

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

佳作

080504

當我們連在一起—探討流體連通阻尼器應用於
建築物減震分析

學校名稱：新北市淡水區竹圍國民小學

| | |
|---|-----------------------------|
| 作者： 小六 蔡依辰 小六 潘彥賓 小六 莊以歆 小六 高苡榕 | 指導老師： 陳建興 吳芝瑩 |
|---|-----------------------------|

關鍵詞：阻尼器、減震、連通管

摘要

本研究利用自製連通阻尼器、自製模型屋、自製地震模擬器，將連通阻尼器配置在低樓層模型屋，用手機 APP 軟體偵測震動加速度，檢驗減震效果。研究結果：(一)連通阻尼器最佳阻尼強度：流體濃度5~20%，強度700~1500公克力。(二)連通阻尼器最佳配置：阻尼反向、配置前後方向、傾斜角度30度、與主震動方向夾角30度、連通阻尼器配置越多。(三)建物結構與震動大小的影響：模型屋樓層重量越重、樓層越高、結構強度越差、震動加速度越大時，減震效果越佳。(四)連通阻尼器的減震效果：最大加速度平均減震百分比為32.5%，平均減震值為107.6gal；平均加速度平均減震百分比為25%，平均減震值為48.6gal。連通阻尼器減震效果佳，可作為製作速度型阻尼器的參考。

壹、研究動機

臺灣位於地震頻繁的環太平洋地震帶，地震來臨時，老舊建築物常有倒塌意外。本校老舊校舍以框架結構補強與擴柱結構補強來加強校舍結構的抗震力。我們思考：是否還有其他抗震或減震的方法？查閱相關資料發現，阻尼器對於地震有減震功能，可減緩地震對建築物的衝擊(如：將針筒油壓阻尼器配置在建築物上，地震震動時，會拉動或壓縮阻尼器，阻尼器可產生阻尼力吸收震動力量，防止建物變形)。但我們發現針筒油壓阻尼器皆單一配置，阻尼間力量無法相互串聯，這是可以改進的地方。



本校框架結構補強



斜撐式油壓阻尼器



水平式油壓阻尼器

過去我們曾學過連通管原理，將兩支針筒前端利用水管相連，就可相互傳遞力量。那麼若把兩個阻尼器利用連通管相連，是否會影響減震效果？**我們想應用連通管原理設計新阻尼器**，將兩支針筒連接，內部裝不同濃度的流體，藉流體濃度控制阻尼強度，當震動發生時，震動力會因為有一部分被連通阻尼器一側的阻尼力吸收而減小，剩餘的震動力透過連通管傳到另一側的阻尼器，形成支撐的力量，讓兩端的阻尼器可相互傳遞力量以增加減震效果。這樣果真可行嗎？需要進一步的實驗加以驗證。

貳、研究目的

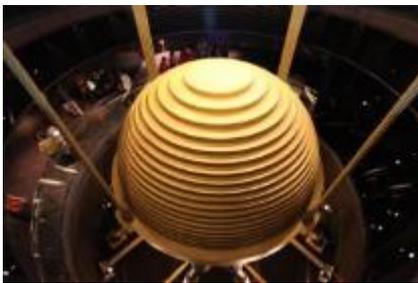
- 一、研究流體濃度對連通阻尼器阻強度的影響因素。
- 二、研究連通阻尼器阻強度與配置方式對減震效果的影響。
- 三、研究連通阻尼器對建物結構強度與震動大小減震效果的影響。
- 四、提供學校防震教育教學參考。

參、文獻探討

一、**阻尼**：提供運動的阻力，耗減運動能量裝置，使振動衰減的各種摩擦和其他阻礙作用，稱為阻尼。

二、減震阻尼器

- (一) 調諧質量阻尼器 (如圖A1)：阻尼器自身的頻率調整接近於主結構的控制頻率，當外力 (風力、地震力) 使得結構物的主要頻率被激發時，阻尼器會產生與主結構反向共振的行為 (張國儀, 2009)。
- (二) 位移型阻尼器 (如圖A2)：位移型阻尼器主要是透過摩擦消能或材料**塑性變形**來達到消散地震能量之目的。
- (二) 速度型阻尼器 (如圖A1)：速度型阻尼器主要特殊填充**流動液體產生抵抗阻力**或透過**粘彈性材料**之剪力變形來消散能量 (安震科技)。



圖A1 101大樓調諧質量阻尼器
(照片取自hopetri)



圖A2 位移型阻尼器
(照片取自建築世界網站)



圖A3 速度型阻尼器
(桃園市新坡派出所)

三、**地震強度的大小**：地震強度的大小，是依據地震儀3方向所測得的加速度中最大者。

「gal」是加速度的單位，**1gal = 1cm/sec²** (中央氣象局科普網)。

四、地震強度分級

表A1 地震強度分級表 (中央氣象局科普網)

| 震度階級 | 0級 | 1級 | 2級 | 3級 | 4級 | 5弱 | 5強 | 6弱 | 6強 | 7級 |
|---------------------------|------|---------|---------|--------|-------|--------|---------|---------|---------|------|
| gal(cm/sec ²) | <0.8 | 0.8~2.5 | 2.5~8.0 | 8.0~25 | 25~80 | 80~140 | 140~250 | 250~440 | 440~800 | >800 |

五、地震波可分為

- (一) 實體波 (body wave)：可在**地球內部傳播**，依其波動性質之不同分為：
 - 1. P波 (縱波或壓縮波)：性質與音波相似，質點運動和波傳播方向一致，產生一疏一密的振動，速度最快。
 - 2. S波 (橫波或剪力波)：質點運動與波傳播方向垂直，產生上下或左右的振動，速度次之。
- (二) 表面波 (surface wave)：沿**地球表層或地球內部界面**傳播，主要可分為：
 - 1. 洛夫波 (Love wave, LQ波)：質點沿著水平面產生和波傳播方向垂直的運動。
 - 2. 雷利波 (Rayleigh wave, LR波)：質點在平行於震波傳播的垂直面上，沿著橢圓形軌跡震動。

六、臺灣20年地震分析

臺灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊交接處，地震頻繁，老舊校舍問題嚴重且地震具高度危險性及不確定性。1994~2013年間臺灣每年可能發生地震的規模與次數 (如表A2)。

表 A2 1994~2013年間臺灣地區所發生的地震數量與地震規模統計表

| 規模 | 2.25 | 2.75 | 3.25 | 3.75 | 4.25 | 4.75 | 5.25 | 5.75 | 6.25 | 6.75 | 7.25 |
|-----|--------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| 總次數 | 123504 | 56594 | 19452 | 4785 | 2496 | 906 | 301 | 69 | 40 | 16 | 2 |
| 年平均 | 6175 | 2829 | 972 | 239 | 124.8 | 45.3 | 15.05 | 3.45 | 2 | 0.8 | 0.1 |

(參考資料來源中央氣象局)

七、科展相關研究報告

表 A3科展相關研究表

| 作者 | 相關研究 | 我們的收穫 |
|-------------|------------------------------------|----------------------|
| 邱垂青等 (2005) | 不對稱建築物遇震時會不自然扭轉且易倒。 | 建物對稱時抗震最佳 |
| 戴立嘉等 (2006) | X型的斜撐承受撞擊力的抗震能力最好。 | X型的斜桿抗震力最佳 |
| 徐筱珊等 (2010) | 房屋的建築方向不同，產生破壞和傾倒的情況也有可能不同。 | 建物方向與地震方向有關 |
| 許官平等 (2012) | 「交叉型」與「梯型」具有較佳的抗震效應。 | 交叉型抗震效果較佳 |
| 王紫楹等 (2015) | 利用手機 APP 分析地震的加速度。 | 手機 APP 分析地震加速度 |
| 楊至誠等 (2019) | 透過 tracker 程式分析最大加速度，比較各種阻尼器的抗震程度。 | 利用 tracker 程式分析最大加速度 |

肆、研究設備器材與前置研究

一、研究設備與器材

(一) 設備：

1. 自製地震模擬器、
2. 手機震動加速度 APP、
3. 數位相機、
4. 吊秤、
5. 電動螺絲起子、
6. 鑽頭(4.5mm、5.5mm、6.5mm、20mm)、
7. 木工鋸子、
8. 小鑽台。

(二) 器材：

1. 醫用針筒(直徑20mm，容量20mL)×100支、
2. 透明塑膠管(外徑4mm，內徑2mm)×10公尺、
3. 木心板(8尺×4尺)×2片、
4. 桐木棒(直徑5mm×40枝、直徑4mm×20枝、直徑6mm×20枝)、
5. 螺絲釘(30mm、50mm)×各1盒、
6. 塑膠黏土(400g)×10份、
7. 快乾接著劑(50mL)×5管、
8. 圓木棒(直徑15mm，長900mm)×5枝、
9. M4螺絲棒(直徑4mm，長300mm)×20枝、
10. 端子接線頭×1包、
11. 泡舒洗碗精(1000g)×1罐、
12. 竹筷(5.5mm)×1包。

二、前置研究

(一) 材料分析與自製設備：

1. **分析測量工具：**利用手機 APP 軟體(Vibsensor)記錄震動加速度，每秒記錄100次。分別是左右 X 軸、前後 Y 軸、上下垂直 Z 軸的最大加速度與平均加速度，加速度監測最大記錄值：X 軸2000gal、Y 軸2000gal、Z 軸1000gal。
2. **材料分析與修正：**發現模型屋樓層原要使用的木板，每塊重量都不同，因此其重量須加以修正。將每塊樓板的重量調整至251~255gw，重量誤差在2gw 以下。
3. **模型屋製作：**屋柱(直徑5mm 桐木棒)，模型屋底面積(20cm×20cm)，貫穿式搭接法。每層樓板間距20cm，利用3秒膠固定屋柱與樓板，共4層，高81cm，總重1303gw。

表 A4製作模型屋數量表

| 模型屋結構 研究項目 | 木心板-樓板 | | | | 桐木棒 屋柱直徑 (mm) | 總樓層 (層) | 總高度 (cm) | 數量 (棟) |
|---------------------|------------|-------------|-----------|-----------|---------------------|------------|-------------|-----------|
| | 厚度 (mm) | 底面 形狀 | 底面積 cm | 重量 (gw) | | | | |
| 流體連通阻尼器 應用於建築物減震 | 18 | 正 方 形 | 20×20 | 1303~1309 | 5 | 4 | 81 | 5 |
| 不同強度建物 的減震效果 | 18 | 正 方 形 | 20×20 | 1300~1306 | 4、5、6 | 4 | 81 | 3 |



4. 自製地震模擬器：

先將左右搖擺機（震動頻率為1.4Hz~2Hz，振幅45mm）改成可放置模型的震動器平台，再將震動器平台固定在重量12公斤的配重層上，使位於上方的震動器平台不會因震動器的震動而發生位移，影響實驗結果，以此作為實驗工具（如圖1-1）。



圖 A1-1自製地震模擬器與實驗配置

5. 製作連通阻尼器：

製作不同水溶液濃度連通阻尼器，

水溶液濃度分別為：

0%（20mL 水+0mL 泡舒洗碗精）、20%（16mL 水+4mL 泡舒洗碗精）、40%（12mL 水+8mL 泡舒洗碗精）、60%（8mL 水+12mL 泡舒洗碗精）、80%（4mL 水+16mL 泡舒洗碗精）、100%（0mL 水+20mL 泡舒洗碗精），各1支，共6支（如圖 A121）。



圖 A121不同水溶液濃度連通阻尼器

(二) 探討不同濃度連通阻尼器抗衝擊力的阻尼效果

以泡舒洗碗精作為阻尼流體，利用不同濃度泡舒洗碗精產生不同的阻尼效果進行實驗。兩支針筒以塑膠管連通所製成的針筒連通阻尼器，當其受到衝擊力時，部分力量會被一側針筒阻尼器的流體阻尼吸收，其餘所剩的衝擊力會傳遞到另一側針筒阻尼器。當受到外部衝擊力時，連通阻尼器伸長量與衝擊力的關係會如何變化？

1. 實驗步驟：

- (1) 將連通阻尼器放置在自製壓力檢測器上(如圖 A131)。
- (2) 將連通阻尼器調到最長位置。
- (3) 利用400gw 黏土作為衝擊物(如圖 A132)，模擬地震的衝擊力。分別在高度15cm、30cm、45cm、60cm 處以自由落體方式落下，撞擊在壓力板上，壓力板下壓連通阻尼器，讓阻尼器伸長，共撞擊10次。
- (4) 利用電子游標尺測量連通阻尼器的伸長量(如圖 A133)。
- (5) 每次實驗完成後，將針筒活塞壓回原位。重複步驟(1)~(4)，共實驗5次，求平均值。



圖 A131 阻尼器放壓力檢測器上



圖 A132 以黏土作為衝擊物



圖 A133 利用電子游標尺測量

2. 實驗結果：

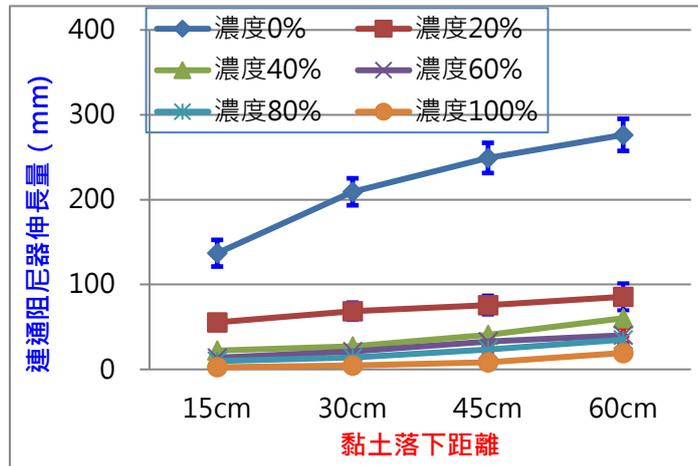


圖 A-2 黏土落下距離與連通阻尼器伸長量關係圖

3. 實驗結果分析：

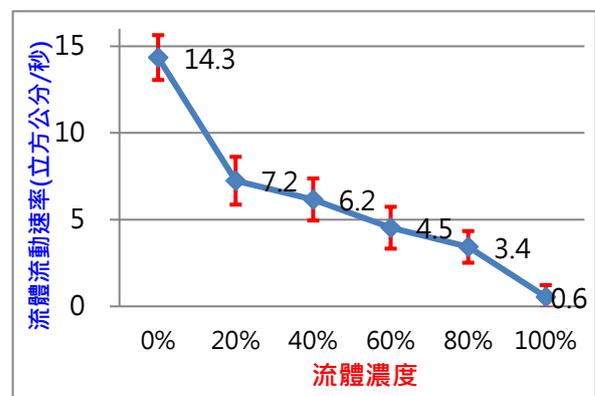
- (1) 由圖 A-2，當衝擊物(黏土)落下距離增加時，衝擊力就會增加，而連通阻尼器伸長量也隨之增加，三者之間成正比關係。
- (2) 連通阻尼器的流體濃度越高時，流體越不易流動，所以受到衝擊力時，其伸長量越短。
- (3) 我們可利用不同的流體濃度製作不同阻尼強度的連通阻尼器。

(三) 研究不同濃度洗碗精的流動速率

1. 實驗步驟：

- (1) 將連通阻尼器放置在自製壓力檢測器上。
- (2) 壓力檢測器上方放置16塊黏土 (總重6400gw)，記錄連通阻尼器下降的時間。
- (3) 連通阻尼器下壓高度為8.2cm。針筒實際下壓的移動距離為5.1cm。實際流動總體積為16.01 cm³。
- (4) 每次實驗完成後，將針筒壓回原位。重複步驟(1)~(3)，共實驗5次，求平均值。
- (5) **流動速率=16.01 cm³/連通阻尼器下降時間。**

2. 實驗結果：



A-3 不同濃度洗碗精的流動速率

3. 實驗結果分析：當流體濃度增加時，流體的流動速率有減慢的現象。

(四) 製作斜撐式連通阻尼器：

依據前面研究發現，連通阻尼器利用不同流體濃度可產生不同阻尼效果。因此我們想將連通阻尼器應用在建物減震上。將針筒的活塞壓桿以木頭十字固定，後端鑽孔，插入竹筷，針筒筒身以邊長20mm 正方形木塊、中心鑽孔直徑20mm 固定(如圖 A211)。在針筒後端加上長8cm的 M4螺絲，以調整阻尼器長度，前後兩端裝設固定環，使其可固定在模型屋上(如圖 A212)。完成的流體連通阻尼器(如圖 A213)。研究過程中發現，**實驗用針筒橡膠活塞與針筒內壁摩擦力大且個別差異很大，因此我們選用醫用針筒(摩擦力小且個別差異較小)，以減少實驗誤差。**



圖 A211 連通阻尼器半成品

圖 A212 單支連通阻尼器結構

圖 A213 完成的連通阻尼器

1. 製作不同濃度的液體阻尼器：

阻尼器水溶液濃度0% (20mL 水 + 0mL 泡舒洗碗精)、20% (16mL 水 + 4mL 泡舒洗碗精)、40% (12mL 水 + 8mL 泡舒洗碗精)、60% (8mL 水 + 12mL 泡舒洗碗精)、80% (4mL 水 + 16mL 泡舒洗碗精)、100% (0mL 水 + 20mL 泡舒洗碗精)，各2支，共12支。

(五) 連通阻尼器運作原理：

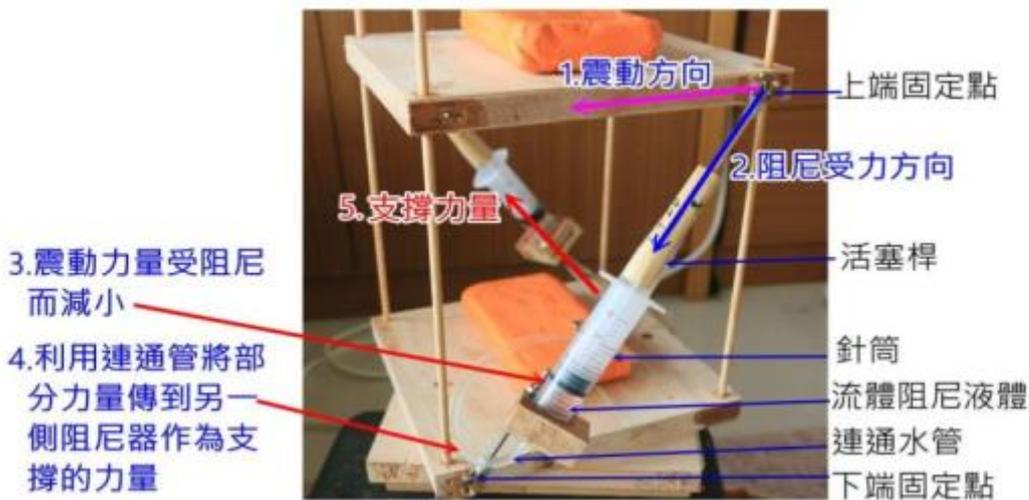


圖214 連通阻尼器運作原理圖

連通阻尼器運作原理說明(如圖214)

