

類別：工程技術類

篇名：

防震建築的比較與模擬

作者：

楊維玟。曉明女中。高一丁班

陳鳳庭。曉明女中。高一戊班

指導老師：

丁世彬老師

劉人華老師

壹、前言

一、研究動機

台灣位處環太平洋地震帶和板塊交接處，地震頻繁，不論是 921 強震造成的災害或地震帶來的恐慌，都迫使人們去思考災害防治的對策。從以往地震災情的資料中發現，建築物倒塌是造成大多數傷亡者的重要因素，其中的建築除了缺乏防震規格的老式房屋，也包含許多耐震的新式設計，這引起研究者對防震相關建築的好奇，「住宅」與我們的關係最為密切，該如何防止它們被破壞？例如何種建築結構或建材的防震效果較好？又或者有什麼特別的防震方式？這些方法的效用又如何？因此，研究者想利用實驗的方式檢視這些方法的優劣。

二、研究目的

- (一) 探究建築結構對防震程度之影響與優劣。
- (二) 瞭解建築使用的材料對防震的影響與優缺。
- (三) 探究建築物平面形狀對於防震效果的差異與成效。
- (四) 分析實驗結果與理論上的差異。

貳、文獻探討

一、地震

交通部中央氣象局（2018）在相關報告中提到，地震可能成因分為人為活動或自然現象，例如地下核試驗、地殼表層下的火山活動、地殼運動等，且從世界衛生組織（2018）的文獻中發現，這些因素所引起的震動，都會影響到地面，造成人們所稱的地震。曾美綺（2016）認為，地震產生的原因是根據 Harry Fielding Reid 所提出的彈性反跳理論（Elastic Rebound Theory），將有彈性的地殼比擬做彈簧，因為板塊運動的過程中會不斷擠壓使其累積許多應變能量，直到岩體的弱面，也就是斷層面，無法承受時就會破裂，岩體沿著斷層活動時，會同時釋放先前所累積的能量，並以地震波的方式呈現。其中斷層上最先斷裂的地方又稱為震源，垂直投影至地表的一點稱為震央。地震常伴隨海嘯、山崩、火山噴發等。

二、建築的防震結構與防震度之相關影響

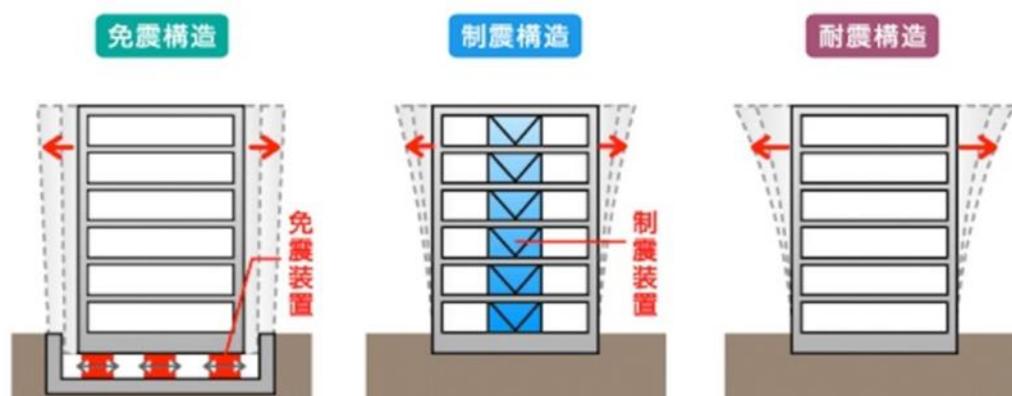
翁駿德（2003）於相關論文中提到，建築工程中所使用的結構設計可大致分為以下三種

