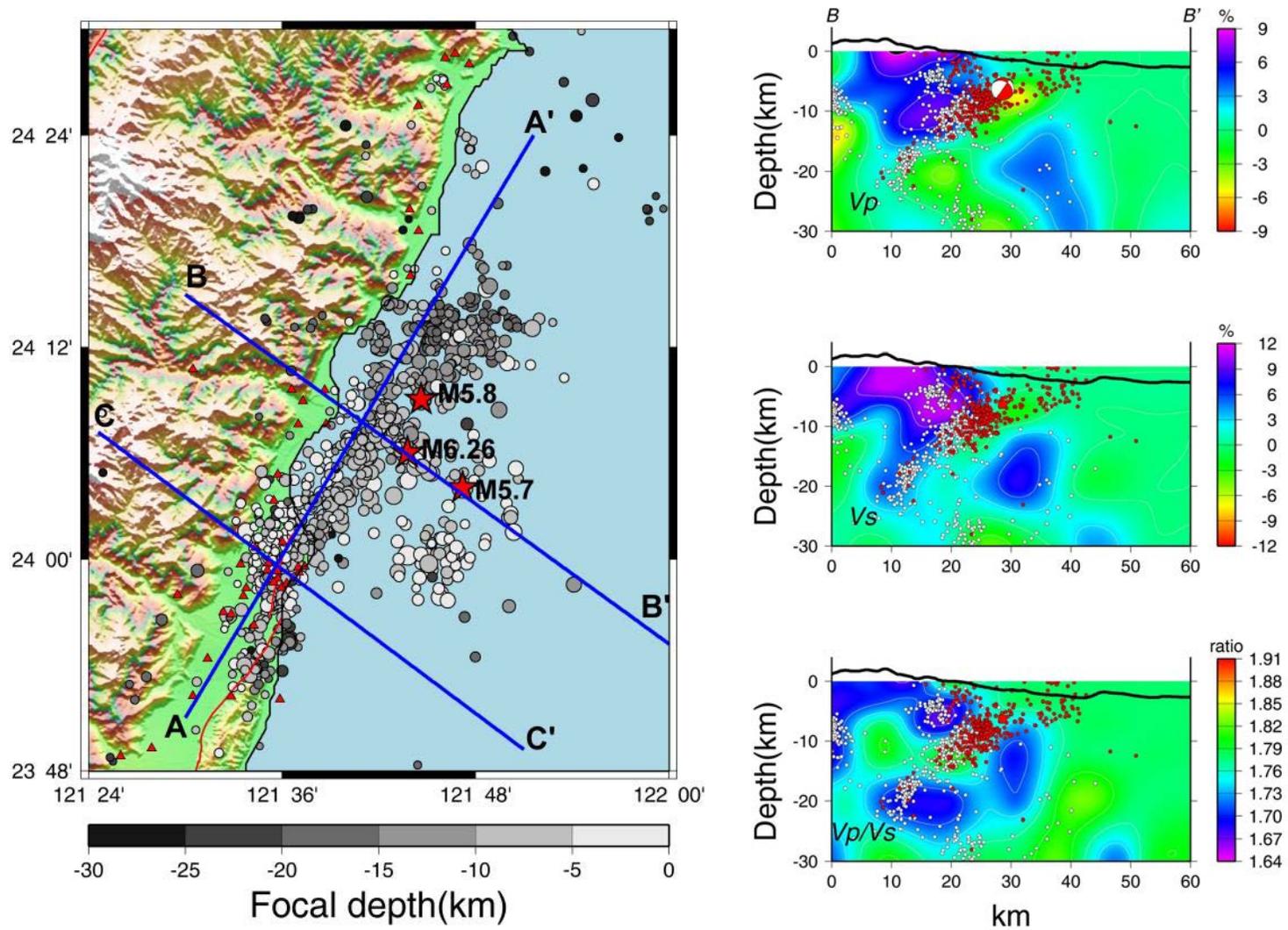


圖 1-2-3、0206 地震主震（星號）與餘震分布，右幅為 B-B' 之地震投影剖面（溫怡瑛等，2018）。

1-3 小結

1. 透過主震與餘震震央位置分布、震源深度及震源機制等地震資訊，以及鄰近地區的活動斷層特性後研判，此次地震之並非地表淺部的米崙斷層與嶺頂斷層活動引致，但地震後在此兩條斷層沿線均發現了地表破裂與噴砂的現象。

2. 由主震震源機制解與餘震震央分布顯示，此地震之發震構造是一個深度約 6 公里，約呈北東走向、向西北傾斜近 60 度的海域發震構造所致，研判與琉球海溝的隱沒系統有關。

貳、地表地質調查

報告撰寫：劉彥求、陳柏村、莊釗鳴、陳思婷、許晉璋、黃志遠、呂貞怡

2-1 活動斷層同震變形調查

透過地表地質調查，本次地震在米崙斷層與嶺頂斷層均有發現地表破裂、噴砂的現象，在米崙斷層方面又可以美崙溪為界，分為美崙溪以北（米崙斷層北段）與美崙溪以南（米崙斷層南段）兩段，在此三個區段所觀察到的地表破壞現象具有不同，以下將分別進行介紹。

2-1-1 米崙斷層北段地表變形調查

0206 花蓮地震發生後彙整媒體報導與網路所傳災情，災損點集中於米崙斷層沿線，顯示米崙斷層可能活動產生地表破裂，調查發現有 2 條地表破裂產生，最主要者由七星潭南側海灘延伸至忠烈祠間，破裂長度約 5.5 公里，走向約略分為：舊花師以北至七星潭約為 $N35^{\circ}E$ ，舊花師以南至忠烈祠約為 $N12^{\circ}E$ ，為一略向西突出的弧形，且變形量與變形帶寬度有向南逐漸變小趨勢；次要破裂由尚志路三號橋往南延伸至忠烈祠下方河堤旁，長約 0.8 公里，此段破裂位置與過去推定斷層跡相近，以下分別對米崙斷層北段地表破裂現象與位置進行詳述(圖 2-1-1-1)。

七星潭週邊：主要地表破裂北起七星潭南側海灘(圖 2-1-1-2)，沙灘上破裂跡走向約 $N50^{\circ}E$ ，東側礫石抬升約 20 公分並具左移分量，斷層東側（上盤）向北推擠同時造成舊海堤破裂外推(圖 2-1-1-3)與停車場向北推拱現象(圖 2-1-1-4)，七星山北緣為本次破裂最大活動位置，造成相對抬升約 80 公分與 60 公分之視左移，也造成七星街週邊民房損壞(圖 2-1-1-6)、登山步道錯移、道路抬升破裂等現象(圖 2-1-1-5)。地表破裂由七星山往 $S35^{\circ}W$ 方向延伸，造成七星潭大橋東南側破損(圖 2-1-1-7)。由七星潭海濱堤防下之錯移路面評估米崙斷層南側之抬升量約 30 公分，由七星潭大橋南側步道之擠壓與橫移現象評估米崙斷層兩側左移量大於 70 公分(圖 2-1-1-8)。

華西路西側：地表破裂穿過七星潭大橋後往華西路西側地形崖延伸，但破裂位置位於崖坡中段區域，在此段受雜草林與人工建物限制，斷層跡調查不甚連續，但仍維持接近 $N35^{\circ}E\sim S35^{\circ}W$ 走向，平行崖坡延伸之趨勢(圖 2-1-1-1)，也仍局部可見約略與七星山附近類似之變形量(圖 2-1-1-9)。此外，除了地表破裂之外，在坡華西路西側崖腳下可見到一處噴砂群，噴砂約範圍 75 公尺乘 45 公尺(圖 2-1-1-10)，此處在日治時代為舊七星潭池沼群(堡圖標示為「モ一ガイガイ沼」，圖 2-1-1-11)，後大部分遭填平使用，殘餘 3 處小池與舊花師校園內的涵翠湖。由路面之錯移現象評估米崙斷層兩側左移量大於 60 公分。

地表破裂繼續朝往 $S35^{\circ}W$ 方向延伸，並在華西路與華德路交叉口附近接近崖坡頂部，地表破裂在此與舊花師校區間分叉出至少 2 道接近平行的破裂跡，一道仍位於華西路西側崖頂，另一道則位在華西路東側沿道路或駁坎等人工結構物弱面邊緣延伸(圖 2-1-1-12)，這兩道破

裂仍呈左移形式，抬升量均不超過 20 公分，多在 10 公分以下，且兩道間另有數道 N10°~20°W 右移形式小破裂相互連接。

舊花師校區（東華大學米崙校區）：越過華西路後，地表破裂在舊花師郵局與正門附近約略分為 2 道進入校園，最主要者稍轉向 S10°~15°W，向南依序經過花圃附近地形崖（圖 2-1-1-13）、繞過五守樓、涵翠湖東側（圖 2-1-1-14）、PU 跑道西側（圖 2-1-1-15）、游泳池西側、網球場；另一道經涵翠湖西側繞過音樂館，在體育館北側與東南側造成破裂與噴砂（圖 2-1-1-16、圖 2-1-1-17）；兩道破裂最後合併，循側門附近圍牆向 S20°W 穿出校園（圖 2-1-1-18）。此段地表破裂現象大致與過去調查之米崙斷層潛移位置相近，但細節與位置多有差異，如五守樓西側辦公室與游泳池北側潛移所致裂隙群並未明顯擴大（圖 2-1-1-19），地表破裂分散繞五守樓週邊而過，顯現潛移尋求的破裂位置與快速活動的地表破裂發育位置仍有差異。本區域地表破裂已分為 2 道，但另有許多規模較小之裂隙，經量測裂隙之壓縮量與開裂量，評估米崙斷層兩側左移量大於 40 公分。

舊花師南側：穿過舊花師後，地表破裂持續向南延伸，於府前路與分隔島造成錯動（圖 2-1-1-20），而後造成花蓮港線 CK4+400 處，復興陸橋附近軌道遭地表破裂左移錯動，東側略為抬升（圖 2-1-1-21）。地表破裂向南繼續錯動水泥溝渠，並呈雁行排列裂隙穿過嘉南路東側田地與民宅（圖 2-1-1-22）以及首日媒體提及的新興路與尚志路交叉口東側災損點（圖 2-1-1-23）。由水泥溝渠側壁之壓縮鋼筋評估本區域之壓縮量大於 30 公分，位移方式仍以左移為主（圖 2-1-1-24）。

美崙山西側坡上：地表破裂在新興路與尚志路路口往南延，但並未依循過去美崙山西側地形崖下方位置，而是沿著美崙山北側一道近南北向的線形谷內，以左移形式伸張雁行排列裂隙延伸，破裂至此已無明確抬升現象，雁行排列裂隙寬度也縮減至約 1~2 公尺（圖 2-1-1-25）。破裂續往南延伸經尚志淨水廠坡道（圖 2-1-1-26）、於總統侍衛墓園附近谷地結束，地表破裂向南延伸上美崙山西側坡面，由於變形程度的逐漸減小，且常位於雜草林內蜿蜒，不易辨識搜尋，僅尋得零星點位：如美崙山公園內的舊彈藥庫前破裂跡（圖 2-1-1-27）。地表破裂最後向南延伸到忠烈祠北側的民宅、長春歌友會（圖 2-1-1-28）與大殿廣場（圖 2-1-1-29），而後尖滅在美崙山最南側山坡上（圖 2-1-1-30）。由地表的開裂跡評估在新興路與尚志路交會口至尚志淨水場一帶之破裂左移量大於 20 公分（圖 2-1-1-31），往南至忠烈祠一帶之左移量則大於 10 公分。

米崙北段次要地表破裂：由尚志路三號橋往南延伸至忠烈祠下方河堤旁，長約 0.8 公里，此段破裂主要位於尚志路西側，起點附近造成尚志路三號橋東側橋頭附近路面與結構推擠拱起（圖 2-1-1-32），並向南沿著建物與道路結構面推擠破裂延伸，部份則延伸進入民宅與停車場（圖 2-1-1-33），最後到達忠烈祠前堤防邊（圖 2-1-1-34），破裂現象相當連續，且位置與過去推定斷層跡相近（圖 2-1-1-1）。在本區段之主要破裂量測到西側陷落大於 30 公分與左移開裂大於 40 公分的變形量值，但由於本區域觀測到有噴砂與沉陷的現象，且主要破裂位置位在結構邊緣，因此難以排除近河側之陷落導致變形量值相對誇大的現象。

小結：七星潭與七星山週邊為此次調查所見地表破裂變形最大區域，破裂程度與變形量向南逐次減小，顯示米崙斷層由北往南破裂，七星潭為米崙斷層陸域區域破裂起點。米崙斷層活動在舊花師校區形成複雜形貌之破裂跡，這些破裂跡在災後數周內仍有局部變形量持續增加之現象，顯示此區域淺部變形尚未調整完畢。主要地表破裂或變形之形貌與斷層走向、相對位移方向以及結構走向之交角有關，最大的主破裂變形量值有顯著的由北往南遞減，變形範圍發散之特性。



圖 2-1-1-1、米崙斷層地表破裂調查分布圖。



圖 2-1-1-2、七星潭南側砂礫灘之地表破裂。約朝 $S50^{\circ}W$ 走向拍攝，變形現象顯示為兼具左移分量的逆衝斷層，東側抬升約 20 公分。照片後方出現另一道平行海岸，走向約為 $S36^{\circ}E$ ，與其近乎正交，向南低角度傾斜的破裂（圖 2-1-1-3）。劉彥求攝。



圖 2-1-1-3、七星潭南側砂礫灘平行海岸之地表破裂。走向約為 $S36^{\circ}E$ ，向南低角度傾斜的破裂，開挖後可見略為膠結的灘岩逆衝至未膠結的礫石層之上。其與另一道約 $N50^{\circ}E$ 走向，並具左移分量的逆衝斷層近乎正交。劉彥求攝。



圖 2-1-1-4、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。李柏村攝。

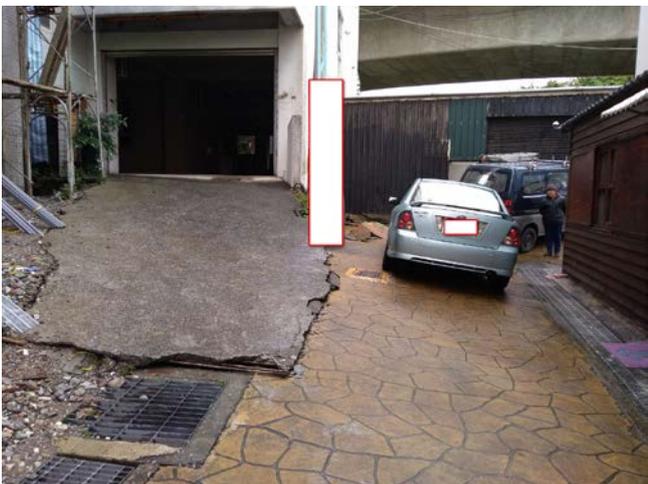


圖 2-1-1-5、七星山周邊地表破裂。尤以七星街周邊民宅災損最為嚴重，部分房屋傾斜及牆壁、梁柱與地板破損，1951 年地表破裂也曾在此造成重大災損。劉彥求攝。



圖 2-1-1-6、七星山西側步道之破壞。步道遭到左移錯動約 70 公分，向東拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-7、七星潭大橋橋面及周圍多為結構物控制的裂痕。貫穿橋面的裂紋走向為南北向至北東 30 度，主要柏油路面與底層分離，拆層拱起，最高高度差約 50 公分。呂貞怡攝。



圖 2-1-1-8、七星潭大橋南側步道有明顯的左移現象，錯移位置與地形崖相符。陳柏村攝。



圖 2-1-1-9、華西路西側崖坡中段，一處人工結構物受錯動，東華大學顏君毅教授等團隊測量變形量，向北拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-10、華西路西側崖坡下方一處噴砂群。噴砂約範圍 75 公尺乘 45 公尺，周圍仍處於溼地狀態，為過去舊七星潭池沼群一部分，向北拍攝。劉彥求攝。

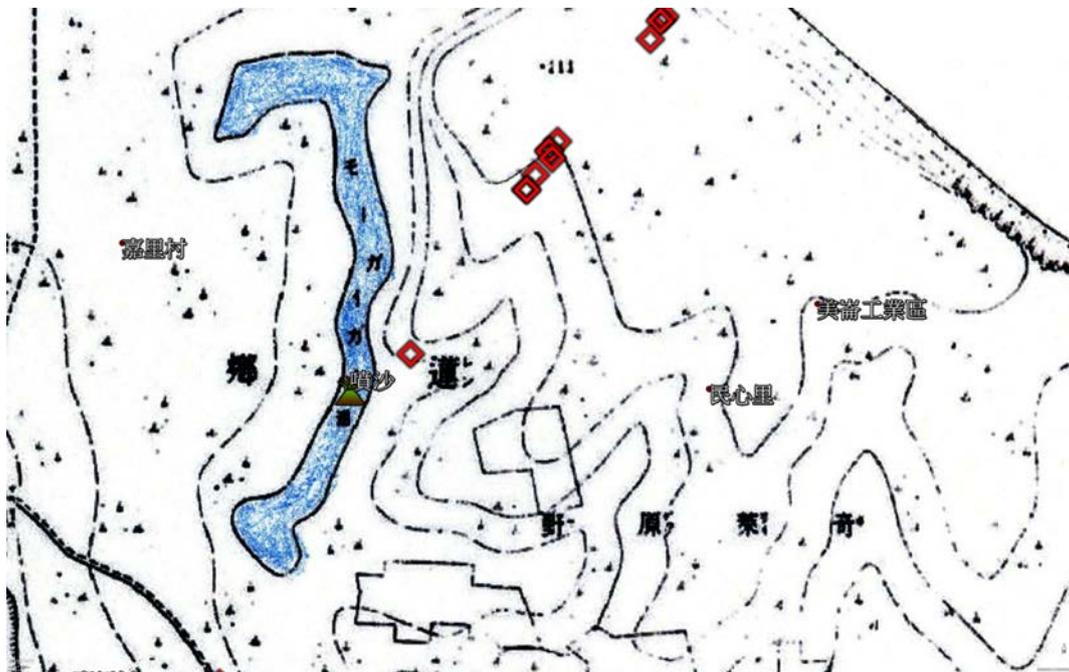


圖 2-1-1-11、上圖噴砂群位於日治時代舊七星潭池沼群（上色為藍色的「モーガイガイ沼」部分）。



圖 2-1-1-12、華西路東側一道地表破裂於舊花師北側，主要沿道路與建物間隙，以及駁坎等向外推拱抬高。左圖向西南拍攝，右圖向南拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-13、地表破裂轉進入校園，於「花師」花圃附近地形崖造成一系列雁行排列伸張裂隙。左圖向西南拍攝，右圖向南拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-14、地表破裂循轉向 $S10^{\circ}-15^{\circ}W$ ，涵翠湖東側步道大理岩鋪設地磚多處擠壓破裂，此處過去可見斷層持續潛移，向西拍攝。呂貞怡攝。



圖 2-1-1-15、地表破裂循轉向 $S10^{\circ}-15^{\circ}W$ ，在 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。劉彥求攝。



圖 2-1-1-16、另一道地表破裂經涵翠湖西側繞過音樂館，在體育館北側造成地磚形成伸張與擠壓兩組破裂，向東北俯攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-17、上述地表破裂繞體育館造成破裂與噴砂，向西南拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-18、地表破裂循側門附近圍牆向 S20°W 穿出校園，此處過去亦為斷層潛移位置之一，向南拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-19、舊花師游泳池北側，過去斷層潛移造成水泥地面鼓起與破裂，但此次地表破裂並未造成其變形現象擴大，向東南拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-20、地表破裂向南穿出舊花師，造成府前路與分隔島東側抬升，向南拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-21、花蓮港線 CK4+400 處，復興陸橋附近，軌道扭曲斷軌，引用自臺鐵 FB 官方社群網站“fun 臺鐵”於震後緊急發布訊息。



圖 2-1-1-22、地表破裂向南繼續錯動水泥溝渠、呈雁行排列裂隙穿過嘉南路東側田地與民宅，向西南拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-23、新興路與尚志路交叉口東側災損點，調查時地表破裂拱起之部分已推平進行修補，向南拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-24、壓縮斷裂的渠道與彎曲的鋼筋，鋼筋之壓縮量大於 30 公分。陳柏村攝。



圖 2-1-1-25、美崙山北側南北向的線形谷內的地表破裂，以左移形式伸張雁行排列裂隙延伸，寬度也縮減至約 1~2 公尺。劉彥求攝。



圖 2-1-1-26、尚志淨水廠坡道邊坡向西推擠破裂，向東拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-27、美崙山公園內，舊彈藥庫前破裂跡，向北拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-28、忠烈祠北側長春歌舞會地表破裂，地表破裂造成雁形排列裂隙與東側略為抬升。左圖向北拍攝，右圖向南拍攝。劉彥求攝。

