

# 國家地震工程研究中心特別簡訊

## 2024年4月3日花蓮地震事件紀要

### 一、地震與勘災行動概述

今(2024)年4月3日7時58分於花蓮外海發生芮氏規模7.2地震，由中央氣象署地震報告之震央位於北緯23.77度、東經121.66度，震源深度15.5公里(圖1-1)。本次地震於花蓮縣和平鄉和花蓮市觀測到震度6強和6弱，造成花蓮許多建築物損害與落石崩塌等災情。國震中心於4月3日彙整相關災損資訊後，隨即組織派員至花蓮等地進行災損調查。現地勘災作業共計調查一般民宅、學校校舍、醫療設施、以及非建築結構物等災損情況。

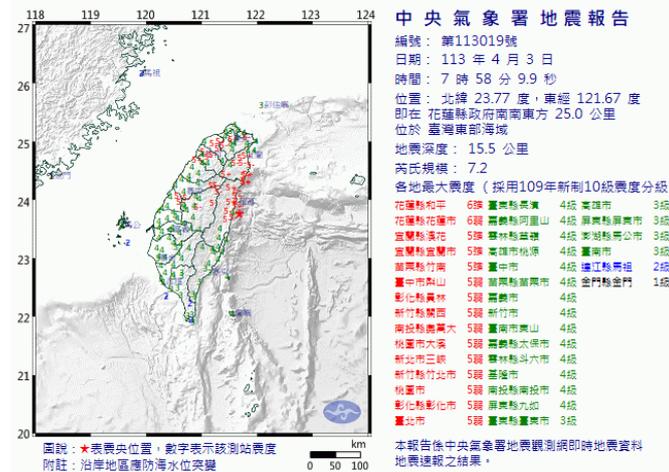


圖 1-1 中央氣象署 4 月 3 日芮氏規模  $M_L7.2$  地震報告

### 二、震源與強地動分析

本次地震依據中央研究院全球即時震源機制解 (GRMT)、美國地質調查所 (USGS) 及地震學研究機構聯合會 (IRIS) 解算之震源機制解 (圖 2-1) 顯示，本次規模  $M_L7.2$  ( $M_W7.4$ ) 發生於花蓮外海的地震為逆斷層機制，略帶走向滑移分量。截至地震發生約近一個月後 (5 月 9 日)，氣象署發佈相關之餘震事件為 1416 筆 (圖 2-2)，包括四起規模大於  $M_L6.0$ ，其餘震引致之最大震度為 5 強，亦造成花蓮市多起建物接續倒塌。

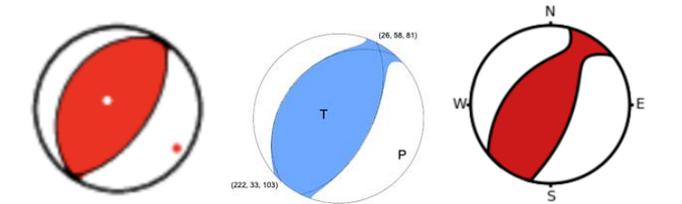


圖 2-1 全球地震張量解 (GRMT)、美國地質調查所 (USGS) 及地震學研究機構聯合會 (IRIS) 所發布之震源機制解 (分別由左至右)

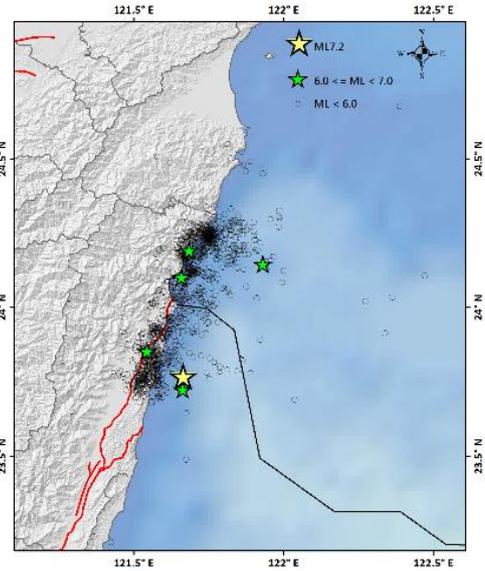


圖 2-2 截至 4 月 29 日中央氣象署發布之餘震事件分佈

參考中央氣象署及國震中心於全台共 568 個測站之即時完整強震觀測紀錄顯示，本次地震所收錄最高震度級數為 6 強，來自和平 (EHP) 其 PGA 為 363.7 gal，PGV 為 76.3cm/s。另外，在花蓮市區測站(HWA)也收到震度級數 5 弱，其 PGA 為 458 gal，PGV 為 57.7cm/s。兩個測站所收錄到之加速度歷時如圖 2-3 所示。圖 2-3 彙整即時測站地震動觀測紀錄，並佐以台灣地震動預估式 (Chao et al., 2020) 繪製較為細緻之地震動分佈圖，其分佈圖包括 PGA、PGV、0.3 秒譜加速度 ( $Sa_{0.3}$ ) 及 1.0 秒譜加速度 ( $Sa_{1.0}$ )，俾利於比對與各地結構物受震反應之關聯性。

