

國家地震工程研究中心
NATIONAL CENTER FOR RESEARCH ON
EARTHQUAKE ENGINEERING

2009 年 1219 花蓮地震事件勘災報告

報告編號：NCREE-10-001

中華民國九十九年二月

2009 年 1219 花蓮地震事件勘災報告

Reconnaissance Report on Earthquake in Hualien on December 19, 2009

國家地震工程研究中心勘災人員與報告撰寫人員列表(依照姓名筆劃排序)：

沈文成 林凡茹 林子剛 林主潔 林克強 林哲民 邱聰智 柴駿甫 張毓文
張道明 郭耕杖 陳緯蒼 葉錦勳 劉光晏 蕭輔沛 簡文郁 蘇耕立

協助勘災人員：國立台東大學李君宇先生

中華民國九十九年二月
February 2010

摘要

臺灣東部於民國 98 年 12 月 19 日下午 9 時 02 分於花蓮外海發生芮氏規模 $M_L 6.9$ 之地震，其震央位於北緯 23.79 度、東經 121.66 度，即花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里；震源深度則為 43.8 公里。全臺皆可感受到明顯震動，最大震度為花蓮磯崎所測到之七級(PGA 達 540gal)，而花蓮鹽寮及花蓮港震度也達六級。

地震發生後，「台灣地震損失評估系統(TELES)」立即自動啟動，進行第一階段的災損早期評估，因評估結果符合本中心地震災害應變作業手冊所規定震後「警戒階段」之動員條件，故隨即啟動本中心內部之震後應變程序，通知地震緊急應變作業小組各工作人員於原地動員，依據所屬任務編派完成各項指派工作；並啟動協力機制，商請花東地區的協力人員於 12 月 20 日前往鄰近震央且震度最大的花蓮磯崎地區進行初步勘災，儘早回報當地災損情形以供本中心進行災情研判。

本次應變除了緊急動員進行地震歷時與反應譜分析、綜整震源參數進行震後各階段之災情評估並啟動協力機制外，也於 12 月 21 日起陸續派遣本中心人員前往花蓮與台東地區，針對國中小學校舍、民宅等建築結構以及天花板與圖書室書架等非結構物與設施進行勘災，實際了解受災情況；其中以花蓮磯崎國小與台東三間國小之受損情形最為嚴重。

關鍵詞：1219 花蓮地震、緊急應變、建物損壞、現地勘災

ABSTRACT

In Hualien area, an earthquake with local magnitude $M_L 6.9$ occurred at 21:02 of December 19th, 2009. The epicenter is located in latitude 23.79° N and longitude 121.66° E, and the focal depth is 43.8 km. The maximum ground shaking level is up to Intensity VII in Hualien area, and the maximum PGA is 540 gals recorded at EGC station in Gi-Chi. The early loss estimation in the Taiwan Earthquake Loss Estimation System (TELES) was automatically triggered, and the estimation results stated that there may be some casualty. Therefore, the emergence response was carried out at NCREE. Further analysis of the strong ground motions and updated earthquake loss estimation were conducted by earthquake data from CWB and other acquired data. Moreover, the joint reconnaissance member in Hualien-Taitung area was asked to evaluate the damage at the most affected area (Ji-Qi area).

In addition to the aforementioned emergence responses, several reconnaissance teams were organized and sent to the disaster area for more detail evaluation of the damage of school buildings, transportation structures, and nonstructural components. The earthquake characteristics and the reconnaissance informations were described and discussed in this report.

Keywords: Earthquake, Emergency Response, Damages of Buildings, Reconnaissance

目錄

目錄.....	III
第一章 緒論.....	1
第二章 花蓮地震概述.....	5
第三章 強地動與地震動分布圖.....	19
第四章 地震災情推估.....	51
第五章 建築物之震害調查.....	57
第六章 交通設施震害.....	133
第七章 非結構物之震害.....	153
第八章 結論.....	175
參考文獻.....	179

第一章 緒論

民國 98 年 12 月 19 日晚上 9 時 02 分，台灣花蓮地區發生一起芮氏規模 $M_L 6.9$ 的地震，震央位於北緯 23.79 度、東經 121.66 度(花蓮市東南外海，距花蓮市約 21.4 km)，震源深度為 43.8 公里^[1]。該地震雖屬深源地震，但仍撼動整個台灣，全台各地皆測得有感震度。中央氣象局強震速報站量測得之最大震度發生在花蓮的磯崎，震度達七級(PGA 值約為 540 gal)，連遠在 150 km 以外的台北盆地也搖晃約有數十秒之久。

地震發生後，本中心隨即經由聯繫機制接獲中央氣象局發佈地震通知的電子郵件，而「台灣地震損失評估系統(TELES)」也立即自動啟動，針對本次地震進行第一階段的災損早期評估。根據資料庫以及氣象局提供之震源參數進行最佳化分析，TELES 於接獲電子郵件後之一分鐘內完成可能災情之早期評估作業。評估結果顯示：「預估傷亡人數為 1 (0-2) 人，需警戒之村里數為 113」，該訊息藉由手機簡訊與電子郵件快速傳送至本中心相關人員。依據本中心地震災害應變作業手冊之規定，TELES 評估結果已達震後「警戒階段」之動員條件，故於當晚 9 時 20 分依規定啟動本中心內部之震後應變程序，通知地震緊急應變作業小組各工作人員於原地動員，並依據所屬任務編派完成各項指派工作。

本中心的地震緊急應變作業分為五個應變小組，分別為災情評估組、災情彙整組、勘災行動組、應變支援組及決策綜整組。各小組於地震發生後分別進行下列工作事項：

(一) 災情評估組

依據氣象局所發佈的地震參數，台灣地震損失評估系統(TELES)可自動搜尋資料庫以評估可能的災情，屬第一階段早期評估作業，評估結果如表 1.1 所列，並藉以啟動本中心應變作業。依據應變作業規定，災情評估組將持續蒐集世界各地強震網針對本次地震所發佈之消息，並研判最佳的震源

參數後，提供 TELES 操作人員進行第二階段的早期手動評估作業，以比較並確認災情評估結果。

表 1.1：台灣地震損失評估系統(TELES)於各階段之早期評估結果

	早期評估結果
第一階段（自動啟動）	花蓮縣總傷亡人數：0~2 人（1.52 人） 花蓮縣建物全、半倒總數：23.6
第二階段（震後兩小時內）	花蓮縣總傷亡人數：0.9 人 花蓮縣建物全、半倒總數：10.5

同時，經由聯繫機制下載氣象局發送約 100 個即時地震網之地震波形資料，則可藉此地震波形歷時進行地震反應譜分析，除最大地表加速度值 (PGA) 外，短週期 ($T=0.3$ 秒) 與長週期 ($T=1.0$ 秒) 的譜加速度值 (S_{as} 與 S_{al}) 皆可藉由反應譜分析獲得。經由實際的資料，可得到大比例尺的 PGA、 S_{as} 與 S_{al} 等地震動分佈圖，作為緊急應變之參考。

(二) 災情彙整組

啟動「警戒階段」之應變作業後，災情彙整組負責通聯的工作人員必須於第一時間內通知各組組長戒備。該組其他人員則依其工作職掌，連線中央災害應變中心以蒐集初步回報之災情，藉由側錄之廣電媒體報導蒐集並彙整災情；同時間需製作災情簡報，傳送至本中心決策綜整組長官，供其瞭解地震資訊與初步災情。此外，災情彙整組必須依據各地消息的最新發展，持續更新災情簡報內容。

本次地震發生後之初部災情報導顯示，除台鐵、高鐵暫停行駛以確認軌道安全，並因通話量瞬間大增而造成通訊短暫阻塞的狀況外，當天晚上各地也陸續傳出零星災情，如台北縣市有水塔掉落、花蓮市一處旅社因氨氣外洩而緊急疏散人潮等，所幸並無人員傷亡。

(三) 勘災行動組

由於花蓮地區震度達六至七級，且最大地表加速度達 540gal，在此地

表搖晃程度下之建物很可能會產生局部桿件與構材的損傷。有鑑於此，本中心決策綜整組長官與勘災行動組於 12 月 20 日進行小組討論並協調勘災規劃，決議啟動協力機制，先行商請花東地區的協力人員—台東大學李君宇先生，於 12 月 20 日前往鄰近震央且震度最大的花蓮磯崎地區進行初步勘災，儘早回報當地災損情形以供本中心進行災情研判，並於必要時提供政府相關單位參考。

12 月 21 日，本中心陸續收到縣府教育局(處)通報，部分校舍建築在地震中受損，而其中又以花東地區較為嚴重。因此，本中心啟動震後緊急勘災作業，於 12 月 21 日派遣第一批人員(林克強、邱聰智、蕭輔沛、沈文成、蘇耕立、柴駿甫、林子剛等人)前往花東地區勘察震損災情，地點包括花蓮縣與台東縣共十二所國中、小學；勘災人員所需之相關物品與交通接駁等皆由應變支援組依據地震災害應變作業手冊之規劃妥善協助。12 月 23 日派出第二批人員(柴駿甫、林凡茹、郭耕杖)針對非結構物與設施進行勘災，勘察地點包括花蓮縣之一所醫院及二所學校圖書館。12 月 25 日派遣人員(劉光晏)前往傳出震損的苗栗市「玉清大橋」，實地勘察該橋伸縮縫受損情況；並再度派員(林克強、林主潔)前往受損最為嚴重的台東縣立三間國小及台東縣立信義國小，針對其校舍結構系統與受損桿件進行較為詳細的勘察作業。

針對 2009 年 1219 花蓮地震事件，本中心地震應變小組人員於地震發生後 24 小時內緊急動員並快速彙整相關資料，進行災情研判；也於同時啟動第一時間緊急勘災，勘察鄰近震央地區之民宅、校舍與醫院等建物的結構與非結構災損狀況。本中心統整所有地震資訊，於 12 月 30 日辦理「1219 花蓮地震之勘災說明會」，廣邀專家學者參與討論。此次說明會之內容包括 1219 花蓮地震的發生機制、TELES 之評估流程與結果、所有建物(民宅、校舍與醫院)之結構與非結構設施以及橋梁之勘災資料等。「1219 花蓮地震之勘災說明會」的簡報資料電子檔(PDF 格式)已公告於本中心網頁供各方下載，其網址為 https://conf.ncree.org.tw/download_cht.aspx?conf_id=A0981230。

本報告整合國家地震工程研究中心針對此次花蓮地震之地震動分析與勘災結果，各章節內容包括有：

- 第二章、花蓮地震之概述：包括震源發生機制之描述、與歷史地震之比較
- 第三章、強地動與地震動分佈：經由實際地震紀錄，探討此地震之強地動特性
- 第四章、地震災情推估：說明 NCREE 之台灣地震損失評估系統(TELES)於各階段之早期評估結果
- 第五章、建築物之震害：說明此次地震於花東地區所造成建物、校舍之震損情形
- 第六章、交通設施之損傷：簡述此地震對台灣橋梁公路之損傷
- 第七章、非結構物之震害：描述醫院、學校等非結構設施在此次地震之震損狀況
- 第八章、結論

第二章 花蓮地震概述

2.1 花蓮地震震源參數

臺灣地區於民國 98 年 12 月 19 日 21 時 02 分 16.3 秒（世界時間 13 時 02 分 16.3 秒）於花蓮外海發生芮氏規模 M_L 6.9 之地震。根據交通部中央氣象局修訂後所公佈之震源參數資料顯示，震央位置在北緯 23.79 度、東經 121.66 度（圖 2.1），即花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里；震源深度為 43.8 公里，地震矩規模 M_W 則為 6.42。美國地質調查所（USGS）所公佈之地震矩規模 M_W 為 6.4，震央位置則為北緯 23.763 度、東經 121.689 度，深度為 44.6 公里；由於全球網之定位精準度較差，以下皆以氣象局資料為主要參考。

全臺皆可感受到明顯震動，等震度圖及最大地表加速度（PGA）分佈圖如圖 2.2 所示。最大震度為花蓮磯崎所測到之七級，花蓮鹽寮及花蓮港震度也達六級，花蓮市、南投合歡山、臺東長濱、宜蘭南澳、臺中德基、雲林草嶺、彰化市、嘉義草山、彰化大城 5 級，南投市、桃園三光、臺中市、宜蘭市、苗栗鯉魚潭、高雄桃源、斗六市、新竹市、嘉義市、新竹竹北、臺南楠西、臺北板橋、桃園市、臺南市 4 級，苗栗市、臺東市、基隆市、屏東三地門、屏東市、高雄市、澎湖馬公 3 級。花蓮磯崎地震站所測到之 PGA 達 539.89gal（圖 2.3），且兩水平向最大振幅相當接近，沒有顯著的方向性差異，垂直向最大加速度則為 207.98gal。臺灣西部部分地震站測得 PGA 值遠高於其它相同震央距測站之資料，尤其集中在臺中、彰化、雲林、嘉義一帶，例如臺中大肚（114.31gal）、彰化大城（94.03gal）、雲林草嶺（109.34gal）和嘉義草山（156.95gal）等地震站；震源方向性差異、路徑影響及場址特性都可能造成此種特定區域 PGA 放大之現象，真實原因則待更多資料及研究證實。

1219 花蓮地震震央位於花蓮近海，屬於臺灣三個主要地震帶之一的東部地震帶範圍內，是地震活動最頻繁的區域。由臺灣地區震源深度大於 40

公里的歷史地震分佈（圖 2.4），可發現花蓮外海延伸至宜蘭、東北角附近一連串的密集地震分佈，震源深度由南至北越來越深，最深可達 300 公里以上，所對應的即是菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊下方之板塊構造活動，由圖 2.5 之歷史震源立體分佈圖更清楚顯示此隱沒帶地震形貌。而由 1219 花蓮地震震央位置與震源深度推測（圖 2.4、2.5），此次地震明顯與過去所觀察到較深部的板塊構造活動有關，而非淺部地殼內斷層所引發之地震。

在餘震方面，1219 花蓮地震發生後三天內，氣象局所公布之有感餘震即有 46 起，芮氏規模介於 2.9 至 4.8 之間。圖 2.6 則為截至 2010 年 1 月 13 日為止主震震央附近之地震分佈，最大規模達 5.5。在距離主震 15 公里的範圍內，可發現密集的餘震活動，包含十多個規模 4 以上地震及大量的小規模地震。

震源機制解可說明地震震源之破裂面型態、破裂機制等，可協助瞭解發震區域之大地應力方向。中央氣象局、中研院地球科學所所屬寬頻地震網（BATS）、美國地質調查所（USGS）及哈佛大學等單位皆計算 1219 花蓮地震之震源機制，而由於測站分佈及計算方法不同，結果略有差異，隱含震源破裂之特性。所有單位之解算結果彙整於表 2.1，震源機制海灘球則繪於圖 2.7。中央氣象局所公佈之 CMT 震源機制解（Centroid Moment Tensor Solution）第一組斷層面解為走向 253 度、傾角 29 度及滑移角 167 度，第二組則為走向 355 度、傾角 84 度及滑移角 61 度，屬於帶有斜向滑移之逆斷層（Oblique-Thrust）機制。中研院 BATS 所公佈之震源機制解在震源錯動型態上是一致的，但錯動方向及角度上則略有差異。USGS 及哈佛大學公佈之 CMT 震源機制解則與 BATS 網結果較一致；而 USGS 利用 Body-Wave Moment Tensor 所解算之走向滑移分量較小，略偏向單純之逆斷層機制。綜合來說，花蓮地震之震源破裂型態為逆斷層機制為主，帶有部分走向滑移分量，而在破裂後期可能轉向較純粹的逆斷層上衝機制。此次地震震源的逆斷層機制，符合臺灣東部外海菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊下方所導致之壓縮大地應力特性。

圖 2.8 是此次地震與花蓮地區歷史地震震源機制之比較，震源機制引用

自哈佛大學全球震源機制資料庫。花蓮地區震源機制頗為一致，主要皆為壓縮應力之逆斷層機制；但在破裂面之走向上可分為兩群，大致可以東經 122 度為分界，以東的外海部分，震源機制走向大多呈東-西向，以西之近海及陸地部分，走向則多呈東北-西南向。1219 花蓮地震震源機制之走向為東北-西南向，其震央位置也屬於東經 122 度以西，與歷史地震所呈現之特性一致。

表 2.1 1219 花蓮地震震源機制解彙整

解算單位及方法	走向strike	傾角dip	滑移角slip
CWB Centroid Moment Tensor	253	29	167
	355	84	61
BATS Centroid Moment Tensor	238	37	121
	21	59	69
USGS Centroid Moment Tensor	241	30	131
	16	68	69
USGS Body-Wave Moment Tensor	194	23	111
	352	69	82
Harvard Centroid Moment Tensor	248	28	145
	10	74	66

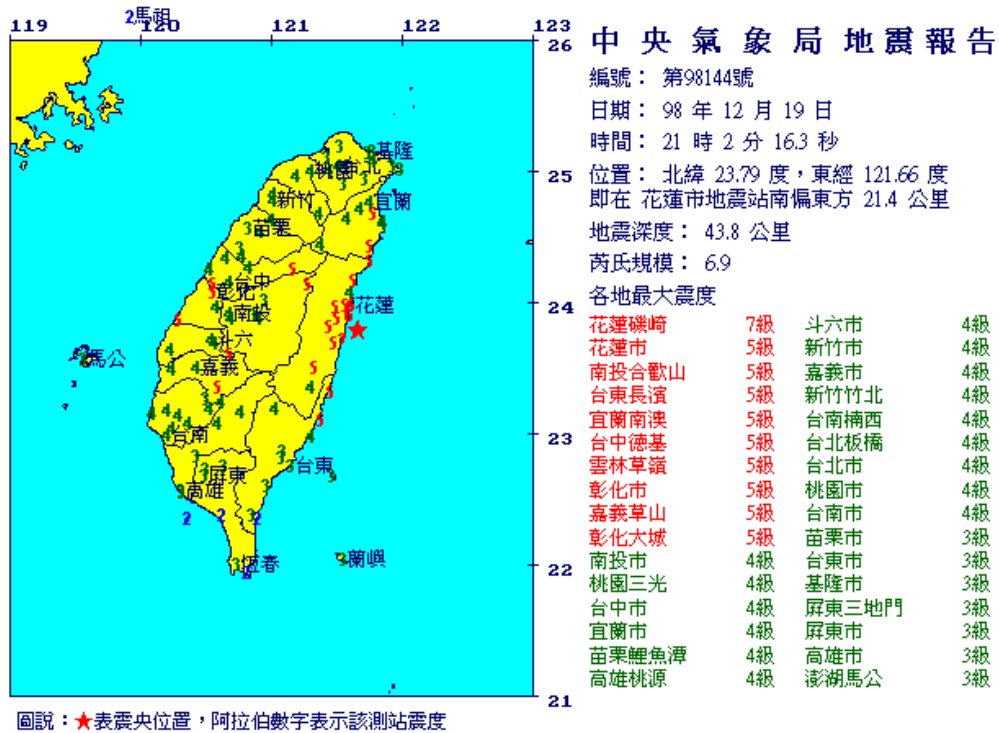


圖 2.1 中央氣象局 1219 花蓮地震報告（引用自中央氣象局^[1]）

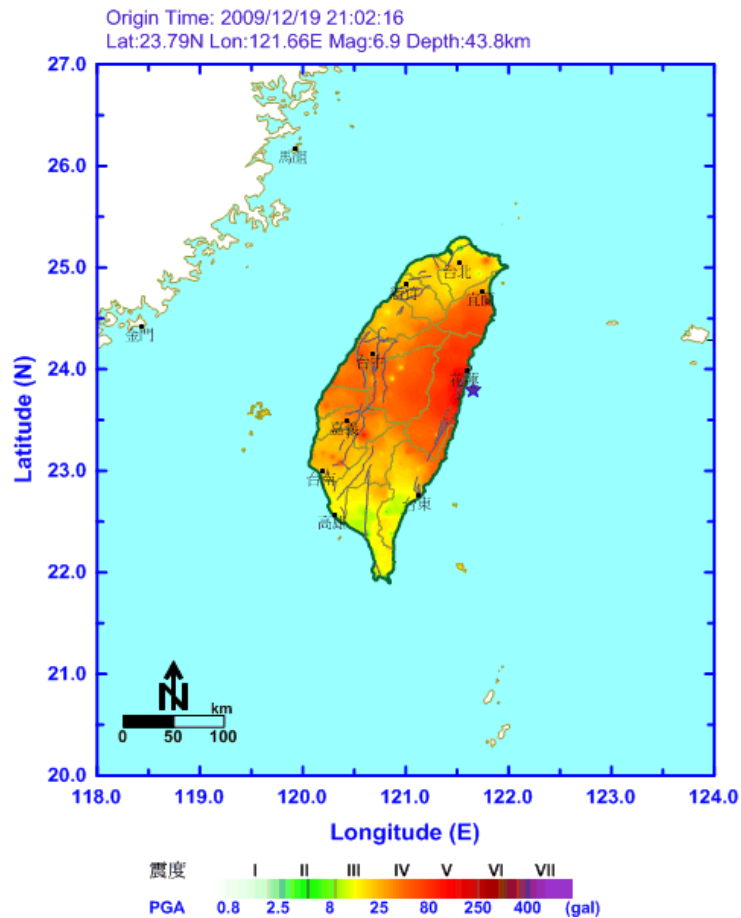


圖 2.2 1219 花蓮地震等震度及 PGA 分佈圖（引用自中央氣象局^[1]）

Origin Time:2009/12/19 21:02:16
Lat:23.79N Lon:121.66E Depth:43.8km Mag:6.9
Dist:14.78km AZ:53.05

磯崎 EGC(2009/12/19 21:01:43) 7級

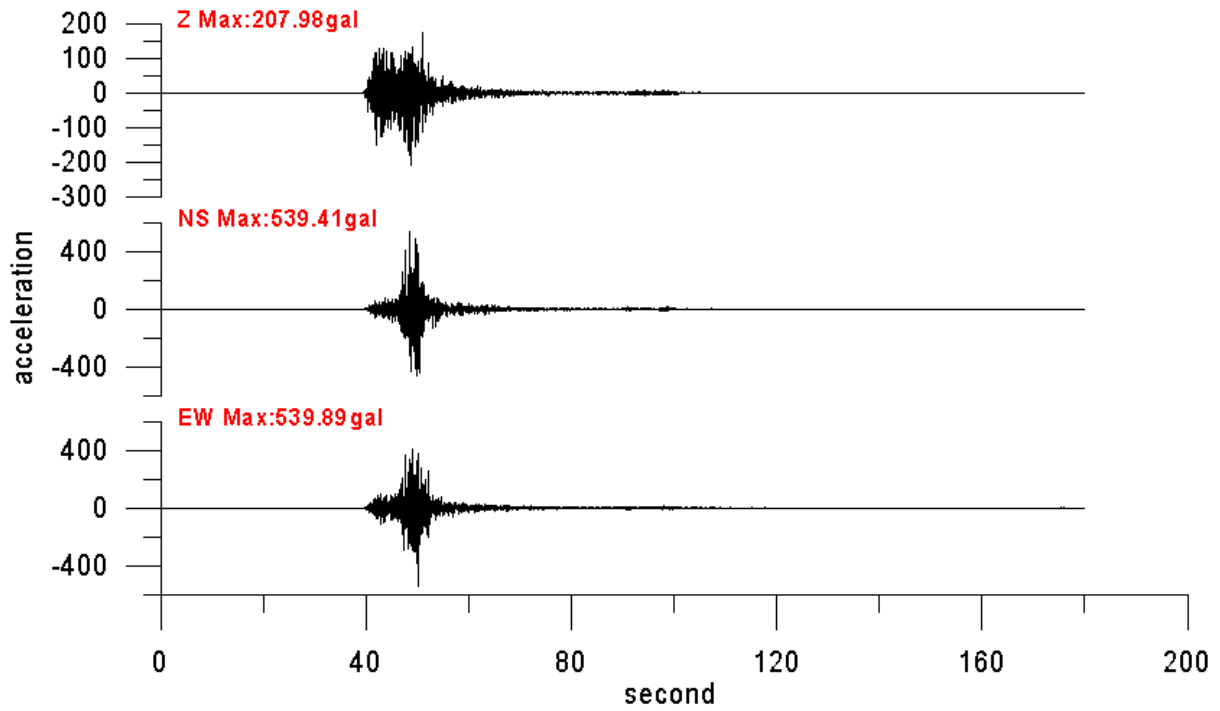


圖 2.3 1219 花蓮地震磯崎地震站即時加速度波形圖(引用自中央氣象局^[1])

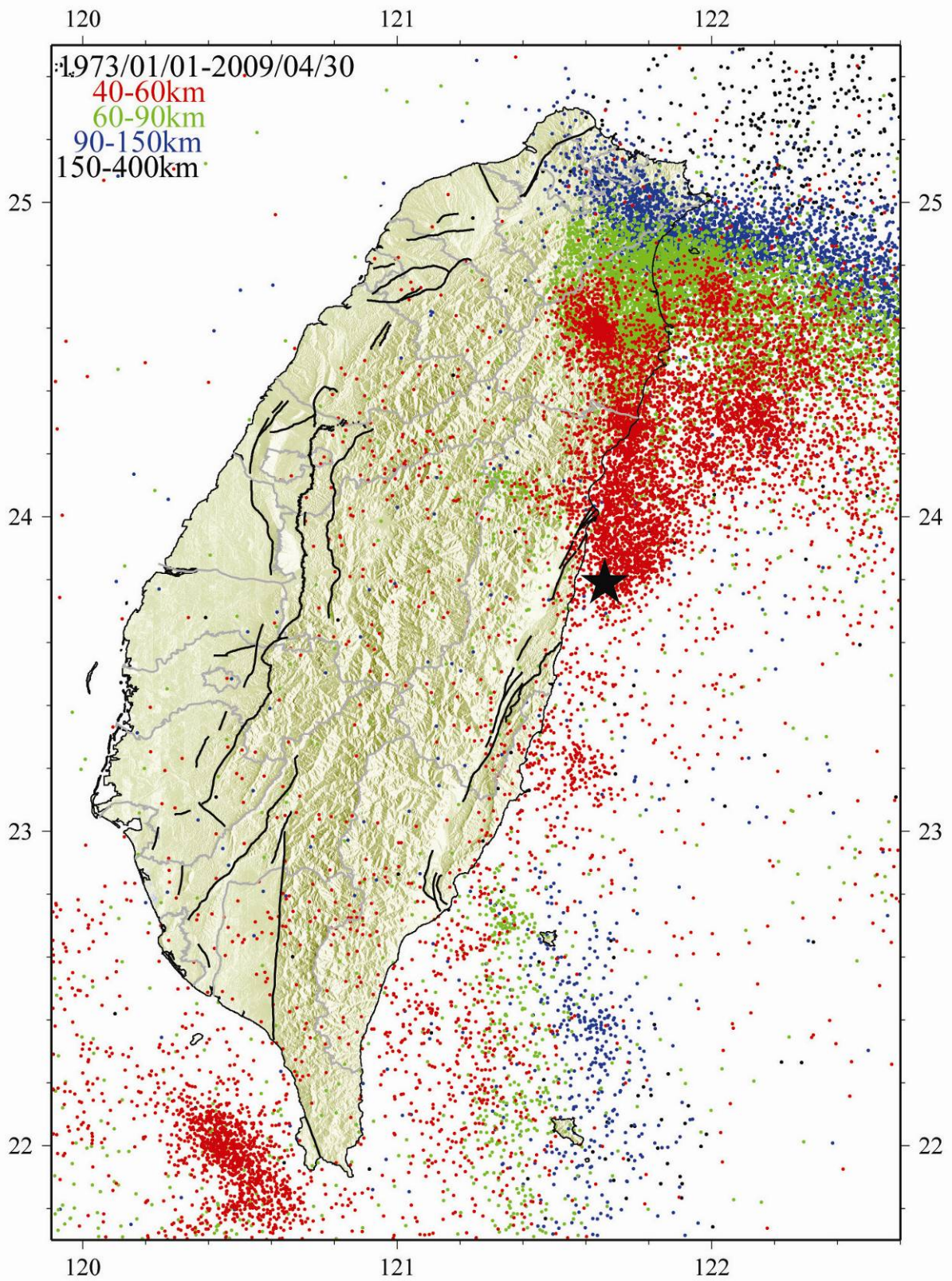


圖 2.4 臺灣地區震源深度大於 40 公里之歷史地震分佈圖，黑色星號為 1219 花蓮地震震央位置

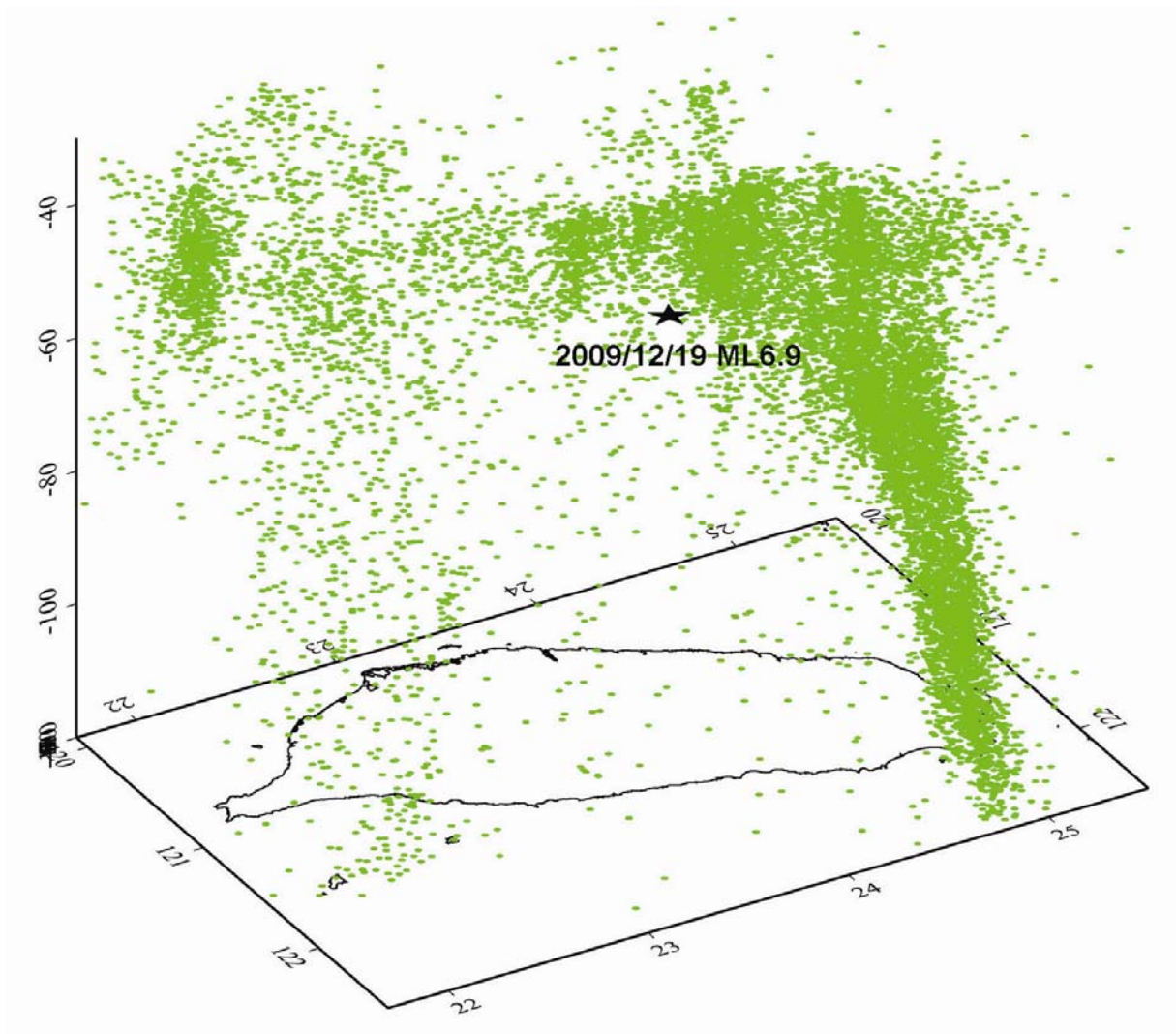


圖 2.5 臺灣地區震歷史地震震源立體分佈圖，紅色星號為 1219 花蓮地震震源位置

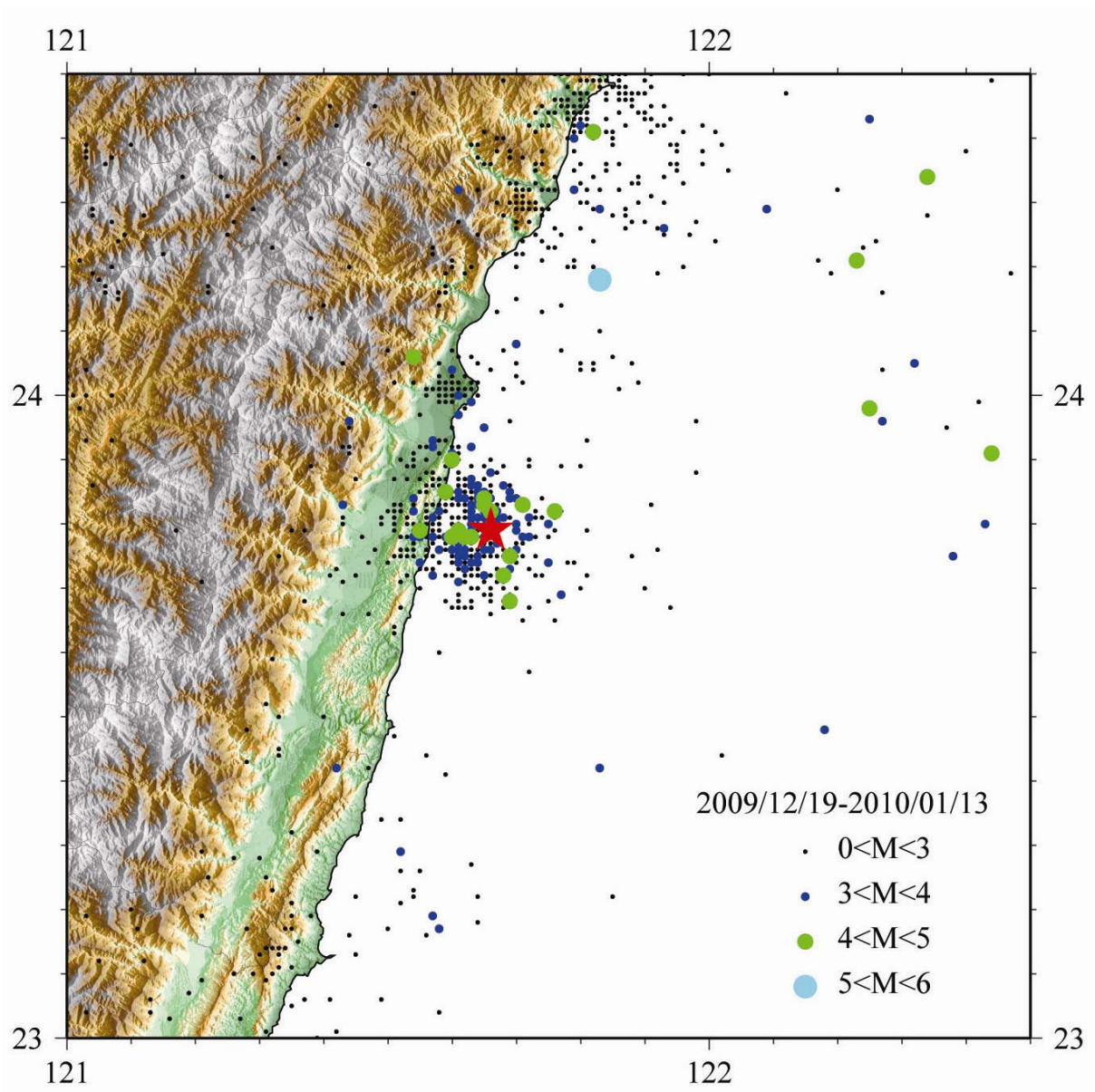


圖 2.6 1219 花蓮地震之餘震分佈，紅色星號為主震位置

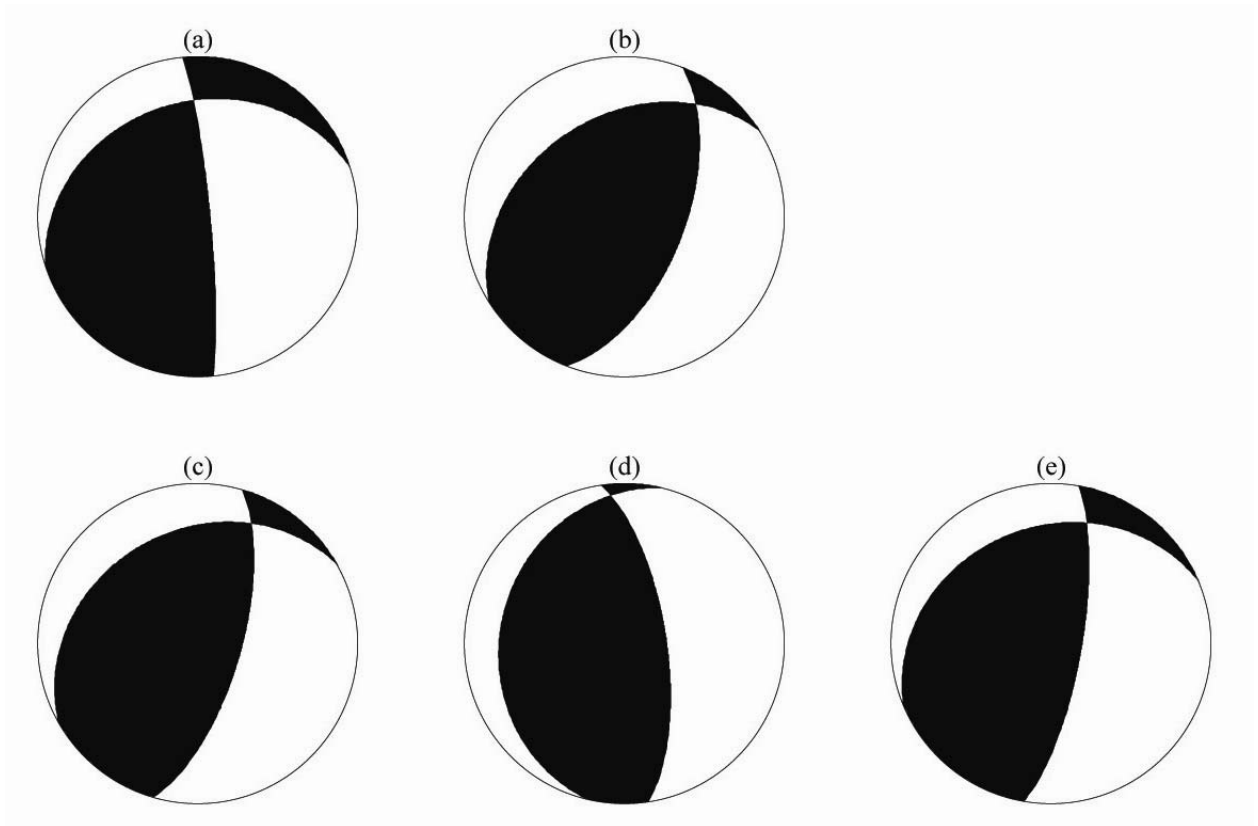


圖 2.7 1219 花蓮地震震源機制解海灘球 (a)CWB Centroid Moment Tensor (b)BATS Centroid Moment Tensor (c)USGS Centroid Moment Tensor (d)USGS Body-Wave Moment Tensor (e) Harvard Centroid Moment Tensor