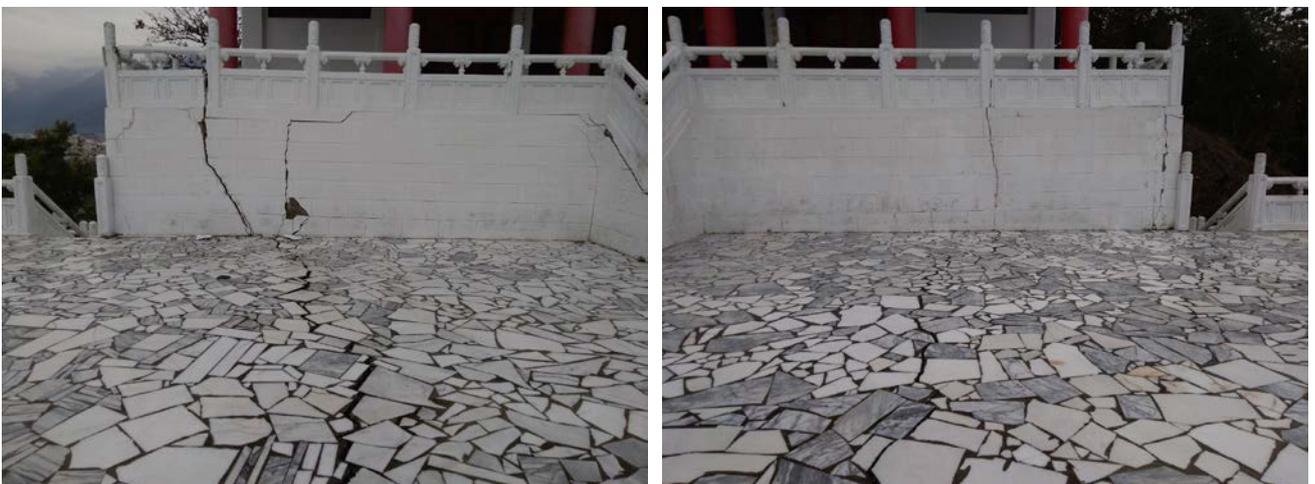


圖 2-1-1-29、忠烈祠大殿與廣場地表破裂，地表破裂造成殿體與廣場東側略為抬升，以及西側略為傾斜。左圖向北拍攝，右圖向南拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-30、忠烈祠南側山坡，邊坡向西抬升。劉彥求攝。



圖 2-1-1-31、新興路與尚志路交口北側河堤旁道路左移現象，累計左移量大於 20 公分。陳柏村攝。



圖 2-1-1-32、尚志路三號橋（國盛四街）與尚志路交叉口附近，向北拍攝。道路受向西推擠，柏油路面拱起破裂。呂貞怡攝。



圖 2-1-1-33、破裂向南延伸至停車場內，於小崖上、鐵皮屋內發育出至少 3 條破裂，向東北拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-1-34、尚志路西側路旁民宅內之開裂與陷落。陳柏村攝。



圖 2-1-1-35、忠烈祠前，尚志橋下河堤受破裂向外推擠，水管遭壓扁，此處為過去可觀察到斷層潛移現象位置之一，也是 1951 年地表破裂位置附近。劉彥求攝。

2-1-2 米崙斷層南段地表變形調查

0206 花蓮地震米崙斷層北段調查至尚志橋，地表破裂現象明顯，過尚志橋進入花蓮市中心後，則僅能看出有地表變形現象，其地表建物破壞範圍呈現棋盤狀，主要分散在交叉縱橫的道路及水溝間，但也有幾條北偏東方向的破裂穿過部分建築物，斷斷續續地延伸至南濱出海口，經由 1951 年歷史地震的地表破裂跡顯示，當時地表破裂過忠烈祠後向南分為三條破裂跡，延伸至南濱出海口匯合出海（圖 1-1-2-2），本次地震大部分的破壞現象均位於當時地表破裂範圍內，但由於花蓮市區的地表變形現象較分散且不連續，因此本次米崙斷層南段花蓮市區地表破裂位置有待進一步研究。

本次米崙斷層南段的地表變形現象，大致可歸納出兩種形態，一是沿著水溝或道路等結構物弱面發育呈 $N50^{\circ}\sim 70^{\circ}E$ 或 $N20^{\circ}\sim 50^{\circ}W$ 走向的裂隙，一是穿過房屋、停車場等建物呈 $N2^{\circ}\sim 20^{\circ}E$ 或 $N10^{\circ}\sim 20^{\circ}W$ 走向的破裂，這些地表變形有的具有左移運動及抬升量、有的是張裂或沉陷所造成，以下針對尚志橋、林森路至南濱出海口一帶的地表變形分布特徵作描述（圖 2-1-1-1）：

尚志橋林森路至明禮國小一帶：此區尚志橋西側橋墩有輕微沉陷約 5 公分（圖 2-1-2-1），橋樑下方遭到輕微破壞（圖 2-1-2-2），林森路上及側邊河堤無發現明顯破壞現象，而靠近明禮國小旁的河堤公園步道則有一個地方被拱起（圖 2-1-2-3），但其兩側草皮並無發現地表有變形現象，河堤旁部分民宅及停車場有被微拱造成圍牆及地面受損（圖 2-1-2-4），整體走向大約為 $N5^{\circ}E$ ，但僅延伸約 50 公尺，而明禮國小右側美崙溪河床有發現一處噴砂現象（圖 2-1-2-5）。

明禮國小至公園路一帶：此區明禮國小校園右側至美崙溪間無發現有明顯破壞現象，但在校園大門口圍牆及門口前緣有明顯因地表變形所造成的拱起破壞（圖 2-1-2-6），此地表變形以約 $S20^{\circ}W$ 的方向延伸，途中經過 KFC 大樓後方（圖 2-1-2-7）、明禮國小附設幼兒園圍牆（圖 2-1-2-8）、綜合商辦大樓（圖 2-1-2-9）、公正街（圖 2-1-2-10）、最後到中央市場大樓（圖 2-1-2-11），長約 400 公尺範圍內均有地表變形及破裂毀損現象，地表變形最大有約 25 公分抬升量及約 10 公分左移量。

此區沿著道路、水溝發育的裂隙則可分為幾類，在明禮國小附近的明禮路上，裂隙可分為 2 組（圖 2-1-2-12），第 1 組為擠壓產生的 $N55^{\circ}E$ 裂隙，柏油路擠壓上拱約 10 公分；第 2 組裂隙沿既有結構或第 1 組裂隙沿伸至 $N6^{\circ}E$ 方位破裂，似有輕微擠壓破裂的現象；往南至中正路上，裂隙可分為 2 組（圖 2-1-2-13），第 1 組平行中正路，為擠壓變形產生的 $N60^{\circ}E$ 裂隙；第 2 組裂隙為左移裂隙，裂隙方位為 $N26^{\circ}W$ ，錯距約 2 公分，此方向裂隙破裂密度較高，間距約 10 公尺；在三民街與公正街口，裂隙可分為 3 組（圖 2-1-2-14），第 1 組裂隙平行公正街，為擠壓變形產生的 $N55^{\circ}E$ 裂隙；第 2 組裂隙沿 $N35^{\circ}W$ 路面既有結構縫隙破裂，再轉為 $N70^{\circ}W$ 的裂隙，路面上拱約 25 公分；第 3 組為開口裂隙，約略平行於三民街，方位為 $N30^{\circ}W$ 。

花蓮醫院至公園路一帶：此區地表變形沿著約 S50°W 方向延伸，東側抬升導致地形向西南微傾，北邊以花蓮醫院綜合大樓輕微破損開始（圖 2-1-2-15），向南過明禮路到對面商辦大樓側邊（圖 2-1-2-16），穿過花蓮市教會聚會所（圖 2-1-2-17）、憲兵公園（圖 2-1-2-18）、三民停車場（圖 2-1-2-19）至復興街約 300 公尺間均有建築物毀損（圖 2-1-2-20）。

此區沿著道路、水溝發育的裂隙則可分為幾類，在復興街與三民街間的公園路上，裂隙可分為 2 組（圖 2-1-2-21），第 1 組裂隙平行公園路，在路面與建物交界處因擠壓變形產生 N20°E 裂隙；第 2 組為張裂隙，大致垂直公園路走向或建物邊界破裂，方位約為 N30°W，未見顯著錯距。

公園路至東大門夜市一帶：此區地表變形不明顯，沒有發現有明顯的抬升量，但在福町公園（圖 2-1-2-22）周圍建物有朝 N2°E 方向的破裂，以及鐵道博物館內有部分建築物約朝向約 N20°E 方向的破損（圖 2-1-2-23），但兩組走向連續性不佳，僅約十幾公尺的延伸。

此區沿著道路、水溝發育的裂隙則可分為幾類，福建街沿線上可觀察到數處地表裂隙：在福建街與光復街口，裂隙可分為 3 組（圖 2-1-2-24），第 1 組位於福建街上的左移裂隙，方位約為 N50°W，錯距小於 1 公分，並可延伸至柏油路兩側圍牆。第 2 組與第 3 組裂隙位於光復街與福建街口，第 2 組為擠壓變形產生的裂隙，方位為 N60°E，約略平行福建街；第 3 組為擠壓變形產生的裂隙，方位為 N8°E 至 N10°E；在福建街與福町街口，裂隙可分為 3 組（圖 2-1-2-25），擠壓變形產生的裂隙包括 N80°E 與 N52~56°E 方位的裂隙，後者約略平行福建街，並伴隨路面上拱變形（約 12~16 公分）。第 3 組為右移裂隙，裂隙方位為 N46°W，錯距約 3 公分；在福建街與中山路口，裂隙可分為 2 組（圖 2-1-2-26），第 1 組裂隙方位約為 N38°E，是擠壓變形產生的裂隙，柏油路面上拱約 20 公分；第 2 組為左移裂隙，大致沿柏油路與建物邊界破裂，方位約為 N32°W，錯距約 2 公分。

東大門夜市至南濱出海口一帶：此區於東大門樂園旁空地發現一組連續性佳，呈現雁行排列的地表破裂（圖 2-1-2-27），整體以 N5°E 走向向兩側延伸，其東側最大抬升量約 15 公分，最大左移量約 10 公分，其穿過各省一條街大門進入東大夜市，然後呈現較分散的破裂範圍，直至自由街東大夜市門口右側草皮，才發現有一地表變形（圖 2-1-2-28），其東側抬升量約 15 公分，而後地表變形方向轉約 S20°E 往花蓮代天府方向延伸，然後一路朝向南濱海堤方向（圖 2-1-2-29），而後穿過吉安溪至觀音像，最後延伸入海（圖 2-1-2-30），此段距離約 800 公尺，其兩側約 400 公尺間的建物及道路均有多處破損，南濱觀音像也因此朝西北方向倒塌（圖 2-1-2-31）。

此區沿著道路、水溝發育的裂隙也可分為幾類，在重慶路與福町路口，裂隙可分為 2 組（圖 2-1-2-32），方向皆略平行馬路，分別為 N30°W 與 N70°E，裂隙的方位可能與既有工程或道路結構有關；在重慶路與博愛街口，裂隙可分為 3 組（圖 2-1-2-33），第 1 組裂隙是以擠壓變形產生的 N70°E 裂隙，擠壓變形使得人行道磚上拱約 15 公分；第 2 組裂隙垂直第 1 組裂隙，為張裂隙，方位為 N20°W；在廣東街與博愛街口，裂隙可分為 2 組（圖 2-1-2-34），分別是以擠壓變形為主的裂隙，方位約呈 N36°E，裂隙東側柏油路隆起約 5 公分，局部地區路

面上拱約 15 公分，以及 $N66^{\circ}W$ 方向的張裂隙；在重慶路與自由街口附近，柏油路裂隙可分為雁行排列裂隙與左移裂隙（圖 2-1-2-35），雁行排列裂隙約呈 $N65\sim 80^{\circ}W$ 排列，並有與雁行排列裂隙相同方向的壓縮應變，左移裂隙約呈 $N40^{\circ}W$ 排列，可延伸約 50 公尺，左移量約 3 公分，上述雁行排列裂隙方向與排水溝大致平行，可能此裂隙的分布與人工結構物弱面有關，在南濱公園一帶，南濱公園海堤附近道路，可見多組垂直道路走向的裂隙，方位為 $N40^{\circ}W$ （圖 2-1-2-36）。



圖 2-1-2-1、林森路尚志橋下水泥地面沉陷約 5 公分。黃志遠攝。



圖 2-1-2-2、林森路尚志橋下橋樑裂開，下方輸送水管也遭到毀壞。黃志遠攝。



圖 2-1-2-3、美崙溪河濱公園的步道拱起，但兩側草坡未發現有地表變形或地裂現象。黃志遠攝。



圖 2-1-2-4、美崙溪河堤旁明禮路內部分民宅及停車場圍牆及地面受損。黃志遠攝。



圖 2-1-2-5、美崙溪靠近明禮國小的東岸河床噴砂現象。黃志遠攝。



圖 2-1-2-6、明禮國小正門北側、圍牆與人行道遭推擠向外突出與拱起。劉彥求攝。



圖 2-1-2-7、明禮路旁之大樓邊緣裂隙。黃志遠攝。



圖 2-1-2-8、中正路明禮國小附設幼兒園前人行道與馬路產生裂隙與拱起，此處裂隙與 1951 年地震地表破裂位置相近，並具左移錯動。劉彥求攝。



圖 2-1-2-9、地表變形穿過中正路旁商辦混合大樓進入後方公園。莊釗鳴攝。



圖 2-1-2-10、公正街附近民宅地板龜裂變形。
黃志遠攝。



圖 2-1-2-11、中央市場大樓前緣拱起破損。黃
志遠攝。



圖 2-1-2-12、明禮路破裂。裂隙可分為 2 組，一組走向為 $N55^{\circ}E$ （與馬路走向垂直），以及另一組沿既有結構延伸至 $N6^{\circ}E$ 破裂（與馬路走向斜交），朝東北拍攝。莊釗鳴攝。



圖 2-1-2-13、中正路破裂。裂隙可分為 2 組，一組平行中正路走向 $N60^{\circ}E$ ，另一組為走向為 $N26^{\circ}W$ ，朝東北拍攝。莊釗鳴攝。



圖 2-1-2-14、三民街與公正街口破裂。裂隙走向為 $N70^{\circ}W$ ，路面柏油拱起約 25 公分，朝西拍攝。莊釗鳴攝。



圖 2-1-2-15、花蓮醫院內大樓及路面破損。此處裂隙與 1951 年地震地表破裂位置相近。黃志遠攝。

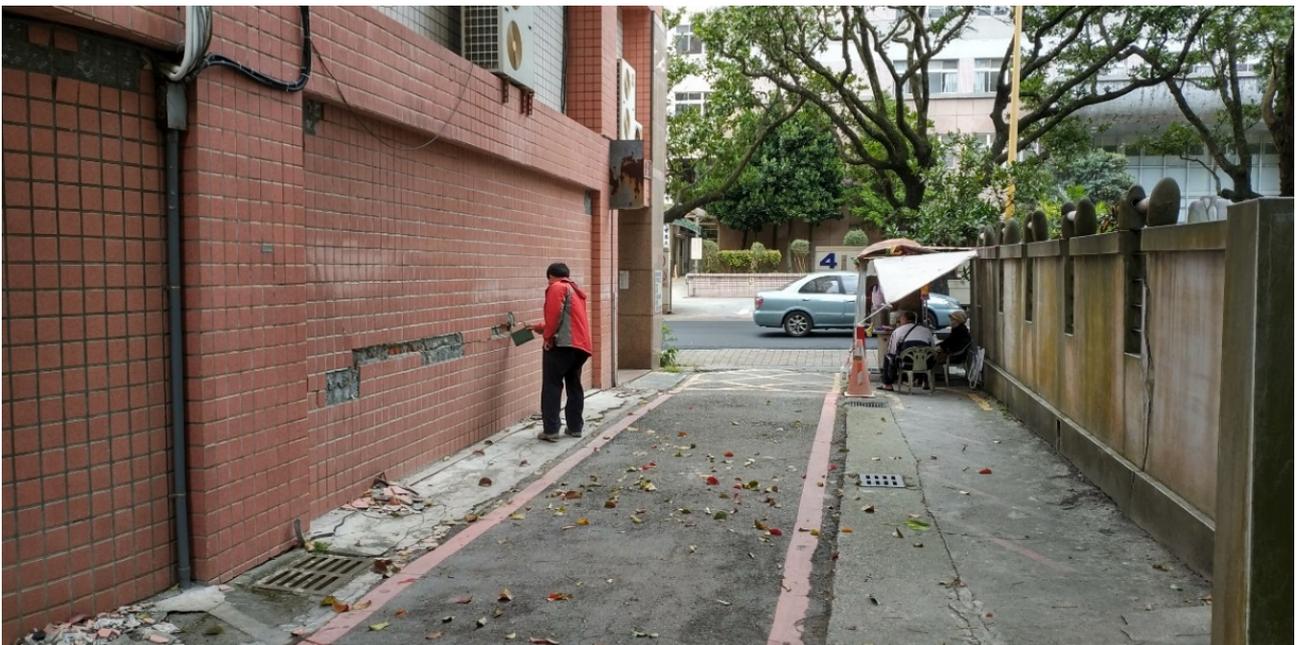


圖 2-1-2-16、花蓮醫院對面大樓破損，此破裂以 N50°E 方向朝南延伸。黃志遠攝。



圖 2-1-2-17、裂隙穿過民宅及圍牆。以 N50°E 方向朝南延伸。黃志遠攝。

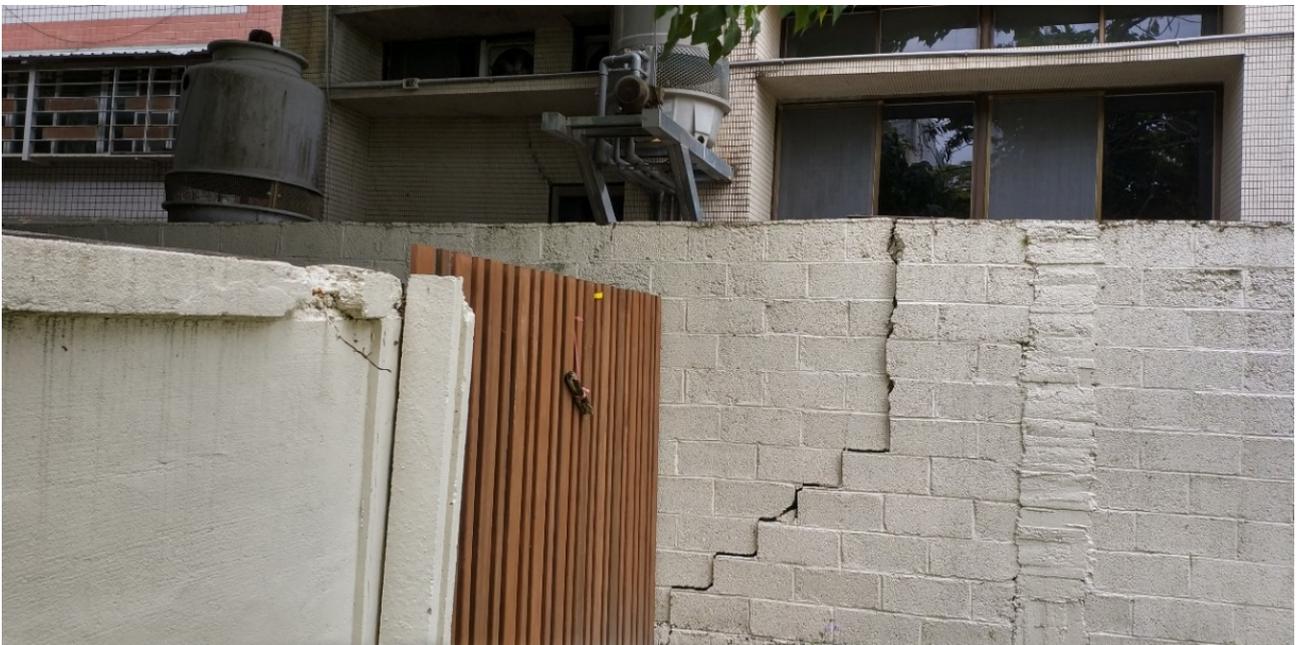


圖 2-1-2-18、憲兵公園旁裂隙穿過民宅及圍牆以 N50°E 方向朝南延伸。黃志遠攝。



圖 2-1-2-19、三民停車場後方圍牆因地震破損，破損點下方有一條裂隙以 $N40^{\circ}-50^{\circ}E$ 方向朝南延伸。黃志遠攝。

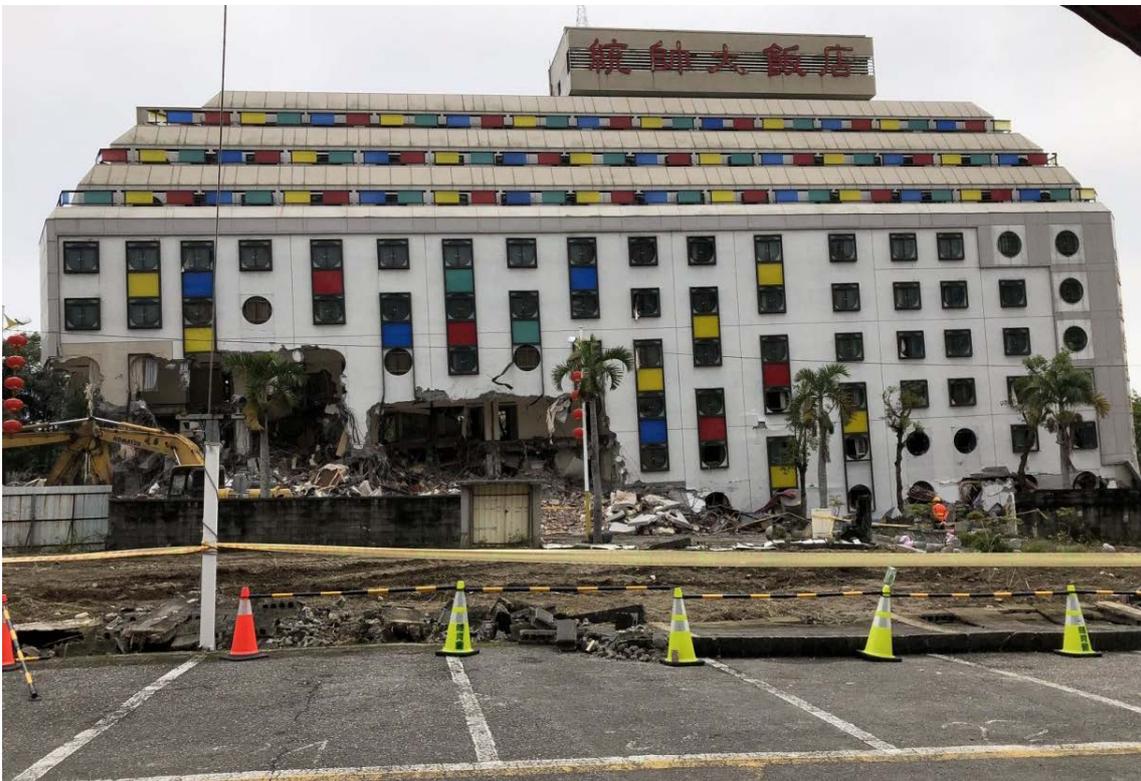


圖 2-1-2-20、公園路旁之停車場微拱起並向西南側輕微抬升傾斜。呂貞怡攝。



圖 2-1-2-21、公園路 N30°W 龜裂。裂隙未見顯著錯距，朝西北拍攝。莊釗鳴攝。



圖 2-1-2-22、福町公園後方民宅有輕微受損。黃志遠攝。



圖 2-1-2-23、鐵道博物館內建物、庭園及圍牆有輕微受損。
黃志遠攝。



圖 2-1-2-24、福建街與光復街口破裂。有一條平行福建街的 $N60^{\circ}E$ 裂隙，以及 $N8^{\circ}E$ 至 $N10^{\circ}E$ 裂隙，於光復街朝東南拍攝。莊釗鳴攝。