- (一) 耐震結構：璞園建築團隊（2018）及國家實驗研究院（無日期）提及耐震建築是透過建築主體的樑、柱、牆壁硬度及韌性來抵禦地震所生成的能量，目標為控制結構

的損壞，此類建築結構工法是根據新修規範建成，較能抵禦大地震的來襲，耐震能力高。

- (二) 制震結構：又名減震結構。蔡東和、樓建中（1999）及中時電子報（2011）指出，此類結構主要是利用各式阻尼裝置吸收地震釋放的能量，減少能量傳遞到主體建材的機會，降低建築物遭受破壞的程度及可能性。阻尼器分有數種，其中可大致分為兩類，其一為減震技術型，須裝設在相對的上下樓層，另一類則適合設於高樓層，用以降低受震反應，台北一零一大樓即是採用此類。減震結構主要目標為確保主結構安全的情況，避免建築高樓層在地震過程中受到風力等因素影響，減少內部人員的不適，進而提升舒適性，可減小建築的震動。
- (三) 免震結構：又名隔震結構。阮明坤（2005）認為，免震結構的方式為採用隔離裝置於建築物與地基之間，同時加裝阻尼裝置，形成隔震層。盧煉元、鐘立來（1999）也提出，內容物依原理可分成橡膠式隔震與滑動式隔震兩種，前者為疊加多層水平鋼片於橡膠中，能使整體垂直向勁度增加，也能隔絕共振效應，後者多使用石墨、鋼球等，當地震發生時，上層的結構能在此隔震介面上滑動，藉此削弱地震能量。目標為減少地震輸入之加速度，利用柔性介面阻擋地表本應上傳至結構的加速度變化，因此耐震係數較減震技術高。

圖一、三種結構之示意圖



圖一資料來源：璞園建築團隊（2018年12月26日）。抗震宅其實也有分等級。

<https://www.pyct.com.tw/2018/12/抗震宅其實也有分等級/>

三、建材與建築防震之關聯

內政部營建署（2011）於相關規範中提及，耐震設計包含強度與韌性的標準，因此對兩大建材－混凝土與鋼筋制定出相關法規的評判準則，考量耐震設計的觀點，使用較高抗壓強度的混凝土能有效提升耐震性能，後者則須避免剪力破壞，因此降伏強度與極限抗拉強度皆有數值的規定。防震建材主要分為「鋼筋混凝土」、「鋼骨鋼筋混凝土」、「鋼構」三種。而目前的住宅大多採用鋼筋混凝土，如下：

- (一) 鋼筋混凝土(Reinforced Concrete)：根據五十甲建築行銷團隊(2020)的介紹可以得知，鋼筋混凝土簡稱 RC，其建築方法是以鋼筋做為骨架去固定梁柱，再以混凝土填充進去，其樑柱相較於其他建材較粗，且混凝土使用的比例較高，故其結構性質較硬。此為台灣目前最純熟最常見的工法，但所耗工時較長。但因其延展度稍顯不足，因此適合興建中低樓層的建築物。
- (二) 鋼構(Steel Constructure)：魏明鍾(2002)在書中提及，鋼構簡稱 SC，其建築的特色為「樑」和「柱」只使用鋼骨當作材料，比起 RC，其韌性較強，材質較均勻，且材料為三者中最輕，加上塑性亦較高，當遭受強風或地震時，感受的搖晃程度會比較劇烈，且在低溫環境中，較易發生脆性斷裂，所以較不適合作為居住住宅。而此建材的成本較 RC 高，常見於及高樓層建築物。
- (三) 鋼骨鋼筋混凝土(Steel Reinforced Concrete)：中華民國內政部建築研究所(2004)指出，鋼骨鋼筋混凝土簡稱 SRC，此建材充分囊括了 RC 及 SC 的特性，經過二次的混凝土充填且兼具內部鋼骨及外部鋼筋，故而剛性及韌性都極佳，相對於純鋼柱，SRC 構造利用混凝土抗壓的特性，提高柱的抗壓能力，而相對於 RC 構造，SRC 能夠減少混凝土的用量，因此對生態環境造成的破壞較小，但此工程技術較高，且成本昂貴，排碳量也高，較不環保，所以僅常見於重大建設。

四、建築物的平面幾何形狀

良好防震建築的平面形狀常具有簡單、規則、對稱的特色，不含凹角與側角的建築就結構而言較為耐震，地震時常造成建築端部最先被破壞，房屋平面的轉折區也較容易因應力集中而受到毀損，以下為常見的建築物平面形狀：

