

# 中華民國第 57 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

### 最佳團隊合作獎

052404

揭開隔震器的神秘面紗

-應用 3D 列印進行曲面上滾球之消能探究

學校名稱：新北市立瑞芳高級工業職業學校

作者：  職三 黃淳軍  職二 林奕成  職二 邱晨祐	指導老師：  李銘哲  趙雅靜
-----------------------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：縮尺模型、隔震系統、3D 列印

## 摘要

臺灣隸屬地震頻繁的地區，隨著台灣對建物造型與結構安全的意識提升，為能達到居住安全與舒適的功能，目前建物與文物保存已著重於結構中加設隔震系統以達到減震，因此國震研究中心投入相當成本進行耐震試驗，因此我們想透過本專題去探討此不同區面上滾球之消能效益。

本研究目的係利用機械加工與 3D 列印進行縮尺建物之耐震試驗，並透過不同變因的實驗組模擬不同地震波下與固定支承的對照組於位移、軸力與加速度上進行比較？並討論他們在實驗後各方面的特性差異並做比較。

藉由結果數據，以隔震盤半徑、建築物載重、地震波週期三點進行討論出隔震試驗之可行性，本研究隔震器於中週期、共振週期、載重 2 屬半徑 20 公分皆具有理想的減震效果。

## 壹、研究動機

在我們尚未出生時，台灣經歷了 1999 年 921 集集地震的災難，雖然沒有親自感受到 921 的威力，但是從照片及大人的口中，彷彿看見了當年怵目驚心的景像，在 2016 年美濃地震後，新聞各個都在報導許多災民無家可歸，又有許多災民與親人天人永隔，一段段新聞報導，深深撼動了我的心。

在一次偶然的機會下，參觀了台北故宮博物院，發現許多的文物下面都墊了一個墊子，一問之下才知道，原來那個叫做隔震墊，在地震發生時，可以利用隔震墊來吸收地震的能量，防止文物被地震震倒，且之前華熊營造來我們學校演講有提到目前他們監造的陶朱隱園用了隔震工法，對這個議題產生了很大的興趣。

綜合上述原因，讓我們對隔震的議題產生興趣，於是我們透過搜尋相關資料，了解各式隔震方法，並利用工程力學與物理實驗課程所學，選擇以滾動支承的隔震方法進行實驗，進而探討建物下方圓球與盤底曲度的關係。

## 貳、研究目的

本研究目的是以縮小建物尺寸，控制建物下方滾動隔震支承與圓盤曲度，並希望以縮尺模型研究建物下方滾動隔震支承與圓盤曲度，以評估其減震效益。因此我們開始進行一連串的資料收集、歸納分析跟實驗模擬，並探討其「不同隔震盤半徑」、「不同地震波週期」、「不同建築物載重」在軸力、位移、加速度之三要項消能效益。

以設計單一直徑之鋼球配合不同半徑之隔震盤組合成隔震系統作為實驗組，以傳統建物之固定支承作為對照組，期能透過實驗方式去探討各個隔震系統的差異，並建議出較佳的隔震系統，作為隔震工程上之參考應用。

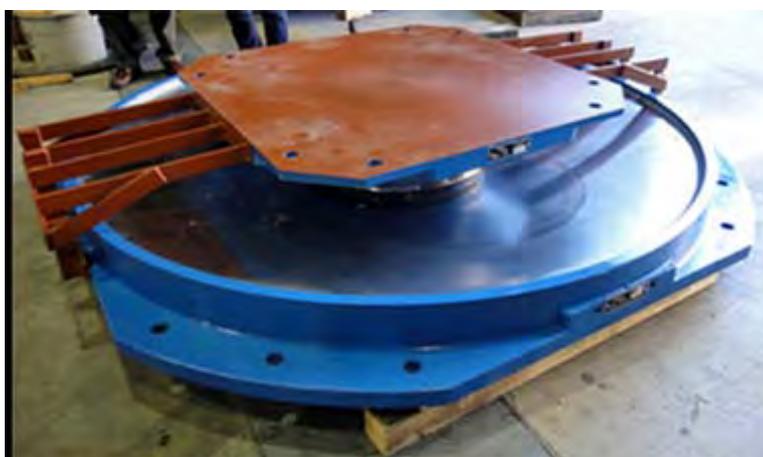


圖 1-1 隔震器



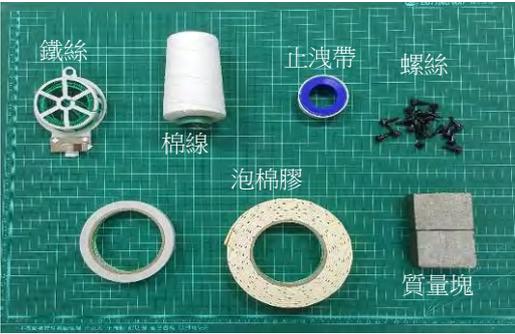
圖 1-2 裝設隔震器建案(陶朱隱園)

## 參、研究設備及器材

以下將本研究所使用的材料、儀器及工具設備整下：

### 一、使用材料：

項次	名稱	數量
1	泡棉膠	3 捲
2	螺絲	5 包
3	鐵絲	3 捲
4	質量塊	19 塊
5	棉線	1 捲
6	止洩帶	3 捲



### 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
13	3D 列表機	2



### 三、使用工具

項次	名稱	數量
1	尖嘴鉗	3
2	老虎鉗	3
3	十字起子	3
4	一字起子	3
5	剪刀	2
6	電鑽	2
7	剛捲尺	1
8	游標卡尺	1
9	三角版	1
10	美工刀	2
11	延長線	3
12	方格切割墊	2



## 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

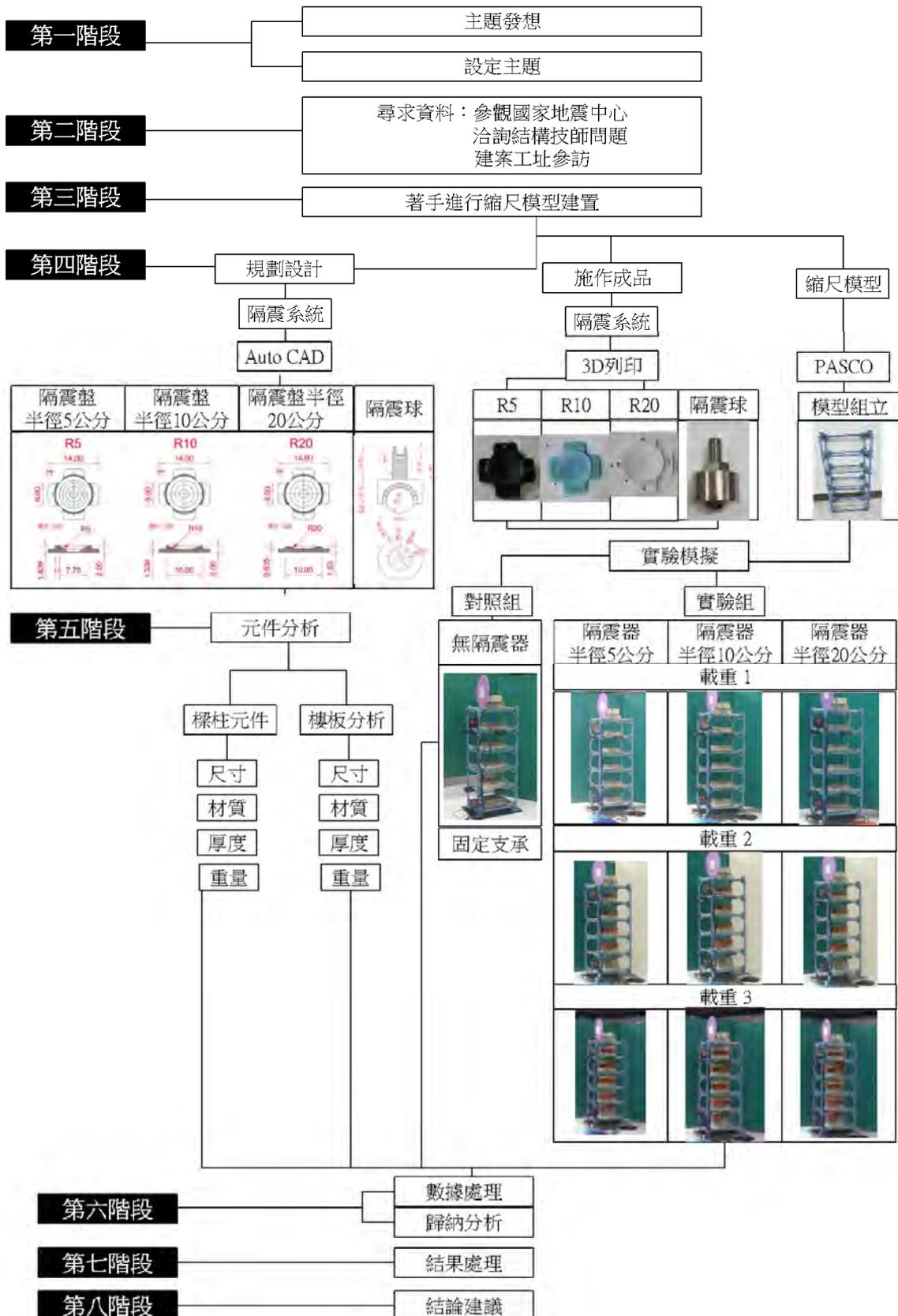


圖 4-1 本專題之整體架構流程圖

## 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 設計底部隔震盤，並將設計好的隔震盤利用 3D 列印機印出。

■研究目的：設計結構與繪製隔震圓盤並 3D 列印成品

■研究步驟：先蒐集隔震系統；其次為設計底部圓盤後製作縮尺隔震建築。

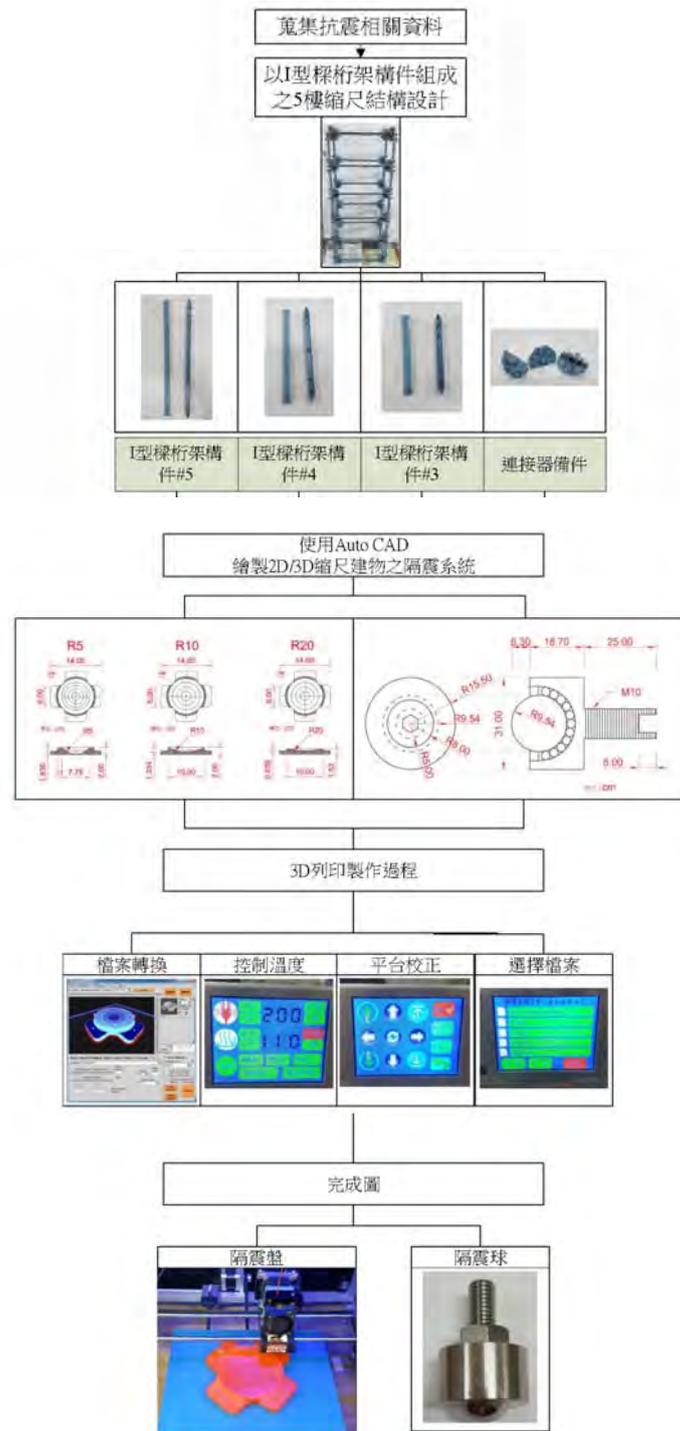
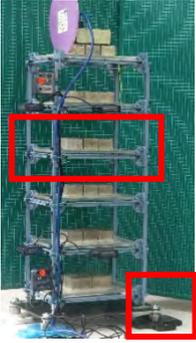
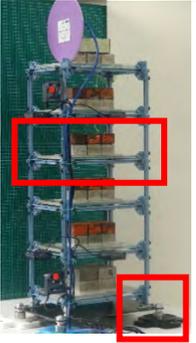


圖 4-2 設計與製作 3D 縮尺隔震系統之流程圖

## 二、實驗模擬耐震試驗

■試驗目的：探討透過隔震系統設計，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，隔震系統是否發揮減震趨勢。

表 4-1 本研究之對照組與實驗組之縮尺建物說明一覽表

對照組 固定支承	實驗組：具隔震器								
	載重 1			載重 2			載重 3		
	R5	R10	R20	R5	R10	R20	R5	R10	R20
									

■試驗步驟：如下表所示。

表 4-2 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 加速規感測計系統 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，輸入參數如表 4-3	<p>表 4-3 模擬地震波之控制參數</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>項次</th> <th>項目</th> <th>週期 (sec/次)</th> <th>振幅 (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>長週期</td> <td>1.000</td> <td rowspan="3">依實際電動平台輸出衝程能量而定</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>中週期</td> <td>0.500</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>共振週期</td> <td>模型自然振動週期</td> </tr> </tbody> </table>	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衝程能量而定	2	中週期	0.500	3	共振週期	模型自然振動週期
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衝程能量而定														
2	中週期	0.500															
3	共振週期	模型自然振動週期															
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	<ol style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>比對實驗組與對照組之頂層與底層之減震效益</li> </ol>															

