

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(二)科

團隊合作獎

052401

制震阻尼系統在縮尺建物消能運用之初步評估
探討

學校名稱：新北市立瑞芳高級工業職業學校

作者： 職二 劉昆祈 職二 黃聖閔 職二 楊凱鈞	指導老師： 李銘哲
---	------------------

關鍵詞：制震系統、阻尼器、縮尺建物

摘要

台灣位於歐亞地震板塊間，地震頻繁，近年由於高樓林立，結構物耐震日形重要，國內外研究中心相繼投入相當成本進行相關試驗，因此我們想透過本專題去探討藉由在縮尺建物中安裝制震阻尼系統，紀錄結構之減震效益。

本研究目的電腦繪圖與雷射切割進行制震阻尼系統設計，配合多款感測儀器設備進行縮尺模型之耐震試驗，並透過實驗模擬不同地震波下，比對制震阻尼系統模型之位移、軸力與加速度是否有相同之消能效益趨勢？並討論他們在實驗後各方面的特性差異並做比較，依結果數據，以「適用範圍」、「經濟效益」、「減震程度」三點進行評估探討，本研究之制震阻尼系統中於中週期高阻尼元件安裝 2/3 層樓以上皆具有理想降低地震力損害。

壹、研究動機

因台灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊之間，亦屬於環太平洋地震帶交界處，地震活動特別頻繁，有感地震每年高達一萬次之多，如圖 1-1 所示。且台灣地狹人稠為有效爭取居住空間，故近年來超高大樓數量激增，尤以都會地區最為明顯，因此如何降低建物結構於地震中之損傷程度。應為現今耐震設計之主要任務。

歷年來國家地震研究中心持續針對制震系統進行耐震實驗以評估結構安全效益，然而該中心以全尺建物進行實驗模擬之建置成本所費不貲，通常都高達千萬以上，如圖 1-2 所示。

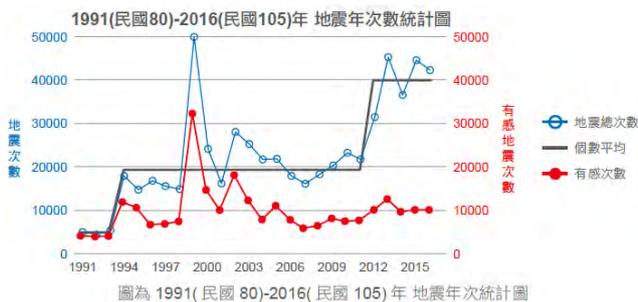


圖 1-1 地震年次數統計圖

摘自：中央氣象局官網



圖 1-2 國家地震研究中心之地震模擬實驗室

摘自：國家地震研究中心官網

因此我們擬定透過自行設計相關感測系統之實驗模組，收集相關現今使用制震系統，如圖 1-3~1-10 所示。並以創意發想自行設計制震阻尼元件，期望透過縮尺建物模型來進行類似國震中心的實驗架構，藉由收集相關數據，研擬出另一套具有經濟效益的實驗模組，以供規劃設計做為參考依據。



圖 1-3 被動式制震裝置

摘自：強固企業有限公司官網



圖 1-4 位移型制震系統

摘自：東運生技工程有限公司官網



圖 1-5 位移型制震阻尼器

摘自：強固企業有限公司官網



圖 1-6 黏彈性制震壁

摘自：東鉞企業股份有限公司官網



圖 1-7 斜撐消能阻尼器

摘自：新康卓科技股份有限公司官網



圖 1-8 黏滯阻尼器

摘自：東運生技工程有限公司官網



圖 1-9 黏滯性阻尼器

摘自：新康卓科技股份有限公司官網



圖 1-10 油壓阻尼器

摘自：強固企業有限公司官網

貳、研究目的

本研究目的搜尋相關資料，應用實際案例如圖 2-1~2-4，首先把縮尺模型固定，再將不同制震阻尼系統元件分別裝設於不同的樓層上，探討不同制震阻尼系統於不同週期之受力行為，並尋找裝設於不同樓層獲得最佳之消能效益。

因次我們開始進行一連串之資料收集、歸納分析跟實驗模擬，瞭解其地震波週期、阻尼性高低及安裝樓層數之制震效益關係，並探討其適用範圍、經濟效益、減震程度之三要項，如圖 2-5 所示，以驗證本研究實驗模組之可行性。



圖 2-1 阻尼器 摘自 <http://www.kyb-ksm.co.jp>



圖 2-2 制震壁 摘自 <http://www.hmsc.com.tw>



圖 2-3 阻尼器應用 摘自隨意窩日誌



圖 2-4 制震壁應用 摘自隨意窩日誌

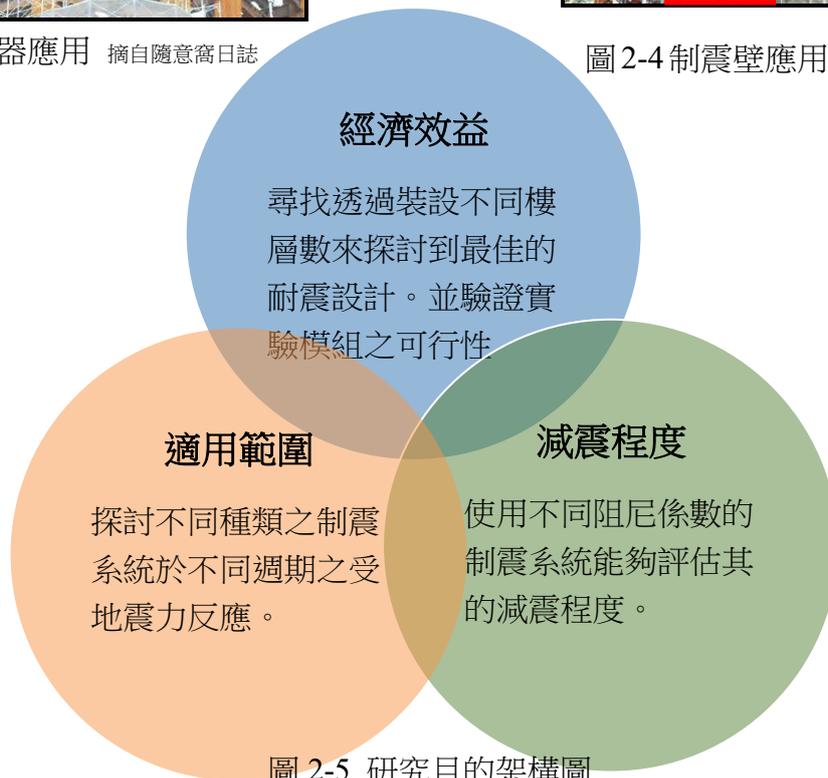


圖 2-5 研究目的架構圖

參、研究設備及器材

一、使用材料：

項次	名稱	數量
1	泡棉膠	3
2	螺絲	5
3	鐵絲	3
4	質量塊	14
5	PASCO 桿件	56
6	三秒膠	2
7	壓克力板	8
8	壓克力黏著劑	1
9	膠帶	3



二、使用儀器

項次	名稱	數量
1	Nikon NPR 352C	1
2	六軸式電動平台	1
3	SPARKlink Air 主機	2
4	負載放大器	2
5	負載感應器 5N	2
6	負載感應器 100N	10
7	運動位移感測器	2
8	雷射切割機	1
9	加速規監測設備	1
10	電子磅秤	1
11	攝影機	1
12	集線器	1



三、使用工具

項次	名稱	數量
1	尖嘴鉗	3
2	斜口鉗	1
3	十字起子	3
4	一字起子	3
5	剪刀	1
6	電鑽	2
7	美工刀	1
8	攝影機	1
9	攝影機腳架	1
10	攻牙器	2
11	板手	3
12	壓克力固定器	2
13	咖哩咖哩工具	1



肆、研究過程或方法

本研究透過八個研究過程進行隔震系統之減震與最佳化效能評估，以下就圖 4-1 表示

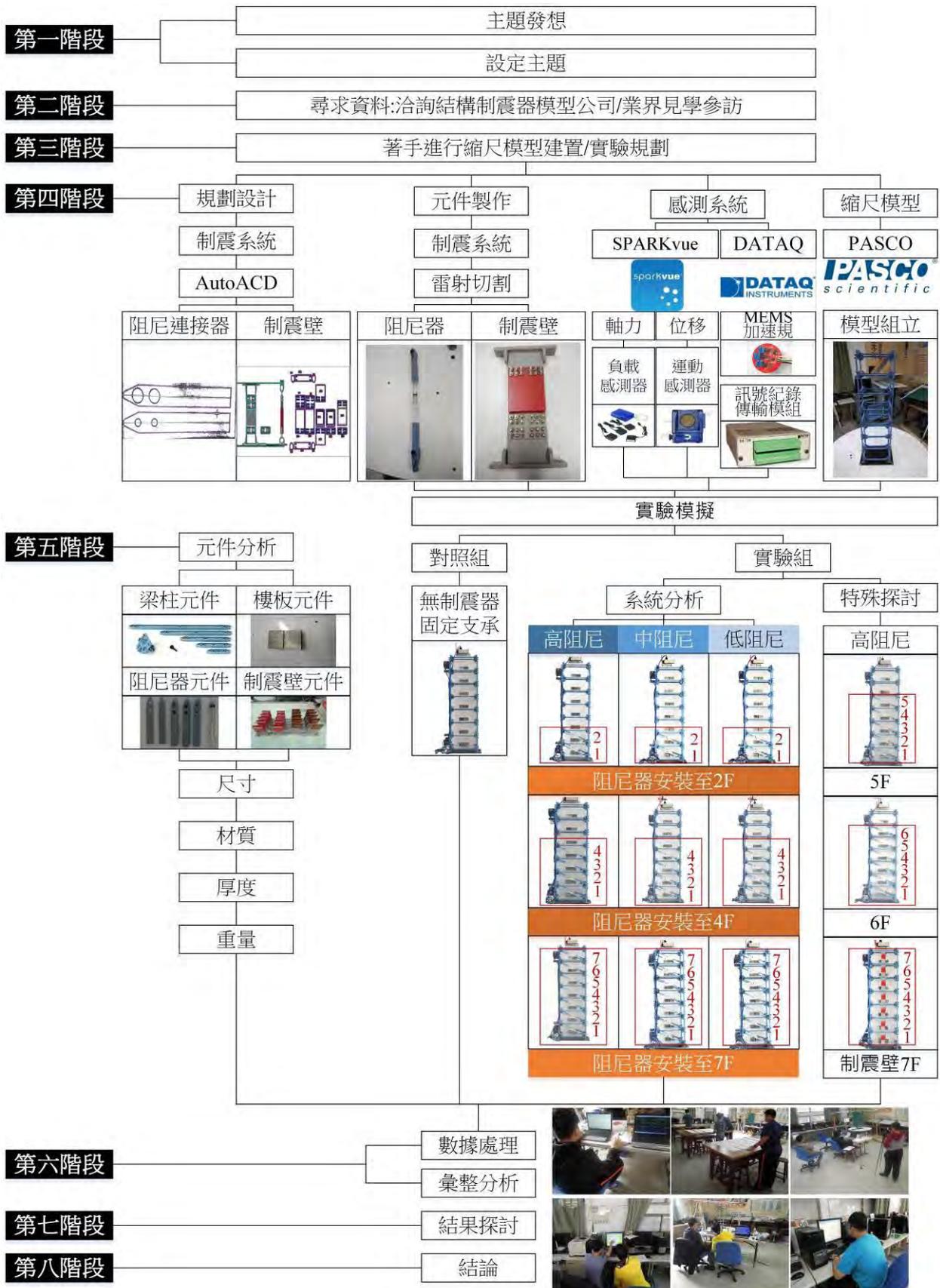


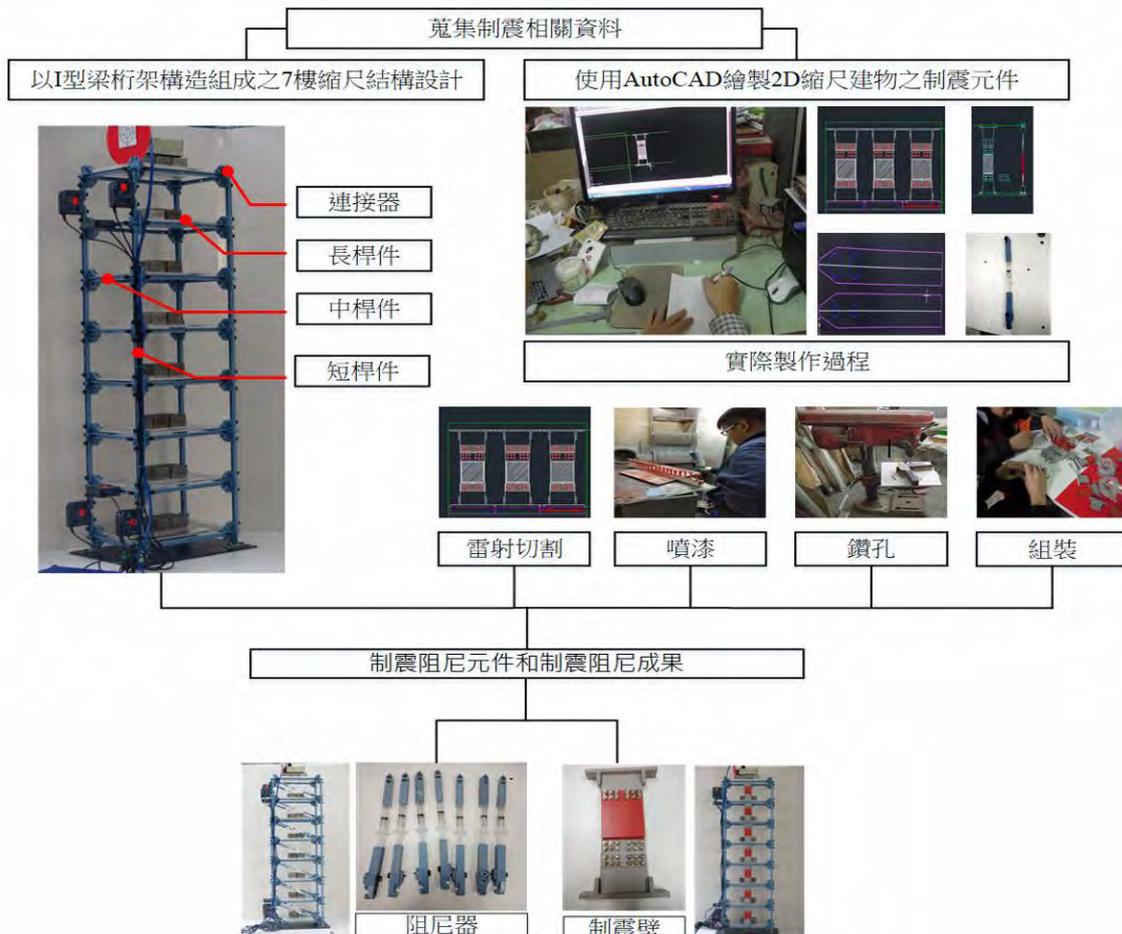
圖 4-1 本專題之整體架構流程圖

一、蒐集資料立體製圖

蒐集隔震系統相關資料：蒐集隔震相關文獻資料，使用 AutoCAD 設計制震器，並將設計好的制震器利用雷射切割做出制震元件。

■研究目的：設計結構與繪製制震器並雷射切割。

■研究步驟：先蒐集制震阻尼系統；其次為設計制震阻尼器後製作縮尺建物。



縮圖 4-2 設計與製作2D縮尺制震壁和和阻尼器之流程圖

圖 4-2 設計與製作縮尺制震阻尼系統之流程圖

一、元件分析試驗

(一) 樑柱元件：本研究之縮尺建物模型之相關桿件係採用 PASCO 結構系統所提供，此一材料已通過相關力學試驗檢測合格由廠商所提供之相關參數。相關材料參數如下表 4-1 所示。

