

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

第三名

030504

「震不震」的住

學校名稱：高雄市立翠屏國民中學

作者： 國二 黃子齊 國二 陳玉芳 國二 戴端儀	指導老師： 鍾文杰 黃秋敏
---	-----------------------------

關鍵詞：地震、慣性、阻尼器

「震不震」的住

摘要

本研究是探討與地震相關的阻尼器現象，並運用簡單的器材來設計簡易的地震模擬振動平台來測試阻尼器的效用。

實驗是用台車、彈簧、樂高積木板來建構地震模擬振動平台，樂高積木來建構建築物模型，砝碼來模擬阻尼器，結果如下：

- 一、利用彈簧拉力，讓地震模擬振動平台能水平來回擺動，模擬水平移動的地震。
- 二、懸掛式砝碼（似擺錘）能減少建築物搖晃情形，且砝碼移動方向會因慣性而與建築物移動方向相反。在改變砝碼重量的實驗中可以發現砝碼越重，越能減少建築物搖晃的情形。
- 三、固定砝碼重量，改變砝碼位置的實驗中發現，砝碼擺放位置越高，越能減少建築物搖晃的情形。

實驗結果可用以解釋台北 101 大樓中重達 680 公噸大圓球阻尼器設置於 88-92 樓的原因。

壹、研究動機

暑假期間，到台北參觀 101 大樓時，看到懸吊於 88-92 樓層的世界最大金球阻尼器時，心中納悶：為什麼會有像單擺的大圓球擺在這呢？資料上說明：它叫做「調和質塊阻尼器」，阻尼器是用來降低建築物振動的，避免因擺動過大而使得在建築物內的人感到不舒服，也能減少地震對大樓的影響。因此，我們很好奇阻尼器為什麼可以減少建築物擺動？為什麼 101 大樓要在 88-92 樓中央設置一顆重達 680 公噸的阻尼器，當地震來時，這顆阻尼器又是會如何發生作用呢？自然課-地震單元時，老師說我們台灣位處於歐亞與菲律賓海洋板塊交界處，所以時常會發生地震，心想，超高建築物在發生地震時，如何減少地震的影響？住在高樓的人會不會搖晃劇烈？一連串疑惑……我們想藉由相關實驗操作來模擬觀察，以瞭解當建築物搖晃時，阻尼器是如何發揮效用的。因此，我們進行以下一連串的實驗操作。

貳、研究目的

- 一、利用文獻資料來瞭解阻尼器的相關內容。
- 二、設計地震模擬振動平台，利用水平來回移動方式模擬地震。
- 三、觀察探討阻尼器減少建築物搖晃的關係。
- 四、觀察探討阻尼器重量與建築物搖晃的關係。
- 五、觀察探討阻尼器位置與建築物搖晃的關係。

參、研究設備及器材

小台車、木板、彈簧、鉤子、砝碼、電子秤、計時器、樂高積木、拋光石英地磚(60 cm*60 cm)。

肆、研究過程或方法

一、文獻資料

對一個物體施以一個方向的力，再對其施以另外一個相反方向的力，就會把力互相抵銷。消能元件的原理就是如此，當地震使建築物震動時，裝在建築物上的消能元件就會隨著建築振動的大小和方向，產生相反的力來抵銷地震力。

阻尼器即當作消能元件，其主要功能在提供結構物外加的阻尼(亦可謂之阻抗)，來降低地震、風力等外力所造成的振動。其主要原理在於利用材料本身的特性來達到能量轉換的效果。目前阻尼器可分為機械阻尼器、摩擦型阻尼器、調和質塊阻尼器、液壓型阻尼器。機械阻尼器通常是由鋼鐵製成，藉由自己的變形成為脆性結構來承受地震的能量；摩擦型阻尼器在建築物受到地震力的時候，阻尼器的構件會受力而轉動，構件之間會產生摩擦力，進而削減地震的損害；調和質塊阻尼器是利用質量塊來吸收物體的振動，再將能量傳遞、發散到下方的阻尼系統，它運用慣性，當大樓搖晃時，懸吊的質塊擺動以此抵銷地震力；液壓型阻尼器通常是由一個封閉式的滾筒裡面裝油或是粘稠液體，活塞桿連結到活塞頭與小孔中，隨著活塞在滾筒裡前後進出，油被擠壓流過小孔到活塞頭，從而產生摩擦力，能抵消地表的震動並減少樓層之間的位移，使建築物免於被扯裂的命運。台北 101 大樓則是使用調和質塊阻尼器。

阻尼器常用於新建建築之耐震設計及舊有建築之耐震補強，另外高科技廠房、高鐵橋梁之減震工法亦可發現其身影，機械阻尼器通常以斜撐或壁式工法加裝於上下樓層之間。

二、實驗前：實驗初步藍圖

我們想利用日常生活中常見的物品來建構建築物模型，再將此模型拿至鄰近大學的地震實驗室測試觀察，實地感受地震發生時，建築物搖晃情形。

(一) 建築物模型的建構：選擇幾種常見物品來建構建築物，並分析其特性：

表一.1：建築物模型的材料種類

建築物模型的材料種類	厚紙板	木條
優點	1. 取得便利 2. 模型建構容易	1. 結構牢固 2. 最接近實際建築物形式
缺點	1. 過輕，易傾倒 2. 無法網綁重物 3. 無法調整建築物高度 4. 建築物易偏移，不牢固	1. 不易裁剪 2. 建築物重心易偏移 3. 無法調整建築物高度 4. 木條間不易使用棉繩網綁，棉繩過多易影響實驗客觀性



