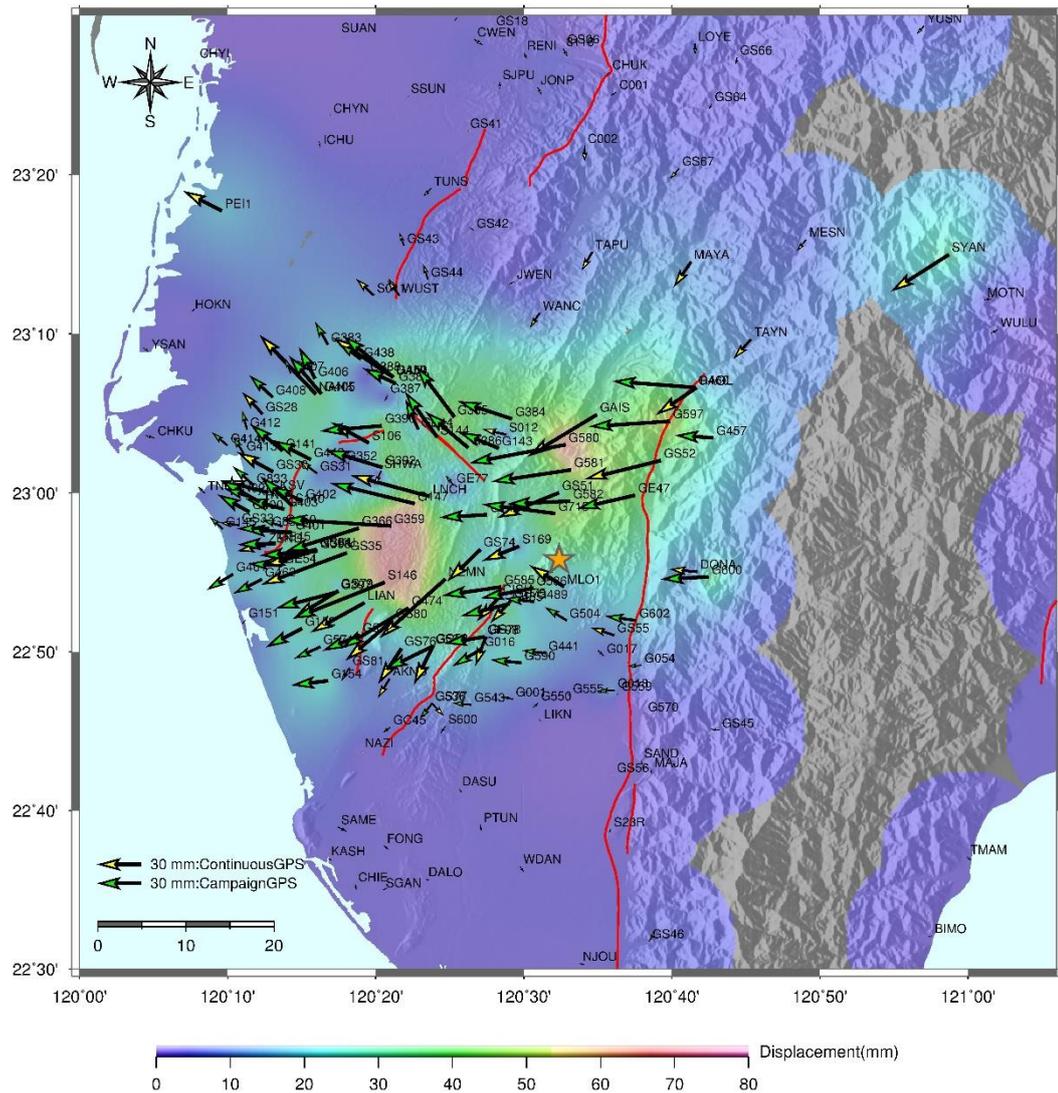




20160206 地震地質調查報告



經濟部中央地質調查所

中華民國 105 年 4 月

封面圖片說明：

整合 GPS 連續站與移動站的水平位移量（單位：mm），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 km，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。

摘要

民國 105 年 2 月 6 日上午臺灣南部發生芮氏規模 6.6 的地震，此地震是由一條位於深部的發震構造所引起，雖然並未造成斷層的地表破裂，但在局部地區還是產生一些地表的破壞現象，本所乃動員構造與地震地質組人力針對週遭地區進行野外調查與測量工作，地表地質調查重點集中在確認震央周遭活動斷層是否發生同震變形，是否為此次地震之發震構造；鄰近活動斷層之結構破壞與噴砂現象是否與斷層活動有關。調查範圍主要為臺南關廟、新化、安南及其他破壞較集中的區域，地變動測量範圍則涵蓋臺南、高雄等地。

本所分析餘震震央分布及主震斷層面解的資料，研判 0206 地震的發震構造係一個深度超過 10 公里，呈東西走向，向北方傾斜的深部發震構造，與鄰近區域已知的旗山斷層、新化斷層、左鎮斷層、後甲里斷層等西南部地表淺部之活動斷層無關。

在地表地質調查方面，目前所發現的地表裂縫大多與地震當時路面、房屋或水溝等人工結構物受到震波搖動所產生的破裂有關，並未有直接證據顯示為斷層錯動地表所致。土壤液化現象在震央以北之新化區、關廟區與安南區及附近的平原區零星可見，其中最密集的區域位於臺南市新化區一帶，在空間分布上具有群聚性，主要發生於新化斷層沿線與斷層向西延伸的區域，且分布位置與 1946 年新化地震及 2010 年 0304 甲仙地震在新化斷層沿線產生的噴砂現象具重複性，顯示此地區的上層在強震時容易發生土壤液化。

在地表變形觀測方面，彙整由 GPS、精密水準測量與雷達影像取得之地表視衛星方向變形之觀測結果顯示，震央東部之同震垂直位移為沉陷，而震央西部主要為抬升。此外，同震水平位移則顯示，震央以南及龍船斷層以東之位移方向以西南為主，而龍船斷層以西、震央以北之區域內，同震位移方向則以西向為主。

水平位移最大在龍崎國小，約 7.3 公分，水平位移較大區域位於震央西側至西北側距離約 20-25 公里地區。同震位移量大致以該區域為中心，向南、西、北方向遞減；位移方向則為向西略偏南方向分布。

垂直位移最大在龍船國小，抬升約 12.2 公分，抬升區域集中在震央西側，左鎮斷層、新化斷層以南至旗山斷層、小崗山斷層以北地區，與水平位移較大區域相近，顯示此區域變形相當劇烈，實際空間上的整體位移量已達 14 公分左右，由於這個區域存在較深厚的泥岩，地震能量在此區得以地表變形方式轉化呈現，是此區域變形劇烈的主因。

在斷層活動性觀測資料分析方面，此次 0206 美濃地震震央，大致上位在古坑、中崙站和屏科大觀測站的敏感偵測區之交集位置，故此三座觀測站皆能偵測到地震前的異常變化。所有水位觀測站皆未出現顯著異常，新竹新樂站和嘉義太興站出現同震水位變化。社頂站地下水水氬濃度在 0206 地震前，觀測到地下水氬異常下降行為，可能與 0206 地震有關。

此次地震由於引發地震的斷層並未出露地表，因此所造成的災情較為單純，多數破壞係地震波的強烈搖動所致，雖然南部地區的地震活動較少，但此地區未來不排除再度發生類似規模的地震，位於附近的重要設施仍須提高耐震能力。而針對類似深藏在地底深處的盲斷層或發震構造，應該要加強地震地質調查工作與活動斷層觀測網的觀測與分析能力，並期望從觀測中瞭解其動靜，進而適時提出預警訊息。

目 錄

	頁次
摘要.....	I
目 錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	XIII
引言.....	1
壹、 區域概況.....	4
1-1 地質背景.....	4
1-1-1 區域地質.....	4
1-1-2 活動斷層分布.....	5
1-2 地震活動.....	7
1-3 小結.....	8
貳、地表地質調查.....	13
2-1 震央周遭活動斷層是否發生同震變形調查.....	15
2-2 新化斷層周邊噴砂與結構破壞調查報告.....	27
2-3 土壤液化所導致的結構物破壞與沉陷範圍調查.....	35
2-4 群聚性的人工結構物破壞或倒塌及其他零星建物破壞調查.....	42
2-5 小結.....	51
參、地表變形觀測結果.....	53
3-1 本區域近十年來的地表變動情形.....	53
3-2 GPS 連續追蹤站同震變形觀測.....	54
3-3 GPS 移動站與水準測量同震變形觀測.....	58
3-4 GPS 移動站與水準測量同震變形觀測小節.....	61
3-5 利用合成孔徑雷達干涉技術取得 ALOS-2 與 SENTINEL 1-A 雷達衛星影像之 視衛星方向變形.....	67
3-6 利用永久散射體雷達干涉法測得之臺灣西南部間震期視衛星方向位移速 率.....	70
3-6-1 地表視衛星方向變形速率場.....	70

3-6-2 地表視衛星方向變形速率剖面與精密水準測量剖面比較.....	74
3-6-3 小結	78
肆、井下應變儀及地球化學觀測資料分析.....	79
4-1 井下應變儀資料分析	79
4-1-1 分析結果	79
4-1-2 小結	80
4-2 地球化學觀測與研究	81
4-2-1 前言	81
4-2-2 地球化學觀測結果.....	83
4-2-3 小結	90
伍、結論與建議.....	91
5-1 結論	91
5-2 建議	92
參考文獻.....	93
附 錄.....	96

圖目錄

圖 1-1 臺灣之地體構造圖 (修改自 ANGELIER, 1986), 紅色框為本報告所述之調查位置	
圖 1-2 臺灣地區 1900-2009 年之地震分布圖, 藍色星號為 2010 年 0304 地震震央位置, 紅色星號為 2016 年 0206 地震。(修改自林哲民等, 2010)	10
圖 1-3 本區域 1991-2016 年 2 月之地震分布圖, 左圖為震源深度小於 10 公里, 右圖為 10~35 公里者, 紅色圈號為本次地震之主、餘震分布。(摘自張建興等, 2016)	11
圖 1-4 0206 地震主震 (星號) 與餘震分布, 下幅為東、西向, 右幅為南、北向之地震深度投影剖面。(地震資料由中央氣象局提供)	11
圖 2.1 調查區域總圖與其性質簡述。	14
圖 2-1.1 旗山斷層沿線調查位置圖 (黃色框線周邊)。主要沿旗山區中寮社區中寮一、二路, 以及國道三號中寮隧道北口進行調查。	16
圖 2-1.2 旗山斷層沿線調查情形 1: 旗山區中寮社區崑山宮附近駁坎受強烈地表加速度影響, 導致延舊有裂隙崩落損壞。但道路與周邊區域無明確斷層活動地表導致之地表破裂現象, 向東拍攝。	17
圖 2-1.3 旗山斷層沿線調查情形 2: 旗山區中寮二路上擋土牆延舊有裂隙擴大外移。但道路與周邊區域仍無明確斷層活動地表導致之地表破裂現象, 向東南拍攝。	17
圖 2-1.4 旗山斷層沿線調查情形 3: 中寮隧道北口位於旗山斷層帶, 斷層潛移導致隧道襯壁受損, 路面持續隆起, 0206 地震若為旗山斷層引發, 應可見到斷層活動導致之相關破裂與變形現象。	18
圖 2-1.5 旗山斷層沿線調查情形 4: 中寮隧道外觀與內部細查情形以及田寮三號橋橋臺。	19
圖 2-1.6 左鎮斷層條帶地質圖: 進行卓猴至三角潭之間左鎮斷層沿線之公路橋梁進行調查。	20

圖 2-1.7 左鎮斷層附近之公路與橋梁均未見到任何變形與錯動現象，左下照片之擋土牆上方為左鎮斷層帶露頭，擋土牆無任何損壞或變形現象；左鎮郵局前有一橋梁進行改建，但為已進行之工程，與 0206 地震無關（右下照片）。	21
圖 2-1.8 後甲里斷層條帶地質圖，調查主要沿臺南臺地東緣的地形崖，由北而南分別經過臺南市永康區、東區及仁德區至奇美博物館為止。	22
圖 2-1.9 臺南永康區復華里東側地形崖坡未發現建物及水泥路面有破裂現象。	23
圖 2-1.10 臺南仁德區德高國小附近地形崖坡未發現建物及水泥路面有破裂現象	23
圖 2-1.11 臺南仁德區虎子山東側及虎山都會公園附近均未發現有新破裂或隆起現象. 23	
圖 2-1.12 臺南市大內區南寶球場 B 區沉陷範圍(黃色框線周邊)。球場位於砂泥岩互層，風化的六雙層之上，向西呈圓弧形破壞滑向六雙溪畔。	24
圖 2-1.13 南寶球場 B 區圓弧形破壞範圍之變形現象。	25
圖 2-1.14 南一球場調查位置圖：紅色虛線為主要下陷變形區域。	26
圖 2-1.15 南一球場所見變形現象：主要為土體受側向加速度影響向噴水池陷落，造成一系列環繞噴水池之地表開裂。	27
圖 2-2.1 1946 年新化地震時新化斷層的地表破裂現象與噴砂位置（張麗旭等，1947），黃色為此次地震發生噴砂地區，橘色為地表破裂位置，綠色為噴砂與地裂位置。	29
圖 2-2.2A 新化斷層附近噴砂與結構破壞位置圖。	30
圖 2-2.2B 新化斷層附近噴砂與結構破壞位置圖。	30
圖 2-2.3 永康區鹽水溪南岸高壓電塔旁及發現噴砂現象，噴砂口約呈 N80°E 線形排列。	31
圖 2-2.4 永康區鹽水溪南岸鄰近的玉米田中發現噴砂現象，噴砂口約呈 N80°E 線形排列。	31
圖 2-2.5 鹽水溪北岸北邊寮的農田中可觀察到地裂及噴砂現象，約呈 N70°E 至 E-W 走向。	31
圖 2-2.6 鹽水溪北岸北邊寮的農田中觀察到地表開裂現象，裂縫可達 10~20CM 寬。 ..	31

圖 2-2.7 鹽水溪北岸北邊寮的農田中觀察到現象，北側較南側高約 10CM，沿裂隙兩側位 移不明顯亦無剪切現象。	31
圖 2-2.8 鹽水溪北岸農田向南陷落，由於南側 100 公尺處即為鹽水溪，研判農田受震動 影響而產生邊坡滑動（向東南方拍攝）。	31
圖 2-2.9 臺南市新化區北勢里普賢院一帶群聚性的噴砂現象。	32
圖 2-2.10 臺南市新化區北勢里一帶群聚性的噴砂現象，噴砂錐約呈 N70~80°E 線形排 列。	32
圖 2-2.11 臺南市新化區北勢里一帶的噴砂現象以孔隙噴砂為主。	32
圖 2-2.12 臺南市新化區北勢里一帶可發現裂隙噴發的噴砂現象。	32
圖 2-2.13 臺南市新化區太平里烏鬼厝一帶的群聚性噴砂現象。	32
圖 2-2.14 臺南市新化區太平里烏鬼厝一帶群聚性的噴砂現象，噴砂錐約呈 N70~80°E 線 形排列。	32
圖 2-2.15 新化斷層沿線之深坑橋，橋面有約呈 N80°E 走向，平行橋臺之裂隙。	33
圖 2-2.16 新化斷層沿線之中央橋，橋面亦有約呈 N80°E 走向，平行橋臺之裂隙。	33
圖 2-2.17 農改場可發現地表開裂現象，走向約呈 N70°E。	33
圖 2-2.18 農改場內，沿著小河溝產生滑動的裂隙。	33
圖 2-2.19 臺南市新化區那拔里太極殿東邊農舍農田中可發現約呈 N80°E 走向之地表破 裂現象。	33
圖 2-2.20 臺南市新化區那拔里太極殿東邊農舍農田中發現地表破裂現象，寬度約 25CM，南側較北側高約 20~30CM。	33
圖 2-2.21 新化斷層東側延伸方向之柏油路面可發現多處破裂現象，裂面可達 8CM 寬， 落差可達 4CM，約呈 N80°E 走向。	34
圖 2-2.22 新化斷層東側八德安樂園區內，多處道路及墓園建物因坡地滑動而產生破裂。	34
圖 2-2.23 大灣東路噴砂範圍調查與目前尚可確認噴砂之範圍，點位為依據手持式 GPS 標定之可見噴砂口。	34

圖 2-2.24 大灣東路大灣城隍廟對面，左側未農田無噴砂，右側廣布噴砂。	35
圖 2-2.25 東側另一處農田內噴砂仍大致維持噴砂口與噴砂範圍。	35
圖 2-2.26 該處噴砂口分布方向約為 N10E。	35
圖 2-3.1 新市區三民街沉陷範圍。	37
圖 2-3.2 沉陷範圍由堡圖可見過去為舊市街外圍，民眾陳述此範圍建物係由水田與魚塭 填土後興建。	37
圖 2-3.3 三民街與民族路交叉口附近，水泥地板沉陷與矮牆倒塌，水溝、圍牆與地板間 隙噴砂，推測為液化造成不等量沉陷。	38
圖 2-3.4 新市區三民街 50 巷 10 弄為此次調查中所見沉陷高低差最大區域。	38
圖 2-3.5 部分溝渠與住家可見噴砂現象，據居民表示，附近社區係由魚塭仔填平後所興 建。	38
圖 2-3.6 安南區惠安街與國安街建物沉陷範圍圖。	39
圖 2-3.7 由堡圖可見沉陷範圍過去為溪心寮庄的廣大魚塭群，為臺江內海的一部分，惠 安街範圍到 40 年前仍為魚塭地。	39
圖 2-3.8 安南區惠安街一帶民宅沉陷，水溝出現噴砂，圍牆破裂。	40
圖 2-3.9 安南區惠安街 161 巷民宅沉陷嚴重，落差約 1.5 公尺高，被列為紅單，民宅內 積水淤泥，建物周圍出現噴砂。	40
圖 2-3.10 安南區惠安街 161 巷一帶，柏油路因土壤液化而拱起破裂，路旁電桿傾斜，兩 旁民宅亦沉陷傾斜，周邊空地出現噴砂現象。	40
圖 2-3.11 民德路輕微下陷噴砂區，分布點位為建物與道路可見下陷位置，局部仍可見噴 砂現象，依據手持式 GPS 標定。	41
圖 2-3.12 民德路輕微下陷噴砂區，由堡圖可見下陷位置過去屬於舊臺南市北側外圍魚 塭。	41
圖 2-3.13 民德路 58 巷 30 弄，新鋪好之柏油路面仍持續輕微下陷。	42
圖 2-3.14 巷道內仍有持續的少量噴砂出現。	42
圖 2-3.15 房屋龜裂與內部修繕工程仍持續。	42

圖 2-3.16 同左，附近另一處巷道重新鋪好之柏油與水泥仍持續破裂。	42
圖 2-4.1 歸仁區文化街建物受損範圍。	44
圖 2-4.2 左圖：歸仁南保郵局騎樓及兩側民宅樑柱上方的拱形橫樑磁磚嚴重受損剝落。	
右圖：華廈民宅騎樓整排建物傾倒，樑柱磁磚嚴重剝落且鋼筋外露。	44
圖 2-4.3 左圖：民宅內牆壁樑柱龜裂破損嚴重，水泥塊掉落造成鋼筋、紅磚裸露。右圖：	
建物嚴重傾斜且牆壁受剪力破壞，造成鐵捲門、窗戶等變形破損。	45
圖 2-4.4 臺南市關廟區和平街主要破裂位置（粉紅色點，其間相近者以裂隙連接）。	45
圖 2-4.5 左圖：臺南市關廟區松腳里和平路與東興路交叉口，柏油路由東向西推擠隆起	
現象。右圖：巷道口水泥遭推擠破裂，並似具橫移（左移）分量。	46
圖 2-4.6 左圖：隆起現象向路口北側小巷內繼續延伸，循周遭建物結構弱面延伸。右圖：	
主要為東側抬昇往西推擠，巷道東側相對抬昇數公分。	46
圖 2-4.7 左圖：關廟區五甲國小內部結構因擠壓拱起。右圖：五甲國小內花臺因搖晃而	
分別向東西向傾倒，成功大學衣德成博士正進行破裂面量測記錄。	47
圖 2-4.8 左圖：關廟區旺萊路附近民宅內部因不等量沉陷而造成地板鼓起。右圖：民宅	
外部產生小規模噴砂現象。	47
圖 2-4.9 深坑三街建物受損及結構破壞範圍圖。	48
圖 2-4.10 深坑三街附近柏油路有多處破裂，左圖北偏東 20°，右圖北偏西 40°，呈現	
張裂而略為沉陷。	48
圖 2-4.11 沿著民宅牆角有一延伸的破裂，民宅也因不等量的陷落產生些微的變型。	49
圖 2-4.12 民宅圍牆破裂並略微向外傾斜。	49
圖 2-4.13 附近年久失修土角厝倒塌。	49
圖 2-4.14 歸仁區幸福大樓嚴重向北偏西傾斜，調查時正進行拆除。50 公尺內柏油路及	
民宅邊界均有裂縫與沉陷現象。	49
圖 2-4.15 臺南市關廟區西臺慈惠堂前殿倒塌，柱體傾倒方向約為南 30 度東。	50
圖 2-4.16 歸仁區旺林飯店，向南拍攝，可能因局部沉陷加上劇烈搖晃而傾斜。	50
圖 2-4.17 臺南市新化區京城銀行，地震後傾斜，不久即展開拆除，無法確認是否局部沉	

陷。	50
圖 2-4.18 媽廟橋（西）與保東橋（東）橋面下陷與平移，橋面下陷 10 公分，調查時裂隙較寬較深部分已鋪上柏油，伸縮縫間產生拉張，橋面相對於橋臺向北移動數公分	51
圖 3-1.1 2002–2015 年南部地區的水平速度場。綠色箭頭為 GPS 移動站，黃色箭頭為 GPS 連續站，紅色實線為活動斷層。底圖色階顯示水平速度之量值。	53
圖 3-1.2 2002-2015 年南部地區的水平應變場圖。黑色箭頭顯示地表為壓縮或是伸張變形模式，色階反映地表變形速率，暖色系為壓縮、冷色系為伸張。	54
圖 3-2.1 GPS 連續追蹤站外觀（左圖）及儀器箱置放儀器設備圖（右圖）。白色天線罩內為天線所在位置，隨時處於連續接收衛星訊號，資料即時透過網路傳至控制室處理與解算。	55
圖 3-2.2 GPS 追蹤站觀測到的水平位移量（單位：MM），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 KM，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。	56
圖 3-2.3 GPS 追蹤站觀測到的水平應變場，箭頭方向代表最大壓縮（紅色箭頭）或伸張（藍色箭頭）的方向與大小，左下方為其參考尺度，下方為應變量的參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 KM，黑色實線為活動斷層。	57
圖 3-2.4 GPS 追蹤站觀測到的垂直位移量（單位：MM），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，紅色為抬升、藍色為下陷，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10KM，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。	58
圖 3-3.1 本次地震後 GPS 移動站施測與檢測作業情形。右上圖為監測點地面鋼標頭、右下圖為衛星定位接收儀。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化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。	59

- 圖 3-3.2 水準測線分布圖，編號 29：善化-關廟測線、編號 30：安平-龍崎測線、編號 31：路竹-茂林測線、編號 33：岡山-安坡測線。..... 60
- 圖 3-3.3 本次地震後水準測量施測情形，觀測時以電子水準儀及錫鋼尺施測，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。..... 60
- 圖 3-3.4 GPS 移動站觀測到的水平位移量（單位：MM），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 KM，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。..... 61
- 圖 3-3.5 GPS 移動站觀測到的水平應變場，箭頭方向代表最大壓縮（紅色箭頭）或伸張（藍色箭頭）的方向與大小，左下方為其參考尺度，下方為應變量的參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 KM，黑色實線為活動斷層。..... 62
- 圖 3-3.6 GPS 移動站觀測到的垂直位移量（單位：MM），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，紅色為抬升、藍色為下陷，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 KM，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。63
- 圖 3-4.1 整合 GPS 連續站與移動站的水平位移量（單位：MM），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 KM，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。..... 64
- 圖 3-4.2 整合 GPS 連續站與移動站的地表水平應變場，箭頭方向代表最大壓縮（紅色箭頭）或伸張（藍色箭頭）的方向與大小，左下方為其參考尺度，下方為應變量的參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 KM，黑色實線為活動斷層。..... 65
- 圖 3-4.3 整合 GPS 連續站與移動站的垂直位移量（單位：MM），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，紅色為抬升、藍色為下陷，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例

尺，資料內插半徑為 10 KM，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。	66
圖 3-4.4 整合 GPS 連續站、移動站與水準測量的垂直位移量（單位：MM），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，紅色為抬升、藍色為下陷，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺。	67
圖 3-5.1 美濃地震同震地表視衛星方向變形場。	69
圖 3-6-1.1 ERS 衛星測得之地表視衛星方向變形速率場。	71
圖 3-6-1.2 ENVISAT 衛星測得之地表視衛星方向變形速率場。	72
圖 3-6-1.3 ALOS 衛星測得之地表視衛星方向變形速率場。	73
圖 3-6-2.1 龍船斷層北段地表變形速率剖面。	75
圖 3-6-2.2 龍船斷層中段地表變形速率剖面。	76
圖 3-6-2.3 龍船斷層南段地表變形剖面與中寮隧道內照片。	77
圖 4-1.1 2016/02/06 美濃地震震源機制解與井下應變儀測站位置圖。	80
圖 4-1.2 2015/02/06 美濃地震前 3 個月井下應變儀資料。淺藍色線為降雨與累積雨量；淺綠色為地下水水位資料；黑色與灰色分別為平面應變與剪切應變。	81
圖 4-2-1.1 既有觀測站的分佈位置。	82
圖 4-2-1.2 地球化學觀測站的地震反應區間示意圖，藍圈、灰圈和綠圈分別代表大平地測站、中崙測站和池上測站的可能地震反應區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點。	82
圖 4-2-2.1 新竹大平地土壤氣氫氣和二氧化碳成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、3.8 天和 14 天滾動平均值、標準化數值（1.5 個標準差來表示其異常門檻）與地震及時雨量之相關性。EQ（M _L ）：地震規模；M _I ：地震震度（2016/1/1-2016/2/14）。	85
圖 4-2-2.2 雲林古坑土壤氣氫氣成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、3.8 天和 14 天滾動平均值、標準化數值（1.5 個標準差來表示其異常門檻）與	

地震及雨量之相關性。EQ (M_L): 地震規模; M_I : 地震震度 (2016/1/1-2016/2/14)。.....	85
圖 4-2-2.3 屏東屏科大土壤氮氣和二氧化碳成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、3.8 天與 14 天滾動平均值、標準化數值 (2 個標準差來表示其異常門檻) 與地震及時雨量之相關性 (2016/1/1-2016/2/14)。.....	86
圖 4-2-2.4 臺東池上土壤氮氣成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、3.8 天與 14 天滾動平均值、標準化數值 (1.5 個標準差來表示其異常門檻) 與地震及時雨量之相關性。灰色陰影部分代表受降雨影響時段; EQ (M_L): 地震規模; M_I : 地震震度 (2016/1/1-2016/2/14)。.....	86
圖 4-2-2.5 嘉義中崙土壤氮氣和二氧化碳成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、3.8 天與 14 天滾動平均值、標準化數值 (1.5 個標準差來表示其異常門檻) 與地震及時雨量之相關性。灰色陰影部分代表受降雨影響時段; EQ (M_L): 地震規模; M_I : 地震震度 (2016/1/1-2016/2/14)。.....	87
圖 4-2-2.6 新竹地區新樂和大坪觀測井水壓與降雨、大氣壓力及地震之對比圖 (2016/1/14-2016/2/14)。灰線代表原始資料; 黑線為去除氣壓效應之結果。.....	87
圖 4-2-2.7 嘉義地區太興和達邦觀測井水壓與降雨、大氣壓力及地震之對比圖 (2016/1/14-2016/2/14)。灰線代表原始資料; 黑線為去除氣壓效應之結果。.....	88
圖 4-2-2.8 社頂站地下水水氬濃度變化, (A) 甲仙地震之地下水水氬濃度異常下降之前兆變化; (B) 美濃地震之地下水水氬濃度異常下降之前兆變化。.....	89
圖 4-2-2.9 地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖, 圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍 (綠圈: 古坑測站; 紅圈: 屏東測站; 藍圈: 中崙測站), 其交集處代表地震可能發生的地點。黃色星號代表 206 高雄美濃瑞穗的震央位置。.....	90

表目錄

表 3.1 GPS 連續追蹤站同震位移資料表.....	97
表 3.2 GPS 移動站同震位移資料表.....	101

引言

根據中央氣象局之測報，民國 105 年 2 月 6 日早上 3 時 57 分 27 秒臺灣南部發生芮氏規模 6.6 的地震，震央在屏東縣政府北偏東方約 27.1 公里，即位在高雄市美濃區中，震源深度 14.6 公里，由於本次地震位於高雄市美濃區，因此一般媒體都將此次地震稱為高雄美濃地震或 0206 美濃地震，本報告循例以地震發生時間加上地名作為地震的名稱，因此以「20160206 美濃地震」作為本次地震之稱呼，並簡稱為 0206 地震以便描述。這是臺灣本島地區在 1999 年 921 地震以來，傷亡最嚴重的地震；也是高雄區域自 2010 甲仙地震以來，該區域再次發生規模 6 以上之災害性地震。在本次地震，嘉義、臺南及高雄地區的震度大多超過 5 級，臺南新化測站更高達 7 級，在加上既有建築物之結構問題，因此造成許多建物的破壞，進而產生重大傷亡，根據行政院災害防救委員會發布的消息，截至 2 月 19 日早上 9 時止，共造成 117 人死亡，逾 550 人受傷，由於震撼力強大，亦造成一些地區的土壤液化現象，以及部分道路和橋樑的破壞。

此次地震由於主、餘震分布可分為兩個主要區域且地表變形之行為複雜等因素，因而對於本次地震是由單一次主震或短時間內兩次主震引致之看法分歧。同時，亦因本次地震與 20100304 甲仙地震位置、深度與規模均相近，因此甚受國內地球科學界重視，更引發學界廣泛探討。依照目前中央氣象局之地震資料，此次地震乃是一條位於深部呈現近東西走向、向南逆衝的盲斷層所引起，經該區域之活動斷層調查及區域地質構造的比對，結果顯示本次地震為深部構造所引致，於地表並無斷層位置錯移跡象，非已知活動斷層所致。

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，參與的同仁有張邠生（組長）、盧詩丁（科長）、賴慈華（科長）、陳建良（科長）、劉彥求、陳致言、陳柏村、陳盈璇、林依蓉、許晉璋、梁勝雄、莊釗鳴、吳惠姝、黃志遠、鄭智仁、張國峯、呂貞怡、黃意茹、王金安、范力仁、潘乙喬。

本次地表地質調查重點主要在臺南市關廟區、歸仁區、新市區、新化區、安南區、善化區、永康區、仁德區、東區；高雄市內門區、旗山區、田寮區、燕巢區、大社區、仁武區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土壤液化現象。此外，也在地震後緊急進行南部地區大範圍的 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 固定站、地球化學、井下應變儀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、井下應變儀及地球化學觀測資料分析與結論與建議等內容加以描述。

(盧詩丁、陳柏村)

誌謝

本報告為中央地質調查所於 20160206 美濃地震後，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：張中白教授、衣德成先生、顏一勤理事長、鐘令和博士後研究員。

地變動觀測分析：胡植慶教授、景國恩教授、饒瑞鈞教授、黃鐘博士、中央研究院地球科學所、中央氣象局地震測報中心、中興測量公司、。

地震觀測資料：中央氣象局地震測報中心、科技部臺灣地震科學中心、國家災害科技防救中心。

地球化學觀測：傅慶洲博士。

井下應變儀觀測：胡植慶教授。

GPS 同震測量：中興測量公司、內政部國土測繪中心、國立成功大學。

壹、區域概況

1-1 地質背景

1-1-1 區域地質

臺灣位於歐亞板塊和菲律賓海板塊的斜向聚合處，臺灣南部為歐亞大陸板塊向東隱沒至菲律賓海板塊之下的呂宋隱沒系統一部分，東北部為菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊下的琉球隱沒系統（圖 1-1）。整個板塊碰撞的歷程由北而南進行，臺灣南部位於碰撞造山轉至以隱沒作用為主的構造環境之過渡帶。臺灣造山帶的地殼縮短率高達每年 8 公分，有一半為西南部地區所貢獻，其地殼縮短率高達每年 4 公分（Yu and Chen,1994;Yu et al.,1997; Yu et al.,1999），為臺灣目前最為活躍的造山帶。

依何春蓀（1986）之分類，此次地震影響範圍主要位於西部濱海平原（第四紀沖積層，II）、西部麓山帶（新第三紀碎屑岩，III）及脊樑山脈帶（第三紀亞變質岩，IVb）等 3 個地質分區中；地質年代則是由西向東從全新世、更新世、上新世、中新世與漸新世晚期；變形與變質程度同樣是由西而東，從未變質與輕微變形一直到強烈變形與低度變質；地形上由西而東漸次上升，從略高於海平面的平原向東上升到丘陵地，再到海拔 1000 公尺以上的高山。此 3 個地質分區分別簡述如下：

西部濱海平原是臺灣最西邊地質分區，地勢平坦，表層為沖積層，主要由鬆散未膠結的泥沙與礫石所組成，東側靠近西部麓山帶地質區為臺地堆積層，沉積物來為主要為河川上游之西部麓山帶與中央山脈岩層。地表的第四紀和其下的第三紀的沉積層未變質，也無強烈的構造變形，只有寬緩的褶皺起伏或傾側和部分正斷層的存在。

西部麓山帶分布於中央山脈西側與濱海平原之間，地形上為海拔高度在 1000 公尺以下的丘陵，岩性主要為砂岩、泥岩、砂頁岩互層和部分礫岩層，主要分布中新世、上新世和第四紀地層。本地質區內岩層於上新世晚期以來經造山運動，造成一連串緊密排列的向斜和背斜構造及逆衝斷層，且許多褶皺軸面是向東南急傾的不對稱褶皺。本地質區的斷層大部分屬於低角度的逆斷層，這些斷層大多由東往西方向遷移，造成顯著的覆瓦狀斷層系統。

脊樑山脈帶屬於中央山脈西翼地質區的東側亞區，地形上為海拔高度數百公尺到將近 1000 公尺以上的山地，岩性以板岩、千枚岩及部分變質砂岩為主。在台灣中北部脊

樑山脈帶與西側的雪山山脈亞區以梨山構造線分隔；而在臺灣西南部，脊樑山脈帶與西部麓山帶以潮州斷層為界。

過去本區域於 2010 年曾發生芮氏規模 6.4 之強震 (0304 地震)，當時調查結果顯示 0304 地震的地震構造在深部的錯移並未直接延伸至地表，在美濃附近地區觀察到地表的破裂與變形等現象，大多與地震當時路面、房屋或水溝等人造結構物受到震波搖動所產生的破裂有關，並未有直接證據顯示係斷層錯動地表所致。綜合相關資料研判 0304 地震的發震構造係一個深度超過 10 公里，呈西北—東南走向，向東北方傾斜的逆衝帶左移性質的盲斷層，與鄰近區域已知的旗山斷層、潮州斷層等地表淺部之活動斷層無關；此深部的發震構造推測屬於左鎮至六龜附近之深部構造轉換帶的一部分。