表 4-3 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	給予模型的適當微振動源	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	搖時之模型頂層位移歷時(mm)/ 軸力歷時(N)/加速度歷時(m/sec <sup>2</sup> )
Step3	給予模型的適當微振動源	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	搖時之模型頂層位移歷時(mm)/ 軸力歷時(N)/加速度歷時(m/sec <sup>2</sup> )
Step5	給予模型的適當微振動源	搖後之自然震動頻率(Hz)/3D座標
Step6	進共振周期地震波之模型振動	搖時之模型頂層位移歷時(mm)/ 軸力歷時(N)/加速度歷時(m/sec <sup>2</sup> )
Step7	給予模型的適當微振動源	搖後之自然震動頻率(Hz)/3D座標

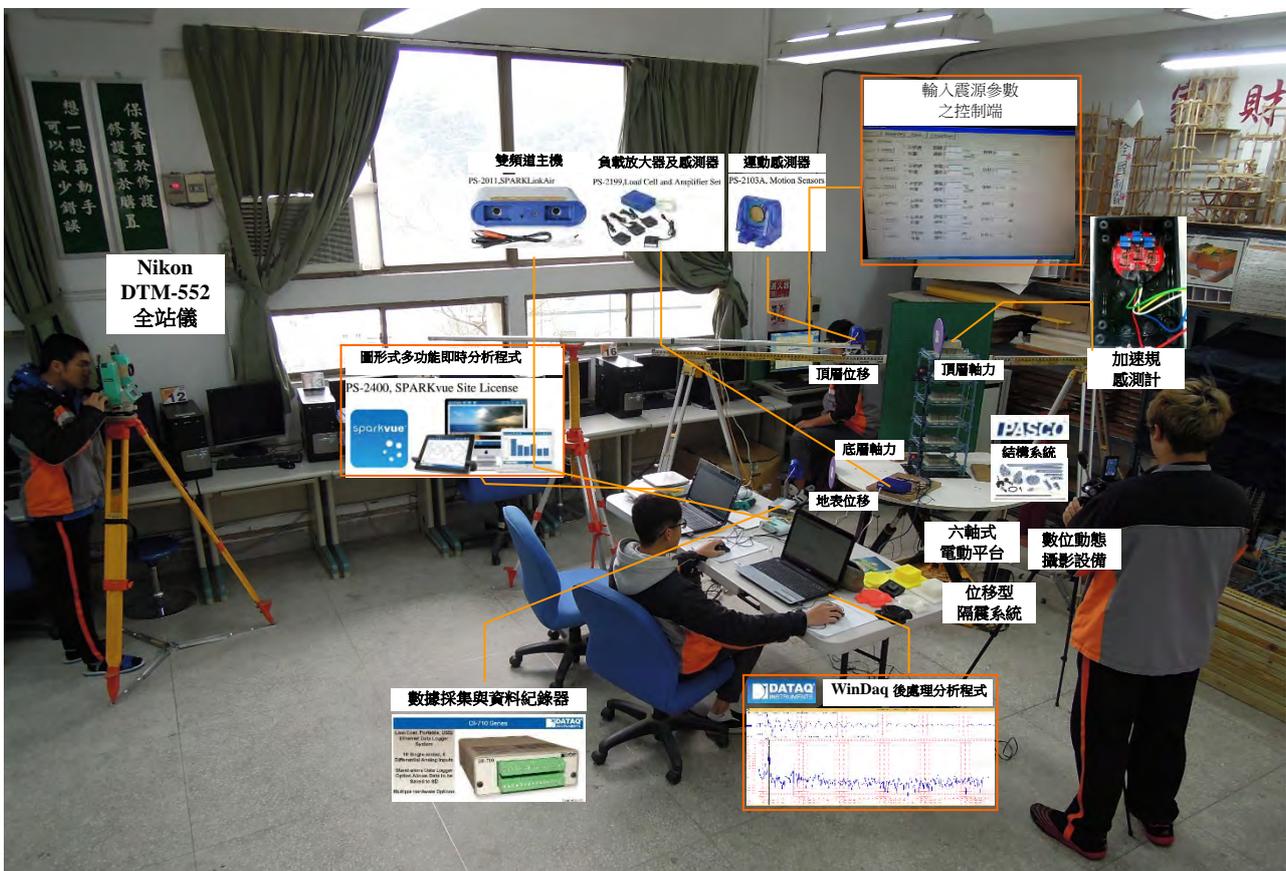


圖 4-3 實驗模擬之耐震試驗模組下現場操作現況說明

## 伍、研究結果

本研究是透過縮尺模型桿件模型、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、3D 座標、自然振動頻率之量測結果，依序分樣說明如下：

### 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) 蒐集 3D 相關資料：本研究之隔震系統，本研究透過網路蒐集現代 3D 打印成型方法如下表 4-1，並選擇常運用到的熔絲打印型式，而此打印型式選用 PLA(聚乳酸)作此研究的打印原料。

表 5-1 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		
26.7		14.15		每層高度	累計高度	
				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
3D 列印打印型式與原料						
項次	打印型式		原料種類			
1	選擇性激光燒結		熱塑性塑料、金屬粉末、陶瓷粉末			
2	直接金屬激光燒結		幾乎任何合金			
3	熔融沉積式		熱塑性塑料、共晶系統金屬、可食用材料			
4	立體平版印刷		光硬化樹脂 (photopolymer)			
5	數字光處理		液態樹脂			
6	熔絲製造		PLA(聚乳酸)、ABS 樹脂			
7	融化壓模式		金屬線、塑料線			
8	分層實體製造		紙、金屬膜、塑料薄膜			
9	電子束熔化成型		鈦合金			

10	選擇性熱燒結	Thermoplastic powder
11	粉末層噴頭 3D 打印	石膏

(四) 儀器規格研究：

表 5-2 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			

二、對照組與各實驗組不同週期之位移關係

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

模擬步驟		建物 載重	1	2	3	4	5	6	7
地震波週期			本身 自然 震動 頻率 (Hz)	長週期 1.0 秒/次		中週期 0.5 秒/次		共振週期 0.334 秒/次	
量測項目				受震後 頂層 位移 (cm) Max	震後 自然 震動 頻率 (Hz)	受震後 頂層 位移 (cm) Max	震後 自然 震動 頻率 (Hz)	受震後 頂層 位移 (cm) Max	震後 自然 震動 頻率 (Hz)
對照組	無隔震器	W1	2.750	17.57	2.750	20.62	2.750	22.52	2.580
實驗組 1-R5 隔震器			2.700	21.24	2.700	38.70	2.230	14.00	2.170
差值(%)				17.3		46.7		37.8	
對照組	無隔震器	W2	2.580	2.750	2.580	83.30	2.270	16.88	2.420
實驗組 1-R5 隔震器			2.460	21.01	2.400	32.03	2.340	15.42	2.170
差值(%)				86.9		61.6		8.6	
對照組	無隔震器	W3	2.110	28.56	2.110	33.52	1.950	13.95	2.730
實驗組 1-R5 隔震器			1.990	17.57	1.990	17.68	1.990	16.24	2.050
差值(%)				38.5		47.3		14.1	
對照組	無隔震器	W1	2.750	17.57	2.750	20.62	2.750	22.52	2.580
實驗組 2-R10 隔震器			2.890	26.51	2.810	24.20	2.810	16.20	2.270
差值(%)				33.7		14.8		28.1	
對照組	無隔震器	W2	2.580	23.69	2.580	83.30	2.270	16.88	2.420
實驗組 2-R10 隔震器			2.270	25.32	2.270	20.81	3.050	15.18	2.270
差值(%)				6.5		75.0		10.0	
對照組	無隔震器	W3	2.110	28.56	2.110	33.52	1.950	13.95	2.730
實驗組 2-R10 隔震器			2.110	24.96	2.110	17.83	2.110	14.28	1.950
差值(%)				12.6		46.8		2.3	
對照組	無隔震器	W1	2.750	17.57	2.750	20.62	2.750	22.52	2.580
實驗組 3-R20 隔震器			4.363	0.00	4.630	15.58	4.630	12.50	4.630
差值(%)				#DIV/0!		24.4		44.5	
對照組	無隔震器	W2	2.580	23.69	2.580	83.30	2.270	16.88	2.420
實驗組 3-R20 隔震器			2.460	0.00	2.460	21.70	2.340	13.62	2.340
差值(%)				#DIV/0!		74.0		19.3	
對照組	無隔震器	W3	2.110	28.56	2.110	33.52	1.950	13.95	2.730
實驗組 3-R20 隔震器			2.110	0.00	2.110	26.62	2.050	14.76	1.880
差值(%)				#DIV/0!		20.6		5.5	

### (一)實驗組 – R5 – 載重 1

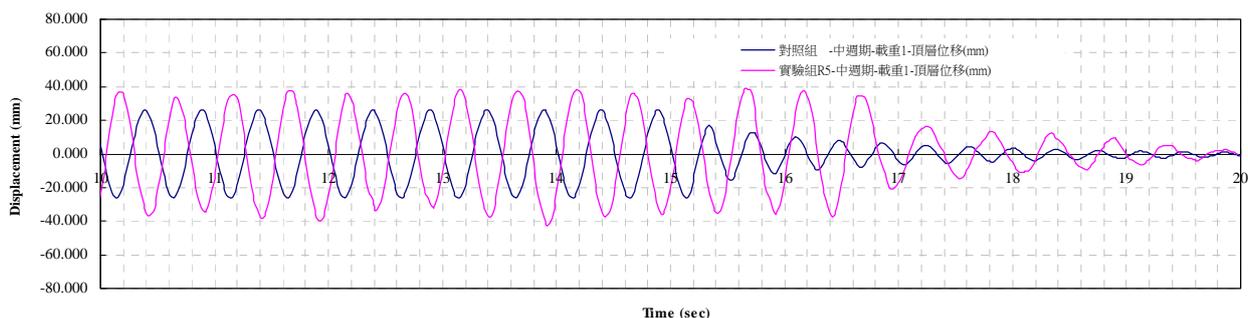


圖 5-1 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 5 公分)在中週期下之頂層位移歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 1 與實驗組 R5 載重 1 之頂層位移相差 87.68%，因 R5 的隔震盤半徑較小，滑動空間也少了許多，在週期、載重相同的情況下，頂層位移隨之增加。

### (二)實驗組 – R10 – 載重 1

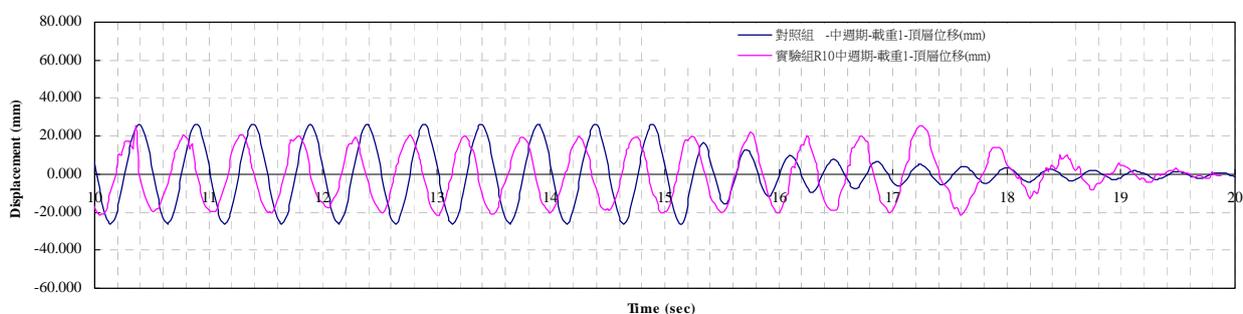


圖 5-2 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 10 公分)在中週期下之頂層位移歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 1 與實驗組 R10 載重 1 之頂層位移相差 17.36%，與 R5 相比，隔震盤半徑增加了，滑動空間也有些許增加，所以實驗組 R10 的頂層位移比 R5 的減少許多。

### (三)實驗組 – R20 – 載重 1

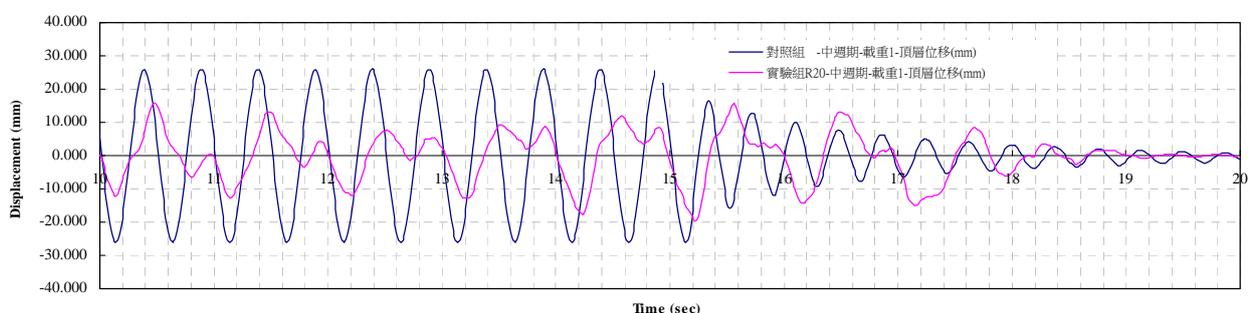


圖 5-3 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 20 公分)在中週期下之頂層位移歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 1 與實驗組 R20 載重 1 之頂層位移相差 24.44%，與前兩者相比，隔震盤半徑增加了許多，滑動空間也增加很多，所以實驗組 R20 的頂層位移比 R5、R10 的減少許多。