表一.2：建築物模型的材料特性

建築物模型的材料種類	木頭積木	樂高積木
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不需裁剪，容易操作 2. 高度容易調整 3. 不需黏貼，建築物重量客觀 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 容易操作 2. 可以堆疊很高且高度容易微調 3. 不需黏貼，積木間卡榫牢固 4. 建築物重心不偏移 5. 積木牢固，不易傾倒
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 無法疊太高，易倒塌 2. 積木間易鬆動，易受外力影響 3. 積木有既定的長度，建築物高度無法微調 	
圖示		

經分析材料種類的特性後，決定以「樂高積木」來作為此實驗的建築物模型材料。

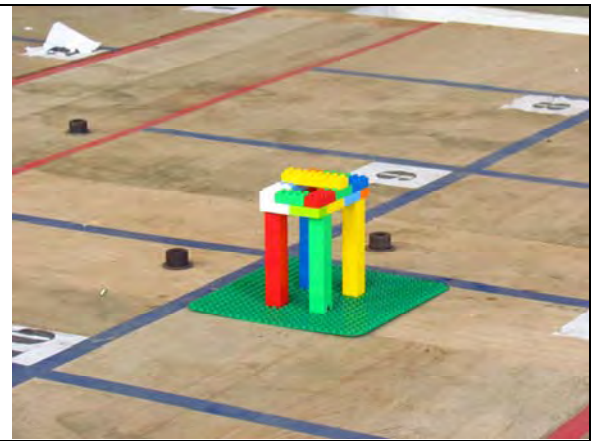
(二) 實地觀察地震實驗室

為了能更進一步瞭解到地震對建築物影響，於是我們把以樂高積木堆疊的建築物模型拿至鄰近的科技大學地震實驗室來做進一步測試。觀察結果說明如下：

- 1.地震實驗室的地震模擬振動平台可測試 7 級以上的地震強度。平台啟動時，會模擬地震情形做有規律的水平來回振動。
- 2.將建築物模型（每根柱子為 10 個積木高）固定於平台中央，從強度 4 級開始測試，模型在 4、5、6 級皆穩固，7 級時，模型柱子漸漸搖晃隨之水平傾倒。我們發現：樂高積木的建築物模型頗為牢固，耐震性頗高，符合我們實驗的需求。



至鄰近的科技大學地震實驗室做測試



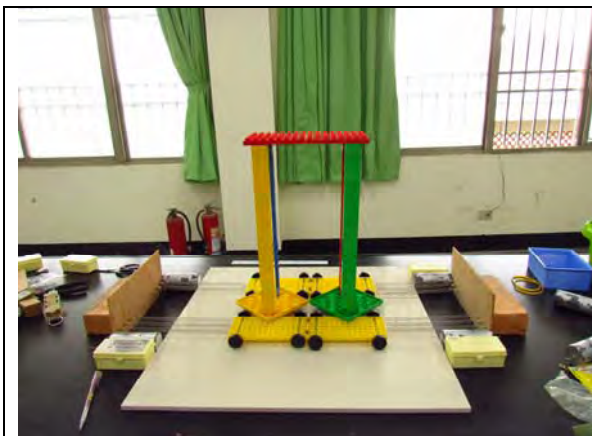
強度 4 級開始測試

參觀完地震實驗室後，激起我們想動手設計「地震模擬振動平台」的念頭，於是進行實驗一的操作。

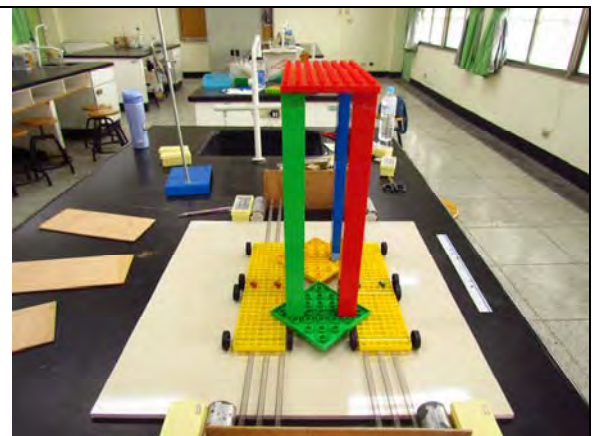
三、實驗一：地震模擬振動平台的設計

地震模擬振動平台必須要能模擬地震的水平移動，且又能測試建築物模型的搖晃情形，因此，我們選擇用台車、彈簧、樂高積木板等物品來設計。

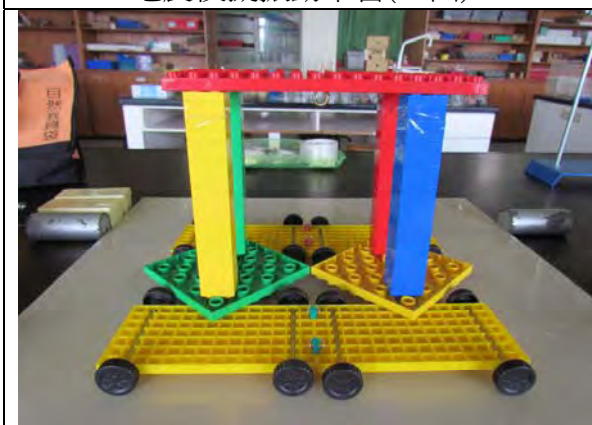
(一) 實驗假設：如果以台車當地震模擬振動平台，再運用彈簧拉力拉平台，兩端彈簧拉力差異使平台做加速度運動造成平台水平來回移動。