1-1-2 活動斷層分布

在 0206 地震與活動斷層的空間關係方面，由於此次地震主震之震央位置位於靠近旗山斷層向北之延伸，以及左鎮斷層向東之延伸區域，餘震的震央則主要集中於主震附近與臺南盆地之兩個區域，因此地震發生時，有相當多調查與致震原因推測可能與旗山斷層或左鎮斷層有關。然而，在地震發生後幾天內，隨著餘震的發生頻率下降，主餘震的走向與分布資料顯示，可能為一過去未曾報導之深部發震構造；近地表的主要隆昇變形規模不大，範圍位於新化斷層、後甲里斷層、左鎮斷層與旗山斷層間之地區。另外，此次土壤液化現象以臺南縣新化鎮北勢里附近最為密集，其位置與現象與 1946 年新化地震及 2010 年 0304 地震時相當類似。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。

旗山斷層：

旗山斷層，為逆移斷層，呈北東走向，由高雄縣旗山鎮附近向南延伸至高雄縣仁武附近，長約 30 公里 (吉田要, 1932; 鳥居敬造, 1933; 耿文溥, 1967; TsanandKeng, 1968)。旗山斷層是由一個主斷層以及多個分支斷層組成的斷層變形帶，變形帶寬度約 40-400 公尺之間，主斷層的變形帶寬度為 9-30 公尺。旗山斷層主斷面擦痕及斷層帶中破裂面上的擦痕，均反應斷層的運動形式為逆滑兼具左滑性質。旗山斷層近期的大地測量結果，仍有明顯的壓縮量，顯現逆移斷層的特性。旗山斷層截切全新世的砂礫石層，為第一類活動斷層。旗山斷層在此次地震中被懷疑可能為致震之構造，但是，本次地震旗山

斷層沿線並未發現地表破裂現象，大地變形情況、地震之震源機制與震源深度均與旗山斷層無法比對，可確認本次地震非旗山斷層引起。

左鎮斷層：

左鎮斷層，為左移斷層，約呈西北走向，由臺南縣山上鄉新庄附近至南化鄉心仔寮附近，長約 10 公里 (Wang, 1976；中國石油公司，1989；張徽正等，1998；林啟文等，2000)。最早由衛星影像辨認出線形，經野外調查發現沿斷層線形位置有小型斷層泥帶，並常群聚拼合成一寬約數公尺至十數公尺的斷層泥帶，但僅局限於斷層西段。左鎮斷層之活動時代在六雙層沉積後，約更新世晚期，為第二類活動斷層。本次地震斷層沿線並未發現地表破裂現象，地震之震源機制與震源深度亦與左鎮斷層不符，地震時之地表變形特性亦無法與左鎮斷層關聯，因此，確認本次地震非左鎮斷層引起。

新化斷層：

新化斷層，為右移兼具逆移運動之斷層，呈東北東走向，由臺南縣新化鎮那拔里向西延伸至北勢里，長度約 6 公里。1946 年 12 月 5 日芮氏規模 6.3 的地震，為新化斷層的再活動所造成 (張麗旭等，1947)，列為第一類活動斷層。新化斷層沿線的線形與 1946 年大地震後調查的斷層位置相吻合；沿線地形特徵也指示過去已活動過多次；由鑽井岩芯中觀察到的剪切葉理與岩芯對比，研判斷層的傾角相當陡；由畜產試驗所地面裂隙的分析結果，研判斷層近期的活動以潛移作用為主。新化斷層有多次古地震事件，除最近的 1946 年地震之外，前一次約發生於 1,200 年前至 1,900 年前之間，而在 1,900 年前至 10,000 年前之間至少有另 1 次古地震事件，保守估計在 10,000 年內至少有 3 次古地震事件。由 1999~2006 年間橫跨新化斷層的速度場變化顯示，主要位移方向平行斷層的走向，顯示斷層的運動以右移形式為主。此次地震在新化北勢里、太平里、山腳里等地發生土壤液化噴砂現象，這些地點大多位在 1946 年新化斷層活動所造成的噴砂位置附近，亦位於 2010 年甲仙地震時噴砂位置附近，但本次地震噴砂之範圍較 2010 年之調查資料更廣，分布亦更向西，沿鹽水溪靠近至中山高一帶。而新化斷層沿線除少數結構接縫處之開裂，與土體崩滑現象外，並無任何斷層活動相關現象，然而前述的噴砂現象應為這些地區之地層特性具備液化潛勢，加上此次地震在此處之地表加速度足以引發液化，因而造成這些地點之液化。但，本次地震大地變形情況、地震之震源機制與深度均與新化斷層不符，因此亦排除新化斷層活動致使本次地震。

後甲里斷層：

為傾角向西傾斜之逆移斷層，約呈南北走向，由臺南縣永康向南延伸至虎山，長約 12 公里，為第二類活動斷層。藉由鑽井資料，可確定後甲里斷層確實存在；配合地球物理探勘結果，與井下岩芯剪切變形帶的深度分佈，可確定後甲里斷層為一向西傾斜的逆移斷層；斷層並未截穿至地表，屬於盲斷層的形式。本次地震斷層沿線並未發現地表破裂現象，變形情況亦與後甲里斷層運動形式不符，地震之震源機制與深度亦與後甲里斷層不符，亦與本次地震無關。

1-2 地震活動

我國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。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。

由地震觀測資料顯示，在 2010 年 0304 地震以前，臺灣南部高雄一帶相較於其他區域，為地震活動較不頻繁的區域（圖 1-2，圖 1-3）。依據氣象局資料，0206 地震發生於 105 年 2 月 6 日上午 3 點 57 分 26.1 秒，芮氏地震規模為 6.6，全島均有感受到本次地震之搖晃，震度以臺南新化地震站高達 7 級最高，除此之外，雲林、高雄、屏東、嘉義縣、市地區多處震度達 5 級以上。0206 地震震央在屏東縣政府北偏東 27.1 公里的高雄市美濃區之中，地震深度為 14.6 公里，震央位置為北緯 22.92 度，東經 120.54 度。主震後至 2 月 29 日為止，累計有感餘震次數為 23 次，其中包括顯著有感地震 5 次。依據氣象局資料，本次地震事件後續相關餘震活動主要分布於臺南新市、新化、關廟、歸仁、仁德等地區，且地震震源深度較主震為深（平均為 25 公里），根據震源機制解與餘震活動等資訊研判，應與主震破裂方向性有關（圖 1-4）。此次地震造成 117 人死亡、551 人受傷，死傷人數中有 9 成以上為臺南維冠金龍大樓倒塌的受難者，並造成臺灣有史以來最多人因單一建築物倒塌而罹難。農業損失超過 1.7 億元，全國 455 所學校受災，災損金額估算已達 2.09 億元。氣象局於震後 1 個月（105 年 3 月 6 日）經人工重新處理資料後修正報告內容，與最初氣象局速報系統公布的地震報告內容略有不同，本報告係依該修正後報告之相關資料撰擬。

在震源機制方面（圖 1-5~圖 1-7），依據氣象局寬頻 CMT 資料、美國地質調查局（USGS）、中研院地球科學所（RMT, BATS）資料，均顯示本次地震深度達 10 公里以上，震源機制有兩個解釋之斷層面，分別為東西走向，向北傾斜的中、低角度與近南北走向，向西高角度傾斜之解釋斷層面，由主、餘震及震度、災情之分布，一般認為本次地震為東西走向，向北傾斜的中、低角度之解釋斷層面較為合理。

1-3 小結

- （一） 透過主震與餘震震央位置分布、震源深度，以及鄰近地區之活動斷層特性後研判，此次地震之發震構造與地表淺部的旗山斷層、左鎮斷層、新化斷層及後甲里斷層無關。
- （二） 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超過 10 公里，呈近東西走向，向北傾斜約的深部發震構造所致。

（陳柏村、盧詩丁）

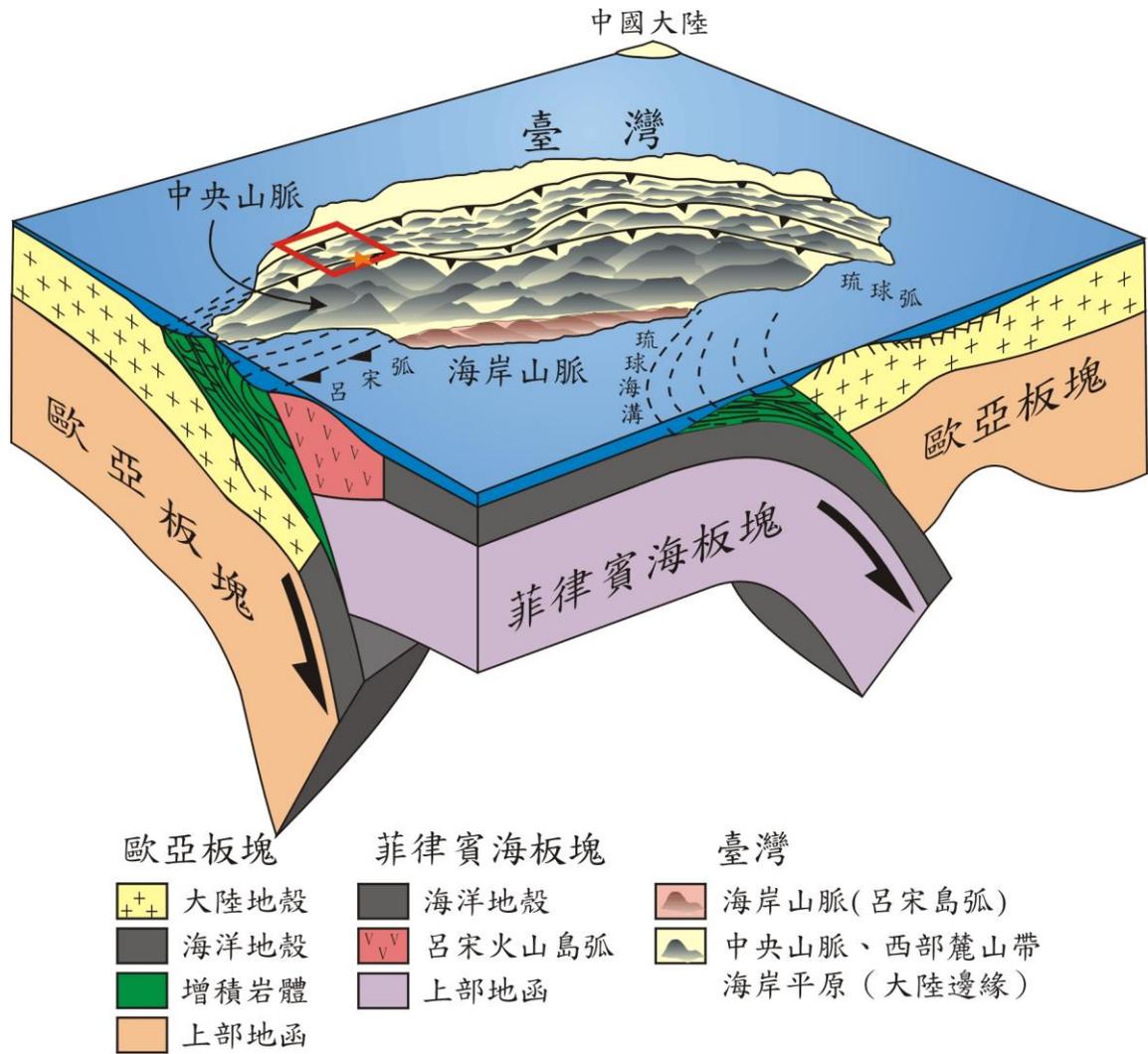


圖 1-1 臺灣之地體構造圖 (修改自 Angelier, 1986)，紅色框為本報告所述之調查位置。

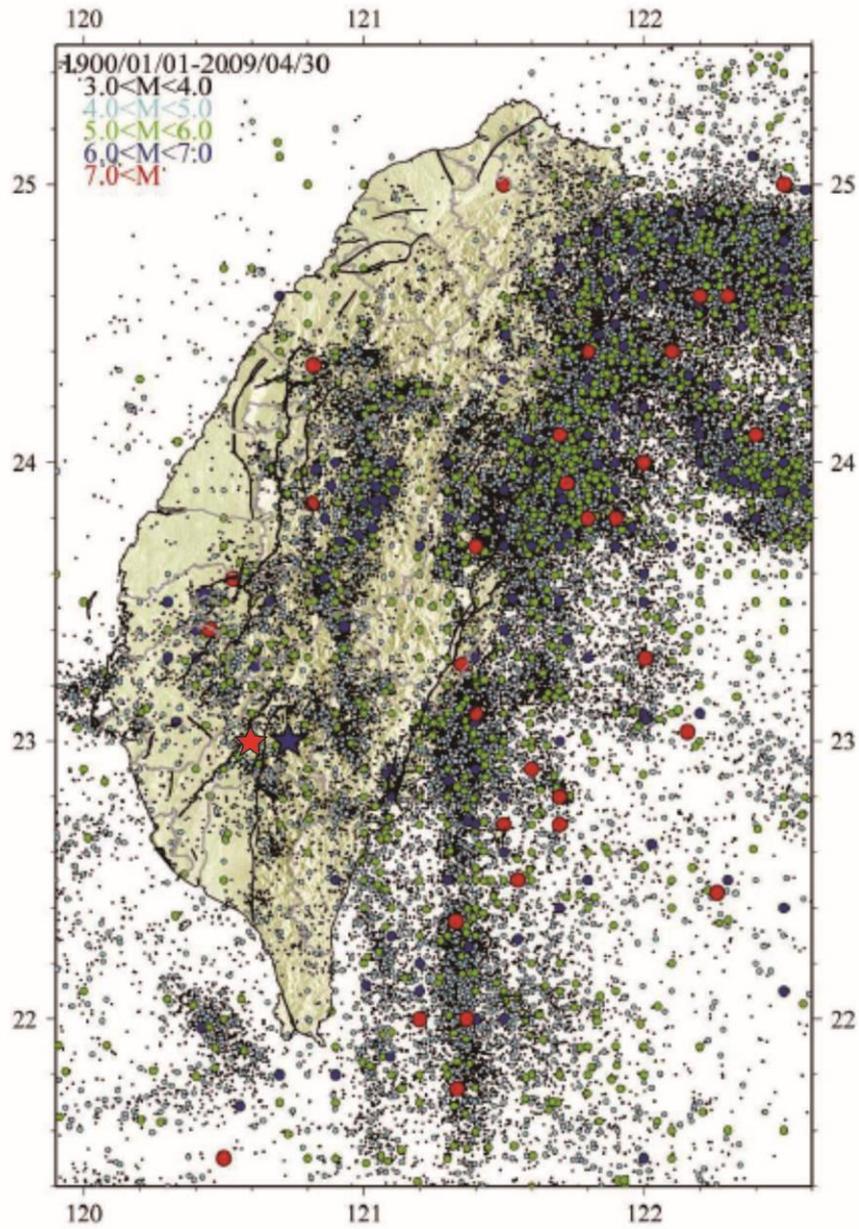


圖 1-2 臺灣地區 1900-2009 年之地震分布圖，藍色星號為 2010 年 0304 地震震央位置，紅色星號為 2016 年 0206 地震。（修改自林哲民等，2010）

地震活動背景

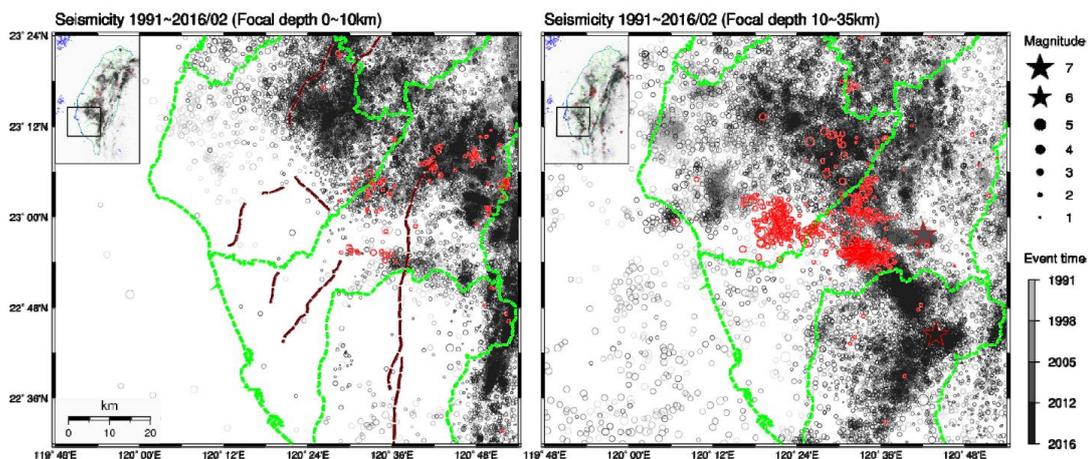


圖 1-3 本區域 1991-2016 年 2 月之地震分布圖，左圖為震源深度小於 10 公里，右圖為 10~35 公里者，紅色圈號為本次地震之主、餘震分布。（摘自張建興等，2016）

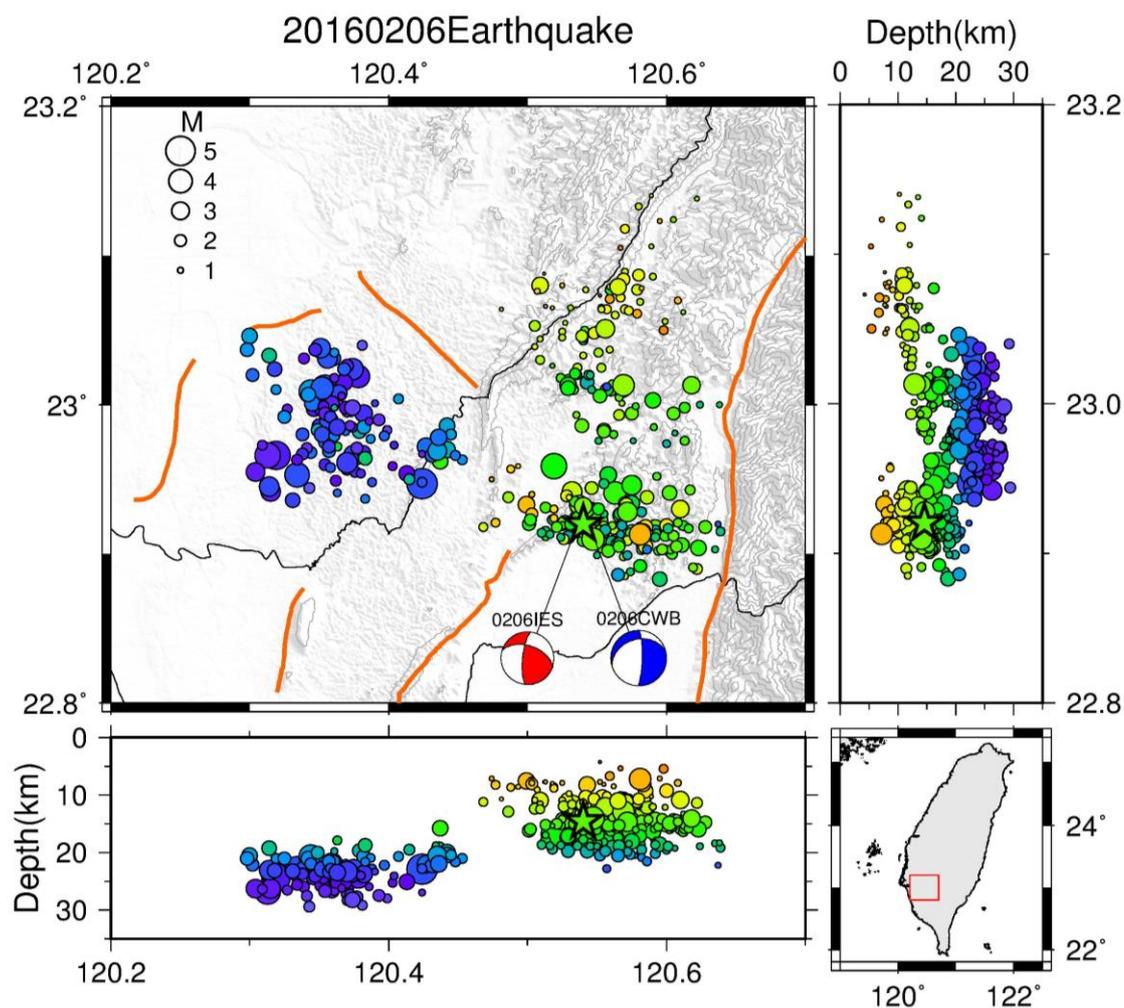


圖 1-4 0206 地震主震（星號）與餘震分布，下幅為東西向，右幅為南北向之地震深度投影剖面。（地震資料由中央氣象局提供）

貳、地表地質調查

2016年2月6日凌晨3時57分，規模6.6的地震震撼全臺，南臺灣居民更是多數直接驚醒，地震劇烈搖晃時間長達半分鐘以上，程度比起921地震在南部的影響更大，本所同仁立即開始蒐集地震情報與災情，以利後續調查安排。

此次地震調查在地震剛發生後與震後之一個月內，調查之目的有所不同，地震發生初期之調查之主要目標為「確認震央周遭活動斷層是否發生同震變形，是否為此次地震之發震構造？」，震後則依「鄰近新化斷層之結構破壞與所有噴砂現象」、「土壤液化所導致的結構物破壞與沉陷範圍」，「群聚性的人工結構物破壞或倒塌範圍」等項進行調查，詳細內容請見本章節後續說明，分布圖如圖2.1。

此外，零星之結構物破壞如新化京城銀行大樓、歸仁區幸福大樓傾倒、媽廟橋、保東橋與高雄市內門區東勢埔橋橋臺下陷等非與上述4類相關之建物破壞另分述於一節。歸仁旺林大樓與幸福大樓傾斜則為地震強烈搖晃所致。

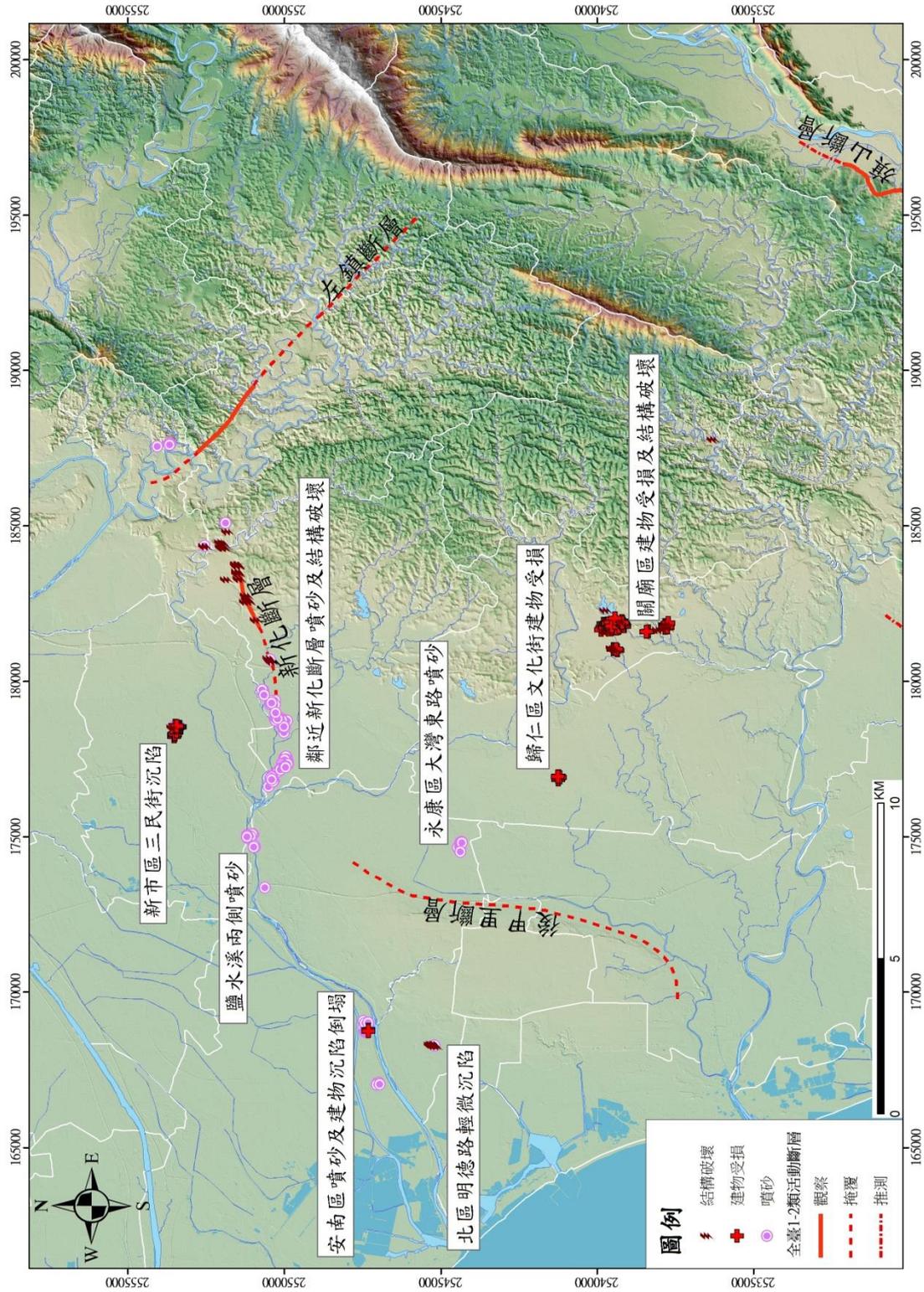


圖 2.1 調查區域總圖與其性質簡述。

2-1 震央周遭活動斷層是否發生同震變形調查

0206 地震發生後，由於主震與餘震鄰近西南部數條活動斷層位置相近，且震度達到 6 以上，有產生結構破壞的可能性，隨即有媒體報導有可能為旗山斷層、左鎮斷層、新化斷層、後甲里斷層活動所致等推測。另外，由於臺南市大內區南寶高爾夫球場與關廟區南一高爾夫球場之球道發生明顯的大裂痕，第一時間也有媒體報導認為是六甲斷層或未知名斷層活動所產生結構破壞。因此 0206 美濃地震調查首先就由斷層與疑似斷層活動現象調查，以確認是否真為上述斷層活動所致。

旗山斷層調查主要沿中寮山西側的斷層跡進行（

圖 2-1.1），由北而南分別經過高雄市旗山區、田寮區，沿途僅見零星之駁坎砌石滾落（圖 2-1.2）或擋土牆舊有裂隙擴大（圖 2-1.3），旗山斷層帶通過的中寮隧道北口（圖 2-1.4）所裝置之應變監測儀器，乃至田寮三號橋等均未發現有應變，或與旗山斷層變形特徵相符之受損狀況（圖 2-1.5）。

左鎮斷層調查主要沿石子崎、左鎮至睦光之間的斷層帶進行（圖 2-1.6），斷層帶上無新生破裂與位移等地表破裂現象，斷層帶附近橋樑、擋土牆等結構物也未發現有受損狀況（圖 2-1.7）。

後甲里斷層調查主要沿臺南臺地東緣的地形崖，由北而南分別經過臺南市永康區、東區及仁德區至奇美博物館為止（圖 2-1.8），沿途均未發現有地表破裂或隆起現象，仁德區附近建築物也未發現有受損狀況（圖 2-1.9~圖 2-1.11）。

調查結果顯示上述斷層均無活動跡象，斷層帶所經道路、橋梁、隧道、擋土牆與相關可資確認相對位移地物地標無破壞與相對位移跡象，更無連續而與上述斷層帶位置相關的破裂產生。

新化斷層沿線附近有噴砂與結構物破損情形，但成因亦與斷層活動無關，另詳述下一節。而南寶高爾夫球場（圖 2-1.12）之球道大裂痕乍看之下與斷層活動造成的結構破壞相似，地表落差最大達 2.5 公尺，長近百公尺，但觀察之後可發現這些裂痕是因為球場西側鄰近六雙溪，球道鬆軟的土壤或風化的岩體受地震搖晃之後，支撐力無法承受而導致局部向西側滑向六雙溪（圖 2-1.13）。而南一高爾夫球場（圖 2-1.14）狀況亦類似，而其變形現象更僅限於水池旁邊球道、道路與建物破壞約數十公尺內（

圖 2-1.15）。這些球場地表的裂痕僅限於一處，均未延伸與任何地質構造連接，因此也非斷層等地質構造活動所導致。

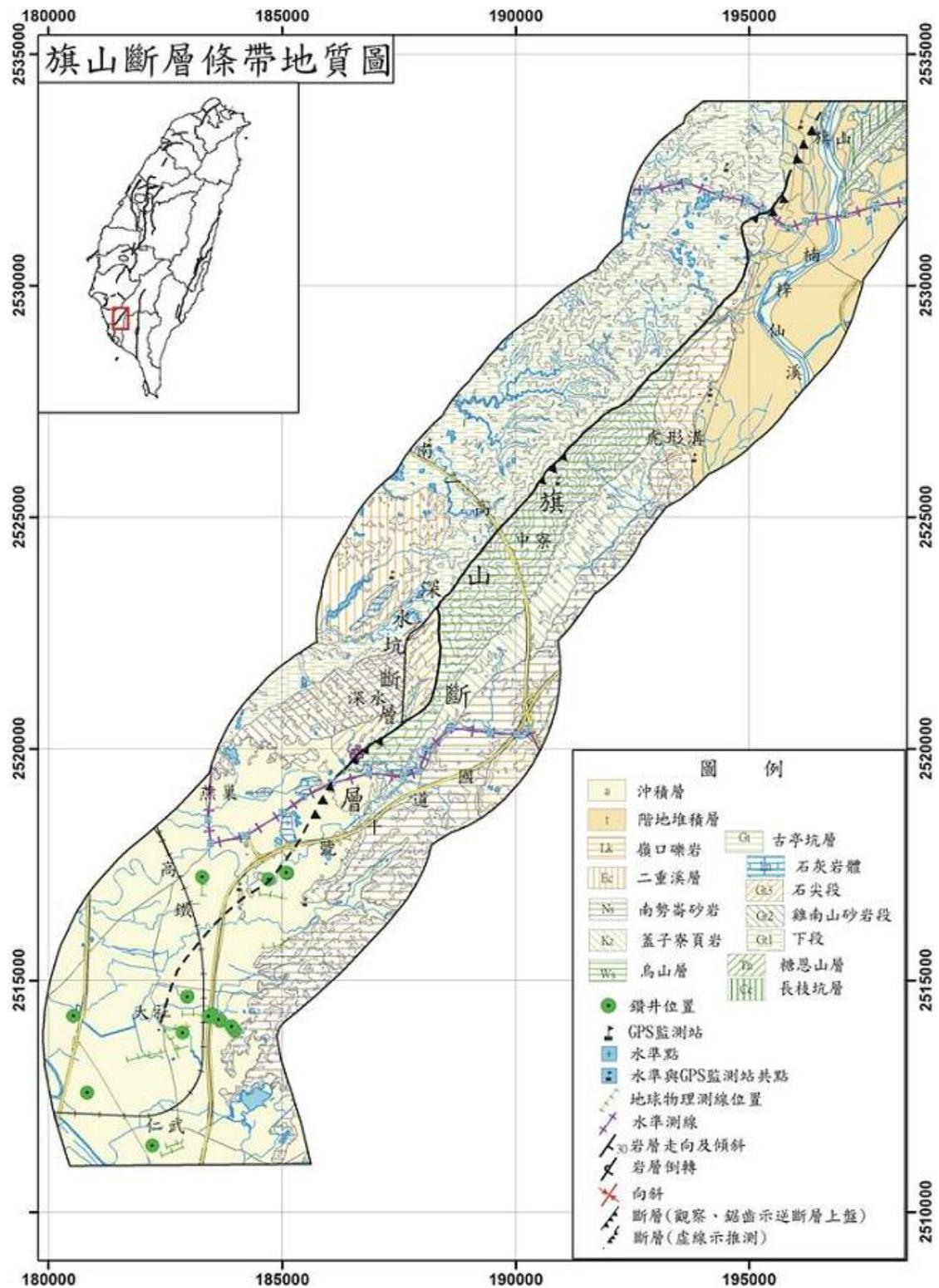


圖 2-1.1 旗山斷層條帶地質圖：主要沿旗山區中寮社區中寮一、二路，以及國道三號中寮隧道北口進行調查。



圖 2-1.2 旗山斷層沿線調查情形 1：旗山區中寮社區崑山宮附近駁坎受強烈地表加速度影響，導致延舊有裂隙崩落損壞。但道路與周邊區域無明確斷層活動地表導致之地表破裂現象，向東拍攝。

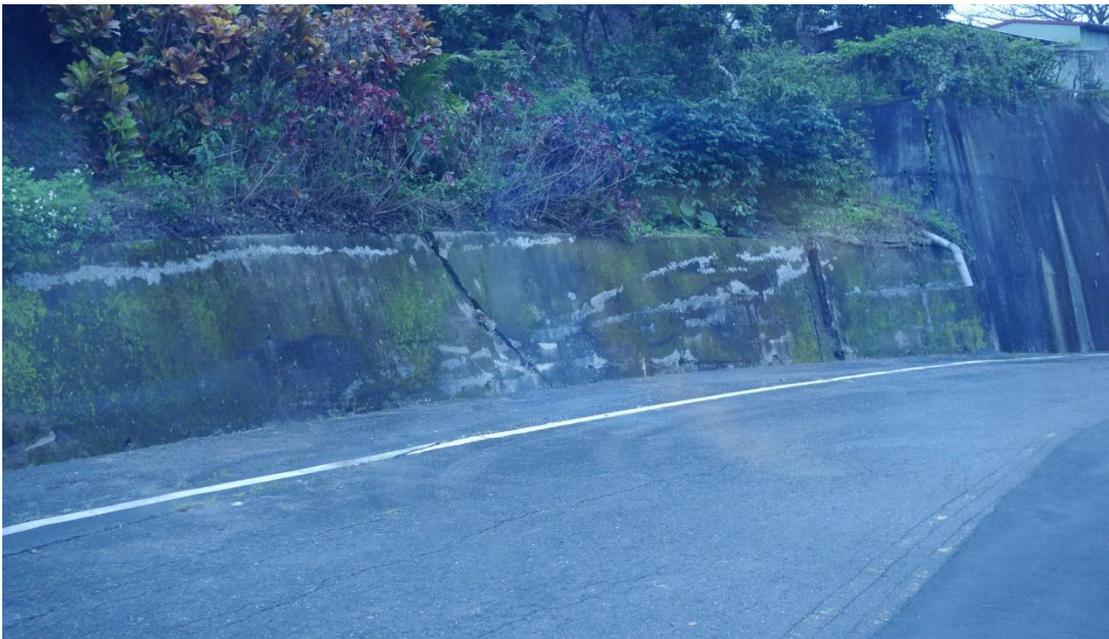


圖 2-1.3 旗山斷層沿線調查情形 2：旗山區中寮二路上擋土牆延舊有裂隙擴大外移。但道路與周邊區域仍無明確斷層活動地表導致之地表破裂現象，向東南拍攝。



圖 2-1.4 旗山斷層沿線調查情形 3：中寮隧道北口位於旗山斷層帶，斷層潛移導致隧道襯壁受損，路面持續隆起，0206 地震若為旗山斷層引發，應可見到斷層活動導致之相關破裂與變形現象。