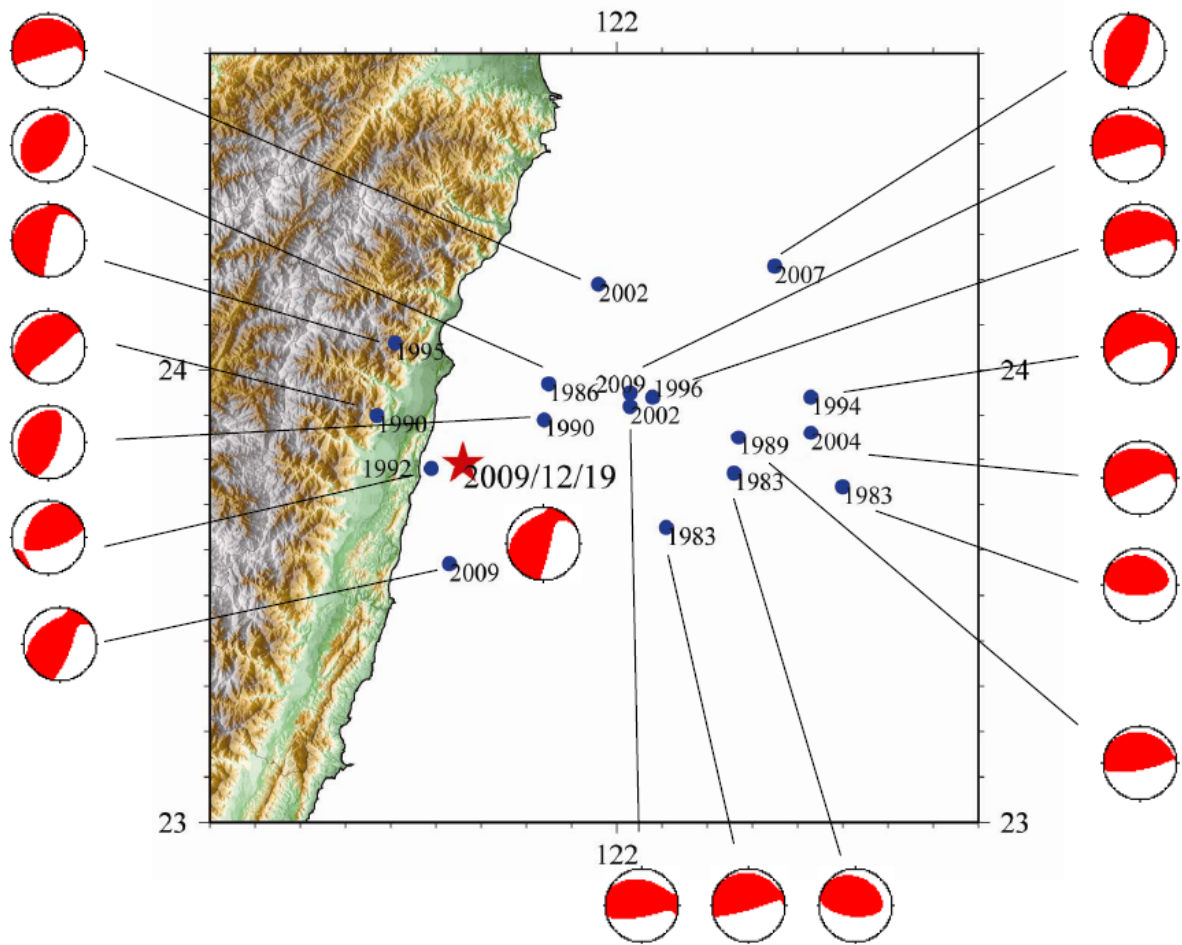


圖 2.8 1219 花蓮地震（紅色星號）與花蓮地區歷史地震（藍色圓圈）震源機制之比較

2.2 花蓮地區地震地質描述

自 1970 年代中研院設立遙測地震觀測網 (TTSN)，根據觀測到之精確地震定位資料，基於「弧陸碰撞」理論所建構之臺灣地體構造演變受到廣泛討論，並漸漸被廣為接受。亦即臺灣島為歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之間的碰撞帶，而臺灣東部的海岸山脈原是呂宋島弧之北段，在新生代晚期與歐亞大陸碰撞，將原屬於大陸的岩層擠壓抬升為現今的中央山脈及西部麓山帶，而海岸山脈也漸漸的抬升，約在 400 萬年前露出海平面。介於中央山脈及海岸山脈之間的花東縱谷則成為歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊的縫合帶。如此的地體構造背景也使東部成為臺灣地區地震活動頻率最高之區域，稱為東部地震帶。花蓮即位於呈臺灣本島平行方向的東部地震帶之中心，地震帶分佈向南可延伸至成功、臺東，南端幾與菲律賓地震帶相接；向北則延伸到宜蘭，並與環太平洋地震帶延伸至西太平洋海底者相連。本地震帶南端與花蓮以北區域因板塊隱沒作用，震源深度可達到 300 公里（參考圖 2.4、2.5）。

由於花東縱谷是兩板塊的縫合帶，存在一轉換斷層帶，通稱為「花東縱谷斷層」。經濟部中央地質調查所於 2000 年所出版之「臺灣活動斷層概論」^[2]公告花東縱谷內有 7 條活動斷層（圖 2.9），其中米崙、玉里、池上、奇美四條斷層屬於第一類活動斷層，是距今 1 萬年內曾發生錯動之斷層；月眉、鹿野、利吉三條斷層屬於第二類活動斷層，是距今 10 萬年以內曾經發生錯動之斷層。1951 年的花東縱谷地震系列即是沿著此斷層帶接連發生一連串的地震活動，地震分佈長達一百多公里，引發米崙、玉里與池上三條活動斷層的錯動。

花蓮地區的歷史災害性地震最早可追溯至 19 世紀初，1811 年花蓮地震，規模推測為 7.5；1815 年花蓮地震，地震規模推測為 7.7，根據文獻記載造成 113 人死亡。自日據時代 1897 年，臺灣設立首個地震觀測站，啟動臺灣地震觀測史，地震資料始較為完整。1920 年 6 月 5 日，花蓮東方近海發生強震，芮氏地震規模推測為 8.0，當時造成 5 人死亡，273 棟房屋全毀，在全島各地均傳出災情。鄭世楠博士彙整自 1900 年至 1998 年的「臺灣地

區十大災害地震」^[3]中，包含花蓮地區 1951 年及 1986 年兩次災害地震。1951 年花東縱谷地震系列，自該年 10 月 22 日位於花蓮東南東方 15 公里芮氏規模 7.3 地震開始，發生一序列地震，並逐漸沿著花東縱谷向南遷移，11 月 5 日花蓮玉里規模 7.3 地震，12 月地震則達南段的臺東地區；其間共有 4 個規模大於 7 的地震，並有 735 個有感地震，共造成 85 人死亡、200 人重傷。1986 年 11 月 15 日於花蓮東方 20 公里發生芮氏規模 6.8 地震，造成 15 人死亡、62 人輕重傷，至少 200 餘戶以上建築物受損，東部鐵、公路及碼頭也多處嚴重受損；此次地震並導致百公里外的臺北縣中和華陽市場倒塌，造成 12 人死亡，數十人受傷。近年來，花蓮地區則以 331 地震最為受到矚目，2002 年 3 月 31 日花蓮秀林地震站東方 44.3 公里，發生芮氏規模 6.8 地震，雖在花蓮地區無重大災情，災害卻集中於臺北市，數棟建築物受損倒塌，並導致臺北 101 大樓工地施工吊臂斷裂，起重機自 56 樓掉落，造成 5 人死亡，20 多人受傷。圖 2.9 繪出前述花蓮地區歷史災害性地震與花蓮 1219 地震震央位置分佈。

花蓮地區雖然大規模地震頻繁，但由於震源深度較深或震央位於外海，且東部人口較為稀疏分散，所造成之傷亡通常較低，不像臺灣西部強震所造成的數千人傷亡，例如 1906 年梅山地震、1935 年新竹-臺中地震及 1999 年集集地震；然而，其潛在的地震危害仍不可輕忽，尤其花東縱谷內之斷層帶，綿延長達 150 公里之數條斷層，目前雖無證據證明其活動相關性，但一旦同時破裂，所造成的災害將是毀滅性的。此次 1219 花蓮地震之震源較深，應為板塊構造活動之地震，與淺部之活動斷層較無關連，但其震央位置所在之花蓮北部外海，也是東部主要災害性地震聚集的區域，未來仍不可避免的會不斷地有大規模地震發生，應持續注意及防範此區域之地震威脅。

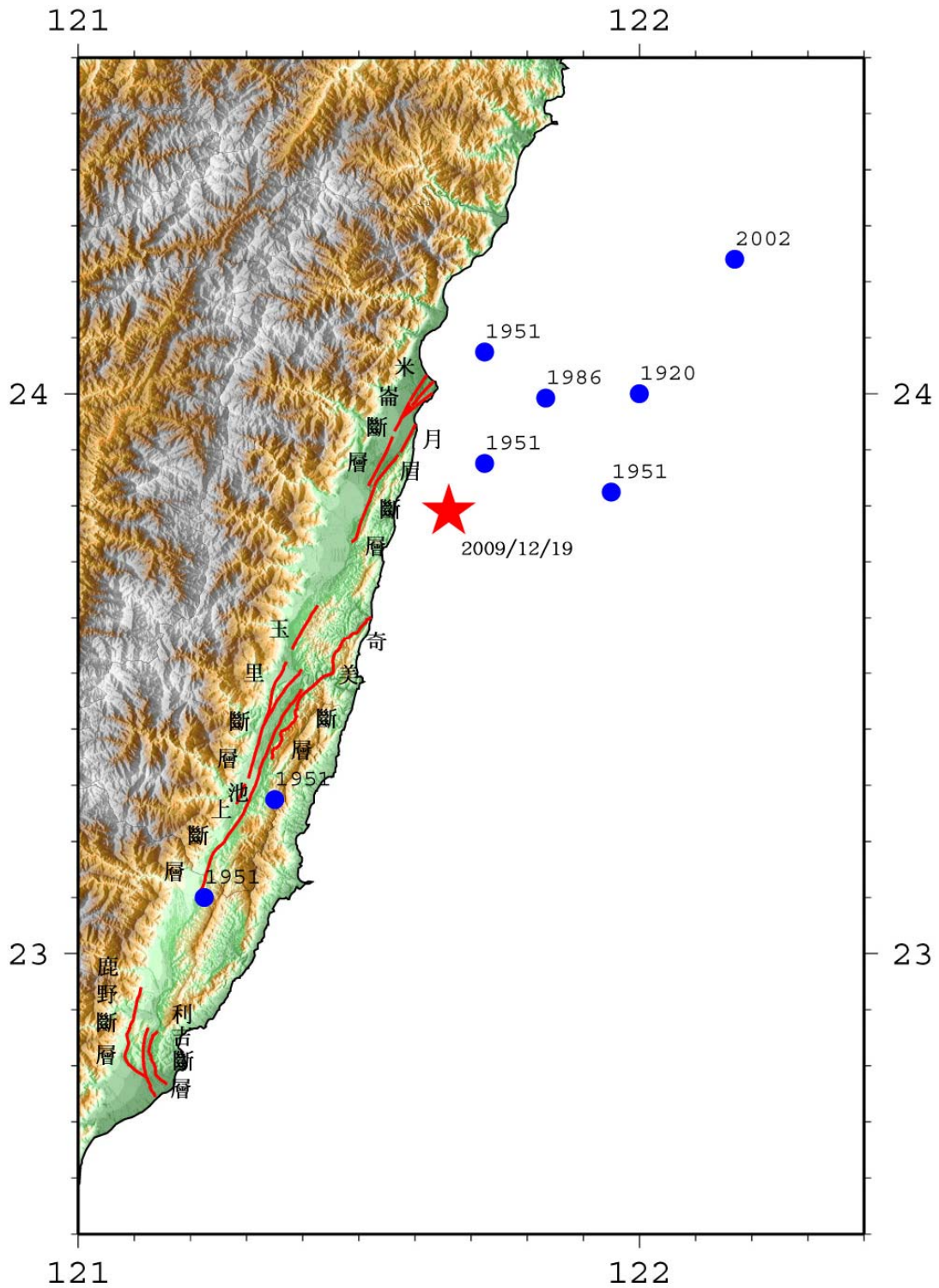


圖2.9 花蓮地區歷史災害性地震與1219花蓮地震震央位置分佈，並標示花東縱谷內7條活動斷層

第三章 強地動與地震動分布圖

由強地動衰減特性評估地震動分布圖，為評估地震災害潛勢與災損評估之重要依據，受到震源機制、波傳路徑與局部地盤效應等之影響。在工程應用上，通常以實測地震動參數建立堅硬地盤之衰減律之經驗式，再配合局部地盤放大係數或函數來評估建立地震動分布圖，以為後續應用。然而，由實際的地震觀測結果驗證此一經驗模型，發現每次地震的地震動分布圖(shake map)的震度型態(pattern)並不一致，可能是受到震源機制之影響^[4,5]。因此，必須再利用即時觀測資料修正前述的經驗模型，以其應用於該地震獲得較佳的評估成果。

目前中央氣象局在全台佈設的地震觀測網（Central Weather Bureau Seismic Network；簡稱為 CWBSN），包括有強震網（Taiwan Strong Motion Instrumentation Program，TSMIP）及速報系統（Earthquake Rapid Reporting System，RTD System）。其中速報系統共設置了超過一百個的即時地震測站（RTD 站），在大地震後可以即時提供資料做為修正地震動分布圖的依據。地震過後約一小時內，本中心透過與中央氣象局之聯繫機制，下載即時測站之地震波形資料，進行資料分析，可獲得不同震度之地震動值，瞭解地震發生時所造成之強地動特性。

本次地震位置位於板塊的隱沒帶，屬於一般的板塊擠壓所造成之隱沒帶地震，雖屬於深層地震，但由於其最大震度達到七級，已足以引起一般建物受到不同程度的損傷。

3.1 強地動衰減特性分析

本次地震引起強烈的地表震動，全台皆屬於有感震度，中央氣象局強震即時站量測得之最大震度發生在花蓮的磯崎，震度達七級(PGA 值約為 540 gal)，連遠在 150 km 以外的台北盆地也搖晃約有數十秒之久。地震發生時，位於花蓮縣的磯崎地區的 EGC 測站(震央距 15.15 公里)記錄到 540gal

的地表震動，震度超過七級；而鹽寮地區的 EYL 測站(震央距 11.38 公里)記錄到 223 gal 的地表震動，光復地區的 EGF 測站(震央距 22.10 公里)則記錄 222gal，花蓮市區的 HWA 測站（震央距 21.41 公里）也達 145gal；震度均達到五級(80gal)。震央距小於 80km 之近震源範圍內，即時站之最大地表加速度(PGA)值如表 3.1 所列，各即時站位置繪於圖 3.1 中。

在影響地震動大小因子的各因素中，除上述震源大小及位置外，因傳播路徑材料及幾何上的關係，地震動值會隨著距離變大而發生衰減現象。在工程上地震動值 Y_r 之衰減律可表為 $Y_r = f(M, R)$ ，其中 M 、 R 為地震規模及震源距離。根據 1993-2003 年的地震資料(包括 921 主震及餘震資料)中，取用地震規模 $M_L=5.0\sim 7.5$ 的淺源地震(震源深度=0~35 公里)，共 59 個地震之兩水平向的幾何平均值進行分析^[4,5,6]，所採用之地震為均勻分佈於全台灣。分析時採用 Campbell 所提出的衰減公式進行回歸分析，如下，

$$Y_r(g) = f(M, R) = C_1 e^{C_2 M} [R + C_4 \exp(C_5 M)]^{-C_3} \quad (3.1)$$

分析式(3.1)中 $C_1\sim C_2$ 係數時，排除台北盆地、宜蘭平原具特殊放大效應之測站。因分析時乃根據過去堅硬地盤的地震紀錄進行分析，其結果適用於堅硬地盤之測站，以下稱為 NCREE'2006 的衰減律^[4,5,6,7]。各地震動衰減律之係數如表 3.2 所列，分別為最大地表加速度(PGA)、0.3 秒的譜加速度值(S_{as})及 1.0 秒的譜加速度值(S_{al})，皆為耐震設計規範中建立均佈簡化耐震設計反應譜所用。

中央氣象局即時站資料對本次地震所觀測之地震動值隨震源距離衰減變化之關係如圖 3.2~圖 3.4 所示。圖 3.2 中將本次地震時由即時站所量測到東西向、南北向的紀錄與地震動衰減律進行比較，並將 Lin et al.(2008)^[8]應用隱沒帶地震紀錄回歸分析所得之 PGA 衰減律亦繪於圖中以茲比較。結果顯示，NCREE'2006 的 PGA 衰減律估算值相對於多數實測紀錄較為低估，此差異在於 PGA 衰減律進行回歸分析所採用的資料庫為分佈於全台灣的地震紀錄，分析結果屬於震源及路徑效應之平均結果。由於每一個震源皆有其獨特性，與平均特性的地震動衰減律則可能產生一系統誤差。因此，針對該系統誤差，可採用各地震之即時站紀錄進行修正，建立震源相依之地

震動衰減律，如圖 3.2 中之紅色虛線所示，該結果顯示經即時站紀錄修正後之震源相依之地震動衰減律可以適當地描述本次地震的地震動值。0.3 秒的譜加速度值(S_{as})及 1.0 秒的譜加速度值(S_{al})的震源相依之地震動衰減律如圖 3.3~3.4 紅色虛線所示，該結果將於後續結合各測站之場址效應修正係數，為一二階段的地震動預估經驗式，並應用於全台灣地震動值分佈之估算，結果將提供本中心於震後所進行勘災之校舍建物，對於其所在位置的地震動值估算。

表 3.1 近震源地區(震央距<80km)之即時站之最大地表加速度(PGA)值

測站名稱	測站編碼	震央距 (km)	震源距 (km)	PGA (cm/sec^2)			
				垂直向	南北向	東西向	HGeo
鹽寮村中心	EYL	11.38	45.26	90.11	159.21	314.11	223.40
磯崎	EGC	15.15	46.35	208.18	540.31	540.25	539.73
壽豐	ESF	18.73	47.64	138.45	198.63	228.02	212.60
花蓮市	HWA	21.42	48.76	44.91	184.24	113.84	144.67
花蓮港務局	HWAP	21.74	48.90	52.62	85.47	103.56	93.99
光復	EGF	22.10	49.06	138.27	201.72	244.89	222.03
吉安	EGA	23.09	49.51	100.89	93.83	151.50	119.10
西林	ESL	23.21	49.57	92.03	159.39	152.02	155.50
銅門	ETM	26.51	51.20	122.27	166.21	210.16	186.71
秀林	TWD	33.02	54.85	40.48	59.28	71.73	65.14
太管處	ETL	41.18	60.12	66.28	136.30	76.34	101.90
紅葉	EHY	46.80	64.10	50.72	90.29	87.97	89.03
合歡山	WHF	56.22	71.27	40.12	88.98	81.31	84.97
長濱	ECB	56.68	71.63	46.70	96.64	98.80	97.61
和平	EHP	58.02	72.70	45.17	80.64	108.87	93.60
玉里	TWF1	60.87	74.99	24.07	23.23	28.50	25.71
南澳(金洋國小)	ENA	71.01	83.43	41.43	95.68	96.34	95.91
德基	TWT	72.43	84.64	28.98	83.17	44.31	60.64
埔里	WPL	76.42	88.09	14.19	15.45	20.06	17.58
南山	NNS	77.49	89.01	19.64	69.04	57.48	62.93
日月潭	SML	78.00	89.46	20.36	37.84	51.67	44.17

HGeo：為兩個水平向 PGA 值之幾何平均值。

表 3.2 不同地震動衰減律的各項係數及標準偏差(Jean et al., 2006)

Case	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	σ_{lnErr}
PGA	0.0028	1.7331	2.0639	0.0999	0.7719	0.7815
S_{as}	0.0079	1.7253	2.0489	0.1199	0.7850	0.7201
S_{al}	0.0027	1.7731	2.0419	0.1154	0.7714	0.7018

2009/12/19 21:02:15(ML6.9)

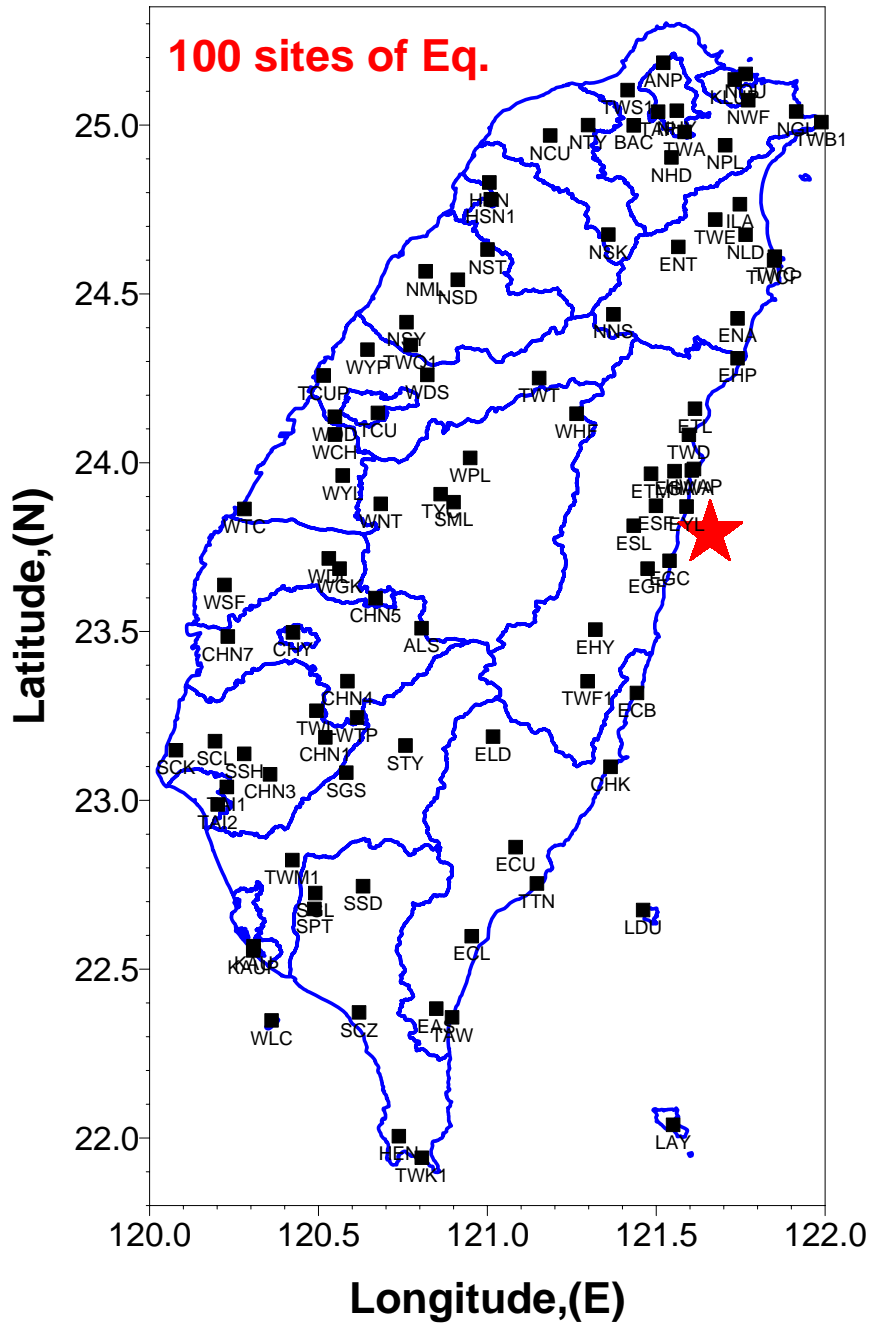


圖 3.1 中央氣象局速報網於 1219 花蓮地震收到之即時站位置分佈

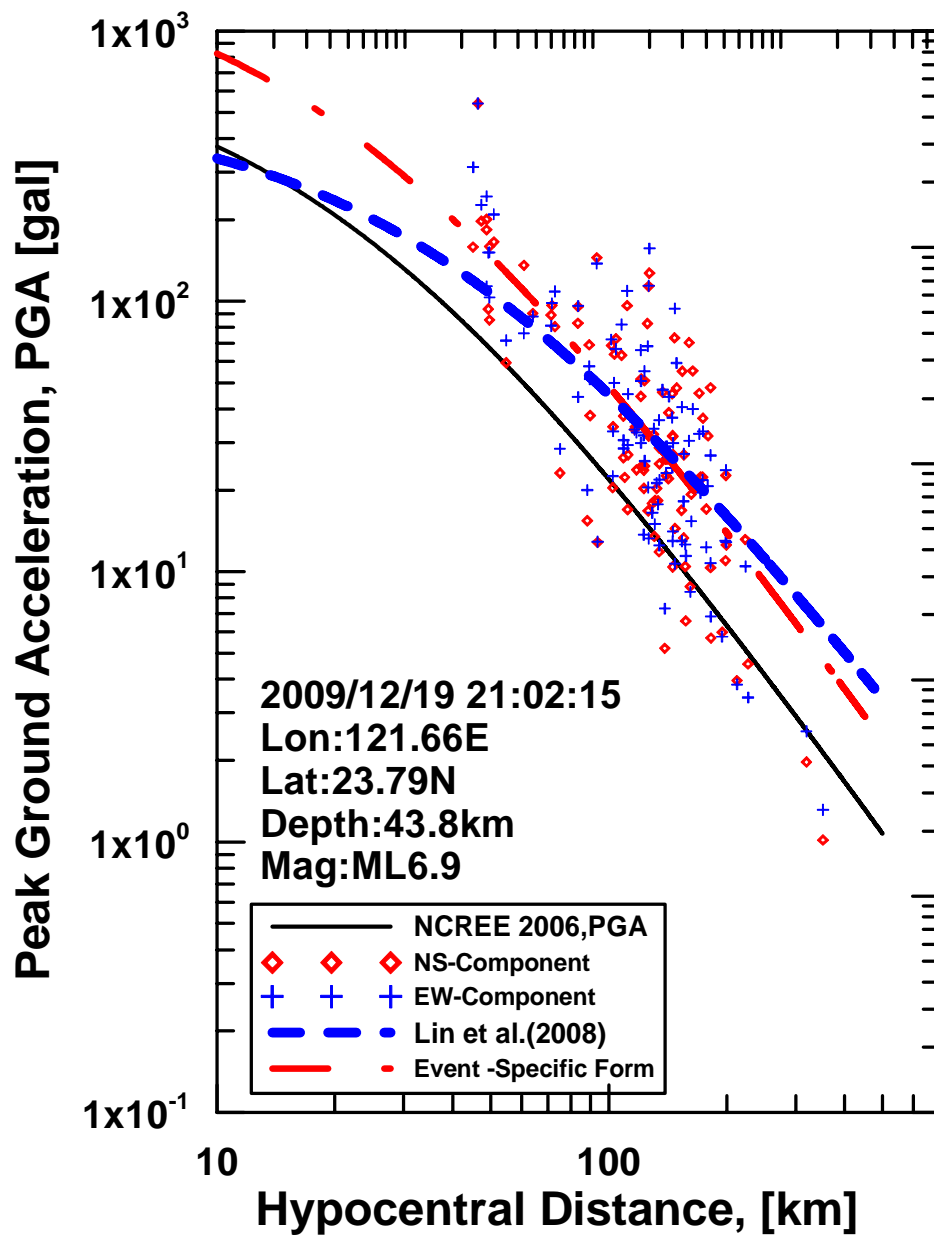


圖 3.2 即時站之最大地表加速度 PGA 值隨距離變化特性與衰減律之比較

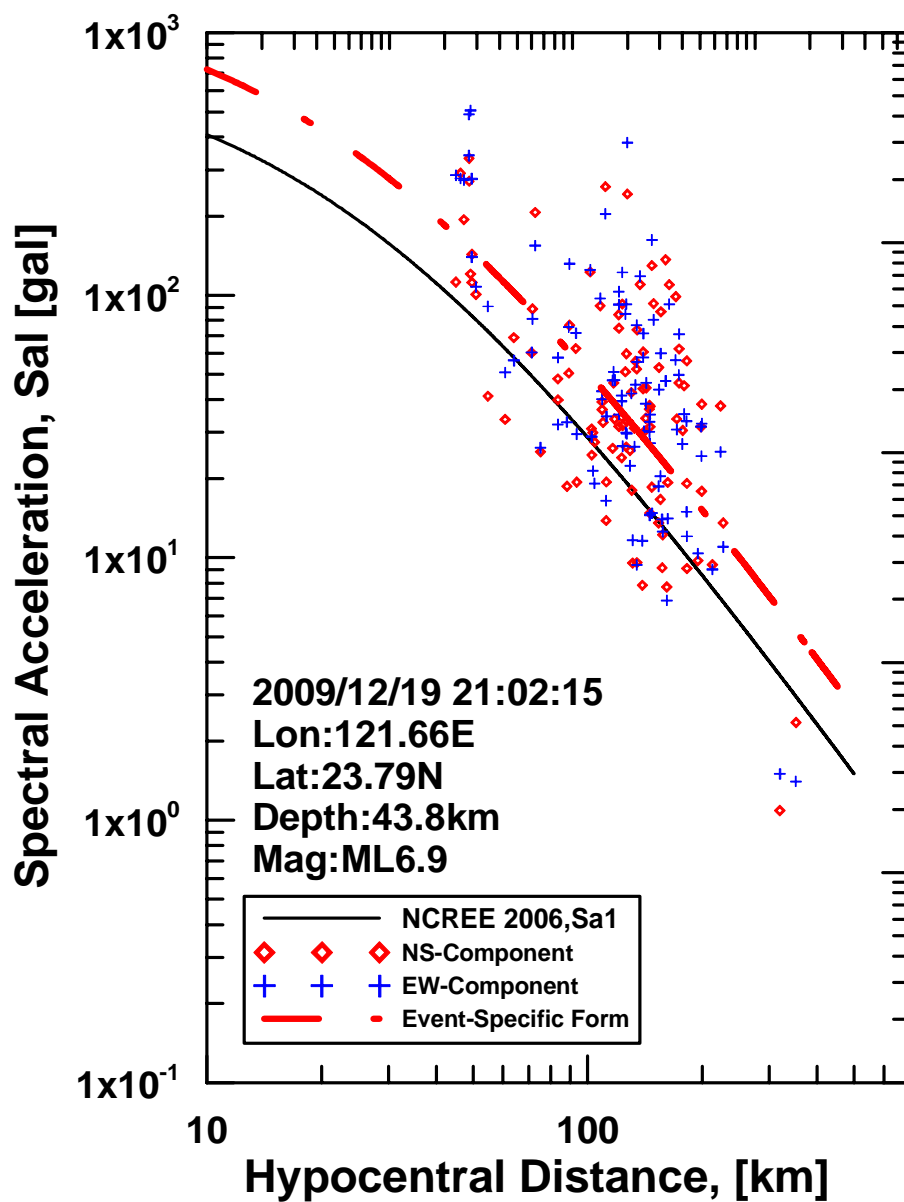


圖 3.3 即時站之一秒週期譜加速度 S_{a1} 值隨距離變化特性與衰減律之比較

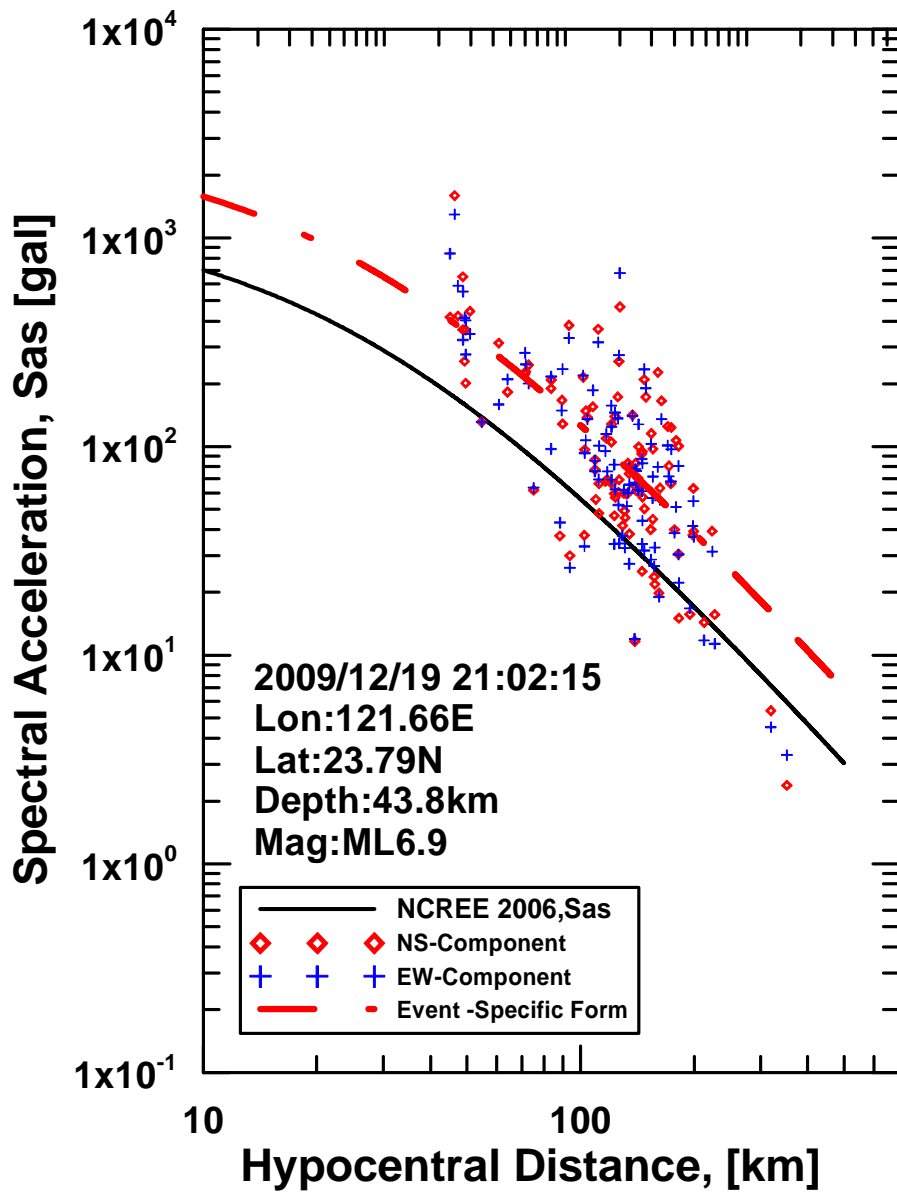


圖 3.4 即時站之短週期譜加速度 S_{as} 值隨距離變化特性與衰減律之比較

3.2 地震歷時與反應譜分析

結構物的損害與地震動的延時與其反應譜有關，則地震動歷時的形狀有助於對地震動特性的了解，圖 3.5 繪出震央附近處於花蓮縣的即時站 EYL、EGC、ESF 及 EGF 等四個 PGA 值 $>200\text{gal}$ 且震度超過五級的測站(詳如表 3.1 所列)之三個方向的地震動歷時圖，其中 EYL 測站之資料並不完整，可能因為震動過大導致斷訊，此可能為造成主要震動的部份可能未完成，使其震央距在小於 EGC 測站與震源之距離下，其 PGA 值僅達 EGC 測站的 1/3。而 ESF 測站之資料並不完整，可能因為震動過大導致斷訊，但主要震動(強地震動)的部份仍有充分的紀錄。除即時站 EYL 外，其他如 EGC、ESF 及 EGF 等三個測站所觀測的地表震動之反應譜繪出與規範的設計反應譜比較如圖 3.6 所示。由圖中可以發現部分測站反應譜值在結構週期 0.1 秒至 1 秒的區間的值都相當接近建築物 475 年回歸期(50 年內 10%超越機率)的設計反應譜^[9]。依據耐震設計規範的考量，若不考慮超額設計及其他安全因子的話，設計反應譜代表著建築物受震時，控制建築物在嚴重受損程度(韌性用掉一半)以下的地震需求。而圖 3.6 的 EGC 及 EGF 測站兩水平向的反應譜值，在結構週期 0.1 秒及 1 秒附近均大於或接近設計反應譜，這意味著中低層樓的房子可能會受到輕微或中度損害。而位於台東縣的 ECB 測站及位於花蓮市的 HWA 測站之震度達五級，其實際反應譜皆低於規範之設計反應譜。

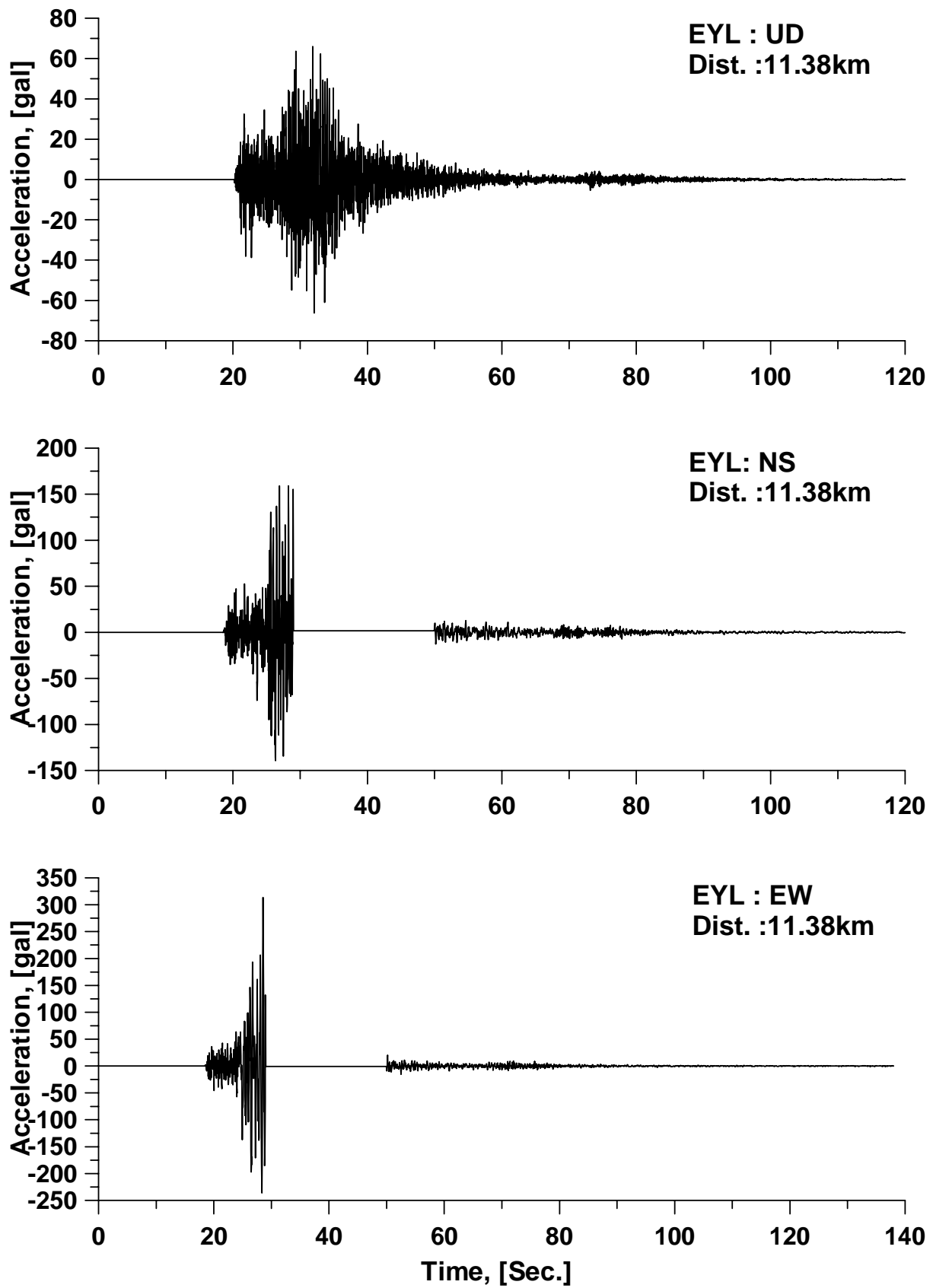


圖 3.5(a) 即時站之地表加速度歷時比較(EYL)