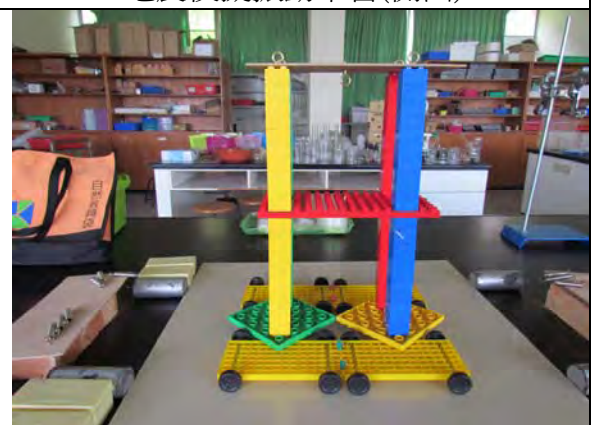
地震模擬振動平台(正面)



地震模擬振動平台(側面)



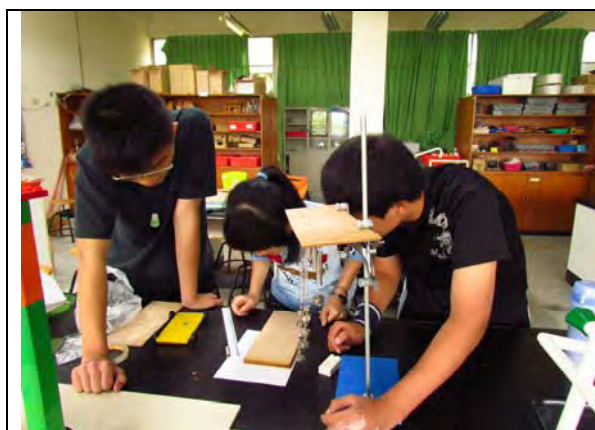
一層建物



兩層建物

(二) 實驗設計與過程：

- 1.利用積木板及長尾夾將四部台車連結成一平台，平台左右兩旁各掛 6 條彈簧，再將彈簧另一端固定於木板上，使平台能藉由兩側相同的彈簧拉力而靜止於左右兩旁的木板中間。
- 2.利用積木卡榫將建築物模型固定於平台中心的積木板上。
- 3.用手拉引平台往另一端彈簧移動，改變左右兩端彈簧長度（一端變長而另一端變短），放手時，平台會因左右兩端拉力差異產生加速度運動，在往另一端移動的同時又造成兩端彈簧長度差異而又產生反方向拉力使平台做反方向加速度運動，因而使平台來回水平振盪。
- 4.應用虎克定律（外力與彈簧伸長量成正比），利用外力來改變彈簧長度，藉由伸長量的變化而得知施力的大小。
- 5.依牛頓第二運動定律（ $F=ma$ ）：施力造成物體產生加速度運動。利用左右兩端彈簧拉力的差異而使平台做左右方向加速度運動，並使之能水平來回移動。



測彈簧原長



同學測試

- (三) 實驗改良：考量平台的輪子在移動同時會因台車輪軸與台車之間產生摩擦力而速度漸漸減慢，因此，以拋光石英地磚取代地面，降低摩擦力因素影響。



使用拋光石英地磚來降低摩擦力



兩位同學計時

(四) 實驗結果與討論：

平台水平來回移動的同時，平台上的建築物模型也隨之水平搖晃，如同地震發生的真實情形，可以以此來模擬地震發生的情境。

(五) 實驗限制：

考量平台在石英地磚移動的空間及爲了增加建築物模型左右搖晃時間(避免因搖晃時間過短而增加實驗誤差)，在不超過彈簧彈性範圍內，決定讓一端彈簧伸長至拉力爲 160gw，另一端彈簧則縮短伸長至拉力爲 56.5gw，放手後，兩端拉力差爲 103.5gw (160-56.5=103.5)，6 條彈簧的拉力爲 621 gw (103.5×6=621)，以 621 gw 的彈簧拉力拉引平台做加速度運動，使平台來回水平移動。

(六) 推論：

- 1.當平台來回移動時，建築物也隨之搖晃；平台停止移動，建築物也隨之停止，我們可藉由測量平台來回振盪時間來得知建築物搖晃時間。
- 2.想進一步探討在建築物上加裝阻尼器來減緩建築物搖晃情形，因此進行實驗二的操作。

四、實驗二-1：阻尼器與建築物搖晃的關係

在設計地震模擬振動平台的實驗中觀察到建築物在搖晃時，位於高處的積木晃動幅度比較大，再從閱讀文獻資料中，得知在超高大樓裡會加裝阻尼器來減少高樓層搖晃情形，有此概念後，我們進行以下實驗二-1 操作。