由本次地震所造成之震度分佈 (圖 2-4) 中可發現，地震動主要的高區均集中在花蓮地區以及宜蘭南部區域。圖 2-5 將震度最大的和平 (EHP) 以及花蓮市 (HWA) 測站的三個方向觀測反應譜與 111 年版建築物設計反應譜進行比較。由觀測反應譜發現兩個測站之兩個水平向結果，其中、短周期處呈現較高之譜加速度值，尤為 1 秒週期左右；和平測站兩個水平向紀錄均有高值，並超越設計反應譜、花蓮市測站則僅一個水平向紀錄大於設計反應譜。由兩測站之譜加速度反應譜顯示該地震特性主要在中、短周期，因此對於相對應結構週期之建物則可能存在損傷。

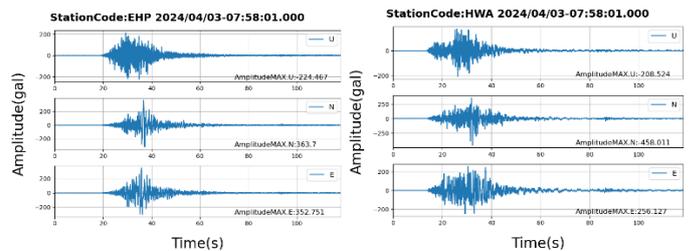


圖 2-3 本次兩個震度最大的和平與花蓮市兩個測站的加速度歷時由上至下分別為垂直、南北及東西向

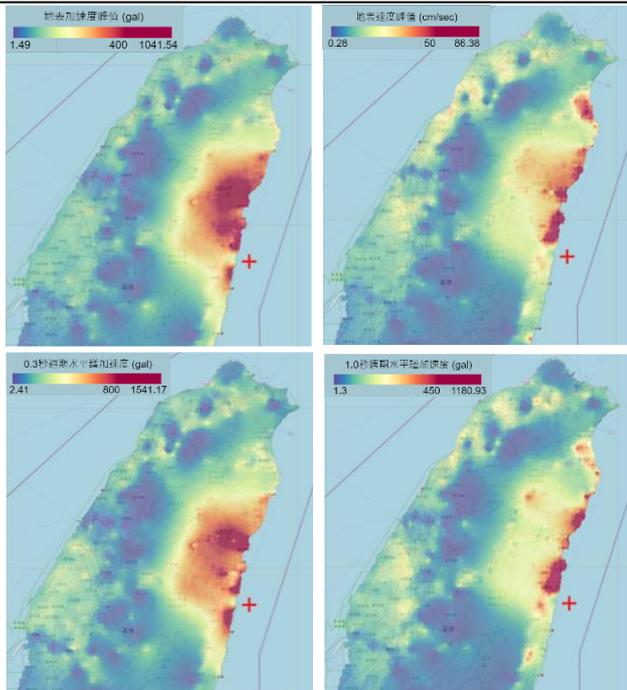


圖 2-4 國震中心即時地震動資訊展示平台，整合 CWASN、TSMIP、SANTA 測站所推估之地震動（由左上至右上起為 PGA、PGV，及左下 Sa0.3、右下 Sa1.0）分佈圖

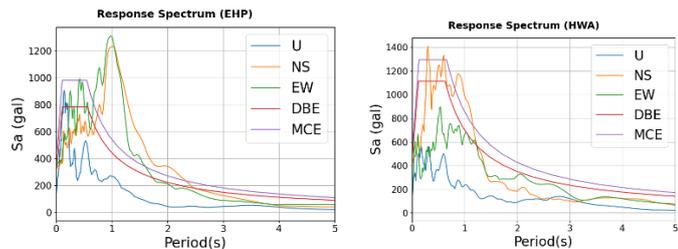


圖 2-5 和平(EHP)與花蓮市(HWA)測站之三方觀測反應譜與設計反應譜之比較

### 三、TELES 地震災損推估

由 USGS 和 GRMT 所公佈的震源機制解算結果相似，地震震源破裂形式皆為逆斷層，破裂方向和傾角約略一致。考量目前尚無法確認實際斷層破裂面方向，因此分別考慮兩種可能的斷層破裂面設定地震情境，並應用台灣地震損失評估系統（TELES）進行震損評估。

