



建築附屬非結構構件與設備 之花蓮地震災情勘查

柴駿甫*／國立臺灣大學機械工程學系 合聘教授、國立臺灣科技大學營建工程系 合聘教授、
財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 副主任兼組長

黃百誼／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 助理研究員

林凡茹／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 研究員

陳威中／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 助理研究員

徐瑋鴻／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 助理研究員

柯敏琪／財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心 助理研究員

自九二一集集地震之後，國家地震工程研究中心（以下簡稱國震中心）長期蒐集附屬於重要建築之非結構構件與重要機電系統設備相關震損，以期供後續非結構耐震性能提升之相關研究參考。今年（民國 113 年）0403 花蓮地震發生後，國震中心偕同日本防災科學技術研究所（NIED）、名古屋大學、東京大學、國內成功大學、高雄科技大學等單位（表 1），於 4 月 13 日至 14 日至花蓮縣花蓮市與壽豐鄉勘查共三家醫院、一家大學等之建築內部非結構物。表 2 即為勘查建築之基本資料，以及建築位址對應之地震地表加速度峰值（peak ground acceleration, PGA）、推估之各建築屋頂層的受震樓板加速度峰值（peak floor acceleration at roof level, PFAR）。由表 2 可知，雖依據建築物耐震設計規範及解說^[1]推估之建築加速度反應可能較為保守，但亦反映出位於花蓮縣之附屬於建築內部非結構物，於本次地震當中可能遭遇到相當大的樓板加速度，倘若非結構物恰與建築共振，則將承受更為劇烈的慣性力。

以下依據非結構類別，介紹勘查建築之非結構災損，依序為建築裝修物（明架天花板、非結構牆、女兒牆）、機電設備（冷卻水塔、電梯、供水桶槽、空調設備）以及建築內容物（櫥櫃）。

重要建築之非結構震損

明架天花板

天花板系統在中小地震即為常見之非結構震損類別，本次地震勘查亦觀察到許多明架天花板（以下簡稱天花板）之震損案例。天花板系統極易受到震損，主要係因市售常見天花板骨架強度不足，且普遍缺乏適當之耐震施工方式所引致。圖 1 為花蓮縣 DL 建築內天花板震損情況，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，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，如圖 2 所示。

此次地震中天花板破壞原因可分為以下三類：

1. 天花板骨架強度不足：

勘災現場發現許多天花板骨架發生嚴重變形，尤其是天花板副架因目前國內施工習慣並沒有特別要求，以致各案場中副架耐震品質差異很大，此次地震中天花板有大規模崩塌者其副架高度皆為 28 mm，如圖 3 所示。

* 通訊作者，chai@ncree.narl.org.tw

表 1 勘查團隊之成員

姓名	單位職稱	姓名	單位職稱
柴駿甫	國震中心副主任	鍾育霖	國立成功大學副教授
姚昭智	國震中心副主任	蕭雅聿	國立成功大學碩士生
林凡茹	國震中心研究員	Jun Fujiwara	Senior Researcher, NIED
徐瑋鴻	國震中心助理研究員	Ryota Nishi	Contract Researcher, NIED
黃百諠	國震中心助理研究員	Takuya Nagae	Associate Professor, Nagoya University
陳威中	國震中心助理研究員	Kazuki Takaya	Ph. D student, Nagoya University
柯敏琪	國震中心專案助理研究員	Tatsuya Asai	Associate Professor, University of Tokyo
郭耕杖	國立高雄科技大學助理教授		

表 2 勘查之非結構物所在建築資訊

勘查對象	建築代號	所在縣市	建築構造	地上樓層數	地下樓層數	PGA * (gal)	PFA _r ** (gal)
A 醫院	A1	花蓮縣花蓮市	RC	4	1	417	1251
	A2		RC	6	1	417	1251
	A3		RC	7	0	417	1251
B 醫院	B1	花蓮縣花蓮市	SC	10	1	395	1185
	B2		SRC	10	1	395	1185
C 醫院	C1	花蓮縣壽豐鄉	RC	3	1	366	1098
D 大學	DL	花蓮縣壽豐鄉	SRC	6	1	320	960
	D1		RC	4	0	315	945
	D2		RC	4	0	320	960
	D3		SC	4	0	338	1014