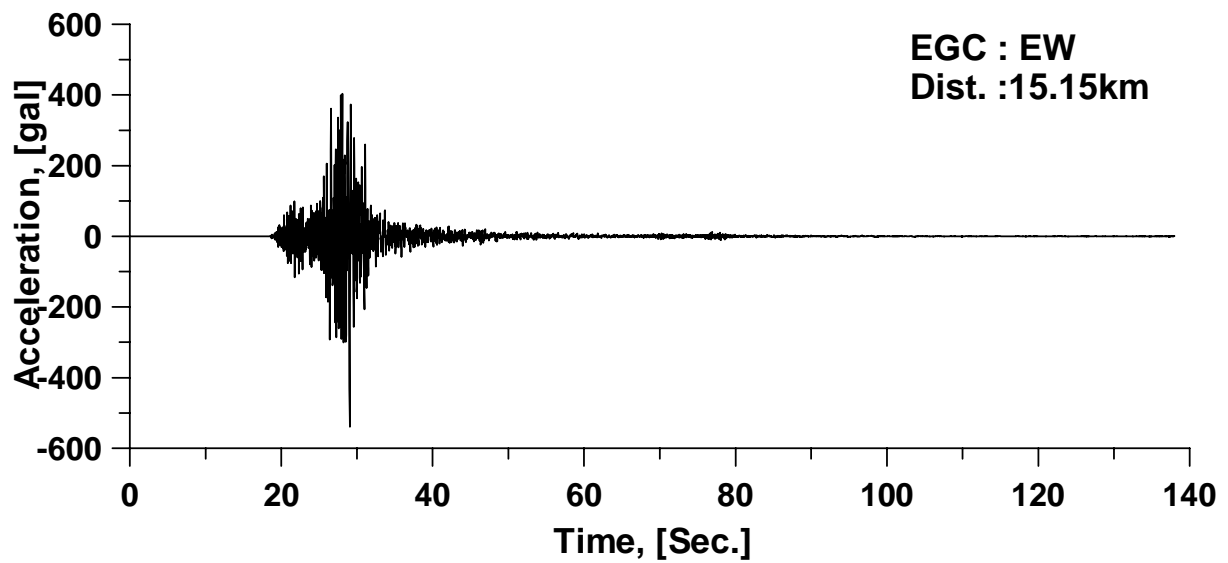
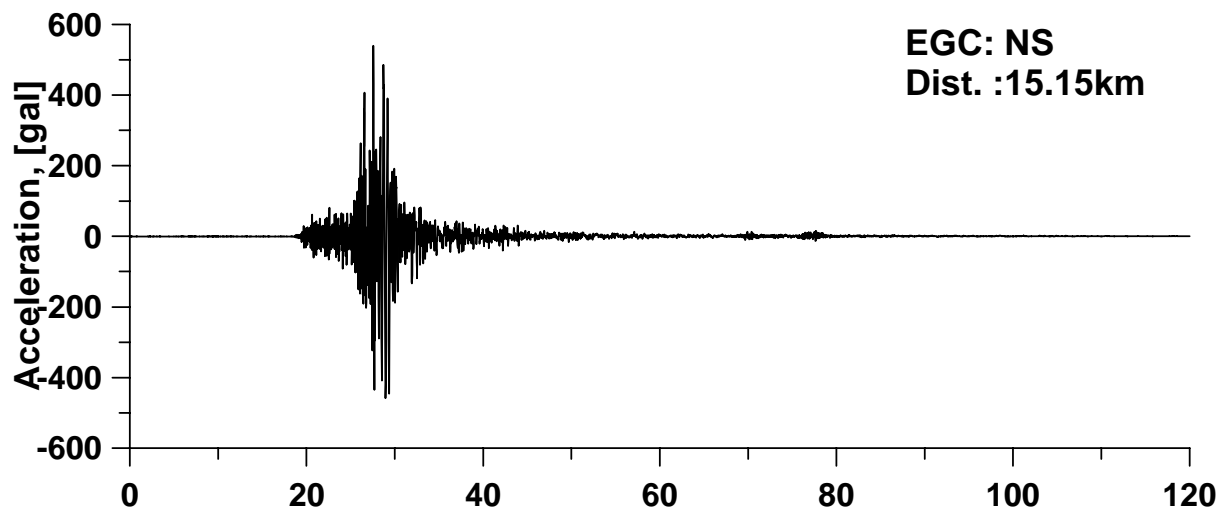
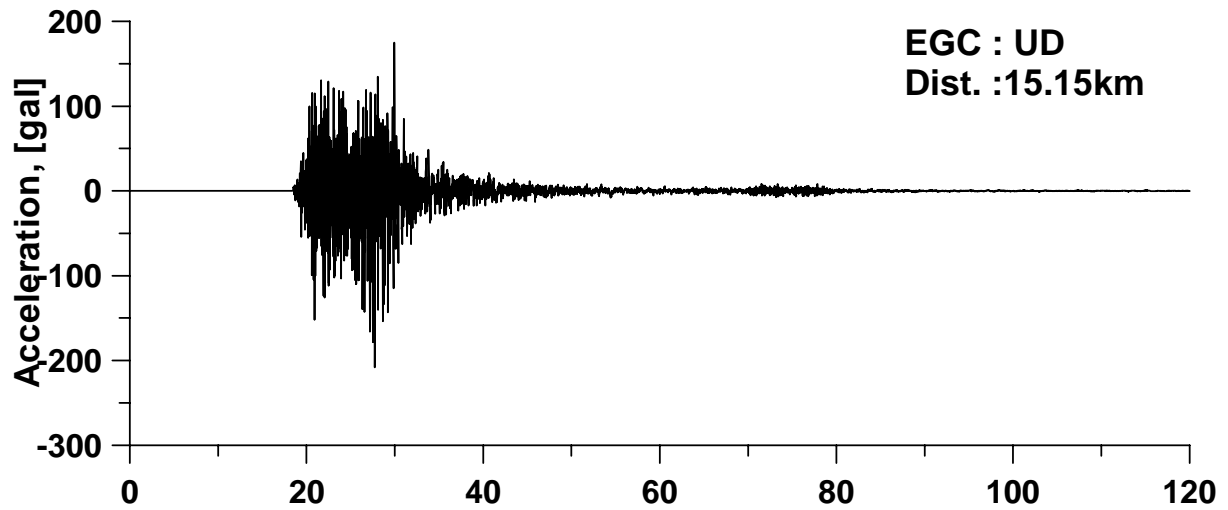


圖 3.5(b) 即時站之地表加速度歷時比較(續)(EGC)

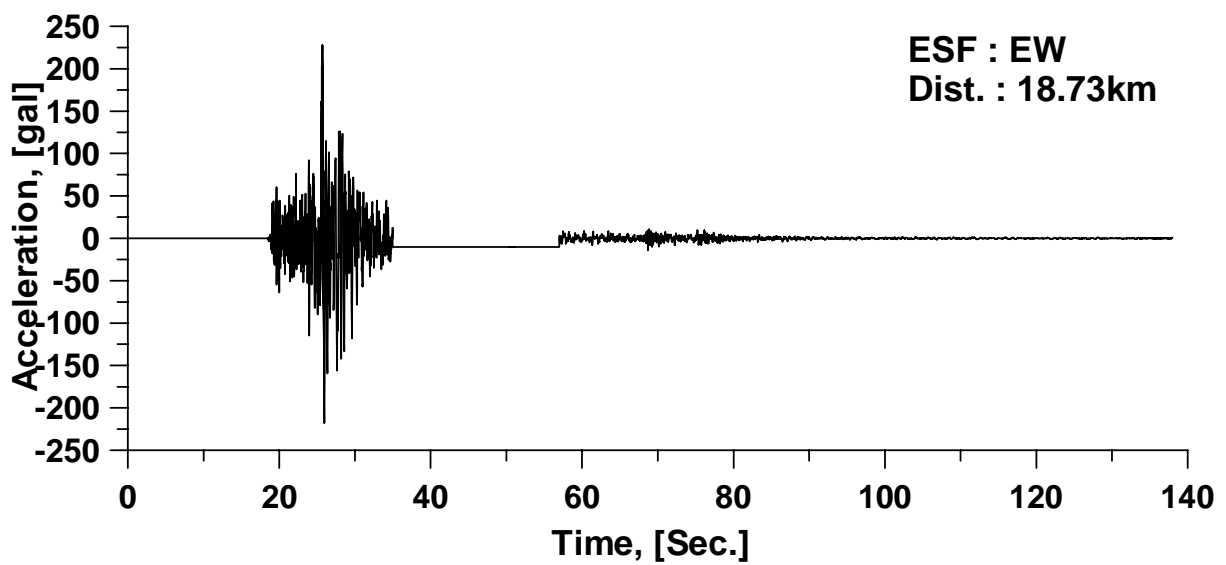
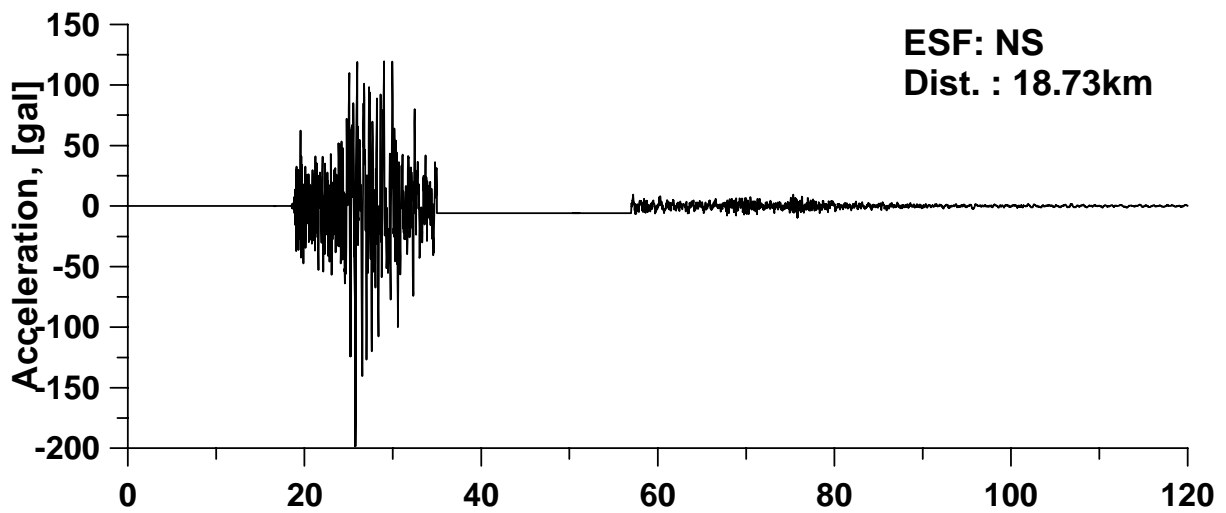
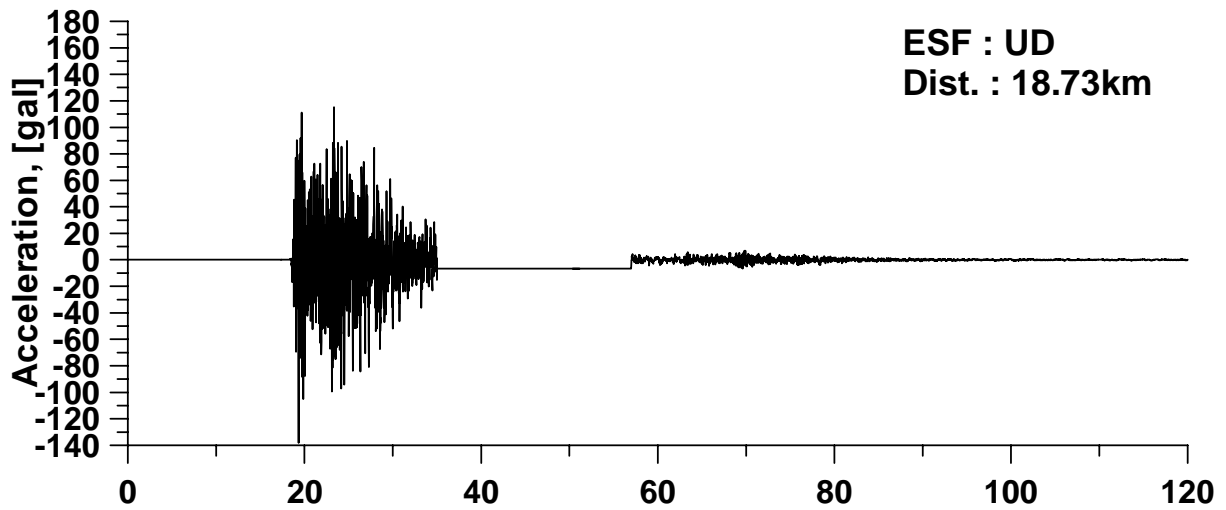


圖 3.5(c) 即時站之地表加速度歷時比較(續) (ESF)

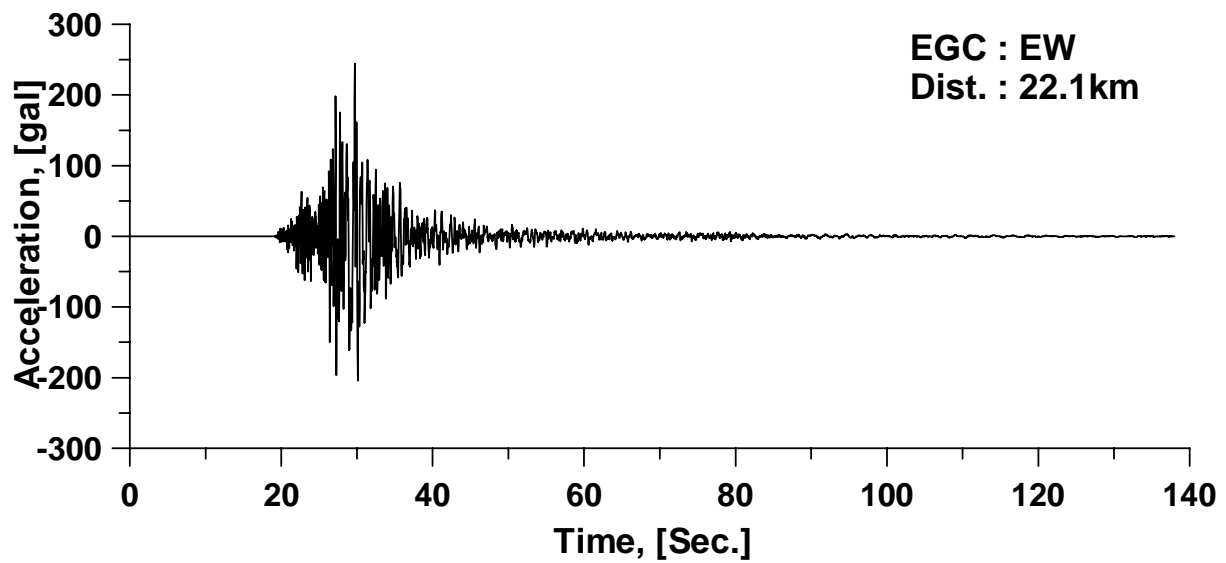
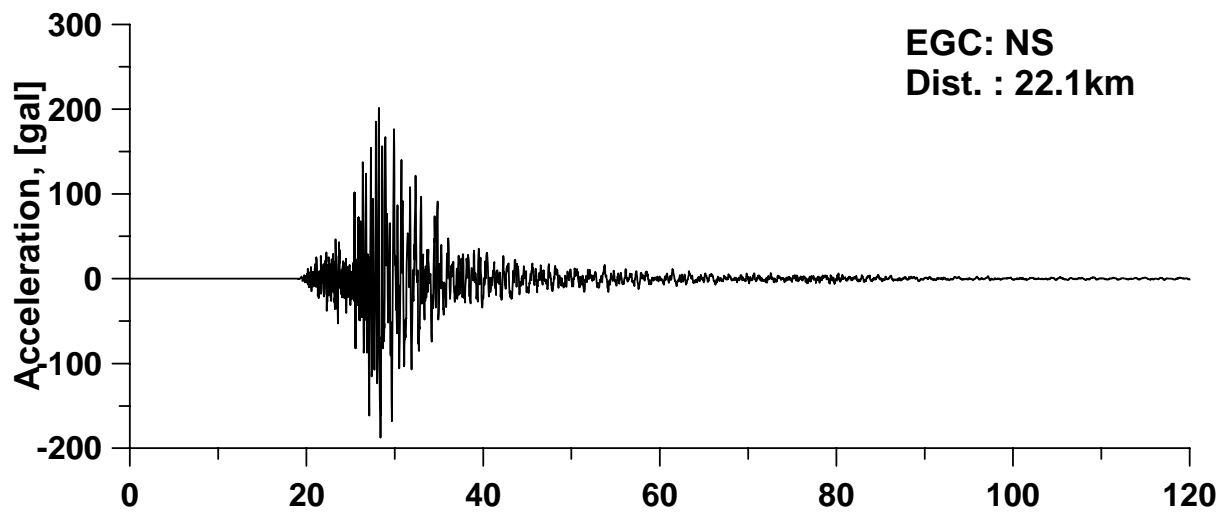
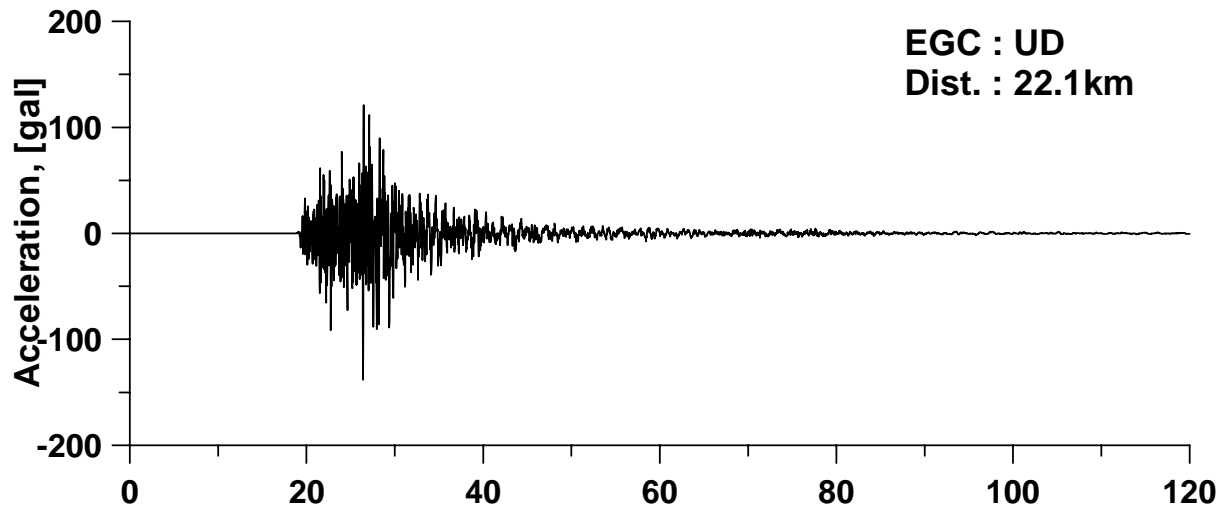


圖 3.5(d) 即時站之地表加速度歷時比較(續) (EGF)

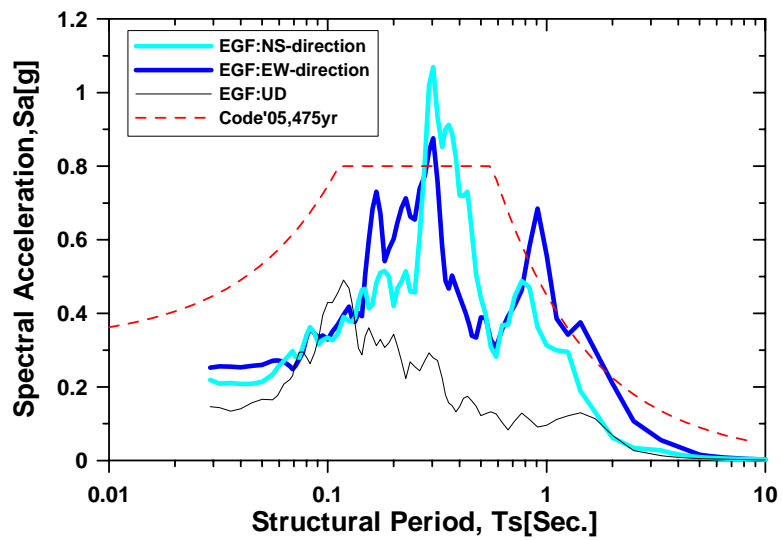
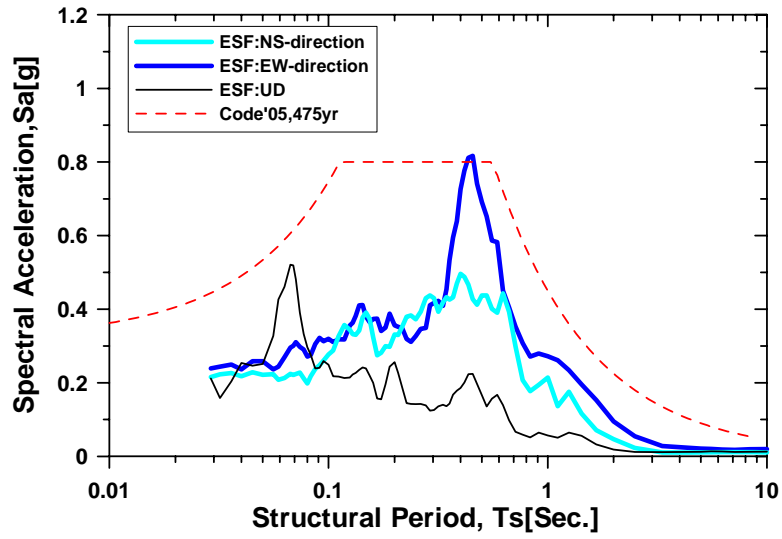
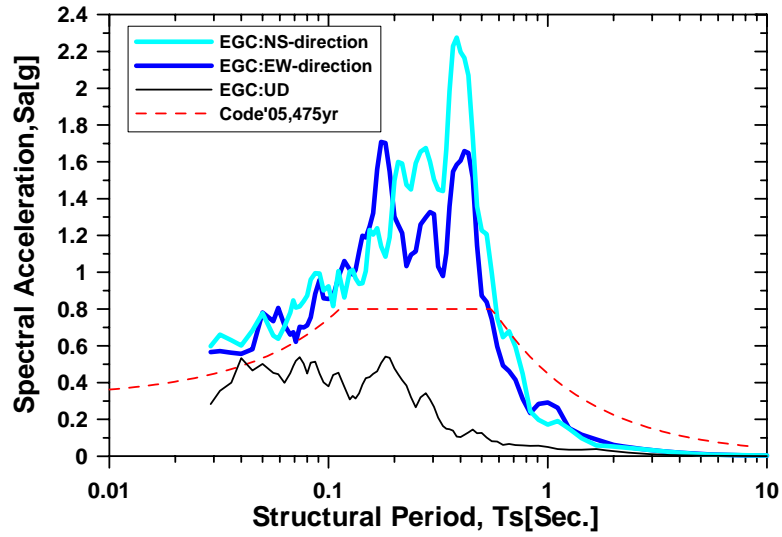


圖 3.6(a) 即時站之加速度反應譜比較(續)(EGC、ESF 及 EGF)

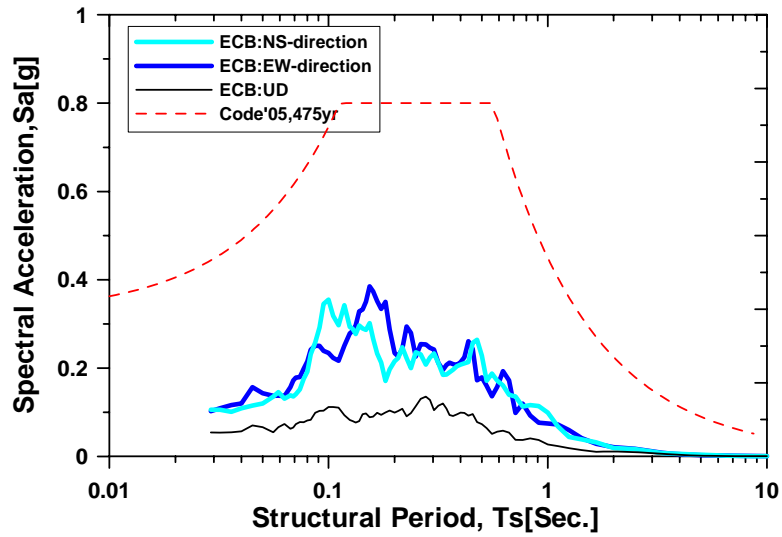
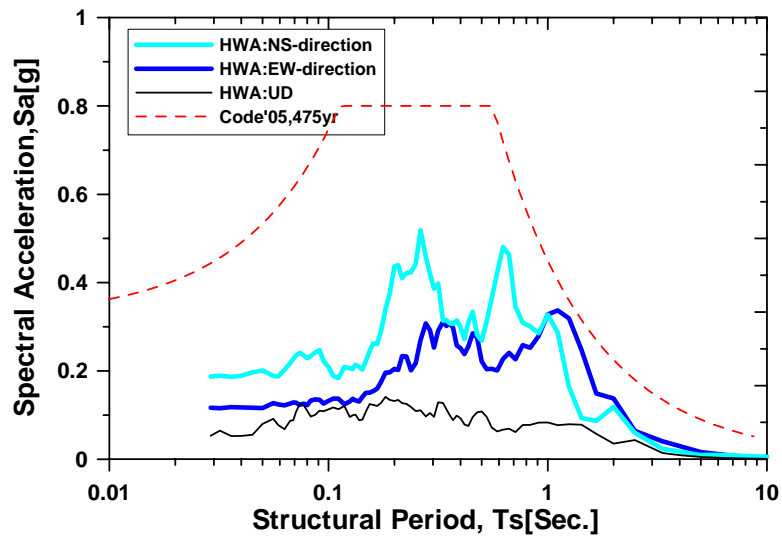


圖 3.6(b) 即時站之加速度反應譜比較(續)(HWA 及 ECB)

3.3 測站地盤效應分析

地震發生時乃由一波傳方式向四方傳遞能量至地面，影響地面地震動值大小之因素除震源本身之效應（source effect）外，亦包含傳遞之路徑效應（path effect）及各地之地層條件（site effect），三者間皆有密不可分的關聯，其中地盤放大效應則和土層的軟硬及土層厚度有關^[5,6]。有鑑於台灣地區之強震網測站地質狀況複雜，若單純考慮地質條件之比對分類，尚不足以反應真正的地盤特性。因此，利用各測站歷年實際地震紀錄與堅硬地盤衰減律進行統計，藉由其所預估的結果與實測值之間所存在的系統偏差，直接做為測站地盤特性校正之依據，建立各測站的地盤修正函數的經驗式，以修正複雜之地盤效應^[5,6,7]。

由國家地震工程研究中心執行之『國家強震儀地質資料庫之建立』計畫，包含現場鑽探結果、剪力波速以及實驗室分析紀錄，至民國 89 年來已有約 435 個強震測站擁有實際地盤參數^[10]。圖 3.7 繪出鄰近震央附近的部分速報測站之地盤參數，其中包括由實際鑽探所得之貫入實驗之 SPT- N 值及剪力波速 V_s 值結果。由結果來看，鄰近震央之即時測站中 PGA 值較大的 ESF 及 EGF 測站，其地表下有一軟弱層存在。而 EYL 測站 SPT- N 值 >50 下，依據規範之地盤分類結果^[9]屬於堅硬地盤，其 PGA 值較大的原因可能受地形影響較大。

將震源發生位置範圍約 60×80 公里內之實際地震動分佈與測站所在之地形狀況繪於圖 3.8。圖中顯示 EYL 及 EGF 測站所在之地形為花東地區相對較低之高程，地質上屬於較軟弱的沖積層。而 EGC 測站位於地形變化的交界帶，其地震動值可能受到地形及地盤之影響，而有較其他地區較高之 PGA 值。一般而言，地盤效應主要來自軟弱沖積層所引起的放大，使得地震動潛勢評估時則需清楚釐清各測站本身地盤特性，是否具有特殊之地盤放大效應，而引發大的地震動值，造成嚴重災損^[6,7]。本節以此次規模 $M_L 6.9$ 的 1219 花蓮地震為例，簡要說明地震動潛勢早期評估系統之分析程序，以推算震央附近之地震動分布圖，作為災損評估及震害調查與研判之參考^[6,7]。

地震動潛勢評估系統採用各測站歷年來實際地震紀錄，探討各測站本

身特殊之地盤效應，並加以修正。分析過程主要以前述 3.1 節中提及之堅硬地盤衰減律為參考，建立屬於各測站本身之場址修正係數，修正地盤特殊之放大特性，提高地震動潛勢評估系統之可信性^[4,5,6]。前述地震動衰減律分析時將 $Y_r = f(M, R)$ 視為震源與路徑的平均效應，為一個虛擬的準堅硬地盤之地震動參數的函數。因此，實際地震動值 A 可以近似改寫為

$$A \cong Y_r \cdot I \quad (3.2)$$

則地盤效應 I ，為存在於實際地震動值 A 與堅硬地震動衰減律 Y_r 之間的關係因數，實際反映出各測站之間的地盤特性。因此，為排除各測站本身地盤特性對於地動值之影響，藉由芮氏規模 $M_L 4.0$ 以上，深度在 35 公里以內的地震於各測站所觸發的多筆地震紀錄為分析資料庫，其分佈可初步涵蓋台灣地震特性。將各測站由堅硬地盤衰減律的計算值與實際值之間作回歸分析，建立二者取對數後的線性關係，作為該測站相對於堅硬地盤衰減律的地盤修正函數^[5]。

對每一個測站而言，堅硬地盤衰減律均可以另一個修正函數加以修正，而得到考慮地盤震動特性之修正衰減律。此關係式定義為

$$\ln(Y_o)_S = C_0 + C_1 \times \ln(Y_r)_S \quad (3.3)$$

其中 $(Y_r)_S$ 為 S 測站利用堅硬地盤衰減律的計算值， $(Y_o)_S$ 為 S 測站歷年實測地震動值。由最小平方法回歸分析可得到各測站的函數 C_0 、 C_1 值，即該測站本身之場址修正係數。圖 3.9 繪出圖 3.7 中部分速報測站(與強震測站共站)實測值 Y_o 與堅硬地盤衰減律的計算值 Y_r 之關係比較。若資料點均落在圖中虛線上，則表示本測站之地盤效應不明顯，以堅硬地盤衰減律即可得到很好之地震動預測，若資料點偏離虛線越多則表示測站之地盤效應越明顯^[5]。

圖 3.9 中的多數測站實測資料與計算值的比較點多數落於虛線上，即表示該測站利用堅硬地盤衰減律已有良好的估算值。而一般而言，沖積層測站在 PGA 值越小越容易有明顯的地盤效應，隨著 PGA 值增大，放大係數會變小，甚至小於 1.0。場址放大較為明顯則有 EGF 等測站，歷史資料顯示當地震發生時，該測站特殊地盤特性會使地震動值放大約為堅硬地盤衰減

律的 1-2 倍。當進行地震動潛勢評估時，該些測站則需再引入場址修正係數進行地盤特性以更為接近該測站可能反應該地震的地震動值。

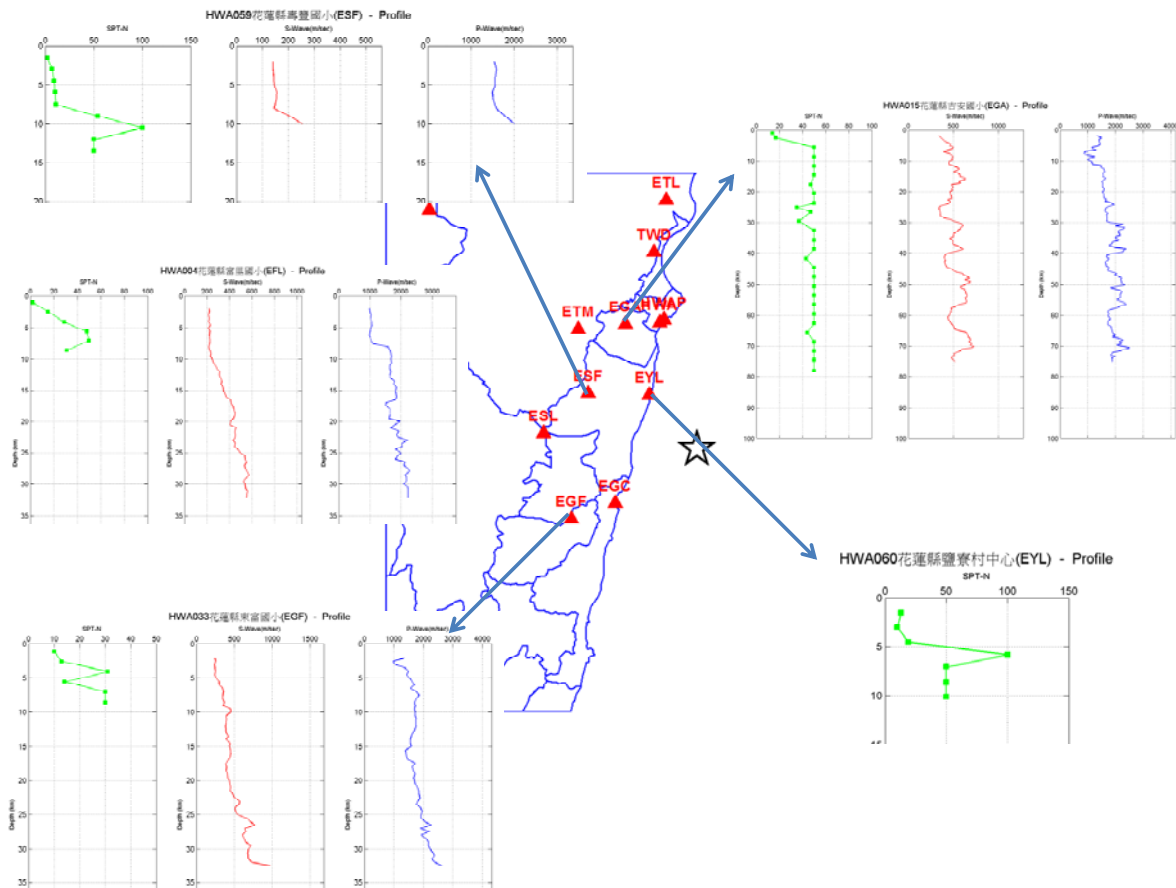
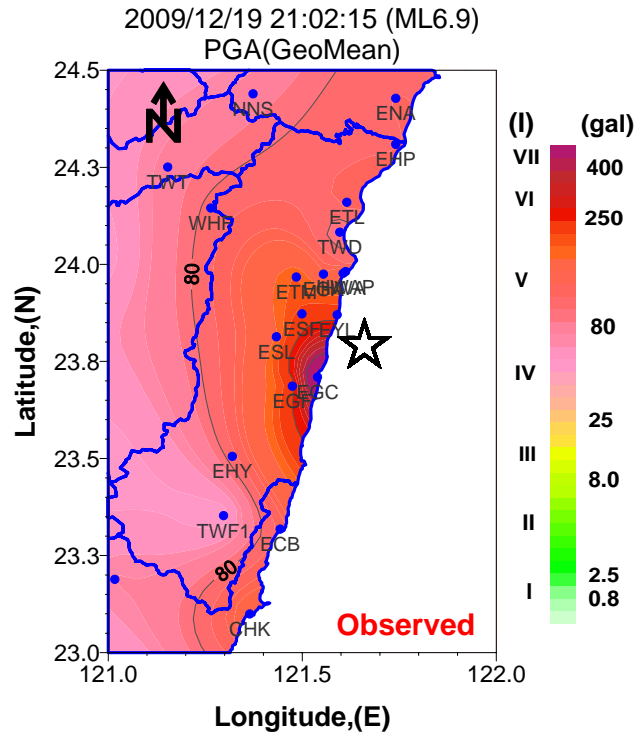
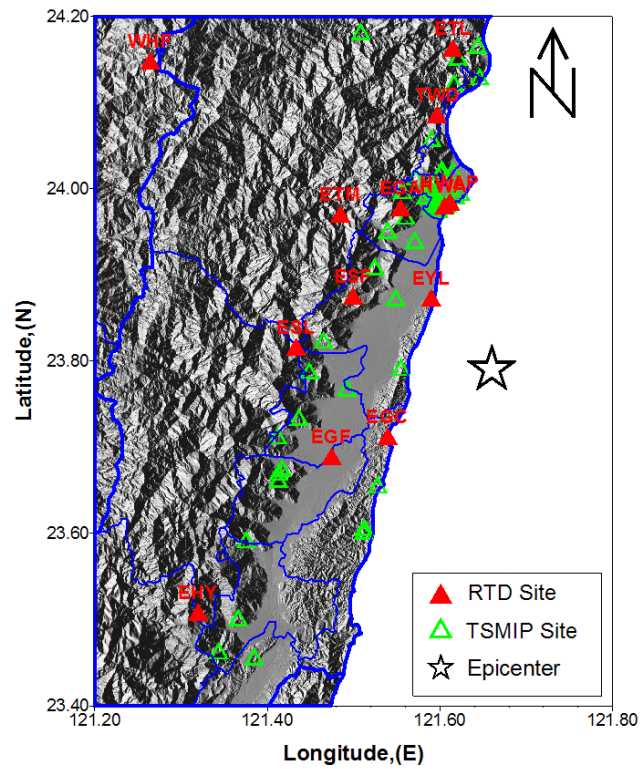


圖 3.7 鄰近震央之即時站分佈及實際地盤參數

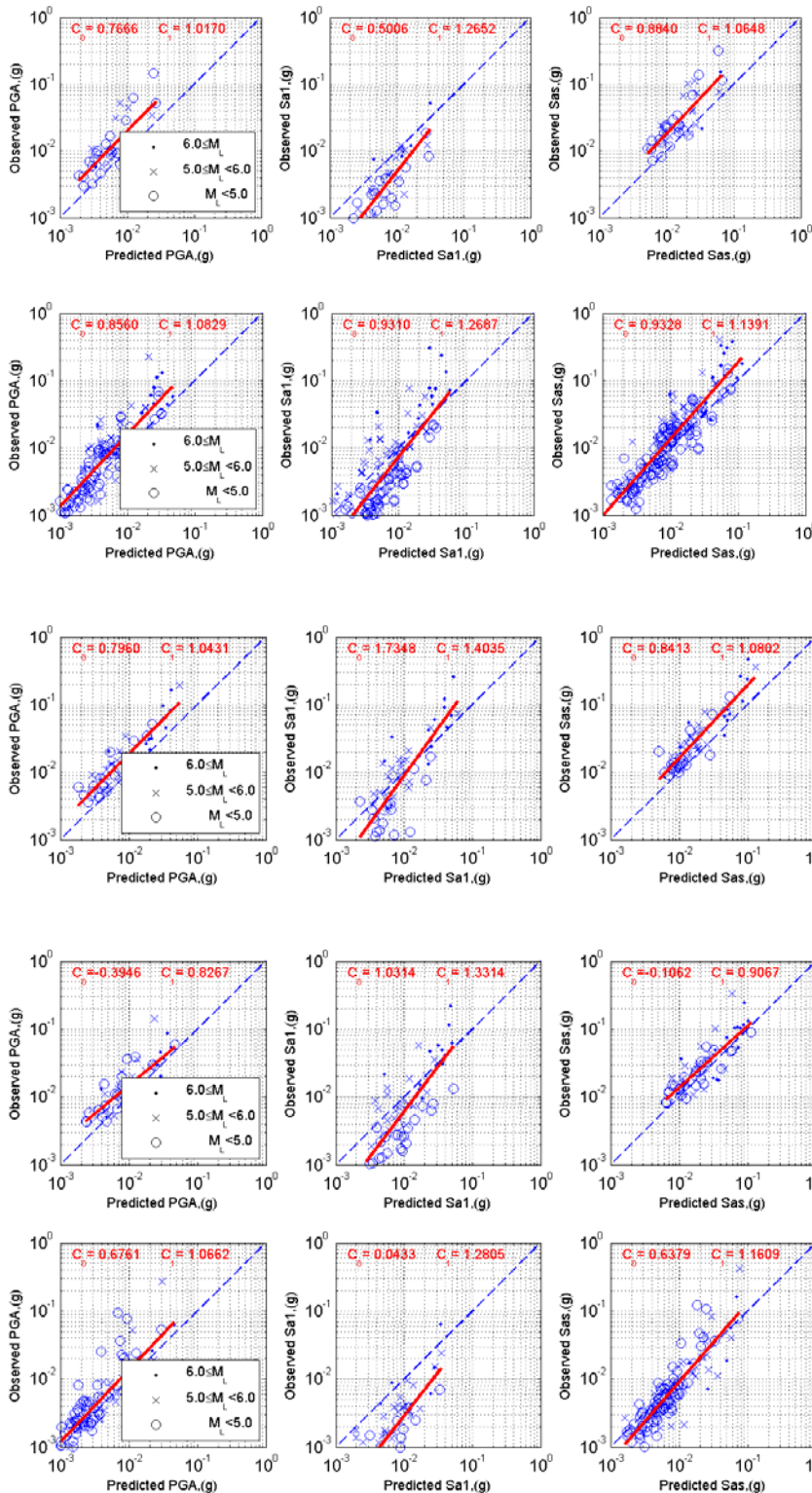


(a) 實際地震動分佈



(b) 地形分佈

圖 3.8 距震央附近內測站分佈與實際地震動及地形分佈之比較



Station:HWA001 (No. of Data=37)
 E/N=121.55/ 23.79
 $M_L = 4.11 \sim 6.49$
 Depth(km)= 0.90~ 31.13
 Distance(km)= 13.05~199.21
 PGA(gal)= 2.97~144.11
 Sa1(gal)= 0.45~ 50.96
 Sas(gal)= 6.95~312.60
 SC=99(Lee,2001) **ESM**