1. 當震動發生時，震動力量使模型屋震動。
2. 震動力量會受到阻尼的阻尼力。
3. 阻尼器會吸收部分的力量，使震動力量減小。
4. 利用連通管將剩餘力量傳到另一側的阻尼器，當震動力量越大時，傳遞的力量也越大。
5. 將剩餘力量傳遞到另一側的阻尼器，形成支撐的力量。
6. 當震動力量持續時，兩側的連通阻尼器不斷相互傳遞力量，阻尼器也會吸收部分力量使震動力量減小，達到最佳的減震效果。

(六) 觀察速度型阻尼器：

為了更了解阻尼器的形狀、大小、結構、配置方式及減震原理，我們利用 Google 搜尋有設置阻尼的建物，再利用 Google earth 街景圖確定建物的地點後，進行實地觀察。

地點：桃園市警察局楊梅分局

建物樓層：2樓

阻尼種類：速度型阻尼器

工法：上下樓層配置

配置方式：前後向與左右向



| | | |
|---|--|---|
| <p>地點：桃園市警察局新坡派出所 建物樓層：2樓 阻尼器種類：速度型阻尼器 工法：對角斜向配置 配置方式：前後向與左右向</p> |  |  |
| <p>地點：台新銀行內湖分行 建物樓層：10樓 阻尼器種類：速度型阻尼器 工法：人字形配置 配置方式：從一樓到最上層</p> |  |  |

(七) 研究架構圖：

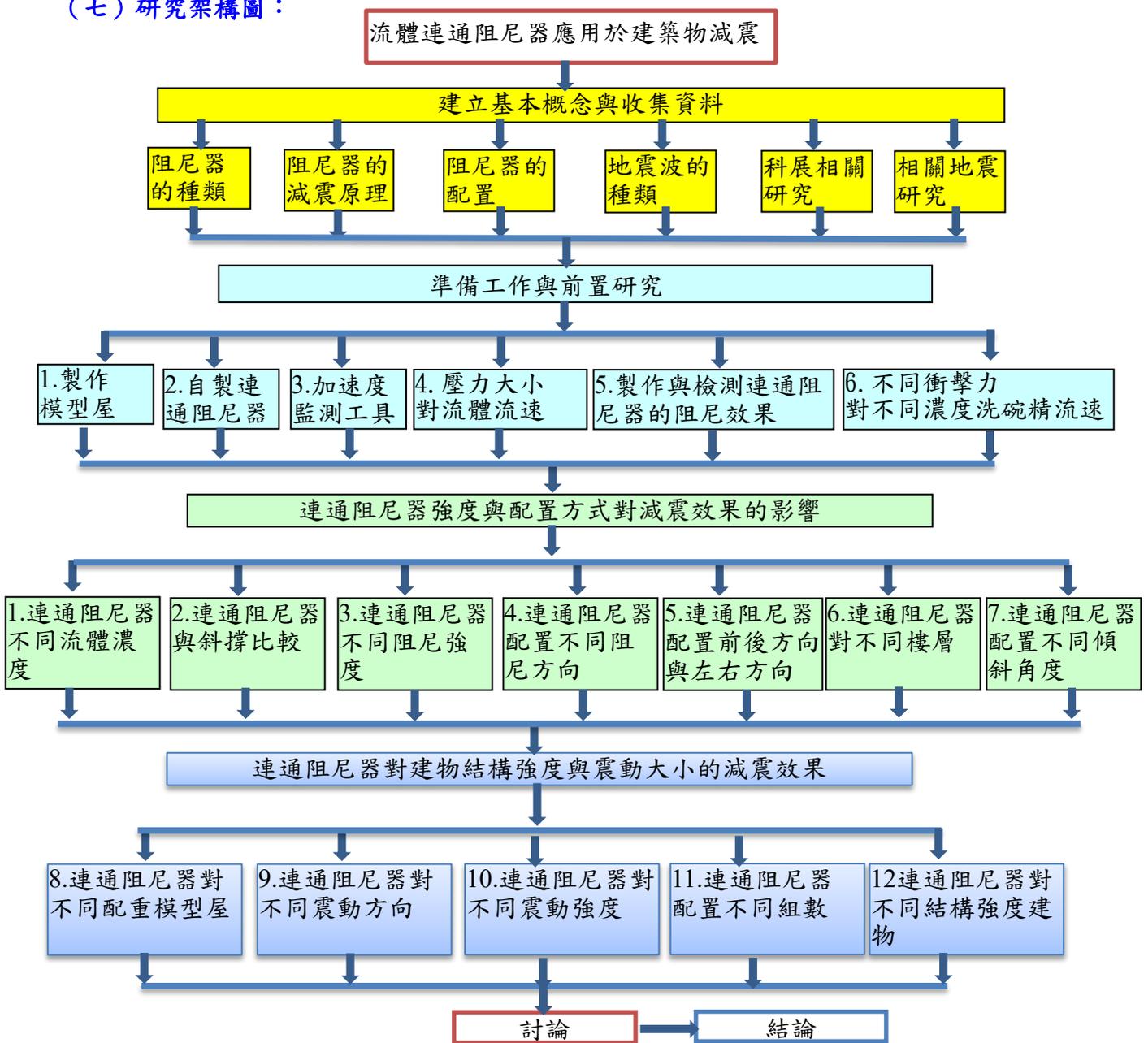


圖215 研究架構圖

伍、實驗設計與結果

依據國家地震工程研究中心減震器的安裝原則，斜撐阻尼器最佳配置3要件，**一樓優先**：依序往上補強；**平面對稱**：才不會因兩側受力不均，造成房屋扭曲震動；**立面連續**：使斜撐力量可以串聯。

一、研究連通阻尼器不同流體濃度的減震效果

問題：連通阻尼器中的流體濃度越高，受到衝擊時，流體流動量越小，流動速度越慢；濃度越小，受到衝擊時，流體流動量較大，流動的速度越快，哪一種濃度流體的減震效果最佳？

(一) 實驗設計：

1. 操縱變因：連通阻尼器的流體濃度。

流體水溶液濃度：0% (20mL 水+0mL 泡舒洗碗精)、20% (16mL 水+4mL 洗碗精)、40% (12mL 水+8mL 洗碗精)、60% (8mL 水+12mL 洗碗精)、80% (4mL 水+16mL 洗碗精)、100% (0mL 水+20mL 洗碗精)。

2. 控制變因：(1) 工法：對角斜向 (2) 阻尼配置方向：反向 (3) 針頭方向：兩支向下 (4) 連通阻尼器配置樓層：1樓 (5) 配置位置：前後對稱 (6) 樓層配重：600gw, 5樓放手機 (280gw) (7) 震動頻率：1.6Hz (8) 地震模擬器加速度 (最大加速度 X 軸：793gal、Y 軸：145gal、Z 軸：85gal；平均加速度 X 軸：290gal、Y 軸：40gal、Z 軸：38gal)。

(二) 實驗步驟：

1. 將模型屋放置在震動模擬器上，並調整地震模擬器水平 (如圖1A-1)。
2. 將1組連通阻尼器固定在模型屋的1F 位置 (如圖1A-2)，前後對稱配置，針頭一上一下。
3. 用2吋螺絲將模型屋牢牢固定在地震模擬器的震動平台上。
4. 樓層配重600gw，放置在樓層中央位置，固定不能因震動而移動位置 (如圖1A-3)。
5. 監測器：手機放置5樓，放置方向與主震動方向 (X 軸) 垂直 (如圖1A-4)。
6. 每次震動時間30秒，**不可碰觸模型屋，也不可移動地震模擬器，關閉電扇**，以免影響實驗結果 (如圖1A-5)。記錄最大加速度與平均加速度，共實驗5次，求平均值。
7. 實驗數據：最大加速度 (X 軸、Y 軸、Z 軸) 3方向，平均加速度 (X 軸、Y 軸、Z 軸) 3方向。每次實驗會產生6項數據，依據6項數據進行實驗結果分析。



圖1A-1 調整震動器水平



圖1A-2 裝上連通阻尼器



圖1A-3樓層配重600gw



圖1A-4 手機放置在5樓，
進行加速度監測



圖1A-5 每次震動30秒，
共實驗5次，求平均值



圖1A-6 對照組(無阻尼)

(三) 實驗結果： 表1-1 不同流體濃度阻尼的最大加速度與平均加速度統計表

| 震動加速度 阻尼流體濃度 | 最大加速度 (gal) | | | 平均加速度 (gal) | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|-----------------|-------------|-------|-------|-------------|------|------|-----------|-----------|
| | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | 運動情況 | 運動距離 (mm) |
| 無阻尼(對照組) | 955.6 | 162.0 | 146.0 | 538.0 | 55.0 | 58.8 | ----- | ----- |
| 0% | 769.6 | 166.0 | 120.4 | 420.0 | 46.2 | 41.8 | 活塞運動 | 4~5 |
| 20% | 699.6 | 127.0 | 152.4 | 396.0 | 46.6 | 48.2 | 活塞運動 | 2~3 |
| 40% | 731.2 | 175.0 | 179.2 | 408.0 | 54.8 | 58.2 | 活塞運動 | 輕微運動 |
| 60% | 760.2 | 165.2 | 198.2 | 428.0 | 57.4 | 66.8 | 無運動 | 無 |
| 80% | 893.8 | 174.2 | 199.8 | 464.0 | 68.4 | 63.0 | 無運動 | 無 |
| 100% | 877.6 | 178.0 | 216.6 | 464.0 | 71.4 | 64.2 | 無運動 | 無 |

剛開始實驗時發現減震效果很好，但只要震動器的位置移動，改變模型屋的方向，移動配重位置，實驗結果就有很大差異。因此將震動器加強固定、水平校正、震動器底座加上橡膠墊增加摩擦力，以確保地震模擬器的水平與穩定，且在實驗中不移動震動器與模型屋方向。

(四) 實驗結果分析：

因為主震動方向在 X 軸，X 軸震動加速度較大，Y 軸與 Z 軸震動加速較小，為了能較精確分析連通阻尼器的減震效果，我們用減震百分比來探討各軸向的減震效果。

1. 計算模型屋配置連通阻尼器後，最大加速度與平均加速度減震百分比。

$$\text{加速度減震百分比} = [(\text{無阻尼加速度} - \text{有阻尼加速度}) / \text{無阻尼加速度}] \times 100\%$$

當減震百分比呈正值時，表示裝上連通阻尼器後，使加速度減小，有減震效果；減震百分比呈負值時，表示裝上連通阻尼器後，使加速度增大，無減震效果。

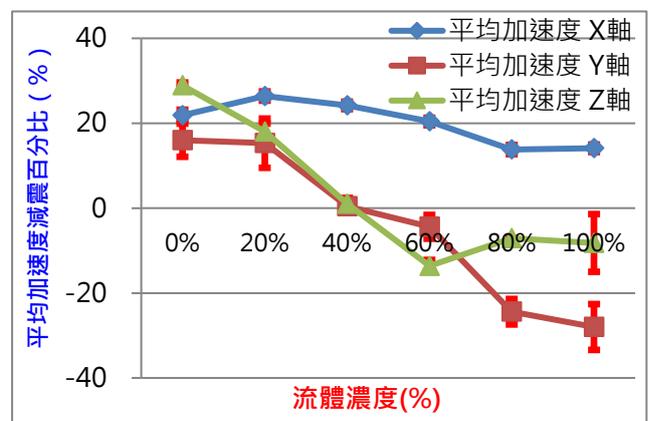
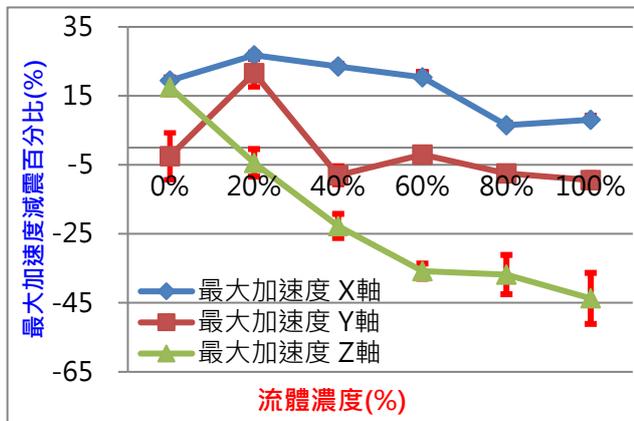


圖1-1不同流體濃度的最大加速度減震百分比 圖1-2不同流體濃度的平均加速度減震百分比

- (1) 由圖1-1，最大加速度 X 軸減震百分比：以濃度20%的減震百分比最高；當濃度超過20%時，濃度越高，減震百分比則有下降的現象。
- (2) 由圖1-1，最大加速度 Y 軸減震百分比：以濃度20%的減震百分比最高；當濃度超過20%以上時，濃度越高，減震百分比則下降且為負值。
- (3) 由圖1-1，最大加速度 Z 軸減震百分比：當濃度越高時，減震百分比有越低的趨勢。
- (4) 由圖1-2，平均加速度 X 軸減震百分比：以濃度20%的減震百分比最高；當濃度超過20%時，濃度越高，減震百分比則有下降的現象。
- (5) 由圖1-2，平均加速度 Y 軸減震百分比：當濃度越高時，減震百分比有越低的趨勢。
- (6) 由圖1-2，平均加速度 Z 軸減震百分比：濃度從0%增加到60%時，減震百分比有下降趨

勢；濃度超過40%時，減震百分比均為負值。濃度超過60%時，減震百分比雖略升，但仍為負值。

(7) 由表1-1，當針筒內活塞壓桿有活塞運動時，利用連通管將剩餘力量傳到另一側的阻尼器作為支撐力量，兩側阻尼器的力量可相互傳遞，提升減震效果。

2. 計算平均減震值

平均減震值：最大加速度與平均加速度 X 軸、Y 軸、Z 軸 6 項加速度減震值的平均值。

平均減震百分比：最大加速度與平均加速度 X 軸、Y 軸、Z 軸 6 項加速度減震百分比的平均值。

- (1) 由圖1-3，平均減震值以濃度 20%最佳 (63.7gal)；濃度超過 20%時，濃度越高，平均減震值則越小。
- (2) 由圖1-3，平均減震百分比以濃度 20%時最佳，為 17.3%；但濃度超過 20%時，濃度越高，平均減震百分比則越低。
- (3) 由圖1-3，平均減震值與平均減震百分比皆以濃度 20%為最佳。

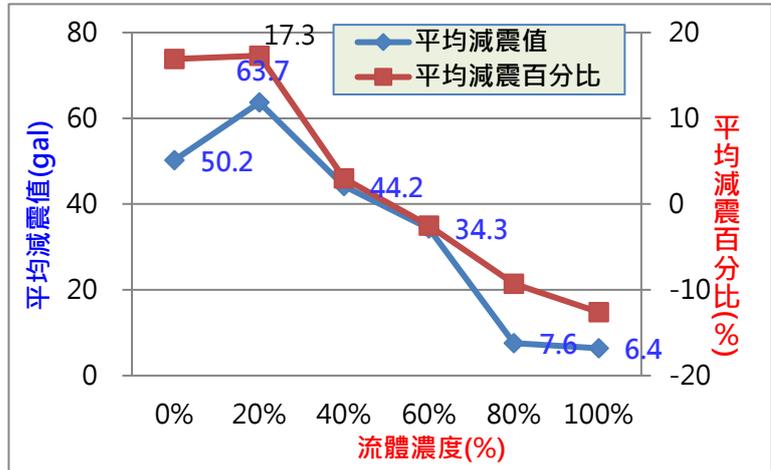


圖1-3不同流體濃度的平均減震值與平均減震百分比

二、研究連通阻尼器與斜撐減震效果的優劣

問題：由研究一發現，連通阻尼器有減震效果，如果與斜撐比較，哪一種的減震效果較佳？

(一) 實驗設計：

1. 操縱變因：減震裝置種類
[連通阻尼器(如圖2A-1)、斜撐(如圖2A-2)]。



圖2A-1連通阻尼器



圖2A-2斜撐

2. 控制變因：(1) 工法：對角斜向 (2) 連通阻尼器流體濃度 20% (3) 阻尼方向：反向 (4) 連通阻尼器配置樓層：1樓 (5) 配置方向：前後對稱 (6) 針頭方向：一上一下 (7) 樓層配重：600gw, 5樓放手機(280gw) (8) 震動頻率：1.6Hz (9) 地震模擬器加速度 (最大加速度 X 軸：820gal、Y 軸：162gal、Z 軸：88gal; 平均加速度 X 軸：350gal、Y 軸：45gal 軸、Z 軸：37gal)。

(二) 實驗步驟：與研究一相同。

(三) 實驗結果：表2-1 連通阻尼器與斜撐的最大加速度與平均加速度統計表

| 震動加速度 減震裝置 | 最大加速度 (gal) | | | 平均加速度 (gal) | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|---------------|-------------|-------|-------|-------------|------|------|-----------|----------|
| | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | 運動情形 | 運動距離(mm) |
| 無阻尼(對照組) | 969.2 | 221.0 | 152.6 | 486.0 | 76.0 | 51.8 | ----- | ----- |
| 連通阻尼器 | 730.6 | 146.2 | 183.2 | 412.0 | 50.0 | 51.0 | 活塞運動 | 2~3 |
| 斜撐 | 877.2 | 157.6 | 202.6 | 444.0 | 65.8 | 60.0 | ----- | ----- |

(四) 實驗結果分析：

1. 計算模型屋配置連通阻尼器與斜撐，最大加速度與平均加速度的減震百分比。與研究一同。

$$\text{加速度減震百分比} = [(\text{無阻尼加速度} - \text{有阻尼加速度}) / \text{無阻尼加速度}] \times 100\%$$