(一) 實驗假設：如果在建築物樓板加裝阻尼器(重物)，則阻尼器可以減緩建築物搖晃情形。

(二) 實驗設計與過程：

- 1.將樂高積木堆疊的建築物模型固定於地震模擬振動平台上，手拉引平台，使兩端彈簧產生 621gw 彈力拉引平台做水平加速度 771cm/sec^2 運動，並測量建築物搖晃的時間(忽略輪子與接觸面的摩擦力)。

$$621\text{gw} = 0.621\text{kgw} \div 6.09\text{nt} \quad \text{總重量} = \text{建築物} + \text{平台} + \text{砝碼} = 785.58\text{g} \div 0.79\text{kg}$$

$$F = ma \quad 6.09 = 0.79a \quad a = 7.71\text{m/sec}^2 = 771\text{cm/sec}^2$$

地震震度與加速度的關係，可以心理學家韋伯-費科納法則(Weber-Fechner)來解釋：即刺激的程度(加速度， α_I ，單位爲 cm/s^2)成等比級數增加時，感覺的程度(震度，I)將以等差級數增加。

中央氣象局現所採用的震度階級，其與加速度的關係式如下：

$$\log \alpha_I = (I/2) - 0.6$$

$$\log 771 \div 2.89 \text{ 代入上式，約爲地震規模七級}$$



利用電子秤盤測積木重量



測彈簧伸長量與外力大小



實際測試



實際測試

表二：地震強度與地震水平加速度

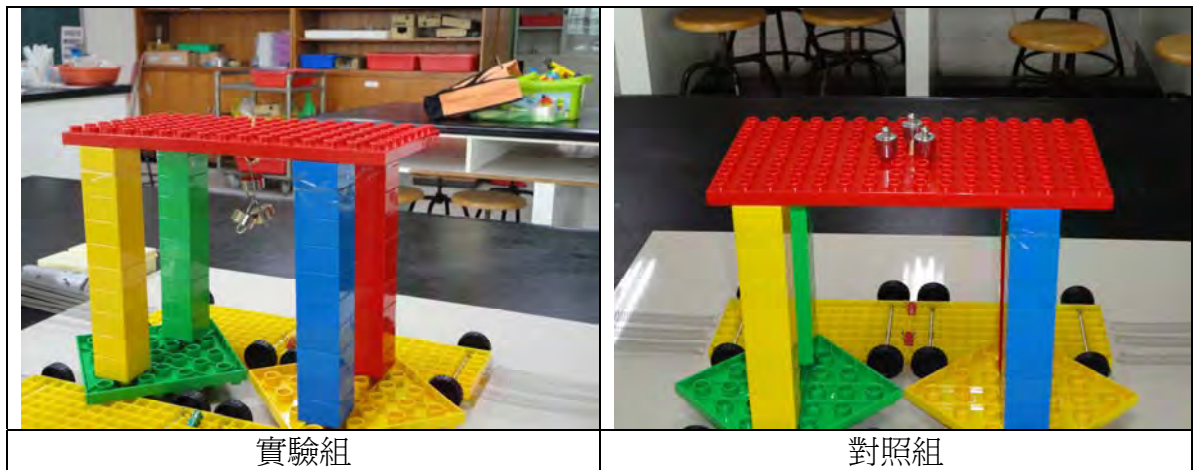
(中央氣象局)

強度(級數)	0 無感	1 微震	2 輕震	3 弱震	4 中震	5 強震	6 烈震	7 劇震
加速度 cm/sec ²	<0.8	0.8-2.5	2.5-8.0	8.0-25.0	25.0-80.0	80-250	250-400	>400

從上表，得知此方法可以模擬地震強度 7 級以上的情形。

2. **實驗組**：把有掛勾的 60g 砝碼當作阻尼器，並懸掛於樓板下方的中央位置，手拉引平台，使兩端彈簧產生 621 gw 拉力使平台做水平加速度運動，並測量建築物搖晃的時間。

對照組：將 60g 的砝碼平放於樓板上方的中央位置（與實驗組之總質量不變），手拉引平台，使兩端彈簧產生 621 gw 拉力使平台做水平加速度運動，並測量建築物搖晃的時間。



其結果如下：

表三：「平放」、「懸掛」砝碼造成建築物搖晃時間

	平放 60g	懸掛 60g
第 1 次 (S)	4.2	4.2
第 2 次 (S)	4.2	4.0
第 3 次 (S)	4.2	3.9
第 4 次 (S)	3.8	3.8
第 5 次 (S)	3.9	3.9
第 6 次 (S)	4.1	3.7
第 7 次 (S)	4.1	4.2
第 8 次 (S)	4.3	4.1
平均 (S)	4.15	3.98

結果說明：加裝阻尼器後，建築物搖晃的時間縮短了 0.17 秒。

(三) 實驗發現：

建築物安裝阻尼器確有減緩建築物搖晃的效果。

(四) 實驗推論：

當建築物搖晃的同時，懸掛式阻尼器會因慣性因素而以反方向簡諧運動搖晃以此減弱建築物搖晃的能量。

接著我們將建築物再堆高 1 層樓 (10 個樂高積木高度，共 20 個樂高積木高度)，探討阻尼器與較高樓層搖晃的關係

實驗二-2：阻尼器與高樓層建築物搖晃的關係

(一) 實驗假設：如果在較高建築物樓板加裝阻尼器 (重物)，則阻尼器可以減緩建築物搖晃情形。

(二) 實驗設計與過程：

1. 設計兩層建物的觀察：將樂高積木再往上堆疊一層，為原來 2 倍高固定於地震模擬振動平台上，手拉引平台，使兩端彈簧產生 621 gw 彈力拉引平台做水平加速度 $534\text{cm}/\text{sec}^2$ 運動(忽略輪子與接觸面的摩擦力)，並測量建築物搖晃的時間。

$$621\text{gw} = 0.621 \text{ kgw} \doteq 6.09\text{nt} \quad \text{總重量} = \text{建築物} + \text{平台} + \text{砝碼} = 1138.29\text{g} \doteq 1.14\text{kg}$$

$$F = ma \quad 6.09 = 1.14a \quad a = 5.34\text{m}/\text{sec}^2 = 534\text{cm}/\text{sec}^2$$