Station:HWA (No. of Data=169)
 E/N=121.61/ 23.98
 $M_L = 4.01 \sim 7.06$
 Depth(km)= 0.90~ 34.89
 Distance(km)= 11.57~264.17
 PGA(gal)= 0.64~220.16
 Sa1(gal)= 0.16~307.24
 Sas(gal)= 1.21~402.78
 SC=1(Lee,2001)

Station:HWA033 (No. of Data=53)
 E/N=121.47/ 23.69
 $M_L = 4.19 \sim 7.06$
 Depth(km)= 3.37~ 32.06
 Distance(km)= 12.96~187.04
 PGA(gal)= 3.54~190.59
 Sa1(gal)= 0.61~252.58
 Sas(gal)= 8.80~455.13
 SC=2(Lee,2001) **EGF**

Station:HWA015 (No. of Data=52)
 E/N=121.55/ 23.97
 $M_L = 4.04 \sim 7.06$
 Depth(km)= 0.90~ 33.89
 Distance(km)= 11.73~129.13
 PGA(gal)= 4.19~141.20
 Sa1(gal)= 0.33~219.25
 Sas(gal)= 8.08~329.37
 SC=1(Lee,2001) **EGA**

Station:ESL (No. of Data=101)
 E/N=121.43/ 23.81
 $M_L = 4.01 \sim 7.06$
 Depth(km)= 0.90~ 34.89
 Distance(km)= 15.90~200.91
 PGA(gal)= 0.67~263.66
 Sa1(gal)= 0.16~ 62.57
 Sas(gal)= 1.00~408.90
 SC=99(Lee,2001)

圖 3.9 震央附近強震測站實測值與堅硬地盤衰減律計算值之關係

3.4 地震動分布圖

中央氣象局於台灣地區建置高密度的地震速報系統，由超過百個測站組成，可於地震發生後數分鐘內即時觀測各地的地震動歷時，並將資料傳輸至中央氣象局，藉此 RTD 站資料即可繪製地震動分佈圖或震度圖。地震動分佈圖為災損評估或緊急應變的重要參考，當災害性地震發生時，快速地提供地震動潛勢分佈圖是緊急應變的一個重要且基本的程序^[4,6]，地震動潛勢即時評估系統即為達成此一目的而發展。由應用即時測站的地震紀錄進行震源及地形效應的修正，所建立之震源相依的地震動衰減律，即可根據前述的地震參數計算各地的地震動值，評估出極為精確的地震動分佈圖。地震動潛勢即時評估系統同時考慮 RTD 站及 TSMIP 站位置，所獲得的地震動分佈圖比僅利用 RTD 站繪製的成果有更高的解析度，可以提高位於沖積平原或盆地的都會區的震災評估的正確性^[6]。

地震動潛勢即時評估系統主要配合中央氣象局在第一時間所發佈的地震參數，評估可能的地震動分佈提供緊急應用。圖 3.10 為 1219 花蓮地震發生時中央氣象局共計 100 個即時站所得之實際觀測之震度分佈。以此次地震參數，應用即時站資料建立震源相依之地震動衰減律(式 3.1)，配合場址修正係數(式 3.3)則可能的地震動潛勢分佈結果如圖 3.11~圖 3.13 所示，圖中除合理地評估 TSMIP 測站中未於地震發生時正常運作之測站之地震動值，並加入即時站之實測資料，所建立之地震動分佈圖，以混合經驗模型更精細的顯現各地地震動之差異變化。圖中顯示主震近震源之花東地區引發震度達六級以上。將圖 3.10 中將僅由 RTD 網站觀測資料推估之最大地表加速度 (PGA)、短週期譜加速度 (S_{as}) 及長週期譜加速度 (S_{al}) 之分布圖及圖 3.11~圖 3.13 由地震動潛勢即時評估系統推估之結果進行比較，後者之局部變化細節較前者高，有許多地點因地盤效應而推估出較大的地震值，待日後取得 TSMIP 測站資料後，可以再進一步驗證地震動潛勢即時評估系統之可靠度。

此次地震在花東地區傳出多處校舍建物因本次地震而發生災損，本中心於 12/21 日開始陸續派遣人員前往勘驗，包括花東地區共計有 12 所國中

小，其位置如表 3.3 所列。表中所列各校舍所在位置可能之地震動預估值主要依據圖 3.11~3.13 中由地震動潛勢即時評估系統所推估，較為細緻之地震動分佈進行內插所得。其中磯崎分校及太巴塢國小中，中央氣象局設有即時站 EGC 及 EGF 等測站，故其 PGA 值為實際觀測資料；而其他國小部分設有 TSMIP 強震測站，該 PGA 值為地震動潛勢即時評估系統中之針對強震站之直接預估值；另外其他國小之 PGA 值則依據校舍座標內插計算而得。將各校舍位置與預估之地震動分佈圖進行套疊，相對位置如圖 3.14~圖 3.16 所示，其兩水平向最大的 PGA 值約在 540- 50gal 之間，而短週期譜加速度值約 1595- 128gal 之間，最大為 EGC 測站；而長週期譜加速度值約 290- 58gal 之間變化較大。

表 3.3 花東地區進行勘災之校舍相關位置及其 PGA 值估算結果

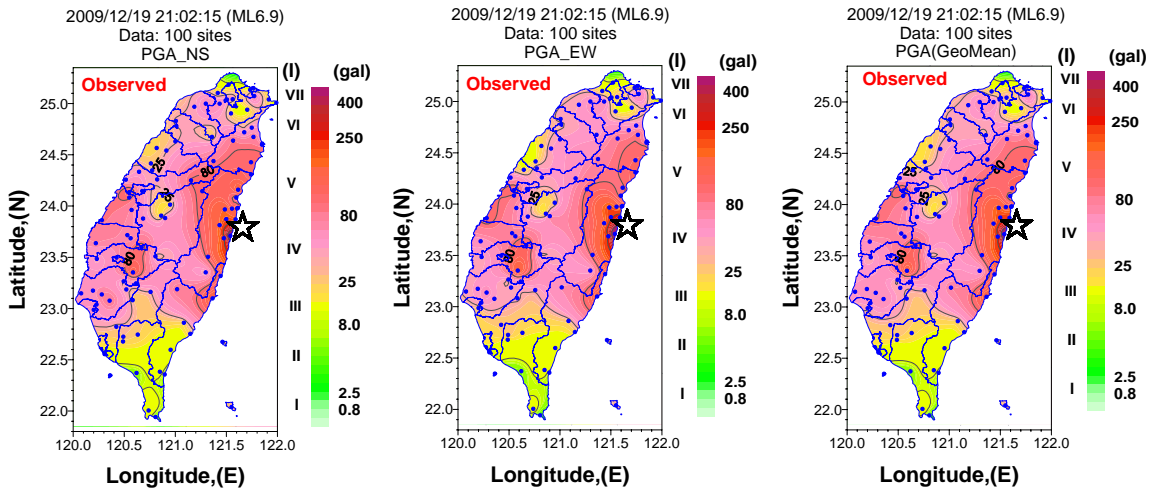
編號	縣市 (鄉鎮)	校名	E	N	PGA (EW,gal)	PGA (NS,gal)	PGA (Max(EW,NS),gal)	備註
A	花蓮縣 豐濱鄉	磯崎分校 EGC	121.55	23.71	539.70	539.76	539.76	實際 觀測值
B	花蓮縣 光復鄉	太巴塢國小 EGF(HWA033)	121.45	23.66	244.64	201.51	244.64	實際 觀測值
C	花蓮縣 壽豐鄉	月眉國小 HWA051	121.56	23.87	238.44	220.62	238.44	強震站 預測值
D	花蓮縣 壽豐鄉	水璉國小	121.56	23.78	225.06	199.07	225.06	
E	花蓮縣 壽豐鄉	化仁國中 水璉分校	121.56	23.79	225.06	199.07	225.06	
F	花蓮縣 壽豐鄉	豐裡國小	121.51	23.84	204.03	182.80	204.03	
G	花蓮縣 秀林鄉	銅蘭國小	121.51	23.95	187.73	158.23	187.73	
H	花蓮市	明禮國小	121.61	23.98	160.69	151.03	160.69	
I	花蓮縣 吉安鄉	稻香國小 HWA016	121.57	23.96	156.01	142.79	156.01	強震站 預測值
J	花蓮縣 豐濱鄉	新社國小 HWA044	121.54	23.65	144.45	131.81	144.45	強震站 預測值
K	台東縣 長濱鄉	三間國小 TTN031	121.46	23.36	102.72	94.23	102.72	強震站 預測值
L	台東縣 成功鎮	信義國小 TTN043	121.32	23.03	49.89	45.68	49.89	強震站 預測值

表 3.3 (續) 花東地區進行勘災之校舍相關位置及其 S_{as} 值估算結果

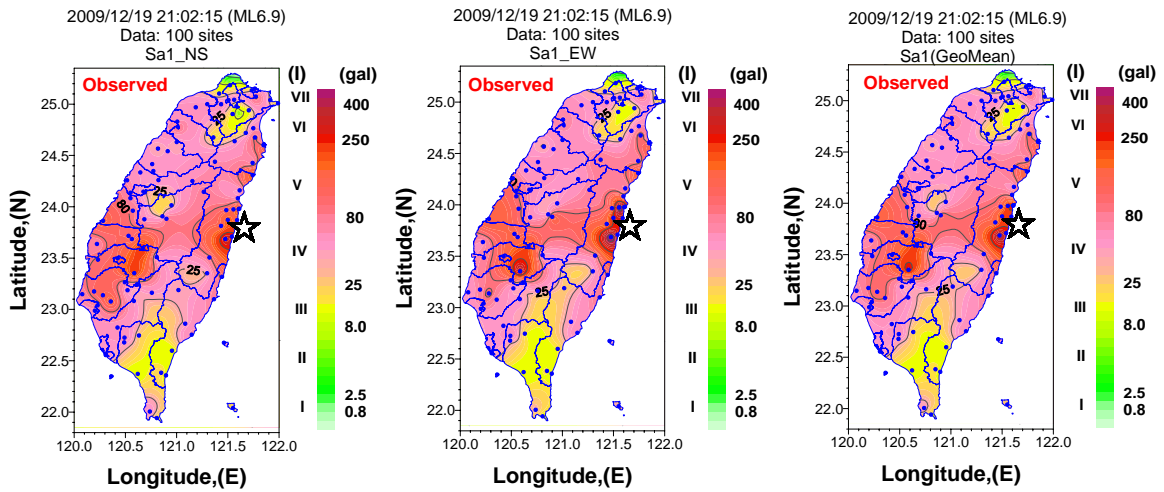
編號	縣市 (鄉鎮)	校名	E	N	S_{as} (EW,gal)	S_{as} (NS,gal)	S_{as} (Max(EW,NS),gal)	備註
A	花蓮縣 豐濱鄉	磯崎分校 EGC	121.55	23.71	1295.31	1595.33	1595.33	實際 觀測值
B	花蓮縣 光復鄉	太巴塢國小 EGF(HWA033)	121.45	23.66	553.90	650.36	650.36	實際 觀測值
C	花蓮縣 壽豐鄉	月眉國小 HWA051	121.56	23.87	539.39	517.19	539.39	強震站 預測值
D	花蓮縣 壽豐鄉	水璉國小	121.56	23.78	619.89	623.95	623.95	
E	花蓮縣 壽豐鄉	化仁國中 水璉分校	121.56	23.79	546.30	533.03	546.30	
F	花蓮縣 壽豐鄉	豐裡國小	121.51	23.84	511.51	413.65	511.51	
G	花蓮縣 秀林鄉	銅蘭國小	121.51	23.95	368.75	395.88	395.88	
H	花蓮市	明禮國小	121.61	23.98	427.42	399.07	427.42	
I	花蓮縣 吉安鄉	稻香國小 HWA016	121.57	23.96	354.04	336.44	354.04	強震站 預測值
J	花蓮縣 豐濱鄉	新社國小 HWA044	121.54	23.65	355.82	338.01	355.82	強震站 預測值
K	台東縣 長濱鄉	三間國小 TTN031	121.46	23.36	252.87	240.95	252.87	強震站 預測值
L	台東縣 成功鎮	信義國小 TTN043	121.32	23.03	127.50	121.31	127.50	強震站 預測值

表 3.3 (續) 花東地區進行勘災之校舍相關位置及其 S_{al} 值估算結果

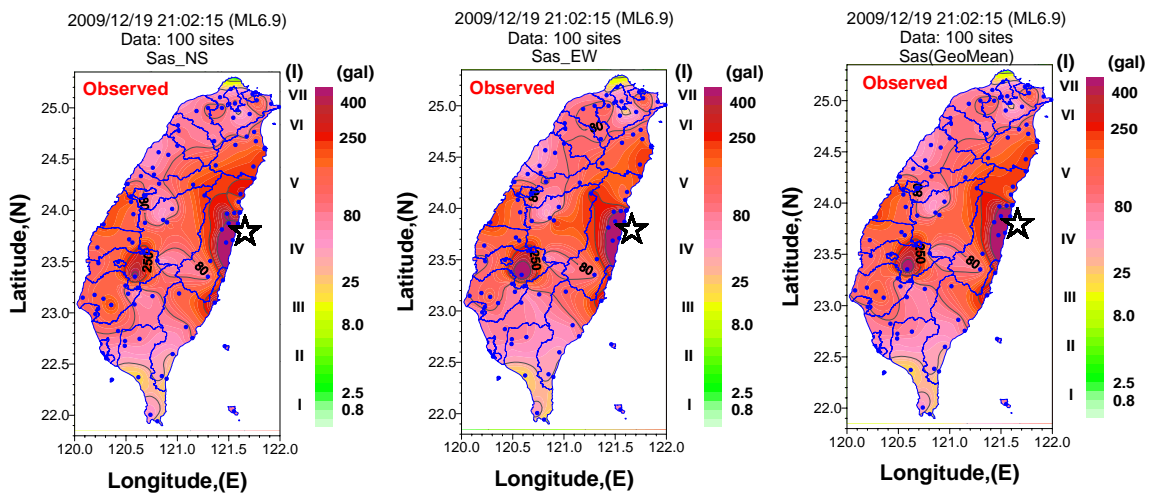
編號	縣市 (鄉鎮)	校名	E	N	S_{al} (EW,gal)	S_{al} (NS,gal)	S_{al} (Max(EW,NS),gal)	備註
A	花蓮縣 豐濱鄉	磯崎分校 EGC	121.55	23.71	291.37	278.59	291.37	實際 觀測值
B	花蓮縣 光復鄉	太巴塢國小 EGF(HWA033)	121.45	23.66	488.46	332.10	488.46	實際 觀測值
C	花蓮縣 壽豐鄉	月眉國小 HWA051	121.56	23.87	257.30	196.14	257.30	強震站 預測值
D	花蓮縣 壽豐鄉	水璉國小	121.56	23.78	212.91	156.36	212.91	
E	花蓮縣 壽豐鄉	化仁國中 水璉分校	121.56	23.79	212.91	156.36	212.91	
F	花蓮縣 壽豐鄉	豐裡國小	121.51	23.84	240.27	173.66	240.27	
G	花蓮縣 秀林鄉	銅蘭國小	121.51	23.95	161.87	110.05	161.87	
H	花蓮市	明禮國小	121.61	23.98	223.93	168.94	223.93	
I	花蓮縣 吉安鄉	稻香國小 HWA016	121.57	23.96	170.14	124.81	170.14	強震站 預測值
J	花蓮縣 豐濱鄉	新社國小 HWA044	121.54	23.65	172.70	126.61	172.70	強震站 預測值
K	台東縣 長濱鄉	三間國小 TTN031	121.46	23.36	123.14	91.71	123.14	強震站 預測值
L	台東縣 成功鎮	信義國小 TTN043	121.32	23.03	58.23	42.87	58.23	強震站 預測值



(a) 實際 PGA 觀測資料分佈



(b) 實際 S_{a1} 觀測資料分佈



(c) 實際 S_{as} 觀測資料分佈

圖 3.10 1219 花蓮地震之實際紀錄之地震動分佈圖

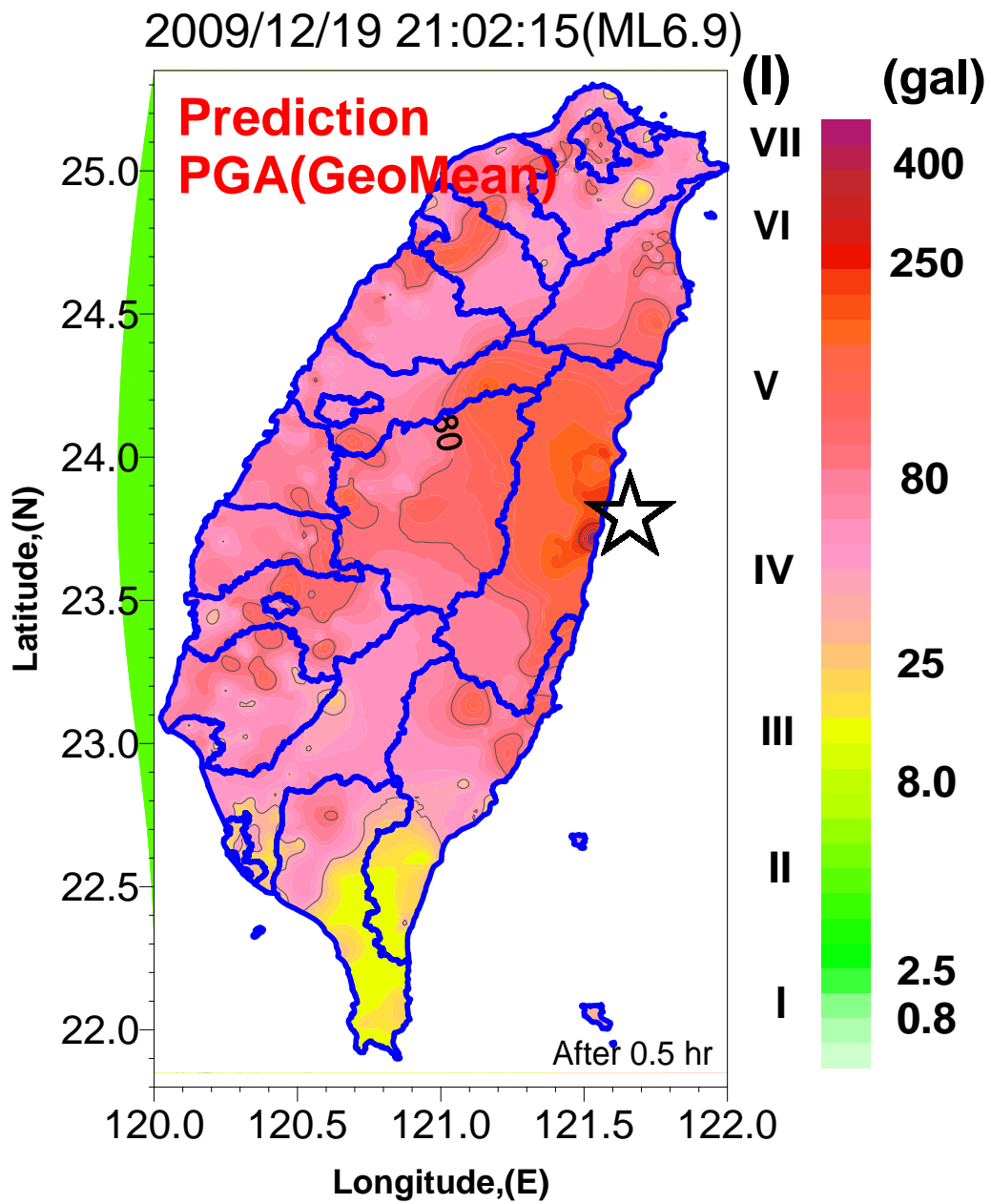


圖 3.11 1219 花蓮地震之最大地表加速度地震動潛勢分佈圖

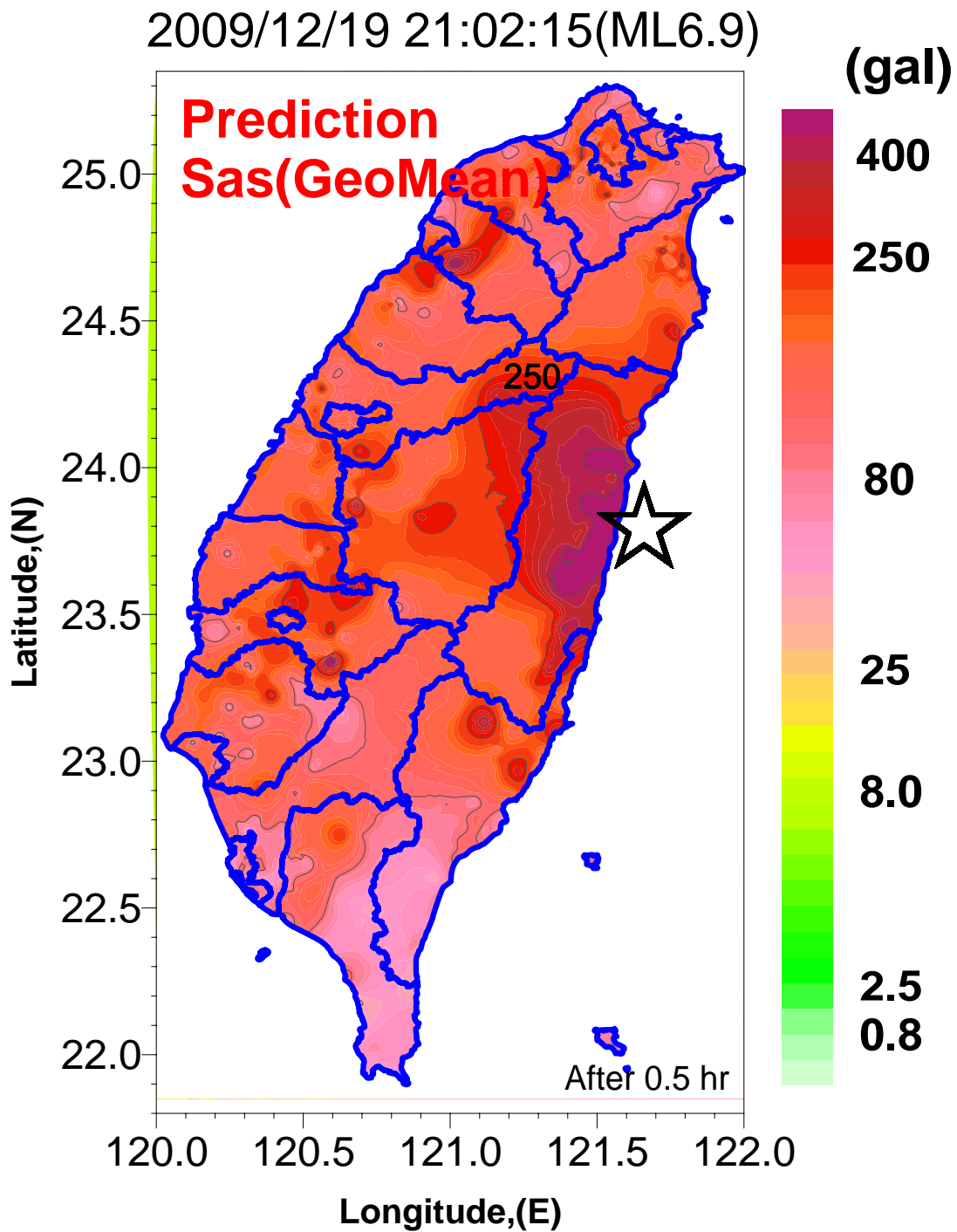


圖 3.12 1219 花蓮地震之短週期譜加速度地震動潛勢分佈圖

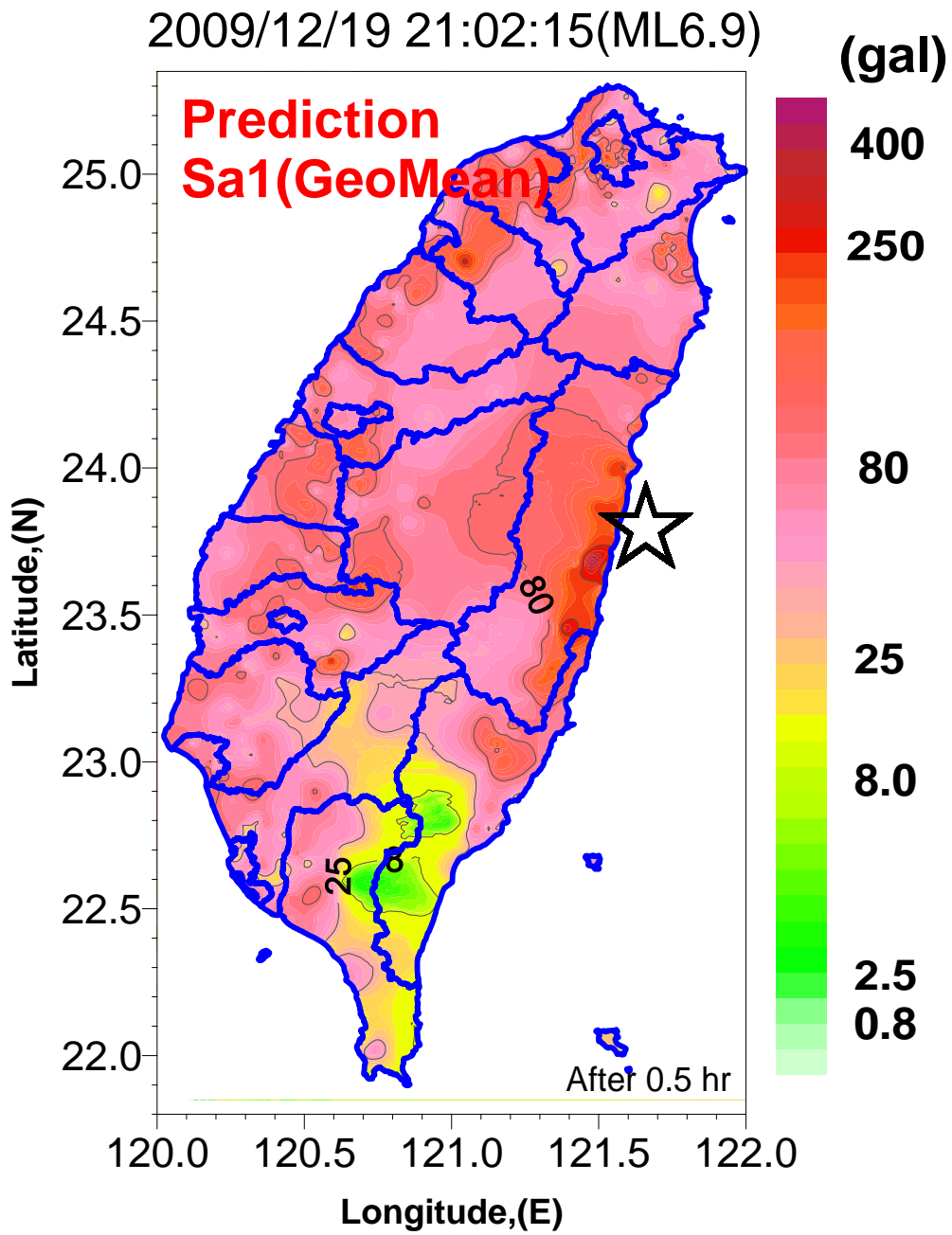
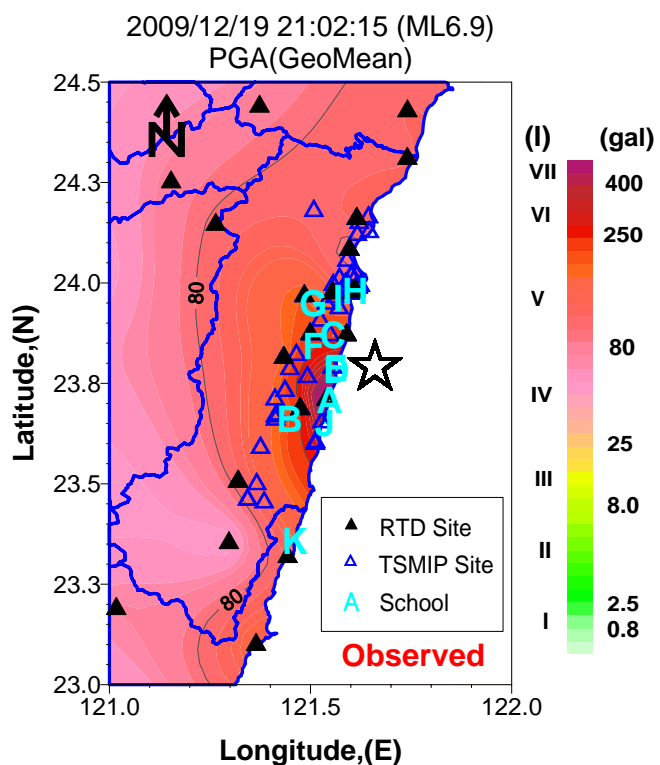
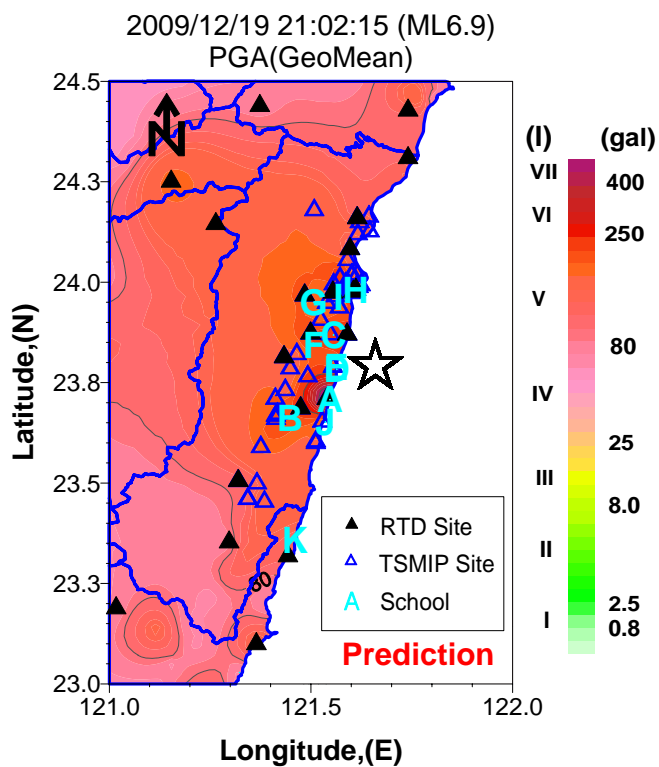


圖 3.13 1219 花蓮地震之長週期譜加速度地震動潛勢分佈圖

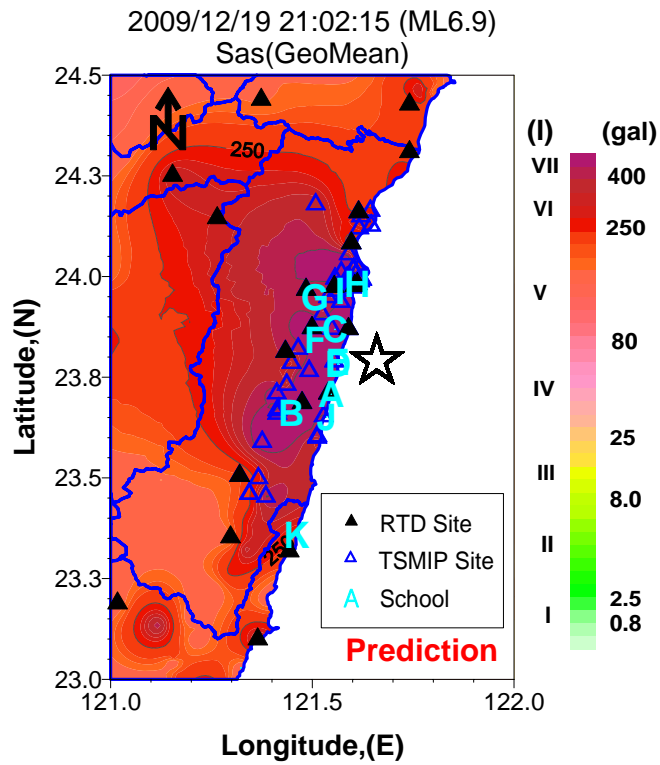


(a) RTD 測站實際觀測資料

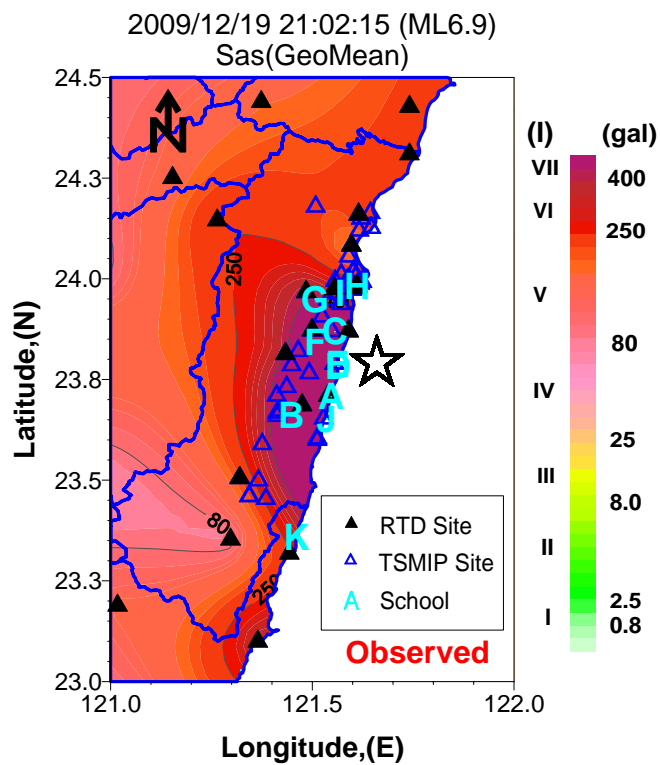


(b) 由實測資料修正之預估經驗式推估結果

圖 3.14 花東地區近震源地區的最大地表加速度分布及測站、勘災校舍位置比較

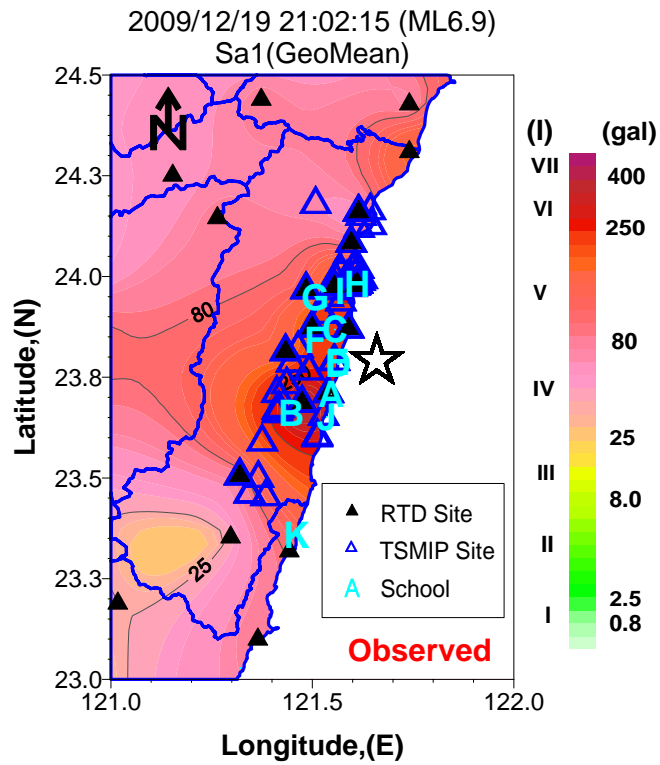


(a) RTD 測站實際觀測資料

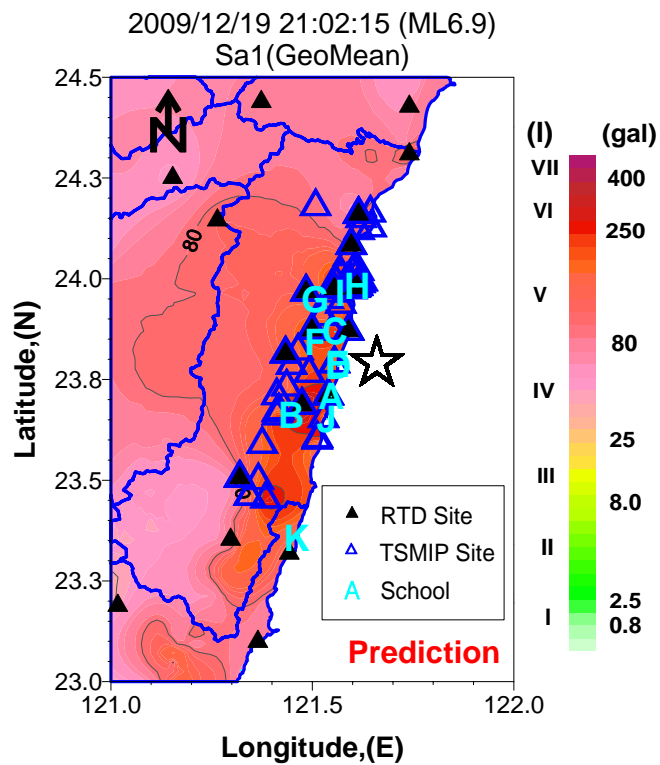


(b) 由實測資料修正之預估經驗式推估結果

圖 3.15 花東地區近震源地區的短週期譜加速度分布及測站、勘災校舍位置比較圖



(a) RTD 測站實際觀測資料



(b) 由實測資料修正之預估經驗式推估結果

圖 3.16 花東地區近震源地區的長週期譜加速度分布及測站、勘災校舍位置比較圖

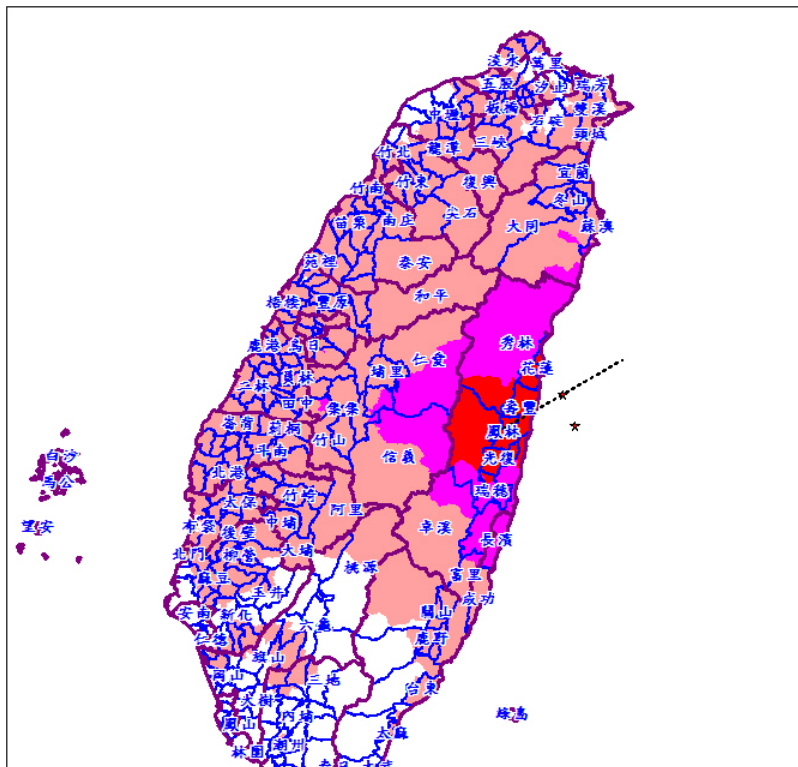
第四章 地震災情推估

4.1 第一階段自動評估

98年12月19日晚上09點02分地震發生後，架設在國震中心的台灣地震損失評估系統伺服器於09點18分收到中央氣象局地震通報郵件後，立即啟動震災早期評估，並於09點20分將評估結果以手機簡訊與電子郵件發送給應變人員。