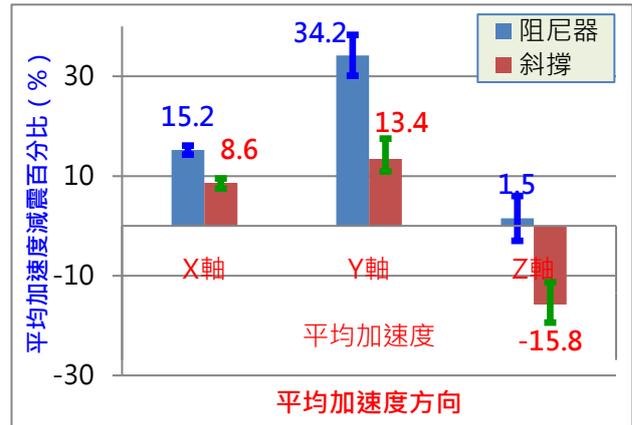
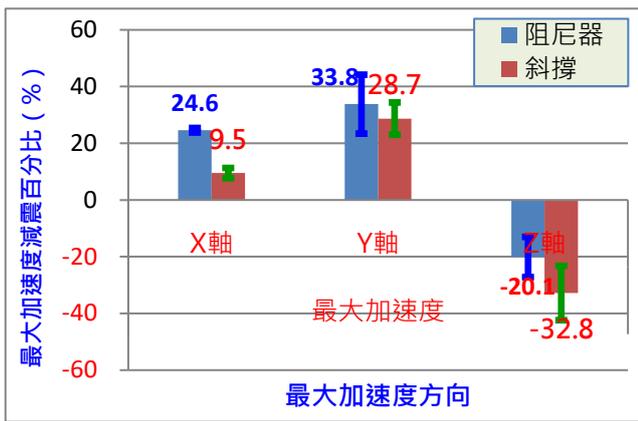


圖2-1連通阻尼器與斜撐的最大加速度減震百分比

圖2-2連通阻尼器與斜撐的平均加速度減震百分比

由圖2-1、2-2，連通阻尼器的最大加速度與平均加速度減震百分比，均比斜撐高出很多，顯示配置連通阻尼器可使震動加速度減小較多，具較佳的減震效果。

2. 計算平均減震值與平均減震百分比

平均減震值：最大加速度與平均加速度 X 軸、Y 軸、Z 軸6項加速度減震值的平均值。

平均減震百分比：最大加速度與平均加速度 X 軸、Y 軸、Z 軸6項加速度減震百分比的平均值。

- (1) 由圖2-3，連通阻尼器的平均減震值63.9gal；斜撐的平均減震值24.9gal；連通阻尼器的平均減震值是斜撐的2.56倍。
- (2) 由圖2-3，連通阻尼器的平均減震百分比14.9%；斜撐的平均減震百分比1.9%；連通阻尼器的平均減震百分比是斜撐的7.84倍。
- (3) 由實驗發現，我們設計的連通阻尼器可使震動加速度明顯減小。具有比斜撐更佳的減震效果。

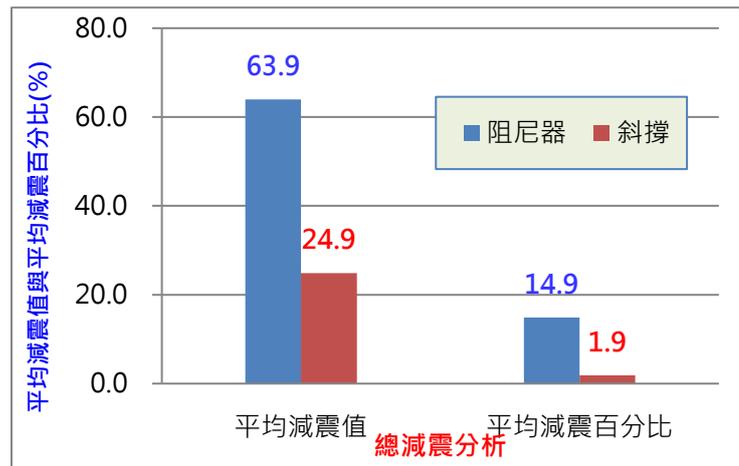


圖2-3連通阻尼器與斜撐的平均減震值與平均減震百分比

三、研究連通阻尼器不同阻尼強度的減震效果

問題：由研究一發現，連通阻尼器在流體濃度0~20%時，減震效果最好，因為濃度範圍還是太大，另外一般實驗用針筒橡膠活塞與針筒管壁間的摩擦力大且個別差異很大，會影響連通阻尼器的阻尼強度，因此我們另找摩擦力較一致且較小的醫用針筒製作濃度0%、5%、10%、20%流體的連通阻尼器，各3支，共12支。利用吊秤測量連通阻尼器的阻尼強度：濃度0%為570公克力、濃度5%為970公克力、濃度10%為1516公克力、濃度20%為2015公克力。以這4種不同阻尼強度的連通阻尼器進行下一步實驗。

(一) 實驗設計：

1. 操縱變因：連通阻尼器的阻尼強度。

阻尼強度：570公克力、970公克力、1516公克力、2015公克力。

2. 控制變因：(1) 工法：對角斜向 (2) 阻尼方向：反向 (3) 連通阻尼器配置樓層：1樓 (4)

配置方向：前後對稱 (5) 樓層配重：600gw, 5樓放手機(280gw) (6) 針頭方向：一上一下 (7) 震動頻率：1.6Hz (8) 地震模擬器加速度 (最大加速度 X 軸：810gal、Y 軸：170gal、Z 軸：85gal; 平均加速度 X 軸：360gal、Y 軸：45gal、Z 軸：37gal)。

(二) 實驗步驟：與研究一相同。

(三) 實驗結果： 表3-1 不同阻尼強度連通阻尼器的最大加速度與平均加速度統計表

| 震動加速度 阻尼強度 | 最大加速度 (gal) | | | 平均加速度 (gal) | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|---------------|-------------|-------|-------|-------------|------|------|-----------|-----------|
| | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | 運動情況 | 運動距離 (mm) |
| 無阻尼(對照組) | 997.0 | 243.0 | 151.0 | 530.0 | 85.0 | 54.0 | ----- | ----- |
| 570公克力 | 895.0 | 215.6 | 139.2 | 480.0 | 81.0 | 44.0 | 活塞運動 | 4~5 |
| 970公克力 | 796.8 | 182.2 | 155.4 | 438.0 | 72.0 | 45.2 | 活塞運動 | 3~4 |
| 1516公克力 | 727.4 | 177.8 | 161.6 | 404.0 | 70.2 | 46.2 | 活塞運動 | 2~3 |
| 2015公克力 | 701.4 | 185.0 | 189.4 | 390.0 | 78.6 | 45.8 | 活塞運動 | 2~3 |

(四) 實驗結果分析：

1. 計算模型屋配置連通阻尼器後，最大加速度與平均加速度的減震百分比。

加速度減震百分比 = $[(\text{無阻尼加速度} - \text{有阻尼加速度}) / \text{無阻尼加速度}] \times 100\%$

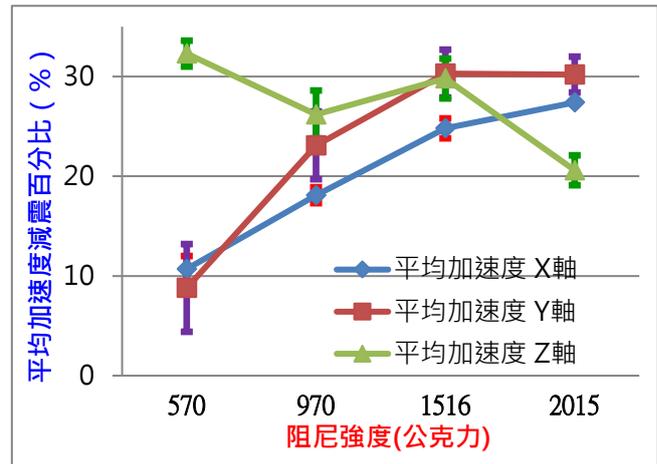
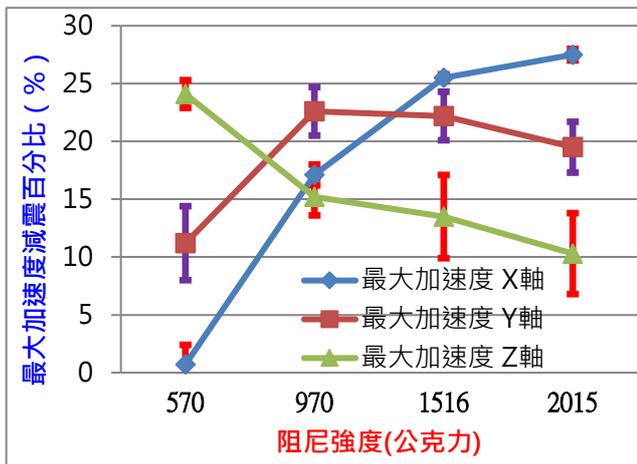


圖3-1不同阻尼強度的最大加速度減震百分比 圖3-2不同阻尼強度的平均加速度減震百分比

- 由圖3-1，最大加速度 X 軸減震百分比：當阻尼強度增強時，減震百分比有上升的現象，兩者成正比關係。
- 由圖3-1，最大加速度 Y 軸減震百分比：阻尼強度1516公克力時的減震百分比最高。
- 由圖3-1，最大加速度 Z 軸減震百分比：當阻尼強度越強時，減震百分比越低。
- 由圖3-2，平均加速度 X 軸減震百分比：當阻尼強度增強時，減震百分比有上升的趨勢，成正比關係。
- 由圖3-2，平均加速度 Y 軸減震百分比：阻尼強度1516公克力時的減震百分比最高。
- 由圖3-2，平均加速度 Z 軸減震百分比：阻尼強度越強時，減震百分比有越低的趨勢。
- 由表3-1，針筒內活塞壓桿有活塞運動，吸收部分震動力後，透用連通管將剩餘力量傳到另一側的阻尼器，作為支撐力量，兩側阻尼器間的力量可相互傳遞，減震效果較佳。

2. 計算平均減震值與平均減震百分比。與研究一相同。

平均減震值：最大加速度與平均加速度 X 軸、Y 軸、Z 軸6項加速度減震值的平均值。

平均減震百分比：最大加速度與平均加速度 X 軸、Y 軸、Z 軸6項加速度減震百分比的平均值。

- (1) 由圖3-3，當阻尼強度越強時，平均減震值越高，減震效果越佳。
- (2) 由圖3-3，當阻尼強度越強時，平均減震百分比越高，減震效果越佳；阻尼強度1516公克力時的平均減震百分比最高（24.8%）；但當阻尼強度高於1516公克力時，平均減震百分比則下降。

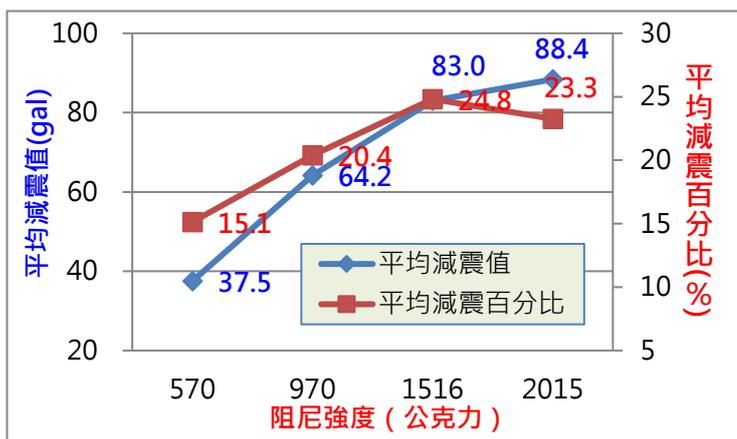


圖3-3不同阻尼強度的平均減震值與平均減震百分比

四、研究連通阻尼器配置不同阻尼方向的減震效果

問題：1組連通阻尼器由2支針筒，中間以塑膠管連接所組成，利用液體在管中流動的阻力，作為減震阻尼。當1組連通阻尼器配置的2支針筒阻尼方向同向或反向時，對減震效果會有影響嗎？

(一) 實驗設計：

1. 操縱變因：配置阻尼方向(2支針筒阻尼方向是否同向)。

2支針筒阻尼方向同向
(如圖4A-1)；

2支針筒阻尼方向反向
(如圖4A-2)。



圖4A-1阻尼方向同向(平行配置) 圖4A-2阻尼方向反向(X配置)

2. 控制變因：(1) 工法：對角斜向 (2) 連通阻尼器的阻尼強度1203公克力 (3) 連通阻尼器配置樓層：1樓 (4) 配置方向：前後對稱 (5) 樓層配重：700gw，5樓放手機(280gw) (6) 震動頻率：1.6Hz (7) 地震模擬器加速度(最大加速度 X 軸：806gal、Y 軸：143gal、Z 軸：83gal；平均加速度 X 軸：310gal、Y 軸：58gal、Z 軸：49gal)。

(二) 實驗步驟：與研究一相同。

(三) 實驗結果：表4-1 連通阻尼器針筒阻尼配置方向的最大加速度與平均加速度統計表

| 震動加速度 兩支針筒 阻尼方向 | 最大加速度 (gal) | | | 平均加速度 (gal) | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|-----------------------|-------------|-------|-------|-------------|------|------|-----------|-----------|
| | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | 運動情況 | 運動距離 (mm) |
| 無阻尼(對照組) | 826.8 | 176.0 | 132.4 | 456.0 | 53.6 | 44.0 | ----- | ----- |
| 阻尼同向 | 727.2 | 167.4 | 133.8 | 374.0 | 49.6 | 41.0 | 無 | 無運動 |
| 阻尼反向 | 694.0 | 211.6 | 131.8 | 360.0 | 53.8 | 40.2 | 活塞運動 | 2~3 |

(四) 實驗結果分析：

1. 計算模型屋配置連通阻尼器後，最大加速度與平均加速度的減震百分比。與研究一相同。

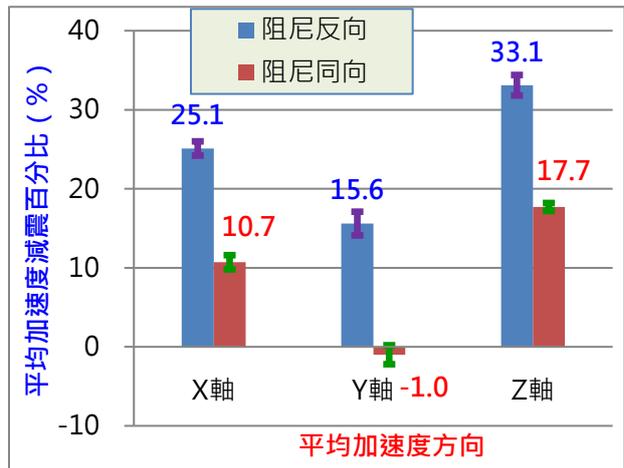


圖4-1 阻尼方向的最大加速度減震百分比

圖4-2 阻尼方向的平均加速度減震百分比

- (1) 由圖4-1，最大加速度 X 軸減震百分比：阻尼反向比阻尼同向高25.5%。
- (2) 由圖4-1，最大加速度 Y 軸減震百分比：阻尼同向比阻尼反向高3.4%。
- (3) 由圖4-1，最大加速度 Z 軸減震百分比：阻尼反向比阻尼同向高8.6%。
- (4) 由圖4-2，平均加速度 X 軸減震百分比：阻尼反向比阻尼同向高8.6%。
- (5) 由圖4-2，平均加速度 Y 軸減震百分比：阻尼反向比阻尼同向高16.6%。
- (6) 由圖4-2，平均加速度 Z 軸減震百分比：阻尼反向比阻尼同向高15.4%。
- (7) 由表4-1，阻尼反向時，針筒內活塞壓桿有活塞運動，透過連通管將剩餘力量傳到另一側的阻尼器作為支撐力量，兩側阻尼器的力量可相互傳遞，因此減震效果較佳。

2. 計算平均減震值與平均減震百分比。與研究一相同。

- (1) 由圖4-3，阻尼反向的平均減震值較高(100.2gal)；阻尼同向的平均減震值較低(37.4gal)。阻尼反向為阻尼同向的2.67倍。
- (2) 由圖4-3，阻尼反向的平均減震百分比比較高(26.1%)，阻尼同向的平均減震百分比比較低(13.2%)，阻尼反向為阻尼同向的1.97倍。
- (3) 由圖4-3，阻尼反向的平均減震值與平均減震百分比皆比阻尼同向時還高，減震效果較佳。

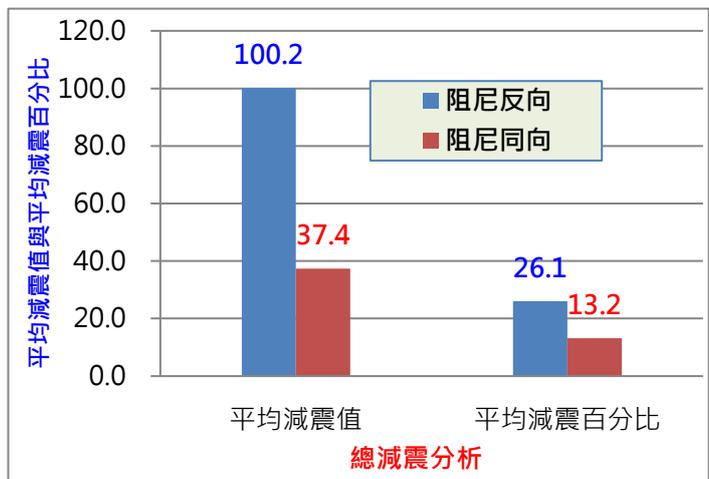


圖4-3 阻尼方向平均減震值與平均減震百分比

五、研究連通阻尼器配置前後方向與左右方向的減震效果

問題：連通阻尼器配置在模型屋前後方向〔與主震動方向(X軸)平行〕，配置在模型屋左右方向〔與主震動方向(X軸)垂直〕，其減震效果會有差異嗎？

(一) 實驗設計：

1. 操縱變因：連通阻尼器
配置方向。
配置在模型屋前後方向
(如圖5A-1)；
配置在模型屋左右方向
(如圖5A-2)。



圖5A-1連通阻尼器配置前後方向 圖5A-2連通阻尼器配置左右方向

2. 控制變因：(1) 工法：對角斜向 (2) 連通阻尼器的阻尼強度：1216公克力 (3) 阻尼方向：反向 (4) 連通阻尼器配置樓層：1樓 (5) 配置方式：對稱配置 (6) 樓層配重：700gw，5樓放手機(280gw) (7) 震動頻率：1.6Hz (8) 地震模擬器加速度(最大加速度 X 軸：846gal、Y 軸：140gal、Z 軸：83gal；平均加速度 X 軸：360gal、Y 軸：45gal、Z 軸：42gal)。
(二) 實驗步驟：與研究一相同。
(三) 實驗結果：