- (一) 口字型：國家地震工程研究中心(2007)於資料中顯示，口字型建築整體來說為耐震度最好的設計，因整體支撐性較強，牆體的連結擁有連續性，四周柱子的承載力高，且具有對稱性質，因此無論縱向或橫向搖晃，都不易發生建築物扭轉的情形，相似的平面形狀包含圓形、矩形，皆具有以上耐震特性。其中，矩形平面的建築需採用長寬比小於六的設計，避免整體過於細長，會影響耐震力。此類規則性的平面形狀能在地震時，將扭力均等分配給各豎向構材，由此可知，在不考慮豎向構材的側力抵抗能力不均的情況下，此平面形狀最為耐震。
- (二) 三角型：國立科學工藝博物館(2017)提及，若以俯視角度觀看建築物，三角形的外形結構不對稱，地震來臨時極易搖晃及導致建築受到破壞，非常不穩固。
- (三) T 字型：蔡榮根(2016)於報導中指出，此類型建築耐震能力差，若是兩端長度都過長，建築物為縱橫垂直時，搖晃程度及受力程度都會極高，T 字交界處容易受到破壞導致建築物扭轉變形，但倘若是一短一長，則能稍微提升耐震度。
- (四) H 字型：中華民國內政部營建署(2011)提出，此類型屬於不規則結構，雖此形狀看似對稱，但兩側翼的地震反應與相對完整的建築物相比，易引起更大的作用力，因此加大地震時發生扭轉效應的可能性，且因豎向構材的面外錯位等因素，影響水

平建材抵抗垂直與側向力的能力，不具口字型建築傳遞側力時的連續性，由此可知，H 字型建築耐震力不佳。

- (五) 口字型：國立科學工藝博物館(2017)認為，此類型的建築在耐震方面亦處劣勢，若口字兩端過長時，與中間橫向結構的連結處易在地震時遭受破壞斷裂，此外，位處中央的橫向結構過長時，會導致熱脹冷縮產生額外應力，增加造成裂縫的機率，在地震發生後，也容易在端部扭轉變形，此類和前述的 T 字型、H 字型建築皆因具有大角度的凹角或側翼，可歸類為平面不規則結構。
- (六) 十字型：李伯昱（2014）在相關文章中提出，此類型建築也可歸類為平面不規則建築，遇地震時容易出現軟層問題，鐘立來（2017）也指出，地震災害調查中發現，軟層之破壞模式最為普遍，眾多倒塌建築物皆因設計時未考慮軟弱層，導致樓層剪力向下累加。十字型因凹角尺寸過大，構材進入非彈性的時機不均，且地震作用力常易集中於局部構材，因此屬於不良的平面形狀。

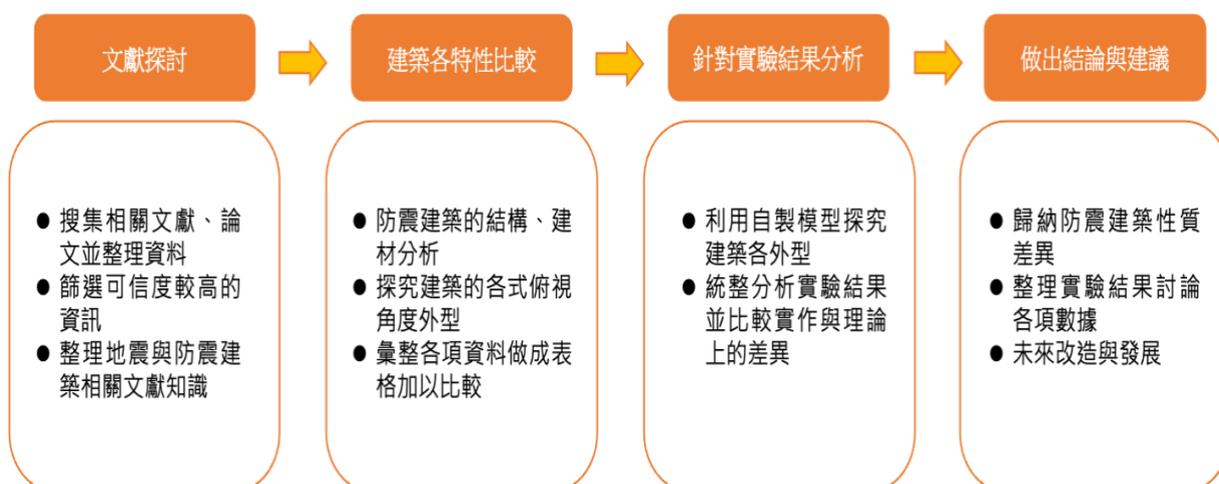
參、研究方法

一、研究方法

- (一) 文獻分析法：透過交通部中央氣象局、世界衛生組織及相關研究單位了解地震的特性與帶來的災害，並搜集國內外論文和團隊研究資料來探討各式建造結構、建築材料與外型對房屋耐震力的影響，接著利用程式做成表格，進行理論的比較與分析。
- (二) 實驗法：更進一步從建築物平面形狀的類別中挑選出要進行探討實驗的研究目標，自行設計實驗，利用吸管、黏土、橡皮筋、彈珠等材料做出簡易裝置結合 Google 科學日誌來模擬測試實際效果與理論上的差異，並利用表格統整出彼此間的優缺。