* PGA 推估值取自國家地震工程研究中心臺灣地震動分布評估系統 (Taiwan ShakeMap Assessment System) , <https://seaport.ncree.org/smap/>

** 依據建築物耐震設計規範及解說第四章，推估屋頂層樓板加速度峰值 PFA_r 為 3 倍 PGA。



圖 1 DL 圖書館內五樓、六樓天花板大範圍崩落



圖 2 D2 大樓三樓教室內天花板燈具及吊扇墜落

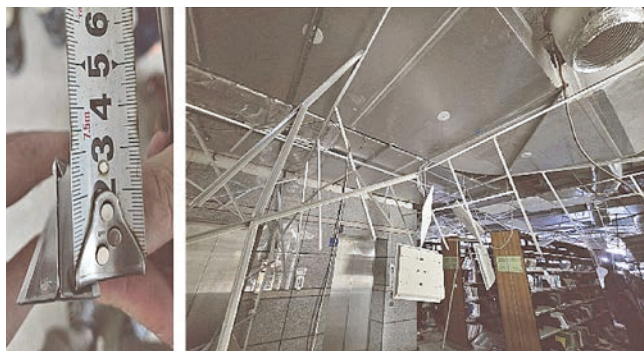


圖 3 天花板骨架強度不足導致天花板大範圍崩落

2. 缺乏適當之施工方式及耐震措施：

勘災現場發現大多數天花板骨架與收邊材並未固定，且骨架末端鄰近收邊處 20 cm 內未設有垂直懸吊線，致使骨架在受震過程中因水平晃動脫離收邊材之支撐而下墜，造成收邊處局部破壞如圖 4 所示。

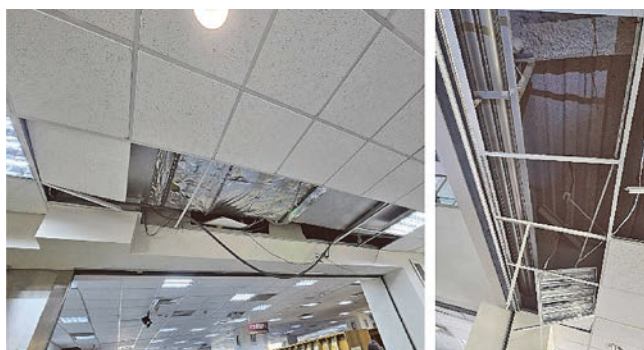


圖 4 DL 圖書館天花板收邊處 20 cm 內未設有垂直懸吊線導致天花板掉落

3. 天花板與其他非結構物之互作用：

天花板之懸吊構件因無法固定至建築結構體，故因陋就簡將其直接固定於空調箱底部，地震中由於空調箱搖晃劇烈導致天花板懸吊構件遭破壞，圖 5 紅色虛線所示，造成天花板崩塌。



圖 5 A2 大樓 4 樓天花板與其他非結構物之互作用導致天花板崩塌

非結構牆

非結構牆依其構造形式可分為濕式工法及乾式工法兩類，濕式包含磚造隔間牆，乾式則為金屬骨料搭配石膏板等之輕隔間牆。此次地震勘查中，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。圖 6 為磚造隔間牆破壞案例，花蓮市 A 醫院之 A2 建築四、五樓病房，其西北-東南走向之隔間牆有多處剪力破壞情形發生，裂縫由病房門框角落延伸至管道維修門角落，且穿透至另一側，造成磁磚或砂漿等飾面開裂、剝落。



圖 6 病房磚牆兩面剪力破壞

圖 7 為室內輕質混凝土隔間牆破壞案例，花蓮市 B 醫院之 B1 建築六樓與八樓，其儀器室旁為備用空間，內有大型風管通過，兩空間以內含保麗龍粒料之輕質混凝土隔間牆為界。本次地震觀察到，於本次地震中隔間牆整體向西北側面外傾斜，同時造成相鄰之輕鋼架天花板與風管等週邊非結構物破壞。