表5-1連通阻尼器阻尼配置方向的最大加速度與平均加速度統計表

| 震動加速度 配置方向 | 最大加速度 (gal) | | | 平均加速度 (gal) | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|---------------|-------------|-------|-------|-------------|------|------|-----------|-----------|
| | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | 運動情況 | 運動距離 (mm) |
| 無阻尼(對照組) | 1067.6 | 185.6 | 274.6 | 630.0 | 69.2 | 83.6 | ----- | ----- |
| 前後方向 | 825.0 | 142.4 | 161.8 | 416.0 | 45.2 | 62.0 | 活塞運動 | 2~3 |
| 左右方向 | 977.2 | 148.0 | 190.0 | 484.0 | 62.2 | 63.2 | 無 | 無運動 |

(四) 實驗結果分析：

1. 計算模型屋配置連通阻尼器後，最大加速度與平均加速度的減震百分比。與研究一相同。

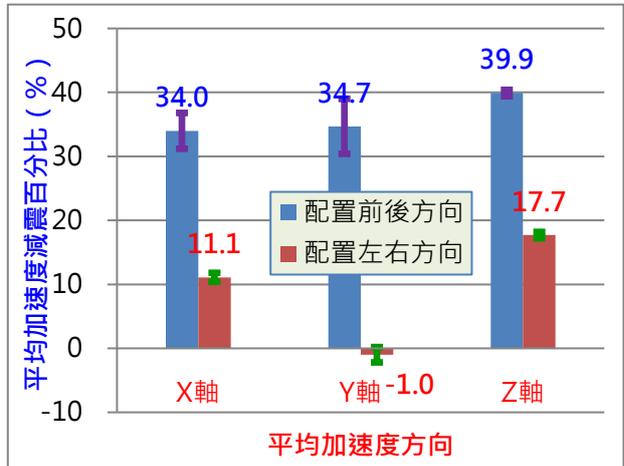
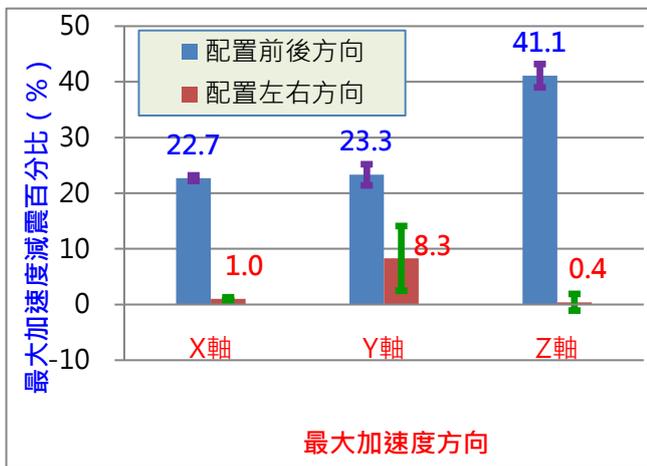


圖5-1阻尼配置方向的最大加速度減百分比 圖5-2阻尼配置方向的平均加速度減震百分比

- (1) 由圖5-1、5-2，連通阻尼器配置在前後方向時，最大加速度與平均加速度 X 軸、Y 軸、Z 軸的減震百分比，均有較佳的減震效果。
(2) 由表5-1，連通阻尼器配置在前後方向時，針筒內活塞壓桿有活塞運動，透用連通管將剩餘力量傳到另一側的阻尼器作為支撐力量，兩側阻尼器的力量可相互傳遞，因此減震效果較佳。

2. 計算平均減震值與平均減震百分比。與研究一相同。

- (1) 由圖5-3，連通阻尼器配置前後方向的平均減震值較高(109.7gal)；配置左右方向的平均減震值較低(37.4ga)。
 阻尼配置前後方向是左右方向2.93倍。
- (2) 由圖5-3，阻尼器阻尼配置前後方向的平均減震百分比較高(30.3%)；配置左右方向的平均減震百分比較低(13.2%)。
 阻尼配置前後是左右的2.90倍。
- (3) 由圖5-3，阻尼配置前後方向的平均減震值與平均減震百分比都比阻尼配置左右方向高，其減震效果較佳。

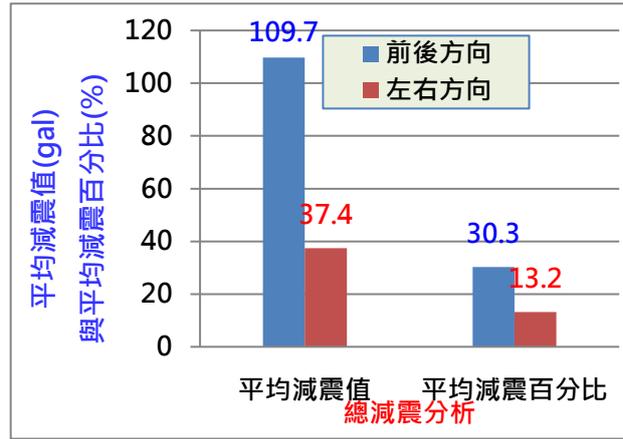


圖5-3 阻尼配置方向平均減震值與平均減震百分比

六、研究連通阻尼器對不同樓層的減震效果

問題：把連通阻尼器配置在1樓時，對其他樓層是否也有減震效果？

(一) 實驗設計：

1. 操縱變因：樓層位置。

手機分別放置在：2樓(如圖6A-1)、3樓(如圖6A-2)、4樓(如圖6A-3)、5樓(如圖6A-4)進行震動加速度監測。



圖6A-1 手機放置在2樓 圖6A-2 手機放置在3樓 圖6A-3 手機放置在4樓 圖6A-4 手機放置在5樓

2. 控制變因：(1) 工法：對角斜向 (2) 阻尼配置方式：1樓前後對稱、阻尼反向、針頭一上一下 (3) 連通阻尼器的阻尼強度1220公克力 (4) 樓層配重：700gw，5樓放手機(280gw) (5) 震動頻率：1.6Hz (6) 地震模擬器加速度 (最大加速度 X 軸：840gal、Y 軸：130gal、Z 軸：67gal；平均加速度 X 軸：310gal、Y 軸：85gal、Z 軸：50gal)。

(二) 實驗步驟：與研究一相同。

(三) 實驗結果： 表6-1連通阻尼器對不同樓層的最大加速度與平均加速度統計表

| 震動 加速度 樓層 | 有無 阻尼 | 最大加速度 | | | 平均加速度 | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|-----------------|----------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----------|--------------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | 運動情況 | 運動距離 (mm) |
| 2樓 | 無阻尼 | 632.2 | 97.6 | 139.6 | 288.0 | 39.6 | 43.2 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 713.2 | 122.0 | 113.0 | 242.0 | 35.0 | 36.4 | 活塞運動 | 3~4 |
| 3樓 | 無阻尼 | 640.6 | 117.0 | 160.8 | 336.0 | 34.8 | 39.8 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 637.2 | 96.0 | 128.4 | 280.0 | 27.8 | 33.4 | 活塞運動 | 3~4 |
| 4樓 | 無阻尼 | 664.8 | 104.4 | 167.2 | 402.0 | 36.8 | 47.0 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 573.2 | 81.6 | 110.0 | 340.0 | 29.6 | 38.4 | 活塞運動 | 3~4 |
| 5樓 | 無阻尼 | 927.6 | 158.8 | 183.4 | 454.0 | 52.2 | 47.8 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 658.2 | 106.8 | 104.2 | 370.0 | 40.2 | 37.0 | 活塞運動 | 3~4 |

(四) 實驗結果分析：

1. 計算模型屋配置連通阻尼器後，最大加速度與平均加速度的減震百分比。與研究一相同。

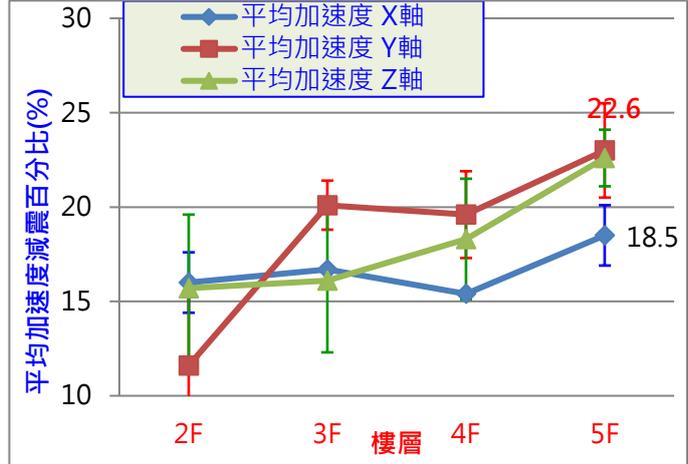
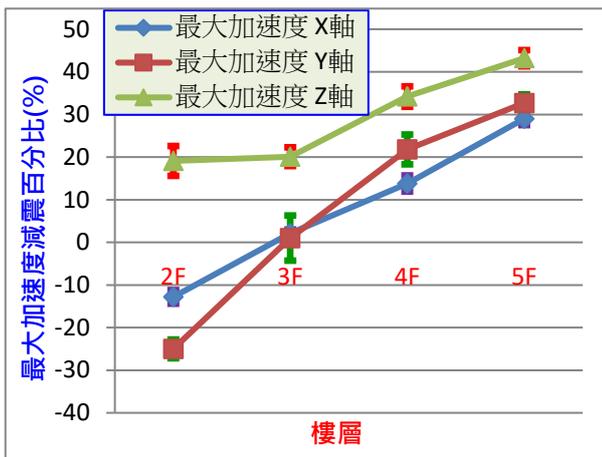


圖 6-1 不同樓層的最大加速度減震百分比

圖 6-2 不同樓層的平均加速度減震百分比

- (1) 由圖6-1，當樓層越高時，最大加速度 X 軸、Y 軸、Z 軸的減震百分比有越高的趨勢。
- (2) 由圖6-2，平均加速度 X 軸的減震百分比隨樓層增高而稍有上升現象，其中以5樓最高。
- (3) 由圖6-2，當樓層越高時，平均加速度 Y 軸與 Z 軸的減震百分比有越高的趨勢。
- (4) 由表6-1，當有阻尼時，針筒內活塞壓桿有活塞運動，兩側阻尼器的力量可相互傳遞，減震效果較佳。

2. 計算平均減震值與平均減震百分比。與研究一相同。

- (1) 由圖6-3，當樓層越高時，平均減震值有越高的趨勢，兩者呈正比關係。
- (2) 由圖6-3，當樓層越高時，平均減震值有越高的趨勢，兩者呈正比關係。

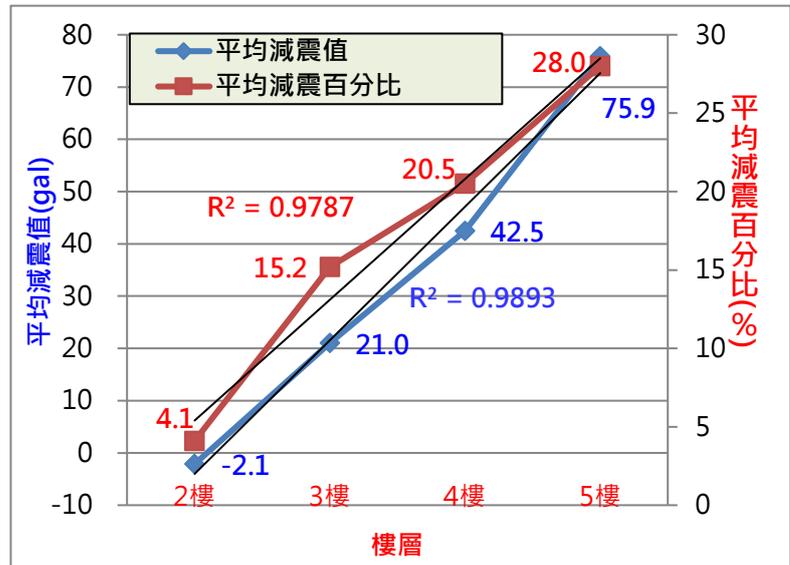


圖6-3不同樓層的平均減震值與平均減震百分比

七、研究連通阻尼器配置不同傾斜角度的減震效果

問題：如果連通阻尼器配置的傾斜角度不同時，對建物的減震效果會有差異嗎？

(一) 實驗設計：

1. 操縱變因：連通阻尼器配置傾斜角度。

配置傾斜角度：0度（水平配置，如圖7A-1）、30度（如圖7A-2）、45度（如圖7A-3）、60度（如圖7A-4）、90度（垂直配置，圖7A-5）。



圖7A-1傾斜角度0度（水平）



圖7A-2傾斜角度30度



圖7A-3傾斜角度45度



圖7A-4傾斜角度60度



圖7A-5傾斜角度90度（垂直）

2. 控制變因：(1) 連通阻尼器的阻尼強度1226公克力 (2) 阻尼配置方式：1樓前後對稱、阻尼反向、針頭一上一下 (3) 樓層配重：700gw，5樓放手機(280 gw) (4) 震動頻率：1.6Hz (5) 地震模擬器加速度（最大加速度 X 軸：815gal、Y 軸：142gal、Z 軸：78gal；平均加速度 X 軸：320gal、Y 軸：61gal、Z 軸：43gal）。

(二) 實驗步驟：與研究一相同。

(三) 實驗結果：

表7-1 連通阻尼器配置不同傾斜角度的最大加速度與平均加速度統計表

| 震動加速度 配置傾斜角度 | 最大加速度(gal) | | | 平均加速度(gal) | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|-----------------|------------|-------|-------|------------|------|------|-----------|--------------|
| | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | 運動情況 | 運動距離 (mm) |
| 無阻尼(對照組) | 926.6 | 205.6 | 137.2 | 474.0 | 89.6 | 39.2 | ----- | ----- |
| 0度 | 683.8 | 167.6 | 95.0 | 382.0 | 46.8 | 29.8 | 活塞運動 | 3~4 |
| 30度 | 634.0 | 137.0 | 101.2 | 350.0 | 41.4 | 31.0 | 活塞運動 | 2~3 |
| 45度 | 644.8 | 148.4 | 119.6 | 364.0 | 63.6 | 32.6 | 活塞運動 | 2~3 |
| 60度 | 623.4 | 192.2 | 110.2 | 366.0 | 76.2 | 31.2 | 活塞運動 | 2~3 |
| 90度 | 833.2 | 230.4 | 123.4 | 410.0 | 87.2 | 32.0 | 活塞運動 | 輕微運動 |

(四) 實驗結果分析：

1. 計算模型屋配置連通阻尼器後，最大加速度與平均加速度的減震百分比。與研究一相同。

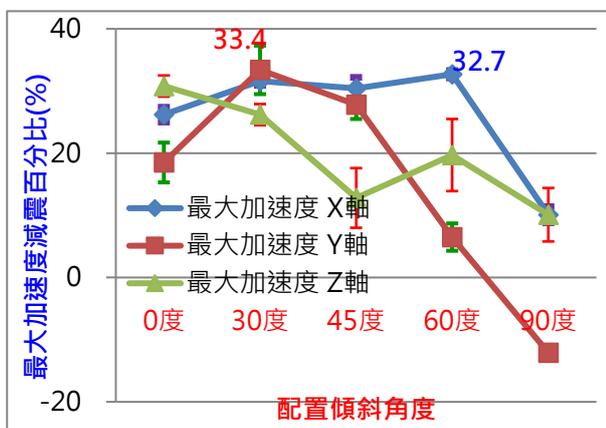


圖7-1配置傾斜角度最大加速度減震百分比

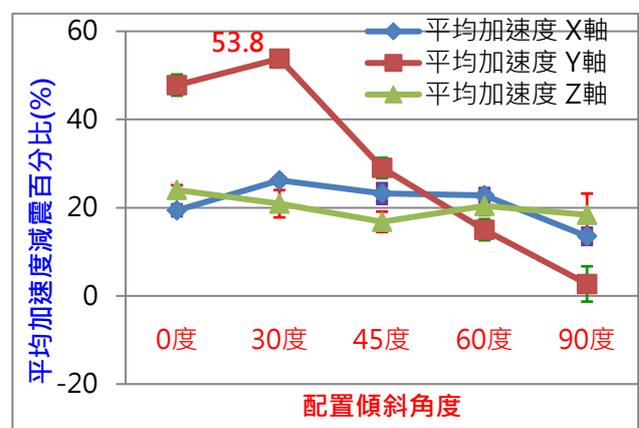


圖7-2配置傾斜角度的平均加速度減震百分比

- (1) 由圖7-1，傾斜角度0~60度時，傾斜角度越大，最大加速度 X 軸減震百分比越高；傾斜角度90度(最大)時，最大加速度 X 軸減震百分比最低。
- (2) 由圖7-1，傾斜角度30度時，最大加速度 Y 軸減震百分比最高(33.4%)；傾斜角度大於30度時，傾斜角度越大，則最大加速度 Y 軸減震百分比有越低的趨勢。
- (3) 由圖7-1，傾斜角度越大時，最大加速度 Z 軸減震百分比有越低的現象。
- (4) 由圖7-2，傾斜角度30度時，平均加速度 X 軸減震百分比最高；傾斜角度大於30度時，傾斜角度越大，則平均加速度 X 軸減震百分比有越低的現象。
- (5) 由圖7-2，傾斜角度30度時，平均加速度 Y 軸減震百分比最高(53.8%)；傾斜角度大於30度時，傾斜角度越大，則平均加速度 Y 軸減震百分比有越低的趨勢。
- (6) 由圖7-2，當傾斜角度越大時，平均加速度 Z 軸減震百分比有越低的現象。
- (7) 由表7-1，配置傾斜角度越小時，針筒內活塞壓桿的活塞運動情形越明顯，兩側阻尼器可相互傳遞的力量越大，減震效果越佳。

2. 計算平均減震值與平均減震百分比。與研究一相同。

- (1) 由圖7-3，傾斜角度30度時，平均減震值最佳 (96.3gal)；傾斜角度大於30度時，傾斜角度越大，則平均減震值有明顯下降的趨勢。
- (2) 由圖7-3，配置傾斜角30度時，平均減震百分比最佳 (32.0%)；傾斜角度大於30度時，傾斜角度越大，則平均減震百分比有明顯下降的趨勢。