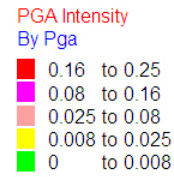
所謂的震災早期評估乃指當強震發生時，各級政府最迫切獲得的資訊包含各地的建築物損害狀況和可能的傷亡人數，而震災早期評估可在地震發生數分鐘內計算出各地區可能的災情規模和分佈。系統可在收到中央氣象局之地震報告郵件後將自動啟動，根據郵件內之地震參數，查詢事前建置好的震災模擬資料庫(約十萬筆模擬地震)，找出與震源最相近的數個模擬地震事件，並利用最佳化分析計算接近實際狀況之災損評估結果。一旦獲得可能的災情規模，摘要資訊即可利用簡訊或電子郵件等方式，通知駐守人員警戒，或召集在外的應變支援人力回應變中心待命。

震災早期評估結果顯示，在經過地表震動衰減律和場址效應修正後，台灣本島各鄉鎮市最大地表加速度推估將可達0.25g(圖4.1)。另外，在人員傷亡推估方面，地震早期評估結果為1(0-2)人，本島地區應有113個村里應進入警戒狀態。而台灣地震損失評估系統TELES中所定義之傷亡人數乃指重傷且有生命危險或於地震後立即死亡的人數，不包含輕傷或稍作醫療即可出院的傷患。根據評估結果，傷亡可能出現在於花蓮與吉安(圖4.2)。而在建築物損壞方面，評估結果顯示損壞的建築物約有10~20棟，其中多為中低樓層的建築物，房舍損壞的地點則多應集中於花蓮(圖4.3)。



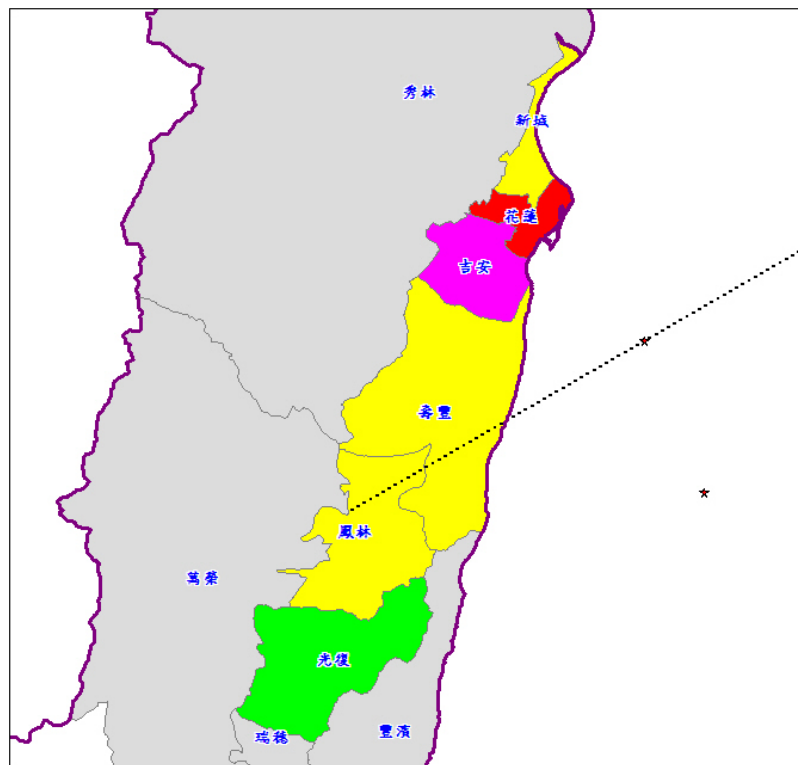
日期：2009/12/19
 時間：21:2:15.10
 芮氏規模：6.80
 震央經度：121.7500
 震央緯度：23.7800
 震源深度：45.90 公里

地表最大加速度



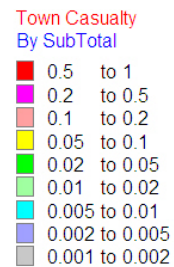
台灣地震損失評估系統
 Taiwan Earthquake Loss Estimation System
 國家地震工程研究中心
 National Center for Research on Earthquake Engineering

圖 4.1 震災早期評估之 PGA 分佈圖



日期：2009/12/19
 時間：21:2:15.10
 芮氏規模：6.80
 震央經度：121.7500
 震央緯度：23.7800
 震源深度：45.90 公里

鄉鎮區
傷亡人數



台灣地震損失評估系統
 Taiwan Earthquake Loss Estimation System
 國家地震工程研究中心
 National Center for Research on Earthquake Engineering

圖 4.2 震災早期評估之人員傷亡分佈圖

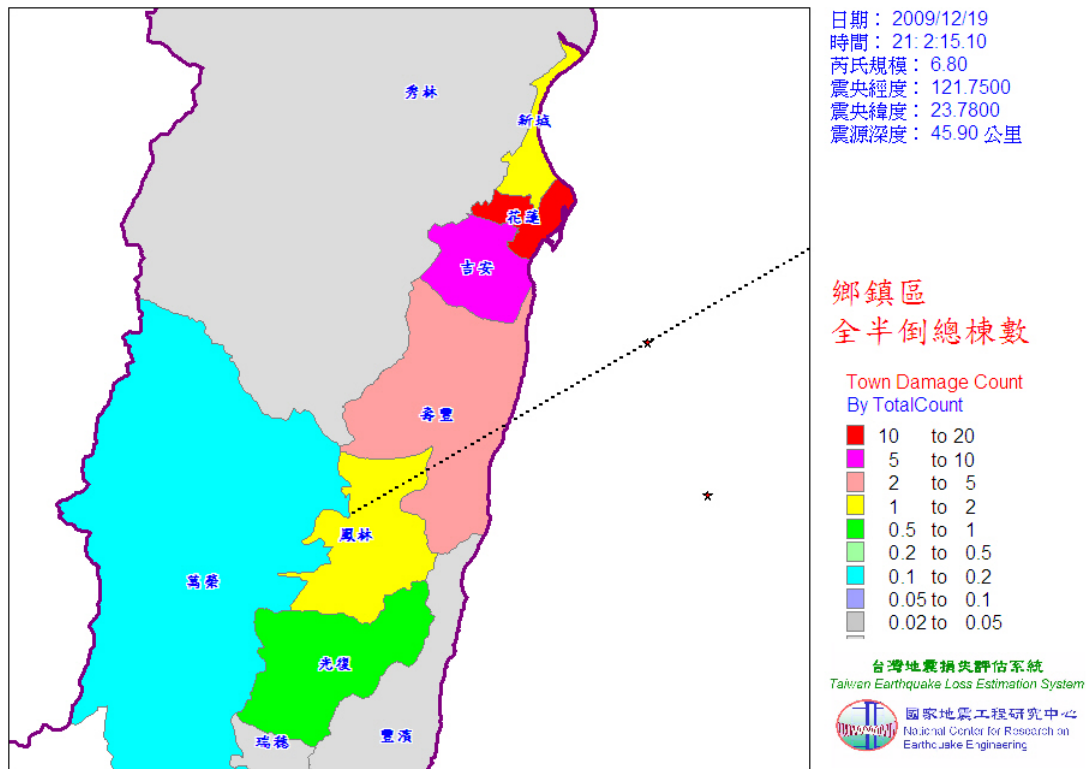


圖 4.3 震災早期評估之建物全半倒分佈圖

4.2 第二階段手動評估

根據國家地震工程研究中心的應變標準作業程序內容所述，震災早期評估結果顯示警戒階段，則應變同仁，於收到 TELES 發送的動員簡訊後，應立即依照動員層級就地或回到到辦公室收集地震相關資訊和彙整災情報告。國家地震工程研究中心災情評估組的同仁也即刻就地以手動方式設定不同地震規模和可能的斷層開裂方向，作為第二階段評估的主要參數。

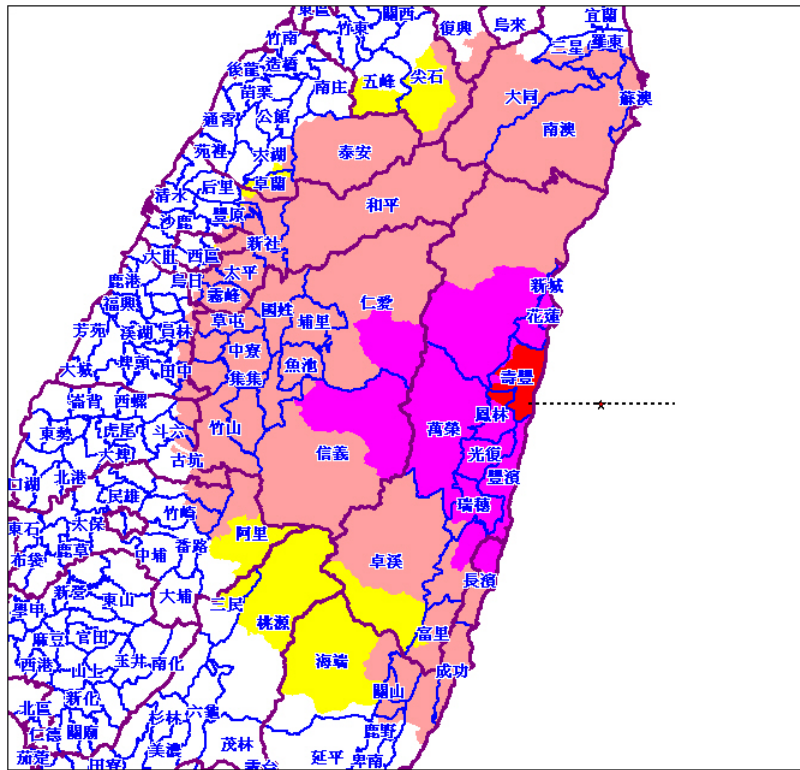
而各模擬事件之參數設定只要考慮以下幾個因素：(1)由於地震發生在海外，無法得知正確之斷層開裂方向，固需考量不同斷層走向；(2)由於海外地震規模不易量測正確之地震規模，各國針對同一地震事件常有發布不同地震規模之情況存在，因此除考慮原地震規模 6.8 外，於同樣震源位置

上，也納入地震規模 7.0 之地震事件考量。在分析時各地震事件採線震源或面震源模式模擬。第二階段手動評估所採用之震源參數如表 4.1 所示。

表 4.1 第二階段手動評估模擬結果

SCEN_ID	A	B	C	D	E	F	G
地震規模	6.8	6.8	6.8	6.8	7.0	7.0	7.0
斷層長度	40.5	40.5	40.5	40.5	55	55	55
斷層寬度	0	0	0	19.35	0	0	0
開裂方向	90	0	45	90	90	0	45
傾角	90	90	90	60	90	90	90
震源深度	45.9	45.9	45.9	45.9	35	35	35
建物損害	0	0	0	5	10	11	7
人員傷亡	0	0	0	0	1	1	0.5

第二階段的災情評估於地震後兩小時內完成，人員傷亡、建築物損害等分析結果可參照表 4.1。由於不同的震源假設所計算出之結果在人員傷亡數量上都幾乎為零，因此可大概掌握本次地震並不會對台灣造成太大之損害。此外由於規模達到芮氏 6.8 的地震事件，在斷層開裂機制上屬於面震源之可能性較高，本報告圖列表 4.1 之模擬事件 D(面震源模式)之評估結果作為後續應變與堪災行動之參考。圖 4.4 為事件 D 之最大地表加速度分布圖，圖 4.5 為事件 D 之建物損害評估分布圖，圖 4.6 為事件 D 之人員傷亡推估分布圖。



日期：2009/12/19
 時間：21:2:0
 芮氏規模：6.80
 震央經度：121.7500
 震央緯度：23.7800
 震源深度：45.90 公里
 斷層線走向：90 度
 開裂面傾角：60 度
 開裂面長度：40.60 公里
 開裂面寬度：19.40 公里

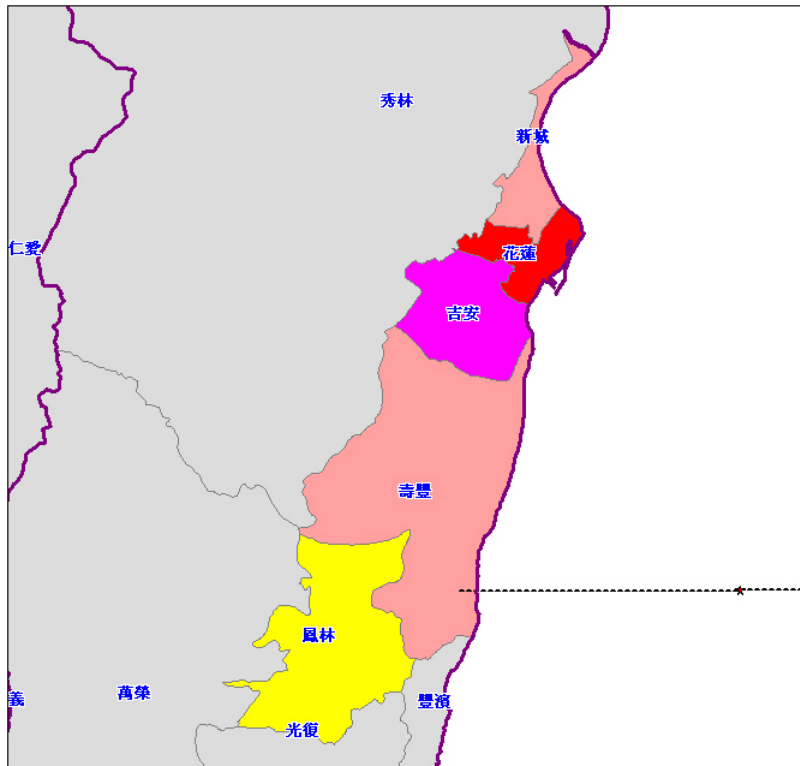
地表最大加速度

PGA Intensity
 By Pga

Red	0.16 to 0.25
Orange	0.08 to 0.16
Light Orange	0.025 to 0.08
Yellow	0.008 to 0.025
Green	0 to 0.008

台灣地震損失評估系統
 Taiwan Earthquake Loss Estimation System
 國家地震工程研究中心
 National Center for Research on Earthquake Engineering

圖 4.4 第二階段手動評估之 PGA 分佈圖



日期：2009/12/19
 時間：21:2:0
 芮氏規模：6.80
 震央經度：121.7500
 震央緯度：23.7800
 震源深度：45.90 公里
 斷層線走向：90 度
 開裂面傾角：60 度
 開裂面長度：40.60 公里
 開裂面寬度：19.40 公里

鄉鎮區
 全半倒總棟數

Town Damage Count
 By TotalCount

Red	2 to 5
Orange	1 to 2
Light Orange	0.5 to 1
Yellow	0.2 to 0.5
Light Yellow	0.1 to 0.2
Light Green	0.05 to 0.1
Light Blue	0.02 to 0.05
Light Purple	0.01 to 0.02
White	0.005 to 0.01

台灣地震損失評估系統
 Taiwan Earthquake Loss Estimation System
 國家地震工程研究中心
 National Center for Research on Earthquake Engineering

圖 4.5 第二階段手動評估之建物全半倒分佈圖

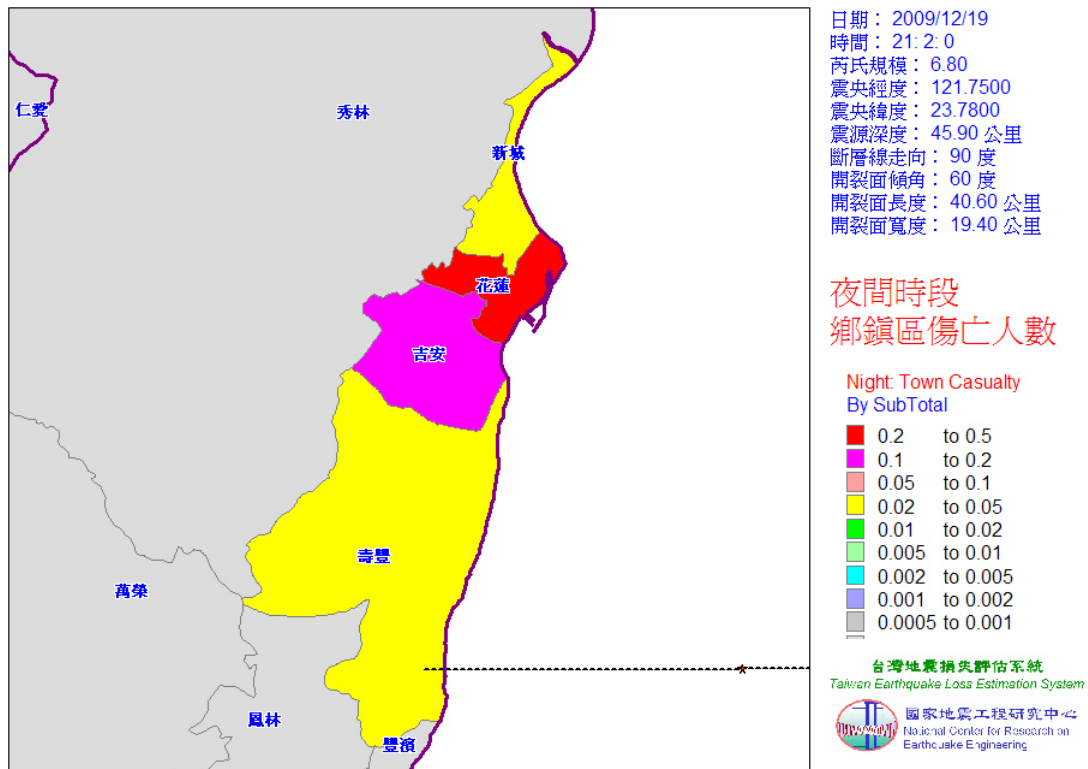


圖 4.6 第二階段手動評估之人員傷亡分佈圖

第五章 建築物之震害調查

5.1 校舍

本次勘災校舍共計 12 所國中小學，包括花蓮縣磯崎分校、太巴壠國小、月眉國小、水璉國小、化仁國中水璉分校、豐裡國小、銅蘭國小、明禮國小、稻香國小、新社國小以及台東縣三間國小、信義國小等，各校所在位置與震央相對之地理位置如圖 5.1 所示，各校受震程度依最大地表加速度大小排序如表 5.1，其中磯崎分校震度高達 7 級，也是本次受震破壞最嚴重之學校。本節依最大地表加速度排序，分別描述各校災損情況如下。

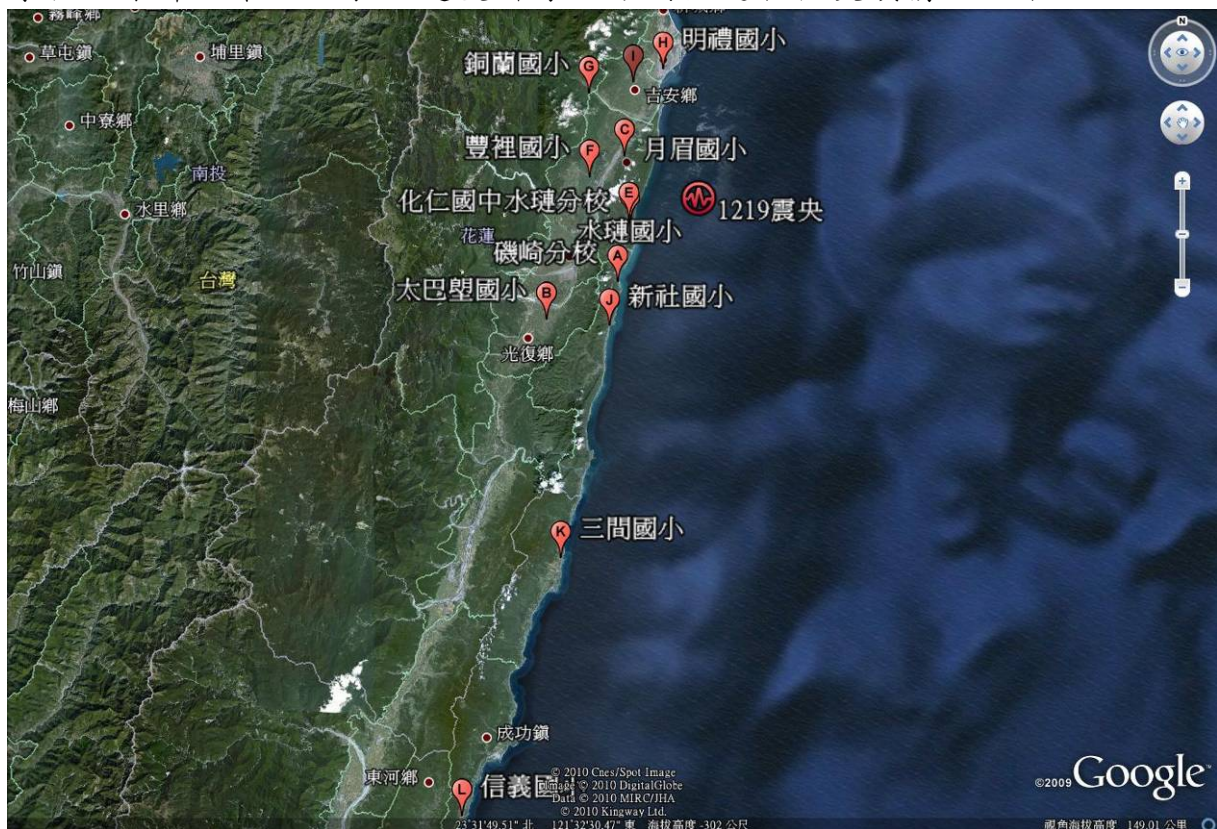


圖 5.1 1219 花蓮地震勘災校舍地理位置

表 5.1 1219 花蓮地震勘災校舍受震程度

編號	縣市	校名	MAX. PGA(gal)	震度(級)
A	花蓮縣	磯崎分校	539.76	7
B	花蓮縣	太巴壠國小	244.64	5
C	花蓮縣	月眉國小	238.44	5
D	花蓮縣	水璉國小	225.06	5
E	花蓮縣	化仁國中 水璉分校	225.06	5
F	花蓮縣	豐裡國小	204.03	5
G	花蓮縣	銅蘭國小	187.73	5
H	花蓮縣	明禮國小	160.69	5
I	花蓮縣	稻香國小	156.01	5
J	花蓮縣	新社國小	144.45	5
K	台東縣	三間國小	102.72	5
L	台東縣	信義國小	49.89	4

5.1.1 花蓮縣新社國小磯崎分校

新社國小磯崎分校位於花蓮縣豐濱鄉磯崎村磯崎 49 號，經緯座標為東經 121.5472 度，北緯 23.7075 度，位於台 11 線磯崎路段靠海岸側(圖 5.2)。該校由於招生不足，現況為閒置校舍，全校共有二棟校舍，分別為教學教室及專科教室，此二棟校舍均為 RC 造二層樓懸臂走廊的典型校舍，由圖 5.2 可以看出，教學教室長向沿南北向，專科教室長向沿東西向。

本次地震對專科教室並無損傷，但卻造成教學教室嚴重破壞，所幸無師生人員傷亡，因此本報告則以災損較嚴重的教學教室為主。教學教室為二層樓校舍，每一層樓有三間教室，共計六間教室，樓梯位在側邊，沿走廊方向，每兩跨為一間教室單元，每跨間距大約為 406 公分，教室柱長寬尺寸分別為 33 公分×43 公分，圖 5.3 為教學教室一樓建築平面示意圖，圖 5.4 為教學教室構架編號 D 之立面照片，圖 5.5 為教學教室構架編號 7 之立面照片。

依據中央氣象局磯崎地震觀測站量測資料顯示，本址最大地表加速度約為 540gal，相當七級地震。教學教室於本次地震中受損嚴重，所有窗台

柱 (B2、B4、B6、D2~D6 共 8 處) 均產生剪力破壞裂縫，圖 5.6 至圖 5.20 顯示教學教室所有柱受損情形，其中以 B6 柱剪力破壞情況最為嚴重，裂縫寬度超過 8mm，並有局部混凝土塊剝落，內部鋼筋已經裸露可見，經現場量測，主筋為#7，箍筋為#3 間距 35 公分 (圖 5.12)；此外，D6 柱也產生嚴重的剪力破壞，同樣有局部混凝土塊剝落，內部鋼筋裸露可見的情形 (圖 5.19)。



圖 5.2 新社國小磯崎分校地理位置

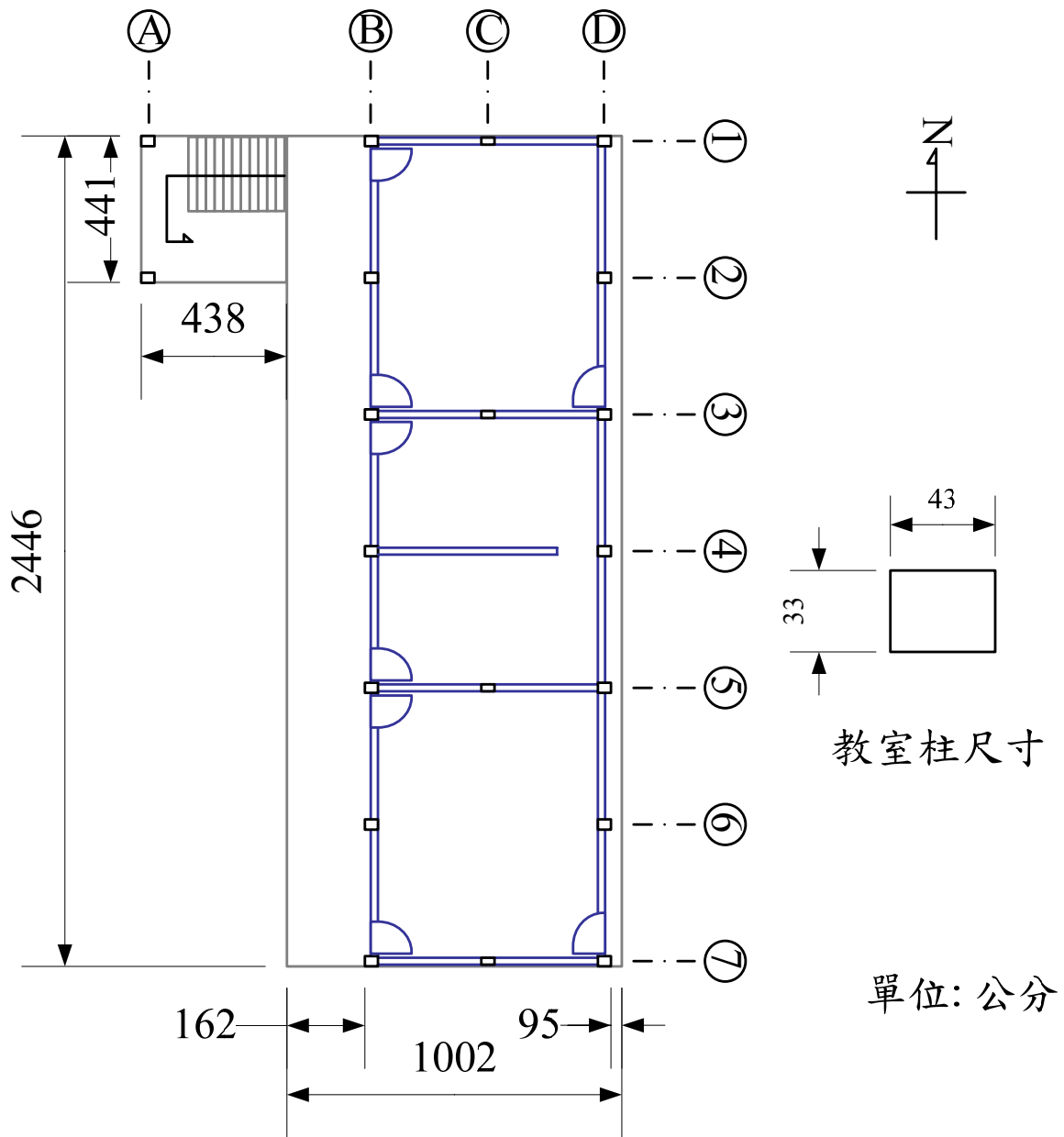


圖 5.3 磯崎分校教學教室一樓建築平面示意圖



圖 5.4 磯崎分校教學教室背立面照片



圖 5.5 磯崎分校教學教室側面立面照片



圖 5.6 磯崎分校教學教室 A1 及 A2 柱無明顯破壞。



圖 5.7 磯崎分校教學教室 B1 柱無明顯破壞。



圖 5.8 磯崎分校教學教室 B2 柱頂及柱底撓剪開裂，裂縫寬度 0.2mm。



圖 5.9 磯崎分校教學教室 B3 柱底撓曲開裂，裂縫寬度 1.0mm。



圖 5.10 磯崎分校教學教室 B4 柱明顯剪力開裂，裂縫寬度 1.0mm。



圖 5.11 磯崎分校教學教室 B5 柱無明顯破壞。



圖 5.12 磯崎分校教學教室 B6 柱明顯剪力破壞，裂縫寬度達 8mm，並有局部混凝土塊剝落，柱主筋裸露。



圖 5.13 磯崎分校教學教室 B7 柱無明顯破壞。



圖 5.14 磯崎分校教學教室 D1 柱無明顯破壞，梁底有細微裂縫寬度 0.5mm。



圖 5.15 磯崎分校教學教室 D2 柱明顯剪力破壞，裂縫寬度達 3mm，並有微小混凝土塊剝落，左為室外拍攝，右為室內拍攝。



圖 5.16 磯崎分校教學教室 D3 柱側邊窗台開裂，右為柱底撓曲裂縫 1mm。



圖 5.17 磯崎分校教學教室 D4 柱明顯剪力破壞，裂縫寬度達 1mm。



圖 5.18 磯崎分校教學教室 D5 柱底部剪力破壞，裂縫寬度 0.65mm。



圖 5.19 磯崎分校教學教室 D6 柱明顯剪力開裂，裂縫寬度達 6mm，左上為室外拍攝，右上為室內拍攝，下為混凝土塊剝落後，主筋外露。



圖 5.20 磯崎分校教學教室 D7 柱無明顯破壞。

5.1.2 花蓮縣太巴塢國小

太巴塢國小位於花蓮縣光復鄉中正路二段 23 號，經緯座標為東經 121.4523 度，北緯 23.6722 度，位於台 11 甲線道旁(圖 5.21)。該校共有 3 棟校舍，分別為南棟教室、東棟教室及活動中心，校舍均為 RC 造建築結構，除活動中心外，其餘 2 棟為懸臂走廊式的典型校舍。

依據中央氣象局地震觀測站量測資料顯示，本址最大地表加速度約為 245gal，相當五級地震。該校校舍在此次地震並未造成嚴重破壞，活動中心之柱體與壁體數量足夠，整體結構之耐震性能尚稱良好，惟屋頂滲水造成外牆龜裂(圖 5.22)，建議進行局部修繕。

活動中心因產權非屬太巴塢國小所有，故於校舍耐震資訊網資料庫中，並未留有相關之耐震評估與補強資料可供查詢；而東棟教室業已完成補強設計，現正進行補強工程施工，將以增設 RC 翼牆方式來提升其耐震能力。



圖 5.21 太巴塢國小地理位置



圖 5.22 太巴塢國小活動中心屋頂漏水造成外牆龜裂

5.1.3 花蓮縣月眉國小

月眉國小位於花蓮縣壽豐鄉月眉村三段 24 號，經緯座標為東經 121 度 33 分，北緯 23 度 52 分，位於台 193 線道旁(圖 5.23)。全校共有三棟校舍建築物，分別為專科教室、教學教室及教學教室辦公室，專科教室為 RC 造二層樓懸臂走廊的典型校舍，教學教室及教學教室辦公室則為 RC 造一層樓懸臂走廊校舍。

本次地震對教學教室及教學教室辦公室並無損傷，但卻造成專科教室明顯受損，所幸無師生人員傷亡，因此本報告以災損較嚴重的專科教室為主。專科教室為二層樓校舍，一樓部分主要作為學生餐廳用途使用，二樓則為圖書室及電腦教室用途共同使用，樓梯位在校舍側邊，一樓設有男女生廁所。圖 5.24 為專科教室正面立面照片，圖 5.25 為專科教室背面立面照片，圖 5.26 為專科教室一樓內部餐廳照片。

依據中央氣象局強震觀測站量測資料內插計算，推估本址最大地表加速度約為 238gal，相當五級地震。專科教室於本次地震中受損嚴重，正面與背面各有一根窗台柱均產生明顯的剪力破壞裂縫，圖 5.27 為專科教室西南側氣窗短柱剪力破壞照片，裂縫寬度超過 5mm，教室外側柱面磁磚明顯剝落，教室內側裂縫延伸至磚牆與柱之交界處；圖 5.28 為專科教室東北側氣窗短柱剪力破壞照片，同樣有明顯斜向剪力裂縫，裂縫寬度超過 10mm，亦可察見裂縫延伸至磚牆與柱之交界處；圖 5.29 顯示專科教室懸臂走廊上方二樓磚牆受損情形，此處明顯可見磚牆張力裂縫，裂縫寬度達 1.5mm。根據校舍耐震資訊網資料庫顯示，專科教室耐震能力初評分數(Is)為 34 分，且已完成耐震能力詳細評估，評估後長向耐震能力為 204gal，尚未達到現行耐震法規需求，應辦理後續補強設計階段作業，其評估結果亦足以與本次震害受損情形相驗證。



圖 5.23 月眉國小地理位置



圖 5.24 月眉國小專科教室正面立面照片



圖 5.25 月眉國小專科教室背面立面照片



圖 5.26 月眉國小專科教室一樓內部餐廳照片



圖 5.27 月眉國小專科教室西南側氣窗短柱剪力破壞照片，
裂縫寬度達 5mm



圖 5.28 月眉國小專科教室東北側氣窗短柱剪力破壞照片，
裂縫寬度達 10mm



圖 5.29 月眉國小專科教室懸臂走廊上方二樓磚牆受損情形，
裂縫寬度達 1.5mm

5.1.4 花蓮縣水璉國小

花蓮縣水璉國小創始於民國八年四月一日，原為「水璉尾番人公學校」，位於花蓮縣壽豐鄉水璉村水璉二街 20 號(圖 5.30)，經緯座標為東經 121.563446 度，北緯 23.78287 度，距離花蓮市中心 20 多公里，主要聯外道路為東海岸公路（台 11 線公路），校地面積為 15,576 平方公尺，學生人數約 50 人上下。校舍有教學行政大樓、器材室及廚房，教學行政大樓與廚房中間有風雨走廊連接，其主要作為教學使用的校舍為教學行政大樓。

教學行政大樓為興建於民國 87 年之兩層樓 RC 造建築物(圖 5.31)，總樓地板面積 1875.25 平方公尺，主要的教室柱為 60cm×50cm，配置主要是三跨為一間教室單元，在校舍 2 樓右側的是六跨的圖書館，且其包含走廊的部份也規劃為圖書館的一部份，所以圖書館外牆也都在走廊外側，如圖 5.31 左側處所示。另外，由圖 5.32 及圖 5.33 中可發現每間教室皆有一塊凸出，此作為儲藏室用途，放置一些掃地用具等物品，此依凸出讓此教室相

較於一般典型教室多出 2 根柱及完整的兩面 150cm 牆體，除此之外，本校舍於走廊部份也較一般典型校舍不同，由圖 5.31 中可發現走廊外側有原住民圖騰的牆體，牆體是由走廊柱與左右各約 100cm 之翼牆所組成，此一長向之走廊翼牆在一般校舍並不常見。

依據中央氣象局強震觀測站量測資料內插計算，推估本址最大地表加速度約為 225gal，相當震度五級地震。本次地震造成教學行政大樓與風雨走廊間的伸縮縫撞擊，產生明顯之混凝土外層脫落(圖 5.34)，另外於二樓圖書館外側的牆體有明顯之裂縫產生(圖 5.35)，其下方之梁也有細微之裂縫(圖 5.36)，但整體無結構上之損壞。根據校舍耐震資訊網資料庫顯示，耐震能力初步評估(Is)為 84.9 分。



圖 5.30 花蓮縣水璉國小地理位置



圖 5.31 水璉國小教學行政大樓(正面) (陳桂芳建築師提供)

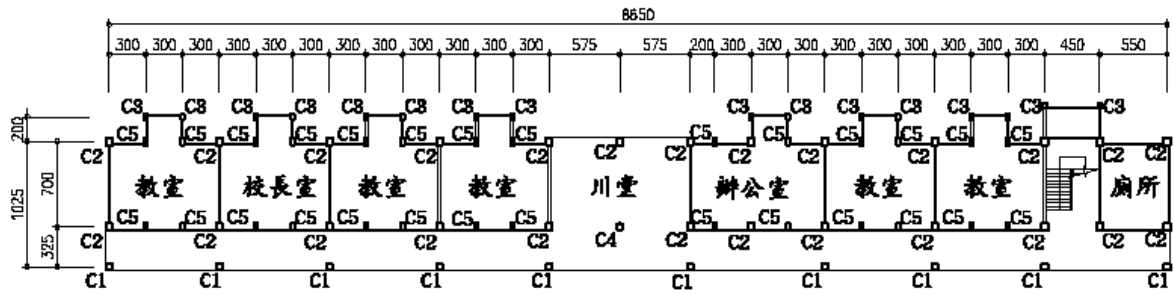


圖 5.32 水璉國小教學行政大樓平面圖（陳桂芳建築師提供）



圖 5.33 水璉國小教學行政大樓(背面)（陳桂芳建築師提供）



圖 5.34 水璉國小風雨走廊與教學行政大樓撞擊



圖 5.35 水璉國小圖書館外側牆面裂縫



圖 5.36 水璉國小圖書館下方梁之裂縫

5.1.5 花蓮縣化仁國中水璉分校

化仁國中水璉分校位於花蓮縣壽豐鄉水璉路 6 號，經緯座標為東經 121 度 33 分，北緯 24 度 47 分，鄰近台 11 海岸公路 (圖 5.37)。全校共有三棟校舍建築物，分別為教學行政大樓(圖 5.38a)、學生宿舍大樓(圖 5.38b)及教師單身宿舍(圖 5.38c)，教學大樓為 RC 造地下一層樓，地上三層樓之校舍，學生宿舍大樓為 RC 造地上四層樓之校舍，教師單身宿舍為 RC 造地上二層樓，連棟共 8 戶之校舍。

本次地震對學生宿舍大樓及教師單身宿舍並無損傷，但卻造成教學行政大樓非結構體受損情形，所幸無師生人員傷亡，因此本報告以災損較嚴重的教學行政大樓為主。教學行政大樓為地下一層樓、地上三層校舍，地下室部分(875.82 m²)用途包含防空避難室、風雨操場、桌球室、電機室與蓄水池，一樓部分(818.68 m²)用途包含警衛室、辦公室、器材室、輔導室、普通教室與保健中心，二樓部分(868.38 m²)用途包含個人諮商教室、校長室、導師室與普通教室，三樓部分(868.38 m²)用途包含團體輔導教室、會

議室、音樂教室與韻律教室。圖 5.39 為教學行政大樓地下室照片，地下室兩側均有採光井設計。

依據中央氣象局強震觀測站量測資料內插計算，推估本址最大地表加速度約為 225gal，相當五級地震。本次地震並未造成教學行政大樓嚴重破壞，僅磚牆與地磚略有細微裂縫，並無明顯結構性破壞。圖 5.40 為教學行政大樓通往地下室梯間受損情形，圖 5.41 為教學行政大樓一樓地磚受損情形，圖 5.42 為教學行政大樓窗戶變形受損情形，圖 5.43 為教學行政大樓一樓磚牆受損情形。