中寮隧道北口，南下車道，旗山斷層帶內襯壁無明顯異變與新生破損，道路與行車狀況亦未受影響。



中寮隧道北口，北上車道，旗山斷層帶內襯壁無明顯異變與新生破損，道路與行車狀況亦未受影響。



中寮隧道北口，南下車道，旗山斷層帶內襯壁無明顯異變（衣德成博士攝）。



中寮隧道北口，南下車道內應變計 SW15-1，無同震之變化，裂隙亦無擴大情形（衣德成博士攝）。



田寮三號橋，南下車道橋臺，過去變形位置並未於此次地震中擴大。



田寮三號橋，南下車道下方，此裂隙似於此次地震中擴大。

圖 2-1.5 旗山斷層沿線調查情形 4: 中寮隧道外觀與內部細查情形以及田寮三號橋橋臺。

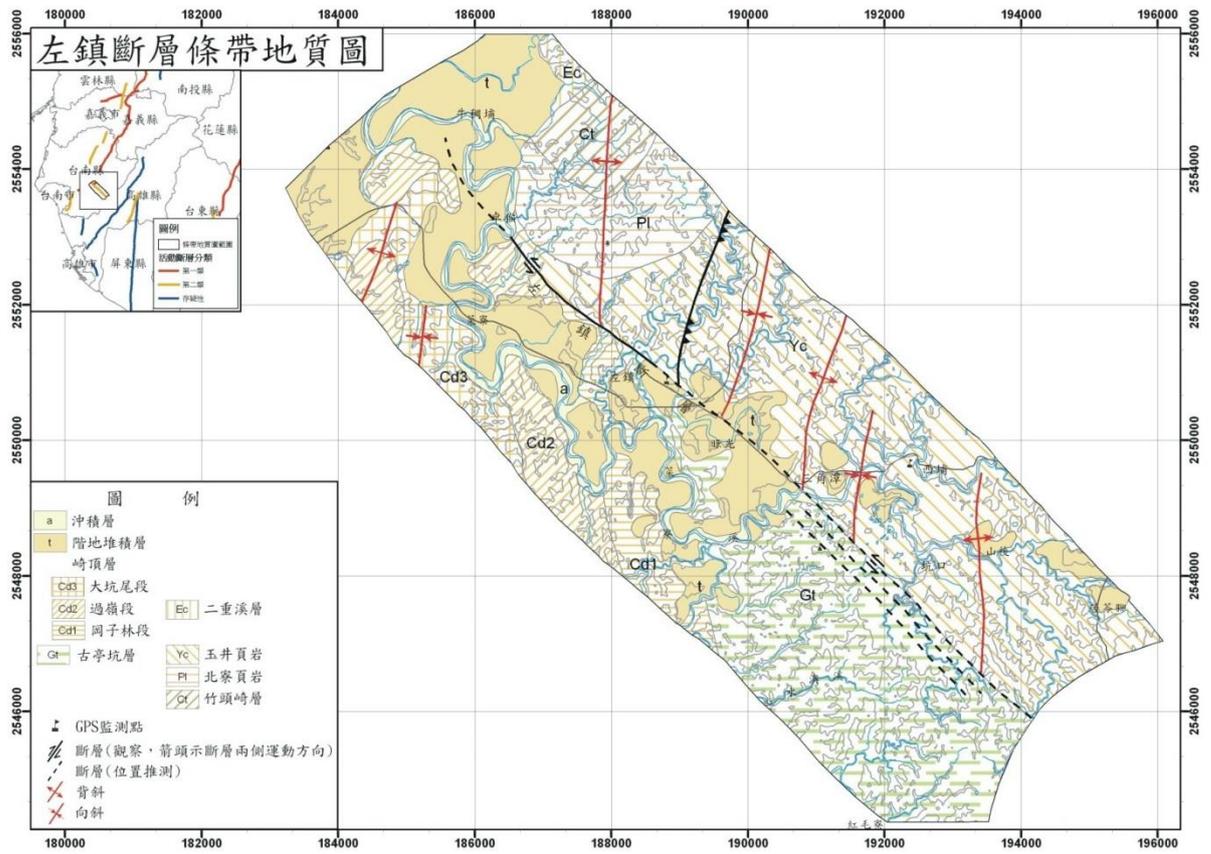


圖 2-1.6 左鎮斷層區域：進行卓猴至三角潭之間左鎮斷層沿線之公路橋梁進行調查。



圖 2-1.7 左鎮斷層附近之公路與橋梁均未見到任何變形與錯動現象，左下照片之擋土牆上方為左鎮斷層帶露頭，擋土牆無任何損壞或變形現象；左鎮郵局前有一橋梁進行改建，但為已進行中之工程，與 0206 地震無關。

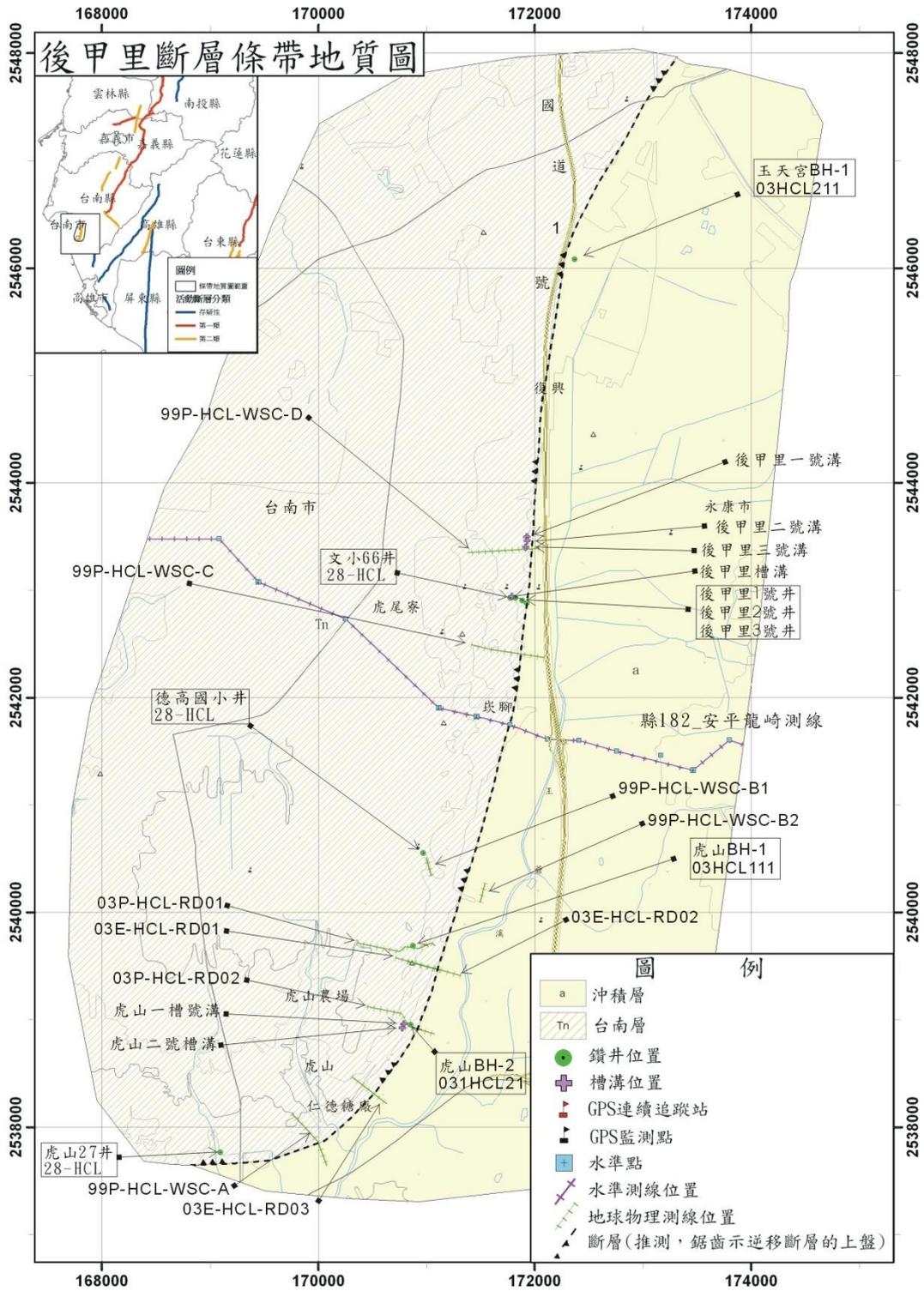


圖 2-1.8 後甲里斷層條帶地質圖，調查主要沿臺南臺地東緣的地形崖，由北而南分別經過臺南市永康區、東區及仁德區至奇美博物館為止。



圖 2-1.9 臺南永康區復華里東側地形崖坡未發現建物及水泥路面有破裂現象。



圖 2-1.10 臺南仁德區德高國小附近地形崖坡未發現建物及水泥路面有破裂現象



圖 2-1.11 臺南仁德區虎子山東側及虎山都會公園附近均未發現有新破裂或隆起現象



圖 2-1.12 臺南市大內區南寶球場 B 區沉陷範圍（黃色框線周邊）。球場位於砂泥岩互層，風化的六雙層之上，向西呈圓弧形破壞滑向六雙溪畔。



圖 2-1.13 南寶球場 B 區圓弧形破壞範圍之變形現象。



圖 2-1.14 南一球場調查位置圖：紅色虛線為主要下陷變形區域。





圖 2-1.15 南一球場所見變形現象：主要為土體受側向加速度影響向噴水池陷落，造成一系列環繞噴水池之地表開裂。

2-2 新化斷層周邊噴砂與結構破壞調查報告

本地區之調查位置如圖所示，調查結果顯示，此區域的地震災情現象主要可分為「噴砂」與「結構破壞」二類。「噴砂」之主要成因與地下水、土壤液化有關，由於其空間分布具有群聚性，主要發生於新化斷層沿線與新化斷層向西延伸之位置，且發生位置與1946年新化地震時新化斷層沿線噴砂現象具高度重複性（圖 2-2.1），顯示此地區的土層在強震時容易發生土壤液化現象；「結構破壞」之成因主要與斜坡運動有關，包括坡地的淺層滑動與受滑動體擠壓形成之開裂破壞，此類型災害無特定空間分布關係，但發生位置均位於斜坡側或周圍，非斷層錯移所導致之破裂。各主要受災處位置如圖 2-2.2，受災處現象詳述如下：

臺南永康三民里：臺南市永康區三民里鹽水溪南岸東邊寮的高壓電塔旁（圖 2-2.3）及鄰近的玉米田中（圖 2-2.4）可發現裂隙噴砂現象，裂隙方向約呈 $N80^{\circ}E$ 線形排列，在鹽水溪北岸北邊寮的農田中則可觀察到地表破裂及噴砂現象（圖 2-2.5），約呈 $N70^{\circ}E$

至 E-W 走向，裂隙約 10~20cm 寬（圖 2-2.6），開口上寬下窄，深度約 60cm，沿裂隙兩側位移不明顯亦無剪切現象，北側較南側高約 10cm（圖 2-2.7），由於裂隙南側 100 公尺處即為鹽水溪（圖 2-2.8），且裂隙方向與河道平行，研判農田受震動影響而產生邊坡滑動，非為斷層作用所造成。此區在 1946 年新化地震之調查記錄中未曾記載此處有噴砂或地裂現象。

臺南新化北勢里：本次地震在臺南市新化區北勢里一帶有群聚性的噴砂現象（圖 2-2.9），經調查發現，噴砂錐總計在 80 處以上，大約分布於 250 平方公尺的範圍內，噴砂錐約呈 N70~80°E 線形排列（圖 2-2.10），噴砂作用以孔隙噴砂為主（圖 2-2.11），少數為裂隙噴發（圖 2-2.12），噴砂處北側約 150~500 公尺處有無名溪通過，因而研判此處的噴砂現象與較高的地下水位有關。此處噴砂位置與 1946 年新化地震時，新化斷層沿線噴砂位置相近（圖 2-2.2B），在 2010 年甲仙地震時，此處亦曾發生噴砂現象，北勢里噴砂位置約在新化斷層向西延伸 1~2 公里處。

臺南新化太平里：本次地震在臺南市新化區太平里烏鬼厝一帶有群聚性的噴砂現象（圖 2-2.13），噴砂錐約呈 N70~80°E 線形排列（圖 2-2.14），噴砂範圍在新化斷層南、北兩側各約 250 公尺，噴砂位置在 1946 年新化地震及 2010 年甲仙地震時均曾發生過噴砂現象（圖 2-2.2B）。

臺南市新化區新化斷層沿線：新化斷層沿線之深坑橋（圖 2-2.15）及中央橋（圖 2-2.16），橋面有約呈 N80°E 走向之破裂，初步評估應為橋面受地震影響沿弱面所形成的破裂。畜試所無明顯地裂，東側之農改場則有發現地裂（圖 2-2.17）及邊坡滑動（圖 2-2.18）等現象。

臺南市新化區新化斷層東側延伸之地表破裂：此次地震在臺南市新化區那拔里太極殿東邊農舍農田中可發現約呈 N80°E 走向之地表破裂現象（圖 2-2.19），寬度約 25cm，南側較北側高約 20~30cm，雁形排列現象明顯（圖 2-2.20），雁形約呈 N30°E 方向，另在農田接近柏油路之處有另一組 N25°W 方向之破裂，因在農田西北方距離農田 80 公尺處有一小溪溝，研判農田受震動影響而產生邊坡滑動，非為斷層作用所造成。新化斷層東側延伸方向之柏油路面亦可發現多處破裂現象，柏油路裂面可達 8cm 寬，落差可達 4cm，約呈 N80°E 走向（圖 2-2.21）。

臺南市左鎮區之地表破裂：在新化斷層東側八德安樂園區內（圖 2-2.22）及其聯外道路上，多處道路及墓園建物因坡地滑動而產生破裂，滑動方向均向低處移動，園區位處那拔林背斜軸部，惟軸部區域地層已因開挖消失，勘查周圍地層發現岩層連續，並無

新增變形或構造所致之破裂現象，可排除與斷層關聯。在中油豐德油庫周圍及以東區域，臺 20 線公路自山上、左鎮區界至平和橋間路段，除德安橋因橋臺及橋體不等量沉陷造成之路面破裂外，並未發現地表破裂跡象。此外，於左鎮斷層最西端山上區石仔崎一帶，以及其西南側卓猴、埔羌坑地區，亦未發現地表破裂，僅於河床砂地或人工填土地區零星出現噴砂現象，研判新化斷層以東，包含左鎮或崙後等斷層系統，在本次地震事件中並無伴隨活動。

其他噴砂區域：大灣東路噴砂範圍位於臺南市永康區（圖 2-2.23），大灣東路北面為住宅區，南面為農田，噴砂範圍目前可確認範圍約為大灣城隍廟對面農地（圖 2-2.24、圖 2-2.25、圖 2-2.26），於大致長 300 公尺，寬 200 公尺範圍內佈滿噴砂丘群與灰黑色泥流，但依民眾陳述：附近部分住家內也有噴砂噴泥、地板沉陷與凸起破裂等現象，目前均已修整，而農田也多已迅速翻土復耕，故噴砂範圍應不止於目前由現場所見範圍。

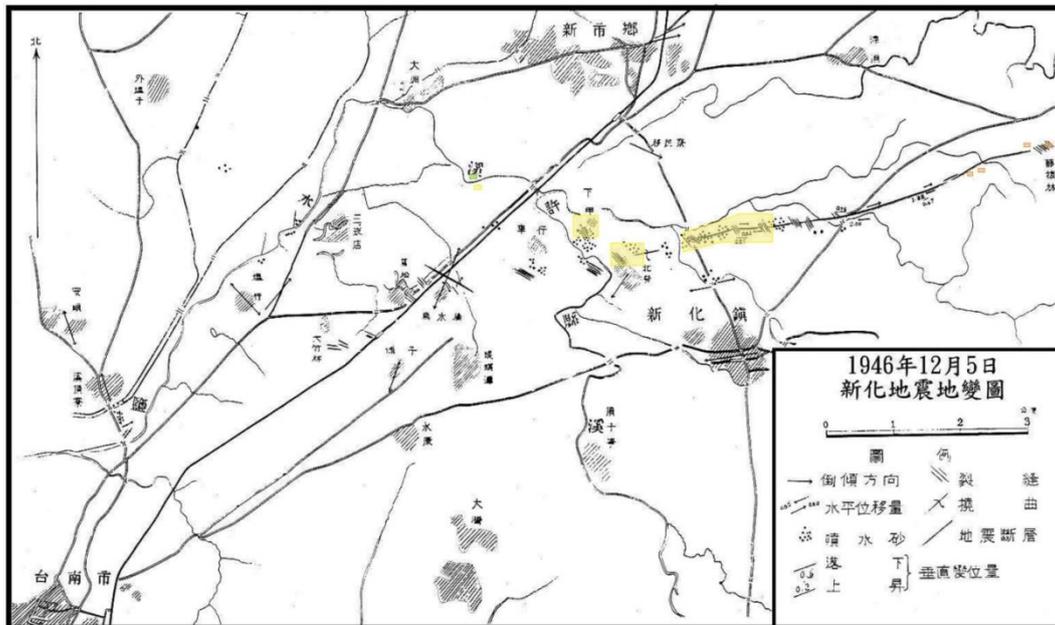


圖 2-2.1 1946 年新化地震時新化斷層的地表破裂現象與噴砂位置（張麗旭等，1947），黃色為此次地震發生噴砂地區，橘色為地表破裂位置，綠色為噴砂與地裂位置。

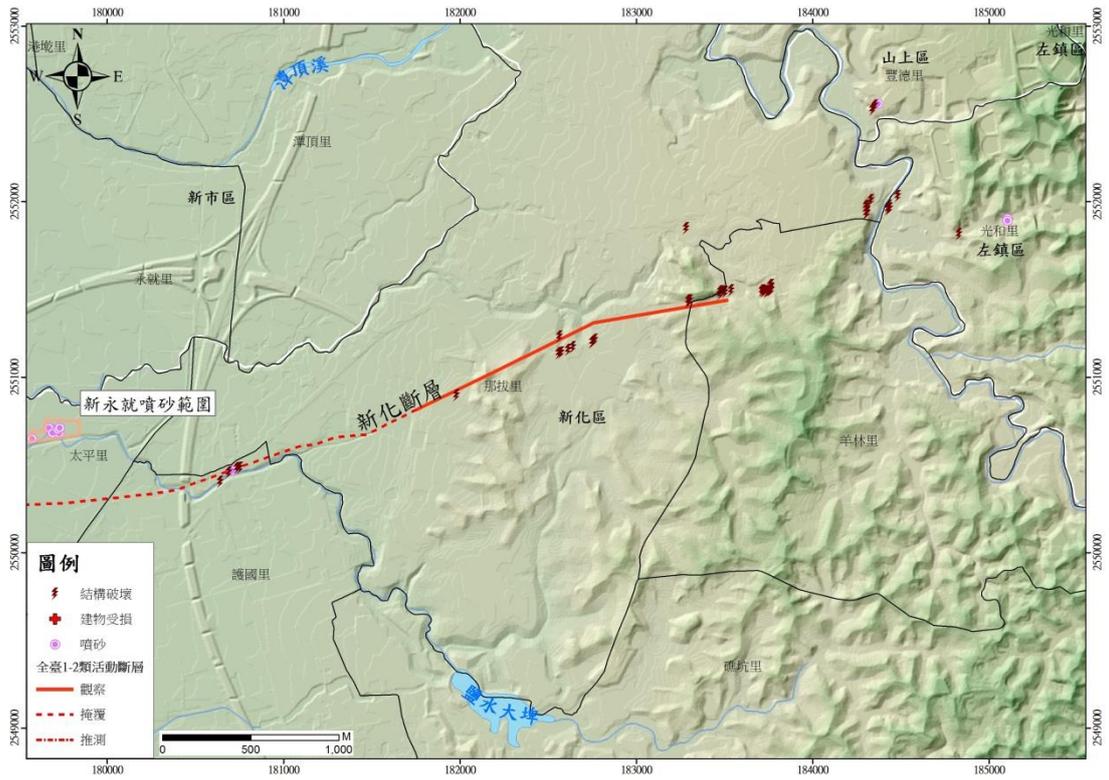


圖 2-2.2A 新化斷層附近噴砂與結構破壞位置圖。

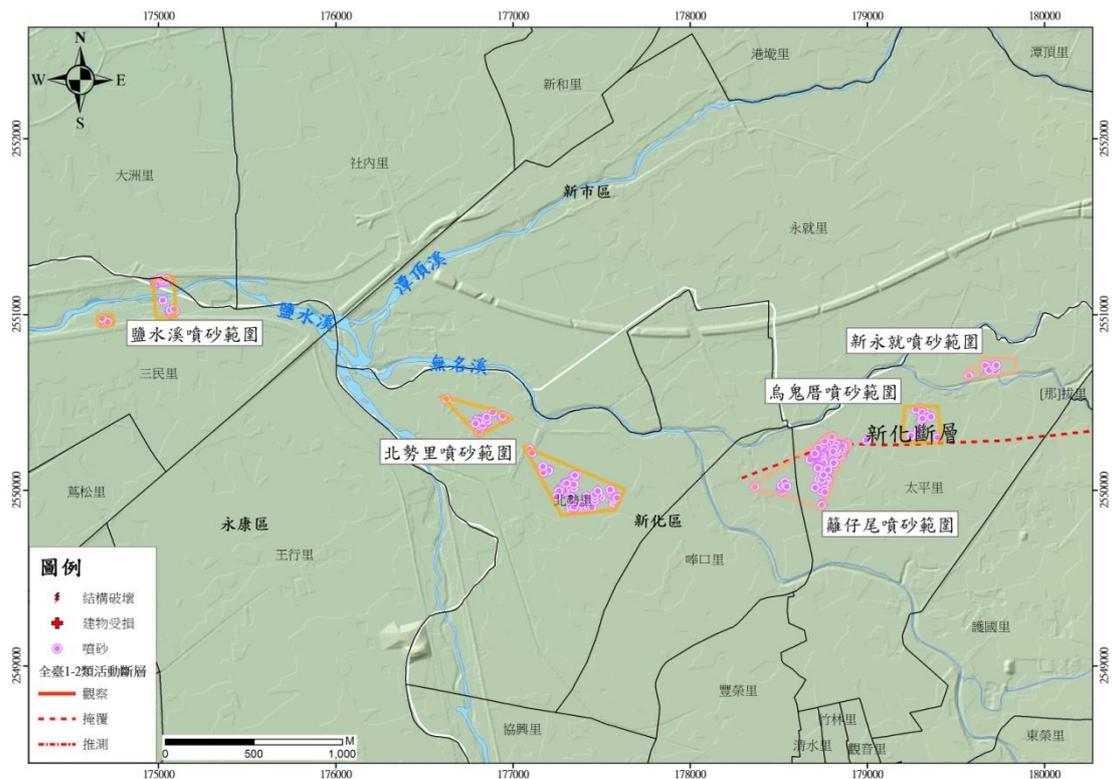


圖 2-2.2B 新化斷層附近噴砂與結構破壞位置圖。



圖 2-2.3 永康區鹽水溪南岸高壓電塔旁及發現噴砂現象，噴砂口約呈 N80°E 線形排列。



圖 2-2.4 永康區鹽水溪南岸鄰近的玉米田中發現噴砂現象，噴砂口約呈 N80°E 線形排列。



圖 2-2.5 鹽水溪北岸北邊寮的農田中可觀察到地裂及噴砂現象，約呈 N70°E 至 E-W 走向。



圖 2-2.6 鹽水溪北岸北邊寮的農田中觀察到地表開裂現象，裂縫可達 10~20cm 寬。



圖 2-2.7 鹽水溪北岸北邊寮的農田中觀察到現象，北側較南側高約 10cm，沿裂隙兩側位移不明顯亦無剪切現象。



圖 2-2.8 鹽水溪北岸農田向南陷落，由於南側 100 公尺處即為鹽水溪，研判農田受震動影響而產生邊坡滑動（向東南方拍攝）。



圖 2-2.9 臺南市新化區北勢里普賢院一帶群聚性的噴砂現象。



圖 2-2.10 臺南市新化區北勢里一帶群聚性的噴砂現象，噴砂錐約呈 N70~80°E 線形排列。



圖 2-2.11 臺南市新化區北勢里一帶的噴砂現象以孔隙噴砂為主。



圖 2-2.12 臺南市新化區北勢里一帶可發現裂隙噴發的噴砂現象。



圖 2-2.13 臺南市新化區太平里烏鬼厝一帶的群聚性噴砂現象。



圖 2-2.14 臺南市新化區太平里烏鬼厝一帶群聚性的噴砂現象，噴砂錐約呈 N70~80°E 線形排列。



圖 2-2.15 新化斷層沿線之深坑橋，橋面有約呈 N80°E 走向，平行橋臺之裂隙。



圖 2-2.16 新化斷層沿線之中央橋，橋面亦有約呈 N80°E 走向，平行橋臺之裂隙。



圖 2-2.17 農改場可發現地表開裂現象，走向約呈 N70°E。



圖 2-2.18 農改場內，沿著小河溝產生滑動的裂隙。



圖 2-2.19 臺南市新化區那拔里太極殿東邊農舍農田中可發現約呈 N80°E 走向之地表破裂現象。



圖 2-2.20 臺南市新化區那拔里太極殿東邊農舍農田中發現地表破裂現象，寬度約 25cm，南側較北側高約 20~30cm。



圖 2-2.21 新化斷層東側延伸方向之柏油路面可發現多處破裂現象，裂面可達 8cm 寬，落差可達 4cm，約呈 N80°E 走向。



圖 2-2.22 新化斷層東側八德安樂園區內，多處道路及墓園建物因坡地滑動而產生破裂。

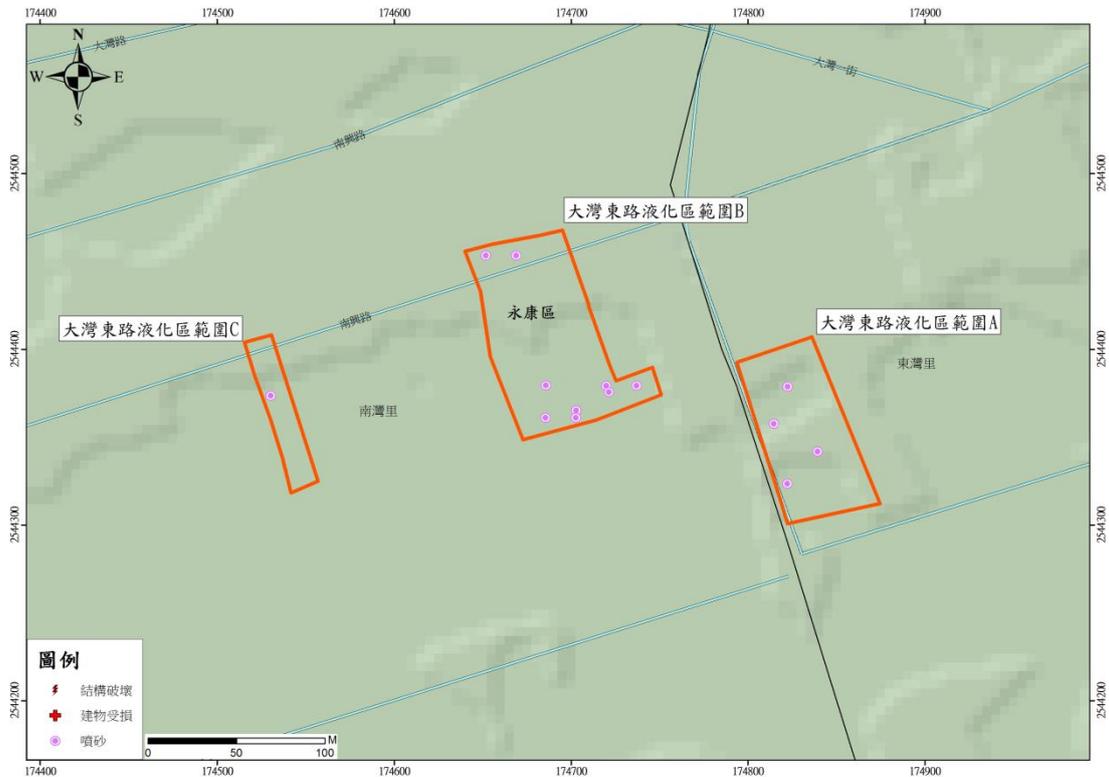


圖 2-2.23 大灣東路噴砂範圍調查與目前尚可確認噴砂之範圍，點位為依據手持式 GPS 標定之可見噴砂口。



圖 2-2.24 大灣東路大灣城隍廟對面，左側未農田無噴砂，右側廣布噴砂。



圖 2-2.25 東側另一處農田內噴砂仍大致維持噴砂口與噴砂範圍。



圖 2-2.26 該處噴砂口分布方向約為 N10E。



圖 2-2.27 噴砂範圍似與填方有一定相關性，僅及填方區範圍邊緣。

2-3 土壤液化所導致的結構物破壞與沉陷範圍調查

受地震影響，臺南市區多處在地震發生時即發生廣泛而劇烈的土壤液化跡象，並造成建物群沉陷、傾斜與破損，其中以安南區、新市區、中西區、北區與關廟區等範圍較大而顯著，部分建物傾斜沉陷十數公分到 1.5 公尺，相當嚴重。

新市區三民街液化沉陷（圖 2-3.1、圖 2-3.2）：三民街長約 400 公尺，均有不等程度之沉陷破壞與液化噴砂現象（圖 2-3.3），沉陷均出現於較新社區，老舊土角厝與三合院則無此狀況。新市區三民街 50 巷 10 弄 12 戶人家因土壤液化造成建物毀損（圖 2-3.4），被列為黃單的 12 戶，屋內磚牆破裂、地板扭曲隆起，建物龜裂破損嚴重，屋內外地板噴沙與泥漿，據居民表示，附近社區係由魚塢地填平後所興建（圖 2-3.5），而在 2 月 28 日再度調查時仍可見新發生的小規模噴砂噴泥現象，顯示沉陷作用尚未停止與平衡。

安南區惠安街周邊液化沉陷（圖 2-3.6、圖 2-3.7）：位於鹽水溪畔的安南區惠安街至

府安路一帶，南北長約 150 公尺，東西寬約 350 公尺，均有不等程度之沉陷破壞與液化噴砂現象（圖 2-3.8）。此區柏油路龜裂嚴重，民宅旁地板多有破裂及噴砂情形，房屋沉陷尤以惠安街 161 巷最為嚴重（圖 2-3.9、圖 2-3.10），有兩戶民宅被列為紅單。依據臺灣堡圖與臺南市圖（1984），本區域舊時皆為魚塢，周邊道路及房屋皆為近 30~40 年內填平後而興建。

民德路輕微下陷噴砂區（圖 2-3.11、

圖 2-3.12）：此區域約位於臺南市北區市立民德國中西側，可見之影響範圍南北長約 180 公尺，寬約 80 公尺，主要變形現象為輕微沉陷，道路龜裂（圖 2-3.13），以及零星噴砂噴泥（圖 2-3.14）等等，主要影響因子可能為建物自重：只要高於 4 層樓，甚至 3 層樓，就可見到建物邊緣至道路間有沉陷現象。沉陷之變形現象在地震過後一個月仍在進行（圖 2-3.15），剛翻新鋪平之柏油路與水泥鋪面仍可見到新生下陷龜裂破壞（圖 2-3.16），也仍有新生之小型噴砂，顯示仍未達成穩定。由臺灣堡圖來看，下陷位置過去屬於舊臺南市北側外圍，鄭仔寮庄的魚塢群，而由美軍 1944-1945 航拍所製地圖來看，這區域當時也仍為魚塢。而在此處以北至安南區惠安街之間的區域過去均為鄭仔寮庄猶如大湖般的魚塢，直到民國 70 年之後才因市區擴張，漸漸填平化為市區建築，僅殘留部分塢池，此範圍內也有零星道路與建物受損案例，只是未形成群聚破壞。

關廟區大富街周邊液化沉陷：大富街位於關廟西南角的五甲里，此次地震後在一南北長約 170 公尺，東西寬約 60 公尺的範圍內發生輕微沉陷與破裂情形，其中 1 戶列為黃單，而在西南角大排水溝旁一排住戶過去持續向排水溝潛移，這次地震後又發生不等量沉陷，導致門口地板產生約 40 公分之落差。過去古地名為「溪仔口」，光復前原有小溪溝與水田，之後溪溝乾涸並漸漸填平後所興建。

關廟區東昌街：東昌街位於關廟市區之東南角，在東西長約 190 公尺，南北約 40 公尺的範圍內可見道路破裂，箱涵與排水溝沉陷，局部有液化噴砂現象。東昌街 80 號人家因土壤液化與不等量沉陷造成建物毀損。東昌街之東南側為一埤塘，由地勢推測，附近區域過去可能為埤塘一部分，隨著乾涸與陸化轉為耕地與建地。此外，鄰近的東榮路 200 多年歷史的方家古厝屋瓦掉落、牆面出現裂痕，經檢視應為年久失修，磚瓦泥木結構均已失去結合力與支撐力所致。



