

# 中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高中組 地球科學科

第三名

040501

探討常見建物斜撐型式之最佳化抗震效應

學校名稱：國立瑞芳高級工業職業學校

作者： 高二 許官平 高二 謝亞璇 高二 洪峻歲	指導老師： 李銘哲 翁明郎
-----------------------------------	---------------------

關鍵詞：抗震、斜撐、建築物

# 摘要

臺灣是個地震頻繁的地方，爲了達到增強抗震能力許多建築物會加設斜撐，目前建物結構中有許多斜撐型式，在眼花撩亂的斜撐型式中何者具最好的抗震效果？而在這些斜撐型式中，也僅有基本的介紹，因此我們想透過實驗方式去探討各個斜撐型式的好壞，並建議出較佳的斜撐型式。

本研究目的在研究現代斜撐型式，透過數值與實驗模擬地震來臨時，建物搖晃時所產生的破壞，加了斜撐之後是否有改善的效果？並討論他們在實驗後各方面的特性差異並做比較，藉此歸納出不同斜撐之特性。根據實驗過程與研究數據，並以「安全性」、「經濟性」、「實用性」三點進行討論出最佳化抗震效應之斜撐型式，其結果在韌性較佳的構材與韌性較差的構材皆爲交叉型斜撐型式。

## 壹、研究動機

我在小時後經歷了九二一大地震，破壞照片如圖 1-1 所示，當時我在接近震央也就是南投地附近-台中，當時的情況還歷歷在目，停水停電又有餘震，使地我與父母只能睡在公園裡，看見公園裡有許多住戶因此不能回家，到了中學階段，並開始對建築物有了瞭解，在實習課有做木結構模型的實習課程，過程非常有趣，這時我就想把此種課程加點研究話題，在與老師與同學討論其可行性後，著手開始研究。

在台灣地震頻繁如圖 1-2 所示，諸如九二一大地震、海地大地震、唐山大地震.....等等的天災地變造成許多建築物倒塌，傷亡無數如下表 1-1，看到各個大地震的發生，我們又處在板塊上的島嶼，因此想以與我們生活中密不可分的建築物作為發想，抗震方式便是所要研究的方向，於是我們尋找網路上資料，發現建物減震方式有很多種，例如：加裝減震器或隔震器、剪力牆、斜撐，而我們選用「斜撐」來做抗震效應的探討主題。



圖 1-1 921 地震破壞情形

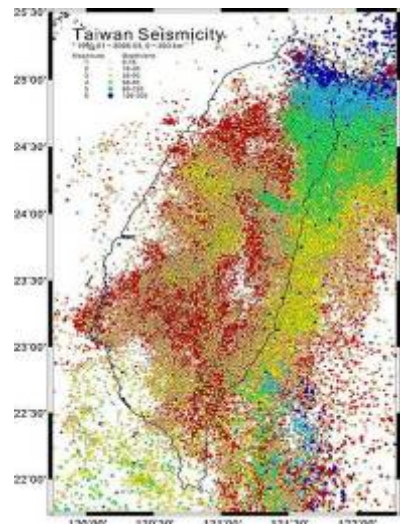


圖 1-2 台灣地震分佈

表 1-1 2004-2012 地震造成之災害

日期	震央	緯度	經度	震級	災害情形
2004 年 5 月 1 日	花蓮秀林	北 24.08	東 121.53	5.3	2 人死亡中橫公路落石
2006 年 4 月 1 日	台東卑南	北 22.88	東 121.08	6.2	14 棟房屋全毀
2006 年 12 月 26 日	恆春外海	北 21.69	東 120.56	7.0	2 人死亡 3 棟房屋全毀
2009 年 11 月 5 日	南投名間	北 23.79	東 120.72	6.2	1 人受傷
2009 年 12 月 19 日	磯崎外海	北 23.79	東 121.66	6.9	17 人受傷多棟房屋毀損
2010 年 3 月 4 日	高雄茂林	北 23.0	東 120.73	6.4	96 人受傷 54 萬戶停電
2012 年 2 月 26 日	屏東霧台	北 22.74	東 120.78	6.1	

備註：1999 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分 15.9 秒 震央：南投集集北緯 23.85 度、東經 120.82 度 芮氏規模 7.3

共持續 102 秒，造成 2,415 人死亡，29 人失蹤，11,305 人受傷，51,711 間房屋全倒，53,768 間房屋半倒。

## 貳、研究目的

本研究目的就是找出最佳的建物斜撐型式，希望利用小型實驗模擬來代替耗費較大的大型實體實驗，因此在多種斜撐型式中如圖 2-1 所示，我們開始進行一連串的资料收集、歸納分析跟實驗模擬，並探討其實用性、經濟性、安全性等要項，本研究目的架構如圖 2-3 所示。



圖 2-1 建物增設斜撐實際案例一

此外我們也將建築物模型材料分成兩種，一種為韌性較差的構材（簡稱 RC 類），來模擬韌性較差的建築材料，另一種為韌性較佳的構材（簡稱 SC 類），來模擬較韌性較佳的建築材料，藉此探討出材料對建物斜撐是否有不同的影響。



圖 2-2 建物增設斜撐實際案例二

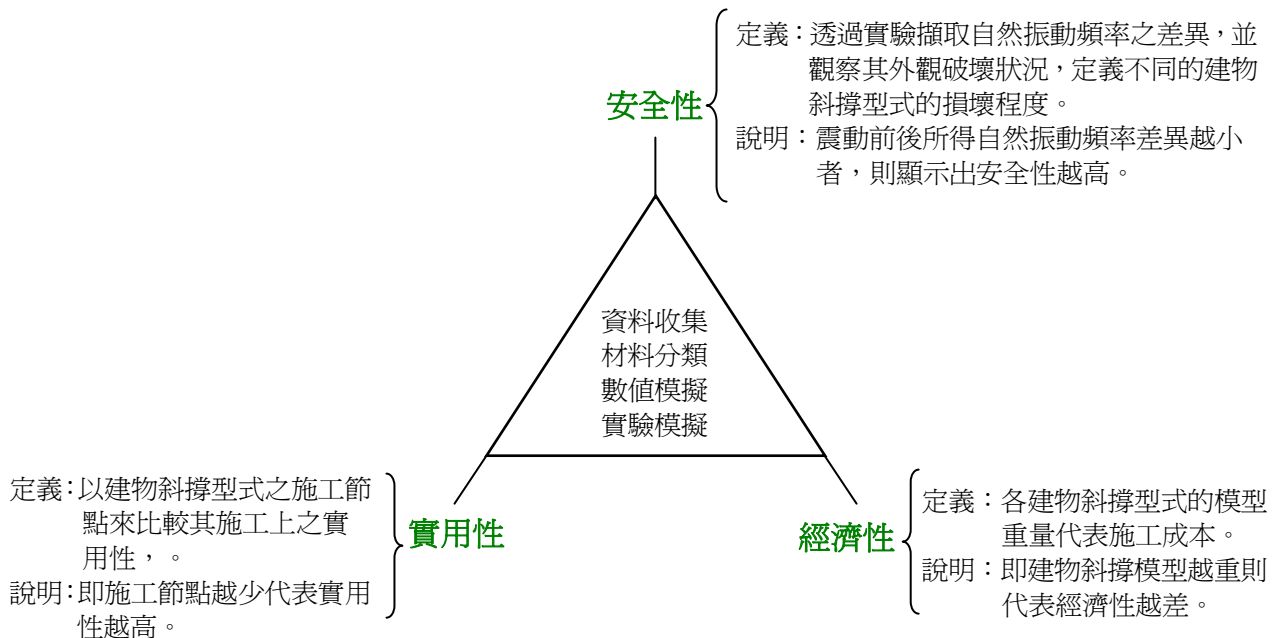








圖 2-3 研究架構圖

## 參、研究設備及器材

以下將本研究所使用的材料、儀器及工具設備整理如下：

### 一、使用材料：

項次	名稱	數量			
1	木板	30 塊			
2	木條	300 條			
3	熱熔膠條	10 根			
4	質量塊	75 塊			
5	泡綿膠	2 個			
6	透明膠帶	2 個			

### 二、使用儀器：

項次	名稱	數量		
1	模擬地震儀	1 台		
2	電子磅秤	1 台		
3	加速規監測設備	1 組		
4	碼錶	1 個		
5	無圍壓縮試驗儀	1 台		

### 三、使用工具：

項次	名稱	數量			
1	熱熔槍	3 把			
2	三角板(45 度與 60 度)	2 組			
3	鋸子	3 個			
4	電鑽	1 組			
5	5M 捲尺	1 個			
6	美工刀	2 把			
7	延長線	1 個			
8	螺絲起子	3 支			
9	墊子	3 個			

