

特別報導

# 隔震金剛

## 十年守護

慈濟醫院隔震建築獲國際肯定



文 / 吳宛霖、馬順德、徐莉惠

二〇一三年六月二日，南投發生芮氏規模六點二的地震，造成南投地區落石坍方，交通一度中斷。臺中地區測得最高震度有五級，幸好臺中慈院配備四百五十五個隔震墊與八十八個阻尼器，讓臺中慈濟醫院穩如泰山。隔日，為了確保建築物在地震搖晃後是否回到原位，工務組余許富組長特別進入地下隔震層檢查建築物位移的狀況。

隔震層在地下二層之下，介於地基與建築物間，是個半開放空間，陰暗、潮濕、空氣混著化糞池的味道與霉味，還有蜘蛛網與蚊蟲穿插其間。隔震層高度不高，加上管路交錯，得越過重重障礙才能來到位移指標。熟門熟路身手矯健的余許富組長，在地下迷宮一下子就找到位移指標，測量後確認只偏移了一公分左右，屬於合理範圍內。余許富說，只要震度大於五級，他就會來測量記錄並回報慈濟基金會營建處，如有異常，營建處馬上就會派員處理。

記錄完建築物位移的狀況，余許富馬上帶著廠商人員，進一步確認伸縮縫需再加強處理的位置，沒一下子，又消失在隔震層迷宮中……

### 首座隔震在臺灣 全繫一念慈悲心

臺中慈濟醫院可以說是全臺灣、甚至全世界最大的醫療隔震建築，但臺灣第一座興建的隔震建築卻是二

〇〇〇年動工的臺北慈濟醫院。

不過，最早啟用的，反而是二〇〇五年完工的花蓮慈濟醫院急重症大樓「合心樓」。

因為建築體規模較小而較早完工啟



花蓮慈院急重症大樓的合心樓從地底、中間樓層到頂樓都設有強震儀，在地震來時可測得不同區域每秒每平方公尺的加速度傳回主機。上圖為設於地下一、二層隔震層的地震儀和位移計，位移計可算出地震發生時隔震墊位移的數據。攝影 / 謝自富



慈濟基金會營建處主任林敏朝（右）與慈濟志工顏惠津討論臺中慈濟醫院各項工程事宜。實際走過震災的醫院現場，林敏朝主任對防震建築有很深的鑽研與要求。攝影／林炎煌

用的隔震建築「合心樓」，在臺灣建築史上亦具有實驗性與指標性。合心樓的隔震層中，其實藏著一個秘密，它是全臺灣醫院中，唯一擺放著地震儀的醫院建築。地震一旦發生，規模大小，建物水平移動多少，對建物的影響等等，地震儀的訊號都會直接傳送到中央氣象局和國家地震中心，直接檢核當時建物的防震設計與實際發生值是否有一致性。

一九九九年的九二一地震以前，臺灣對於隔震建築尚無制定規範，所以隔震建築規範均是參考美、日的數據條文作為設計依據。花蓮慈院「合心樓」裝了地震儀之後，有了實際的參數和實際發生行為，國家地震中心依係數修正與設計，臺灣的隔震建築規範才逐漸成熟、在地化。這也是慈濟

這幾年來對臺灣民眾持續與切身的貢獻。

就這樣，九二一地震後，慈濟在幾年內陸續興建、完成了三座頗具規模的隔震醫院建築，並帶動臺灣對於隔震建設的重視，技術是表象，探究其中的核心原由，源起於證嚴上人的一念悲心。

當年，九二一地震發生沒幾天，慈濟基金會營建處主任林敏朝隨同證嚴上人風塵僕僕的趕到災區巡視勘災，過程中看到災區的醫院無法運作，病床堆放馬路旁邊、醫護人員只能待在一旁無所適從。林敏朝說，更麻煩的是，醫院裡很多牆壁都使用磁磚鋪設，牆面的磁磚因地震而破裂掉落，破裂的磁磚上都沾滿血跡，可能是病人或家屬或醫護人員逃生經過時被割傷。



花蓮慈院 攝影／許榮輝



臺北慈院 攝影／顏明輝



臺中慈院 攝影／賴廷翰

慈濟醫療志業首開先例，開啟臺灣隔震建築的風氣。臺北慈院為臺灣最早興建的隔震醫療大樓、花蓮慈院急重症大樓最早完工啟用、臺中慈院則是目前全世界最大型的醫療隔震建築。

「看過現場後才知道，原來破裂的磁磚不論是掉在地上或黏在牆壁上，都像一把把銳利的刀鋒，非常危險。」

巡視災區後的會議上，證嚴上人對醫院原本該是救人的地方，災難發生後卻反而需要受助，相當感慨，於是，寄望營建處去找到方法，讓醫院在地震發生時，在災難來臨、病患湧入時，更要持續發揮救人的功能。