圖 2-3.3 三民街與民族路交叉口附近，水泥地板沉陷與矮牆倒塌，水溝、圍牆與地板間隙噴砂，推測為液化造成不等量沉陷。



圖 2-3.4 新市區三民街 50 巷 10 弄為此次調查中所見沉陷高低差最大區域。



圖 2-3.5 部分溝渠與住家可見噴砂現象，據居民表示，附近社區係由魚塢仔填平後所興建。

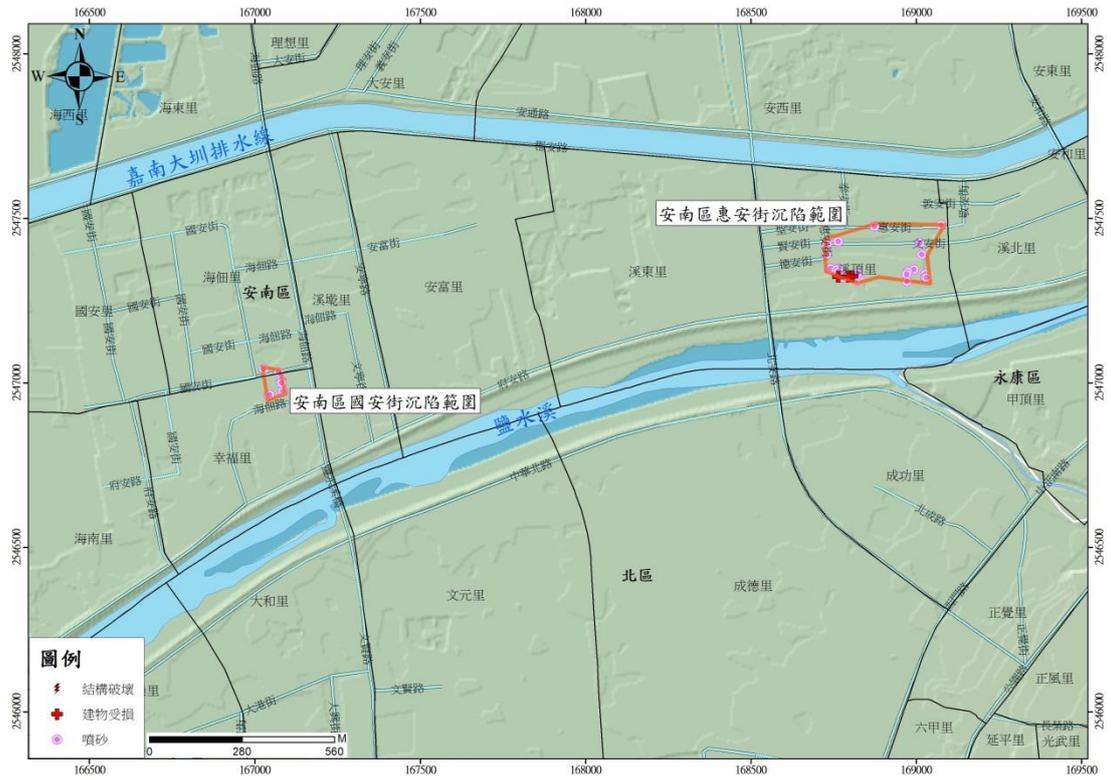


圖 2-3.6 安南區惠安街與國安街建物沉陷範圍圖。

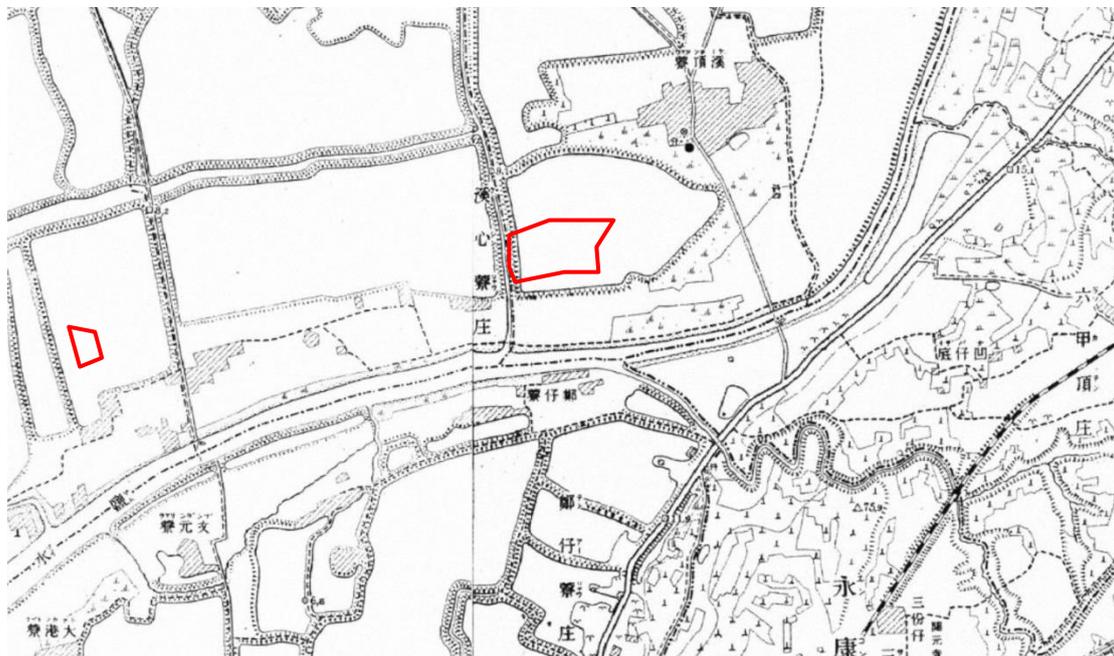


圖 2-3.7 由堡圖可見沉陷範圍過去為溪心寮庄的廣大魚塭群，為臺江內海的一部分，惠安街範圍到 40 年前仍為魚塭地。



圖 2-3.8 安南區惠安街一帶民宅沉陷，水溝出現噴砂，圍牆破裂。



圖 2-3.9 安南區惠安街 161 巷民宅沉陷嚴重，落差約 1.5 公尺高，被列為紅單，民宅內積水淤泥，建物周圍出現噴砂。



圖 2-3.10 安南區惠安街 161 巷一帶，柏油路因土壤液化而拱起破裂，路旁電桿傾斜，兩旁民宅亦沉陷傾斜，周邊空地出現噴砂現象。



圖 2-3.13 民德路 58 巷 30 弄，新鋪好之柏油路面仍持續輕微下陷。



圖 2-3.14 巷道內仍有持續的少量噴砂出現。



圖 2-3.15 房屋龜裂與內部修繕工程仍持續。



圖 2-3.16 同左，附近另一處巷道重新鋪好之柏油與水泥仍持續破裂。

2-4 群聚性的人工結構物破壞或倒塌及其他零星建物破壞調查

以歸仁區文化街—文化三街周邊、關廟區和平街與深坑三街附近為主，主要為路面破損、梁柱斷裂、牆面破損或倒塌，並有部分建物倒塌。

臺南市歸仁區南保里文化街三段周邊民宅受損：歸仁區民權北路與文化街三段交叉路口至歸仁南保郵局約 100 公尺（圖 2-4.1），此距離內之建物，與歸仁南保郵局同側的華廈民宅騎樓皆樑柱磁磚嚴重剝落，鋼筋外露（圖 2-4.2），民宅內樑柱亦嚴重受損，水泥塊掉落造成鋼筋、紅磚裸露，有四棟民宅後側嚴重後傾並可看到建物受剪力而造成的破裂損毀情形，已列為紅單危樓。位於大昌五金百貨對面之整排建物向前傾，目前暫用千斤頂加強支撐（圖 2-4.3）。文化街三段 18 巷內整排建物的車庫內，皆於樓梯處受損。

關廟和平路週邊的建物破壞與道路裂隙分布北起五甲國小，南約至旺萊路，東界約為四維街，西界約為和平路。分布範圍約在南北向長約 500 公尺，東西寬約 200 公尺的長方形區域內（圖 2-4.4），也是此次 0206 地震當中，裂隙群聚性最明顯，且破裂延伸最長而有明確方向性的區域。此地區裂縫之分佈可為兩組走向不同的群組。南北向之裂隙為一東向西壓縮造成縮短破壞的破裂帶，裂隙蜿蜒向南北沿結構物弱處，延伸入聚落內的巷道或庭院內，在和平街與東興路路口近乎南北方向上可觀察到（圖 2-4.5、圖 2-4.6），多為東側向西推擠而抬高數公分或十數公分。五甲國小局部結構也因擠壓而產生隆起與地板傾斜等現象，中央走道南北兩側花臺因地震搖晃而傾倒，但傾倒方向兩側恰恰相反：北側花臺向東倒；南側花臺向西倒（圖 2-4.7）。此區域雖以擠壓破裂為主，但局部仍伴隨不等量沉陷，以致部分民宅出現地板拱起與小規模噴砂情形（圖 2-4.8）。第二組裂縫則大致呈東西向，或西南西走向，多分布在和平路上，北起五甲國小，南至旺萊路的路段上均發育此組裂縫。關廟區和平路周邊的壓縮性破裂可能與淺部構造受深部地殼變形所影響的空間變形，反應可能為關廟向斜軸部壓縮之現象。

關廟區深坑三街：位於關廟區東南角（圖 2-4.9），破壞情形主要為道路龜裂、老舊土角厝傾斜或三合院房屋破裂倒塌，分布範圍約為北西向 200 公尺，北東向約 90 公尺。深坑三街所呈現之結構破壞現象與其成因較為複雜：多數以道路上破裂為主，拉張略為沉陷的張裂與壓縮而突起的破壞形式均具（圖 2-4.10~圖 2-4.13）。

其它零星地表破壞：臺南市歸仁區幸福大樓嚴重傾斜（圖 2-4.14）：幸福大樓位於臺南市歸仁區大仁街及信義北路交叉口，為 7 層樓建築物，結構向北偏西方向傾斜，建物北側之一至三樓皆被壓毀，調查中正封路進行拆除。50 公尺內路段及民宅邊界有南北向裂縫，周圍居民表示其餘建物無明顯損壞（圖 2-4.15）。臺南市關廟區西臺慈惠堂前殿倒塌：西臺慈惠堂位於深坑二街 52 巷，兩層樓前殿受震倒塌，柱體傾倒方向約為南 30 度東。主要為柱底鋼筋剪力破壞，鋼筋連同握裹混凝土拉拔出外露，柱體混凝土無明顯剪力破壞面，下部結構混凝土混有磚塊。臺南區歸仁區旺林飯店歸仁館傾倒（圖 2-4.16）：原為廢置多年 10 層樓高的廠辦大樓，售出後重新整修並增建，準備開發為飯店，但在地震中向東傾斜近 15 度，觀察發現其北側與東側地面具下陷破裂現象，推測可能為局部沉陷加上劇烈地震搖晃所致。新化區京城銀行傾倒：京城銀行為 11 層樓之建築，位於大智路，在地震中向南傾倒並影響附近民宅，幸未波及加油站（圖 2-4.17）。由於震後立即拆除，調查時已作業拆除近半，周圍也均受工程影響，無法判斷是否可能為沉陷所致。此外，此次地震中也有部分橋樑受損：如歸仁區保順路上的媽廟橋與保東

橋及高雄市內門區東勢埔橋均發生橋面位移與下陷。媽廟橋與保東橋總長約 400 公尺，呈西北西－東南東走向跨越許縣溪，地震後橋面相對於橋臺側移，並產生約 7~8 公分之裂隙，伸縮縫受擠壓或伸張而破裂（圖 2-4.18）。東勢埔橋長約 200 公尺，呈東北－西南走向，位於臺三線上，跨越二仁溪，地震後北側橋臺下陷約 10 公分，隨後緊急封橋進行整修，經調查發現橋梁南北兩側橋臺下方溝渠均有新生裂隙，推測可能有向下方潛移作用，附近幾座老舊橋梁也有類似損壞狀況，可能為泥岩區原先就有潛移與坍塌，經地震搖晃後擴大而產生下陷。



圖 2-4.1 歸仁區文化街建物受損範圍。





圖 2-4.3 左圖：民宅內牆壁樑柱龜裂破損嚴重，水泥塊掉落造成鋼筋、紅磚裸露。右圖：建物嚴重傾斜且牆壁受剪力破壞，造成鐵捲門、窗戶等變形破損。

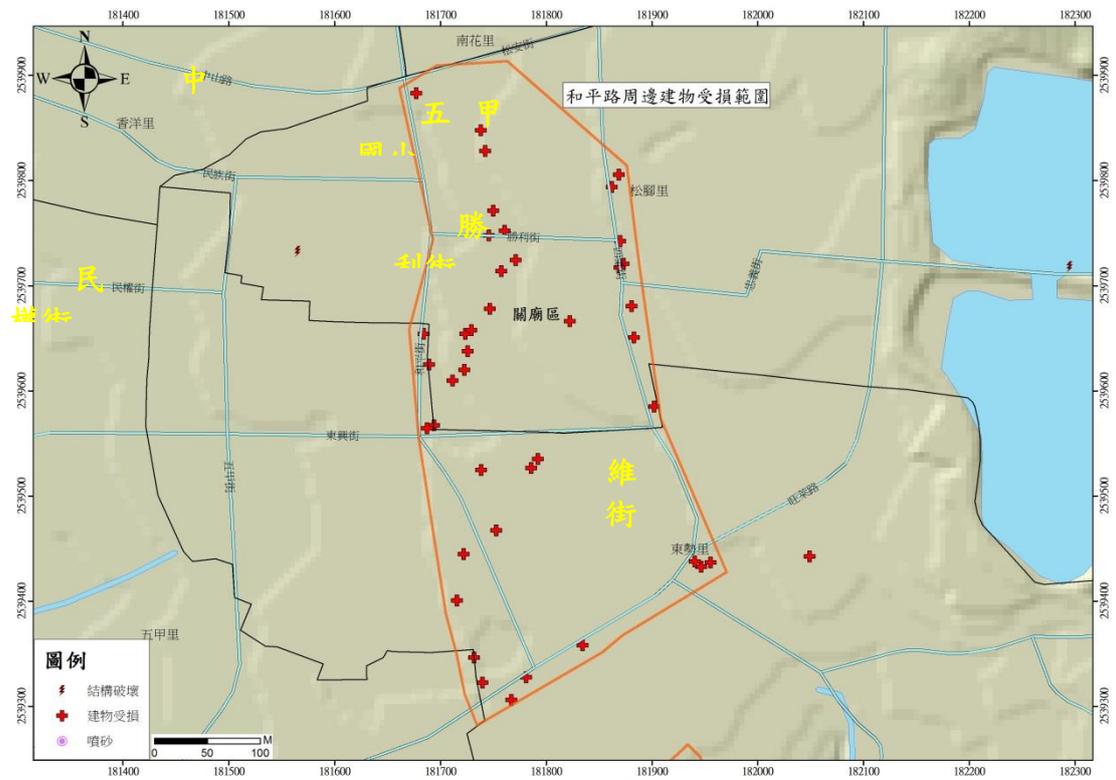


圖 2-4.4 臺南市關廟區和平街主要破裂位置。



圖 2-4.5 左圖：臺南市關廟區松腳里和平路與東興路交叉口，柏油路由東向西推擠隆起現象。右圖：巷道口水泥遭推擠破裂，並似具橫移（左移）分量。



圖 2-4.6 左圖：隆起現象向路口北側小巷內繼續延伸，循周遭建物結構弱面延伸。右圖：主要為東側抬昇往西推擠，巷道東側相對抬昇數公分。

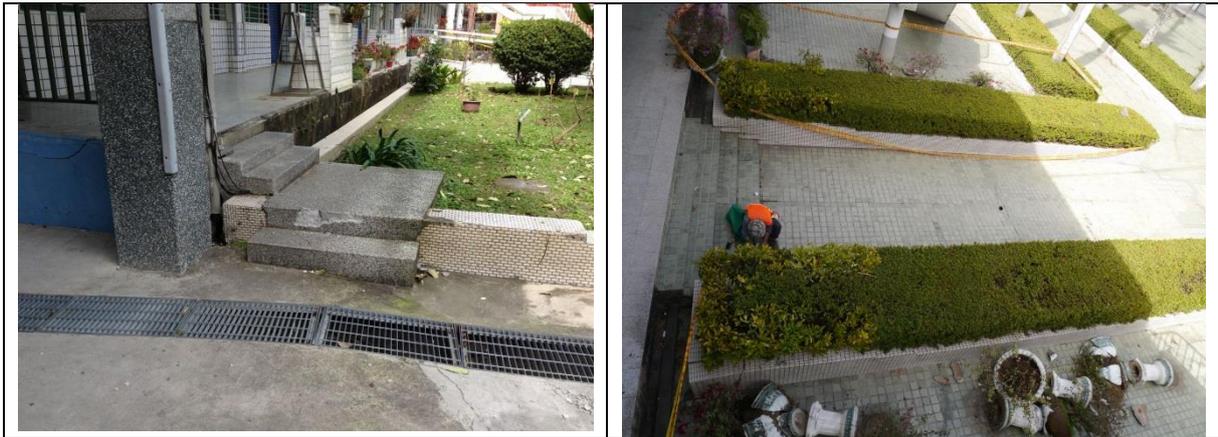


圖 2-4.7 左圖：關廟區五甲國小內部結構因擠壓拱起。右圖：五甲國小內花臺因搖晃而分別向東西向傾倒，成功大學衣德成博士正進行破裂面量測記錄。



圖 2-4.8 左圖：關廟區旺萊路附近民宅內部因不等量沉陷而造成地板鼓起。右圖：民宅外部產生小規模噴砂現象。

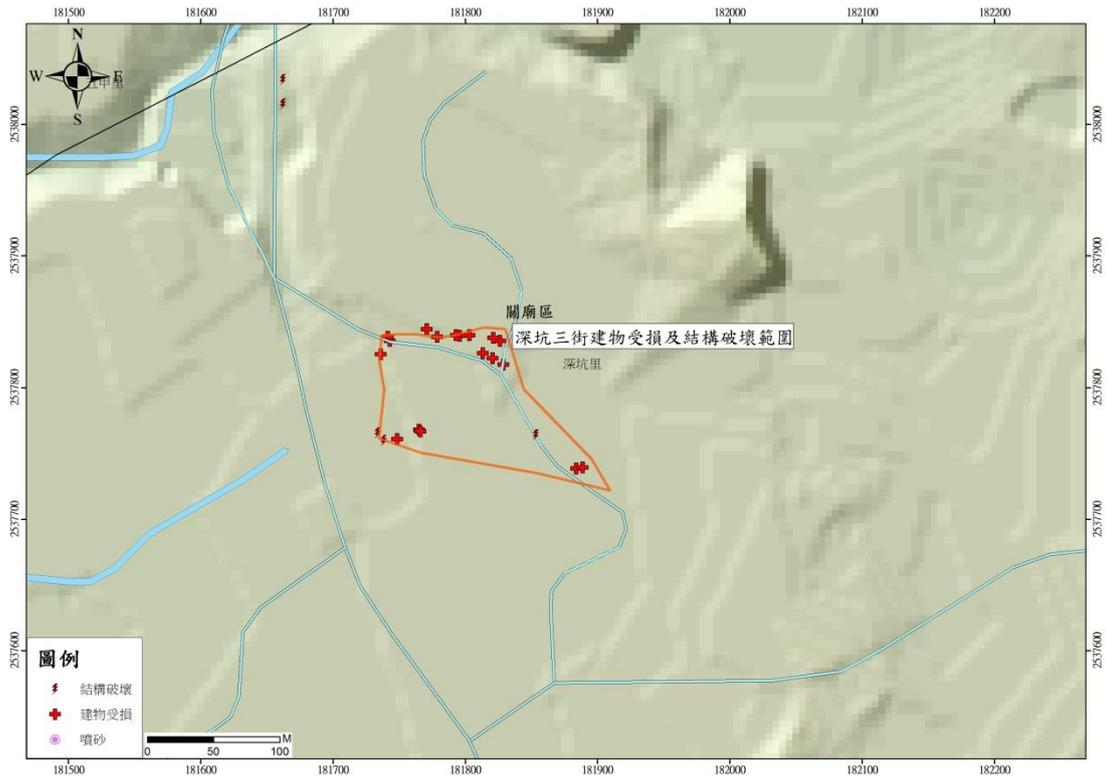


圖 2-4.9 深坑三街建物受損及結構破壞範圍圖。



圖 2-4.10 深坑三街附近柏油路有多處破裂，左圖北偏東 20°，右圖北偏西 40°，呈現張裂而略為沉陷。



圖 2-4.11 沿著民宅牆角有一延伸的破裂，民宅也因不等量的陷落產生些微的變型。



圖 2-4.12 民宅圍牆破裂並略微向外傾斜。

圖 2-4.13 附近年久失修土角厝倒塌。

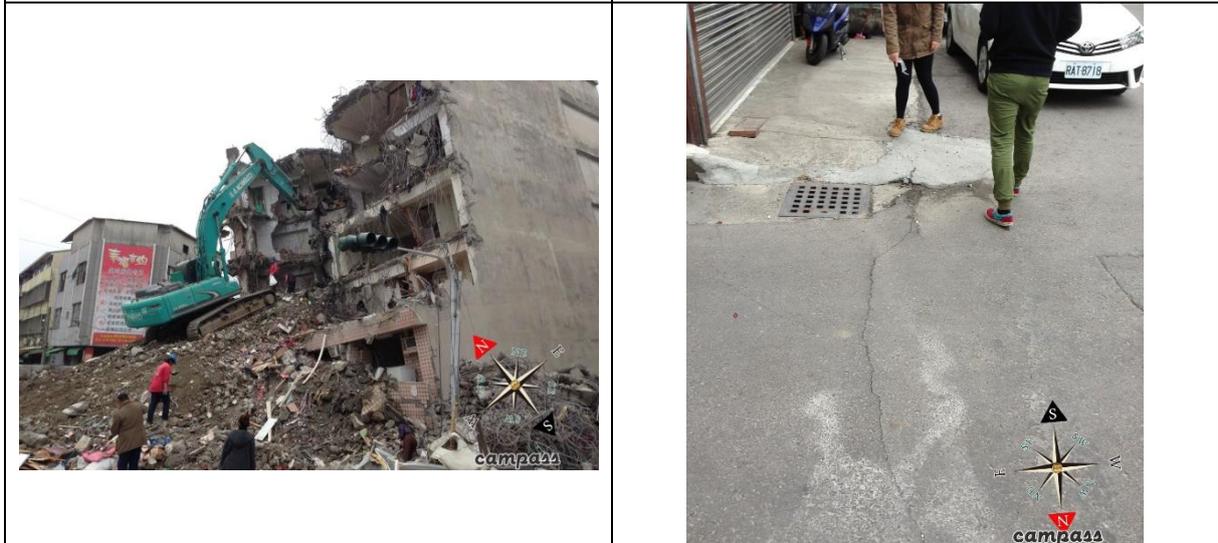


圖 2-4.14 歸仁區幸福大樓嚴重向北偏西傾斜，調查時正進行拆除。50 公尺內柏油路及民宅邊界均有裂縫與沉陷現象。



圖 2-4.15 臺南市關廟區西臺慈惠堂前殿倒塌，柱體傾倒方向約為南 30 度東。



圖 2-4.16 歸仁區旺林飯店，向南拍攝，可能因局部沉陷加上劇烈搖晃而傾斜。



圖 2-4.17 臺南市新化區京城銀行，地震後傾斜，不久即展開拆除，無法確認是否局部沉陷。



圖 2-4.18 媽廟橋（西）與保東橋（東）橋面下陷與平移，橋面下陷 10 公分，調查時裂隙較寬較深部分已鋪上柏油，伸縮縫間產生拉張，橋面相對於橋臺向北移動數公分。

2-5 小結

- (一) 在確認震央周遭活動斷層是否發生同震變形方面：0206 美濃地震主餘震周邊之重要構造有旗山斷層、左鎮斷層、新化斷層、後甲里斷層等等，均進行沿線巡查，除新化斷層沿線/延伸線附近的液化與局部破裂之外，旗山斷層、左鎮斷層與後甲里斷層均未見與斷層位置及性質相對應之破壞，而新化斷層沿線液化應為易於液化位置受新化斷層控制，而在附近地表加速度或地殼應力達到一定程度以上即產生液化，而非新化斷層受觸發活動所致，於 0304 甲仙地震已可見類似狀況。
- (二) 在鄰近新化斷層之結構破壞與所有噴砂方面：0206 美濃地震所引致的土壤液化噴砂區域主要與 0304 甲仙地震及 1946 新化地震所引發的噴砂區域重複性相當高：最主要為臺南市新化區北勢里（普賢院周邊）、太平里（中央橋至深坑橋

北側)，其次為永康區鹽水溪南北岸東邊寮（三民里）、新市區鹽水溪北岸北邊寮、永康區大灣東路與新化區那拔里（新化斷層沿線）。鹽水溪南北兩岸噴砂在 1946 年新化地震與 0304 甲仙地震後並未記載此處有噴砂與地裂現象。而在新化斷層周邊除了噴砂現象之外，尚有安德新樂園（左鎮區）、新化區那拔里、深坑橋等因沉陷而導致的道路、橋梁與住宅等結構破壞或位移現象。

（三） **在液化所導致的結構物破壞與沉陷範圍方面：**以安南區惠安街與新市三民街附近最為嚴重，沉陷範圍廣達至百餘公尺，在本區域不等量沉陷所致地形最大落差超過半公尺，其他出現沉陷區域尚有關廟區大富街—大仁街周邊、關廟區東昌路周邊。

（四） **在群聚性的人工結構物破壞或倒塌方面：**此類建築物與道路等結構物亦呈群聚性，但與液化沉陷等原因有所不同，因此另外與以區分。分布於以歸仁區文化街—文化三街周邊、關廟區和平街與深坑三街附近為主，主要為路面破損、梁柱斷裂、牆面破損或倒塌，並有部分建物倒塌。而關廟區和平路周邊的壓縮性破裂可能與淺部構造受深部地殼變形所影響的空間變形，此處位處關廟向斜軸部向南延伸位置附近，約在五甲國小以南，和平路附近可見一南北長約 500 公尺，東西寬約 200 公尺範圍中具密集結構物南北向壓縮性破裂，而在其西側道路上則具一組近乎東西向至西南西走向之破裂，反應可能為關廟向斜軸部壓縮之現象。

（劉彥求、陳盈璇、林依蓉、莊釗鳴、黃志遠、黃意茹、王金安、呂貞怡）

參、地表變形觀測結果

3-1 本區域近十年來的地表變動情形

本所自 2002 至 2015 年的 GPS 觀測網分析結果顯示，本區水平速度場大致呈現往逆時鐘旋轉的型態，速度場由台東地區以約 50-60 mm/yr 朝西北西方向運動，至屏東平原及中央山脈地區以 40-50 mm/yr 朝西方向運動，至西部沿海地區以 0-40 mm/yr 朝西南西方向運動，水平速度由山區朝平地方向遞減。其間存在一個顯著的速度不連續帶，其西界為六甲 - 木屐寮斷層、新化斷層與臺南臺地西緣，東側大致沿旗山斷層為區間變化（圖 3-1.1），水平應變場顯示這個區間存在較大的壓縮速率（圖 3-1.2），指示受到板塊擠壓的能量長期在該區域地層中累積。

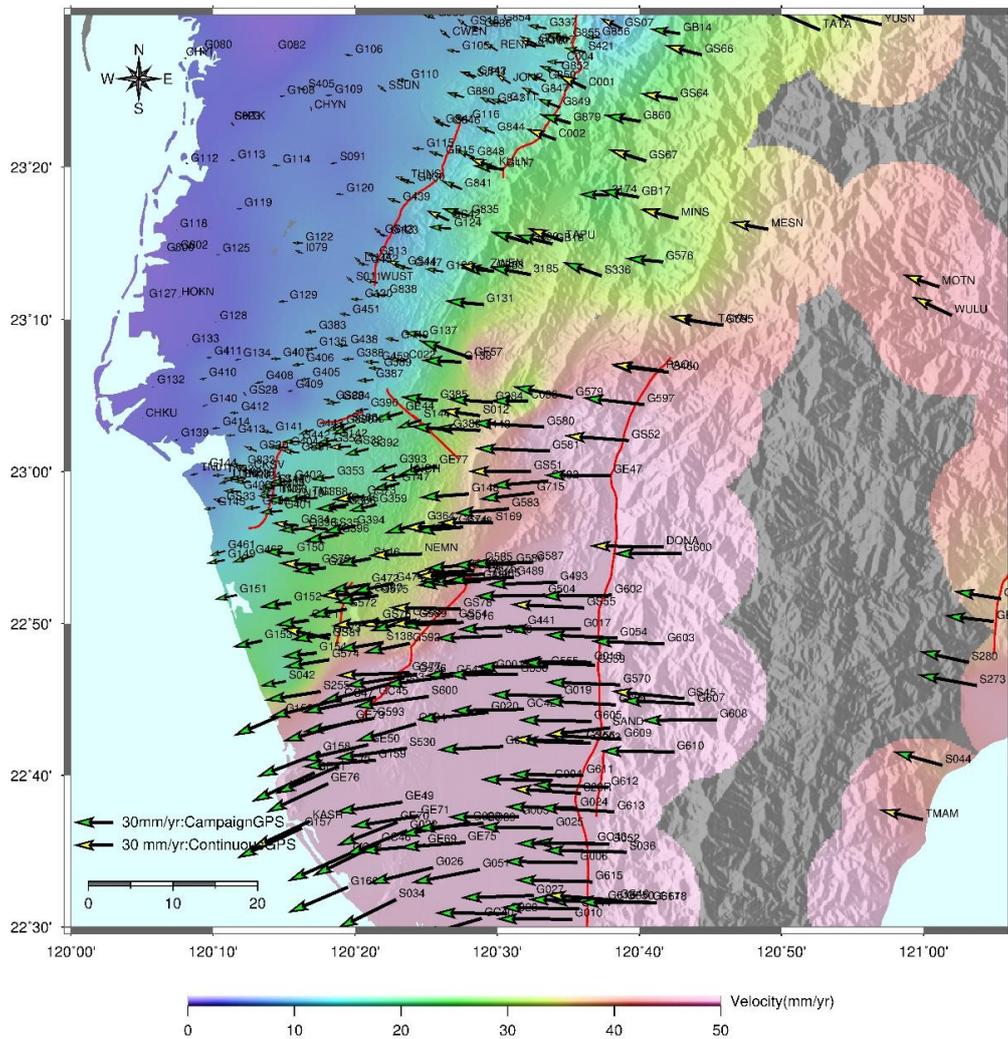


圖 3-1.1 2002–2015 年南部地區的水平速度場。綠色箭頭為 GPS 移動站，黃色箭頭為 GPS 連續站，紅色實線為活動斷層。底圖色階顯示水平速度之量值。

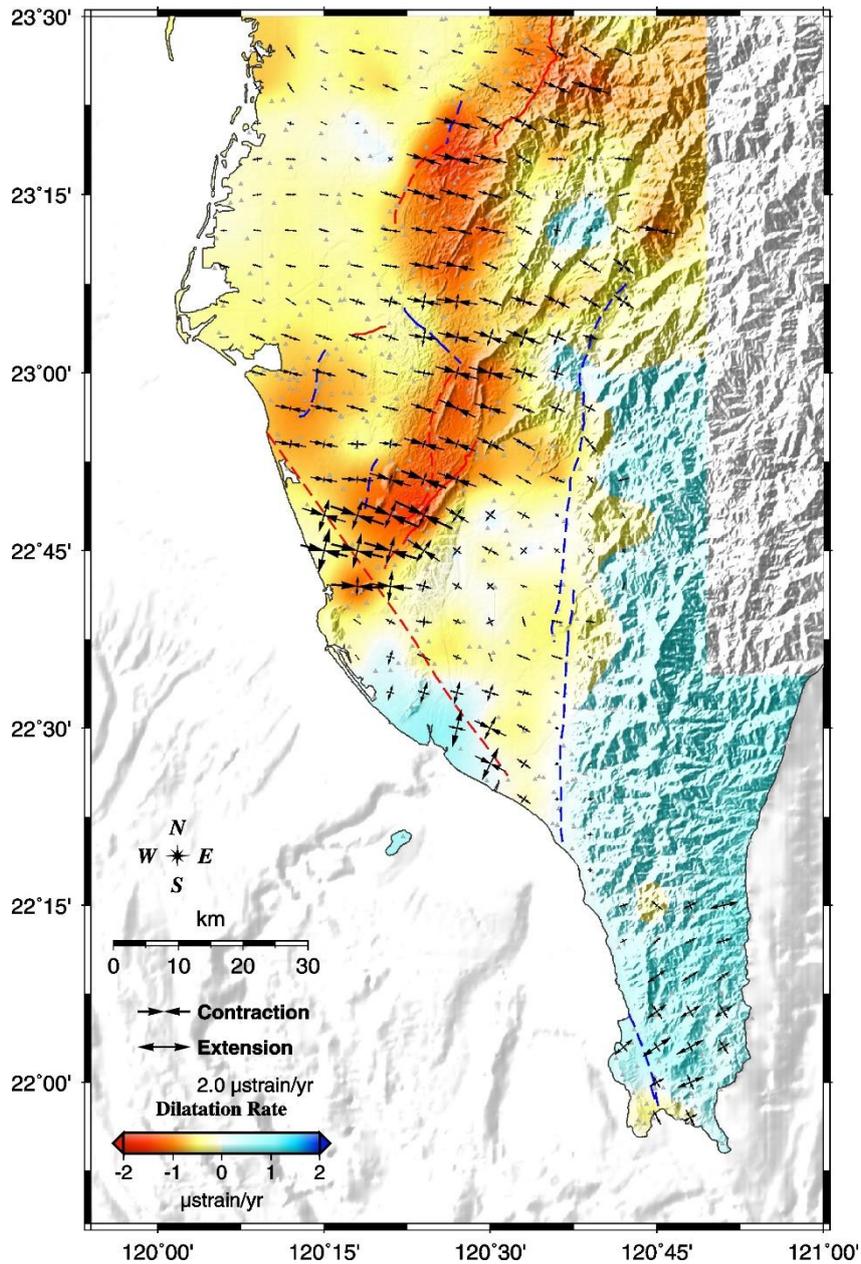


圖 3-1.2 2002-2015 年南部地區的水平應變場圖。黑色箭頭顯示地表為壓縮或是伸張變形模式，色階反映地表變形速率，暖色系為壓縮、冷色系為伸張。

3-2 GPS 連續追蹤站同震變形觀測

GPS 連續追蹤站 (Continuous GPS) 利用固定場址設立的天線架 (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、內政部國土測繪中心以及本所設置於全臺的 GPS 連續站資料進行解算，包含地震前 5 天（2 月 1 日至 2 月 5 日）與地震後 1 天（2 月 7 日）的結果進行比較，求取同震的水平位移資訊。

分析結果顯示，水平同震位移整體而言朝西南方向位移，在臺南市歸仁區沙崙村及高雄市杉林區附近具較大位移，最大水平位移量出現於震央西側約 20 公里處之南沙崙農場站（測站編號：GS35），水平位移量達 4.1 公分，接近該站一年的滑移量。水平位移量之分布型態自該區域以放射狀朝北方、西方及南方發散且遞減；向北至臺南市官田、六甲一帶以及向南至高雄市大樹、大社一帶之水平位移量已降至 1 公分以內（

圖 3-2.2 及表 3.1）。受到地表變形的影響，在左鎮斷層、新化斷層以南，後甲里斷層以東至旗山斷層以北區域有廣大的伸張變形狀況（圖 3-2.3），與此區域在地表抬升的範圍大致相近（圖 3-2.4）。



圖 3-2.1 GPS 連續追蹤站外觀（左圖）及儀器箱置放儀器設備圖（右圖）。白色天線罩內為天線所在位置，隨時處於連續接收衛星訊號，資料即時透過網路傳至控制室處理與解算。

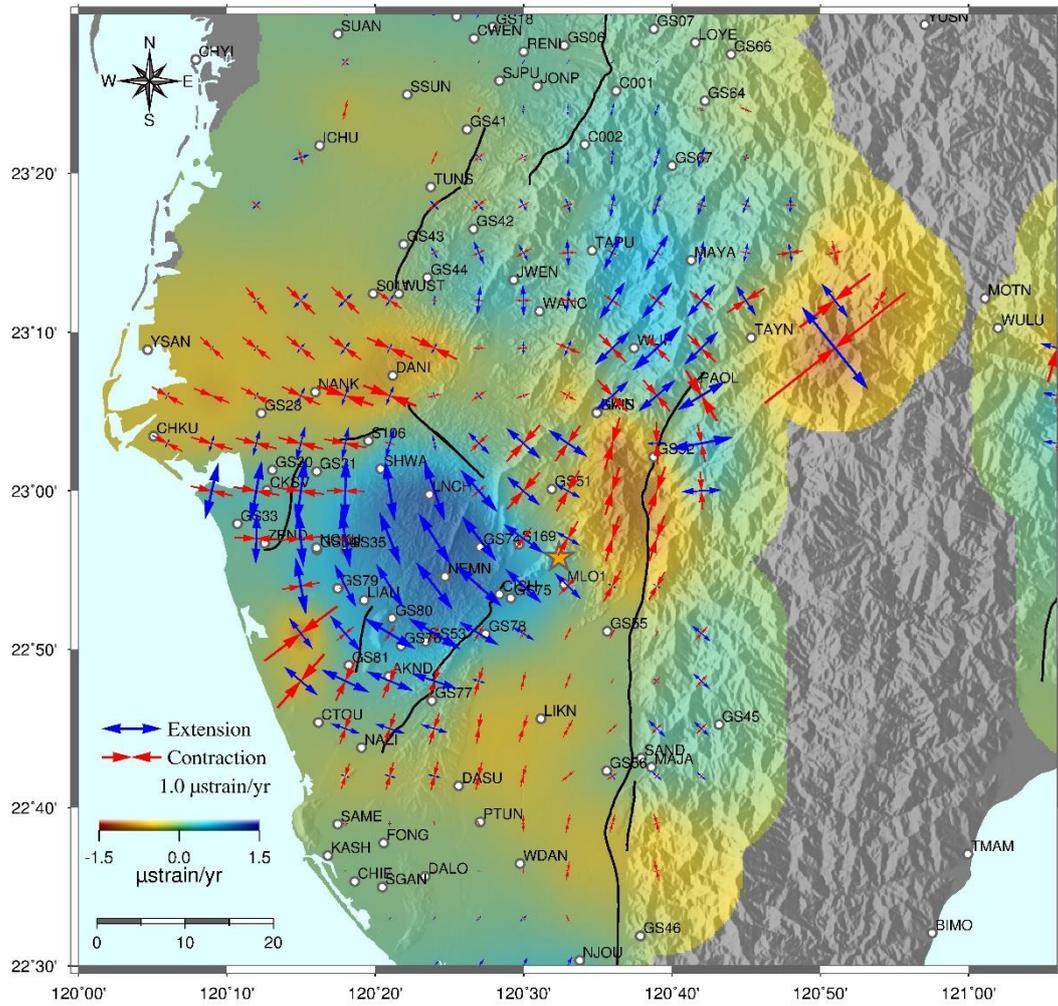


圖 3-2.3 GPS 追蹤站觀測到的水平應變場，箭頭方向代表最大壓縮（紅色箭頭）或伸張（藍色箭頭）的方向與大小，左下方為其參考尺度，下方為應變量的參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 km，黑色實線為活動斷層。