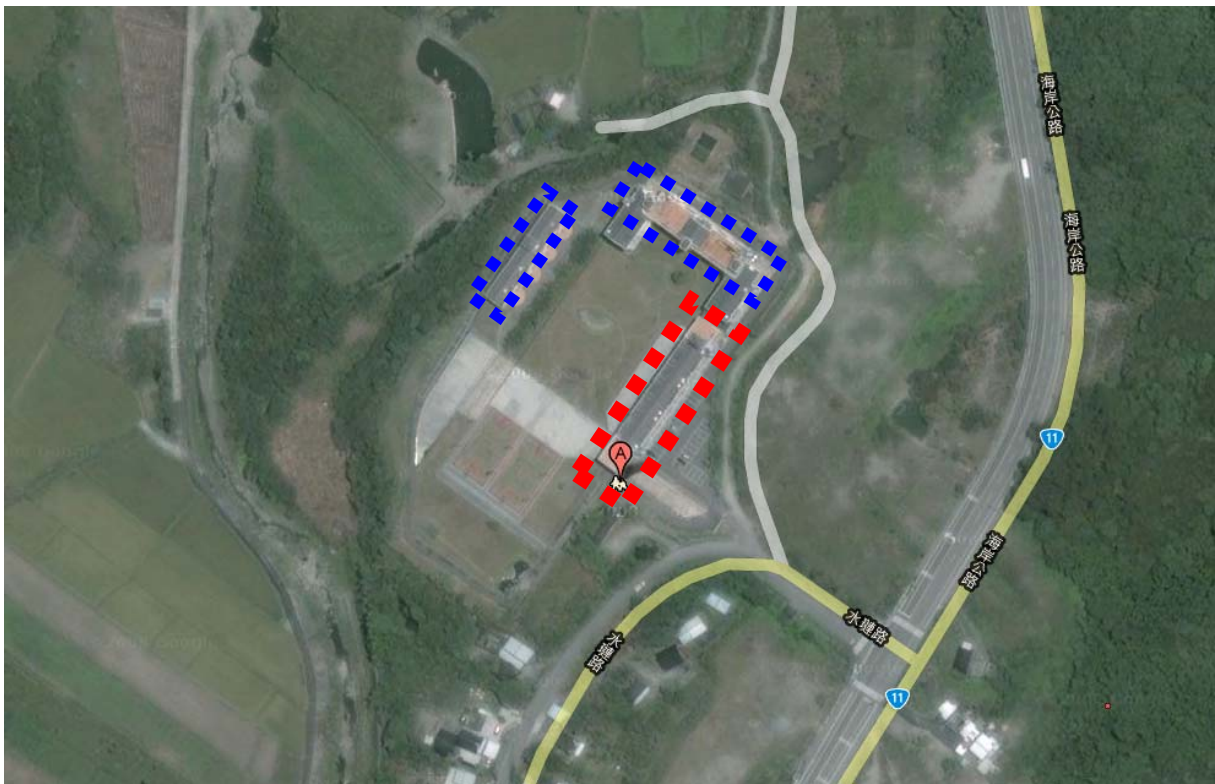


圖 5.37 化仁國中水漣分校地理位置



(a)教學行政大樓



(b)學生宿舍大樓



(c)教師單身宿舍

圖 5.38 化仁國中水漣分校校舍外觀



圖 5.39 化仁國中水漣分校教學行政大樓地下室照片



圖 5.40 化仁國中水漣分校教學行政大樓通往地下室梯間受損情形



圖 5.41 化仁國中水漣分校教學行政大樓一樓地磚受損情形



圖 5.42 化仁國中水漣分校教學行政大樓窗戶變形受損情形



圖 5.43 化仁國中水漣分校教學行政大樓一樓磚牆受損情形

5.1.6 花蓮縣豐裡國小

豐裡國小位於花蓮縣壽豐鄉豐裡村中山路 299 號，經緯座標為東經 121.5079 度，北緯 23.8413 度，位於台 11 丙線道附近(圖 5.44)。該校共有 3 棟校舍，分別為教學大樓 A、教學大樓 B 及宿舍，校舍均為 RC 造建築結構，除宿舍外，其餘 2 棟為懸臂走廊式的典型校舍。

教學大樓 A 為二層樓校舍，每一層樓有 7 間教室，共計 14 間教室，樓梯 2 座，廁所位在建築物左側，圖 5.45 為教學大樓 A 一樓結構平面圖，圖 5.46 為教學大樓 A 正面照片。根據校舍耐震資訊網資料庫顯示，教學大樓 A 耐震能力初評分數(Is)為 45 分，且已完成耐震能力詳細評估，評估後長向耐震能力為 261gal，尚未達到現行耐震法規需求，應辦理後續補強設計階段作業。

依據中央氣象局強震觀測站量測資料內插計算，推估本址最大地表加速度約為 204gal，相當五級地震。該校校舍在此次地震並未造成嚴重破壞，



圖 5.46 豐裡國小教學大樓正面照片（陳桂芳建築師提供）



圖 5.47 豐裡國小教學大樓梁柱接頭處出現裂縫



圖 5.48 豐裡國小教學大樓磚翼牆輕微開裂



圖 5.49 豐裡國小教學大樓梁端因伸縮縫碰撞而開裂



圖 5.50 豐裡國小教學大樓樓梯間梁出現裂縫，建築物背面貼覆材受損掉落

5.1.7 花蓮縣銅蘭國小

銅蘭國小位於花蓮縣秀林鄉文蘭村 70 號，經緯座標為東經 121.507711 度，北緯 23.94732 度，鄰近台 9 丙花東公路 (圖 5.51)。全校共有二棟校舍，分別為教學大樓及行政大樓，教學大樓為 RC 造一層樓懸臂走廊之典型校舍，行政大樓為 RC 造二層樓懸臂走廊之典型校舍，由圖 5.51 可以看出，教學大樓長向朝東向偏南 40 度，行政大樓長向朝北向偏東 40 度。

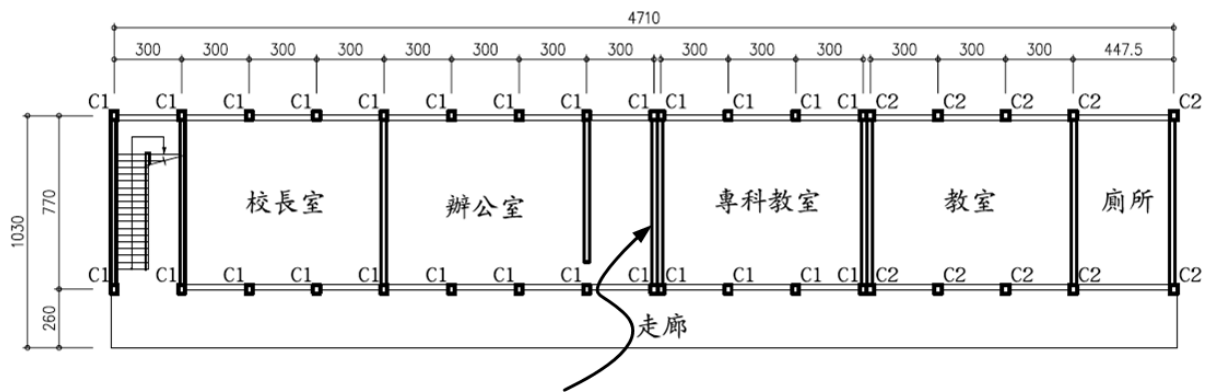
依據中央氣象局強震觀測站量測資料內插計算，推估本址最大地表加速度約為 188gal，相當五級地震。本次地震並未造成校舍嚴重破壞，僅行政大樓隔間磚牆略有細微裂縫，並無明顯結構性破壞。行政大樓為二層樓校舍，每一層樓有 4 間教室，共計 8 間教室，樓梯及廁所各一座，分別位在兩側邊，圖 5.52 為行政大樓一樓建築平面示意圖，圖 5.53 為行政大樓正立面照片。

根據校舍耐震資訊網資料庫顯示，行政大樓耐震能力初評分數(Is)為 42

分，已完成耐震能力詳細評估，其長向耐震能力為 330gal。



圖 5.51 銅蘭國小地理位置



此處隔間磚牆上端有細微裂縫

圖 5.52 銅蘭國小行政大樓一樓建築平面示意圖



圖 5.53 銅蘭國小行政大樓正立面照片

5.1.8 花蓮縣明禮國小

花蓮縣明禮國民小學創始於民國前十四年一月十日，原為「台東國語傳習所奇萊分教場」，位於花蓮縣花蓮市明禮路 6 號(圖 5.54)，經緯座標為東經 121.61044 度，北緯 23.98009 度，位於花蓮市中心。本校僅有一棟教學大樓校舍，其為興建於民國 76 年之四層樓 RC 造懸臂典型校舍(圖 5.55)，總樓地板面積 4043.52 平方公尺，主要的教室柱為 35cm×55cm，配置主要是兩跨為一間教室單元。此棟校舍過去有做鋼板包覆及剪力牆之補強工程(圖 5.56)，鋼板包覆的部份為一樓及二樓梁柱接頭包覆，剪力牆補強則是在一樓與二樓各四面，圖 5.57 為教學大樓結構平面示意圖，右側算第二件教室中粗黑線即為剪力牆配置位置，以穿堂為準，左右對稱各兩面。

依據中央氣象局強震觀測站量測資料內插計算，推估本址最大地表加速度約為 161gal，相當震度五級地震。本次地震造成教學大樓剪力牆與梁

柱交界面之破壞，剪力牆本體並無損壞，惟其牆頂與梁柱交界面上混凝土擠壓碎裂(圖 5.58)，且每一剪力牆位置皆有此一破壞狀況。根據校舍耐震資訊網資料庫顯示，耐震能力初步評估(Is)為 29.35 分，已完成耐震能力詳細評估，其長向耐震能力為 213.8gal。



圖 5.54 花蓮縣明禮國小地理位置



(a)正立面



(b)背立面

圖 5.55 明禮國小教學大樓外觀 (陳桂芳建築師提供)



(a)鋼板包覆



(b)剪力牆

圖 5.56 明禮國小教學大樓補強

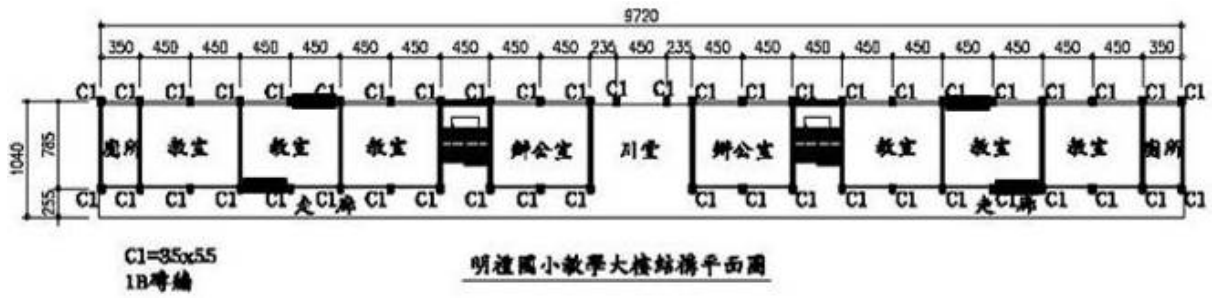


圖 5.57 明禮國小教學大樓平面圖（陳桂芳建築師提供）



(a)



(b)

圖 5.58 明禮國小教學大樓剪力牆與梁柱交界面破壞

5.1.9 花蓮縣稻香國小

稻香國小位於花蓮縣吉安鄉稻香村稻香路 99 號，經緯座標為東經 121.4642 度，北緯 23.8733 度，位於台 9 丙線道旁(圖 5.59)。該校共有 5 棟校舍，分別為耕讀樓、東側教室、西側教室、北側教室及體育教室，除東側教室及耕讀樓為 RC 造建築結構，其餘 3 棟校舍均為 RC 加強磚造結構，所有校舍均為懸臂走廊式的典型校舍，圖 5.60 為北側教室正立面照片，圖 5.61 為北側教室背立面照片。

依據中央氣象局強震觀測站量測資料內插計算，推估本址最大地表加速度約為 156gal，相當五級地震。該校校舍在此次地震並未造成嚴重破壞，僅北側教室與西側教室間因留有伸縮縫，相鄰建築物互相碰撞，造成外牆部份貼覆材受損掉落，但無明顯結構性破壞(圖 5.62)。北側教室為二層樓校舍，每一層樓有 8 間教室，共計 16 間教室，樓梯及廁所各一座，分別位在建築物兩側。根據校舍耐震資訊網資料庫顯示，北側教室耐震能力初評分數(Is)為 69 分，應進行下一階段詳細評估工作，確認其耐震能力。



圖 5.59 稻香國小地理位置



圖 5.60 稻香國小北側教室正面照片



圖 5.61 稻香國小北側教室背面照片



圖 5.62 稻香國小北側教室相鄰建築物間伸縮縫碰撞，以致貼附材破裂掉落

5.1.10 花蓮縣新社國小

花蓮縣新社國民小學位於花蓮縣豐濱鄉新社村 150 號(圖 5.63)，經緯座標為東經 121.527328 度，北緯 23.68947 度，主要聯外道路為東海岸公路(台 11 線公路)，學生人數約 50 人上下，校舍有北棟及西棟，這兩棟皆為教學行政使用，但興建年代不詳，惟其西棟外觀良好，應為近十年左右興建，因此本次震害集中在北棟。

北棟校舍為兩層樓 RC 造懸臂走廊建築物(圖 5.64)，總樓地板面積 686 平方公尺，教室柱為 30cm×50cm，配置主要是兩跨為一間教室單元，屬於典型校舍，結構上無特殊處，惟其教室使用配置左右未對稱。

依據中央氣象局強震觀測站預測值，本址最大地表加速度約為 144gal，相當震度五級地震。本次地震造成電腦教室冷氣開孔處之破壞(圖 5.65)，2 樓校長室窗戶邊破壞(圖 5.66)，1 樓廁所門口旁磚牆剪力破壞(圖 5.67)，廁所內高窗旁短柱也造成剪力破壞(圖 5.68)。根據校舍耐震資訊網資料庫顯示，耐震能力初步評估(Is)為 58 分。



圖 5.63 花蓮縣新社國小地理位置



圖 5.64 新社國小北棟校舍外觀



圖 5.65 新社國小北棟校舍一樓電腦教室外牆



圖 5.66 新社國小北棟校舍二樓校長室內牆



圖 5.67 新社國小北棟校舍一樓廁所門旁磚牆



圖 5.68 新社國小北棟校舍高窗部份剪力破壞

5.1.11 台東縣三間國小

台東三間國小位於台東縣長濱鄉三間村 7 鄰 16 號，鄰近台 11 線，主要校舍包括兩層樓之教學行政大樓，與其後方一樓層的教師辦公室校舍，如圖 5.69 中所示（圖中上方為北方），兩棟校舍呈平行配置（圖 5.70）。經本中心震災模擬組整理中央氣象局強震速報站資料，推估各地地表加速值（PGA）結果顯示，本址最大地表加速度約為 103 gal，相當五級震度。此兩棟建築中，兩樓層的教學行政大樓受損較為嚴重，另一棟一樓層教師辦公室未發現較嚴重的裂縫，因此以下之震後勘查記錄大多集中於教學行政大樓。

教學行政大樓之一平面示意圖如圖 5.71 所示，正向立面景觀如圖 5.72 所示。從平面圖中顯示，本棟建築由兩獨立結構體組成，如圖 5.73 中顯示實際伸縮縫情形。由圖 5.71 顯示，右側結構之左側無走廊外柱，柱位於窗台處，右側部分，窗台柱移至走廊外側。另外在沿垂直走廊方向具有隔間

牆者，於隔間牆中點均配置柱構件，如圖 5.71 所示。本棟建築於 1994 年開始興建，並於 1995 年完工使用。

經檢視教學行政大樓一樓之受損情形顯示，較顯著之受損者大多集中發生於柱構件、樓梯與垂直於走廊方向牆之面外變形與開裂等。為方便建築物各部之實際破壞情形，於圖 5.71 中標示其各構件編號。其中柱構件之嚴重受損均發生於窗台柱，如圖 5.74 至圖 5.90，非窗台柱者僅於圖 L5.71 平面圖中右側一樓走廊柱（編號 35）上端磁磚掉落外（圖 5.91 與圖 5.99），其餘均未發現明顯裂縫；樓梯 S1 與 S2 破壞情形詳圖 5.92 至圖 5.93；牆 W1 至 W5 之面外變形與裂縫如詳圖 5.94 至圖 5.99 中所示。圖 5.100 為一樓層教師辦公室窗台柱發生裂縫情形。

從破壞現況顯示，校舍沿走廊方向破壞較顯著，依此研判在三間國小場址，南北向的震度較大。



圖 5.69 台東三間國小位置圖



圖 5.70 台東三間國小主要校舍配置情形

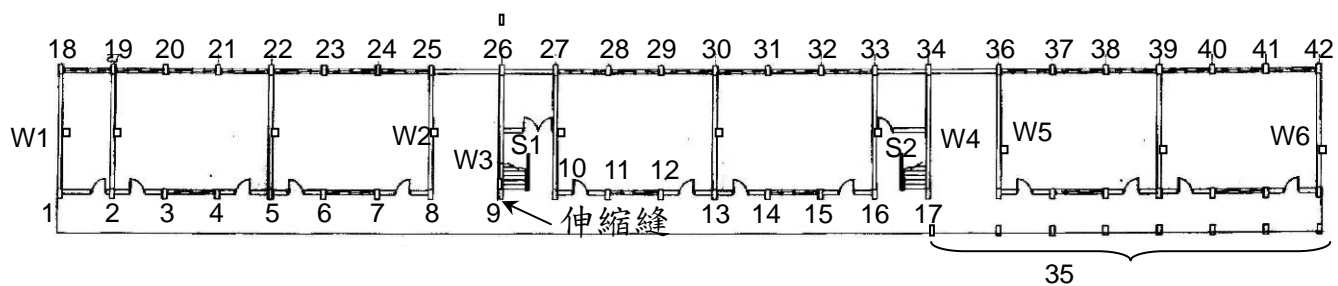


圖 5.71 台東三間國小教學行政大樓一樓平面示意圖



圖 5.72 台東三間國小教學行政大樓立面實際情形 (摘自三間國小網頁)



圖 5.73 台東三間國小教學行政大樓兩結構配置與伸縮縫實際情形



圖 5.74 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 1 一樓室外、內實際裂縫開裂情形



圖 5.75 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 3、4 一樓室外實際裂縫開裂情形



圖 5.76 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 3、4 一樓室內實際裂縫開裂情形

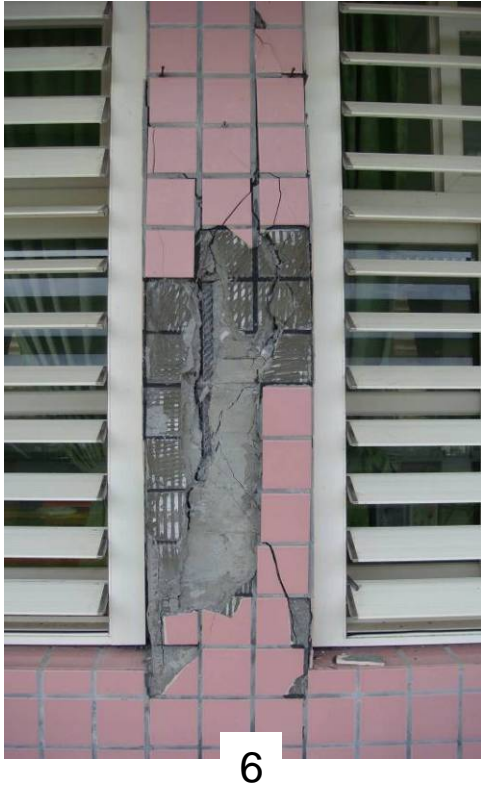


圖 5.77 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 6、7 一樓室外實際裂縫開裂情形



圖 5.78 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 6、7 一樓室內實際裂縫開裂情形



圖 5.79 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 11、12 一樓室外實際裂縫開裂情形



圖 5.80 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 11、12 一樓室內實際裂縫開裂情形



圖 5.81 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 14、15 一樓室外實際裂縫開裂情形



圖 5.82 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 14、15 一樓室內實際裂縫開裂情形



圖 5.83 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 18 一樓室外實際裂縫開裂情形



圖 5.84 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 19、20、21 一樓室外實際裂縫開裂情形



圖 5.85 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 23、24、25 一樓實際裂縫開裂情形



圖 5.86 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 28、29 一樓室內實際裂縫開裂情形



圖 5.87 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 31、32 一樓室外實際裂縫開裂情形



圖 5.88 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 31、32 一樓室內實際裂縫開裂情形



圖 5.89 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 34 一樓實際裂縫開裂情形

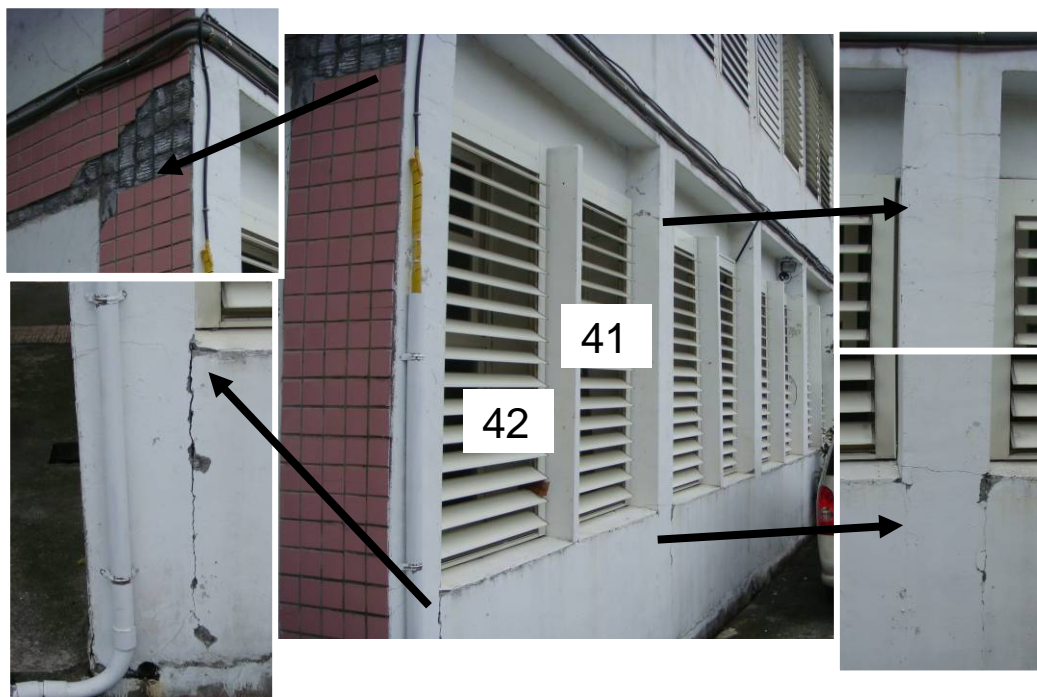


圖 5.90 台東三間國小教學行政大樓窗台柱 41、42 一樓實際裂縫開裂情形

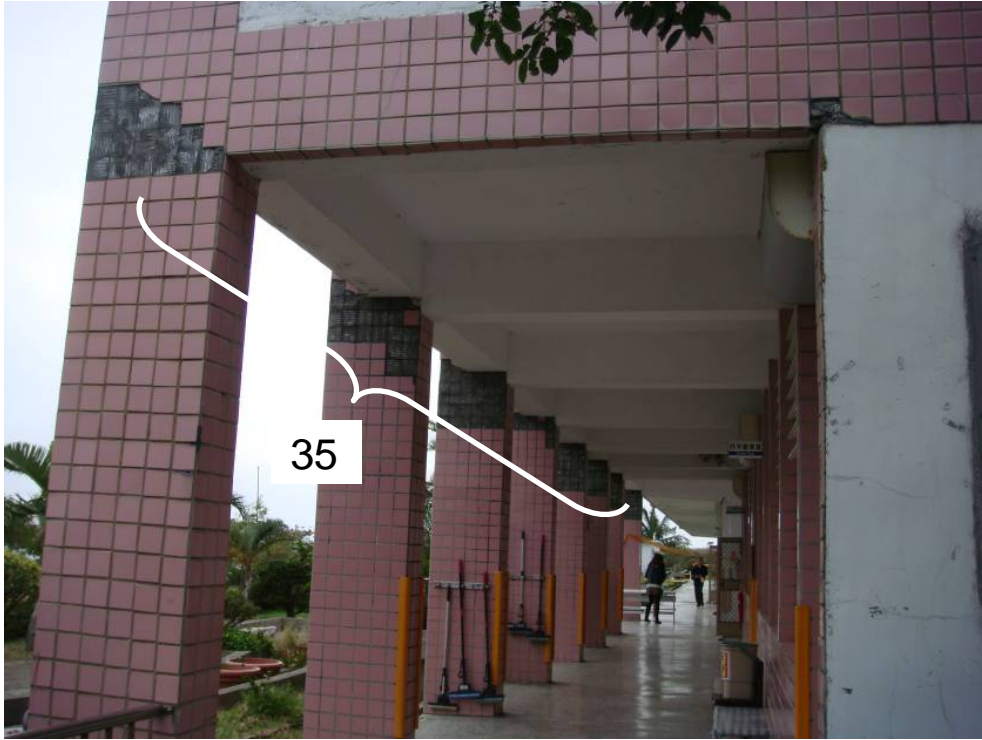


圖 5.91 台東三間國小教學行政大樓北側走廊柱 35 一樓上端受震磁磚掉落情形



圖 5.92 台東三間國小教學行政大樓樓梯 S1 一樓實際錯位情形



圖 5.93 台東三間國小教學行政大樓樓梯 S2 一樓平台下方儲藏室外牆嚴重破壞與樓梯踏階錯位情形



圖 5.94 台東三間國小教學行政大樓牆 W1 一樓面外變形與裂縫開裂情形



圖 5.95 台東三間國小教學行政大樓牆 W2 一樓面外變形與裂縫開裂情形

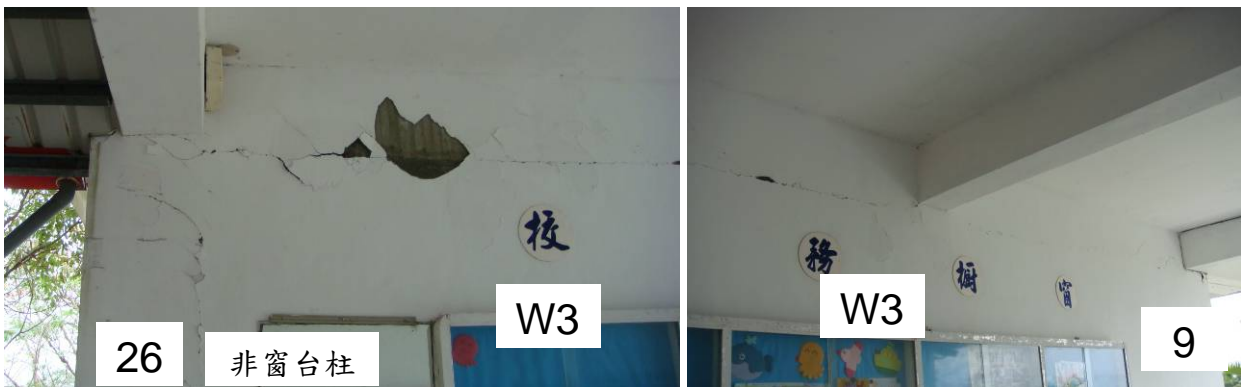


圖 5.96 台東三間國小教學行政大樓牆 W3 一樓面外變形與裂縫開裂情形



圖 5.97 台東三間國小教學行政大樓牆 W4 一樓面外變形與裂縫開裂情形



圖 5.98 台東三間國小教學行政大樓牆 W5 一樓面外變形與裂縫開裂情形



圖 5.99 台東三間國小教學行政大樓牆 W6 一樓裂縫開裂與一樓柱 35 上端磁磚掉落情形



圖 5.100 台東三間國小教師辦公室窗台柱室內實際裂縫開裂情形

5.1.12 台東縣信義國小

台東信義國小位於台東縣成功鎮都歷路 58 號，臨台 11 線（都歷路），主要校舍包括教學大樓與忠信樓，如圖 5.101 中所示（圖中上方為北方），其校舍均為地上兩層建築，建造年代約在 1980 年代初期，依此推估應為加強磚造構造建築，至今屋齡近三十年。經本中心震災模擬組整理中央氣象局強震速報站資料，推估各地地表加速值（PGA）結果顯示，本址最大地表加速度約為 50 gal，相當四級震度。據訪查該校總務主任高志雄先生得知，教學大樓於 2004 年已進行耐震補強；忠信樓於 2009 年 12 月開始進行耐震詳細評估，初步評估結果顯示，該建築結構之耐震能力不足，預計於未來三年內進行耐震補強。本校舍之震後勘查工作於 2009 年 12 月 25 日下午與林主潔博士共同前往進行，兩棟建築受震後勘查情形分別記錄如下。



圖 5.101 台東信義國小位置圖

教學大樓

圖 5.102 及圖 5.103 分別為教學大樓一樓及二樓平面圖，圖 5.104 為之正面實際情形，由平面圖中顯示，此校舍是由兩個獨立之結構體組合而成。

本建築先前乃針對二樓與屋頂層之梁柱接頭採包覆鋼板方式進行補強，於二樓部分梁柱接頭進行補強，屋頂樓層之梁柱接頭幾乎全部補強，梁柱接頭之鋼板補強外觀實際情形如圖 5.105 與圖 5.106 所示。檢視本棟校舍受震所造成較明顯之裂縫大致包括如下：

- 部分窗台柱上下端表面發生裂縫，如圖 5.107 至圖 5.109 所示。
- 於北側一樓廁所走廊側牆之門上方及與梁接面開裂（如圖 5.110），與北側二樓廁所靠近走廊側之外牆與梁接面發生開裂（圖 5.111）。
- 圖 5.112 與圖 5.113 分別為北側樓梯側牆在樓梯版下緣附近開裂，及南側樓梯平台外側磁磚輕微剝落情形。
- 圖 5.114 為二樓教室內輕鋼架受震掉落。

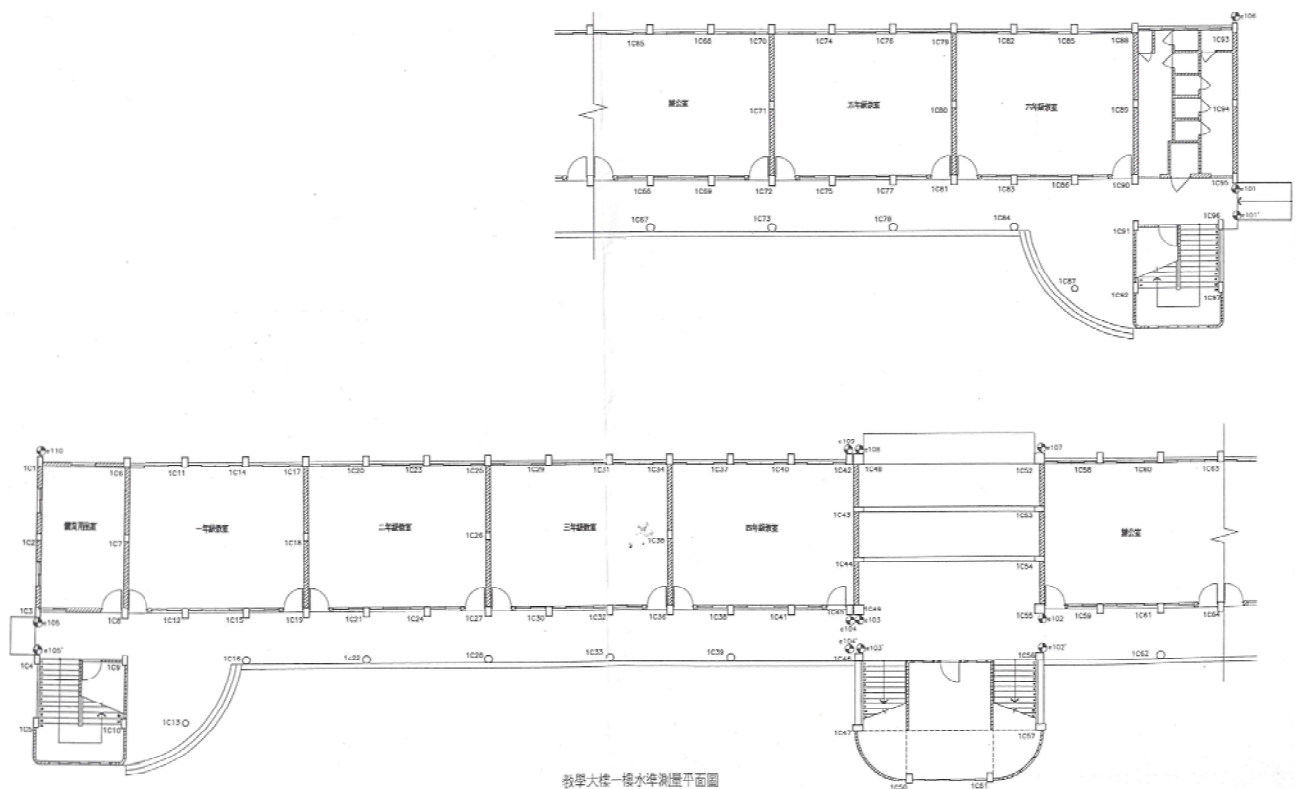


圖 5.102 信義國小教學大樓一樓平面圖

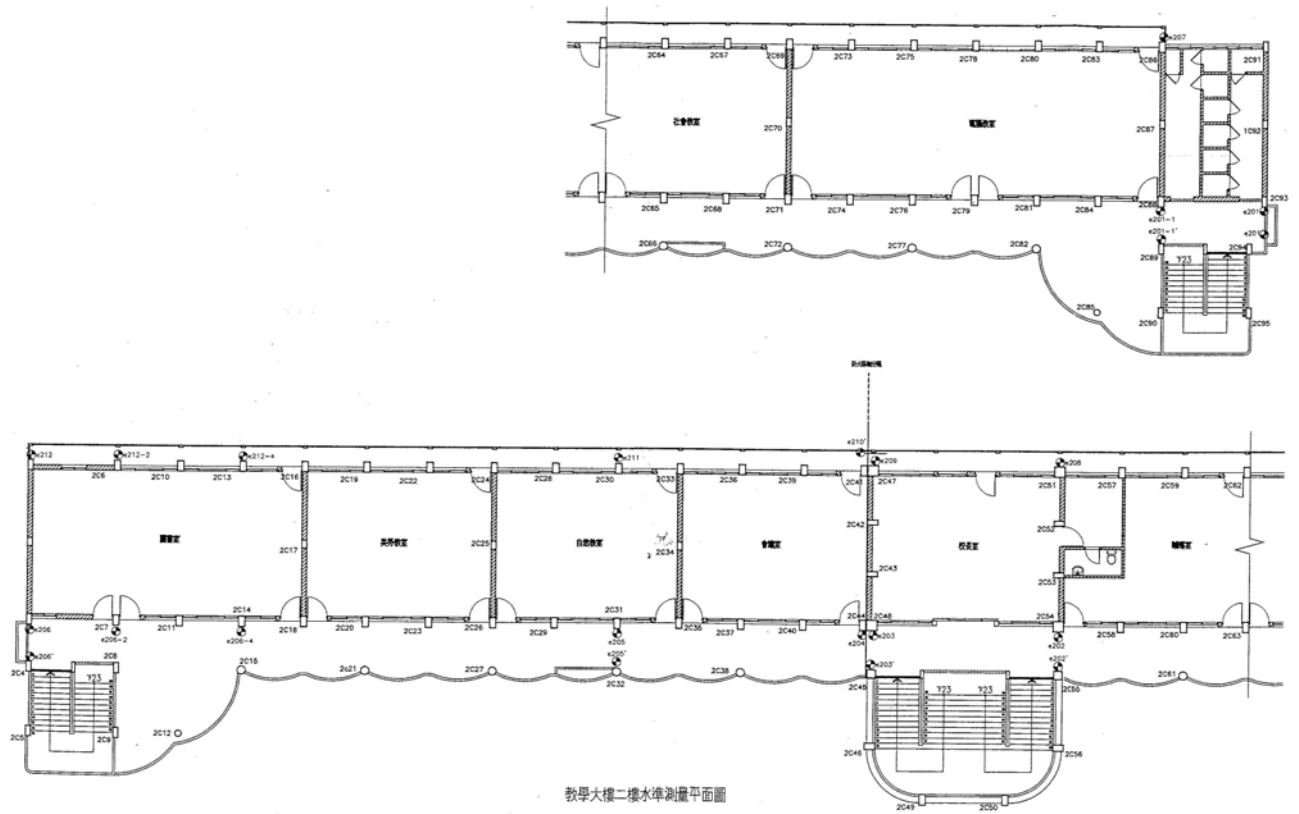


圖 5.103 信義國小教學大樓二樓平面圖



圖 5.104 信義國小教學大樓正立面實際情形



圖 5.105 信義國小教學大樓先前梁柱接頭鋼板補強情形（一）



圖 5.106 信義國小教學大樓先前梁柱接頭鋼板補強情形（二）



圖 5.107 信義國小教學大樓窗台柱上端受震開裂情形



圖 5.108 信義國小教學大樓窗台柱上端受震開裂情形



圖 5.109 信義國小教學大樓窗台柱下端受震開裂情形



圖 5.110 信義國小教學大樓北側一樓廁所走廊側牆門上方及與梁接面處開裂



圖 5.111 信義國小教學大樓北側二樓廁所走廊側牆與梁接面處開裂



圖 5.112 信義國小教學大樓北側樓梯側牆在樓梯版下緣附近開裂。



圖 5.113 信義國小教學大樓南側樓梯平台外側磁磚輕微剝落



圖 5.114 信義國小教學大樓二樓教室內輕鋼架受震掉落。

忠信樓

圖 5.115 與圖 5.116 分別為忠信樓之一、二平面圖，正立面實際情形如圖 5.117 所示。本棟校舍正進行耐震詳細評估，初步評估顯示耐震能力未達現行規範要求，預計於近幾年中完成耐震補強。震後經實地勘查發現，除圖 5.117 左側樓梯下方支撐柱受損較顯著外，其餘受損輕微。較明顯之破壞或裂縫者包括如下：

- 圖 5.118 顯示圖 5.117 中左側戶外樓梯下方支撐柱發生斜向裂縫，。
- 少數窗台柱上方發生些微裂縫，如圖 5.119。
- 圖 5.120 顯示教室內局部輕鋼架掉落。