### 打造可在地震時 繼續手術的醫院

於是，慈濟營建處和建築委員就開始尋覓各種可能的方法，林敏朝剛接受任務時，還很納悶：「我心想，有這種建築嗎？」

讀大地工程的林敏朝回到母校臺灣科技大學找資料，得知有一位研究地震的專家黃震興教授，林敏朝除了到圖書館找了很多黃教授的著作，還親自去拜訪他。黃震興教授提供了很多訊息給林敏朝主任，並分享自己在美國工作時，就遇到一九八九年的舊金山大地震，震後當地有一則報導指出，地震當時在美國舊金山的箭頭醫院（Arrow hospital）開刀房開刀的醫師，只感覺好像晃了一下，並不嚴重，所以照常開刀，直到手術結束一出醫院，才發現原來發生高達七級的大震，這則報導就是強調箭頭醫院是一座隔震建築。林敏朝得知之後非常高興，馬上向證嚴上人報告，「世界上，確實有這樣先進的隔震技術。」



隔震墊把建築物撐起，可以直接吸收五、六成地震傳來的能量。圖為臺中慈濟醫院二期工程隔震墊組立現況。攝影／曾東勝

證嚴上人聽了非常感動，直言：「這就是我要的！」上人的理想，就是醫院即使在大地震時，仍能堅定地發揮救人的功能。慈濟基金會林碧玉副總執行長帶隊，團員包括當時的慈濟建築委員宋篤志、蔡逢源，還有營建處的林敏朝主任與結構技師、顧問，組成考察團去參觀箭頭醫院與專門生產隔震墊的 DIS 公司，才確認真有這樣先進的工法技術。

西行取經團隊參觀了箭頭醫院，但發現箭頭醫院雖然有名，但樓層數不高，考察團後來到舊金山的市政廳去參觀，市政廳是一棟二十幾層樓高的龐大建築，因為在舊金山地震時有所損壞，所以做部份修繕加強，並在地基加入「基礎隔震」。

舊金山市政廳的例子讓團員相當高興，因為與將來慈濟要蓋的醫院規模相當，可以作為借鏡。後來，他們又到日本東京參觀日系的隔震系統，了解當時美、日這兩個先進隔震系統的差異。

聽取考察團隊的彙整報告後，證嚴上人慈示，除了過去已經蓋好的醫院建築外，新蓋的醫院都要以隔震的工法施作，以確保強震來時，醫師能繼續開刀，其他醫療工作都能持續運作。

### 生命無價 值得全心守護

「其實只有兩個字，就是上人的一份悲心。」林敏朝說，就因為這分悲心，指示營建處去學習這樣的技術，於是結合國家地震中心、結構技師、

建築顧問等等，啟動了臺灣大型醫療隔震建築的開端；而因為慈濟醫院的完工，也帶動了臺灣隔震建築的興起。

一路研究、推動隔震建築的林敏朝也坦言，因為隔震墊比較貴，建築工法也不太一樣，日本的隔震建築就比一般建築需高出百分之二到四的成本。臺灣則是慈濟首開先例，與過去臺灣避震和耐震的觀念不同。

一般耐震建築是「耐性」的結構；然而隔震建築的上部結構卻是屬於「刚性」結構，因此慈濟營建處當時一方面受傳統耐震建築的限制，一方面又要符合隔震建築的規範，所以成本更高，當然，慈濟蓋好的醫院就是又隔震、又耐震。

### 關鍵角色隔震墊 超高標準吸收能量

隔震建築中的關鍵角色——「隔震墊」，肩負著保護建築、消融地震

能量的重任，又被慈濟人暱稱為「金剛座」，花蓮慈濟醫院「合心樓」就裝了八十八座，臺北慈院就設了三百四十九座，臺中慈濟醫院更是多達四百五十五座，成為全世界最大的防震醫療建築體，也是到目前為止，安裝最多隔震墊的醫院。

隔震墊是一種橡膠織成墊，由一片薄薄的、約三釐米的橡膠墊，再加上一片薄薄的、約一釐米的鋼板兩種材料穿插組合而成，並根據建築物的大小與荷重來決定隔震墊的組合和直徑、面積。