(二) 樓版元件：本研究之樓版係採用市售壓克力，此一材料依據廠商所提供之相關參數。

(三) 雷射切割：本研究之隔震系統，透過參訪收集雷射切割手法並其運用。

如下表 4-1，並選擇常運用到 AutoCAD 軟體，而材料選用壓克力板作此研究的制震阻尼元件原料。

表 4-1 本研究之材料相關特性一覽表

梁柱尺寸與斷面				
項次	英文	中文	數值	
1	Outside height	外界高度	1	
2	Top flange width	頂部翼版寬度	1	
3	Top flange thickness	頂部翼版厚度	0.17	
4	Web thickness	腹板厚度	0.254	
5	Bottom flange width	下翼緣寬度	1	
6	Bottom flange thickness	底部翼版厚度	0.17	
7	Mass per unit Volume	單位體積的質量	1.09E-06	
8	Weight per unit Volume	單位體積的重量	1.07E-03	
9	Modulus of Elasticity	彈性模量	23445	
10	Poisson's Ratio	波松比	0.35	
11	Coeff of Thermal Expansion	熱膨脹系統	1.17E-05	
樓板尺寸與斷面				
項次	英文	中文	數值	
1	Mass per unit Volume	單位體積的質量	1.20E-06	
2	Weight per unit Volume	重量每單位體積	1.20E-03	
3	Modulus of Elasticity	彈性模量	3.20E+04	
4	Poisson's Ratio	波松比	3.30E-01	
建物尺寸				
長	寬	樓層	每層高度	累計高度
26.7	14.15	STOEY8	12.75	92.18
		STOEY7	12.75	79.43
		STOEY6	12.75	66.68
		STOEY5	12.75	53.93
		STOEY4	12.75	41.18
		STOEY3	12.75	28.43
		STOEY2	12.75	15.68
		STOEY1	2.93	2.93
2D 切割型式與原料				
項次	切割型式	原料種類		
1	CAD/2D 雷射切割	ABS 板、橡膠板、壓克機板、紙板、木板、塑膠板、PVC 板		

(四) 儀器規格研究：

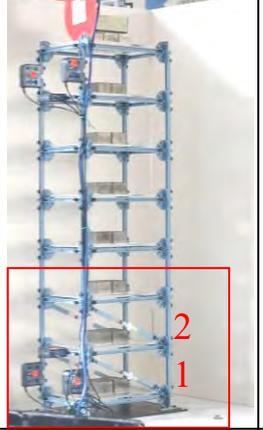
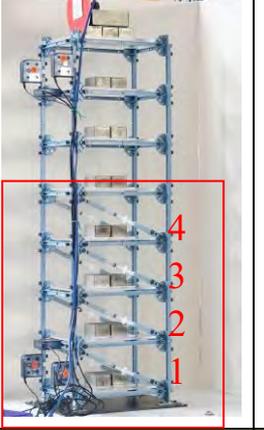
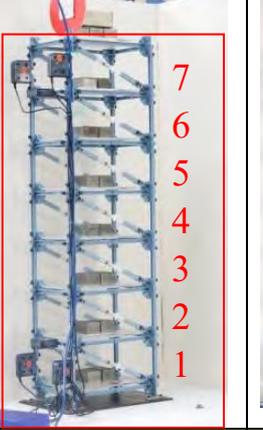
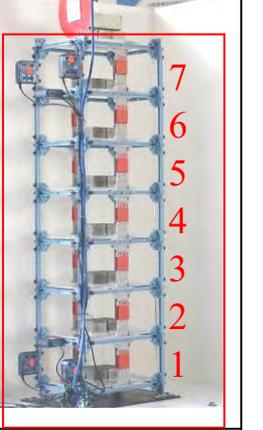
表 4-2 本研究之儀器相關特性一覽表

項次	名稱	規格	項次	名稱	規格
1	全站儀 Nikon NPR 352C	測距精度 0.1mm/1mm 補償精度±1” 角度測量 1” / 5”	4	電子磅秤	最重 6200g 最輕 5g 精確度 0.1g
2	PASPORT 運動感測器	範圍 0.15 至 8m 解析度 1.0 毫米 傳感器旋轉範圍 360°	5	負荷感應器	範圍±100N ±5N 精確度±1% ±1% 安全過載±150 N ±7.5 N
3	SPARKlink Air 主機	兩個傳感器端口，內置溫度 和電壓傳感器與探頭， USB 和藍牙連接	6	美製雷射切割機	範圍 81X45CM 板面 速度公率 60% 速度和 Z 軸高度是依材料尺寸、 性質而有所不同

二、實驗模擬耐震試驗

■試驗目的：探討透過制震系統設計，並利用實驗模擬，由對照組來測試出建物模型在彈性範圍內，制振系統是否發揮減震趨勢。

表 4-3 本研究之對照組與實驗組之縮尺建物說明一覽表

				
對照組	阻尼器(高/中/低) 安裝至 2F	阻尼器(高/中/低) 安裝至 4F	阻尼器(高/中/低) 安裝至 7F	制震壁安裝至 7F

■試驗步驟：如下表所示。

表 4-4 實驗模擬之耐震試驗操作程序說明一覽表

項目順序	主旨	說明	圖表			
Step 1	建物系統 安裝確認	建物模型/ 隔震系統 樓版/載重				
Step 2	感測系統 安裝設定	運動·負載感測系統 加速規感測器系統 數位攝影設備 高精度全站儀				
Step 3	抗震台啟動 地震波設定	進行長、中、短及共 振頻率的週期地震 波，	項次	項目	週期(sec/次)	振幅(mm)
			1	長週期	1.000	依實際電動平台輸 出沖成能量而定
			2	中週期	0.500	
			3	短週期	0.200	
4	共振週期	模型自然振動頻率				
Step 4	訊號擷取 動態攝影 座標檢測 頻譜分析	位移歷時	利用運動感測器量使用 Pasco SPARKvue 將其匯整至 Excel 進行圖表換算分析。測出地表及頂層之歷時位移。			
		軸力歷時	使用負載感應器測出頂層級第一層之軸力歷時變化。使用 Pasco SPARKvue 將其匯整至 Excel 進行圖表換算分析。			
		3D 座標(X.Y.Z)	運用 Nikon NPR 352C 全站儀測量出搖晃前與搖晃後之建物 3D 座標是否偏移。			
		加速度歷時 自然震動頻率(Hz)	利用 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。並將類比訊號轉換數位訊號之頻率後，比對出差異已判斷建物是否受損狀況。			
Step 5	轉換 EXCEL 進行分析討論	1. 比較實驗組與對照組之頂層與地表之軸力、位移、加速度之關係 2. 比對實驗組與對照組之適用範圍、減震程度、經濟效益				

表 4-5 實驗模擬之耐震試驗操作程序說明

步驟	操作內容	量測項目
Step1	給予模型適當的微振動源	搖前之自然震動頻率(Hz)/3D座標
Step2	進行長周期地震波之模型振動	搖前之模型頂層位移歷時(mm)/ 軸力歷時(N)/加速度歷時(m/sec ²)
Step3	給予模型適當的微振動源	搖後之自然震動頻率(Hz)/3D座標
Step4	進行中周期地震波之模型振動	搖前之模型頂層位移歷時(mm)/ 軸力歷時(N)/加速度歷時(m/sec ²)
Step5	給予模型適當的微振動源	搖後之自然震動頻率(Hz)/3D座標
Step6	進行短周期地震波之模型振動	搖前之模型頂層位移歷時(mm)/ 軸力歷時(N)/加速度歷時(m/sec ²)
Step7	給予模型適當的微振動源	搖後之自然震動頻率(Hz)/3D座標
Step8	進行共振周期地震波之模型振動	搖前之模型頂層位移歷時(mm)/ 軸力歷時(N)/加速度歷時(m/sec ²)
Step9	給予模型適當的微振動源	搖後之自然震動頻率(Hz)/3D座標



圖 4-3 實驗模擬之耐震試驗模組下現場操作現況說明

三、阻尼係數計算依據

■試驗目的：透過阻尼係數計算，能瞭解制震阻尼系統中給予本研究所自行設計之高、中、低阻尼器之量化定義表徵。

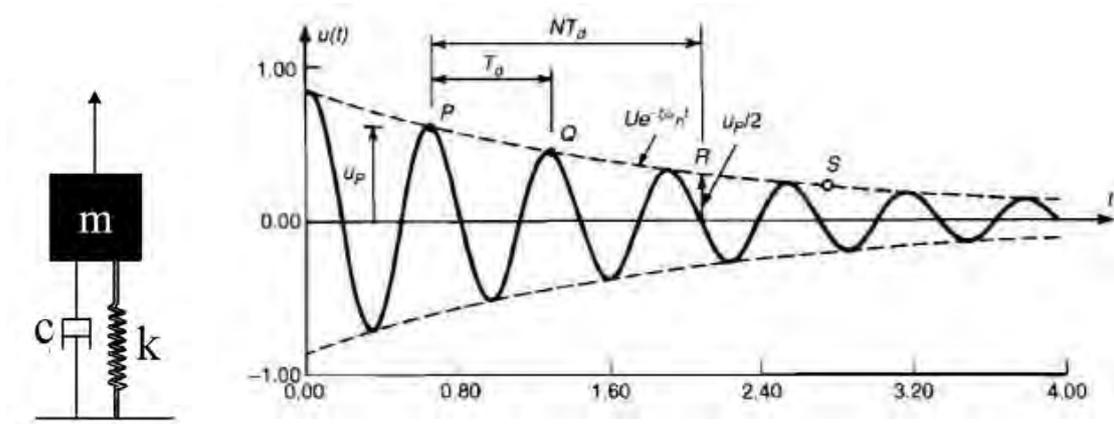


圖 4-4 具有粘性阻尼的單自由度系統的自由振動關係圖

阻尼比：對於一個次阻尼的系統，運動方程式的解可以寫成

$$x_m e^{-\xi\omega_n t} \cos(\omega_d t + \phi)$$

若 P、Q 間有一個完整的振動週期，完整振動週期的起始振幅為 u_P ，完整振動週期的結束振幅為 u_Q ，由於歷經一次完整的週期，因此兩點的 $\cos(\omega_d t + \phi)$ 值相等，又 $t_Q = t_P + T_d$ ，因此：

$$\frac{u_P}{u_Q} = e^{\xi\omega_n T_d} \text{-----式 3.51}$$

振幅的對數遞減量 δ 定義為

$$\delta = \ln \frac{u_P}{u_Q} = \xi\omega_n T_d \text{-----式 3.52}$$

其中 T_d 為阻尼自由週期，可寫成

$$T_d = \frac{2\pi}{\omega_d} = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}} \text{-----式 3.53}$$

合併 3.52 及 3.53，我們可得

$$\delta = \xi\omega_n T_d = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1-\xi^2}} \text{-----式 3.54}$$

當 ξ 小於 0.2 時，上式能近似成

$$\delta \approx 2\pi\xi \text{-----式 3.55}$$

在可接受的範圍內，阻尼比可表示成

$$\xi = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{u_P}{u_Q} \text{-----式 3.56}$$

伍、研究結果

本研究是透過縮尺模型、阻尼元件、負載感測器、運動感測器、六軸式電動平台、微震動感測設備、全站儀進行一系列的實驗，以下就實驗結果分為建物受地震波後之位移、軸力、加速度之量測結果，依序分項說明如下：

一、位移

表 5-1 實驗模擬-耐震試驗實驗組與對照組各週期「位移」之頂層最大值一覽表

模擬步驟		1 2 3 4 5 6 7 8 9										模擬步驟		1 2 3 4																	
地震波週期		安裝 制震 系統 樓層	1		2		3		4		5		6		7		8		9		地震波週期		安裝 制震 系統 樓層	1		2		3		4	
量測項目			本身	長週期 1.0秒/次		中週期 0.5秒/次		共振週期 0.337秒/次		短週期 0.2秒/次		地震波週期		量測項目		長週期		中週期		共振週期		短週期									
			自然 震動 頻率 (Hz)	受震後 頂層 位移 (mm)	地震波週期		受震後 頂層 位移 (mm)	受震後 頂層 位移 (mm)	受震後 頂層 位移 (mm)	受震後 頂層 位移 (mm)	Max	Max		Max	Max																
對照組	無阻尼器	2.970	19.08	2.970	79.79	2.970	11.03	2.970	3.89	2.970	3.89	2.970	2.970	地表		19.08	80.55	6.49	3.89												
實驗組1-高阻尼	2層	2.970	15.44	2.810	38.12	2.810	10.66	2.810	3.29	2.810	3.29	2.810	2.810	實驗組 高阻尼		15.44	38.12	10.66	3.29												
差值(%)			23.6		109.3		3.5		18.2					差值		23.58%	111.31%	64.25%	18.24%												
對照組	無阻尼器	2.970	19.080	2.970	79.79	2.970	11.03	2.970	3.89	2.970	3.89	2.970	2.970	地表		19.08	79.79	11.03	3.89												
實驗組1-高阻尼	4層	2.890	14.12	2.810	20.68	2.810	11.85	2.810	3.99	2.810	3.99	2.810	2.810	實驗組 高阻尼		14.12	20.68	11.85	4.34												
差值(%)			35.1		285.8		7.4		2.6					差值		35.13%	285.83%	7.43%	11.57%												
對照組	無阻尼器	2.970	19.080	2.970	79.79	2.970	11.03	2.970	3.89	2.970	3.89	2.970	2.970	地表		19.08	79.79	11.03	3.89												
實驗組1-高阻尼	7層	2.970	11.68	2.810	13.23	2.810	10.71	2.810	1.26	2.810	1.26	2.810	2.810	實驗組 高阻尼		11.68	13.23	10.71	1.26												
差值(%)			63.4		503.1		3.0		208.7					差值		63.36%	503.10%	2.09%	208.73%												
對照組	無阻尼器	2.970	19.08	2.970	79.79	2.970	11.03	2.970	3.89	2.970	3.89	2.970	2.970	地表		19.08	79.79	11.03	3.89												
實驗組2-中阻尼	2層	2.970	17.86	2.890	51.69	2.890	42.35	2.890	2.69	2.890	2.69	2.890	2.890	實驗組 中阻尼		17.86	51.69	42.35	2.69												
差值(%)			6.8		54.4		284.0		44.6					差值		6.83%	54.36%	283.95%	44.61%												
對照組	無阻尼器	2.970	19.08	2.970	79.79	2.970	11.03	2.970	3.89	2.970	3.89	2.970	2.970	地表		19.08	79.79	11.03	3.89												
實驗組2-中阻尼	4層	2.970	13.44	2.890	14.10	2.890	15.07	2.890	3.32	2.890	3.32	2.890	2.890	實驗組 中阻尼		13.44	14.10	15.07	3.32												
差值(%)			42.0		465.9		36.6		17.2					差值		41.96%	465.89%	36.63%	17.17%												
對照組	無阻尼器	2.970	19.08	2.970	79.79	2.970	11.03	2.970	3.89	2.970	3.89	2.970	2.970	地表		19.08	79.79	11.03	3.89												
實驗組2-中阻尼	7層	2.930	9.33	2.890	9.16	2.890	13.98	2.890	1.76	2.890	1.76	2.890	2.890	實驗組 中阻尼		9.33	9.16	13.98	1.76												
差值(%)			104.5		771.1		26.7		121.0					差值		104.50%	771.07%	26.75%	121.02%												
對照組	無隔震器	2.970	19.08	2.970	79.79	2.970	11.03	2.970	3.89	2.970	3.89	2.970	2.970	地表		19.08	79.79	11.03	3.89												
實驗組3-低阻尼	2層	2.970	15.84	2.970	52.56	2.970	12.68	2.970	2.52	2.970	2.52	2.970	2.970	實驗組 低阻尼		15.84	52.56	12.68	2.52												
差值(%)			20.5		51.8		15.0		54.4					差值		20.45%	51.81%	14.96%	54.37%												
對照組	無隔震器	2.970	19.08	2.970	79.79	2.970	11.03	2.970	3.89	2.970	3.89	2.970	2.970	地表		19.08	79.79	11.03	3.89												
實驗組3-低阻尼	4層	2.970	17.08	2.970	44.66	2.970	12.56	2.970	3.03	2.970	3.03	2.970	2.970	實驗組 低阻尼		17.08	44.66	12.56	3.03												
差值(%)			11.7		78.7		13.9		28.4					差值		11.71%	78.66%	13.87%	28.38%												
對照組	無隔震器	2.970	19.08	2.970	79.79	2.970	11.03	2.970	3.89	2.970	3.89	2.970	2.970	地表		19.08	79.79	11.03	3.89												
實驗組3-低阻尼	7層	2.970	8.66	2.810	42.32	2.810	14.78	2.810	2.59	2.810	2.59	2.810	2.810	實驗組 低阻尼		8.66	42.32	14.78	3.36												
差值(%)			120.3		88.5		34.0		50.2					差值		120.32%	88.54%	34.00%	15.77%												