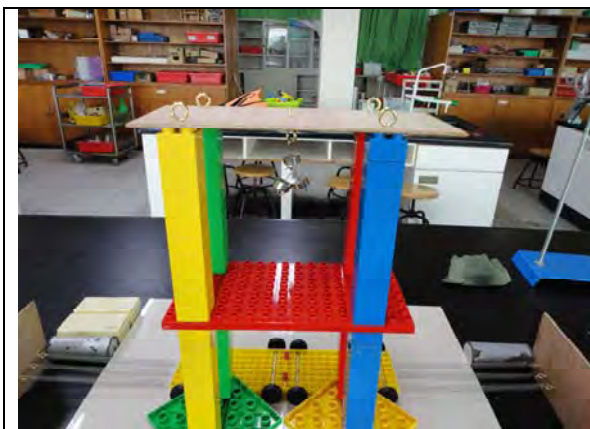


兩層建物

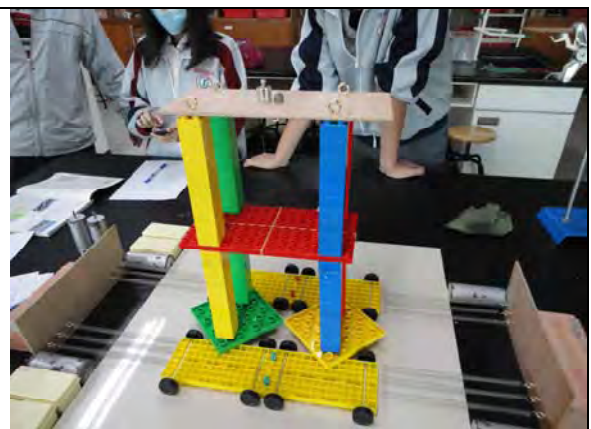
2. **實驗組**：把有掛勾的 60g 砝碼當作阻尼器，並懸掛於高樓板下方的中央位置，手拉引平台，使兩端彈簧產生 621 gw 拉力使平台做水平加速度運動，並測量建築物搖晃的時間。

對照組：將 60g 的砝碼平放於樓板上方的中央位置（與實驗組之總質量不變），手拉引平台，使兩端彈簧產生 621 gw 拉力使平台做水平加速度運動，並測量建築物搖晃的時間。

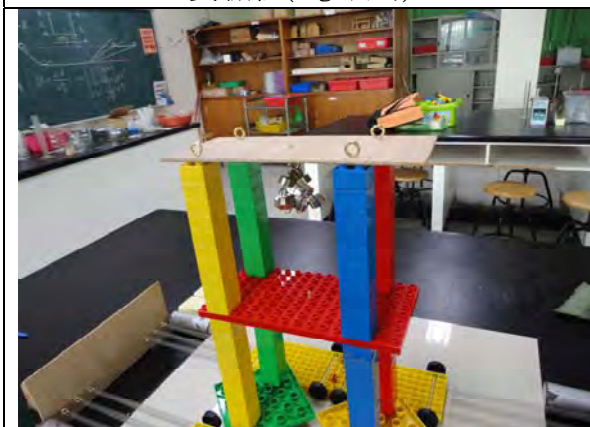
其結果如下：



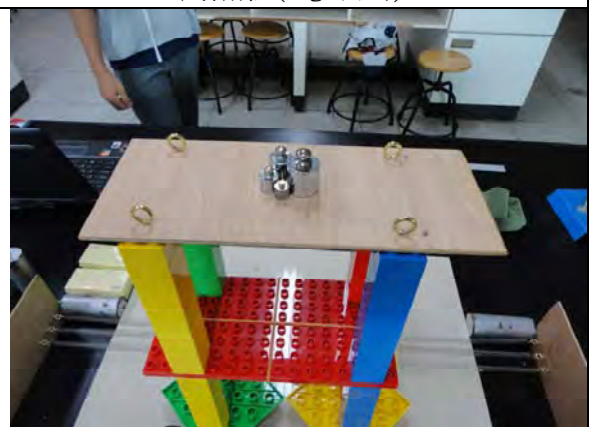
實驗組(60g 砝碼)



對照組(60g 砝碼)



