

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 地球科學科

第一名

080510

震不震「阻」了就知道

—從阻尼器看地震對鋼骨大樓的影響

學校名稱：臺北市中山區濱江國民小學

| | |
|---|------------------|
| 作者： 小六 王紫楹 小六 鄭芷庭 小六 張芷軒 小六 劉志煦 小六 王識傑 | 指導老師： 江宗誠 |
|---|------------------|

關鍵詞：地震、鋼骨大樓、阻尼器

得獎感言

那一刻，成功，只要有心，不是不可能

那一刻，成功，只要有心，不是不可能！頒獎典禮頒到了地球科學科時，我們的心跳加快，唸完了第三跟第二名後心跳又更快了，心裡想著我們會是第一名嗎？結果主持人說：「080510」，當下跳了起來開心極了。因為一年多的努力獲得了肯定，我們成功了，上台頒獎時享受著觀眾帶來的掌聲，下台後與老師擊掌大聲歡呼。成功是為了開起未來難題的鑰匙；未來失敗了，想想第一次如何成功，所以心很重要。

原先，我們並不是製作阻尼器，是因為看過一些關於科學的影片，內容提到了平衡，慢慢延伸到最後才開始研究地震。當實驗時只要有一個控制變因沒控制好，相關連結到的其他實驗都得重新來過，尤其是我們的實驗中的鋼骨大樓這種實驗器材實驗起來相當複雜，在震動時一方面要關心大樓是否夠牢固不會倒塌，另一方面還要細心觀察大樓的搖晃模式。

製作阻尼器也是一個大難關，我們要先構想出自己的阻尼器要運用什麼原理來製作，從第一代開始發現效果不好又重新製作了第二代接著反覆的修正改善才設計出第三代阻尼器。數據的整理也弄得我們眼花撩亂，因為一開始從手機接到電腦上的是文字檔，還要再經過一些步驟轉成 Excel 檔，再用 Excel 檔畫出長條圖及折線圖。

參加科展真的很累很辛苦，在其他同學都可以下課休息時我們都要反覆的實驗觀察研究等。但胡適說：「要怎麼收穫，先那麼栽」，要有付出才会有收穫，在我們相處的這一年多下來除了得到這份榮耀外，還得到了無形的新知識。實驗時團隊合作非常重要，不能只顧著自主意見也要多聽聽其他組員的說法，再由全組討論後找出最佳的方案。在一個團隊中每一個人都占有非常重要的角色，缺少一人團隊就失去的一隻腳，這也是參加科展除了獲取科學新知外，學到的另一個重要的道理。

第一天進到會場以前，還很期待接下來會發生甚麼事情，又會遇到怎樣的對手，但進了會場後從未放下緊張，迎面而來各個不一樣的評審，提問到不同的問題，報告後才化解了緊張，也增加了一點點的自信。到了第二天，真正激烈的競爭才開始，比賽時的我們，只能說全力以赴，一切的努力都化為成果，不管最後結果怎麼樣，我們在這一比的比賽中盡了全力，也學習到許多新的科學知識。

經過這次的科展研究，我們了解到了什麼叫做一分耕耘，一分收穫，像是我們一開始覺得做科展很簡單，但是到了中途，發現一點也不簡單，在過程中我們遇到了重重阻礙，像是要如何模擬地震、阻尼器的形狀等等，我們搜尋了許多知識，探索了許多研究，找到解決這些難題的方法，頓時感覺非常的開心。在實驗的中途都會有人想要放棄，但是在其他同學的

支持下，沒有放棄，走了下去，也感謝我們的指導老師：江宗誠老師的辛勤指導，讓我們得到第 55 屆全國科展地球科學第一名。



比賽一天天的接近，參加如此盛大的比賽，賽前我們天天加緊練習。



在江老師的帶領下完成全國科學展覽會場布置，並反覆做賽前練習。



哪有一夜成名；只有百鍊成鋼，一年多的努力終於獲得第一名肯定。

摘要

我們的實驗主要是研究在地震時，什麼方式可以使建築物較穩固不容易倒塌，使用頂點珠及造形棒來模擬各種形狀的鋼骨大樓，設定的鋼骨大樓形狀有三角形、正方形、長方形、正五邊形、正六邊形、L形、T形及H形等。結果顯示大部分鋼骨大樓的形狀設定在**最長的邊與地震方向平行時**振動幅度比較小；鋼骨大樓的**重心在高樓層時**振動幅度較小。我們也利用**彈簧原理、槓桿原理、磁力原理**分別自行研製了彈簧、槓桿及磁力的**阻尼器**，實驗結果發現**彈簧阻尼器**在**X軸**的避震效果較好；**槓桿阻尼器**在**X軸及Z軸**的避震效果較好；**磁力阻尼器**則是在**X軸(東西向)、Y軸(南北向)及Z軸(垂直上下)**都有不錯的效果。三種自製阻尼器各有所長，也確實能達到減震的效果。

壹、研究動機

臺灣處於一個地震頻繁的地帶位於菲律賓海板塊和歐亞大陸板塊之間，我們想要用**自製阻尼器**來測量地震時阻尼器的效果，並且**對臺灣的鋼骨高樓提出建議**，讓臺灣鋼骨高樓得以永久保存也讓住在高樓的居民感到更加的安全。在六年級上學期的時候，我們在「大地的奧祕」單元中認識到「**地震對地表的影響**」，所以想深入了解地震對不同形狀的鋼骨高樓有什麼影響，像是正方形、長方形等，我們也覺得很奇怪為什麼那些高聳的鋼骨大樓在地震發生時還可以穩固的豎立在那裡，原來摩天鋼骨高樓都有裝設**阻尼器**，我們想要了解阻尼器對大樓在地震發生時的影響，嘗試**自行設計阻尼器**來研究大樓的避震效果。

貳、研究目的

- 一、利用不同鋼骨結構大樓形狀，根據**不同地震方向**，檢視大樓振動幅度的差異性。
- 二、將鋼骨結構大樓**等重量重心**設計從**低到高**設置在**不同樓層**，檢視大樓的振動幅度是否受到影響。
- 三、運用**彈簧原理**製作**彈簧阻尼器**，模擬鋼骨大樓在地震時的振動幅度是否有所改善。
- 四、運用**槓桿原理**製作**槓桿阻尼器**，模擬鋼骨大樓在地震時的振動幅度是否有所改善。
- 五、運用**磁力原理**製作**磁力阻尼器**，模擬鋼骨大樓在地震時的振動幅度是否有所改善。

六、綜合比較，三種自製阻尼器在不同鋼骨大樓的震動情形及振動幅度。

七、利用自製阻尼器，模擬高雄 85 大樓的震動情形及避震策略與建議。

參、研究設備及器材

一、研究器材

| | | | | | | |
|---------|----|------|-----|-----|-----|-----|
| 震動器 | 砝碼 | 保麗龍膠 | 光碟盒 | 光碟片 | 彈簧 | 乒乓球 |
| 手機(app) | 快乾 | 膠帶 | 紙箱 | 木板 | 頂點珠 | 造形棒 |
| 陶土 | 磁鐵 | 絕緣膠帶 | 美工刀 | 碼表 | 木盒 | 沙子 |

二、彈簧阻尼器製作說明

(一)設計概念：

彈簧是一種具有彈力的材質，可以使物品反彈回去，在我看過臺北 101 大樓的阻尼器時，心中突然有一種想法，那就是旁邊支撐重心的東西要有某種力量才能使重心回到中心，後來我覺得彈簧是一個不錯的選擇，因此決定這麼做，先把中心固定且要有重量，再用彈簧固定周圍，就是彈簧阻尼器的設計概念。

(二)彈簧阻尼器製作方式

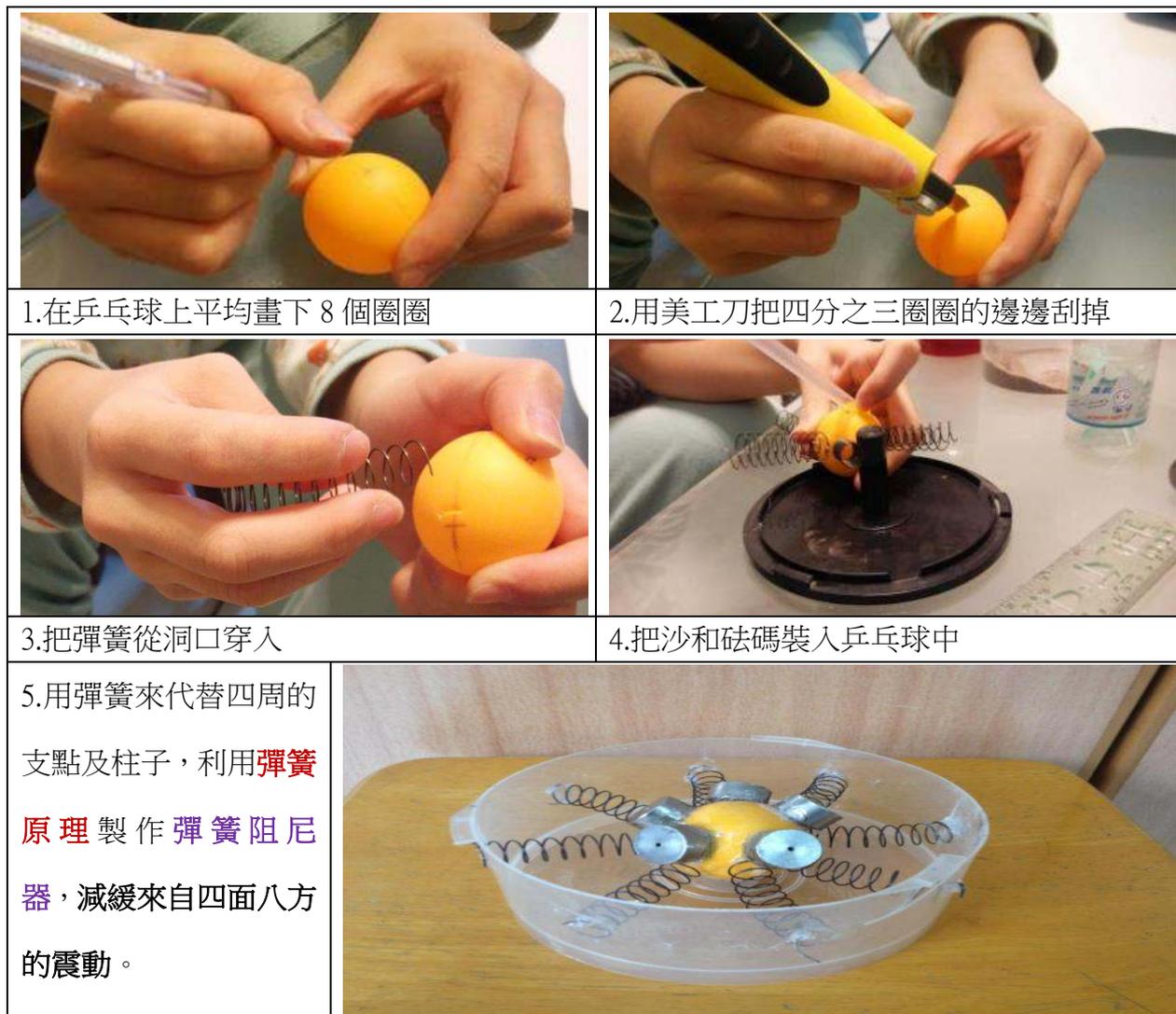
1.第一代與第二代彈簧阻尼器：

第一代彈簧原理阻尼器製作過程是將直徑 5 公分的球中央也打一個洞，再將棉線穿過這個洞並且將球的兩端分別黏上一個 2 公分的彈簧完成了彈簧阻尼器。實驗之後發現因為只有兩段黏上彈簧，所以當地震是東西向搖晃時才會發生作用，但如果是南北向搖晃時這個阻尼器就無法發生作用，所以我們又設計了第二代彈簧阻尼器：十字型的阻尼器。第二代十字型彈簧阻尼器是在將原本的球型阻尼器中間，再將兩端也上 2 公分的彈簧，這樣子雖然顧到了南北東西向但是還是沒有四面八方都顧到，所以再設計第三代彈簧阻尼器。

| 第一代彈簧阻尼器 | 第二代彈簧阻尼器 |
|---|--|
|  |  |
| 東西搖晃時才會發生作用 | 只有四個點才會發生作用 |

2. 第三代彈簧阻尼器：

- (1)在乒乓球上用筆在球一半的地方畫出一條線。(2)把那一條線用筆做記號平分成八等份。
- (3)再用美工刀把做記號的地方割出八個圓形的洞。(4)用鉗子把彈簧平分成八等份。
- (5)把彈簧插到球洞裡面，再用保麗龍膠固定。(6)用美工刀在乒乓球上方挖一個較大的洞。
- (7)放進 11 個 10 公克的砝碼和一些沙。(8)用保麗龍膠和膠帶封口。
- (9)用鑷刀把光碟盒中間那一根刮掉。(10)將物品放入光碟盒中完成組裝。



三、槓桿阻尼器製作說明

(一)設計概念：

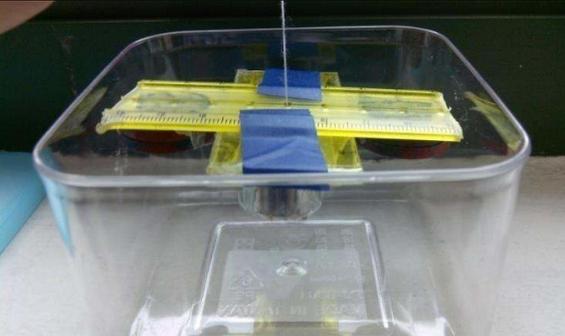
槓桿原理阻尼器設計概念是讓**施力點和抗力點兩邊平衡**達到防震效果，平衡的原因是藉由平衡的天平光碟吊起來放在光碟盒中因大氣壓力呈水平面，地震來臨時建築物地面會上下晃動，向上的地面(抗力點)會碰到吊起來的水平光碟(施力點)，藉由吊起來的**水平光碟重量(施力點)**壓在**建築物上下晃動的地面(抗力點)**，使水平光碟某邊的重量**壓回地面**來控制建築物平

衡，把大樓整體壓回水平的方向，就能達到防震的效果。

(二)槓桿阻尼器製作方式

1.第一代與第二代槓桿阻尼器：

第一代槓桿原理阻尼器製作過程，是要先由一個尺寸 10.4*10.4*6（公分）的正方形塑膠盒的蓋子中間打一個洞，再用棉線穿過這個洞，兩端分別黏上一個二十公克的砝碼，就完成了槓桿阻尼器，實驗了之後發現因為只有兩端黏上砝碼，所以當地震是東西向搖晃時才會發生作用，但如果是南北向搖晃時無法發生作用，所以我們又設計第二代十字型的阻尼器。第二代槓桿阻尼器是在將原本的一字型阻尼器中間再黏一片五公分的尺，並且將兩端黏上二十公克的砝碼，這樣子雖然顧到了南北東西但是還是沒有四面八方都顧到，所以再設計了第三代圓形槓桿阻尼器。

| 第一代槓桿阻尼器 | 第二代槓桿阻尼器 |
|--|---|
|  |  |
| 兩段黏上砝碼東西搖晃時才會發生作用 | 顧到了南北東西但沒有四面八方都顧到 |