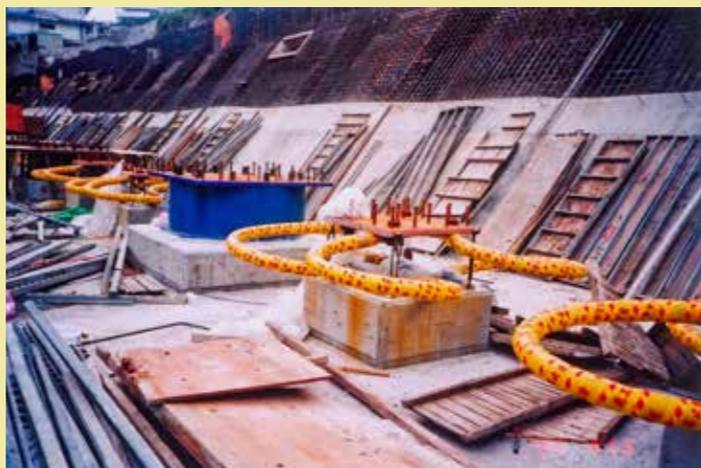
隔震墊本身又分兩種，一種是單純由橡膠和鋼板組合的「橡膠織成墊」；另一種是中間有鉛心，外面以橡膠織成墊包覆的「鉛心橡膠織成墊」。因為地震代表一種從地殼傳來的能量，地震越大能量越大，單純的橡膠織成墊對大型建物來說，能量的吸收與轉換過程會比較不足夠，此時就會運用



慈濟基金會營建處為了確保隔震墊的品質，請美國生產的 DIS 公司進行測試，隔震墊可以分別向左右水平移動六十公分，剪力變形應變量達到百分之四百。（慈濟基金會營建處提供）



工程領班周正鵬微微移動一點八四公噸重的「液壓桿組尼器」，對準「鎖」孔。攝影／劉鼎龍



鋼環阻尼器一座重量達六百公斤，是不規則建築中控制震度的重要隔震系統。攝影／劉鼎龍



隔震系統在地下夾層中、空間窄小容易藏污納垢，保養不易，圖為臺北地區的慈濟志工協助清掃隔震層，一一撿拾垃圾。攝影／陳倪旺



地下隔震系統中會設立位移指針來檢驗地震後建物與隔震墊承受的應力是否都被吸收與消耗，臺北慈院位於地震頻繁的臺灣，位移指針仍回復原點，令檢核工程師大為讚嘆。攝影／徐莉惠

鉛心橡膠織成墊來隔震。因為鉛在一定的溫度下會溶解，等到地震過後、冷卻之後又會回復原來的形狀，因此可以吸收能量。林敏朝妙喻，隔震建築就像汽車，汽車的輪子有橡膠、橡膠裡有鋼圈，就像隔震墊一樣，只是隔震墊更精密，是一層橡膠一層鋼板。

「能量」，就是物體被施力之後移動了多少距離，也就是「做功」。以前沒有隔震墊的年代，地震來時直接衝擊建築物，建築物均靠梁柱結構來吸收能量，因此比較容易危害建築物。因為隔震墊可以水平移動，地震來襲時水平力乘上隔震墊的位移就是做功與轉換能量，等於把百分之五、六十地震力所作的功透過隔震墊消化，其他的部份則由結構體承受。

由於為慈濟醫院所設計的隔震墊尺寸很大，直徑超過一公尺，為了確保

美國所生產隔震墊的公司品質，營建處算出最大地震時，隔震墊可以分別向左右水平移動六十公分，加上隔震縫有八十公分，等於可以水平移動達一百二十公分，均高於設計值、確保活動無虞。

林敏朝說，通常設計值是實際承受值的兩倍，但是慈濟為了確保隔震墊的變形沒有問題，做到隔震墊剪力變形應變量達到百分之四百，等於是原設計值的四倍，譬如實際發生值是「一」，設計值通常是「二」，但是慈濟的作法達到「四」。林敏朝驕傲的說，「全世界只有我們做到這樣」。

### 承受地震七級搖晃

慈濟的建物完成後，依臺灣規定可以承受七級的搖晃。所謂的承受級數是指實際在建築物所在地的級數，例

如汶川地震八級、九二一地震七點二級，指的是震央，一般都市和震央都會有點距離，震度傳到都市能量會衰減，大約五、六級就很強烈了。

此外，為了防止隔震墊損壞，臺北慈院和臺中慈院兩處在施工當時都相當慎重的在隔震層中、在一致的溫濕度環境下，模擬單位面積所承受的應力、比照建築物中心點壓力最重之處，各設兩個尺寸較小的隔震墊，以便將來可以拿出來檢視隔震性能是否和設立當時相同、維持原設計的要求。

