

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學(二)科

052406

以剪力牆裝設於縮尺模型探討校舍建物之減震
效益

學校名稱：新北市立瑞芳高級工業職業學校

作者： 職二 林易霖 職二 高俊偉	指導老師： 李銘哲 翁偉倫
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：剪力牆、縮尺校舍建物、減震效益

摘要

台灣位於歐亞、菲律賓板塊交界處屬地震頻繁區，而 1999 年發生 921 地震對台灣建物造成嚴重損害，爾後政府投入大量經費對校舍進行耐震補強，其中以裝設剪力牆為常見補強方式，因此我們想藉由縮尺建物模型實驗進行探討校舍建物裝設剪力牆後之減震效益。

本研究目的係模擬長八間教室、高三層樓單元之長軸向校舍建物進行之抗震試驗，並透過對照組與實驗組模擬不同地震波下位移、軸力與加速度進行比較？並討論在實驗模擬後各方面的特性並比較差異。

藉由安裝位置、開口形狀、大小、斷面四種不同控制變因進行討論，本研究實驗結果顯示，安裝於對稱建物長跨中心皆有明顯之消能效益，且開口與材質亦有不同減震效益，而模型尺寸規模亦屬重要關鍵。

壹、研究動機

民國 88 年 921 地震對台灣的校舍造成損毀和倒塌，也造成中部近一半的建物與校舍面目全非，如圖 1，故損壞校舍總計 746 所。[註三]另外據相關研究歸納出：地震倒塌有兩個主因，第一項為一樓成軟弱層與施工品質不良，第二項為不完整的耐震規範。[註四]，依文獻所述：「常用補強工法簡介，一、擴柱補強，擴大既有柱之斷面，以同時增加建築物之強度與韌性，二、增設 RC 翼牆補強，於既有獨立柱兩旁加設單片或雙片牆體三、增設剪力牆補強，於既有梁、柱構架內加設整片 RC 牆體。」[註五]透過搜尋資料與觀察鄰近學校耐震補強工程，發現有大部分校舍皆會選擇裝設剪力牆的方式，如圖 1-2，讓建築物提升耐震程度，本校其中一棟校舍亦是如此裝設剪力牆，如圖 1-3。因此我們針對本校剪力牆的補強位置與相關因素進行一系列的探討，確認剪力牆之現有設置與設計最佳化之處是否有所差異。



圖 1-1：921 震後的東勢實驗教育園區 [參考資料一]



圖 1-2：剪力牆的施工過程 [參考資料二]



圖 1-3：學校建物補強之剪力牆結構

貳、研究目的

本研究目的係利用長 102.8 公分(八個區塊，共計 18 根柱子)、寬 20.3 公分、高 77.1 公分(三層樓)之縮尺模型來模擬校舍建物之抗震實驗，並分成兩組，其中一組為無剪力牆的對照組以及有剪力牆的實驗組。探討剪力牆在不同週期、位置、開口大小、形狀、斷面材質等控制變因之耐震程度，進行軸力、位移、加速度的應變變因分析最終試驗結果。

不同週期又細分為長、中、短、共振、EQ5 等完整地震週期，正弦波有區分為 X、Y 向，其中 EQ5 添增了 Z 向，開口形狀分為方形、圓形，大小分為大方形、小方形、大圓形、小圓形，斷面材質分為壓克力和密集板。因此我們將抗震實驗出來的數據作探討：

- 一、探討剪力牆安裝位置不同對整體模型之耐震效益。
- 二、探討剪力牆斷面材質不同對整體模型之耐震效益。
- 三、探討剪力牆開口大小不同對整體模型之耐震效益。
- 四、探討剪力牆開口形狀不同對整體模型之耐震效益。
- 五、探討縮尺模型設置剪力牆之最佳位置



圖 2-1：控制變應與應變變因

參、研究設備及器材

一、使用材料與工具

項次	名稱	數量	器材與工具		
1	筆記	2 本			
2	螺絲	321 顆			
3	鐵絲	1 捲			
4	剪刀	1 把			
5	墊片	108 片			
6	電鑽	5 把			
7	電腦	2 台			
8	質量塊	64 塊			
9	固定器	18 個			
10	泡棉膠	1 捲			
11	剪力板	48 片			
12	一字起子	3 把			
13	PASCO 桿件	165 條			

二、使用儀器

項次	名稱	數量	儀器		
1	集線器	1 台			
2	攝影機	1 台			
3	電子磅秤	1 台			
4	雷射切割機	1 台			
5	負載放大器	2 台			
6	加速規監測設備	1 台			
7	六軸式震動平台	1 台			
8	負載感應器 100N	10 台			
9	無線加速度感應器	1 台			
10	數位式運動感測器	2 台			
11	850 通用介面主機	1 台			
12	數據採集與資料紀錄器	1 台			

三、使用程式

項次	名稱	數量	軟體		
I	Microsoft Excel	1 套			
II	多功能分析軟 Capstone.	1 套			
III	儀器軟體管理 DATAQ	1 套			

肆、研究過程及方法

此次研究透過八個步驟進行探討各式剪力牆對整體縮尺模型的減震效益，就以下圖 表示

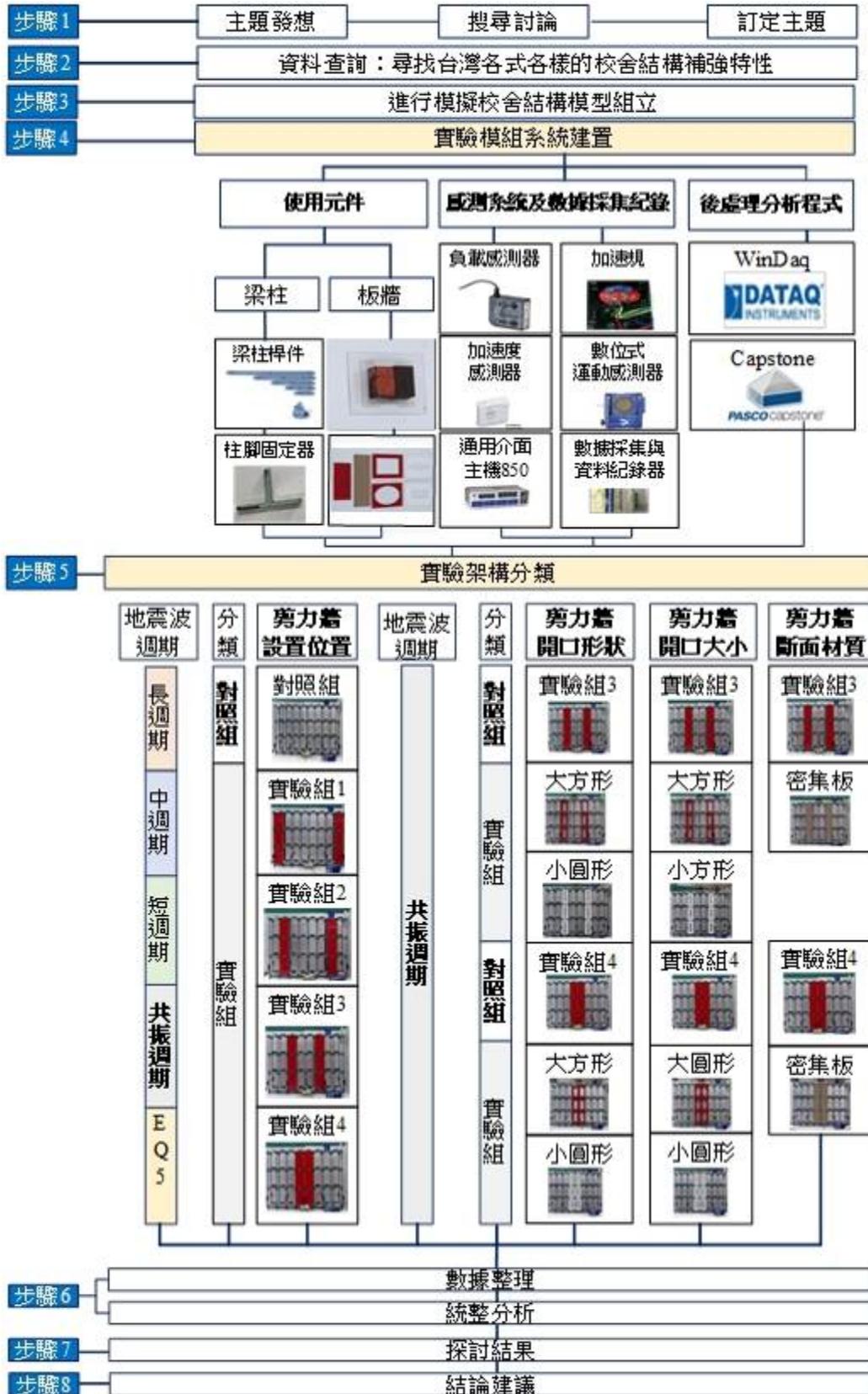


圖 4-1 本研究試驗架構流程圖

一、收集建築物資料與分析

◆研究目的：探討剪力牆在「裝設位置」、「開口形狀」、「開口大小」、「斷面材質」將不同開口大小的剪力牆放置最佳位置所能達到最好的補強效果。

◆研究步驟：

1. 觀察學校剪力牆所在結構物的位置。
2. 利用 PASCO 桿件縮小以及模擬建築物。
3. 製作不同開口大小的剪力牆，大矩形、小矩形、大圓形、小圓形、密集板。

收集相關建築物資料：透過學校隨手可見的建物觀察剪力牆位置，進而引發我們此次的實驗目的，將不同位置、不同材質的剪力牆做比較，找出最佳放置位置後，最後測試最佳位置放上不同開口的剪力牆後產生的結構變化。

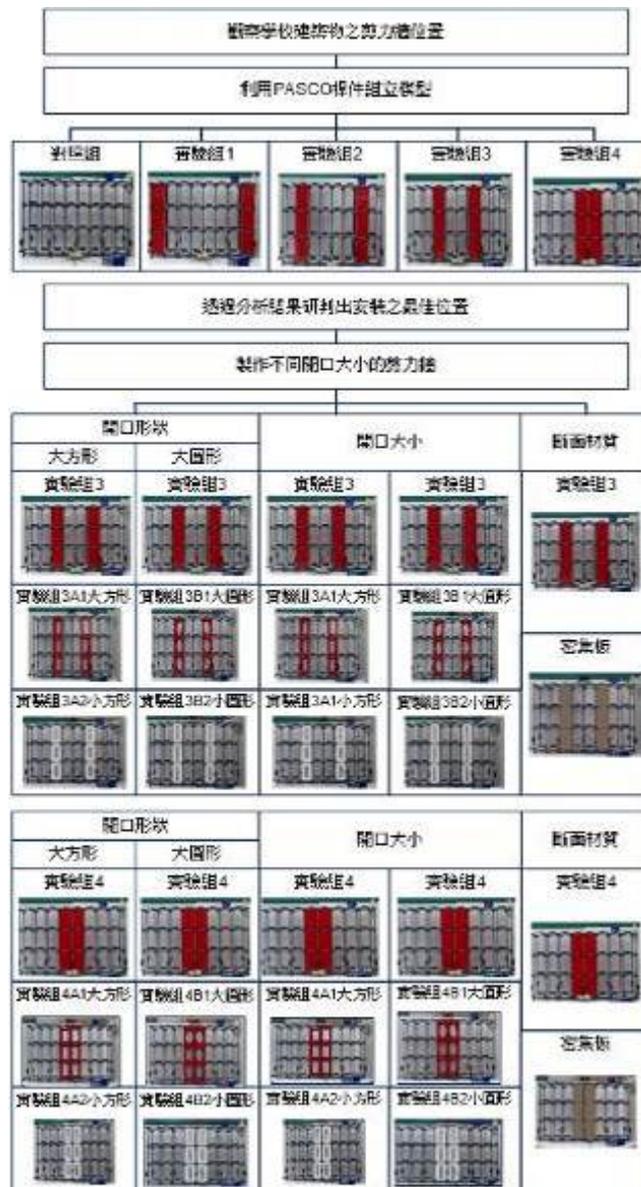


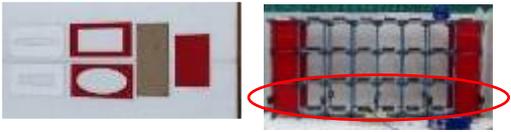
圖 4-2 本研究校舍剪力牆補強之實驗分類架構

二、耐震實驗模擬

◆實驗目的：使用六軸式電動平臺，輸入 30 秒的長、中、短、共振週期之正弦波(X、Y 向)，藉由地震縮尺建物模型讓感測器接收數據，然後查看數據便可知道建築物的安裝剪力牆後是否有補強效果。

◆實驗步驟：如下表 4-1 所示

表 4-1 本研究之實驗步驟說明一覽表

順序 項目	主旨	說明	相片		
Step1	組立模型	使用 PASCO 桿件組立建築物模型			
Step2	製作樓板及剪力牆	量測確認尺寸後，使用 AutoCAD 以及雷射切割機切割樓板			
Step3	安裝軸力感測器	將每個奇數柱體上，都裝設一個負載感測器。			
Step4	進行各種週期模擬試驗	使用六軸式電動平臺進行不同週期的地震波			
六軸式電動平臺 輸入訊號數值		正弦波 種類	週期 (秒/次)	振幅 (mm)	備註
		長週期	1.0	30	
		中週期	0.5	30	
		短週期	0.2	30	
		共振週期	0.56 0.51	30	對照組 實驗組
		EQ5 完整週期	-	-	
Step5	轉換 Excel 進行分析討	1、將對照組與實驗組的軸力、位移、加速度做比較 2、比較對照組跟實驗組的補強效果 2、比較實驗數據找出剪力牆之最佳位置與相關影響因素			

三、實驗模擬補強試驗操作程序說明

表 4-2 實驗模擬補強試驗操作程序

步驟	操作內容	說明
Step1	執行自然振動頻率	將建築物以 X、Y 軸進行單方面垂直微震，模擬自然震動方法，藉此震動數值來查看建築物是否產生變化。
Step2	執行 X 向 Y 向固定週期震波進行縮尺校舍模型震動	以六軸式抗震台執行長、中、短週期 Y 向搖晃，透過加速規與感測器來查看位移、軸力、加速度變化。
Step3	執行共振週期地震波縮尺校舍模型震動	找出與建築物相近的週期，計算建築物的共振週期後，搖晃建築物後查看建築物的損壞情況。例如：桿件有無斷裂、螺絲有無鬆動...等。
Step4	執行 EQ5 地震波縮尺校舍模型震動	使用 EQ5 地震週期來模擬實際地震搖晃情況，查看建築物有無產生問題或巨大變化。
Step5	執行 X 向固定週期地震波之縮尺校舍模型震動	以六軸式抗震台執行長、中、短週期 X 向搖晃，透過加速規與感測器來查看位移、軸力、加速度變化。

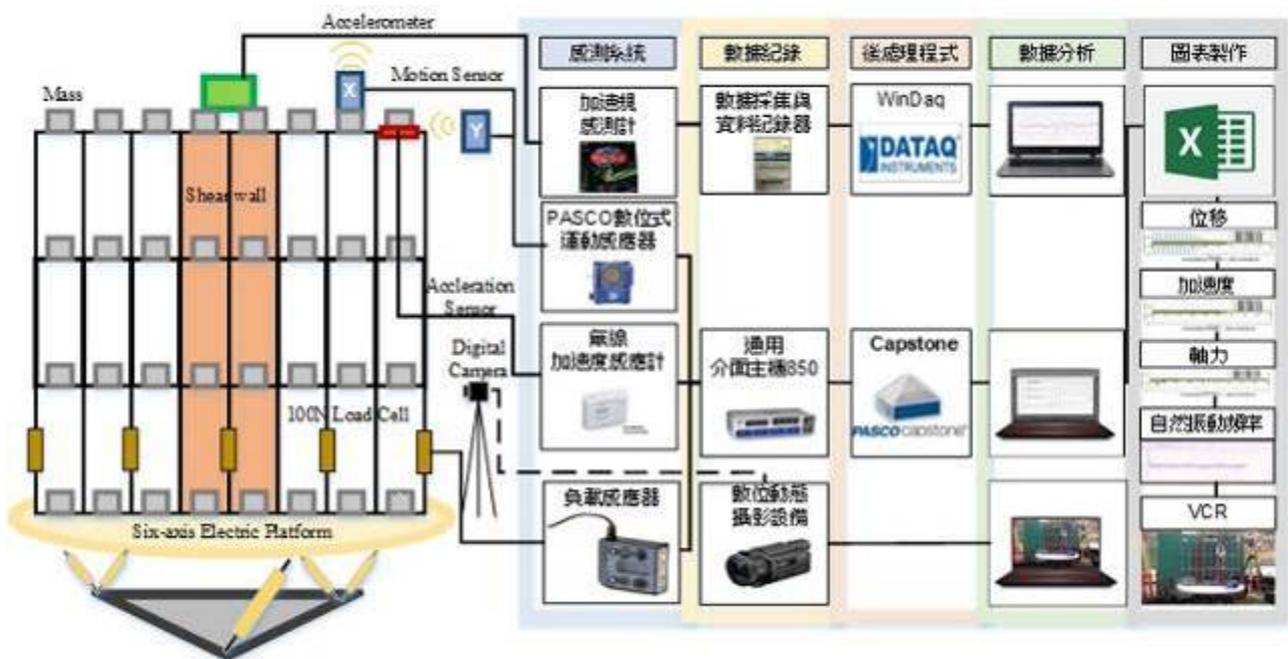
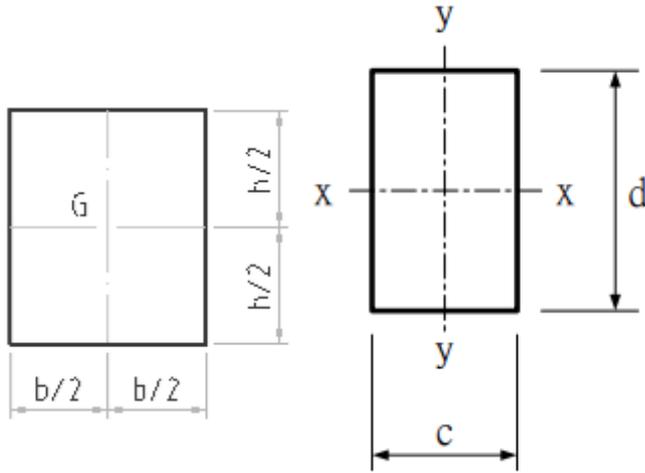


圖 4-3 本研究耐震試驗模組之操作系統說明

四、重心、形心與慣性矩計算依據

■試驗目的：透過重心、形心與慣性矩計算，能瞭解建築物在地震來臨時建物本身是否會因為重心、形心與慣性矩的關係造成扭轉的情況。

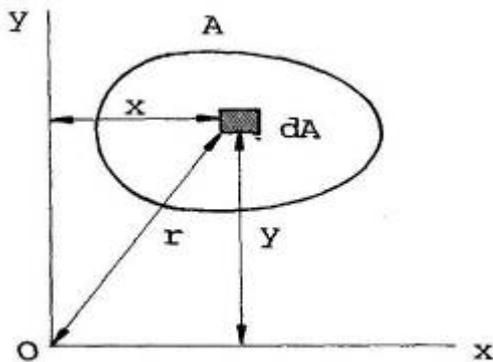


視物體由無數個質點所組成，把物體的重量集中於一點，此點稱為物體重心（如圖 4-4）。

形心（如圖 4-5）是指形狀的幾何中心，若物體為均質材料，則形心位置會與質心位置重合。

圖 4-4 矩形重心圖形

圖 4-5 矩形形心圖形



一個特定平面可以考慮成由許多微小的平面所組成，而這些微小平面的面積乘以其形心至參考軸距離的平方和，稱為一特定平面對此一參考軸之慣性矩（如圖 4-6）。

圖 4-6 面積慣性矩

重心的 \bar{x} 公式：

$$\bar{x} = \frac{\sum W_i X_i}{\sum W_i} \text{-----式 1-1}$$

重心的 \bar{y} 公式：

$$\bar{y} = \frac{\sum W_i Y_i}{\sum W_i} \text{-----式 1-2}$$

形心的 \bar{x} 公式：

$$\bar{x} = \frac{\sum A_i X_i}{\sum A_i} \text{-----式 1-3}$$

形心的 \bar{y} 公式：

$$\bar{y} = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i} \text{-----式 1-4}$$