#### (四)實驗組 – R5 – 載重 2

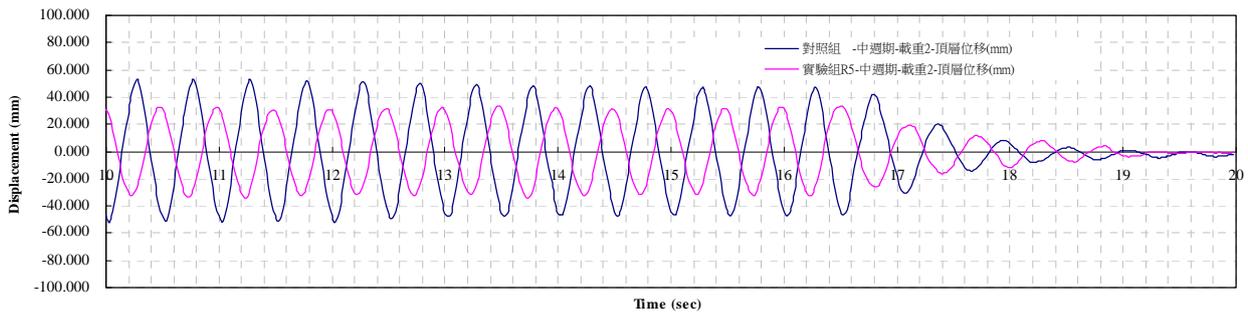


圖 5-4 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 5 公分)在中週期下之頂層位移歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 2 與實驗組 R5 載重 2 之頂層位移相差 61.55%，因載重變重，向下的力量增加，讓滑動不是那麼容易，使位移變小。

#### (五)實驗組 – R10 – 載重 2

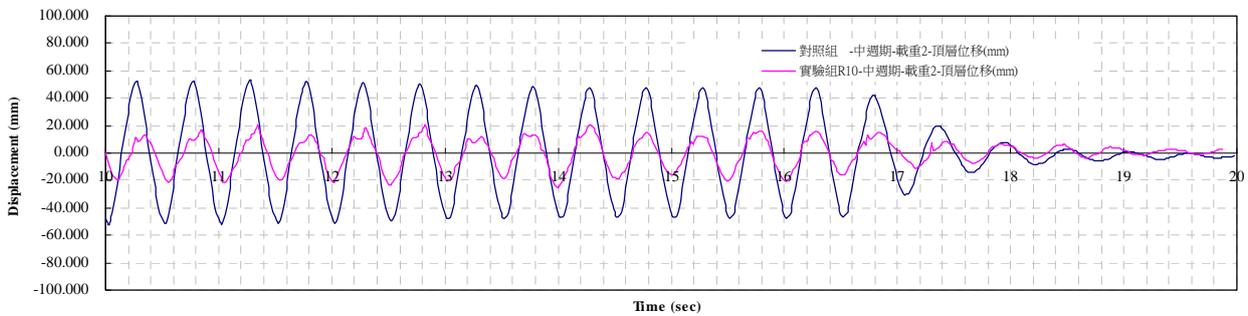


圖 5-5 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 10 公分)在中週期下之頂層位移歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 2 與實驗組 R10 載重 2 之頂層位移相差 75.02%，因載重變重，向下的力量增加，讓圓弧滑動產生消能，亦使位移變小。

#### (六)實驗組 – R20 – 載重 2

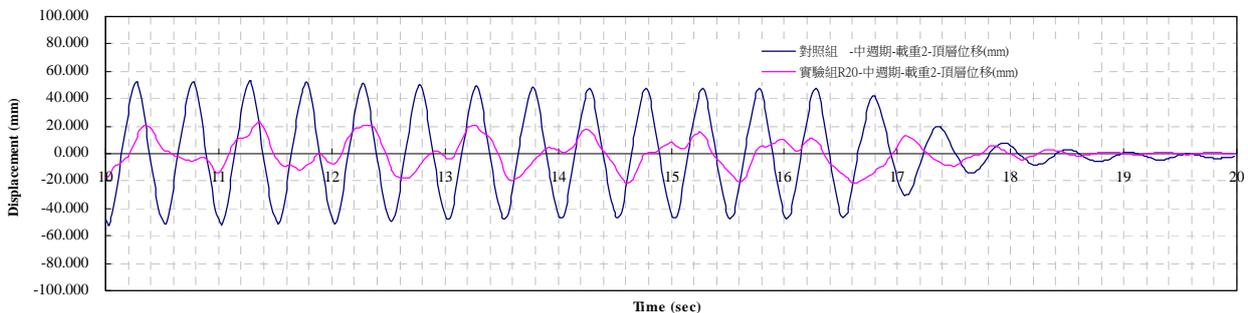


圖 5-6 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 20 公分)在中週期下之頂層位移歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 2 與實驗組 R20 載重 2 之頂層位移相差 73.95%，因載重變重，向下的力量增加，更 R20 的平滑曲線更使位移變小。

### (七)實驗組 – R5 – 載重 3

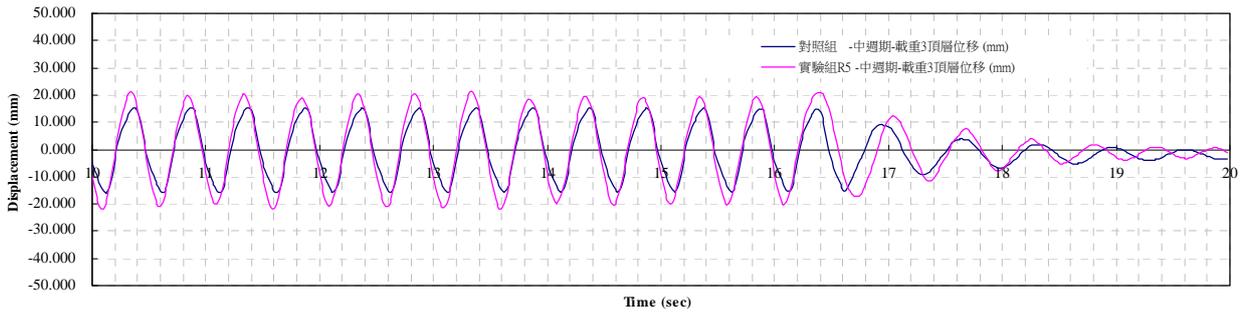


圖 5-7 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 5 公分)在中週期下之頂層位移歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 3 與實驗組 R5 載重 3 之頂層位移相差 47.26%，因載重超過限制，促使滑動產生困難，使位移與對照組接近，無法發揮消能效益。

### (八)實驗組 – R10 – 載重 3

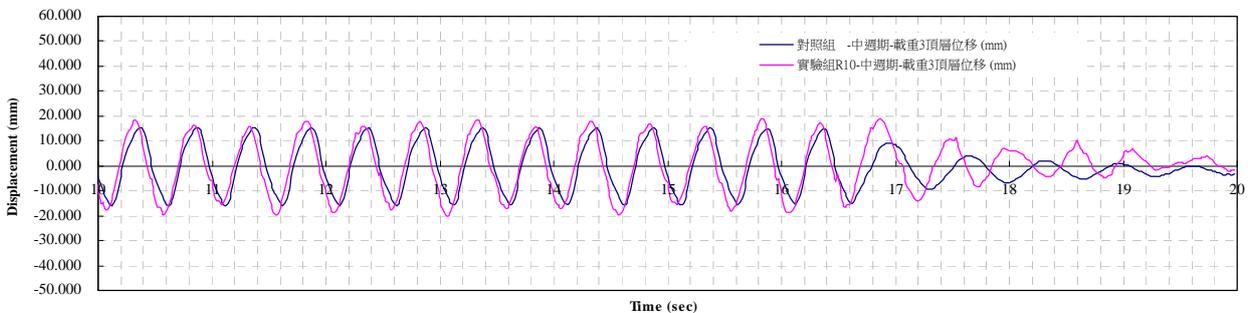


圖 5-8 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 10 公分)在中週期下之頂層位移歷時關係圖

由上圖可知對照組與實驗組 R10 之頂層位移相差 46.81%，因載重超過限制，R10 在載重 3 亦有相同情況使位移變小。

### (九)實驗組 – R20 – 載重 3

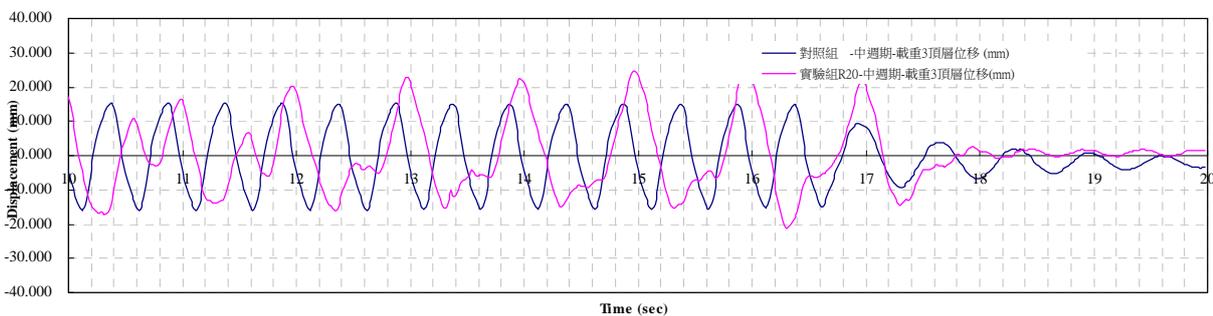


圖 5-9 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 20 公分)在中週期下之頂層位移歷時關係圖

由上圖可知對照組與實驗組 R20 之頂層位移相差 20.57%，因載重變重，向下的力量增加，讓滑動不是那麼容易，使位移變小。

### 三、對照組與各實驗組各週期之軸力關係

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

模擬步驟		建物載重	1	2	3	4	5	6	7
地震波週期			本身自然震動頻率 (Hz)	長週期 1.0 秒/次		中週期 0.5 秒/次		共振週期 0.334 秒/次	
量測項目				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	
對照組	無隔震器	W1	2.750	17.57	2.750	41.31	2.750	48.45	2.580
實驗組 1-R5 隔震器			2.700	8.76	2.700	98.87	2.230	33.17	2.170
差值(%)					50.2		58.2		31.5
對照組	無隔震器	W2	2.580	2.750	2.580	100.00	2.270	40.52	2.420
實驗組 1-R5 隔震器			2.460	15.24	2.400	82.20	2.340	33.71	2.170
差值(%)					82.0		21.7		16.8
對照組	無隔震器	W3	2.110	17.42	2.110	37.15	1.950	18.36	2.730
實驗組 1-R5 隔震器			1.990	19.72	1.990	62.71	1.990	27.55	2.050
差值(%)					11.7		40.8		33.4
對照組	無隔震器	W1	2.750	17.57	2.750	41.31	2.750	48.45	2.580
實驗組 2-R10 隔震器			2.890	12.06	2.810	39.01	2.810	27.22	2.270
差值(%)					31.3		5.6		43.8
對照組	無隔震器	W2	2.580	16.47	2.580	100.00	2.270	40.52	2.420
實驗組 2-R10 隔震器			2.270	26.53	2.270	56.21	3.050	20.77	2.270
差值(%)					37.9		43.8		48.7
對照組	無隔震器	W3	2.110	17.42	2.110	37.15	1.950	18.36	2.730
實驗組 2-R10 隔震器			2.110	11.85	2.110	43.66	2.110	30.65	1.950
差值(%)					32.0		14.9		40.1
對照組	無隔震器	W1	2.750	17.57	2.750	41.31	2.750	48.45	2.580
實驗組 3-R20 隔震器			4.363	0.00	4.630	28.09	4.630	23.73	4.630
差值(%)					#DIV/0!		32.0		51.0
對照組	無隔震器	W2	2.580	16.47	2.580	100.00	2.270	40.52	2.420
實驗組 3-R20 隔震器			2.460	0.00	2.460	35.63	2.340	33.56	2.340
差值(%)					#DIV/0!		64.4		17.2
對照組	無隔震器	W3	2.110	17.42	2.110	37.15	1.950	18.36	2.730
實驗組 3-R20 隔震器			2.110	0.00	2.110	34.19	2.050	31.98	1.880
差值(%)					#DIV/0!		8.0		42.6

#### (一)實驗組 - R5 - 載重 1

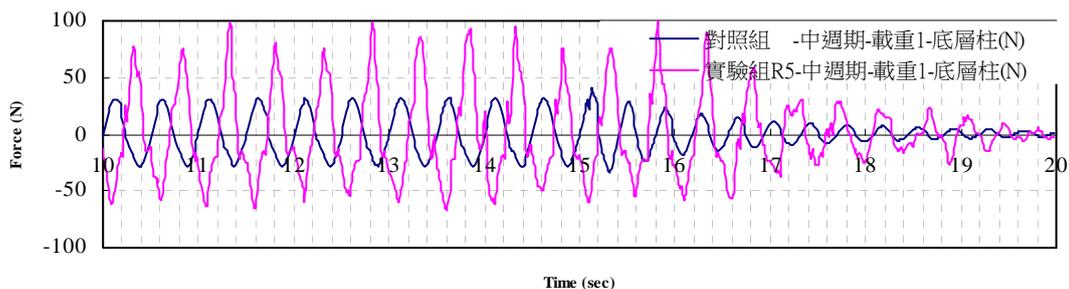


圖 5-10 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 5 公分)在中週期下之底層柱軸力歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 1 與實驗組 R5 載重 1 之頂層位移相差 139.36%，實驗組 R5 載重 1 的底層柱受力與對照組比較起來是多非常多的，原因可能是因 R5 的隔震盤太彎，使隔震球不太能滑動，模型上下跳動，才照成底層柱受力變大。

### (二)實驗組 – R10 – 載重 1

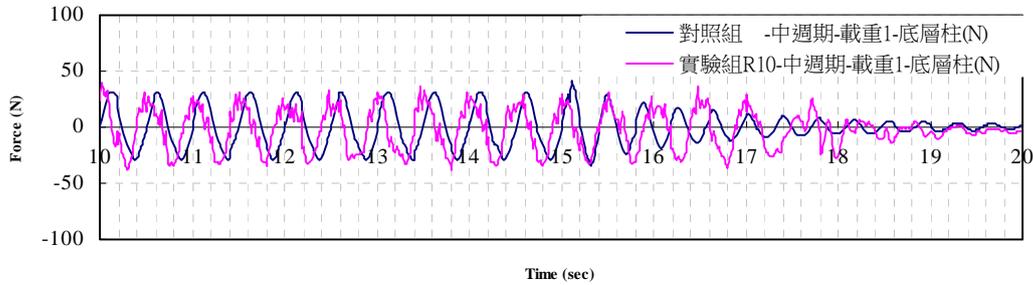


圖 5-11 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 10 公分)在中週期下之底層柱軸力歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 1 與實驗組 R10 載重 1 之頂層位移相差 5.57%，實驗組 R10 載重 1 的底層柱受力與對照組比起來是差不多的，跟 R5 比較起來，R10 的隔震盤多了些許的滑動空間，模型上下跳動幅度減少，受力因此下降。