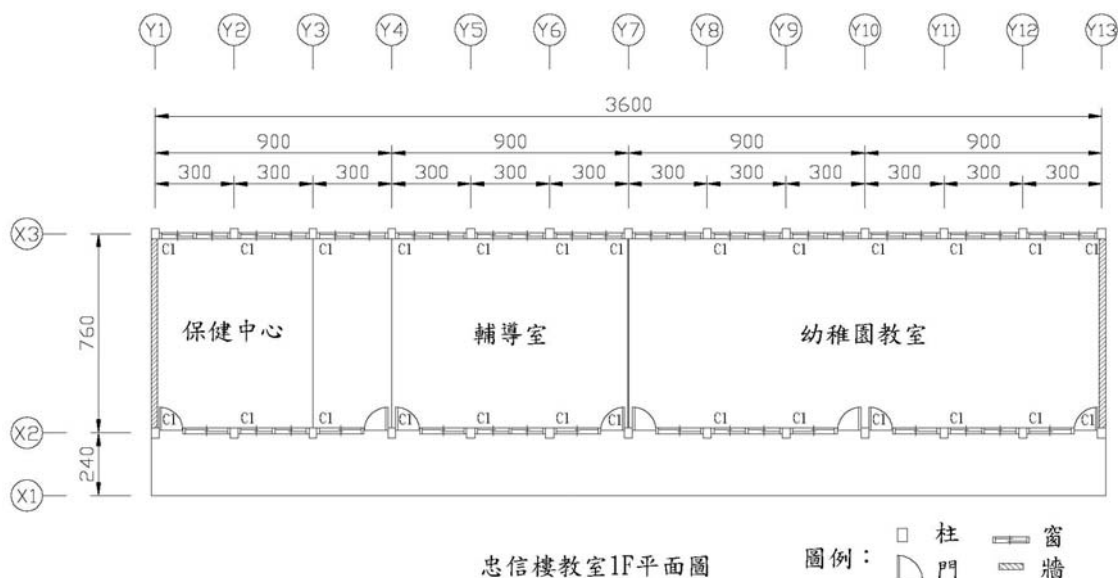


圖 5.115 信義國小忠信樓一樓平面圖

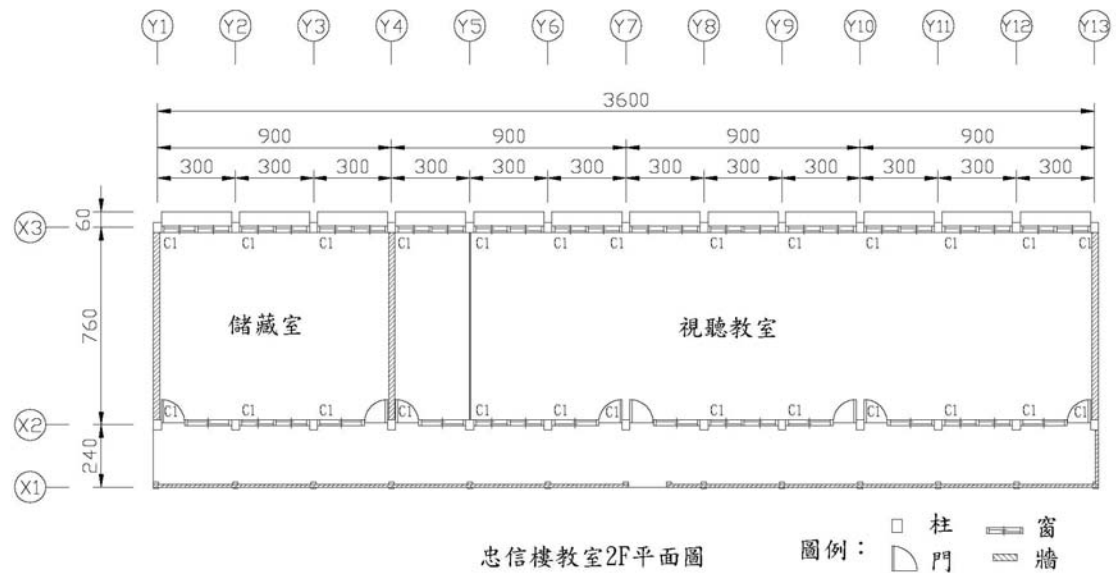


圖 5.116 信義國小忠信樓二樓平面圖



圖 5.117 信義國小忠信樓正立面實際情形



圖 5.118 信義國小忠信樓西側戶外樓梯下方支撐柱發生斜向裂縫



圖 5.119 信義國小忠信樓窗台柱上方發生些微裂縫



圖 5.120 信義國小忠信樓教室內局部輕鋼架掉落

5.2 民宅

本次地震也造成少數民宅損壞，由於磯崎地區受到最大地表加速度，因此大部分民宅災損集中於磯崎村，所幸此地區民宅多屬低矮樓層，並未造成房屋倒塌，人員傷亡等嚴重災情。

磯崎村 16 號民宅

此建物為二層樓 RC 加強磚造，主要破壞為短柱剪力破壞，此柱單側受隔間牆束制，造成短柱效應（圖 5.121）。

磯崎村 29 號民宅

此處民宅地基因差異沉陷形成顯著的地表開裂，如圖 5.122 所示。

磯崎村 47 號民宅

此民宅面鄰台 11 線公路，建物為二層樓 RC 加強磚造，本次地震造成東側地基略下陷，建物向東側稍微傾斜（圖 5.123 箭頭方向），室內地板也因此龜裂（圖 5.124）。由於建築物整體傾斜，因此與 48 號鄰宅柱的錨定界面脫開（圖 5.125）。

磯崎村 52 號民宅

此民宅亦面鄰台 11 線公路，建物為一層樓 RC 加強磚造，頂樓以鐵皮加蓋一層（圖 5.126），基地毗鄰坡地而建，後側基礎並不完整，因此部分柱腳未受基礎有效包覆，本次地震造成後側柱腳剪力破壞，梁柱接頭也發生剪力開裂（圖 5.127）。



圖 5.121 磯崎村 16 號民宅



圖 5.122 磯崎村 29 號民宅



圖 5.123 磯崎村 47 號民宅基地向箭頭方向傾斜



圖 5.124 磯崎村 47 號民宅室內地板龜裂



圖 5.125 磯崎村 47 號與 48 號民宅鄰柱錨定脫離



圖 5.126 磯崎村 52 號民宅



圖 5.127 磯崎村 52 號民宅背面基礎及基腳破壞情形

第六章 交通設施震害

6.1 震害概述

12月19日花蓮地震發生後，經交通主管機關統計，全台僅苗栗縣玉清大橋及花蓮台11線磯崎部份道路發生輕微損壞。苗栗縣玉清大橋在12月19日地震後，因橋面版伸縮縫出現1.7公分之高低差，縣政府依據橋梁應變作業程序於12月20日上午，由縣警察局實施封橋措施。同時，縣政府委託進行安全檢測，12月22日下午2時發現P4橋墩下游端盤式支承鈹因已完工將近10年鏽蝕嚴重，加上此次地震影響，導致承壓鈹上、下兩塊防滑導槽移位並凸出，但所幸橋梁、墩柱支撐結構無礙。為盡速恢復通車，苗栗縣政府工務處委託原設計單位進行評估，於端梁側邊安裝防撞鋼鈹，以防止再受地震撞擊而危及橋梁。有關道路損壞部分，主要為部分路段落石（台8線九曲洞和燕子口附近、台14甲線合歡山附近、台11線磯崎附近），均由工程單位迅速排除，無交通阻斷與人員傷害情形。

6.2 玉清大橋地震損壞

6.2.1 橋梁基本資料

玉清大橋為銜接台72號東西向快速道路和苗栗市區的重要橋梁，橫跨在後龍溪之上，為後龍和泰安兩鄉鎮往來苗栗市行駛必經之處，如圖6.1～圖6.3所示。玉清大橋及匝道工程，民國87年先獲交通部列入擴大內需方案補助3億9千萬元興建主橋梁，92年間續獲經建會納入擴大公共建設方案，補助1億8千萬元辦理匝道工程北端匝道新建工程，共設計4條匝道及3條聯絡環道。玉清大橋橋長連同南、北引道長1公里多，銜接東西向快速道路與苗廿五線，全長約2.4公里，全部工程歷時五年餘完工。橋梁基本資料表如表6.1所示。

圖 6.4 及圖 6.5 所示為玉清大橋平立面圖。該橋為雙向四線道混合型路面，主橋為預力混凝土拱橋，引道橋則採用多跨 PCI 簡支梁橋型式。主橋與引道橋伸縮縫分別設置於 P4 及 P7 橋墩，採用縱向齒型伸縮縫。拱橋端支承類型為單向活動式盤式支承墊，設計標準圖如圖 6.6～圖 6.8 所示；PCI 簡支梁橋端則為人造橡膠支承墊。

6.2.2 地震歷時記錄

玉清大橋因靠近苗栗市，根據中央氣象局強地動觀測網，苗栗市 NML 測站量測紀錄顯示（如圖 6.9～圖 6.10），推估地表震動為 3 級，東西向、南北向與垂直向之最大地表加速度分別為 16.51、17.94、8.91gal。

6.2.3 地震損壞描述

苗栗縣政府於 12 月 20 日上午接獲縣消防隊員徐志元先生指出，行經玉清大橋路面發現伸縮縫凸起現象，經縣府工務處長林文雄初步研判橋梁損壞與 12 月 19 日地震有關，為了解結構受損情形並維護用路人之安全，依據橋梁應變作業程序於 12 月 20 日上午 11 時 30 分實施封橋措施（圖 6.11），亦請苗栗縣警察局交通隊派員協助疏導交通。

苗栗縣政府於 12 月 21 日上午委請偉轟工程顧問公司專業技師針對該橋進行橋梁安全檢測。12 月 21 日巡察橋面結果發現，P4 及 P7 橋墩上設置縱向齒型伸縮縫寬度約為 18 公分，如圖 6.12 及圖 6.13 所示，尚屬設計範圍。相較於 98 年 7 月 16 日紀錄（圖 6.14），可明顯看出溫度效應所產生熱脹冷縮效應對橋梁行車向變形之影響。但銜接苗栗市通往頭屋方向橋面版伸縮縫出現 1.7 公分之高低差（圖 6.15 及圖 6.16），及 P4 橋墩橋面橫向伸縮縫分離（圖 6.17）。為確保橋梁下部結構及支承系統安全性，於橋底開設施工便道（圖 6.18），進行高空檢測作業（圖 6.19）。12 月 22 日下午 2 時檢測發現，P4 橋墩下游端盤式支承墊（編號 4-1～4-4），因已完工將近 10 年銹蝕嚴重，加上此次地震影響，導致承壓板上、下兩塊防滑導槽移位並凸

出，如圖 6.20～圖 6.27 所示。P7 橋墩盤式支承雖沿行車向有滑動但無銹蝕影響尚屬安全（圖 6.28～圖 6.30）。此外，橋墩柱及簡支梁端支承無明顯損傷情形，如圖 6.31～圖 6.34 所示。工務處表示，為不影響交通，緊急於端梁側邊安裝防撞鋼板以防止再受地震撞擊而危及橋梁，並邀集各單位會商作成結論如下：

（1）為不影響交通，緊急於端梁側邊安裝防撞鋼板，以防止再受地震撞擊而危及橋梁，預計 5 天內可開放通車。

（2）後續將另案更換 P4 橋墩上、下游端之「盤式支撐（承壓板）」，並更換伸縮縫使更平順，以維護行車安全。

6.2.4 耐震補強工程

苗栗縣政府工務處為盡速恢復通車，12 月 21 日委託原設計單位（建業工程顧問工程公司）會勘提出耐震補強工程方案。因部分盤式支承銹蝕嚴重，遂建議於端梁側邊安裝防撞鋼板，以防止再受地震撞擊而危及橋梁。補強施工過程如圖 6.35～圖 6.42 所示。本橋已於 12 月 26 日開放通車，後續將另案更換 P4 橋墩上、下游端之「盤式支撐（承壓板）」，並更換伸縮縫使更平順，以維護行車安全。

6.3 台 11 線道路損壞

交通部公路總局於 12 月 19 日花蓮地震發生後，即針對震度四級以上區域，進行相關公路設施（道路、橋梁及隧道）巡查，除部分路段落石（台 8 線九曲洞和燕子口附近、台 14 甲線合歡山附近、台 11 線磯崎附近）已迅速排除外，無人員傷害與交通阻斷情形。台 11 線主要損壞為花東海岸公路部分路面龜裂，如圖 6.43～圖 6.45 所示。磯崎路段有重達一噸以上的巨石掉落，所幸並無人員傷亡。

表 6-1 玉清大橋基本資料表 (資料來源：苗栗縣政府工務處道管科)

橋梁名稱	玉清大橋						
是否為跨河橋			跨河橋				
管理資料							
管理機關	苗栗縣政府	工程處		工務段		所在縣市	苗栗縣
所在區鄉	苗栗	道路等級	市區道路	路線	玉清路	里程樁號	0K+00(玉清路與經國路口)
竣工年月	93年2月	造價	164770000元	合約編號	89 栗府建土約字第 354 號	設計單位	建業工程顧問有限公司
施工單位	華洲營造工程有限公司	跨越物體	後龍溪	參考地標	玉清交流道		
最近一次維修年/月		無		竣工圖說保存地點		苗栗縣政府	
幾何資料							
橋梁總長	496.08 m	最大淨寬	36.52 m	最小淨寬	18.5 m	最高橋墩高度	16.75 m
橋版投影面積	10343 m ²	橋上淨高	100 m	橋下淨高	18.95 m	總橋孔數	10 孔
總車道數	8 道	最大跨距	130 m	其他跨距	1@35.55+3@38+1@60+1@130+1@76+1@43.3+1@31.63+1@5.6		
橋頭 GPS 經度	120.83793°	橋頭 GPS 緯度	24.56184°	橋尾 GPS 經度	120.84208°	橋尾 GPS 緯度	24.56004°
結構資料							
結構型式	梁式橋	橋墩型式	多柱式	橋墩材質	鋼筋混凝土	橋墩基礎型式	直接基礎
主梁型式	箱型梁	主梁材質	預力鋼筋混凝土	橋台型式	樁排架式	橋台基礎型式	樁基礎
鋪面材質	瀝青混凝土 (AC)	伸縮縫	角鋼式伸縮縫	翼牆型式	無	支承型式	合成橡膠支承
防震設施	混凝土止震塊						
設計資料							
設計活載重	HS20-44+30%	防落橋長度	1	地表加速度	0.28	計畫洪水位	43.61
堤坊法線長度	400	計畫堤頂高程	45.61	計畫河床高程	36.7	地盤種類	第一類地盤
橋基保護工法	無						
附註							
<p>10-065 1.A1 橋台為 8 支 16M 長 φ150CM 基樁之樁排架式橋台 2.P1~P6 為直接基礎,P1、P4(墩徑 220,基礎深 2.2M),P2、P3(墩徑 220~250,基礎深 2.5M),P5、P6(橢圓橋墩,長軸 550,短軸 300,基礎深 350) 3.P7~P9 為樁基礎(基樁 φ150CM,長 16M,P7~P8 墩徑 220,樁帽深 2.2M,P9 墩徑 200,樁帽深 2M) 4.伸縮縫 A1.P4.P7 設置, A1 為角鋼式,P4 與 P7 為齒形伸縮縫 5.S1~S4、S-9~S10 為 8 支預力梁,S5~S7 為預力鋼筋混凝土箱形梁(上部結構最大深度 6.6m,最小深度 2.45m),S8 為 10 支預力梁 7.結構資料參考苗栗玉清大橋新建工程第五次變更設計(92.5) 8.遠端左側銜接引道為 6@35M=210M,預力 I 型梁(第一跨為 6 支,第 2 跨為 5 支,第 3~6 跨為 4 支) 9.97 年於 P2~P4 橋墩設置防沖鋼版 10.水利署 97 年六月左斷 26-1</p>							



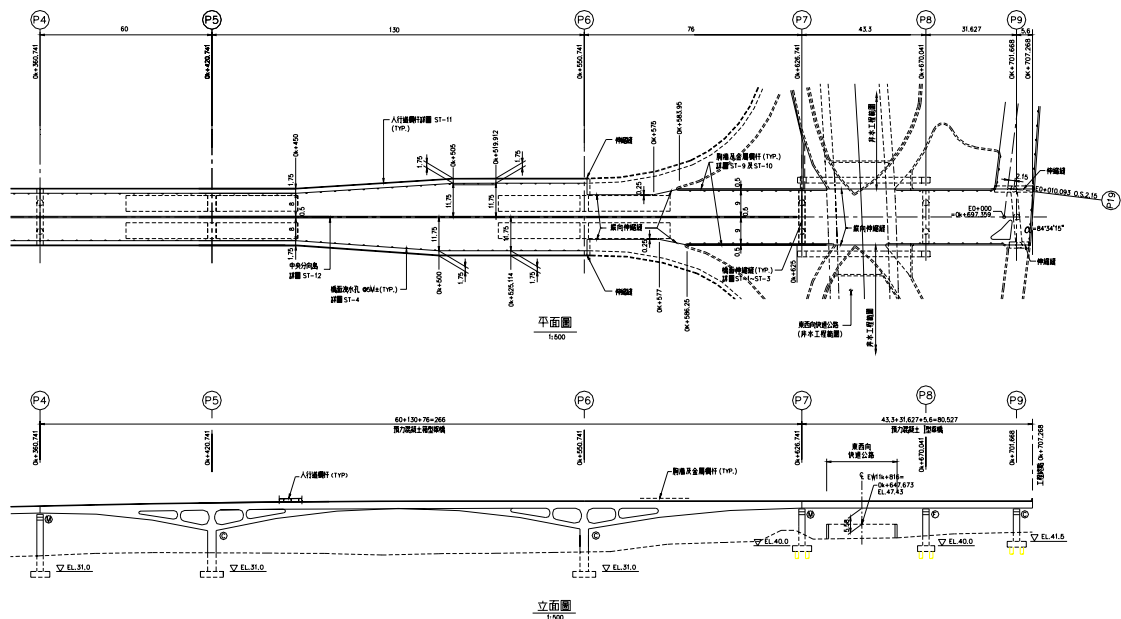
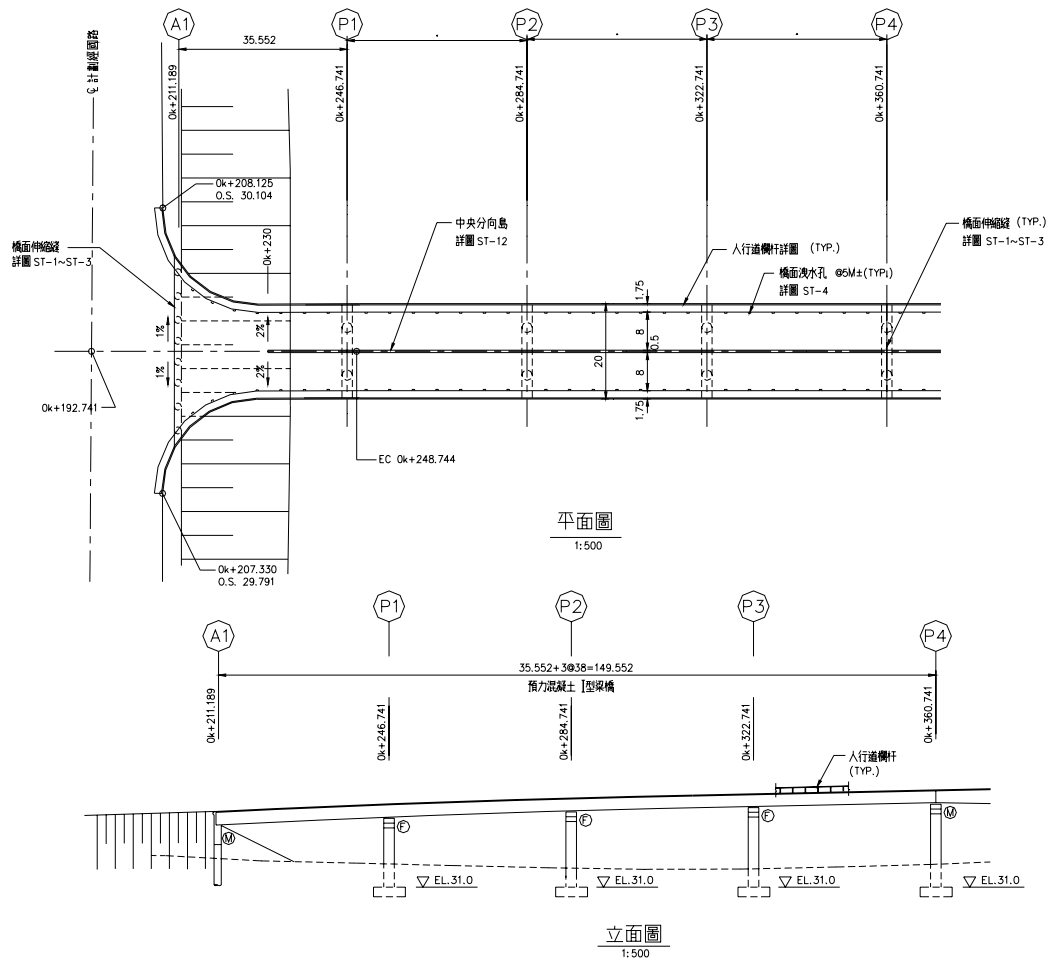
圖 6.1 苗栗市玉清大橋地理位置圖
(資料來源：<http://maps.google.com.tw/>)



圖 6.2 玉清大橋側視圖



圖 6.3 玉清大橋引道橋 P4 橋墩



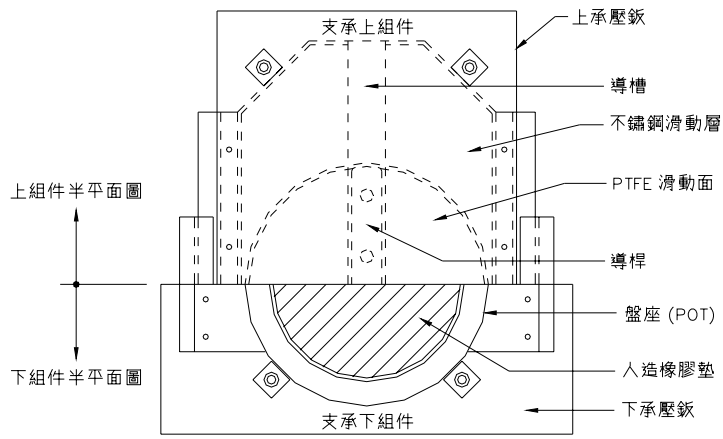


圖 6.6 單向活動型支承平面圖 (資料來源：建業工程顧問有限公司)

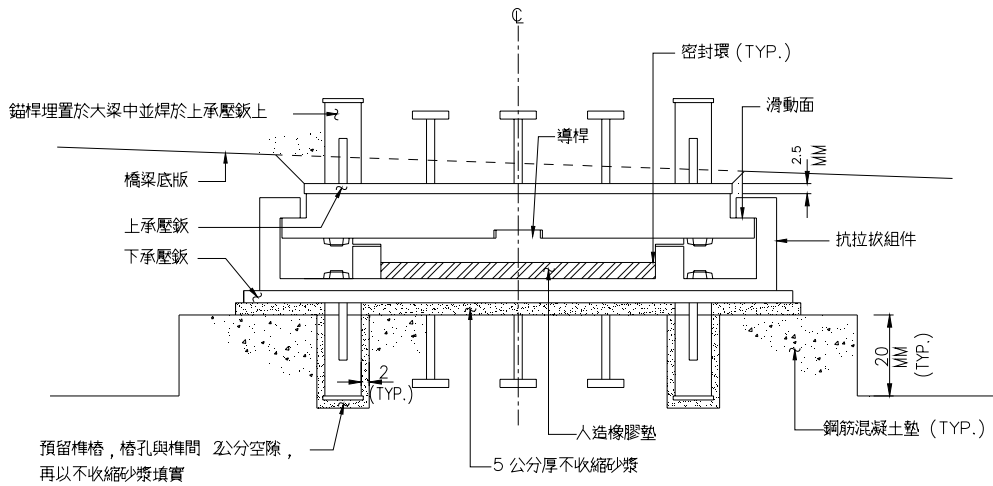


圖 6.7 單向活動型支承斷面圖 (資料來源：建業工程顧問有限公司)

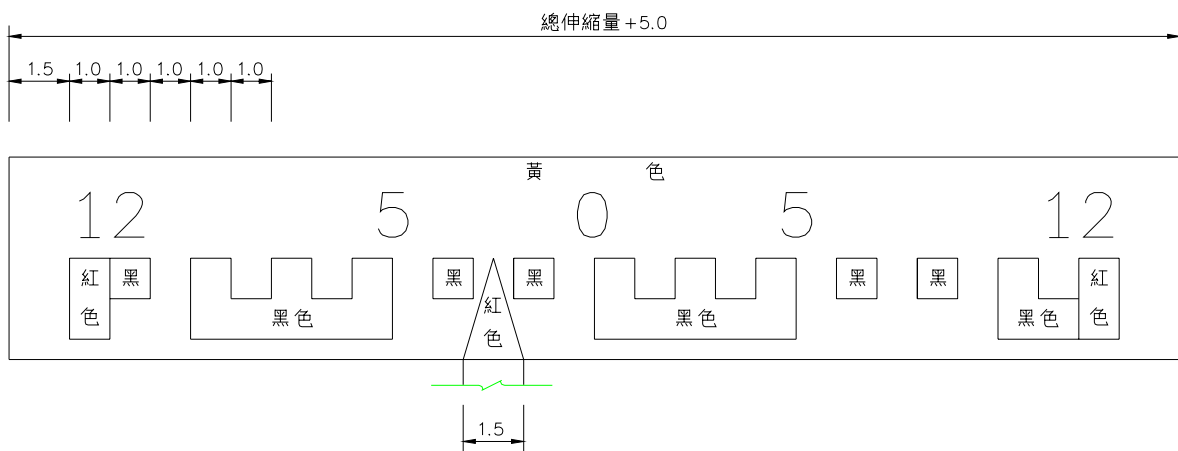


圖 6.8 滑動尺指標示意圖 (資料來源：建業工程顧問有限公司)

Origin Time:2009/12/19 21:02:16
Lat:23.79N Lon:121.66E Depth:43.8km Mag:6.9
Dist:121.04km AZ:135.32

苗栗市NML(2009/12/19 21:01:43) 3級

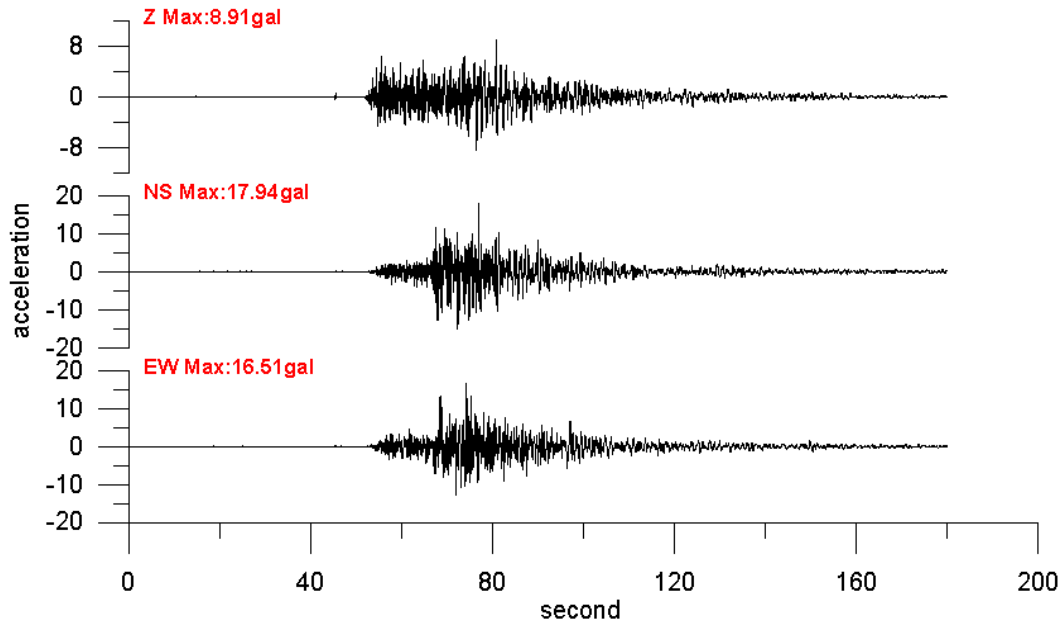


圖 6.9 1219 地震苗栗市即時強地動震波圖

(資料來源：中央氣象局)

Origin Time:2009/12/19 21:02:16
Lat:23.79N Lon:121.66E Depth:43.8km Mag:6.9
Dist:121.04km AZ:135.32

苗栗市NML(2009/12/19 21:01:43) 3級

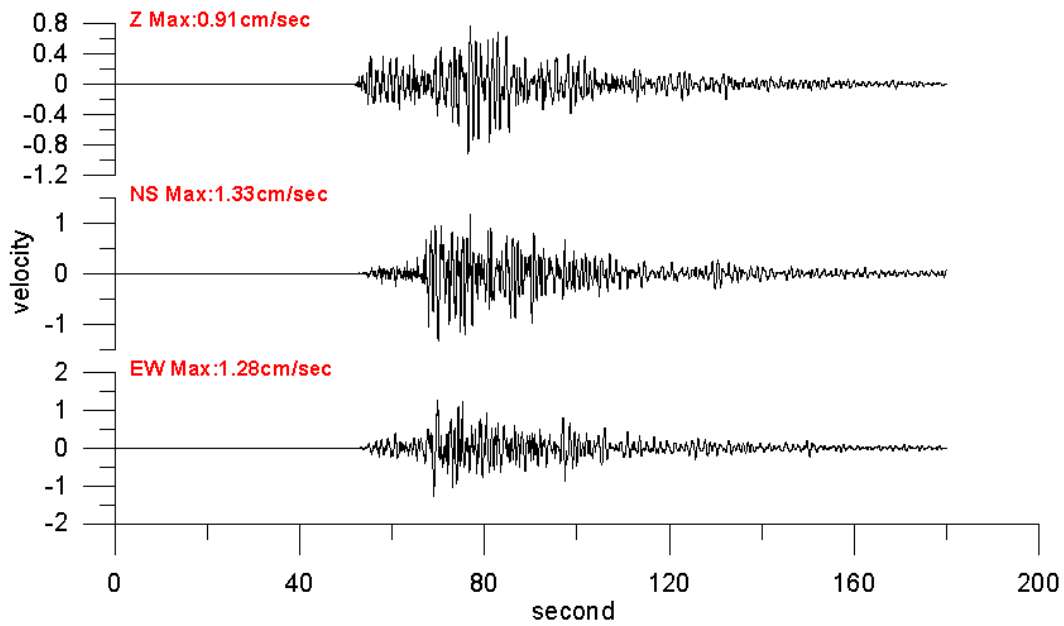


圖 6.10 1219 地震苗栗市即時速度震波圖

(資料來源：中央氣象局)



圖 6.11 玉清大橋封橋告示標誌 (98 年 12 月 25 日)



圖 6.12 P4 伸縮縫(指鈹根-指鈹根)間距約 18cm
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.13 P7 伸縮縫(指鈹根-指鈹根)間距約 18cm
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.14 P4 伸縮縫情形(尖與尖尚有重疊約 1cm，98 年 7 月 16 日拍攝)
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.15 P4 伸縮縫右側單元較左側單元高約 2cm
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.16 P4 伸縮縫 S5 跨側較 S4 跨側高約 2cm
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.17 P4 橋墩橋面橫向伸縮縫分離



圖 6.18 施工便道整理
(資料來源：建業工程顧問有限公司)



圖 6.19 高空檢測作業



圖 6.20 P4-1 盤式支承上盤與導桿脫離並向右側側移
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.21 P4-2 盤式支承上盤與導桿脫離並向右側側移
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.22 P4-2 盤式支承上盤角鐵斷裂損壞
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.23 P4-2 盤式支承上盤角鐵斷裂損壞
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.24 P4-3 盤式支承角鐵彎折顯示上部結構經歷側向振動
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.25 P4-3 盤式支承墊翹起 (資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.26 P4-4 盤式支承上盤翹起、角鐵彎折顯示上部結構經歷側向振動
 (資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.27 P4-4 支承橋軸方向變位大於 7cm
 (資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.28 P7-2 支承正常狀況(滑槽與樺密合、滑槽深度 1cm)
 (資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.29 P7-3 支承正常狀況(滑槽與樺密合、滑槽深度 1cm)
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.30 P7-4 支承橋軸方向變位大於 7cm
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.31 P4 左側橋墩面未發現明顯開裂情形
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.32 P4 右側橋墩面未發現明顯開裂情形
(資料來源：偉蟲工程顧問有限公司)



圖 6.33 P4 橋墩預力梁及支承面無損壞



圖 6.34 閘道橋墩盤式支承無損壞



圖 6.35 P4 橋墩變位限制裝置螺栓孔定位



圖 6.36 變位限制裝置與防撞橡膠墊
(資料來源：建業工程顧問有限公司)



圖 6.37 P4 橋墩變位限制裝置現場吊裝
(資料來源：建業工程顧問有限公司)



圖 6.38 P4-2 支承變位限制裝置灌注錨栓化學藥劑
(資料來源：建業工程顧問有限公司)



圖 6.39 P4-2 支承側邊變位限制裝置錨栓固定
(資料來源：建業工程顧問有限公司)



圖 6.40 P4-3 支承側邊變位限制裝置安裝完成
(資料來源：建業工程顧問有限公司)



圖 6.41 P4-2 支承與防撞鋼板相對位置
(資料來源：建業工程顧問有限公司)



圖 6.42 防撞鋼板安裝完成 (資料來源：建業工程顧問有限公司)



圖 6.43 台 11 線磯崎路段路面落差



圖 6.44 台 11 線磯崎路段路面龜裂



圖 6.45 台 11 線磯崎路段落石

第七章 非結構物之震害

7.1 前言

此次地震傳出多起非結構震害事件，根據報紙與新聞等媒體來源，1219地震發生之後，大台北地區發生兩起住家頂樓水塔掉落壓毀汽車的意外，而與震央距離較近之花蓮市首當其衝，傳出多起震害事故，包括某 11 層樓飯店之大廳落地窗破碎，客房電視機翻落；花蓮市某 2 層樓高餐廳之入口雨遮連同招牌掉落，外牆裝潢局部破壞；某 4 層樓飯店頂樓的壓力鋼瓶翻落造成氣體外洩，數名遊客吸入送醫急救；花蓮縣北埔地區某電信基地台震後疑因系統短路，引發鋼索及塑膠外皮起火燃燒；東部各級學校傳出之災損多為水管破裂、玻璃破損、天花板或磁磚掉落、電腦及書籍掉落等。

本中心彙整東部非結構相關災情後，於 12 月 23 日赴現地勘察規模較大之供公眾使用建築物，包括東華大學圖書館、台灣觀光學院圖書部與慈濟醫院，勘察地點、震央與鄰近測站震度分佈圖如圖 7.1 所示。



圖 7.1 非結構勘災地點與鄰近測站震度
(震度分佈圖來源：中央氣象局地震測報地理資訊系統網站)

7.2 東華大學圖資大樓

東華大學圖資大樓為地上六層、地下一層之 SRC 建築物，在 2001 年啟用(圖 7.2)。建築平面呈門字型(圖 7.3)，中央區有 6 層樓高，東西兩翼則為 4 層樓高。1~4 樓為圖書館、電腦計算中心，5~6 樓為教師研究室，西南方 11 樓層高之塔樓則供水電機房與觀景使用。地震後由於 3 樓與 4 樓圖書和輕鋼架天花板大量掉落而被迫閉館(圖 7.4)，館方人員與四、五十名志工花了三天的時間整理，於 12 月 23 日才重新開館正常運作。由於筆者至現場查勘時，掉落地面之物品已清理完畢，本節所列震後書籍和輕鋼架天花板掉落地面照片均為館方所提供。



圖 7.2 東華大學圖資大樓外觀
(圖片來源：東華大學網站)



圖 7.3 東華大學圖資大樓 1 樓平面圖
(圖片來源：東華大學網站)



圖 7.4 圖書掉落及天花板破壞(東華大學圖書館提供)

主要損壞狀況包括書本大量掉落、輕鋼架天花板掉落及電梯停用，調查結果分述如下：

(一) 書本與圖書架之損壞

3 樓與 4 樓圖書區出現書籍大量掉落情形(圖 7.5)，從書架不同高度之各層隔板皆有書籍掉落，且由於書架隔板是抽取式的，在水平方向上並無束制而可以滑移，書架頂部之 1、2 層隔板甚至有整塊掉出的情形。圖 7.6 為筆者調查當日所拍攝館方整理堆放之掉落隔板，可觀察到隔板擠壓變形，但造成變形之原因是受到書架面內側向位移，或是書本掉落撞擊所致則尚無法判斷。

圖 7.7 中顯示即使整排書架大部分之書籍均未掉落，仍有局部書籍和隔板掉落的情形。書籍是否掉落除了受到地震力作用下書架反應之影響外，和所擺放書籍的樣式，以及排放緊密或鬆散，或兩側書檔是否固定到位均有關係。因此，建議在不影響使用機能下，圖書架應加設防止書籍和隔板掉落之措施，如不影響書本取放之檔條，或是楔型橡膠墊讓書本稍微往內傾斜。

由於書架均有橫向固定桿連結，故無倒塌或大量位移的情形。連桿固定於書架的方式如圖 7.8 所示，在書架立柱頂部鉸有口字型斷面鋼管，橫向連桿則穿過此鋼管並以螺栓固定。



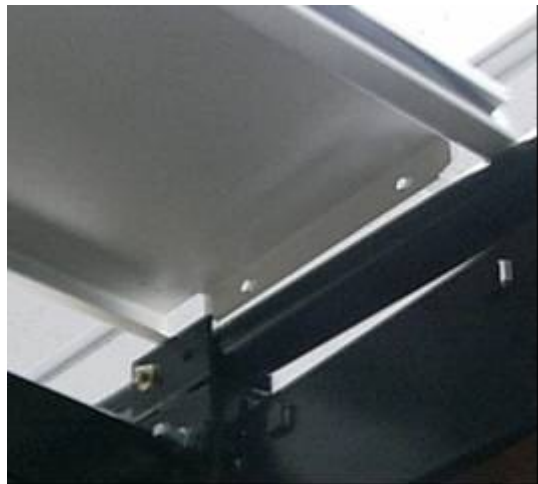
圖 7.5 地震後東華大學圖資大樓書籍大量掉落(東華大學圖書館提供)



圖 7.6 掉落扭曲變形之書架隔板



圖 7.7 局部圖書與隔板掉落(東華大學圖書館提供)



(a)

(b)

圖 7.8 (a)圖書架與橫向連桿，(b)橫向連桿與書架固定方式細部

(二) 輕鋼架天花板之損壞

地震後 4 樓圖書區輕鋼架天花板大量掉落，筆者勘查當日大部分斷裂的支架與掉落地面的面板和燈具均已清理完畢，不過由於館方尚未進行天花板修復工程，因此可清楚判別發生破壞的區域，調查結果標示於圖 7.9 圖書館平面圖中。天花板主要沿著東西兩翼牆壁周圍大量掉落，如圖 7.10 b, c, f 所示；而在兩翼與中央區之防火區間旁則有局部天花板面外隆起破壞，呈現波浪狀變形(圖 7.10 a, e)。

圖 7.11 為天花板於牆壁側之收邊細部，可知天花板主副架僅放置於 L 形收邊條上而無收邊釘固定，距牆邊之第一條懸吊線的設置距離約為面板寬度 60 公分，大於法規所要求 20 公分內。中央區與東西兩翼天花板的收邊細部均如上所述，但東西兩翼之天花板破壞情形卻明顯比中央區嚴重，推判由於東西兩翼之天花板是由 4 樓頂斜屋頂鋼浪板懸吊而下，懸吊長度長(目測超過 1.5m)，且各處懸吊長度不同，地震力作用下面板無法維持在同一水平面擺動。此外，窗戶旁的收邊條無法固定在牆壁上，而是固定於另外施作之木垂板，地震力作用時木垂板如同一懸臂梁，其擺動將造成收邊部分之主副架脫落。這次地震中所觀察到上述兩個問題，值得日後進一步研究其對於輕剛架天花板耐震性能之影響。

圖 7.12 為館方所拍攝地震後天花板掉落情形，可以清楚看到沿著牆壁掉落之天花板下方恰為學生之閱讀區，燈具與天花板掉落處即是使用者的座位。很慶幸這次地震發生時館方已閉館，不然時值學期末，很難想像地震發生於開館時段內，可能造成學生受傷之情形。另外值得注意的是燈架無獨立懸吊線，天花板主副架掉落後僅靠著電線懸吊(圖 7.12)，對使用人員安全威脅極大。之後進行天花板修復工程時，建議按照耐震施工指針規定燈具應設置獨立懸吊線。