二、研究流程

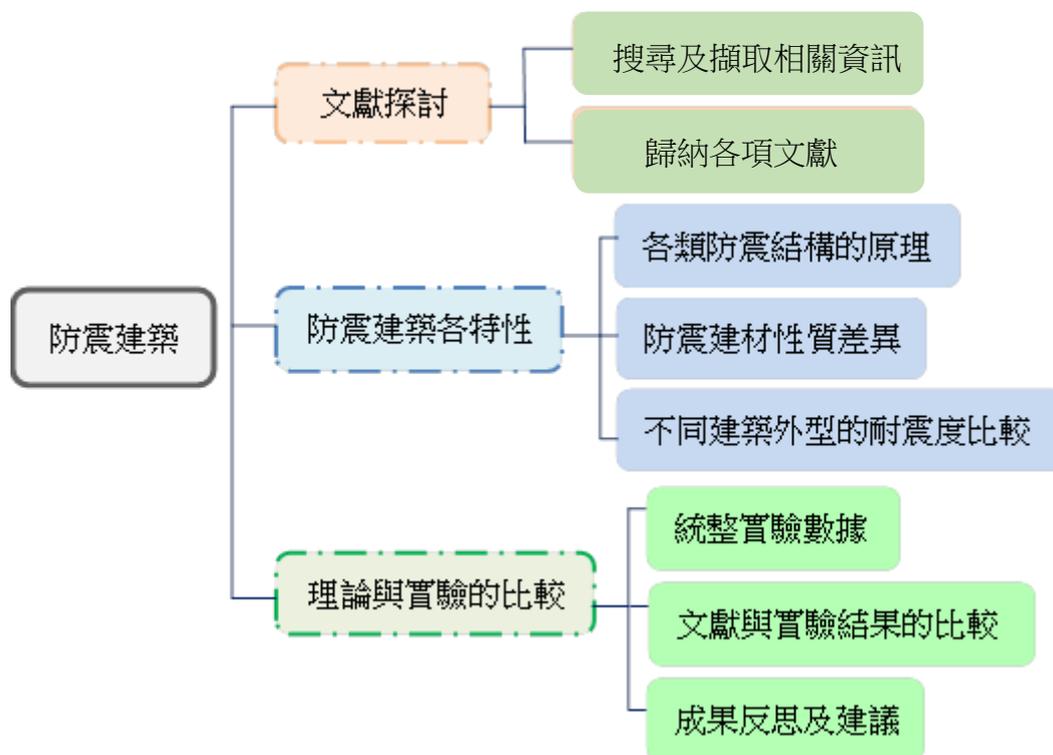
圖二、研究流程圖



圖二資料來源：研究者繪製

三、研究架構

圖三：研究架構圖



圖三資料來源：研究者繪製

肆、研究分析與結果

一、實驗內涵與過程

- (一) 實驗目的：了解建築外型與耐震度的關係，並對照理論資料，比較與實際的差異。
- (二) 實驗器材：考量到吸管具有一定支撐度且不易斷裂，特性和鋼筋相似，因此利用吸管架起建築物，模型樓高皆為 6 公分且都是 3 層樓，吸管連結處使用黏土黏接，以模擬建築工程時混凝土的效用，兩者皆為可塑性極強的材料。為減少人為因素影響結果，根據（圖四）所示，黏土統一使用 1.5 立方公分的正立方體。主體採用 2 片瓦楞板當底座，運用橡皮筋固定且增加與地板之間的摩擦力令其在搖晃時軌跡較為固定，根據（圖五）所示，兩片瓦楞板間放入 6 顆彈珠於橡皮筋處，方便後續實驗中的搖晃更為穩定。