### (三)實驗組 – R20 – 載重 1

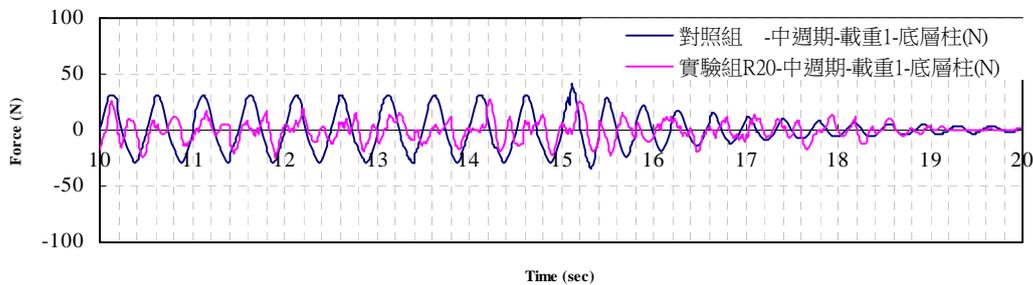


圖 5-12 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 20 公分)在中週期下之底層柱軸力歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 1 與實驗組 R5 載重 1 之頂層位移相差 32.00%，實驗組 R20 載重 1 的底層柱受力與對照組比起來少了很多，跟其他兩組比起來，R20 的隔震盤多了很多的滑動空間，模型不在上下跳動，受力因此降低許多。

### (四)實驗組 – R5 – 載重 2

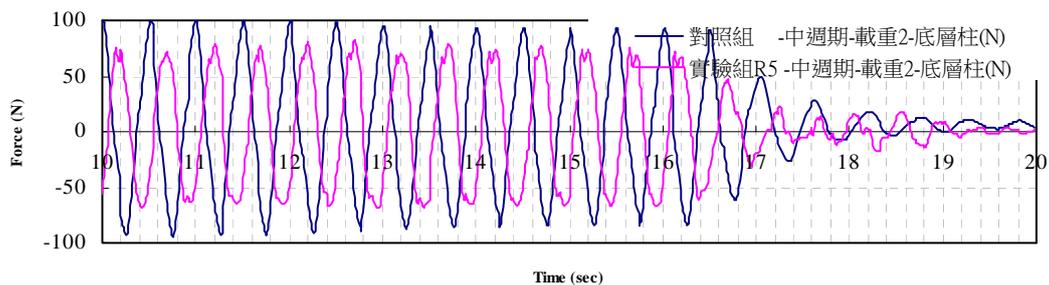


圖 5-13 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 5 公分)在中週期下之底層柱軸力歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 2 與實驗組 R5 載重 2 之頂層位移相差 17.80%，載重 2 時，實驗組 R5 的底層柱受力與對照組小，表示有達到減震效益。

(五)實驗組 – R10 – 載重 2

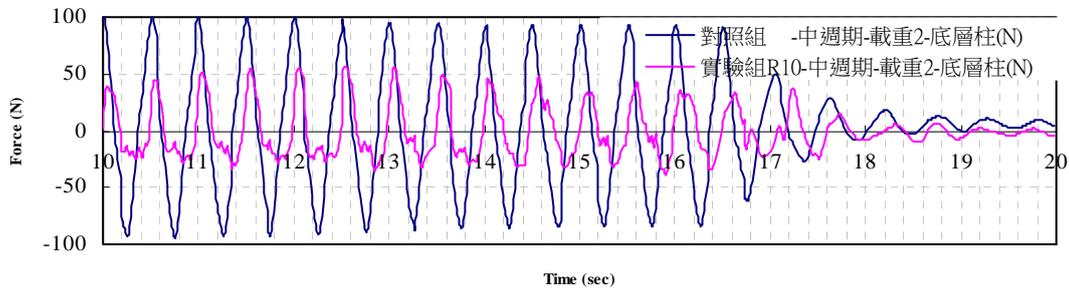


圖 5-14 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 10 公分)在中週期下之底層柱軸力歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 2 與實驗組 R5 載重 2 之頂層位移相差 43.79%，載重 2 時，實驗組 R5 的底層柱受力與對照組小，表示有達到減震效益。

(六)實驗組 – R20 – 載重 2

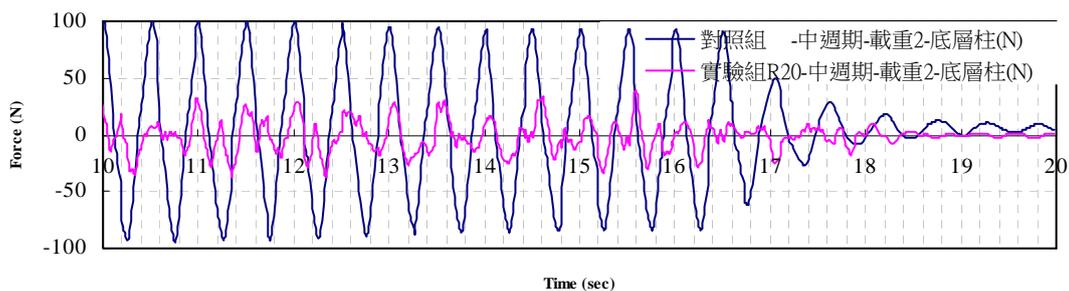


圖 5-15 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 20 公分)在中週期下之底層柱軸力歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 2 與實驗組 R5 載重 2 之頂層位移相差 64.37%，載重 2 時，實驗組 R5 的底層柱受力與對照組小，表示有達到減震效益。

(七)實驗組 – R5 – 載重 3

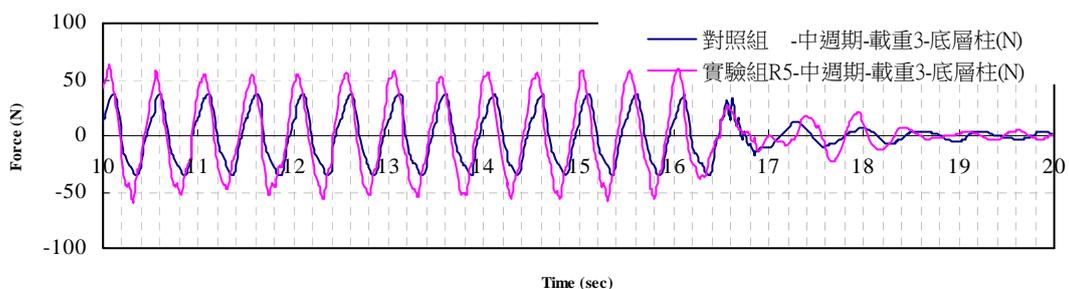


圖 5-16 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 5 公分)在中週期下之底層柱軸力歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 3 與實驗組 R5 載重 3 之頂層位移相差 68.82%，實驗組 R5 的載

重 3 與對照組相比，幅度顯得大了許多，表示沒有達到減震效果。

### (八)實驗組 – R10 – 載重 3

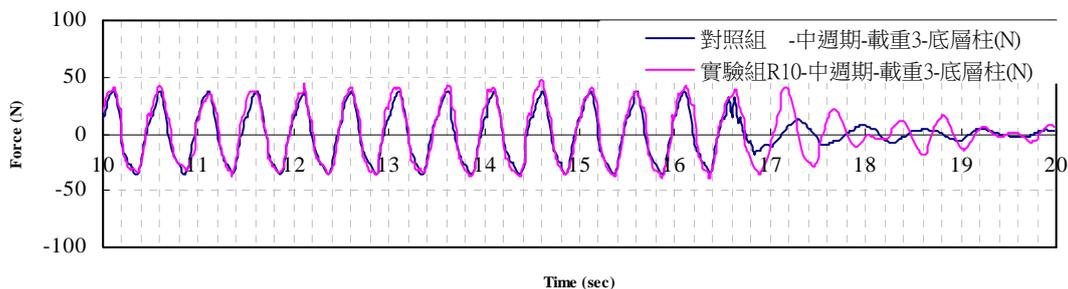


圖 5-17 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 10 公分)在中週期下之底層柱軸力歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 3 與實驗組 R5 載重 3 之頂層位移相差 17.53%，實驗組 R10 的載重 3 與對照組相比，受力是非常接近的，表示與對照組的減震效益相同。

### (九)實驗組 – R20 – 載重 3

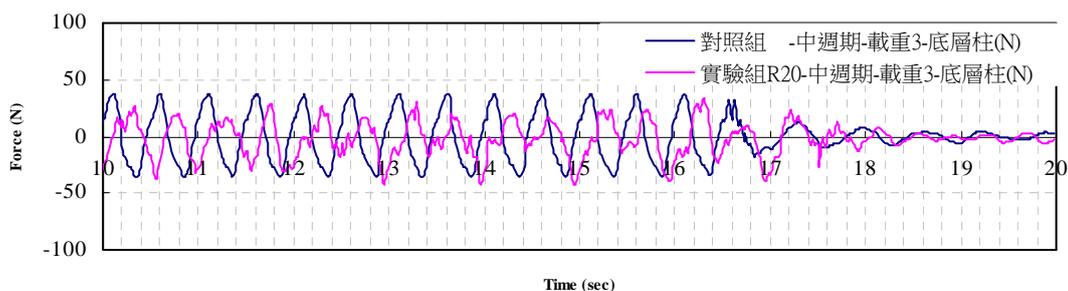


圖 5-18 對照組與實驗組(隔震盤半徑為 20 公分)在中週期下之底層柱軸力歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 3 與實驗組 R5 載重 3 之頂層位移相差 7.96%，實驗組 R20 的載重 3 與對照組相比，受力是明顯變小了，表示有達到減震效益。

## 四、對照組與各實驗組各週期之加速度關係

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

模擬步驟		建物 載重	1	2	3	4	5	6	7
地震波週期			本身 自然 震動 頻率 (Hz)	長週期 1.0 秒/次		中週期 0.5 秒/次		共振週期 0.334 秒/次	
量測項目				受震後 頂層 加速度 (m/sec <sup>2</sup> )	震後 自然 震動 頻率 (Hz)	受震後 頂層 加速度 (m/sec <sup>2</sup> )	震後 自然 震動 頻率 (Hz)	受震後 頂層 加速度 (m/sec <sup>2</sup> )	震後 自然 震動 頻率 (Hz)
				Max		Max		Max	
對照組	無隔震器	W1	2.750	3.82	2.750	3.77	2.750	15.20	2.580
實驗組 1-R5 隔震器			2.700	3.45	2.700	18.93	2.230	2.18	2.170
差值(%)				9.6		80.1		85.7	
對照組	無隔震器	W2	2.580	2.580	2.580	18.66	2.270	4.05	2.420
實驗組 1-R5 隔震器			2.460	2.19	2.400	5.30	2.340	4.03	2.170
差值(%)				15.1		71.6		0.5	

對照組	無隔震器	W3	2.110	1.58	2.110	6.08	1.950	2.51	2.730
實驗組 1-R5 隔震器			1.990	2.19	1.990	3.34	1.990	2.50	2.050
差值(%)				27.9		45.1		0.4	
對照組	無隔震器	W1	2.750	3.82	2.750	3.77	2.750	15.20	2.580
實驗組 2-R10 隔震器			2.890	4.23	2.810	3.59	2.810	5.17	2.270
差值(%)				9.7		4.8		66.0	
對照組	無隔震器	W2	2.580	1.79	2.580	18.66	2.270	4.05	2.420
實驗組 2-R10 隔震器			2.270	5.02	2.270	4.07	3.050	3.55	2.270
差值(%)				64.3		78.2		12.3	
對照組	無隔震器	W3	2.110	1.58	2.110	6.08	1.950	2.51	2.730
實驗組 2-R10 隔震器			2.110	5.02	2.110	2.78	2.110	3.45	1.950
差值(%)				68.5		54.3		27.2	
對照組	無隔震器	W1	2.750	3.82	2.750	3.77	2.750	15.20	2.580
實驗組 3-R20 隔震器			4.363	0.00	4.630	5.22	4.630	3.04	4.630
差值(%)				#DIV/0!		27.8		80.0	
對照組	無隔震器	W2	2.580	1.79	2.580	18.66	2.270	4.05	2.420
實驗組 3-R20 隔震器			2.460	0.00	2.460	3.70	2.340	3.45	2.340
差值(%)				#DIV/0!		80.2		14.8	
對照組	無隔震器	W3	2.110	1.58	2.110	6.08	1.950	2.51	2.730
實驗組 3-R20 隔震器			2.110	0.00	2.110	3.30	2.050	2.67	1.880
差值(%)				#DIV/0!		45.7		6.0	

### (一)實驗組 – R5 – 載重 1

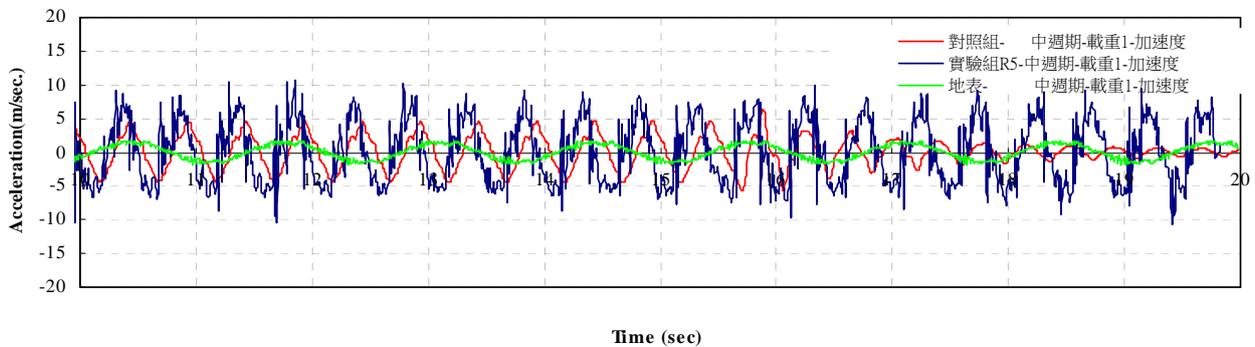


圖 5-19 對照組與實驗組與地表在中週期下之加速度歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 3、實驗組 R5 載重 3 與地表之加速度相差 402.12%，在載重 1 時，實驗組 R5 的頂層加速度比對照組大，表示沒有達到減震效益。

