

電磁阻尼用於建築物減振之可行性探討

1 蕭人傑 2 黃天枝 3 李禎綸 4 黃瑞琪 5 陳品仔

摘要

地震是長久以來未曾停止過的自然災害，目前只有儘可能的增強建築物的強度與對地震之抵抗能力，以換取更多的逃生時間，另外風力對高層建築物所造成的搖晃影響也非常明顯。因此，我們利用電磁原理產生的磁力做為抑制建築物搖晃的阻力，並設計了三種型式透過實驗模擬，探討不同類型的電磁阻尼減振型式以及不同的裝設位置（單一樓層或分散樓層）、作動方式（連續供電或間歇供電）對減振效果的影響。從實驗結果顯示：電磁式阻尼減振器設計在較低搖晃等級（2000mm/min ~ 5000mm/min）中，可有效降低建築物搖晃的程度，減振效率最高可達到 50%。

關鍵詞：電磁阻尼、減振

-
1. 蕭人傑 / 高雄市立高雄高工建築科教師 / 高雄第一科技大學營建工程研究所碩士
 2. 黃天枝 / 高雄市立高雄高工建築科教師 / 台灣師範大學工業教育研究所碩士
 3. 李禎綸 / 高雄市立高雄高工建築科學生
 4. 黃瑞琪 / 高雄市立高雄高工建築科學生
 5. 陳品仔 / 高雄市立高雄高工建築科學生

壹、前言

地震是長久以來未曾停止過的自然災害，近幾年甚至在許多地方造成大量生命與財產的損失，再加上超高層建築物越來越多，風力對建築物造成的影響益發明顯，從工程概論以及工程力學的上課內容中清楚的了解，建築物並非只需承受結構體本身的垂直重力，還必須考慮橫向的作用力，這個來自橫向的作用力可大致區分為「地震」與「風力」兩種。因此，建築物除須面對嚴峻的地震考驗外也必須考量風力對高層建築物所造成的影響，風力的影響雖不至於會像大地震一樣造成毀滅性的破壞，但是無時無刻不斷吹拂的風卻讓建築物處於不斷搖晃的情況，對大樓的使用者來說則舒適性有待改善。

高層大樓的振動來自於地震與強風，因此針對高層大樓的抗風(震)設計減振方案，已有很多案例可供參考，其中國內最著名的例子就屬台北 101 大樓重達 800 噸的懸浮阻尼球，透過擺動吸收地震或風力所造成的振動，但體積太過龐大造價也十分昂貴，並無法適用於大多數建築物，因此我們希望參考其他阻尼減振器的型式並結合電磁設計，透過改變線圈圈數以及輸入電壓得到不同的磁力(吸力)大小，並裝設在主要的樑柱結構上，用以吸收、抵銷地震或風力對建築物產生的變形能量，降低建築物的搖晃程度。

貳、研究目的

電磁式阻尼減振器可以透過電流供給方式，以及改變線圈數進而得到不同的吸力(阻力)大小，並藉由不同的型式設計，裝設位置找出有效減少建築物搖晃程度的最佳方式。因此，本次科展我們欲達到的目的如下：

- 一、減振器結合電磁阻尼設計型式探討。
- 二、實驗探討不同型式減振器、裝設位置以及在不同的搖晃程度下達到的減振效率。

參、研究方法與過程

一、研究方法

透過文獻調查，我們可以了解到地震的搖晃方式，會因斷層的動作不同如滑動、錯動、正斷層、逆斷層平移斷層.....等等，形成左右搖晃或上下跳動。造成地震災害的主要原因是水平震波所引起的左右晃動，(吳逸民，98)。因此我們透過學校內的銑床機利用其左右移動的作動方式，和可依需求調整左右移動的速度與頻率特性，來模擬地震或是風力對建築物所造成的晃動。