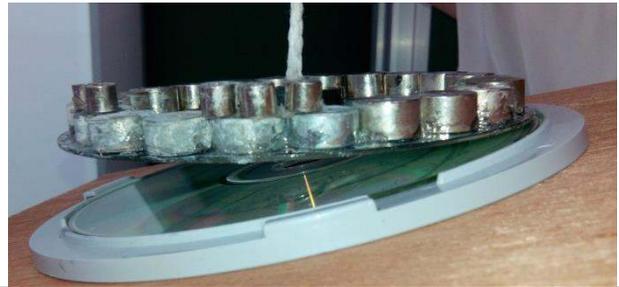
2.第三代槓桿阻尼器：

(1)將兩片光碟片黏在一起(使光碟片上方貼上砝碼時不易破裂)。(2)將 21 個 10g 砝碼以相同的間距貼在光碟片上(切記平衡)。(3)將光碟片中央貼上有洞磁鐵，並穿入棉線。(4)在光碟盒中吊起，測量光碟片與地面的高度 (約 9 毫米)。(5)根據阻尼器的平衡情形，貼上小砝碼作微調整。(6)確保阻尼器是否有平衡。(7)確保當地面傾斜時，阻尼器可以碰到較高的地面。

| | |
|---|--|
|  |  |
| 1.將 2 片光碟貼在一起 | 2.放上砝碼確認後黏起 |



3.中間貼上磁鐵(調整)穿入棉線



4. 向上的地面會碰到水平光碟控制平衡

5.槓桿阻尼器，向上的地面(抗力點)會碰到水平光碟(施力點)，使整體某邊的重量壓到地面來控制平衡，如此一來就能達到不錯的效果。



四、磁力阻尼器製作說明

(一)設計概念：

磁力阻尼器的設計概念是根據**磁浮原理**製作而成的，兩片貼有磁鐵的光碟一片放置在下與地面接觸(地面光碟)；另一片放置在上，利用磁鐵同極相斥原理使上面那片光碟懸浮在空中呈現水平面(懸浮光碟)。當地震發生時因大樓會搖晃而傾斜，與大樓地面接觸的地面光碟因搖晃而向上翹起傾斜與上面那片懸浮光碟接觸，因**磁鐵同極相斥原理**，懸浮光碟磁鐵有重量會將傾斜的地面光碟角度壓回去進而達到防震效果。

(二)製作方式

1.第一代&第二代磁力阻尼器：

第一代磁力原理阻尼器製作過程將尺的兩端分別黏上一個圓形磁鐵，最後再將原本蓋子上的那條棉線固定住，再蓋上盒子就完成了磁力阻尼器。實驗了之後發現東西向搖晃時才會發生作用，但如果是南北向搖晃時這個阻尼器就無法發生作用，所以我們又設計了第二代十字型的阻尼器。第二代十字型磁力阻尼器是在將原本的一字型阻尼器中間在黏一片五公分的尺，並且將兩端也黏上圓形磁鐵，這樣子雖然顧到了南北東西向但是還是沒有四面八方都顧到，所以再設計了第三代圓形磁力阻尼器。

| 第一代 磁力 阻尼器 | 第二代 磁力 阻尼器 |
|---|--|
|  |  |
| 當地震是 東西搖晃 時才會發生作用 | 南北東西但是還是沒有 四面八方 都顧到 |

2.第三代**磁力**阻尼器：

(1)將光碟盒子上的圓柱用刀片割掉(2)為維持平衡用筆畫好相距的位置(3)把磁鐵擺放好，查看距離是否一樣(4)確認光碟上面的磁極使否相同，因將光碟片翻面後即可達到相斥的效果(5)用白膠黏上 (6)確認無誤後用快乾做最後的加強(7)一切都完成後，將光碟片翻面(8)放入盒子中確認使否平衡，是否可以達到將傾斜角度壓回去的效果

| | |
|---|--|
|  |  |
| 1.將盒子中的柱子割掉 | 2.用筆畫好距離(確保平衡) |
|  |  |
| 3.用快乾加強 | 4.確認它是否可以壓到地面 |
| <p>5.磁力阻尼器利用磁浮原理傾斜高的那一地面光碟會與的懸浮光碟磁鐵相斥，懸浮光碟磁鐵有重量會將傾斜的角度壓回去。</p> |  |

五、地震振動幅度記錄方式

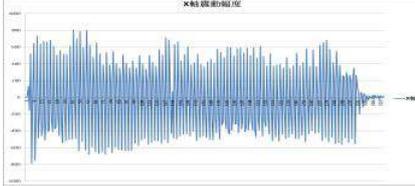
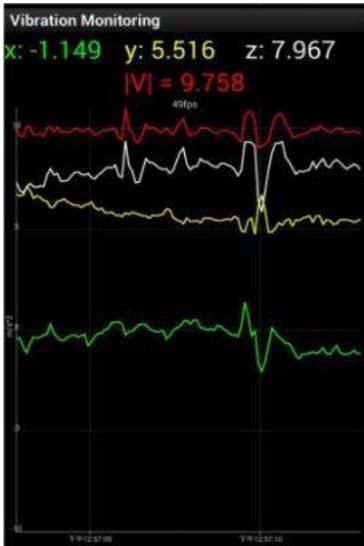
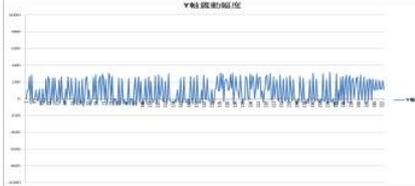
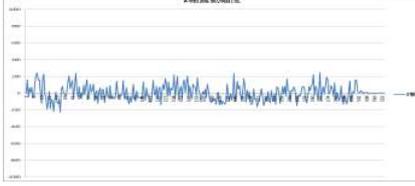
(一)第一代&第二代記錄方式

首先我們用**手機**的拍照功能**連拍**約 10 至 20 張照片，從中觀察大樓的振動幅度有多大，但是這樣**無法得到精確的振動幅度**。後來在資料上發現歷屆作品有人是在大樓側面**連接鉛筆**，利用大樓震動時**畫出振動幅度**，但此方法**不夠精確也無法計量比較**。

| 第一代振動幅度 照片 記錄方式 | 第二代振動幅度 畫筆 記錄方式 |
|---|--|
|  |  |
| <p>手機連拍功能無法得到精確的振動幅度</p> | <p>大樓側面連結鉛筆無法精確計量比較</p> |

(二)第三代手機 app 振動幅度記錄模式

發現到智慧型手機中有個 app 程式(Vibration Monitoring)可以記錄振動幅度，這個程式有三軸加速度振動數據，分別是 **X 軸東西向加速度**；**Y 軸南北向加速度**；**Z 軸垂直上下向加速度**，每秒會記錄 5 筆三軸加速度振動資料，程式的單位是 Gal 剛好是我們所需要的，這個手機程式有精確的振動幅度，因此我們使用這個程式。**本次實驗會紀錄 65 秒共 325 筆三軸加速度振動數據**，並利用 Excel 軟體畫出折線圖與長條圖。

| 說明 | 照片 | X 軸 振 幅 |  |
|---|---|---------------|--|
| <p>內有三個軸，分別是 X 軸東西向加速度；Y 軸南北向加速度；Z 軸垂直上下向加速度，當大樓震動時我們可得到精確的振幅數據，加速度的單位是 Gal(cm/s^2)。</p> |  | Y 軸 振 幅 |  |
| | | Z 軸 振 幅 |  |

六、地震模擬器

我們的地震模擬器是東西向(X 軸)移動式，震動器有分大約 10 種震度，我們使用最弱的一級，才能確保大樓不容易坍塌。實驗時大樓震動的時間設定是 60 秒，60 秒後關閉震動器，後面再留 5 秒鐘看地震結束時，大樓震動的情形來做結尾，所以每一次實驗時，震動器都要震動 60 秒並再多紀錄 5 秒共紀錄 65 秒。

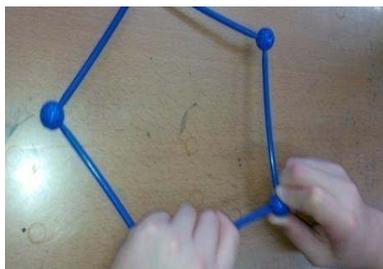
地震模擬器應要確保它能固定大樓，所以我們做了一個符合震動器大小的盒子，上面黏著木片，這樣要將大樓放置上去只需要用夾子夾起即可。



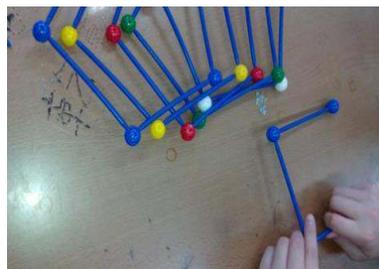
七、模擬不同形狀的鋼骨大樓製作方式

(一)製作方式

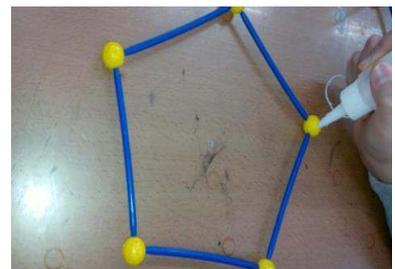
1.先量好各種顏色柱子的長度，以方便後續組裝及計算。2.挑選好各形狀鋼骨大樓樓層皆為 13 結構層，各形狀鋼骨大樓總高度一致。3.算好各種鋼骨大樓樓地板面積，各形狀鋼骨大樓地板面積盡量一致，並開始組合。5.為達到所有形狀大樓重量一致，選出並算出最重大樓和其它大樓重量的差距。7.使用陶土在其它較輕不同形狀大樓，平均分配黏至每層樓(要平均分配)，使各形鋼骨狀大樓重量都一致。8.因陶土硬後會掉落，所以最後用保麗龍膠做加強。



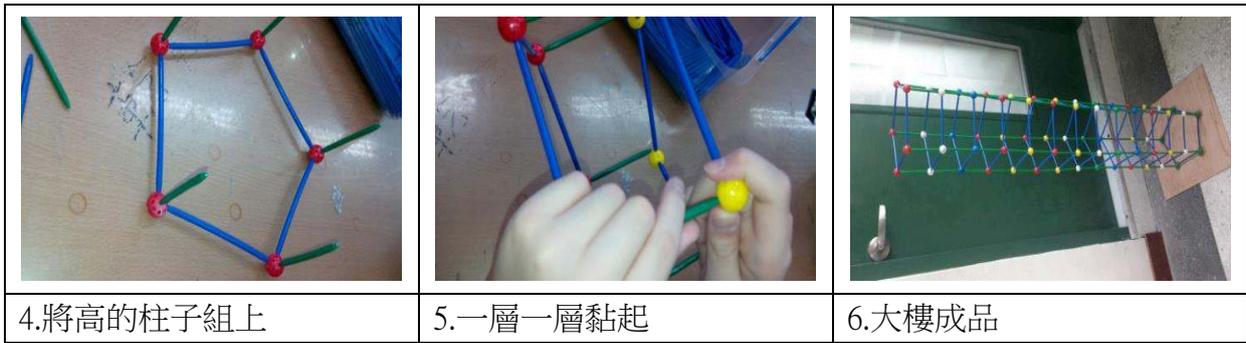
1.每一個距離都抓好



2.做好 14 個平面



3.用保麗龍膠黏起



4.將高的柱子組上

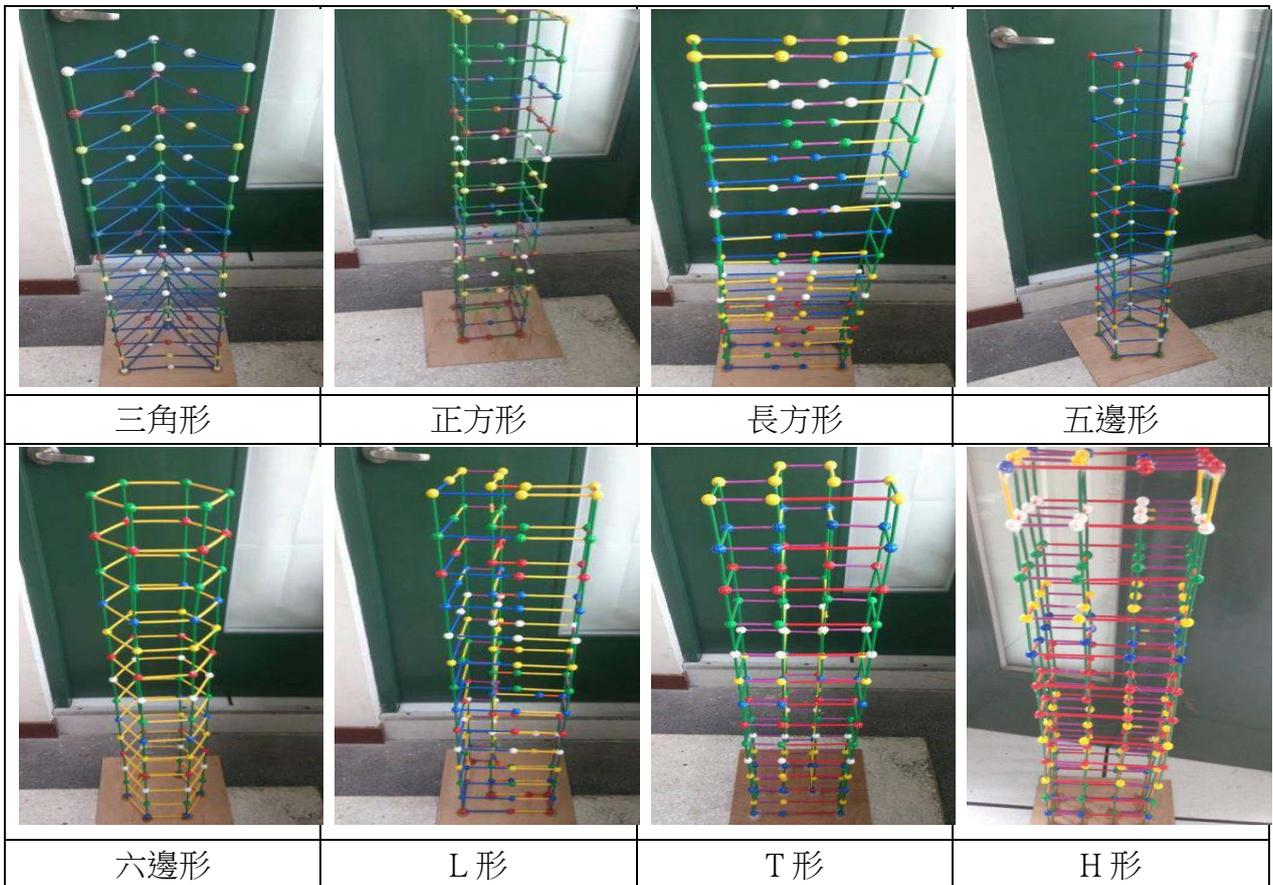
5.一層一層黏起

6.大樓成品

(二)不同形狀的鋼骨大樓模型結構基本資料

| 樓板形狀 | 三角形 | 正方形 | 長方形 | 五邊形 | 六邊形 | L形 | T形 | H形 |
|------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|-----|-------|-----|
| 樓板面積(cm ²) | 249.42 | 240.25 | 246.5 | 247.75 | 259.87 | 259 | 248.5 | 245 |
| 重量(g) | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 |
| 樓板柱子 | 3支 | 4支 | 4支 | 5支 | 6支 | 6支 | 8支 | 12支 |
| 平面圖 | | | | | | | | |

(三)鋼骨大樓模型完成樣式



三角形

正方形

長方形

五邊形

六邊形

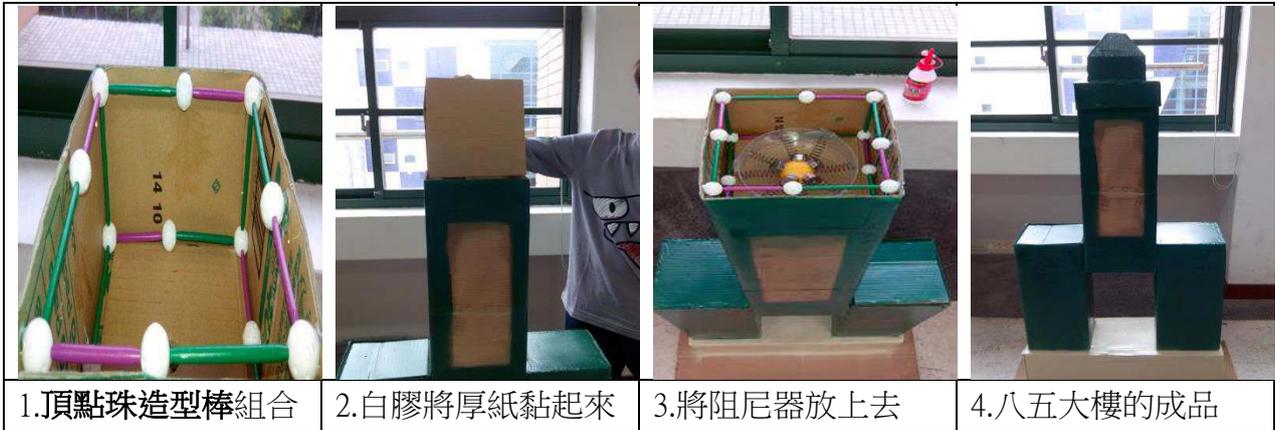
L形

T形

H形

(四)八五大樓模型製作

調查 85 大樓的實際長寬高，將大樓依**比例尺 1:400** 利用**頂點珠及造型棒**組合出 85 大樓等量模型，用美工刀將厚紙板切成比例，用白膠一片一片黏起來，將完成的大樓用美工刀切成可以掀開的板子，在掀開的板子的裡面要加一層讓**阻尼器**放上去。