參考 USGS 震源機制解設定斷層破裂面的方向和傾角，情境一的斷層破裂面大致向西北傾，由於傾向與該處隱沒帶系統相近，假設情境一為隱沒帶界面型震源引起之地震，採用隱沒帶界面相關經驗式推估破裂面長度和寬度，並以適用於隱沒帶界面型震源的地震動預估模式推估地震動。情境二之斷層破裂面大致向東南傾，假設為逆斷層引起之地震，應用逆斷層相關經驗式推估破裂面長度和寬度，並以逆斷層的地震動預估模式推估地震動。兩情境的斷層破裂面位置、詳細震源參數設定和 TELES 震度分布推估結果，請參考圖 3-1。

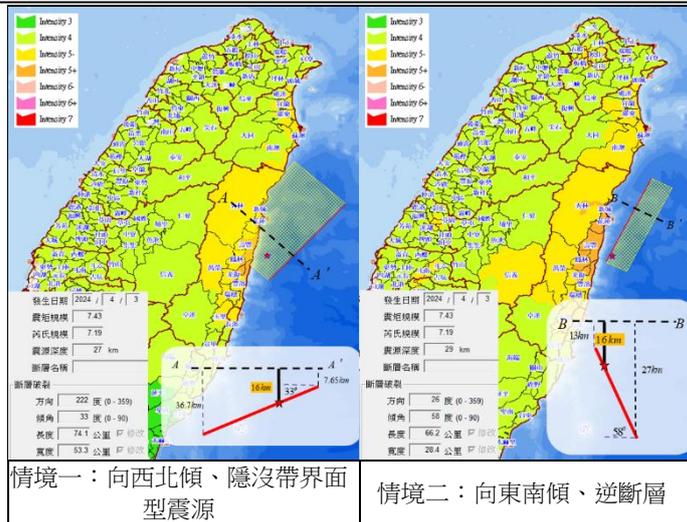


圖 3-1 TELES 震損評估地震情境設定

依據前述的地震情境設定，TELES 的建築物損害和人員傷亡推估結果如表 3-1 至表 3-4 所示。情境一的災情推估結果，建物全半倒總棟數為 78 棟，因建物損害引致的重傷加死亡人數為 7 人。情境二的災情推估結果，建物全半倒總棟數為 650 棟，因建物損害引致的重傷加死亡人數為 104 人。災情最嚴重的地區皆是花蓮市。

本次地震實際造成全台 18 人罹難、1,155 人受傷、37 人留置及 2 人失聯(統計至 4 月 25 日)，傷亡主要多為山崩、落石等坡地災害引致。較受矚目的建物損壞情況有天王星大樓倒塌傾斜(1 人死亡、4 人受傷)，統帥大樓傾斜..等，統計至 4 月 7 日，紅單有 42 件(花蓮 32 件，臺北 2 件，桃園 4 件及新北 4 件)，黃單有 70 件(花蓮 35 件，臺北 13 件、桃園 14 件、新北市 7 件及基隆 1 件)。整體而言，實際災情與情境一的災情推估結果較接近。

表 3-1 建築物損害推估結果(情境一)

縣市	低層樓(1-3 樓)	中層樓(4-7 樓)	高層樓(8 樓-18 樓)	總棟數
花蓮縣	38	17	1	55
宜蘭縣	17	6	0	23

表 3-2 建築物損害推估結果(情境二)

縣市	低層樓(1-3 樓)	中層樓(4-7 樓)	高層樓(8 樓-18 樓)	總棟數
花蓮縣	454	72	2	528
宜蘭縣	93	26	1	119
台北市	0	3	0	3

表 3-3 人員傷亡推估結果(情境一)

縣市	重傷且有生命危險	立即死亡
花蓮縣	3	2
宜蘭縣	1	1

表 3-4 人員傷亡推估結果(情境二)

縣市	重傷且有生命危險	立即死亡
花蓮縣	48	36
宜蘭縣	11	8
台北市	1	0

### 四、建物災情勘查

震害調查結果顯示，在 1999 年 921 地震前建造完成的既有建物，常有結構系統配置不良，例如因商業使用空間所需，常在低樓層具有挑高與挑空的配置，易形成所謂的「軟腳蝦建物」，或

是施工時主筋搭接位置不當、箍筋間距過大，箍筋彎鉤僅為 90 度等，常易導致建物的柱構件的強度與變形能力皆不足，再加上建物內配置了不少隔間牆，卻常在一樓牆量突然減少，導致地震所產生的力量易集中於較低樓層，這種底層軟弱（俗稱軟腳蝦）建物，主要是因為其低樓層為開放空間供公眾使用，因此結構及非結構牆量較少，加上傳統騎樓式設計，使底層抗震能力更弱。

以圖 4-1 所示本次地震所得花蓮市 HWA019 測站歷時之加速度反應譜與台灣現行建築物耐震設計規範所訂之設計反應譜加以比較，該測站歷時之短週期 0.3sec 及長週期 1.0sec 之  $S_a$  均超越現行耐震設計規範之最大考量地震等級之加速度反應譜值。