慣性矩的 I_x 公式：

$$I_x = \frac{bh^3}{12} \text{-----式 1-5}$$

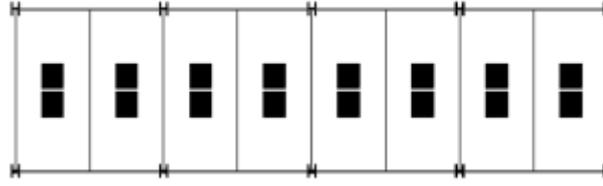
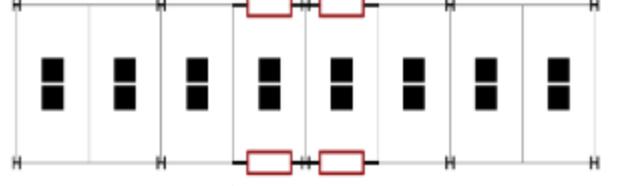
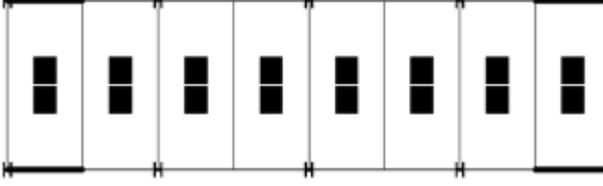
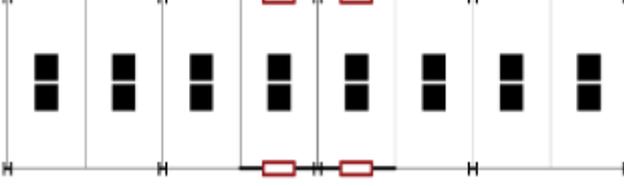
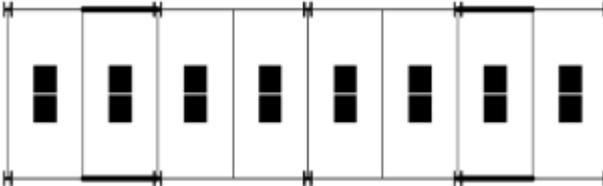
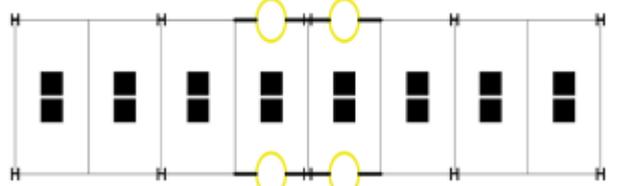
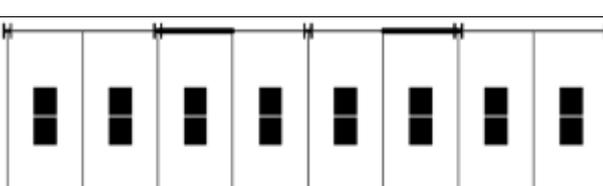
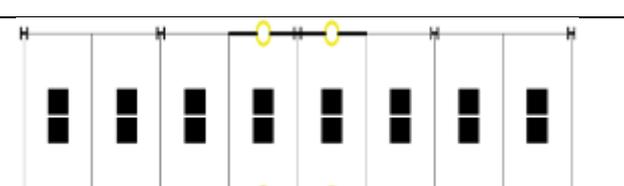
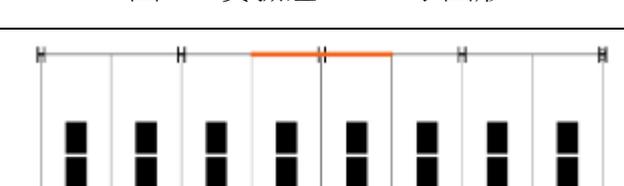
慣性矩的 I_y 公式：

$$I_y = \frac{hb^3}{12} \text{-----式 1-6}$$

伍、研究結果

本研究是透過縮尺模型、感測系統以及後處理程式進行一系列的補強實驗，以下就實驗結果分為建物受震波後之軸力、位移、加速度之量測結果，依序分項說明如下：

表 5-1 本研究校舍建物縮尺建物與剪力牆配置一覽表

剪力牆之安裝位置	剪力牆之開口形狀、大小、材質
 <p>圖 5-1 對照組：未加設剪力牆</p>	 <p>圖 5-6 實驗組 4A1：大方形</p>
 <p>圖 5-2 實驗組 1：加設剪力牆於位置 1</p>	 <p>圖 5-7 實驗組 4A2：小方形</p>
 <p>圖 5-3 實驗組 2：加設剪力牆於位置 2</p>	 <p>圖 5-8 實驗組 4B1：大圓形</p>
 <p>圖 5-4 實驗組 3：加設剪力牆於位置 3</p>	 <p>圖 5-9 實驗組 4B2：小圓形</p>
 <p>圖 5-5 實驗組 4：加設剪力牆於位置 4</p>	 <p>圖 5-10 實驗組 4C：密集板</p>