根據 F.Neuman 研究指出速度與損壞程度直接相關，而 Housner 於 1952 年提出建議

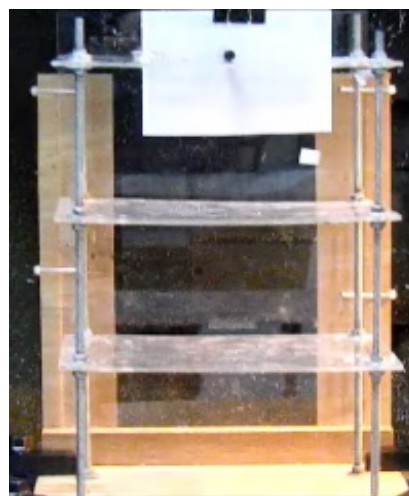
取 0.1 到 2.5 秒間的譜速度與橫軸所涵蓋的範圍來表示地震波的危害度，稱為波譜強度 (SI)。當 $SI > 50 \text{ cm/sec}$ 時，相當於 JMA (日本震度分級) 的 V 級強震，損壞發生； $SI > 20 \text{ cm/sec}$ 時接近 IV 級強震上限；而 $SI < 10 \text{ cm/sec}$ 時建築物無損壞。因此在進行科展實驗時，將搖晃程度等級設定分成 2000mm/min ($SI \approx 3.3$)、3000mm/min ($SI = 5$)、4000mm/min ($SI \approx 6.7$)、5000mm/min ($SI \approx 8.3$)、12000mm/min ($SI = 20$)、24000mm/min ($SI = 40$)，等六個等級，相對於地震震度等級約是 1~5 級的範圍，實驗時透過同步記錄以及錄影的方式，觀察減振器對建築物的減振效果，並計算減振效率。

本科展研究過程主要分成兩個部分：

- (一) 製作實驗模型，實驗模型分成建築結構模型與電磁式阻尼減振器模型，前者以比例 1/20，高度為三層樓之矩形建築物，如圖三。模型以圓鐵棒、木材與壓克力等材料製作，其中為了方便觀察，模型並無設置外牆，模型後方設置一立板與模型相隔適當距離，在進行搖晃試驗時，先行在立板上貼附一記錄紙並以 1mm 間距的黑色線條垂直分割，實驗時在建築模型上固定位置架上簽字筆與記錄紙微微接觸，實驗進行時便能在紙上留下記錄，透過比較就能得知減振效果。

表一、模型尺寸表

| | | | |
|-----|--------|----|---------|
| 板長 | 30 cm | 板厚 | 0.5 cm |
| 柱直徑 | 0.7 cm | 總高 | 44.5cm |
| 板寬 | 21 cm | 柱高 | 47.5 cm |



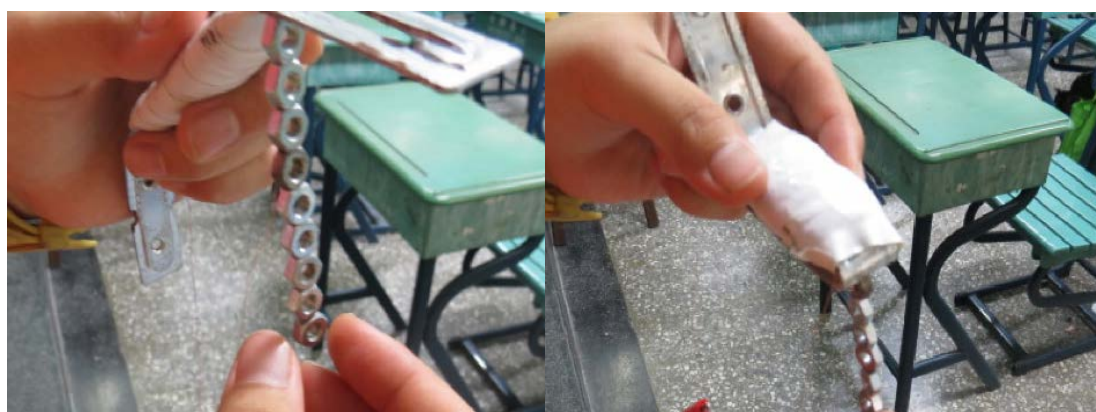
圖一、模型成品圖

另外電磁式阻尼減振器模型以 1mm 的鐵片與漆包線等材料製作，首先將鐵片裁剪成預先設計的型式與大小，先在適當位置纏繞膠帶，頭尾各留 5 公分，作為通電後產生磁力作動的部分，接下來在膠帶範圍內開始纏繞線圈 (2000 圈)，如圖四。並通電測試其吸力大小，吸力大小以重一克的小螺帽來測試，在固定電壓 (電壓 12v) 下吸取多少螺帽，即可換算得知具備多少吸力，如圖五。當建築物搖晃時電磁吸力即變成降低建築