林敏朝說，隔震建築就代表地震來時會像船一樣左右或前後移動，因此要在基礎隔震層周圍要留隔震縫，建築物才能移動無礙。粉塵、火等都會影響隔震效果，橡膠墊怕火，因此慈院的橡膠墊都用鐵皮包覆並在隔震層增設消防設施，完工近十年，現在連

隔震墊外的鐵皮都相當完整。

隔震縫也要保持清潔暢通。二〇一三年四月，大陸四川又發生廬山大地震，震後臺灣國家地震研究中心派員前往勘查，發現廬山具隔震設施的醫院，因為四周圍的隔震縫被塞住，地震來時建築物碰撞嚴重，無法發揮隔震效果。

此外，臺中、臺北慈濟醫院因為安裝的隔震墊數量上百，營建處在每一個隔震墊的位置上都貼一個平面圖，清楚標示出這個隔震墊在整座大樓中的相對位置，這在美國或其他國家都是前所未有的創舉。

### 控制晃動速度 阻尼器防擺尾

除了隔震墊，慈濟的隔震還包括阻尼器。阻尼器是一個水平的油壓桿，因為地震剛來時，建築物受地震力作用很強

烈，一般方正的建物，移動的速度就靠阻尼器來控制。另外還有一種蝴蝶形的鋼環阻尼器，專門應對不方正的建物。以臺北慈院為例，造型並非方方正正，而是一座有弧線、有方形也有長形的建築，當地震來時，弧線區的建築物有可能會有類似「龍擺尾」的甩動，鋼環阻尼器就是控制甩動不要太厲害。



美國 DIS 的總工程師凱賽蘭那提先生 (Amarnath Kasalanati)，仔細檢視臺北慈院大門前的隔震連接縫。攝影／吳裕智

檢視隔震系統是否完整發揮功能，建築物的隔震層中心點，也就是所謂「幾何行星」的位置會設立一個位移指針，地震來時建築物會移動，地震結束後，只要檢查指針有沒有回到原點的中心軸線上，如果沒有回到原點，就代表隔震墊裡有殘餘的應力沒有消耗。

### 救難中心十年檢驗 守護生命做到最好

今年五月中，專門生產隔震墊的隔震系統公司 DIS(Dynamic Isolation Systems) 特派工程師來檢視已經使用將近十年的臺北慈院狀況。對臺北慈院位於地震頻繁的地理位置，位移指針均回復到原位，地下隔震系統的維護維持並發揮良好的隔震效果，滿意的打了一百分。

林敏朝說，因為有九二一地震那一段歷史，所以才會有這種隔震建築出現，不過，一般民間建築，大多採用比較便宜的避震系統。採用這麼大規模的隔震醫院是第一次，所以慈濟是領頭羊，但是做領頭羊的原因不是因為「炫」，而是尊重生命的悲心，這才是核心。

證嚴上人說，當地震來襲時，「學校」和「醫院」絕對不能倒，因為學校是「避難中心」，而醫院是「救難中心」。為此慈濟承接五十一所災區學校重建的希望工程，帶動臺灣建築界 SRC 鋼筋鋼骨水泥工法的進步；而慈濟為醫療建築致力研發隔震系統、興建隔震大樓，營建人員以硬體守護軟體，將守護生命的磐石，隨時維持在最佳狀態，確保強震來襲時能持續執行醫療任務，搶救寶貴生命！🌱

### SRC 守護學子的建築

因應地震的建築，除隔震外另有「耐震」建築，「SRC 鋼骨鋼筋混凝土建築」來自於「SS 鋼骨結構體」與「RC 鋼筋混凝土結構體」的結合，是可以吸收更大地震能量的「耐震」建築。

SRC 是由日人發明的建築工法，但是價格昂貴，其他國家較少使用。慈濟在九二一地震後援建的五十一所學校，由慈濟基金會營建處邀請全臺知名營建與結構專家齊聚一堂討論建築形式，由於鋼骨質輕耐震但地震來時搖晃較大，鋼筋混凝土晃度較小但易龜裂，許多專家辯論後認為學校樓層普遍不高，用品質夠好的鋼骨或鋼筋混凝土其實就安全無虞，但最後在證嚴上人希望要「最安心、最安全的結構體」的衷心盼望下，決議慈濟所有援建的學校均採用當時最昂貴的 SRC 工法，所以最後所有援建學校，就算只有一層樓，也都是使用 SRC 鋼骨鋼筋混凝土建築。