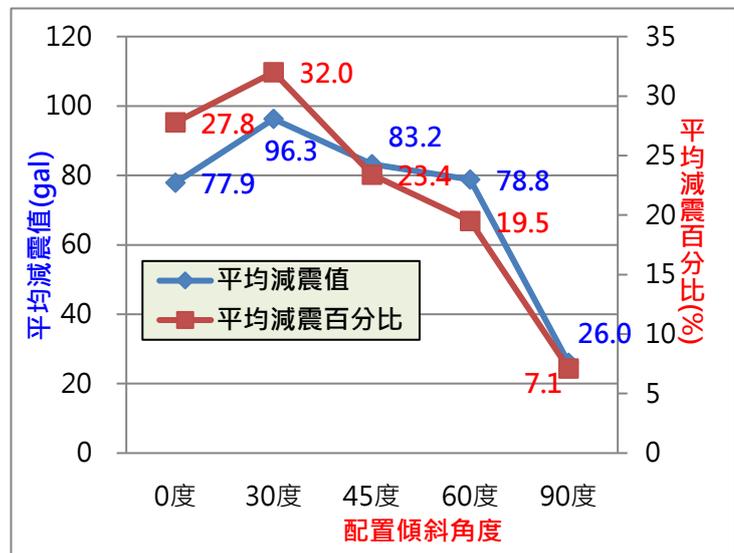


圖7-3配置傾斜角度的平均減震值與平均減震百分比

八、研究連通阻尼器對不同震動強度的減震效果

問題：地震有不同的震動強度，震動強度是否會影響連通阻尼器的減震效果？

(一) 實驗設計：

1. 操縱變因：地震模擬器的震動模擬強度。

| 震動模擬強度 | 最大加速度(gal) | | | 平均加速度(gal) | | |
|--------|------------|-----|-----|------------|-----|-----|
| | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |
| 強度 1 | 747 | 85 | 32 | 220 | 19 | 14 |
| 強度 2 | 786 | 93 | 36 | 250 | 32 | 20 |
| 強度 3 | 837 | 110 | 67 | 310 | 45 | 36 |
| 強度 4 | 903 | 143 | 102 | 430 | 43 | 47 |

2. 控制變因：(1) 工法：對角斜向 (2) 連通阻尼器的阻尼強度1216公克力 (3) 阻尼配置方式：1樓前後對稱、阻尼反向、針頭一上一下 (4) 樓層配重：600gw，5樓放手機 (280gw)。

(二) 實驗步驟：與研究一相同。

(三) 實驗結果： 表8-1震動強度對連通阻尼器的最大加速度與平均加速度統計表

| 震動 加速度 X軸 加速度 (gal) | 有 無 阻 尼 | 最大加速度(gal) | | | 平均加速度(gal) | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|---------------------------------|------------------|------------|-------|-------|------------|------|------|-----------|--------------|
| | | X軸 | Y軸 | Z軸 | X軸 | Y軸 | Z軸 | 運動情況 | 運動距離 (mm) |
| 747 | 無阻尼 | 755.6 | 146.4 | 167.2 | 388.0 | 48.4 | 47.2 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 730.8 | 117.2 | 173.0 | 350.0 | 41.4 | 42.8 | 無 | 無運動 |
| 786 | 無阻尼 | 966.8 | 157.6 | 177.6 | 446.0 | 53.6 | 54.6 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 775.6 | 128.4 | 180.4 | 386.0 | 48.2 | 49.6 | 活塞運動 | 輕微運動 |
| 837 | 無阻尼 | 1045.0 | 159.0 | 255.4 | 606.0 | 69.2 | 77.4 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 880.2 | 160.2 | 193.0 | 472.0 | 61.0 | 61.8 | 活塞運動 | 2~3 |
| 903 | 無阻尼 | 1184.2 | 241.0 | 188.0 | 732.0 | 94.0 | 78.0 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 675.2 | 165.8 | 118.4 | 366.0 | 45.0 | 45.2 | 活塞運動 | 3~4 |

(四) 實驗結果分析：

1. 計算模型屋配置連通阻尼器後，最大加速度與平均加速度的減震百分比。與研究一相同。

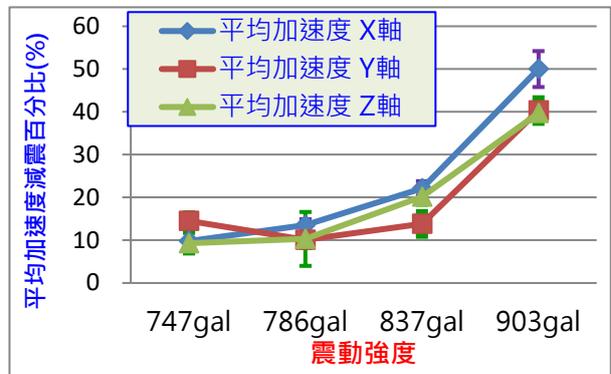
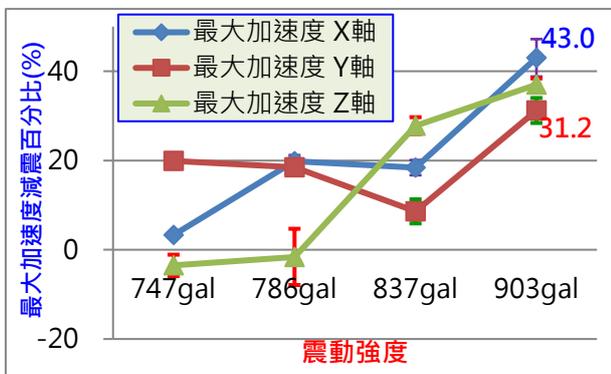


圖8-1不同震動強度最大加速度減震百分比

圖8-2不同震動強度平均加速度減震百分比

- 由圖8-1，震動強度越強時，最大加速度 X 軸與 Z 軸的減震百分比有越高的趨勢；最大加速度 Y 軸以震度強度 903gal 時的減震百分比最高 (31.2%)。
- 由圖8-2，震動強度越強時，平均加速度 X 軸、Y 軸、Z 軸的減震百分比有越高的趨勢。
- 由表8-1，震動加速度越大時，針筒內活塞壓桿的活塞運動越大，兩側阻尼器相互傳遞的力量也越大，減震效果越佳。

2. 計算平均減震值與平均減震百分比。與研究一相同。

- 由圖8-3，當震動強度越強時，平均減震值有越高的趨勢。
- 由圖8-3，當震動強度越強時，平均減震百分比有越高的趨勢。
- 由圖8-3，當震動強度越大時，連通阻尼器的減震效果越佳。

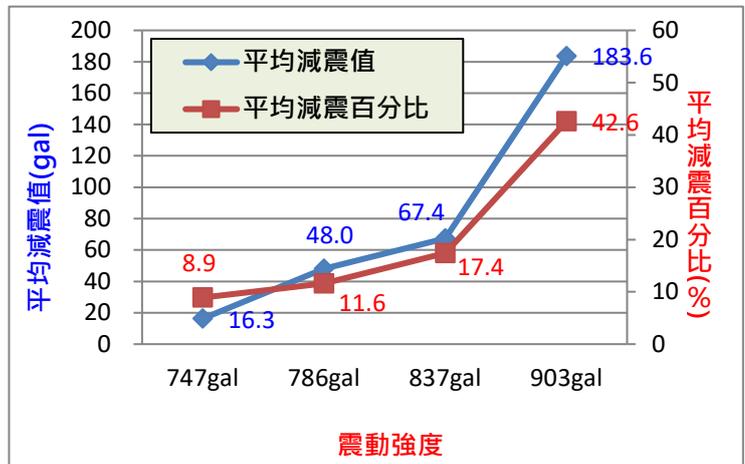


圖8-3不同震動強度的平均減震值與平均減震百分比

九、研究連通阻尼器對不同震動方向的減震效果

問題：地震來自不同的方向且無法預測，當震動方向與連通阻尼器配置方向不同時，減震效果會有差異嗎？

(一) 實驗設計：

1. 操縱變因：震動方向，連通阻尼器配置方向與主震動方向(X軸)的夾角：0度(如圖 9A-1)、30度(如圖9A-2)、45度(如圖9A-3)、60度(如圖9A-4)、90度(如圖9A-5)。



圖9A-1 夾度0度



圖9A-2 夾角30度



圖9A-3 夾角45度



圖9A-4 夾角60度



圖9A-5 夾角90度

2. 控制變因：(1) 工法：對角斜向 (2) 連通阻尼器的阻尼強度1230公克力 (3) 阻尼配置方式：1樓前後對稱、阻尼反向、針頭一上一下 (4) 樓層配重：700gw, 5樓放手機(280 gw) (5) 震動頻率：1.6Hz (6) 地震模擬器加速度(最大加速度 X軸：820gal、Y軸：140gal、Z軸：83gal；平均加速度 X軸：310gal、Y軸：45gal、Z軸：42gal)。

(二) 實驗步驟：與研究一相同。

(三) 實驗結果： 表9-1 不同震動方向對連通阻尼器的最大加速度與平均加速度統計表

| 與主震動方向夾角 | 加速度 | 有無 阻尼 | 最大加速度(gal) | | | 平均加速度(gal) | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|----------|-----|----------|------------|-------|-------|------------|-------|------|-----------|--------------|
| | | | X軸 | Y軸 | Z軸 | X軸 | Y軸 | Z軸 | 運動情況 | 運動距離 (mm) |
| 0度 | 無阻尼 | | 971.8 | 191.8 | 167.2 | 514.0 | 53.8 | 46.8 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | | 656.4 | 122.2 | 117.0 | 368.0 | 41.6 | 36.6 | 活塞運動 | 3~4 |
| 30度 | 無阻尼 | | 1034.2 | 252.2 | 167.8 | 548.0 | 67.0 | 50.8 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | | 671.8 | 155.6 | 122.4 | 398.0 | 63.6 | 40.4 | 活塞運動 | 2~3 |
| 45度 | 無阻尼 | | 1017.0 | 253.2 | 169.8 | 524.0 | 84.8 | 46.4 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | | 717.6 | 191.4 | 142.8 | 412.0 | 75.6 | 41.0 | 活塞運動 | 輕微移動 |
| 60度 | 無阻尼 | | 1008.8 | 275.8 | 192.0 | 520.0 | 103.4 | 56.8 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | | 725.0 | 190.6 | 136.4 | 420.0 | 65.0 | 46.8 | 活塞運動 | 輕微移動 |
| 90度 | 無阻尼 | | 911.6 | 193.2 | 195.2 | 476.0 | 64.6 | 55.4 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | | 873.6 | 182.2 | 144.2 | 436.0 | 59.8 | 44.8 | 無 | 無移動 |

(四) 實驗結果分析

1. 計算模型屋配置連通阻尼器後，最大加速度與平均加速度的減震百分比。與研究一相同。

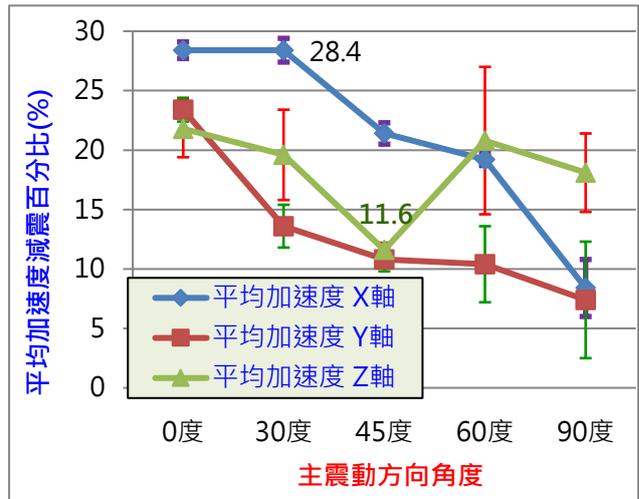
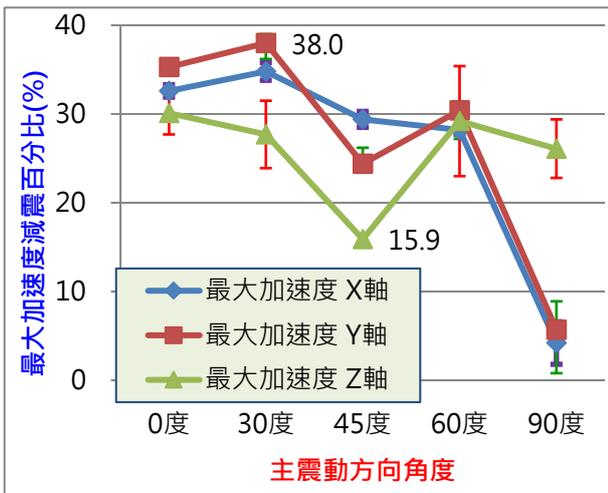


圖9-1不同震動方向的最大加速度減震百分比 圖9-2不同震動方向的平均加速度減震百分比

- (1) 由圖9-1，最大加速度 X 軸與 Y 軸的減震百分比，均以連通阻尼器與主震動方向夾角30度時最高；當夾角越大時，最大加速度減震百分比有越低的趨勢。
- (2) 由圖9-1，最大加速度 Z 軸的減震百分比，以連通阻尼器與主震動方向夾角0度時最高；以夾角45度時最低 (15.9%)。
- (3) 由圖9-2，當連通阻尼器與主震動方向夾角越大時，平均加速度 X 軸與 Y 軸的減震百分比越低。
- (4) 由圖9-2，平均加速度 Z 軸的減震百分比，以連通阻尼器與主震動方向夾角0度時最高；以夾角45度時最低 (11.6%)。
- (5) 由表9-1，當連通阻尼器與主震動方向夾角越小時，針筒內活塞壓桿活塞運動越明顯，兩側阻尼器相互傳遞的力量也越大，減震效果越佳。

2. 計算平均減震值與平均減震百分比。與研究一相同。

- (1) 由圖9-3，連通阻尼器與主震動方向夾角30度時的平均減震值最高 (111.4gal)；夾角越大時，平均減震值則有越低的趨勢。
- (2) 由圖9-3，當連通阻尼器與主震動方向夾角越大時，平均減震百分比有越低的趨勢。
- (3) 由圖9-3，當連通阻尼器與主震動方向夾角越大時，減震效果越差。

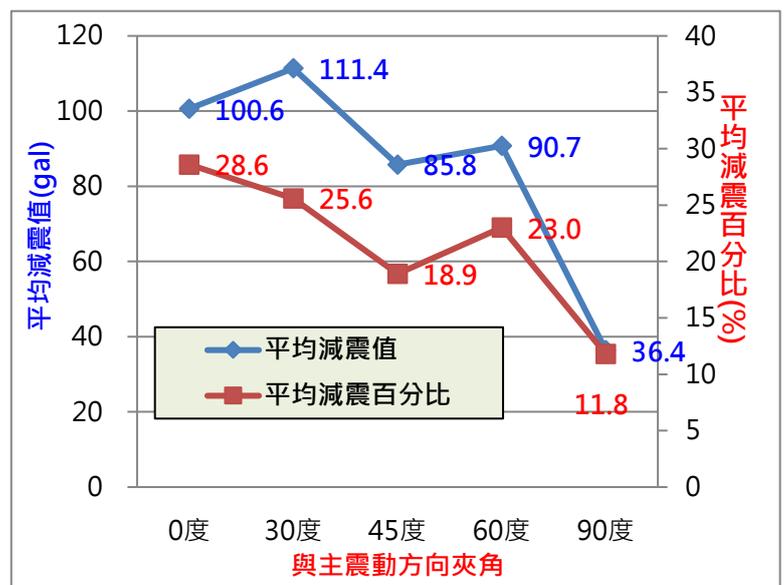


圖9-3與主震動方向夾角的平均減震值與平均減震百分比

十、研究連通阻尼器對不同樓層配重模型屋的減震效果

問題：建物樓層有不同重量，在建物樓層配重不同的情況下，配置連通阻尼器對其減震效果會有影響嗎？

(一) 實驗設計：

1. 操縱變因：模型屋樓層配重 (300gw、400 gw、500 gw、600 gw、700 gw)。
2. 控制變因：(1) 工法：對角斜向 (2) 連通阻尼器的阻尼強度1220公克力 (3) 阻尼配置方式：1樓前後對稱、阻尼反向、針頭一上一下 (4) 手機放5樓 (280gw) (5) 震動頻率：1.6Hz (6) 地震模擬器加速度 (最大加速度 X 軸：785gal、Y 軸：144gal、Z 軸：88gal；平均加速度 X 軸：290gal、Y 軸：58gal、Z 軸：34gal)。

(二) 實驗步驟：與研究一相同。

(三) 實驗結果：表10-1不同樓層配重的最大加速度與平均加速度統計表

| 震動 樓層 配重 (gw) | 有無 阻尼 | 最大加速度(gal) | | | 平均加速度(gal) | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|---------------------|----------|------------|-------|-------|------------|------|------|-----------|-----------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | 運動情況 | 運動距離 (mm) |
| 300 | 無阻尼 | 761.4 | 235.4 | 162.6 | 364.0 | 73.0 | 42.6 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 622.8 | 207.2 | 117.8 | 330.0 | 62.0 | 33.6 | 活塞運動 | 輕微移動 |
| 400 | 無阻尼 | 839.4 | 190.0 | 138.2 | 390.0 | 47.4 | 37.4 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 675.0 | 141.6 | 115.0 | 326.0 | 44.6 | 29.6 | 活塞運動 | 輕微移動 |
| 500 | 無阻尼 | 848.4 | 133.0 | 142.0 | 426.0 | 51.6 | 40.4 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 657.0 | 106.6 | 102.0 | 346.0 | 31.2 | 29.4 | 活塞運動 | 2~3 |
| 600 | 無阻尼 | 1042.6 | 183.6 | 158.2 | 448.0 | 68.2 | 47.0 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 667.8 | 151.2 | 108.6 | 358.0 | 45.8 | 40.0 | 活塞運動 | 3~4 |
| 700 | 無阻尼 | 1032.2 | 193.0 | 153.2 | 464.0 | 82.6 | 46.0 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 645.6 | 134.8 | 129.2 | 360.0 | 45.8 | 39.6 | 活塞運動 | 3~4 |