圖 2-1-2-25、福建街與福町街口破裂。方位主要是 $N52^{\circ}\sim 56^{\circ}E$ 與 $N46^{\circ}W$ ，於福町街朝東拍攝。莊釗鳴攝。

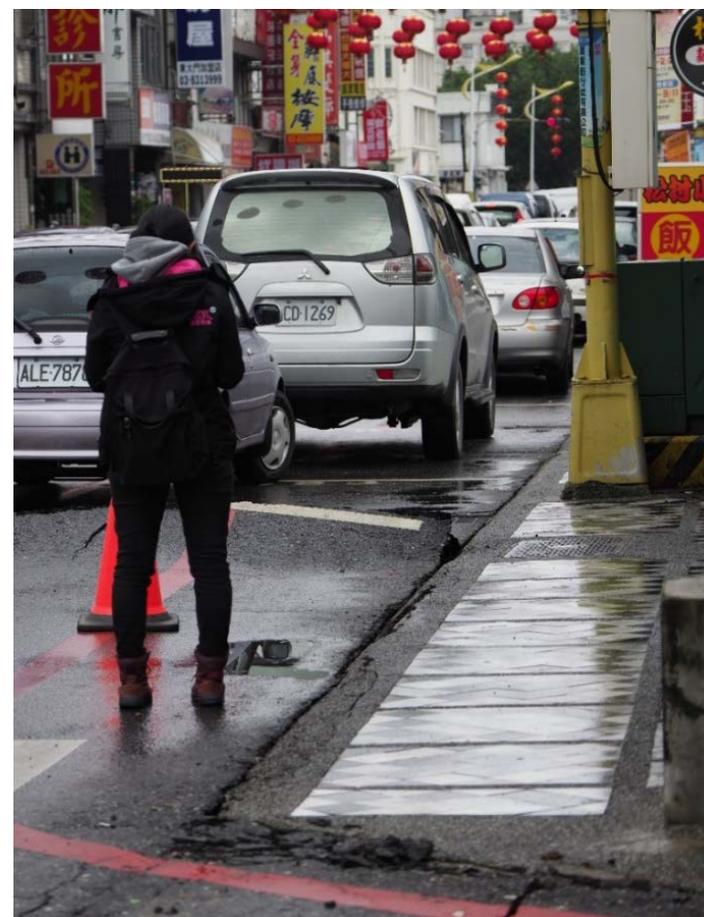


圖 2-1-2-26、福建街與中山路口破裂。包括擠壓特性的 $N38^{\circ}E$ 裂隙，以及左移特性 $N32^{\circ}W$ 裂隙，於中山路朝西北拍攝。莊釗鳴攝。



圖 2-1-2-27、東大門樂園旁空地發現一組連續性良好，呈現雁行排列地表破裂，整體以 $N5^{\circ}E$ 走向向兩側延伸，其最大隆升量約 15 公分，最大左移量約 10 公分。黃志遠攝。



圖 2-1-2-28、自由路東大夜市門口右側草皮地表變形，圖上草皮東側隆升約 15 公分，以 $N20^{\circ}W$ 方向朝花蓮代天府延伸。黃志遠攝。



圖 2-1-2-29、花蓮代天府前地表變形以約 N20°W 方向朝南濱出海口延伸。黃志遠攝。



圖 2-1-2-30、南濱出海口東側地表變形以約 N30°W 方向延伸出海。黃志遠攝。



圖 2-1-2-31、南濱公園內觀音像受到強震影響從接縫處斷裂。朝 N40°W 方向倒向花蓮市。劉彥求攝。



圖 2-1-2-32、重慶路與福町路口破裂。裂隙方向略平行道路，分別為 N30°W 與 N70°E，於福町觀光夜市口朝北拍攝。莊釗鳴攝。



圖 2-1-2-33、重慶路與博愛街口破裂。朝 $N70^{\circ}E$ 延伸，人行道磚上拱，朝東拍攝。莊釗鳴攝。



圖 2-1-2-34、廣東街與博愛街口破裂，有一組 $N36^{\circ}E$ 方向裂隙，柏油路面局部隆起，另有一組 $N66^{\circ}W$ 方向的張裂隙，於廣東街朝東北拍攝。莊釗鳴攝。



圖 2-1-2-35、重慶路與自由街口之柏油路拱起破裂，經調查拱起下方為舊水溝或疏水道，於自由街朝西北拍攝。陳思婷攝。



圖 2-1-2-36、南濱公園海堤道路之破裂，裂隙垂直馬路，走向約呈 N40°W。莊釗鳴攝。

2-1-3 嶺頂斷層北段地表變形調查

0206 花蓮地震發生後，主要災情均分布於米崙斷層沿線至花蓮大橋，主震發生當日，由媒體報導即可確認花蓮大橋中段附近橋樑錯位與拱起，調查發現花蓮大橋最西側橋頭產生寬約 3 公尺，深約 20 公分的下陷（圖 2-1-3-1）；P9 與 P10 橋墩伸縮縫產生左移型式錯移約 70 公分（圖 2-1-3-2）；最東側的 P12 橋墩附近橋面則產生移動（圖 2-1-3-3）。除橋樑隨著地表加速度產生相應之變形之外，俯瞰橋樑附近河床可見到約南北走向排列之伸張裂隙與噴砂孔，這些變形位置約位於過去本所推定之嶺頂斷層跡與斷層帶範圍附近（圖 2-1-3-4）。

此外，除了上述變形現象之外，由花蓮地震序列雷達差分干涉圖（0203-0209）所做之同震地表變形分析（東華大學東部地震中心、中央大學應用地質研究所與太空遙測研究中心、以及義大利 CNR 合作），顯示嶺頂斷層北段也可能產生同震地表變形。因此除了米崙斷層地表變形調查之外，本所亦依據過去嶺頂斷層地質資料擬定嶺頂斷層帶的地表變形調查，並陸續進行精密水準點與全球衛星定位系統測量。

嶺頂斷層調查範圍在經過快速調查幾個東西向長剖面，以及進行跨越嶺頂斷層的花蓮大橋、月眉大橋、米棧大橋與中興大橋等橋樑巡查後，確認地表變形範圍的確位於嶺頂斷層北段的斷層跡周邊，北起花蓮大橋附近，向南不超過月眉大橋，變形現象幾乎全位於花蓮溪河床沙洲上。

嶺頂斷層的同震地表變形北起花蓮大橋附近沙洲，可確認變形之噴砂與破裂範圍最寬約 180 公尺，由於受河水與潮水影響，許多破裂與噴砂孔遭水流侵蝕抹去，並且不易追蹤原始蹤跡，僅大致可見向北發散分為東、西與中央三道較為連續者。最東側一道約朝 N18°E 延伸，可追蹤長度約為 350 公尺，通過花蓮大橋底下距離東側橋頭約 205 公尺（圖 2-1-3-5、圖 2-1-3-6）。中間一道破裂可追蹤長度最長，約可達 880 公尺，但南北端延伸均為河流掩蓋，因此實際長度應超過觀察到之長度，此破裂在花蓮橋以南約為 N30°E，長 530 公尺（圖 2-1-3-7）；在花蓮大橋以北轉為 N5°E，長約 350 公尺；此道破裂於花蓮大橋下位置離東側橋頭約 250 公尺。最西側破裂約朝 N20°E 延伸近 420 公尺，在花蓮大橋下位置離東側橋頭約 380 公尺（圖 2-1-3-8）。

受到木瓜溪寬闊河床匯流入花蓮溪區域的阻隔，此段約於 1.5 公里內僅發現零星破裂與噴砂（圖 2-1-3-9），而後在木瓜溪南側的沙洲中，從花蓮大橋往 S30°W 方向延伸約 1.5 至 2 公里的 500 公尺間內可連續找到 N45°~70°E 走向的雁行排列破裂，這些破裂分佈寬度可達 50 公尺，部分伴隨噴砂（圖 2-1-3-10）。噴砂與破裂點位延伸方向，破裂形式以及位置均與過去推定嶺頂斷層跡相近。

木瓜溪南側之破裂再向 S30°W 方向跨越長約 675 公尺的河段後，在崩坎北側沙洲仍可繼續尋得連續的雁行排列破裂與噴砂（圖 2-1-3-11），此段可追蹤長度約 540 公尺後延伸入河，整體延伸方向略轉為 N40°E，破裂分佈範圍寬約 60 公尺。

最後一段可連續破裂出現在崩坎南側，193 縣道 30K 南側堤防旁，堤防本身結構破裂並

裂隙產生噴砂（圖 2-1-3-12，堤防旁河床與沙洲亦產生噴砂與破裂，但受河流沖蝕，僅部分規模較大，或震後仍持續噴砂之噴砂孔留下（圖 2-1-3-13），這組破裂在此可追蹤至少 400 公尺，延伸方向略再轉向為 $N45^{\circ}\sim 50^{\circ}E$ ，變形帶寬度可達 25 公尺，並因向西南延伸入沙洲雜草林內難以追蹤，但在又隔約 550 公尺之牧草叢內仍可發現一處破裂（圖 2-1-3-14），破裂趨勢延伸向月眉大橋東橋頭，與過去地球物理調查確認之嶺頂斷層位置相符，而月眉大橋周邊則尋無任何變形現象，因此將上述點視為此次嶺頂斷層同震變形現象結束位置。

嶺頂斷層同震變形範圍從花蓮大橋北側向西南連續延伸至至月眉大橋東北方 1.7 公里處，長約 6.2 公里，平均走向近 $N33^{\circ}E$ ，變形帶寬度有向南逐漸變窄趨勢。除此之外，此範圍東側之邊坡也產生相同範圍的崩塌，顯示同受巨大的加速度影響（圖 2-1-3-15）。



圖 2-1-3-1、花蓮大橋靠西半側橋台附近呈現平行橋台下陷，下陷約 20 公分，寬度近 9 公尺（向南拍攝）。劉彥求攝。



圖 2-1-3-2、花蓮大橋 P9、P10 橋墩左移形式錯動約 70 公分。由西向東拍攝，劉彥求攝。



圖 2-1-3-3、由東向西拍攝花蓮大橋東側橋頭橋面相對移動。劉彥求攝。



圖 2-1-3-4、由花蓮大橋俯瞰下方南北向分佈之伸張破裂與噴砂。劉彥求攝。

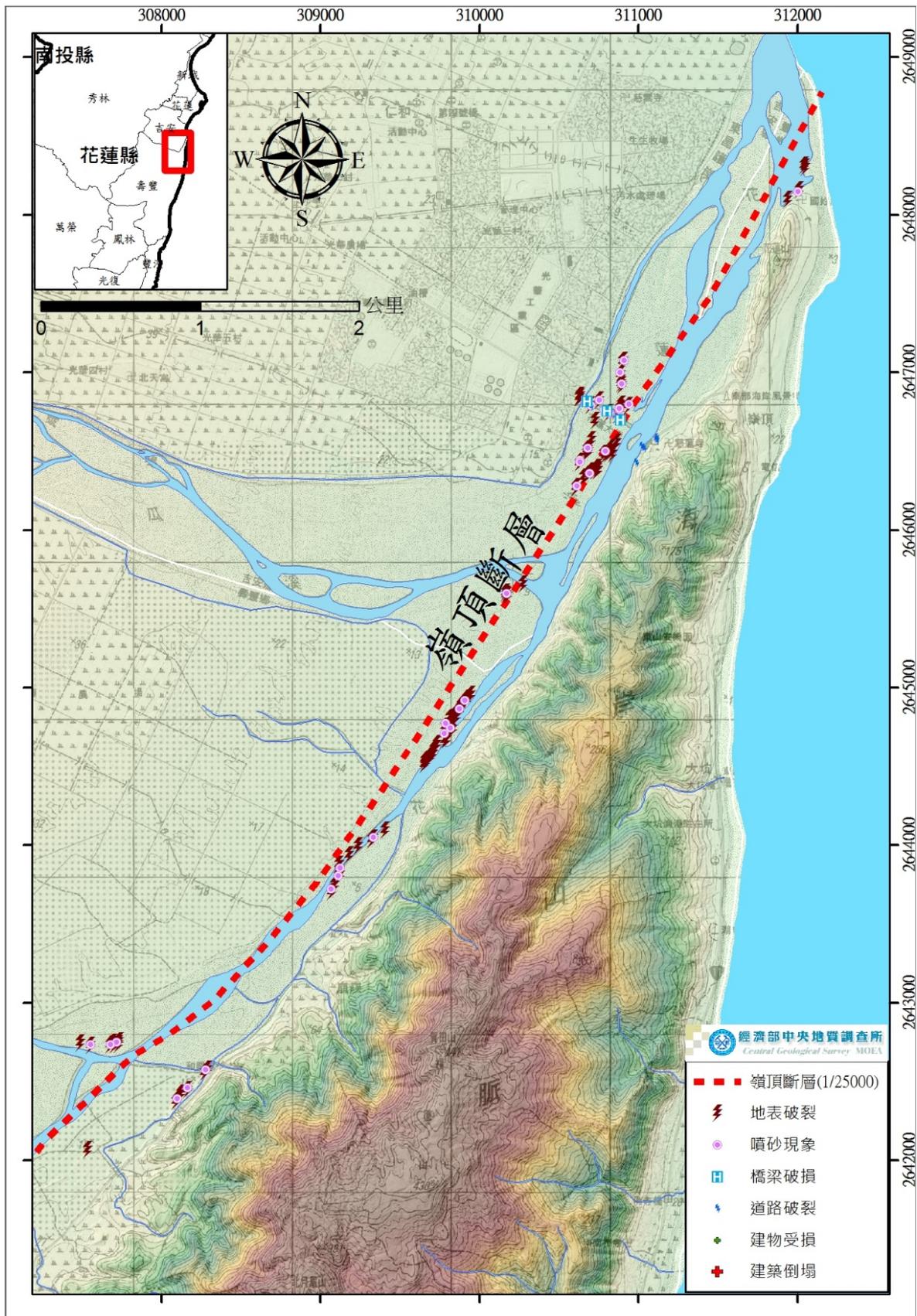


圖 2-1-3-5、花蓮大橋周邊變形分布，範圍寬達 180 公尺，大致可延伸分為 3 道破裂。



圖 2-1-3-6、花蓮大橋附近嶺頂斷層相關變形最東側破裂，照片向東北拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-3-7、花蓮大橋周邊位於中央處破裂。橋樑北側破裂跡與噴砂孔接近南北走向，為三道破裂中可追蹤最長者。劉彥求攝。



圖 2-1-3-8、花蓮大橋下方最西側破裂。受河水漫過，破裂跡與噴砂孔多遭沖蝕模糊，但依趨勢仍逐點尋出確認，向南拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-3-9、木瓜溪匯入花蓮溪沖積扇之破裂與噴砂現象因水流湍急不易跨涉，且礫石粒徑較大，僅尋及零星破裂跡與噴砂孔。劉彥求攝。



圖 2-1-3-10、木瓜溪南岸沙洲破裂跡與噴砂孔。照片向東北拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-3-11、崩坎北側沙洲破裂跡與噴砂孔，受水流沖蝕，破裂跡較為模糊，但仍可連續追蹤。劉彥求攝。



圖 2-1-3-12、崩坎南側堤防結構裂隙擴大並產生連續約 400 公尺噴砂現象，向東北拍攝。劉彥求攝。



圖 2-1-3-13、崩坎以南，193 縣道 30K 南側堤防旁沙洲噴砂現象。延伸方向約為 $N50^{\circ}E$ ，其約略平行堤防，大小不等，但多受河床水流沖蝕消失，僅餘部分較大者，如此圖中噴砂盾由 3 個鼓起拱裂之噴砂點組成。向東拍攝，東側道路上邊坡產生崩塌。劉彥求攝。



圖 2-1-3-14、月眉大橋東北側的地表破裂。沙洲上雜草林木妨礙破裂跡之追蹤，最後可尋得破裂位置位於月眉大橋東北側約 1.77 公里。劉彥求攝。



圖 2-1-3-15、由東華大橋向東遠眺嶺頂斷層北段上盤之崩塌地。受地震強烈地表加速度造成多處崩塌地。劉彥求攝。

2-2 噴砂與沉陷現象調查

美崙溪尚志三號橋至尚志橋西側的地區，經調查主要以輕微沉陷、噴砂與側潰現象為主，以下針對這些現象分區描述（圖 2-1-1-1）。

國盛八街以南，林森路以北與國聯五路以東的範圍產生輕微沉陷，河岸沉積物側潰，部份溝渠與田地出現噴砂（圖 2-2-1）。調查首日即可見到水門至國盛八街之間，美崙溪兩側河堤內發生側潰現象，河岸邊沉積物塌陷、下滑甚至流動向河道內，堤防與水門也出現局部開裂破損情形（圖 2-2-2），周圍如國軍花蓮總醫院前道路至水門之間，周邊道路局部沉陷（圖 2-2-3），據地方耆老表示 1951 縱谷地震發生時，附近也曾發生沉陷現象。

沿美崙溪河堤向南調查發現美崙溪兩岸在之間的堤外草皮局部遭大片白色粉砂所覆蓋（圖 2-2-4），細部觀察發現為噴砂現象（圖 2-2-5），當地民眾表示這群噴砂是震後數日內陸續出現，受後續降雨影響，調查當時已難以確認噴砂口位置，殘留現象亦較不明顯。這區域除了噴砂現象外，美崙溪兩岸的河堤、河濱公園腳踏車步道、尚志三號橋及尚志橋均沿著結構弱面而有些微破壞現象，河堤與水門局部開裂受損（圖 2-2-6），堤旁水溝也可見小規模單點噴砂現象（圖 2-2-7）。

在堤內部份，由尚志三號橋西側的國盛七街至國聯五路，以南至勝利路，在這區域裡的部分建物除了沉陷與牆壁破損、道路龜裂外（圖 2-2-8），水溝、農田、河堤旁也有小規模噴砂現象（圖 2-2-9），這個區域部分建築也有傾斜、倒塌的現象（圖 2-2-10）。此區域較外圍部分建物也有輕微沉陷的現象，與路面或結構邊界破壞的情況（圖 2-2-11），國盛八街道路也可見建物輕微沉陷，道路龜裂的情況（圖 2-2-12）。國盛八街為建築群之北界，同時也是這次輕微沉陷區的北界，國盛八街以北的十六股農地目前仍多是水田，此次調查在此區域並未發現明顯噴砂與沉陷等現象（圖 2-2-13）。