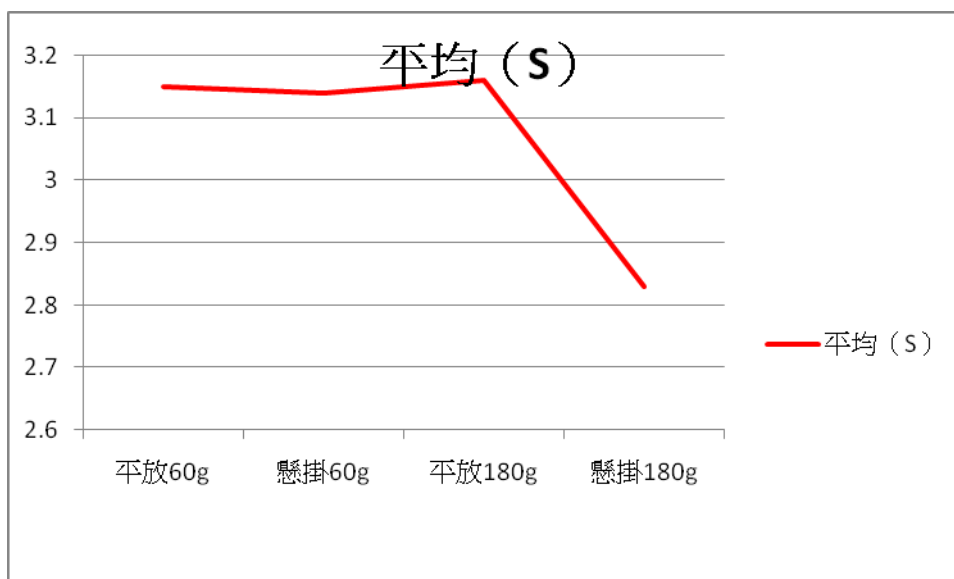
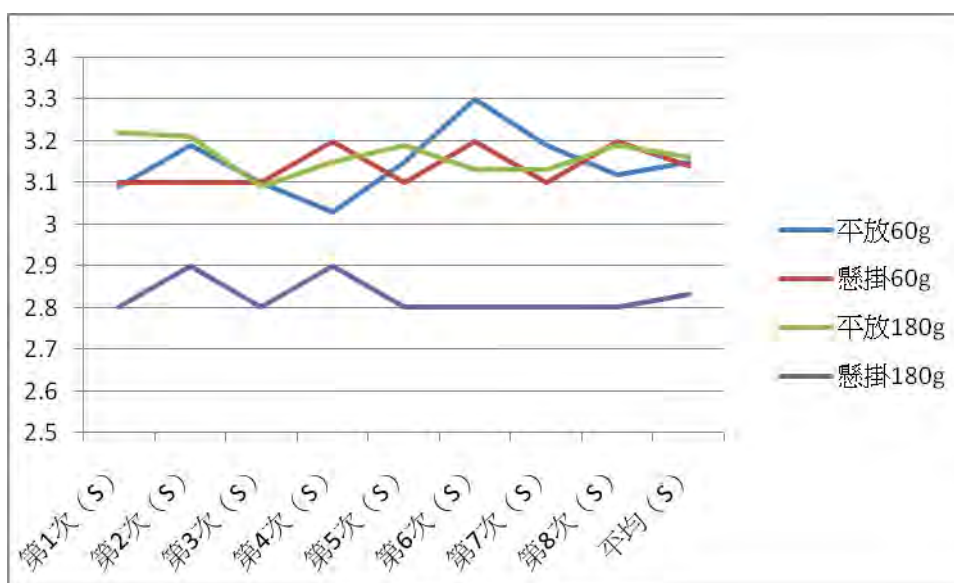
實驗組(180g 砝碼)



對照組(180g 砝碼)

表四：「平放」、「懸掛」砝碼造成高樓層建築物搖晃時間

	平放 60g	懸掛 60g	平放 180g	懸掛 180g
第 1 次 (S)	3.09	3.10	3.22	2.8
第 2 次 (S)	3.19	3.10	3.21	2.9
第 3 次 (S)	3.10	3.10	3.09	2.8
第 4 次 (S)	3.03	3.20	3.15	2.9
第 5 次 (S)	3.15	3.10	3.19	2.8
第 6 次 (S)	3.30	3.20	3.13	2.8
第 7 次 (S)	3.19	3.10	3.13	2.8
第 8 次 (S)	3.12	3.20	3.19	2.8
平均 (S)	3.15	3.14	3.16	2.83



結果說明：

1. 懸掛 60 克砝碼時的建築物搖晃時間比平放方式縮短 0.01 秒，研判與建築物質量增加有關，我們又試著增加砝碼質量至 180 克，並再重新操作測量。
2. 懸掛 180 克砝碼時的建築物搖晃時間比平放方式縮短 0.33 秒。

(三) 實驗發現：

- 1 建築物質量越大，越不容易搖晃。
- 2.懸掛式阻尼器可以有效減緩建築物的搖晃，且阻尼器越重時，效果似乎更明顯。
- 3.建築物質量越大，若要再減少建築物搖晃程度，阻尼器可能也要再增加質量。

(四) 實驗限制：

建築物加高時，平台水平移動的加速度就會變小，建築物搖晃的時間就會縮短，爲了增加實驗測量的準確性，一方面建築物不宜再堆高，或若能再增加彈簧水平拉力，以維持或增長建築物的搖晃時間。