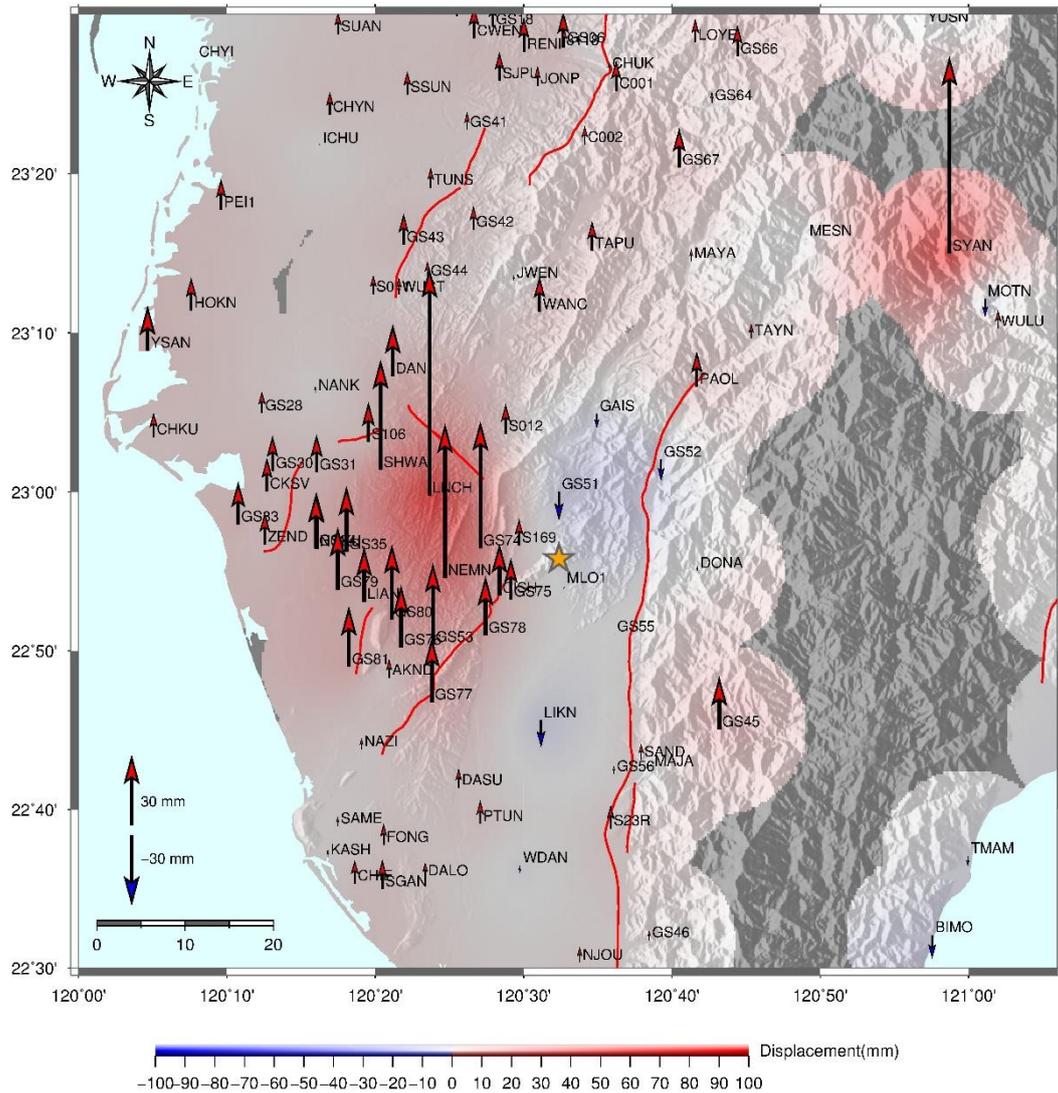


圖 3-2.4 GPS 追蹤站觀測到的垂直位移量（單位：mm），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，紅色為抬升、藍色為下陷，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10km，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。

3-3 GPS 移動站與水準測量同震變形觀測

為瞭解該區域更細微且全面性的變形狀況，因此本所在震後立即參考 GPS 連續站的位移結果，於地震影響地區進行大範圍的移動式 GPS 測量（Campaign mode GPS）與水準測量（Leveling），所得結果再與歷年結果進行比較。施測地區涵蓋臺南市及高雄市，GPS 測量每日分派 10-11 部同廠牌、同型號之接收儀（Trimble 5700 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 3-3.1)，以達到可以用來完成變位分析的精度。觀測工作自 2 月 22 日至 3 月 4 日止，共完成 95 個移動站的現地測量工作。水準測量則自 2 月 15 日至 3 月 24 日止，完成善化-關廟測線、安平-龍崎測線、路竹-茂林測線及岡山-安坡測線等共計 206 公里的水準測量 (圖 3-3.2-圖 3-3.3)。

GPS 移動站與水準測量由於為非連續性的資料，因此均利用階層函式，以等速度擬合坐標時間序列來獲得同震位移，解算結果顯示 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 (圖 3-3.4-圖 3-3.6 及表 3.2)，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。



圖 3-3.1 本次地震後 GPS 移動站施測與檢測作業情形。右上圖為監測點地面鋼標頭、右下圖為衛星定位接收儀。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化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。

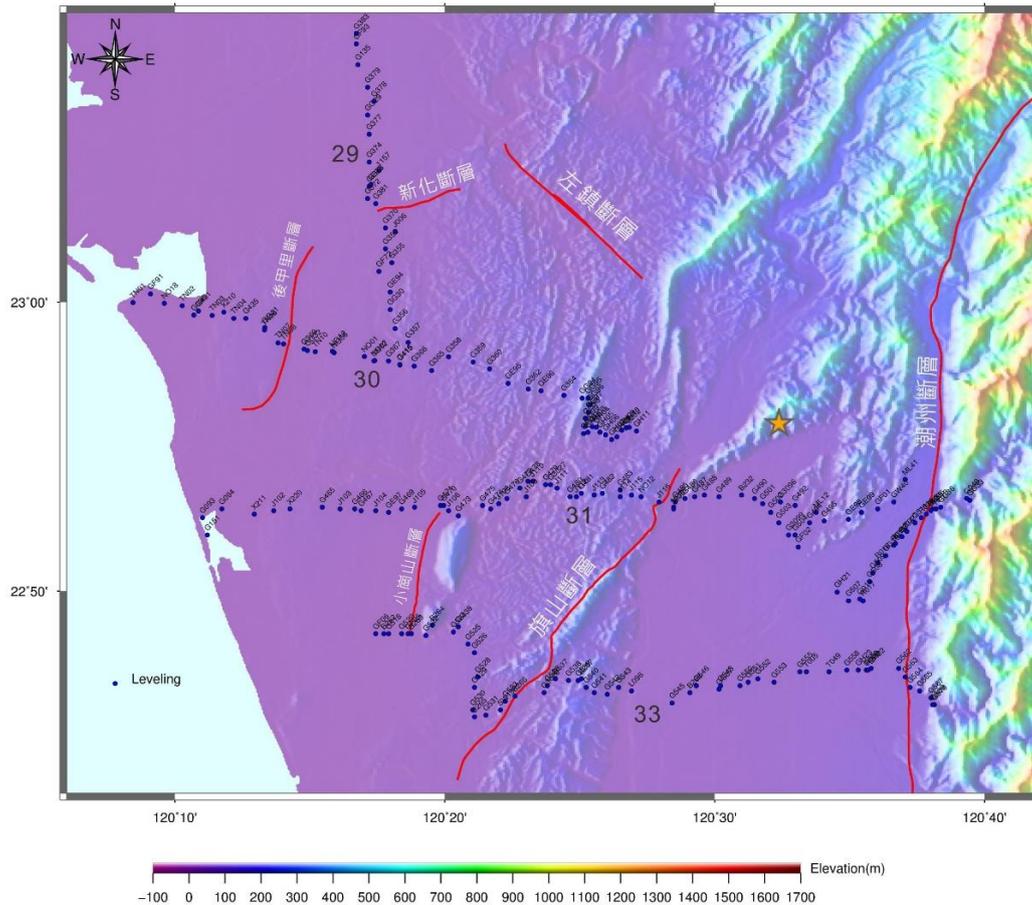


圖 3-3.2 水準測線分布圖，編號 29：善化-關廟測線、編號 30：安平-龍崎測線、編號 31：路竹-茂林測線、編號 33：岡山-安坡測線。



圖 3-3.3 本次地震後水準測量施測情形，觀測時以電子水準儀及鋼尺施測，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。

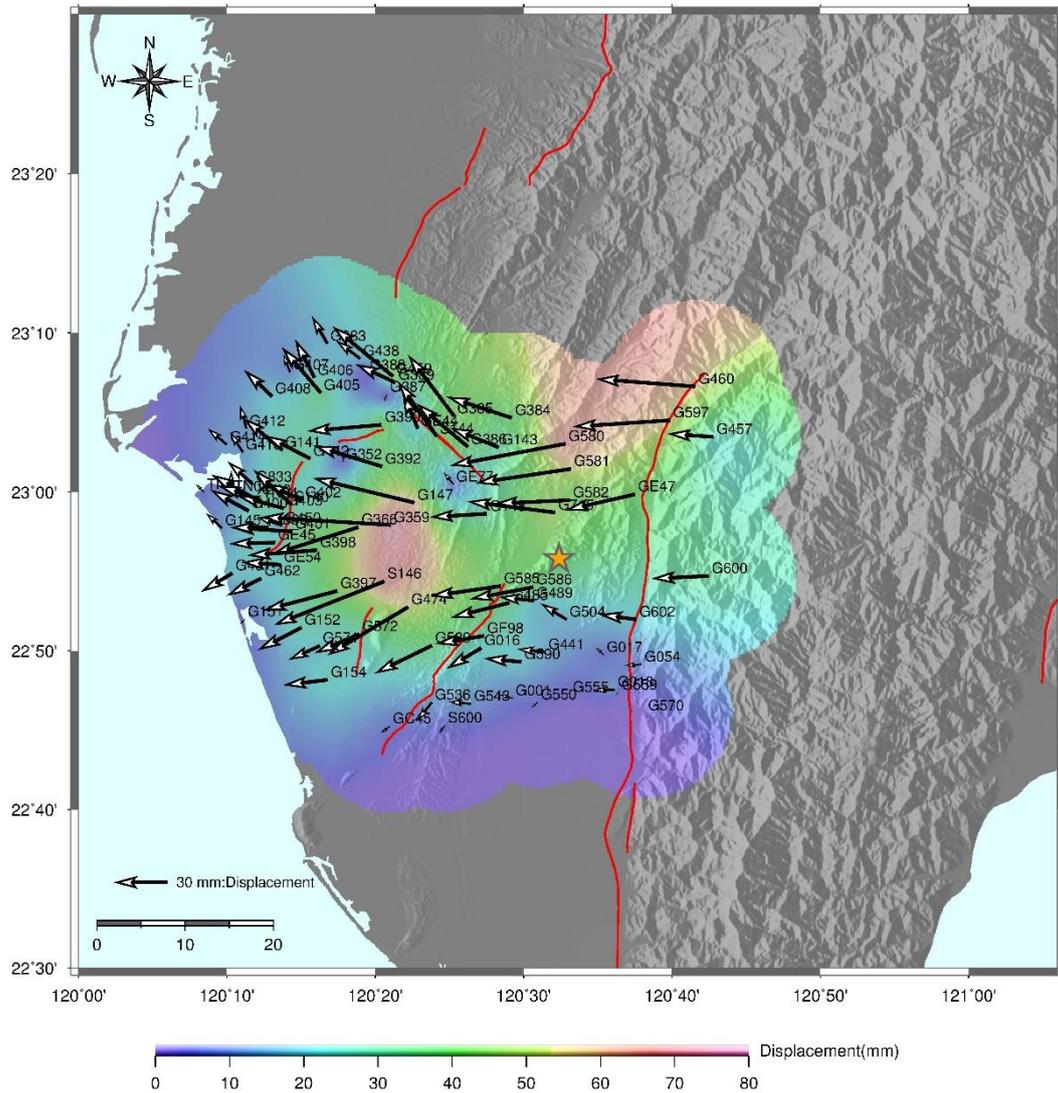


圖 3-3.4 GPS 移動站觀測到的水平位移量（單位：mm），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 km，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。

3-4 GPS 移動站與水準測量同震變形觀測小節

彙整 GPS 連續站、移動站及水準測量的觀測結果顯示，水平位移最大在龍崎國小（點號：G359），約 7.3 公分，水平位移較大區域位於震央西側至西北側距離約 20-25 公里地區。同震位移量大致以該區域為中心，向南、西、北方向遞減；位移方向則為向西略偏南方向分布（圖 3-4.1-圖 3-4.2）。

垂直位移最大在龍船國小（點號：G364），抬升約 12.2 公分，抬升區域集中在震央

西側，左鎮斷層、新化斷層以南至旗山斷層、小崗山斷層以北地區，與水平位移較大區域相近，顯示此區域變形相當劇烈，實際空間上的整體位移量已達 14 公分左右(圖 3-4.3-圖 3-4.4) ，由於這個區域存在較深厚的泥岩，地震能量在此區得以地表變形方式轉化呈現，是此區域變形劇烈的主因。

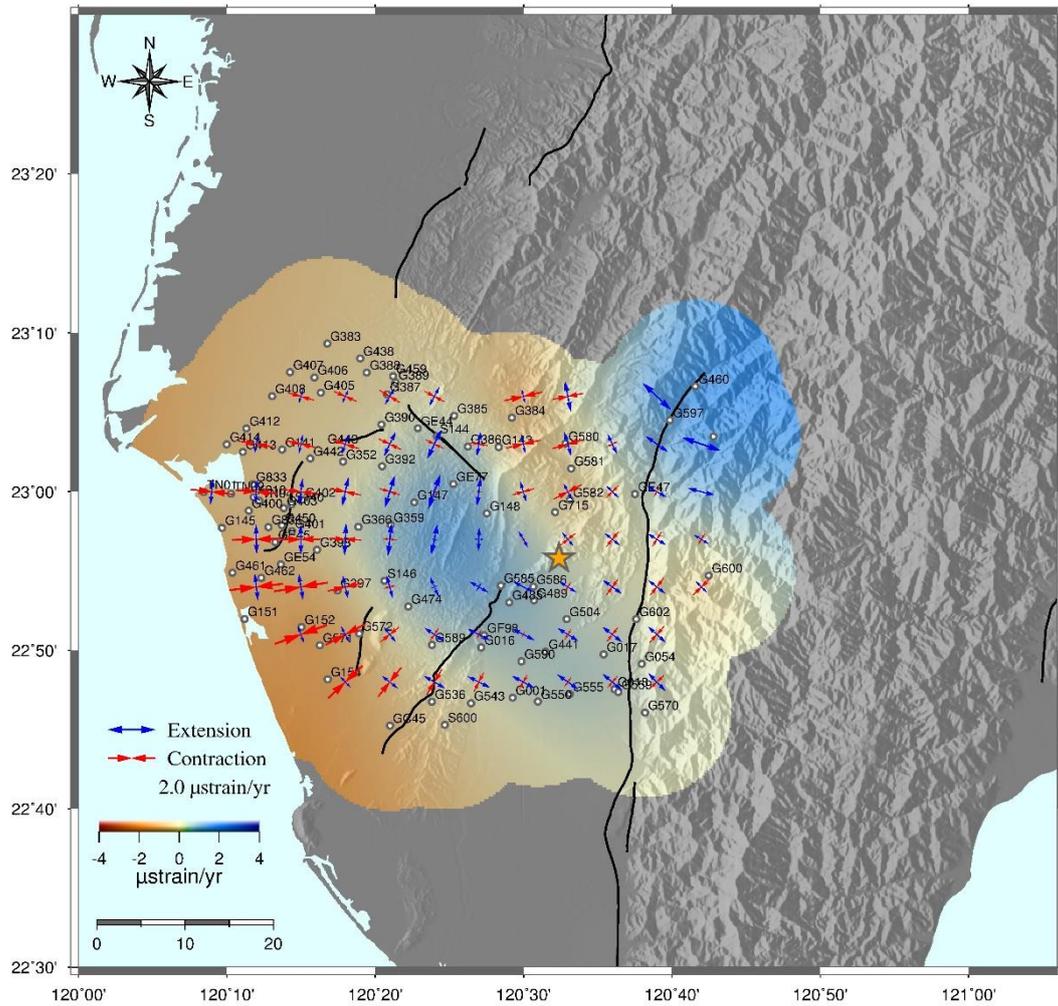


圖 3-3.5 GPS 移動站觀測到的水平應變場，箭頭方向代表最大壓縮（紅色箭頭）或伸張（藍色箭頭）的方向與大小，左下方為其參考尺度，下方為應變量的參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 km，黑色實線為活動斷層。

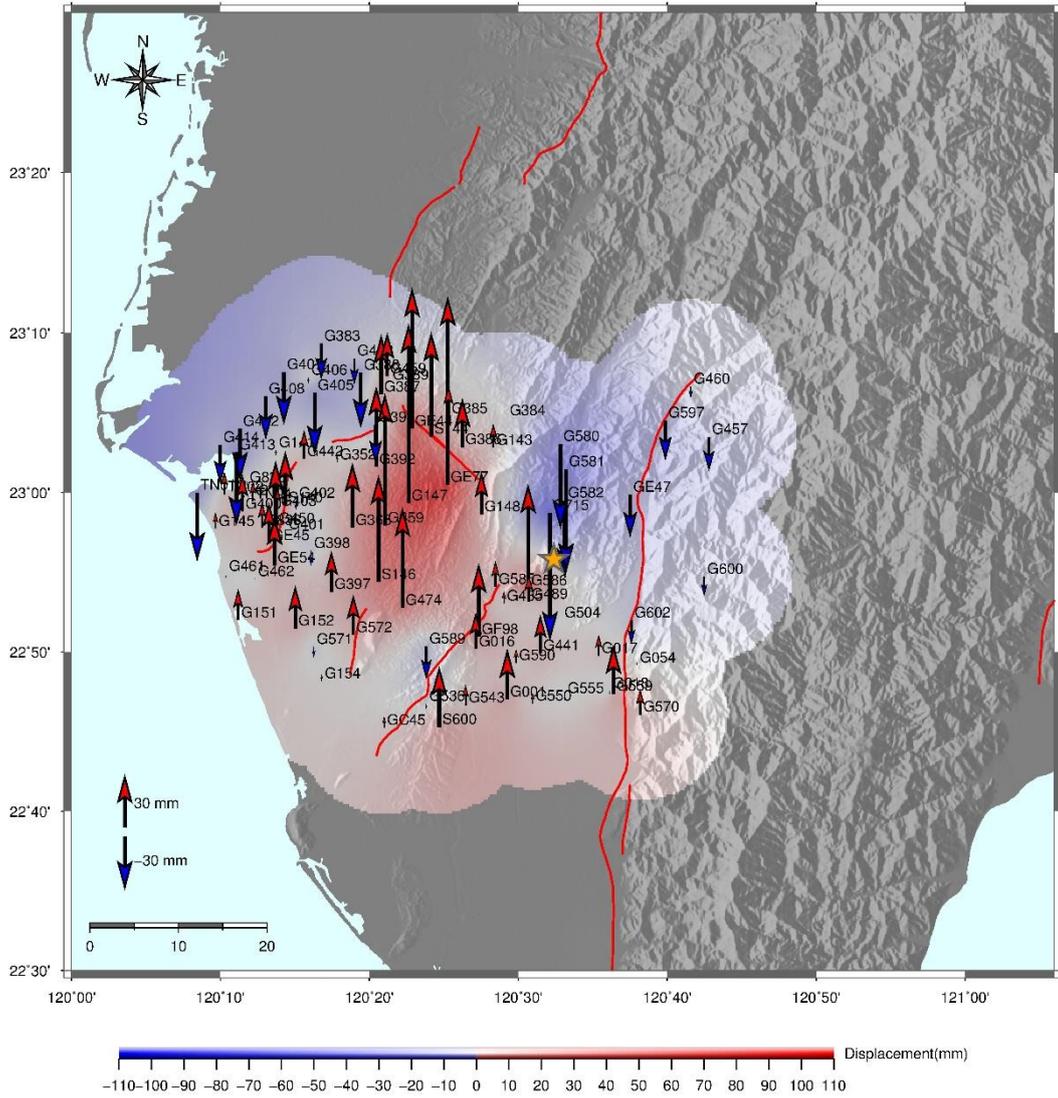


圖 3-3.6 GPS 移動站觀測到的垂直位移量（單位：mm），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，紅色為抬升、藍色為下陷，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 km，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。

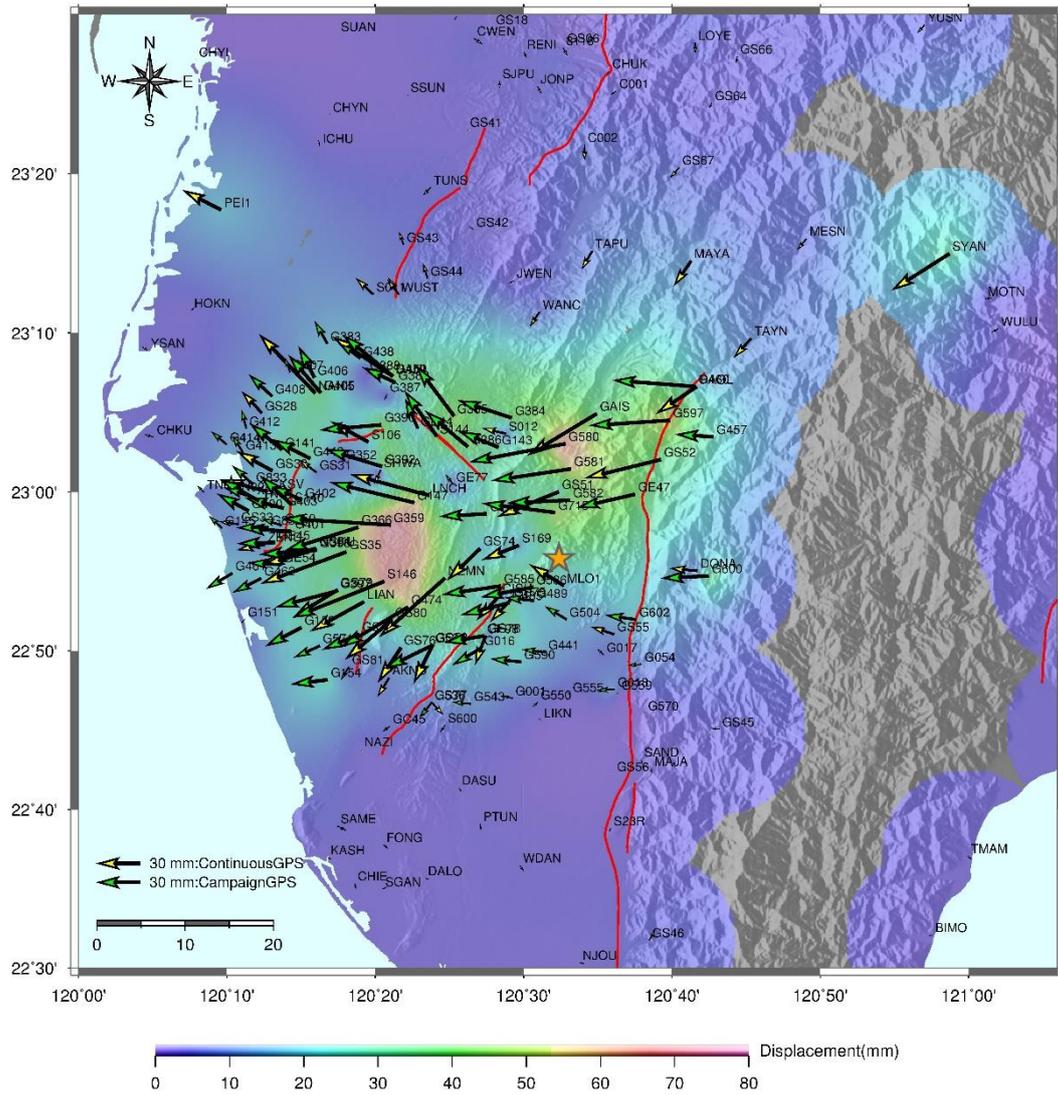


圖 3-4.1 整合 GPS 連續站與移動站的水平位移量（單位：mm），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 km，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。

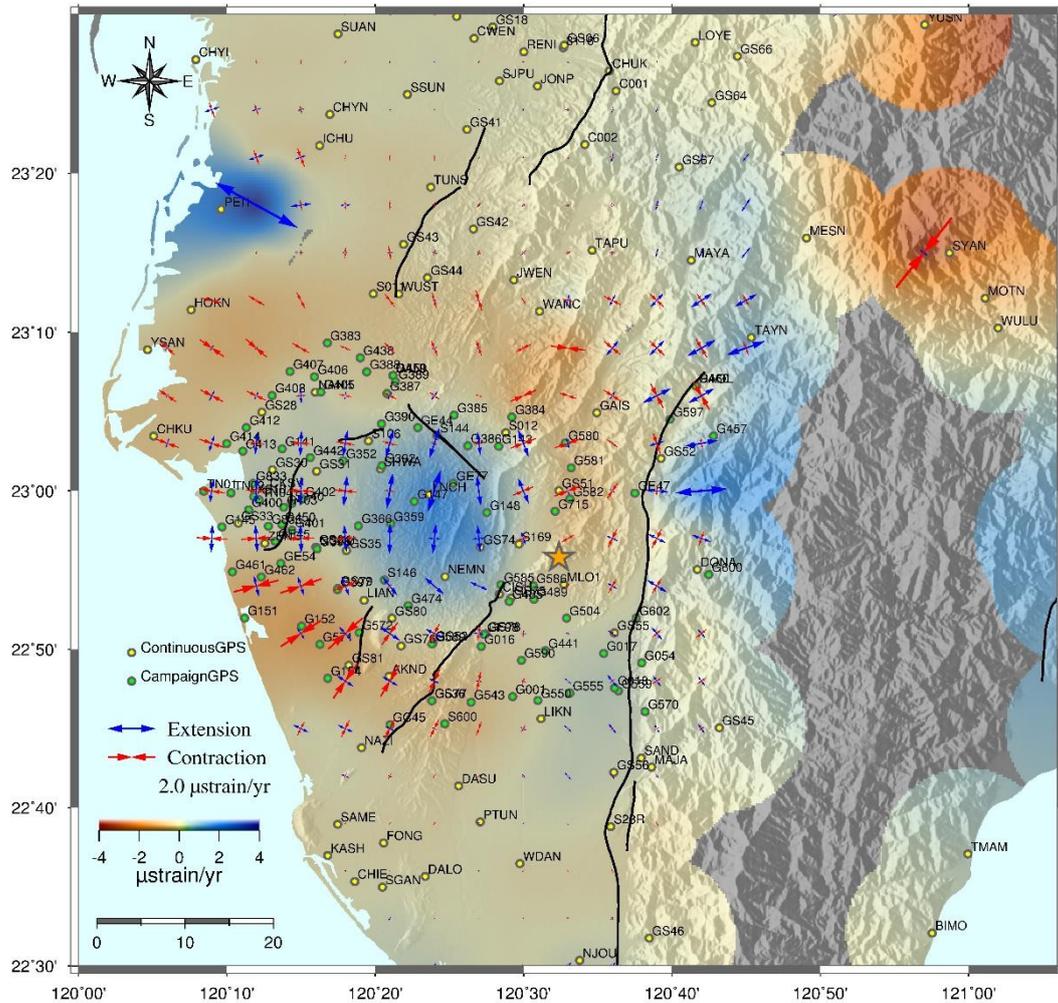


圖 3-4.2 整合 GPS 連續站與移動站的地表水平應變場，箭頭方向代表最大壓縮（紅色箭頭）或伸張（藍色箭頭）的方向與大小，左下方為其參考尺度，下方為應變量的參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 km，黑色實線為活動斷層。

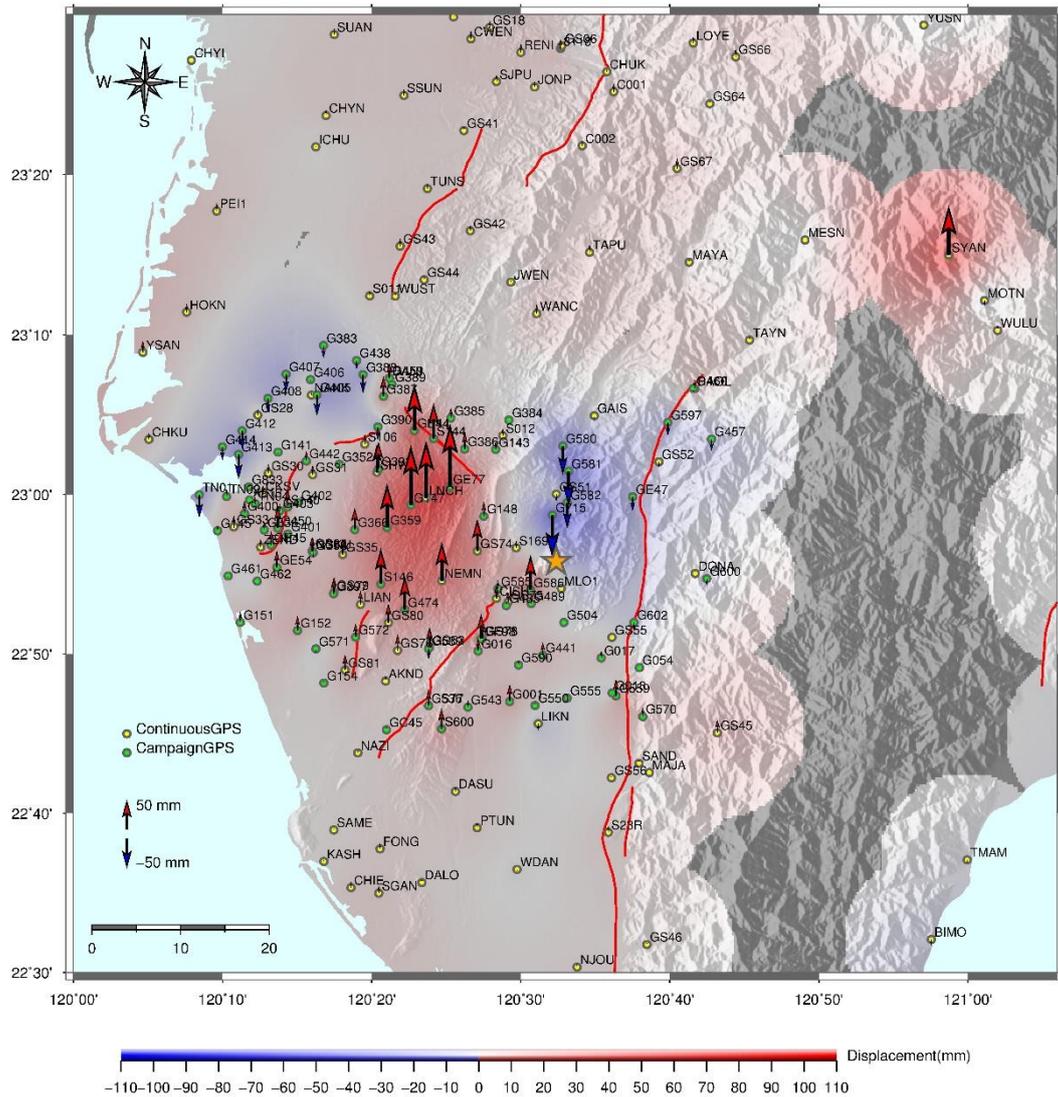


圖 3-4.3 整合 GPS 連續站與移動站的垂直位移量（單位：mm），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，紅色為抬升、藍色為下陷，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺，資料內插半徑為 10 km，解算參考基準站為金門追蹤站（測站編號：KMNM）。

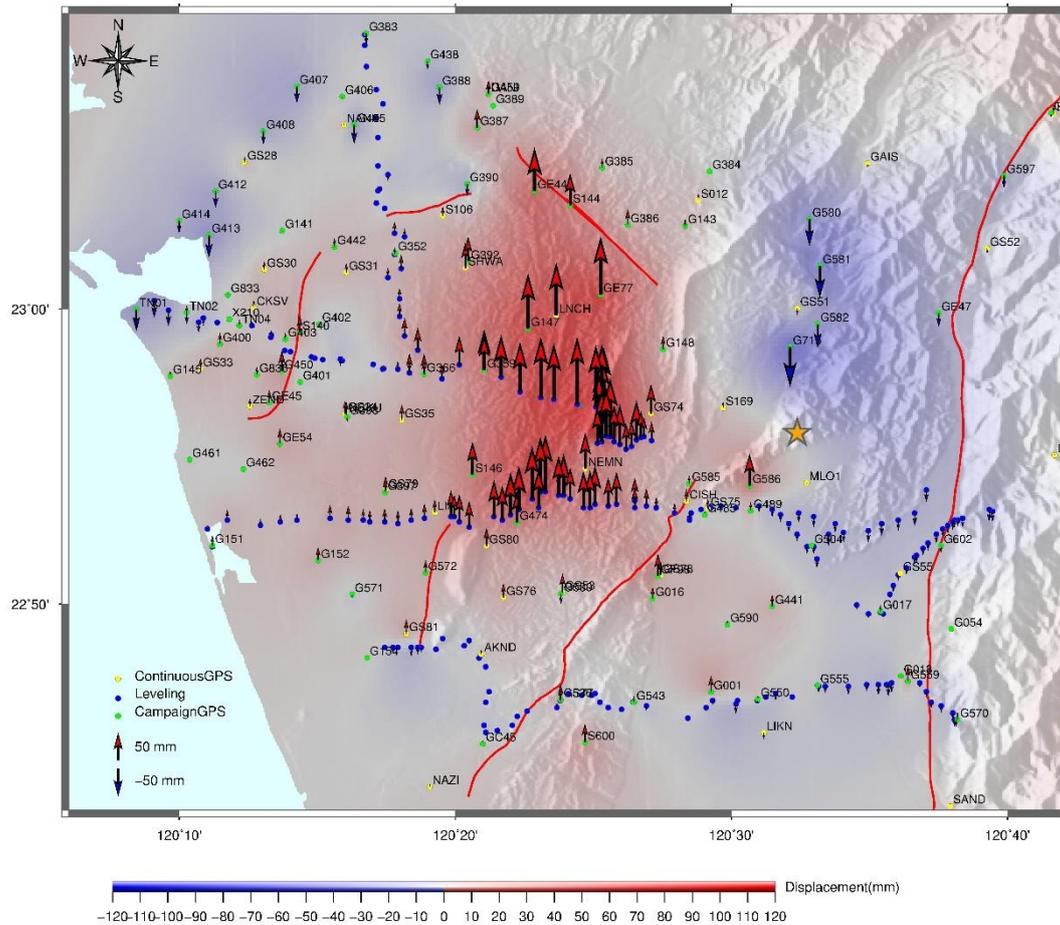


圖 3-4.4 整合 GPS 連續站、移動站與水準測量的垂直位移量（單位：mm），箭頭方向與長度分別代表各站的位移方向與大小，紅色為抬升、藍色為下陷，左下方為其參考尺度。橘色星號為震央位置，紅色實線為活動斷層，下方為位移量參考色階的比例尺。