(一)對照組與各實驗組「不同週期」之位移關係

1 對照組與實驗組高阻尼7層樓：長週期-位移

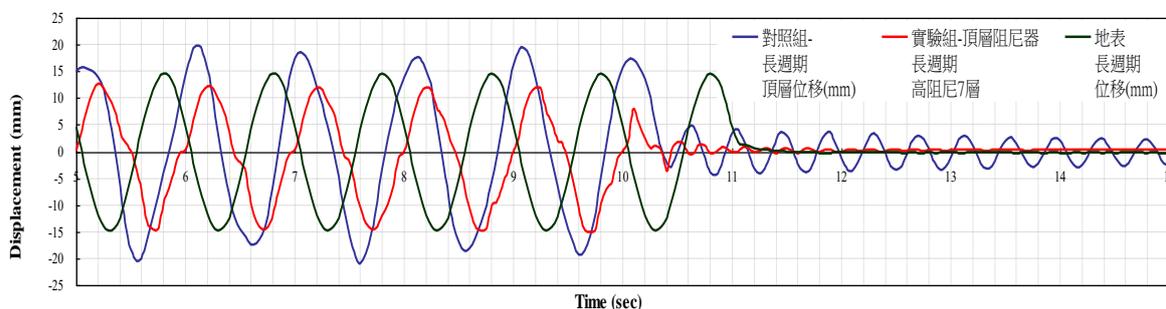


圖 5-1 對照組與實驗組在長週期下之頂層位移歷時關係圖

量化分析：由上圖可知對照組頂層與實驗組頂層的位移降低 63.4%。

質化分析：由上圖可知，係因實驗組 7 樓發生了阻尼效果，使得頂層位移減少。

2 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓：中週期-位移

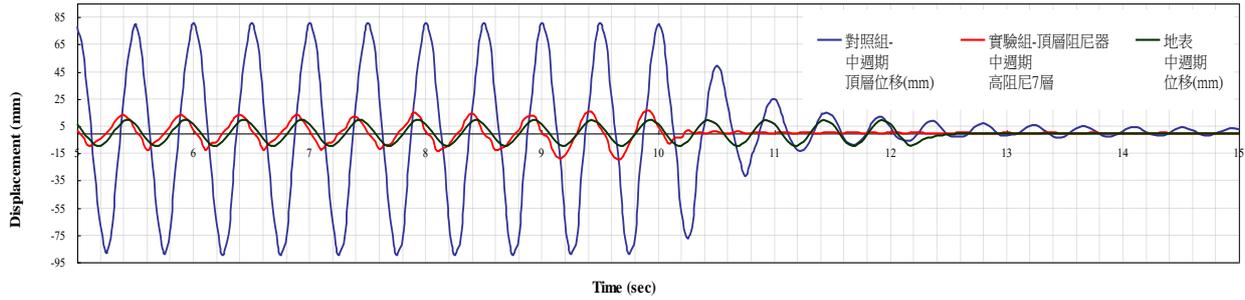


圖 5-2 對照組與實驗組在中週期下之頂層位移歷時關係圖

量化分析：由上圖可知對照組與實驗組頂層位移降低 503.1%。

質化分析：在加裝阻尼器之後能夠縮減頂層的位移，因此阻尼器發揮了與針筒所產生的阻尼性來降低建物的搖晃。

3 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓：短週期-位移

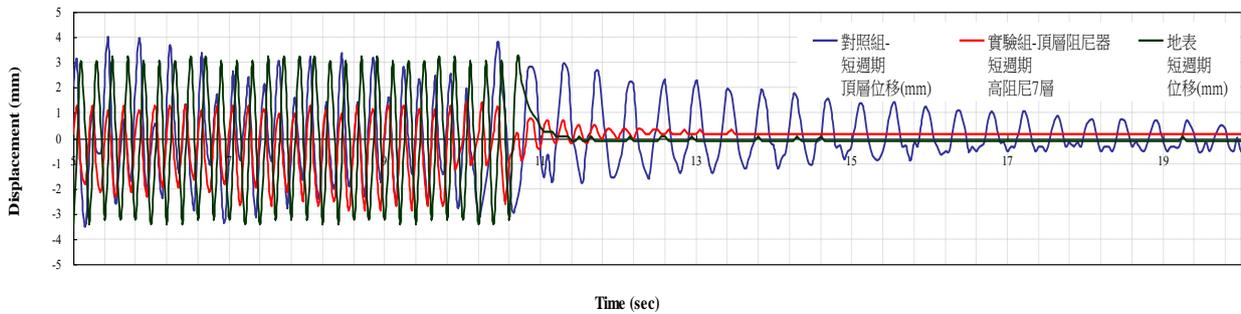


圖 5-3 對照組與實驗組在短週期下之頂層位移歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組頂層位移與對照組頂層位移降低 208.7%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠縮減頂層的位移，係因阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物的搖晃。

4 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓：共振週期-位移

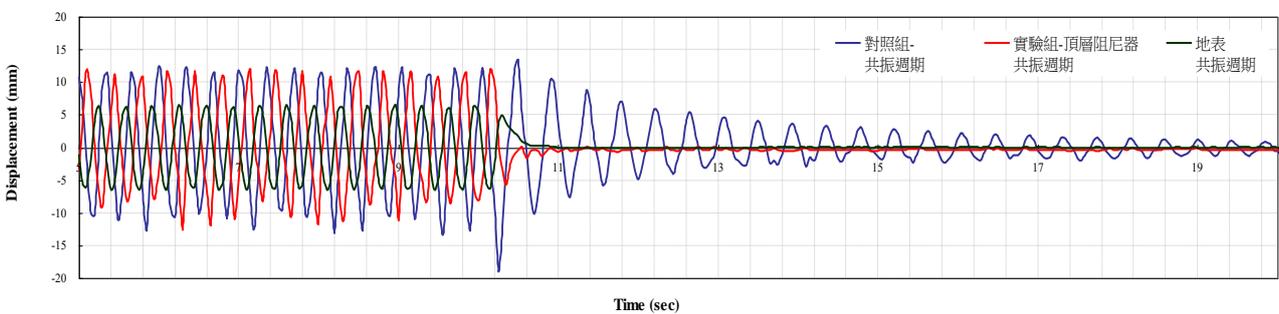


圖 5-4 對照組與實驗組在共振週期下之頂層位移歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組頂層位移與對照組頂層位移降低 3.0%。

質化分析：由上圖可知，雖然實驗組加裝阻尼器和對照組未加裝阻尼器的搖晃程度相同，但實驗組震後較易回復。

(二) 對照組與各實驗組「不同樓層」之位移關係

1 對照組與實驗組中週期高阻尼比較：7 層樓-位移

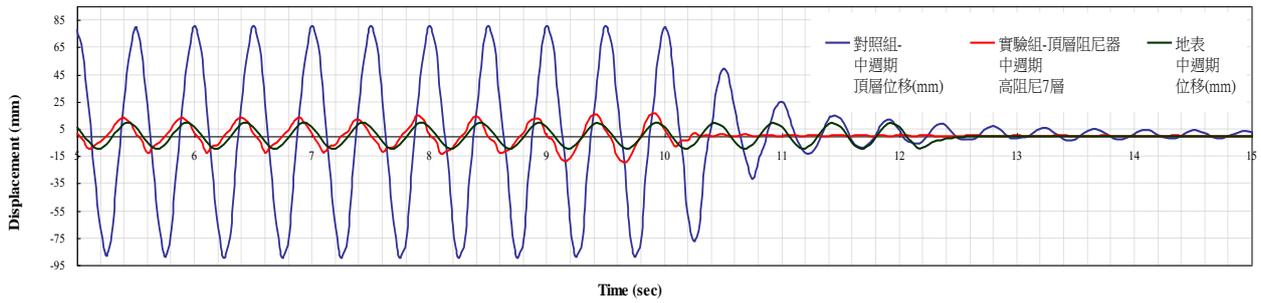


圖 5-5 對照組與實驗組高阻尼 7F 在中週期下之頂層位移歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組頂層位移與對照組頂層位移降低 503.1%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠縮減頂層的位移，係因阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物的搖晃。

2 對照組與實驗組中週期高阻尼比較：4 層樓-位移

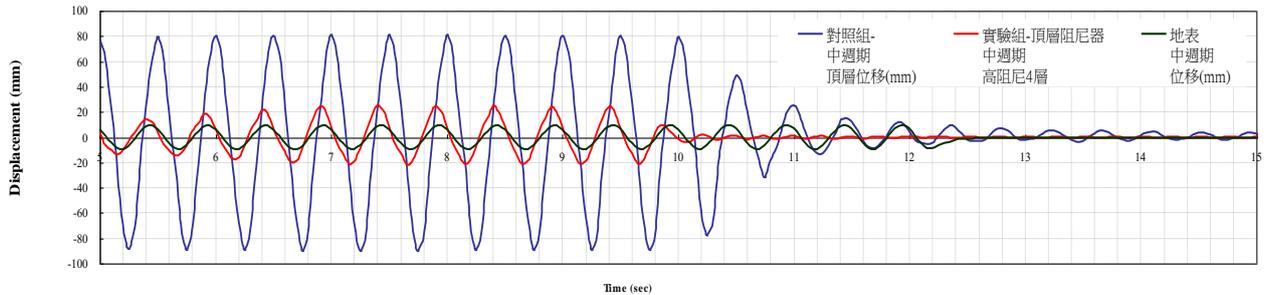


圖 5-6 對照組與實驗組高阻尼 4F 在中週期下之頂層位移歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組頂層位移與對照組頂層位移降低 285.8%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠縮減頂層的位移，係因阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物的搖晃，4 層樓和 7 層樓比較之後，4 層樓頂層位移量比 7 層多。

3 對照組與實驗組中週期高阻尼比較：2 層樓-位移

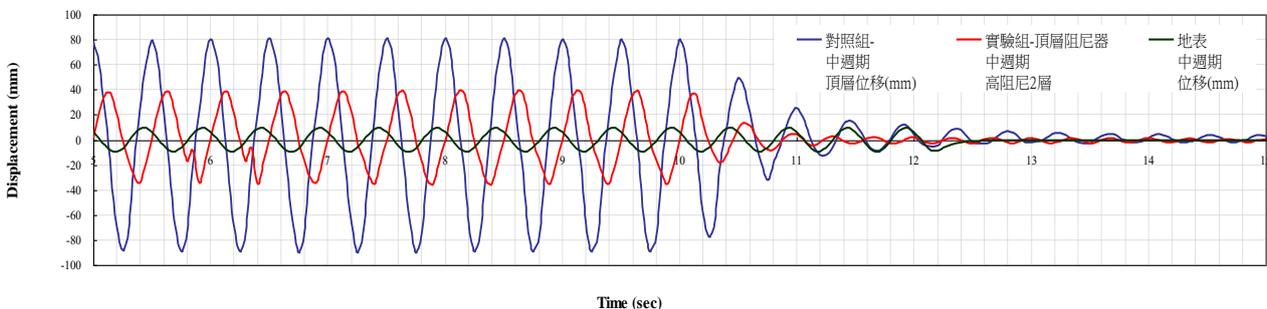


圖 5-7 對照組與實驗組高阻尼 2F 在中週期下之頂層位移歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組頂層位移與對照組頂層位移降低 109.3%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠縮減頂層的位移，係因阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物的搖晃，4 層樓和 2 層樓比較之後，2 層樓頂層位移結果比 4 層樓差。

(三)對照組與各實驗組「不同阻尼」之位移關係

1 對照組與實驗組中週期 7 層樓比較：高阻尼-位移

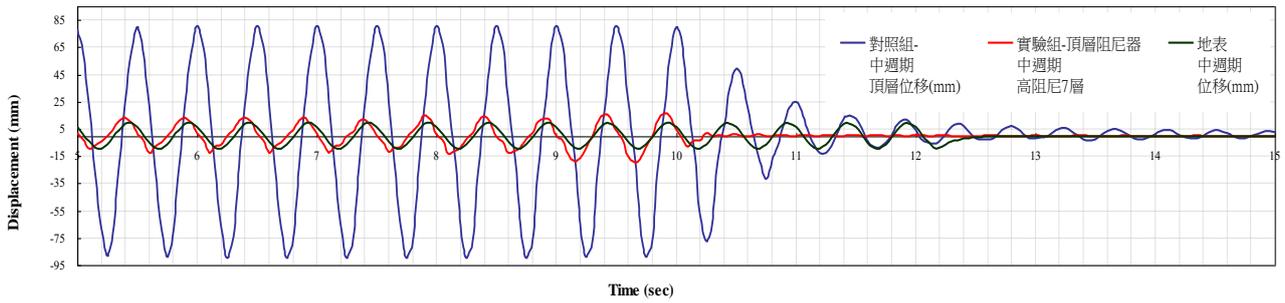


圖 5-8 對照組與實驗組高阻尼 7F 在中週期下之頂層位移歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組頂層位移與對照組頂層位移降低 503.1%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠縮減頂層的位移，亦為阻尼器發揮了阻尼效果來降低建物的搖晃。