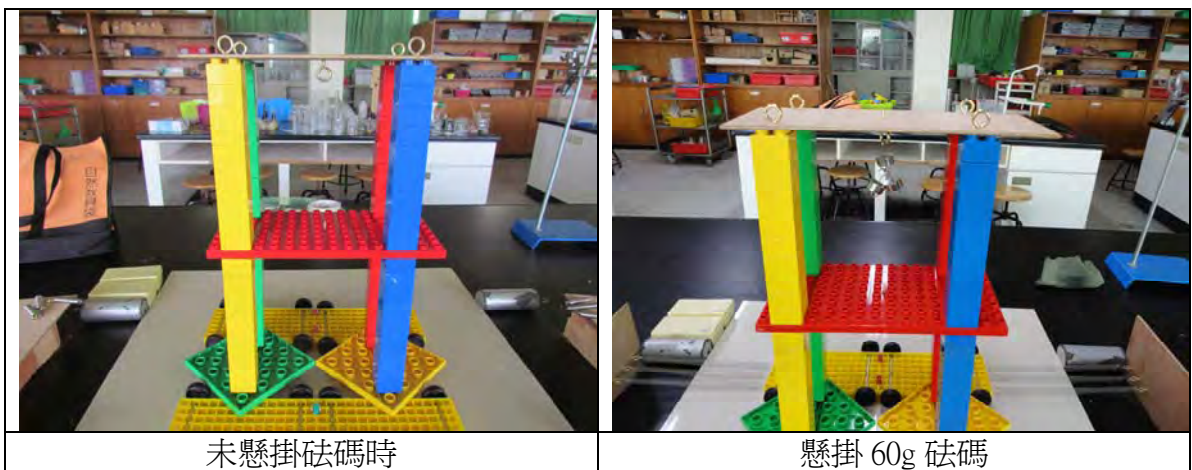
五、實驗三：阻尼器重量與建築物搖晃關係

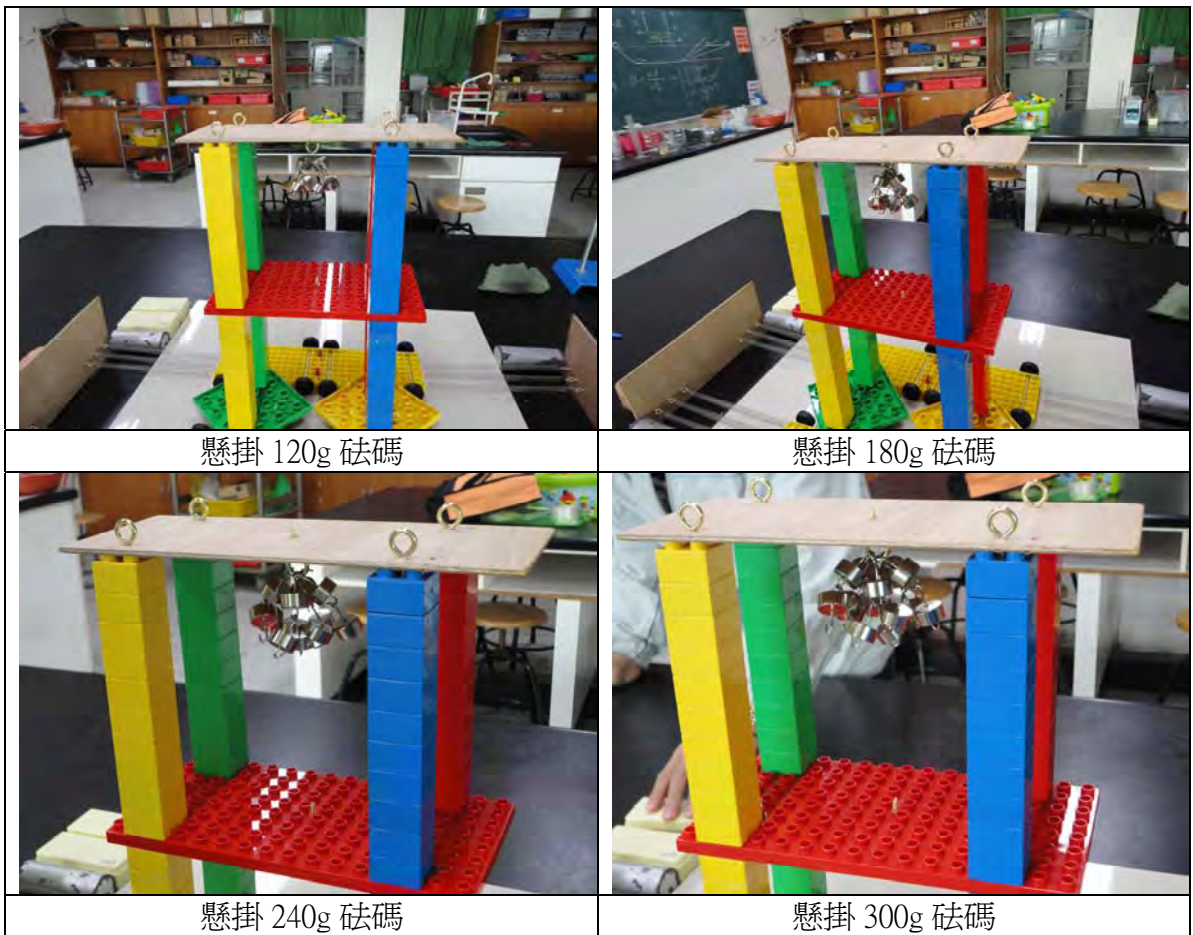
依據實驗二的推論，想進一步瞭解：阻尼器重量與建築物搖晃的關係。因此，運用不同重量的砝碼來改變阻尼器重量，以觀察建築物搖晃情形。