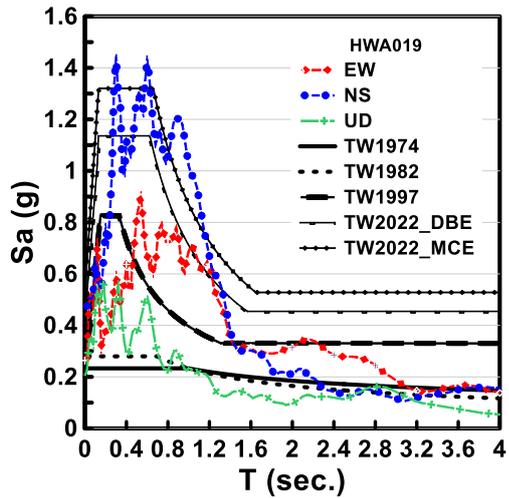


圖 4-1 HWA019 測站歷時之加速度反應譜



圖 4-2 花蓮天王星大樓倒塌



圖 4-3 花蓮某一 6 層樓民宅底層軟弱破壞

如圖 4-2 及圖 4-3 所示之災損建物，皆是為三角窗騎樓式結構，其結構系統配置為結構平面不規則之特性又兼具底層軟弱，故在此次地震倒塌或在低樓層產生嚴重損害。

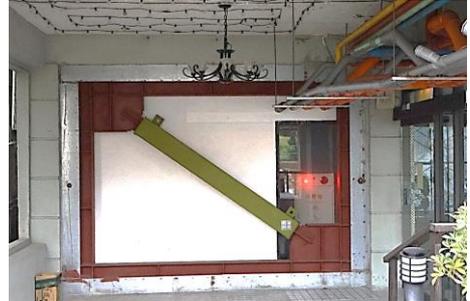


圖 4-4 位於花蓮市已採用 BRB 補強之飯店結構



圖 4-5 位於花蓮市已採用 SBRB 補強之辦公大樓

如圖 4-4 及圖 4-5 所示，底層採用挫屈束制支撐（Buckling-Restrained Braces）進行補強後，在此次地震中，此二棟結構皆無明顯損壞，可見其補強效果良好。



圖 4-6 台北市 A00600 已補強建物立面圖

另外，位於台北市一棟已完成耐震補強建物案例中（如圖 4-6），該建物が 1 樓以 RC 牆補強，其它樓層亦以鋼框斜撐補強，

且其在 1 樓基面、2 樓樓版及頂樓樓版有安裝加速度計進行結構監測，在此次地震監測結果顯示如下：

- 地震震度：5 弱
- 結構物損傷程度 = 輕損
- 1 樓樓板最大加速度 = 86.2 gal
- 2 樓樓板最大加速度 = 90.0 gal
- 頂樓樓板最大加速度 = 266 gal
- 位移比(1 樓) = 0.295% (安全值為 0.250%)
- 位移比(2 樓以上) = 0.146% (安全值為 0.250%)

顯示該建物在此次地震結構體僅有輕度損傷，顯示其補強耐震性能表現良好。

## 五、地工災情勘查

本次地震對於花蓮地區所造成之災情主要在山區發生山崩、落石以及邊坡破壞等災情，對於地工結構所產生的損害主要發生於花蓮港港區，有鑒於山區道路崩壞與緊急救災需求，故本中心僅就花蓮港港區進行災情勘查，會同國立台灣大學、國立陽明交通大學、國立中興大學、國立成功大學、國立中山大學等一行規劃前往現地。花蓮港位於花蓮市區東北方，東濱太平洋，西依美崙山，係自 191963 年成為國際港口後，分別於 1973 年、1977 年以及 1990 年完成擴建工程，現有碼頭共計 25 座，其中內港區 16 座，水深 6.5 至 10.5 公尺，可靠泊 4,000 噸至 12,000 噸之船舶；外港區計有 9 座，水深 12 至 16.5 公尺，可靠泊 30,000 噸至 60,000 噸之船舶，為本次因地震產生災情最為嚴重之區域，本次勘查之主要區域為 25、24 以及 23 號碼頭區域，如圖 5-1 所示。



圖 5-1 花蓮港港區碼頭示意圖

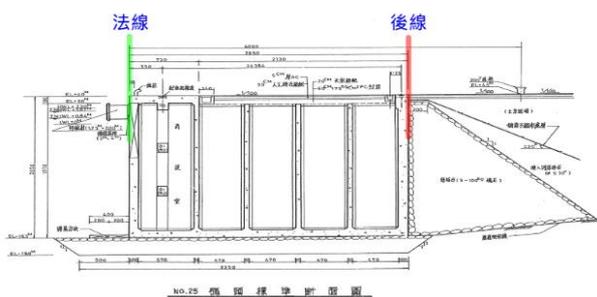


圖 5-2 花蓮港 25 號碼頭斷面設計圖(來源：花蓮港務公司)