2 對照組與實驗組中週期 7 層樓比較：中阻尼-位移

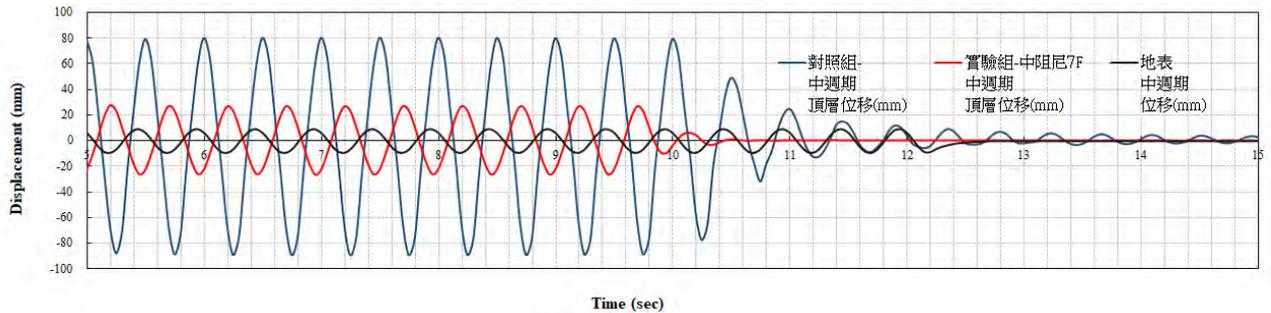


圖 5-9 對照組與實驗組中阻尼 7F 在中週期下之頂層位移歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組頂層位移與對照組頂層位移降低 771.1%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠縮減頂層的位移，亦為阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物的搖晃，高阻尼和中阻尼，兩者比較起來中阻尼的阻尼效果較差。

3 對照組與實驗組中週期 7 層樓比較：低阻尼-位移

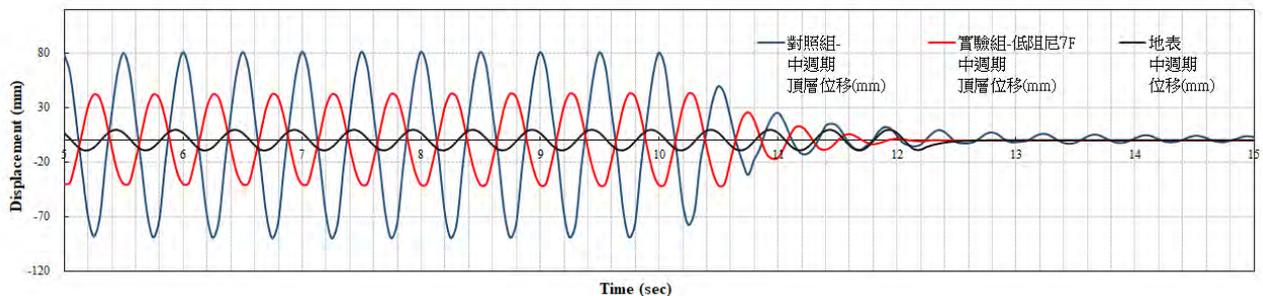


圖 5-10 對照組與實驗組低阻尼 7F 在中週期下之頂層位移歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組頂層位移與對照組頂層位移降低 88.5%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠縮減頂層的位移，亦為阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物的搖晃，中阻尼和低阻尼，兩者比較起來低阻尼的阻尼效果較差。

二、軸力

表 5-2 實驗模擬-耐震試驗實驗組與對照組各週期「軸力」之底層最大值一覽表

模擬步驟		地震波週期									模擬步驟		地震波週期					
量測項目	安裝制震系統樓層	本身 自然 震動 頻率 (Hz)	長週期 1.0s/1.5s		中週期 0.5s/0.6s		共振週期 0.337s/0.4s		短週期 0.2s/0.3s		量測項目	安裝制震系統樓層	長週期	中週期	共振週期	短週期		
			受震後 底層 軸力 (N)	震後 自然 震動 頻率 (Hz)	受震後 底層 軸力 (N)	震後 自然 震動 頻率 (Hz)	受震後 底層 軸力 (N)	震後 自然 震動 頻率 (Hz)	受震後 底層 軸力 (N)	震後 自然 震動 頻率 (Hz)								
			Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.								
對照組-無阻尼器	2層	2.970	14.68	2.970	100.02	2.970	39.48	2.970	48.89	2.970	對照組-無阻尼器	2層	14.68	100.02	39.48	14.68		
實驗組1-高阻尼		2.970	13.97	2.810	79.70	2.810	48.46	2.810	45.73	2.810	實驗組1-高阻尼		13.97	79.70	48.46	13.41		
差值(%)			5.1		25.5		22.7		6.9		差值(%)			5.1		25.5		22.7
對照組-無阻尼器	4層	2.970	14.680	2.970	100.02	2.970	39.48	2.970	48.89	2.970	對照組-無阻尼器	4層	14.680	100.02	39.48	14.68		
實驗組1-高阻尼		2.890	10.70	2.810	38.14	2.810	29.58	2.810	43.71	2.810	實驗組1-高阻尼		10.70	38.14	29.58	14.69		
差值(%)			37.2		162.2		33.5		11.9		差值(%)			37.2		162.2		33.5
對照組-無阻尼器	7層	2.970	14.68	2.970	100.02	2.970	39.48	2.970	48.89	2.970	對照組-無阻尼器	7層	14.68	100.02	39.48	20.44		
實驗組1-高阻尼		2.970	12.33	2.810	22.30	2.810	62.10	2.810	59.77	2.810	實驗組1-高阻尼		12.33	22.30	62.10	14.27		
差值(%)			19.1		348.5		57.3		22.3		差值(%)			19.1		348.5		57.3
對照組-無阻尼器	2層	2.970	14.68	2.970	100.02	2.970	39.48	2.970	14.68	2.970	對照組-無阻尼器	2層	14.68	100.02	39.48	14.68		
實驗組2-中阻尼		2.970	9.30	2.890	89.36	2.890	48.44	2.890	12.93	2.890	實驗組2-中阻尼		9.30	89.36	48.44	12.93		
差值(%)			57.8		10.7		22.7		13.5		差值(%)			57.8		10.7		22.7
對照組-無阻尼器	4層	2.970	14.68	2.970	100.02	2.970	39.48	2.970	14.68	2.970	對照組-無阻尼器	4層	14.68	100.02	39.48	14.68		
實驗組2-中阻尼		2.970	9.74	2.890	60.12	2.890	53.48	2.890	12.61	2.890	實驗組2-中阻尼		9.74	60.12	53.48	12.61		
差值(%)			50.7		66.4		35.5		16.4		差值(%)			50.7		66.4		35.5
對照組-無阻尼器	7層	2.970	14.68	2.970	100.02	2.970	39.48	2.970	14.68	2.970	對照組-無阻尼器	7層	14.68	100.02	39.48	14.68		
實驗組2-中阻尼		2.930	9.33	2.890	54.52	2.890	11.56	2.890	54.90	2.890	實驗組2-中阻尼		9.33	54.52	11.56	54.90		
差值(%)			57.3		83.5		241.5		274.0		差值(%)			57.3		83.5		241.5
對照組-無阻尼器	2層	2.970	14.68	2.970	100.02	2.970	39.48	2.970	14.68	2.970	對照組-無阻尼器	2層	14.68	100.02	39.48	14.68		
實驗組3-低阻尼		2.970	2.97	2.970	99.78	2.970	47.10	2.970	14.78	2.970	實驗組3-低阻尼		2.97	99.78	47.10	14.78		
差值(%)			394.3		0.2		19.3		0.7		差值(%)			394.3		0.2		19.3
對照組-無阻尼器	4層	2.970	14.68	2.970	100.02	2.970	39.48	2.970	14.68	2.970	對照組-無阻尼器	4層	14.68	100.02	39.48	14.68		
實驗組3-低阻尼		2.970	6.97	2.970	84.22	2.970	47.19	2.970	15.52	2.970	實驗組3-低阻尼		6.97	84.22	47.19	15.52		
差值(%)			110.6		18.8		19.5		5.7		差值(%)			110.6		18.8		19.5
對照組-無阻尼器	7層	2.970	14.68	2.970	100.02	2.970	39.48	2.970	14.68	2.970	對照組-無阻尼器	7層	14.68	100.02	39.48	14.68		
實驗組3-低阻尼		2.970	8.02	2.810	78.37	2.810	49.30	2.810	13.79	2.810	實驗組3-低阻尼		8.02	78.37	49.30	13.79		
差值(%)			83.0		27.6		24.9		6.5		差值(%)			83.0		27.6		24.9

(一)對照組與各實驗組「不同週期」之軸力關係

1 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓：長週期-軸力

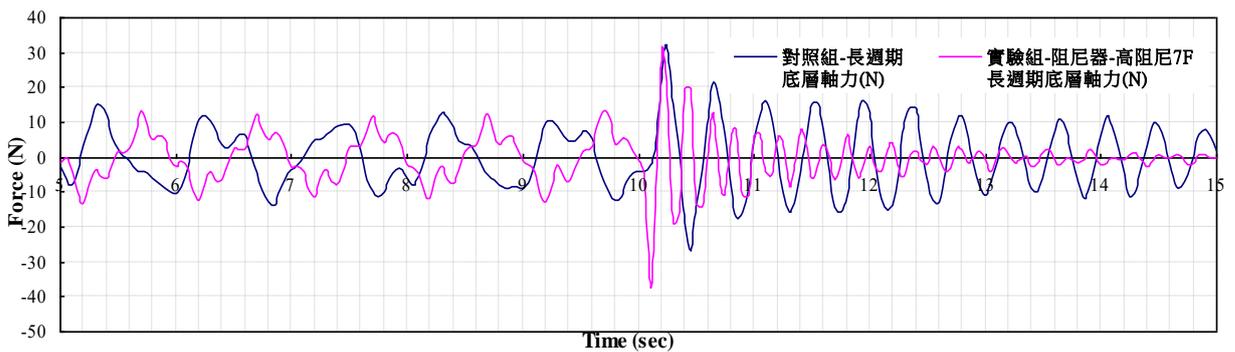


圖 5-11 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓在長週期下之底層軸力歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組高阻尼 7 層樓底層的軸力較對照組底層降低 19.1%。

質化分析：實驗組高阻尼 7 層樓比對照組好，係因高阻尼 7 層樓發揮了阻尼效果，使得底層受到的軸力減少。

2 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓：中週期-軸力

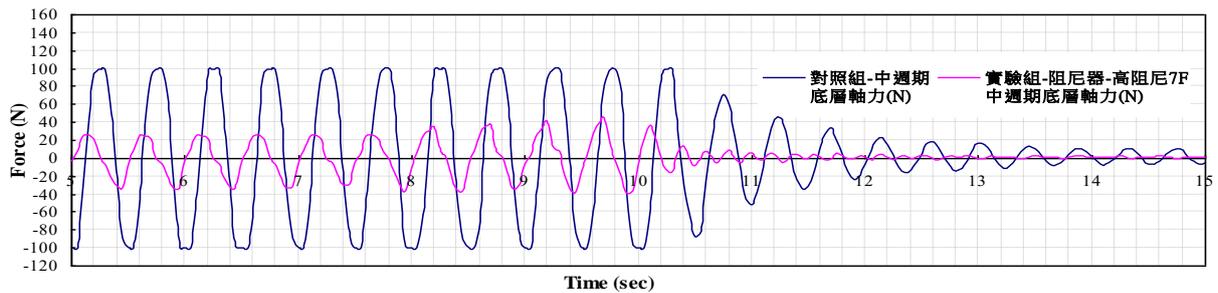


圖 5-12 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓在中週期下之底層軸力歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組高阻尼 7 層樓底層的軸力較對照組底層降低 348.5%。

質化分析：實驗組高阻尼 7 層樓在加裝阻尼器之後能夠降低底層的軸力，係因阻尼器發揮了阻尼效果，使得底層受到的軸力減少。

3 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓：短週期-軸力

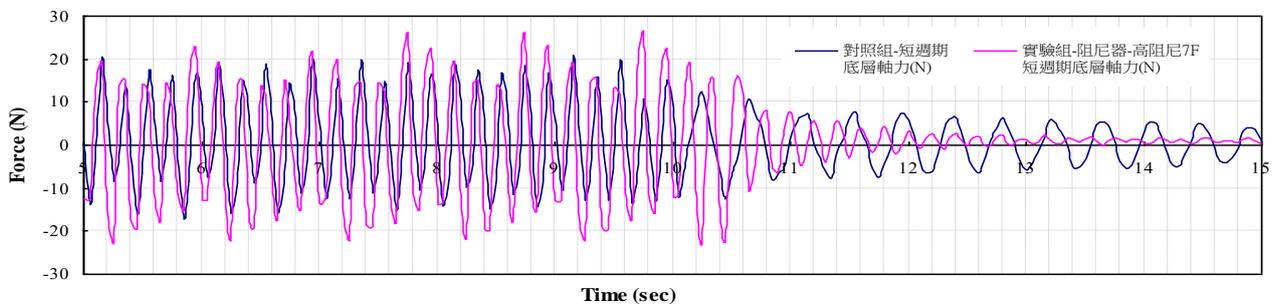


圖 5-13 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓在短週期下之底層軸力歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組高阻尼 7 層樓底層的軸力較對照組底層增加 22.3%。

質化分析：實驗組高阻尼 7 層樓底層加裝阻尼器之後並不能夠降低底層的軸力，但卻使震後受到的軸力減少。

4 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓：共振週期-軸力

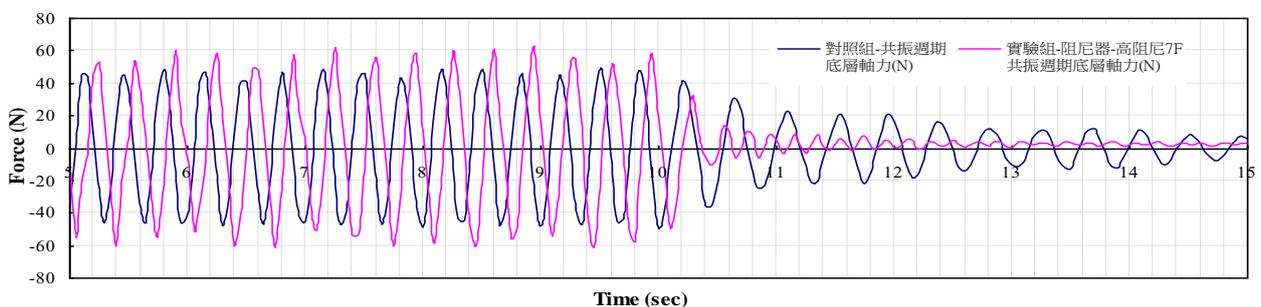


圖 5-14 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓在共振週期下之底層軸力歷時關係圖

量化分析：由上圖可知對照組與實驗組高阻尼 7 層樓底層的軸力增加 57.3%。

質化分析：實驗組加裝阻尼器後並不能夠降低底層的軸力，且使底層所受到軸力增加，結果得出高阻尼 7 層樓在共振週期阻尼效果有限，僅可減少震後搖晃力之損害。

(二)對照組與各實驗組「不同樓層」之軸力關係

1 對照組與實驗組中週期高阻尼：7層樓-軸力

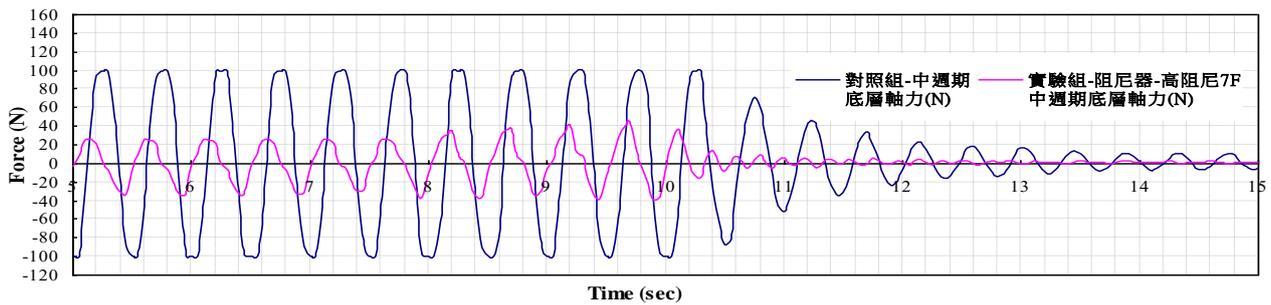


圖 5-15 對照組與實驗組高阻尼 7F 在中週期下之底層軸力歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組高阻尼 7 層樓底層的軸力較對照組底層降低 348.5。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠降低底層所受到的軸力，係因阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來搭到阻尼效果。