3-5 利用合成孔徑雷達干涉技術取得 ALOS-2 與 Sentinel 1-A 雷達衛星影像之視衛星方向變形

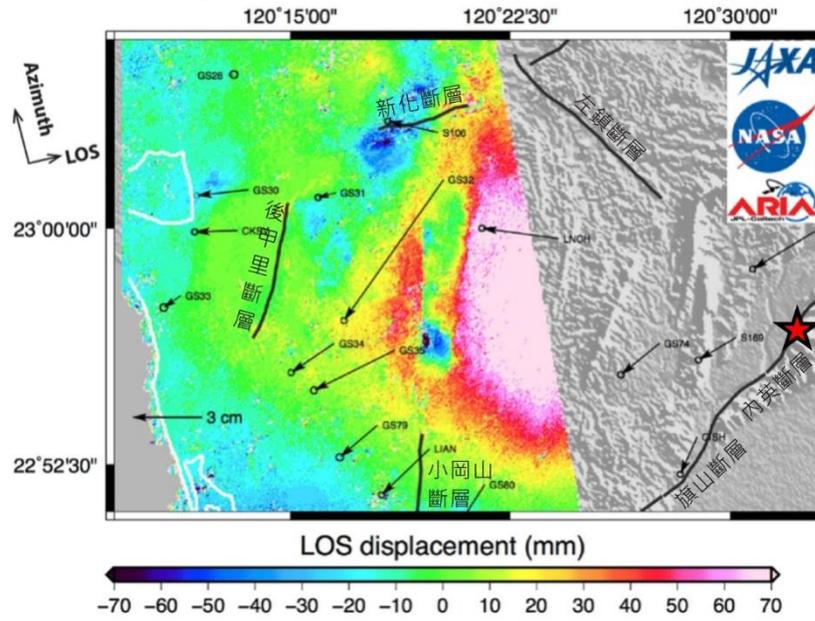
美濃地震發生後，日本宇宙航空研究開發機構（Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA）所屬衛星 ALOS-2 於 2 月 9 日飛越臺灣上空，拍攝了震後第一幅雷達影像。本研究團隊即使用合成孔徑雷達干涉技術，將此影像與 2015 年 12 月 29 日該衛星飛越臺灣上空時所拍攝之影像進行運算，得到了同震地表視衛星方向變形圖（圖 3-5.1）。此幅 ALOS-2 衛星影像是於衛星升軌飛行（由南往北飛）時所拍攝，由於雷達影像為側視拍攝之緣故，因此所得到之變化量為地表於兩張影像拍攝時間內之相對衛星的斜距變形，以此升軌影像為例，變形量的值代表美濃地震同震時，地表向西南方向之位移分量。除

了 ALOS-2 衛星之外，歐洲太空總署(European Space Agency, ESA)所屬衛星 Sentinel-1A 亦於 2 月 14 日飛越臺灣上空，拍攝了另一幅升軌衛星影像，本研究團隊亦將此影像與該衛星於 2016 年 2 月 2 日時拍攝之升軌影像進行運算，得到了另一張同震地表視衛星方向位移圖(圖 3-5.1)。

由此二衛星拍攝之影像計算之同震地表視衛星方向變形圖，可以明顯看出同震位移較大的地方並不是震央所在之處，主要的位移均分布於左鎮斷層西南、新化斷層東南、後甲里斷層以東、以及旗山斷層西北之區域內。此變形模式顯示出一走向北北東—南南西之長橢圓形，顯示主要地表同震變形之構造約略位在此範圍之內，另外特別值得注意的是，本區與古亭坑層之地表出露位置大致相同。在此主要變形區域之西側，兩種衛星影像計算之成果均顯示關廟一帶有約略下沉之趨勢。在關廟東西兩側均有明顯之位移不連續，西側之不連續與地質剖面中的關廟向斜軸位置完全相符，暗示此軸部並沒有明顯的同震抬升，另外，關廟東側的位移不連續則可能代表關廟向斜軸本身的應變調整，以致於在同震時發生了些微的變形集中。

對比同震 GPS 位移場與視衛星方向變形場，可以得知震央以東的同震垂直位移是以沉降為主，而新化斷層西南緣之遠離視衛星方向值，代表的是該區於同震時約略向東位移，並非下沉。後甲里斷層之東西兩側於地震發生時並沒有明顯的位移差，代表此斷層於此次地震並沒有被觸發位移。同樣的，其他在本區之活動斷層如左鎮斷層、小岡山斷層、以及旗山斷層等，都沒有在此次地震產生明顯之位移。因此，從同震地表視衛星方向變形觀點，觀察的結果顯示此次地震主要之地表變形並非受控於目前已知之活動斷層，而是分布於在古亭坑層內。

ALOS-2 升軌影像 (2015/12/29 - 2016/02/09)



Sentinel-1A 升軌影像 (2016/02/02 - 2016/02/14)

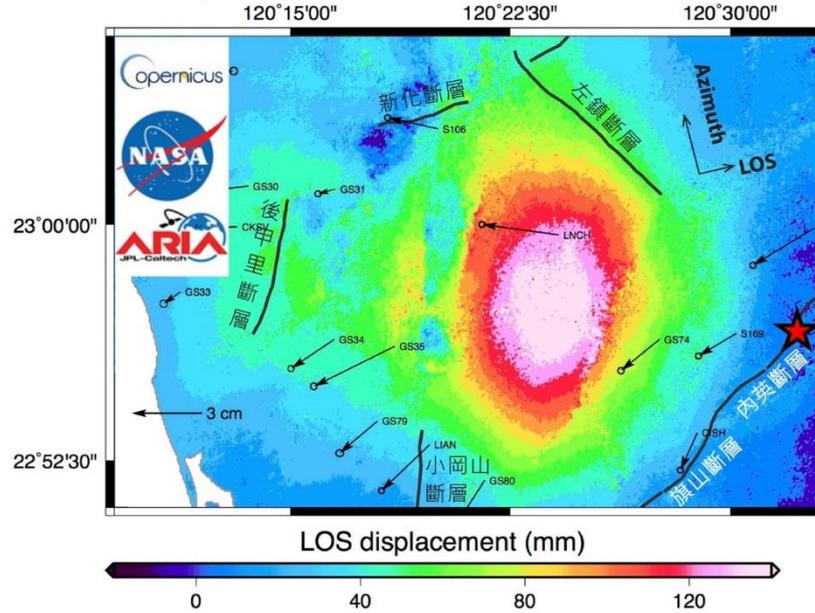


圖 3-5.1 美濃地震同震地表視衛星方向變形場。

3-6 利用永久散射體雷達干涉法測得之臺灣西南部間震期視衛星方向位移速率

3-6-1 地表視衛星方向變形速率場

美濃地震前，本團隊利用永久散射體雷達干涉法分析三個不同的衛星所拍攝的影像，分別為 ESA 的 ERS 衛星、ESA 的 ENVISAT 衛星、以及 JAXA 的 ALOS 衛星。此技術與先前介紹之合成孔徑雷達干涉法最大的不同，為此法可計算各地之視衛星方向位移速率，而非位移量值。因此，此資料可與 GPS 或是精密水準測量得到之地殼變形速率作一對比，本研究亦將影像附近之 GPS 連續追蹤站的同時段位移速率向量投影至視衛星方向，並以圓圈符號標出，以資對比利用衛星影像得到之視衛星方向變形速率。以下三個位移速率場均以里港站作為基準點校正，將其投影至視衛星方向速率假設為 0，並將所有點速率平移，使距離里港站 1km 內的 PS 點之視衛星位移速率平均值同為 0 mm/yr。

計算 ERS 衛星影像後，得到本區於 1995 年 4 月至 1999 年 9 月集集地震前的地表視衛星方向變形速率場，如圖 3-6-1.1 所示。資料顯示，高雄市區以北除了北緯 23.2° - 23.4° 間的沿海平原（約略為臺南市新營區一帶）為不動至些許沉降之外，大多為抬升。此外，臺南臺地東西兩側有明顯的位移差，代表臺南臺地東側的後甲里斷層於此時期並沒有明顯的鎖定，斷層西側的位移量大於東側。另外，龍船斷層的西側（下盤）之位移速率亦較上盤為高，與其他震前及同震資料相似。

計算 ENVISAT 衛星影像後，得到本區於 2004 年 6 月至 2008 年 9 月的地表視衛星方向變形速率場，如圖 3-6-1.2 所示。資料顯示，高雄市區以北仍有較高的抬升速率，然而相對於新營區一帶的位移，則沒有 ERS 衛星影像中差異的大。此位移場中的臺南臺地東西兩側均為高抬升量，並沒有明顯的位移差，暗示後甲里斷層在此時可能處在一較鎖定的狀態，以至於上下盤均有著等量的位移。龍船斷層的上下兩盤在此位移場中亦呈現下盤位移高於上盤的現象，代表此斷層附近之變形模式依然維持不變。

計算 ALOS 衛星影像後，得到本區於 2007 年 1 月至 2011 年 3 月的地表視衛星方向變形速率場，如圖 3-6-1.3 所示。本速率場與先前兩個速率場最大的不同，是高雄市區以北均為不動或是往下沉降，僅剩龍船斷層下盤，以及龍船斷層與旗山斷層間有明顯的抬升。由此三個時期的視衛星方向位移速率可以推測，本區自 1995 年以來變形速率逐

漸趨緩，暗示本區可能於 2007-2008 年間開始累積應變能，並於此次美濃地震中釋放。

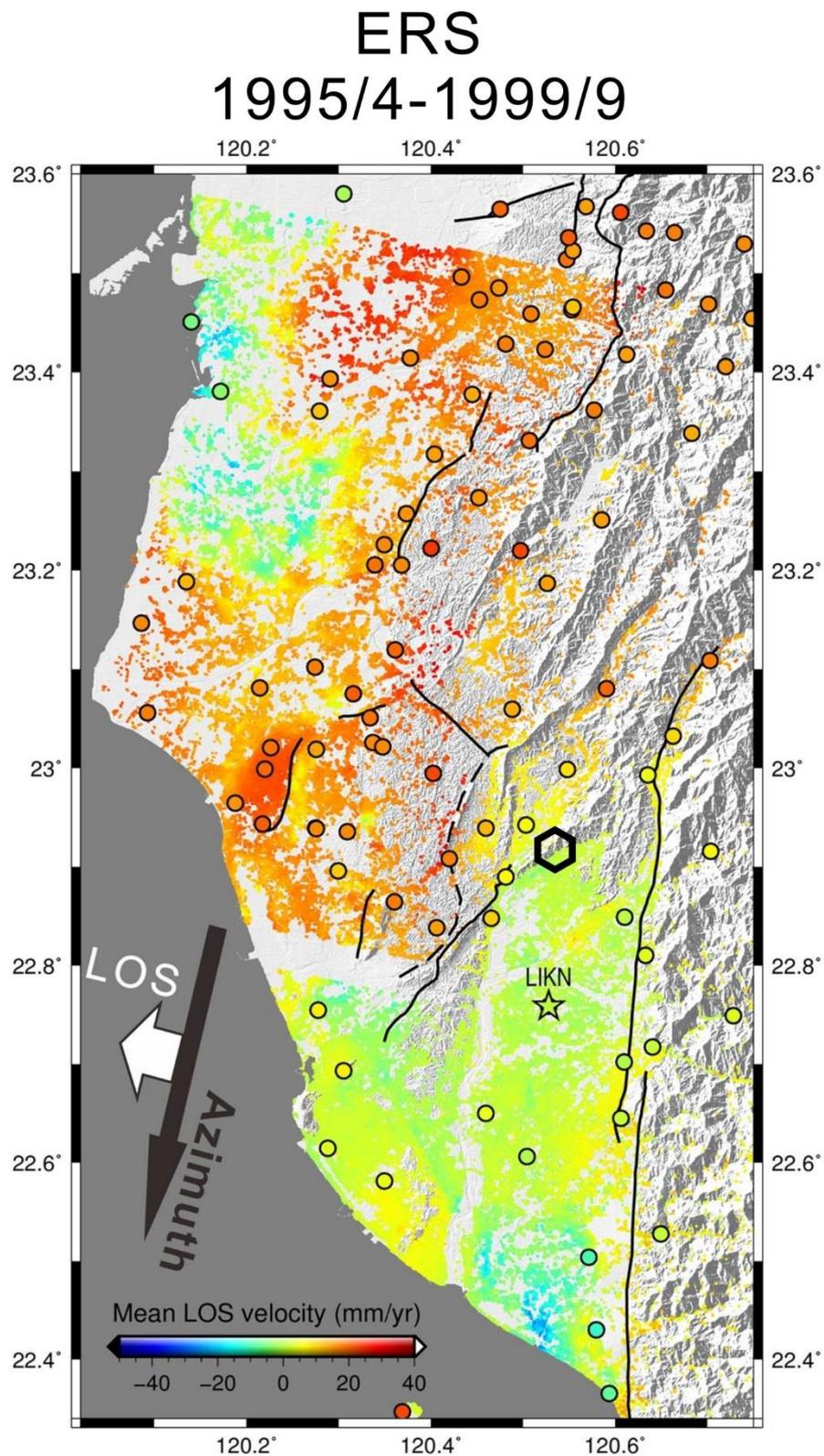


圖 3-6-1.1 ERS 衛星測得之地表視衛星方向變形速率場。

ENVISAT 2004/6-2008/9

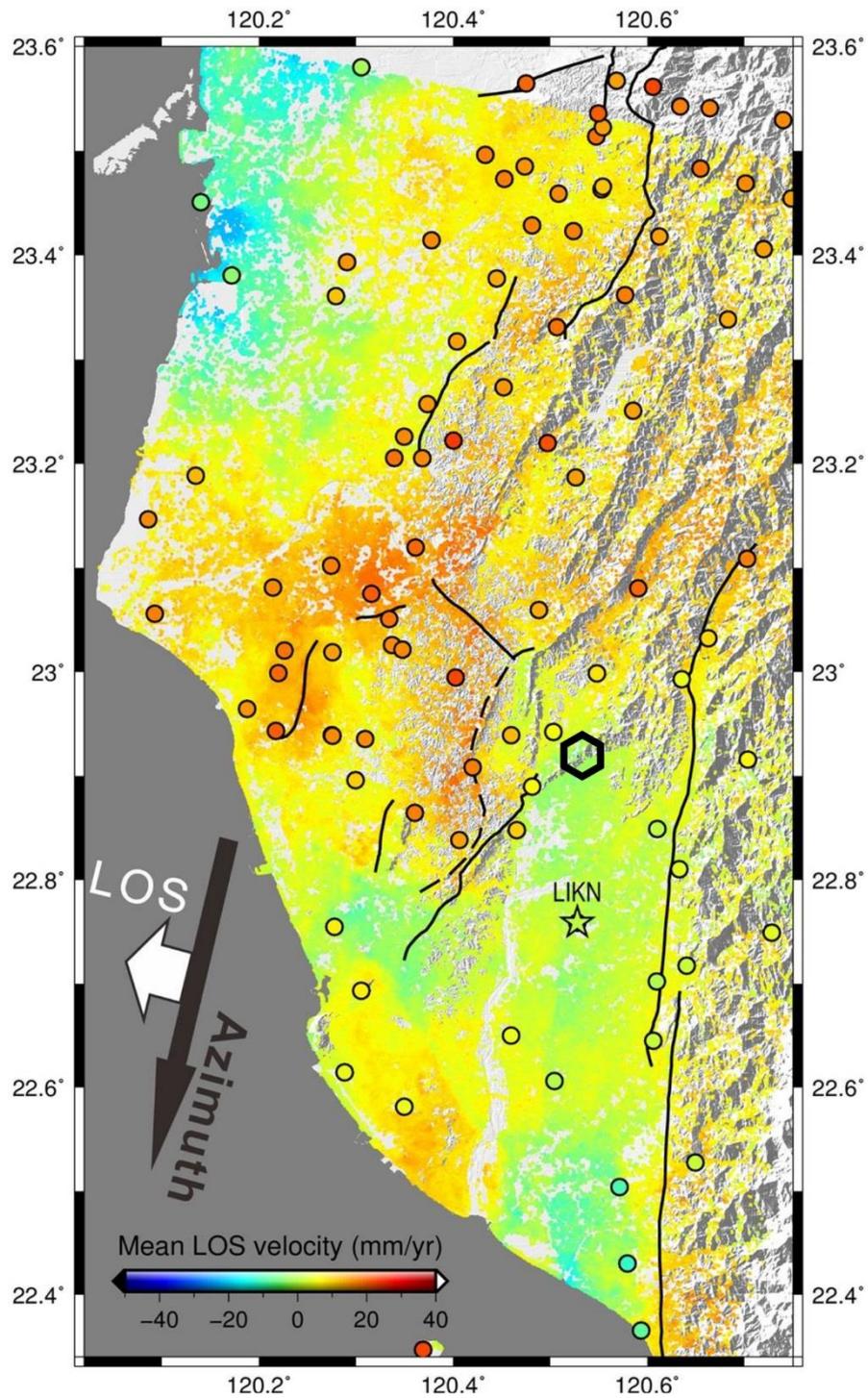


圖 3-6-1.2 ENVISAT 衛星測得之地表視衛星方向變形速率場。

ALOS 2007/1-2011/3

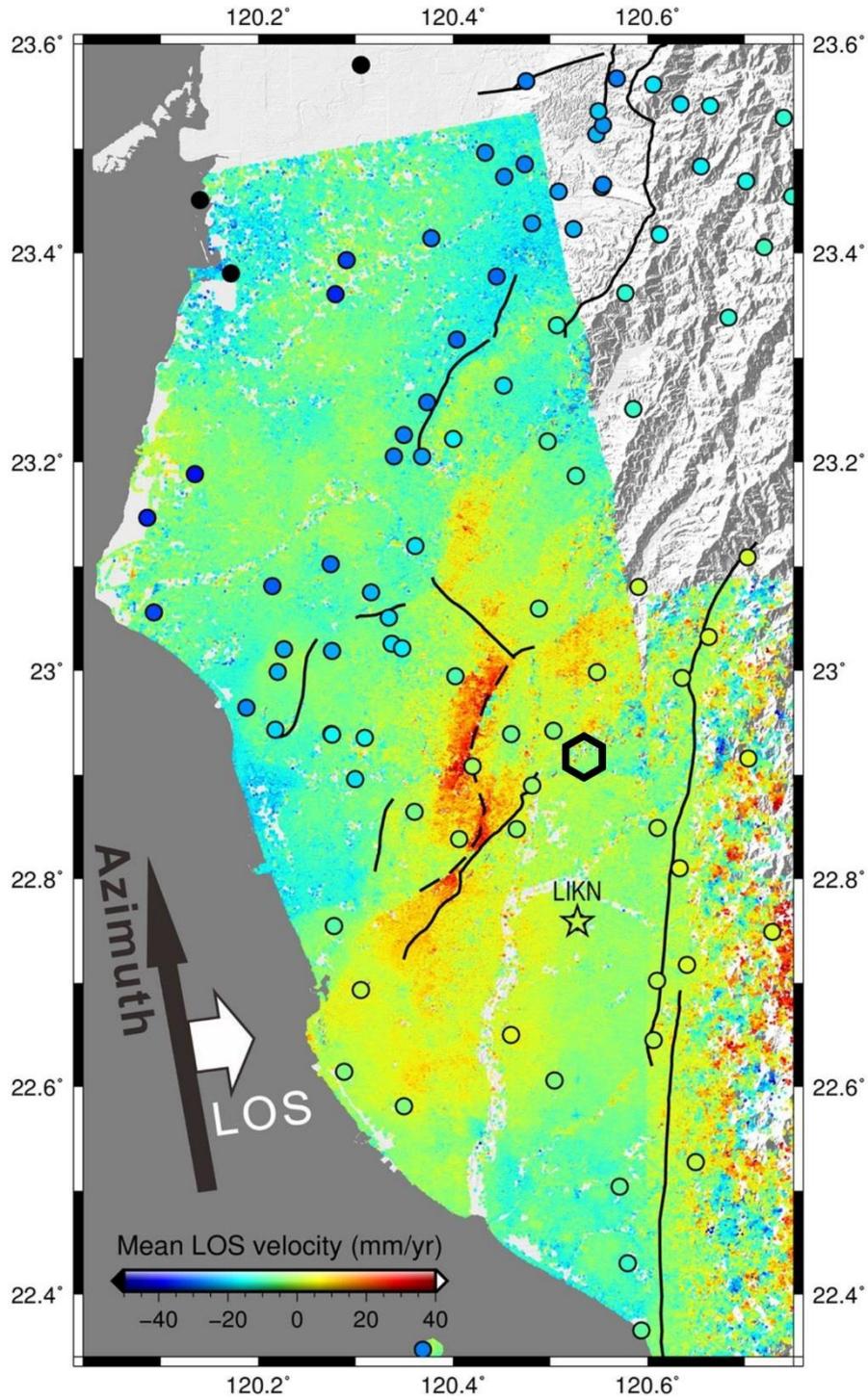


圖 3-6-1.3 ALOS 衛星測得之地表視衛星方向變形速率場。

3-6-2 地表視衛星方向變形速率剖面與精密水準測量剖面比較

由於永久散射體雷達干涉法可得到特定區域地表視衛星方向變形速率，因此，本團隊亦將水準測線測得之垂直抬升速率與衛星影像求得之視衛星方向變形速率作比對。雖然視衛星方向並非垂直於地表，然而因為視衛星變形方向中，垂直分向較水平分量占更多比例，因此變形趨勢仍可與精密水準測量得到之垂直抬升速率進行比對。以下即針對龍船斷層進行北、中、與南三條整合視衛星方向變形速率與精密水準測量剖面進行比較。

位在龍船斷層北段的剖面涵蓋了大部分的市道 182 線精密水準測線，本剖面長度 25 km、半寬 2.5 km、剖面走向 105° （圖 3-6-2.1）。三種時期的地表視衛星方向變形速率結果都顯示出龍船斷層跨斷層有明顯的變形不連續，在 ERS 及 ENVISAT 衛星飛行期間（1995-2008），其視衛星方向變型速率差約為 10-20 mm/yr；在 ALOS 衛星飛行期間（2007-2011），其跨斷層視衛星方向速率差約為 30 mm/yr，就資料之時間點而言，本資料應包含了部分的甲仙地震同震變形。

位在龍船斷層中段的剖面涵蓋了臺 28 線精密水準測線的東段，剖面長度 20 km、半寬 2.5 km、剖面走向 90° （圖 3-6-2.2）。地表視衛星方向變形速率顯示，本段之跨龍船斷層變形速率差較北段不明顯，在 ERS 及 ENVISAT 衛星飛行期間（1995-2008）約為 5-10 mm/yr；在 ALOS 衛星飛行期間（2007-2011）約可達到 20 mm/yr。垂直速度場顯示一近乎對稱之穹頂形貌，對稱中心位在龍船斷層下盤，最大垂直速度場約為 15 mm/yr。與第一條剖面類似的是，三種衛星影像計算出的視衛星方向變形，在龍船斷層上盤約一公里處達到最高變形速率，往東則開始降低。

位在龍船斷層南段的剖面則位於國道 3 號田寮 3 號高架橋與中寮隧道一帶，該段高速公路自 2000 年 2 月通車後，受到地殼變形而導致田寮 3 號高架橋北端 A1 橋臺產生橫向裂縫，且中寮隧道北口之路面以及側壁均產生裂縫導致不平整（圖 3-6-2.3），因此於 2011-2013 年間沿高速公路進行精密水準測量監測。本剖面長度 4 km、半寬 2.5 km、剖面走向 115° （圖 3-6-2.3）。地表視衛星方向變形速率顯示，在 ERS 及 ENVISAT 衛星飛行期間（1995-2008），龍船斷層下盤有較高之變形速率，跨斷層速率差約為 5 mm/yr，而跨旗山斷層則無明顯之速率差。在 ALOS 衛星飛行期間（2007-2011），龍船斷層下盤亦有較高之變形速率，跨斷層速率差約為 10 mm/yr，且跨越旗山斷層時，旗山斷層上盤亦有比下盤高出約 5-10 mm/yr 之速率差。然而，精密水準測量所得到的垂直速度場（2011-2013）則顯示，龍船斷層上盤的點位由約 20 mm/yr 向東漸增，至旗山斷層時達

約 80 mm/yr，有近 60 mm/yr 的抬升量，而跨越旗山斷層時，位移立刻降至 0 mm/yr 上下，因此中寮隧道北口內之破壞，即可能與此變形量有關。

由於龍船斷層南段剖面內三時期之變形速率均指出本段位處龍船斷層與旗山斷層間之斷塊（龍船斷層上盤、旗山斷層下盤）具有較大之變形速率，但對比龍船斷層北段與中段剖面，具有較大抬升位移量之區域均位於龍船斷層下盤。此現象與利用雷達衛星影像所觀察到之同震地表視衛星方向位移類似（圖 3-6-1.1）。

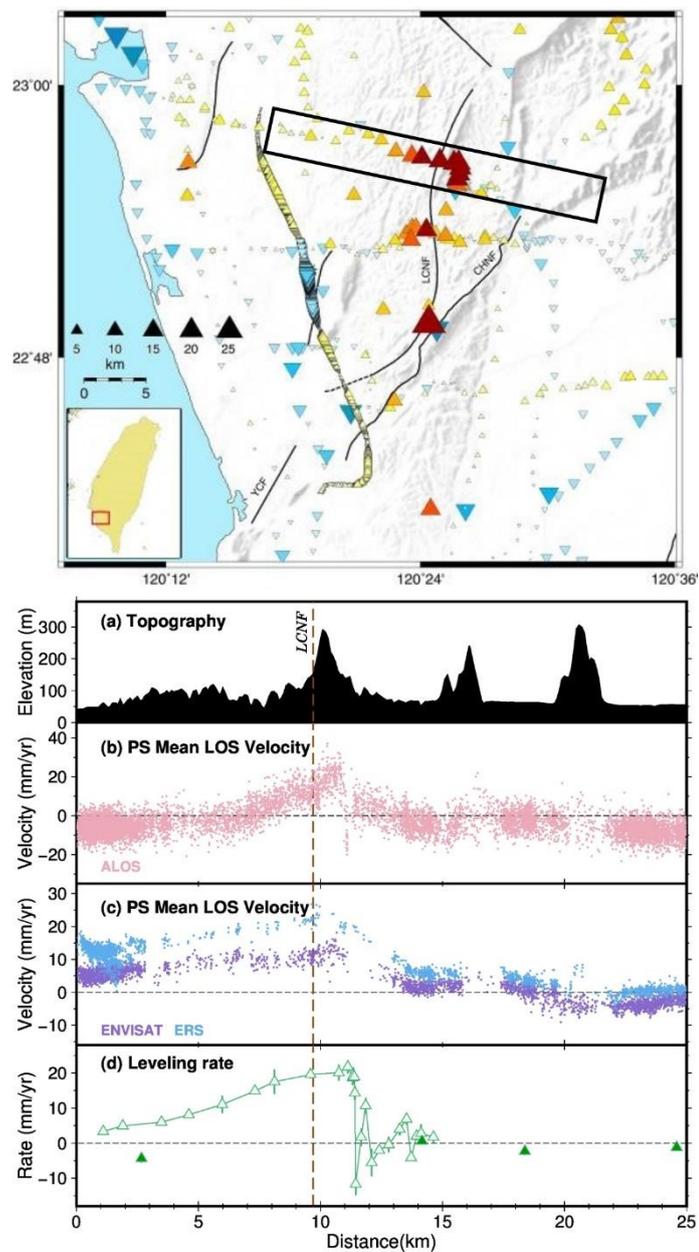


圖 3-6-2.1 龍船斷層北段地表變形速率剖面。

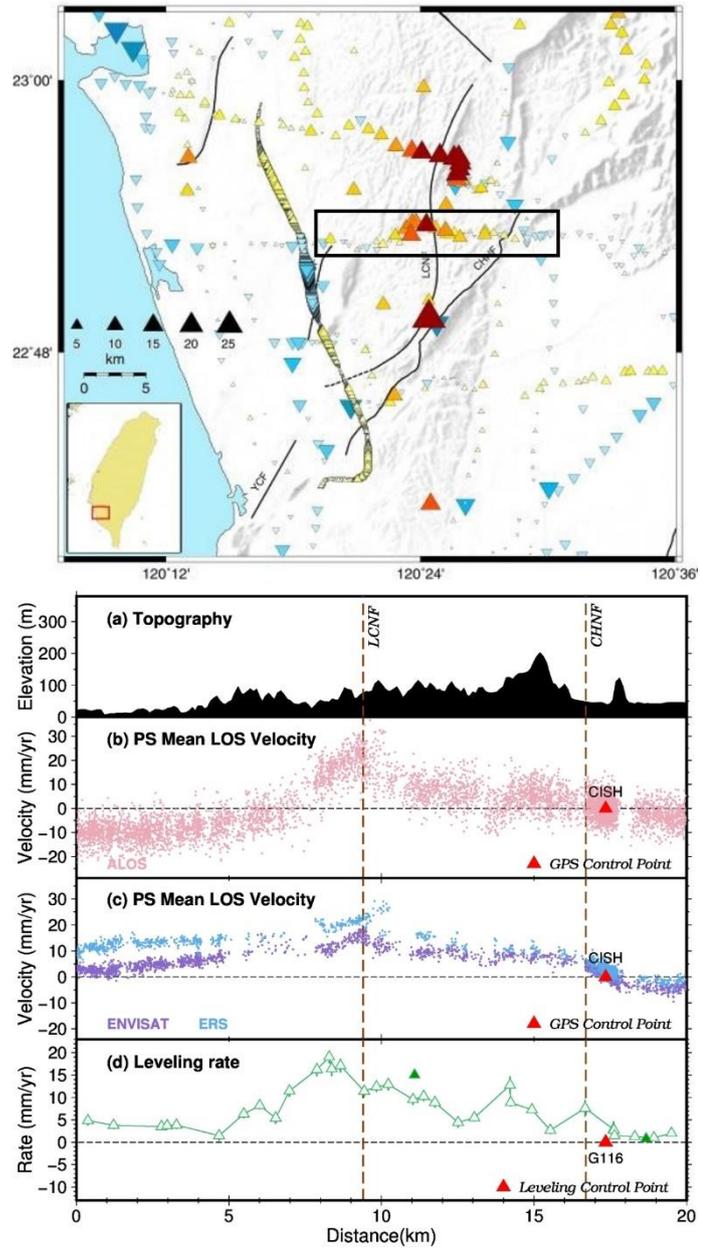


圖 3-6-2.2 龍船斷層中段地表變形速率剖面。

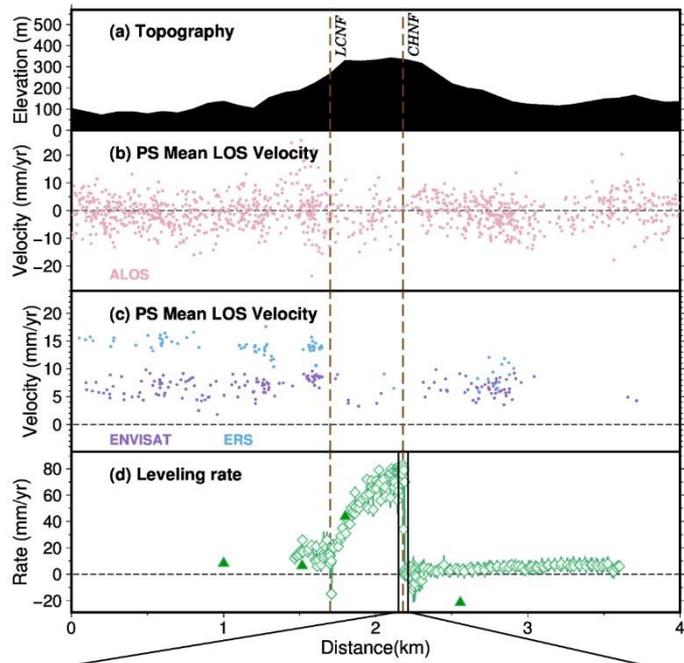
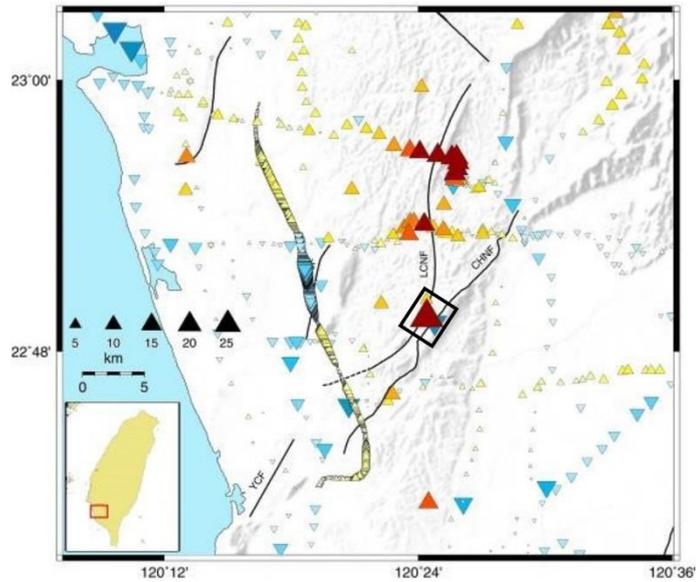


圖 3-6-2.3 龍船斷層南段地表變形剖面與中寮隧道內照片。

3-6-3 小結

本團隊彙整由 GPS、精密水準測量、與雷達影像取得之地表視衛星方向變形探討本區地表變形特性。其觀測結果顯示，由 GPS 測得之地表同震變形顯示，震央東部之同震垂直位移為沉陷，而震央西部主要為抬升。此外，同震水平位移則顯示，震央以南及龍船斷層以東之位移方向以西南為主，而龍船斷層以西、震央以北之區域內，同震位移方向則以西向為主。

水平位移最大在龍崎國小（點號：G359），約 7.3 公分，水平位移較大區域位於震央西側至西北側距離約 20-25 公里地區。同震位移量大致以該區域為中心，向南、西、北方向遞減；位移方向則為向西略偏南方向分布（圖 3-4.1-圖 3-4.2）。

垂直位移最大在龍船國小（點號：G364），抬升約 12.2 公分，抬升區域集中在震央西側，左鎮斷層、新化斷層以南至旗山斷層、小崗山斷層以北地區，與水平位移較大區域相近，顯示此區域變形相當劇烈，實際空間上的整體位移量已達 14 公分左右（圖 3-4.3-圖 3-4.4），由於這個區域存在較深厚的泥岩，地震能量在此區得以地表變形方式轉化呈現，是此區域變形劇烈的主因。

（陳建良、許晉璋、林依蓉、景國恩）

肆、井下應變儀及地球化學觀測資料分析

4-1 井下應變儀資料分析

4-1-1 分析結果

2016/02/06 美濃地震規模 6.6，位置大約在旗山斷層東北延伸處，據 Dobrovolsky et al. (1979) 之研究，在大地應力作用下，即將發生地震的震源區會形成一個震前岩石變形破裂帶，其應變半徑其應變半徑 (D) 與地震規模的關係為：

$$D = 10^{0.43M_L} \text{ km}$$

由此估算，規模 $M_L = 6$ 的地震，其應變半徑約 380 公里，而井下應變儀測各測網嘉義、新竹與臺北與此次地震的距離分別為 64 公里、205 公里與 248 公里，小於 380 公里，理論上有機會反映出地震前兆 (圖 4-1.1)。