## 肆、研究過程或方法

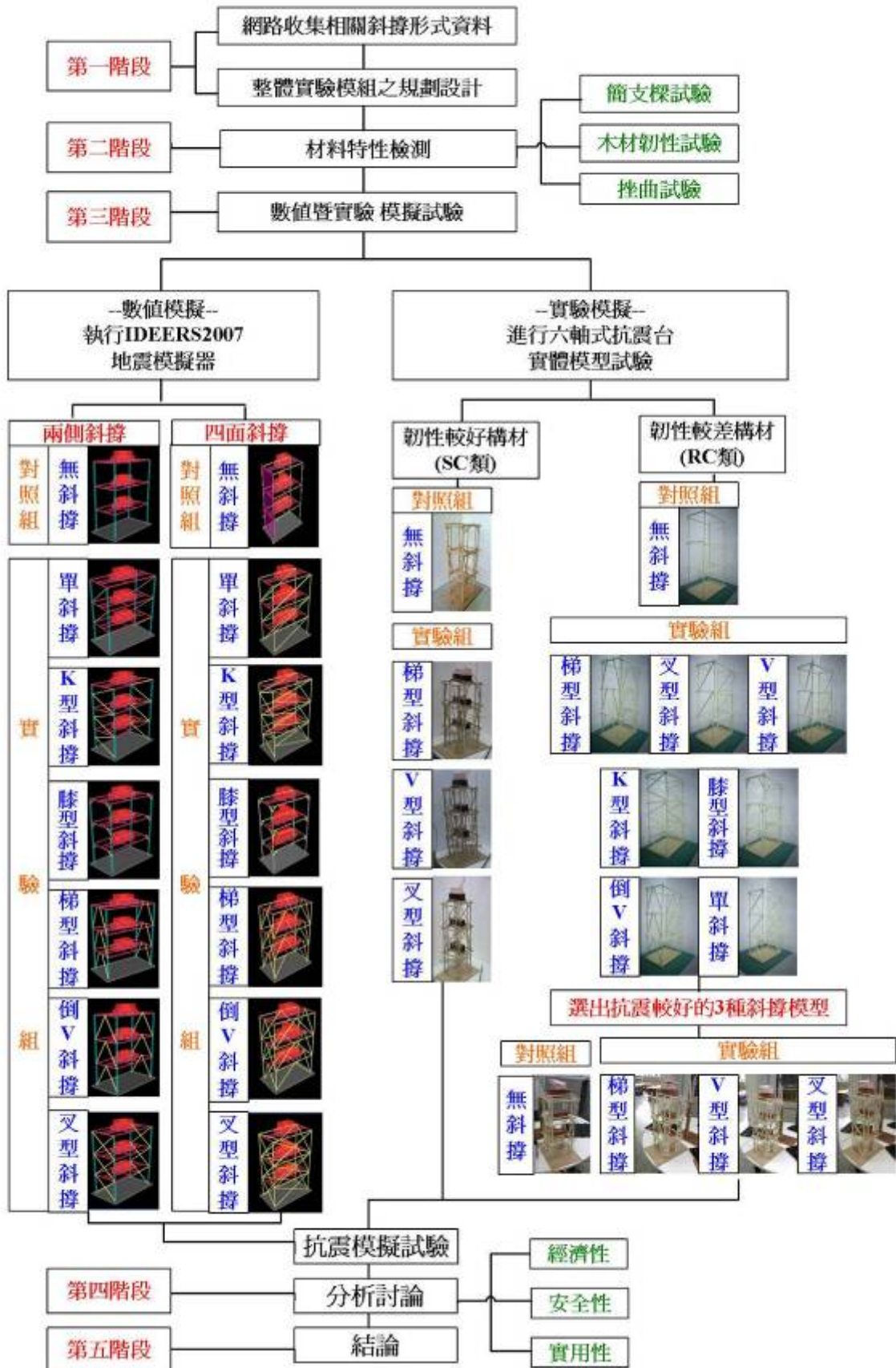


圖 4-1 本專題之整體架構流程圖

## 一、收集斜撐資料與分析

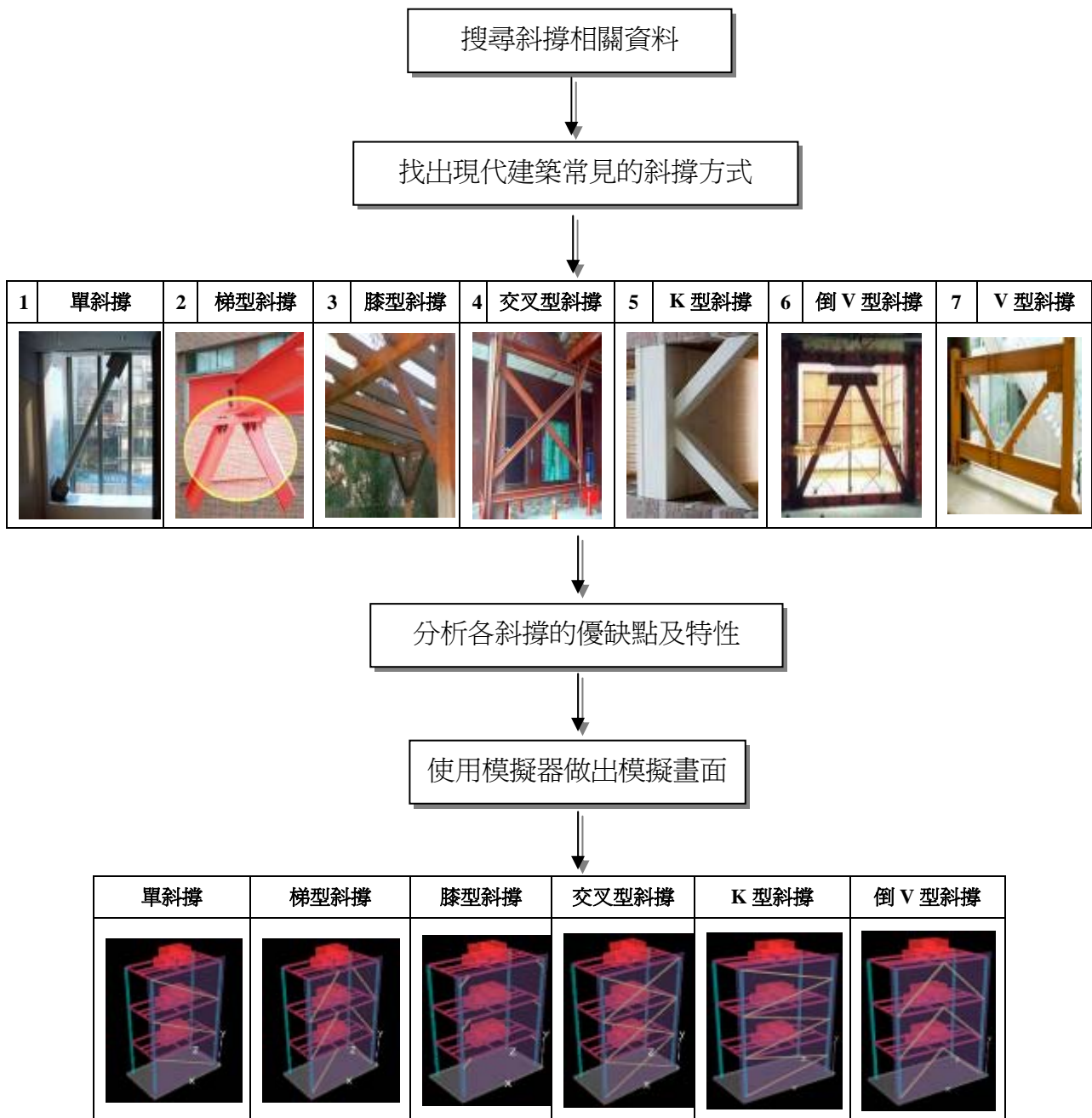
(一) 收集相關斜撐資料：本研究透過網路搜尋及實地調查找到七種常運用在建築上的斜撐型式，並整理 7 種斜撐的優缺點，同時也利用 IDEERS2007 地震模擬器建構出建物斜撐的模擬畫面。

■研究目的：探討現代常見斜撐優缺點。

■研究步驟：1、收集現代斜撐型式有：單斜、梯型、交叉、膝型、K 型、V 型、倒 V 型。

2、整理優缺點，得知斜撐之特性。

3、用地震模擬器做出模擬畫面，模擬出以後將會做到的模型樣式。



## 二、建物構材特性研究

本研究第二階段是要透過木條的「簡支樑試驗」、「挫曲試驗」、「韌性試驗」來定義出兩不同材料之力學特性(簡稱 RC 類及 SC 類)，各試驗的材料規格如表 4-1 所示，以下就三個試驗內容逐一說明如下：

表 4-1 材料特性檢測之材料規格

規格說明 試驗名稱	木條長度 (cm)		木條斷面積 (cm <sup>2</sup> )		
	RC 類	SC 類	RC 類	SC 類	
簡支樑 試驗	長樑	20	0.4	0.6	
	32				短樑
挫曲試驗	17				15
韌性試驗	15				