圖 7 輕質混凝土隔間牆傾倒，圖中正進行拆除

圖 8 為立於戶外的防風牆破壞案例，位於壽豐鄉之 D 大學之 D2 校舍頂樓四周被斜屋頂環繞，其斜屋頂背面設置之防風牆亦由內含保麗龍粒料之輕質混凝土牆構成，西北及東南側之防風牆於此次地震中向面外倒塌。



圖 8 輕質混凝土防風牆倒塌

女兒牆

建築物女兒牆位於屋頂層外緣，為屬屋頂裝飾物，並非建築結構的一部分，但女兒牆若因震損掉落，極易傷及建築室外經過的行人。本次地震勘查當中，壽豐鄉 C 醫院屋頂突出物（屋突）內佈設電梯設備與水槽等設施，頂部以相對之開口山牆作為裝飾，兩者以 RC 橫梁連結。此次地震中，東北側屋突山牆與橫梁之接合部混凝土碎裂、鋼筋脫出，使橫梁掉落至屋突頂部（如圖 9 所示），所幸並未傷及醫護人員或病患。

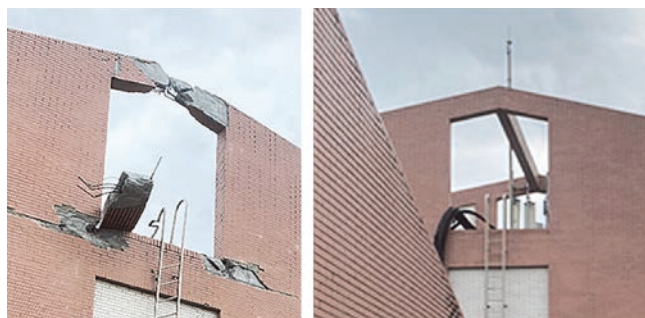


圖 9 東北側屋突山牆頂部之橫梁掉落（左圖），西南側則無損（右圖）

冷卻水塔

大型建築空調系統需設置冷卻水塔以供應空調所需之冷卻水，然而冷卻水塔因設置於強震下晃動最為劇烈之屋頂層，且冷卻水塔底部需設置用於隔絕機械振動之座墊，倘若座墊未考量耐震，冷卻水塔極易於地震當中受損，進而使建築空調機能停擺。此次地震勘查中，花蓮市 A、B 兩家醫院大樓頂樓皆有玻璃纖維（FRP）製冷卻水塔相關災損。A 醫院之 A3 宿舍頂樓冷卻水塔之 PVC 網入風口導風裝置受損，如圖 10 所示，與原產品比對可知該冷卻水塔之導風裝置於震中損毀；圖 11 顯示 B 醫院 B1 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 10 A3 宿舍屋頂層之冷卻水塔之入風口導風裝置受損



(a) FRP 冷卻水塔基座破壞歪斜

(b) 基座支撐腳錨定破壞

圖 11 B1 大樓屋頂層冷卻水塔基座支撐腳錨定破壞導致水塔歪斜

電梯系統

本次地震發生之後，台北、新北、花蓮均傳出大量電梯故障事件，由於電梯為屬跨樓層佈設之機電系統，其導軌因錨定於建築不同高程故於地震當中隨建築變形，因此平衡錘或車廂極易於強震中與導軌分離；而在強震當中，平衡錘中之配重塊若未良好固定則容易掉落；此外，若其系統機房位於建築頂層，其機房設備物（控制盤、捲揚機等）需特別留意進行錨定耐震設計。本次非結構震損勘查當中，花蓮縣壽豐鄉 C 醫院原有之四座電梯，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 12 左），另兩座則因平衡錘中之部分配重塊掉落而損及下方車廂（圖 12 右）。兩座破壞之電梯平衡錘於地震當中位於不同高程，圖 12 右中之車廂位於地下一樓，電梯平衡錘靠近頂層處，而另一座電梯之車廂與平衡錘則分別位於一樓與三樓處。