(四) 實驗結果分析：

1. 計算模型屋配置連通阻尼器後，最大加速度與平均加速度減震百分比。與研究一相同。

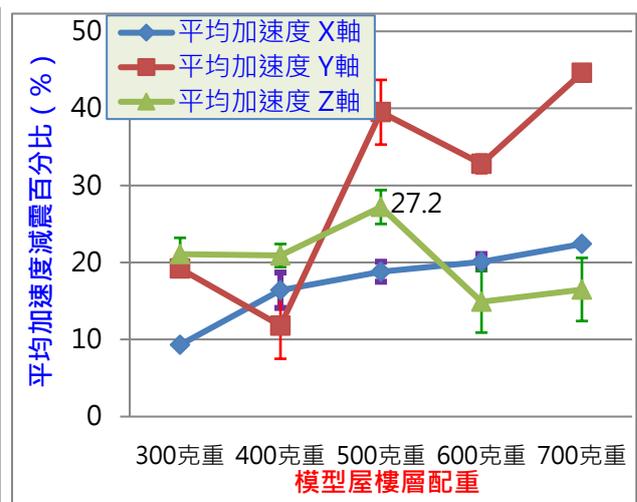
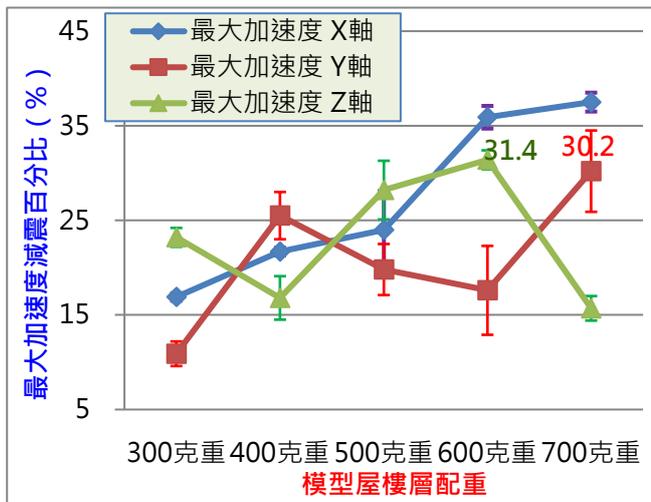


圖10-1樓層配重不同的最大加速度減震百分比

圖10-2樓層配重不同的平均加速度減震百分比

(1) 由圖10-1，當模型屋樓層配重越重時，最大加速度 X 軸的減震百分比越高，呈正比關係。

- (2) 由圖10-1，最大加速度 Y 軸減震百分比以模型屋樓層配重700gw 時最高 (30.2%)；當樓層配重越重時，最大加速度 Y 軸減震百分比有越高的現象。
- (3) 由圖10-1，最大加速度 Z 軸的減震百分比，以模型屋樓層配重500gw 時最高 (31.4%)。
- (4) 由圖10-2，當模型屋樓層配重越重時，平均加速度 X 軸與 Y 軸的減震百分比有越高的趨勢。
- (5) 由圖10-2，平均加速度 Z 軸的減震百分比，以模型屋樓層配重500gw 時最高 (27.2%)。
- (6) 由表10-1，模型屋樓層配重越重時，針筒內活塞壓桿的活塞運動越明顯，兩側阻尼器可相互傳遞的力量也越大，減震效果越佳。

2. 計算平均減震值與平均減震百分比。與研究一相同。

- (1) 由圖10-3，模型屋樓層配重越重時，平均減震值有越高的趨勢，呈正比關係。
- (2) 由圖10-3，模型屋樓層配重越重時，平均減震百分比有越高的趨勢。
- (3) 由圖10-3，當模型屋樓層配重越重時，連通阻尼器所吸收的震動力量也越大，因此減震效果越佳。

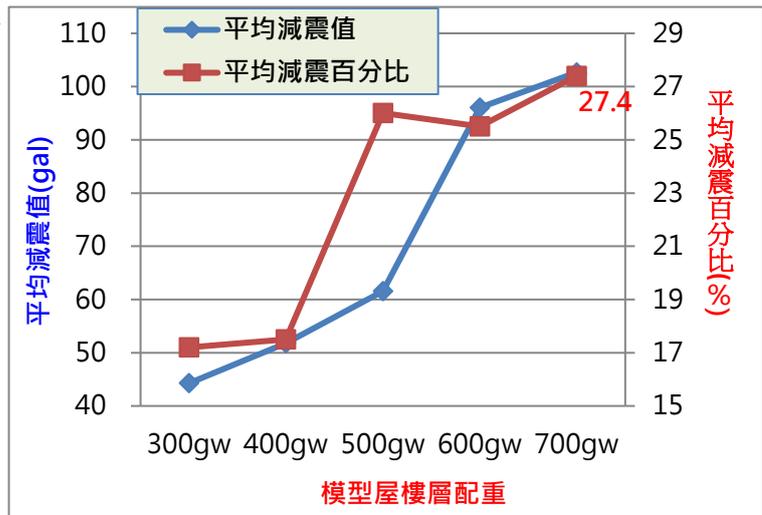


圖10-3模型屋樓層配重的平均減震值與平均減震百分比

十一、研究連通阻尼器配置不同組數的減震效果

問題：依據阻尼器配置至少要超過樓層的2分之1以上，阻尼器的減震效果越佳；如果同時配置2組連通阻尼器，對建物的減震效果會有影響嗎？

(一) 實驗設計：

- 1. 操縱變因：連通阻尼器的配置組數。
配置1組連通阻尼器 (如圖11A-1)；
配置2組連通阻尼器 (如圖11A-2)。



圖11A-1配置1組連通阻尼器



圖11A-2配置2組連通阻尼器

- 2. 控制變因：(1) 工法：對角斜向 (2) 連通阻尼器的阻尼強度1225公克力 (3) 阻尼配置方式：前後對稱、阻尼反向、針頭一上一下 (4) 樓層配重：700gw，5樓放手機 (280 gw) (5) 震動頻率：1.6Hz (6) 地震模擬器加速度 (最大加速度 X 軸：808gal、Y 軸：187gal、Z 軸：67gal；平均加速度 X 軸：310gal、Y 軸：57gal、Z 軸：32gal)。

(二) 實驗步驟：與研究一相同。

(三) 實驗結果： 表5-11不同組數連通阻尼器的最大加速度與平均加速度統計表

| 震動加速度 連通 阻尼器組數 | 最大加速度(gal) | | | 平均加速度(gal) | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|----------------------|------------|-------|-------|------------|------|------|-----------|--------------|
| | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | 運動情況 | 運動距離 (mm) |
| 無阻尼(對照組) | 880.8 | 246.8 | 134.8 | 462.0 | 99.2 | 40.4 | ----- | ----- |
| 1 組阻尼器 | 638.0 | 171.6 | 104.6 | 372.0 | 51.6 | 34.0 | 活塞運動 | 2~3 |
| 2 組阻尼器 | 606.4 | 148.8 | 88.8 | 316.0 | 38.0 | 25.8 | 活塞運動 | 2~3 |

(四) 實驗結果分析：

1. 計算模型屋配置連通阻尼器後，最大加速度與平均加速度的減震百分比。與研究一相同。

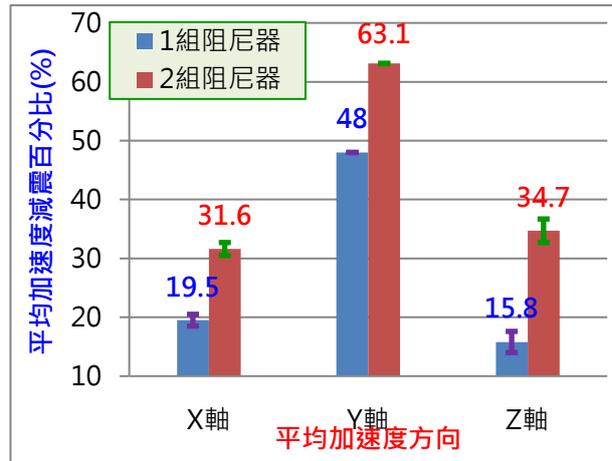
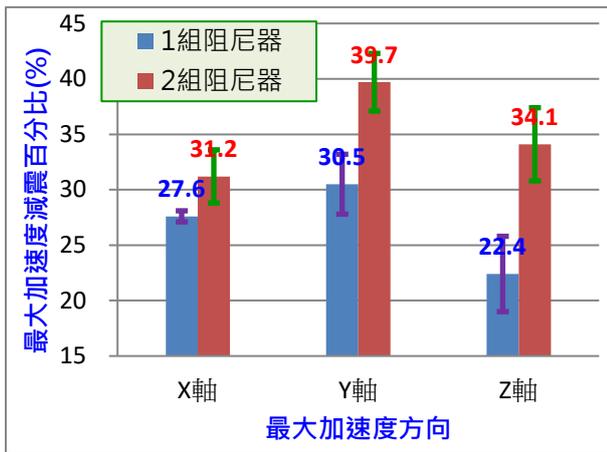


圖11-1不同組數阻尼器最大加速度減震百分比

圖11-2不同組數阻尼器平均加速度減震百分比

由圖11-1、11-2，連通阻尼器配置組數越多時，最大加速度與平均加速度的減震百分比越高，減震效果越佳。

2. 計算平均減震值與平均減震百分比。與研究一相同。

- (1) 由表11-3，配置2組連通阻尼器時的平均減震值與減震百分比，皆比配置1組時高，因此配置2組時的減震效果較佳。
- (2) 由表11-3，連通阻尼器配置組數越多時，平均減震值與平均減震百分比越高，減震效果越佳。

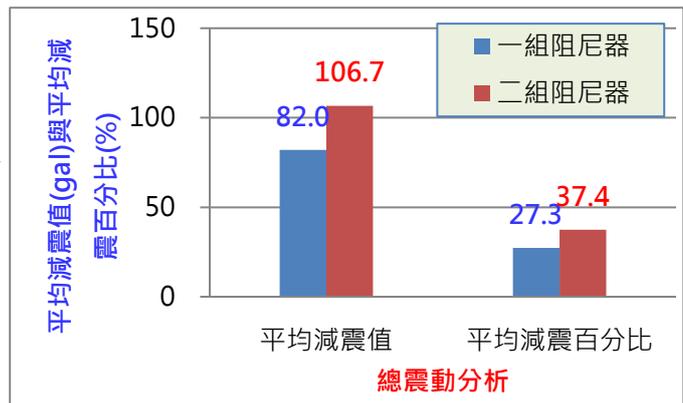


圖11-3 阻尼器組數的平均減震值與平均減震百分比

十二、研究連通阻尼器對不同結構強度建物的減震效果

問題：建築物的結構強度不同，如果連通阻尼器配置在不同結構強度的模型屋，對於減震的效果會有影響嗎？

(一) 實驗設計：

選擇2種不同直徑（5mm；6mm）的桐木棒作為模型屋的屋柱，共製作2個結構強度不同的模型屋進行實驗。

1. 操縱變因：模型屋結構強度（模型屋的屋柱直徑）。模型屋柱直徑6mm（如圖12A-1），模型屋柱直徑5mm（如圖12A-2）



圖12A-1屋柱直徑6mm 模型屋 圖12A-2屋柱直徑5mm 模型屋

2. 控制變因：(1) 工法：對角斜向 (2) 連通阻尼器的阻尼強度970公克力 (3) 阻尼配置方式：1樓前後對稱、阻尼反向、針頭一上一下 (4) 樓層配重：600 gw，5樓放手機(280gw) (5) 震動頻率：1.6Hz (6) 地震模擬器加速度（最大加速度 X 軸：820gal、Y 軸：130gal、Z 軸：67gal；平均加速度 X 軸：320gal、Y 軸：57gal、Z 軸：32gal）。

(二) 實驗步驟：與研究一相同。

(三) 實驗結果：表12-1不同結構強度模型屋的最大加速度與平均加速度統計表

| 震動 加速度 結構強度 屋柱直徑 | 有無 阻尼 | 最大加速度(gal) | | | 平均加速度(gal) | | | 針筒內活塞壓桿運動 | |
|---------------------------|----------|------------|-------|-------|------------|------|------|-----------|--------------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | 運動情況 | 運動距離 (mm) |
| 5mm | 無阻尼 | 967.8 | 165.6 | 131.8 | 488.0 | 54.4 | 39.2 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 659.4 | 145.2 | 91.2 | 390.0 | 43.8 | 32.8 | 活塞運動 | 2~3 |
| 6mm | 無阻尼 | 988.6 | 232.8 | 135.8 | 440.0 | 83.0 | 37.8 | ----- | ----- |
| | 有阻尼 | 884.0 | 172.8 | 109.0 | 394.0 | 52.2 | 40.0 | 活塞運動 | 輕微運動 |

(四) 實驗結果分析

1. 計算模型屋配置連通阻尼器後，最大加速度與平均加速度的減震百分比。與研究一相同。

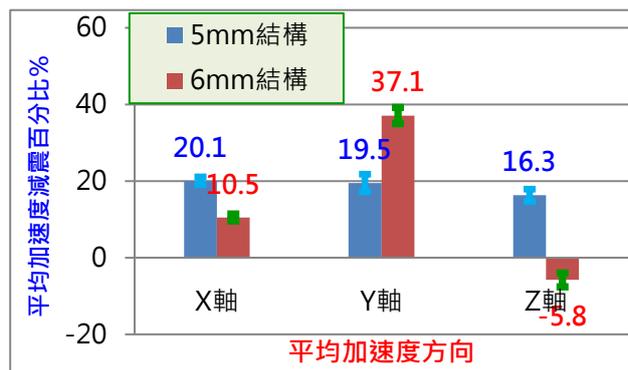
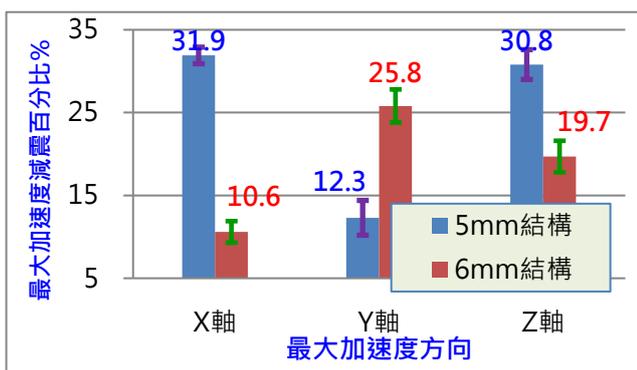


圖12-1不同結構強度的最大加速度減震百分比

圖12-2不同結構強度的平均加速度減震百分比

- (1) 由圖12-1、12-2，當模型屋結構強度越強時，X 軸與 Z 軸的最大加速度、平均加速度減震百分比越低。
- (2) 由圖12-1、12-2，當模型屋結構強度越強時，Y 軸的最大加速度與平均加速度減震百分比越高。
- (3) 由表12-1，當模型屋結構強度越弱時，針筒內活塞壓桿的活塞運動越明顯，兩側阻尼器相互傳遞的力量也越大，減震效果越佳。

2. 計算平均減震值與平均減震百分比。與研究一相同。

- (1)由表12-3，屋柱直徑較小時，模型屋結構強度雖然較弱，但其平均減震值與平均減震百分比卻較高，減震效果較佳。
- (2)由表12-3，當模型屋結構強度越弱時，其所能承受的震動力越小，連通阻尼器所吸收的震動力越大，因此其平均減震值與平均減震百分比越高；反之，則越低。

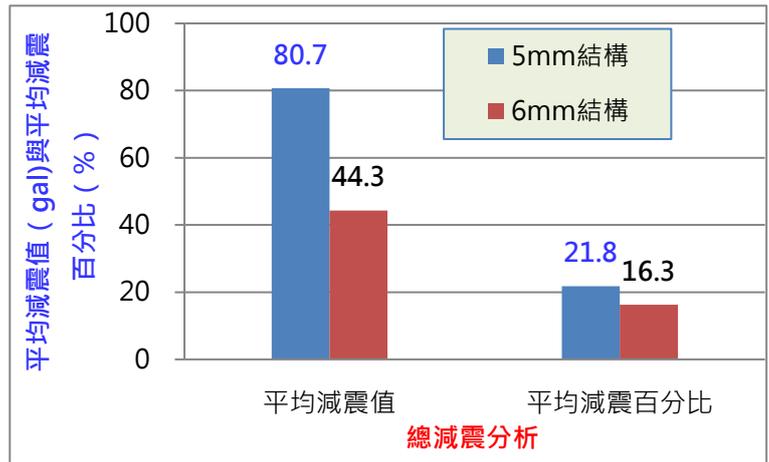


圖12-3不同結構強度的平均減震值與平均減震百分比

陸、討論

一、討論磁性連通阻尼器製作與漏油

我們依據相關研究，磁性連通阻尼器的優點是可利用電壓大小控制阻尼強度，我們製作12組，不同磁粉濃度與粗細磁粉的磁性連通阻尼器，在實驗的過程中，發現阻尼器有漏油問題，經更換其他的油品，漏油的問題都無法解決，探究其原因是油的黏滯性較高會附著在針筒的管壁，針筒活塞運動時，造成管壁磨損，造成漏油現象，只好放棄磁性連通阻尼器。

二、討論連通阻尼器的可行性

- (一)我們將連通阻尼器中的液體改為廚房的泡舒洗碗精，並利用不同濃度的泡舒洗碗精進行實驗。發現：當衝擊力增加時，連通阻尼器的伸長量也會增加，呈正比關係。
- (二)連通阻尼器流體濃度越高時，越不易流動，當受到衝擊力時，其伸長量會越短。我們本以為衝擊力太大時會造成漏液，但實驗過程中卻未發生此情況。
- (三)實驗過程中，發現每支針筒因品質關係，其內壁與活塞壓桿止漏橡膠間的摩擦力皆不同，因此在製作連通阻尼器時，須挑選針筒摩擦力差異較小的**醫用針筒**，以減少實驗誤差。
- (四)雖然連通阻尼器內部的流體為泡舒洗碗精，但是放置3天後，發現其阻尼力會有**稍微增加現象**，進行實驗前要測量阻尼強度，以減少實驗誤差。

三、討論連通阻尼器不同流體濃度的減震效果

- (一)阻尼器流體濃度較低時，總減震百分比較低。阻尼器流體濃度不足時，支撐力不足，**無法完全吸收震動力**，減震效果較差。
- (二)阻尼器當流體濃度超過40%時，阻尼因太硬而柔性不足，因此無法完全吸收震動力，**使剩餘力量轉向Y軸與Z軸**，造成其最大加速度增加；流體濃度20%時，平均減震值與平均減震百分比皆最高，X軸與Y軸的減震效果均最佳。

四、討論研究連通阻尼器與斜撐減震效果的優劣

- (一)連通阻尼器的平均減震百分比14.9%，斜撐的平均減震百分比1.9%，連通阻尼器的

減震效果優於斜撐。

(二) 連通阻尼器因有阻尼，可吸收震動力，使震動加速度減少，因此有較佳的減震效果。

五、討論連通阻尼器不同阻尼強度的減震效果

(一) 連通阻尼器的阻尼強度越強時，平均減震百分比越高，減震效果越佳；阻尼強度1516公克力時的平均減震百分比最高(24.8%)，但當高於1516公克力時則下降。