(一) **木條簡支樑試驗**：運用無圍式壓縮儀，在無圍式壓縮儀上加上自己的設計，使的原本只可以測量壓力，也可測量簡支樑受力情形。

■試驗目的：證明所使用的材料可分為：韌性較佳的 SC 類與韌性較差的 RC 類構材，簡支樑實驗為樑承受集中載重破壞的情形。

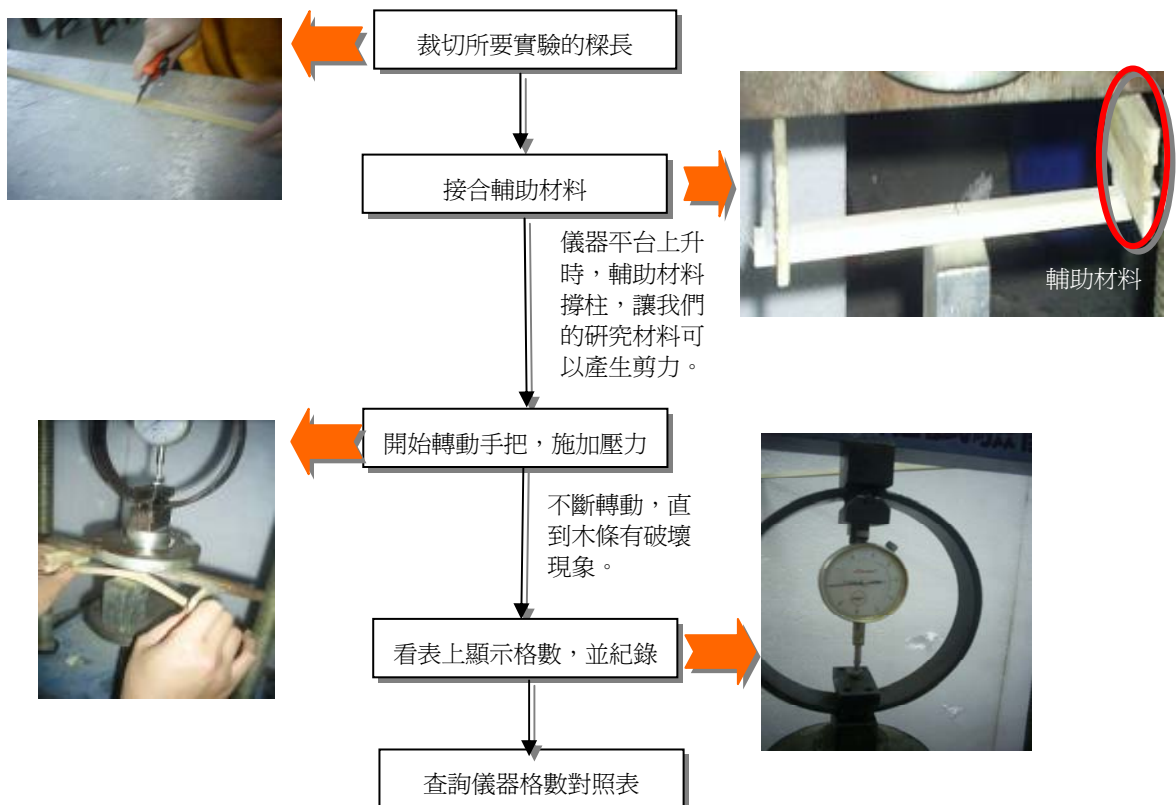
■試驗步驟：1、裁切 SC 類與 RC 類的樑長，如表 4-1。

2、接合輔助實驗材料，接合於兩端。

3、開始進行實驗，轉動手把。

4、壓力環上測微錶上會顯示格數，並紀錄格數。

5、進行換算儀器的壓力環格數之荷重值。

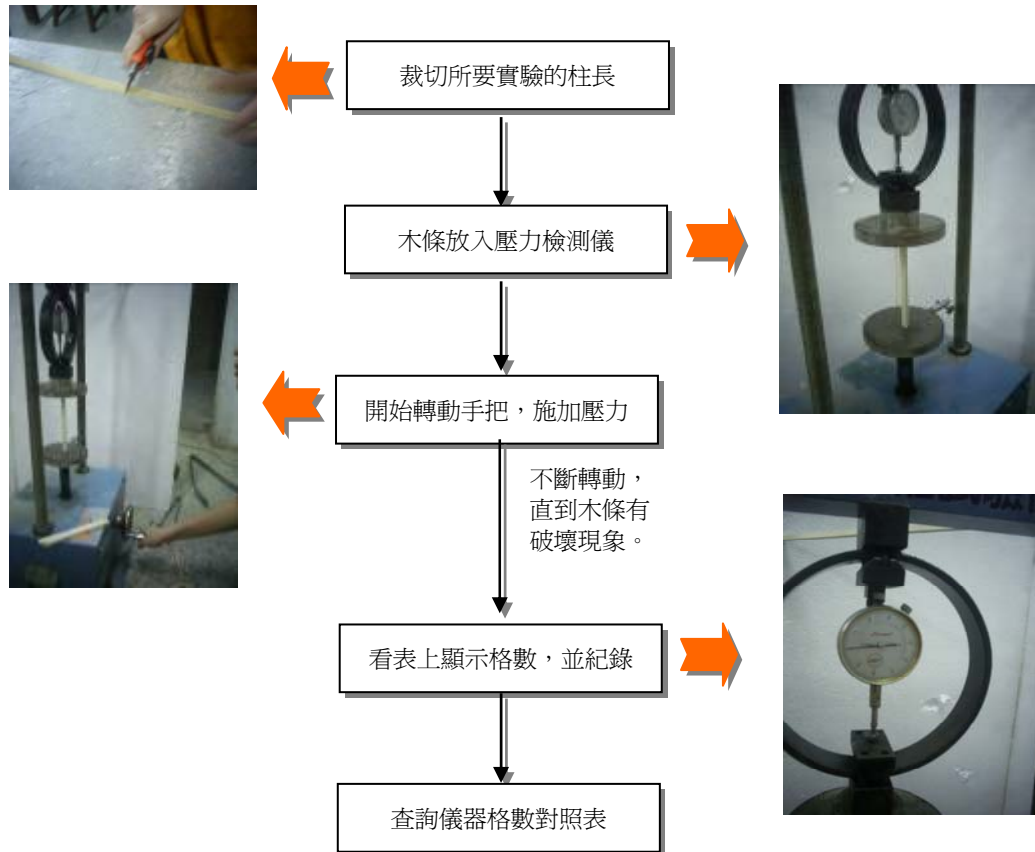




(二) **木條挫曲試驗**：運用無圍式壓縮儀，木條放在無圍式壓縮儀上，開始進行構材軸向壓力試驗，直到一定程度造成挫曲，之後數值便會降低了。

■試驗目的：證明所使用的材料可分為韌性較佳的 SC 類與韌性較差的 RC 類構材，挫曲試驗為柱承受均佈載重破壞的情形。

- 試驗步驟：
- 1、裁切 SC 與 RC 的柱長，如表 4-1。
  - 2、將材料軸向放在無圍式壓縮儀上，進行施壓的動作。
  - 3、壓力環上測微錶上會顯示格數，並紀錄格數。
  - 4、進行換算儀器的壓力環格數之荷重值。



(三) **木條韌性試驗**：利用彈簧秤與直尺，測量我們所施予的外力跟變位。

■試驗目的：證明我們所使用的材料可以分為 SC 類與 RC 類材料，而在韌性有區別。

- 試驗步驟：
- 1、裁切 SC 與 RC 的長與斷面積如表 4-1 所示。
  - 2、利用用彈簧秤給予外力數值。
  - 3、紀錄得知的拉力荷重數據。



圖 4-2 木條韌性試驗情形

實驗程序說明如下

步驟 1：用彈簧秤拉木條。

步驟 2：木條每 0.2 cm 的撓曲就記錄彈簧秤顯示的外力。

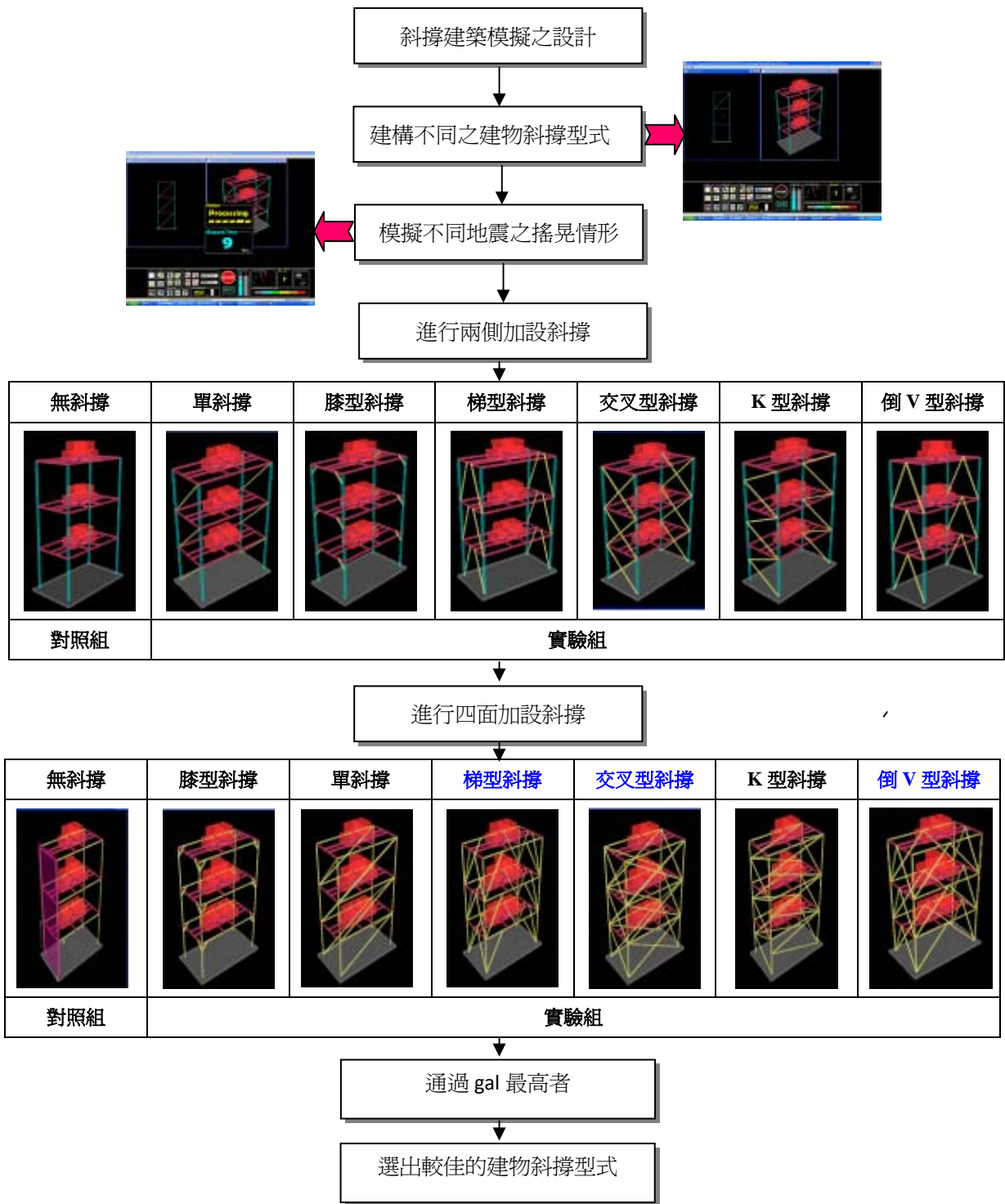
步驟 3：拉到木條斷裂為止。

### 三、數值模擬與實驗模擬

#### (一) 數值模擬 (執行 IDEERS2007 地震模擬器)

■研究目的：我們依照網路搜尋找到的七種斜撐方式，利用國家地震中心所提供的模擬器，進行結構物兩側面變化的斜撐搭配，在從這些結構物中找出抗震效益較佳者。

- 研究步驟：1、利用 IDEERS2007 地震模擬器建構七種建物斜撐型式。  
2、模擬器做出模擬模型並記錄抗震加速度 (gal) 數與材料使用量。  
3、篩選較好的斜撐型式進行實驗模擬比較。



(二) 實驗模擬-實體模型 (韌性較差構材之 RC 類『矩形』建物斜撐模型)

備註：本研究是為驗證數值模擬實驗之模型結果

■研究目的：利用六軸式震動台輸入的單方向正弦波進行搖晃，搖晃與我們實驗斜撐平行的方向，來進行模擬地震搖晃時對斜撐的破壞，每次破壞結束後都測試自然振動頻率，選出斜撐效益較佳。

- 研究步驟：1、規定模型長、寬、高，並裁切所需的長度。  
 2、先將每個模型做放樣並鑽孔，鑽出我們所需要的柱孔。  
 3、進行柱放樣再來是樑，最後黏上斜撐。  
 4、進行不同週期的模擬地震實驗。

備註：其中自然振動頻率之定義為一物體受外力後，在不施予外力情況下所產生的晃動頻率，例如：推盪鞦韆後，再不施予外力，當鞦韆所產生的晃動頻率，稱為自然振動頻率。






(三) 實驗模擬-實體模型 (韌性較佳構材之 SC 類『方形』建物斜撐模型)

■研究目的：探討現代常見斜撐中，何種抗震效果較佳。用 SC 類(韌性好的構材)建立模型，利用震動台擁有的地震強度 (EQ 值) 進行搖晃，模擬地震搖晃時對斜撐的破壞，每次破壞結束後都測試自然振動頻率，偵測是否有破壞。

- 研究步驟：1、規定模型長、寬、高，並裁切所需的長度。  
 2、先將每個模型做放樣並鑽孔，鑽出我們所需要的柱孔。  
 3、進行柱放樣再來是樑，最後黏上斜撐。  
 4、進行不同地震強度 (EQ) 的模擬地震實驗。

表 4-2 製作模型與模擬地震波模型流程

項目 順序	主旨	說明	圖表
Step 1	設計	斜撐建築之設計	
Step 2	切割	木板跟木條按照設計尺度 鑽孔與切割	
Step 3	材料 接合	1.先將模型進行柱的放樣及 黏著  2.進行模型樑之黏著	
Step 4		在來進行模型斜撐之黏著	