2 對照組與實驗組中週期高阻尼比較：4層樓-軸力

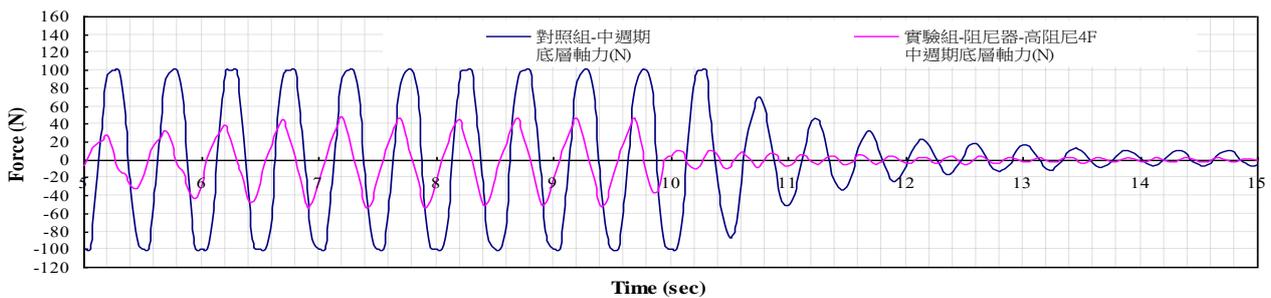


圖 5-16 對照組與實驗組高阻尼 4F 在中週期下之底層軸力歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組高阻尼 4 層樓底層的軸力較對照組底層降低 162.2%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠降低底層所受到的軸力，係因阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物的搖晃，而達到阻尼效果。

3 對照組與實驗組中週期高阻尼：2層樓-軸力

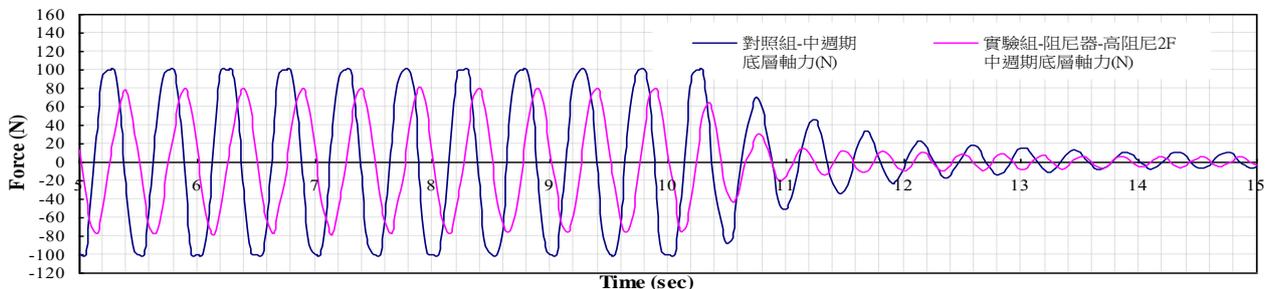


圖 5-17 對照組與實驗組高阻尼 2F 在中週期下之底層軸力歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組高阻尼 2 層樓底層的軸力較對照組底層降低 25.5%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠降低底層所受到的軸力，係因阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降，但並沒有達到很好的阻尼效果。

(三) 對照組與各實驗組「不同阻尼」之軸力關係

1 對照組與實驗組中週期 7 層樓比較：高阻尼-軸力

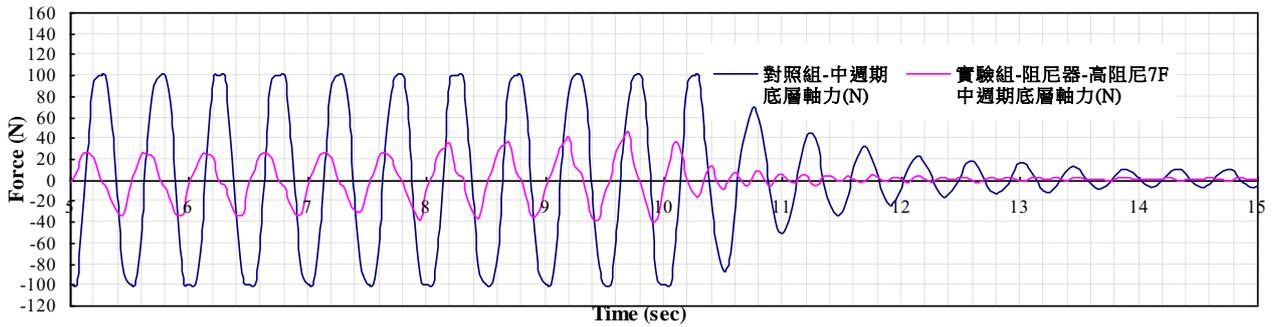


圖 5-18 對照組與實驗組高阻尼 7F 在中週期下之底層軸力歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組高阻尼 7 層樓底層的軸力較對照組底層降低 348.5%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠降低底層所受到的軸力，係因阻尼器發揮了高摩擦力來達到阻尼效果。

2 對照組與實驗組中週期 7 層樓比較：中阻尼-軸力

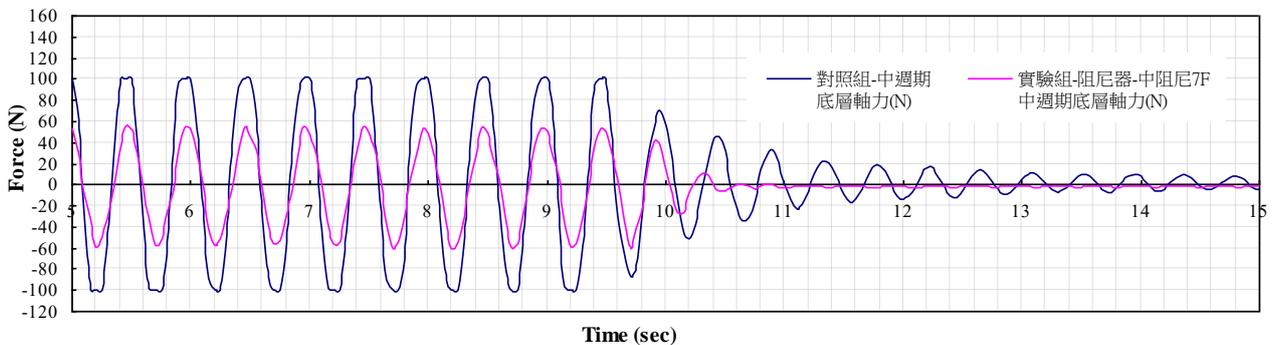


圖 5-19 對照組與實驗組中阻尼 7F 在中週期下之底層軸力歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組中阻尼 7 層樓底層的軸力較對照組底層降低 83.5%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠降低底層所受到的軸力，係因阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物的搖晃，而達到阻尼效果。

3 對照組與實驗組中週期 7 層樓比較：低阻尼-軸力

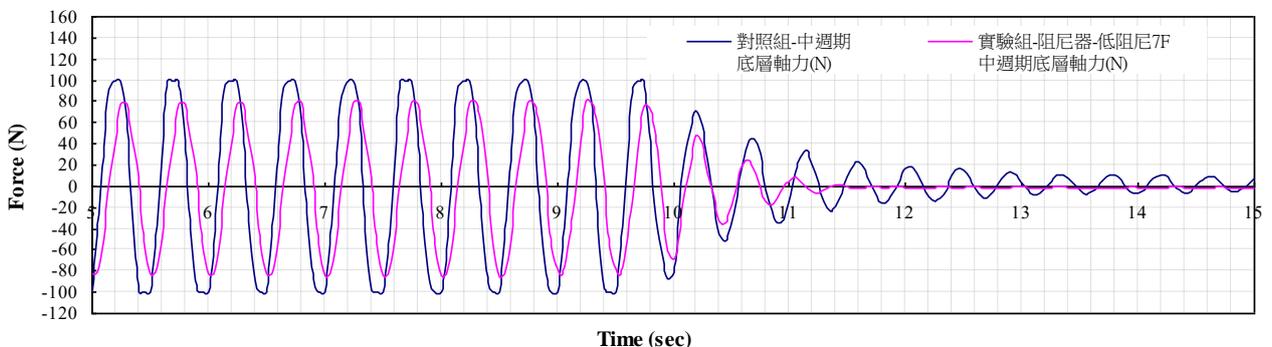


圖 5-20 對照組與實驗組低阻尼 7F 在中週期下之底層軸力歷時關係圖

量化分析：由上圖可知實驗組低阻尼 7 層樓底層的軸力較對照組底層降低 27.6%。

質化分析：加裝阻尼器之後能夠降低底層所受到的軸力，雖然阻尼器發揮了些許的阻尼效果，但成效並不是很好。

三、加速度

表 5-3 實驗模擬-耐震試驗實驗組與對照組各週期「加速度」之地表最大值一覽表

項目	樓層	對照組	實驗組								樓層	對照組	週期					
			1		3		5		7				樓層	對照組	長週期	中週期	共振週期	短週期
			Max	(Hz)	Max	(Hz)	Max	(Hz)	Max	(Hz)					Max	(Hz)	Max	(Hz)
對照組	無阻尼	2.750	0.69	2.750	14.45	2.750	4.72	2.750	3.51	2.750	0.79	1.41	2.11	4.09				
實驗組1-高阻尼	2層	2.700	1.15	2.700	9.40	2.250	5.83	2.170	2.81	2.050	1.15	9.40	8.50	5.60				
差值(%)			66.7		33.7		20.7		40.6		31.30%	85.00%	60.19%	26.96%				
對照組	無阻尼	2.580	0.78	2.580	14.45	2.270	4.72	2.420	3.01	2.170	0.79	1.41	2.11	4.09				
實驗組1-高阻尼	4層	2.460	1.05	2.400	6.05	2.340	5.97	2.170	2.71	2.050	1.05	6.05	6.24	4.67				
差值(%)			34.6		138.3		26.5		10.6		24.76%	76.69%	66.19%	12.42%				
對照組	無阻尼	2.110	0.69	2.110	14.45	1.950	4.72	2.730	3.01	2.050	0.79	1.41	2.11	4.09				
實驗組1-高阻尼	7層	1.990	1.06	1.990	2.70	1.990	6.56	2.050	2.90	2.270	1.06	2.70	7.01	3.42				
差值(%)			53.6		435.2		43.5		5.2		25.47%	47.73%	232.23%	16.38%				
對照組	無阻尼	2.750	0.69	2.750	3.62	2.750	4.93	2.580	1.99	2.730	0.79	1.41	2.11	4.09				
實驗組2-中阻尼	2層	2.890	0.67	2.810	8.91	2.810	5.29	2.170	3.26	1.950	3.26	8.91	5.29	3.26				
差值(%)			3.0		147.0		7.3		63.8		75.77%	84.23%	60.11%	25.46%				
對照組	無阻尼	2.580	0.69	2.580	14.45	2.270	4.59	2.420	3.39	2.170	0.79	1.41	2.11	4.09				
實驗組2-中阻尼	4層	2.270	5.76	2.270	6.58	3.050	7.44	2.270	2.09	4.630	5.76	6.58	7.44	2.09				
差值(%)			734.8		119.6		62.1		26.0		86.28%	78.57%	71.64%	52.04%				
對照組	無阻尼	2.110	0.69	2.110	1.45	1.950	5.12	2.730	3.03	2.050	0.79	1.41	2.11	4.09				
實驗組2-中阻尼	7層	2.110	4.88	2.110	3.49	2.110	5.19	1.950	2.81	2.340	4.88	3.49	5.19	2.81				
差值(%)			607.2		106.1		1.4		8.5		83.81%	58.53%	145.97%	31.30%				
對照組	無阻尼	2.750	0.69	2.750	15.07	2.750	4.74	2.580	3.15	2.730	0.79	1.41	2.11	4.09				
實驗組3-低阻尼	2層	4.363	0.87	4.630	10.10	4.630	5.89	4.630	3.30	1.880	0.87	10.10	5.89	3.30				
差值(%)			26.1		49.2		24.3		4.8		9.20%	86.04%	64.18%	23.94%				
對照組	無阻尼	2.580	0.69	2.580	15.02	2.270	5.30	2.420	2.91	2.170	0.79	1.41	2.11	4.09				
實驗組3-低阻尼	4層	2.460	0.68	2.460	8.56	2.340	6.07	2.340	3.23	0.000	0.68	8.56	6.07	3.23				
差值(%)			1.5		75.5		16.7		11.0		16.18%	83.23%	65.24%	26.63%				
對照組	無阻尼	2.110	0.69	2.110	15.07	1.950	5.05	2.730	2.95	2.050	0.79	1.41	2.11	4.09				
實驗組3-低阻尼	7層	2.110	0.72	2.110	7.89	2.050	5.30	1.880	5.65	0.000	0.72	7.89	5.80	5.65				
差值(%)			4.3		91.0		14.9		91.5		9.72%	82.13%	174.88%	38.14%				

(一) 對照組與各實驗組「不同週期」之加速度關係

1 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓：長週期-加速度

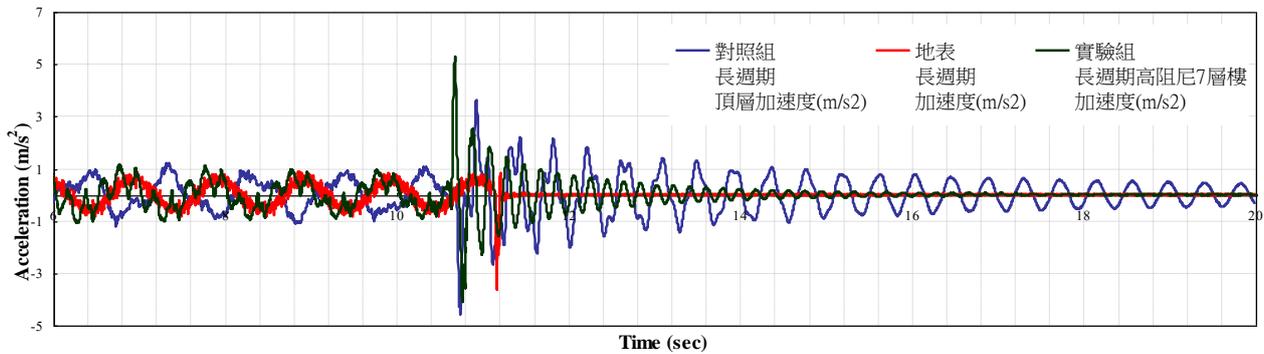


圖 5-21 對照組與實驗組在長週期下之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由上圖得知對照組頂層與底層的加速度增加 53.6%。