花蓮港 25 號碼頭為重力式沉箱碼頭，沉箱結構寬度為 28.5 m，碼頭前緣具消波室構造，碼頭設計水深為 16.5 m，碼頭長度為 332 m，主要為雜貨碼頭使用。25 號碼頭標準設計斷面如圖 5-2 所示。本次地震中，25 號碼頭相較於鄰近之 23 號、24 號碼頭有較嚴重之災損，25 號碼頭與其後線接合處發生嚴重差異沉陷，後線地表沉陷達 70 cm，如圖 5-3 所示，而在 23 與 24 號碼頭亦有相同的現象，花蓮港區內之碼頭與後線因地震產生之差異沉陷量如表 5-1 所示。



圖 5-3 花蓮港 25 號碼頭與後線之震損

表 5-1 花蓮港碼頭最大沉陷量

碼頭編號	最大沉陷量
#25	70cm
#23~#24	50cm
#19~#22*	50cm
#17~#18*	12cm

\*由花蓮港港務公司提供



圖 5-4 花蓮港 25 號碼頭砂礫石背填區之噴砂孔

除此之外，在碼頭後線之砂礫石背填區域有發現明顯的噴砂孔與裂隙，藉由觀察可以發現在噴砂口以及裂隙周圍之噴出物為乳白色砂土，其中亦伴隨大小顆粒不等之砂礫，明顯與周圍條地不同，如圖 5-4 所示，其原因應為土壤液化所產生孔隙水壓過高，除細砂外，較大顆之砂礫亦隨水壓帶出地表，並由圖上可以發現，在砂礫石背填區所產生的噴砂孔所產生的直徑差異非常大，其中直徑達 50cm 之噴砂孔經量測其深度達到 100cm 以上，實屬難得一見之土壤液化噴砂孔現象，更可作為後續砂礫石層發生土壤液化現象研究之參考。

## 六、建築附屬非結構物災情彙整

國震中心於4月13日至14日，至花蓮縣花蓮市與壽豐鄉勘查共3家醫院、一家大學等之建築內部非結構物，以下依據非結構類別，介紹勘查建築之非結構物災損，依序為建築裝修物(明架天花板、非結構牆)、機電設備(冷卻水塔與供水桶槽、電梯、空調設備)以及建築內容物(櫥櫃)：

1. 明架天花板：本次地震勘災中觀察到許多明架天花板(以下簡稱天花板)之震損案例，主要係因為天花板骨架強度不足和缺乏適當之耐震施工方式所引致。如圖6-1(左)所示，為花蓮縣某大學圖書館內天花板震損情況，圖中無論是天花板主架或副架均觀察到明顯變形，導致天花板大範圍崩落。此外，圖6-1(右)為該所大學校區內多間教室亦發生嚴重天花板破壞，甚至有燈具及吊扇墜落之狀況。

2. 非結構牆：此次地震中，前往勘查之醫院非結構牆災損包含一般磚造隔間牆、輕質混凝土隔間牆與防風牆三案。花蓮市某醫院之五、六樓病房，其西北-東南走向之隔間牆有多處剪力破壞發生，如圖6-2所示。

3. 冷卻水塔與供水桶槽：此次地震中，花蓮市有兩間醫院大樓頂樓皆有玻璃纖維(FRP)製冷卻水塔相關災損。某醫院大樓頂樓冷卻水塔基座破壞、歪斜，經細部觀察可知基座支撐腳錨定破壞(圖6-3)。花蓮市某醫院大樓頂樓金屬製水塔於地震中損壞(圖6-4左)，除水塔本身受損外，其支撐基座亦受到水塔整體慣性力及動水壓力作用而扭曲變形。此外，花蓮市另一醫院大樓地下一樓一座玻璃纖維組合式水箱，因垂直鋼構材續接處缺乏鎖固而於地震中水箱壁破壞損毀(圖6-4右)。

4. 電梯：壽豐鄉某醫院四座電梯有三座無法於震後立即使用，其中一座為因位於屋頂層電梯機房中之捲揚機位移且纜繩脫離(圖6-5左)，另兩座為因平衡錘中之部分配重塊掉落而損及下方車廂(圖6-5右)。

5. 空調設備：本次地震勘災共調查花蓮縣市三間醫院均發現有空調設備物所造成之震損情形。花蓮市某間醫院其貓道層空調設備物之破壞包括空調箱之冰水管斷裂脫落、通風機之懸吊桿斷裂，以及通風機周邊風管破壞，如圖6-6所示。

6. 櫥櫃：花蓮縣某大學圖書館書架在受震產生移動、擺動，甚至是傾倒。本次地震中館內藏書受震掉落約九成，其中以二至五樓較為嚴重，如圖6-7所示。



圖 6-2 病房磚牆兩面剪力破壞。(PGA: 418 Gal)



圖 6-3 FRP 冷卻水塔基座破壞歪斜。(PGA: 395 Gal)