物搖晃振動的阻力。



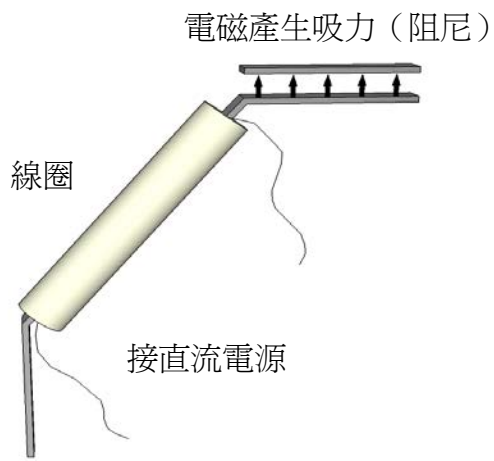
圖二、電磁減振器製作過程圖



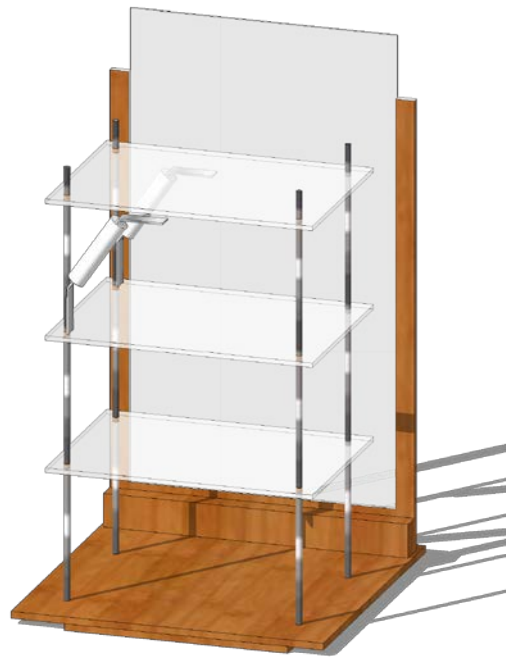
圖三、吸力測試圖

本次實驗因設備限制故只設定單一吸力做為減振器的阻尼值，實驗也只考慮水平作用力的影響，但透過改變電源供電方式產生連續阻尼和間歇阻尼(頻率為每秒通電一次)作動模式，別測試其減振效能。以下為根據現有型式改良並結合電磁阻尼設計而成的電磁式阻尼減振器，共有三種型式設計，分別說明如下。