一、軸力

(一)剪力牆安裝位置

1.各建物結構針對剪力牆在長週期於「不同安裝位置」之軸力關係

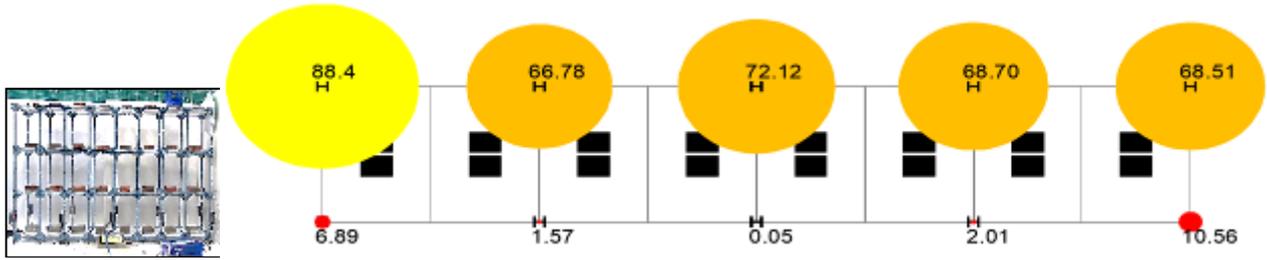


圖 5-11 對照組於長週期各柱位軸力分佈關係圖：無剪力牆

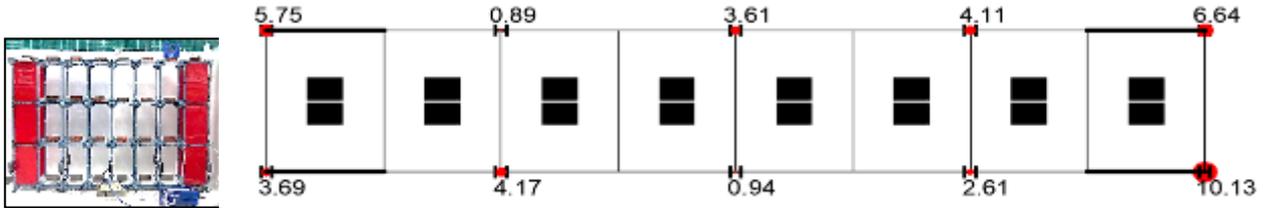


圖 5-12 實驗組 1 於長週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 1

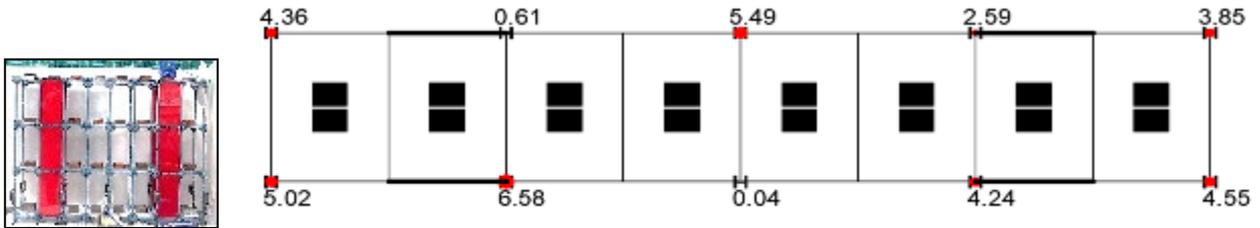


圖 5-13 實驗組 2 於長週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 2

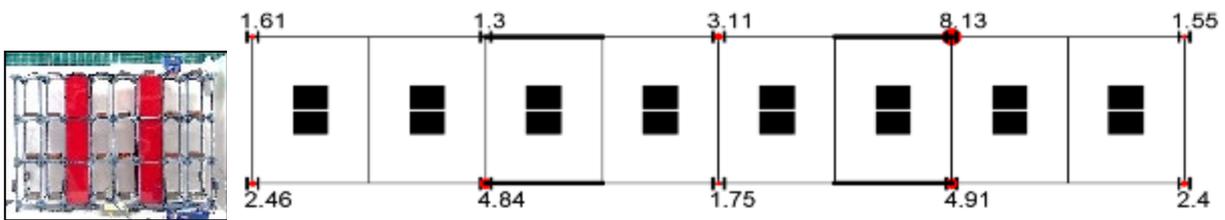


圖 5-14 實驗組 3 於長週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 3

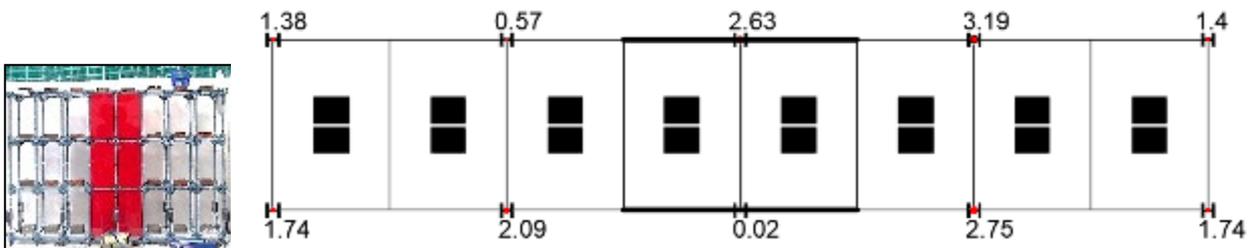


圖 5-15 實驗組 4 於長週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 4

量化分析：由可知對照組與實驗組於軸力柱 6 皆具減震效益約在 93.50%~98.44%

質化分析：顯示實驗組 1~4 裝置於不同的位置，皆有達到剪力牆減震的效果

2.各建物結構針對剪力牆在中週期於「不同安裝位置」之軸力關係

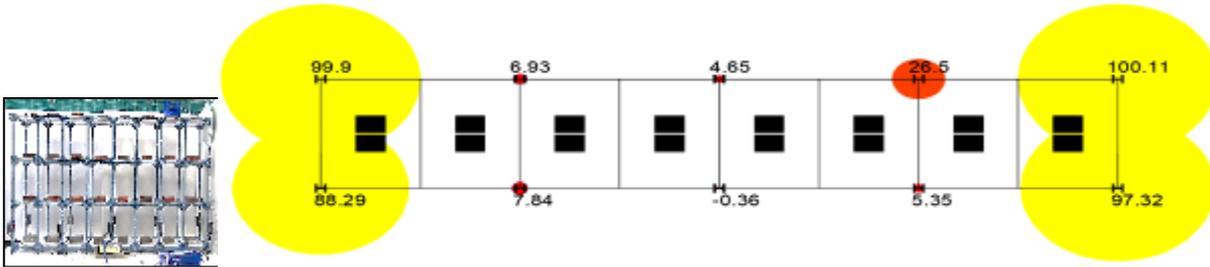


圖 5-16 對照組於中週期各柱位軸力分佈關係圖：無剪力牆

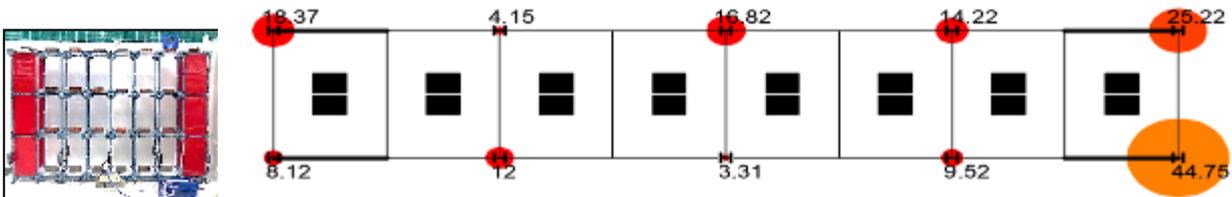


圖 5-17 實驗組 1 於中週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 1

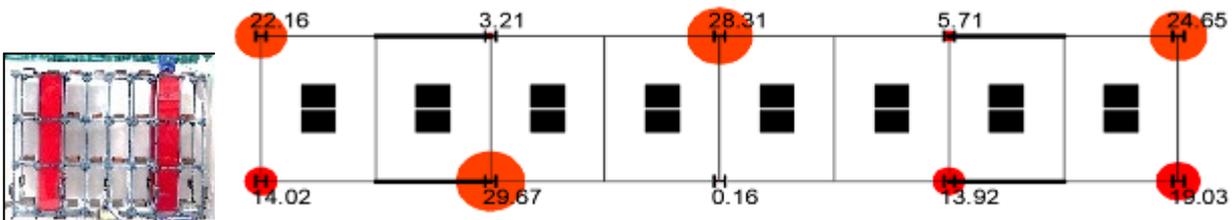


圖 5-18 實驗組 2 於中週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 2

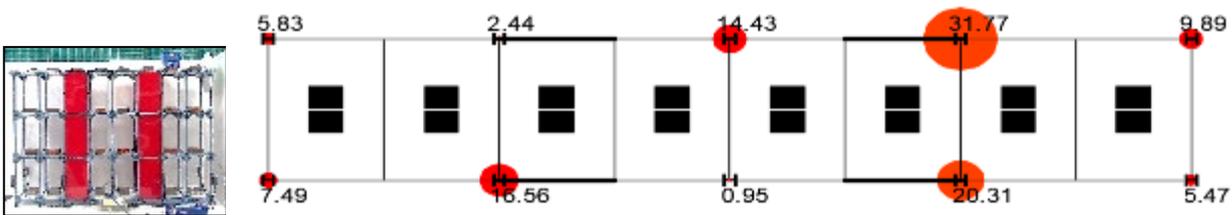


圖 5-19 實驗組 3 於中週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 3

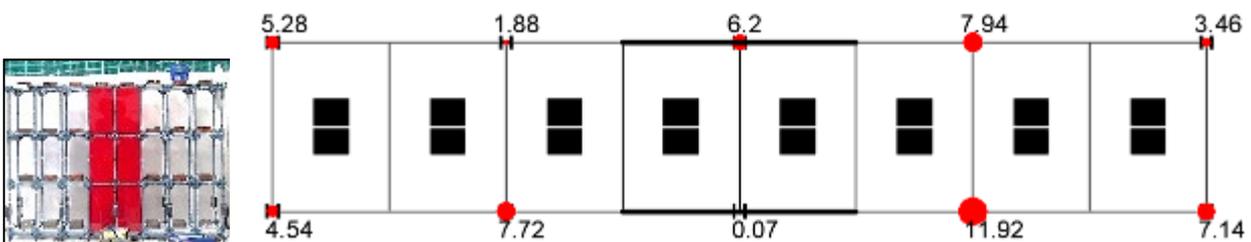


圖 5-20 實驗組 4 於中週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 4

量化分析：由可知對照組與實驗組於軸力柱 6 皆約在 77.82%~94.71%。

質化分析：於中週期中各實驗組皆都有達到剪力牆減震的效果，以實驗組 4 為最佳。

3.各建物結構針對剪力牆在短週期於「不同安裝位置」之軸力關係

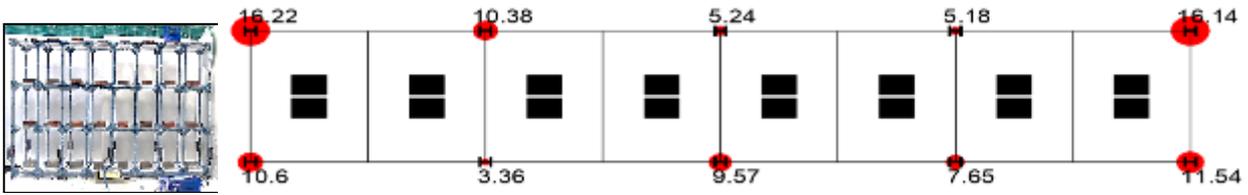


圖 5-21 對照組於短週期各柱位軸力分佈關係圖：無剪力牆

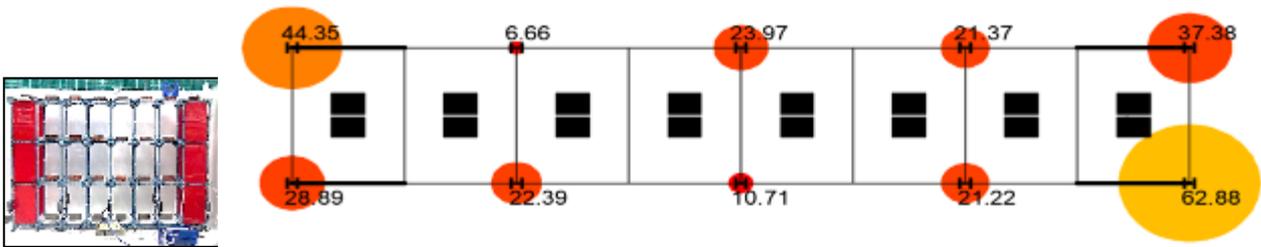


圖 5-22 實驗組 1 於短週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 1

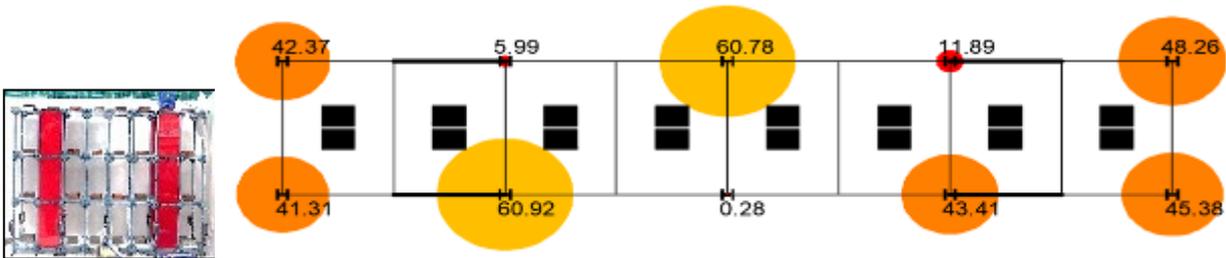


圖 5-23 實驗組 2 於短週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 2

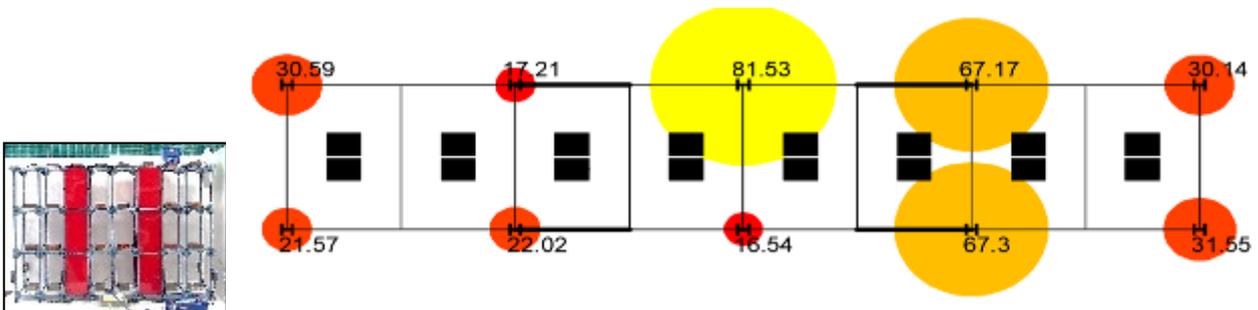


圖 5-24 實驗組 3 於短週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 3

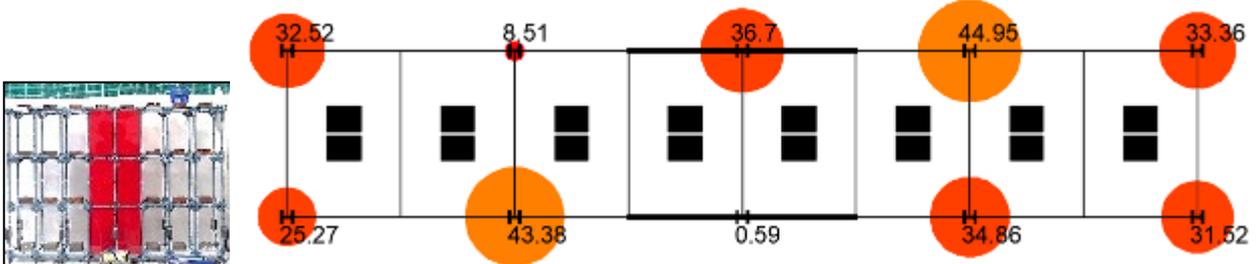


圖 5-25 實驗組 4 於短週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 4

量化分析：由可知對照組與實驗組於軸力柱 6 皆約在-173.43%~-88.59%。

質量分析：研判剪力牆設置對於短週期並無具有明顯之減震效果。

4.各建物結構針對剪力牆在共振週期於「不同安裝位置」之軸力關係

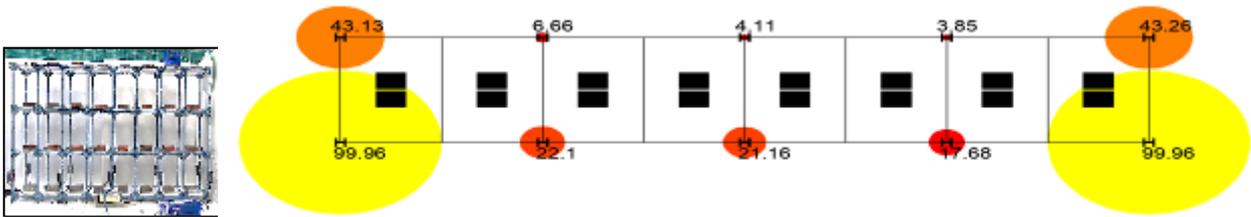


圖 5-26 對照組於共振週期各柱位軸力分佈關係圖：對照組

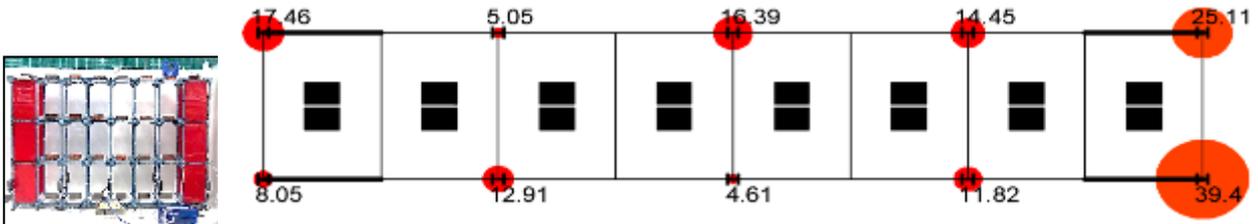


圖 5-27 實驗組 1 於共振週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 1

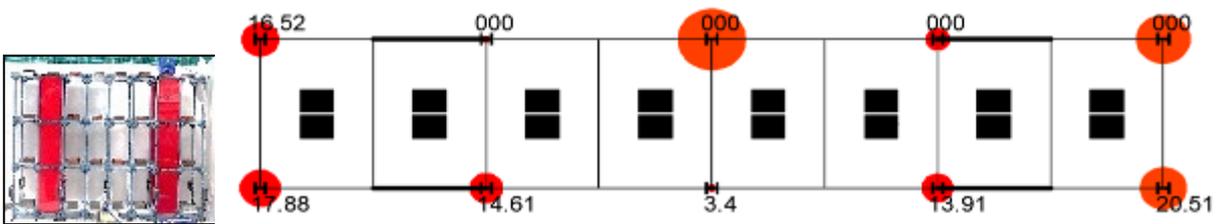


圖 5-28 實驗組 2 於共振週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 2

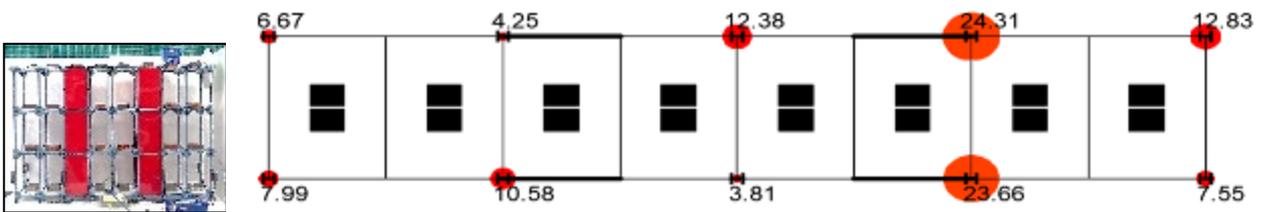


圖 5-29 實驗組 3 於共振週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 3

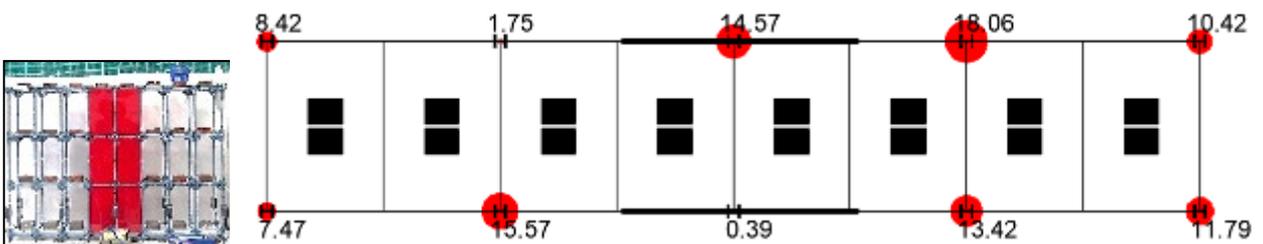


圖 5-30 實驗組 4 於共振週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 4

量化分析：由可知對照組與實驗組於軸力柱 6 皆約在 59.52%~84.54%

質化分析：其中在共振週期中，隸屬實驗組 4 具有最佳之減震效益

5.各建物結構針對剪力牆在 EQ5 完整週期於「不同安裝位置」之軸力關係

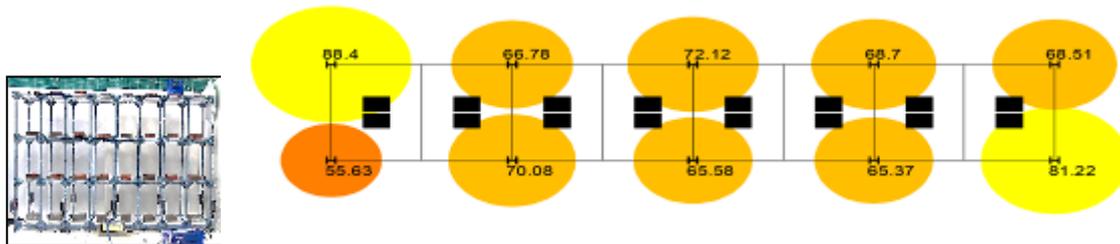


圖 5-31 對照組於 EQ5 週期各柱位軸力分佈關係圖：對照組

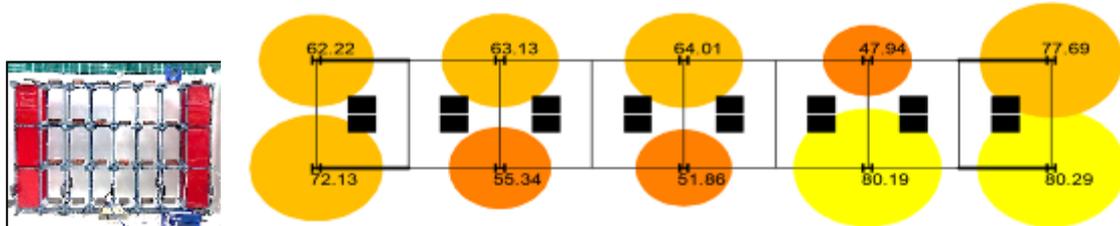


圖 5-32 實驗組 1 於 EQ5 週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 1

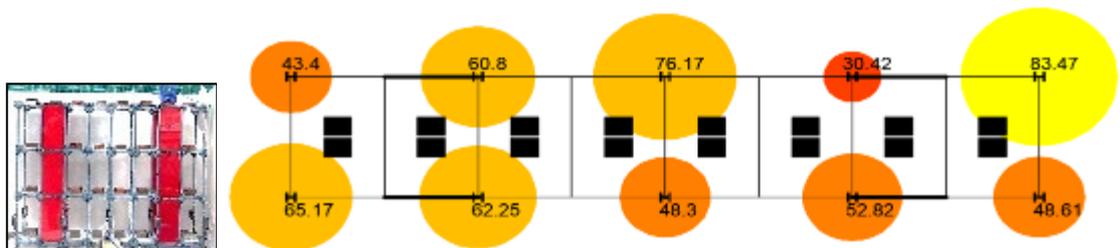


圖 5-33 實驗組 2 於 EQ5 週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 2

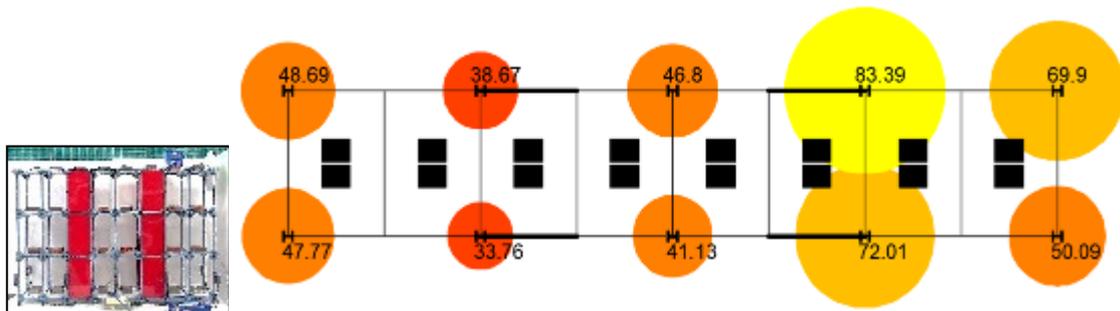


圖 5-34 實驗組 3 於 EQ5 週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 3

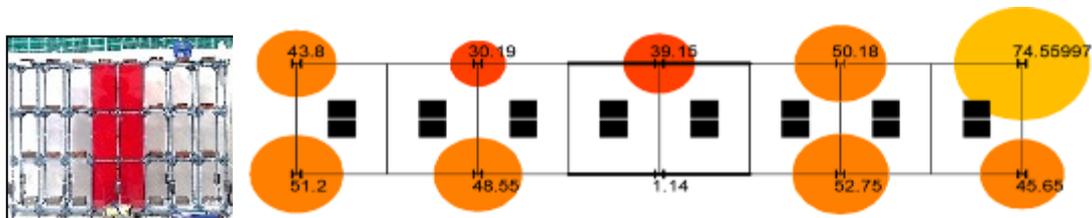


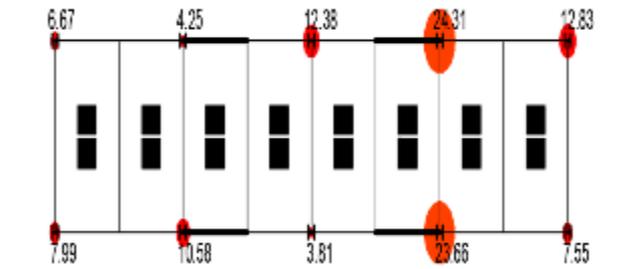
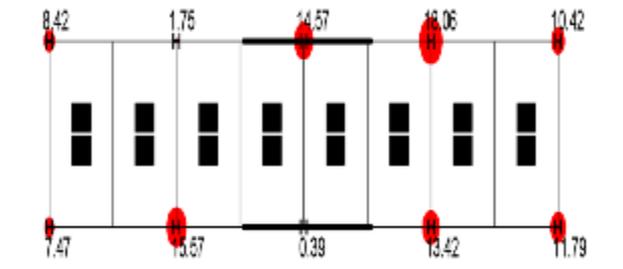
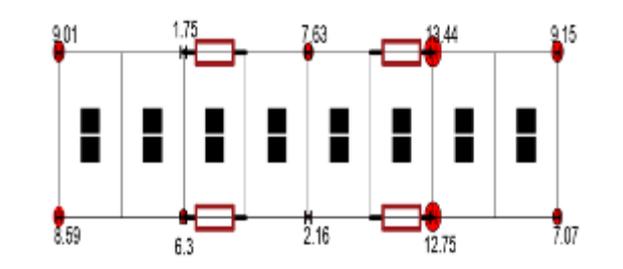
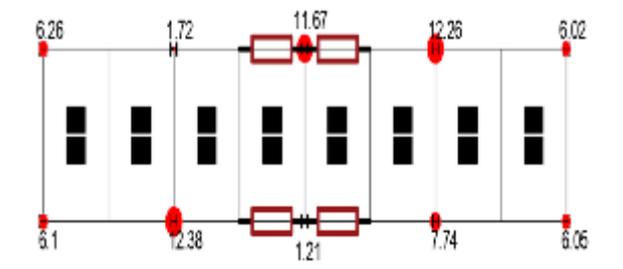
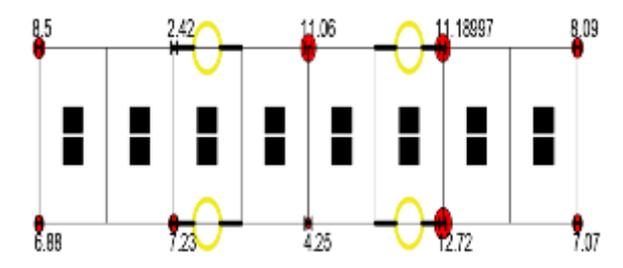
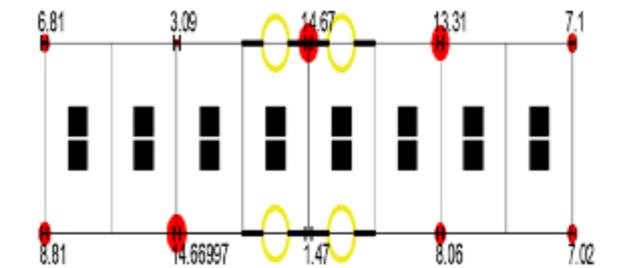
圖 5-35 實驗組 4 於 EQ5 週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置 4

量化分析：由圖可知對照組與實驗組於軸力柱 6 皆約在 29.62%~50.90%

質化分析：顯示除了實驗組 1，其他皆有達到剪力牆的減震的效果

(一)剪力牆開口形狀

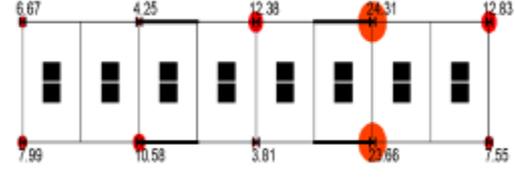
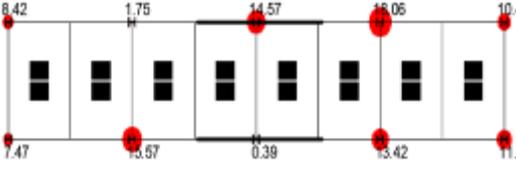
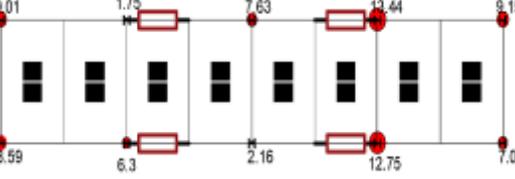
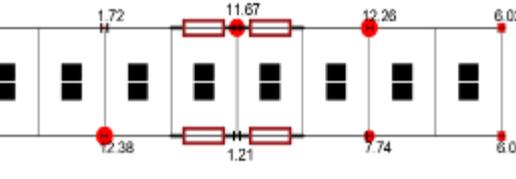
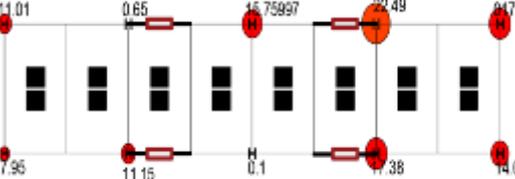
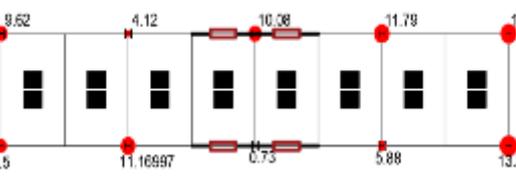
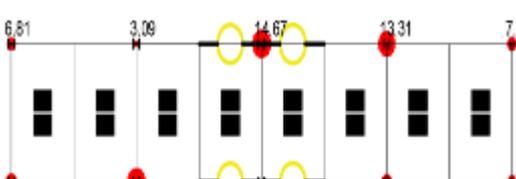
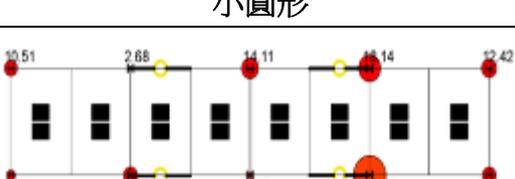
表 5-2 本研究之剪力牆開口形狀分析一覽表