圖 12 電梯捲揚機位移（左圖）；另一座電梯平衡錘配重塊掉落（右圖）

供水系統

除了上述提及之空調系統冷卻水塔外，建築供水系統及消防系統之供水水塔或水箱基於空間使用與機能考量，設置於建築物頂部之屋頂層或地下層。從歷次強震經驗發現，大量市售不鏽鋼水塔及其支座於地震當中破壞，其原因包括常設置於建築晃動最為劇烈之屋頂層，且不鏽鋼水塔本身極易受損外，其支撐基座亦容易受到水塔整體慣性力及動水壓力作用而扭曲變形。如圖 13 所示，國內醫院因應大量洗腎醫療機能需求，故需另外設置 RO 供水系統，圖 13 即為花蓮市 A 醫院位於 A1 大樓頂樓受損之金屬製水塔與支座，震後經院方緊急調度與搶修後，恢復洗腎等醫療機能。



(a) 水塔桶身變形



(b) 支撐基座扭曲變

圖 13 水塔桶身及支撐基座變形

另一個供水儲槽震損案例則發生於花蓮市 B 醫院 B2 大樓地下一樓，一座 FRP 組合式水箱於地震中損毀。如圖 14 所示，該水箱由 FRP 板材及鋼製構架組合而成，其尺寸約為 3 公尺 × 3 公尺 × 2 公尺，平時儲水量約為 80%。受損水箱之鋼構架包括連續性水平鋼構件與分段續接垂直鋼構件，因垂直鋼構件續接處缺少上部兩根螺桿對鎖，且儲槽本體及內部儲水晃動衝擊水箱壁，導致其垂直鋼構件續接處損壞及 FRP 板材撕裂，導致儲水流出。



(a) 板材撕裂

(b) 垂直鋼構材續接處損壞

圖 14 FRP 組合式水箱破損、儲水流失

花蓮縣壽豐鄉 C 醫院大樓地下一樓之 RO 淨水系統當中，桶槽本體並無受損，但兩個儲水桶之間的連接管線於地震中斷裂。如圖 15 所示，其一儲水桶基座支撐腳錨定於 PU 地板，另一儲水桶支撐腳並無束制，推測震時無束制儲水桶因儲水震盪而產生搖擺運動，進而拉扯連接管線造成破壞。



(a) 已修復之 RO 儲水桶連接管線



(b) 無束制儲水桶支撐腳

圖 15 RO 淨水設備管線斷裂

空調系統之懸吊式設備物

本次地震勘災共調查花蓮縣市 A、B、C 三間醫院，三者均發現有空調系統懸吊式設備物震損情形。花蓮市 A 醫院位於 A2 大樓四樓走廊之預冷空調箱，為透過彈簧式避振器錨定於上方樓板，其疑因受震過程中位移振動量過大，導致與其相接之冰水管斷裂，如圖 16（左）所示；五樓走廊之預冷空調箱同樣由於位移振動量過大，不僅造成與其相接之冰水管破壞，甚至因撞擊相鄰之消防撒水頭而導致消防撒水頭完全斷裂，如圖 16（右）所示。因應醫療機能需求，醫院空調系統常為 24 小時不間斷狀態，再加上消防系統管線需常時保持 6 ~ 8 kgf/cm² 的水壓，因此本次地震後 A2 大樓五樓走廊空調箱管線與消防管線破壞處大量洩水。



圖 16 A2 大樓四樓預冷空調箱冰水管斷裂（左），以及五樓預冷空調箱撞擊消防灑水頭（右）

花蓮市 B 醫院之 B1 建築，在介於屋頂層與十樓之間的貓道層當中，發生大量空調系統懸吊式設備物之震損破壞，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 17 所示，B1 建築之空調箱與通風機均透過彈簧式避振器懸吊於上方樓板，可能於強震下產生過大水平向位移量。此外，該通風機四處錨定垂直桿長度不同，兩處錨定於樑下之垂直桿較短而於強震下水平運動當中產生短柱效應，進而導致桿件剪斷。