1.頂點珠造型棒組合 2.白膠將厚紙黏起來 3.將阻尼器放上去 4.八五大樓的成品

八、地震文獻探討

(一)「交通部中央氣象局地震震度分級表」89年8月1日公告修訂

| 震度分級 | 地動加速度範圍 | 人的感受 | 物內情形 | 屋外情形 |
|-------|---------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 0. 無感 | 0.8 Gal 以下 | 人無感覺。 | | |
| 1. 微震 | 0.8 ~ 2.5 Gal | 人靜止時可感覺微小搖晃。 | | |
| 2. 輕震 | 2.5 ~ 8.0 Gal | 大多數的人可感到搖晃，睡眠中的人有部份會醒來。 | 電燈等懸掛物有小搖晃。 | 靜止的汽車輕輕搖晃，類似卡車經過，但歷時很短。 |
| 3. 弱震 | 8 ~ 25 Gal | 幾乎所有的人都感覺搖晃，有的人會有恐懼感。 | 房屋震動，碗盤門窗發出聲音，懸掛物搖癢 C | 靜止的汽車明顯搖動，電線略有搖晃。 |
| 4. 中震 | 25 ~ 80 Gal | 有相當程度的恐懼感，部分的人會尋求躲避的地方，睡眠中的人幾乎都會驚醒。 | 房屋搖動甚烈，底座不穩物品傾倒，較重傢俱移動，可能有輕微災害。 | 汽車駕駛人略微有感，電線明顯搖晃，步行中的人也感到搖晃。 |
| 5. 強震 | 80 ~ 250 Gal | 大多數人會感到驚嚇恐慌。 | 部分牆壁產生裂痕，重家具可能翻倒。 | 汽車駕駛人明顯感覺地震，有些牌坊煙囪傾倒。 |
| 6. 烈震 | 250 ~ 400 Gal | 搖晃劇烈以致站立困難。 | 部分建築物受損，重家具翻倒，門窗扭曲變形。 | 汽車駕駛人開車困難，出現噴沙噴泥現象。 |
| 7. 劇震 | 400 Gal 以上 | 搖晃劇烈以致無法依意志行動。 | 部分建築物受損嚴重或倒塌幾乎所有傢俱都大幅移位或摔落地面。 | 山崩地裂，鐵軌彎曲，地下管線破壞。 |

備註: 1Gal = 1cm/s²

(二)「地震波的種類」

P波：P波在傳播時質點的運動方向與震波傳播的方向一致，即傳波的質點在沿著傳播的方向，前後來回運動，交替產生壓縮與伸張的變化，有如聲波一般。P波可以在固體與液體中傳播。P波在傳到表面時，一部份的能量會轉變成音波，成為大地震前的聲音。

S波：S波在傳播時，質點運動的方向與震波傳播的方向垂直，即傳波質點在垂直傳播的方向，上下震動。有如繩波一般，屬於橫波。S波無法在液體或氣體中傳播。因此，當S波傳到地核的外核部分，由於外核是液體，S波不能傳遞。

地表波： P 波和 S 波在傳播時，另外又形成一種只在地表部份傳播的表面波。表面波包含兩種類型的運動。一種是只有左右震動的表面波，稱為洛夫波；一種為上下混合震動，運動軌跡為橢圓形的雷利波。洛夫波又比雷利波的行進速度快。

「地震波比較表」

| 地震波 | P 波 | S 波 | 雷利波 | 洛夫波 |
|------|---------|---------|------|------|
| 波型 | 體波 | 體波 | 表面波 | 表面波 |
| 運動方式 | 縱波(疏密波) | 橫波(剪刀波) | 蛇行波 | 螺旋波 |
| 波速 | 最快 | 其次 | 最慢 | 最慢 |
| 能量 | 最小 | 次之 | 最大 | 最大 |
| 傳遞範圍 | 固體、液體 | 固體 | 物體表面 | 物體表面 |

肆、研究過程或方法

一、**實驗 1：不同鋼骨結構大樓形狀，根據不同地震方向，檢視大樓振動幅度**

(一)步驟 1：依據不同鋼骨結構大樓形狀，找出地震方向與建築物最長邊的關係，如下表。

| 地震方向(→) 大樓形狀 | 長邊平行(0 度) | 長邊垂直 | 長邊垂直 角度 |
|-----------------|-----------|------|------------|
| 三角形 | | | 90 度 |
| 正方形 | | | 45 度 |
| 長方形 | | | 90 度 |
| 五邊形 | | | 90 度 |
| 六邊形 | | | 90 度 |
| L 形 | | | 45 度 |
| T 形 | | | 90 度 |
| H 形 | | | 90 度 |

(二)步驟 2：將大樓放上確認大樓方向是否正確。

(三)步驟 3：放上手機，並用長尾夾夾好。

(四)步驟 4：震動一分鐘，觀察振幅。

(五)步驟 5：不同地震方向大樓振動幅度實驗結果如下表。

| 大樓形狀 | 振幅(Gal) 地震方向 | 平均振幅(Gal) | | | 最大振幅(Gal) | | |
|------|-----------------|-----------|-------|------|-----------|-------|-------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |
| 三角形 | 長邊平行(0°) | 469.1 | 69.7 | 79.1 | 1160.9 | 260.3 | 266.2 |
| | 長邊垂直(90°) | 227.3 | 84.3 | 41.7 | 605.0 | 188.7 | 189.2 |
| 正方形 | 長邊平行(0°) | 294.2 | 65.4 | 22.4 | 786.5 | 262.3 | 137.9 |
| | 長邊垂直(45°) | 318.4 | 64.7 | 38.8 | 837.1 | 222.0 | 305.6 |
| 長方形 | 長邊平行(0°) | 248.3 | 69.3 | 55.4 | 594.0 | 244.9 | 249.7 |
| | 長邊垂直(90°) | 325.7 | 106.2 | 60.9 | 1115.9 | 534.6 | 255.3 |
| 五邊形 | 長邊平行(0°) | 289.3 | 135.1 | 39.5 | 791.0 | 407.9 | 173.9 |
| | 長邊垂直(90°) | 301.4 | 48.1 | 32.3 | 861.8 | 242.4 | 129.3 |
| 六邊形 | 長邊平行(0°) | 259.8 | 66.8 | 26.8 | 717.7 | 247.6 | 136.1 |
| | 長邊垂直(90°) | 304.4 | 74.9 | 29.0 | 822.1 | 266.4 | 211.1 |
| L 形 | 長邊平行(0°) | 337.3 | 107.3 | 67.1 | 801.5 | 316.0 | 246.8 |
| | 長邊垂直(45°) | 350.1 | 114.9 | 51.7 | 911.2 | 320.8 | 386.6 |
| T 形 | 長邊平行(0°) | 277.6 | 127.7 | 32.7 | 811.6 | 471.3 | 125.3 |
| | 長邊垂直(90°) | 294.3 | 130.3 | 39.6 | 925.2 | 323.5 | 222.1 |
| H 形 | 長邊平行(0°) | 393.9 | 113.7 | 56.0 | 1029.9 | 333.3 | 235.6 |
| | 長邊垂直(90°) | 294.2 | 128.4 | 25.7 | 917.0 | 291.4 | 124.4 |

二、實驗 2：鋼骨結構大樓等重重量重心分別放置低、中低、中、中高、高樓層的振動幅度

(一)步驟 1：將製作好的鋼骨大樓放上震動器上，並用長尾夾夾好。

(二)步驟 2：將手機放置大樓最上方並用長尾夾夾好。

(三)步驟 3：在大樓不同樓層放上和阻尼器等重重量的陶土塊。

(四)步驟 4：使用最小級的震動，震動一分鐘，開始觀察振動幅度。

(五)步驟 5：放置低、中低、中、中高、高樓層等重重量重心的振動幅度實驗結果如下表。

| 大樓形狀 | 振幅(Gal) 重心樓層 | 平均振幅(Gal) | | | 最大振幅(Gal) | | |
|-------------------|-----------------|-----------|-------|------|-----------|-------|-------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |
| 三角形 (長邊垂直 90°) | 低樓層 | 427.2 | 59.2 | 71.1 | 923.1 | 196.0 | 330.5 |
| | 中低樓層 | 431.2 | 53.2 | 68.0 | 1305.0 | 266.8 | 289.8 |
| | 中樓層 | 322.0 | 53.1 | 43.0 | 839.3 | 169.7 | 191.7 |
| | 中高樓層 | 218.1 | 36.4 | 51.6 | 569.3 | 149.5 | 296.5 |
| | 高樓層 | 143.2 | 38.2 | 31.8 | 541.3 | 167.6 | 163.5 |
| 正方形 (長邊平行 0°) | 低樓層 | 600.4 | 43.2 | 51.1 | 1469.5 | 284.2 | 209.4 |
| | 中低樓層 | 541.0 | 52.1 | 44.1 | 1180.8 | 159.4 | 242.6 |
| | 中樓層 | 476.1 | 52.0 | 45.1 | 1448.4 | 273.6 | 204.0 |
| | 中高樓層 | 361.6 | 45.9 | 34.7 | 987.4 | 170.6 | 118.0 |
| | 高樓層 | 269.9 | 43.8 | 26.0 | 717.5 | 163.1 | 133.2 |
| 長方形 (長邊平行 0°) | 低樓層 | 392.0 | 75.8 | 60.4 | 1028.1 | 261.9 | 305.9 |
| | 中低樓層 | 354.9 | 64.5 | 64.6 | 969.3 | 247.1 | 254.8 |
| | 中樓層 | 274.1 | 58.1 | 56.1 | 715.2 | 233.1 | 279.0 |
| | 中高樓層 | 182.0 | 69.3 | 39.0 | 500.0 | 222.2 | 176.6 |
| | 高樓層 | 135.2 | 48.9 | 53.8 | 358.3 | 230.0 | 221.3 |
| 五邊形 (長邊平行 0°) | 低樓層 | 297.9 | 39.3 | 21.8 | 1036.8 | 179.0 | 286.9 |
| | 中低樓層 | 618.3 | 149.2 | 60.0 | 1491.0 | 475.1 | 405.3 |
| | 中樓層 | 477.0 | 136.6 | 53.8 | 1132.6 | 433.9 | 214.4 |

| | | | | | | | |
|-------------------|------|-------|-------|------|--------|-------|-------|
| | 中高樓層 | 330.1 | 52.1 | 34.9 | 959.1 | 221.9 | 137.6 |
| | 高樓層 | 279.1 | 54.5 | 29.9 | 791.6 | 185.8 | 133.6 |
| 六邊形 (長邊平行 0°) | 低樓層 | 270.9 | 32.6 | 19.6 | 814.7 | 285.9 | 119.8 |
| | 中低樓層 | 298.6 | 35.2 | 21.2 | 959.2 | 312.1 | 159.3 |
| | 中樓層 | 320.0 | 44.4 | 33.2 | 821.8 | 365.6 | 974.5 |
| | 中高樓層 | 258.2 | 43.8 | 21.4 | 692.5 | 178.1 | 106.7 |
| | 高樓層 | 244.9 | 61.3 | 21.6 | 602.8 | 194.4 | 123.6 |
| L 形 (長邊平行 0°) | 低樓層 | 370.1 | 93.2 | 58.1 | 804.6 | 309.3 | 341.8 |
| | 中低樓層 | 381.8 | 53.7 | 76.6 | 966.0 | 209.8 | 520.2 |
| | 中樓層 | 327.7 | 71.1 | 54.2 | 778.2 | 315.5 | 283.4 |
| | 中高樓層 | 364.2 | 139.7 | 33.2 | 793.9 | 522.3 | 152.0 |
| | 高樓層 | 302.9 | 95.4 | 28.6 | 697.2 | 313.2 | 175.5 |
| T 形 (長邊平行 0°) | 低樓層 | 272.2 | 161.3 | 34.6 | 745.8 | 385.4 | 136.9 |
| | 中低樓層 | 291.7 | 176.7 | 39.2 | 842.3 | 402.3 | 251.2 |
| | 中樓層 | 323.6 | 198.7 | 48.5 | 845.8 | 447.6 | 212.6 |
| | 中高樓層 | 350.4 | 114.8 | 57.4 | 906.6 | 370.6 | 239.4 |
| | 高樓層 | 352.1 | 83.5 | 58.5 | 929.5 | 381.9 | 226.5 |
| H 形 (長邊垂直 90°) | 低樓層 | 295.7 | 191.8 | 13.1 | 770.6 | 429.0 | 65.3 |
| | 中低樓層 | 325.7 | 226.4 | 18.4 | 784.1 | 485.3 | 76.9 |
| | 中樓層 | 360.4 | 195.2 | 18.2 | 984.1 | 411.2 | 100.6 |
| | 中高樓層 | 455.5 | 103.4 | 26.8 | 1091.6 | 338.8 | 260.6 |
| | 高樓層 | 494.6 | 84.7 | 35.2 | 1332.4 | 363.7 | 257.3 |

三、**實驗 3：運用彈簧原理製作彈簧阻尼器，觀察大樓地震時的振動幅度**

(一)步驟 1：根據前項**實驗二**結果選擇**最佳樓層**放上彈簧阻尼器，並用長尾夾夾好。

(二)步驟 2：在大樓最上方放置手機，震動一分鐘，觀察振幅。

(三)步驟 3：彈簧阻尼器振幅數據與前項**實驗二**的**最佳樓層等重重心重量**做比較，並計算**避震效果**。

(四)步驟 4：**避震效果(%)計算方式** = $\frac{\text{等重重心重量} - \text{彈簧阻尼器}}{\text{等重重心重量}} \times 100$ 。

(五)步驟 5：運用**彈簧原理製作阻尼器**的振動幅度實驗結果如下表。

| 大樓形狀 | 振幅(Gal) 阻尼器 | 平均振幅(Gal) | | | 最大振幅(Gal) | | |
|-----------------|----------------|-----------|-------|------|-----------|-------|-------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |
| 三角形 (90°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 129.7 | 38.1 | 33.4 | 376.3 | 215.8 | 128.3 |
| | 等重重心重量 | 143.2 | 38.2 | 31.8 | 541.3 | 167.6 | 163.5 |
| | 避震效果(%) | 9.4 | 0.3 | -4.8 | 30.5 | -28.8 | 21.5 |
| 正方形 (0°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 243.8 | 44.8 | 24.2 | 649.2 | 188.4 | 174.9 |
| | 等重重心重量 | 269.9 | 43.8 | 26.0 | 717.5 | 163.1 | 133.2 |
| | 避震效果(%) | 9.6 | -2.3 | 7.0 | 9.5 | -15.5 | -31.3 |
| 長方形 (0°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 118.6 | 63.5 | 34.1 | 353.8 | 230.1 | 175.3 |
| | 等重重心重量 | 135.2 | 48.9 | 53.8 | 358.3 | 230.0 | 221.3 |
| | 避震效果(%) | 12.3 | -30.0 | 36.5 | 1.3 | 0.0 | 20.8 |
| 五邊形 (0°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 192.1 | 32.9 | 21.9 | 609.0 | 170.6 | 117.6 |
| | 等重重心重量 | 279.1 | 54.5 | 29.9 | 791.6 | 185.8 | 133.6 |
| | 避震效果(%) | 31.2 | 39.6 | 26.7 | 23.1 | 8.2 | 12.0 |

| | | | | | | | |
|----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 六邊形 (0°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 187.6 | 43.6 | 25.9 | 483.8 | 180.1 | 154.8 |
| | 等重重心重量 | 244.9 | 61.3 | 21.6 | 602.8 | 194.4 | 123.6 |
| | 避震效果(%) | 23.4 | 28.8 | -19.9 | 19.8 | 7.4 | -25.2 |
| L形 (0°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 175.0 | 55.5 | 24.1 | 496.6 | 379.2 | 108.8 |
| | 等重重心重量 | 302.9 | 95.4 | 28.6 | 697.2 | 313.2 | 175.5 |
| | 避震效果(%) | 42.2 | 41.9 | 15.9 | 28.8 | -21.1 | 38.0 |
| T形 (0°低樓層) | 彈簧阻尼器 | 228.8 | 55.4 | 24.7 | 712.0 | 379.2 | 132.7 |
| | 等重重心重量 | 272.2 | 161.3 | 34.6 | 745.8 | 385.4 | 136.9 |
| | 避震效果(%) | 15.9 | 65.7 | 28.6 | 4.5 | 1.6 | 3.0 |
| H形 (90°低樓層) | 彈簧阻尼器 | 306.8 | 209.0 | 12.8 | 701.6 | 401.9 | 75.7 |
| | 等重重心重量 | 295.7 | 191.8 | 13.1 | 770.6 | 429.0 | 65.3 |
| | 避震效果(%) | -3.8 | -8.9 | 2.1 | 8.9 | 6.3 | -15.9 |