1. 型式一(一般型): 一般型減振器的構想來自「膝型斜撐」，雖然膝型斜撐的材料用量少，卻可以達到不錯的減振效果。圖五為減振器模型安裝位置圖。

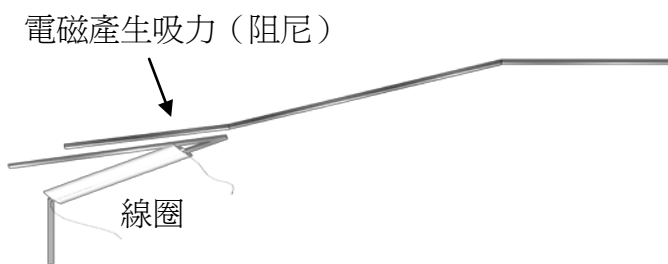


圖四、一般型減振器設計圖

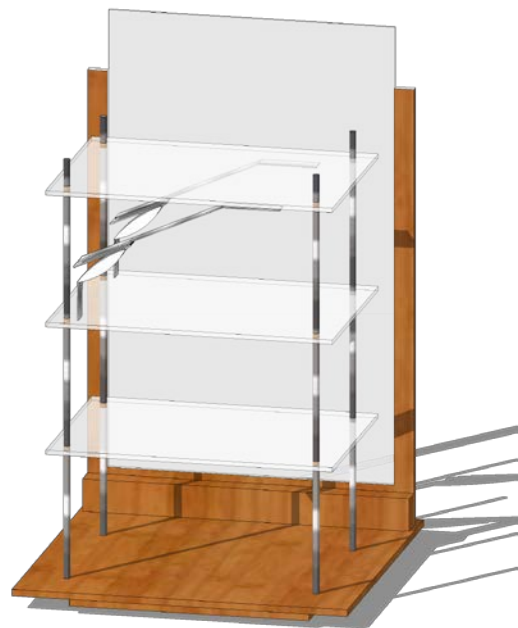


圖五、一般型減振器安裝圖

2. 連接形減震器的架構則來自「單斜撐」，單斜撐可以把矩形區塊區分成兩個三角形，形成最簡單也最堅固的桁架結構。

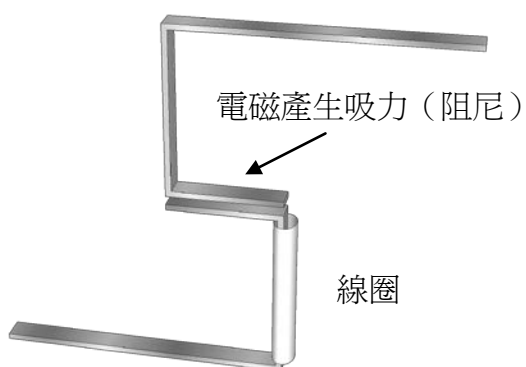


圖六、連接型減振器設計圖



圖七、連接型減振器安裝圖

3. 壁型減振器的功能等同於第三根柱子，但成本比實際做一根柱子還要低。因此我們決定以這種形式來設計第三種減振器。



圖八、壁型減振器設計圖



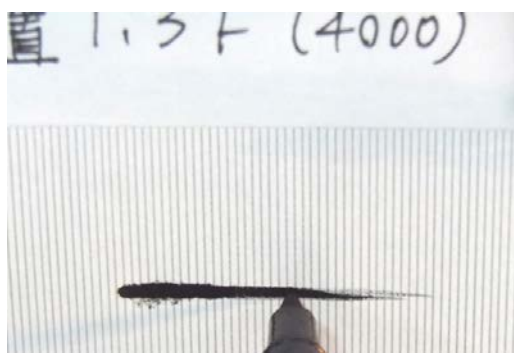
圖九、壁型減振器安裝圖

（二）量測方式及實驗過程

1. 量測方式

利用銑床機台模擬建築物受到地震或強風造成搖晃的情形，並透過裝設在模型上的水性軟筆，在實驗進行時隨建築物同步搖晃，同時在後方記錄紙上留下晃動的軌跡，如圖十二，再將減振器啟動前後量測得到的數據換算成減振率，如下式。

$$\langle \text{減振率} = (\text{不通電距離} - \text{通電距離}) / \text{不通電距離} \times 100\% \rangle$$



圖十、實驗紀錄圖

2. 實驗過程

先於建築模型各層樓板上標記減振器擺放位置，按照實驗進行順序安裝減振器，如圖十三以及圖十四，設定參數後開始進行實驗，搖晃等級共設定 6 個等級，每個搖晃等級實驗時間 30 秒，實驗全時段錄影紀錄，實驗結果以線條 1mm 間隔的圖紙紀錄，並量測搖晃的幅度範圍，如圖十六。