圖 2-2-1、河岸沉積物側潰。據當地民眾指示河床兩岸白砂為地震後幾天才噴出。黃志遠攝。



圖 2-2-2、水門至國盛八街之間，美崙溪兩側河堤內發生側潰現象，河岸邊沉積物塌陷、下滑甚至流動向河道內，堤防與水門也出現局部開裂破損情形。劉彥求攝。



圖 2-2-3、國軍花蓮總醫院周邊道路開裂與建物傾倒與破損情形，據地方耆老表示 1951 縱谷地震發生時，附近亦發生沉陷現象。莊釗鳴攝。



圖 2-2-4、美崙溪床在震後至數日內出現群聚噴砂現象，噴出之白色細砂至粉砂佈滿河岸兩側草地。黃志遠攝。



圖 2-2-5、美崙溪床之噴砂現象近照，當地民眾表示這群噴砂是震後數日內陸續出現。因調查前下過雨，噴砂口已被水沖刷變得不明顯。黃志遠攝。



圖 2-2-6、美崙溪兩岸河堤部分地方沿著結構弱面受到些微破壞受損。黃志遠攝。



圖 2-2-7、美崙溪堤旁水溝也可見小規模單點噴砂現象。黃志遠攝。



圖 2-2-8、國盛七街水泥溝渠與道路間之破壞現象。莊釗鳴攝。



圖 2-2-9、國盛八街河堤下農田與擋土牆間隙擠出小規模噴砂現象。黃志遠攝。



圖 2-2-10、美崙溪西側堤內部份房屋底層塌陷或建物傾斜，調查當時已即將進行拆除。莊釗鳴攝。



圖 2-2-11、美崙溪西側堤內房屋周邊沉陷，擋土牆錯移破裂，屋外道路水溝蓋旁可見小規模的噴砂殘留。黃志遠攝。



圖 2-2-12、國盛八街靠房屋一側之沉陷造成道路連續龜裂，照片向西北拍攝。黃志遠攝。



圖 2-2-13、國盛八街以北至十六股大橋之間農地調查並未發現沉陷與噴砂現象，照片向東北拍攝。劉彥求攝。

2-3 其他相關調查-人工結構物破壞、倒塌

0206 花蓮地震使花蓮市最大震度達 7 級劇震，即最大地動加速度 400cm/s^2 以上，造成部分建築物受損嚴重或倒塌。本次調查除主要之地表破裂調查範圍外，亦紀錄主要之人工結構物破壞倒塌現象。以下就人工建物破壞，依照由北至南方向說明。

國盛六街住宅大樓：白金雙星於 1 樓及地下室、吾居吾宿大樓於 1、2 樓設置停車場，地震時停車場空間塌陷，騎樓下方停靠汽車亦被壓毀，2 樓以上結構尚完整（圖 2-3-1）。花蓮市政府將該樓評估為危險建築物，並於 2 月 8 日陸續拆除上述 2 棟大樓，2 月 22 日完成拆除。

雲門翠堤大樓：位於美崙溪西側，國盛二街與商校街交叉口附近，樓高共 12 層，2、3 樓為旅館。此次地震 3 樓以下皆被壓毀，樓體嚴重傾斜超過 30 度，震後搶災過程中樓體仍持續傾斜，救災單位以 H 型鋼樑、消波塊緊急支撐（圖 2-3-2）。現場可見樓體破壞（圖 2-3-3）。

統帥飯店：位於花蓮市中心，公園路及軒轅路交岔口。921 地震後曾於 1 樓騎樓處加裝鋼骨大樑進行結構補強，但挑高之 1、2 樓仍在此次地震中全數塌陷壓毀（圖 2-3-4），並已於 2 月 16 日完成拆除。

舊遠東百貨大樓：位於花蓮市中心，中華路及明義街交岔口，樓高共 12 層，為周圍區域樓建最高之建物。一樓騎樓主筋裸露、外牆磁磚脫落、鐵捲門扭曲變形（圖 2-3-5）。花蓮市政府於 2 月 8 日將該樓評估為危險建築物，張貼紅單，並於 3 月 4 日進行拆除。



圖 2-3-1、吾居吾宿大樓（左）及白金雙星大樓（右）之倒塌。莊釗鳴攝。



圖 2-3-2、雲門翠堤大樓傾倒，救災單位以鋼樑緊急支撐。陳思婷攝。



圖 2-3-3、雲門翠堤大樓一樓破壞。莊釗鳴攝。



圖 2-3-4、統帥大飯店 2 樓以下皆壓毀，現場進行拆除作業。莊釗鳴攝。



圖 2-3-5、花蓮舊遠百大樓因結構柱破壞而圍起封鎖線。陳思婷攝。

2-4 小結

1. 透過地表地質地查，本次地震在米崙斷層與嶺頂斷層均有發現地表破裂、噴砂的現象，在米崙斷層方面又可以美崙溪為界，分為美崙溪以北（米崙斷層北段）與美崙溪以南（米崙斷層南段）兩段，在此三個區段所觀察到的地表破壞現象具有不同。

2. 米崙斷層北段位於美崙溪以東的米崙台地邊緣，本區域的地表變形以位在台地與平原交界附近產生主要的破壞，破壞現象以左移形式為主，局部可觀察到東側、南側抬升的情況，而這個範圍即與本所米崙斷層跡的位置相近，絕大多數的地表破裂位在米崙斷層活動斷層地質敏感區（F0011）內。

3. 米崙斷層南段之破壞現象常位在結構弱帶產生，破壞現象以破裂東側局部隆升，以及因壓縮產生的拱起現象為主，此區域中之單一破裂之規模小於米崙斷層北段，但整體破裂之分布顯較米崙斷層北段分散。

4. 嶺頂斷層沿線主要以地裂與噴砂現象為主，分布主要位於河道的位置，由於人造結構物較少，因此對於沿斷層的位移情況較難以評估，透過地裂呈左移形式的雁行排列特徵以及花蓮大橋之變形，可了解該區段地表的變形特徵仍以左移運動為主。

5. 本次調查於美崙溪河道兩側、舊七星潭池沼群及嶺頂斷層沿線均可發現群聚的噴砂現象，在美崙溪西側之堤內亦有局部的點狀噴砂情形，最主要的噴砂現象則位在美崙溪河道之中。

參、地表變形觀測結果

報告撰寫：陳建良、陳致言、許晉璋、陳思婷、鄭智仁

3-1 地震前的地表變動情形

利用大地測量方法，以 GPS 測量的水平精度配合水準測量的高程（垂直）精度，可有效率且精確地觀測地表變形狀況，瞭解地殼變形的型態。透過本所自 2002 至 2017 年東部地區 GPS 連續追蹤站、移動式 GPS 觀測與精密水準測量資料，以 2009 年 1 月花蓮地震及 2013 年 10 月瑞穗地震為分界分別求取三段時間之速度場（圖 3-1-1），可發現 2002 至 2009 年本區水平速度量值 21.4~70.2mm/yr，2009 至 2013 年速度量值 13.2~52.3mm/yr，2013 至 2017 年速度量值 9.6~63.2mm/yr，在臺灣屬於快速變動的地區。

垂直速度場方面，由圖 3-1-2 可知東部地區除海岸山脈南段沉陷較不顯著外，其餘地區大致呈現下陷，整體量值約-0.6~-30.2mm/yr，其中光復-豐濱測線在 2013 年瑞穗地震後沉陷速度略增為-13.9~-34.8mm/yr，顯示板塊聚合使得縱谷地區處於下陷，海岸山脈則持續抬升中。

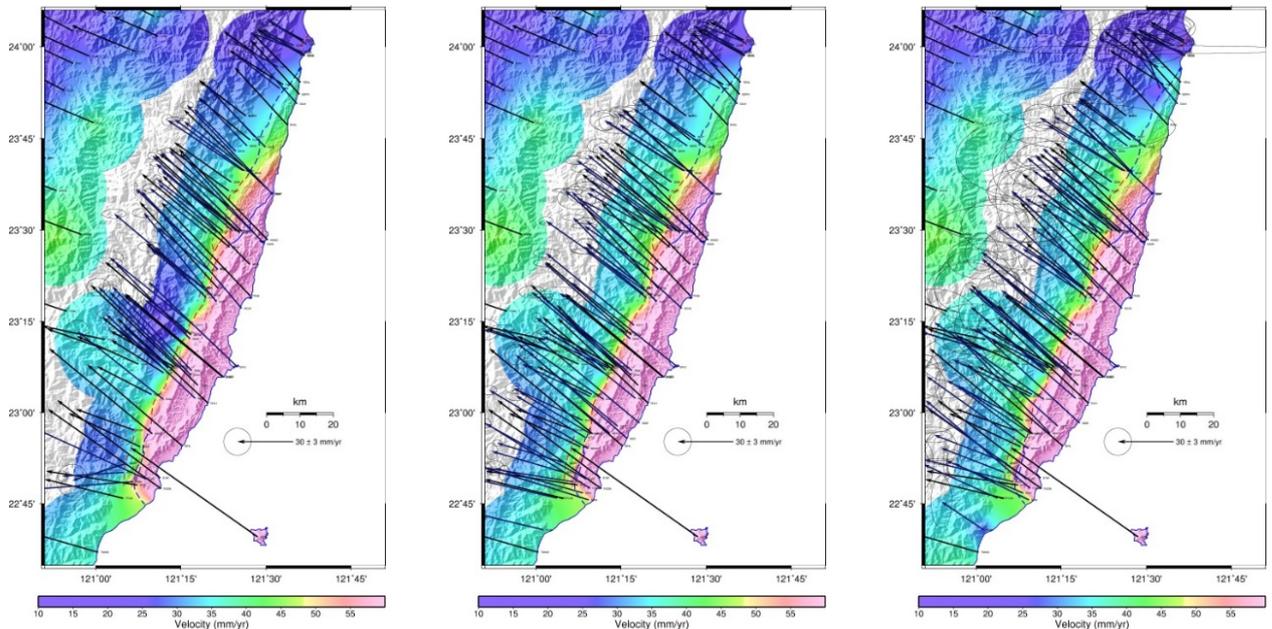


圖 3-1-1、東部地區相對於澎湖白沙站 (S01R) 之 GPS 水平方向速度場，左圖表示 2002~2009 年速度場，中間表示震後 2009~2013 年速度場，右圖表示 2013~2017 年速度場。

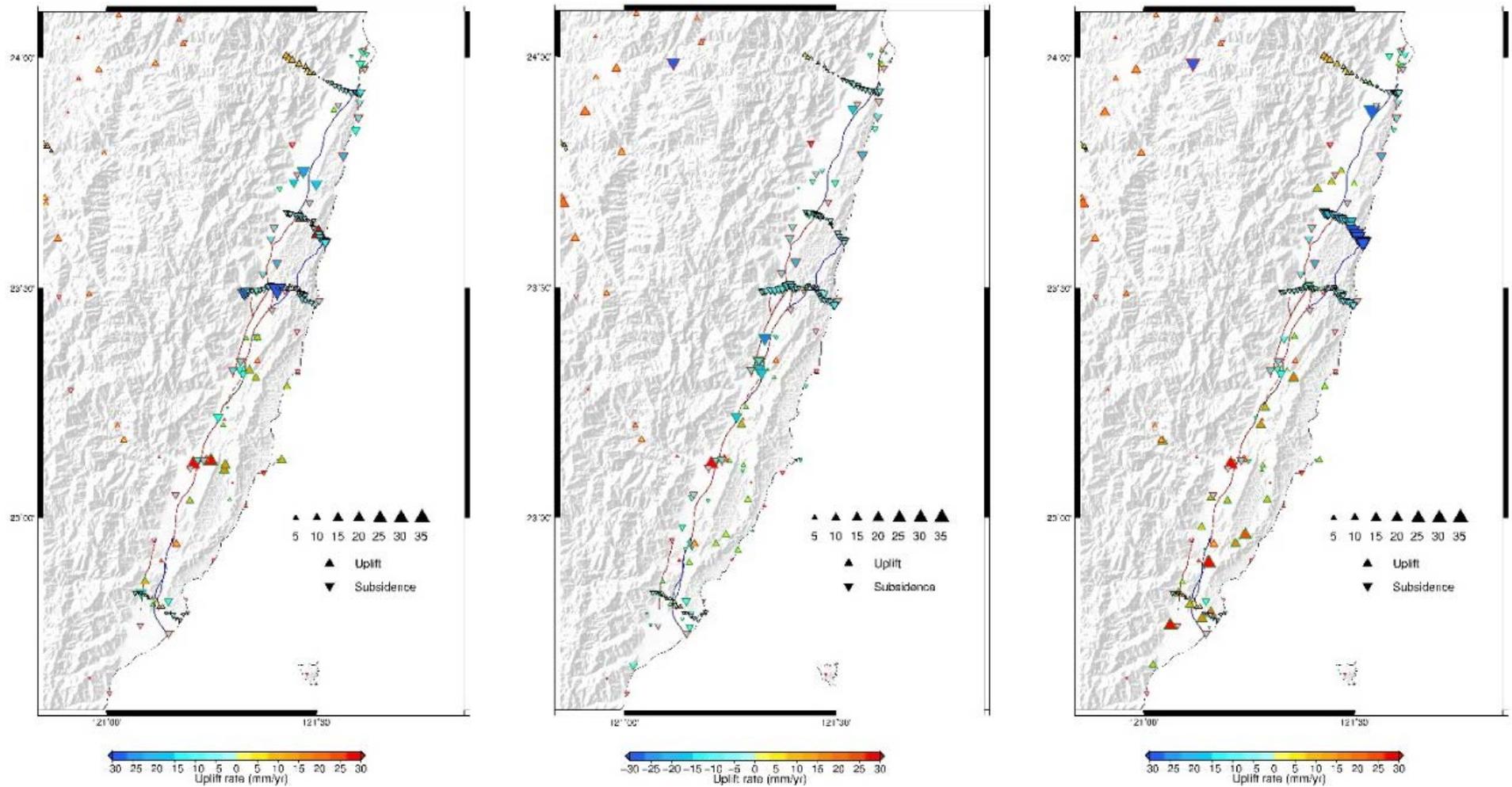


圖 3-1-2、東部地區相對於澎湖白沙站 (S01R) 之 GPS 垂直方向速度場，左圖表示 2002~2009 年速度場，中間表示 2009~2013 年速度場，右圖表示 2013~2017 年速度場，三角形方向表示抬升或沉陷，三角形大小表示速度大小，暖色系表示抬升速率，冷色系表示沉陷速率。黑色邊框表示精密水準、綠色邊框表示移動站、紅色邊框表示連續站。

3-2 GPS 連續追蹤站同震變形觀測

GPS 連續 (Continuous GPS) 追蹤站利用適當的場址設立穩固的天線架 (圖 3-2-1)，進行長期且連續地精密定位，以達到地表變形分析目的，觀測資料記錄間隔為每 1 秒一筆及每 30 秒一筆，資料接收後透過網路即時回傳至控制室進行基線網解算，得到每個站即時的坐標，因此在地震的隔日即可獲取同震變形訊息。本報告使用中央氣象局、中研院、內政部地政司、內政部國土測繪中心、水利署、各縣市政府及本所設置於全臺的 GPS 連續站資料進行解算，為求得較穩定之同震位移，使用地震後 3 天每日解之平均定位坐標，減掉前 3 天平均定位坐標所得到的花蓮地震同震變形場。

解算方式使用 Bernese5.2 軟體，以金門 GPS 連續站 (站號：KMNM) 進行約制計算。觀測結果顯示，GPS 連續追蹤站所測得較大的同震位移分布於花蓮市至吉安鄉地區，最大同震位移出現於花蓮市的花蓮站 (HUAL)，位於米崙斷層的上盤側，其同震抬升為 59.2mm，同震水平位移為朝北偏東方向 463.4mm，而位於此測站西北方米崙斷層下盤側的北埔測站 (PEPU) 同震抬升為 51.2mm，同震水平位移為朝南偏西方向 291.1mm。顯示米崙斷層主要以左移形式為主，若以此兩站估算，米崙斷層兩側在沿北東方向之相對位移量 70 公分以上。此外，花蓮南側位於嶺頂斷層上盤側的鹽寮站 (YENL) 出現下陷-34.4mm 的同震變形，下盤側的東華大學站 (NDHU) 則呈現同震抬升量 32.6mm (圖 3-2-2、圖 3-2-3 及表 A-2)。

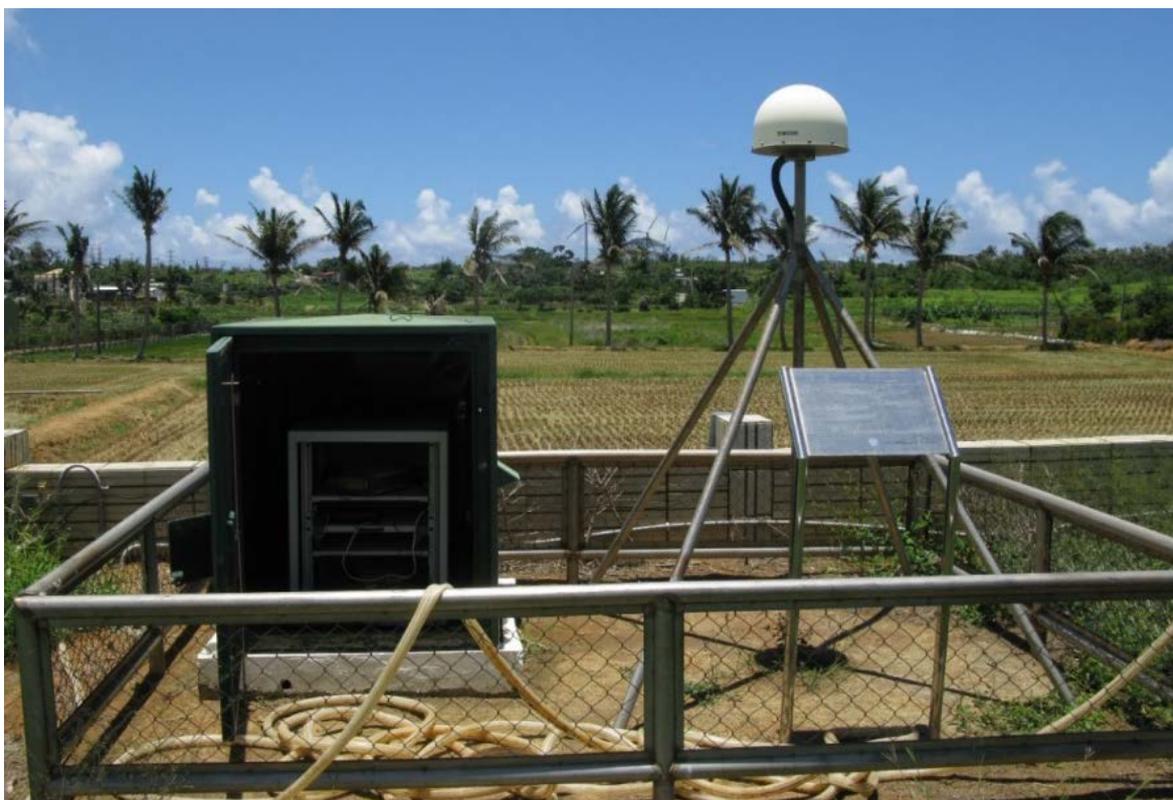


圖 3-2-1、GPS 連續追蹤站外觀。以本所位於屏東縣恆春鎮之龍泉分校觀測站為例說明，右側白色天線罩內為天線所在位置，天線隨時接收衛星訊號，左側儀器箱內安裝接收儀、電力及網路等設備，即時透過網路將觀測資料傳至控制室處理與解算。許晉璋攝。

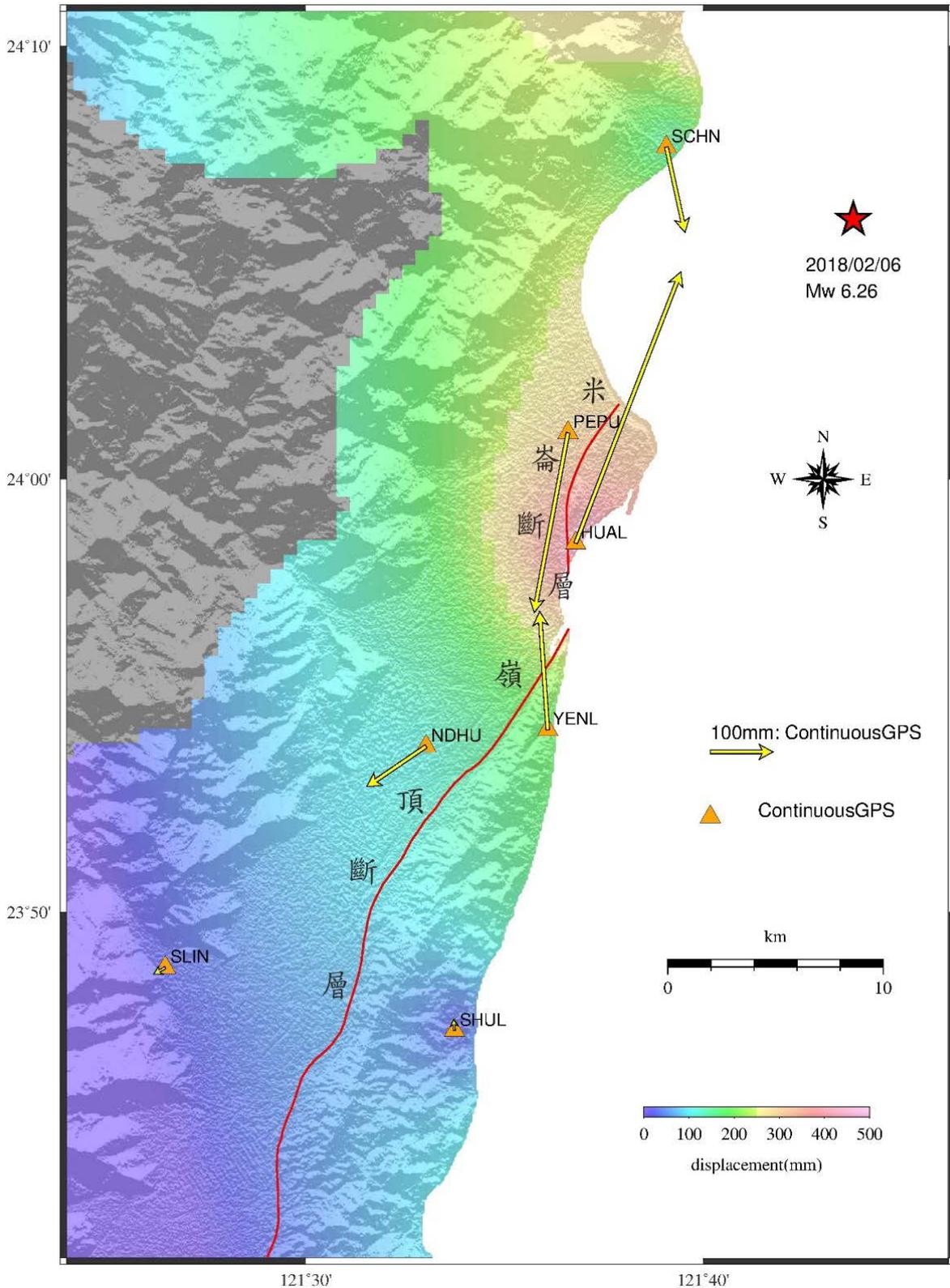


圖 3-2-2、GPS 連續追蹤站水平方向同震位移圖。黃色三角形為 GPS 連續追蹤站，紅色星形為震央位置，紅色實線為活動斷層，黃色箭頭代表位移方向、長度代表量值大小，空白處為其參考比例尺。