四、**實驗 4：運用槓桿原理製作槓桿阻尼器，觀察大樓地震時的振動幅度**

(一)步驟 1：根據前項**實驗二**結果選擇**最佳樓層**放上槓桿阻尼器，並用長尾夾夾好。

(二)步驟 2：在大樓最上方放置手機，震動一分鐘，觀察振幅。

(三)步驟 3：槓桿阻尼器振幅數據與前項**實驗二**的**最佳樓層等重重心重量**做比較，並計算避震效果。

(四)步驟 4：**避震效果(%)計算方式** = $\frac{\text{等重重心重量} - \text{槓桿阻尼器}}{\text{等重重心重量}} \times 100$ 。

(五)步驟 5：運用**槓桿原理**製作**阻尼器**的振動幅度實驗結果如下表。

| 大樓形狀 | 振幅(Gal) 阻尼器 | 平均振幅(Gal) | | | 最大振幅(Gal) | | |
|-----------------|----------------|-----------|-------|------|-----------|-------|-------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |
| 三角形 (90°高樓層) | 槓桿阻尼器 | 102.2 | 35.4 | 22.1 | 344.5 | 162.3 | 110.5 |
| | 等重重心重量 | 143.2 | 38.2 | 31.8 | 541.3 | 167.6 | 163.5 |
| | 避震效果(%) | 28.6 | 7.1 | 30.5 | 36.4 | 3.2 | 32.4 |
| 正方形 (0°高樓層) | 槓桿阻尼器 | 242.3 | 40.9 | 19.7 | 633.3 | 155.6 | 113.7 |
| | 等重重心重量 | 269.9 | 43.8 | 26.0 | 717.5 | 163.1 | 133.2 |
| | 避震效果(%) | 10.2 | 6.6 | 24.2 | 11.7 | 4.6 | 14.6 |
| 長方形 (0°高樓層) | 槓桿阻尼器 | 94.6 | 48.2 | 42.6 | 335.3 | 202.7 | 189.4 |
| | 等重重心重量 | 135.2 | 48.9 | 53.8 | 358.3 | 230.0 | 221.3 |
| | 避震效果(%) | 30.0 | 1.5 | 20.8 | 6.4 | 11.9 | 14.4 |
| 五邊形 (0°高樓層) | 槓桿阻尼器 | 231.9 | 47.7 | 26.1 | 649.6 | 225.5 | 115.3 |
| | 等重重心重量 | 279.1 | 54.5 | 29.9 | 791.6 | 185.8 | 133.6 |
| | 避震效果(%) | 16.9 | 12.6 | 12.8 | 17.9 | -21.4 | 13.7 |
| 六邊形 (0°高樓層) | 槓桿阻尼器 | 158.8 | 33.3 | 20.5 | 483.1 | 131.9 | 102.2 |
| | 等重重心重量 | 244.9 | 61.3 | 21.6 | 602.8 | 194.4 | 123.6 |
| | 避震效果(%) | 35.2 | 45.7 | 5.0 | 19.9 | 32.2 | 17.3 |
| L形 (0°高樓層) | 槓桿阻尼器 | 200.8 | 43.7 | 25.6 | 675.5 | 209.6 | 137.9 |
| | 等重重心重量 | 302.9 | 95.4 | 28.6 | 697.2 | 313.2 | 175.5 |
| | 避震效果(%) | 33.7 | 54.2 | 10.4 | 3.1 | 33.1 | 21.5 |
| T形 (0°低樓層) | 槓桿阻尼器 | 241.5 | 53.1 | 21.3 | 701.3 | 305.2 | 127.8 |
| | 等重重心重量 | 272.2 | 161.3 | 34.6 | 745.8 | 385.4 | 136.9 |
| | 避震效果(%) | 11.3 | 67.1 | 38.5 | 6.0 | 20.8 | 6.7 |
| H形 | 槓桿阻尼器 | 276.7 | 225.5 | 5.5 | 721.8 | 481.3 | 46.6 |

| | | | | | | | |
|----------|---------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| (90°低樓層) | 等重重心重量 | 295.7 | 191.8 | 13.1 | 770.6 | 429.0 | 65.3 |
| | 避震效果(%) | 6.4 | -17.6 | 58.3 | 6.3 | -12.2 | 28.6 |

五、**實驗 5：運用磁力原理製作磁力阻尼器，觀察大樓地震時的振動幅度**

(一)步驟 1：根據前項**實驗二**結果選擇**最佳樓層**放上磁力阻尼器，並用長尾夾夾好。

(二)步驟 2：在大樓最上方放置手機，震動一分鐘，觀察振幅。

(三)步驟 3：磁力阻尼器振幅數據與前項**實驗二**的**最佳樓層等重重心重量**做比較，並計算避震效果。

(四)步驟 4：**避震效果(%)計算方式** = $\frac{\text{等重重心重量} - \text{磁力阻尼器}}{\text{等重重心重量}} \times 100$ 。

(五)步驟 5：運用**磁力原理製作阻尼器**的振動幅度實驗結果如下表。

| 大樓形狀 | 振幅(Gal) 阻尼器 | 平均振幅(Gal) | | | 最大振幅(Gal) | | |
|-----------------|----------------|-----------|-------|------|-----------|-------|-------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |
| 三角形 (90°高樓層) | 磁力阻尼器 | 118.7 | 33.5 | 26.1 | 375.7 | 153.9 | 119.9 |
| | 等重重心重量 | 143.2 | 38.2 | 31.8 | 541.3 | 167.6 | 163.5 |
| | 避震效果(%) | 17.1 | 12.3 | 18.2 | 30.6 | 8.2 | 26.7 |
| 正方形 (0°高樓層) | 磁力阻尼器 | 225.0 | 31.5 | 23.8 | 657.6 | 120.7 | 128.8 |
| | 等重重心重量 | 269.9 | 43.8 | 26.0 | 717.5 | 163.1 | 133.2 |
| | 避震效果(%) | 16.6 | 28.0 | 8.5 | 8.3 | 26.0 | 3.3 |
| 長方形 (0°高樓層) | 磁力阻尼器 | 113.3 | 48.2 | 42.3 | 341.0 | 185.3 | 183.3 |
| | 等重重心重量 | 135.2 | 48.9 | 53.8 | 358.3 | 230.0 | 221.3 |
| | 避震效果(%) | 16.2 | 1.4 | 21.3 | 4.8 | 19.5 | 17.2 |
| 五邊形 (0°高樓層) | 磁力阻尼器 | 256.1 | 46.6 | 26.3 | 709.7 | 174.7 | 114.4 |
| | 等重重心重量 | 279.1 | 54.5 | 29.9 | 791.6 | 185.8 | 133.6 |
| | 避震效果(%) | 8.2 | 14.5 | 12.0 | 10.4 | 6.0 | 14.3 |
| 六邊形 (0°高樓層) | 磁力阻尼器 | 189.3 | 42.7 | 20.1 | 530.2 | 152.5 | 94.3 |
| | 等重重心重量 | 244.9 | 61.3 | 21.6 | 602.8 | 194.4 | 123.6 |
| | 避震效果(%) | 22.7 | 30.2 | 7.1 | 12.1 | 21.6 | 23.7 |
| L 形 (0°高樓層) | 磁力阻尼器 | 276.7 | 54.0 | 27.7 | 567.3 | 252.3 | 115.5 |
| | 等重重心重量 | 302.9 | 95.4 | 28.6 | 697.2 | 313.2 | 175.5 |
| | 避震效果(%) | 8.6 | 43.4 | 3.3 | 18.6 | 19.4 | 34.2 |
| T 形 (0°低樓層) | 磁力阻尼器 | 244.1 | 57.7 | 24.4 | 707.5 | 312.0 | 104.7 |
| | 等重重心重量 | 272.2 | 161.3 | 34.6 | 745.8 | 385.4 | 136.9 |
| | 避震效果(%) | 10.3 | 64.3 | 29.5 | 5.1 | 19.1 | 23.5 |
| H 形 (90°低樓層) | 磁力阻尼器 | 253.5 | 182.0 | 10.4 | 730.6 | 400.7 | 49.7 |
| | 等重重心重量 | 295.7 | 191.8 | 13.1 | 770.6 | 429.0 | 65.3 |
| | 避震效果(%) | 13.9 | 5.1 | 20.4 | 0.0 | 6.6 | 23.9 |

六、**綜合比較，三種自製阻尼器在不同鋼骨大樓的振動幅度**

將前項**實驗三、四、五**的三種阻尼器避震效果**整合**，在**不同地震方向、不同形狀及不同樓層**下的最佳避震組合並做綜合比較效果如下表。

| 大樓形狀 | 避震效果(%) 阻尼器 | 平均振幅(%) | | | 最大振幅(%) | | |
|------|----------------|---------|-----|-----|---------|-----|-----|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |

| | | | | | | | |
|-----------------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| 三角形 (90°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 9.4 | 0.3 | -4.8 | 30.5 | -28.8 | 21.5 |
| | 槓桿阻尼器 | 28.6 | 7.1 | 30.5 | 36.4 | 3.2 | 32.4 |
| | 磁力阻尼器 | 17.1 | 12.3 | 18.2 | 30.6 | 8.2 | 26.7 |
| 正方形 (0°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 9.6 | -2.3 | 7.0 | 9.5 | -15.5 | -31.3 |
| | 槓桿阻尼器 | 10.2 | 6.6 | 24.2 | 11.7 | 4.6 | 14.6 |
| | 磁力阻尼器 | 16.6 | 28.0 | 8.5 | 8.3 | 26.0 | 3.3 |
| 長方形 (0°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 12.3 | -30.0 | 36.5 | 1.3 | 0.0 | 20.8 |
| | 槓桿阻尼器 | 30.0 | 1.5 | 20.8 | 6.4 | 11.9 | 14.4 |
| | 磁力阻尼器 | 16.2 | 1.4 | 21.3 | 4.8 | 19.5 | 17.2 |
| 五邊形 (0°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 31.2 | 39.6 | 26.7 | 23.1 | 8.2 | 12.0 |
| | 槓桿阻尼器 | 16.9 | 12.6 | 12.8 | 17.9 | -21.4 | 13.7 |
| | 磁力阻尼器 | 8.2 | 14.5 | 12.0 | 10.4 | 6.0 | 14.3 |
| 六邊形 (0°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 23.4 | 28.8 | -19.9 | 19.8 | 7.4 | -25.2 |
| | 槓桿阻尼器 | 35.2 | 45.7 | 5.0 | 19.9 | 32.2 | 17.3 |
| | 磁力阻尼器 | 22.7 | 30.2 | 7.1 | 12.1 | 21.6 | 23.7 |
| L形 (0°高樓層) | 彈簧阻尼器 | 42.2 | 41.9 | 15.9 | 28.8 | -21.1 | 38.0 |
| | 槓桿阻尼器 | 33.7 | 54.2 | 10.4 | 3.1 | 33.1 | 21.5 |
| | 磁力阻尼器 | 8.6 | 43.4 | 3.3 | 18.6 | 19.4 | 34.2 |
| T形 (0°低樓層) | 彈簧阻尼器 | 15.9 | 65.7 | 28.6 | 4.5 | 1.6 | 3.0 |
| | 槓桿阻尼器 | 11.3 | 67.1 | 38.5 | 6.0 | 20.8 | 6.7 |
| | 磁力阻尼器 | 10.3 | 64.3 | 29.5 | 5.1 | 19.1 | 23.5 |
| H形 (90°低樓層) | 彈簧阻尼器 | -3.8 | -8.9 | 2.1 | 8.9 | 6.3 | -15.9 |
| | 槓桿阻尼器 | 6.4 | -17.6 | 58.3 | 6.3 | -12.2 | 28.6 |
| | 磁力阻尼器 | 14.3 | 5.1 | 20.4 | 5.2 | 6.6 | 23.9 |

七、**操作：利用自製阻尼器，模擬高雄 85 大樓的震動情形及避震策略與建議**

(一)步驟 1：高雄 85 大樓地基形狀為長方形，所以將進入長方形的鋼骨大樓實驗。

(二)步驟 2：依據前項實驗 1 到 5 的最佳避震方式進行長方形實驗。

(三)步驟 3：將阻尼器(3 種)分別放置各樓層。

(四)步驟 4：震動一分鐘，模擬高雄 85 大樓的振動幅度實驗結果如下表。

85 大樓不同地震方向大樓振動幅度實驗結果如下表

| 大樓 形狀 | 振幅(Gal) 地震方向 | 平均振幅(Gal) | | | 最大振幅(Gal) | | |
|----------|-----------------|-----------|------|------|-----------|-------|-------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |
| 長方形 | 長邊平行(0°) | 656.4 | 69.8 | 48.6 | 1245.0 | 269.6 | 341.1 |
| | 長邊垂直(90°) | 859.9 | 81.8 | 77.8 | 1460.9 | 292.7 | 408.4 |

85 大樓放置低、中低、中、中高、高樓層的振動幅度實驗結果如下表

| 大樓形狀 | 振幅(Gal) 阻尼器 | 平均振幅(Gal) | | | 最大振幅(Gal) | | |
|------------------|----------------|-----------|------|------|-----------|-------|-------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |
| 長方形 (長邊平行 0°) | 低樓層 | 664.2 | 69.4 | 49.6 | 1251.8 | 287.6 | 363.7 |
| | 中低樓層 | 649.1 | 66.8 | 37.8 | 1142.3 | 265.5 | 186.2 |
| | 中樓層 | 661.0 | 58.3 | 44.8 | 1326.0 | 196.8 | 281.9 |
| | 中高樓層 | 622.7 | 51.4 | 36.1 | 1073.4 | 262.0 | 274.7 |
| | 高樓層 | 549.9 | 47.4 | 37.8 | 962.8 | 247.7 | 246.6 |

85 大樓運用自製阻尼器的振動幅度實驗結果如下表

| 大樓形狀 | 振幅(Gal) | 平均振幅(Gal) | | | 最大振幅(Gal) | | |
|------|---------|-----------|------|------|-----------|-------|-------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |
| | 阻尼器 | | | | | | |
| | 等重重心重量 | 549.9 | 47.4 | 37.8 | 962.8 | 247.7 | 246.6 |
| | 彈簧阻尼器 | 515.5 | 52.0 | 37.3 | 929.9 | 247.1 | 231.9 |
| | 槓桿阻尼器 | 500.1 | 45.4 | 34.0 | 902.7 | 204.7 | 183.1 |
| | 磁力阻尼器 | 506.9 | 46.7 | 30.7 | 906.9 | 212.4 | 173.8 |