### (二)實驗組 – R5 – 載重 2

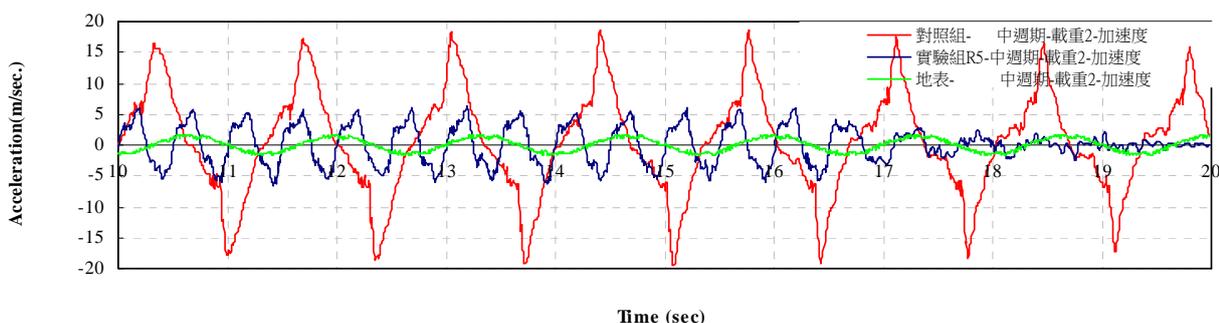


圖 5-20 對照組與實驗組與地表在中週期下之加速度歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 3、實驗組 R5 載重 3 與地表之加速度相差 71.60%，在載重 2 時，實驗組 R5 的頂層加速度比對照組小，表示有達到減震效益。

### (三)實驗組 – R5 – 載重 3

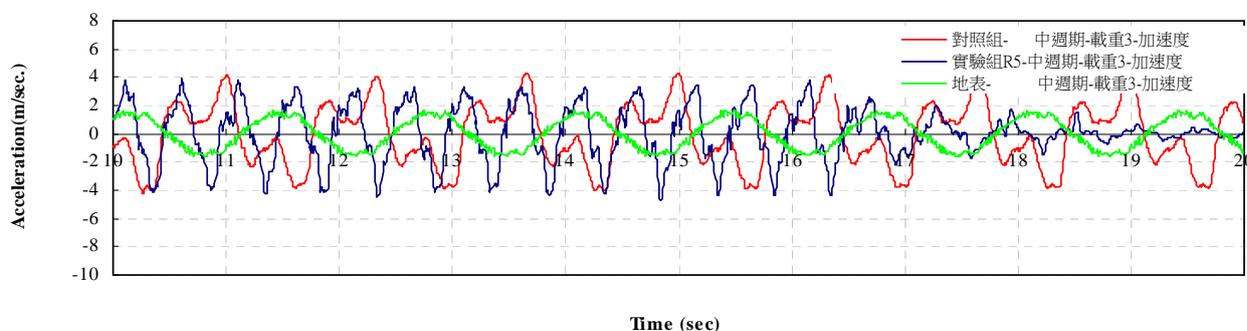


圖 5-21 對照組與實驗組與地表在中週期下之加速度歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 3、實驗組 R5 載重 3 與地表之加速度相差 45.07%，在載重 3 時，實驗組 R5 的頂層加速度與對照組小，表示有達到減震效益。

### (四)實驗組 – R10 – 載重 1

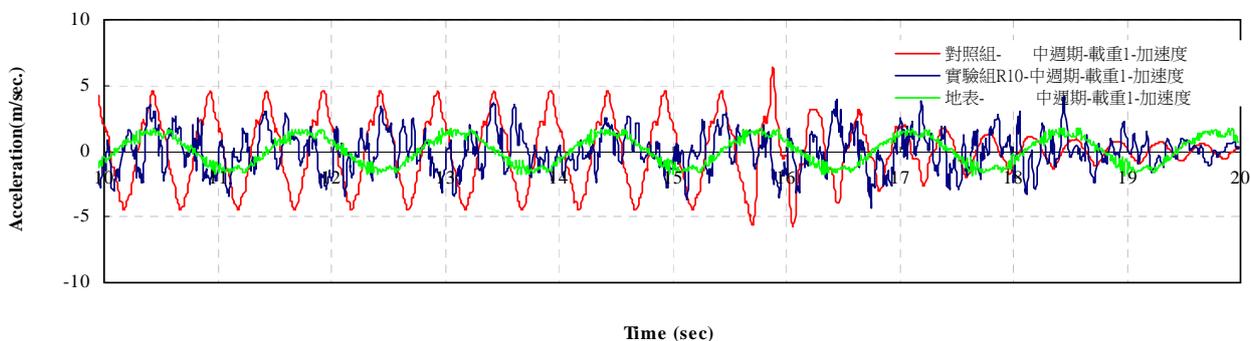


圖 5-22 對照組與實驗組與地表在中週期下之加速度歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 1、實驗組 R10 載重 1 與地表之加速度相差 4.77%，在載重 1 時，實驗組 R10 的頂層加速度比對照組小，表示有達到減震效益。

### (五)實驗組 – R10 – 載重 2

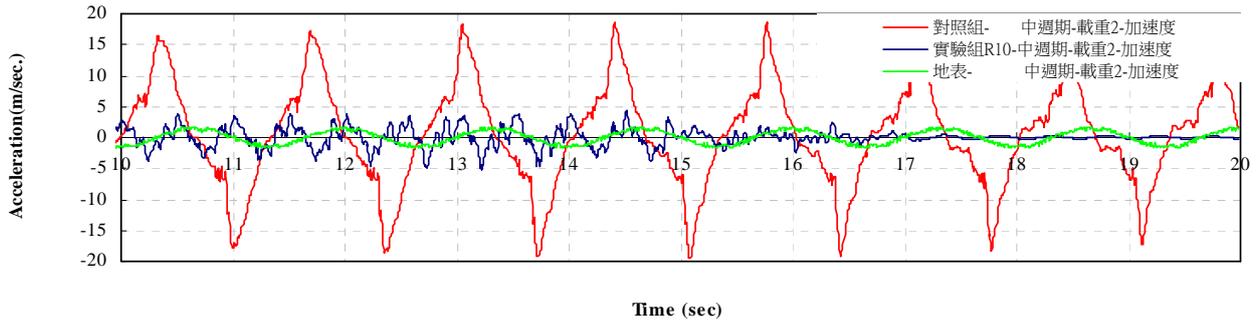


圖 5-23 對照組與實驗組與地表在中週期下之加速度歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 2、實驗組 R10 載重 2 與地表之加速度相差 78.19%，在載重 2 時，實驗組 R10 的頂層加速度比對照組小，表示有達到減震效益。

### (六)實驗組 – R10 – 載重 3

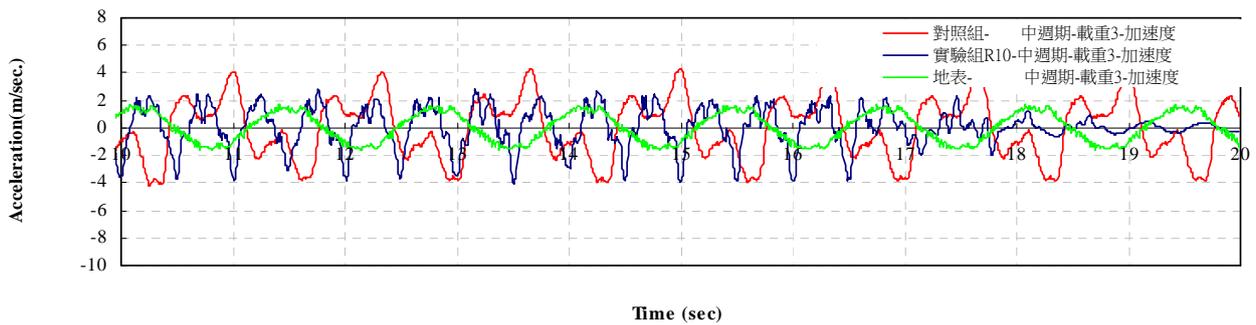


圖 5-24 對照組與實驗組與地表在中週期下之加速度歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 2、實驗組 R10 載重 2 與地表之加速度相差 54.28%，在載重 3 時，實驗組 R10 的頂層加速度比對照組小，表示有達到減震效益。

### (七)實驗組 – R20 – 載重 1

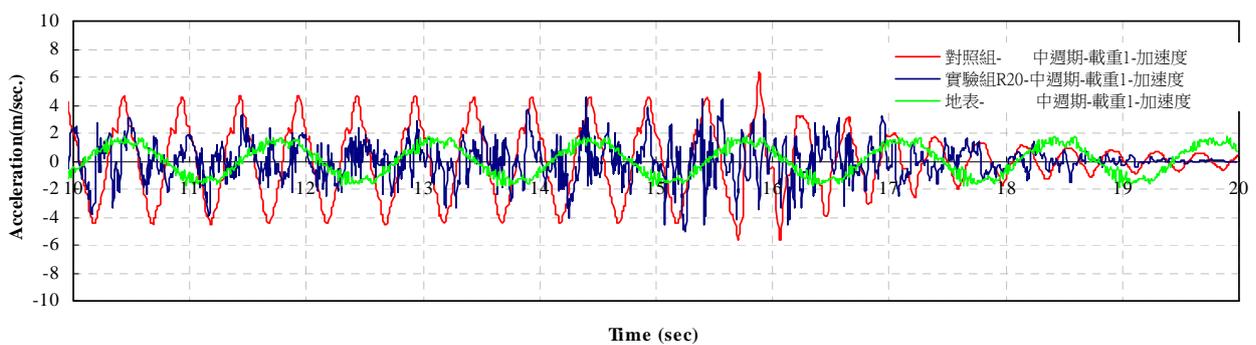


圖 5-25 對照組與實驗組與地表在中週期下之加速度歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 1、實驗組 R20 載重 1 與地表之加速度相差 0.38%，在載重 1 時，實驗組 R20 的頂層加速度比對照組小，表示有達到減震效益。

### (八)實驗組 – R20 – 載重 2

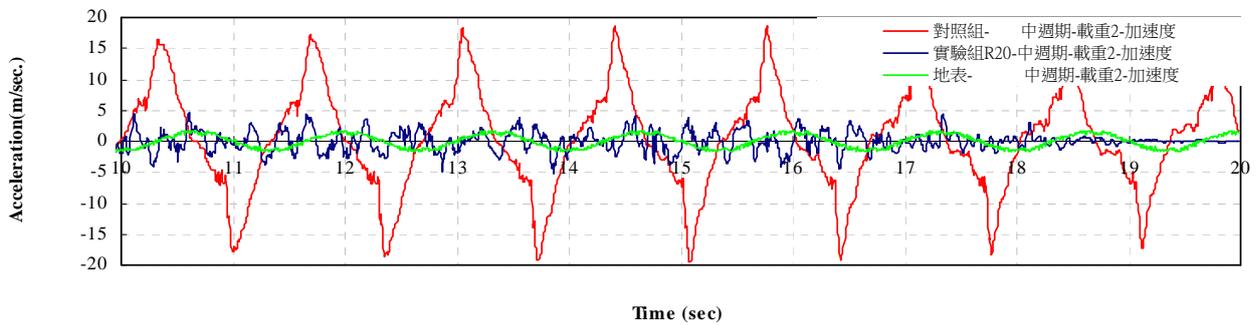


圖 5-26 對照組與實驗組與地表在中週期下之加速度歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 2、實驗組 R20 載重 2 與地表之加速度相差 80.17%，在載重 2 時，實驗組 R20 的頂層加速度比對照組小，表示亦有達到減震效益。

### (九)實驗組 – R20 – 載重 3

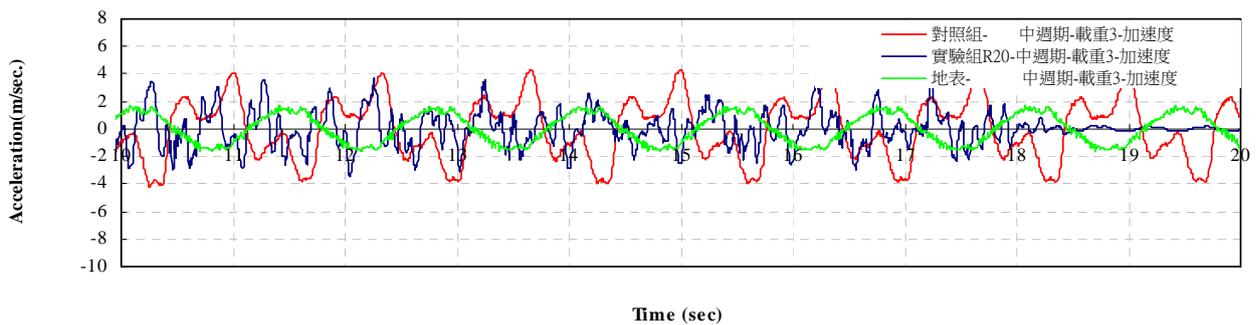


圖 5-27 對照組與實驗組與地表在中週期下之加速度歷時關係圖

由上圖可知對照組載重 3、實驗組 R20 載重 3 與地表之加速度相差 45.72%，在載重 3 時，實驗組 R20 的頂層加速度比對照組小，表示有達到減震效益。

## 陸、討論

### 一、3D 列印特性研究

本研究透過三維製圖及 3D 列印製程將隔震盤產出，目的是為了可以驗證 3D 列印印製實驗物件的可行性，因此我們歸納了實驗中相關結果彙整如下：

- (一) 平滑曲面：影響滑動幅度，曲面愈大，可滑動範圍愈大。
- (二) 盤面平整：影響滑動流暢度，表面愈粗糙，造成隔震球滑動不平穩，且隔震球損耗率高。
- (三) 底層寬度：寬度愈大，可滑動面積隨之變大，可接受幅度愈大的地震。

本研究在 3D 列印過程產生許多問題，且產出之元件，經由量測發現，雖能達到尺寸均一之特點，但卻無法控制每一成品之力學性質之等質性，其原因在於列印係採噴頭之熔絲製造成品，故其內部產生堆疊上的冷縫，造成力學特性的變異數。