補強 3 位置	補強 4 位置
未開口	未開口
 <p>圖 5-36 實驗組 3 於共振週期之軸力關係圖</p>	 <p>圖 5-39 實驗組 4 於共振週期之軸力關係圖</p>
大方形	大方形
 <p>圖 5-37 實驗組 3A1 於共振週期之軸力關係</p>	 <p>圖 5-40 實驗組 4A1 於共振週期之軸力關係圖</p>
大圓形	大圓形
 <p>圖 5-38 實驗組 3B1 於共振週期之軸力關係圖</p>	 <p>圖 5-41 實驗組 4B1 於共振週期之軸力關係圖</p>

由圖 5-36~41 由剪力牆之開口形狀不同所造成之軸力分布狀況，無明顯差異現象，推估原因應屬材料強度對牆體補強效果影響有限。

(三)剪力牆開口大小

表 5-3 本研究之剪力牆開口大小分析一覽表

補強 3	補強 4
未開口	未開口
 <p>圖 5-42 實驗組 3 於共振週期之軸力關係圖</p>	 <p>圖 5-47 實驗組 4 於共振週期之軸力關係圖</p>
大方形	大方形
 <p>圖 5-43 實驗組 3A1 於共振週期之軸力關係圖</p>	 <p>圖 5-48 實驗組 4A1 於共振週期之軸力關係圖</p>
小方形	小方形
 <p>圖 5-43 實驗組 3A2 於共振週期之軸力關係圖</p>	 <p>圖 5-49 實驗組 4A2 於共振週期之軸力關係圖</p>
大圓形	大圓形
 <p>圖 5-45 實驗組 3B1 於共振週期之軸力關係圖</p>	 <p>圖 5-50 實驗組 4B1 於共振週期之軸力關係圖</p>
小圓形	小圓形
 <p>圖 5-46 實驗組 3B2 於共振週期之軸力關係圖</p>	 <p>圖 5-51 實驗組 4B2 於共振週期之軸力關係圖</p>

由圖 5-36~41 由剪力牆之開口大小不同所造成之軸力分布狀況，無明顯差異現象，推估原因應屬材料強度對牆體補強效果影響有限。

二、位移

(一)剪力牆安裝位置

1.各建物結構針對剪力牆在長週期於「不同安裝位置」之位移關係

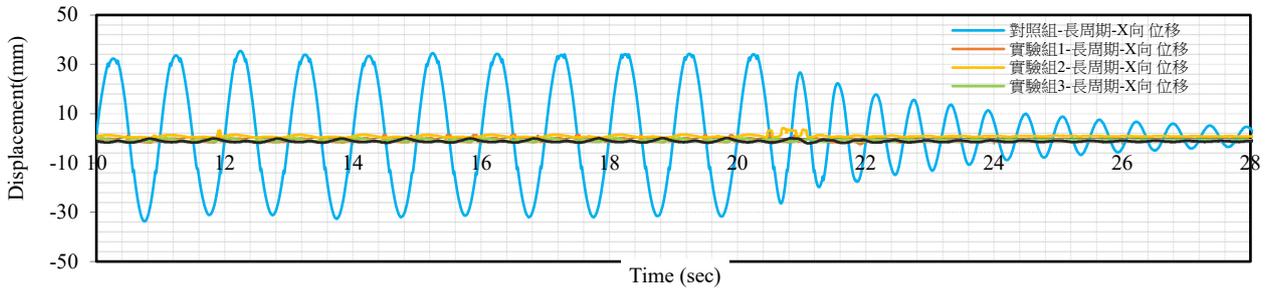


圖 5-51 不同剪力牆位置之下，進行長週期(X 向)之位移歷時關係圖

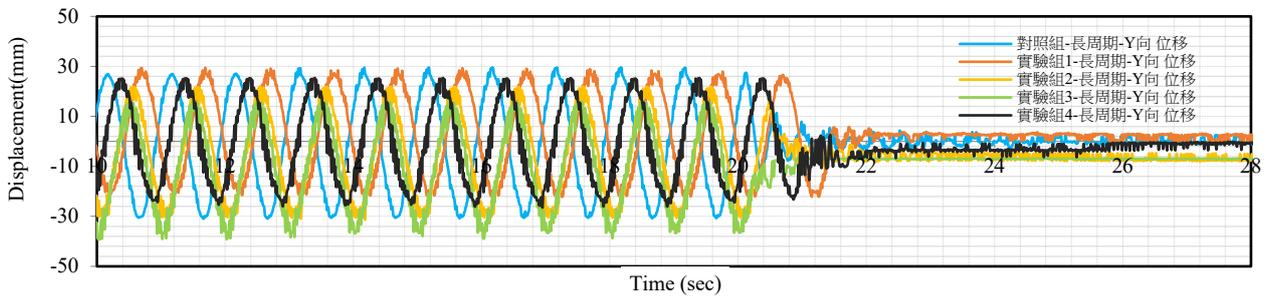


圖 5-52 不同剪力牆位置之下，進行長週期(Y 向)之位移歷時關係圖

量化分析：由上圖 5-51 可知 X 向實驗組較對照組減少位移大幅減少 99.87%。

質化分析：安裝剪力牆位置效果最顯著的是實驗組 4，顯示位置越中間，減振效益越好。

2.各建物結構針對剪力牆在中週期於「不同安裝位置」之位移關係

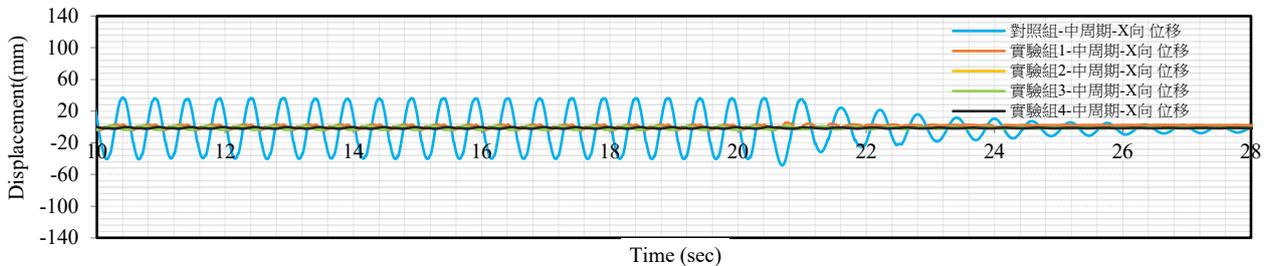


圖 5-53 不同剪力牆位置之下，進行中週期(X 向)之位移歷時關係圖

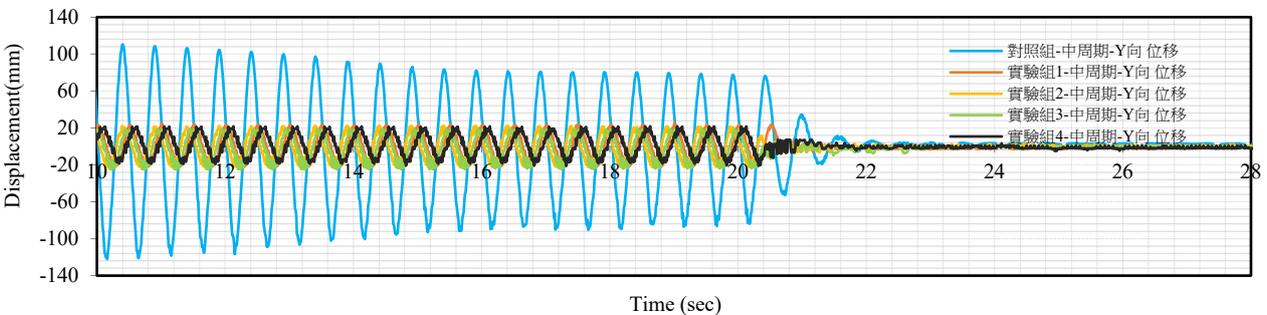


圖 5-54 不同剪力牆位置之下，進行中週期(Y 向)之位移歷時關係圖

量化分析：由上圖 5-53~54 可知，實驗組中 X 向與 Y 向位移減震效益高達 101.27%。

質化分析：顯示實驗組 4 安裝於建物中間處具最佳之位移減震效益。

3.各建物結構針對剪力牆在短週期於「不同安裝位置」之位移關係

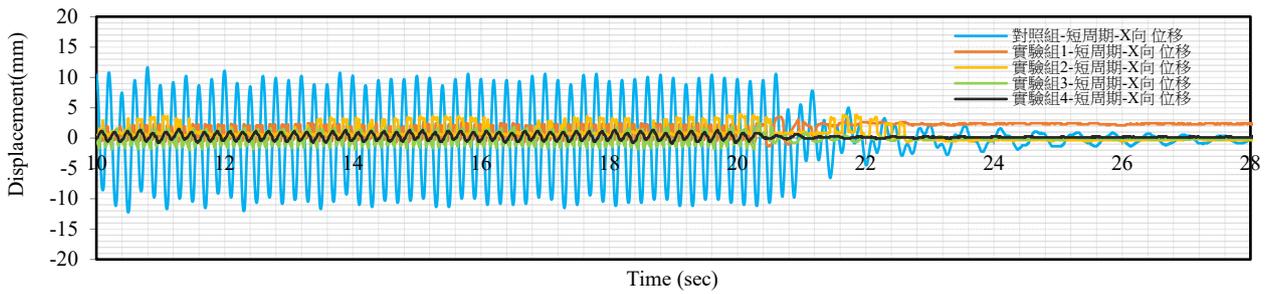


圖 5-55 不同剪力牆位置之下，進行短週期(X 向)之位移歷時關係圖

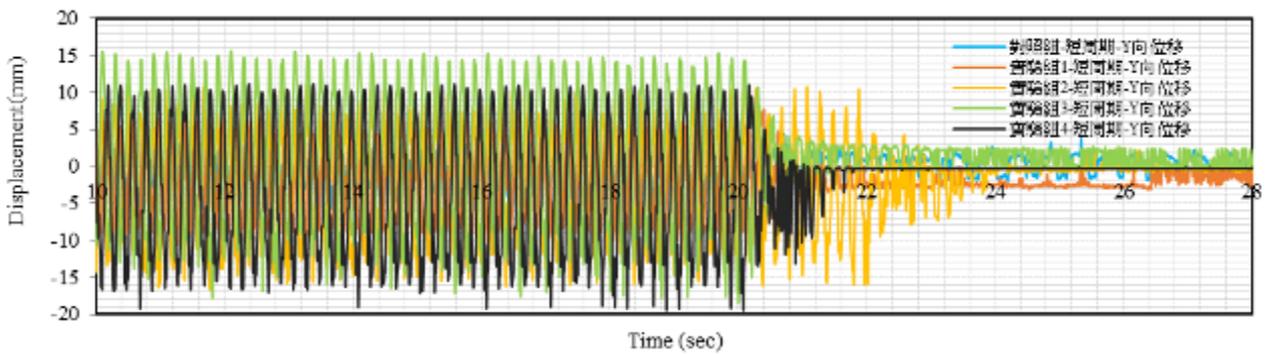


圖 5-56 不同剪力牆位置之下，進行短週期(Y 向)之位移歷時關係圖

量化分析：由上圖 5-55 可知，X 向實驗組 1 位移減少 94.50%。在圖 5-56 Y 向實驗組 3 反而增加了 145.85%。
 質化分析：從上述分析可見，剪力牆於短週期中並無發揮應有之減震效益。