85 大樓運用自製阻尼器的避震效果實驗結果如下表

| 大樓形狀 | 避震效果(%) | 平均振幅(%) | | | 最大振幅(%) | | |
|------|---------|---------|------|------|---------|------|------|
| | | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 | X 軸 | Y 軸 | Z 軸 |
| | 阻尼器 | | | | | | |
| | 彈簧阻尼器 | 6.3 | -9.7 | 1.3 | 3.4 | 0.2 | 6.0 |
| | 槓桿阻尼器 | 10.0 | 4.4 | 11.0 | 6.7 | 21.0 | 34.7 |
| | 磁力阻尼器 | 7.8 | 1.5 | 18.8 | 5.8 | 14.2 | 29.5 |

伍、研究結果

一、實驗 1：不同鋼骨結構大樓形狀，根據不同地震方向，檢視大樓振動幅度的差異性

(一)實驗 1-1：不同地震方向，三角形大樓振動幅度結果：

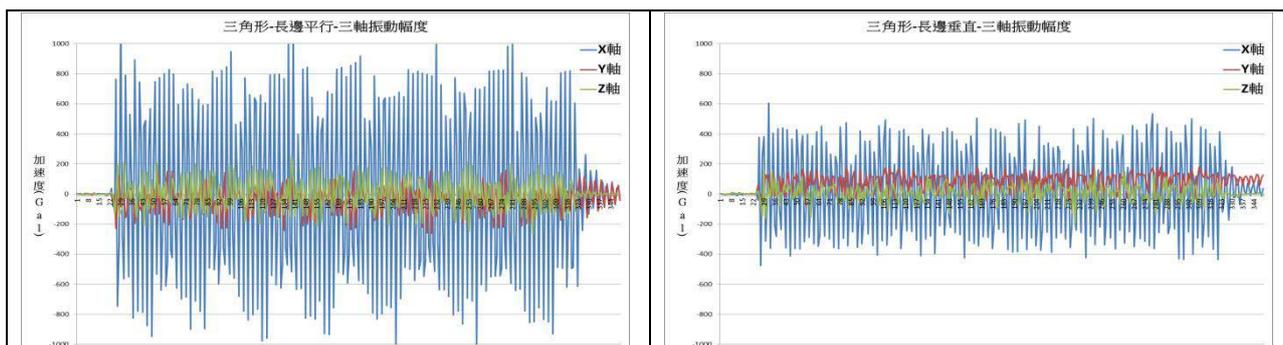


圖 1-1 不同地震方向，三角形大樓振動幅度結果如上圖

三角形研究結果：根據圖 1-1 研究結果，三角形最長邊和地震方向垂直防震效果較好，而且長邊垂直和長邊平行差距很大。地震方向垂直比跟地震方向平行的避震效果來的好。

(二)實驗 1-2：不同地震方向，正方形大樓振動幅度結果：

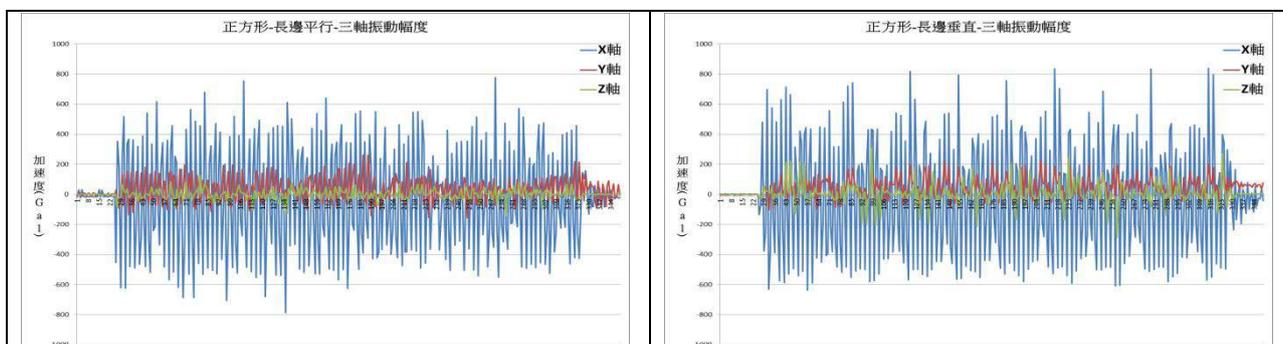


圖 1-2 不同地震方向，正方形大樓振動幅度結果如上圖

正方形研究結果：根據圖 1-2 研究結果，正方形最長邊和地震方向平行的防震效果較好，

長邊平行和長邊垂直其實沒有相差很多，不過地震來臨時，一點點就可以造成很大的改變。

(三)實驗 1-3：不同地震方向，長方形大樓振動幅度結果：

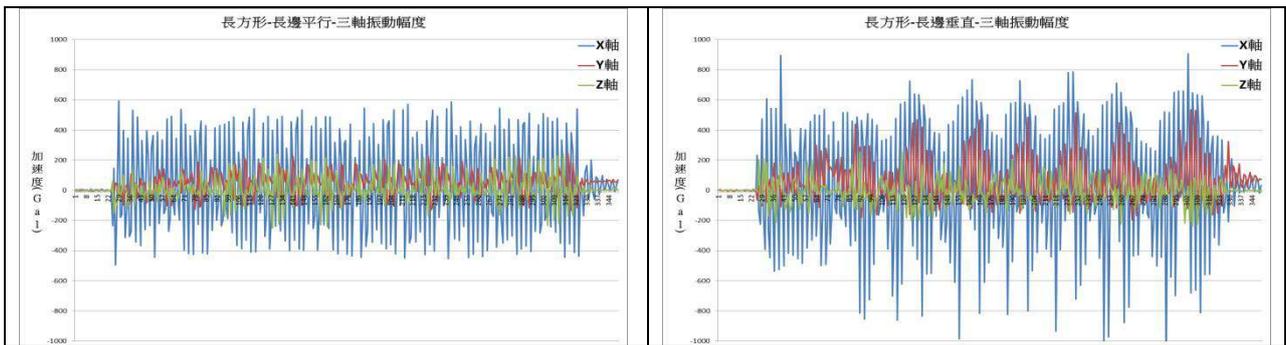


圖 1-3 不同地震方向，長方形大樓振動幅度結果如上圖

長方形研究結果：根據圖 1-3 研究結果，長方形最長邊和地震方向平行的防震效果最好，長方形的長邊垂直和長邊平行是所有形狀中相差最大的。

(四)實驗 1-4：不同地震方向，五邊形大樓振動幅度結果：

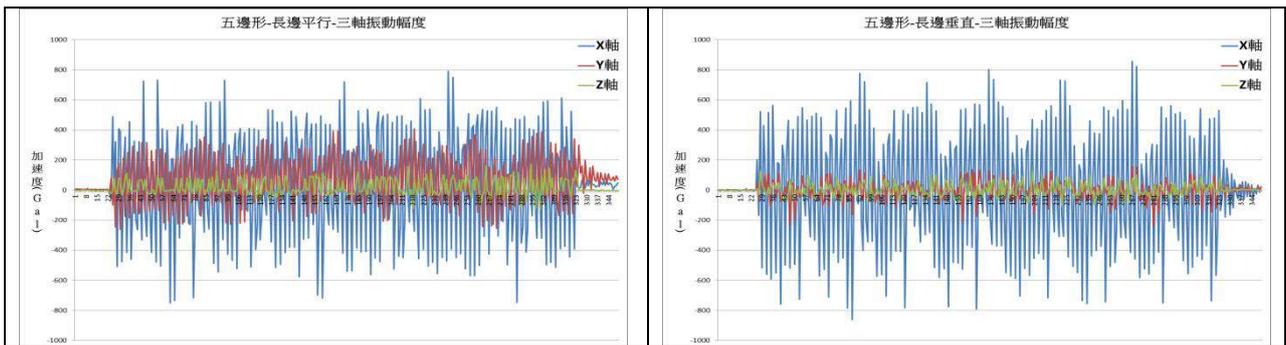


圖 1-4 不同地震方向，五邊形大樓振動幅度結果如上圖

五邊形研究結果：圖 1-4 五邊形大樓是最長邊與地震方向平行的效果佳，因為平行有 2 支支柱可使震動往兩旁分開使大樓受到的震動較小。五邊形的建築最好與地震方向平行，避震效果最佳。

(五)實驗 1-5：不同地震方向，六邊形大樓振動幅度結果：

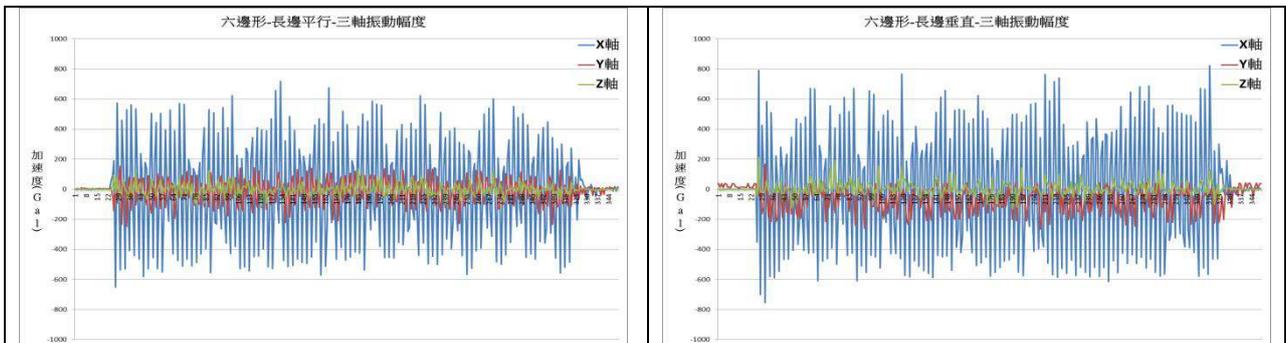


圖 1-5 不同地震方向，六邊形大樓振動幅度結果如上圖

六邊形研究結果：圖 1-5 六邊形的振動幅度可以清楚觀察地震方向平行的 X 軸的幅度較小，。六邊形的大樓在地震來時最長邊與地震方向平行較好較為穩固。

(六)實驗 1-6：不同地震方向，L 形大樓振動幅度結果：

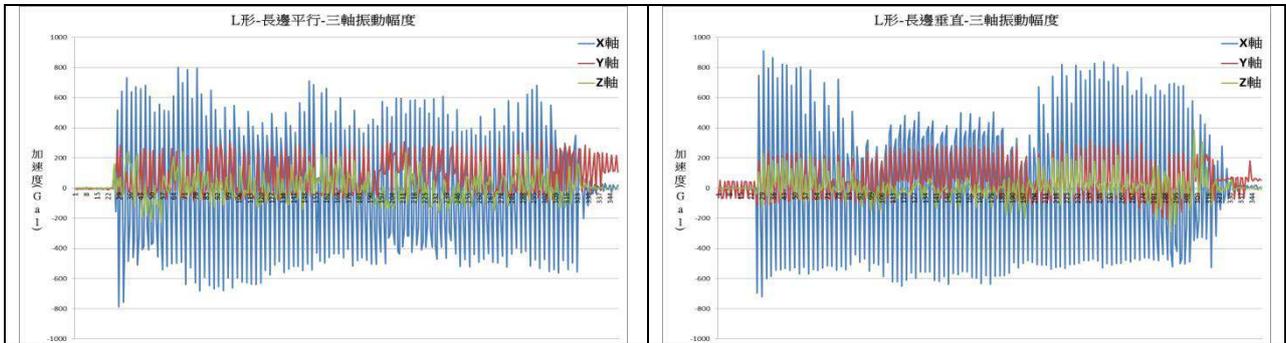


圖 1-6 不同地震方向，L 形大樓振動幅度結果如上圖

L 形研究結果：圖 1-6 是長邊平行使 L 形大樓震動度小，長邊平行的接觸震動面積較大，因而減弱了地震來時的震動，所以長邊平行效果佳。L 形最長邊與地震方向平行的效果較佳。

(七)實驗 1-7：不同地震方向，T 形大樓振動幅度結果：

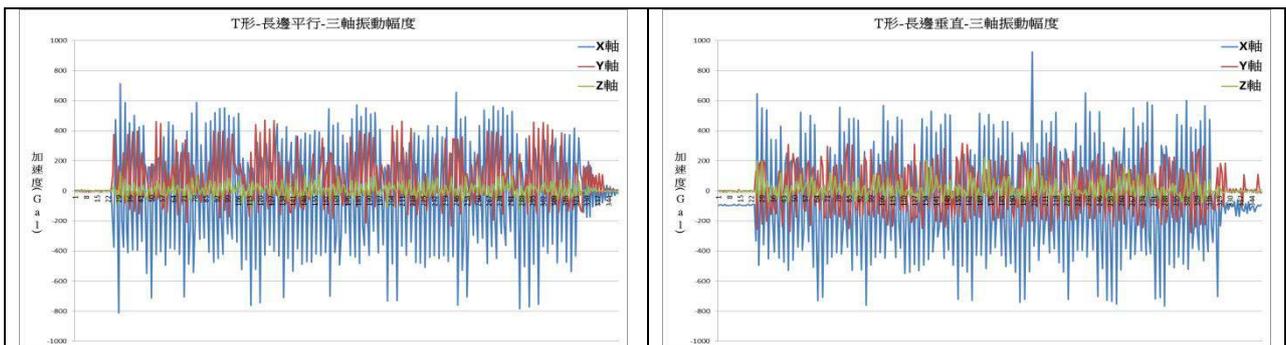


圖 1-7 不同地震方向，T 形大樓振動幅度結果如上圖

T 形研究結果：圖 1-7 T 形的大樓在地震來時，方向是平行比垂直效果相較為佳，所以 T 形大樓平行方向較好。根據研究結果，T 形最長邊與地震方向平行的防震效果最好。

(八)實驗 1-8：不同地震方向，H 形大樓振動幅度結果：

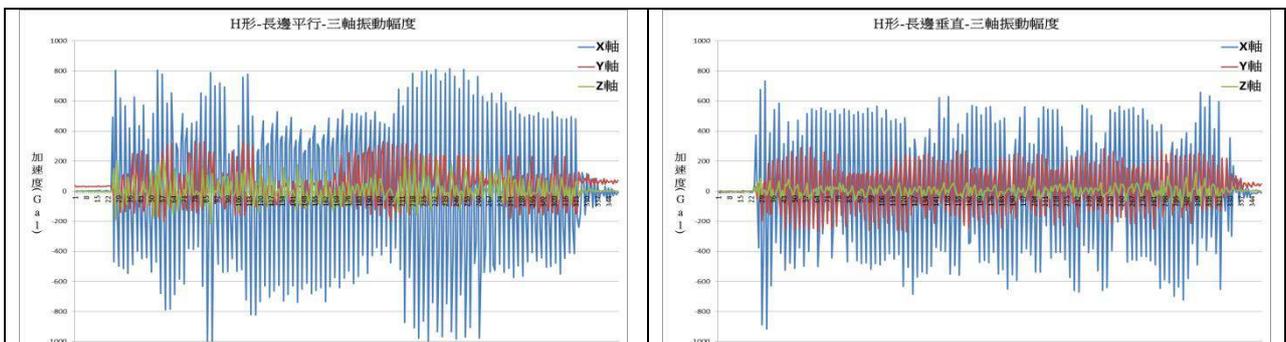


圖 1-8 不同地震方向，H 形大樓振動幅度結果如上圖

H 形研究結果：圖 1-8 H 形對於地震來時，方向是垂直的效果比平行的還要好，是因垂直的柱子有大面積可減弱震動，由此可知 H 形在**最長邊與地震方向垂直**的避震效果較佳。