Step 6	模型 秤重	把每棟模型都秤重，這樣可以比較成本。								
Step 7	固定 模型	將模型固定於抗震台上，準備進行模擬地震波。								
Step 8	施加 載重 與 安裝 監測 儀器	1.把規定的每層質量塊數量固定在模型上。 2.把加速規固定在模型的最上層且居中的位置，把傳輸線架高以不會影響模型模擬地震波之準度。	 							
Step10	擷取 電子 訊號	用棉線綁住兩根柱子拉約 2 公分，按下加速規接收器的紀錄鍵，按紀錄後等紅燈一秒閃一下時，放開棉線，紀錄 20 秒後按停止。紀錄在 SD 卡中。(無震動前的自然振動頻率)								
Step11	模擬 搖晃 破壞	我們進行 5 次破壞，輸入數據如右表 4-3 所示，每次破壞後都必須量測自然振動頻率，以比較每次破壞後，模型勁度是否有降低的趨勢。	<table border="1" data-bbox="919 1122 1123 1469"> <thead> <tr> <th>地震強度(EQ 值)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> </tr> <tr> <td>3</td> </tr> <tr> <td>5</td> </tr> <tr> <td>7</td> </tr> <tr> <td>9</td> </tr> <tr> <td>9(震動較久)</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="1150 1128 1410 1211">表 4-3 抗震模擬地震波之控制參數</p>	地震強度(EQ 值)	0	3	5	7	9	9(震動較久)
地震強度(EQ 值)										
0										
3										
5										
7										
9										
9(震動較久)										
Step12	轉換 類比 訊號	1.記錄在 SD 卡中的資料，傳出並且用 DATAQ 軟體做頻率的分析，軟體中運用 FFT 快速傅立葉轉換成頻率。 2.轉換頻率後，比對出損壞程度。								

#### (四) 實驗模擬-實體模型 (韌性較差構材之 RC 類『方形』建物斜撐模型)

■研究目的：探討現代常見建物斜撐中，何種抗震效果為較佳。用 RC 類(韌性差構材)建立模型，利用震動台擁有的地震強度 (EQ 值) 進行搖晃，模擬地震搖晃時對斜撐的破壞，每次破壞結束後都測試自然振動頻率，偵測是否有破壞。

■研究步驟：1、規定模型長、寬、高，並裁切所需的長度。

2、先將每個模型做放樣並鑽孔，鑽出我們所需要的柱孔。

- 3、進行柱放樣再來是樑，最後黏上斜撐。
- 4、進行不同地震強度（EQ）的模擬地震實驗。

表 4-4 製作模型與模擬地震波模型流程

項目 順序	主旨	說明	圖表							
Step 1	設計	斜撐建築之設計								
Step 2	切割	木板跟木條按照設計尺度鑽孔與切割								
Step 3	材料 接合	1.先進行模型中柱的放樣及黏著 2.後進行模型中樑之黏著								
Step 4		在來進行模型斜撐之黏著								
Step 5	模型 秤重	把每棟模型都秤重，這樣可以比較成本。								
Step 6	固定 模型	將模型固定於抗震台上，準備進行模擬地震波。								
Step 7	施加 載重 與 安裝 監測 儀器	1.把規定的每層質量塊數量固定在模型上。 2.把加速規固定在模型的最上層且居中的位置，把傳輸線架高以不會影響模型模擬地震波之準度。								
Step 8	擷取 電子 訊號	用棉線綁住兩根柱子拉約 2 公分，按下加速規接收器的紀錄鍵，按紀錄後等紅燈一秒閃一下時，放開棉線，紀錄 20 秒後按停止。紀錄在 SD 卡中。（無震動前的自然振動頻率）								
Step 9	模擬 搖晃 破壞	我們進行 5 次破壞，輸入數據如右表 4-5 所示，每次破壞後都必須量測自然振動頻率，以比較每次破壞後，模型勁度是否有降低的趨勢。	<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <thead> <tr> <th>地震強度(EQ 值)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td></tr> <tr><td>3</td></tr> <tr><td>5</td></tr> <tr><td>7</td></tr> <tr><td>9</td></tr> <tr><td>9(震動較久)</td></tr> </tbody> </table> <span style="display: inline-block; vertical-align: middle; margin-left: 10px;">表 4-5 抗震 模擬地震波 之控制參數</span>	地震強度(EQ 值)	0	3	5	7	9	9(震動較久)
地震強度(EQ 值)										
0										
3										
5										
7										
9										
9(震動較久)										
Step10	轉換 類比 訊號	1.記錄在 SD 卡中的資料，傳出並且用 DATAQ 軟體做頻率的分析，軟體中運用 FFT 快速傅立葉轉換成頻率。 2.轉換頻率後，比對出損壞程度。								

## 伍、研究結果

### 一、收集斜撐資料與分析

經由我們上網查詢資料與實地調查結果，發現斜撐有七種型式，而我們將這七種型式找出其優缺點，利用軟體進行結構行為模擬，結果如下表 5-1 所示：

表 5-1 不同斜撐型式之優缺點暨數值模擬建構模型一覽表

編號	斜撐型式	建築範例	細部構造	優點	缺點	建構模型
						虛擬模型
1	單斜			單斜撐使力量分散增強建築物韌性。	不能支撐另一方向的外力。	
2	梯型			增加構架的水平支承力並減少側向位移	在施工上需較麻煩的工法。	
3	交叉			可用繩子或鋼線做補強，或者用木材或鋼材效果更好，但重量相對提高。	交叉型斜撐之交點，是施工易出現問題之部位；尤其是它的接合型式	
4	膝型			可利用牆面較多，重量也較輕。	補強效果並無大斜撐優異。	
5	K 型			可利用增加結構之側向勁度及能量消散減小側位移。而且能降低結構重量。	K 型屬不對稱之受力行為，在振動時容易產生建物的扭力破壞。	
6	V 型			兩支斜撐與一直通樑相接，當受壓斜撐挫曲後，另一側受拉斜撐之大部分拉力須由直通樑之剪力來平衡，因此樑之兩端應採用剛性接合，加大樑之勁度與強度以提高耐震性能。		
7	倒 V 型					

## 二、建物構材特性研究

本研究材料特性，目的是爲了可以驗證我們所使用的兩種木條，爲何可以模擬成「韌性較好的 SC 類」以及「韌性較差的 RC 類」，因此我們進行兩種木條的簡支樑與挫曲實驗，已得知第一種木條是否與「韌性較好的 RC 類」，有比「韌性較差的 SC 類」較強的勁度，第二種要討論是否比「韌性較差的 RC 類」有更好的韌性。

我們使用「無圍式壓縮試驗儀」測出壓力環所顯示的格數，並照表查出軸向力大小，軸向力越高代表強度越好，挫曲實驗可以算出應力，並用應力與軸向力找出兩材料的差別，並做了量化分析與質化分析。

### (一) 簡支樑試驗

1、**量化分析部分**：透過實驗結果如表 5-2 及圖 5-1 所示，可清楚得知韌性較差構材（RC 類）軸向力爲較大。

表 5-2 簡支樑試驗結果一覽表

實驗次數		1	2	3	平均
構材種類					
RC 類	短樑 軸向力 (kg)	6.343	6.343	4.758	5.815
	長樑 軸向力 (kg)	3.172	2.854	1.904	2.643
SC 類		3.172	3.172	3.965	3.436

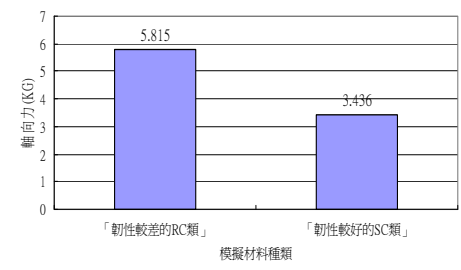




圖 5-1 不同構材與簡支樑軸向力之關係圖

2、**質化分析部分**：分析如下表 5-3 所示

表 5-3 兩材料觀察彎曲程度

「韌性較差的 RC 類」	「韌性較好的 SC 類」
	
此種木條大約在上圖所見得彎度時會瞬間斷裂。	上圖的此種木條彎度非常好，彎到上圖的程度也沒斷裂，斷裂時是緩慢的。

(二) 挫曲試驗

1、量化分析部分：透過圖 5-2 與圖 5-3 之實驗結果顯示，韌性較差構材（RC 類）軸向力為較大。

表 5-4 挫曲試驗結果一覽表

實驗次數 構材種類	1	2	3	平均
RC 類 軸向力 (kg)	60.178	57.015	55.434	57.542
SC 類 軸向力 (kg)	28.527	25.360	28.527	27.471

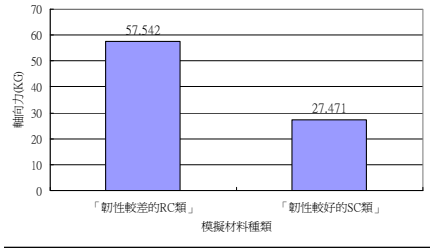


圖 5-2 不同構材與挫曲軸向力之關係圖

表 5-5 挫曲應力試驗結果一覽表

實驗次數 構材種類	1	2	3	平均
RC 類 應力 (kg/cm <sup>2</sup> )	200.6	190.1	184.8	191.8
SC 類 應力 (kg/cm <sup>2</sup> )	89.1	79.2	89.1	85.8

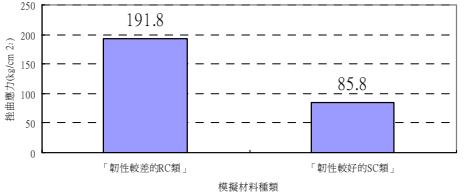


圖 5-3 不同構材與挫曲應力之關係圖

2、質化分析部分：以下就試驗過程所觀察的現象歸納以下兩點

- (1) 韌性較差構材（RC 類）：在施予外力時，到一定變形量出現瞬間斷裂。
- (2) 韌性較佳構材（SC 類）：則此構材為緩慢斷裂。

(三) 韌性試驗

1、量化分析部分：由圖 5-4 藍色曲線經由面積可以知道其吸收的能量比較大。

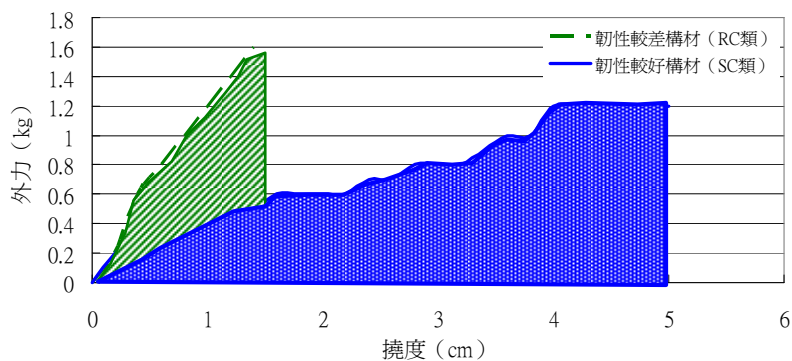


圖 5-4 外力與撓度之曲線趨勢圖

2、質化分析部分：以下就試驗過程所觀察的現象歸納以下兩點

- (1) 韌性較差構材（RC 類）：使用彈簧秤在拉時，可以很明顯感覺到需要施的力量非常大，而斷裂時也是產生瞬間斷裂。
- (2) 韌性較佳構材（SC 類）：而此構材拉到已有明顯彎曲後，仍然沒有產生斷裂，斷裂時則緩慢的斷裂。



三、**數值模擬**：本研究是採用國研院之國家地震中心所研發之 IDEERS2007 地震模擬器地進行一系列之建物斜撐型式測試，以下就建物模型「**兩側加設斜撐**」與「**四面加設斜撐**」進行數值模擬的結果說明如下(如表 5-6~5-7 所示)：