4.各建物結構針對剪力牆在共振週期於「不同安裝位置」之位移關係

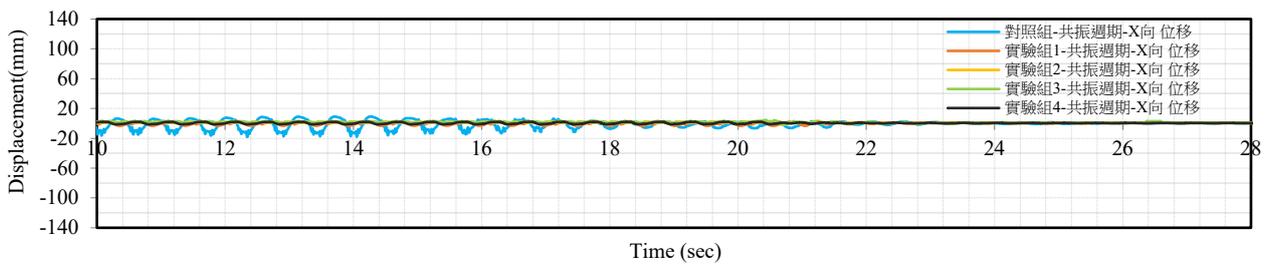


圖 5-57 不同剪力牆位置之下，進行共振週期(X 向)之位移歷時關係圖

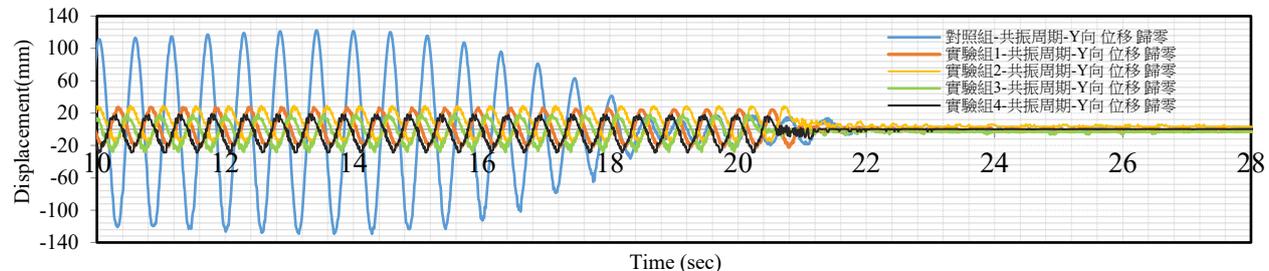


圖 5-58 不同剪力牆位置之下，進行共振週期(Y 向)之位移歷時關係圖

量化分析：由圖 5-57 可發現在 X 向實驗組 4 位移減少 77.06%。
 質化分析：Y 向實驗組 3 與實驗組 4 皆屬於具有減振效益的剪力牆位置。

(二)剪力牆開口形狀

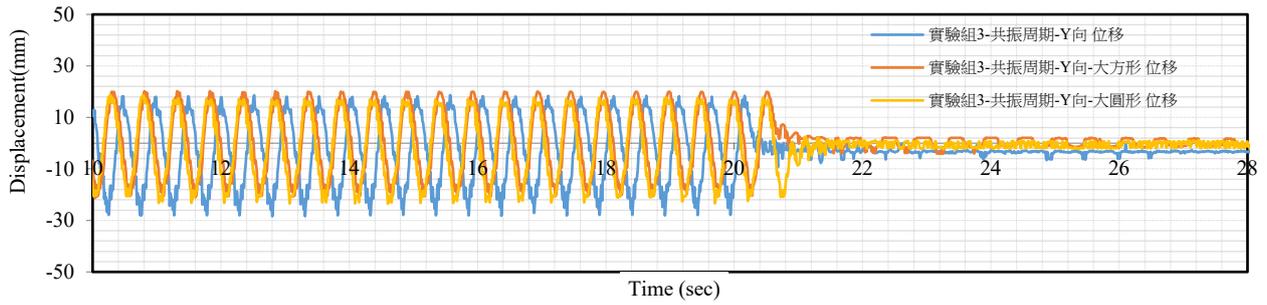


圖 5-61 實驗組 3 建物在不同形狀剪力牆之下，進行共振週期(Y 向)之位移歷時關係圖

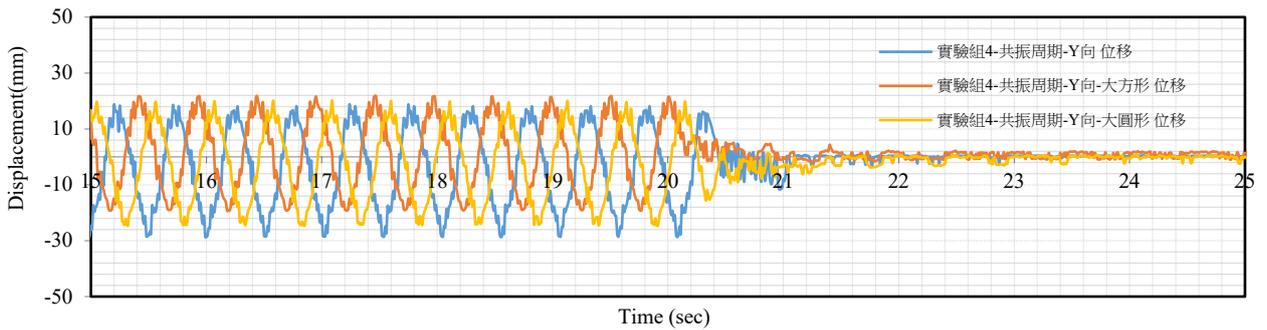


圖 5-62 實驗組 4 建物在不同形狀剪力牆之下，進行共振週期(Y 向)之位移歷時關係圖

量化分析：由上圖 5-62 開口為方形減震效益則比開口圓形的剪力牆還要差。

質化分析：顯示方形較橢圓形具有應力集中現象，造成減震效應衰減現象

(三)剪力牆開口大小

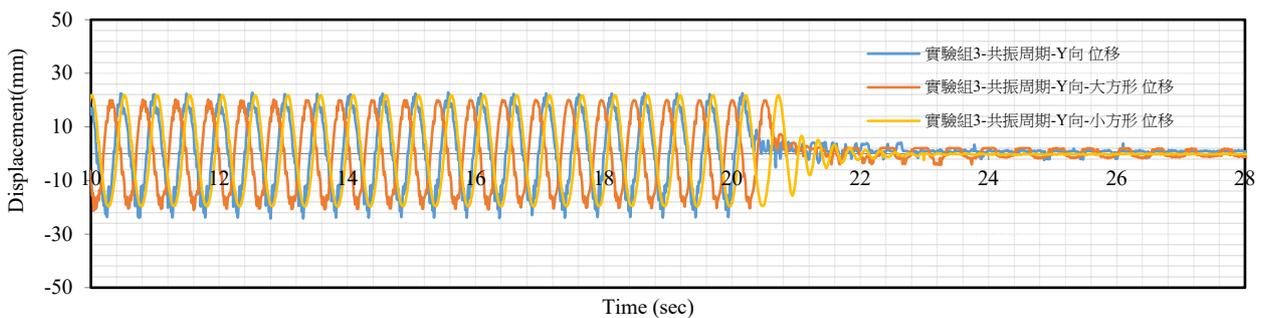


圖 5-63 剪力牆開口在不同大小下，進行共振週期(Y 向)之位移歷時關係圖

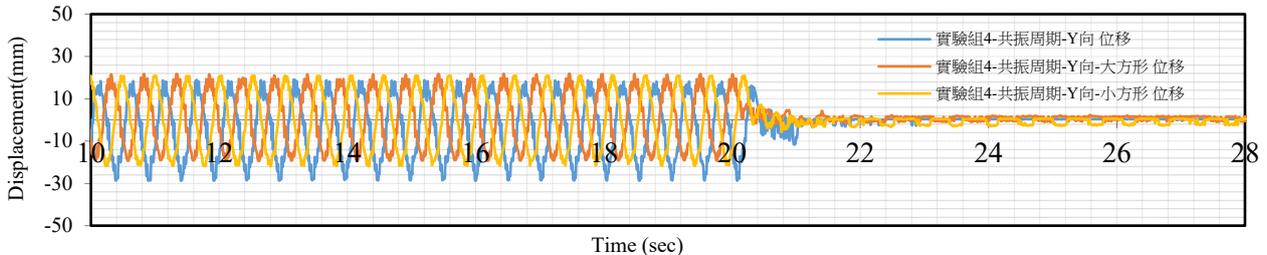


圖 5-64 剪力牆開口在不同大小下，進行共振週期(Y 向)之位移歷時關係圖

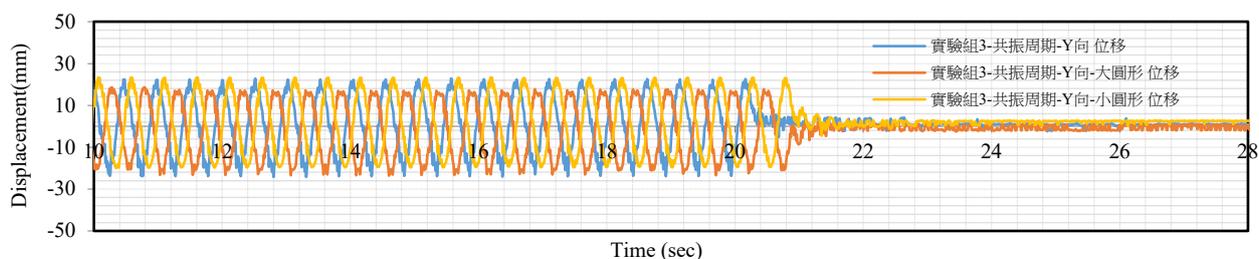


圖 5-65 剪力牆開口在不同大小下，進行共振週期(Y 向)之位移歷時關係圖

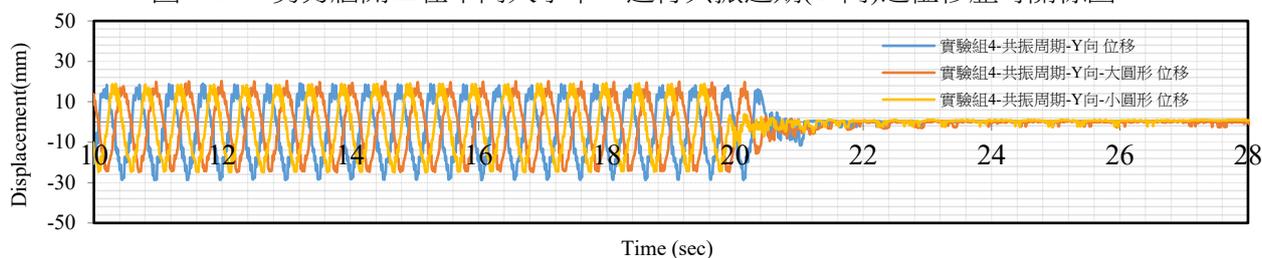


圖 5-66 剪力牆開口在不同大小下，進行共振週期(Y 向)之位移歷時關係圖

量化分析：由上圖 5-63、65 可知無開口位移為 18.57mm，實驗組 3 小圓形開口的位移為 23.39mm，其位移增加 25.95%。上圖 5-64、66 可知對照組位移為 18.97mm，實驗組 4 大方形開口的位移為 21.81mm，其增加 14.98%

質化分析：透過上述可知剪力牆開口將造成應力集中現象。

(三)剪力牆斷面材質

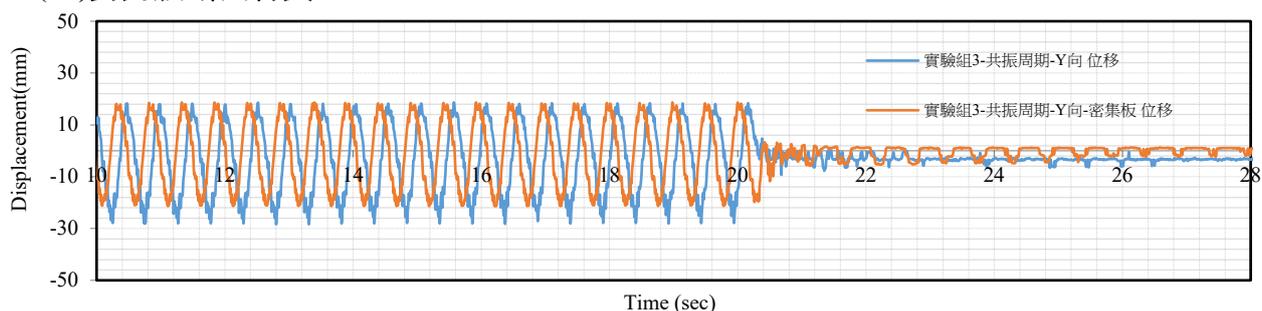


圖 5-67 剪力牆在不同斷面材質下，進行共振週期(Y 向)之位移歷時關係圖

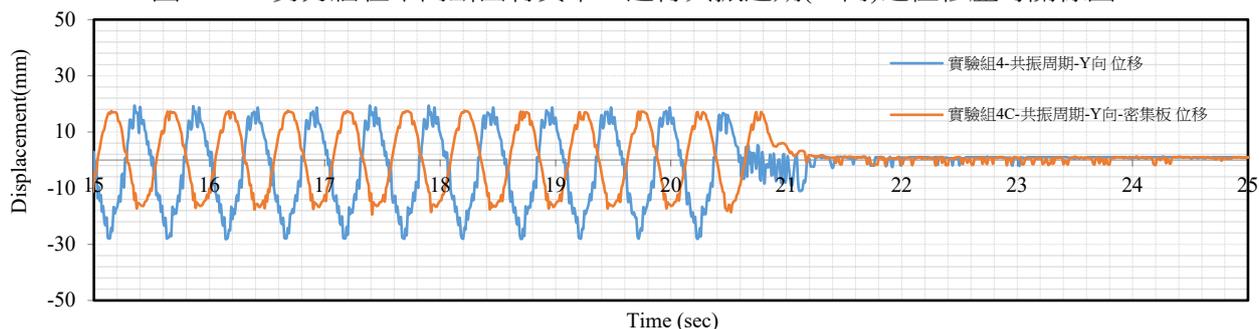


圖 5-68 剪力牆在不同斷面材質下，進行共振週期(Y 向)之位移歷時關係圖

量化分析：由上圖 5-67 可知實驗組 3 壓克力材質的剪力牆最大位移為 18.57mm 而當剪力牆為密集板時位移為 18.66mm，位移則是增加 0.47%。從圖 5-68 實驗組 4 的壓克力材質剪力牆位移為 18.97mm，材質為密集板時位移為 15.54mm，位移減少 18.06%

質化分析：由上述可知密集板只有在最中間時才能起到減振效益，若是在其他位置則無法起到減震作用。

三、加速度

(一)剪力牆安裝位置

1.各建物結構針對剪力牆在長週期於「不同安裝位置」之加速度關係

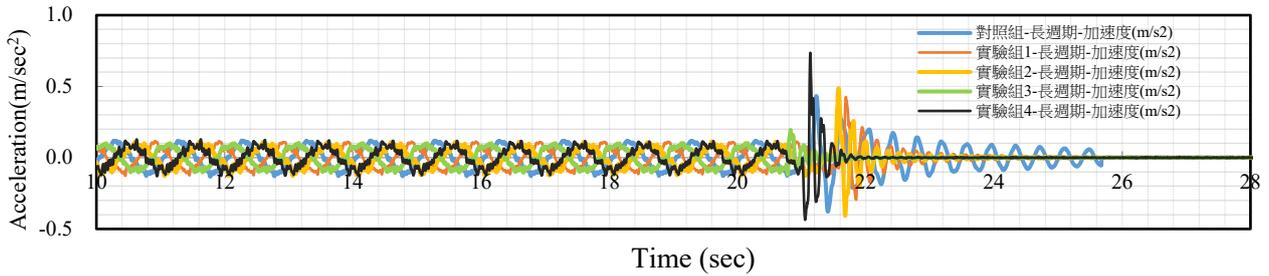


圖 5-69 不同剪力牆位置之下，進行長週期(Y 向)之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由上圖 5-69 可知長週期的實驗組 2 比對照組的加速度減少 96.3%。

質化分析：整體而言在長週期的搖晃下，安裝剪力牆後的 Y 向加速度均比未安裝剪力牆的 Y 向加速度少。

2.各建物結構針對剪力牆在中週期於「不同安裝位置」之加速度關係

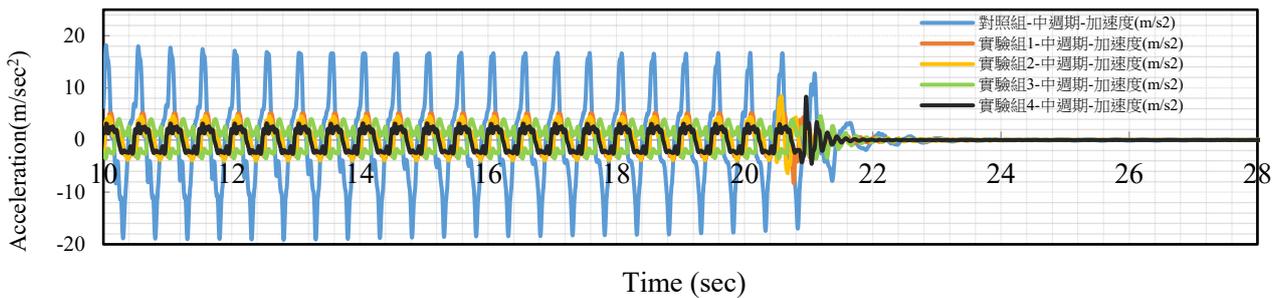


圖 5-70 不同剪力牆位置之下，進行中週期(Y 向)之加速度歷時關係圖

量化分析：由圖 5-70 可知中週期的實驗組 4 比對照組的加速度減少 82.2%。

質化分析：整體而言在中週期的搖晃下，安裝剪力牆後的 Y 向加速度均比未安裝剪力牆的 Y 向加速度少。

3.各建物結構針對剪力牆在短週期於「不同安裝位置」之加速度關係

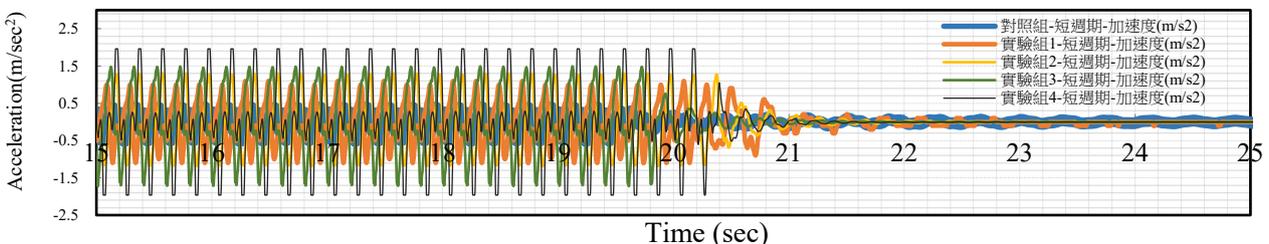


圖 5-71 不同剪力牆位置之下，進行短週期(Y 向)之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由圖 5-71 得知 實驗組 1-4 皆無較對照組具有加速度減緩結果。

質化分析：推估原因應為加設剪力牆後，使整體結構更為剛硬所致。

4.各建物結構針對剪力牆在共振週期於「不同安裝位置」之加速度關係

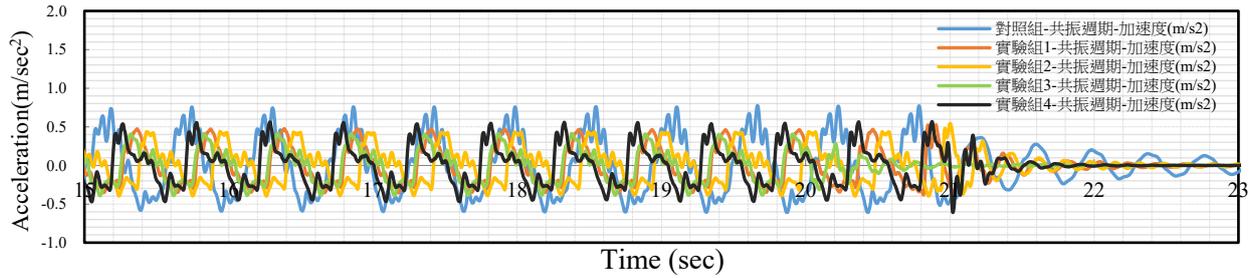


圖 5-72 不同剪力牆位置之下，進行共振週期(Y 向)之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由圖 5-72 可知共振週期的實驗組 3 比對照組的加速度減少 45.5%。

質化分析：整體而言在共振週期的搖晃下，安裝剪力牆後的 Y 向加速度均比未安裝剪力牆的 Y 向加速度少。

(二)剪力牆開口大小形狀

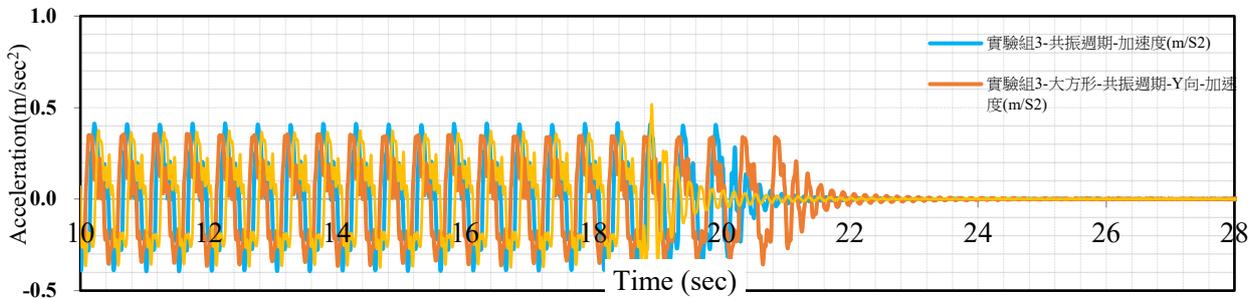


圖 5-74 不同形狀在位置 3 之下，進行共振週期(Y 向)之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由圖 5-74 可知共振週期的實驗組 3 大方形比未開口的加速度減少 13.8%。

質化分析：可知共振週期的實驗組 3 大方形比大圓形還要好。

(三)剪力牆開口大小

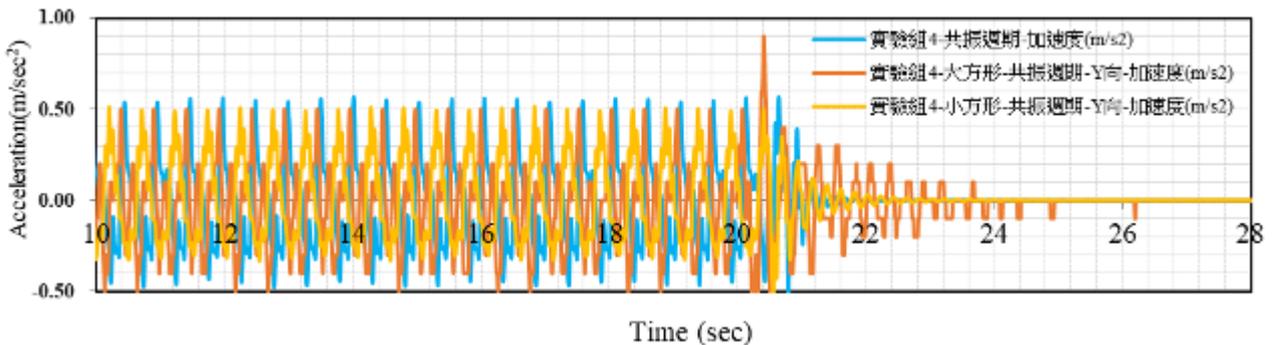
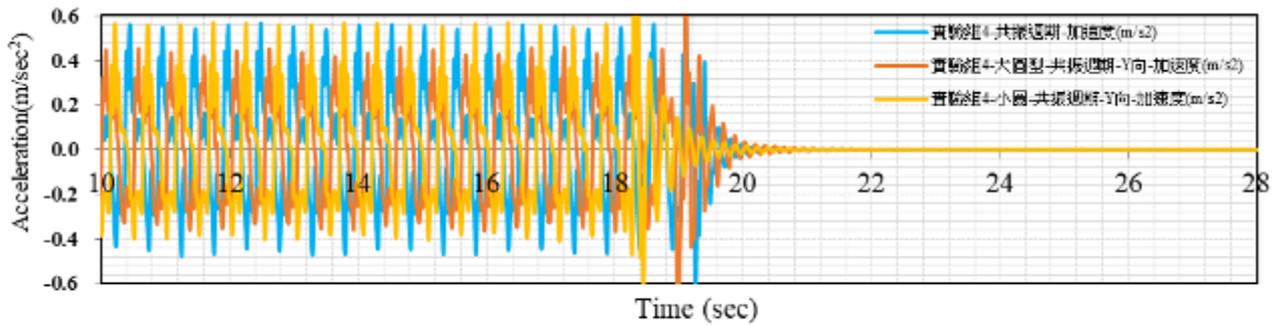


圖 5-76 方形改變開口大小在位置 4 之下，進行共振週期(Y 向)之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由圖 5-76 可知共振週期的實驗組 4 大方形比未開口的加速度減少 12.6%。

質化分析：可知共振週期的實驗組 4 的方形開口大會比小還要好。



實驗組4大小圓形在共振週期Y向下之頂層加速度歷時關係圖

圖 5-78 圓形改變開口大小在位置 4 之下，進行共振週期(Y 向)之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由圖 5-78 可知共振週期的實驗組 4 大圓形比未開口的加速度減少 18.9%