圖十一、減振器安裝圖



圖十二、實驗模型安裝圖



圖十三、銑床控制介面圖



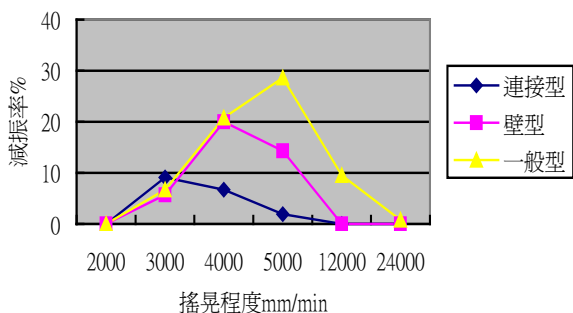
圖十四、振動實驗紀錄圖

肆、研究結果與討論

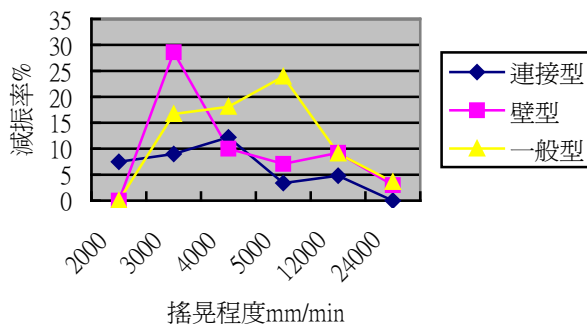
以下針對實驗數據加以分析比較：

一、三種型式減振器連續供電下之減振效率比較（安裝在單一樓層）

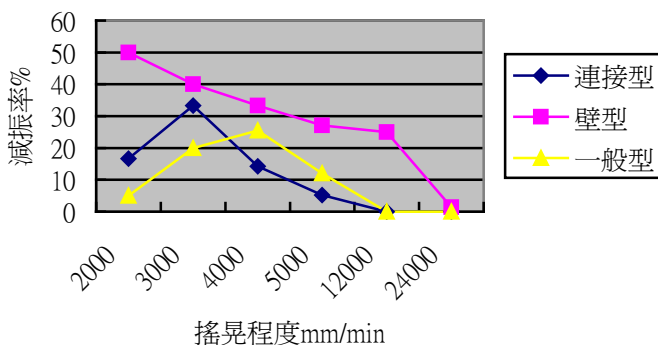
由圖三十五~圖三十七分別在各樓層的實驗結果比較顯示，減振器作動方式為連續供電，安裝在三樓的減振效率明顯比其他樓層來的好，如圖三十七。三種型式當中又以壁型減振器效率最高，減振效率達到 50%，而其餘兩個樓層則以一般型減振器減振效率最高，其次是壁型減振器，減振效率最差者為連接型減振器，從實驗結果顯示在搖晃程度 2000mm/min 至 5000mm/min 這個範圍減振效率較為明顯。



圖一十五、不同減振器之減振率比較圖
(1F, 連續供電)



圖一十六、不同減振器之減振率比較圖
(2F, 連續供電)

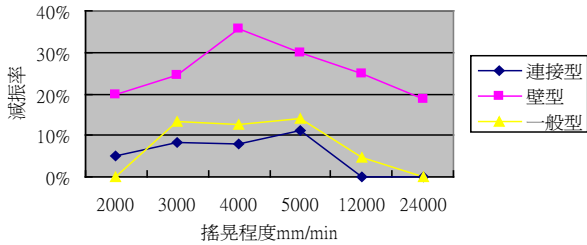


圖一十七、不同減振器之減振率比較圖
(3F, 連續供電)

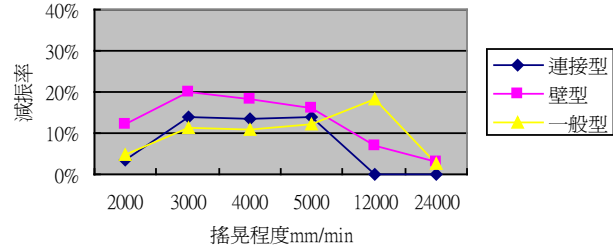
二、三種型式減振器連續供電之減振效率比較（安裝在兩個樓層）

由圖三十八~圖四十分別在各兩個樓層的實驗結果比較顯示，減振器作動方式為連續供電，安裝在 1、3 樓的減振效率明顯比其他樓層來的好，如圖四十。三種型式當中又以壁型減振器效率最高，減振效率接近 30%，而其餘兩個樓層仍舊以壁型減振器減振

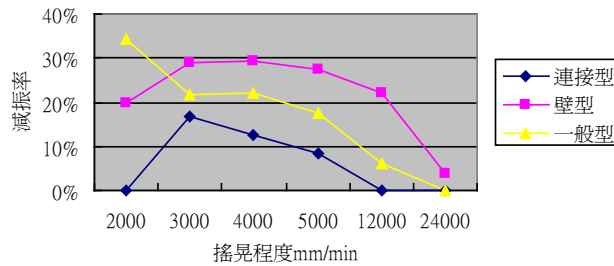
效率最高，尤其安裝在 1、2 樓時減振效率與其他型式有明顯落差，減振效率差者為連接型減振器，從實驗結果顯示在搖晃程度 2000mm/min 至 5000mm/min 這個範圍減振效果較為明顯，但減振效果比起安裝在單一樓層較為平均，沒有太大的變化。



圖一十八、不同減振器之減振率比較圖
(1、2F, 連續供電)