表 5-6 IDEERS2007 地震模擬器中，兩側加設斜撐之試驗結果一覽表

斜撐型式 項目	對照組	實驗組					
	基本型	單斜撐	梯型	交叉型	膝型	K 型	倒 V 型
材料使用量 (%)	70	76	78	81	72	79	79
NG 之加速度(gal)	400	400	400	400	250	400	400

加設兩側建物斜撐會發現都不通過 400(gal)，如表 5-6，因此兩側斜撐無法得知其結果，因此我們加了四面斜撐來測試。

表 5-7 IDEERS2007 地震模擬器中，四面加設斜撐之試驗結果一覽表

斜撐型式 項目	對照組	實驗組					
	基本型	單斜撐	梯型	交叉型	膝型	K 型	倒 V 型
材料使用量 (%)	48	62	65	75	52	72	67
NG 之加速度(gal)	250	500	700	800	250	400	800

當建物四面加設斜撐後有了明顯的變化，由表 5-7 可以知道通過地震波加速度(gal)最高者為「**梯型**」、「**交叉型**」、「**倒 V 型**」。

四、**實驗模擬**：本研究是利用「六軸式電動平台」配合「加速規監測儀」與「訊號擷取器」，透過「DATAQ 後處理程式」轉化為**自然振動頻率**，利用其差值作為建物斜撐型式的損壞程度判定依據。

(一) 矩形建物斜撐型式：由於前一階段數值模擬出六種斜撐型式，為探究其正確性，因此進行第一階段實驗模擬，採用韌性較差構材之 RC 類建構「矩形建物斜撐型式」，表 5-8 與表 5-9 為試驗規格與試驗結果，以下就內容說明如下：

表 5-8 模型各個構件長度資料

型式	項目	柱長 (cm)	模型周長 (cm)	各樓層高 (cm)	樑長(cm)		斜撐長 (cm)	重量 (g)
					短樑	長樑		
對照組	基本模型	55	100	17	22	32	0	459.2
實驗組	單斜撐						26.0	500.1
	梯型斜撐						17.5	522.7
	膝型斜撐						8.6	508.2
	叉型斜撐						26.0	545.7
	K 型斜撐						19.0	518.4
	倒 V 型斜撐						19.5	517.3
	V 型斜撐						19.5	527.8

表 5-9 各建物斜撐模型不同實驗階段之自然振動頻率

名稱 實驗階段	對照組	實驗組						
	基本型	梯型	倒 V 型	單斜撐型	交叉型	K 型	膝型	V 型
1	1.17	7.03	7.62	7.03	8.79	7.03	3.52	6.74
2	0.88	6.74	7.62	7.03	8.79	7.03	3.52	6.74
3	0.88	6.74	7.6	6.74	8.79	7.03	0(倒塌)	6.74
4	0.88	6.74	4.1	6.45	8.79	6.45	0(倒塌)	6.74
5	0.88	6.45	0(倒塌)	2.93	8.79	2.93	0(倒塌)	6.74

由上表 5-9 選擇第一階段值較高者比較損壞程度為：梯型、倒 V 型、單斜撐型、交叉型、K 型、V 型

表 5-10 各模型施予不同地震波之損壞程度

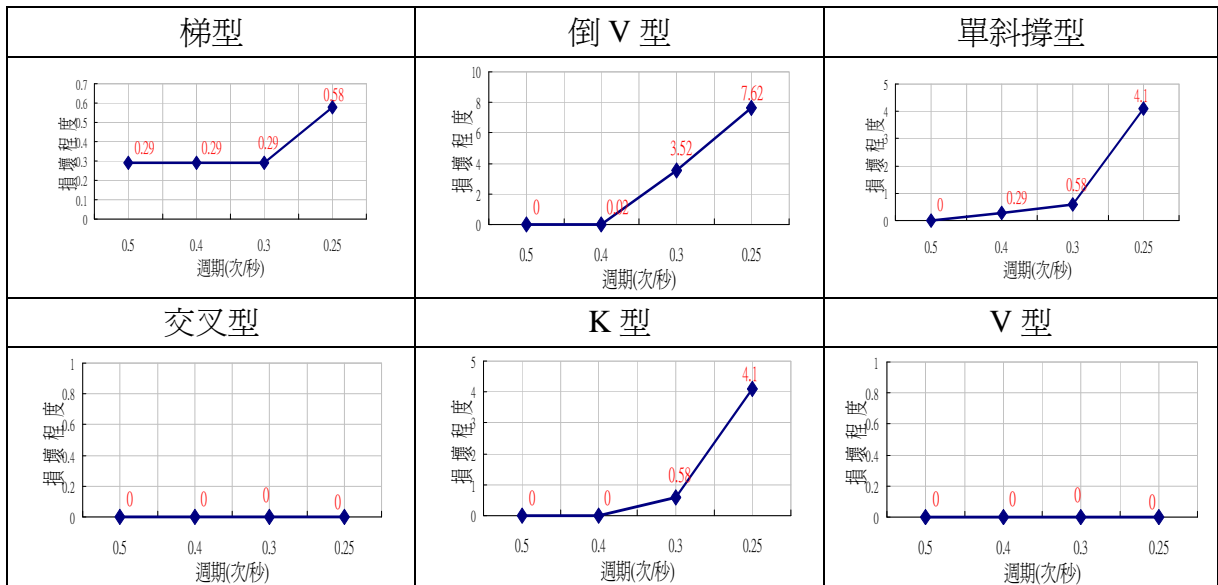


表 5-10 可以看到倒 V 型、K 型、單斜撐型的趨勢變化非常明顯，也就代表損壞程度越嚴重。

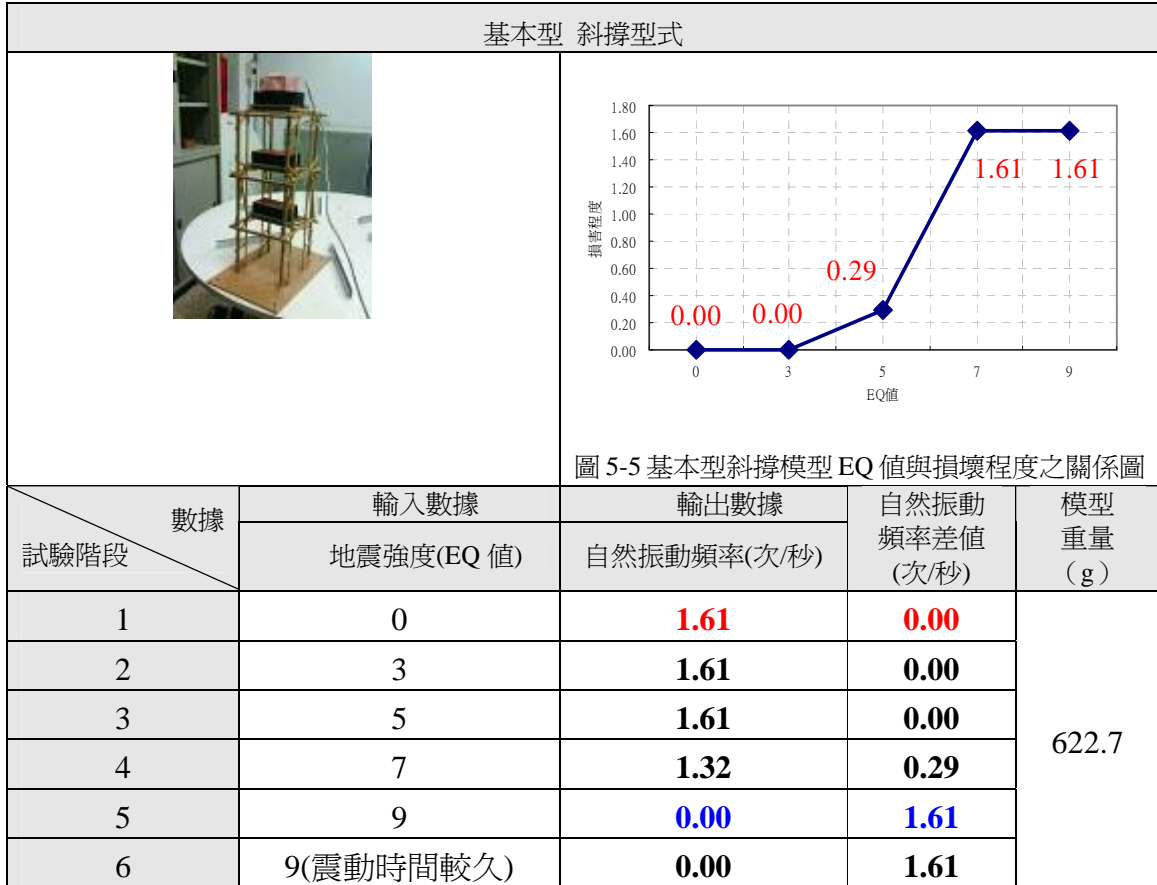
(二)、方形建物斜撐型式：由於實驗模擬的第一階段矩形模型所得的試驗結果顯示出，三種斜撐型式具有較佳之抗震效應，因此為深入探討韌性較佳與韌性較差之構材對於抗震效應是否有影響，故進行第二階段之「方形建物斜撐型式」實驗模擬，本單元之試驗是採用韌性較好之構材建構模型，以下就試驗規格及結果說明如下：

1、韌性較佳構材 (SC 類)：以下就三種較佳斜撐型式的模型規格與試驗結果說明如下：

表 5-11 材料各構件長度資料

型式	項目	柱長 (cm)	模型周長 (cm)	各樓層高 (cm)	樑長 (cm)		斜撐長 (cm)
					短樑	長樑	
對照組	基本型	48	100	17	20	20	0.0
實驗組	梯型斜撐						16.0
	叉型斜撐						22.5
	V 型斜撐						18.0