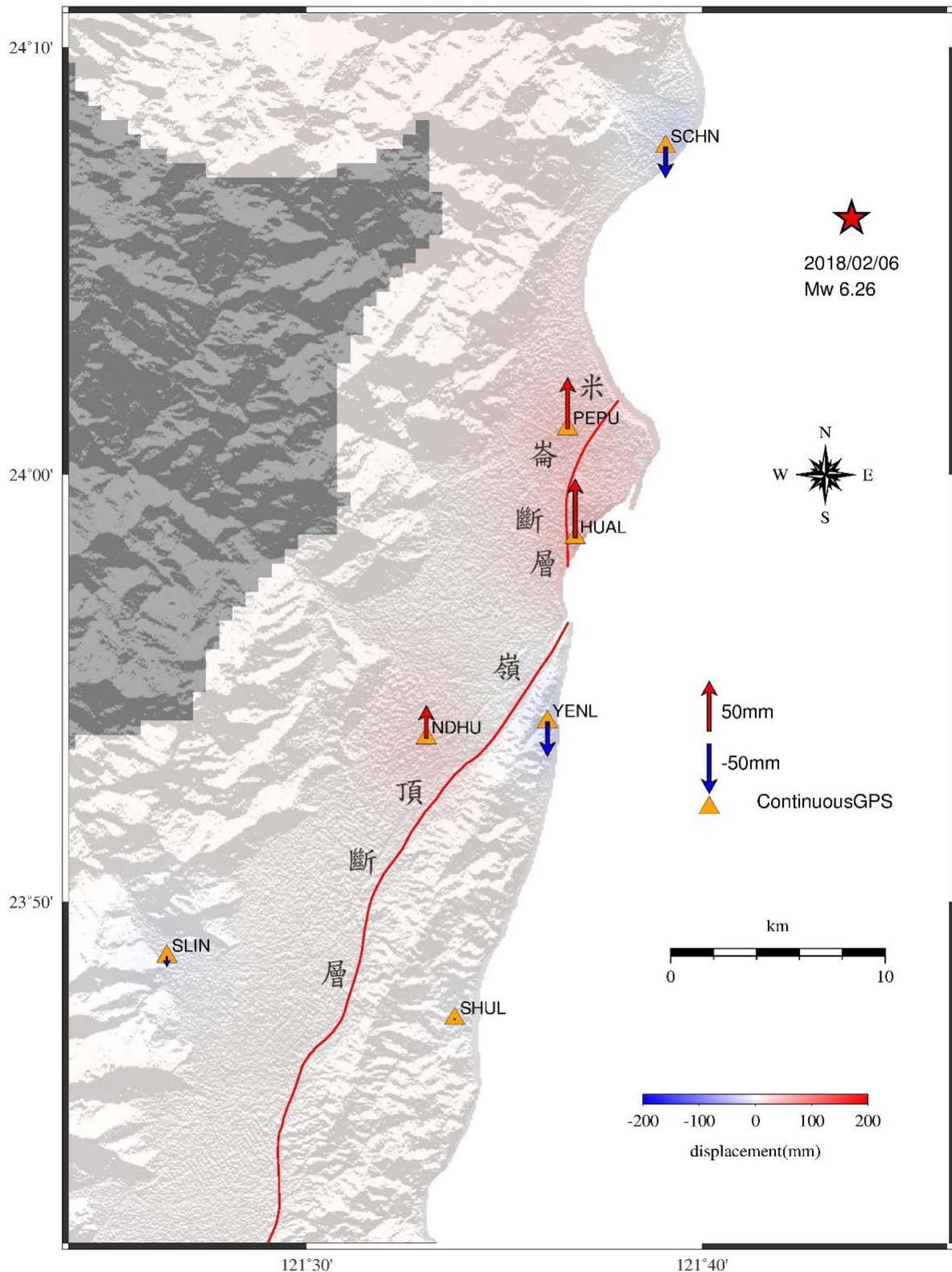


圖 3-2-3、GPS 連續追蹤站垂直方向同震位移圖。黃色三角形為 GPS 連續追蹤站，紅色星形為震央位置，紅色實線為活動斷層，紅色箭頭往上代表抬升、藍色箭頭往下代表下陷，箭頭長度代表量值大小，空白處為其參考比例尺。

3-3 GPS 移動站同震變形觀測

為進一步瞭解花蓮地區全面性的變形細節，除蒐集 GPS 連續追蹤站觀測資料，本所在地震後立即規劃於地震影響地區共 16 個 GPS 觀測點位進行移動式 GPS 測量 (campaign mode GPS)，觀測點位及測線分布如圖 3-3-1 所示。

本次 GPS 觀測工作於本 (107) 年 2 月 8、9 及 26 日進行，每日使用 5~7 部同型號之接收儀 (Trimble NetR9 系列) 搭配雙頻、雙星 (GPS+GLONASS) 抗多路徑效應天線，在選定之監測點進行聯合觀測，所有站同步接收衛星訊號超過 6 小時以上 (圖 3-3-2)，以達到可完成變位分析的所需精度。本次共計完成位於花蓮縣新城鄉、花蓮市、吉安鄉、壽豐鄉及鳳林鎮共 16 處監測點 (圖 3-3-3) 的觀測，由於移動式 GPS 測量屬非連續性資料，因此利用階層函式以等速度擬合坐標時間序列來獲得同震位移值。

觀測結果顯示位於米崙斷層與嶺頂斷層東側上盤之點位同震位移場方向主要為北至東北向，斷層西側之點位則以西南向為主，呈左移位移形態。較大的地表水平同震位移同樣出現於花蓮、吉安地區，整體水平同震位移量約 6.6~519.8mm，位移量值大致以花蓮地區為中心向南、西、北遞減，至鳳林地區水平位移量已於 1 公分以下 (圖 3-3-4)。

垂直位移在北埔地區於米崙斷層兩側皆為抬升，在美崙山南側地區則呈現沉陷。往南至嶺頂斷層地區，斷層東側嶺頂地區呈現下陷，斷層西側志學地區則為抬升，惟於壽豐以南的位移量已不顯著，整體垂直同震位移量約 -77.6~163.6mm (圖 3-3-5 及表 A-3)。

整體而言，移動式 GPS 觀測結果與 GPS 連續追蹤站觀測趨勢一致，各移動站在南-北(N)、東-西(E)、垂直(H)方向分量的時間序列也顯示 (圖 3-3-6) 地震造成的位移在某些地方相當顯著。

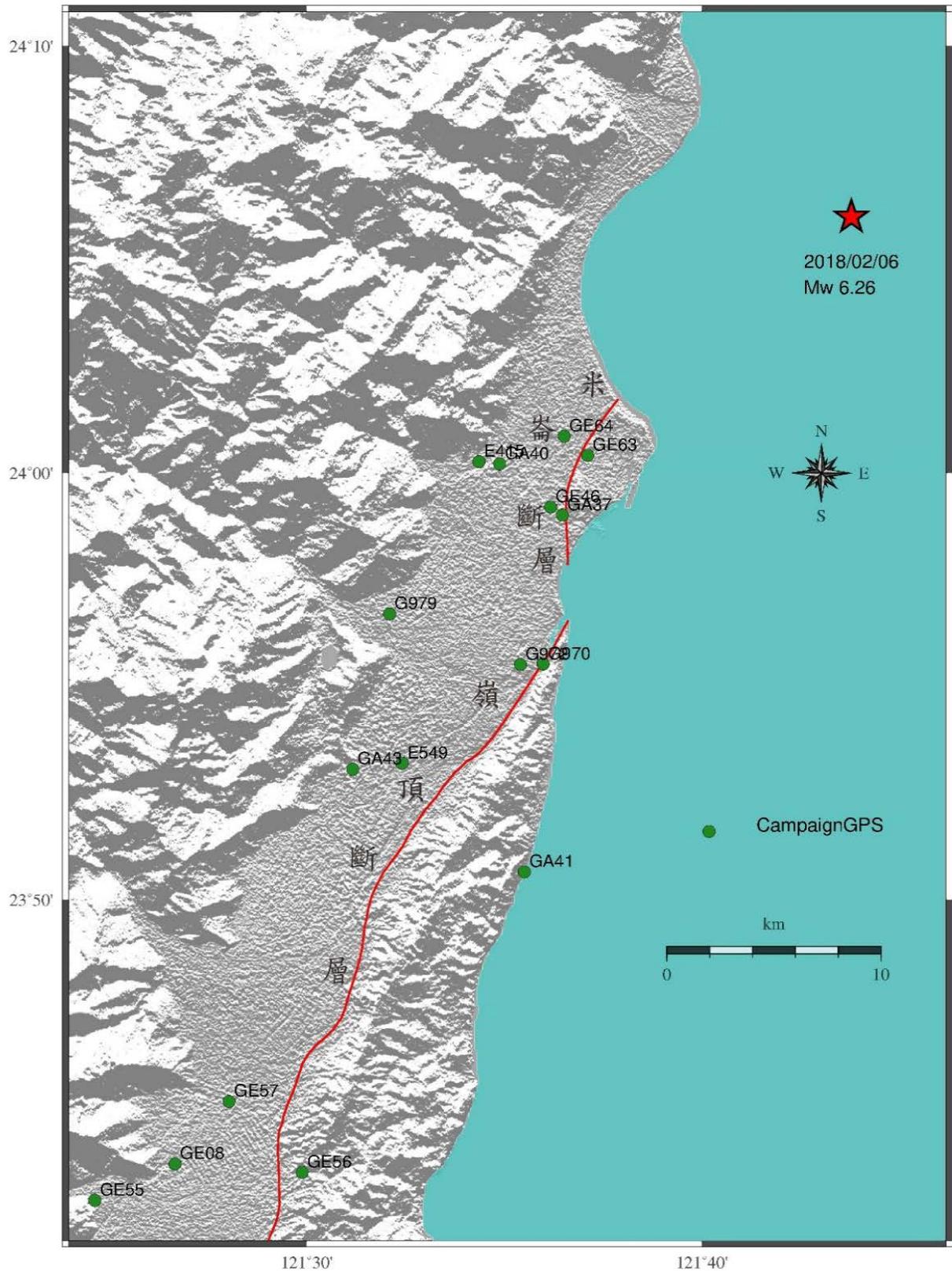


圖 3-3-1、GPS 移動站分布圖。綠色圓形為 GPS 移動站，紅色星形為震央位置，紅色實線為活動斷層。



圖 3-3-2、本次地震後 GPS 移動站施測與檢測作業情形。觀測人員須使用量棒量測天線的斜高，以利將天線盤定位坐標換算至地面鋼標十字刻度位置，不同年度間的坐標變化可以顯示鋼標的位移情形。許晉瑋攝。



圖 3-3-3、本所活動斷層觀測網監測點照片。埋設於花蓮市復興國小操場的移動式 GPS 觀測點位（點號：GE63），鋼標上刻有十字刻度、點號及設置機關英文縮寫。許晉瑋攝。

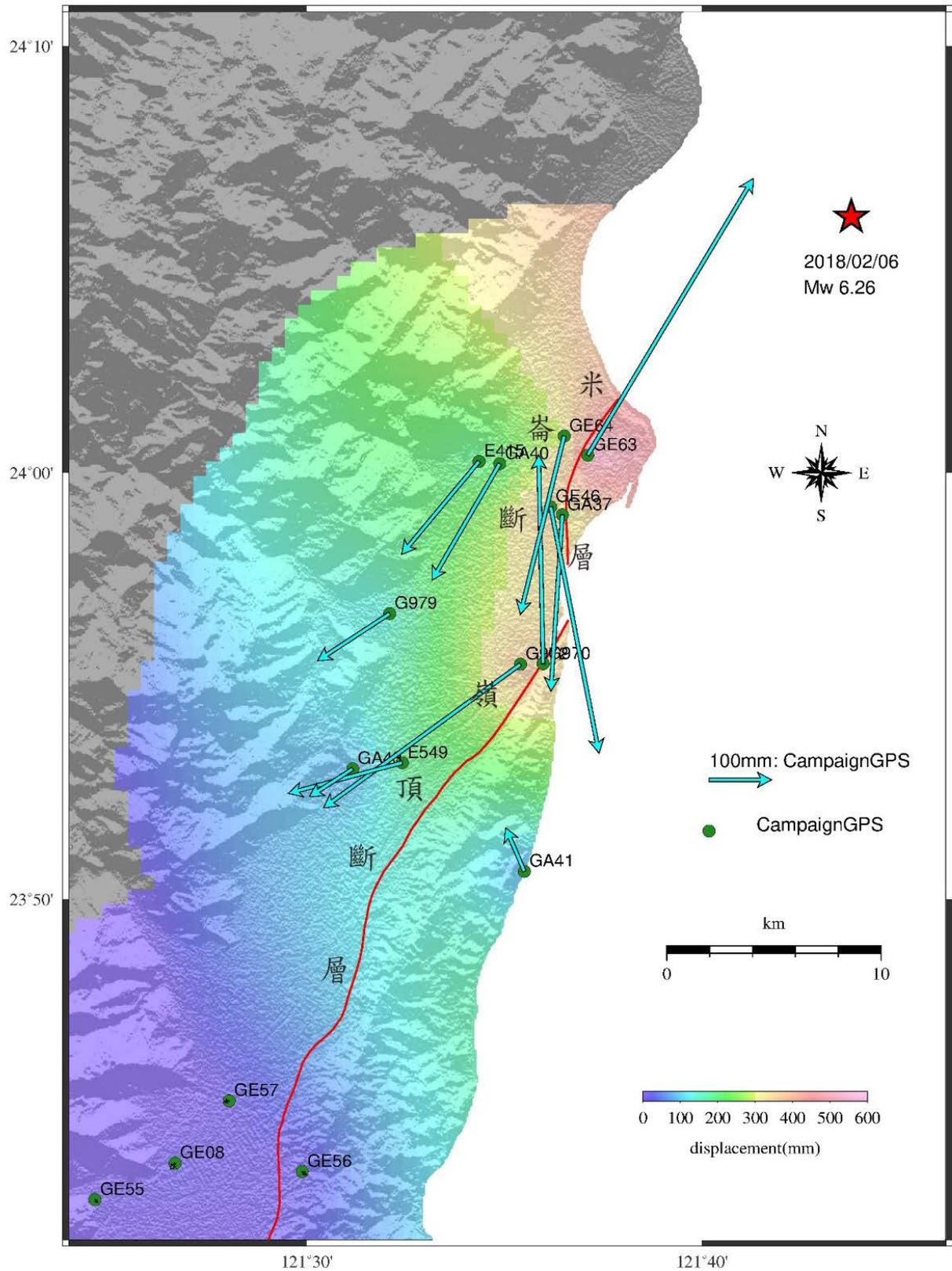


圖 3-3-4、GPS 移動站水平方向同震位移圖。綠色圓形為 GPS 移動站，紅色星形為震央位置，紅色實線為活動斷層，藍色箭頭代表位移方向、長度代表量值大小，空白處為其參考比例尺。

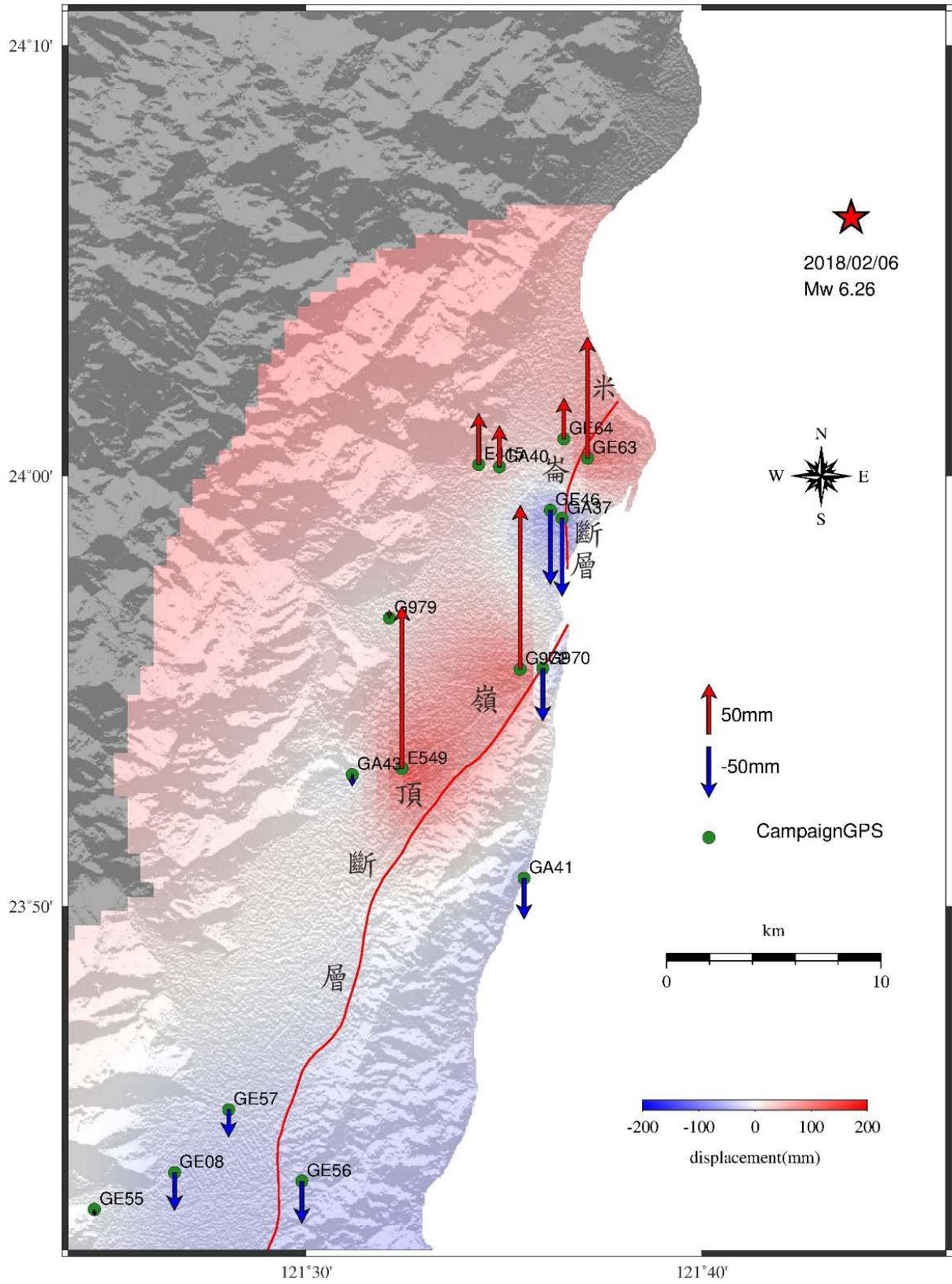
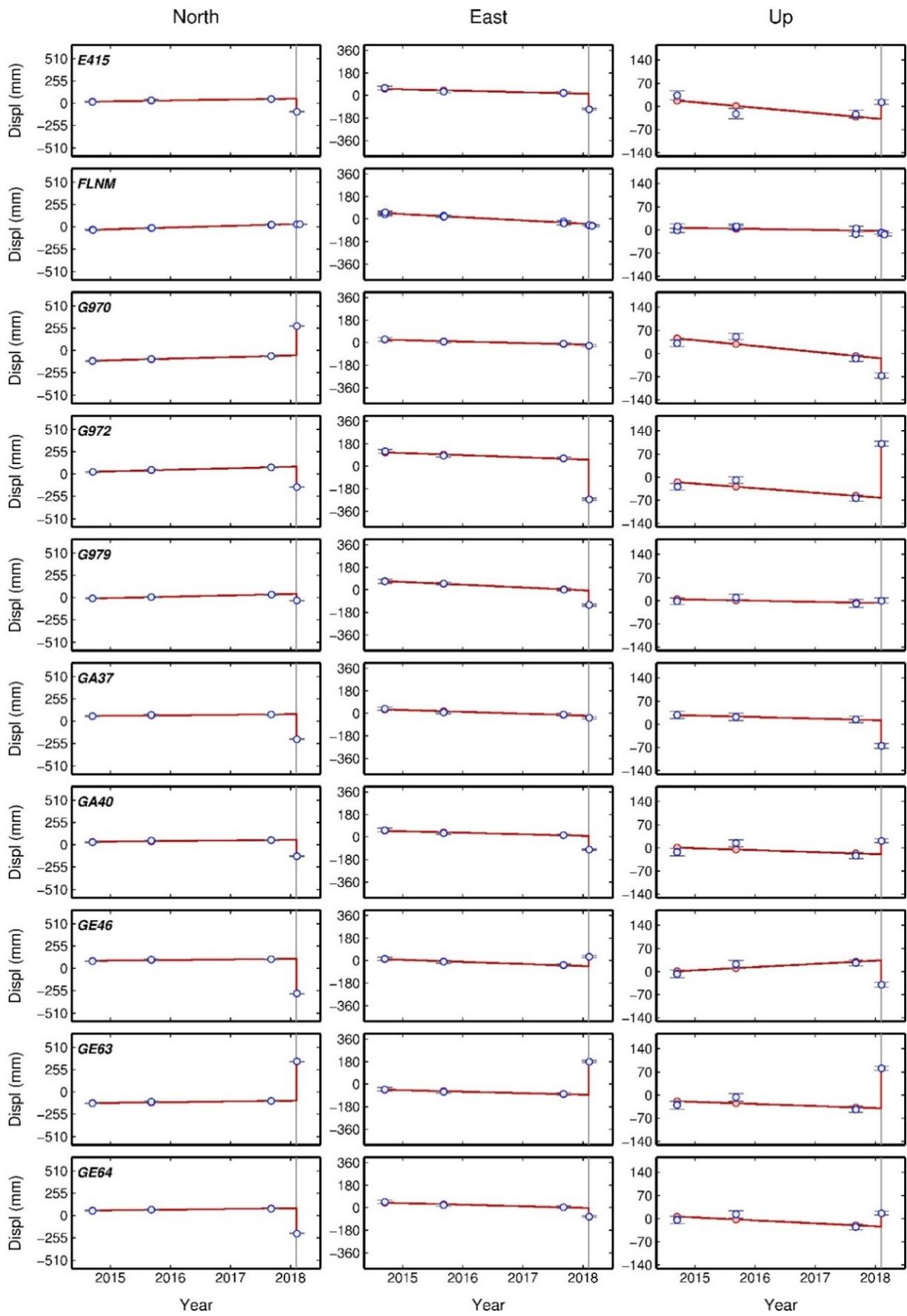