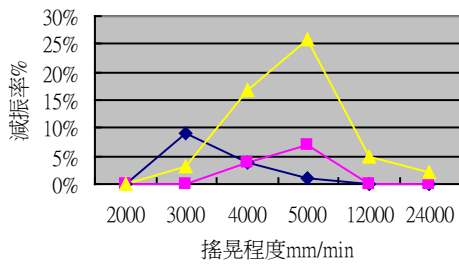
圖一十九、不同減振器之減振率比較圖
(2、3F, 連續供電)



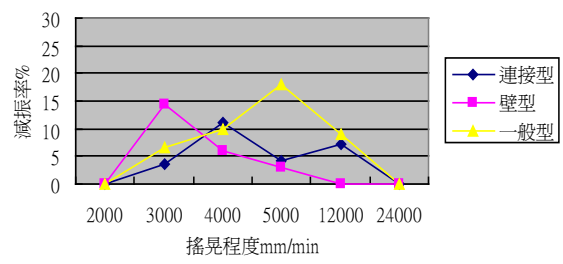
圖二十、不同減振器之減振率比較圖
(1、3F, 連續供電)

三、三種型式減振器間歇供電之減振效率比較（安裝在單一樓層）

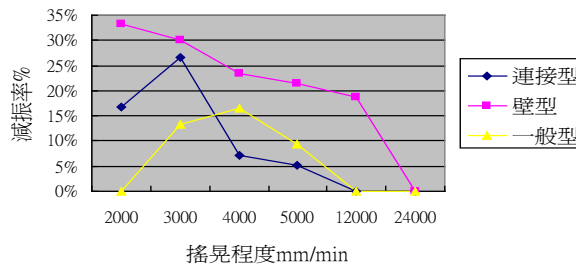
由圖四十一~圖四十三分別在各單一樓層的實驗結果比較顯示，減振器作動方式為間歇供電，安裝在 3 樓的減振效率明顯比其他樓層來的好，如圖四十三。三種型式當中又以壁型減振器效率最高，減振效率接近 35%，而其餘兩個樓層則以一般型減振器減振效率最明顯，尤其安裝在 1 樓時減振效率與其他型式有明顯落差，從實驗結果顯示在搖晃程度 3000mm/min 至 5000mm/min 這個範圍減振效果較為明顯，連續供電的減振效果比起間歇供電要來的明顯。



圖二十一、不同減振器之減振率比較圖
(1F, 間歇供電)



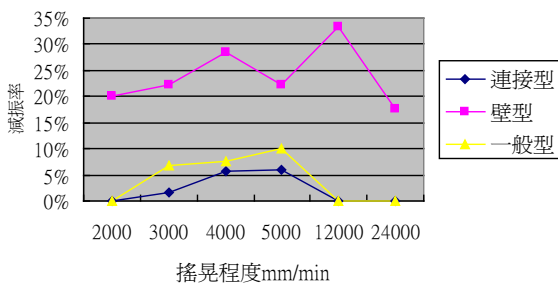
圖二十二、不同減振器之減振率比較圖
(2F, 間歇供電)



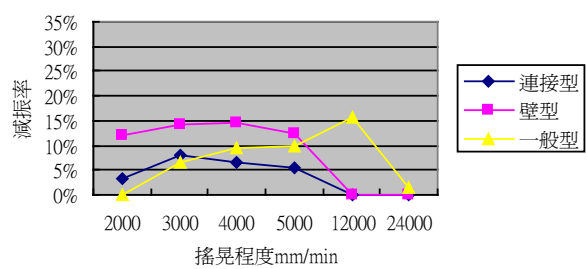
圖二十三、不同減振器之減振率比較圖
(3F, 間歇供電)

四、三種型式減振器間歇供電之減振效率比較 (安裝在兩個樓層)

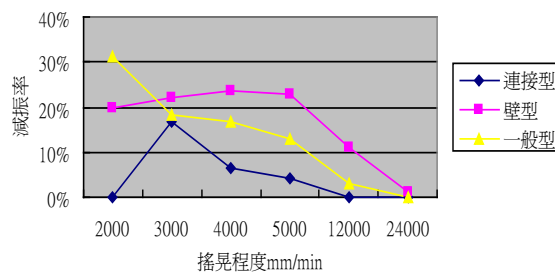
由圖四十四~圖四十六分別在各兩個樓層的實驗結果比較顯示，減振器作動方式為間歇供電，安裝在 1、3 樓的減振效率明顯比其他樓層來的好，如圖四十六。三種型式當中又以壁型減振器效率最好，減振效率在四個振動等級都達到 20% 以上，而其餘兩個樓層仍舊以壁型減振器減振效率最高，尤其安裝在 1、2 樓時減振效率與其他型式有明顯落差，減振效率差者為連接型減振器，從實驗結果顯示在搖晃程度 2000mm/min 至 5000mm/min 這個範圍減振效果較為明顯，但減振效果比起安裝在單一樓層有更為明顯的效果。