壽豐鄉 C 醫院所觀察到空調懸吊式設備物破壞，則是以小型送風機為主。該類小型送風機位於室內天花板上方空間當中，若因懸吊機制破壞而掉落，極可能傷及室內使用者。由於地震中小型送風機位移振動量過大，不僅造成與其相接之水管斷裂，而小型送風機之懸吊桿因過短而遭受剪力破壞，如圖 18 紅色虛線標註處所示。



圖 17 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）

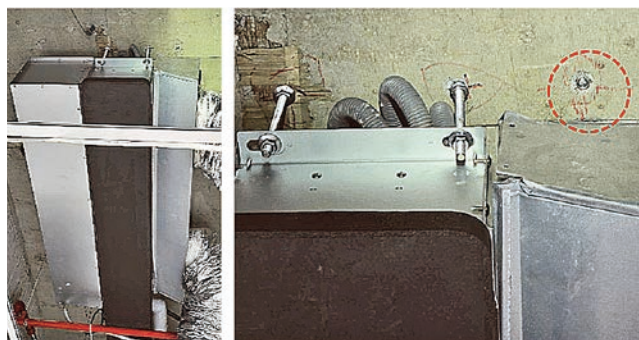


圖 18 小型送風機懸吊桿遭剪斷

儲櫃

花蓮縣 D 大學圖書館 DL 建築主體為六樓 SRC 結構，因應校園建築造型而另連結 52 米高之塔樓。DL 各樓層皆有不同類型書架，大多為六層鐵製書架，單跨書架尺寸約長 90 公分、寬 60 公分、高 230 公分，每排書架跨數視儲放空間大小有所不同。因應館藏調整故需不時移動書架，故無法將書架腳座或頂部與樓板固定或加固，因此書架在本次地震當中產生移動、擺動，甚至於五樓發生大規模傾倒，最終導致大量落書，甚至是書架因傾倒而損壞。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 19 所示。

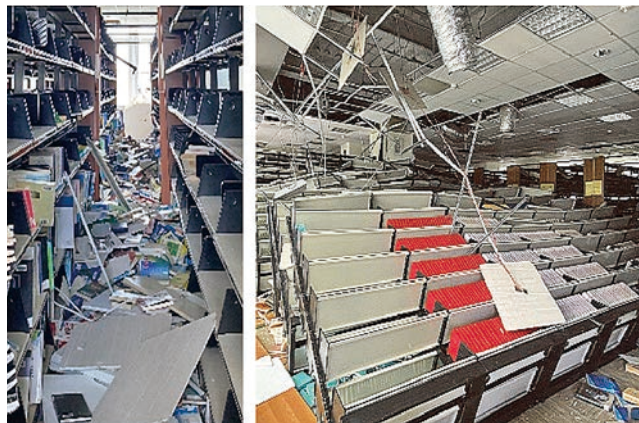


圖 19 DL 大樓書籍掉落與書架傾倒情形

DL 大樓的二樓收藏大量視聽影集 CD，CD 架數量約 11 組，CD 架單元尺寸長 90 公分、寬 50 公分、高 210 公分，CD 架腳座亦未與樓地板、混凝土樓板固定，因此亦發生大規模傾倒、CD 與承載架散落一地。又 CD 架的骨架因傾倒、相互重壓之下，使其產生變形，導致震後復原已無法一如往常站立於樓地板上，如圖 20 所示。

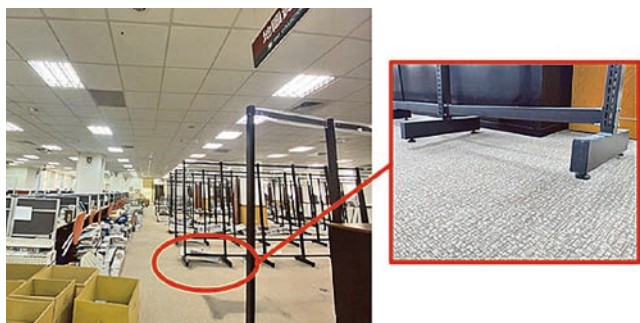


圖 20 CD 架傾倒變形，復原後無法正常站立

書架與 CD 架雖未與樓板固定，但各樓層鐵製書架與 CD 架皆在其框架頂部安裝二至五支不等之橫向連桿串聯構架，以增加橫向耐震能力，連桿形式包括圓管、方管、角鋼等。在本次震損調查中亦發現，多數裝有連桿之書架皆未完全傾倒，不過仍造成嚴重災損。其中連桿震損較多者為桿件與連結件變形，尤其以 CD 架連桿之連結件開孔處發生撕裂最為嚴重，如圖 21 所示。