圖四：實驗材料示意圖



圖四資料來源：研究者拍攝

圖五：底板示意圖



圖五資料來源：研究者拍攝

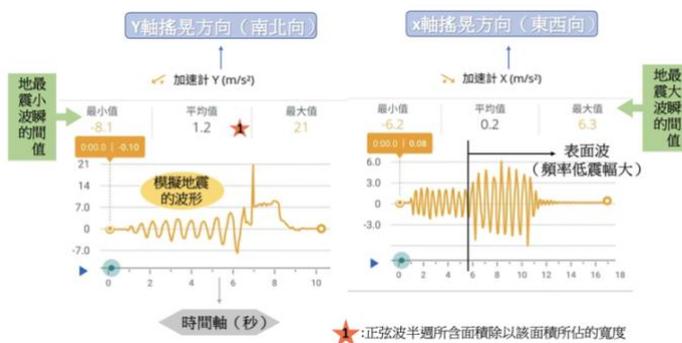
(三) 實驗流程：將做好的模型置於板上，利用手搖晃底座的上層瓦楞版模擬地震，每次搖晃皆為 10 秒，根據 (圖五) 所示，板子上下左右各用白色膠帶貼出 1 公分及 2 公分的間距，0 至 5 秒時，搖晃幅度控制在 1 公分的間距內，仿照震度較低的小地震，後 5 秒實驗中則將搖晃增至 2 公分的間距中，代表震度較強烈的大地震。實驗中運用手機程式 Google 科學日誌來協助測量過程中的波形與詳細數值，地震中越高樓層的震感越為強烈，因此架設手機於模型上方，也可增加整體模型的重量，產生重心。首先實驗 x 軸方向的搖晃，實驗時將板子以穩定的頻率在固定間距內震動，10 秒後則為模型恢復至靜止狀態的過程。同理與實驗步驟適用於 y 軸方向的實驗。

圖六：測試模型裝置示意圖 (口型)



圖六資料來源：研究者自行拍攝

圖七：google 科學日誌圖示解析

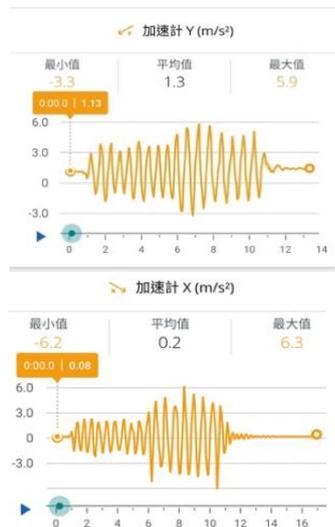
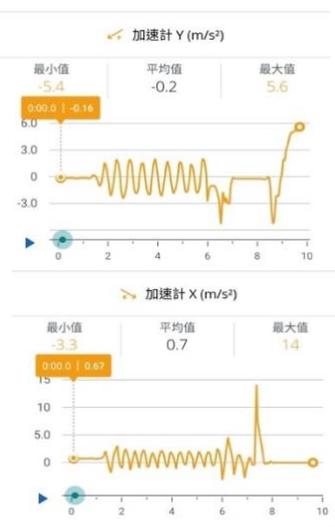
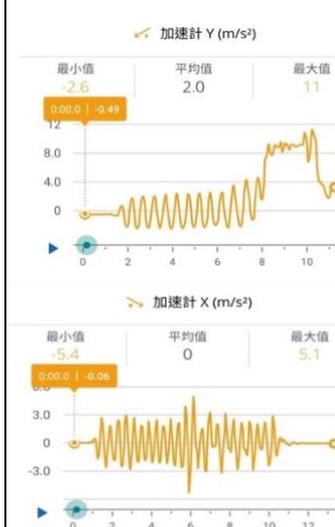