圖 3-3-5、GPS 移動站垂直方向之同震位移圖。綠色圓形為 GPS 移動站，紅色星形為震央位置，紅色實線為活動斷層，紅色箭頭往上代表抬升、藍色箭頭往下代表下陷，箭頭長度代表量值大小，空白處為其參考比例尺。



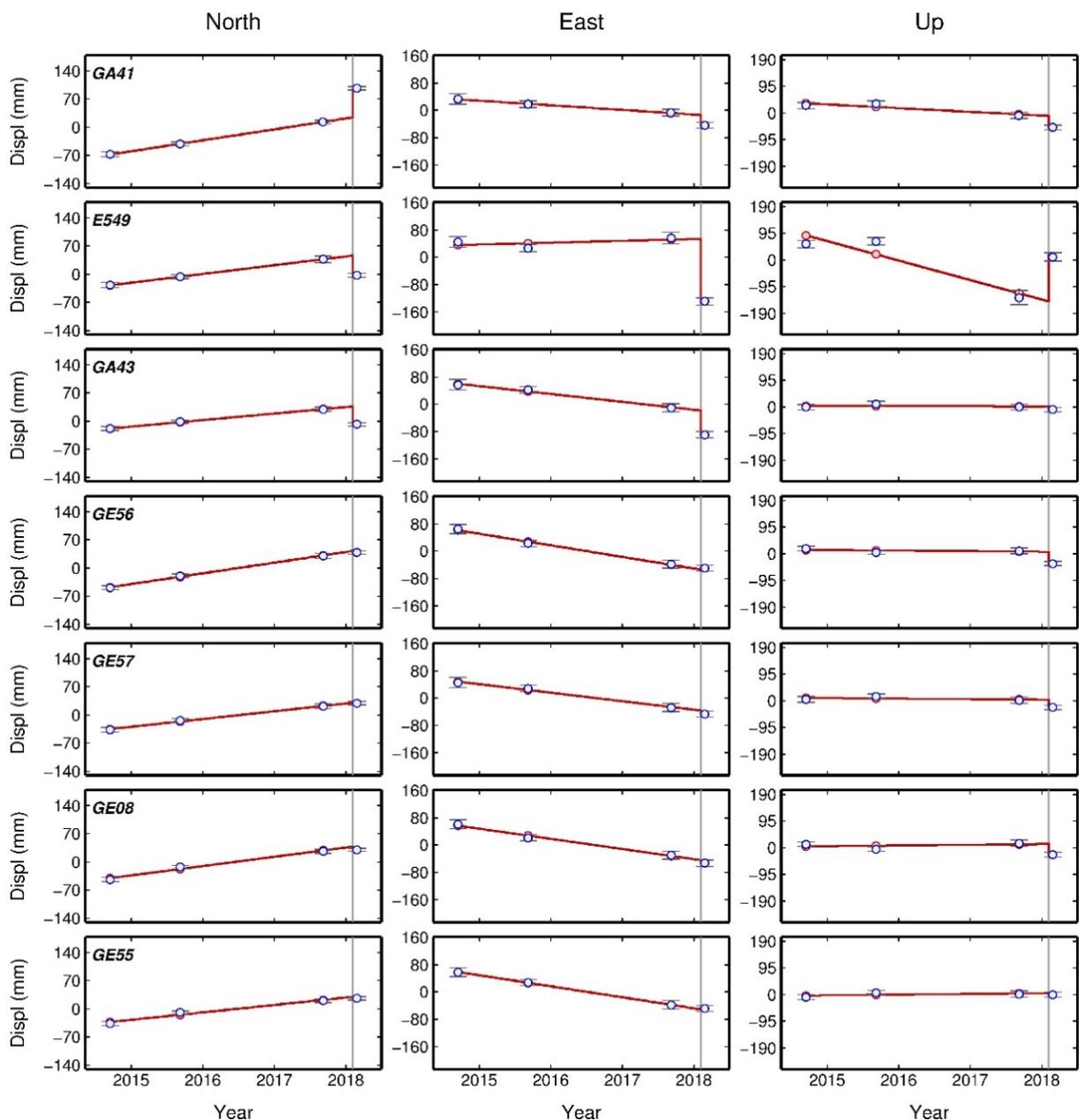


圖 3-3-6、GPS 移動站在花蓮地震前後之南北、東西及垂直方向各分量的變動時間序列圖。

3-4 水準測量同震變形觀測

水準測量觀測時間自本(107)年2月26日至28日，共完成嶺頂-龍澗測線長度計16公里的水準測量工作(圖3-4-1至圖3-4-3)，使用歷年的觀測資料以階層函式、等速度擬合時間序列來獲得同震位移。

分析結果顯示，於嶺頂斷層西側縱谷地區的同震位移呈現抬升，同震位移量由西向東逐漸增加，量值約3.9~163.6mm；向東經花蓮大橋至嶺頂斷層東側同震位移則轉為沉陷，量值約0.0~-45.5mm，(圖3-4-4、圖3-4-5及表A-4)。

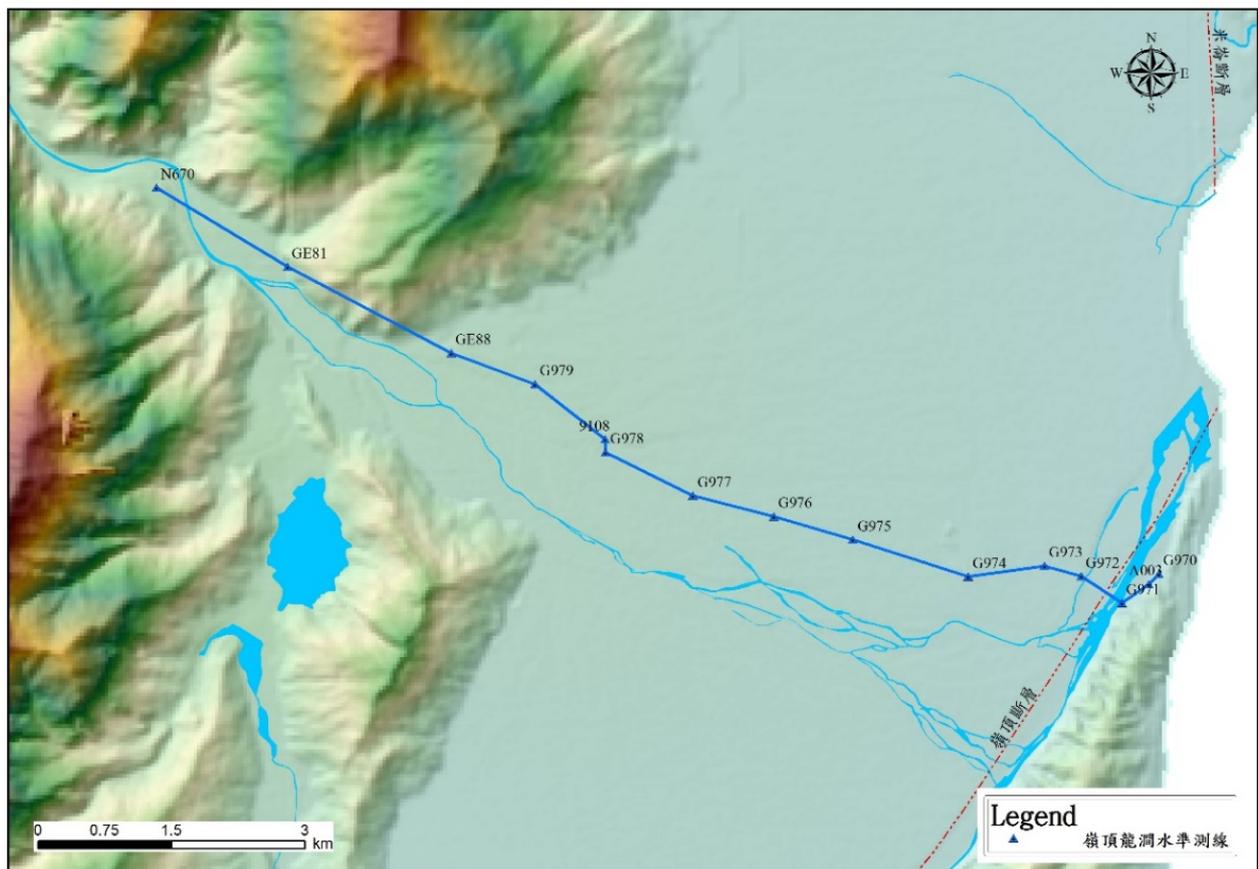


圖 3-4-1、嶺頂-龍澗測線及各水準點位分布圖。



圖 3-4-2、本次地震後水準測量施測情形。觀測時以電子水準儀及鋼鋼尺施測，利用逐站觀測前、後視標尺求得高程差方式，累積得到二水準點間的總高程差，觀測精度符合一等水準作業規範的要求。許晉瑋攝。



圖 3-4-3、嶺頂-龍澗測線精密水準測量情形。水準尺架設於水準點（點號：G979）上進行觀測作業情形。許晉瑋攝。

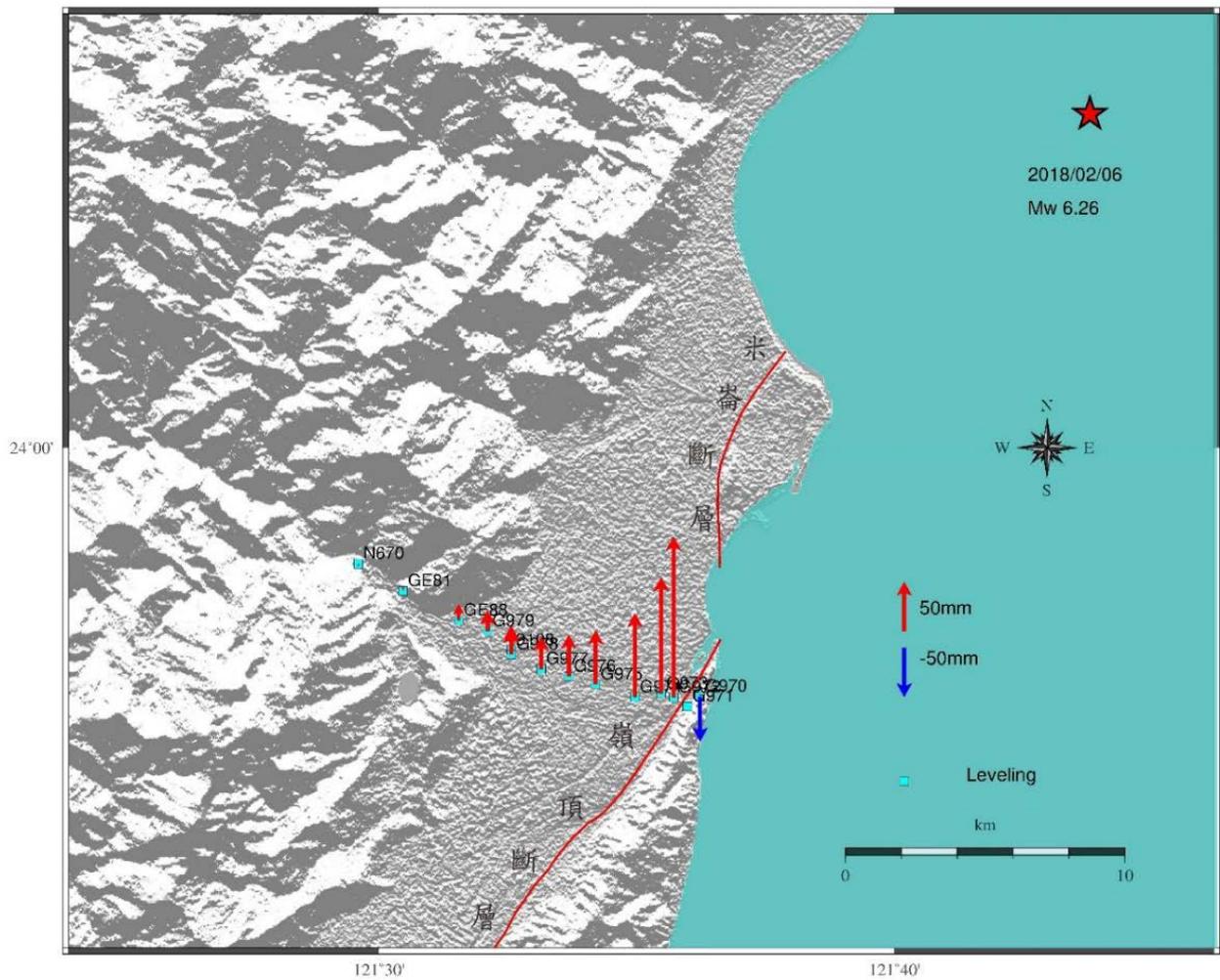


圖 3-4-4、水準測量垂直同震位移圖。藍色方形為水準點，紅色星形為震央位置，紅色實線為活動斷層，紅色箭頭往上代表抬升、藍色箭頭往下代表下陷，箭頭長度代表量值大小，空白處為其參考比例尺。

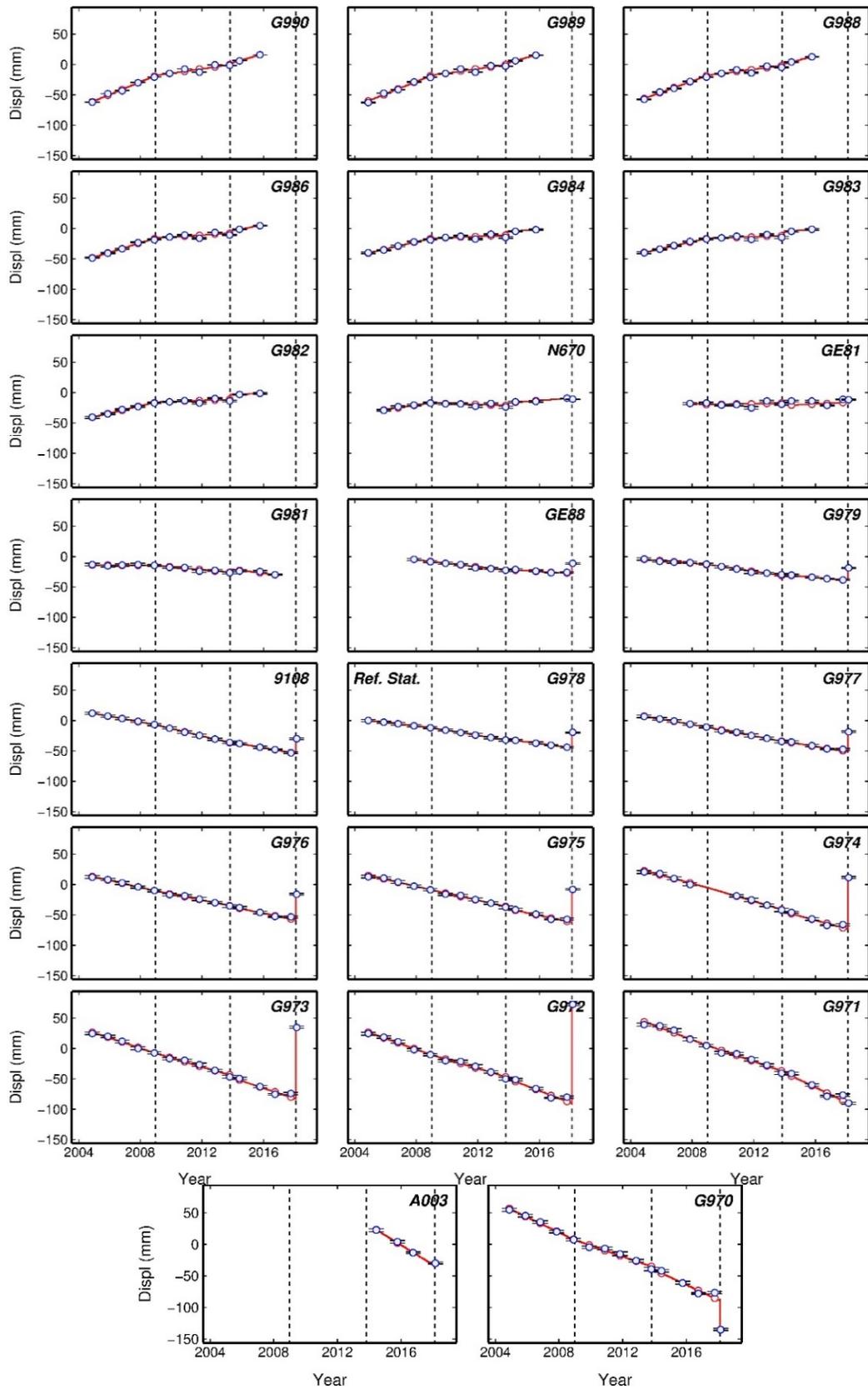


圖 3-4-5、精密水準點在垂直方向變動之時間序列圖。圖中虛線以 2009 年 1 月花蓮地震、2013 年 10 月瑞穗地震及本次花蓮地震標示三個分段。

3-5 合成孔徑雷達干涉差分同震變形觀測

2018 年花蓮地震發生後，歐洲太空總署 ESA (European Space Agency) 所屬衛星 Sentinel-1B 於 2 月 9 日飛越臺灣上空，拍攝了震後第一幅升軌軌道 (ascending orbit) 雷達影像。隨後 2 月 11 日又拍攝震後降軌軌道 (descending orbit) 的雷達影像。本所委託臺灣大學工作團隊執行日本宇宙航空研究開發機構 (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA) ALOS-2 的 RA-6 計畫，緊急向 JAXA 申請拍攝震央區 ALOS-2 雷達影像，於 2 月 10 日與 2 月 11 日飛越臺灣上空，拍攝了震後的雷達影像，並使用差分合成孔徑雷達干涉技術 (D-InSAR) 進行分析。

將上述影像與震前之影像進行運算，得到視衛星方向同震地表視衛變形圖 (圖 3-5-1)，可明顯區別主要的變形區域 (條紋密度較高) 位於米崙斷層上盤與嶺頂斷層北段的下盤側。由於雷達影像為側視拍攝之緣故，經過相位回復後，所得到之變化量為地表於兩張影像拍攝時間內之相對衛星的斜距變形。

由於根據 GPS 同震位移結果可以得知此次地震同震位移較大的地方位於米崙斷層兩側及嶺頂斷層北段，因此衛星影像處理上主要以此區域為主。由於雷達衛星對於沿軌道飛行方向 (近南北向) 之變動量較不敏感。若忽略沿沿軌道飛行方向的變動，將升軌和降軌兩種衛星影像的不同視線方向，由視衛星方向上的變形轉換至東西向與高程方向的同震變形。

在主要變形區域之中，兩種衛星影像計算之成果均顯示最大的抬升或水平位移位於花蓮市東北方靠近七星潭的位置；由 Sentinel-1 影像也可得到另一個主要抬升及向西區域為嶺頂斷層北段下盤側，主要下陷及向東區域則是位於米崙斷層南段下盤處，並且跨越米崙斷層及嶺頂斷層北段東西兩側均有明顯之位移不連續 (圖 3-5-2)。