圖二十四、不同減振器之減振率比較圖
（1、2F，間歇供電）



圖二十五、不同減振器之減振率比較圖
（2、3F，間歇供電）



圖二十六、不同減振器之減振率比較圖
（1、3F，間歇供電）

五、綜合以上實驗結果數據分析比較，我們針對幾個問題進行更深入的探討：

- 1、在六個設定的振動等級中搖晃程度超過 12000 mm/min 以上時，減振效率皆趨近於 0，也就是說在最高搖晃等級是沒有減振效果的，探究其可能的原因應是，在最高等級的搖晃程度透過波譜強度（SI）對照已相當於 5 級的大地震，而減振器的吸力（阻尼）值固定，作用力與阻力相差過大，因而減振效果有限。
- 2、電磁式減震器作動方式分為連續供電與間歇供電兩種，從實驗結果得知連續供電的減震效率大部分皆比間歇供電來的高，其可能的原因為間歇供電的作動頻率無法配合建築物的搖晃週期，再加上頻率固定（1 次/s）且不夠密集，有可能導致減振效率降低的結果。
- 3、在部分振動等級的減振效率有落差不一致的情況，其可能產生的原因有：（1）振動實驗機為銑床機，用途為機械加工用，搖晃等級的設定是改變單位時間內往復移動的距離來區分，參數設定後與機台動作會有些微程度的落差。（2）建築模型及減振器模型在多次實驗後，會產生金屬疲勞或者是較為鬆脫的情況，皆有可能產生實驗誤差。

伍、結論

經由「電磁式阻尼減振器」實驗數據的分析與討論，可以清楚的透過實驗觀察到模擬建築物受到風力或地震導致搖晃振動的情況，但是受限於自製的模型無法精確的測量出形變量及阻力大小，因此現階段實驗我們先以改變減振器設計型與作動方式、安裝位置來觀察是否具有減振的效果。本科展研究歸納之結論如下：

- 一、結合電磁式阻尼設計的減振器確實可行。
- 二、實驗結果顯示，減振器在較低搖晃等級（2000mm/min ~ 5000mm/min），有顯著的減振效果。
- 三、實驗結果顯示，三種型式減振器以壁型減振效率最高，其次是一般型，連接型減震效果較差。
- 四、實驗結果顯示，減振器安裝位置分散比集中在單一樓層具有較顯著的減振效果，其中又以分散在 1、3 樓層減振效率最好。
- 五、實驗結果顯示，連續供電的減振器作動方式比間歇供電的減振效果來的明顯。

陸、參考文獻

- 吳主和（2007）。工程力學 I。台南市：復文書局。
- 吳主和（2008）。工程力學 II。台南市：復文書局。
- 姚昭智（2000）。建築設備耐震規範條文與解說之研訂。臺北市：內政部建築研究所。
- 建築工程概論（2000）。建築工程概論。臺北市：東大圖書股份有限公司。

雄工學報：第十一輯／謝麗珠編輯

--高雄市：高雄市立高雄高級工業職業學校，

民 102.06

面： 公分，--

ISBN 978-986-03-7299-1 (平裝)

1. 期刊

051

102012751

雄工學報 第十一輯

出版者：高雄市立高雄高級工業職業學校

發行人：吳叁鏡

編輯：謝麗珠

封面設計：新裕豐文化事業有限公司

學校地址：高雄市三民區建工路四一九號

電話：(07)3815365~70；3815078~9

傳真：(07)3851752

網址：www.ksvs.kh.edu.tw

印刷：新裕豐文化事業有限公司

地址：高雄市新興區林森一路 207 號

電話：(07)2352468

出版日期：中華民國 102 年 6 月 10 日

版權所有 · 請勿翻印