質化分析：由上圖得知，係因實驗組高阻尼 7 層樓未發揮阻尼效果，即超過阻尼極限負荷，反而使得頂層加速度增加。但於震波停止時，仍可較對照組具有穩定建物的搖晃損害。

2 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓：中週期-加速度

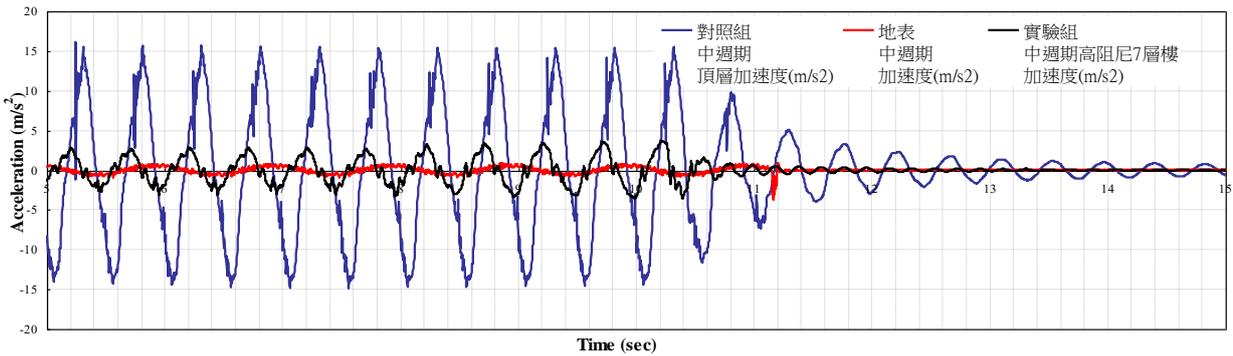


圖 5-22 對照組與實驗組在中週期下之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由上圖得知對照組與實驗組頂層加速度降低 435.2%。

質化分析：安裝阻尼器之後能夠減少頂層的加速度，係因阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物頂層的搖晃。

3 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓：短週期-加速度

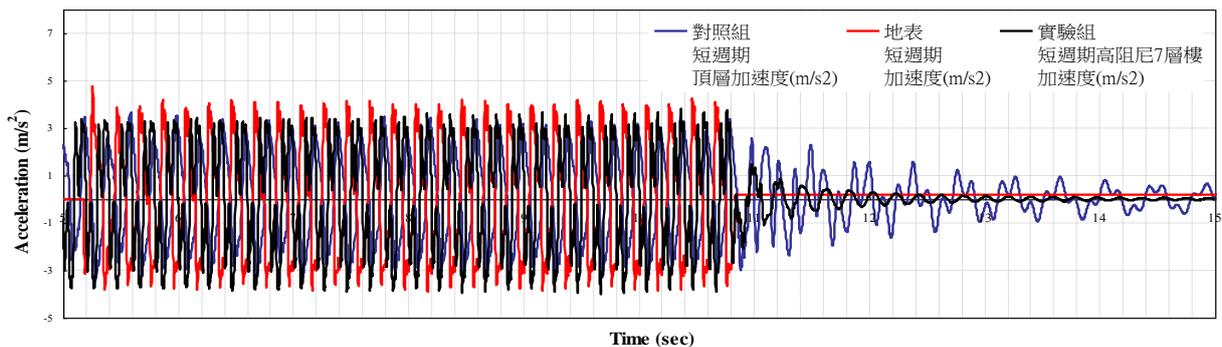


圖 5-23 對照組與實驗組在短週期下之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由上圖得知實驗組頂層加速度與對照組頂層加速度降低 5.2%。

質化分析：安裝阻尼器之後能夠減少頂層的加速度，係因阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物頂層的搖晃，且建物震後搖擺之後比對照組更易恢復。

4 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓：共振週期-加速度

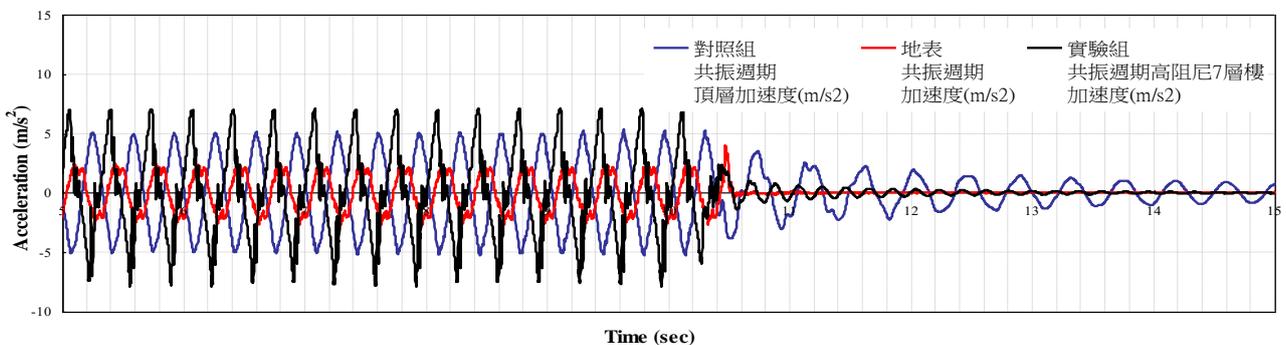


圖 5-24 對照組與實驗組在共振週期下之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由上圖得知實驗組頂層加速度與對照組頂層加速度增加 43.5%。

質化分析：由上圖得知，測試結果得出高阻尼 7 層樓在共振週期是沒有發揮阻尼效果，但仍具降低震後損害效果。

(二) 對照組與各實驗組「不同樓層」之加速度關係

1 對照組與實驗組中週期高阻尼比較：7 層樓-加速度

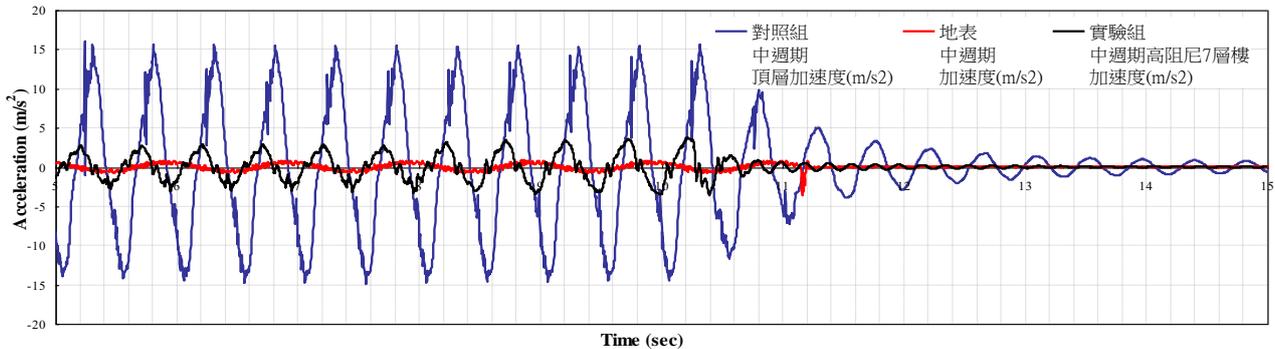


圖 5-25 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓在中週期下之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由上圖得知實驗組頂層加速度與對照組頂層加速度降低 435.2%

質化分析：安裝阻尼器之後能夠減少頂層的加速度，亦為阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物頂層的搖晃。

2 對照組與實驗組中週期高阻尼比較：4 層樓-加速度

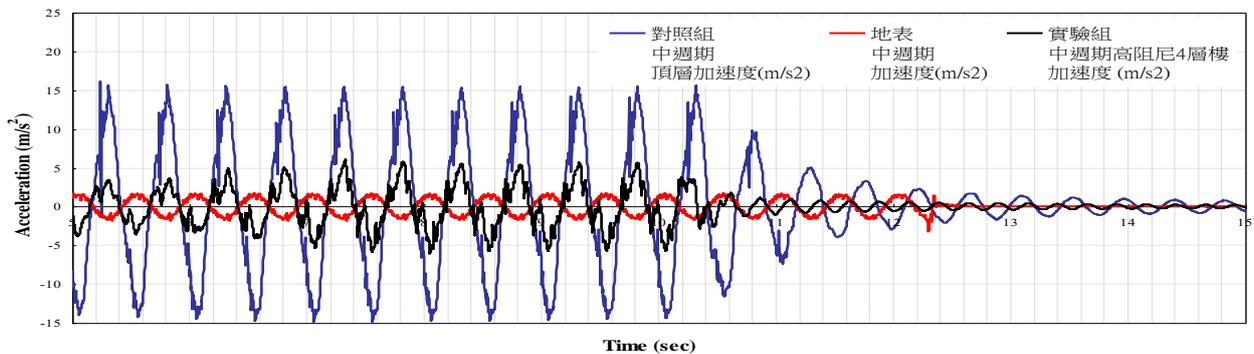


圖 5-26 對照組與實驗組高阻尼 4 層樓在中週期下之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由上圖得知實驗組頂層加速度與對照組頂層加速度降低 138.8%。

質化分析：安裝阻尼器之後能夠減少頂層的加速度，而上部結構產生加速度小，作用在於結構的地震力大為減少，相對變形也降低，所以結構整體損害降低。

3 對照組與實驗組中週期高阻尼比較：2 層樓-加速度

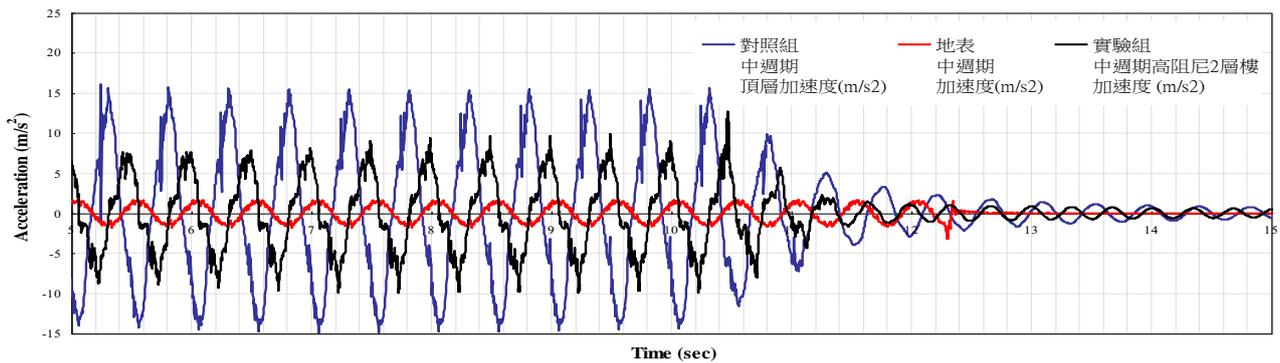


圖 5-27 對照組與實驗組高阻尼 2 層樓在中週期下之頂層位移歷時關係圖

量化分析：由上圖得知實驗組頂層加速度與對照組頂層加速度降低 53.7%。

質化分析：安裝阻尼器之後能夠減少頂層的加速度，亦為阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物頂層的搖晃。

(三) 對照組與各實驗組「不同阻尼」之加速度關係

1 對照組與實驗組中週期 7 層樓比較：高阻尼-加速度

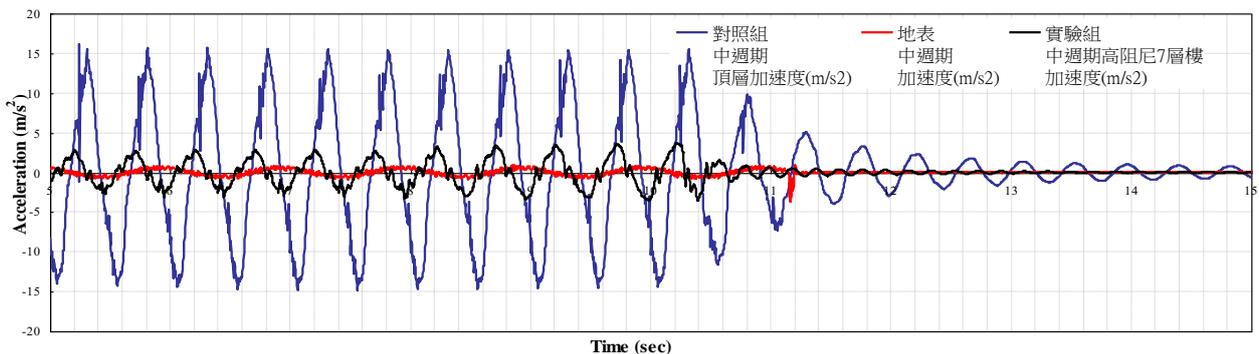


圖 5-28 對照組與實驗組高阻尼 7 層樓在中週期下之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由上圖得知實驗組頂層加速度與對照組頂層加速降低 435.2%。

質化分析：安裝阻尼器之後能夠減少頂層的加速度，亦為透過材料摩擦與變形削減地震能量。

2 對照組與實驗組中週期 7 層樓比較：中阻尼-加速度

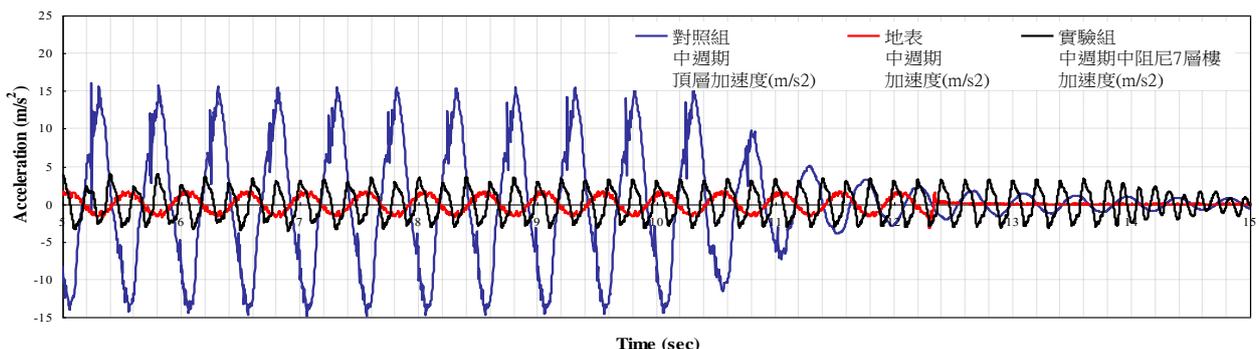


圖 5-29 對照組與實驗組中阻尼 7 層樓在中週期下之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由上圖得知實驗組頂層加速度與對照組頂層加速度降低 106.1%。

質化分析：安裝阻尼器之後能夠減少頂層的加速度，亦為阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物頂層的搖晃，高阻尼與中阻尼，二者比較起來中阻尼效果比較佳。