(二) 當阻尼強度越強時，模型屋結構強度的剛性也越強，部分的震動力因無法完全被阻尼吸收而轉移到Z軸，因此Z軸的減震效果越差。

六、討論連通阻尼器配置不同阻尼方向的減震效果

阻尼反向時，針筒內活塞壓桿有活塞運動，部分震動力被一側阻尼器吸收，剩餘的震動力透過連通管傳到另一側的阻尼器作為支撐力，兩側阻尼器可相互傳遞力量，因此減震效果較佳；阻尼同向時，則完全相反。

七、討論連通阻尼器配置前後方向與左右方向的減震效果

(一) 連通阻尼器配置前後方向的平均減震百分比30.3%；配置左右方向的平均減震百分比13.3%。連通阻尼器配置前後方向時，X軸與Y軸最大加速度、平均加速度的減震效果較佳。

(二) 連通阻尼器配置1F(2面X軸前後)時(如圖7B-1)，因連通阻尼器方向與主震動方向(X軸)平行，使阻尼器發揮最佳阻尼效果，因此減震效果較佳。

(三) 連通阻尼器配置1F(2面Y軸左右)時(如圖7B-2)，因連通阻尼器方向與主震動方向(X軸)垂直，震動力無法被阻尼器有效吸收，因此減震效果較差。



圖 7B-1 阻尼器配置方向與主震動方向平行(減震佳) 圖 7B-2 阻尼器配置方向與主震動方向垂直(減震差)

八、討論連通阻尼器對不同樓層的減震效果

(一) 樓層越高時，平均減震值與平均減震百分比皆越高，呈正比關係。

(二) 樓層越高時，震動加速度越大，連通阻尼器所吸收的震動力也越多，減震效果越佳。

九、討論連通阻尼器配置不同傾斜角度的減震效果

(一) 連通阻尼器配置傾斜角度以30度的平均減震值(96.3gal)與平均減震百分比(32.0%)為最佳；配置傾斜角度大於30度時，傾斜角度越大，平均減震值與平均減震百分比則有明顯下降的趨勢。

(二) 整體而言，連通阻尼器配置傾斜角度越小，減震效果越佳。

十、討論連通阻尼器對不同震動強度的減震效果

(一) 震動強度越強時，X軸、Y軸及Z軸的最大加速度與平均加速度減震百分比越高。

(二) 震動強度越大時，連通阻尼器吸收與傳遞的震動力也越多，減震效果越佳。

十一、討論連通阻尼器對不同震動方向的減震效果

(一) 阻尼器與主震動方向夾角0度時，平均減震百分比最高(28.6%)；平均減震值則以夾角30度時最高(111.4gal)；夾角大於30度時，平均減震值與平均減震百分比則皆有下降的趨勢。

(二) 阻尼器方向與主震動方向(X軸)的夾角越大時，震動力無法被連通阻尼器有效吸

收，因此平均減震百分比與平均減震值越小，減震效果越差。

十二、討論連通阻尼器對不同樓層配重模型屋的減震效果

- (一) 樓層配重越重時，X 軸與 Y 軸最大加速度、平均加速度的減震百分比越高。
- (二) 樓層配重越重時，針筒內活塞壓桿的活塞運動越明顯，兩側阻尼器所吸收與傳遞的震動力越多，因此平均減震百分比與平均減震值越高，減震效果越佳，成正比關係。

十三、討論連通阻尼器配置不同組數的減震效果

- (一) 配置1組連通阻尼器的平均減震百分比27.3%；配置2組時，平均減震百分比37.4%，配置2組比配置1組的平均減震百分比高，減震效果較佳。
- (二) 配置組數越多時，樓層的減震位置越多，因此減震效果越佳。

十四、討論連通阻尼器對不同結構強度建物的減震效果

- (一) 結構強度越強時，X 軸與 Z 軸最大加速度、平均加速度減震效果越小。
- (二) 結構強度越強的建物，因其所能承受的震動力越大，而連通阻尼器可發揮的阻尼效果便越小，平均減震值與平均減震百分比則越低。
- (三) 結構強度越弱的建物，抗震力較差，連通阻尼器可發揮的減震效果空間越大。

十五、討論連通阻尼器與速度型阻尼器的比較

表 B14-1 連通阻尼器與速度型阻尼器比較表

| 阻尼器種類 比較項目 | 連通阻尼器 | 速度型阻尼器 |
|---------------|-------------------------------------|----------------|
| 活塞內流體 | 黏滯性流體 | 黏滯性流體 |
| 減震動作 | 活塞前後運動 | 活塞前後運動 |
| 裝設數量 | 2支1組 | 單支 |
| 減震方式 | 一側阻尼器吸收部分震動力，剩餘震動力透過連通管傳到另一側，形成支撐力 | 阻尼器吸收全部震動力 |
| 阻尼器相連性 | 2支阻尼器，震動力可相互傳遞與串連 | 單支阻尼器運作，力量無相連 |
| 阻尼強度 | 震動力越大時，傳遞的力越大，阻尼強度越強，阻尼強度會因震動力大小而改變 | 流體濃度固定，阻尼強度為定值 |

柒、結論

一、連通阻尼器不同流體濃度的減震效果

- (一) 流體濃度越低時，因阻尼強度不足，吸收震動力越小；阻尼太硬、柔性不足時，無法完全吸收震動力，會將剩餘力量轉向 Y 軸與 Z 軸，使其減震效果變差。
- (二) 連通阻尼器流體濃度20%，並配合建物結構強度，才能達到最佳減震效果。

二、連通阻尼器最佳阻尼強度與配置方式

- (一) 連通阻尼器流體濃度：濃度20%的減震效果最佳。
- (二) 連通阻尼器的阻尼強度：700~1500公克力的減震效果最佳。
- (三) 連通阻尼器同向與反向：阻尼反向時，減震效果較佳。
- (四) 連通阻尼器配置前後方向與左右方向：配置1F（2面 X 軸前後），配置前後方向與主

震動方向平行，能發揮最佳減震效果。

- (五) 連通阻尼器配置傾斜角度：傾斜角度越小，減震效果越佳。傾斜角度以30度的減震效果最佳。
- (六) 連通阻尼器配置組數：配置組數越多，減震效果越佳。
- (七) 連通阻尼器與主震動方向的夾角：以夾角30度的減震效果最佳。

三、不同震動強度與模型屋結構強度的減震效果

- (一) 連通阻尼器對不同樓層配重模型屋的減震效果：樓層配重越重，減震效果越佳。
- (二) 連通阻尼器對不同樓層的減震效果：樓層越高，減震效果越佳。
- (三) 連通阻尼器對不同結構強度建物的減震效果：結構強度越弱，減震效果越佳。
- (四) 連通阻尼器對不同震動強度的減震效果：震動強度越強時，減震效果越佳。

四、連通阻尼器的減震效果

- (一) 最大加速度平均減震百分比32.5%，平均減震值107.6gal。
- (二) 平均加速度平均減震百分比25.0%，平均減震值48.6gal。
- (三) 連通阻尼器的減震效果良好，具有運用價值，可作為製作速度型阻尼器的參考。

捌、參考文獻

- 一、王紫楹、鄭芷庭、張芷軒、劉志煦、王識傑 (2015)。震不震阻了就知道—從阻尼器看地震對鋼骨、大樓的影響。全國科展55屆科展作品。
- 二、邱垂青、黃毓棠 (2005)。抗震大作戰—建築結構耐震研究。全國科展45屆科展作品。
- 三、周文翔 (2017)。新北市政府106年度都市更新實務工作坊整建維護專題班講義。
- 四、徐筱珊、張靖媛、邱鈺婷、黃亮堯、鄧塏頻、張家瑋 (2010)。天搖地動。全國科展50屆科展作品。
- 五、張凱翔、彭偉誠、張怡馨、陳豐益、吳嘉訓 (2004)。房子倒不倒有關係。全國科展44屆科展作品。
- 六、許官平、謝亞璇、洪峻巖 (2012)。探討常見建物斜撐型式之最佳化抗震效應。全國科展52屆科展作品。
- 七、張國儀 (2009)。如何幫大樓抗風防震？淺談台北101大樓阻尼器。2020年6月15日取自 <http://www.ntuce-newsletter.tw/vol.21/101damper-1.html>
- 八、楊至誠、梁智勛 (2019)。「阻」擋地震「尼」我都可以！。全國科展59屆科展作品。
- 九、戴立嘉、徐家齊 (2006)。十震九穩—建築物抗震之研究不同底面形狀的建築物與耐震程度。全國科展46屆科展作品。
- 十、參考網站
 - (一) 國家地震工程研究中心減震器的安裝原則。
[http://www.tcftu.com/news1/\(2016\)CourseAClass4e.pdf](http://www.tcftu.com/news1/(2016)CourseAClass4e.pdf)
 - (二) 國家地震工程研究中心 http://www.ncree.org/safehome/ncr01/pc3_4.htm

【評語】 080504

【優點】

1. 研究主題與減災相關即與生活相關，發想概念、實行有創意，具社會應用可能。
2. 實驗過程完整。
3. 客觀推論實驗結果並量化資料。

【建議】

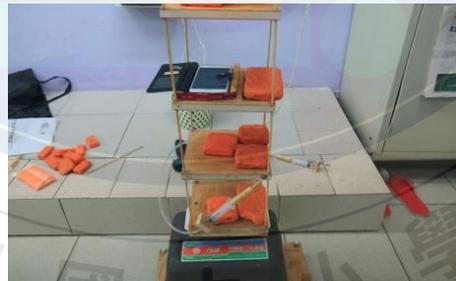
1. 歷屆科展皆有相關研究(有七屆類似題目)，可惜並未說明與之前研究之異同，無法分辨本實驗之創新性與貢獻。例如，全國第47屆國中科展與第55屆國小科展有相似之結論(X型的斜桿拉張作用有抗震能力，以及阻尼器有避震效果等)。
2. 定性與定量統計參數可改善，例如百分比是不可以平均的。
3. 變因的探討需要更加仔細，例如輸入震幅與頻率，及模型共振頻率的考量(模型的材質、大小與高度相關)。
4. 將來可考量尺度比例放大的問題，也可將垂直的加速度加入考量。

作品簡報

中華民國第61屆中小學科學展覽會 作品簡報

組別：國小組 科別：地球科學科

作品名稱：當我們連在一起 - 探討流體連通
阻尼器應用於建築物減震分析



壹、研究動機 (作品說明書P.1)

發現問題：

我們發現針筒狀油壓阻尼器，都是單一裝設，阻尼彼此間的力量無法相互串聯。



斜撐式油壓阻尼器

提出構想：

如果利用連通管將兩支針筒相連，內部裝不同濃度的流體，藉流體濃度控制阻尼強度，並透過兩端的針筒相互來回傳遞力量，以增加減震效果。



兩針筒利用連通管相連作為阻尼器

貳、研究目的 (作品說明書P.1)

- 一、流體濃度對連通阻尼器阻尼強度的影響。
- 二、連通阻尼器不同阻尼強度與配置方式的減震效果。
- 三、連通阻尼器對建物結構強度與震動大小的減震效果。

參、研究設備 (作品說明書P.3 ~ 5)

一、製作斜撐式連通阻尼器



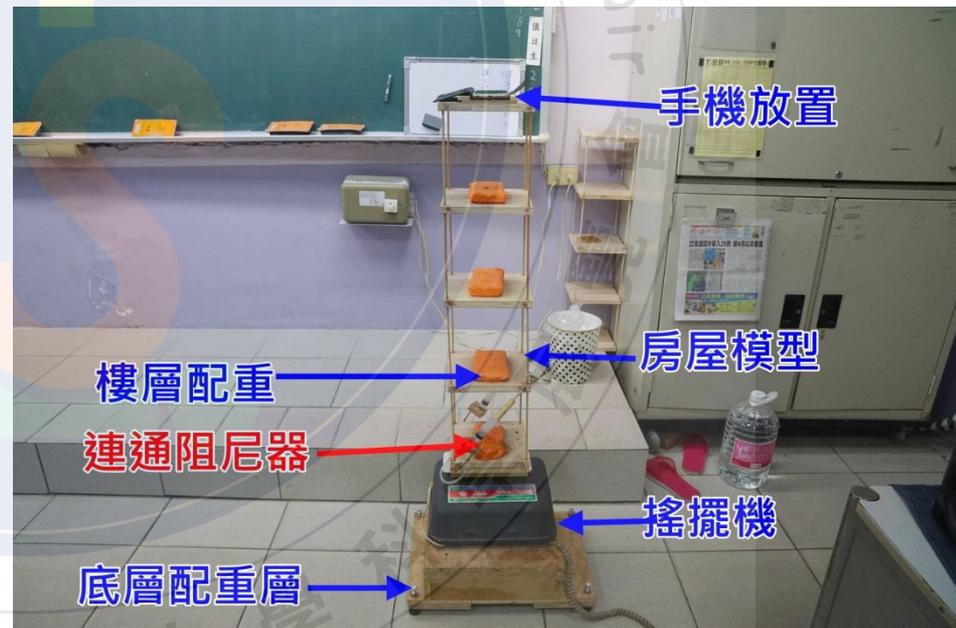
用醫用針筒減少實驗誤差

二、製作模型屋



每層樓板間距20cm，共4層，高81cm，
總重1303gw。

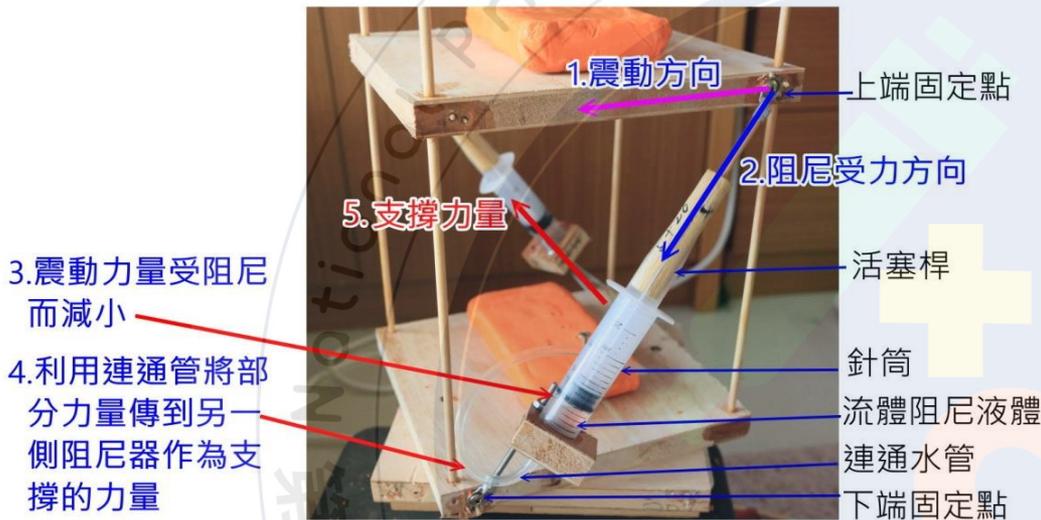
三、自製地震模擬器



將搖擺機改裝成可放置模型的震動器平台，
作為實驗工具。

肆、連通阻尼器減震原理與研究方法

連通阻尼器減震原理 (作品說明書P.6)



連通阻尼器減震原理

- 1.震動力使模型屋震動。
- 2.震動力會受阻尼的阻尼力影響。
- 3.阻尼器會吸收部分力量，使震動力減小。
- 4.透過連通管將剩餘力量傳到另一側的阻尼器，形成支撐力量。
- 5.當震動力持續時，兩側的連通阻尼器不斷相互傳遞力量，在傳遞時阻尼器會吸收部分力量，使震動力減小。

研究方法 (作品說明書P.8)



1.調整震動器水平



2.裝上連通阻尼器



3.樓層配重600gw



4.手機放置在5樓，監測加速度。



5.每次震動30秒，共實驗5次，求其平均值。



6.對照組 (無阻尼)

伍、研究結果與分析 (一)

一、不同流體濃度的減震效果

(作品說明書P.8~10)

操縱變因：流體水溶液濃度(0%、20%、40%、60%、80%、100%)

研究結果

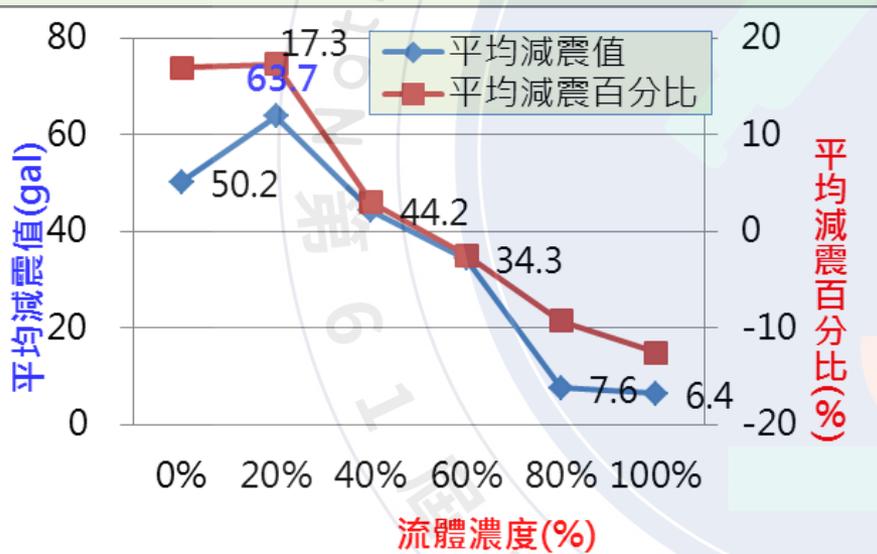


圖1 不同流體濃度的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：濃度20%的減震效果最佳(針筒有活塞運動，兩側阻尼器可相互傳遞力量)。

二、比較連通阻尼器與斜撐的減震效果

(作品說明書P.10~11)

操縱變因：
連通阻尼器
與斜撐



連通阻尼器



斜撐

研究結果



圖2 連通阻尼器與斜撐的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：連通阻尼器的減震效果優於斜撐很多。

伍、研究結果與分析 (二)

三、不同阻尼強度的減震效果 (作品說明書P.11~13)

操縱變因：阻尼強度
(570、970、1516、2015公克力)