圖 6-4 水塔桶身及支撐基座變形(左圖, PGA: 418 Gal), 以及 FRP 組合式水箱之板材破裂(右圖, PGA: 395 Gal)



圖 6-5 電梯捲揚機位移(左圖); 另一座電梯平衡錘配重塊掉落(右圖)。(PGA: 366 Gal)



圖 6-1 圖書館內天花板大範圍崩落(左)與教室內天花板燈具及吊扇墜落(右)。(PGA: 321 Gal)

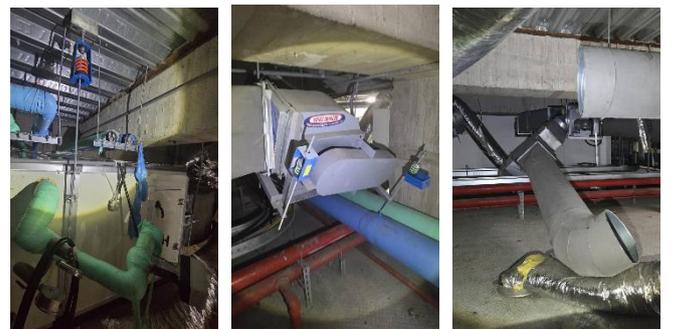


圖 6-6 空調箱之冰水管斷裂脫落(左), 通風機之懸吊桿斷裂(中), 通風機周邊風管破壞(右)。(PGA: 395 Gal)

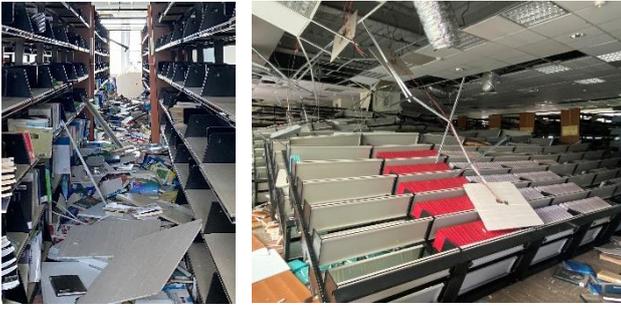


圖 6-7 書籍掉落與書架傾倒。(PGA: 321 Gal)

## 七、隔震結構之地震反應探討

### 1. 隔震建築會勘概述

台灣的隔震建築興起於 1999 年的集集地震之後，許多先期的隔震技術應用案例以政府與公共建築物為主。爾後，於 2011 年公告施行之「建築物耐震設計規範及解說」中，針對隔震建築之設計與試驗方法進一步修訂後，隔震技術開始蓬勃發展至今。目前已應用於許多住宅與商業大樓等私有建物，以及醫院等重要功能性建築物，以確保建築物於震中與震後的功能維持。根據粗略的統計，我國隔震建築至今已有超過兩百個案例。

0403 花蓮地震影響最大的區域為台灣的東部及西北部，為許多隔震建築竣工至今所歷經的最大地震。中華建築隔震消能構造協會協同國家地震工程研究中心，於本次地震發生後，前往花蓮與大台北地區，針對採用隔震技術之醫院、學校、政府機關與多棟私有住宅進行會勘與訪查，實際觀察到的狀況可以歸納如下：

1. 隔震建築皆無結構性損傷，隔震系統中的隔震元件與阻尼器亦皆無受損；
2. 隔震建築上部結構中的非結構元件或是室內物品，幾乎無損壞發生；
3. 跨越隔震間隙的構件(例如：走道與車道之活動蓋板、懸吊電梯之活動蓋板、裝修構體等)，因預留間隙不足，產生擠壓變形或碰撞損壞；
4. 隔震元件於防火蓋板使用之防火泥或填縫膠，因隔震位移導致材料破損或擠出；
5. 未預留足夠的垂直空間供隔震系統運動，導致局部非結構構材損壞；
6. 上、下部結構間隙的防水材料，因為隔震運動而遭到擠出、外翻或是變形；
7. 部分建築竣工後安裝有監測系統，但因為缺乏維護管理，導致電力系統失效或是儀器失去功能；
8. 因隔震發揮功能，致使部分隔震系統產生輕微的殘餘變位，其為合理之現象，不會影響隔震功能發揮。

除此之外，必須強調隔震間隙的危險性，並且應針對一般民眾進行安全宣導。於本次訪查的過程中，發現隔震建築的使用者普遍可以認知到隔震設計的功效，並且了解到地震時隔震系統會發生明顯運動，然而卻無法明確意識到其可能運動的程度。於監視器紀錄下，有民眾於地震發生時，甚至嘗試跨越上、下部結構之間的樓梯，所幸因為隔震位移尚小而沒有造成傷害。然而，隔震建築往往為了美觀，隔震間隙常難以分辨，或是透過裝修將其隱藏，此種狀況會增加民眾於地震時意外受傷的風險。因此，未來除持續加強宣導外，應該明確標示上、下部結構所有交界處與伸縮縫，並且標示警戒區域，提醒民眾避免於地震過程中踏入。