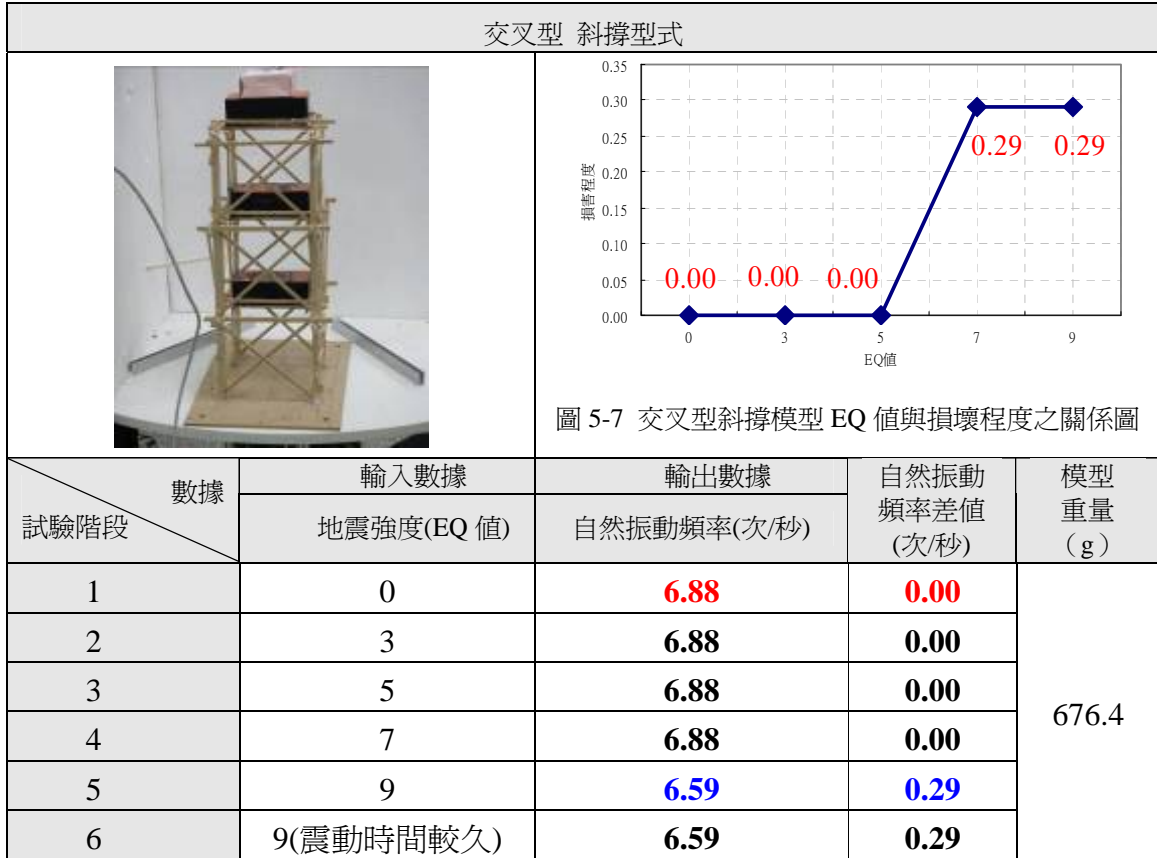
(1) 基本型斜撐型式--韌性較佳構材 (SC 類)



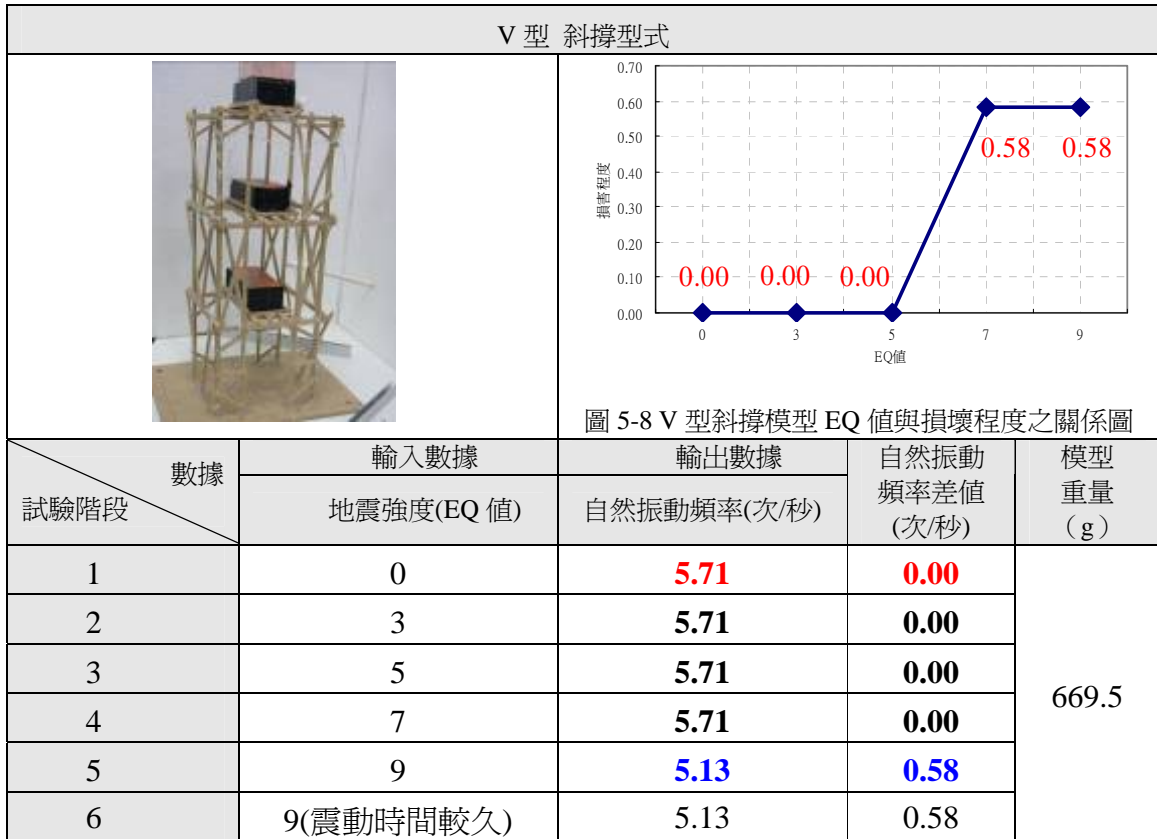
(2) 梯型斜撐型式--韌性較佳構材 (SC 類)



(3) 交叉型斜撐型式--韌性較佳構材 (SC 類)



(4) V 型斜撐型式--韌性較佳構材 (SC 類)



綜合上述試驗結果，將韌性較佳之 SC 類斜撐型式與損壞程度作一關係圖，如圖 5-9 所示，V 型模型損壞程度為 0.58，交叉型模型損壞程度為 0.29，梯型模型的損壞程度為 0.30，因損壞程度越高代表受到傷害程度越高，交叉型模型與梯型為損壞程度最低者，故兩者抗震效果都不錯。

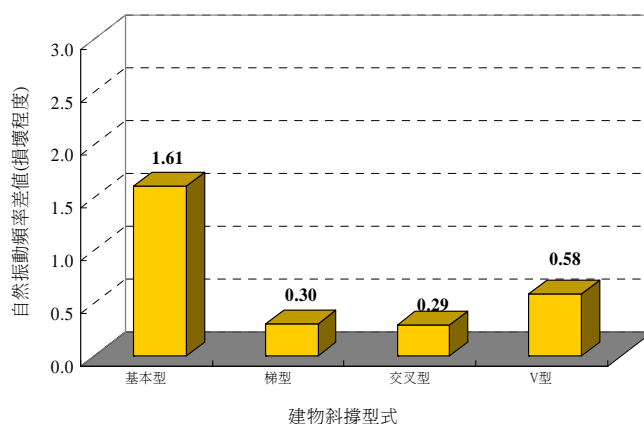


圖 5-9 SC 類構材斜撐種類與損壞程度之關係圖

1、韌性較差構材 (RC 類)：以下就三種較佳斜撐型式的模型規格與試驗結果說明如下：

表 5-12 材料各構件長度資料

型式	項目	柱長 (cm)	模型周長 (cm)	各樓層高 (cm)	樑長(cm)		斜撐長 (cm)
					短樑	長樑	
對照組	基本型	48	100	17	20	20	0.0
實驗組	梯型斜撐						16.0
	叉型斜撐						22.5
	V 型斜撐						18.0

(1) 基本型斜撐型式--韌性較差構材 (RC 類)

基本型 斜撐型式					
試驗階段		輸入數據		輸出數據	模型重量 (g)
		地震強度(EQ 值)	自然振動頻率(次/秒)	自然振動頻率差值 (次/秒)	
1	0	1.20	0.00	543.9	
2	3	1.20	0.00		
3	5	1.20	0.00		
4	7	0.00 (建物模型已倒塌)	1.20		
5	9	0.00 (建物模型已倒塌)	1.20		

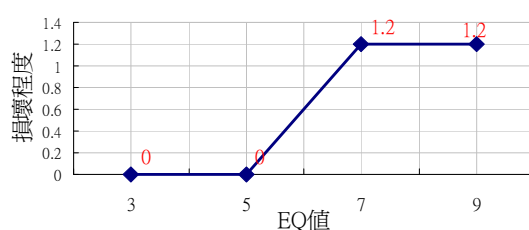
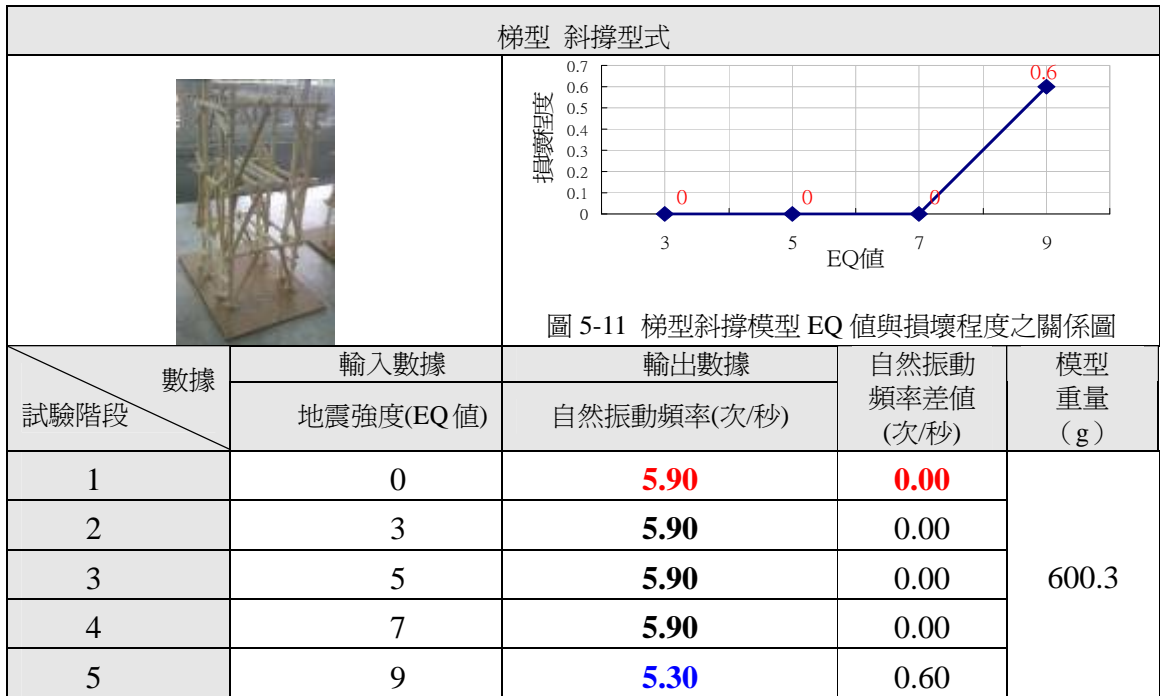
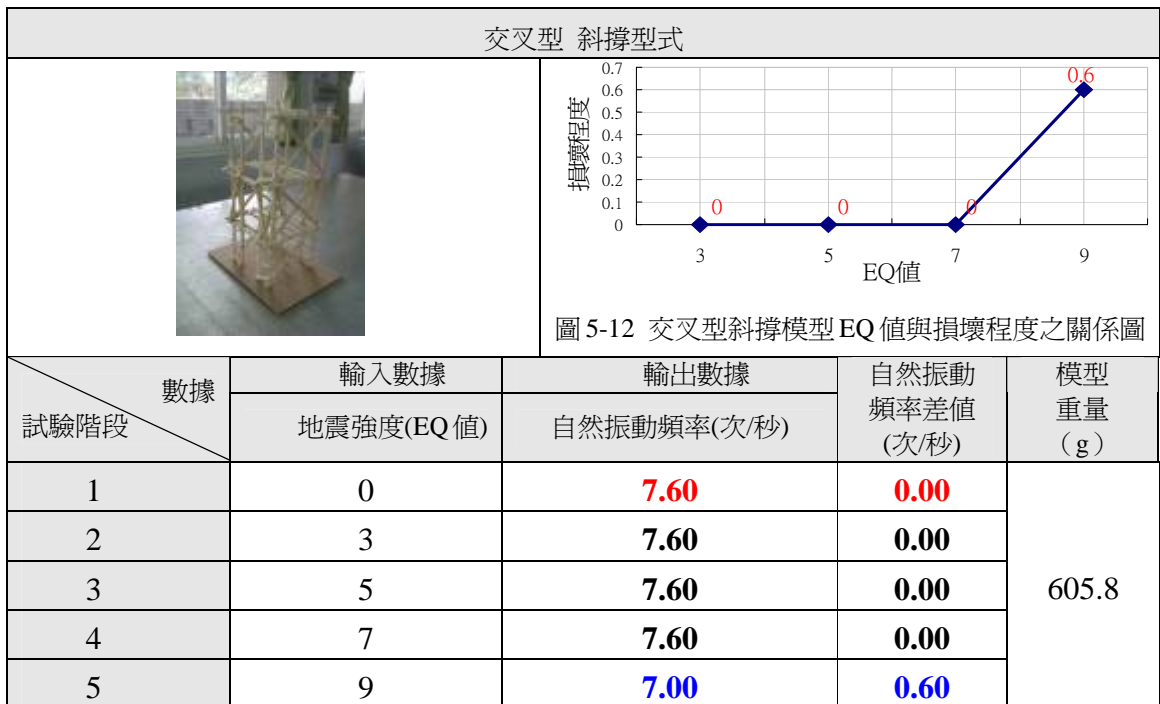