以下針對實驗組與對照組之「不同隔震盤半徑」、「不同建築物載重」、「不同地震波週期」等控制變因分析如下：

### 二、實驗組相較於對照組於「不同隔震盤半徑」在軸力、位移、加速度之消能效益

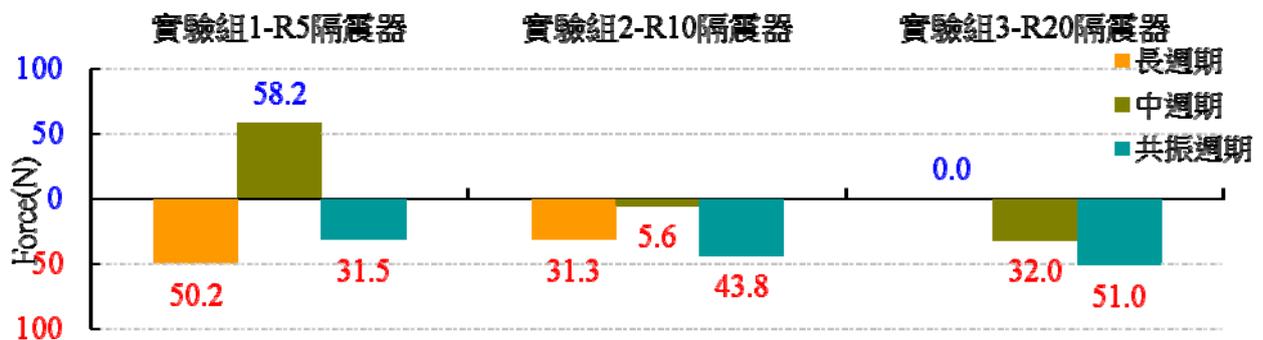


圖 6-1 同為載重 1 時對照組與不同隔震器底層柱軸力差值百分比關係圖

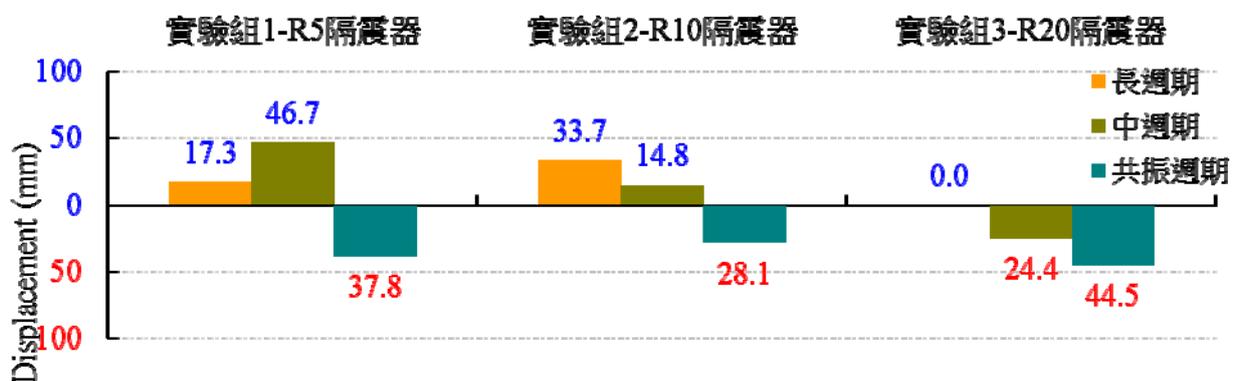


圖 6-2 同為載重 1 時對照組與不同隔震器頂層位移差值百分比關係圖

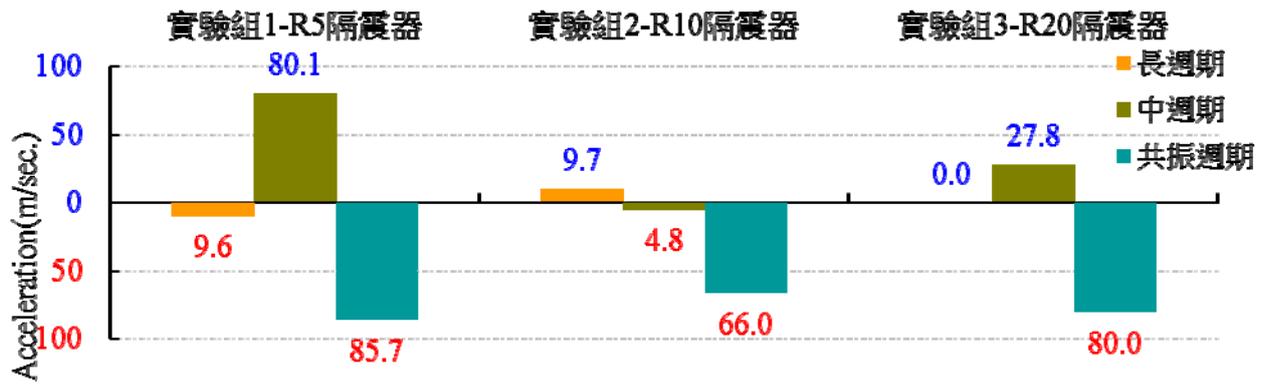


圖 6-3 同為載重 1 時對照組與不同隔震器頂層加速度差值百分比關係圖

由圖 6-1 至 6-3 可知，在底層柱軸力百分比差異值中，隨著周期的下降，隔震效果隨之增加，是因為隔震盤半徑變大，隔震球滑動的空間也隨之變大，所以此實驗結果可知加裝隔震器可以達到隔震效果；在位移百分比差異值中，在半徑愈大時，減少頂層位移的效果愈明顯，但實驗組 3-R20 在長週期時，因晃動過大且隔震盤面積過小，導致模型脫離隔震盤；在頂層加速度百分比差異值中，週期愈小時，發揮隔震效果愈明顯，但實驗組 1-R10 隔震器頂層加速度較其他兩組大，可能是因為隔震盤過於粗糙，影響隔震球滑動，進而影響頂層加速度。綜合上述：實驗組 3-R20 隔震器最具有隔震效果，且週期越小，減震效果愈明顯。

### 三、實驗組相較於對照組於「不同建築物載重」在軸力、位移、加速度之消能效益

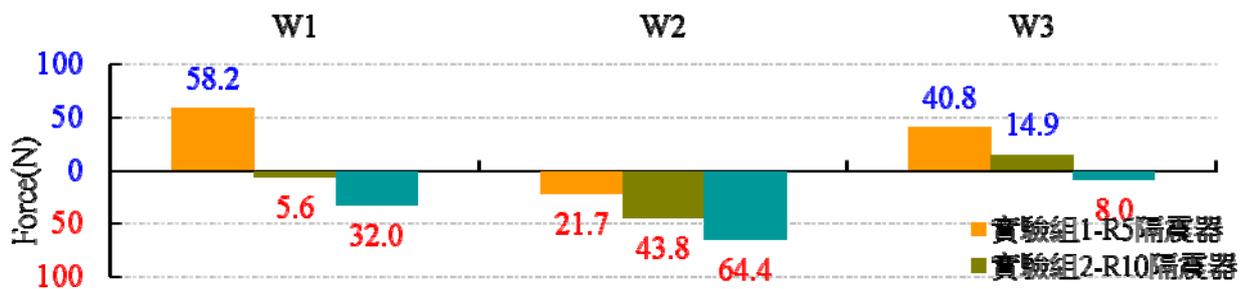


圖 6-4 同為中週期時對照組與不同隔震器底層柱差值百分比關係圖

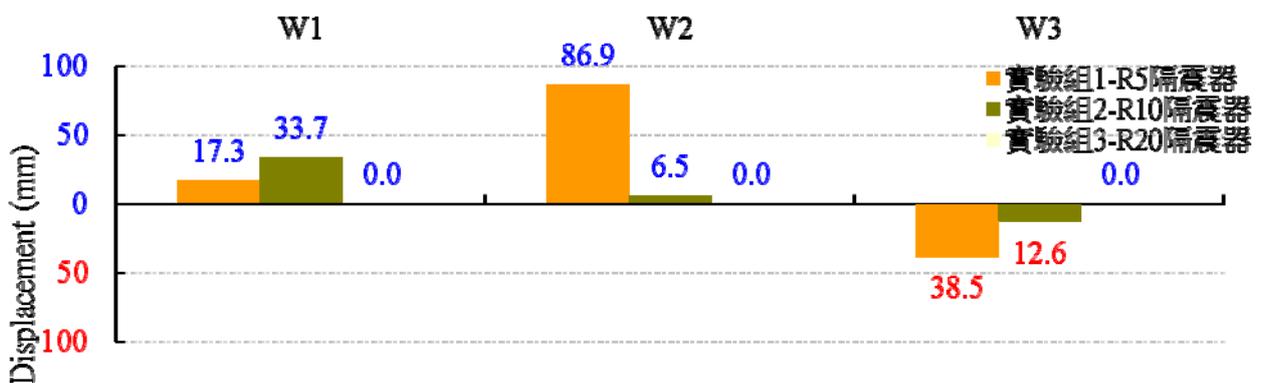


圖 6-5 同為長週期時對照組與不同隔震器頂層位移差值百分比關係圖

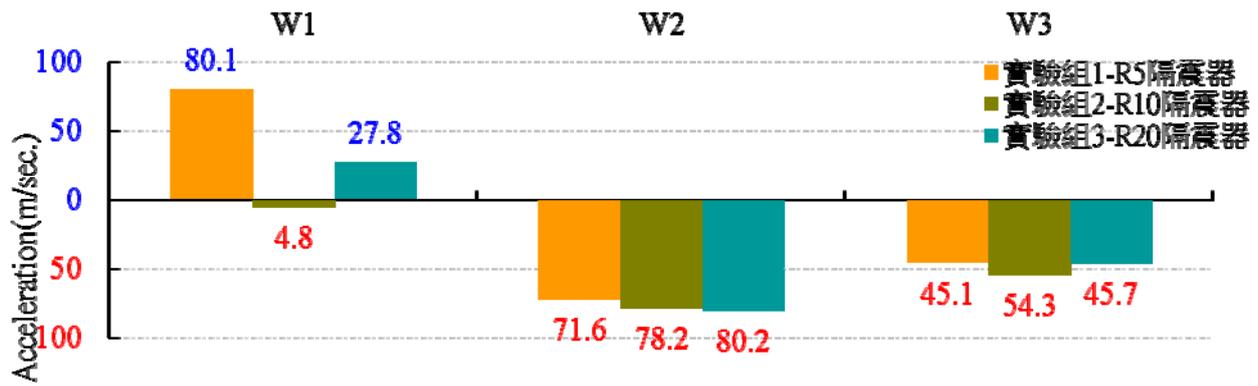


圖 6-6 同為中週期時對照組與不同隔震器頂層加速度差值百分比關係圖

由圖 6-4 至 6-6 可知，在底層柱軸力百分比差異值中，從載重 1 與載重 2 可以看出，載重 2 時，愈有隔震效果的趨勢，但載重 3 異常的原因可能是因為整個重量往下壓，造成隔震球無法順利滑動，導致形成類似固定支承的效果；在頂層位移百分比差異值中：由圖可以看出，重量愈重，頂層位移愈少，實驗組 1-R5 隔震器位移特別大，可能是因為隔震盤的半徑太小，隔震球滑動不易，以致於模型發生較大的晃動，頂層位移上升；在頂層加速度百分比差異值中：由圖可知，載重 2 時頂層加速度愈小，發揮隔震效果愈好。

綜合上述：載重愈重，隔震器愈能發揮隔震效果。

#### 四、實驗組相較於對照組於「不同地震波週期」在軸力、位移、加速度之消能效益

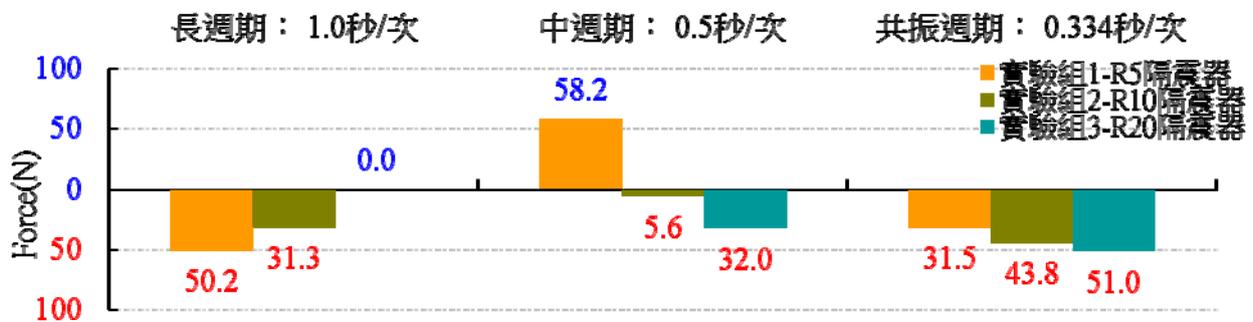


圖 6-7 同為載重 1 時對照組與不同隔震器底層柱差值百分比關係圖

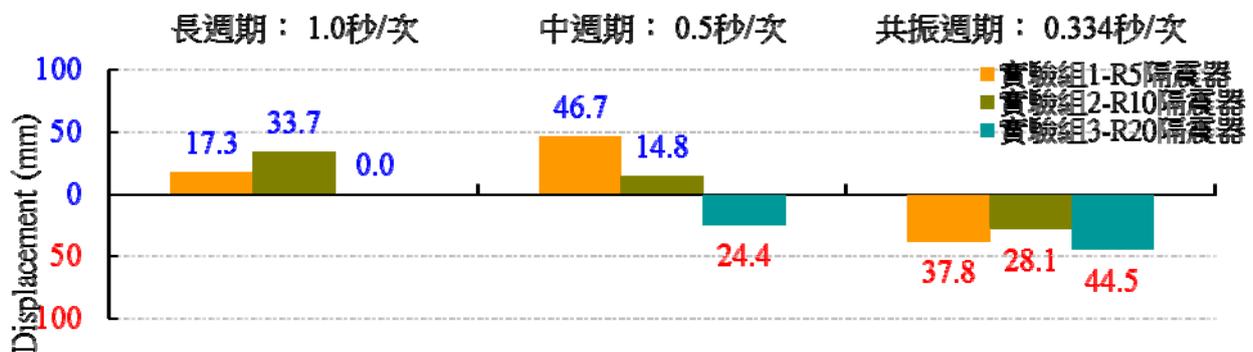


圖 6-8 同為載重 1 時對照組與不同隔震器頂層位移差值百分比比較圖

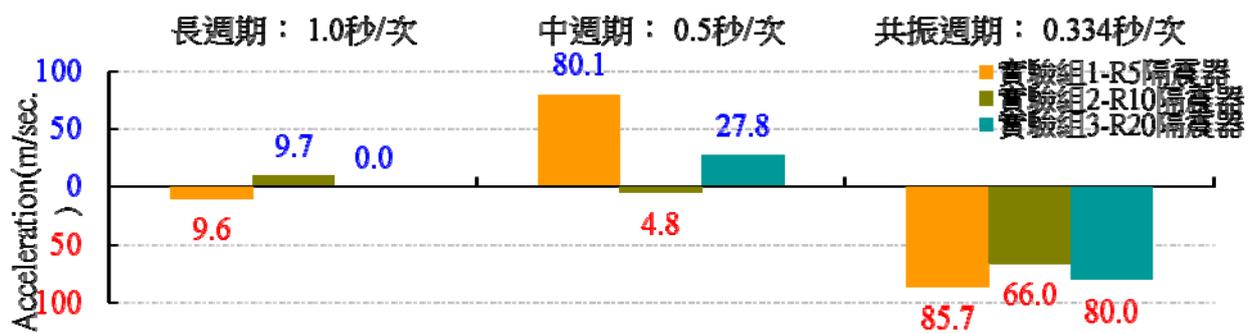


圖 6-9 同為載重 1 時對照組與不同隔震器頂層加速度差值百分比關係圖

由圖 6-7 至 6-9 可知，在底層柱軸力百分比差異值中，週期愈小，底層柱受力愈小，隔震器愈能發揮隔震效果；在頂層位移百分比差異值中，週期愈小，頂層位移愈小，隔震器愈能發揮隔震效果；在頂層加速度百分比差異值，週期愈小，頂層加速度愈小，隔震器愈能發揮隔震效果。