此外，應宣導落實隔震建築的定期維護管理。隔震建築應訂定定期維護管理計畫，例如：於每年實施定期檢查，針對建築、

管線與隔震系統元件進行目視與簡單的量測點檢，確認隔震元件是否嚴重變形或生鏽、是否有額外物件阻礙隔震功能發揮，以及相關防水、防火措施是否完善；每五年實施詳細定期檢查，針對前述所有部分進行詳細量測，觀察隔震元件變形程度是否加劇或恢復，並且針對所有隔震間隙詳細檢查，確保有足夠的淨空間；於地震發生後，若震度高於特定等級則需進行臨時點檢，若於臨時點檢或是年度常態點檢中發現有異常狀況，則需進行(與每五年執行一次相同的)詳細點檢。

### 2. 台灣大學土木研究大樓

台灣大學土木研究大樓(圖 7-1(a))為一預鑄鋼筋混凝土中間樓層隔震建築，包含地下一層、地上九層、以及屋突二層，隔震層位於二樓(圖 7-1(b))，主要用途為實驗室、教授研究室、行政辦公室、學生研究室、以及多功能教室。隔震系統(圖一(c))共採用 19 組同型號、直徑為 900 mm 的鉛心橡膠支承墊，以及於長向與短向分別安裝有兩組與四組的液態黏性阻尼器(衝程為±500 mm、最大出力為 100 ton、非線性指數為 0.6)。



圖 7-1 台灣大學土木研究大樓

經 4 月 3 日地震後，隨即前往現場進行會勘，確認本次地震對於結構與隔震系統皆無造成損傷，但仍有少數因隔震系統發揮，且可輕易修復的非結構元件損傷發生。如圖 7-2(a)，懸吊式電梯於隔震層下方之活動蓋版，可以觀察出輕微錯動與擠壓變形；於上、下部結構間，為填補間隙的防水膠條被捲入及固定件鬆脫(圖 7-2(b))；隔震元件防火蓋板間的軟性防火材料，因隔震元件錯動，造成防火材料破裂、變形或被擠出(圖 7-2(c))。



圖 7-2 台灣大學土木研究大樓非結構元件輕微損傷

台灣大學土木研究大樓一共安裝有 27 個加速規與 4 個位移計

加速規分別配置於地下一樓、二樓(隔震層下方)、三樓(隔震層上方)、六樓以及頂樓樓版,位移計則裝設於隔震層,用以量測隔震層上、下樓版的相對變位(即隔震位移)。隔震系統長、短向之最大位移分別為 21 mm 與 16 mm(圖 7-3),根據過往試驗報告,判斷隔震系統於本次地震中仍應於初始啟動階段,隔震功能初步發揮。進一步觀察加速度紀錄,將各樓層長、短向之加速度峰值(非相同時刻)整理於表 7-1,可發現上部結構(3F 以上)的最大加速度皆相似,無明顯動力放大效應,長向與短向的加速度分別有 21% (=1-79%)37% (=1-63%)折減效率。

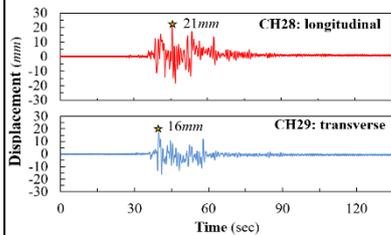


圖 7-3 台灣大學土木研究大樓隔震系統位移歷時

表 7-1 台灣大學土木研究大樓最大加速度

Floor	(unit: gal)	
	longitudinal	transverse
RF	62	78
6F	61	64
3F	77	60
2F	97	95
B1F	76	90
RF / 2F	64%	82%
6F / 2F	63%	67%
3F / 2F	79%	63%
2F / B1F	128%	106%

### 3. 花蓮慈濟醫院合心樓

花蓮慈濟醫學中心為台灣東部首要的醫療機構,其中包括四棟主要的醫療大樓:大愛樓(耐震結構)、感恩樓(耐震結構)、協力樓(挫屈束制斜撐減震)、合心樓(基礎隔震)(圖 7-4(a))。合心樓主要用途為急診、開刀房以及一般與加護病房。結構為地上十一層、地下一層之鋼骨鋼筋混凝土建築,採用基礎隔震設計。隔震系統位於地下一樓下方。隔震系統考量結構重心位置進行勁度調整,共採用 74 個直徑自 800 mm 至 1200 mm 不等之鉛心橡膠支承墊,以及 14 個平面滑動支承,無安裝額外阻尼器。