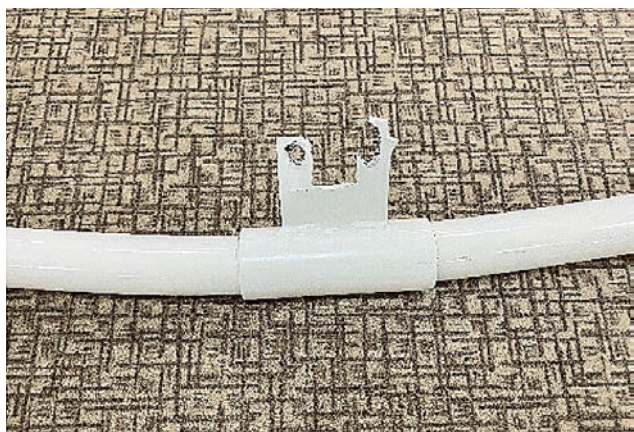


圖 21 連桿變形且連結件螺絲鎖固開孔撕裂

結語

為確保社會復原韌性，醫院、政府機關等重要建築在強震之後，必須於短期之內恢復運作，以達救災功能。民國 88 年九二一集集地震之後，建築物耐震

設計規範、鋼筋混凝土等構造設計規範均有長足的改善，公有建築亦基於耐震補強方案修正案^[2]的要求，進行大規模耐震評估補強作業。由近期地震重要建築震損經驗可知，絕大多數重要建築於強震之結構能發揮良好的耐震性能，然而室內附屬的非結構構件（如天花板系統等）與機電設備（如電梯、供水、供電、空調系統等）震損致使建築無法於震後立即修復而維持機能。雖然在耐震補強方案修正案當中，對於用途係數 I 為 1.5 之建築物提出應檢討其供水、供電及消防設備系統固定處之耐震能力，以及應考慮墜落物對建築使用機能之影響，但由於台灣之建築室內附屬非結構構件與機電設備設計、施工與安裝並無強制規定須有耐震考量，致使非結構構件與機電設備在強震下極易受損。

在 2024 年 0403 花蓮地震當中，國震中心勘查花蓮縣市三家醫院與一家大學之建築內部非結構耐震性能表現，由勘查結果可知，勘查對象即如同國內常見之建築非結構物一般，其安裝與佈設為基於機能考量，並無加設耐震措施。本次地震於花蓮縣市多組測站反應譜超過 2500 年回歸期地震平台段譜加速度要求，再加上建築物本身受震反應，對於未考量耐震措施之建築內部非結構構件與設備，是一場極為嚴苛的受震考驗。而非結構構件與機電系統的破壞，在醫院與大學緊急修復與調度下雖可勉為維持部分運作，但仍需時間完全復原其震前機能。因此，考量重要建築機能與生命安全性，建議醫院等重要建築單位應考量重要空間之內部非結構構件與潛在墜落物的固定，並進行供水、供電與消防等重要機電系統設備之耐震設計、施工與安裝，確保震後建築機能於緊急修復後可正常運作。

參考文獻

1. 內政部國土署，建築物耐震設計規範及解說，113 年 3 月，<https://www.nlma.gov.tw/最新消息/法規公告/30-建管組/10471-建築物耐震設計規範及解說.html>
2. 內政部國土署，建築物實施耐震能力評估及補強方案（公有建築物），行政院 106 年 12 月 28 日院臺建字第 1060040728 號函原則同意，<https://www.nlma.gov.tw/最新消息/業務新訊/39-建管組/18043-建築物實施耐震能力評估及補強方案（公有建築物）.html>