3 對照組與實驗組中週期 7 層樓比較：低阻尼-加速度

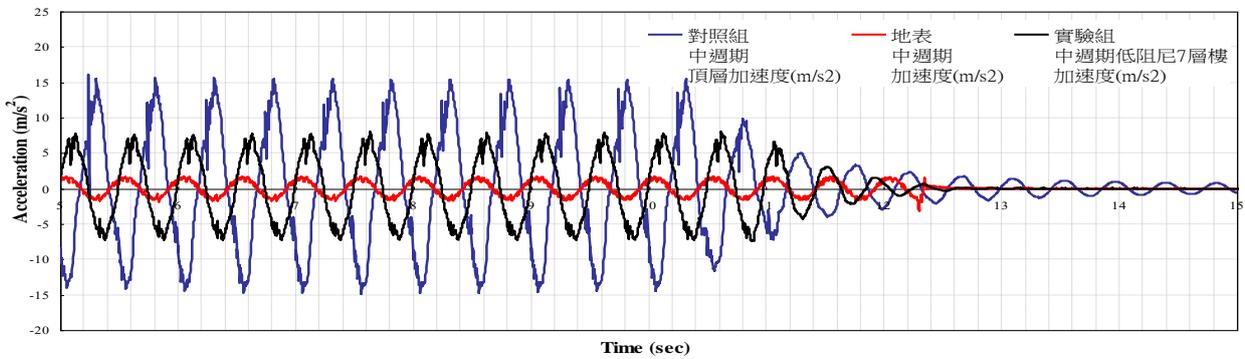


圖 5-30 對照組與實驗組低阻尼 7 層樓在中週期下之頂層加速度歷時關係圖

量化分析：由上圖得知實驗組頂層加速度與對照組頂層加速度相差 91.0%。

質化分析：安裝阻尼器之後能夠減少頂層的加速度，亦為阻尼器發揮了與針筒中的摩擦力來降低建物頂層的搖晃，中阻尼與低阻尼，二者比較起來低阻尼效果最差。

陸、討論

一、適用範圍探討：週期性

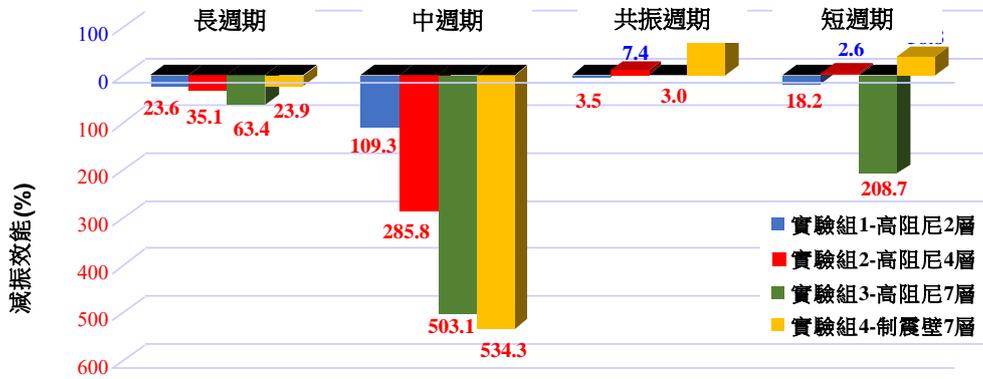


圖6-1 高阻尼在不同週期與不同樓層下之位移關係圖

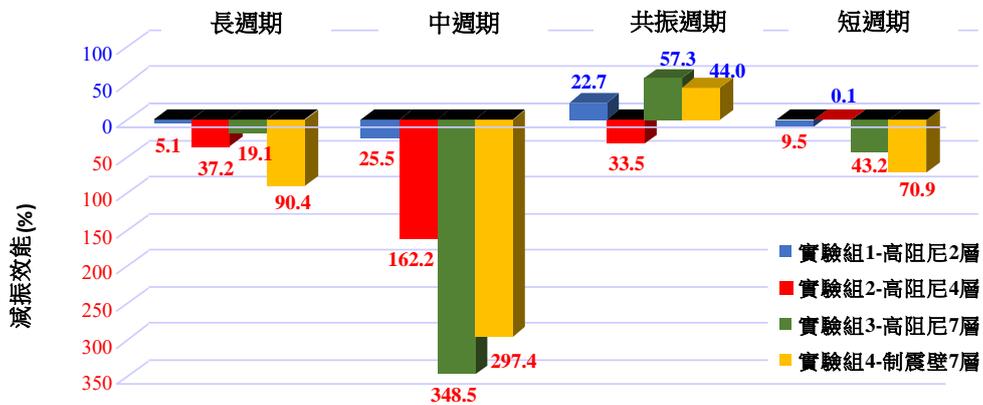


圖6-2 高阻尼在不同週期與不同樓層下之軸力關係圖

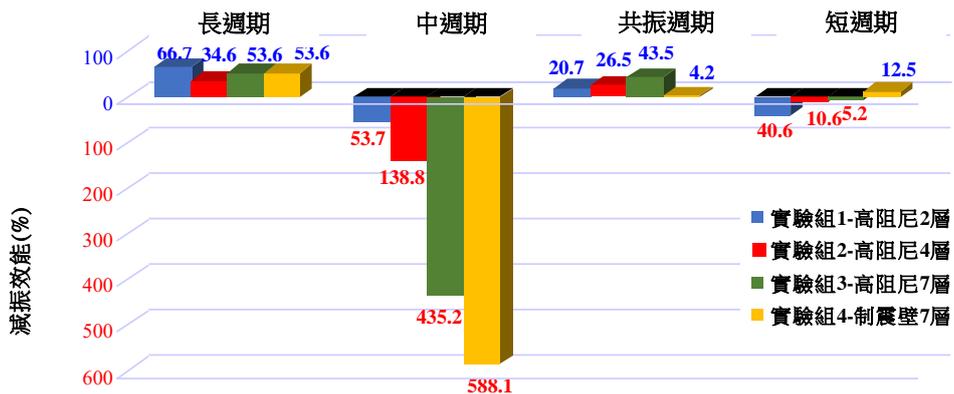


圖6-3 高阻尼在不同週期與不同樓層下之加速度關係圖

由上圖 6-1~6-3 中可得知位移、軸力、加速度於各層樓之高阻尼制震系統，包含阻尼器與制震壁皆隨著週期的變化中，可得出於中週期時可有效吸收地震力所給予能量。

二、經濟效益探討：樓層數

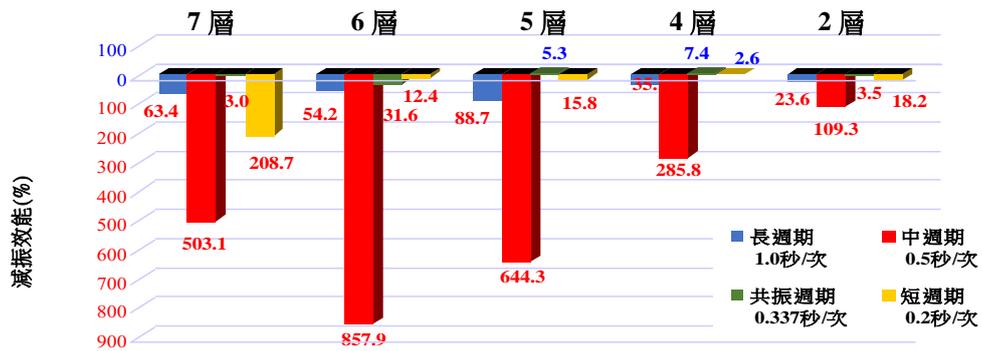
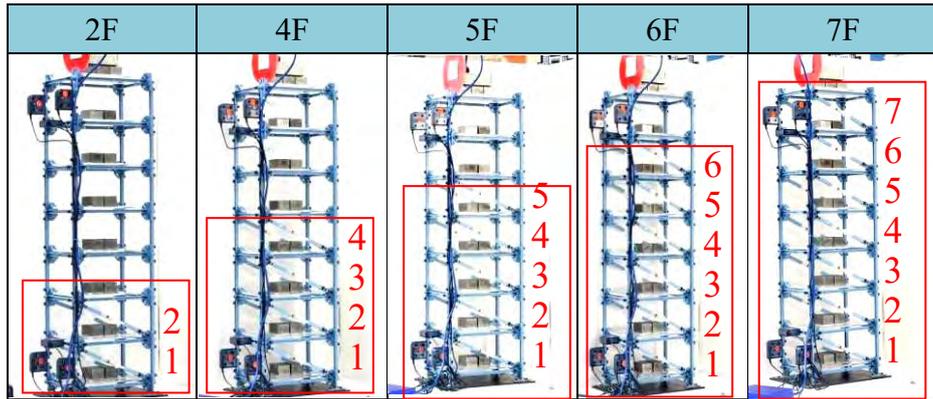


圖6-4 高阻尼在不同週期與不同樓層下之位移關係圖

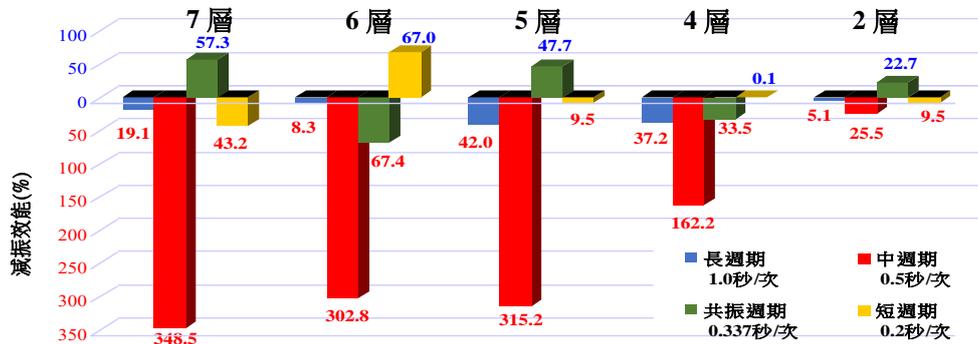


圖6-5 高阻尼在不同週期與不同樓層下之軸力關係圖

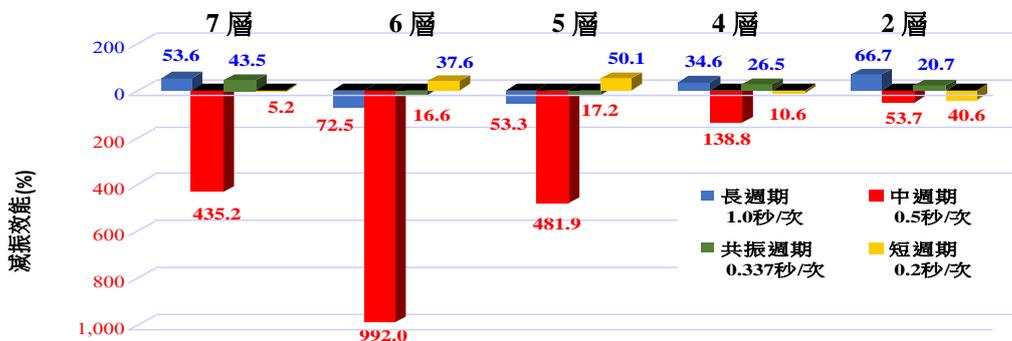


圖6-6 高阻尼在不同週期與不同樓層下之加速度關係圖

由上圖 6-4~6-6 中可得知位移與加速度當安裝阻尼器在 5 樓層以上時，頂樓位移與加速度的搖晃幅度最小，經濟效益較佳。因此得知安裝越多阻尼器阻尼效果越好，故就經濟效益可得出，安裝於 2/3 總樓層時就已達到較佳之耐震能力。

三、減震程度探討：阻尼性

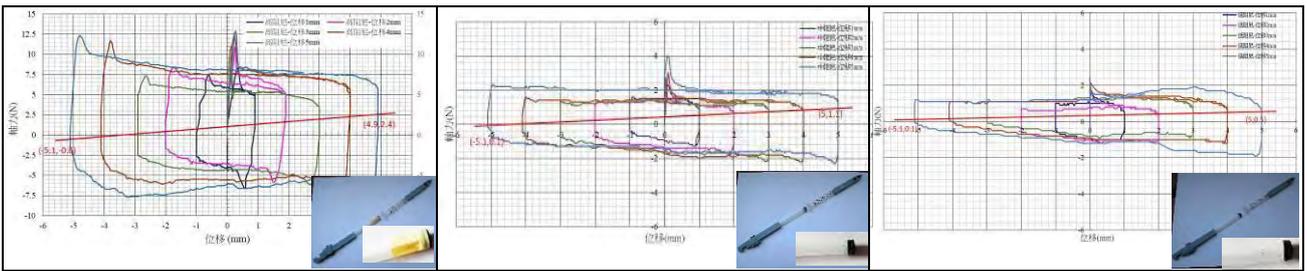


圖 6-7 高阻尼之遲滯迴圈關係圖

圖 6-8 中阻尼之遲滯迴圈關係圖

圖 6-9 低阻尼之遲滯迴圈關係圖



圖 6-10 同樓層數在不同週期與不同阻尼下之位移關係圖

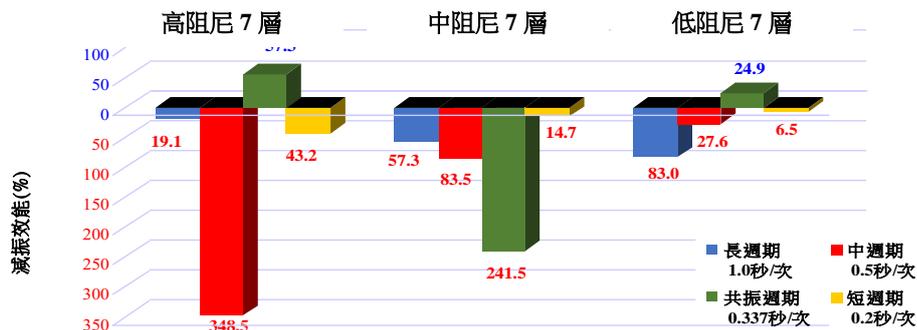


圖 6-11 同樓層數在不同週期與不同阻尼下之軸力關係圖



圖 6-12 同樓層數在不同週期與不同阻尼下之加速度關係圖

由上圖 6-7~6-9 中可得知當樓層數與週期性固定時，位移表現在中阻尼減震程度較佳，軸力與加速度在安裝高阻尼則能達到最好的減震程度。經由伸長、縮短的變形以及活塞與管壁間摩擦，能吸收結構震動能量，發揮減震效果，能有效降低建物之受震反應，進而保障居住空間安全。

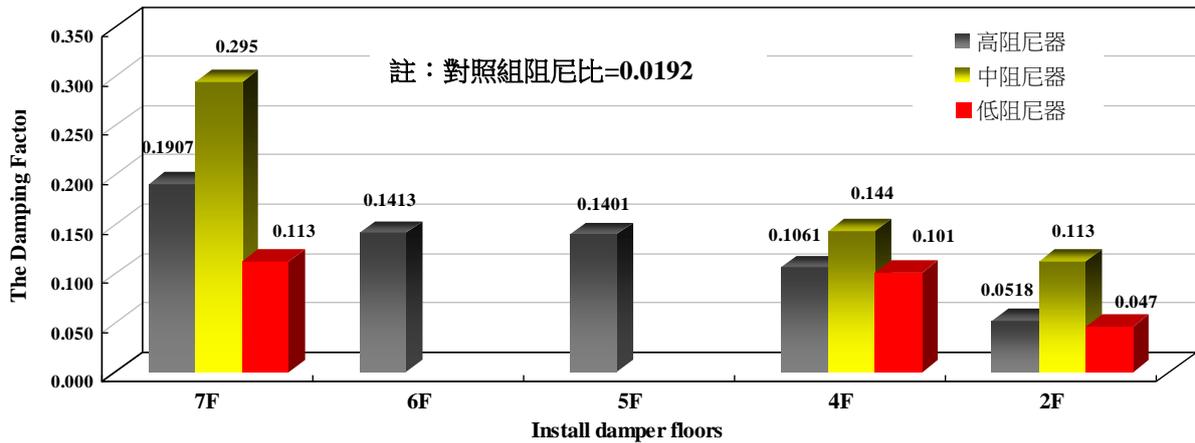


圖6-13 安裝阻尼器樓層數與結構系統阻尼比之關係圖

透過阻尼比： $\xi = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{u_p}{u_o}$ 計算各阻尼安裝於不同樓層數之結構阻尼比，繪製成圖 6-10 中可