(a) 建築外觀 (b) 數值模型

圖 7-4 花蓮慈濟醫院合心樓

於 4 月 13 日前往花蓮慈濟醫院進行會勘,合心樓因隔震系統發揮功能,沒有結構損傷,但於建築外圍仍有因位移空間預留不足(院方於此次地震前已知)所造成的非結構元件損傷(圖 7-5),以及地下一樓水箱之損壞(經院方評估為水箱材料老舊所致),除此之外沒有其他非結構構材與儀器設備損壞之情形。相較之下,對於未採用隔震設計之協力樓而言,則有多項結構與非結構之災情傳出。其中包含,一樓牆發生剪力裂縫與破壞,其他非結構部分則發生有樓水塔破壞、貓道管線破壞、資訊機房設備倒塌損壞、實驗室局部火災與儀器倒塌損壞、書櫃與藥用冰箱等櫃體倒塌損壞、隔間牆碰撞破損等。由此可以驗證,採用隔震設計不僅能夠有效降低結構受震反應,亦能夠大幅降低非結構元件與設備之損壞潛勢。

花蓮慈濟醫院合心樓一共安裝有 26 個加速規與 4 個位移計,加速規分別安裝於基礎(隔震層下方)、地下一樓(隔震層上方)、四樓、五樓與頂樓,每一樓層皆於中央與角隅處安裝有長、短向之加速規(部分樓層安裝有垂直向加速規),位移計安裝於隔震層,但在

過去地震中損壞尚未修復。圖 7-6 為隔震層上、下樓版加速規紀錄歷時,由圖中可以觀察出長短向的紀錄幾乎重合,代表結構沒有發生扭轉;另一方面,於圖中亦可觀察到地震擾動經過隔震系統上傳後,加速度降低、週期放大的現象。將各樓層量測之最大加速度整理於表 7-2,發現長向的隔震折減效率約在 20%~30%,而短向的折減效率雖較不明顯,卻沒有動力放大的現象。



(a) 花圃石墩 (b) 地面石墩 (c) 過道側向

圖 7-5 合心樓隔震系統外圍受損情況

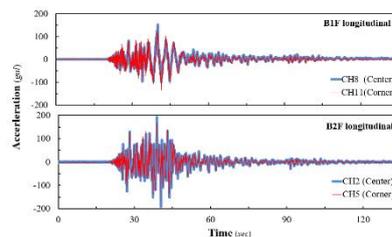


表 7-2 合心樓最大加速度

Floor	(unit: gal)	
	longitudinal	transverse
11F	152	290
5F	148	202
4F	135	198
B1F	152	200
B2F	194	209
11F / B2F	78%	139%
5F / B2F	76%	97%
4F / B2F	70%	95%
B1F / B2F	78%	96%

圖 7-6 合心樓隔震系統加速度歷時比較

由於位移計損壞無法確切得知隔震反應,因此透過數值模型(圖 7-4(b))將本次基礎紀錄之加速度歷時作為輸入,將上部結構分析結果與實際量測進行比對,並確認吻合後(圖 7-7(a)),再輸出隔震位移(圖 7-7(b)),求得長、短向最大位移分別為 27cm 與 45cm。

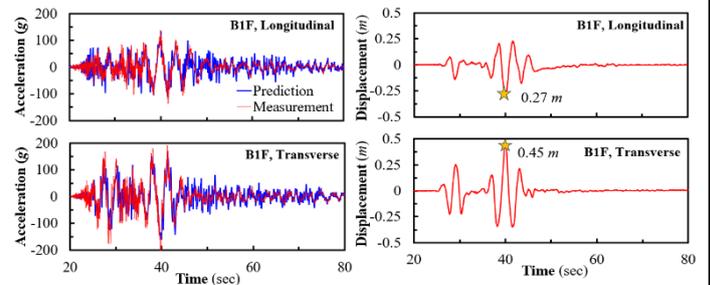


圖 7-7(a) 合心樓數值模型擬合實際加速度反應 圖 7-7(b) 合心樓隔震位移反應分析結果

### 4. 小結

0403 花蓮地震對於許多位於東部與西北部之隔震建築,皆造成了明顯的結構反應,但由於隔震功能之發揮,於本次地震中,即使如花蓮慈濟醫院合心樓般,承受到 6 弱等級之近斷層地震,亦無結構性損傷。但從各隔震建築非結構構件於隔震位移中損壞的情形而言,隔震間隙是否預留足夠?以及隔震運動時使用者是否可以安全避開?是隔震建築應特別重視的問題。

周中哲、吳俊霖、柴駿甫、姚昭智  
張毓文、黃雋彥、葉錦勳、黃李暉  
翁元滔、邱聰智、林敏郎、楊炫智  
陳冠羽、林凡茹、徐瑋鴻、陳威中  
黃百誼、柯敏琪、蕭雅聿（成功大學研究生）  
游忠翰、汪向榮（台灣科技大學教授）、楊卓諺  
林旺春、彭聖凱、曾育凡、林哲民、林祺皓

2022/05/15