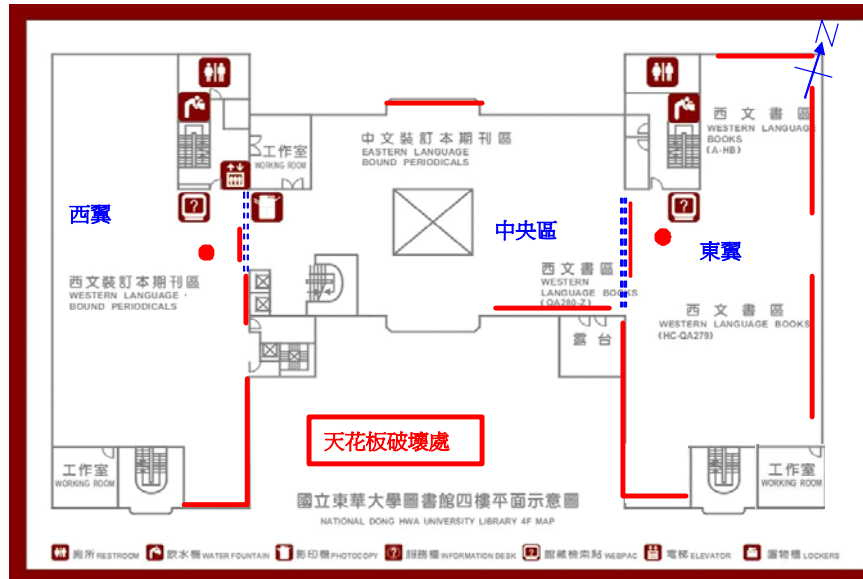


圖 7.9 天花板破壞發生區域示意圖(圓點：面外隆起，粗線：收邊處面板掉落)

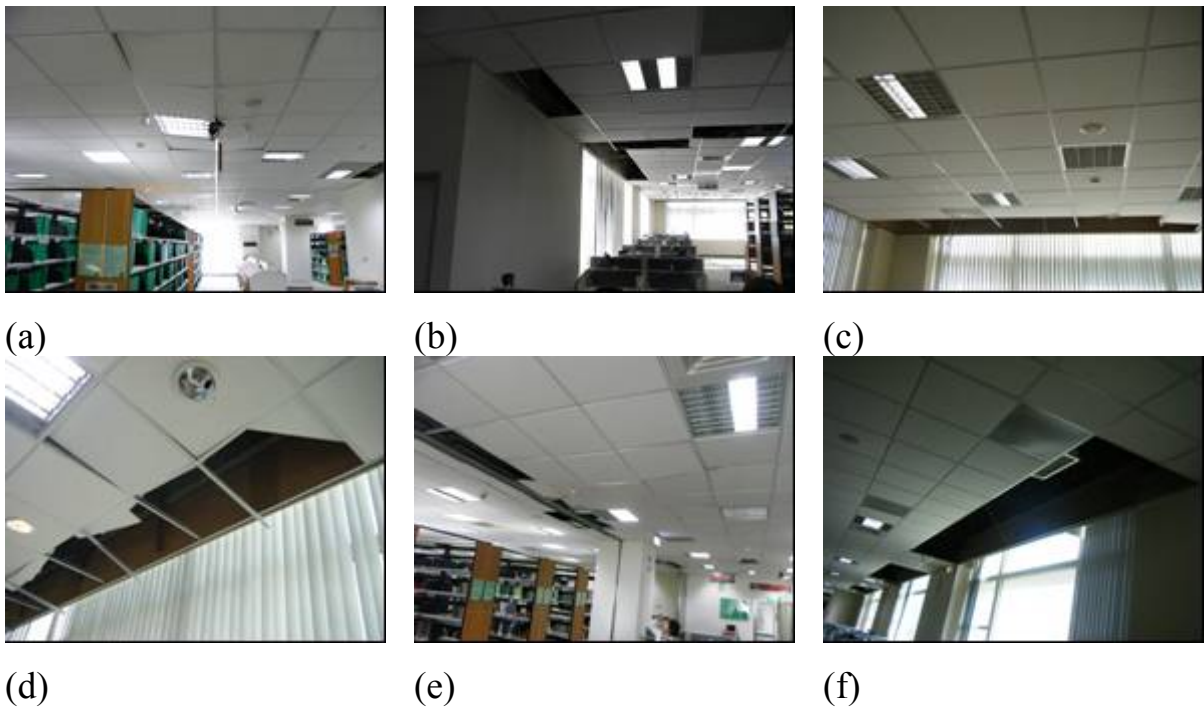


圖 7.10 各區域天花板損壞情形：(a) 西翼與中央區交接處面外隆起，(b) 西翼東側牆邊面板掉落，(c) 西翼南側窗邊面板掉落，(d) 中央區北側窗邊面板掉落，(e) 東翼與中央區交接處面外隆起，(f) 東翼東側窗邊面板掉落



圖 7.11 天花板收邊處破壞細部：無收邊釘，距牆邊之第一條懸吊線大於耐震施工指針所要求 20 公分內

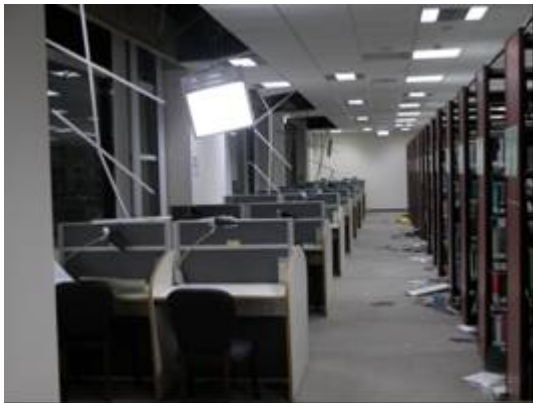


圖 7.12 天花面板與燈具掉落於閱讀區座位，燈具缺少獨立懸吊線(東華大學圖書館提供)

(三) 電梯之損壞

機電系統方面受損最嚴重者為電梯系統，除了圖資大樓的貨梯外，包括圖資大樓 2 部客梯和塔樓客梯共三部客梯均因導滑器、配重塊脫軌而無法使用。三部客梯導軌規格相同，配重塊使用 8 公斤級導軌，車廂使用 13 公斤級導軌。圖資大樓 2 部客梯於地震隔天已搶修復原，筆者調查當日則正在進行塔樓客梯維修，圖 7.13 為塔樓客梯配重塊脫軌狀況。該電梯公司維修人員表示地震後花蓮市區共有五十多處電梯脫軌事件，電梯公司人力不足而處理不及。造成電梯配重塊脫軌之原因急待確認，並進行耐震補強措施，避免日後地震時大量電梯脫軌事件的發生。

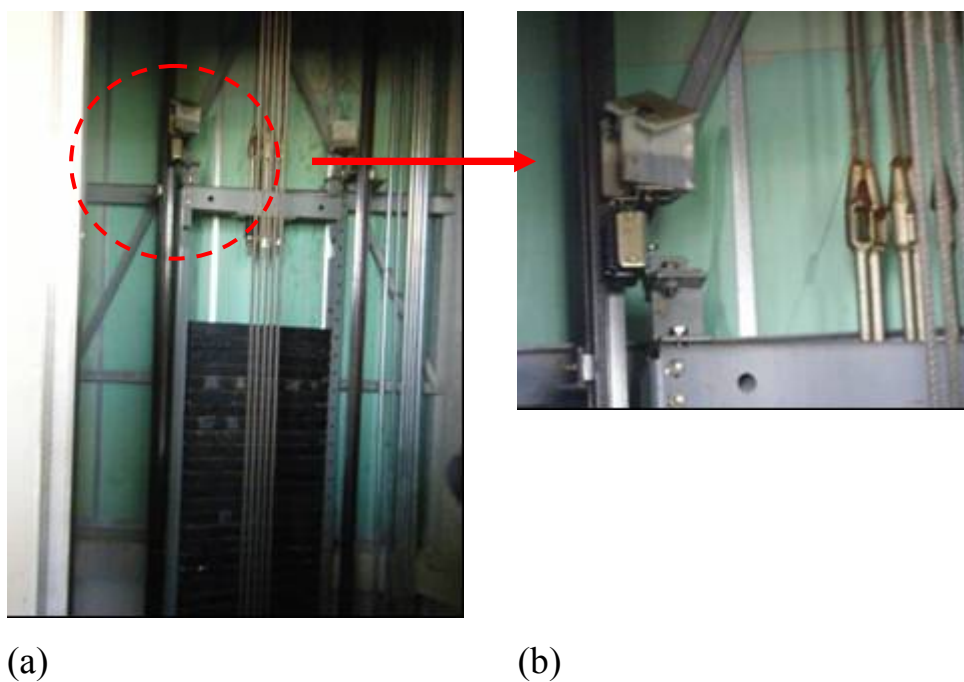


圖 7.13 (a)塔樓客梯之配重塊脫軌，(b)配重塊脫軌細部

(四) 其他非結構損壞

塔樓與 6 樓高圖資大樓相接處，外牆磁磚出現剝落(圖 7.14)，裂縫是否擴及結構牆體有待確認。塔樓樓梯間之玻璃磚出現破裂情形，且越高樓層越嚴重(圖 7.15 a)，推判與塔樓於地震力作用下呈現懸臂擺動，上部樓層層間變位較大有關。位於 7 樓的電梯機房(圖資大樓用客梯)，周圍牆壁有大範圍 45 度斜向裂縫產生(圖 7.15 b)，裂縫寬度約 0.20~0.25mm。若由結構圖面判斷該牆為結構牆，則需進一步檢討其結構安全。機房旁之儲水箱於壁體與底部交接轉角處出現漏水情形，水箱材質為 FRP，壁體未觀察到裂縫，推判應為轉角處材料挫屈形成之細微裂縫所致(圖 7.16)。

頂樓用來遮蔽樓梯間風雨的平推式頂棚(圖 7.17 a)，因頂棚的輪子自軌道滑落樓板而無法移動(圖 7.17 b, c)。館方表示頂棚無法以人力加以移動，考慮需使用吊車才能將頂棚復位。

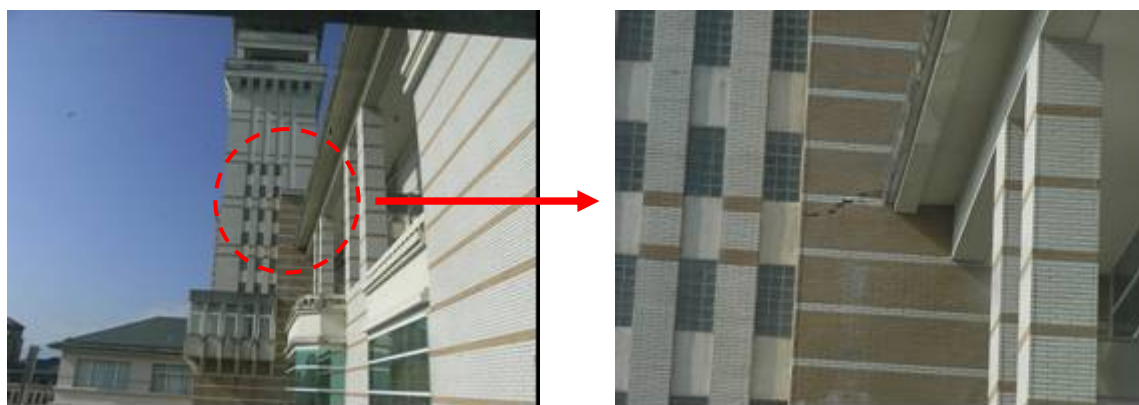
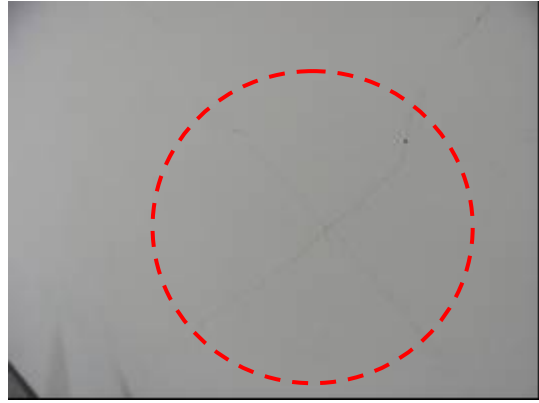


圖 7.14 塔樓與圖資大樓相接處外牆磁磚出現剝落



(a)



(b)

圖 7.15 (a)塔樓樓梯間玻璃磚破裂，(b)電梯機房周圍牆壁出現斜向裂縫



圖 7.16 儲水槽漏水



(a)



(b)



(c)

圖 7.17 (a)遮蔽風雨用平推式頂棚外觀，(b)頂棚輪子自軌道滑落，(c)滑落之頂棚擠壓邊框產生變形

7.3 台灣觀光學院勵學樓

台灣觀光學院位於壽豐鄉壽山村，在東華大學的南方，更接近這次地震震央。此次勘察對象之圖書部位於勵學樓 3 樓，該樓為一地上六層、地下一層之 RC 建築物(圖 7.18)。主要損壞狀況為圖書大量掉落與書架移位，調查結果如下：



圖 7.18 台灣觀光學案勵學樓外觀

(一) 書本與圖書架之損壞

雖然書架與東華大學同樣加設有橫向連桿，但如圖 7.19 a 所示橫向連桿並未以螺栓與書架固定，即書架仍可自由滑動與擺動。書架雖然沒有傾倒，但由地板上原來書架擺放位置的痕跡，可知位移量大約有 10 公分，且由部份掉落書本被壓在書架下，與腳架調整墊壓碎之破壞(圖 7.20)，可知書架亦出現擺動行為(rocking)。由於書籍大量掉落(圖 7.21)，館方花了數天的時間整理，而於 12 月 23 日重新開館。館方人員表示，掉落的書籍多位於書架頂部一、二層，隔板雖然與東華大學圖書館同為活動式，但甚少掉落破壞。

此次東華大學與台灣觀光學院圖書館均出現震害，其書架固定方式與損壞情形之比較結果可整理如表 7.1。

表 7.1 東華大學與台灣觀光學院圖書架固定方式與地震損壞之比較

	東華大學	台灣觀光學院
圖書架固定方式		
橫向連桿	有固定	未固定
隔板	無束制	無束制
災損狀況		
書架	未滑移，未傾倒	滑移，未傾倒
書籍	大量掉落	大量掉落
隔板	大量掉落	極少掉落



(a)



(b)

圖 7.19 (a)圖書架與橫向連桿未以螺栓固定，(b)圖書架滑移約 10 公分



(a)



(b)

圖 7.20 (a)圖書架因擺動而壓住掉落地面之書本，(b)腳架調整墊因書架擺動撞擊地面而壓碎



圖 7.21 地震後圖資館書籍大量掉落(台灣觀光學院圖書館提供)

(二) 其他非結構損壞

圖書室位於 6 樓高建築物(勵學樓)之 3 樓，且樓層高度不高，輕鋼架天花板系統除了在服務間小區域出現擠壓隆起面外破壞外(圖 7.22)，圖書空間內之天花板並無損壞情形。圖書室職員辦公室之電腦螢幕與主機發生傾倒現象，其中一台螢幕掉落地上，但館方人員表示該螢幕仍可正常使用(圖 7.23 a, b)。檢索處則有一電腦主機掉落地面而故障，勘查當日該主機仍未修復而暫停使用(圖 7.23 c, d)。圖書室窗台旁之牆面與柱子，出現垂直與 45 度剪力裂縫，如圖 7.24 所示。圖書室入口處電梯間的磁磚部分剝落，但地震後電梯可正常使用。(圖 7.25)

放置於勵學樓屋頂之設備物未加以錨定，可觀察到冷卻水塔位移之痕跡(圖 7.26 b)，冷卻水塔發生漏水導致地上積水，但現場無法判別裂縫發生部位。此外，勵學樓西南側曲面造型之樓梯牆面，於窗戶旁牆面出現斜向與垂直裂縫，最大寬度約 0.35-0.40mm (圖 7.27)。



圖 7.22 圖書館服務間天花板產生面外隆起破壞與掉落



(a)



(b)



(c)



(d)

圖 7.23 (a)圖書館職員用電腦螢幕掉落地面，(b)圖書館職員用電腦螢幕與主機傾倒於桌面，(c)圖書館檢索處掉落地面後外殼脫落之電腦主機，(d) 圖書館檢索處掉落地面之電腦主機故障暫停使用(台灣觀光學院圖書館提供)

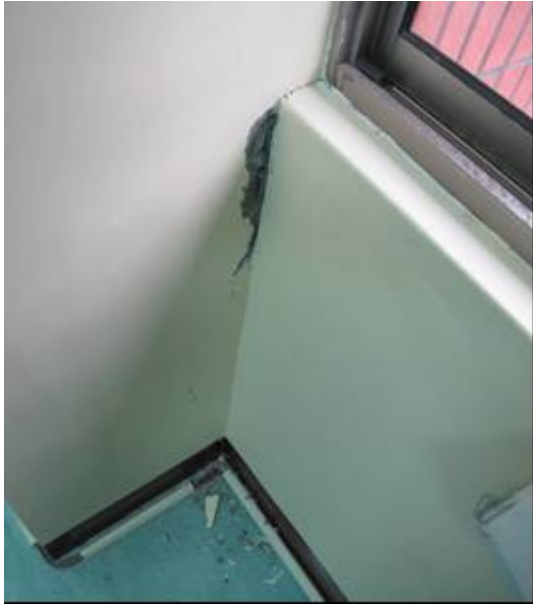


圖 7.24 圖書室窗檯邊牆面出現垂直與 45 度斜向裂縫



圖 7.25 圖書室入口處電梯間牆面磁磚掉落



(a)

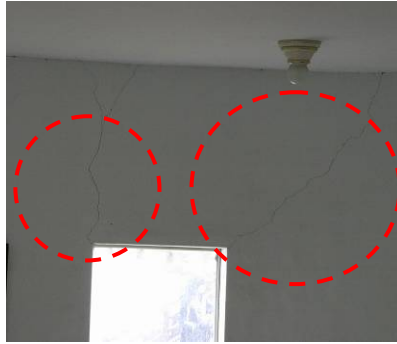


(b)

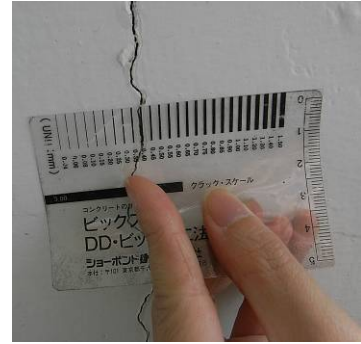
圖 7.26 (a)頂樓冷卻水塔漏水，(b)冷卻水塔隔振橡膠墊滑動痕跡



(a)



(b)



(c)

圖 7.27 (a)曲面造型樓梯平台處窗戶下方出現垂直向裂縫，(b) 樓梯平台處窗戶上方出現垂直與斜向裂縫，(c)最大裂縫寬度約 0.40mm

7.4 慈濟醫院

花蓮市慈濟醫院為醫學中心等級之大規模醫院，院區面積約 5900 平方公尺，病床數約 966 床。如圖 7.28 所示，院區有四棟主要建築物，合心樓為地下一層地上十層之建築物，一、二樓為急診區與急診室，樓層多為外科使用；協力樓為地下一層地上十層之建築物，使用用途為講堂、學術研究；大愛樓為地下一層地上六層之建築物，大愛樓一樓為慈濟醫院大廳，感恩樓為地下二層地上十層之建築物，大愛樓與感恩樓大部分為門診使用。此外，合心樓與大愛樓之間為動力中心，此三棟之間均設有空中廊道互相連通。

根據醫院工務單位人員口述，12 月 19 日地震時，大愛樓與感恩樓建築無重大災情傳出，現場勘查亦僅發現大愛樓建物外牆小區域磁磚掉落。故本中心現地勘查對象，以醫院工務單位有災情紀錄之合心樓與協力樓為主。

為維持醫院 24 小時全天候運作，地震後醫院工務單位通常會在最短時間內將危及醫療用途的狀況排除，故本中心勘查時震害現場大部分已復原，震災後第一現場照片則為慈濟醫院工務單位熱心提供。

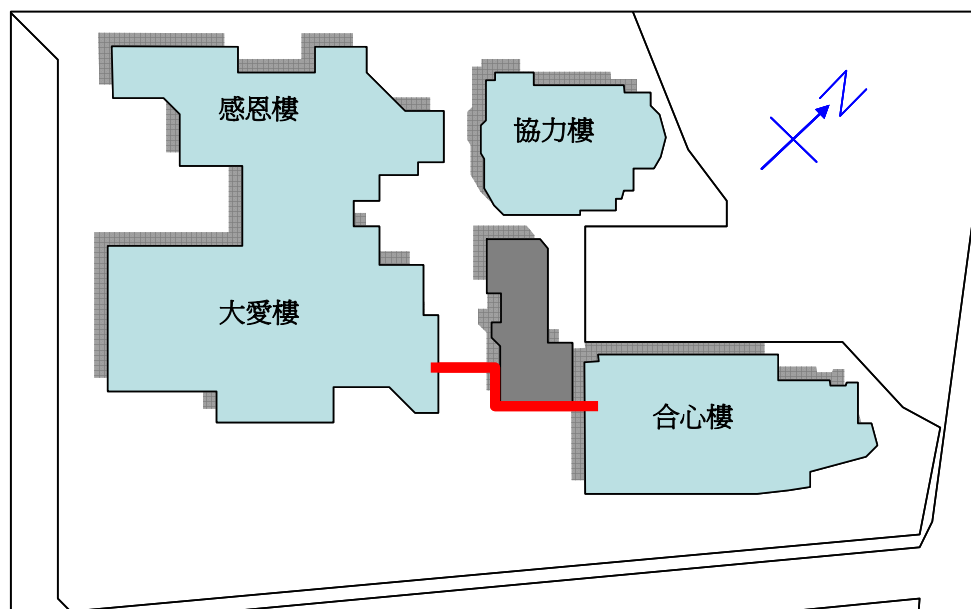


圖 7.28 慈濟醫院之院區建築示意圖

7.4.1 合心樓建築之震害

合心樓為地下一層地上十層之 SRC 造隔震建築，隔震機制為於基礎底部裝設鉛心橡膠隔震墊(LRB)。由樓層中裝設之儀器記錄顯示*，合心樓建築的隔震機制確於 12 月 19 日強震時進行運作，隔震裝置與地下一樓之樓板間縱向位移達 82.2mm(即西南--東北向，量測點位於西隅柱位)，橫向位移達 105.9mm(西北—東南向，量測點位於中央柱位)。加速度量測儀器結果顯示，建築物縱向隔震效果較佳，建築中央柱位縱向加速度(西南--東北向)由地下二層樓板面 103.8gal，傳遞至地下一層時降至 0.69 倍(71.5gal)，傳遞至屋頂層時則為 0.98 倍(102.1gal)；建築中央柱位橫向加速度(西北—東南向)則由地下二層樓板面 119.0gal，傳遞至地下一層時升至 1.12 倍(133.0gal)，傳遞至屋頂層時則為 1.21 倍(143.5gal)。合心樓測得最大加速度峰值為 176.8gal，量測點位於屋頂層西隅角落。合心樓垂直向反應對水平向隔震效果影響不大，其垂直向加速度峰值自基底至屋頂層約自 60gal 放大至 150gal。根據醫院人員口述，合心樓工作人員地震時感受為「扭轉型晃動，地震完後持續緩慢搖晃」。然而因隔震功效發揮，造成隔震縫附近採固定工法施作的鋪面破壞(圖 7.29)。

合心樓屋頂設備物受震情況方面，如圖 7.30 所示，由於颱風因素，慈濟醫院屋頂設備物而加裝拉力斜撐，設備物彈簧隔振墊基座均有錨定，現場觀察彈簧隔振墊基座並無位移或破壞情形。合心樓屋頂設備物震害情形僅東北側的一座冷卻水塔於地震後漏水，現場未觀察到 FRP 外殼裂縫、固定螺栓脫落等漏水可能原因。

其他非結構震害方面，如圖 7.31 所示，隔震層蒸汽管因大量層間位移，其伸縮拉桿(即撓性軟管)受損導致內容物外洩，震後伸縮拉桿已緊急置換。此外，這次地震造成慈濟醫院多處天花嵌板與消防撒水頭連接處破壞，以合心樓與動力中心二樓空中通道的情況最為嚴重。合心樓二、三樓分別與動力中心之間設置空中通道，空中通道與合心樓間均設有隔離縫。強震後合心樓二樓之空中通道中間某處消防撒水頭破裂，消防系統之高水壓導致震後短時間內空中通道淹水，水勢並漫延至二樓的手術室等醫療使用空

間。初步探討慈濟醫院消防撒水頭與天花嵌板受損原因，基於空調與美觀等因素，慈濟醫院使用特製蓋板將天花嵌板與消防撒水頭密合連接，再加上慈濟醫院所使用之金屬鋁製天花嵌板強度較一般礦纖板高，地震時當消防管線、天花板系統兩者產生過大相對位移時，極易導致消防撒水管撒水頭受損或是天花嵌板變形破壞。

* 合心樓建築量測儀器記錄為慈濟醫院與張國鎮教授提供。

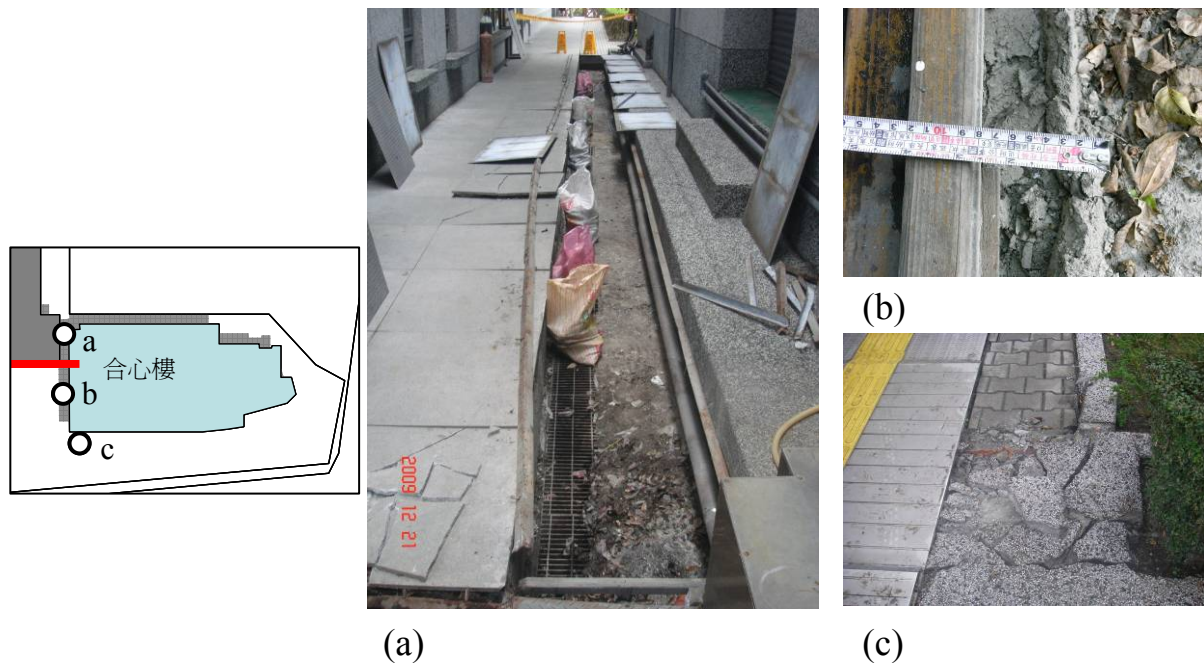


圖 7.29 合心樓地面層隔震縫鄰接鋪面破壞:(a)與動力中心之間蓋板及連接構件破壞(b)西南側位移痕跡(c)東南側隔震縫上方鋪面破壞

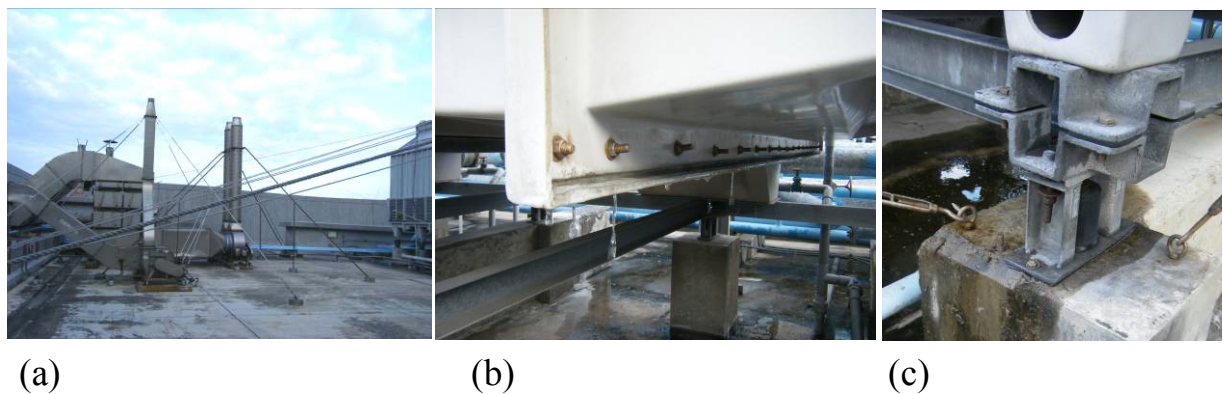


圖 7.30 (a)合心樓屋頂設備物均加設拉力斜撐(b)冷卻水塔震後漏水 (c)水塔彈簧隔振墊基座



圖 7.31 (a)隔震層蒸汽管伸縮拉桿受損(b)受消防管線拉扯後天花嵌板變形
(c)空中通道撒水頭受損後之消防管線置換作業
(本圖照片均由慈濟醫院工務單位提供)

此次地震當中，慈濟醫院非結構震害最為嚴重的事故，為合心樓與動力中心二樓空中通道之消防撒水頭與天花板系統之金屬嵌板相互拉扯而破壞，導致空中通道與合心樓二樓醫療空間淹水，影響震後之醫療機能。類似震害亦可見於美國北嶺地震，多家醫院因消防撒水頭與天花嵌板相互破壞，或是水平消防管線與垂直撒水管交界的彎管處破壞，造成醫院內部淹水的二次災害。依據 ASCE 7-05 規定，可將彎管處使用消防規範的柔性撓管代替，或是天花嵌板在撒水頭外周圍預留 25mm 移動空間，亦即天花板需預留直徑為撒水頭外徑加上 50mm 的孔洞，給予消防撒水頭於強震之下自由活動範圍。倘若基於空調要求或美觀因素希望消防撒水頭與天花嵌板之間能夠密合，建議兩者之間的連接構件可採用橡膠等柔性材質，將天花嵌板之於消防撒水頭的相互作用力降到最低。

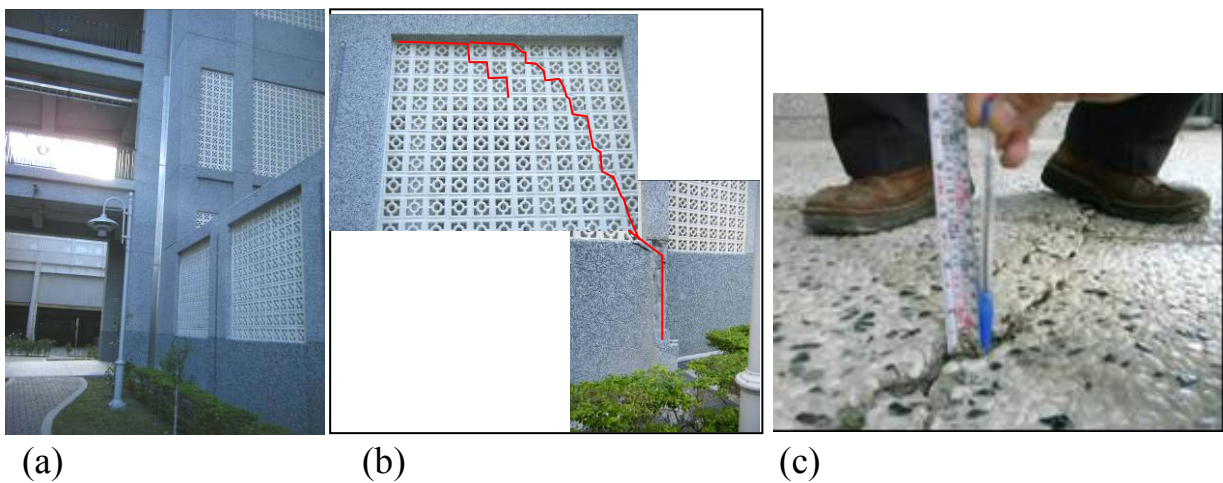
此外，慈濟醫院合心樓鄰近隔震縫的鋪面破壞為因隔震機制運作，所幸鋪面破壞之處對於病患與工作人員之醫療動線影響不大。建議隔震建築對於隔震縫上方鋪面設計以活動式較佳，倘若基於機能上的需求只能採固定式鋪面時，其固定工法不可影響到隔震機制的運作。而通過隔震層之管線，建議在不妨礙機電使用前提之下，選擇容許位移量較大之伸縮拉桿(撓性軟管)或設置多處伸縮拉桿，避免隔震層上下樓板相對位移量大時發生破壞。

7.4.2 協力樓建築之震害

協力樓為地下一層地上十層 SRC 造建築，加設挫屈束制支撐(BRB)。如圖 7.32 所示，由於 BRB 外觀無明顯變形或油漆剝落等現象，故未能藉由現場觀察判斷 BRB 於此次地震中是否發揮其消能機制。協力樓主要為醫療研究空間與講堂使用，根據醫院工作人員口述，12 月 19 日地震當時，六至九樓研究室發生部份書架傾倒與冷藏藥品櫃位移情形(藥品櫃支承為止滑墊而非滾輪)。其它非結構震害情形，包括地面層樓板鋪面部分裂開錯位、外圍牆花格磚龜裂等外部裝修物損壞，所幸破壞部位非處於慈濟醫院主要醫療動線(圖 7.33)。協力樓屋頂層設備物如同合心樓，均有錨定彈簧隔振基座。震後經水電廠商檢查運作大致正常。現場觀察彈簧基座亦無位移情形。



圖 7.32 協力樓一樓 BRB 外觀無損



(a)

(b)

(c)

圖 7.33 (a)協力樓外部裝修物破壞地點(b)花格磚圍牆水平、斜向裂縫
(c)一樓鋪面破壞

第八章 結論

1219 花蓮地震震央位置在北緯 23.79 度、東經 121.66 度，即花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里，震源深度為 43.8 公里。全臺皆可感受到明顯震動，最大震度為花蓮磯崎所測到之七級，PGA 達 540gal，花蓮鹽寮及花蓮港震度也達六級。由震央位置與震源深度推測，此次地震與菲律賓海板塊向北隱沒至歐亞大陸板塊下方之板塊構造活動有關；而由於其壓縮大地應力特性，震源破裂為帶有斜向滑移之逆斷層機制，與歷史地震所呈現之特性一致。

本次地震引起強烈的地表震動，全台皆屬於有感震度，中央氣象局強震即時站量測得之最大震度發生在花蓮的磯崎，震度達七級(PGA 值約為 540 gal)，連遠在 150 km 以外的台北盆地也搖晃約有數十秒之久。地震發生時，位於花蓮縣的磯崎地區的 EGC 測站(震央距 15.15 公里)記錄到 540gal 的地表震動，震度超過七級；而鹽寮地區的 EYL 測站(震央距 11.38 公里)記錄到 223 gal 的地表震動，光復地區的 EGF 測站(震央距 22.10 公里)則記錄 222gal，花蓮市區的 HWA 測站(震央距 21.41 公里)也達 145gal；震度均達到五級(80gal)。除最大加速度值外，經由反應譜分析，EGC 及 EGF 測站兩水平向的反應譜值，在結構週期 0.1 秒及 1 秒附近均大於或接近設計反應譜，這意味著中低層樓的房子可能會受到輕微或中度損害。而位於台東縣的 ECB 測站及位於花蓮市的 HWA 測站之震度達五級，其實際反應譜皆低於規範之設計反應譜。

針對台灣各地受到此次地震所造成之地震動分佈，經由震源相依的地震動衰減律結合場址修正係數的混合地震動估算模型，可精細的顯現各地區地震動之差異變化。由預估的地震動分佈圖，各勘災校舍所受到可能的地震動大小可經由內插得到，以利後續校舍耐震能力的評估之參考。

地震發生後，國震中心的台灣地震損失評估系統伺服器收到中央氣象局地震通報郵件後，立即啟動震災早期評估，計算出各地區可能的災情規

模和分佈。震災早期評估結果顯示警戒階段，本中心應變同仁，於收到 TELES 發送的動員簡訊後，立即依照動員層級就地或回到到辦公室收集地震相關資訊和彙整災情報告。國家地震工程研究中心災情評估組的同仁也即刻就地以手動方式設定不同地震規模和可能的斷層開裂方向，作為第二階段評估的主要參數。第二階段的災情評估於地震後兩小時內完成，結果顯示在人員傷亡數量上都幾乎為零，因此可大概掌握本次地震並不會對台灣造成太大之損害。

本次勘災校舍共計 12 所國中小學，包括花蓮縣磯崎分校、太巴壠國小、月眉國小、水璉國小、化仁國中水璉分校、豐裡國小、銅蘭國小、明禮國小、稻香國小、新社國小以及台東縣三間國小、信義國小等，其中磯崎分校為受震破壞最嚴重之學校。此外磯崎地區部分民宅仍遭受震損，但是受損程度並不嚴重。

交通設施部分，全台僅苗栗縣玉清大橋及花蓮台 11 線磯崎部份道路發生輕微損壞，台 8 線九曲洞和燕子口附近及台 14 甲線合歡山附近有部分路段落石，無交通阻斷與人員傷害情形。

本次非結構震害勘查之東華大學與台灣觀光學院圖書館，災損狀況主要為書本和書架隔板大量掉落與輕鋼架天花板的破壞，造成館方必須閉館三天進行內部整理才能重新開館。在不影響書籍方便取放的要求下，防止書籍與書架隔板掉落是今後學校圖書設施的耐震補強課題。兩所學校圖書館之書架均設置有防止傾倒連桿，此次地震中確實發揮作用，未造成書架傾倒之嚴重災損，可作為其他未施作書架耐震固定的學校圖書設施一個良好參考。而針對輕鋼架天花板的破壞，建議可按 2007 年 12 月內政部建築研究所公佈“台灣懸吊式輕鋼架天花板耐震施工指南”進行補強，包括施作收邊釘與 45 度斜撐組等措施。

另外，慈濟醫院主要的非結構災損則為消防管線的破壞，消防撒水頭於通過輕鋼架天花板處，因相互拉扯斷裂而大量漏水。建議可按 ASCE 7-05 規定，將彎管處使用消防規範的柔性撓管代替，或是在撒水頭通過天花嵌板處周圍預留 25mm 餘裕空間，給予消防撒水頭於強震之下自由活動範圍；倘若基於空調要求或美觀因素希望消防撒水頭與天花嵌板之間能夠密合，

建議兩者之間的連接構件可採用橡膠等柔性材質，將天花嵌板之於消防撒水頭的相互作用力降到最低。

參考文獻

1. 中央氣象局<http://www.cwb.gov.tw/>
2. 林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正 (2000)，臺灣活動斷層概論第二版五十萬分之一臺灣活動斷層分佈圖說明書，經濟部中央地質調查所特刊第十三號。
3. 鄭世楠、葉永田、徐明銅、辛在勤 (1999)。臺灣十大災害性地圖集，中央氣象局與中央研究院地球科學研究所。
4. 葉錦勳、簡文郁、鍾立來(2004)，台灣震災早期評估系統之研發與應用，中國土木水利工程學刊，第十六卷，第四期，第 609~620 頁。
5. Jean W. Y., Y. W. Chang, C. K. Wang, K. L. Wen, and C. H Loh, 2004. "A Study on The Site Effects and Microzonation," International Conference in Commemoration of 5th Anniversary of the 1999 Chi-Chi Earthquake, Taiwan.
6. Jean, Wen-Yu, Yu-Wen Chang, Kuo-Liang Wen, Chin-Hsiung Loh, 2006. "Early Estimation of Seismic Hazard for Strong Earthquakes in Taiwan", Natural Hazards, Volume 37, Issue 1 - 2, Feb, Pages 39 – 53.
7. 連冠華、張毓文、簡文郁、鍾立來、黃世建(2007)，「台灣中小學校舍震害調查分析」，土木工程防災專刊，中國土木水利，34(5)，pp.1-14。
8. Lin Po-Shen and Chyi-Tyi Lee, "Ground-Motion Attenuation Relationships for Subduction-Zone Earthquakes in Northeastern Taiwan", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 98, No. 1, pp. 220–240
9. 內政部營建署(2005)，建築物耐震設計規範及解說。
10. 國家地震工程研究中心「全國強震測站場址工程地質資料庫」
<http://geo.ncree.org.tw/>