圖 5-10 基本型斜撐模型 EQ 值與損壞程度之關係圖

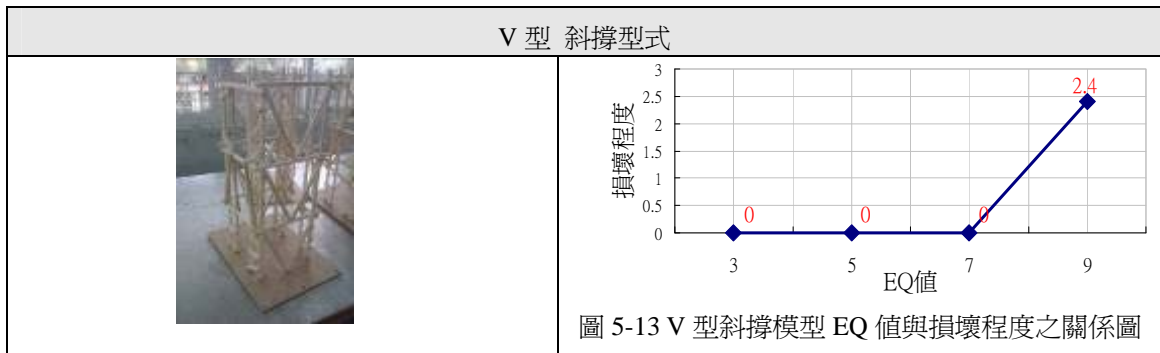
(2) 梯型斜撐型式--韌性較差構材 (RC 類)



(3) 交叉型斜撐型式--韌性較差構材 (RC 類)



(4) V 型斜撐型式--韌性較差構材 (RC 類)



試驗階段 \ 數據	輸入數據	輸出數據	自然振動 頻率差值 (次/秒)	模型 重量 (g)
	地震強度(EQ 值)	自然振動頻率(次/秒)		
1	0	<b>5.90</b>	<b>0.00</b>	602.8
2	3	<b>5.90</b>	<b>0.00</b>	
3	5	<b>5.90</b>	<b>0.00</b>	
4	7	<b>5.90</b>	<b>0.00</b>	
5	9	<b>3.50</b>	<b>2.40</b>	

綜合上述試驗結果，將其斜撐型式與損壞程度作一關係圖，如圖 5-14 所示，可發現損壞程度越高代表受到傷害程度越高，交叉型模型與梯型為損壞程度最低者，兩者抗震效果都不錯。圖 5-14 中，V 型建物模型的損壞程度比基本型的高，但基本型的初始自然振動頻率就比 V 型來的低，基本型初始值為 1.2(次/秒)，而損壞程度也是 1.2(次/秒)，代表模型已經完全破壞；V 型起始值為 5.9(次/秒)，而損壞程度為 2.4(次/秒)，建物仍未倒塌，只有在外表有明顯破壞，所以自然振動頻率會下降較多。

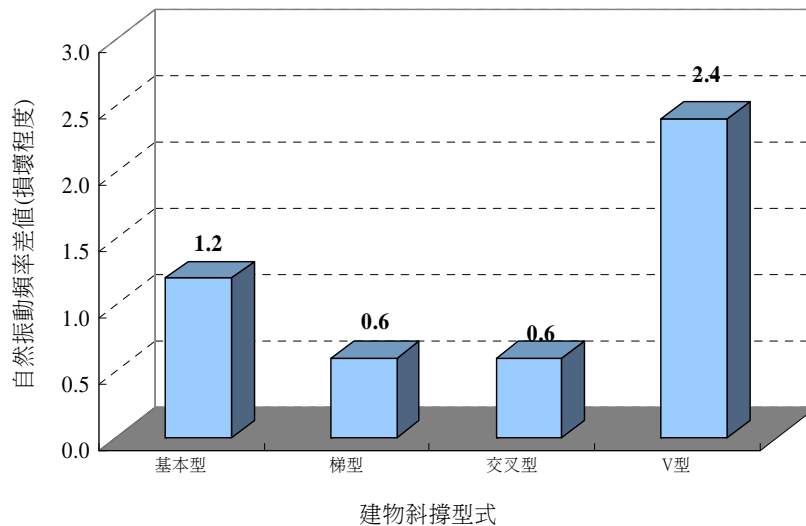


圖 5-14 RC 類構材斜撐種類與損壞程度之關係圖

## 陸、討論

### 一、建物構材特性研究

如表 6-1 之試驗結果顯示，韌性較佳構材（SC 類）與韌性較差構材（RC 類）於簡支樑試驗中的軸向力差值達到 69.2%，挫曲試驗則高達 109.5%，韌性試驗中之曲線趨勢圖所涵蓋之面積更可清楚得知，如圖 6-1 所示，兩種構材的韌性有明顯差異，更佐證本研究之分類方式。

此外經從書上搜尋，韌性較差構材（RC 類）為進口的木材，稱之為美松或美杉，屬針葉樹，木理通直，且其性質接近，強度較大，力學行為較接近脆性材料；而韌性較佳構材（SC 類）為紙漿壓密而成的木條，組織較為均質，但強度較低，力學行為較接近韌性材料。

表 6-1 材料特性試驗之數據

構材 試驗	韌性較差構材(RC 類) 軸向力	韌性較佳構材(SC 類) 軸向力	軸向力差值 百分率
簡支樑	5.815 (kg)	3.436 (kg)	<b>69.2%</b>
挫曲	57.542 (kg)	27.471 (kg)	<b>109.5%</b>
韌性			

圖 6-1 外力與撓度之曲線趨勢圖

### 二、數值模擬 階段探討

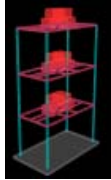
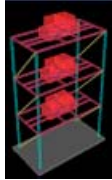
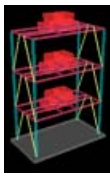
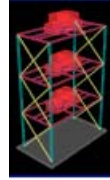
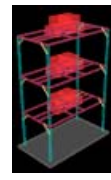
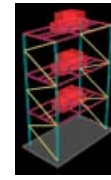
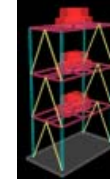
#### (一) 由兩側與四面加設斜撐，探討其試驗結果之差異性

##### 1. 兩側加設斜撐之建物模型

在兩側面加設斜撐型式並沒辦法清楚判別哪種斜撐型式抗震效應較佳如表 6-2 所示，其原因為結構受力行為屬不對稱型式，於承受外力搖晃時，將產生極大的扭力破壞，故無法在不同斜撐型式下區分出抗震效應的差異。



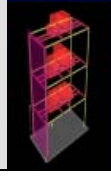
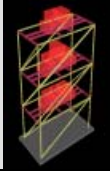
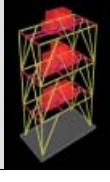

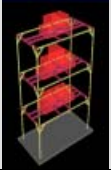
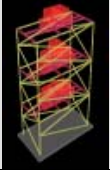
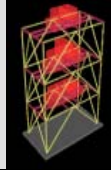
表 6-2 IDEERS2007 地震模擬器兩側加設斜撐之試驗結果一覽表

斜撐型式 項目	對照組	實驗組					
	基本型	單斜撐	梯型	交叉型	膝型	K 型	倒 V 型
地震模擬器 建構模型							
材料使用量 (%)	70	76	78	81	72	79	79
NG 之加速度(gal)	400	400	400	400	250	400	400

2、四面加設斜撐之建物模型

當將建物模型四面加設斜撐後，因為結構受力行爲具有對稱性，故能透過不同的斜撐型式產生減震效應之差異，由表 6-3 所示，其中由梯型斜撐、交叉型斜撐與倒 V 型斜撐爲抗震效應較佳的斜撐型式。

表 6-3 IDEERS2007 地震模擬器四面加設斜撐之試驗結果一覽表

斜撐型式 項目	對照組	實驗組					
	基本型	單斜撐	梯型	交叉型	膝型	K 型	倒 V 型
地震模擬器 建構模型							
材料使用量 (%)	48	62	65	75	52	72	67
NG 之加速度(gal)	250	500	700	800	250	400	800

(二) 由不同之建物斜撐模型，探討構件損壞程度差異

利用 IDEERS2007 地震模擬器所建構的模型，並使用 800gal 的加速度地震波試驗結果，將其顯示破壞點呈現如圖 6-2 與圖 6-3 所示，損壞的嚴重性卻相差甚多，紅色代表損壞越嚴重，所以梯型建物斜撐較交叉型的損壞程度高。