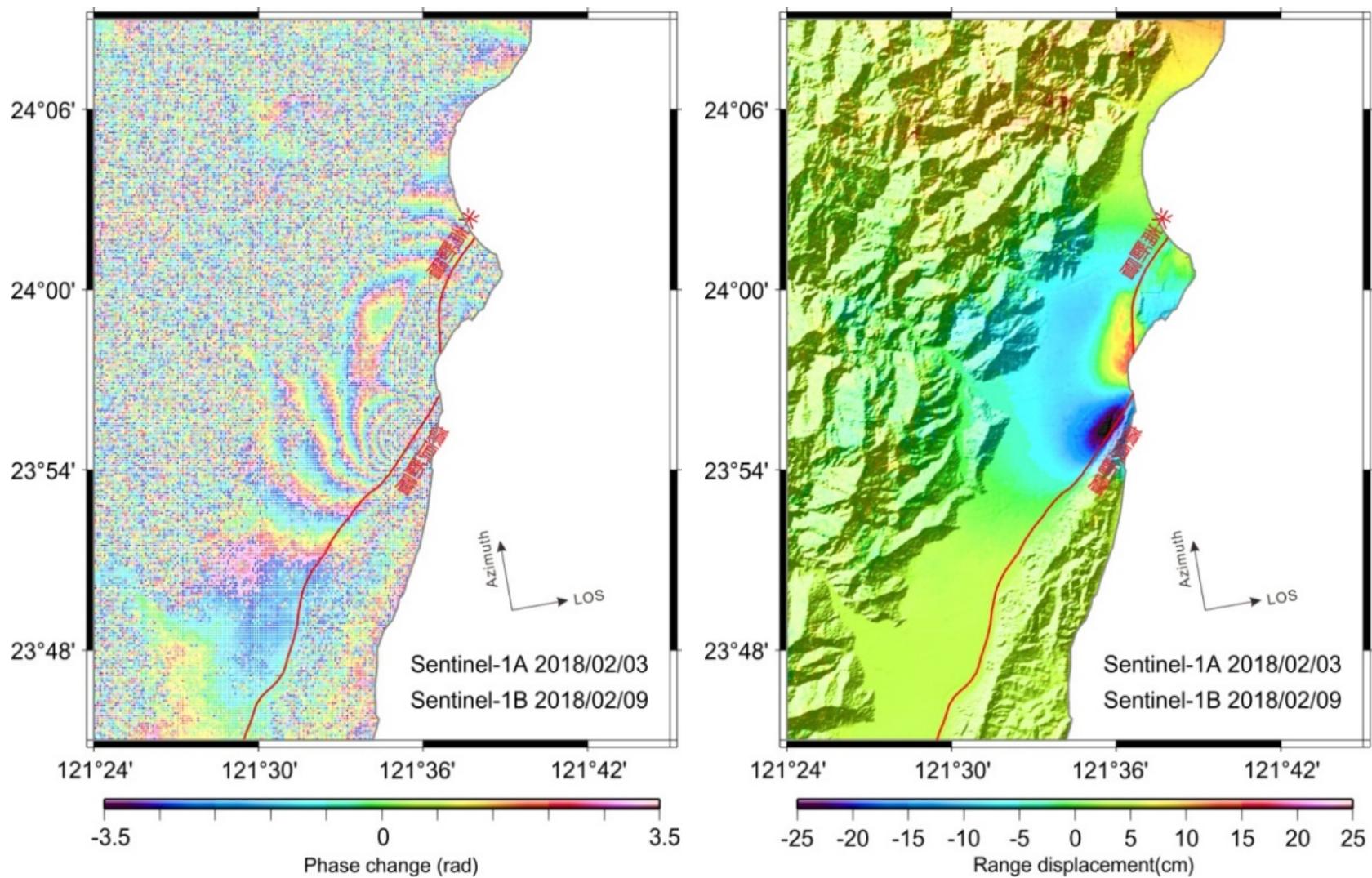


圖 3-5-1、Sentinel-1 衛星同震地表視衛星方向變形場。

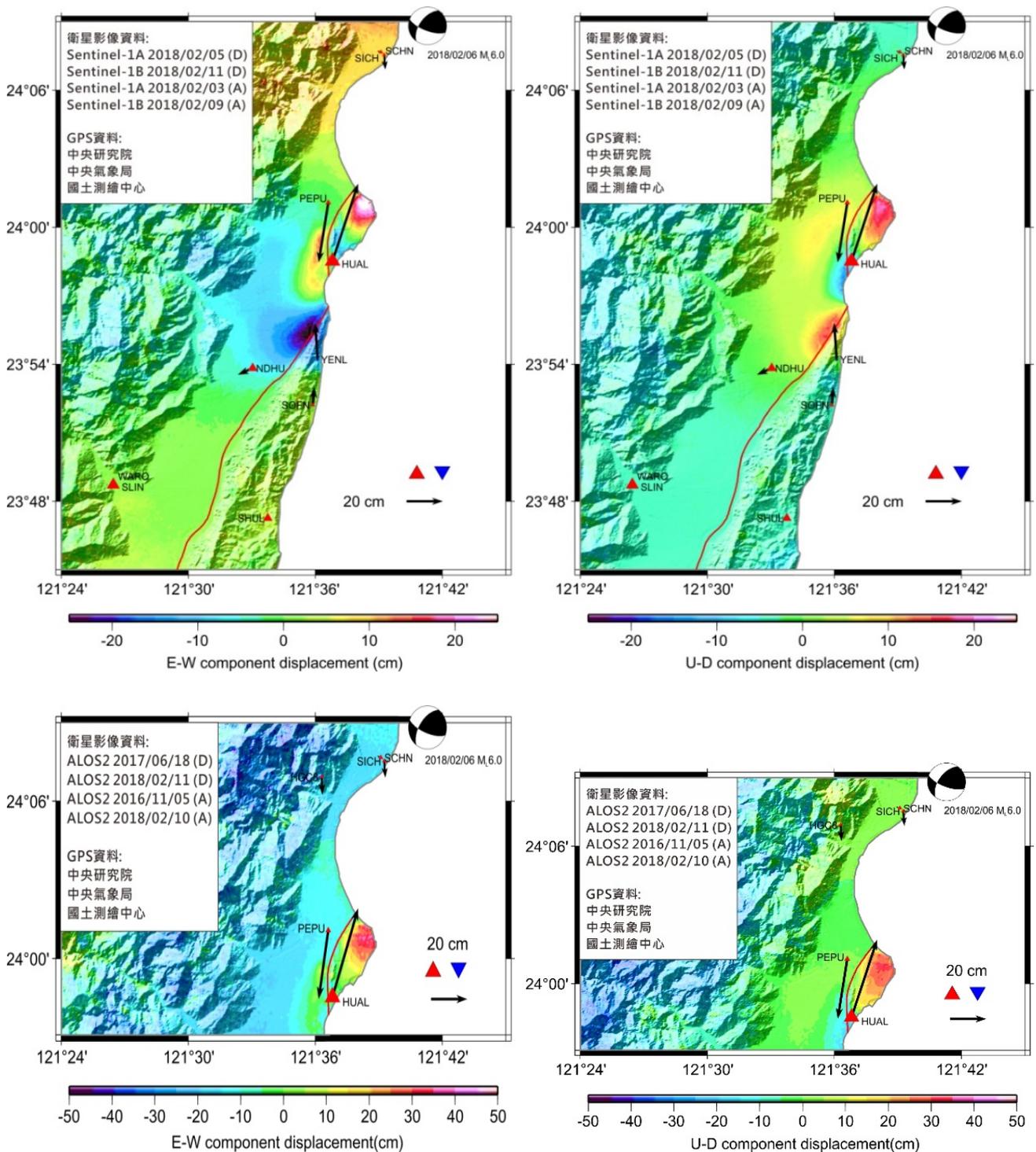


圖 3-5-2、Sentinel-1 與 ALOS-2 東西方向與垂直方向花蓮地震同震地表變形場。暖色系代表地表變形向東與抬升；冷色系代表地表變形向西與下降，箭頭為連續 GPS 連續站同震變形水平方向位移，三角形為連續 GPS 連續站同震變形垂直方向位移。地震機制解為氣象局公布之地震斷層機制解。

3-6 小結

1. 本次地震利用 GPS 移動站、GPS 連續站測量、精密水準測量與雷達影像等大地觀測方法（圖 3-6-1），位於斷層東側上盤之點位同震位移場多呈北至東北向，斷層西側的點位大多呈西南向，米崙斷層呈現左移形式，整體水平同震的相對位移量 70 公分以上（圖 3-6-2）。

2. 垂直方向在北埔地區於斷層兩側皆呈現抬升，美崙山南側則為沉陷，往南斷層東側嶺頂地區呈下陷，斷層西側志學地區則為抬升，壽豐以南位移量並不顯著，整體垂直同震位移量約-77.6~163.6mm（圖 3-6-3），其中位於花蓮大橋西側的 G972 及東側的 G970，在水平方向同震由西南向轉為北向，垂直方向由顯著抬升轉為沉陷，變化十分顯著。

3. GPS 移動站與水準測量變動值較 GPS 連續觀測站的量大，但趨勢一致，位移量較大的原因可能來自於震後觀測期間，地表仍持續變形所致。

4. 使用差分合成孔徑雷達干涉技術（D-InSAR）取得的地表視衛星方向變形分析結果顯示與 GPS 測量及水準測量一致，跨越米崙斷層或嶺頂斷層北段兩側均有明顯的位移不連續。從雷達影像取得的地表視衛星方向變形結果，推測此次地震發生之時，米崙斷層與嶺頂斷層均有產生錯動，且分屬不同的斷層系統。

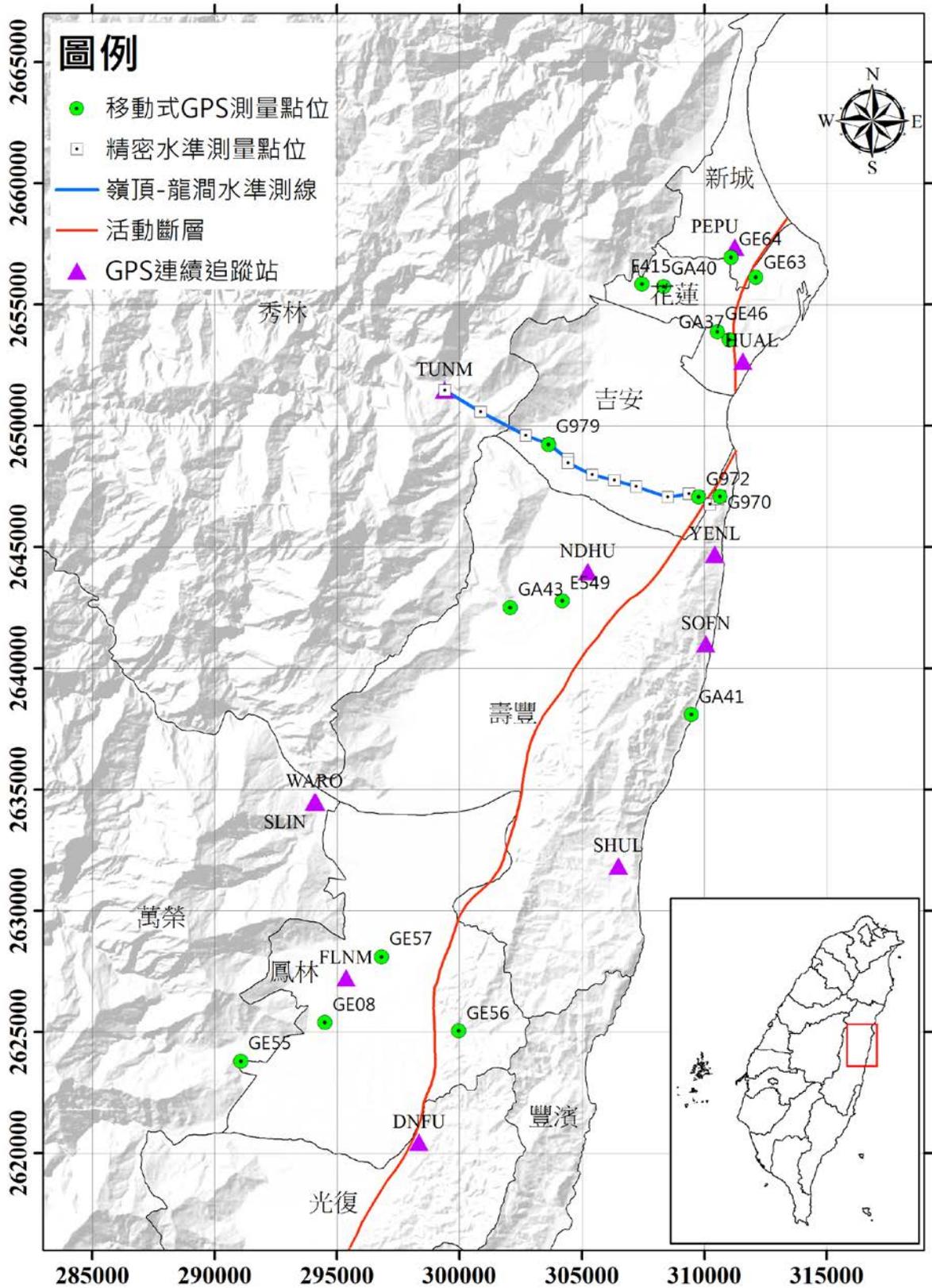


圖 3-6-1、花蓮地區 GPS 連續追蹤站、移動式 GPS 觀測點位及精密水準測線分布圖。

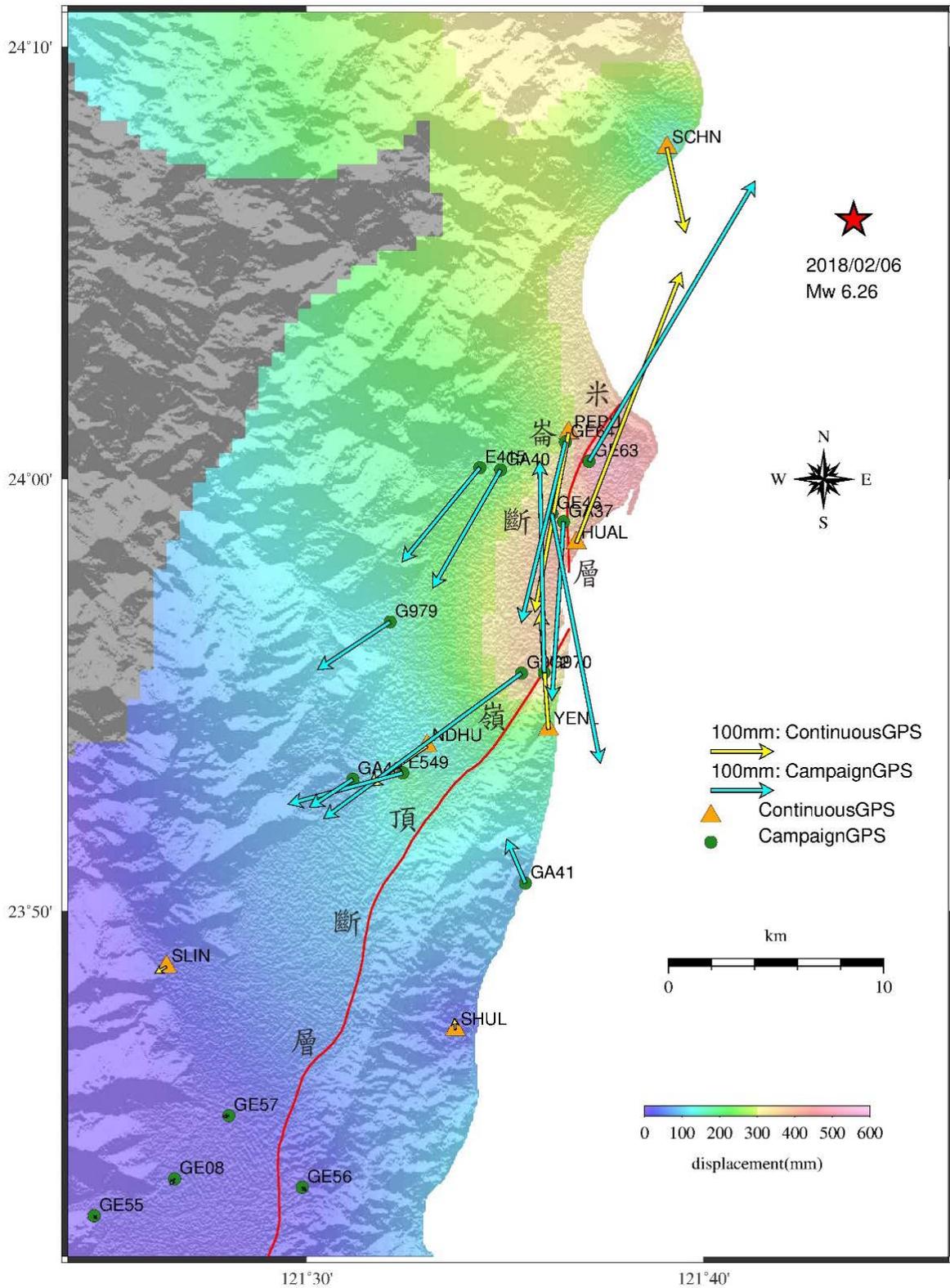


圖 3-6-2、整合 GPS 連續站及移動站之水平方向同震位移圖。黃色三角形為 GPS 連續追蹤站，綠色圓形為 GPS 移動站，紅色星形為震央位置，紅色實線為活動斷層，黃、藍色箭頭代表 GPS 連續追蹤站、GPS 移動站位移方向、長度代表量值大小，空白處為其參考比例尺。

肆、結論與建議

報告撰寫：盧詩丁、陳建良、陳柏村

4-1 結論

1. 由主震資料與餘震分布、震源深度及震源機制等地震資訊，以及鄰近地區的活動斷層特性研判，此次地震是一個深度約 6 公里，約呈北東走向且向西北傾斜約 60 度的海域發震構造所誘發，研判與琉球海溝的隱沒系統有關。
2. 此次地震雖非地表淺部的米崙斷層與嶺頂斷層活動引致，但地震後在此兩條斷層沿線均發現了地表破裂與噴砂的現象。米崙斷層可以美崙溪為界，分為美崙溪以北（米崙斷層北段）與美崙溪以南（米崙斷層南段）兩段，所觀察到的地表破壞現象有所不同。
3. 米崙斷層北段地表變形以左移為主，局部可觀察到東側、南側抬升的情況，而這個範圍即與米崙斷層斷層跡的位置相近，絕大多數地表破裂位在米崙斷層活動斷層地質敏感區（F0011）內。
4. 米崙斷層南段的破壞現象常位在結構弱帶產生，破壞現象以破裂東側局部抬升，以及因壓縮產生的拱起現象為主，此地表破裂的規模小於米崙斷層北段，但整體的分布較米崙斷層北段更為分散。
5. 嶺頂斷層沿線主要以地裂與噴砂現象為主，分布於花蓮溪河道，地表變形特徵以左移運動為主。
6. 於美崙溪河道兩側、舊七星潭池沼群及嶺頂斷層沿線均可發現群聚的噴砂現象，在美崙溪西側的堤內亦有局部的點狀噴砂情形。
7. 在大地測量方面，利用 GPS 移動站、GPS 連續站測量、精密水準測量與雷達影像等觀測結果顯示，米崙斷層呈左移運動形式。米崙斷層的上盤與下盤均有抬升情形，嶺頂斷層斷層跡兩側在同震變形的水平方向與垂直方向均有顯著的變化。
8. 使用差分合成孔徑雷達干涉技術（D-InSAR）取得的地表視衛星方向變形分析結果顯示，跨越米崙斷層或嶺頂斷層北段兩側均有明顯的位移不連續。

4-2 建議

1. 臺灣東部位於兩個板塊擠壓的交界，本次地震即由板塊隱沒作用所誘發，東部區域為臺灣陸上地震最為頻繁與平原區活動斷層最密集之區域，因此，建議本區的重要設施須檢討安全設計係數，並視需要進行補強提高耐震能力。
2. 針對此區的發震構造，要持續加強地震地質調查工作以及地表變形觀測與分析能力，並期望能適時提出預警訊息，作為防災與應變之參據。
3. 此次地震地質調查結果，將納入未來米崙斷層活動斷層地質敏感區範圍的修正，提供國土建設與建築規範的運用。政府已全面啟動耐震安檢，進行補強建築物的耐震能力、加速都市更新等措施，地調所會配合提供地質資料與專業意見，做為政策推動的基礎資料。
4. 本次地震絕大多數的地表破裂位在米崙斷層活動斷層地質敏感區（F0011）內，顯見活動斷層地質敏感區劃定的重要性。大地測量結果也顯示持續的觀測有助於釐清地表變形的分布位置，並評估斷層的活動潛勢，此工作需充分的人力與經費配合，並且長期持續進行方能竟其功。希望決策部門能持續支持地質調查所持續進行的地殼變形觀測與地質調查工作。

參考文獻

- 臺灣省氣象所 (1952) 中華民國 41 年地震報告。臺北，共 83 頁。
- 何春蓀 (1986) 臺灣地質概論：臺灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所出版，共 164 頁。
- 林哲民、張道明、張毓文、簡文郁、溫國樑 (2010) 2010 年 3 月 4 日高雄甲仙地震地震震源特性與發生機制。2010 年 0304 高雄甲仙地震勘災說明會簡報資料。
- 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正 (2000) 臺灣活動斷層概論，五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖說明，第二版。經濟部中央地質調查所特刊，第 13 號，共 122 頁。
- 林啟文、陳文山、劉彥求、陳柏村 (2009) 臺灣東部與南部的活動斷層。經濟部中央地質調查所特刊第 23 號。
- 林朝榮 (1957) 臺灣地形，臺灣省通志稿，第一卷，第一冊。臺灣文獻委員會出版，共 424 頁。
- 林朝榮 (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。
- 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。
- 張徽正、林啟文、陳勉銘、盧詩丁 (1998) 臺灣活動斷層概論，五十萬分之一臺灣活動斷層圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第 10 號，共 103 頁。
- 許晉瑋、劉彥求 (2017) 臺灣東部縱谷斷層北段及沿線地質調查研究，經濟部中央地質調查所 106 年度自行研究計畫報告，共 70 頁。
- 梁勝雄、胡植慶、林依蓉、盧詩丁、許晉瑋、侯進雄、黃意茹、王金安、黃志遠 (2017) 臺灣東部鄰近米崙斷層北段之地表破裂調查，經濟部中央地質調查所彙刊第 30 號，第 89-118 頁
- 陳文山 (2016) 臺灣地質概論，中華民國地質學會，第 101-124 頁。
- 陳文山、王源 (1996) 臺灣東部海岸山脈地質。臺灣地質之七，經濟部中央地質調查所出版，共 101 頁。
- 陳文山、林益正、顏一勤、楊志成、紀權宥、黃能偉、林啟文、林偉雄、侯進雄、劉彥求、林燕慧、石同生、盧詩丁 (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彙刊，第 20 號，第 165-191 頁。
- 陳俊甫 (2013) 臺灣東部縱谷北端區域的地震構造特性，國立臺灣大學理學院地質科學研究所碩士論文，共 111 頁。
- 景國恩、胡植慶、陳宏宇、鄭凱謙、莊昀叡，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反演評估 (1/4)。經濟部中央地質調查所 106 年度委辦計畫執行

期末報告書，共 235 頁。

溫怡瑛、溫士忠、李元希、景國恩 (2018) Imaging the 2018 ML 6 Hualien earthquake with teleseismicbody waves, 2018 年花蓮地震學術研討會簡報資料。

經濟部 (2016) 活動斷層地質敏感區劃定計畫書—F0011 米崙斷層，共 22 頁。

劉啟清 (1988) 臺灣地區地殼變動對驗潮記錄之影響。第二屆臺灣地區地球物理研討會論文集，第 27 頁。

Biq, C. (1965) The east Taiwan rift. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.4, p.93-106.