二、**實驗 2：將鋼骨結構大樓等重量重心從低到高設置在不同樓層，檢視大樓的振動幅度**

(一)**實驗 2-1：三角形重心在不同樓層的振動幅度**

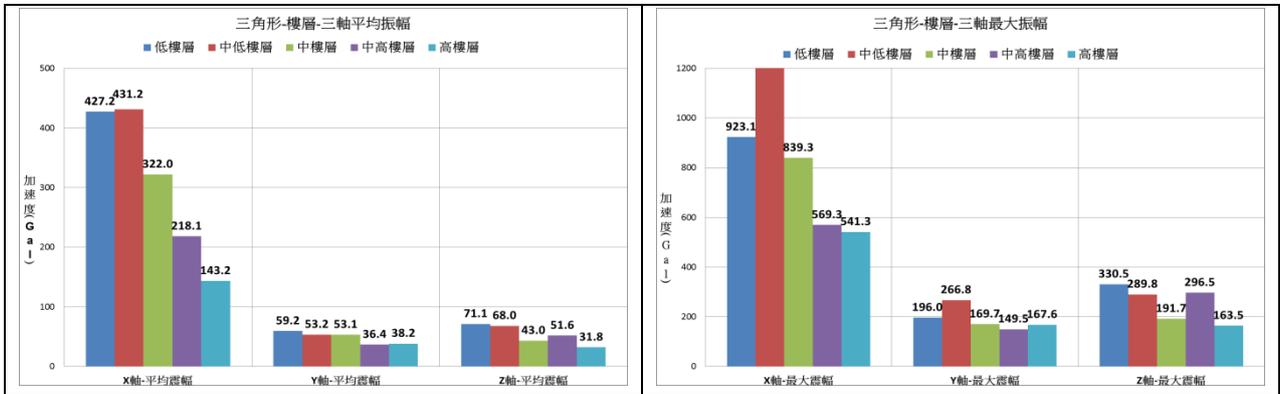


圖 2-1 三角形不同樓層長條圖

三角形研究結果：從圖 2-1 可得知三角形大樓在高樓層的搖晃程度比較小，因此將阻尼器放置最高樓層會使三角形大樓的防震效果最佳，建議把重心放置於**高樓層**。

(二)**實驗 2-2：正方形重心在不同樓層的振動幅度**

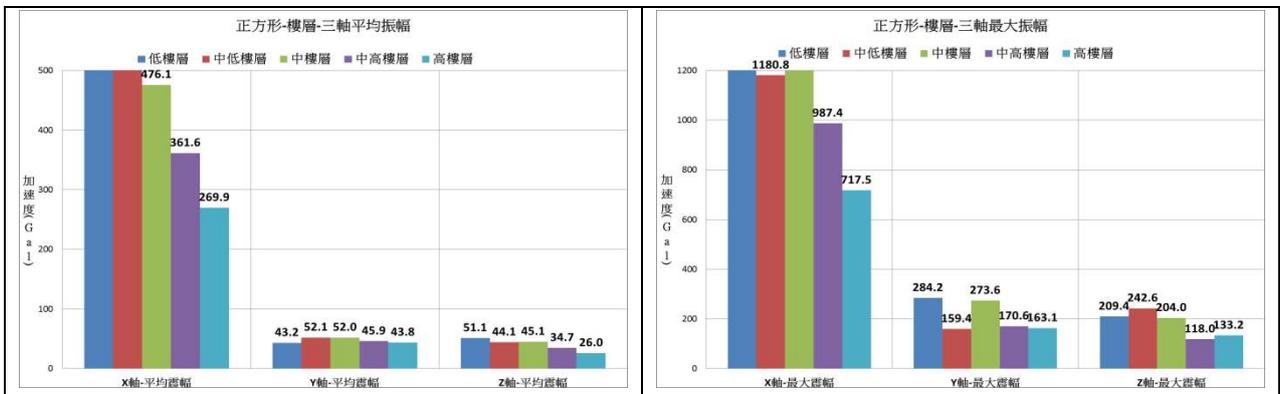


圖 2-2 正方形不同樓層長條圖

正方形研究結果：從圖 2-2 當我們將重量重心，放在正方形的最高層，可以發現 X 軸的振動幅度較小，由此可知正方形的建築物，把重量放在**高樓層**的避震效果較好。

(三)**實驗 2-3：長方形重心在不同樓層的振動幅度**

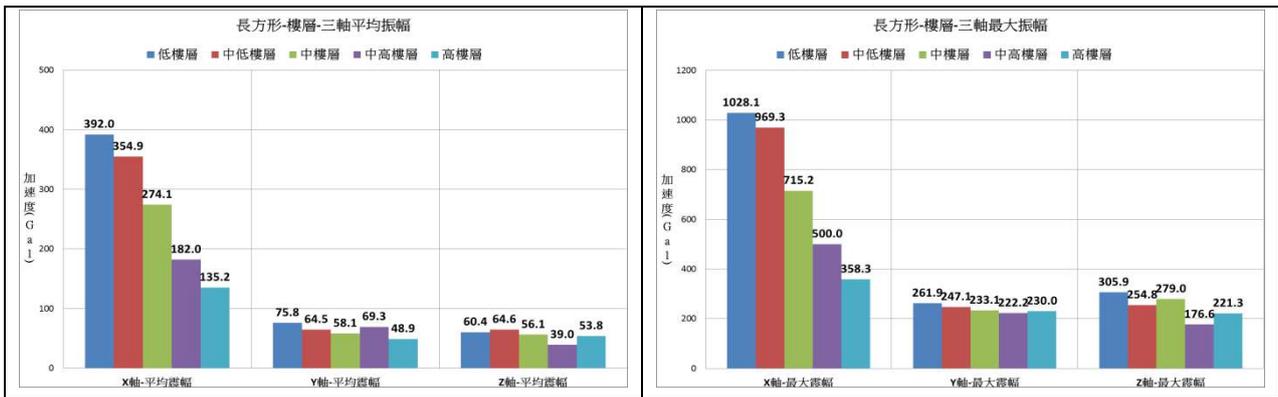


圖 2-3 長方形不同樓層長條圖

長方形研究結果：在觀察圖 2-3 把重心放在長方形建築高樓層的避震效果較好。長方形的建築物在最高樓層振動幅度最低，所以長方形的重心建議在高樓層。

(四)實驗 2-4：五邊形重心在不同樓層的振動幅度

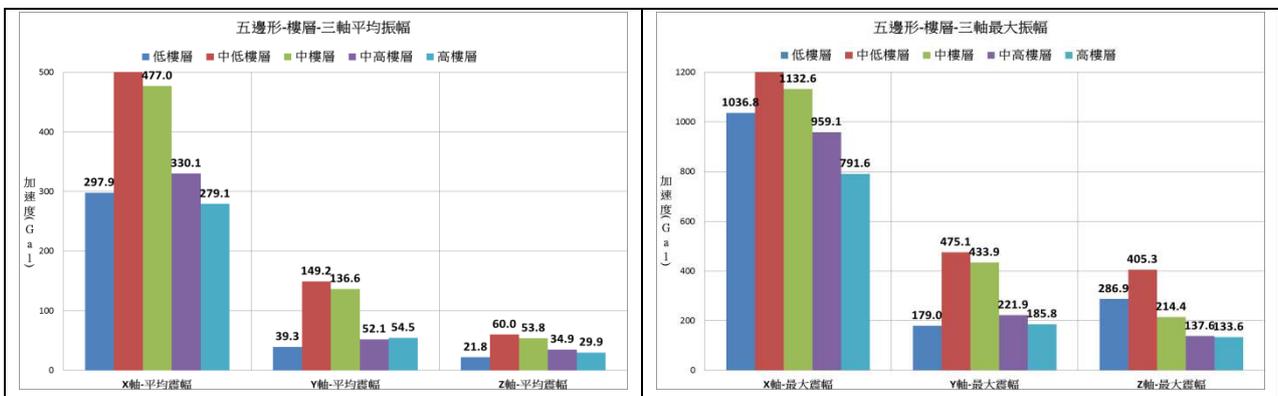


圖 2-4 五邊形不同樓層長條圖

五邊形研究結果：從圖 2-4 高樓層的最大振幅是裡面最小的，所以我們選高樓層。根據研究結果五邊形重量放置於高樓層的防震效果最好，五邊形時建議重心放在高樓層。

(五)實驗 2-5：六邊形重心在不同樓層的振動幅度

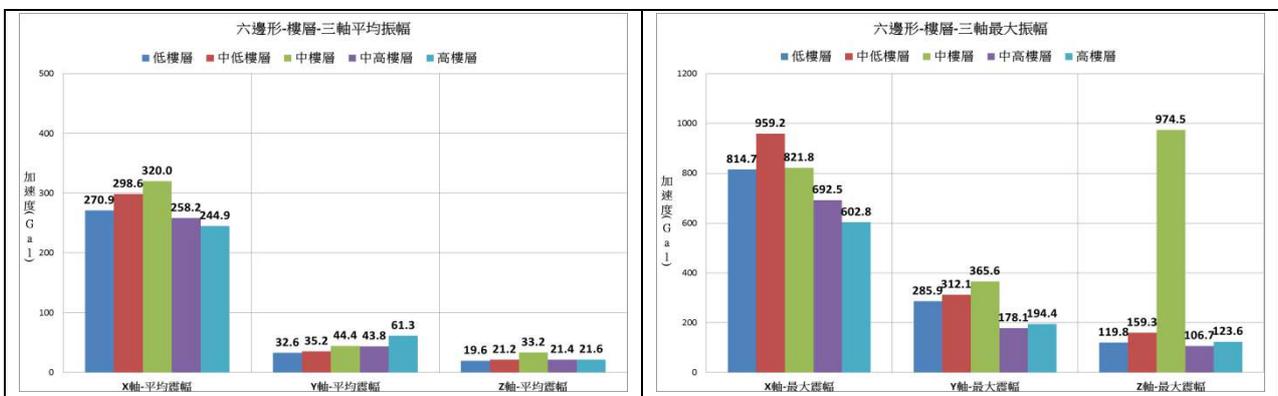


圖 2-5 六邊形不同樓層長條圖

六邊形研究結果：根據圖 2-5 六邊形重量放置於高樓層防震效果最好，如果建築是六邊

形的，建議把重心放在**高樓層**的避震效果最佳。

(六)實驗 2-6：L 形重心在不同樓層的振動幅度

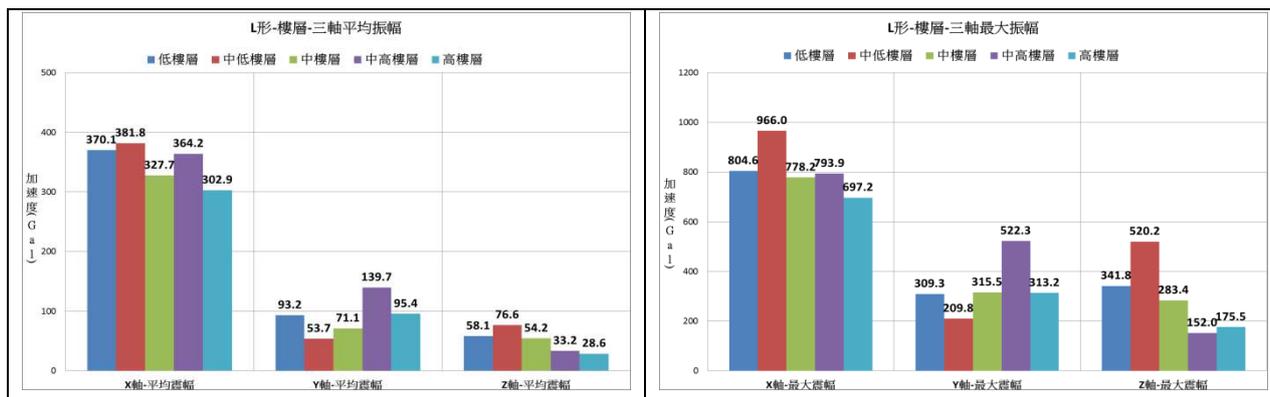


圖 2-6 L 形不同樓層長條圖

L 形研究結果：圖 2-6 可知把重心放在 L 形高樓層效果較好。從上面的長條圖可得知高樓層的搖擺幅度最小，而低樓層的搖擺幅度最大，所以要在 L 形的重心要放置在高樓層。

(七)實驗 2-7：T 形重心在不同樓層的振動幅度

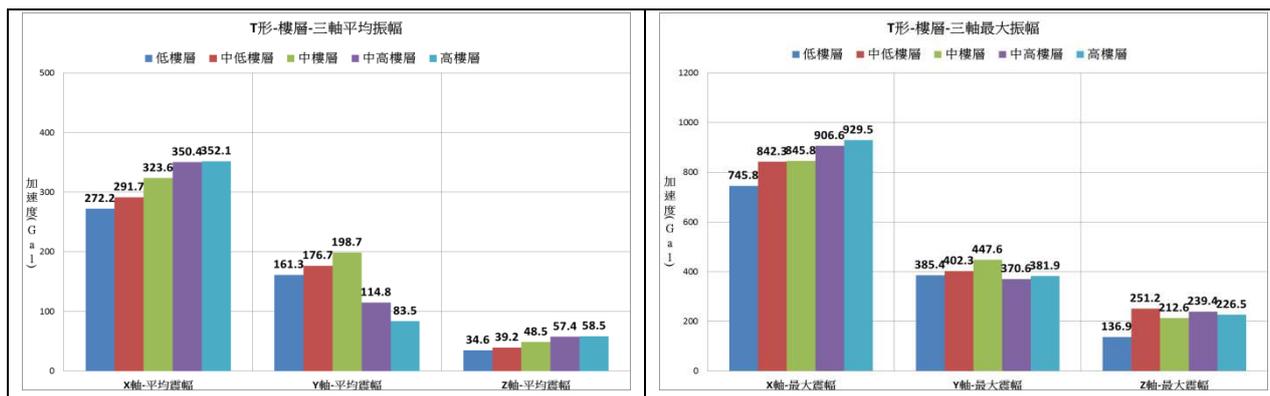


圖 2-7 T 形不同樓層長條圖

T 形研究結果：從圖 2-7 可得知而低樓層的搖擺幅度最小，所以 T 形要放阻尼器要放置低樓層。T 形重量放置於低樓層防震效果最好，建議把重心放**低樓層**的防震效果為佳。

(八)實驗 2-8：H 形重心在不同樓層的振動幅度

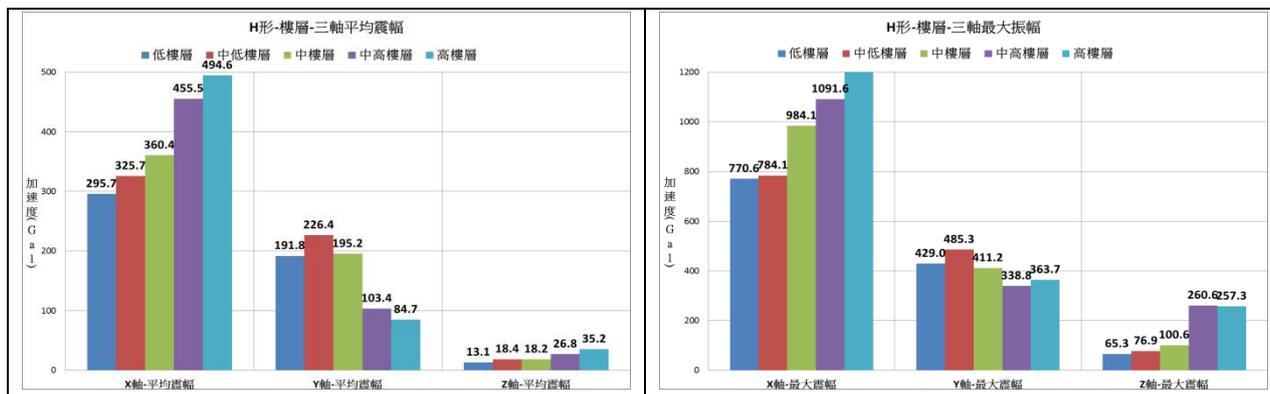


圖 2-8 H 形不同樓層長條圖

H 形研究結果：圖 2-8 將重心放在 H 形的低樓層，避震效果最好。根據研究結果，重量放置於低樓層防震效果最好，建議H形把重心放在低樓層的防震效果為佳。

三、**實驗 3：運用彈簧原理製作彈簧阻尼器，模擬鋼骨大樓在地震時的振動幅度是否有改善**

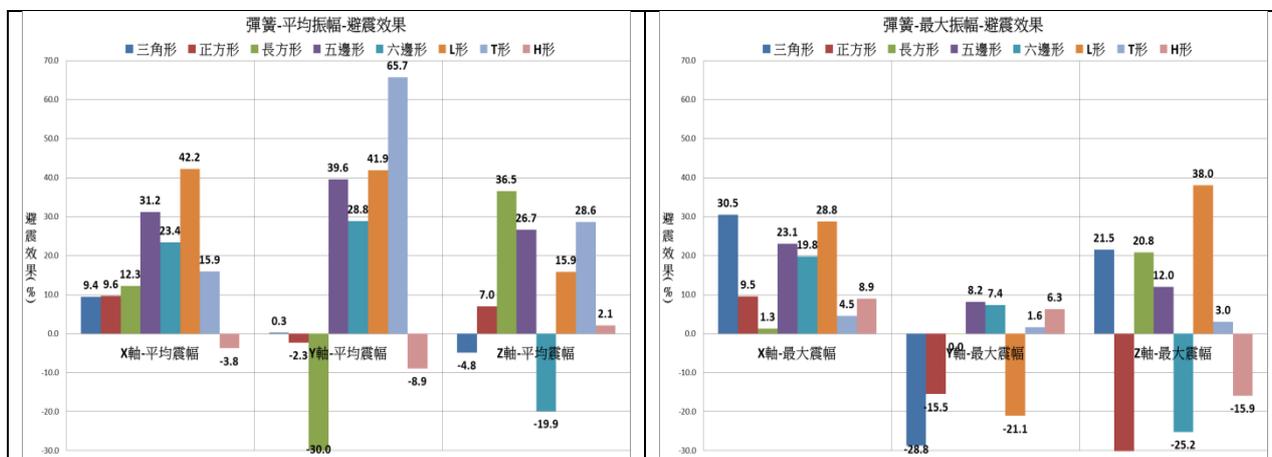


圖 3 彈簧阻尼器避震效果長條圖

彈簧阻尼器研究結果：從圖 3 可看出彈簧阻尼器比放等重重量重心在 X 軸東西向的避震效果好，但彈簧阻尼器卻把 X 軸東西向的搖晃能量轉換移到 Y 軸南北向或 Z 軸上下震動。