得知，阻尼比隨安裝樓層數增加而增加，且安裝中阻尼器之中、高阻尼比有突出表現，可呼應於位移、軸力的關係圖中，有較高的減震效益。



圖 6-14 國震中心阻尼器試驗情形
摘自：國家地震研究中心官網

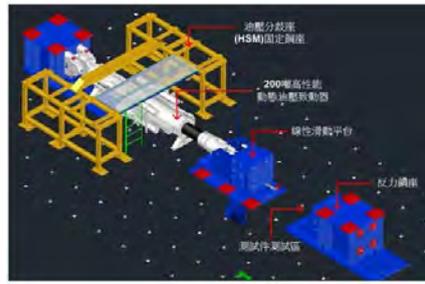


圖 6-15 國震中心阻尼器安裝架構模擬圖
摘自：國家地震研究中心官網

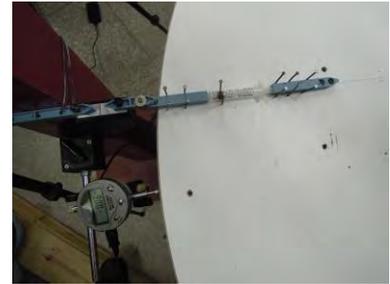


圖 6-16 本研究之阻尼器試驗情形

此外本研究也參考國家地震研究中心針對阻尼器之性能驗證試驗，如圖 6-14~6-15，固定不同振幅，輸入同一週期，擷取軸力與位移關係，並繪製遲滯迴圈，如圖 6-7~6-9。得知遲滯迴圈面積越大，所能消能效果越好，因此該阻尼具所消散之能量較高。

柒、結論

經過此研究之結果分析與討論，歸納出適用範圍、經濟效益、減震程度，做為應用縮尺模型評估不同制震阻尼系統之消能效益的探討結論，以下就各要項的結論作一說明：

一、適用範圍

依據文獻所述因中高層建築結構物之振動週期為 0.5 秒~1.5 秒，我們利用不同週期性所得到阻尼器適用於中週期效果呈現最佳，故符合高樓層制震建築所需。

二、經濟效益

探討安裝阻尼系統安裝樓層數之製作成本，係為耐震試驗經濟效益的主要考量，透過本研究所建構之實驗模組評估結果，樓層數介於 5 至 7 層樓效果為最佳，因此我們可以定義安裝阻尼器約為 2/3 樓層以上為佳。

三、減震程度

受力與變形的實驗中，遲滯迴圈越飽滿代表越可有效吸收地震力對結構之損害，即本專題之高阻尼具優異之耐震性，透過實驗獲得不同遲滯迴圈之阻尼器，探討出不同阻尼係數，故由實驗得知高阻尼為最佳的減震元件，以減少地震力的損害。

四、總結

- (一) 整體實驗結果顯示，本研究設計之阻尼系統中無論於「位移」、「軸力」、「加速度」皆有明顯之消能效果，即發揮阻尼功能。其中於中週期、高阻尼 7 層樓-表現為最佳。
- (二) 就本研究一系列的實驗模組與結果驗證之設備與方法，可透過本研究之實驗組與對照組或相互比較，因此具有實質規劃設計之參考價值，期能利用更多類型之減震系統，並透過此方式設計不同的抗震結構形式，並得以驗證更多的結果。結構耐震設計中除了經由提供足夠的強度、勁度與韌性來達到設計要求外，還可透過隔震或增設消能元件之方式來達到，本研究透過實驗結果得證。
- (三) 後續發展如可加入數值模擬，且根據相關實驗之材料參數輸入與結構模型建立，將相關數值進行比對與判讀，了解是否達到實驗模擬的合理性目標。另外透過 3D 列印與複合材料的結合，可提升各種制震元件的創意發想與研究發展的多元性。

捌、參考資料及其他

- 一、張國鎮 (2009) · 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。
- 二、高源清 (1999) · 地震大解剖 (初版) · 台北市：牛頓出版。
- 三、沈聰益、黃培毓、顏木生 (2014) · 測量實習 2 (初版) · 新北市：台科大圖書。
- 四、康通能 (2011) · 工程力學 II (初版) · 新北市：台科大圖書。
- 五、康通能 (2015) · 工程力學 I (初版) · 新北市：台科大圖書。
- 六、陳耀如、洪國珍、劉叔松 (2014) · 工程材料 1 (七版一刷) · 新北市：旭營文化年。
- 七、張文澤、李光華 (2012) · 製圖實習 2 (初版) · 新北市：台科大圖書。
- 八、沈聰益、黃培毓、顏木生 (2010) · 測量實習 1 (初版) · 新北市：台科大圖書。
- 九、吳永進、林美櫻 · AutoCAD2014 特訓教材/3D 應用篇 (初版) · 台北市：碁峰資訊股份有限公司。
- 十、陳耀如、洪國珍、劉叔松 (2003) · 工程材料 II (二版) · (32 頁) · 台北市：旭營文化。
- 十一、呂守陞、鄭慶武、侯惠仁 (2010) · 工程概論 I (一版) · (34 頁、76 頁) · 台北縣：弘揚圖書。
- 十二、王鑫 (2013) · 基礎地球科學(上) (再版二刷) · (126 頁、132 頁) · 台南市：南一書局。
- 十三、王鑫 (2013) · 基礎地球科學(下) (再版二刷) · (128 頁、130 頁) · 台南市：南一書局。
- 十四、國家地震研究中心：<http://www.ncree.org/ZH/EarthquakeQA.aspx>。
- 十五、中央氣象局地震百問 <https://www.cwb.gov.tw>
- 十六、建築物速度型被動消能元件設計手冊之研擬 (2002) · (委託報告) · 台北市：內政部建築研究所。
- 十七、建築物耐震設計規範及解說 (2011 年 7 月) · 台北市：內政部。
- 十八、薛銓璋 (2011 年 8 月) · 含液態黏性阻尼器之鋼筋混凝土房屋結構系統動力行為案例探討 · 新竹市：中華大學。
- 十九、劉坤松、蔡義本 · 以 921 集集地震之建築物強震紀錄探討大樓高層震度的放大效應，中華民國建築學會「建築學報」第 61 期 (2007 年 9 月) · (151~173 頁)。
- 二十、許茂雄、廖文義、杜怡萱、許士昱 (2002 年 1 月) · 國家地震工程研究中心之三分之一縮尺二層樓 RC 校舍模型振動台試驗之成果報告
- 二十一、葉祥海 · 建築物隔制震設計規劃與實務之研究比較 (2003 年 12 月) · 內政部建築研究所報告。
- 二十二、Roy R. Craig Jr. · Andrew J. Kurdila(2006) · FUNDAMENTALS OF STRUCTURAL DYNAMICS SECOND EDITION · Publisher : Wiley。

【評語】 052401

本作品在縮尺建物中安裝制震阻尼系統，透過模擬在不同地震波下的結構減震消能效果。制震阻尼器已是商品化產品，作者宜蒐集現有文獻做比較，突顯本作品之亮點，並建議考慮採用結構動力學分析軟體，進行結構中消能器佈設位置及功能選定之優化設計。目前所發展的實驗系統可以配合數值分析程式，開發結構耐震及損傷診斷技術。

摘要

台灣位於歐亞地震板塊間，地震頻繁，近年由於高樓林立，結構物耐震日形重要，國內外研究中心相繼投入相當成本進行相關試驗，因此我們想透過本專題去探討藉由在縮尺建物中安裝制震阻尼系統，紀錄結構之減震效益。

本研究目的電腦繪圖與雷射切割進行制震阻尼系統設計，配合多款感測儀器設備進行縮尺模型之耐震試驗，並透過實驗模擬不同地震波下，比對制震阻尼系統模型之位移、軸力與加速度是否有相同之消能效益趨勢？並討論他們在實驗後各方面的特性差異並做比較，依結果數據，以「適用範圍」、「經濟效益」、「減震程度」三點進行評估探討，本研究之制震阻尼系統中於中週期、高阻尼元件、安裝2/3層樓以上皆具有理想降低地震力損害。

壹、研究動機

台灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊之間，地震非常頻繁，有感地震每年高達一萬次之多。因台灣地狹人稠為有效爭取居住空間，所以高樓大廈不斷增加，相對的如何降低地震造成的損害程度為耐震設計之主要目的。且國家地震工程研究中心進行耐震實驗來評估結構安全，但實驗費用卻高達上百萬、甚至千萬之多。因此我們自行擬定利用縮尺模型，並自行設計制震阻尼元件，研擬出一套具經濟效益的實驗模組，希望提供規劃設計做為參考。



圖為 1991(民國 80)-2016(民國 105)年 地震年次統計圖



圖 1-2 國家地震研究中心之地震模擬實驗室



圖 1-3 被動式制震裝置

圖 1-4 位移型制震系統

圖 1-5 位移型制震阻尼器

圖 1-6 黏彈性制震壁



圖 1-7 斜撐消能阻尼器

圖 1-8 黏滯阻尼器

圖 1-9 黏滯性阻尼器

圖 1-10 油壓阻尼器

貳、研究目的

本實驗目的分別將無安裝制震阻尼系統為對照組，將安裝制震阻尼系統為實驗組，以週期性、樓層數、阻尼性為控制變因；以位移、軸力、加速度為應變變因，並從三大面向：適用範圍、經濟效益、減震程度進行評估探討，以驗證實驗模組之可行性。



圖 2-1 阻尼器及案例

圖 2-2 制震壁及案例



圖 2-5 研究目的架構圖

參、研究設備及器材

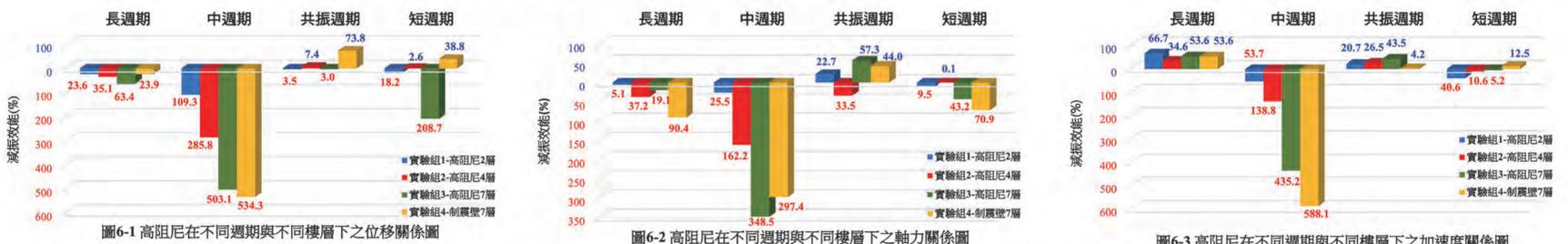


陸、討論

本研究透過電腦繪圖與雷射切割製程產出，目的是為了可以驗證制震阻尼系統的可行性，因此我們將相關結果進行交叉分析彙整如下：

一、實驗組相較於對照組於「不同週期性」在位移、軸力、加速度之消能效益：

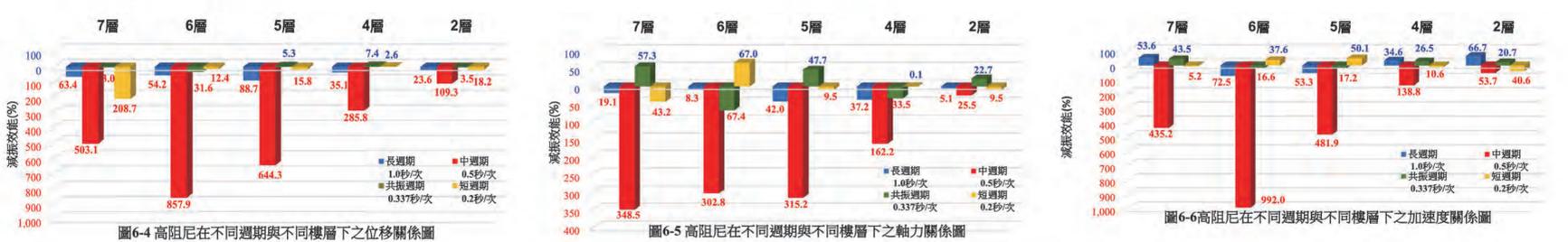
由下圖6-1~6-3中可得知位移、軸力、加速度於各層樓之高阻尼制震系統，包含阻尼器與制震壁皆隨著週期的變化中，可得出於中週期時可有效吸收地震力所給予能量。



高阻尼在不同週期與不同樓層下之軸力、位移、加速度差值百分比關係圖

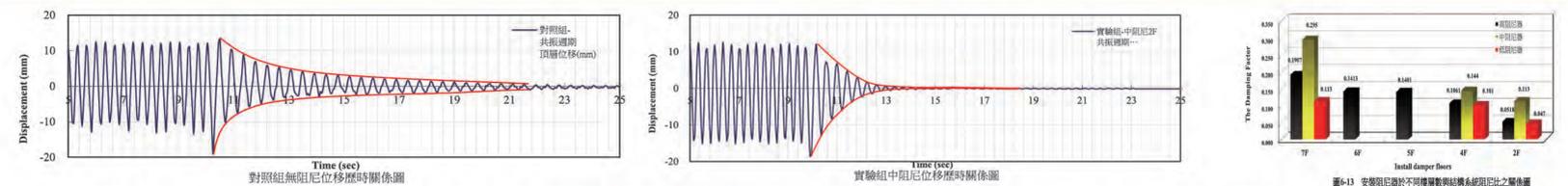
二、實驗組相較於對照組於「不同樓層數」在位移、軸力、加速度之消能效益：

由上圖6-4~6-6中可得知位移與加速度當安裝阻尼器在5樓層以上時，頂樓位移與加速度的搖晃幅度最小，經濟效益較佳。



高阻尼在不同樓層數與不同週期下之軸力、位移、加速度差值百分比關係圖

三、實驗組相較於對照組於「不同阻尼性」在位移、軸力、加速度之消能效益：



當樓層數與週期性固定時，位移表現在中、高阻尼減震程度較佳，軸力與加速度在安裝高阻尼則能達到最好的減震程度。經由伸長、縮短的變形以及活塞與管壁間摩擦，能吸收結構震動能量，發揮減震效果。



同樓層在不同週期與不同阻尼下之軸力、位移、加速度差值百分比關係圖

柒、結論

一、適用範圍：(週期性)

依據文獻所述因中高層建築結構物之振動週期為0.5秒~1.5秒，我們利用不同週期性所得到阻尼器適用於中週期效果呈現最佳，故符合高樓層制震建築所需。

二、經濟效益：(樓層數)

探討製作成本，係為耐震試驗效益值的主要考量，透過本研究所建構之實驗模組進行結構耐震試驗來取得最佳的耐震效益，而樓層數介於5至7層樓效果為最佳，因此我們可以定義安裝阻尼器約為2/3樓層以上，符合相關文獻之實驗結果。

三、減震程度：(阻尼性)

利用不同種類之阻尼器，探討出不同種類的阻尼效果，由實驗得知高阻尼為最佳的阻尼器。

四、總結

- 整體實驗結果顯示，本研究設計之阻尼系統中無論於「位移」、「軸力」、「加速度」皆有明顯之減震效益，即發揮阻尼功能。其中於中週期高阻尼7層樓-阻尼表現為最理想
- 就本研究一系列的實驗模組與結果驗證之設備與方法，可透過本研究之實驗組與對照組或相互比較，因此具有實質之參考價值，期能透過3D列印與複合材料的結合，可提升各種制震元件的創意發想與研究發展的多元性，與獲得驗證更多的結果。
- 後續發展如可加入數值模擬，且根據相關實驗之材料參數輸入與結構模型建立，將相關數值進行比對與判讀，了解是否達到實驗模擬的合理性目標。