圖 4-1.2 為檢視 3 個測網在地震前 3 個月的應變資料，離地震最近的嘉義測網達邦站 (DARB) 在 2016 年 1 月之後有明顯的應變率變化發生，去年 11 月與 12 月的應變率幾乎沒有甚麼明顯變化。但整個 1 月期間，有明顯的降雨，比較明顯的應變率變化與降雨紀錄能比對，地震前 10 天除了與降雨相關的應變變化相對明顯之外，並沒有發現特別的應變異常訊號，而在地震發生時有明顯的同震反應。

中部新竹網的梅花站 (PFMT) 的平面應變在這段期間似乎沒有受到降雨影響，應變率相當一致，但 2016/1/19 左右突然明顯的轉為相對壓縮的應變，而剪應變的趨勢在 2016/1/1 左右也有明顯的應變率變化，這兩個應變異常皆無法由降雨或地下水文資料所解釋，很可能是 0206 美濃地震的地震前兆訊號，但由於梅花站儀器故障，資料只到地震前 10 天左右，無法進一步了解地震前 10 天內的測站應變反應。過去的研究顯示，2014 年 12 月至 2015 年 11 月期間，針對規模 5 以上的地震，應變異常事件較明顯的有 7 個事件當中，嘉義網記錄到 3 個，臺北網記錄到 4 個，而新竹網能夠顯示到 6 個異常事件，顯示新竹網對於地震的前兆訊號相對靈敏。

北部臺北網的錦和站 (JING) 的應變率相當穩定，沒有甚麼太大的變化，比較明顯的變化可以比對到 2016 年初開始下雨的時間，有兩次應變率改變的時間大約在 2016/1/5 與 2016/1/22，這兩個時間點都是有明顯降雨，但，目前缺乏地下水資料比對分析，無法判斷是否有地震前兆訊號。本所後續將補充收集地下水資料進行比對，以研判是否有

地震前兆訊號。

4-1-2 小結

離地震最近的嘉義測網達邦站 (DARB) 在 2016 年 1 月之後有明顯的應變率變化發生，中部新竹網的梅花站 (PFMT)，2016/1/19 左右突然明顯的轉為相對壓縮的應變，而剪應變的趨勢在 2016/1/1 左右也有明顯的應變率變化，很可能是 0206 美濃地震的地震前兆訊號，由過去的資料顯示，新竹網對於地震的前兆訊號相對靈敏。

北部臺北網的錦和站 (JING) 的應變率相當穩定，有兩次應變率改變的時間大約在 2016/1/5 與 2016/1/22，但目前缺乏地下水資料比對分析，無法判斷是否有地震前兆訊號。

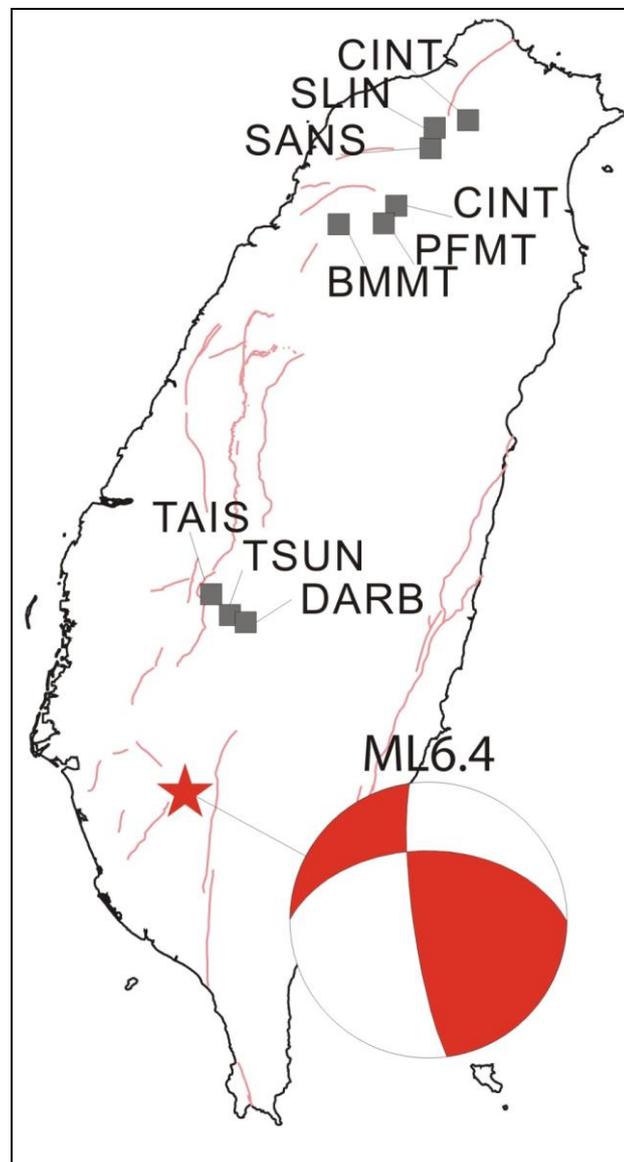


圖 4-1.1 2016/02/06 美濃地震震源機制解與井下應變儀測站位置圖。

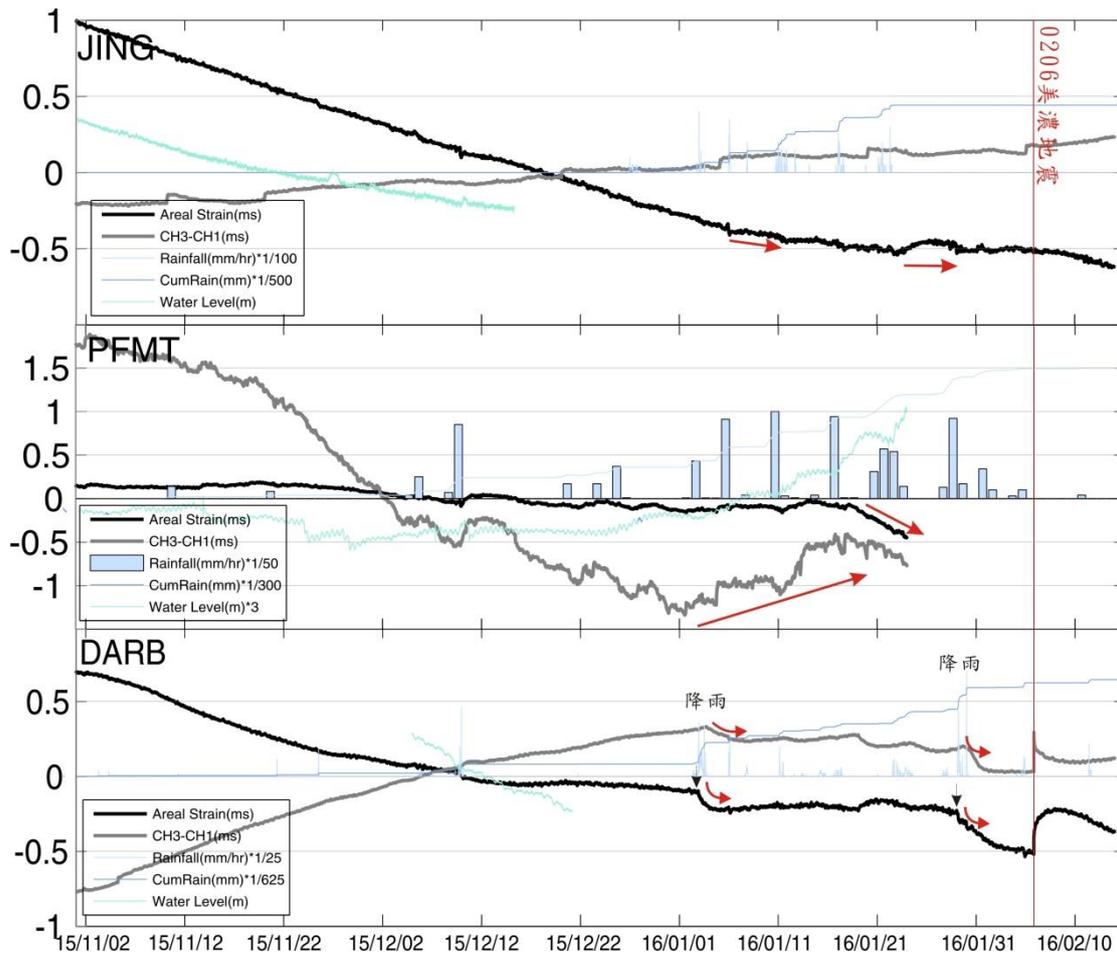


圖 4-1.2 2015/02/06 美濃地震前 3 個月井下應變儀資料。淺藍色線為降雨與累積雨量；淺綠色為地下水水位資料；黑色與灰色分別為平面應變與剪切應變。

4-2 地球化學觀測與研究

4-2-1 前言

選擇位於斷層帶附近的適當位置，設置氣體與水氬地球化學與水位遠端傳輸觀測站，配合鄰近地區之地殼活動觀測資料，將有助於吾人瞭解該地區之斷層、地震活動與觀測結果之關聯，並進一步觀測其活動可能之前兆訊息與可能機制。圖 4-2-1.1 為地球化學與水位觀測站的分佈情形，根據過去的觀測結果我們可經由地震活動所造成的異常變化而初步劃分出各觀測站的異常反應範圍，當各測站的反應區間出現交集處，則地震可能將發生在這個區域。例如：當北部的大平地觀測站出現異常且嘉義的中崙測站也出現異常變化時，此時兩個測站的反應區間交集處則可能為地震即將發生的位置；如果東部的池上觀測站也出現異常變化，那則可更提高準確度，如圖 4-2-1.2 所示。

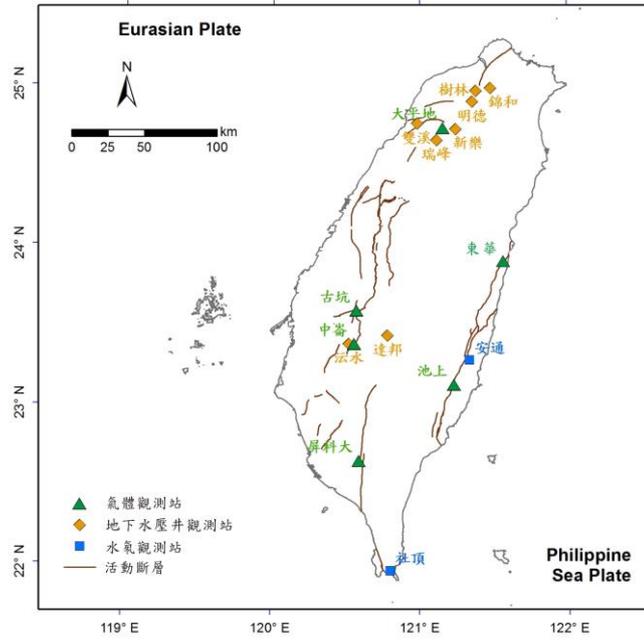


圖 4-2-1.1 既有觀測站的分佈位置。

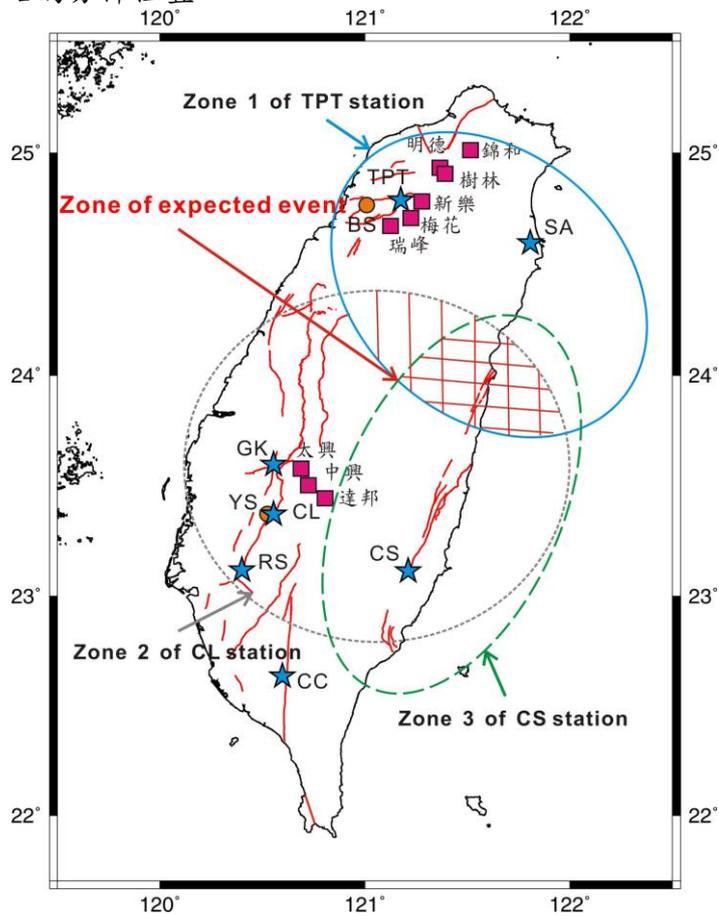


圖 4-2-1.2 地球化學觀測站的地震反應區間示意圖，藍圈、灰圈和綠圈分別代表大平地測站、中崙測站和池上測站的可能地震反應區間範圍，其交集處代表地震可能發生的地點。

4-2-2 地球化學觀測結果

過去，各觀測站所定義的異常可能過於主觀認定或因邊界效應的緣故而造成異常的誤判，故有時會存在認定之異常標準的問題。本研究分別利用疊代式高斯平滑法 (Iterative Gaussian Smoothing) 和 14 天的滾動平均值 (Rolling Average)，兩方法相減後將數值標準化 (Normalize)，而大於各測站所訂定之標準差門檻則為異常。

圖 4-2-2.1 到圖 4-2-2.5 為各土壤氣觀測站 2016 年 1 月 1 日至 2016 年 2 月 14 日的觀測結果，各觀測圖由上到下分別為：土壤氬氣原始值、疊代式高斯平滑法、滾動平均線、標準化結果、地震事件和時雨量。本報告主要針對 2016 年 2 月 6 日的高雄美濃地震進行討論。

圖 4-2-2.1 為大平地觀測站的結果，顯示這段時間有一段顯著異常升高區間 (如圖紅虛框所示)，於 1 月 1 日濃度開始升高至 6 日達到最高值，之後，於 1 月 11 日在花蓮外發生規模 5.3 的地震，不過標準化數值未達到 1.5 倍標準差的門檻值 (如圖藍虛框所示)，且該地震震央距離測站超過 150 公里，因此無法確認是否為該地震之前兆。於 1 月中起，本測站濃度持續呈現較低的觀測結果，發生在臺灣南部的美濃地震前後並未出現顯著的異常變化，這與過去的觀測結果相符。

圖 4-2-2.2 古坑觀測站的結果，於 1 月 23 日開始，氬氣濃度明顯增加增加並持續 3 天左右 (如圖紅虛框所示)，標準化數值超過異常門檻值 (如圖藍虛框所示)，約 14 天後發生美濃地震，可能為該地震之前兆。此外，2 月 6 日美濃地震發生後，氬氣再度出現明顯增加的趨勢，可能為後續餘震所造成，抑或為其它地震之前兆訊息，須密切注意。另外，1 月 12 日也觀察到氬氣上升的變化，可能與 1 月 19 日發生在臺東外海的地震規模 5.7 地震有關。

圖 4-2-2.3 屏東觀測站的結果顯示，於 1 月 23 日開始，氬氣和二氧化碳濃度皆大幅度增加並持續 4 天左右 (如圖紅虛框所示)，約 14 天後發生 0206 地震。其中，標準化數值超過 4 倍標準差值 (如圖藍虛框所示)，可被認為是成功的地震前兆訊號。在美濃地震發生後，氣體濃度仍處於背景值濃度範圍，可初步推測後續應無較大之地震發生，但仍須密切持續監測。

圖 4-2-2.4 則為池上觀測站的結果，主要在 1 月 26 日開始氬氣濃度開始增加 (如圖紅虛框所示)，11 天後發生了美濃地震，不過，其標準化數值並未達到 1.5 倍的異常門檻值 (如圖藍虛框所示)。

圖 4-2-2.5 嘉義中崙觀測站的結果顯示，於 1 月 23 日開始，氬氣和二氧化碳濃度皆大幅度增加並持續 3 天左右（如圖紅虛框所示），約 14 天後發生美濃地震，可能為該地震之前兆。另外，1 月 3 日和 1 月 29 日也觀察到氣體濃度的增加，可能與短時間的強降雨有關。

圖 4-2-2.6 為新竹站群對於 2 月 6 日美濃地震之水位圖，發現濾除氣壓效應後（圖中黑線所示），兩測站皆於 1 月中旬出現水位逐漸升高的趨勢，應為季節性變化。新樂於震前有三次小幅上升的波動，應為降雨所導致，而新樂站對該地震出現同震震盪反應。大坪站無顯著變化。因此，新竹站群無震前水位異常反應。

圖 4-2-2.7 為嘉義站群對於 2 月 6 日美濃地震之水位圖，顯示太興和中興兩站均無顯著變化，太興站對該地震也觀察到同震反應，水位上升約 45 公分，目前逐漸呈現水位下降的趨勢。因此，認為嘉義站群並無明顯震前水位異常。

圖 4-2-2.8 為墾丁公園社頂監測站地下水水氬濃度監測數據，在 2 月 6 日 0206 地震發生前，在社頂站觀測到地下水氬異常下降行為，地下水氬濃度由 2016 年 1 月 6 日 142.5 ± 11.8 pCi/L，在 2016 年 1 月 26 日下降至 64.3 ± 4.7 pCi/L。在震前 2016 年 2 月 4 日回升至 82.2 ± 7.3 pCi/L，這與 2010 年 3 月 4 日 $M_L = 6.4$ 高雄甲仙地震，同樣於社頂站地下水水氬有觀測到異常下降之現象相似，可能為前兆。

綜合以上觀測資料我們可歸納出，雲林古坑、嘉義中崙和屏東屏科大三座觀測站之土壤氣體成份於地震前的異常變化，可能為前兆；東部的池上站也出現明顯升高的變化，但未超過異常門檻。而這些站位皆未有顯著的同震的成份變化，代表該站位之氣體成份，受到應力擠壓於主震發生前皆已釋放完畢。此外，北部的新竹大平地站未發生顯著的土壤氣體成分變化，且南部地下水氬社頂站也出現異常下降之變化，也有助於進一步推估地震應發生在臺灣南部地區為主。

依照過去幾年來的觀測經驗，已建立了各觀測站對於地震的敏感反應區間，而美濃地震發生前，主要在土壤氣體古坑站、中崙站及屏科大站觀察到顯著的異常，因此可推斷該地震應有很大的機率會出現在這些觀測站的敏感偵測區的交集處（圖 4-2-2.9）。

綜觀在目前的觀察結果，可以發現到在某些較大的地震發生前，有兩個或兩個以上的土壤氣體觀測站或地下水壓觀測站可以發現到異常變化，尤其是規模較大的地震，其異常的前兆反應通常更是較為顯著。

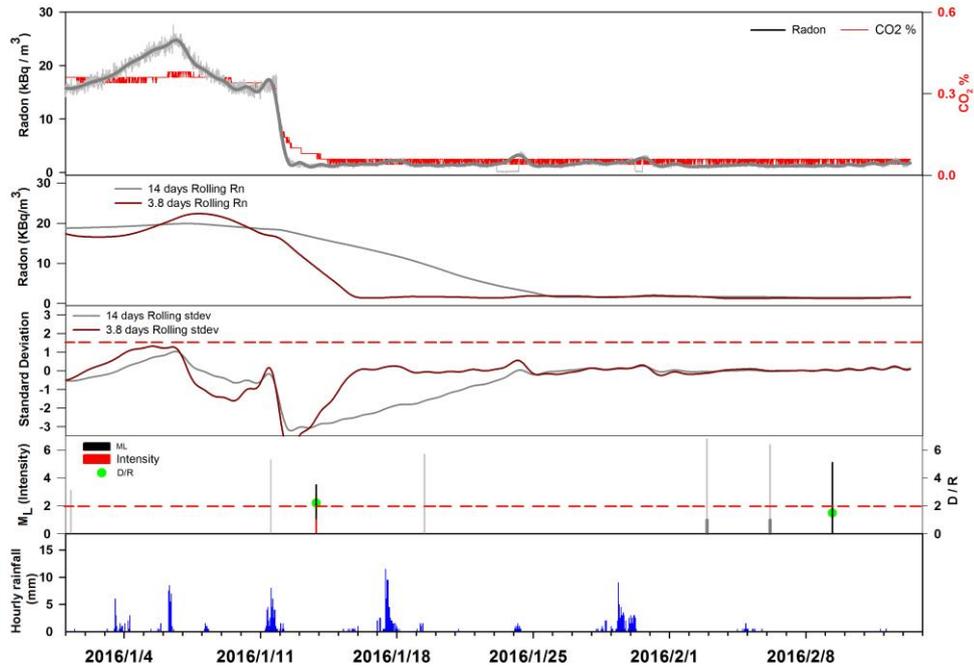


圖 4-2-2.1 新竹大平地土壤氣氡氣和二氧化碳成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、3.8天和14天滾動平均值、標準化數值（1.5個標準差來表示其異常門檻）與地震及時雨量之相關性。EQ (M_L)：地震規模； M_I ：地震震度（2016/1/1-2016/2/14）。

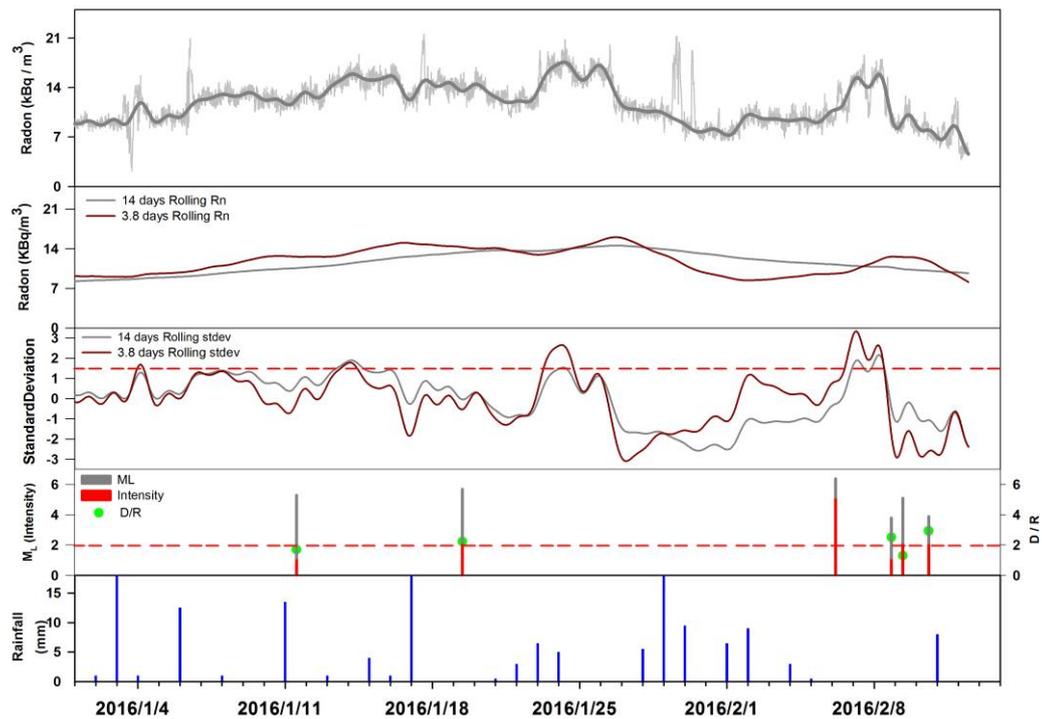


圖 4-2-2.2 雲林古坑土壤氣氡氣成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、3.8天和14天滾動平均值、標準化數值（1.5個標準差來表示其異常門檻）與地震及時雨量之相關性。EQ (M_L)：地震規模； M_I ：地震震度（2016/1/1-2016/2/14）。

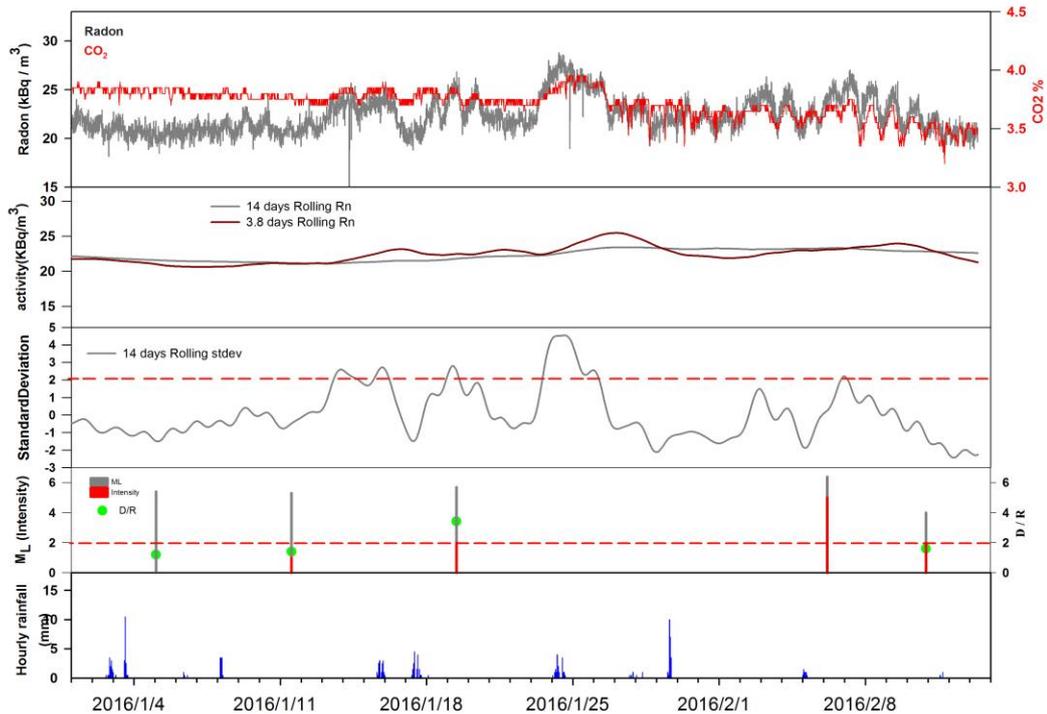


圖 4-2-2.3 屏東屏科大土壤氣氡氣和二氧化碳成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、3.8 天與 14 天滾動平均值、標準化數值（2 個標準差來表示其異常門檻）與地震及時雨量之相關性。（2016/1/1-2016/2/14）。

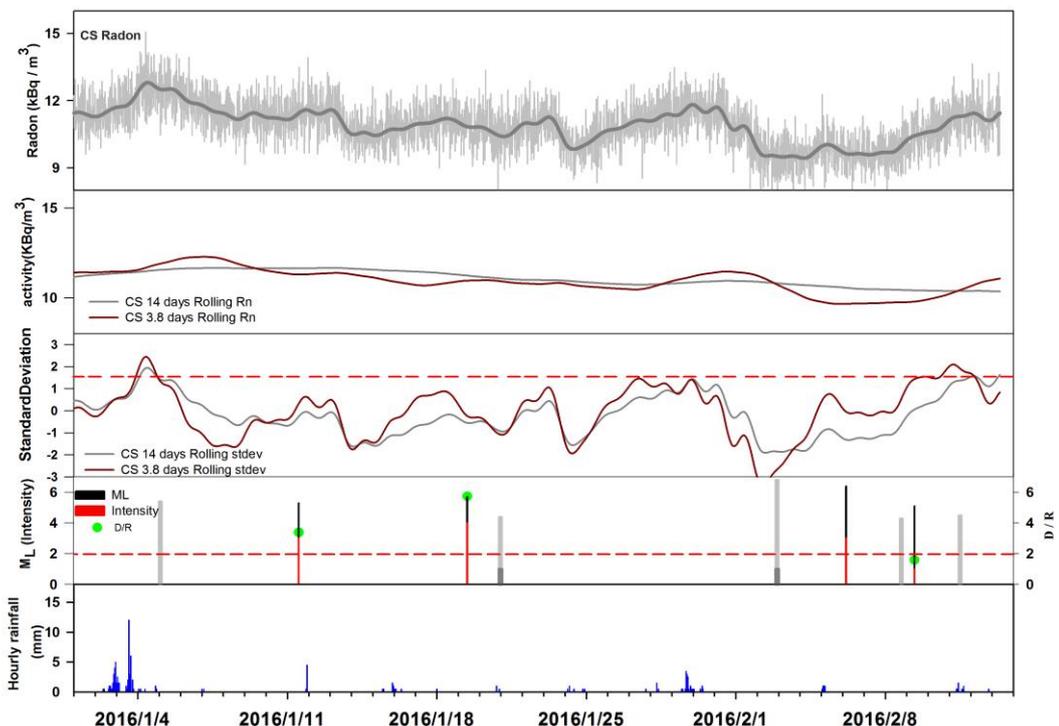


圖 4-2-2.4 臺東池上土壤氣氡氣成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、3.8 天與 14 天滾動平均值、標準化數值（1.5 個標準差來表示其異常門檻）與地震及時雨量之相關性。灰色陰影部分代表受降雨影響時段；EQ (M_L)：地震規模； M_I ：地震震度（2016/1/1-2016/2/14）。

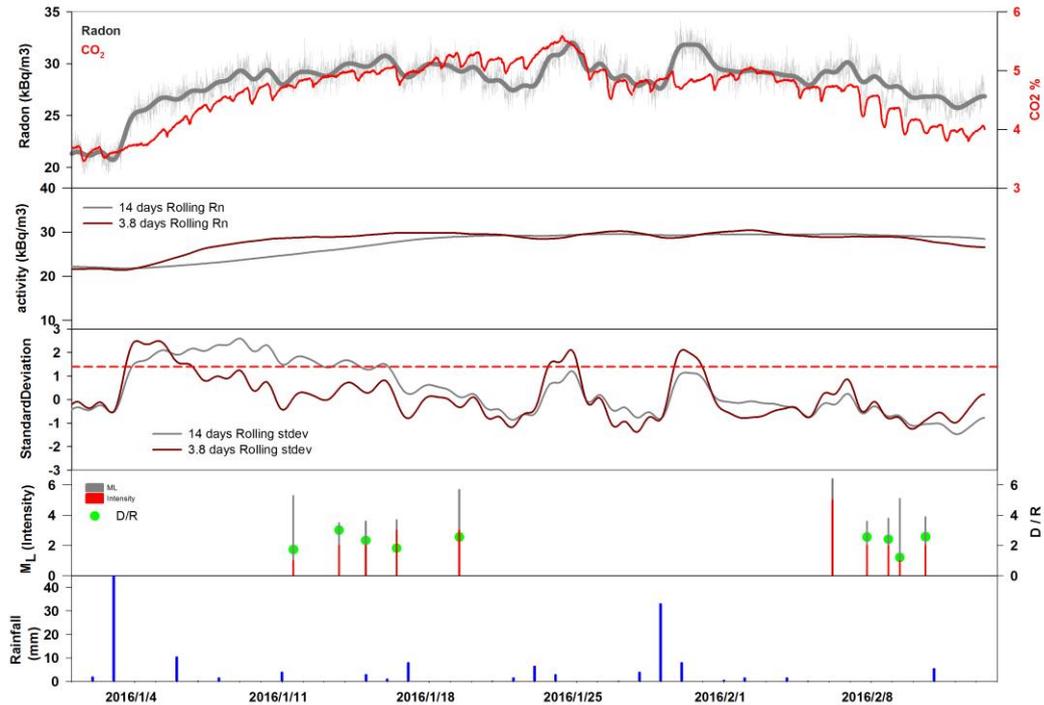


圖 4-2-2.5 嘉義中崙土壤氣氡氣和二氧化碳成份連續變化之原始數據、疊代式高斯平滑法的結果、3.8 天與 14 天滾動平均值、標準化數值（1.5 個標準差來表示其異常門檻）與地震及時雨量之相關性。灰色陰影部分代表受降雨影響時段；EQ (M_L)：地震規模； M_I ：地震震度（2016/1/1-2016/2/14）。

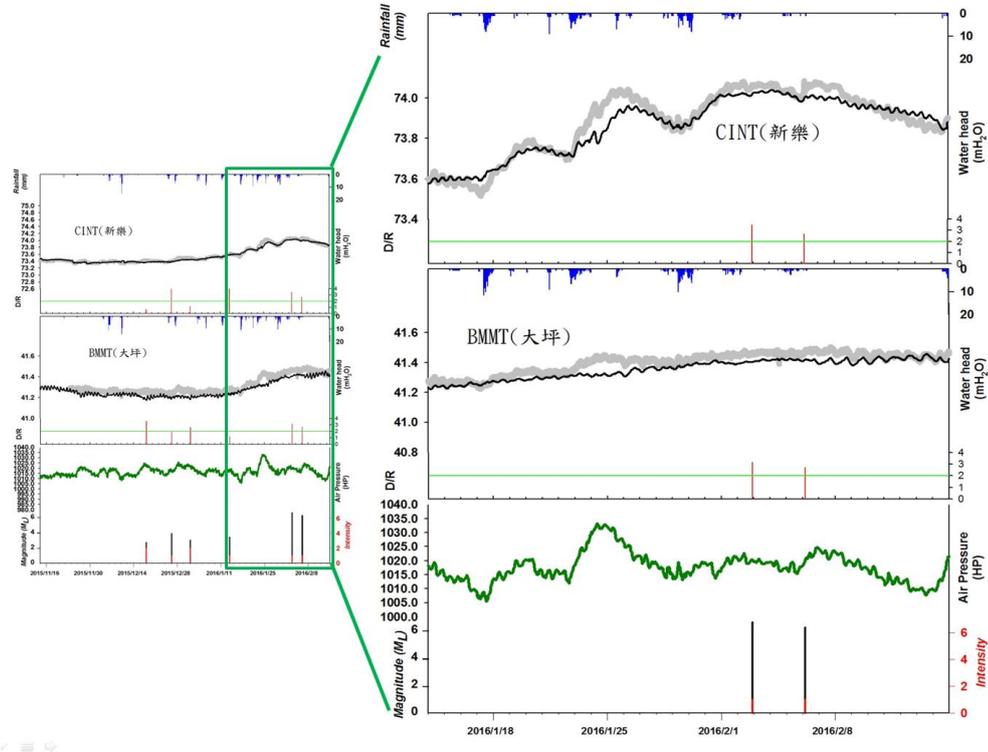


圖 4-2-2.6 新竹地區新樂和大坪觀測井水壓與降雨、大氣壓力及地震之對比圖（2016/1/14-2016/2/14）。灰線代表原始資料；黑線為去除氣壓效應之結果。