四、**實驗 4：運用槓桿原理製作槓桿阻尼器，模擬鋼骨大樓在地震時的振動幅度是否有改善**

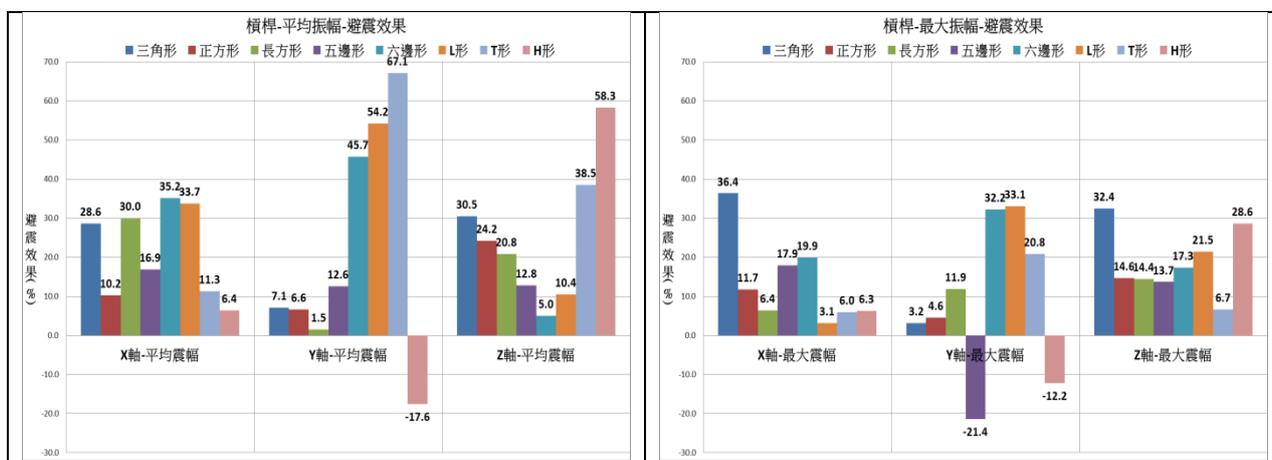


圖 4 槓桿阻尼器避震效果長條圖

槓桿阻尼器研究結果：承上圖 4 槓桿阻尼器比放等重重量重心在 X 軸東西向及 Z 軸上下的避震效果好，從上表也可以看出 Y 軸長條圖中有正也有負，可能是震動能量轉移到 Y 軸。

五、**實驗 5：運用磁力原理製作磁力阻尼器，模擬鋼骨大樓在地震時的振動幅度是否有改善**

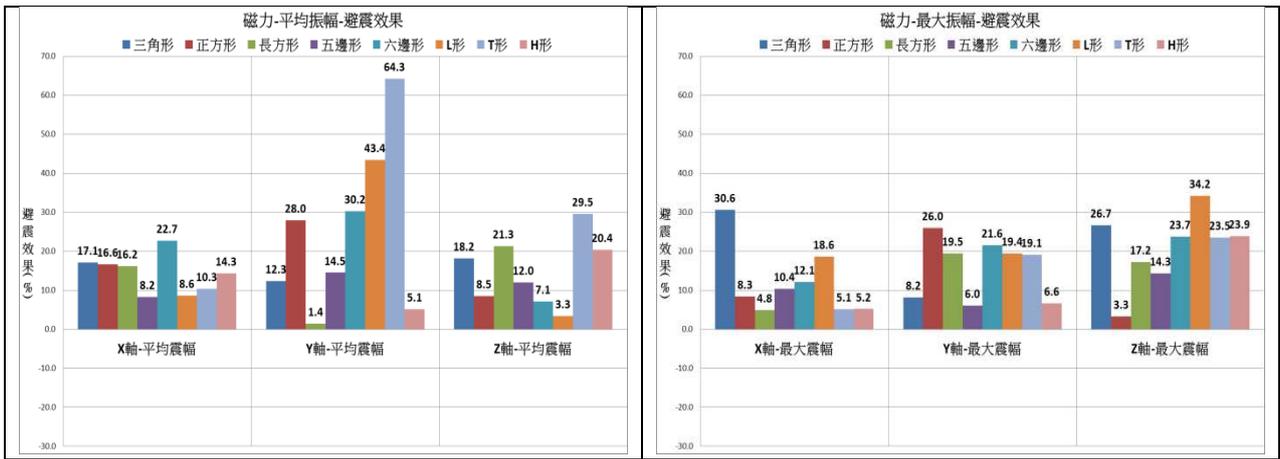


圖 5 磁力阻尼器避震效果長條圖

磁力阻尼器研究結果：上面圖 5 可以發現磁力阻尼器比放等重重量重心在 X、Y、Z 軸的避震效果皆為正值，由此可知磁力阻尼器的避震效果比放任何等重重量重心都來的有效果。

六、綜合：綜合比較，三種自製阻尼器在不同鋼骨大樓的震動情形及振動幅度

(一) X 軸(東西向)-三種自製阻尼器對不同大樓振動幅度比較：

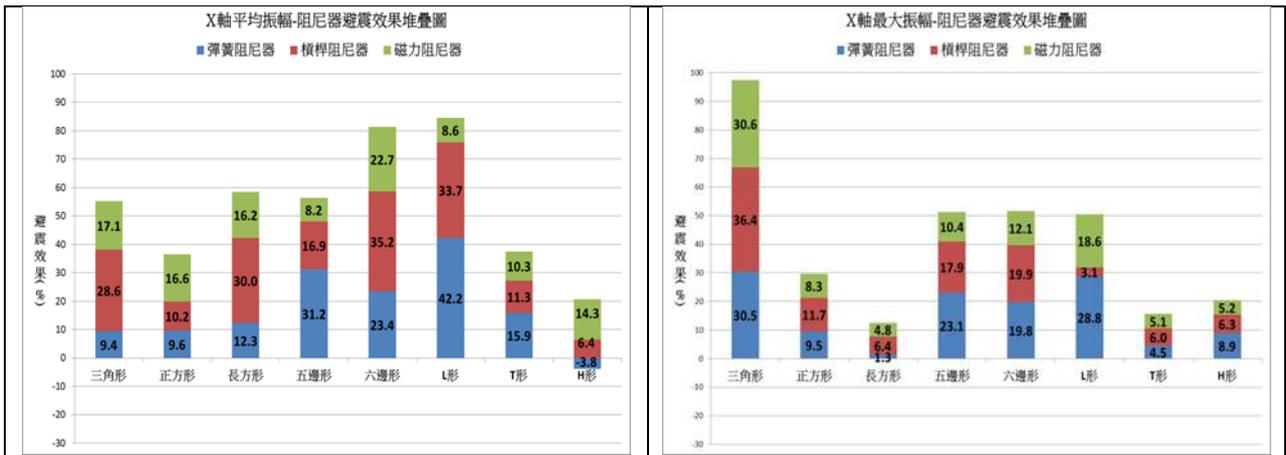


圖 6-1 X 軸-三種自製阻尼器對不同大樓振動幅度堆疊圖

研究結果：由圖 6-1 可看出三軸阻尼器在 X 軸相較之下，是**槓桿阻尼器**的防震效果較好，其次則是彈簧阻尼器。槓桿阻尼器在 X 軸的效果不錯，是因為他有足夠的重力將大部分的能量消除；**彈簧阻尼器**的彈簧能減弱 X 軸的振幅；**磁力阻尼器**在 X 軸的效果也不錯，因為它會將力量削弱後再分散到三軸。

(二) Y 軸(南北向)-三種自製阻尼器對不同大樓振動幅度比較：

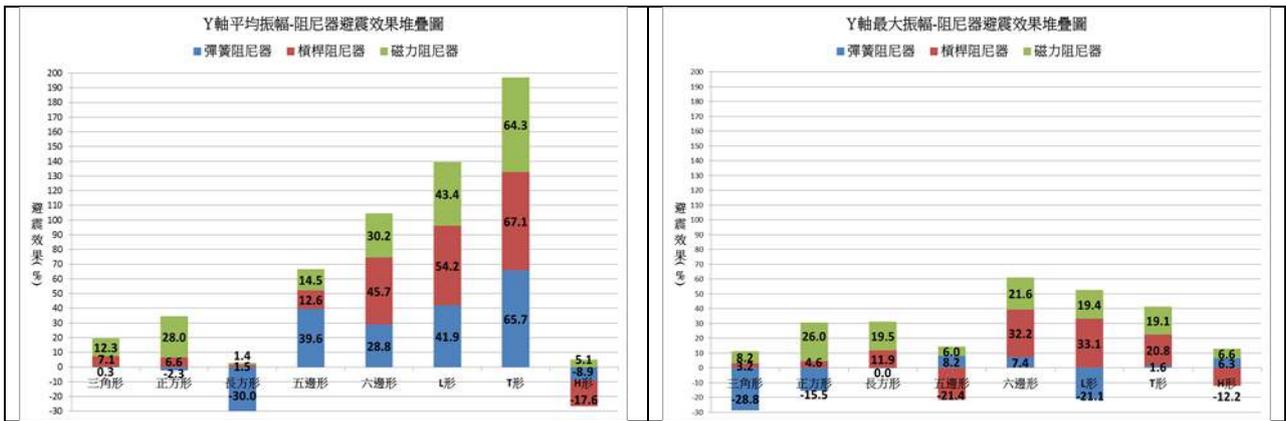


圖 6-2 Y 軸-三種自製阻尼器對不同大樓振動幅度堆疊圖

研究結果：從由圖 6-2 可以看出**磁力阻尼器**沒有呈現負值，而彈簧阻尼器與槓桿平均振幅及最大振幅都呈現了負值，可以看出**彈簧及槓桿**阻尼器不適合用於 Y 軸，是因為兩者將部分震動力量及負擔轉移到了 Y 軸，而磁力阻尼器從上圖可看出防震效果還不錯。

(三) Z 軸(上下垂直向)-三種自製阻尼器對不同大樓振動幅度比較：

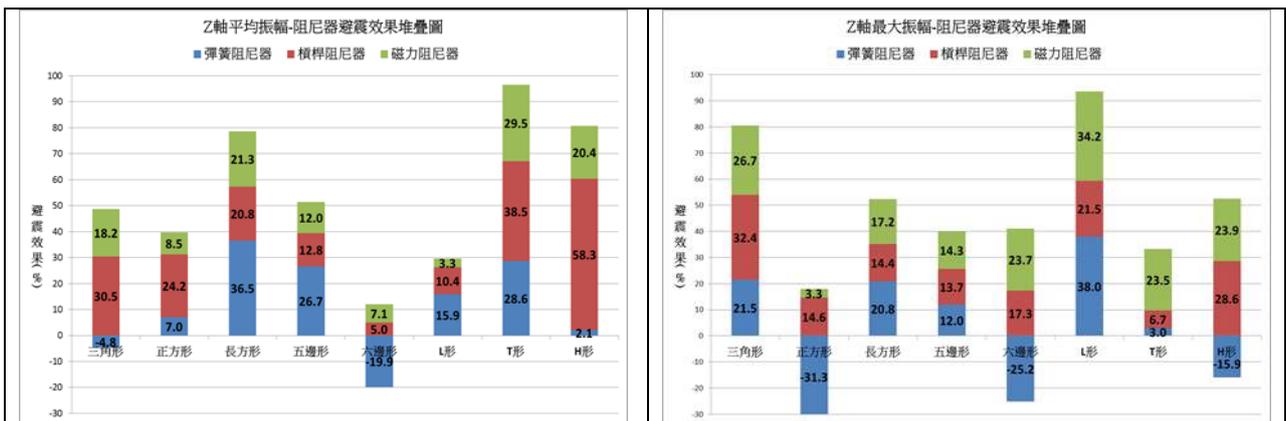


圖 6-3 Z 軸-三種自製阻尼器對不同大樓振動幅度堆疊圖

研究結果：從圖 6-3 可知**槓桿阻尼器**對 Z 軸有很好的防震效果，因為槓桿阻尼器有足夠的重量將地震的力量互相抵消；雖然**磁力阻尼器**的防震效果也不錯，一旦磁力阻尼器沒有足夠的力量將傾斜的地面壓回，其效果就沒有槓桿阻尼器來的好。**彈簧**阻尼器對 Z 軸防震效果不佳。

七、**操作：利用自製阻尼器，模擬高雄 85 摩天大樓的避震策略與建議**

(一)**操作 1**：根據不同地震方向，模擬 85 摩天大樓振動幅度結果

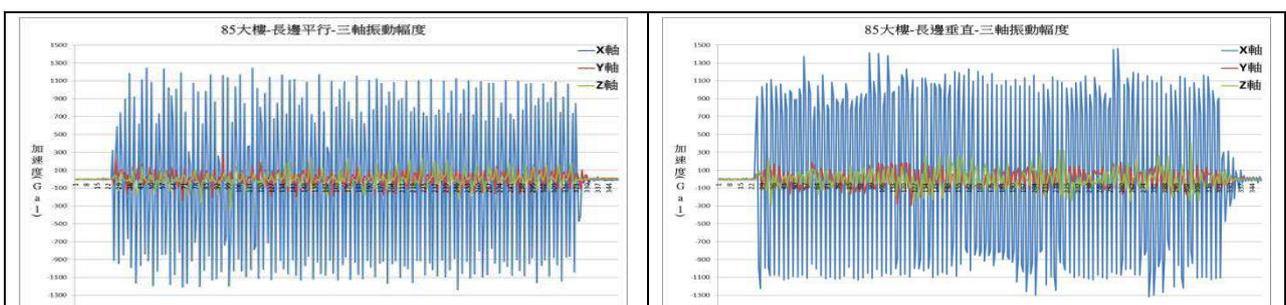


圖 7-1 不同地震方向，模擬 85 摩天大樓振動幅度結果圖

不同地震方向研究結果：從圖 7-1 可得知長邊平行 X 軸都沒有超過 1300Gal，但長邊垂直則有許多都超過了 1300Gal，85 大樓在地震來時方向為平行振動幅度較小。由此可知 85 大樓最長邊與地震方向平行的避震效果較好。