Biq, C. (1972) Dual-trench structure in the Taiwan-Luzon region. *J. Geol. Soc. China*, no.15, p.65-75.

Hsu, T.L. (1962) Recent faulting in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China*, no.1, p.95-102.

J. Bruce H. Shyu, Chun-Fu Chen, Yih-MinWu(2018)Seismotectonic characteristics of the northernmost Longitudinal Valley, eastern Taiwan: Structural development of a vanishing suture, *Tectonophysics*, vol. 692, 295-308.

Yu, S.B., and H.Y. Chen (1994) Global Positioning System measurements of crustal deformation in the Taiwan arc-continent collision zone: *TAO*, 5, 477-498.

Yu, S.B., Chen, H.Y. and Kuo, L.C. (1997) Velocity field of GPS stations in the Taiwan area. *Tectonophysics*, vol.274, 41-59.

Yu, S.B., L.C. Kuo, R.S. Punongbayan and E.G. Ramos (1999) GPS observation of crustal motion in the Taiwan-Luzon region: *Geophys. Res. Lett.*, 26(7), 923-926.

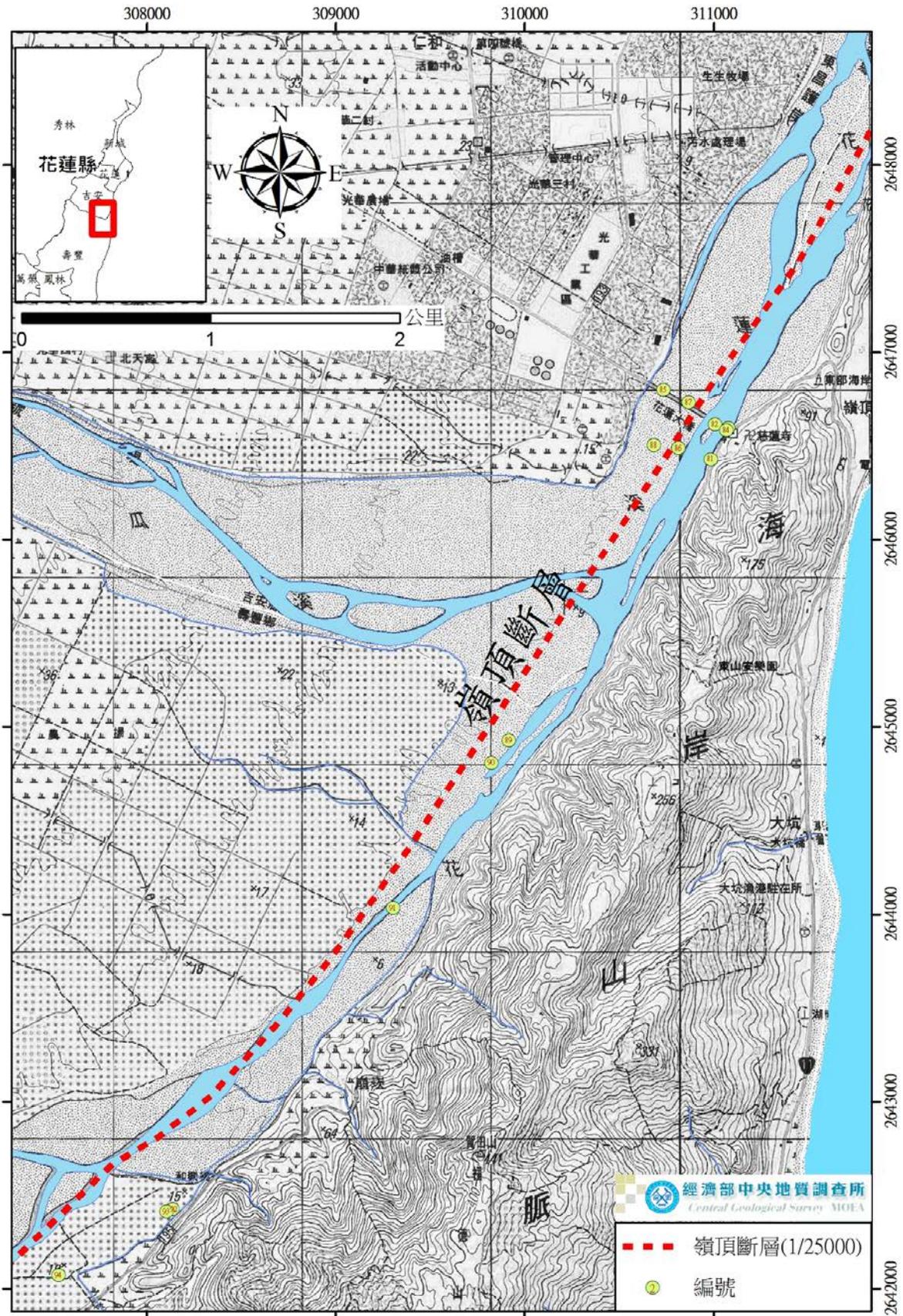


圖 A-2、調查照片點位分佈圖-嶺頂區

表 A-1、調查照片點位分佈表

編號	圖號	經度	緯度	TWD97_X	TWD97_Y
1	圖 2-1-1-02	121.6325	24.0270	314341.2631	2658159.1433
2	圖 2-1-1-03	121.6324	24.0270	314325.4426	2658158.4575
3	圖 2-1-1-04	121.6327	24.0273	314357.7879	2658191.2943
4	圖 2-1-1-05_1	121.6319	24.0268	314280.6217	2658134.2590
5	圖 2-1-1-05_2	121.6317	24.0267	314260.0271	2658126.7826
6	圖 2-1-1-05_3	121.6313	24.0268	314219.0392	2658129.9833
7	圖 2-1-1-05_4	121.6312	24.0267	314205.2363	2658120.3843
8	圖 2-1-1-05_5	121.6298	24.0262	314069.5755	2658062.8609
9	圖 2-1-1-05_6	121.6317	24.0267	314254.6719	2658123.6818
10	圖 2-1-1-06	121.6300	24.0256	314085.0988	2658003.8607
11	圖 2-1-1-07	121.6296	24.0255	314042.4847	2657991.6720
12	圖 2-1-1-08	121.6301	24.0259	314092.1489	2658033.5368
13	圖 2-1-1-09_1	121.6259	24.0210	313666.3198	2657495.5998
14	圖 2-1-1-09_2	121.6260	24.0211	313675.8994	2657502.1038
15	圖 2-1-1-10	121.6207	24.0153	313144.6775	2656852.1474
16	圖 2-1-1-12_1	121.6189	24.0115	312959.1623	2656431.6965
17	圖 2-1-1-12_2	121.6204	24.0131	313115.5140	2656608.3603
18	圖 2-1-1-13_1	121.6185	24.0108	312925.2812	2656360.1735
19	圖 2-1-1-13_2	121.6184	24.0107	312915.1683	2656346.2848
20	圖 2-1-1-14	121.6173	24.0090	312805.4730	2656162.7519
21	圖 2-1-1-15	121.6172	24.0087	312791.6318	2656128.2723
22	圖 2-1-1-16	121.6173	24.0087	312801.1234	2656123.3543
23	圖 2-1-1-17	121.6170	24.0082	312770.0064	2656065.6869
24	圖 2-1-1-18	121.6169	24.0078	312760.5760	2656025.0367
25	圖 2-1-1-19	121.6177	24.0086	312837.8023	2656114.4444
26	圖 2-1-1-20	121.6168	24.0076	312750.2028	2656005.9161
27	圖 2-1-1-22	121.6160	24.0060	312672.6958	2655828.0642
28	圖 2-1-1-23	121.6138	24.0009	312451.3223	2655263.4848
29	圖 2-1-1-24	121.6162	24.0057	312691.2423	2655787.8797
30	圖 2-1-1-25	121.6138	24.0005	312445.3312	2655211.4654
31	圖 2-1-1-26	121.6127	23.9968	312339.1547	2654800.2927
32	圖 2-1-1-28_1	121.6110	23.9860	312171.0866	2653603.4266
33	圖 2-1-1-28_2	121.6111	23.9856	312181.6999	2653567.7857
34	圖 2-1-1-29_1	121.6112	23.9854	312193.4237	2653536.7636
35	圖 2-1-1-29_2	121.6113	23.9853	312198.5462	2653528.7872
36	圖 2-1-1-30	121.6114	23.9851	312215.0338	2653507.3227
37	圖 2-1-1-31	121.6145	24.0017	312515.3388	2655342.4354
38	圖 2-1-1-32	121.6104	23.9912	312110.0727	2654181.2324

39	圖 2-1-1-33	121.6094	23.9885	312005.9139	2653887.5932
40	圖 2-1-1-34	121.6099	23.9885	312055.6474	2653885.6919
41	圖 2-1-1-35	121.6105	23.9847	312124.3379	2653459.1606
42	圖 2-1-2-01	121.6093	23.9839	312000.5731	2653371.5586
43	圖 2-1-2-02	121.6101	23.9828	312086.1224	2653249.8787
44	圖 2-1-2-03	121.6101	23.9813	312081.6425	2653082.0870
45	圖 2-1-2-04	121.6081	23.9827	311878.0981	2653245.2883
46	圖 2-1-2-05	121.6111	23.9806	312185.9516	2653006.3129
47	圖 2-1-2-06	121.6104	23.9800	312110.0644	2652943.2580
48	圖 2-1-2-08	121.6103	23.9791	312101.7306	2652844.1588
49	圖 2-1-2-09	121.6103	23.9793	312102.3922	2652869.2638
50	圖 2-1-2-10	121.6088	23.9766	311951.1779	2652569.4304
51	圖 2-1-2-11	121.6090	23.9766	311969.7387	2652560.3059
52	圖 2-1-2-12	121.6099	23.9806	312065.3459	2653006.4618
53	圖 2-1-2-13	121.6107	23.9794	312139.9372	2652872.7257
54	圖 2-1-2-14	121.6105	23.9782	312125.5525	2652737.9344
55	圖 2-1-2-15	121.6116	23.9782	312240.6991	2652741.4471
56	圖 2-1-2-16	121.6114	23.9783	312220.8499	2652754.3646
57	圖 2-1-2-17	121.6116	23.9782	312234.7063	2652741.4333
58	圖 2-1-2-18	121.6116	23.9781	312236.8195	2652735.1938
59	圖 2-1-2-19_1	121.6111	23.9767	312185.2558	2652572.8675
60	圖 2-1-2-19_2	121.6111	23.9768	312181.5843	2652587.6127
61	圖 2-1-2-20	121.6115	23.9778	312223.6220	2652700.3999
62	圖 2-1-2-21	121.6110	23.9770	312174.2375	2652611.8768
63	圖 2-1-2-22	121.6096	23.9758	312038.5662	2652482.5844
64	圖 2-1-2-23	121.6095	23.9746	312029.4233	2652344.9187
65	圖 2-1-2-24	121.6095	23.9746	312019.4005	2652344.3847
66	圖 2-1-2-25	121.6099	23.9750	312064.6115	2652388.4174
67	圖 2-1-2-26	121.6106	23.9755	312136.9940	2652438.7767
68	圖 2-1-2-27	121.6097	23.9734	312040.6852	2652211.6240
69	圖 2-1-2-28	121.6100	23.9714	312074.9094	2651994.1146
70	圖 2-1-2-29	121.6108	23.9697	312155.6895	2651807.0025
71	圖 2-1-2-30_1	121.6117	23.9680	312248.9866	2651611.6631
72	圖 2-1-2-30_2	121.6118	23.9681	312266.6389	2651626.4908
73	圖 2-1-2-31	121.6113	23.9682	312212.4300	2651630.6615
74	圖 2-1-2-32	121.6111	23.9737	312183.6392	2652247.3006
75	圖 2-1-2-33	121.6099	23.9730	312064.1693	2652164.7873
76	圖 2-1-2-34	121.6093	23.9737	312009.1224	2652248.9276
77	圖 2-1-2-35	121.6084	23.9733	311911.8540	2652203.0457
78	圖 2-1-2-36	121.6113	23.9676	312207.8579	2651571.3689

79	圖 2-1-2-7_1	121.6105	23.9795	312124.7521	2652882.5668
80	圖 2-1-2-7_2	121.6103	23.9796	312108.1665	2652897.6593
81	圖 2-1-3-01	121.5991	23.9212	310986.9404	2646429.8826
82	圖 2-1-3-02	121.5993	23.9229	311009.2256	2646616.8148
83	圖 2-1-3-03_1	121.5999	23.9227	311076.9592	2646595.9929
84	圖 2-1-3-03_2	121.5999	23.9226	311067.6964	2646584.7909
85	圖 2-1-3-04	121.5966	23.9246	310736.3663	2646799.2150
86	圖 2-1-3-06	121.5974	23.9218	310812.9686	2646487.3341
87	圖 2-1-3-07	121.5979	23.9240	310868.3730	2646733.9011
88	圖 2-1-3-08	121.5961	23.9219	310684.8785	2646503.6707
89	圖 2-1-3-09	121.5885	23.9077	309916.9350	2644928.8093
90	圖 2-1-3-10	121.5876	23.9066	309824.7234	2644808.7520
91	圖 2-1-3-11	121.5824	23.8997	309303.7929	2644032.0902
92	圖 2-1-3-12	121.5709	23.8852	308138.0486	2642423.9646
93	圖 2-1-3-13	121.5706	23.8851	308106.1739	2642412.3069
94	圖 2-1-3-14	121.5650	23.8820	307534.3170	2642070.9484
95	圖 2-2-01	121.6085	23.9941	311915.2560	2654502.5900
96	圖 2-2-02	121.6102	23.9857	312093.2025	2653568.9229
97	圖 2-2-03	121.6064	23.9872	311706.7313	2653739.2179
98	圖 2-2-04	121.6092	23.9855	311987.7538	2653549.4593
99	圖 2-2-05	121.6093	23.9855	311999.7264	2653553.5380
100	圖 2-2-06	121.6079	23.9871	311851.5299	2653729.1098
101	圖 2-2-07	121.6091	23.9935	311970.5794	2654436.2663
102	圖 2-2-08	121.6087	23.9931	311937.5348	2654393.7470
103	圖 2-2-09	121.6096	23.9929	312024.8558	2654374.7316
104	圖 2-2-10	121.6089	23.9940	311956.7533	2654493.7041
105	圖 2-2-11	121.6080	23.9937	311864.0887	2654463.9931
106	圖 2-2-12	121.6091	23.9947	311971.5195	2654574.4440
107	圖 2-2-13	121.6087	24.0007	311927.1626	2655236.2907
108	圖 2-3-01	121.6088	23.9940	311940.8180	2654493.4370
109	圖 2-3-02	121.6075	23.9879	311815.1620	2653812.6270
110	圖 2-3-03	121.6071	23.9881	311771.8302	2653832.8610
111	圖 2-3-04	121.6114	23.9773	312212.0556	2652644.9577
112	圖 2-3-05	121.6060	23.9760	311664.7867	2652497.7090

表 A-2、GPS 連續追蹤站同震位移資料表

站號	經度 (°E)	緯度 (°N)	東西方向位移 量 (mm)	南北方向位移 量 (mm)	東西方向誤差 (mm)	南北方向誤差 (mm)	水平位移 (mm)	垂直位移 (mm)
SCHN	121.6516	24.1278	29.7	-136.1	8.7	7.7	139.3	-30.9
PEPU	121.6103	24.0179	-53.9	-286.1	3.4	7.4	291.1	51.2
HUAL	121.6135	23.9754	167.7	432.0	7.0	2.9	463.4	59.2
YENL	121.6018	23.9035	-12.9	188.5	2.0	2.3	188.9	-34.4
NDHU	121.5508	23.8972	-94.7	-64.5	1.8	3.3	114.6	32.6
SLIN	121.4414	23.8119	-18.7	-10.7	1.6	2.1	21.5	-9.8
SHUL	121.5627	23.7876	-1.6	18.0	2.7	1.7	18.1	-1.2

表 A-3、GPS 移動站同震位移資料表

點號	經度 (°E)	緯度 (°N)	東西方向位移 量 (mm)	南北方向位移 量 (mm)	水平方向位移 量 (mm)	垂直方向位移 量 (mm)	東西方向誤 差 (mm)	南北方向誤差 (mm)
E415	121.5730	24.0045	-124.2	-150.4	195.1	50.9	4.3	2.9
G970	121.6000	23.9254	-7.2	337.2	337.3	-52.0	4.5	3.0
G972	121.5905	23.9252	-315.8	-232.3	392.1	163.6	4.5	3.0
G979	121.5353	23.9450	-115.8	-76.4	138.7	7.4	5.1	3.2
GA37	121.6081	23.9836	-18.4	-285.0	285.6	-77.6	4.5	3.0
GA40	121.5817	24.0036	-108.6	-188.6	217.6	40.8	4.3	2.9
GE46	121.6032	23.9867	77.5	-398.1	405.6	-73.9	4.5	2.9
GE63	121.6188	24.0069	265.3	447.1	519.8	120.9	4.3	2.9
GE64	121.6089	24.0144	-70.3	-288.1	296.6	40.5	4.3	2.9
GA41	121.5921	23.8442	-30.1	70.6	76.7	-40.6	4.8	3.3
E549	121.5406	23.8867	-183.0	-49.5	189.6	162.2	5.8	3.9
GA43	121.5197	23.8843	-69.5	-45.3	83.0	-11.4	5.0	3.3
GE56	121.4984	23.7267	6.4	-5.6	8.5	-41.6	5.0	3.4
GE57	121.4676	23.7544	-8.7	-1.9	8.9	-27.0	5.0	3.4
GE08	121.4448	23.7300	-7.1	-9.3	11.7	-37.5	5.0	3.3
GE55	121.4110	23.7157	4.3	-5.0	6.6	-6.1	5.0	3.3

表 A-4、水準測量同震位移資料表

點號	經度 (°E)	緯度 (°N)	垂直方向位移量 (mm)	垂直方向誤差 (mm)
N670	121.4871	23.9656	-2.1	0.5
GE81	121.5001	23.9580	3.9	1.2
GE88	121.5199	23.9483	16.3	1.4
G979	121.5303	23.9450	20.7	1.4
9108	121.5380	23.9393	24.5	1.5
G978	121.5478	23.9382	25.6	1.6
G977	121.5483	23.9348	32.7	1.6
G976	121.5566	23.9314	42.3	1.7
G975	121.5652	23.9292	54.6	1.7
G974	121.5758	23.9258	85.3	1.8
G973	121.5865	23.9262	118.3	1.8
G972	121.5905	23.9252	163.6	1.8
G971	121.5949	23.9226	0.0	1.8
G970	121.6000	23.9254	-45.5	1.9