質化分析：可知共振週期的實驗組 4 的圓形開口大會比小還要好。

(三)剪力牆斷面材質

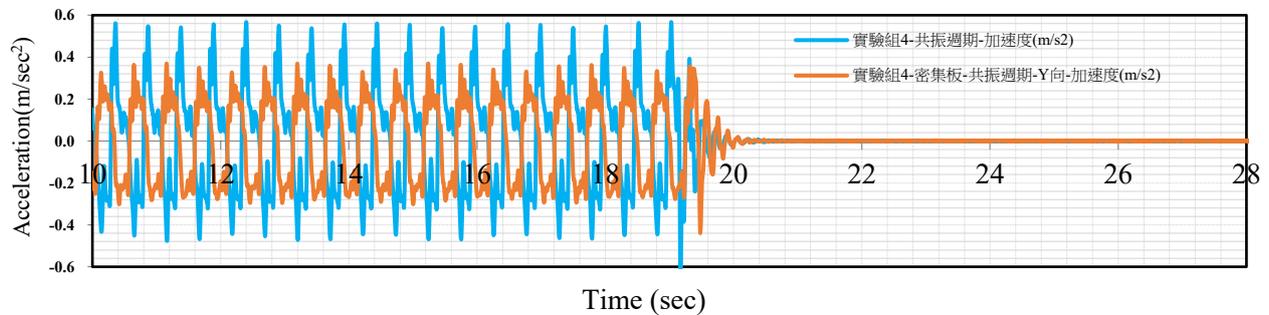


圖 5-80 建物剪力牆在不同材質下，進行共振週期(Y 向)之加速度歷時關係圖

量化分析：由圖 5-80 可知共振週期的實驗組 4 換成密集板材質的剪力牆比壓克力材質的剪力牆加速度減少 27.8%。

質化分析：可知共振週期的實驗組 4 的密集板材質會比壓克力材質還要好。

陸、討論

一、剪力牆安裝位置

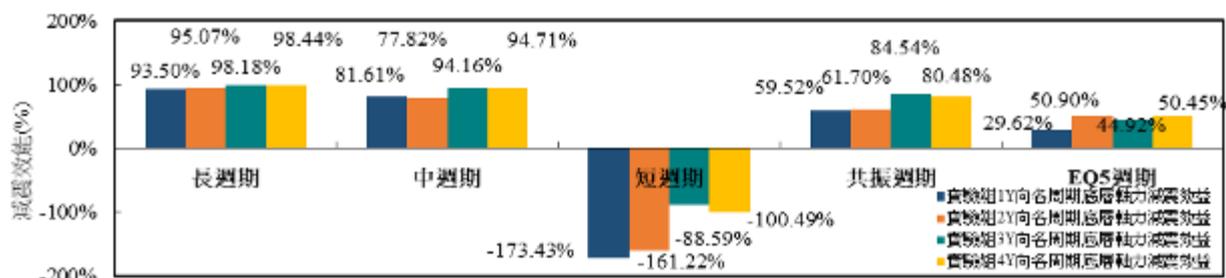


圖 6-1 各週期剪力牆安裝位置(Y 向)底層軸力減震效益關係圖

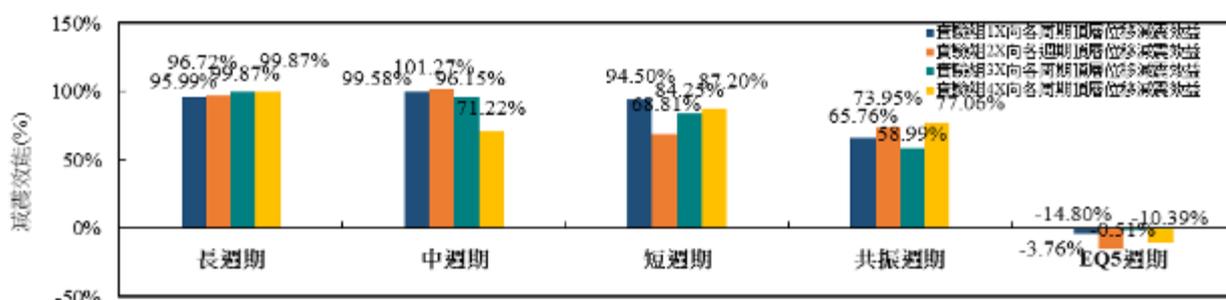


圖 6-2 各週期剪力牆安裝位置(X 向)頂層位移減震效益關係圖

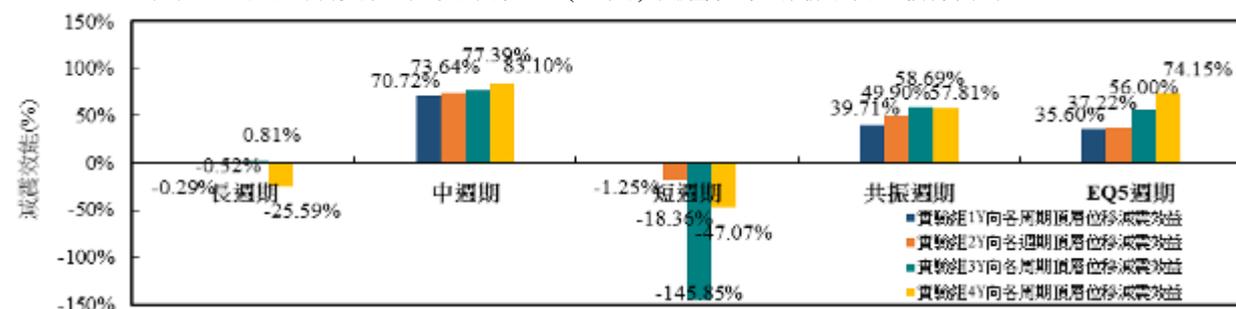


圖 6-3 各週期剪力牆安裝位置(Y 向)頂層位移減震效益關係圖

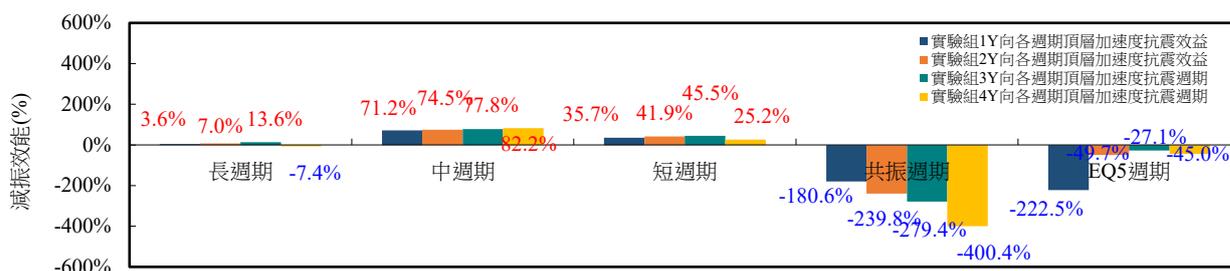


圖 6-4 各週期剪力牆安裝位置(Y 向)頂層加速度減震效益關係圖

依參考資料(四)，震盪力從下方與動平台接觸的部分均勻傳遞上來，勁心較接近在中間處。而擺放位置三、位置四較耐震是因為結構相對來說比較對稱，勁心與重心位置較為重和，於是減抑了多餘的側向震動。綜觀圖 6-1~6-4 得知校舍建物安裝剪力牆位置隸屬實驗組 4 於各方面表現最佳，證明剪力牆一般是指最早破壞的柱位處，安裝此處最具減震效益。

二、剪力牆開口形狀

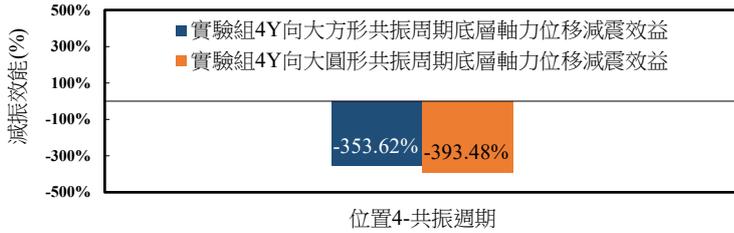


圖 6-5 剪力牆不同開口形狀(Y 向)底層軸力之減震效益關係圖

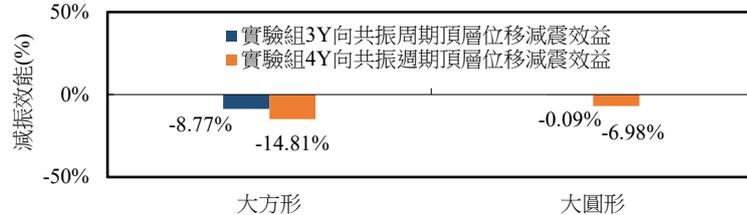


圖 6-6 剪力牆不同開口形狀(Y 向)頂層位移之減震效益關係圖

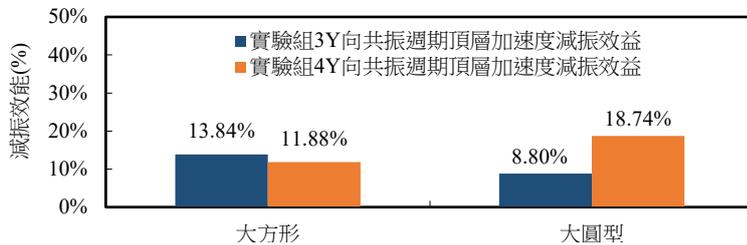


圖 6-7 剪力牆不同開口形狀(Y 向)頂層加速度之減震效益關係圖

三、剪力牆開口大小

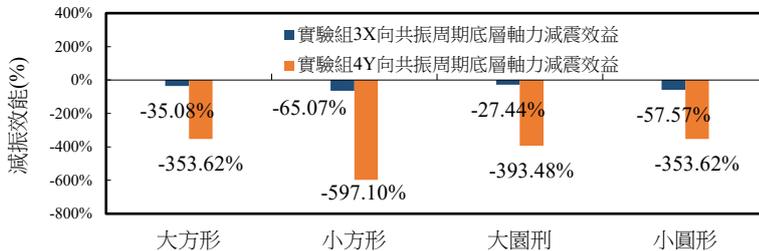


圖 6-8 剪力牆不同開口大小(Y 向)底層軸力之減震效益關係圖

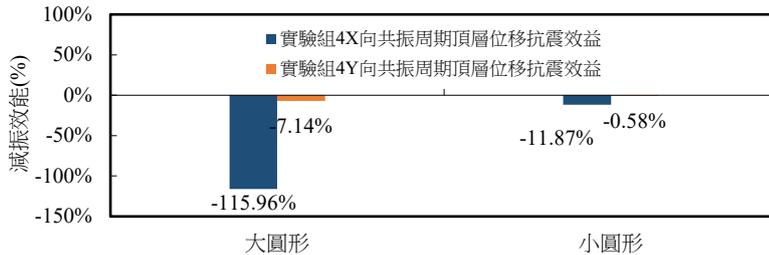


圖 6-9 剪力牆不同開口大小(Y 向)頂層位移之減震效益關係圖

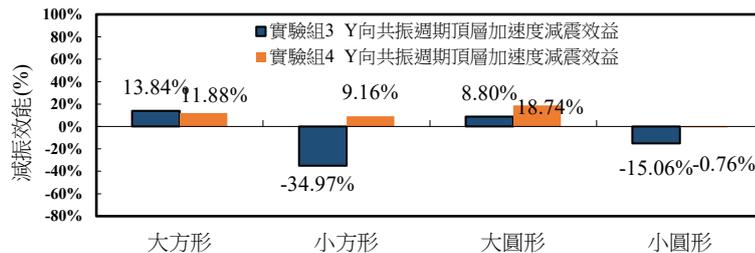


圖 6-10 剪力牆不同開口大小(Y 向)頂層加速度之減震效益關係圖

從剪力牆開口形狀相關實驗結果如圖 6-5~6 顯示，開口無論方形或圓形都將造成對減震效益降低情形，但因為將剪力牆開口造成牆體增加柔軟度，形成阻尼效應，故圖 6-7 可發現，開口大方形與大圓形的剪力牆，雖強度降低，但韌性增加，因而產生加速度獲得緩解情況。

對於剪力牆開口大小實驗結果顯示，如圖 6-8~9 可知，開口越大普遍造成軸力減震效益越低，位移亦是如此，可是因剪力牆面進行開口則有助於加速度減緩效果，但若是開口較小時仍使整體校舍建物維持剛性特質，加速度則較沒開口之剪力牆減震效益還要差。

四、剪力牆斷面材質

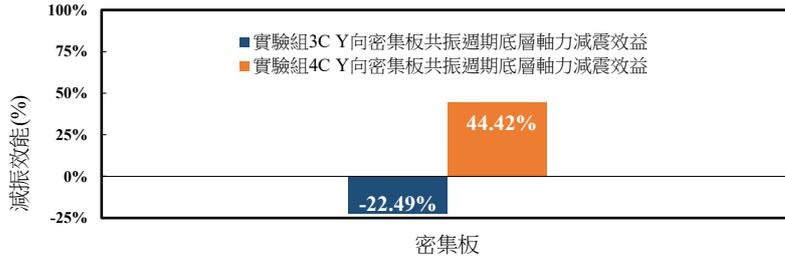


圖 6-10 剪力牆不同斷面材質(Y 向)頂層軸力之減震效益關係圖

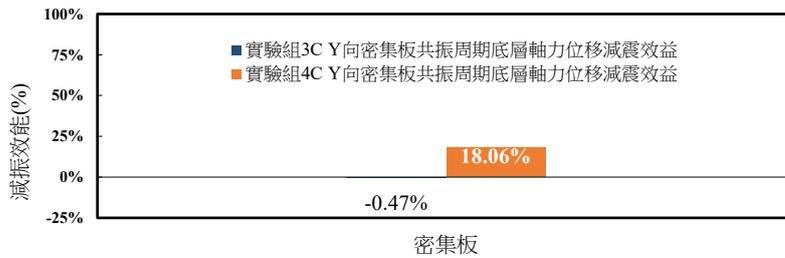


圖 6-10 剪力牆不同斷面材質(Y 向)頂層位移之減震效益關係圖

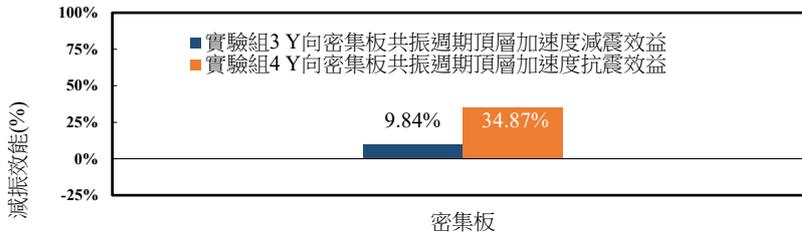


圖 6-10 剪力牆不同斷面材質(Y 向)頂層加速度之減震效益關係圖

在斷面材質上，本研究採用壓克力與密集板兩種材料面板，而密集板相較壓克力於軸力、位移與加速度之結果表現上，可發現位置 4 中密集板具有明顯之減振效益。推估原因為壓克力為塑膠化合物組成類似脆性材料，密集板分子為纖維木屑再透過膠合而成的板材，力學行為較屬韌性材料，可達到減震效益。

五、縮尺模型高度影響

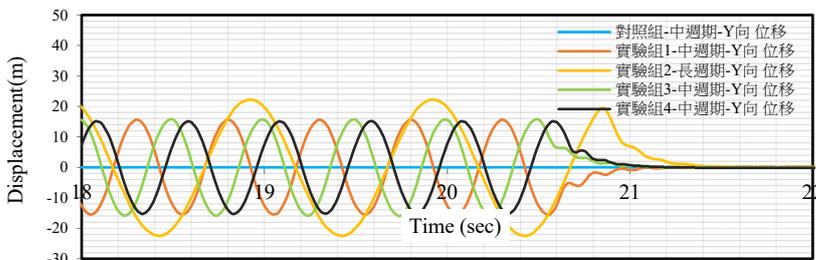


圖 6-11 短柱於對照組與實驗組在中週期下之頂層位移歷時關係圖

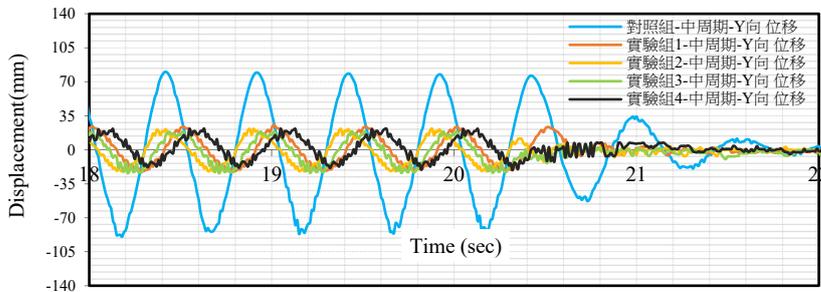


圖 6-11 長柱於對照組與實驗組在中週期下之頂層位移歷時關係圖

本研究初期因擔心搖晃造成模型柱體斷裂而採短柱結構組立，但結果如圖 6-11 所示，對照組與實驗組並無明顯差異。第二階段改採長柱結構，結果如圖 6-12 所示，加裝剪力牆則呈現減震效益，故桿件長度與規模將為影響整體結構之力學行為表現因素。

柒、結論

經過一系列研究的結果分析與討論，歸納出安裝位置、開口形狀、開口大小、斷面性質，以縮尺校舍建物模型評估剪力牆減震效益歸納結論，以下就各要項的結論作一說明：

一、安裝位置

一般剪力牆安裝位置經本研究應屬越靠近結構中心處為佳，可提供較佳之減震效益，但往往實務現況設計並非如此，主因為往往安裝位置須考量整體學校動線規畫配置，又因個別安裝位置之減震效益差異有限，故可理解學校剪力牆補強之設置原則。

二、開口形狀

開口形狀方形一般較圓形產生應力集中現象，但若模型規模太小或牆面強度差異不大，則有減振效益差距不明顯狀況。開口無論方形或圓形都將造成對減振效益降低情形。

三、開口大小

本研究得知補強方式應採用雙軸向斜撐，避免單軸向補強產生扭力破壞，但如果建物量體屬長方形則可採取單軸向，如目前校舍補強原則。

四、斷面性質

依參考資料(七)，系統可以看成一理想阻尼系統加上週期性的震動力，在不同的阻尼比之下輸入不同震動週期，系統的振幅會有放大表現。由於阻尼比以阻尼係數、質量、彈力常數所決定，與材料和結構所關。

五、總結

- (一) 整體實驗結果顯示，結構桿件所承受的力量與其斷面二次慣性矩成正比，斷面 **3mm×116mm** 的剪力牆所形成的極慣性矩相當於 **357 支 9mm×9mm** 的柱子，因此利用牆體來增加結構物的抗震度是最適合不過的。本實驗結果顯示，**安裝剪力牆後無論軸力或位移、加速度有顯著的制震效果。**
- (二) 本研究設計之實驗組 4 結構補強系統具有較佳之減震效益，與理論推論相符合。本研究中週期較短周期及長周期更接近共振週期，因此系統搖晃的程度也更接近振幅放大的尖峰處。造成以中週期作實驗時的位移、加速度表現都明顯大於短週期以及長週期。
- (三) 經實驗顯示不同形狀的開口幾乎都降低了制震效果，但方形小開口對 X 向位移有制震效果。方形、圓形大開口對 X 向加速度亦有制震效果。

(四) 使用本研究發展出之實驗模組，經多次相關耐震補強之研究結果驗證，透過此研究方式應具實質耐震補強效益之參考價值，未來將透過提高縮尺模型之尺寸規模，採用高度精密之感測分析系統，並搭配實務結構工程分析之數值模擬套裝軟體，將能加以提供具有結構補強方式的重要決策依據，期望能像國家地震工程中心相關實驗模擬之研究成果對耐震補強工程具有貢獻。



圖 7-1 國震中心實驗模組



圖 7-2 本研究之實驗模組

捌、參考資料及其他

- 一、東勢實驗教育喊卡遭批！市府：環評未完成不宜招生 <https://udn.com/news/story/7325/4741944>
- 二、高大上的新型剪力牆支撐體系!降本增效新亮點，直接看效果!
<https://read01.com/GPgnL3M.html#.YEDjM2gza70>
- 三、報導者 THE REPORTER 官網，林書帆，比地震更致命的「建築殺人」—關於耐震，我們必須知道什麼? <https://reurl.cc/QddMpZ>
- 四、國家地震中心 校舍耐震資訊網 Information Website for Seismic Assessment and Retrofit of School Buildings，什麼是耐震補強 <https://reurl.cc/D99G7d>
- 五、國家地震中心 建築物的勁心與重心，http://www.ncree.org/safehome/ncr03/pc5_2.htm
- 六、Tu Hoang (2014). Development of dynamic simulators using Pasco models equipped with LabVIEW
- 七、張皓(2012)。《動力學—最佳力學武器》。台北:鼎茂圖書出版有限公司。
- 八、王光遠(譯)(2006)。《結構動力學》北京:高等教育出版社。
- 九、Anil K.(1981). Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. New York: Pearson College Div.
- 十、劉宗儒(2016)。大學物理學精要。台北:偉文出版社
- 十一、張國鎮，安全耐震的家-認識地震工程，初版，台北市，國家地震工程研究中心，2009年
- 十二、高源清，地震大解剖，初版，台北市，牛頓出版，民國88年
- 十三、陳耀如、洪國珍、劉叔松，工程材料 I II，七版一刷，新北市，旭營文化，2014年，
- 十四、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，民國99年
- 十五、王鑫，基礎地球科學(上)(下)，再版二刷，台南市，南一書局，民國102年
- 十六、建築結構模型地震模擬試驗在教學應用之研究(2003年12月)·中華民國建築學會第十五屆建築研究成果發表會論文集
- 十七、既有 RC 建築物修復補強工法之性能試驗研究 內政部建築研究所委託研究報告(2011年12月)·內政部建築研究所報告。
- 十八、吳永進、林美櫻，AutoCAD2014 特訓教材/3D 應用篇，初版，台北市，基峰資訊股份有限公司
- 十九、張文澤、李光華，製圖實習 2，初版，新北市，台科大圖書，2012年
- 二十、詹雅晶、康通能，基礎工程力學上、下，初版，新北市，台科大圖書，2010年