研究結果

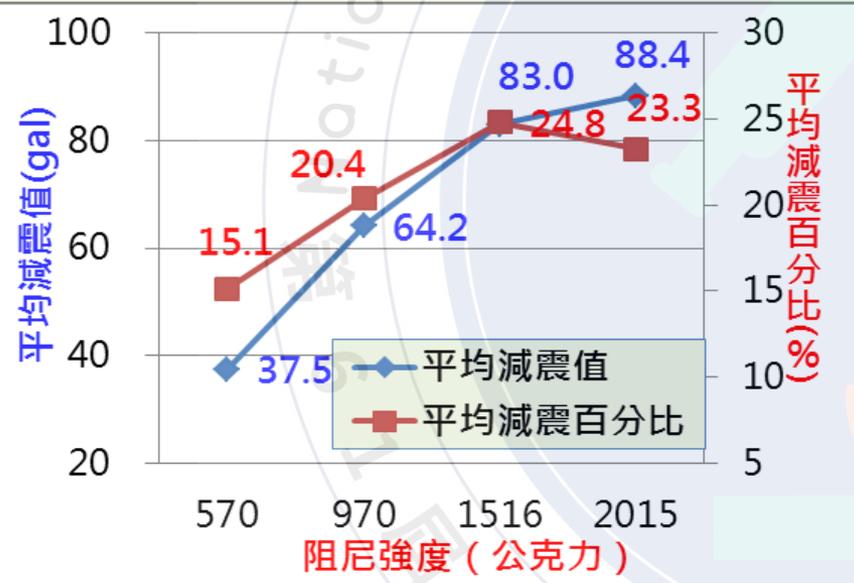


圖3 不同阻尼強度的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：阻尼強度越強時，X軸減震效果越佳，但Y軸與Z軸的減震效果卻變差。

四、阻尼配置不同方向的減震效果 (作品說明書P.13~14)

操縱變因：
阻尼配置方向
(2支針筒阻尼
同向或反向)。



阻尼同向

阻尼反向

研究結果

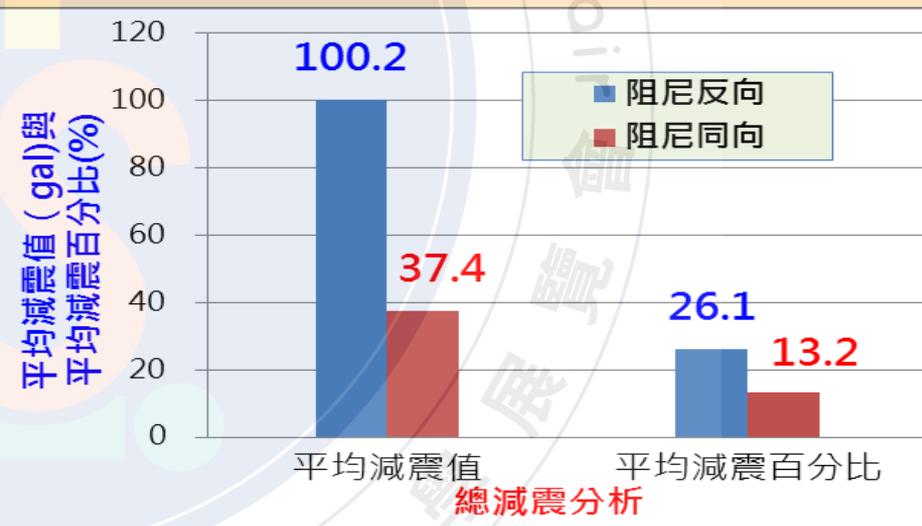


圖4 阻尼配置方向的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：阻尼反向時，兩側阻尼器可相互傳遞力量，減震效果較佳。

伍、研究結果與分析 (三)

五、阻尼配置不同位置的減震效果 (作品說明書P.14~16)

操縱變因：
阻尼配置位置
(在模型屋的
前後或左右)



研究結果

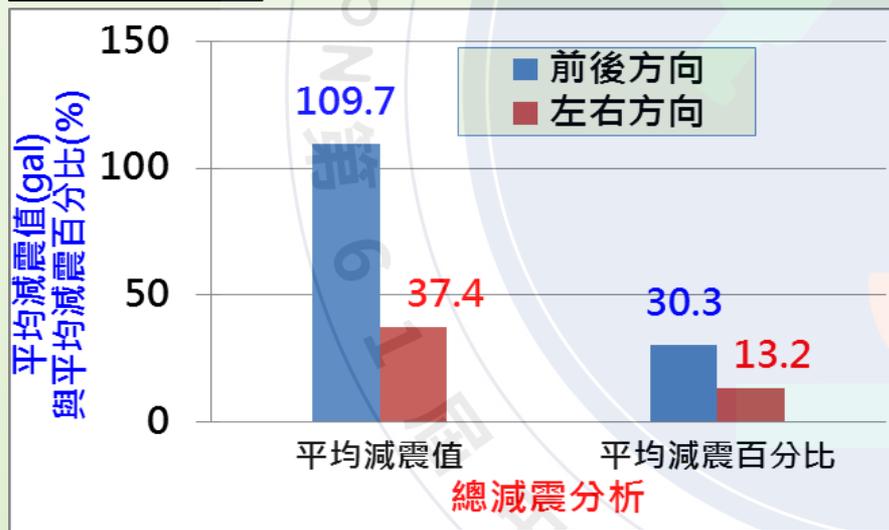


圖5 阻尼配置位置的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：阻尼配置前後位置時，兩側阻尼器可相互傳遞力量，減震效果較佳。

六、連通阻尼器對不同樓層的減震效果 (作品說明書P.16~17)

操縱變因：
手機放置樓層
(2樓、3樓、
4樓、5樓)。



研究結果



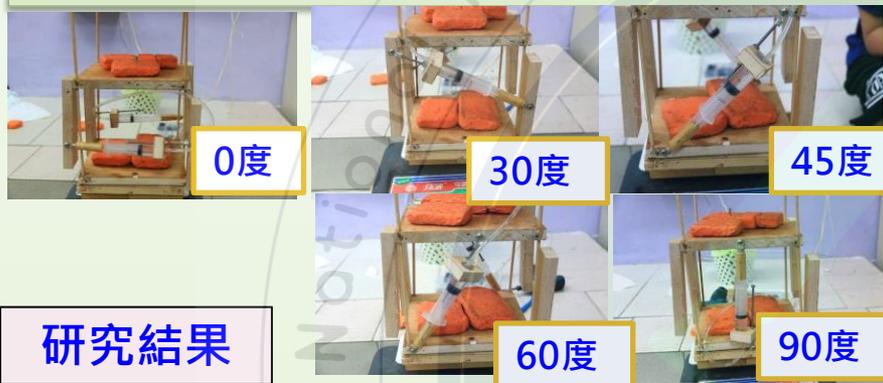
圖6 不同樓層的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：樓層越高時，減震效果越佳。

伍、研究結果與分析 (四)

七、阻尼配置不同傾斜角度的減震效果 (作品說明書P.17~19)

操縱變因：配置傾斜角度



研究結果



圖7 配置不同傾斜角度的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：阻尼配置傾斜角度30度時，減震效果最佳。

八、連通阻尼器對不同震動強度的減震效果 (作品說明書P.19~20)

操縱變因：X軸震動強度
(747、786、837、903 gal)。

研究結果

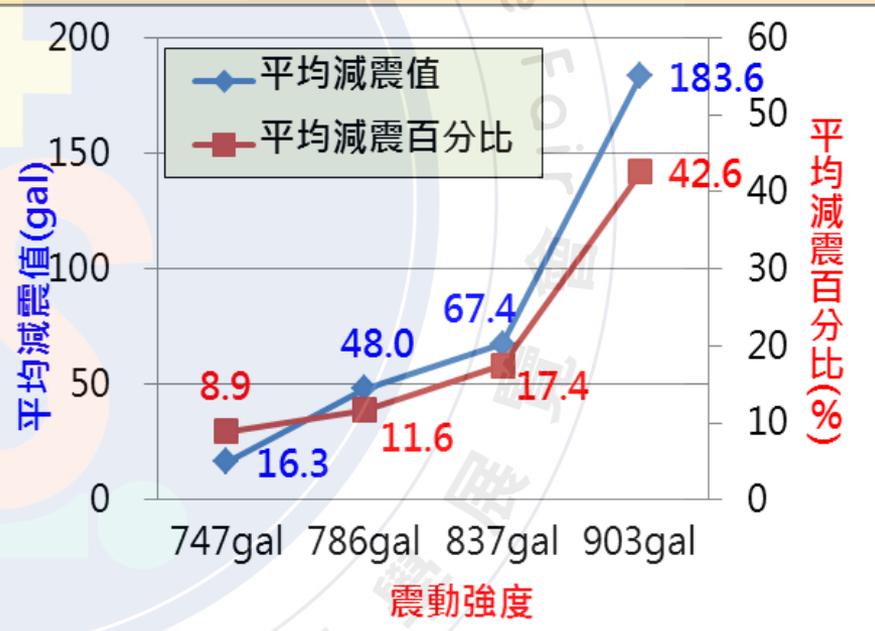


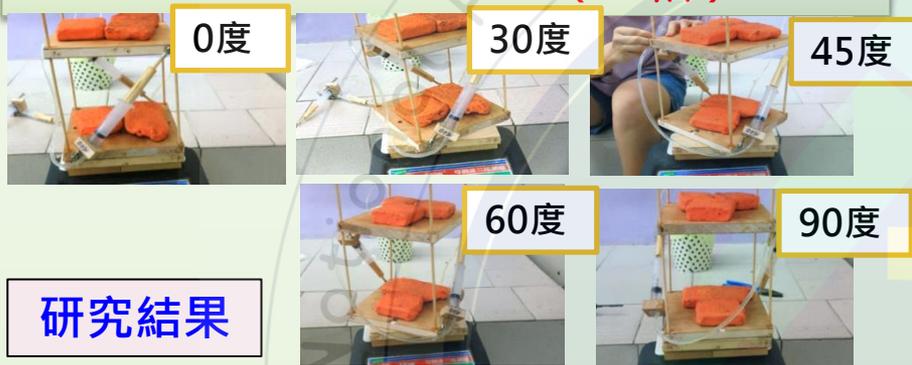
圖8 不同震動強度的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：震動強度越強時，連通阻尼器的減震效果越佳。

伍、研究結果與分析 (五)

九、不同震動方向的減震效果 (作品說明書P.21~22)

操縱變因：與主震動方向 (X軸) 夾角



研究結果

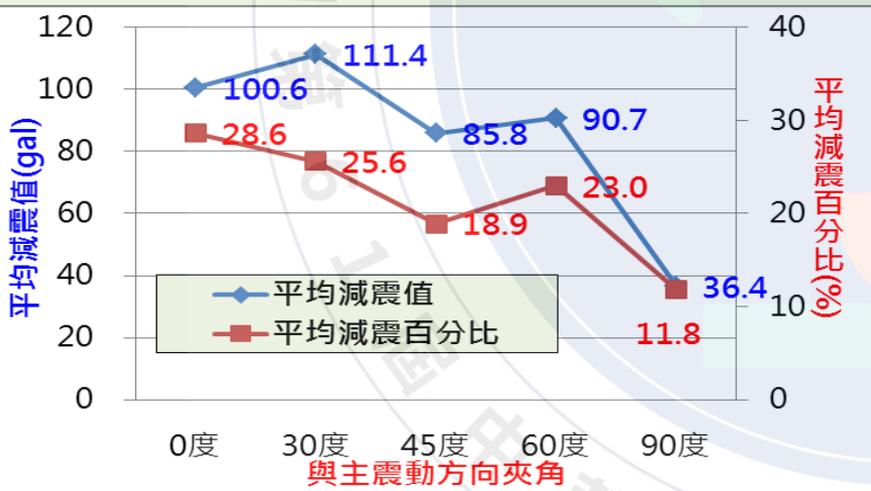


圖9 與主震動方向夾角的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：連通阻尼器與主震動方向夾角越小時，減震效果越佳。

十、不同樓層配重的減震效果 (作品說明書P.23~24)

操縱變因：模型屋樓層配重 (300、400、500、600、700 gw)。

研究結果

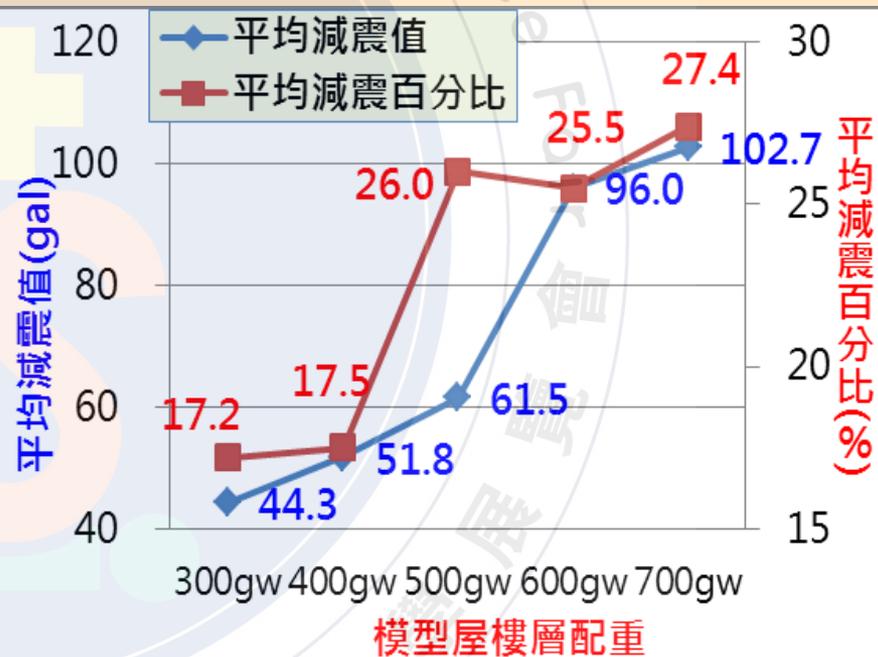


圖10 模型屋樓層配重的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：模型屋樓層配重越重時，減震效果越佳。

伍、研究結果與分析 (六)

十一、配置不同組數的減震效果

(作品說明書P.24~25)

操縱變因：
連通阻尼器
配置組數
(1組或2組)



配置1組



配置2組

研究結果



圖11 連通阻尼器配置組數的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：連通阻尼器配置組數越多時，減震效果越佳。

十二、不同結構強度建物的減震效果

(作品說明書P.25~27)

操縱變因：
建物結構強度
(屋柱直徑：
6mm或5mm)



屋柱直徑6mm



屋柱直徑5mm

研究結果

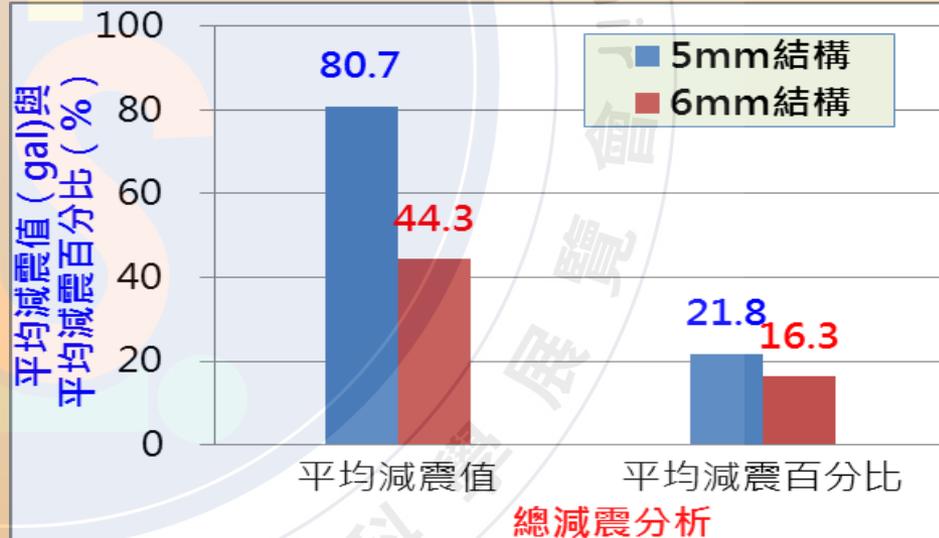


圖12 不同結構強度的平均減震值與平均減震百分比

研究分析：建物結構強度越弱時，減震效果越佳。

陸、結論 (作品說明書P.30)

- 一、連通阻尼器兩側所吸收的震動力可相互傳遞與串聯，震動力越大時，所傳遞的力量越大，減震效果越佳。
- 二、阻尼強度會隨震動力的大小而改變。
- 三、最大加速度的平均減震百分比32.5%。
- 四、平均加速度的平均減震百分比25.0%。

柒、後續研究

- 一、研究不同樓層連通阻尼器的連通方式。
- 二、研究多組連通阻尼器的減震效果。
- 三、研究連通阻尼器各種連通方向的減震效果。
- 四、研究連通阻尼器運用在實際建物的可能性與商業價值。

捌、參考資料

- 一、王紫楹、鄭芷庭、張芷軒、劉志煦、王識傑 (2015)。震不震阻了就知道—從阻尼器看地震對鋼骨、大樓的影響。全國科展55屆科展作品。
- 二、邱垂青、黃毓棠 (2005)。抗震大作戰—建築結構耐震研究。全國科展45屆科展作品。
- 三、周文翔 (2017)。新北市政府106年度都市更新實務工作坊整建維護專題班講義。
- 四、徐筱珊、張靖媛、邱鈺婷、黃亮堯、鄧塏頻、張家瑋 (2010)。天搖地動。全國科展50屆科展作品。
- 五、張凱翔、彭偉誠、張怡馨、陳豐益、吳嘉訓 (2004)。房子倒不倒有關係。全國科展44屆科展作品。
- 六、許官平、謝亞璇、洪峻歲 (2012)。探討常見建物斜撐型式之最佳化抗震效應。全國科展52屆科展作品。
- 七、張國儀 (2009)。如何幫大樓抗風防震？淺談台北101大樓阻尼器。2020年6月15日。取自 <http://www.ntuce-newsletter.tw/vol.21/101damper-1.html>
- 八、楊至誠、梁智勛 (2019)。「阻」擋地震「尼」我都可以!。全國科展59屆科展作品。
- 九、戴立嘉、徐家齊 (2006)。十震九穩 - 建築物抗震之研究不同底面形狀的建築物與耐震程度。全國科展46屆科展作品。
- 十、參考網站
 - (一) 國家地震工程研究中心減震器的安裝原則。
[http://www.tcftu.com/news1/\(2016\)CourseAClass4e.pdf](http://www.tcftu.com/news1/(2016)CourseAClass4e.pdf)
 - (二) 國家地震工程研究中心http://www.ncree.org/safehome/ncr01/pc3_4.htm