綜上所述：週期愈小，隔震器愈能發揮減震效果，

### 五、實驗組頂層相較於地表於「不同建築物載重」在加速度之消能效益

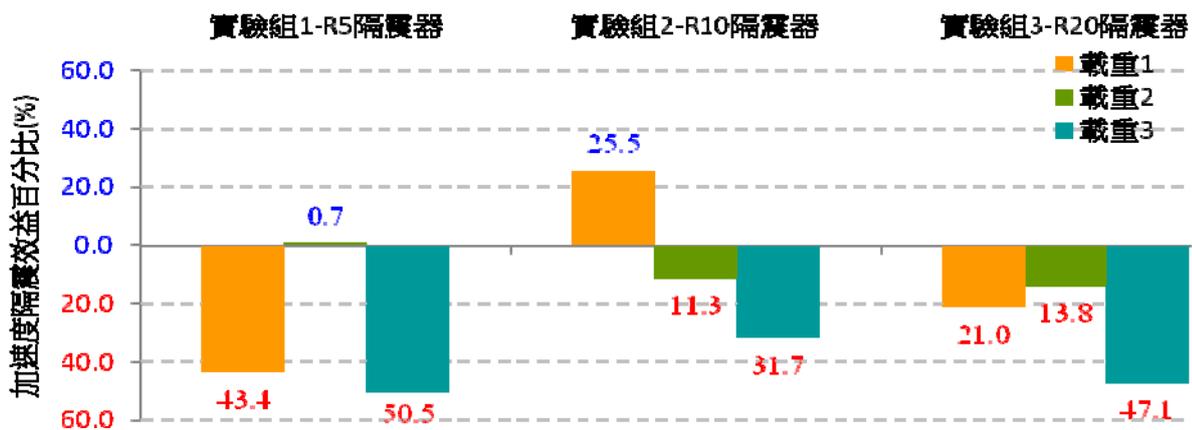


圖 6-10 同為共振週期時實驗組頂層與地表加速度差值百分比關係圖

由圖 6-10 可知在共振週期時，實驗組 R20 較為優異，但實驗組 R5 在載重 1 時的表現可能是因為隔震盤 R5 滑動面積過小，且高低落差過大，造成模型上下跳動，但是頂層平面位移較小，加速度隨之變小。

## 柒、結論

經過此研究之結果分析與討論，歸納出**隔震盤半徑**、**建築物載重**、**地震波週期**，做為應用縮尺模型評估其減震效益探討結論，以下就各要項的結論作一說明：

項目	數值	項目	數值	項目	數值
鋼球半徑	9.54 cm	隔震墊半徑	5.00 cm	球盤半徑比	0.524
鋼球半徑	9.54 cm	隔震墊半徑	10.00 cm	球盤半徑比	1.048
鋼球半徑	9.54 cm	隔震墊半徑	20.00 cm	球盤半徑比	2.096
建物載重-1	19.691 kg	隔震墊半徑	5.00 cm	半徑載重比	0.254
建物載重-2	29.851 kg	隔震墊半徑	5.00 cm	半徑載重比	0.167
建物載重-3	40.011 kg	隔震墊半徑	5.00 cm	半徑載重比	0.125
建物載重-1	19.691 kg	隔震墊半徑	10.00 cm	半徑載重比	0.508
建物載重-2	29.851 kg	隔震墊半徑	10.00 cm	半徑載重比	0.335
建物載重-3	40.011 kg	隔震墊半徑	10.00 cm	半徑載重比	0.250
建物載重-1	19.691 kg	隔震墊半徑	20.00 cm	半徑載重比	1.016
建物載重-2	29.851 kg	隔震墊半徑	20.00 cm	半徑載重比	0.670
建物載重-3	40.011 kg	隔震墊半徑	20.00 cm	半徑載重比	0.500

### 一、隔震盤半徑

3D 繪製技術製成精密之隔震元件，但其盤面之精緻與平滑效果影響隔震試驗的減震效益，透過本研究所建構之實驗模組所進行之結構隔震試驗，雖隔震盤於長週期有脫軌現象，但仍於中週期與共振週期發揮極佳效果，即球盤半徑比達 2.096 時，在各個應變變因下，即軸力、位移、加速度皆具有六成以上的消能效果，故屬最佳比率。

### 二、建築物載重

利用不同建築物載重測試隔震器之減震效益，發現當載重 2 時，皆有發揮提升地震力消能效果，即隔震盤半徑與建築物載重比達 0.67 時，在各個應變變因下，即軸力、位移、加速度之表現亦皆具有六至八成以上的消能效果，達到最佳隔震效益。

### 三、地震波週期

本研究所設計之隔震器對於地震波週期，經實驗結果顯示以週期於 0.5~0.3 秒/次區間，即中週期地震波，能夠提高減震效益，可達到消能之目的。

### 四、總結

- (一) 整體實驗結果顯示，本研究設計之隔震系統於「軸力」、「位移」、「加速度」皆有之減震效益，即發揮阻尼功能。其中於「隔盤半徑為 20 公分、載重 2」表現最為理想。
- (二) 就本研究一系列的實驗模組與結果驗證之設備與方法，方可確信可透過此研究之實

驗模組方式應具有實質之參考價值，期能利用更多類型之減震技術，並透過此方式設計不同隔震結構形式，並加以驗證更多結果。

- (三) 本研究後續發展如能結合精密機械加工與創意發想方式，將可提昇研究內容發展的穩定性，以及兼顧議題實用性、製程嚴謹度、成果效益值。

## 捌、參考資料及其他

- 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
- 二、高源清，地震大解剖，初版，台北市，牛頓出版，民國 88 年
- 三、張秉中，ETABS 入門與工程上之應用，初版，台北市，科技圖書，民 92 年
- 四、國家地震研究中心<http://www.ncree.org/ZH/EarthquakeQA.aspx>
- 五、沈聰益、黃培毓、顏木生，測量實習 2，初版，新北市，台科大圖書，民 103 年
- 六、康通能，工程力學 2，初版，新北市，台科大圖書，2011 年
- 七、康通能，工程力學 1，初版，新北市，台科大圖書，民 104 年
- 八、陳耀如、洪國珍、劉叔松，工程材料 1，七版一刷，新北市，旭營文化，2014 年，
- 九、張文澤、李光華，製圖實習 2，初版，新北市，台科大圖書，2012 年
- 十、沈聰益、黃培毓、顏木生，測量實習 1 初版，新北市，台科大圖書，2010 年
- 十一、 DATAQ 加速規，[MapandDirections](#)：DATAQInstruments,Inc，founded in1984，取自：  
<http://www.dataq.com/>
- 十二、 新康卓科技股份有限公司：<http://www.nctdamper.com/index.php/tw/>
- 十三、 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
- 十四、 陳坤松，SketchUp 2013 3D 基礎建模設計，初版，台北市，松崗資產管理股份有限公司，民 102 年
- 十五、 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
- 十六、 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
- 十七、 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
- 十八、 王鑫，基礎地球科學(上)，再版二刷，台南市，南一書局，126 頁、132 頁，民 102 年
- 十九、 王鑫，基礎地球科學(下)，再版二刷，台南市，南一書局，128 頁、130 頁，民 102 年
- 二十、 葉祥海、黃德琳，建築物隔制震設計規範與實務之研究比較，台北市，內政部建築研究所工程技術組研究報告，128 頁、130 頁，民 92 年
- 二十一、 張宏成、劉銘崇，隔震建築，台北市，全華圖書股份有限公司，128 頁、130 頁，民 95 年
- 二十二、 Earthquake Protection Systems <http://www.earthquakeprotection.com/index.html>
- 二十三、 住友理工 [http://www.sumitomoriko.co.jp/k\\_tmd/lineup/index.html](http://www.sumitomoriko.co.jp/k_tmd/lineup/index.html)
- 二十四、 陶朱隱園 <http://www.tao-zhu.com.tw/>

## 【評語】 052404

本研究利用機械加工與 3D 列印技術進行縮尺建物之耐震試驗，實驗模擬不同地震波下之位移、軸力與加速度，實驗量測數據完整。其中探討隔震盤尺寸、建築物載重、地震波週期等對隔震試驗結果之影響，具有實務應用參考性。惟未深入探討圓盤曲度以及鋼球與圓盤間摩擦力之效應。3D 列印隔震盤每一成品力學性質可能無法達到等質性，同時，縮尺模型與真實結構耐震行為之差異等，皆將影響實驗結果之應用性，未來宜設計不同圓盤曲度及改變圓盤材質等，加以深入研究。

作品海報

# 摘要

臺灣隸屬地震頻繁的地區，隨著台灣對建物造型與結構安全的意識提升，為能達到居住安全與舒適的功能，因此我們想透過本專題去探討此不同區面上滾球之消能效益，而本研究目的係利用機械加工與3D列印進行縮尺建物之耐震試驗，並透過不同變因的實驗組模擬不同地震波下與固定支承的對照組於位移、軸力與加速度上進行比較？

## 壹、研究動機

在我們尚未出生時，台灣經歷了1999年921集集地震的災難，雖沒有親自感受到921的威力，但是從照片及大人的口中，彷彿看見了當年怵目驚心的景象。

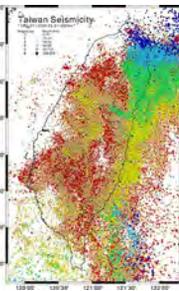
在一次偶然的機會下華熊營造來我們學校演講有提到目前他們監造的陶朱隱園用了隔震工法，對這個議題產生了很大的興趣。

綜合上述原因，讓我們對隔震的議題產生興趣，於是我們透過搜尋相關資料，了解各式隔震方法，並利用工程力學與物理實驗課程所學，選擇以滾動支承的隔震方法進行實驗，進而探討建物下方圓球與盤底曲度的關係。

## 貳、研究目的

本研究目的是以縮小建物尺寸，控制建物下方滾動隔震支承與圓盤曲度，並希望以縮尺模型研究建物下方滾動隔震支承與圓盤曲度，以評估其減震效益。因此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「不同隔震盤半徑」、「不同地震波週期」、「不同建築物載重」在軸力、位移、加速度之三要項消能效益。

以設計單一直徑之鋼球配合不同半徑之隔震盤組成隔震系統作為實驗組，以傳統建物之固定支承作為對照組，期能透過實驗方式去探討各個隔震系統的差異，並建議出較佳的隔震系統，作為隔震工程上之參考應用。



## 參、研究設備及器材

**雙頻道主機**  
PS-2011, SPARKLinkAir

**負載放大器及感測器**  
PS-2199, 1 Load Cell and Amplifier Set

**運動感測器**  
PS-21105A, Motion Sensors

**輸入震源參數之控制端**

**加速規感測計**

**Nikon DTM-552 全站儀**

**頂層位移**

**頂層軸力**

**底層軸力**

**地表位移**

**數位動態攝影設備**

**六軸式電動平台**

**後處理分析程式**

**圖形式多功能即時分析程式**  
PS-2400, SPARKvue Site License

**數據採集與資料紀錄器**  
Di-110 Series

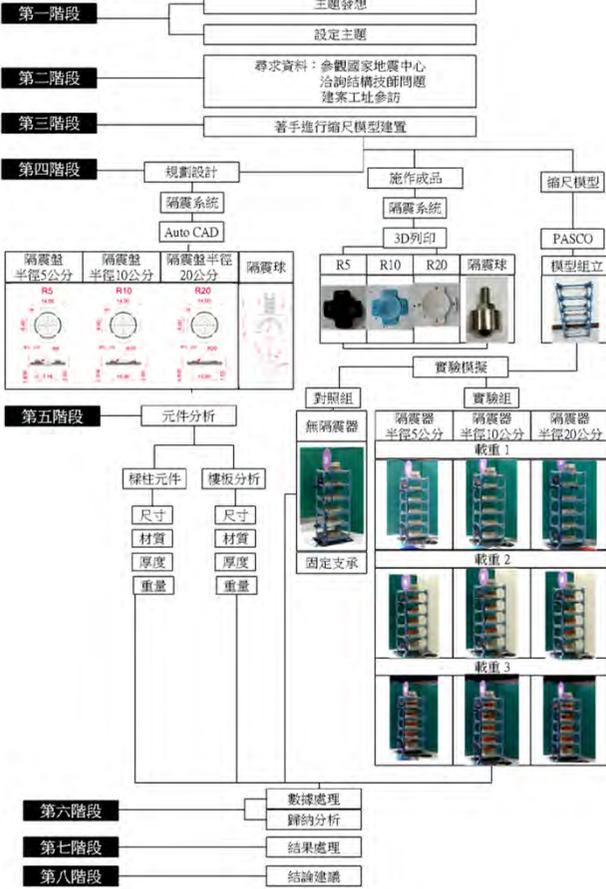
**結構系統**

**位移型隔震系統**

# 肆、研究試驗過程或方法

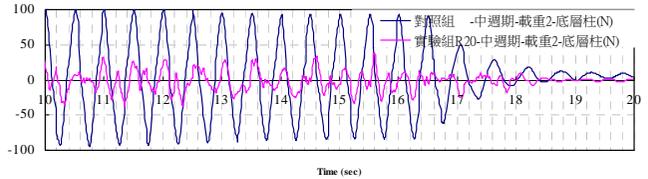
本研究之試驗主要分為三大架構：

- **蒐集資料立體製圖**：蒐集隔震相關文獻資料，使用AutoCAD設計底部隔震盤。
- **列印製作隔震系統**：將設計好的隔震盤利用3D列印機印出。
- **實驗模擬耐震試驗**：探討透過隔震系統設計，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，隔震系統是否發揮減震趨勢。