圖七資料來源：研究者自行拍攝繪製

二、實驗結果與分析

(一) 實驗照片與數據

表一：模型照片與數據分析

	口字型	三角形	T 字型
實驗數據	口字型模型在經過 x、y 軸的搖晃後，均未變形或倒塌，因此可知實驗中的口字型模型耐震力最強。	x 軸搖晃與 y 軸搖晃皆使三角形模型產生輕微變形，模型皆在強震時開始向右慢慢傾斜，x 軸方向的搖晃約為 7.5 秒時模型開始變形，y 軸方向的搖晃則在約為 6.5 秒時另模型緩慢塌陷。得出三角形模型對 x、y 軸的搖晃抗震力皆不強。	x 軸方向的搖晃對 T 字型模型未造成任何傷害，y 軸方向的搖晃卻使模型變形，第四秒時，模型以二樓為中心整體扭轉變形，約為強震開始的第三秒坍塌。由此可得出結論，T 字型模型對 x 軸方向的搖晃耐震力較強，但對於 y 軸方向的搖晃耐震力較差。
google 科學 日誌 圖示	<p>圖八：實驗結果圖示</p>  <p>加速計 Y (m/s²) 最小值 -3.3 平均值 1.3 最大值 5.9 0.00 0 1.13</p> <p>加速計 X (m/s²) 最小值 -6.2 平均值 0.2 最大值 6.3 0.00 0 0.08</p>	<p>圖九：實驗結果圖示</p>  <p>加速計 Y (m/s²) 最小值 -5.4 平均值 -0.2 最大值 5.6 0.00 0 -0.16</p> <p>加速計 X (m/s²) 最小值 -3.3 平均值 0.7 最大值 14 0.00 0 0.67</p>	<p>圖十：實驗結果圖示</p>  <p>加速計 Y (m/s²) 最小值 -2.6 平均值 2.0 最大值 11 0.00 0 -0.49</p> <p>加速計 X (m/s²) 最小值 -5.4 平均值 0 最大值 5.1 0.00 0 -0.06</p>
實驗前模型狀態	<p>圖十一：模型狀態</p> 	<p>圖十二：模型狀態</p> 	<p>圖十三：模型狀態</p> 
實驗後模型狀態	<p>實驗前後模型狀態相同</p>	<p>圖十四：模型狀態</p> 	<p>圖十五：模型狀態</p> 

防震建築的比較與模擬

	H 字型	匚字型	十字型
實驗數據	此模型在 x 軸方向的搖晃時變形，且在震後餘震時倒塌，但 y 軸方向的搖晃時，並未造成模型倒塌，僅輕微變形。由此可知 H 字型模型對 x 軸方向的搖晃耐震力較差，相較於此，模型對 y 軸方向的搖晃耐震力較 x 軸方向好。	此模型在 x 軸和 y 軸方向的搖晃時，都僅向右變形卻未倒塌，時間皆約為搖晃開始後的第九秒，可看出匚字型模型對兩方向的搖晃耐震力較平均。	x 軸的搖晃中，弱震與強震皆未使十字型模型造成變形與倒塌，但 y 軸搖晃的強震令模型倒塌，約為強震開始的第二秒開始向左緩慢傾倒，最終倒塌。因此十字模型對 y 軸方向的搖晃耐震力較另一方向差。
google 科學 日誌 圖示	<p>圖十六：實驗結果圖示</p>	<p>圖十七：結果圖示</p>	<p>圖十八：結果圖示</p>
實驗前模型狀態	<p>圖十九：模型狀態</p>	<p>圖二十：模型狀態</p>	<p>圖二十一：模型狀態</p>
實驗後模型狀態	<p>圖二十二：模型狀態</p>	<p>圖二十三：模型狀態</p>	<p>模型倒塌但未變形</p>

表一資料來源：研究者整理。圖八、九、十、十一、十二、十三、十四、十五、十六、十七、十八、十九、二十、二十一、二十二、二十三資料來源：研究者拍攝。

(二) 實驗結果比較

表二：實驗結果比較表

	理論知識	理論耐震度 (排名)	實驗後是否 倒塌(方 向)	實驗後是否 變形(方 向)	實驗耐震 度(排 名)
口字型 縱向 6cm* 橫向 6cm	整體耐震度最佳，受力平均	最佳 (1)	否	否	最佳 (1)
三角形 6cm*6cm* 6cm	因結構不對稱，造成其穩定性較差	不佳 (2)	是 (x) (y)	是 (x) (y)	最差 (6)
T 字型 縱向 6cm* 橫向 8cm	若兩端長度過長，在交界處易受破壞	差 (3)	是 (y)	是 (y)	差 (3)
H 字型 縱向 6cm* 橫向 8cm	兩側翼易造成較大反應，建築扭轉可能性大	最差 (6)	是 (x)	是 (x) (y)	較差 (5)
冂字型 6cm*6cm 橫向 8cm	中央橫向結構與兩端連結處易造成裂痕	差 (3)	否	是 (x) (y)	不佳 (2)
十字型 縱向橫向 皆為 8cm	若兩端長度過長，在交界處易受破壞	差 (3)	是 (y)	是 (y)	差 (3)