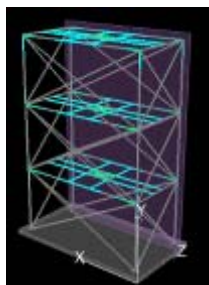


圖 6-2 交叉型試驗結果

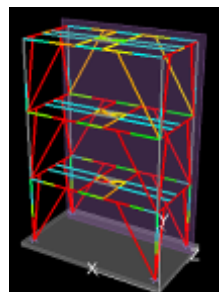


圖 6-3 梯型 試驗結果



低-----損壞程度-----高

說明：建物模型受到地震波搖晃後所顯示各構件的損壞程度。

### 三、實驗模擬 階段探討

#### (一) 由不同之建物斜撐模型，探討構件損壞程度差異

無論從韌性較差構材 (RC 類) 或韌性較好構材 (SC 類) 都只有 V 型建物斜撐擁有外表上的損壞，而其他模型在外觀卻沒有損傷，但我們可以以自然振動頻率來測定模型的損壞程度。

##### 1、韌性較差構材 (RC 類)：



圖 6-4 V 型建物斜撐圖



圖 6-5 交叉型建物斜撐圖



圖 6-6 梯型建物斜撐圖

##### 2、韌性較好構材 (SC 類)：



圖 6-7 V 型建物斜撐圖



圖 6-8 交叉型建物斜撐圖



圖 6-9 梯型建物斜撐圖

#### (二) 由不同之建物斜撐模型，探討自然振動頻率損壞程度差異

由圖 6-10 與 6-11 得自然振動頻率差值，發現 V 型建物斜撐型式在破壞點明顯得產生後，自然振動頻率也有明顯的衰減，差值也就越大，無論在 RC 類或 SC 類都為此變化，利用自然振動頻率的差值來討論沒破壞的交叉型建物斜撐跟梯型建物斜撐，由下圖也可以看到其交叉型為損壞程度最低的。

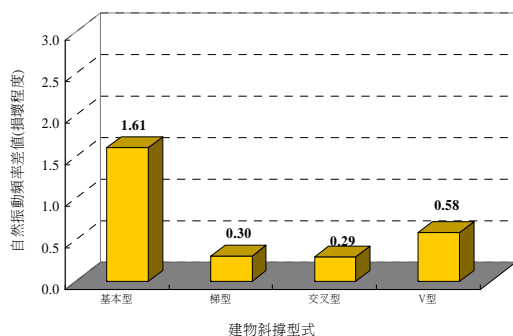


圖 6-10 SC 類斜撐種類與損壞程度之關係圖

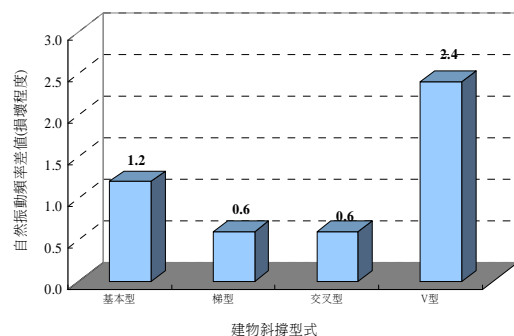


圖 6-11 RC 類斜撐種類與損壞程度之關係圖

## 柒、結論

經過本研究之結果分析，歸納出以安全性、經濟性、實用性作為斜撐型式的抗震效應之論點，以下就各要項的結論作一說明：

### 一、安全性

以自然振動頻率之差值作為建物斜撐型式之安全性為判斷依據，由圖 7-1 顯示出，「交叉型」與「梯型」皆具有較佳的抗震效應。其中韌性較差構材之 RC 類可達到 50% 之減震效益；而韌性較佳之 SC 類則可達到 44% 之減震效益。

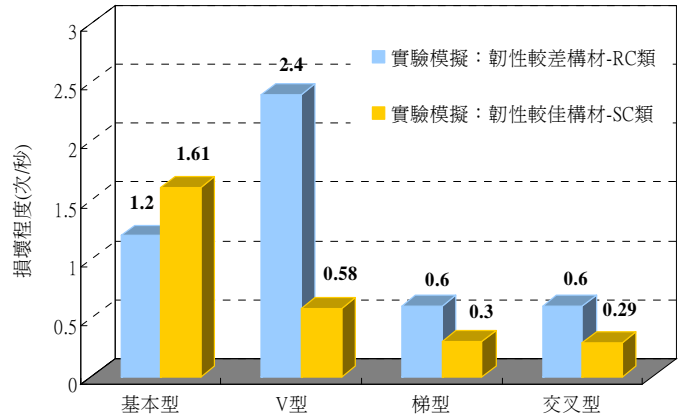
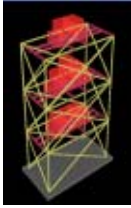


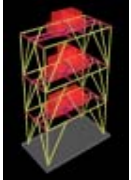






圖 7-1 不同類型構材之建物斜撐型式與損壞程度的關係圖

### 二、經濟性

各建物斜撐型式的模型重量代表施工成本，即建物斜撐模型越重則代表經濟性越差。透過數值模擬與實驗模擬比較結果，如表 7-1 所示，皆顯示「梯型」斜撐型式具有較佳之經濟性。

表 7-1 數值模擬與實驗模擬之經濟性重量比對一覽表

數值模擬之重量參數 ( $\frac{\text{材料使用量}}{\text{軟體材料使用上限}} \times 100$ )			實體模型重量 (g)					
		75%	韌性較差構材 (RC 類)			韌性較好構材 (SC 類)		
			交叉模型		605.8	交叉模型		676.4
		與梯型比較增加 15%		與梯型比較增加 0.92%				
梯型模型		65%	梯型模型		600.3	梯型模型		659.4
V 型模型	因地震模擬器缺點所以無法模擬	67%	V 型模型		602.8	V 型模型		669.5
		與梯型比較增加 2%		與梯型比較增加 0.41%			與梯型比較增加 1.53%	

### 三、實用性

我們以施工難易度來判別實用性的高低，施工難易度是指斜撐型式的施工節點數作為判斷依據。由表 7-2 所示，V 型模型、交叉模型、梯型分別所需要節點有三個、四個、四個，節點越多代表施工時就會越複雜，相對成本提高。以實用性論點而言為 V 型最好，施工簡化程度提升 33%。

表 7-2 各斜撐型式之施工節點數

斜撐型式	梯型斜撐		交叉型斜撐		V 型斜撐
施工節點數	4 個	與 V 型 比較增加 33%	4 個	與 V 型 比較增加 33%	3 個

### 四、總結

- (一) 由於建物結構是維繫人類生命財產安全之重要堡壘，經此三點討論結果，仍須以「**安全性**」為主要考量，尤其「**經濟性**」與「**實用性**」的條件在差距不大時，故綜觀 RC 類與 SC 類材料相關「**數值模擬**」與「**實驗模擬**」的實驗結果中得知，本研究之最佳化抗震斜撐型式隸屬**交叉型斜撐型式**。
- (二) 整體實驗結果顯示，建物結構補強方式對稱性越高，能夠達到較佳之抗震效應；此外斜撐桿件如能直接透過適當連結方式，則可減低樑柱受到地震所造成的能量衝擊，也就可以使建物達到較佳之減震程度。
- (三) 本研究屬高度微感測之實驗，透過加速規監測儀與六軸式電動平台，其相關擷取之數據準確與否攸關於儀器的靈敏度，故難免有些結果成無法與對照組具有等值效應，但就本實驗一系列的**建構模組**與**結果驗證**是確信可透過此研究方式應可與大型之實體模型試驗相互比較，進而代替之，更期能透過此方式建議不同建築結構之減震方式。

## 捌、參考資料及其他

- 一、呂良正，微震良策於劍利建築物基本週期經驗公式及進行耐震評估之應用，博士論文，國立台灣大學土木工程學研究所
- 二、DATAQ 加速規，[MapandDirections](#)：DATAQInstruments,Inc，founded in1984，取自：  
<http://www.dataq.com/>
- 三、張智開/高志豪/張閔淳，民 97，耐震結構元件斜撐介紹，IDEERSS，取自：  
<http://ws1.ncree.org/Ideers2008Edu/earthquakeeng/bracing.htm>
- 四、伍勝民，民國 91 年 5 月 30 日，側向支撐（Lateral Bracing），鋼骨結構桿件接合設計。  
取自：[http://www.cyut.edu.tw/~swu/new\\_page\\_2-3.htm](http://www.cyut.edu.tw/~swu/new_page_2-3.htm)
- 五、IDEERS2007 抗震盃 2007 年 6 月 21 號，高中組專用模擬軟體，取自：  
<http://www.ncree.org/ideers/2007/Software.htm>
- 六、黃文宏，民國 92 年 6 月，微震量測技術應用於 RC 結構物頻率量測之研究，取自：  
中華大學碩士論文
- 七、李錫霖，民國 96 年，我國房屋建築結構耐震能力初步評估自主檢查作業，取自：  
中華大學土木系
- 八、陳耀如、洪國珍、劉叔松，工程材料 II，二版，台北市，旭營文化，32 頁，民 92 年
- 九、呂守陞、鄭慶武、侯惠仁，工程概論 I，一版，台北縣，弘揚圖書，34 頁、76 頁，民 99 年
- 十、陳宏州，工程力學 II，二版，台北市，矩陣，384 頁、293 頁、446 頁、481 頁，民 92 年
- 十一、游鎮烽，基礎地球科學（上），一版，新北市，泰宇出版社，130 頁，民 101 年
- 十二、 圖片來源  
倒 V 型斜撐 <http://ws1.ncree.org/Ideers2008Edu/earthquakeeng/material/vbracepic2.jpg>  
交叉斜撐 <http://ws1.ncree.org/Ideers2008Edu/earthquakeeng/material/bracing2.jpg>  
梯型斜撐  
<http://news.pchome.com.tw/magazine/li/myhouse/4232/1301932800330970550051.jpg>  
膝形斜撐 <http://ws1.ncree.org/Ideers2008Edu/earthquakeeng/material/bracing3.jpg>  
K 型斜撐 <http://ws1.ncree.org/Ideers2008Edu/earthquakeeng/material/K-Bracing-lge.jpg>  
V 型斜撐 <http://ws1.ncree.org/Ideers2008Edu/earthquakeeng/material/Vbracing.jpg>  
斜撐 <http://www.ncree.org/ideers/2009/imgs/brace1.jpg>

## 【評語】 040501

本件作品具有地震工程應用參考價值，研究問題有相當複雜度，使用器材是國家實驗室級資源，雖然結論不是很新穎但實驗過程略為複雜，有抗震的實用性，數值模擬有助實務的設計，對於台灣地震防災及建築物補強有實際上的幫助，鄉土性高。團隊合作佳，表達能力好，基本觀念稍嫌不足。