【評語】 052406

藉由 PASCO 桿件縮小方式，將一特定長軸向校舍縮尺成建物模型，放置於六軸式電動平台，選用五種不同完整地震週期，試驗量測有無剪力牆之位移、軸力及加速度等，探討剪力牆安裝位置、開口形狀、開口大小及斷面材質等對其減震效益之影響，發現最早破壞柱位置安裝剪力牆，以及使用韌性材料等方式較具減震效益，本作品為延續性研究，惟整體而言，相關研究成果偏重實驗操作及量測數據整理，但研究內容可提升學生操作新穎儀器設備與程式之能力與經驗，其中，有關重心、形心與慣性矩之計算，可幫助學生驗證試驗結果之部分理論基礎。另外，縮尺模型選用壓克力板與密集板，可能無法真實反應混凝土材料強度尺寸效應，進而影響試驗結果與減震效益評估，同時，宜說明不同縮尺程度將如何影響試驗結果分析與評估，將有機會增加研究成果之應用範圍。

作品簡報

以剪力牆裝設於縮尺模型探討 校舍建物之減震效益

組別：高中組

科別：工程學科（二）

研究動機與目的

本研究為**延續性作品**，今年利用**高精密度感測儀器應變規**以及能夠應對尺寸效應的**自製長桿件**，藉由剪力牆的加裝**位置、開口形狀、開口大小、斷面材質**等控制變因，進行軸力、位移、加速度等應變變因之分析，探討其耐震程度與補強效益

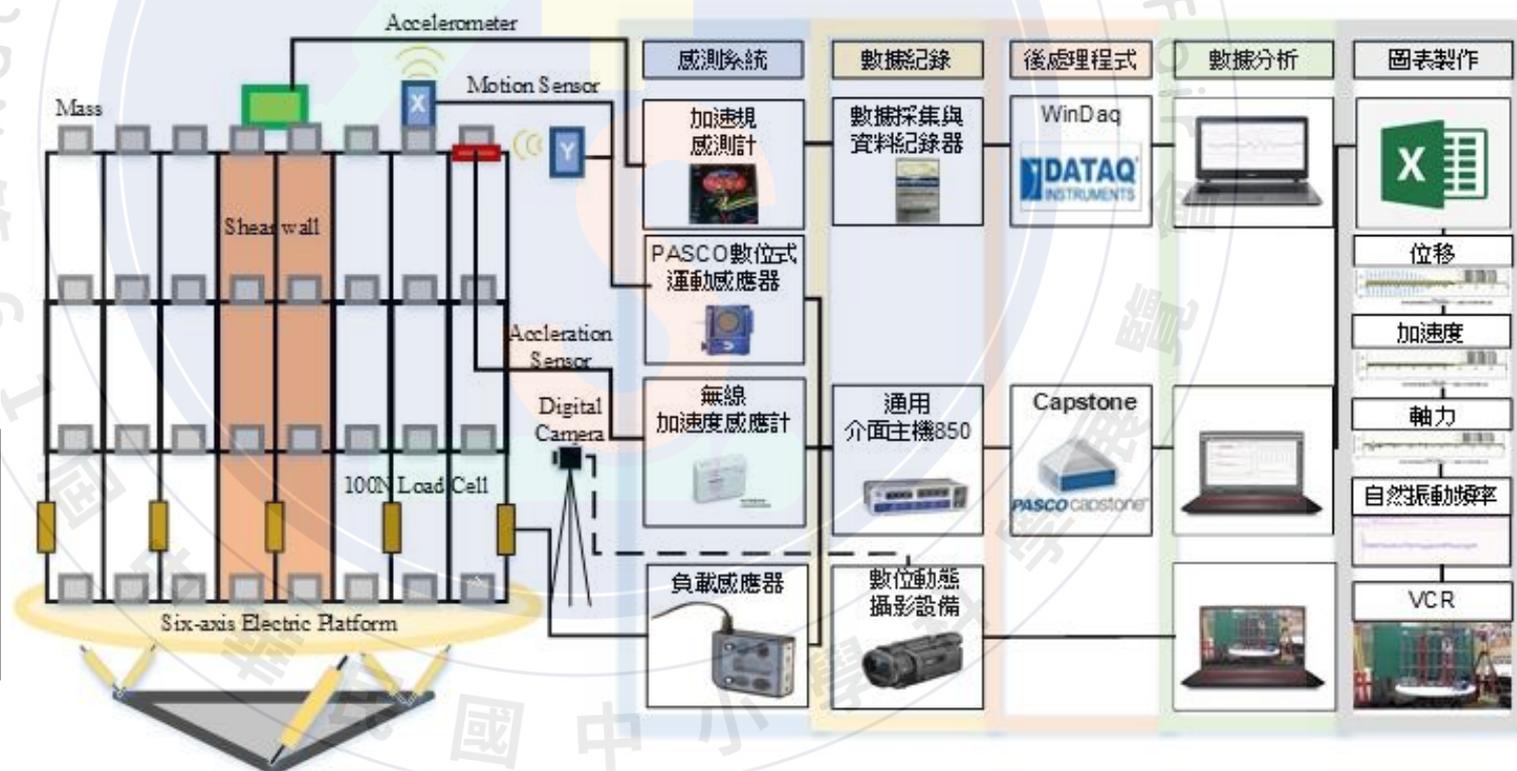
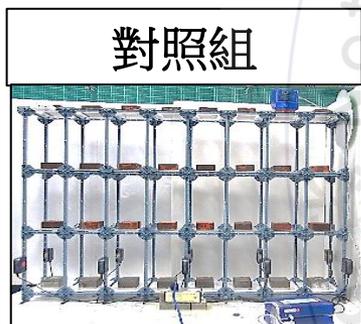
作者的歷屆作品：《以剪力牆裝設於縮尺模型探討校舍建物之減震效益》得出約中間位置制震效果為佳



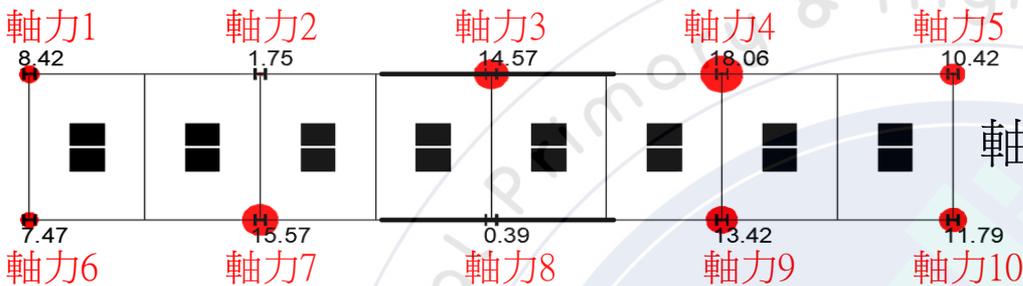
研究方法

利用長八個區塊、三層樓高的縮尺模型，進行對照組與實驗組（沒有與有剪力牆）減震效益研究。

使用數據採集與資料紀錄器與多頻道主機收集到**軸力、位移、加速度**的數據結果，最後統整成EXCEL圖表。



結果與討論－軸力與位置、開口形狀、大小



軸力在各柱位的表現，軸力4的效果較好

圖5-30 實驗組4於共振週期各柱位軸力分佈關係圖：補強位置4

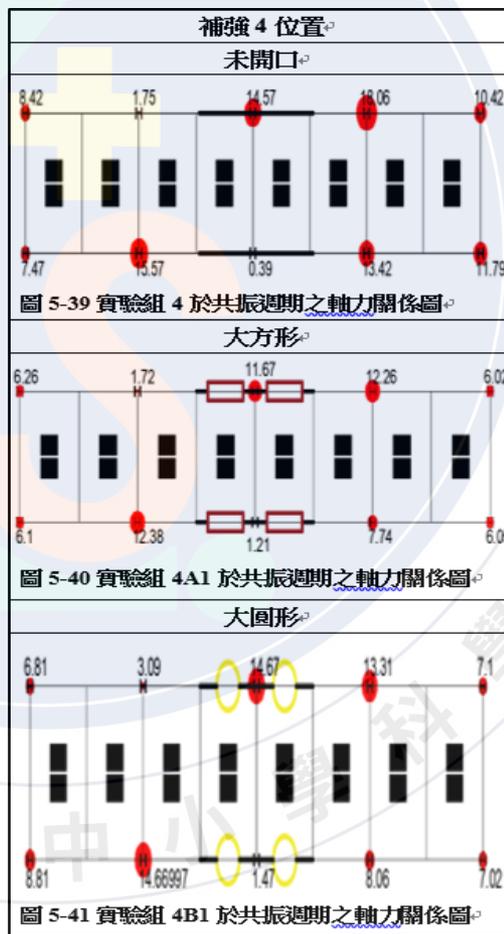


圖5-39 實驗組4於共振週期之軸力關係圖

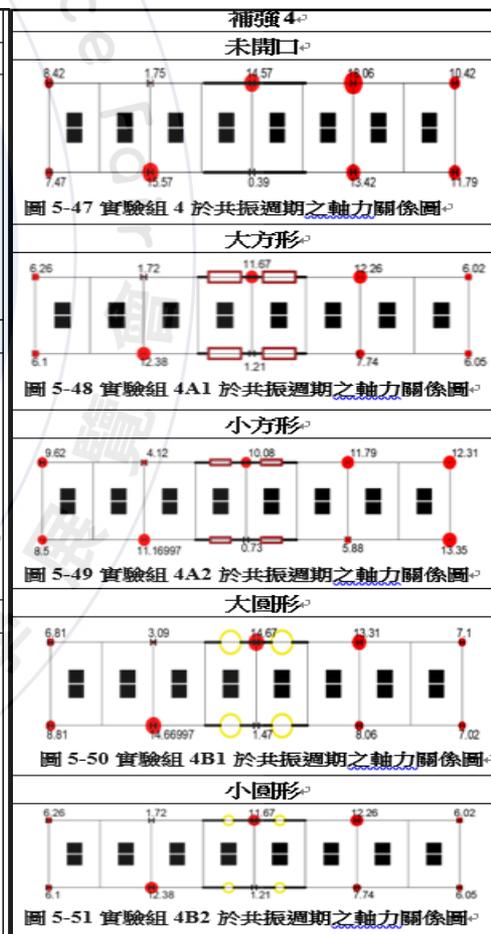


圖5-47 實驗組4於共振週期之軸力關係圖

圖5-48 實驗組4A1於共振週期之軸力關係圖

圖5-49 實驗組4A2於共振週期之軸力關係圖

圖5-50 實驗組4B1於共振週期之軸力關係圖

圖5-51 實驗組4B2於共振週期之軸力關係圖

而形狀、大小則無明顯差異現象，推估原因應屬材料強度對牆體補強效果影響有限。

結果與討論—位移與位置、開口形狀、大小

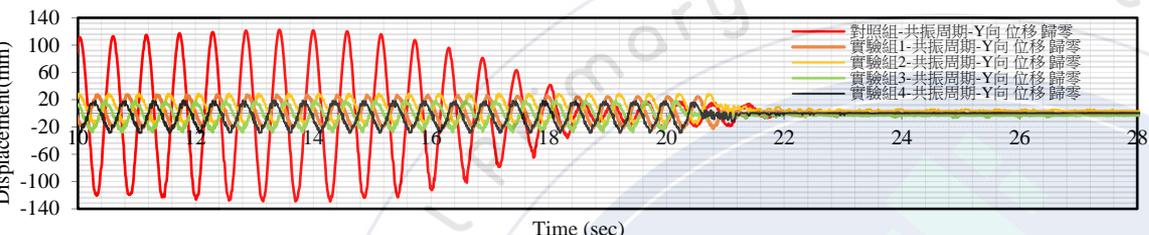


圖5-58不同剪力牆擺放位置之下，進行共振週期Y向之位移關係圖

在Y軸，對照組比實驗組的位移較大得知實驗組的減振效果較佳

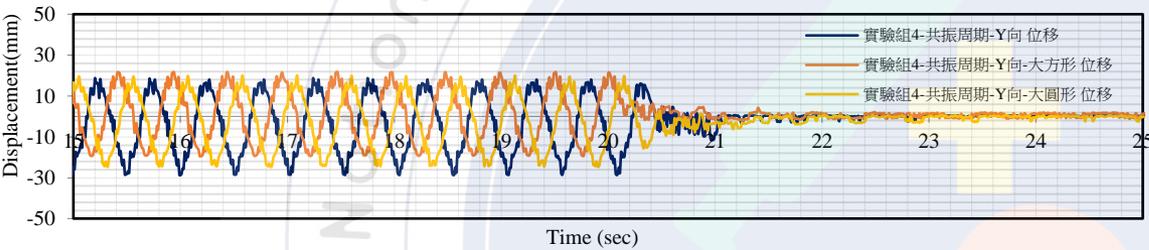


圖5-62 實驗組4在不同剪力牆開口形狀之下，進行共振週期Y向之位移關係圖

在實驗組4中，開口形狀的大方比大圓的減振效果較差。

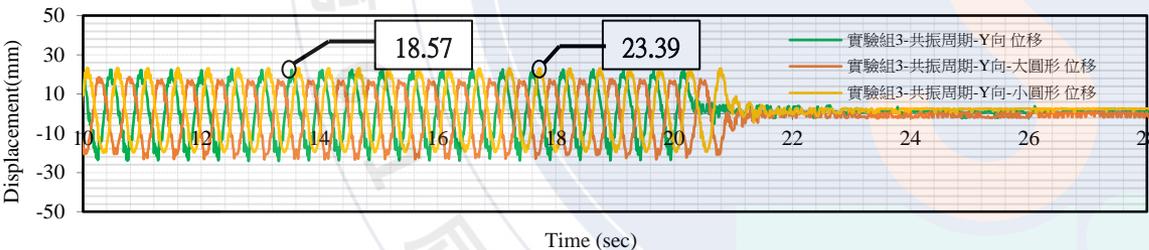


圖5-64實驗組3在不同剪力牆開口大小之下，進行共振週期Y向之位移關係圖

在實驗組3中，無開口位移為18.57mm，小圓形開口的位移為23.39mm

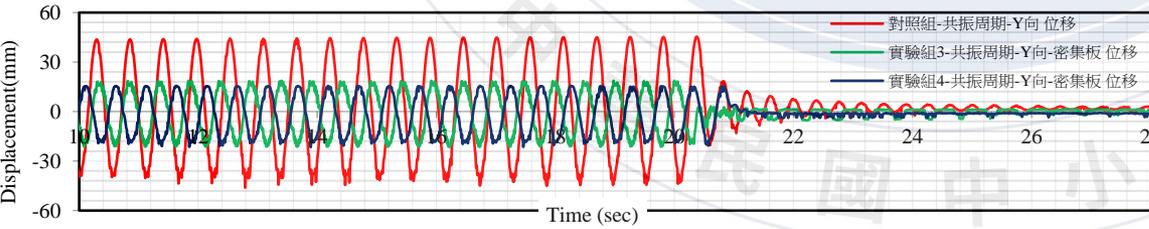


圖5-68 實驗組在不同剪力牆斷面材質之下，進行共振週期Y向之位移關係圖

密集板材質會比壓克力材質還要好

結果與討論—加速度與位置、開口形狀、大小

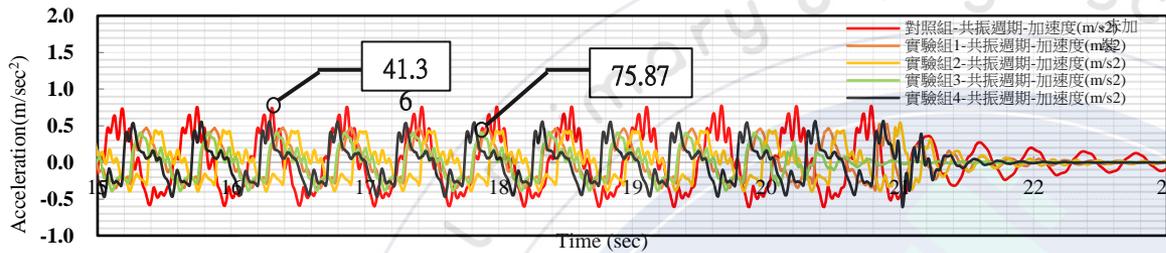
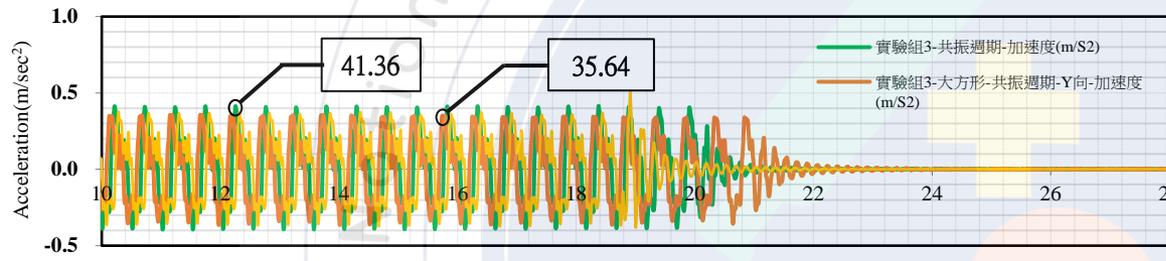