# 二、軸力結果分析：

試驗步驟	1	2	3	4	5	6	7
地震波週期	長週期 1.0 秒次		中週期 0.5 秒次		共振週期 0.334 秒次		
量測項目	本島自然震動頻率 (Hz)	震後自然震動頻率 (Hz)					
	Max						
對照組 無隔震器	2.750	17.57	2.750	41.31	2.750	48.45	2.580
實驗組 1-R5 隔震器	2.700	8.70	2.700	98.87	2.230	33.17	2.170
差值 (%)				58.2		31.8	
對照組 無隔震器	2.580	2.750	2.580	100.00	2.270	40.52	2.420
實驗組 1-R5 隔震器	2.460	15.24	2.400	82.20	2.340	33.71	2.170
差值 (%)		82.0		31.7		18.3	
對照組 無隔震器	2.110	17.42	2.110	37.15	1.950	18.36	2.730
實驗組 1-R5 隔震器	1.990	19.72	1.990	62.71	1.990	27.55	2.050
差值 (%)		11.7		40.8		33.4	
對照組 無隔震器	2.750	17.57	2.750	41.31	2.750	38.45	2.580
實驗組 2-R10 隔震器	2.890	12.06	2.810	39.01	2.810	27.22	2.270
差值 (%)		31.3		5.6		43.8	
對照組 無隔震器	2.580	16.47	2.580	100.00	2.270	40.52	2.420
實驗組 2-R10 隔震器	2.270	26.53	2.270	56.21	3.080	20.71	2.270
差值 (%)		37.9		43.8		38.7	
對照組 無隔震器	2.110	17.42	2.110	37.15	1.950	18.36	2.730
實驗組 2-R10 隔震器	2.110	11.85	2.110	43.66	2.110	30.65	1.950
差值 (%)		32.0		14.9		40.1	
對照組 無隔震器	2.750	17.57	2.750	41.31	2.750	48.45	2.580
實驗組 2-R20 隔震器	4.363	0.00	4.630	28.09	4.630	23.73	4.630
差值 (%)		#DIV/0!		32.0		51.0	
對照組 無隔震器	2.580	16.47	2.580	100.00	2.270	40.52	2.420
實驗組 2-R20 隔震器	2.460	0.00	2.460	35.63	2.340	33.56	2.340
差值 (%)		#DIV/0!		64.4		17.2	
對照組 無隔震器	2.110	17.42	2.110	37.15	1.950	18.36	2.730
實驗組 2-R20 隔震器	2.110	0.00	2.110	34.19	2.050	31.98	1.880
差值 (%)		#DIV/0!		5.0		42.6	

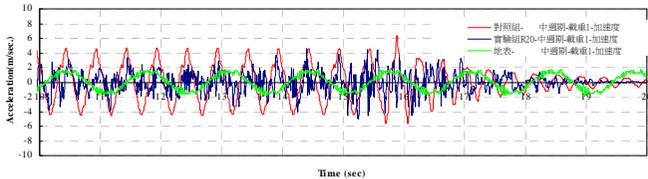


對照組與實驗組(隔震盤半徑為20公分)在中週期下之底層柱軸力歷時關係圖

由上圖可知對照組載重2與實驗組R20載重2之底層柱軸力相差64.4%。由上表可知，實驗組R20隔震盤較平緩，使建物在地震來臨時，上下起伏更加穩定，表示有達到減震效益。

# 三、加速度結果分析：

試驗步驟	1	2	3	4	5	6	7
地震波週期	長週期 1.0 秒次		中週期 0.5 秒次		共振週期 0.334 秒次		
量測項目	本島自然震動頻率 (Hz)	震後自然震動頻率 (Hz)					
	Max						
對照組 無隔震器	2.750	3.82	2.750	3.77	2.750	15.20	2.580
實驗組 1-R5 隔震器	2.700	3.48	2.700	18.93	2.230	2.19	2.170
差值 (%)				80.1		86.7	
對照組 無隔震器	2.580	2.580	2.580	18.66	2.270	4.05	2.420
實驗組 1-R5 隔震器	2.460	2.19	2.400	5.30	2.340	4.03	2.170
差值 (%)		15.1		71.8		9.8	
對照組 無隔震器	2.110	2.18	2.110	6.08	1.950	2.51	2.730
實驗組 1-R5 隔震器	1.990	1.59	1.990	3.34	1.990	2.50	2.050
差值 (%)		27.9		45.1		8.4	
對照組 無隔震器	2.750	3.82	2.750	3.77	2.750	15.20	2.580
實驗組 2-R10 隔震器	2.890	4.23	2.810	3.59	2.810	5.17	2.270
差值 (%)		9.7		4.8		66.8	
對照組 無隔震器	2.580	1.79	2.580	18.66	2.270	4.05	2.420
實驗組 2-R10 隔震器	2.270	5.02	2.270	4.97	3.080	3.55	2.270
差值 (%)		64.3		73.8		12.3	
對照組 無隔震器	2.110	1.58	2.110	6.08	1.950	2.51	2.730
實驗組 2-R10 隔震器	2.110	5.82	2.110	2.78	2.110	3.45	1.950
差值 (%)		68.8		54.3		27.2	
對照組 無隔震器	2.750	3.82	2.750	3.77	2.750	15.20	2.580
實驗組 2-R20 隔震器	4.363	0.00	4.630	5.22	4.630	3.04	4.630
差值 (%)		#DIV/0!		27.8		50.8	
對照組 無隔震器	2.580	1.79	2.580	18.66	2.270	4.05	2.420
實驗組 2-R20 隔震器	2.460	0.00	2.460	1.70	2.340	3.45	2.340
差值 (%)		#DIV/0!		91.8		16.8	
對照組 無隔震器	2.110	1.58	2.110	6.08	1.950	2.51	2.730
實驗組 2-R20 隔震器	2.110	0.00	2.110	3.30	2.050	2.67	1.880
差值 (%)		#DIV/0!		45.7		6.0	



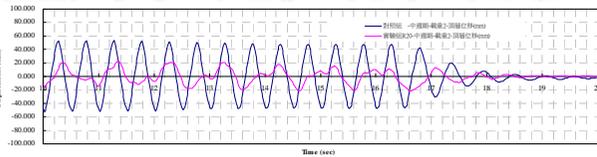
對照組與實驗組與地表在中週期下之加速度歷時關係圖

由上圖可知對照組載重1、實驗組R20載重1之加速度相差80%，因曲面較為平緩，由實驗數據得知各實驗組加速度比與對照組相比之下，表示有達到消能效果較為出色。

# 伍、研究結果

## 一、位移結果分析：

試驗步驟	1	2	3	4	5	6	7
地震波週期	長週期 1.0 秒次		中週期 0.5 秒次		共振週期 0.334 秒次		
量測項目	本島自然震動頻率 (Hz)	震後自然震動頻率 (Hz)					
	Max						
對照組 無隔震器	2.750	17.57	2.750	20.82	2.750	22.52	2.580
實驗組 1-R5 隔震器	2.700	21.24	2.700	38.70	2.230	14.09	2.170
差值 (%)		17.3		46.7		37.8	
對照組 無隔震器	2.580	2.750	2.580	82.30	2.270	16.88	2.420
實驗組 1-R5 隔震器	2.460	21.81	2.400	22.91	2.340	18.42	2.170
差值 (%)		88.9		72.8		8.8	
對照組 無隔震器	2.110	28.26	2.110	47.3	1.950	13.92	2.730
實驗組 1-R5 隔震器	1.990	17.57	1.990	17.68	1.990	16.24	2.050
差值 (%)		38.5		47.3		34.1	
對照組 無隔震器	2.750	17.57	2.750	20.82	2.750	22.52	2.580
實驗組 2-R10 隔震器	2.890	24.51	2.810	23.28	2.810	16.20	2.270
差值 (%)		35.7		14.8		28.1	
對照組 無隔震器	2.580	21.09	2.580	82.30	2.270	16.88	2.420
實驗組 2-R10 隔震器	2.270	20.32	2.270	20.91	3.080	15.18	2.270
差值 (%)		6.5		75.8		10.8	
對照組 無隔震器	2.110	28.26	2.110	47.3	1.950	13.92	2.730
實驗組 2-R10 隔震器	2.110	24.96	2.110	17.83	2.110	16.28	1.950
差值 (%)		12.6		46.5		46.3	
對照組 無隔震器	2.750	17.57	2.750	20.82	2.750	22.52	2.580
實驗組 2-R20 隔震器	4.363	0.00	4.630	15.58	4.630	12.50	4.630
差值 (%)		#DIV/0!		24.4		44.5	
對照組 無隔震器	2.580	23.69	2.580	82.30	2.270	16.88	2.420
實驗組 2-R20 隔震器	2.460	0.00	2.460	21.71	2.340	15.82	2.340
差值 (%)		#DIV/0!		74.0		19.3	
對照組 無隔震器	2.110	28.26	2.110	47.3	1.950	13.92	2.730
實驗組 2-R20 隔震器	2.110	0.00	2.110	26.62	2.050	14.76	1.880
差值 (%)		#DIV/0!		20.8		6.5	



對照組與實驗組(隔震盤半徑為20公分)在中週期下之頂層位移歷時關係圖

由上圖可知對照組載重2與實驗組R20載重2之頂層位移相差75%，因載重變重，向下的力量增加，讓圓弧滑動產生消能，亦使位移變小。

# 陸、討論

## 一、3D列印特性研究：

本研究透過三維製圖及3D列印製程將隔震盤產出，目的是為了可以驗證3D列印製實驗物件的可行性，因此我們歸納了實驗中相關結果彙整如下：

- (一) **平滑曲面**：影響滑動幅度，曲面愈大，可滑動範圍愈大。
- (二) **盤面平整**：影響滑動流暢度，表面愈粗糙，造成隔震球滑動不平穩，且隔震球損耗率高。
- (三) **底層寬度**：寬度愈大，可滑動面積隨之變大，可接受幅度愈大的地震。

## 二、實驗組相較於對照組於「不同隔震盤半徑」在軸力、位移、加速度之消能效益：

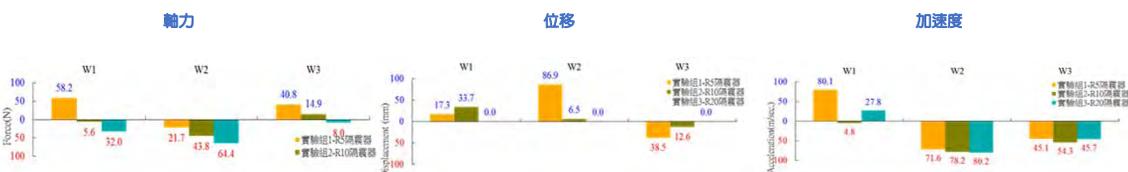
柱軸力百分比差異值中，隨著**隔震盤半徑越大，隔震效果越加顯著**，係因**隔震盤半徑變大，隔震球滑動的空間也隨之變大**，所以此實驗結果可知**加裝隔震器可以達到隔震效果**。



同載重時對照組與不同隔震盤半徑與地震波週期於軸力、位移、加速度差值百分比關係圖

## 三、實驗組相較於對照組於「不同建築物載重」在軸力、位移、加速度之消能效益：

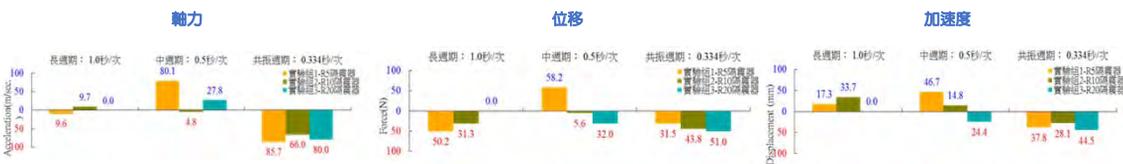
柱軸力百分比差異值中，從載重1與載重2可以看出，**載重2時，愈有隔震效果的趨勢**，但載重3異常的原因可能是因為整個重量往下壓，造成隔震球無法順利滑動，導致形成類似固定支承的效果。



同週期時對照組與不同隔震盤半徑與建築物載重於軸力、位移、加速度差值百分比關係圖

## 四、實驗組相較於對照組於「不同地震波週期」在軸力、位移、加速度之消能效益：

柱軸力百分比差異值中，**週期愈小，底層柱受力愈小**，隔震器愈能發揮隔震效果。



同為載重時對照組與不同隔震盤半徑與地震波週期於軸力、位移、加速度差值百分比關係圖

# 柒、結論

## 一、隔震盤半徑

3D繪製技術製成精密之隔震元件，但其**盤面之精緻與平滑效果影響隔震試驗的減震效益**，透過本研究所建構之實驗模組所進行之結構隔震試驗，雖隔震盤於長週期有脫軌現象，但仍於**中週期與共振週期發揮極佳效果**，即**球盤半徑比達2.096時，具有最佳比率**。

## 二、建築物載重

利用不同建築物載重測試隔震器之減震效益，發現當**載重2時**，皆有發揮提升建物對地震力的**消能效果**，即**半徑與載重比達0.670時，具最佳隔震效益**。

## 三、地震波週期

本研究所設計之隔震器對於地震波週期，經實驗結果顯示以**週期於0.5~0.3秒/次區間**，能夠**提高減震效益**，可達到**消能之目的**。

## 四、總結

- (一) 整體實驗結果顯示，本研究設計之隔震系統於「軸力」、「位移」、「加速度」皆有之減震效益，即發揮阻尼功能。其中於「**隔震盤半徑為20公分、載重2**」表現最為理想。
- (二) 就本研究一系列的**實驗模組與結果驗證之設備與方法**，方可確信可透過此研究之實驗模組方式應具有**實質之參考價值**，期能利用更多類型之減震技術，並透過此方式設計不同隔震結構形式，並加以驗證更多結果。
- (三) 後續發展如能結合**精密機械加工方式**創意發想，亦可提昇研究發展的**穩定性**。