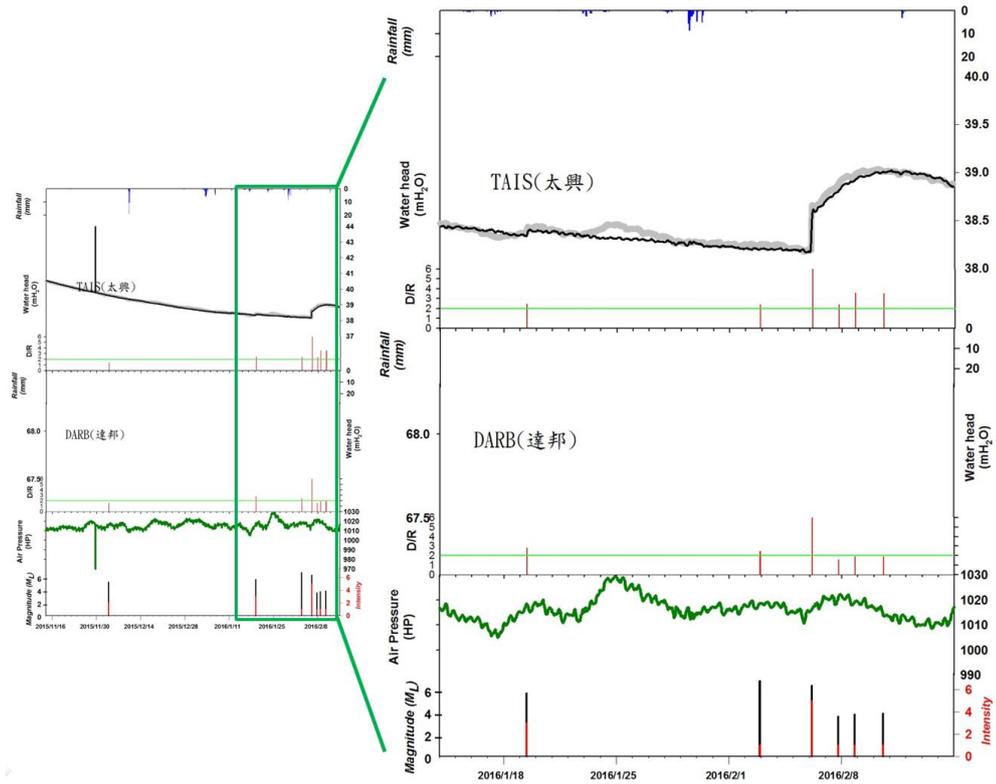


圖 4-2-2.7 嘉義地區太興和達邦觀測井水壓與降雨、大氣壓力及地震之對比圖 (2016/1/14-2016/2/14)。灰線代表原始資料；黑線為去除氣壓效應之結果。

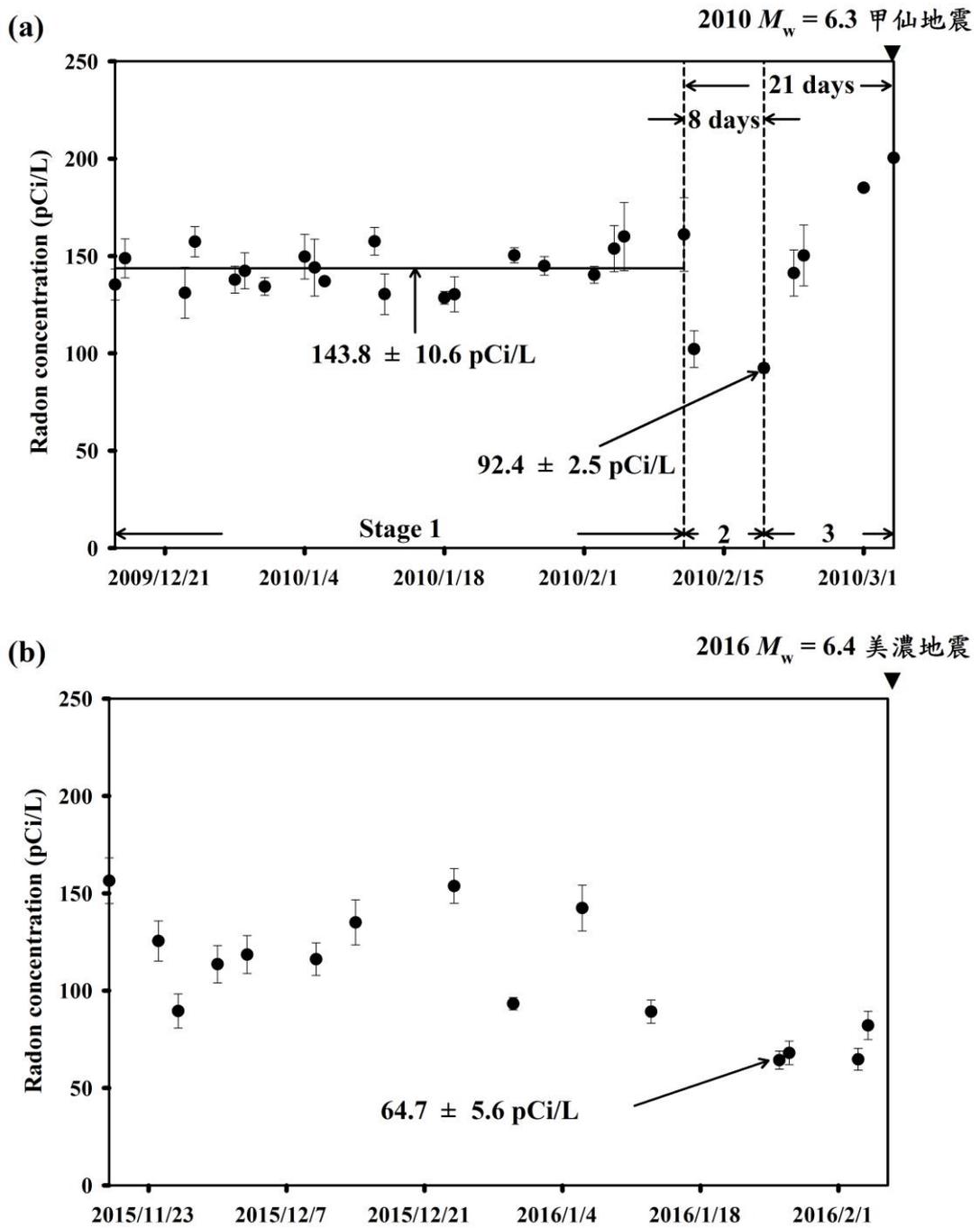


圖 4-2-2.8 社頂站地下水水氡濃度變化，(a) 甲仙地震之地下水水氡濃度異常下降之前兆變化；(b) 美濃地震之地下水水氡濃度異常下降之前兆變化。

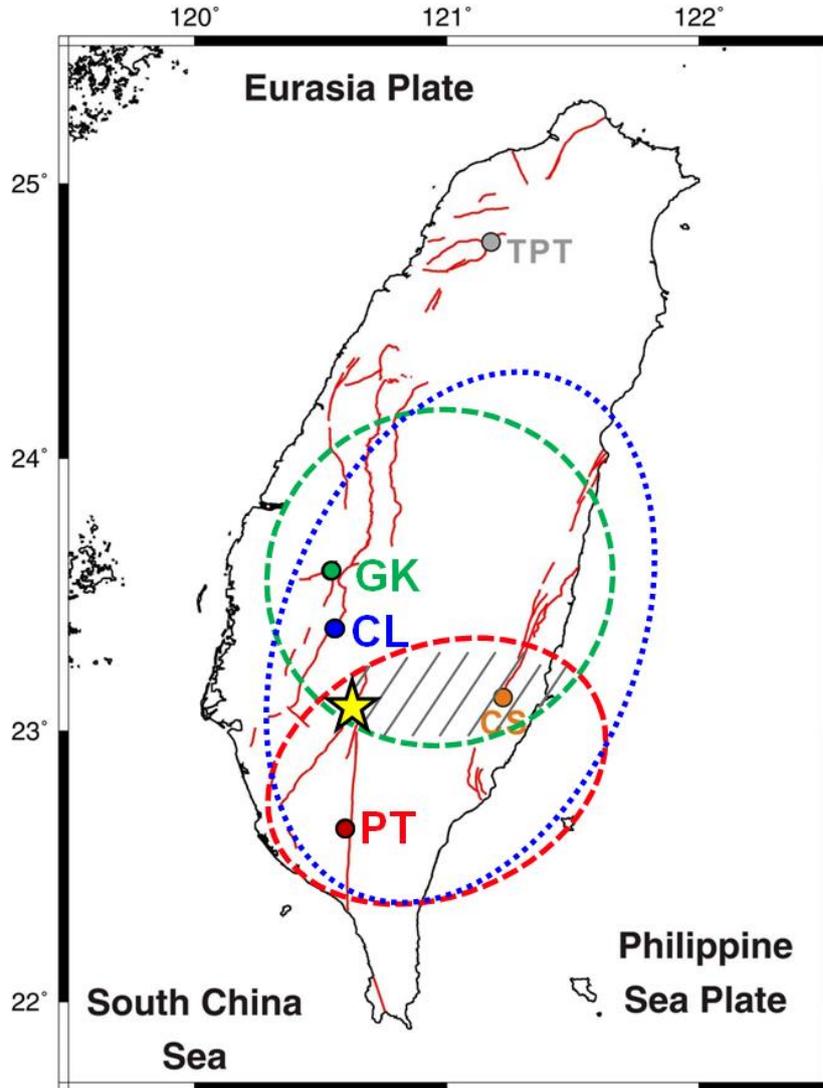


圖 4-2-2.9 地球化學觀測站的敏感偵測區間示意圖，圓圈分別代表各觀測站的敏感偵測區間範圍（綠圈:古坑測站；紅圈：屏東測站；藍圈:中崙測站），其交集處代表地震可能發生的地點。黃色星號代表 0206 高雄美濃瑞穗的震央位置。

4-2-3 小結

- (一) 此次 0206 美濃地震震央，大致上位在古坑、中崙站和屏科大觀測站的敏感偵測區之交集位置，故因此三座觀測站皆能偵測到地震前的異常變化。
- (二) 所有水位觀測站皆未出現顯著異常，新竹新樂站和嘉義太興站出現同震水位變化。
- (三) 社頂站地下水水氬濃度在 0206 地震前，觀測到地下水氬異常下降行為，可能與 0206 地震有關。

(賴慈華、陳致言、林依蓉、胡植慶)

伍、結論與建議

5-1 結論

- (一) 0206 美濃地震的發震構造係一個深度超過 10 公里，呈近東西走向，向北方傾斜的逆衝帶左移性質的發震構造，與鄰近區域已知的旗山斷層、後甲里斷層、新化斷層、左鎮斷層等地表淺部之活動斷層無關，此發震構造推測與左鎮至六龜附近之深部構造轉換帶有關。
- (二) 引發 0206 美濃地震的發震構造在深部的錯移並未直接延伸至地表，在新化、關廟、安南等地區觀察到地表的破裂與變形等現象，大多與地震當時路面、房屋或水溝等人造結構物受到震波搖動所產生的破裂，或是近地表沉積物因震波搖動而產生地不等量沉陷有關，並未有直接證據顯示係斷層錯動地表所致。
- (三) 本次地震土壤液化現象以臺南市新化區北勢里附近最為密集，主要發生於新化斷層沿線與新化斷層向西延伸鄰近塩水溪之位置，並與 2010 年 0304 地震以及 1946 年新化地震在新化斷層沿線產生的噴砂現象具重複性。
- (四) 在地表變形觀測方面，彙整由 GPS、精密水準測量與雷達影像取得之地表視衛星方向變形之觀測結果顯示，震央東部之同震垂直位移為沉陷，而震央西部主要為抬升。此外，同震水平位移則顯示，震央以南及龍船斷層以東之位移方向以西南為主，而龍船斷層以西、震央以北之區域內，同震位移方向則以西向為主。水平位移最大在龍崎國小（點號：G359），約 7.3 公分，水平位移較大區域位於震央西側至西北側距離約 20-25 公里地區。同震位移量大致以該區域為中心，向南、西、北方向遞減，位移方向則為向西略偏南方向分布。垂直位移最大在龍船國小（點號：G364），抬升約 12.2 公分，抬升區域集中在震央西側，左鎮斷層、新化斷層以南至旗山斷層、小崗山斷層以北地區，與水平位移較大區域相近，顯示此區域變形相當劇烈，實際空間上的整體位移量已達 14 公分左右，由於這個區域存在較深厚的泥岩，地震能量在此區得以地表變形方式轉化呈現，是此區域變形劇烈的主因。
- (五) 在本所地球化學觀測站紀錄方面，本次地震大致上位在古玩、中崙站和屏科大觀測站的敏感偵測區之交集位置，故此三座觀測站皆能偵測到地震前的異常變化。

- (六) 在地下水位站方面，所有地下水水位觀測站皆未出現顯著異常，新竹新樂站和嘉義太興站出現同震水位變化。但是，社頂站地下水水氣濃度在 0206 地震前，曾觀測到地下水氣異常下降，可能與地震有關。
- (七) 離地震最近的嘉義測網達邦站 (DARB) 在 2016 年 1 月之後有明顯的應變率變化發生；中部新竹網的梅花站 (PFMT)，2016/1/19 左右突然明顯的轉為相對壓縮的應變，而剪應變的趨勢在 2016/1/1 左右也有明顯的應變率變化，很可能是 0206 美濃地震的地震前兆訊號，由過去的資料顯示，新竹網對於地震的前兆訊號相對靈敏。

5-2 建議

- (一) 由於引發 0206 美濃地震的斷層並未出露地表，因此所造成的災情多數破壞係地震表面波的強烈搖動所致；雖然南部地區地震活動較少，但自 2010 年來已發生兩次規模 6 以上之強震，同時本次地震已凸顯建築物結構之問題；建議位於本區域的重要設施仍須重新檢討安全設計係數，並視需要進行補強提高耐震能力。
- (二) 針對類似深藏在地底深處的盲斷層或發震構造，應該要加強地震地質調查工作與活動斷層觀測網的觀測與分析能力，並期望能適時提出預警訊息，作為防災與應變之參據。
- (三) 地質調查所的活動斷層觀測網的觀測成果顯示，地殼不穩定性可藉由長期觀測瞭解其變動趨勢並評估其安全性；此項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全國活動斷層及地殼變動敏感地區進行長期觀測工作。

(盧詩丁、陳柏村、張卯生)

參考文獻

- 中國石油公司臺灣油礦探勘總處 (1989) 臺南地質圖 (1:100,000), 中國石油公司出版。
- 吉田要 (1932) 高雄州旗山南西部油田調查報告及旗山南西部油田地質圖 (三萬分之一)。臺灣總督府殖產局, 第 610 號, 共 162 頁。
- 何信昌、謝凱旋、高銘建、陳華玟 (2005) 新化-五萬分之一臺灣地質圖及說明書, 經濟部中央地質調查所。
- 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 (2013) 旗山-五萬分之一臺灣地質圖及說明書, 經濟部中央地質調查所。
- 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。
- 林啟文、盧詩丁、石同生、劉彥求、林偉雄、林燕慧 (2007) 臺灣西南部的活動斷層—二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊第十七號, 共 141 頁。
- 原振維、黃旭燦、周定芳、吳榮章、盧東郎 (1987), 臺灣南部高壓層之地質研究, 中國石油股份有限公司探採研究彙報, 第 10 期, 第 1-27 頁。
- 耿文溥 (1967) 臺灣南部甲仙及旗山間之地質。臺灣省地質調查所彙刊, 第 19 號, 第 1-13 頁。
- 張建興 (2016) 美濃地震震源機制與餘震活動。0206ML 6.4 高雄美濃地震學術研討會簡報資料。
- 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。
- 張麗旭、周敏、陳培源 (1947) 民國 35 年 12 月 5 日臺南之地震。臺灣省地質調查所彙刊, 第 1 號, 11~18 頁。

烏居敬造 (1933) 高雄州旗山油田調查報告及旗山油田地質圖 (三萬分之一)。臺灣總督府殖產局, 第 633 號, 共 36 頁。

黃富國 (2010) 0304 甲仙地震臺南新化土壤液化概況。2010 年 0304 高雄甲仙地震勘災說明會簡報資料。

楊耀昇 (2010) 校舍結構勘災報告。2010 年 0304 高雄甲仙地震勘災說明會簡報資料。

詹新甫 (1964) 臺灣南部楠梓仙河流域之地質。臺灣省地質調查所彙刊, 第 15 號, 第 35-64 頁。

Angelier, J., Chang, T. Y., Hu, J. C., Chang, C. P., Siame, L., Lee, J. C., Deffontaines, B., Chu, H. T. & Lu, C. Y. (2009) Does extrusion occur at both tips of the Taiwan collision belt Insights from active deformation studies in the Ilan Plain and Pingtung Plain regions. *Tectonophysics*, 466 (3), 356-376.

Angelier, J., E. Barrier, and H. T. Chu (1986) Plate collision and paleostress trajectories in a fold-thrust belt: the Foothills of Taiwan. *Tectonophysics*, 125, 161-178.

Byrne, T., Chan, Y. C., Rau, R. J., Lu, C. Y., Lee, Y. H., & Wang, Y. J. (2011) The arc-continent collision in Taiwan. In *Arc-Continent Collision* (pp. 213-245). Springer Berlin Heidelberg.

Huang, S. T., Yang, K. M., Hung, J. H., Wu, J. C., Ting, H. H., Mei, W. W., Hsu, S. H. & Lee, M. (2004) Deformation front development at the northeast margin of the Tainan basin, Tainan-Kaohsiung area, Taiwan. *Marine Geophysical Researches*, 25 (1-2), 139-156.

Kao, H., Huang, G. C. and Liu, C. S. (2000) Transition from oblique subduction to collision in the northern Luzon arc-Taiwan region: Constraints from bathymetry and seismic observations, *J. Geophys. Res.*, 105, 3059-3079.

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). *Journal of Structural Geology*, 33 (4), 743-755.

Tomita, Y. (1955) Some geomorphological considerations to the Chaochow fault in south Taiwan (Formosa), China. *The Science Reports of the Tohoku University (Japan)*, ser.7, no.4, p.58-66.

Tsan, S.F. and Keng, W.P. (1968) The Neogene rocks and major structural features of

- southwestern Taiwan. Proc. Geol. Soc. China, no.11, p.45-49.
- Wang, S. (1976) ERTS-1 satellite imagery and its application in regional geologic study of southwestern Taiwan: Petrol. Geol. Taiwan, no.13, 37-57.
- 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, p.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.

附 錄

表 3.1 GPS 連續追蹤站同震位移資料表

站號	經度 TWD97	緯度 TWD97	經度方 向位移 量 (mm)	緯度方 向位移 量 (mm)	經度方 向誤差 (mm)	緯度方 向誤差 (mm)	水平位 移 (mm)	垂直位 移 (mm)
8118	120.5530	23.4630	1.73	-3.28	1.63	1.30	3.71	15.37
AKN D	120.3573	22.8033	-4.89	-8.06	2.04	1.26	9.43	8.02
BIM O	120.9674	22.5328	-1.42	-0.45	1.69	1.48	1.49	-9.98
C001	120.6124	23.4179	-2.29	-1.45	1.26	0.99	2.71	13.02
C002	120.5772	23.3617	-0.16	-6.47	1.48	1.02	6.47	8.06
CHIA	120.4332	23.4960	-0.99	-1.37	1.06	1.16	1.69	8.91
CHIE	120.3187	22.5872	0.59	-2.38	1.42	1.05	2.45	9.91
CHK U	120.0928	23.0558	-3.82	1.21	1.45	1.58	4.01	10.42
CHU K	120.6047	23.4387	-1.19	-1.39	1.37	1.05	1.83	3.82
CHYI	120.1402	23.4508	0.12	0.12	1.17	1.07	0.16	0.28
CHY N	120.2908	23.3933	-0.17	0.56	1.03	1.13	0.58	9.64
CISH	120.4812	22.8896	-9.61	-10.53	1.59	1.23	14.26	22.09
CKS V	120.2200	22.9989	-19.20	5.03	1.32	1.19	19.84	14.30
CWE N	120.4528	23.4730	3.47	-2.42	1.26	1.30	4.23	13.74
DAL O	120.3978	22.5926	1.51	-0.42	1.30	1.14	1.57	6.75
DANI	120.3614	23.1195	-25.44	16.97	1.51	1.74	30.58	22.22
DASU	120.4354	22.6879	1.14	-1.68	1.35	0.91	2.03	8.12
DON A	120.7035	22.9156	-11.64	1.07	1.17	1.05	11.68	1.89
FON G	120.3511	22.6278	1.79	-1.53	1.59	1.04	2.36	9.00
GAIS	120.5906	23.0803	-29.20	-17.74	1.26	1.16	34.16	-6.28
GS06	120.5542	23.4656	-0.08	0.36	1.21	1.03	0.37	6.97
GS18	120.4738	23.4850	-0.37	-1.26	1.28	0.91	1.31	10.73
GS28	120.2144	23.0810	-8.61	9.33	1.34	1.10	12.70	9.11
GS30	120.2263	23.0205	-15.31	8.44	1.37	0.96	17.48	14.90
GS31	120.2758	23.0189	-7.56	5.46	1.29	1.02	9.33	16.02
GS33	120.1878	22.9644	-8.10	1.23	1.53	0.98	8.19	18.20
GS34	120.2751	22.9392	-22.55	-5.77	1.63	1.00	23.28	23.39
GS35	120.3094	22.9355	-36.17	-13.53	1.57	0.86	38.62	27.86

GS41	120.4449	23.3776	1.22	-0.27	1.40	0.99	1.25	7.39
GS42	120.4520	23.2732	-1.84	1.34	1.43	0.99	2.28	9.89
GS43	120.3736	23.2572	-1.84	5.40	1.41	0.91	5.70	13.16
GS44	120.4004	23.2222	-1.88	6.39	1.43	1.02	6.67	7.31
GS45	120.7282	22.7491	-3.48	0.62	1.66	1.41	3.54	22.47
GS46	120.6495	22.5275	2.47	4.02	1.57	1.66	4.72	3.91
GS51	120.5481	22.9985	-26.04	-10.65	1.46	1.01	28.14	-12.09
GS52	120.6628	23.0323	-32.18	-7.97	1.53	1.04	33.15	-8.94
GS53	120.4064	22.8382	-8.19	-16.62	1.83	1.10	18.53	34.57
GS55	120.6103	22.8489	-9.92	3.28	1.43	0.88	10.44	0.41
GS56	120.6098	22.7021	-0.03	-0.50	1.56	1.24	0.50	3.42
GS64	120.7199	23.4055	-1.08	-2.05	1.05	1.30	2.32	4.67
GS66	120.7486	23.4542	-0.69	-2.80	2.21	2.52	2.88	13.31
GS67	120.6832	23.3380	-3.84	-4.32	1.38	0.89	5.78	16.83
GS74	120.4598	22.9392	-14.15	-13.64	2.04	1.38	19.65	53.92
GS75	120.4941	22.8856	-8.71	-9.64	1.73	1.38	12.99	17.57
GS76	120.3707	22.8353	-9.82	-15.10	1.84	1.13	18.01	26.32
GS77	120.4053	22.7776	4.86	-5.37	2.02	1.15	7.24	27.38
GS78	120.4656	22.8478	-4.46	-12.57	1.87	1.19	13.34	25.14
GS79	120.2996	22.8958	-18.93	-11.80	1.87	1.08	22.31	26.55
GS80	120.3605	22.8644	-19.78	-16.98	2.04	1.46	26.07	31.99
GS81	120.3121	22.8148	-3.28	-5.44	1.91	1.37	6.35	25.75
HOK	120.1349	23.1884	1.20	1.16	1.07	1.21	1.66	14.04
N								
ICHU	120.2793	23.3607	-0.71	2.54	1.14	0.88	2.64	1.12
JONP	120.5240	23.4230	1.59	-3.13	1.30	1.08	3.51	8.37
JWE	120.4973	23.2197	-2.04	-1.21	1.17	0.99	2.37	2.38
N								
KAS	120.2883	22.6145	1.39	-0.79	1.45	1.06	1.59	3.31
H								
LIAN	120.3292	22.8833	-22.90	-12.71	1.45	1.00	26.19	23.23
LIKN	120.5279	22.7586	-0.81	0.76	1.67	1.89	1.11	-11.39
LNC	120.4026	22.9946	-33.60	9.17	1.24	1.52	34.83	96.54
H								
LOY	120.7012	23.4686	0.04	-4.52	1.39	1.15	4.52	10.13
E								
MAJ	120.6521	22.7076	-0.04	-1.89	1.35	1.23	1.89	0.02
A								
MAY	120.6967	23.2404	-7.41	-10.79	1.35	1.26	13.09	4.98
A								
MES	120.8263	23.2636	-3.86	-4.74	2.34	1.64	6.11	-0.26
N								
MLO	120.5538	22.9000	-14.68	9.13	1.72	2.30	17.28	-1.51
I								

MOT N	121.0269	23.2005	2.93	0.41	2.39	1.46	2.96	-7.67
NAN K	120.2744	23.1020	-23.74	25.05	1.64	1.47	34.52	3.05
NAZI	120.3263	22.7282	0.52	-1.35	1.59	1.26	1.45	4.62
NCK U	120.2758	22.9385	-23.20	-7.10	1.73	1.01	24.26	23.82
NEM N	120.4201	22.9081	-27.70	-25.09	1.69	1.11	37.37	65.51
NJOU	120.5714	22.5039	2.01	-0.57	1.60	1.19	2.09	6.71
PAOL	120.7029	23.1086	-17.14	-11.54	1.38	1.41	20.66	14.81
PEI1	120.1686	23.2938	-16.32	8.45	1.56	1.15	18.38	13.05
PTUN	120.4597	22.6499	0.24	-2.49	1.58	1.30	2.50	9.85
RENI	120.5086	23.4589	1.16	-2.62	1.33	1.37	2.87	14.59
S011	120.3395	23.2054	-7.37	6.93	1.56	1.37	10.12	8.20
S012	120.4883	23.0595	-10.00	2.36	1.50	1.23	10.27	12.63
S106	120.3341	23.0508	-16.05	8.76	1.16	1.32	18.29	16.86
S169	120.5033	22.9423	-15.67	-6.28	1.63	0.88	16.88	11.26
S23R	120.6062	22.6450	-0.58	-1.41	1.35	1.49	1.53	9.95
SAM E	120.2995	22.6476	3.55	-1.85	1.53	1.11	4.00	3.82
SAND	120.6406	22.7173	0.51	-1.93	1.50	1.09	1.99	6.78
SGA N	120.3497	22.5813	1.92	0.93	1.75	1.46	2.13	12.47
SHW A	120.3478	23.0214	-2.58	-5.84	1.49	0.83	6.38	46.90
SJPU	120.4813	23.4285	0.09	-2.84	1.60	0.99	2.84	12.31
SSUN	120.3778	23.4142	0.38	-0.44	1.31	1.16	0.58	9.90
SUAN	120.2999	23.4776	-0.01	-0.01	1.52	1.16	0.02	9.32
SYAN	120.9868	23.2480	-24.42	-15.70	5.66	4.20	29.03	83.67
TAPU	120.5854	23.2508	-4.45	-8.00	1.51	1.07	9.15	12.53
TAYN	120.7642	23.1593	-7.37	-8.23	1.63	1.41	11.05	6.17
TMA M	121.0075	22.6161	1.64	-1.57	1.51	1.49	2.27	-4.36
TUNS	120.4040	23.3172	-3.17	-3.25	1.92	1.57	4.54	8.39
WAN C	120.5263	23.1868	-4.15	-6.16	1.52	1.59	7.43	15.07
WDA N	120.5043	22.6061	1.50	-2.41	1.41	0.99	2.84	-3.24
WUL U	121.0415	23.1693	-2.80	-1.56	2.32	1.85	3.20	7.78
WUS T	120.3682	23.2052	-4.44	7.22	1.35	1.21	8.48	7.16
WUS T	120.3682	23.2052	-4.44	7.22	1.35	1.21	8.48	7.16

YSAN	120.0860	23.1466	-2.34	1.60	1.84	1.19	2.84	19.07
YUSN	120.9591	23.4873	-3.16	-3.57	1.58	1.34	4.77	-1.07
ZEN	120.2176	22.9433	-11.83	-2.38	1.90	1.55	12.07	13.57

D

表 3.2 GPS 移動站同震位移資料表

站號	經度 TWD97	緯度 TWD97	經度方 向位移 量(mm)	緯度方 向位移 量(mm)	經度方 向誤差 (mm)	緯度方 向誤差 (mm)	水平位 移量 (mm)	垂直位 移量 (mm)
G001	120.4960	22.7818	-6.95	1.84	3.52	3.33	7.19	28.72
G016	120.4608	22.8347	-19.53	-11.85	3.58	3.25	22.84	20.46
G017	120.5983	22.8273	-4.16	4.06	3.38	3.20	5.81	11.93
G018	120.6107	22.7908	-11.59	-0.25	3.41	3.21	11.59	-1.94
G054	120.6411	22.8174	-9.28	-0.73	3.58	3.23	9.30	1.82
G141	120.2371	23.0425	-21.99	18.19	3.74	3.44	28.54	-3.00
G143	120.4804	23.0451	-27.51	11.23	3.72	3.27	29.72	13.57
G145	120.1696	22.9604	-8.79	8.31	3.81	3.67	12.09	9.07
G147	120.3856	22.9871	-56.98	13.95	3.78	3.46	58.66	101.15
G148	120.4671	22.9755	-32.01	-1.89	3.88	3.41	32.07	23.90
G151	120.1950	22.8647	-2.33	-2.65	3.98	3.93	3.53	17.71
G152	120.2588	22.8562	-24.50	-12.85	3.11	3.08	27.67	24.19
G154	120.2884	22.8012	-24.98	-2.98	3.07	3.04	25.15	3.62
G352	120.3055	23.0298	0.27	5.89	3.77	3.48	5.90	4.44
G359	120.3591	22.9637	-73.05	4.45	3.78	3.59	73.19	74.35
G366	120.3228	22.9614	-49.53	-15.79	3.84	3.68	51.99	36.65
G383	120.2879	23.1537	-8.65	15.48	3.77	3.32	17.73	-20.44
G384	120.4952	23.0759	-36.55	12.05	3.65	3.19	38.48	0.33
G385	120.4303	23.0779	-25.89	34.66	3.67	3.35	43.26	17.18
G386	120.4458	23.0457	-29.02	24.61	3.81	3.50	38.04	27.80
G387	120.3549	23.1006	-1.71	-4.00	3.87	3.56	4.35	33.71
G388	120.3321	23.1234	0.35	-0.78	3.80	3.49	0.86	-31.29
G389	120.3644	23.1130	-22.40	10.54	3.79	3.48	24.75	-0.06
G390	120.3488	23.0688	-41.72	-3.63	3.79	3.51	41.87	-22.20
G392	120.3494	23.0250	-38.53	11.90	3.60	3.30	40.33	45.46
G397	120.2992	22.8946	-41.72	-11.10	3.14	3.09	43.17	23.10
G398	120.2764	22.9374	-39.09	-3.04	3.88	3.72	39.21	-8.27
G400	120.1996	22.9784	-21.62	11.97	3.87	3.72	24.71	20.86
G401	120.2480	22.9570	-33.99	2.11	3.87	3.73	34.06	-2.01
G402	120.2596	22.9897	-21.27	9.80	3.83	3.68	23.41	-5.10
G403	120.2390	22.9812	-26.49	7.33	3.87	3.57	27.49	11.34
G405	120.2806	23.1022	-21.92	25.89	3.82	3.51	33.92	-34.88
G406	120.2734	23.1181	-10.88	21.68	3.81	3.50	24.25	-3.13
G407	120.2460	23.1238	-3.75	10.11	3.82	3.38	10.78	-29.67
G408	120.2258	23.0986	-15.72	14.95	3.64	3.32	21.69	-24.31
G412	120.1969	23.0647	-3.42	13.05	3.65	3.49	13.49	-29.64

G413	120.1929	23.0400	-7.11	11.30	3.78	3.48	13.35	-41.21
G414	120.1749	23.0480	-10.57	9.04	3.65	3.49	13.91	-22.14
G438	120.3249	23.1381	-13.62	10.23	3.85	3.38	17.03	-14.60
G441	120.5330	22.8302	-15.86	1.76	3.53	3.33	15.96	21.72
G442	120.2687	23.0332	-25.58	13.33	3.82	3.52	28.84	16.19
G450	120.2369	22.9631	-13.79	4.78	4.23	4.04	14.59	36.84
G457	120.7217	23.0560	-25.80	1.77	4.53	3.75	25.86	-19.24
G459	120.3617	23.1196	-34.02	28.26	3.98	3.53	44.22	24.57
G460	120.7014	23.1088	-55.79	4.31	3.81	3.30	55.96	-6.41
G461	120.1813	22.9132	-17.69	-10.69	3.80	3.73	20.67	-2.16
G462	120.2137	22.9078	-19.28	-9.83	3.93	3.74	21.64	0.35
G474	120.3788	22.8777	-45.51	-27.43	3.29	3.06	53.14	56.71
G485	120.4922	22.8821	-32.78	-8.38	3.70	3.35	33.83	7.12
G489	120.5200	22.8842	-19.76	2.11	3.71	3.38	19.87	15.27
G504	120.5567	22.8645	-14.69	9.05	3.81	3.45	17.25	-0.11
G536	120.4053	22.7775	-8.23	-10.36	3.34	3.15	13.23	-2.97
G543	120.4494	22.7760	-12.37	1.15	3.84	3.60	12.42	11.38
G550	120.5244	22.7777	-3.57	-3.05	3.69	3.35	4.69	5.92
G555	120.5603	22.7855	-1.28	1.27	3.44	3.25	1.80	-2.37
G559	120.6149	22.7878	-1.18	-1.25	3.84	3.41	1.72	27.78
G570	120.6448	22.7661	-0.79	0.72	3.61	3.27	1.07	14.48
G571	120.2794	22.8370	-17.54	-8.06	3.36	3.10	19.31	-5.83
G572	120.3237	22.8493	-25.08	-10.82	3.22	3.03	27.32	22.67
G580	120.5555	23.0488	-64.93	-12.40	3.71	3.21	66.10	-47.95
G581	120.5618	23.0225	-53.71	-8.05	3.68	3.20	54.31	-58.21
G582	120.5604	22.9897	-42.42	-1.95	4.25	3.72	42.47	-43.55
G585	120.4828	22.8997	-39.68	-5.80	3.67	3.46	40.10	14.39
G586	120.5193	22.8984	-35.62	-6.83	3.58	3.24	36.27	58.70
G589	120.4055	22.8374	-32.22	-15.91	3.30	3.10	35.93	-18.54
G590	120.5059	22.8200	-21.03	1.99	3.60	3.26	21.12	7.92
G597	120.6729	23.0734	-54.47	-3.61	3.67	3.19	54.59	-22.57
G600	120.7164	22.9102	-32.19	-1.57	3.66	3.46	32.23	-10.75
G602	120.6349	22.8645	-20.95	2.89	3.58	3.23	21.15	-13.30
G715	120.5438	22.9767	-49.29	6.28	3.77	3.27	49.69	-72.03
G833	120.2044	23.0062	-14.16	12.97	3.80	3.50	19.20	1.71
G836	120.2218	22.9611	-21.51	-0.10	3.87	3.72	21.51	14.69
GC45	120.3583	22.7525	-4.91	-3.62	3.17	3.13	6.10	6.34
GE44	120.3895	23.0648	-8.66	20.54	3.83	3.46	22.29	79.53
GE45	120.2293	22.9454	-25.80	-0.78	4.10	3.95	25.81	22.93
GE47	120.6335	22.9958	-39.17	-9.06	3.88	3.37	40.20	-24.05
GE54	120.2357	22.9221	-22.32	1.31	4.07	3.94	22.36	28.06

GE77	120.4294	23.0063	-5.30	6.75	3.93	3.57	8.59	106.11
GF98	120.4640	22.8474	-27.31	-4.54	4.67	4.39	27.68	41.42
S140	120.2477	22.9850	-21.49	19.96	3.85	3.69	29.33	30.61
S144	120.4110	23.0567	-21.97	31.15	3.58	3.27	38.12	58.85
S146	120.3520	22.9047	-62.08	-24.81	3.27	3.08	66.85	60.34
S600	120.4199	22.7533	-3.02	-4.44	3.54	3.29	5.37	34.28
TN01	120.1491	22.9980	-4.31	4.52	3.69	3.51	6.25	-38.77
TN02	120.1795	22.9962	0.30	13.11	3.89	3.71	13.12	12.65
TN04	120.2113	22.9889	-26.84	14.93	3.83	3.68	30.72	10.96
X210	120.2053	22.9925	-20.17	6.82	3.91	3.73	21.29	0.87