表二資料來源：研究者整理

從結果可知，理論分析與實際實驗結果相似，按照適當比例製作出的建築模型之耐震力普遍和預測的數據相符，唯三角形建築模型的排名落差最大。

伍、研究結論與建議

一、結論

就防震建築層面而言，各種不同結構的建築工法皆非適用於所有類型的房屋，主要目標與功能也大不相同，建材的種類更是多到不勝其數，但主體大多為鋼筋及混凝土，運用不同比例的調配和灌注方式能產生許多優缺各異的防震建材。從實驗結果分析，口字型建築不論理論或實驗，確為耐震力最佳的平面形狀，其餘形狀結果也與理論相去不遠，其中三角形模型可能因高寬比整體較為細長，因此模型穩定性不佳，造成其排名的落差。

二、建議

建築防震可分為許多層面，不能從單一角度評判，一個面向的因素無法代表現實中整體建築的耐震力，且肉眼無法直接看見建築的內部結構，或各構材實際強度韌性與受力均勻程度等關鍵要素，因此挑選號稱耐震力較高的平面建築形狀與建材、結構固然重要，但更重要的，是確實地從此建築的各項許可、合格證書，與測試報告中確認每一項施工的完善，此外也不應隨易改建成屋，造成任一結構的破壞，才能真正落實防震建築的功效。

陸、參考文獻

- 交通部中央氣象局（2018年10月5日）。地震發生的原因為何？。<https://reurl.cc/NZgXx5>
- 世界衛生組織（2018年10月7日）。人道主義衛生行動：地震。技術性為害表－自然災害概述。<https://reurl.cc/6Eeg4y>
- 曾美綺（2016年5月26日）。彈性回彈理論。科學 online。<https://reurl.cc/Kpv61n>
- 翁駿德(2003)。談震色變－論建築結構之防震與展示。科技博物（7:1），26-34。
- 璞園建築團隊（2018年12月26日）。抗震宅其實也有分等級。
<https://www.pyct.com.tw/2018/12/抗震宅其實也有分等級/>
- 國家實驗研究院（無日期）。耐震、制震、隔震？一次搞懂建築耐震原理！。
<https://reurl.cc/bky6QX>
- 蔡東和、樓建中（1999）。耐震減震與隔震。土木技術（15），102-117。
- 編輯部（2011年4月11日）。何謂制震宅、隔震宅？。中時電子報。<https://reurl.cc/Epa771>
- 阮明坤（2005年6月）。高科技設備震害防治與無塵室樓板剛性補強研究。國立交通大學土木工程學系碩班：碩士論文。
- 盧煉元、鐘立來（1999）。國內外結構控制技術之進展。土木技術（14），81-95。
- 中華民國內政部營建署（2011年6月30日）。建築物耐震設計規範與解說。<https://reurl.cc/pWVdxr>
- 五十甲建築行銷團隊（2020年11月1日）。建築結構選擇題 RC、SC、SRC 你分清了嗎？。
<https://reurl.cc/l9YQO6>
- 魏明鍾(2002)。鋼結構（第二版）。武漢理工大學出版社。
- 內政部建築研究所(2004)。鋼骨鋼筋混凝土(SRC)構造設計教材。<https://reurl.cc/5GRvQy>
- 國家地震工程研究中心（2007年9月）。地震工程科普教材開發與九二一地震教育園區工程館落成。國家地震工程研究中心簡訊，63。<https://reurl.cc/l2pxZ9>
- 國立科學工藝博物館（2017）。建築平面形狀探討。<https://reurl.cc/MkgZ9X>
- 蔡榮根（2016年2月17日）。T 冂 LH 型建物耐震嗎？。蘋果日報。<https://reurl.cc/DZ7vYN>
- 李伯昱（2014年12月20日）。建築與防災（四）：我要耐震的房子！。泛科學 Pan Sci。
<https://reurl.cc/yQIZYE>
- 鐘立來（2017年9月29日）。2016 熊本地震 軟弱層之震害。台灣省土木技師公會技師報。
<https://reurl.cc/9OQE3O>