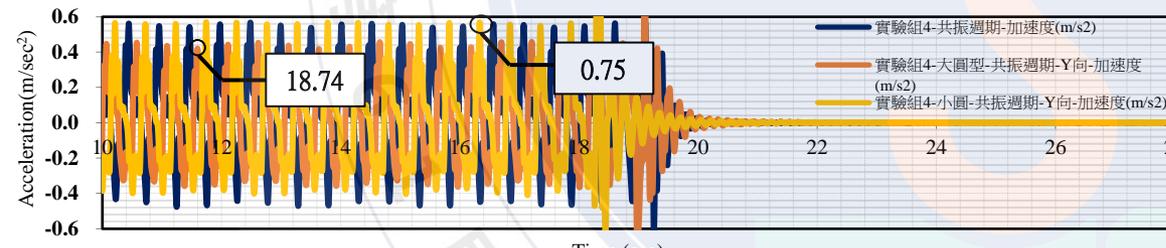
圖5-72不同剪力牆擺放位置之下，進行共振週期Y向之頂層加速度關係圖

安裝剪力牆後的Y向加速度均比未安裝剪力牆的Y向加速度少。



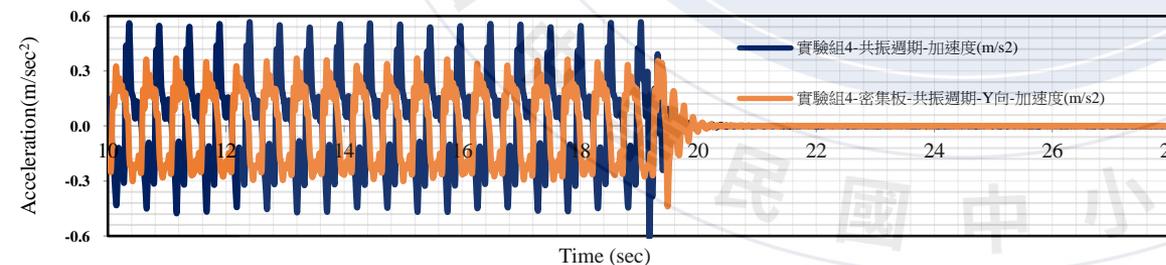
而在加速度中，反而實驗組3大方形比大圓形還要好。

圖5-74不同剪力牆開口形狀在位置3之下，進行共振週期Y向之頂層加速度關係圖



實驗組4大圓形減少18.74%，小圓開口只減少0.75%。可知圓形開口大會比小還要好。

圖5-78不同剪力牆開口大小在位置4之下，進行共振週期Y向之頂層加速度關係圖



實驗組4的密集板材質會比壓克力材質還要好。

圖5-80 在不同剪力牆剪力牆材質下，進行共振週期Y向之加速度關係圖

結果與討論－剪力牆安裝位置的減震效益

一、實驗組相較於對照組於「安裝位置」在位移、軸力、加速度之消能效益：

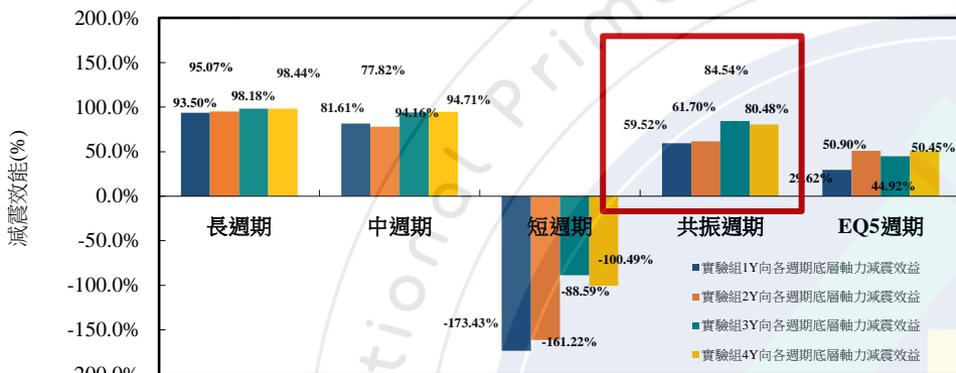


圖6-1各週期剪力牆安裝位置(Y向)底層軸力減震效益關係圖

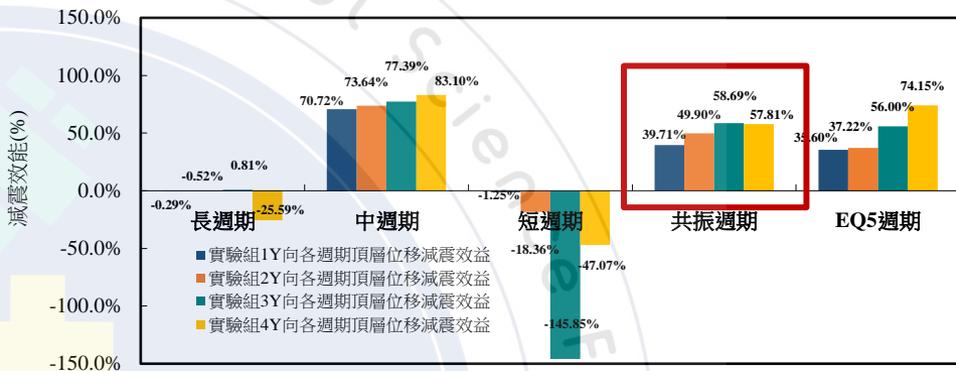


圖6-2各週期剪力牆安裝位置(Y向)頂層位移減震效益關係圖

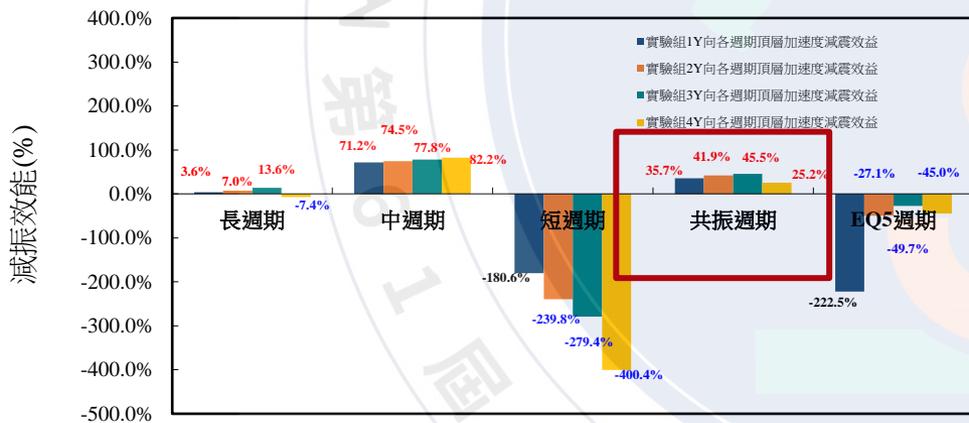


圖6-3各週期剪力牆安裝位置(Y向)頂層加速度減震效益關係圖

由上述不同位置剪力牆在不同週期下之軸力、位移、加速度差值百分比關係圖可得知結構物在中週期及共振週期的震動下，剪力牆有較佳的制震效果。

結果與討論－剪力牆開口形狀的減震效益

二、實驗組相較於對照組於「開口形狀」在位移、軸力、加速度之消能效益：

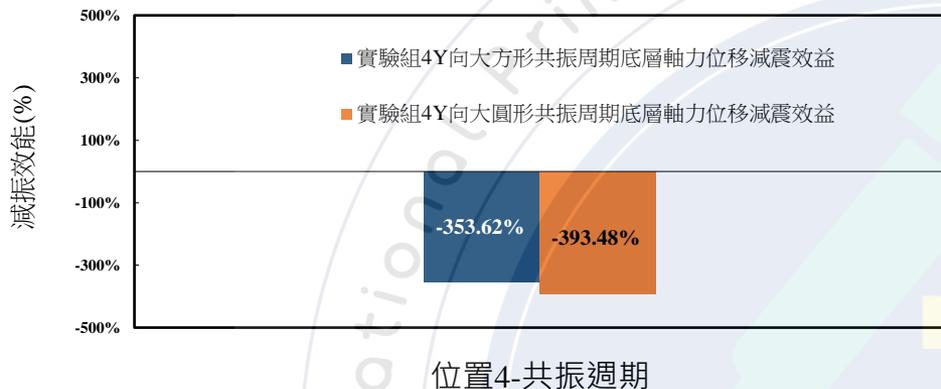


圖6-4剪力牆不同開口形狀(Y向)底層軸力之減震效益關係圖

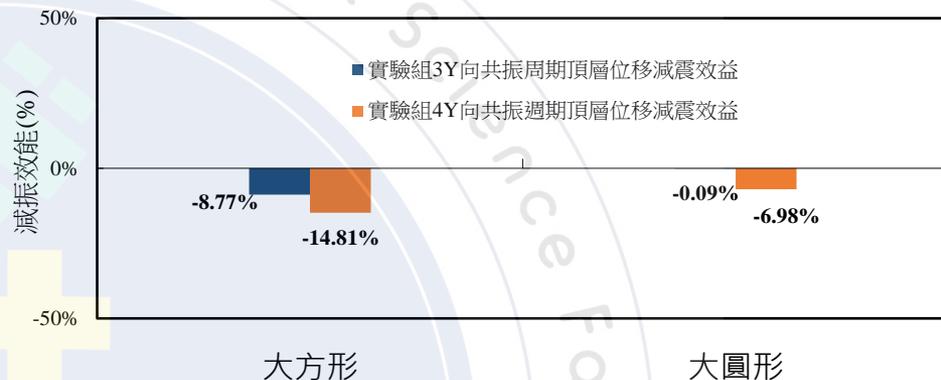


圖6-5剪力牆不同開口形狀(Y向)頂層位移之減震效益關係圖

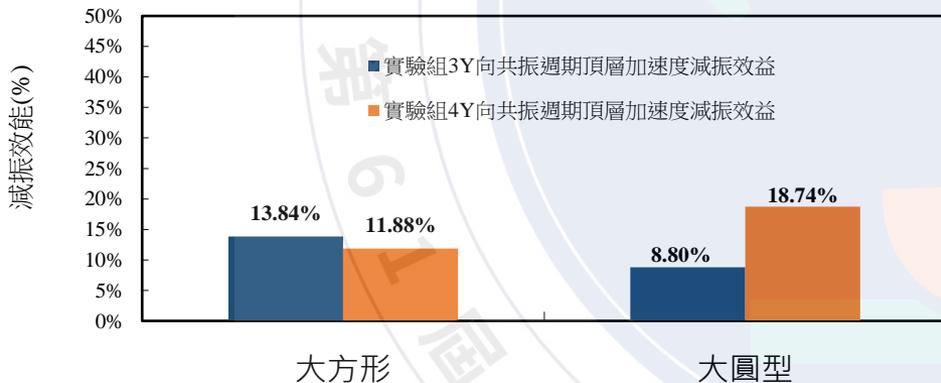


圖6-6剪力牆不同開口形狀(Y向)頂層加速度之減震效益關係圖

由上述不同形狀剪力牆在不同週期下之軸力、位移、加速度差值百分比關係圖可得知開口使軸力、位移產生負面影響使位移較大，但卻減緩了位移的二次時變率以至於加速度較小。

結果與討論－剪力牆開口大小的減震效益

三、實驗組相較於對照組於「開口大小」在位移、軸力、加速度之消能效益：

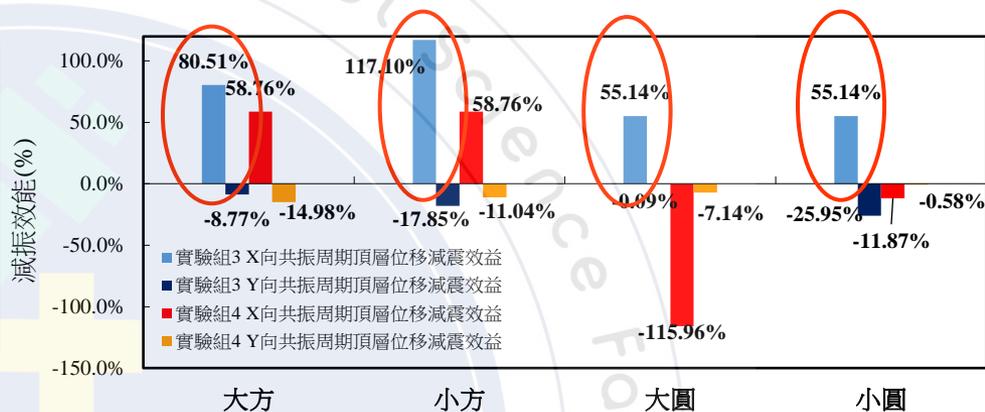
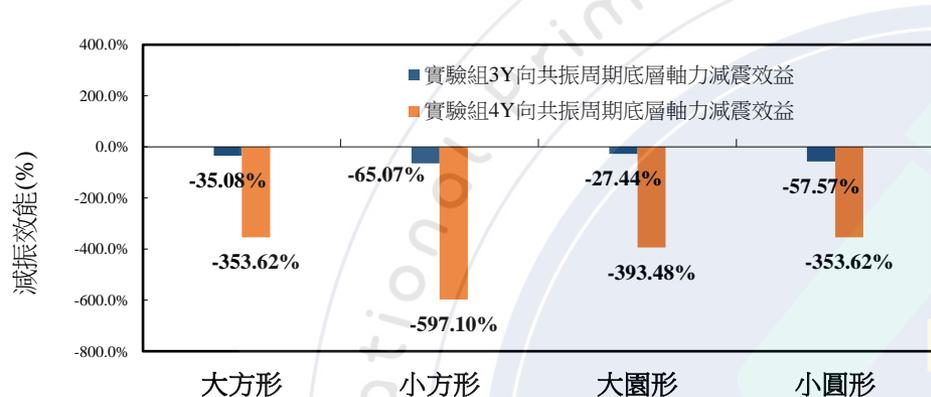


圖6-7 剪力牆不同開口大小(Y向)底層軸力之減震效益關係圖

圖6-8 剪力牆不同開口大小(Y向)頂層位移之減震效益關係圖

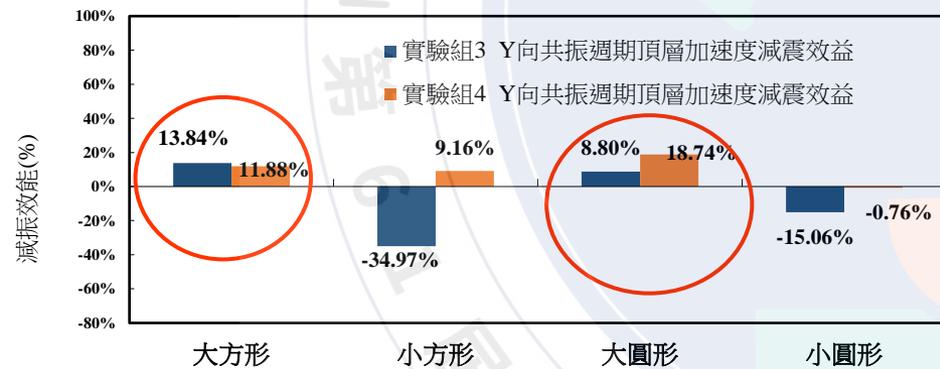


圖6-9 剪力牆不同開口大小(Y向)頂層加速度之減震效益關係圖

由上述不同開口大小剪力牆在不同週期下之軸力、位移、加速度差值百分比關係圖可得知開口後，軸力、Y方向位移的制震效果均變差，開口為小方形時的X向位移制震效果最好，開口為大方形、大圓形的加速度制震效果最佳。其餘的試驗結果都是負影響。

結果與討論－剪力牆斷面材質的減震效益

四、實驗組相較於對照組於剪力牆「斷面材質」在位移、軸力、加速度之消能益：

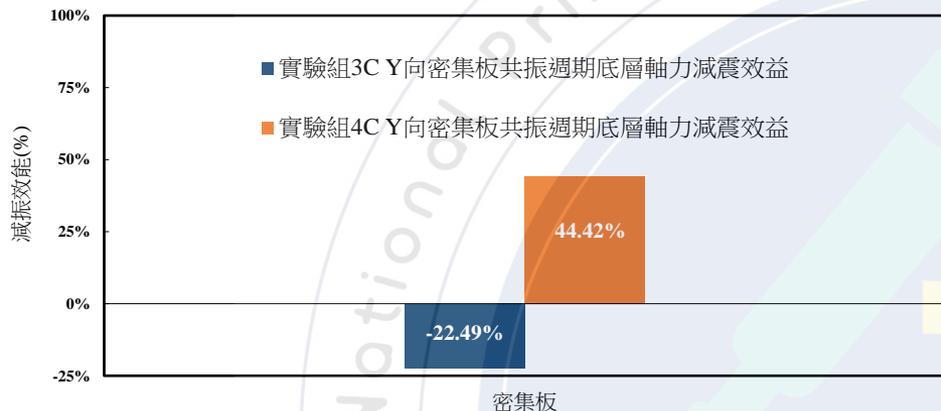


圖6-10剪力牆不同斷面材質(Y向)底層軸力之減震效益關係圖

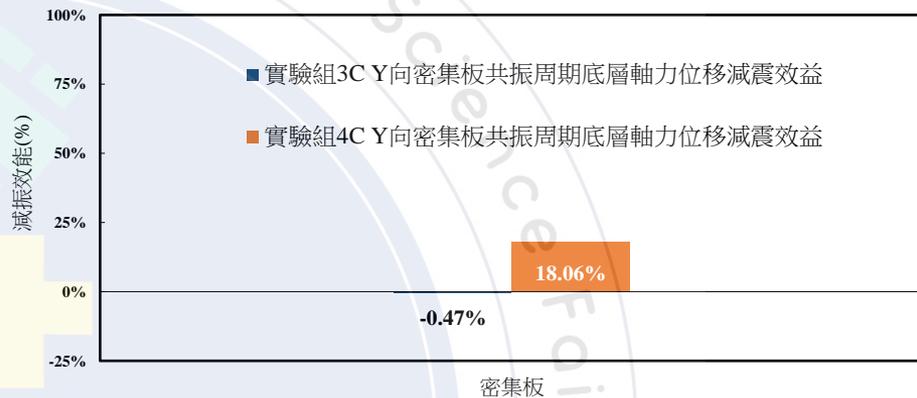


圖6-11剪力牆不同斷面材質(Y向)頂層位移之減震效益關係圖

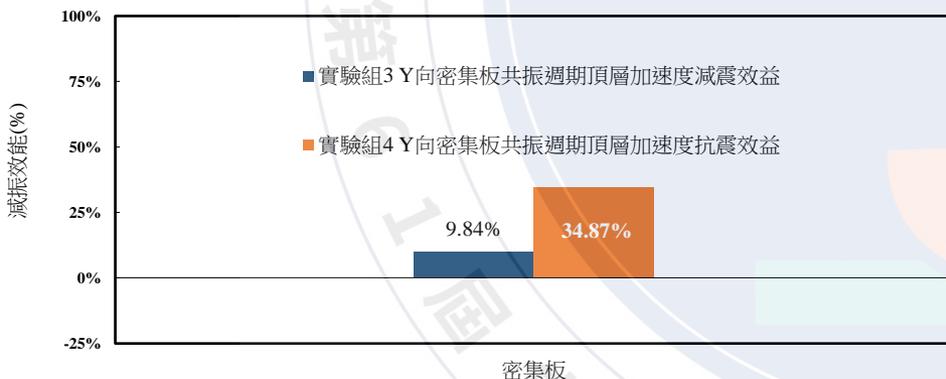


圖6-13剪力牆不同斷面材質(Y向)頂層加速度之減震效益關係圖

由上述不同材質剪力牆在不同週期下之軸力、位移、加速度差值百分比關係圖可得知**密集板在位置4**時，軸力、位移及加速度皆有**顯著的減振效益**。

結論與未來展望

1. 本研究發展出之實驗模組，經多次相關耐震補強之研究結果驗證，透過此研究方式應具實質耐震補強效益之參考價值，可節省國震中心的大量資金。
2. 透過提高縮尺模型之尺寸規模，採用高度精密之感測分析系統，並搭配實務結構工程分析之數值模擬套裝軟體，期望未來能對耐震補強工程與重要決策依據有所貢獻。



參考資料

一、國家地震工程研究中心（2009）。安全耐震的家—認識地震工程。臺北市：國家地震工程研究中心 2012年9月二版五刷

二、詹雅晶、康通能（2020）。基礎工程力學 上冊。新北市：台科大圖書 2020年04月初版

三、洪國珍、楊松翰、莊豐益（2020）。材料與試驗 上冊。高雄市：旭營文化 2020年3月初版