(二)操作 2：將等重量重心設計從低到高設置在不同樓層，模擬 85 摩天大樓的振動幅度。

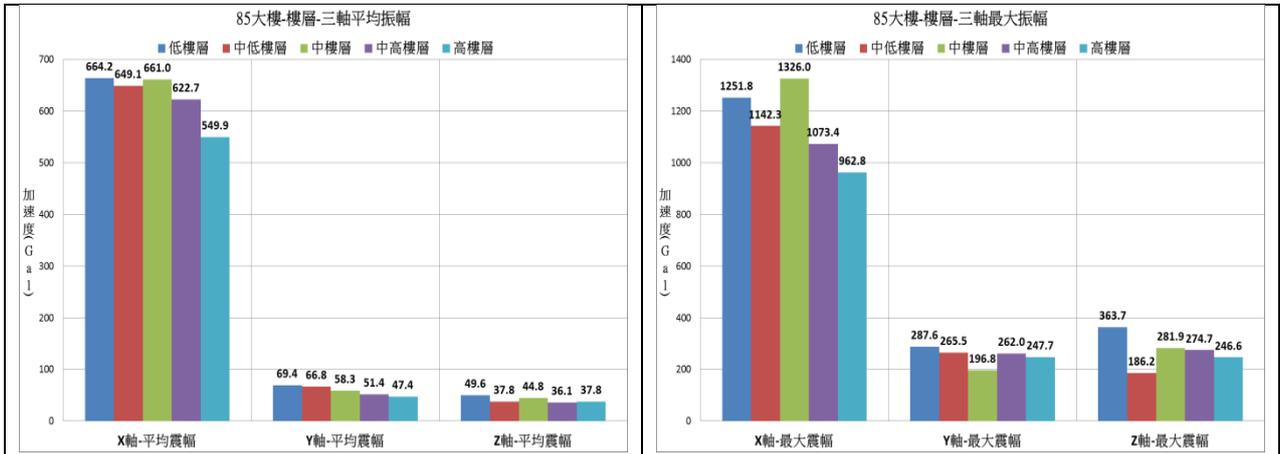


圖 7-2 不同樓層，模擬 85 摩天大樓振動幅度長條圖

不同樓層研究結果：從圖 7-2 高樓層的平均振幅是裡面最小的，所以我們選高樓層。從上面的長條圖中可以發現當我們將等重量重心放在高樓層時，X 軸的振動幅度比放在其他樓層時的幅度來的小，由此可知把重心放在高樓層的避震效果較好。

(三)操作 3：利用三種自製阻尼器，模擬 85 摩天大樓的震動情形及避震策略與建議。

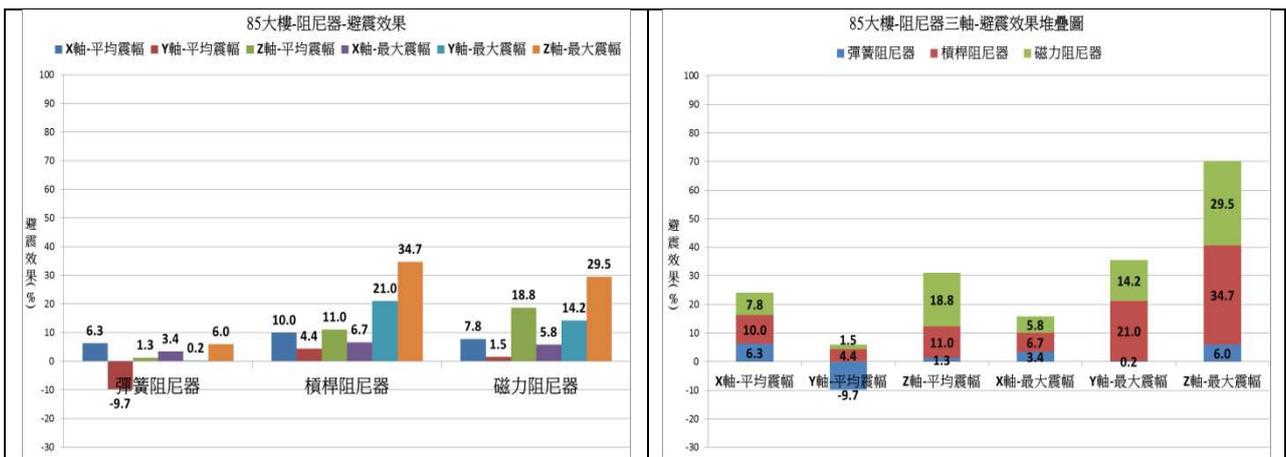


圖 7-3 三種自製阻尼器，模擬 85 摩天大樓的振動幅度比較圖

85 摩天大樓研究結果：從上面的從圖 7-3 槓桿阻尼器對 85 大樓的避震效果最好有 8%，比其他兩個還高出了 5%的效果，從上面長條圖中可以發現只有自製彈簧阻尼器有負的其餘則沒有，也可以從 X 軸看出槓桿阻尼器的避震效果較好，第二是磁力，最後則是彈簧。

陸、討論

實驗 1：【「不同大樓形狀」根據「不同地震方向」振動幅度的差異性】

- 一、實驗後我們得知**地震方向與建築物最長邊平行**的振動幅度是最小，只有三角形與 H 形大樓長邊和地震方向成**垂直**振動幅度較小，討論可能是因為那一方向柱子的支點較多，因此能夠將地震時的震動力量平均分配在每根柱子上，因而減少地震時的幅度及災害。
- 二、在實驗的過程中我們觀察有些形狀的建築物搖晃的情形非常有趣，有的是下面往左晃，上面的建築卻是往右晃，兩者剛好相反；還有一些建築物下面是往左右晃可是上面卻是繞著圈圈在晃；有些建築物還是**整棟繞著成圓形在轉動**，可能是因為**建築物形狀與地震波產生共振**的關係，才會有這樣的現象。

實驗 2：【「等重重量重心」設計從「低到高不同樓層」振動幅度是否受到影響】

- 三、我們發現建築物在**水平柱子與垂直柱子**之間的地方較**容易斷裂**，討論後覺得有可能是因為同時承受**垂直及水平的震動加速度力量**，因而在地震時容易斷裂而使得建築物倒塌，造成了無可挽回的災害。
- 四、在實驗中，我們發現**低樓層**的支柱非常**容易就斷掉**，而這和現實生活中地震來時建築物通常是由**低樓層開始倒塌**一樣。我們實驗結果將**重心放在高樓層效果較好**，像臺灣的摩天大樓例如 101 大樓的阻尼器也幾乎都是放置於**中高樓層**。

實驗 3：【「彈簧原理」製作「彈簧阻尼器」模擬大樓在地震時的振動幅度】

- 五、**彈簧阻尼器**有**減緩東西向**也就是 **X 軸**的振動幅度，但 Y 軸及 Z 軸避震效果中幾乎都會有負值，討論可能是東西向搖晃(X 軸)時的力量**轉移到上下(Z 軸)及南北(Y 軸)方向**，彈簧阻尼器雖然減緩了東西向的搖晃程度，但也**增加了南北向與上下垂直的搖晃程度**。
- 六、彈簧阻尼器的效果沒有其它兩個好，但如果改良一下，試著**加裝 Z 軸上下的彈簧**運用彈簧原理來減弱轉移的震動，彈簧阻尼器要在現實生活中使用也是可以有良好的效果。

實驗 4：【「槓桿原理」製作「槓桿阻尼器」模擬大樓在地震時的振動幅度】

- 七、**槓桿阻尼器**對 **X 軸(東西)**及 **Z 軸(垂直上下)**防震的效果不錯，但槓桿阻尼器對於 **Y 軸(南北)**的防震效果不是很好，所以若真的要在摩天大樓放置槓桿原理的阻尼器，可以**稍微調整重量及相間距離**，得以使槓桿阻尼器的防震效果更好。

八、槓桿阻尼器的避震效果都比放等重重量重心時來的好，而且長條圖中幾乎都是正值，可能是因為槓桿阻尼器上的砝碼可以把地震時傾斜的地面壓回，使整體平衡，達到防震的效果。

實驗 5：【「磁力原理」製作「磁力阻尼器」模擬大樓在地震時的振動幅度】

九、從實驗可知道，磁力阻尼器對 X 軸與 Y 軸也就是東西南北向防震效果良好，Z 軸上下垂直防震效果沒有槓桿阻尼器好，因為磁力阻尼器沒有足夠的重量能將傾斜的地面壓回。

十、磁力阻尼器在每個方向的效果都不錯，但 Z 軸顯得沒槓桿阻尼器好，若要改良可對懸浮光碟多加一些重量，例如磁鐵，可增加懸浮光碟下壓的力量。

綜合：【「綜合比較」三種「自製阻尼器」在不同大樓的振動幅度】

十一、彈簧阻尼器在震動力量超過負荷範圍時，會將其力量轉移至 Y 軸以 Z 軸。槓桿阻尼器在力量超過負荷範圍時，會將力量轉移到 Y 軸，這也是天秤的特性。磁力阻尼器在力量超過能負荷的範圍時，會平均將力量轉移到各軸，所以三軸都是正值。

操作：【「自製阻尼器」模擬「高雄 85 大樓」的震動情形及避震策略與建議】

十二、高雄 85 大樓是用頂點珠與造形棒製作大樓鋼骨，並用厚紙板製作大樓牆面，模擬的 85 大樓增加了牆面，牆面是否可增加防震性是值得加以實驗，可列為本研究的後續實驗。

討論建議：【不同形狀鋼骨大樓的最佳防震建議】

十三、根據本次實驗結果的討論建議，不同形狀鋼骨大樓的最佳防震建議如下：三角形的最長邊須與地震方向垂直，適合槓桿阻尼器及磁力阻尼器放置於高樓層；正方形、長方形及六邊形的最長邊須與地震方向平行，適合槓桿阻尼器及磁力阻尼器放置於高樓層；五邊形的最長邊須與地震方向平行，適合彈簧阻尼器及磁力阻尼器放置於高樓層；L 形的最長邊須與地震方向平行，適合槓桿阻尼器及磁力阻尼器放置於高樓層；T 形的最長邊須與地震方向平行，適合彈簧阻尼器、槓桿阻尼器及磁力阻尼器放置於低樓層；H 形的最長邊須與地震方向垂直，適合磁力阻尼器放置於低樓層。

柒、結論

實驗 1：【「不同大樓形狀」根據「不同地震方向」振動幅度的差異性】

一、從上面實驗我們得知，不同形狀鋼骨結構大樓的最長邊和地震方向平行時搖晃程度較低，

除了**三角形**與**H形**大樓最長邊和地震方向**垂直**效果好。

二、現在的建築物為了講求好看而做出一些奇形怪狀的建築物，雖然吸引許多人來參觀，但地震發生時也是最容易發生災害的，像我們實驗時所使用的**H形**及**L形**雖然造形奇特，但它的**避震效果**卻不是很好，而那些**正多邊形**如：**正六邊形**等，雖然造形看起來沒那麼特殊但它的**整體避震效果**卻**最好**。

實驗 2：【「等重重量重心」設計從「低到高不同樓層」振動幅度是否受到影響】

三、大多數形狀的建築**重心在高樓層**時的振動幅度比放在其它樓層來的小，也就是說**重心在高樓層的避震效果是最好的**，只有**T形**和**H形**重心是在**低樓層**。經過這些實驗我們就可以知道甚麼形狀要放在哪層樓才可以將阻尼器的功能發揮到最好。

四、現實生活中摩天大樓的阻尼器放置位置和我們實驗出的**結果是相同的**，**重心幾乎也都是放置於中高、高樓層**效果最好。

實驗 3：【「彈簧原理」製作「彈簧阻尼器」模擬大樓在地震時的振動幅度】

五、從上面的實驗可得知，**彈簧阻尼器在 X 軸**也就是**東西向**的**防震效果最好**，而**Z 軸**—**垂直上下向**與**Y 軸**—**南北向**則防震效果較不好。

六、地震來時有分**縱波震動方式(P 波)**與**橫波震動方式(S 波)**，所以**彈簧阻尼器**而言對於**S 波**的震動方式，可減少橫波震動。

實驗 4：【「槓桿原理」製作「槓桿阻尼器」模擬大樓在地震時的振動幅度】

七、**槓桿阻尼器對 X 軸(東西)及 Z 軸(垂直上下)**的防震效果最好，**Y 軸**則是防震效果居後，**槓桿阻尼器**可以將摩天大樓因地震而傾斜的地面用重量把它壓下去達到防震效果。

八、以三軸而言，**槓桿阻尼器對 Y 軸(南北)**的防震效果較差，但大致上防震效果都是正值以上，具有一定的功效。

實驗 5：【「磁力原理」製作「磁力阻尼器」模擬大樓在地震時的振動幅度】

九、從實驗可得知**磁力阻尼器在三軸的避震效果都是正值**，其中**X 軸**與**Y 軸**防震效果都不錯，而**Z 軸**其次，**磁力阻尼器**它的**Z 軸**之所以較不好，是因為**磁力阻尼器**它沒有足夠的重量能將大樓因地震而傾斜的角度壓回去。

十、從上面實驗我們可得知，**磁力阻尼器**在每一個方向的效果都還不錯，要在**現實世界**中的摩天大樓放置我們所做的**磁力阻尼器**，相信這個阻尼器的防震效果會不錯。

綜合：【「綜合比較」三種「自製阻尼器」在不同大樓的振動幅度】

十一、三種自製阻尼器的綜合比較可以發現，**彈簧阻尼器**對 **X 軸** 的防震效果較好，放在**五邊形及 T 形**效果較佳。**槓桿阻尼器**對 **X 軸及 Z 軸**的防震效果較好，放在**三角形、正方形、長方形、六邊形、L 形及 T 形**都有好的效果。**磁力阻尼器**對 **X 軸、Y 軸及 Z 軸**都有良好防震效果，**放置在各式形狀建築上**都有不錯的效果。

操作：【「自製阻尼器」模擬「高雄 85 大樓」的震動情形及避震策略與建議】

十二、從上面的實驗可得知，**高雄 85 大樓**面對地震來時**最長邊和地震方向平行**時振動的幅度較小，而 **85 大樓**若是要放置**阻尼器**的話放置於**高樓層**效果佳，因大樓搖晃最嚴重的樓層是在中高樓層、高樓層，所以**阻尼器**放置在**高雄 85 大樓**的**高樓層**才得以**達到阻尼器的最佳效果**。

總結建議：【地震的防震效果總結建議】

十三、地震來臨時**摩天大樓**（例如：臺北 101、85 大樓）要用重量與體積較大型的阻尼器，像臺北 101 的阻尼器有六百六十公噸，才達到預防地震與颱風的避震效果，建議可試驗我們自製的**磁力阻尼器**。若是一**般鋼骨大樓**（例如：新光三越），下方會搖晃的比上方還快，建議放置可將上下方的**搖動情形**改的較為**一致的阻尼器**，才不會因為過度拉扯導致鋼架斷裂讓大樓倒塌，建議可試驗我們自製的**槓桿及磁力阻尼器**。若是一**般鋼筋混凝土大樓**，建議可在樑柱間安裝本次研究自製的小型阻尼器，如：**彈簧或磁力阻尼器**。

捌、參考資料及其他

- 一、陳光榮（2014）· *地震防災概論*· 臺北市：新學林。
- 二、高橋俊介（2009）· *摩天大樓建築之謎-從台北 101 發現建築科技的奧妙*· 臺北市：晨星。
- 三、鄧景元(譯)（2005）· *天崩地裂-毀滅性地震*（原作者：阿尼達·家奈利）· 臺北市：如何。
- 四、賴俊兆、連豐力（2014）· *高樓建築避震的自動控制*· 科學發展，497，68-71。
- 五、李穎（2004）· *玉樹臨風穩如山*· 科學發展，374，50-55。
- 六、李政寬、張惠玲、邱世彬（2009）· *安全耐震的家—認識地震工程*· 臺北市：財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心。
- 七、交通部中央氣象局（2015）· *地震百問*· 臺北市：國家書局。

【評語】 080510

本研究深入瞭解地震動對不同形狀的鋼骨高樓影響。另外一探討阻尼器在各大樓的影響。同時自行設計不同阻尼器來研究對大樓的避震效果。活用自然物理和地震的知識，實驗設計完整。並討論現實應用上的可行性。海報製作優良。