(一) 實驗假設：阻尼器重量越大，越能有效減緩建築物搖晃情形。

(二) 實驗設計與過程：

將兩層高的建築物模型，固定於地震模擬振動平台上，再將不同重量砝碼懸掛於高樓層樓板下方的中央位置，每次施以相同力拉引平台，使平台可以產生地震 7 級的效果，並測量建築物搖晃的時間。

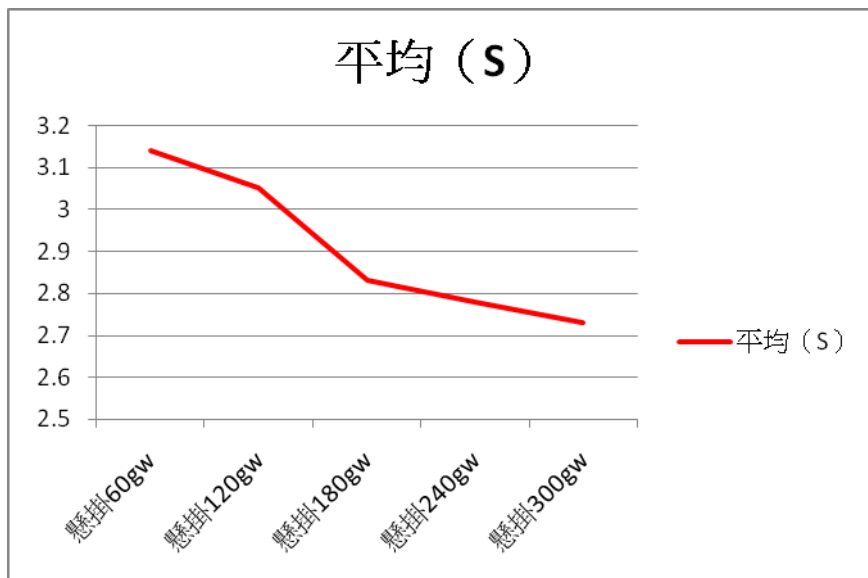
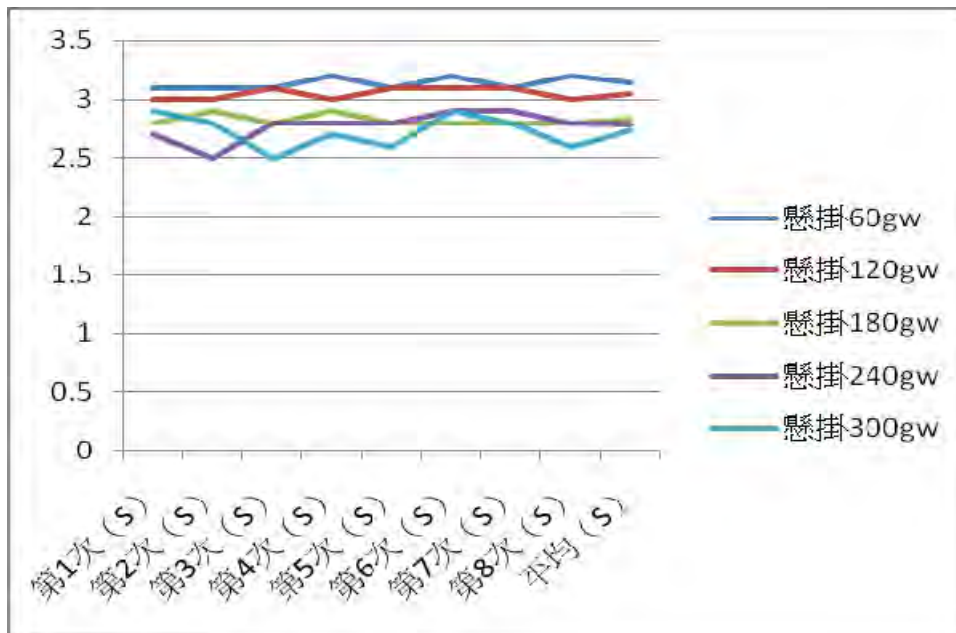




(三) 實驗結果：如下表五

表五：不同重量的阻尼器造成建築物搖晃時間

	懸掛 60g	懸掛 120g	懸掛 180g	懸掛 240g	懸掛 300g
第 1 次(S)	3.1	3.0	2.8	2.7	2.9
第 2 次(S)	3.1	3.0	2.9	2.5	2.8
第 3 次(S)	3.1	3.1	2.8	2.8	2.5
第 4 次(S)	3.2	3.0	2.9	2.8	2.7
第 5 次(S)	3.1	3.1	2.8	2.8	2.6
第 6 次(S)	3.2	3.1	2.8	2.9	2.9
第 7 次(S)	3.1	3.1	2.8	2.9	2.8
第 8 次(S)	3.2	3.0	2.8	2.8	2.6
平均 (S)	3.14	3.05	2.83	2.78	2.73



結果說明：當阻尼器的重量越來越大時，則建築物搖晃時間有越來越縮短的趨勢。

(四) 實驗討論：

在同一建築物、相同樓板位置中懸掛阻尼器，並依序增加砝碼重量，發現建築物搖晃時間依序減短，顯示阻尼器越重越能減少建築物搖晃情形。

(五) 實驗限制：

阻尼器質量越大也造成整個建築物質量變大，搖晃時間也更縮短，人為計時有可能產生更大的誤差，故不建議再懸掛質量更大的阻尼器。

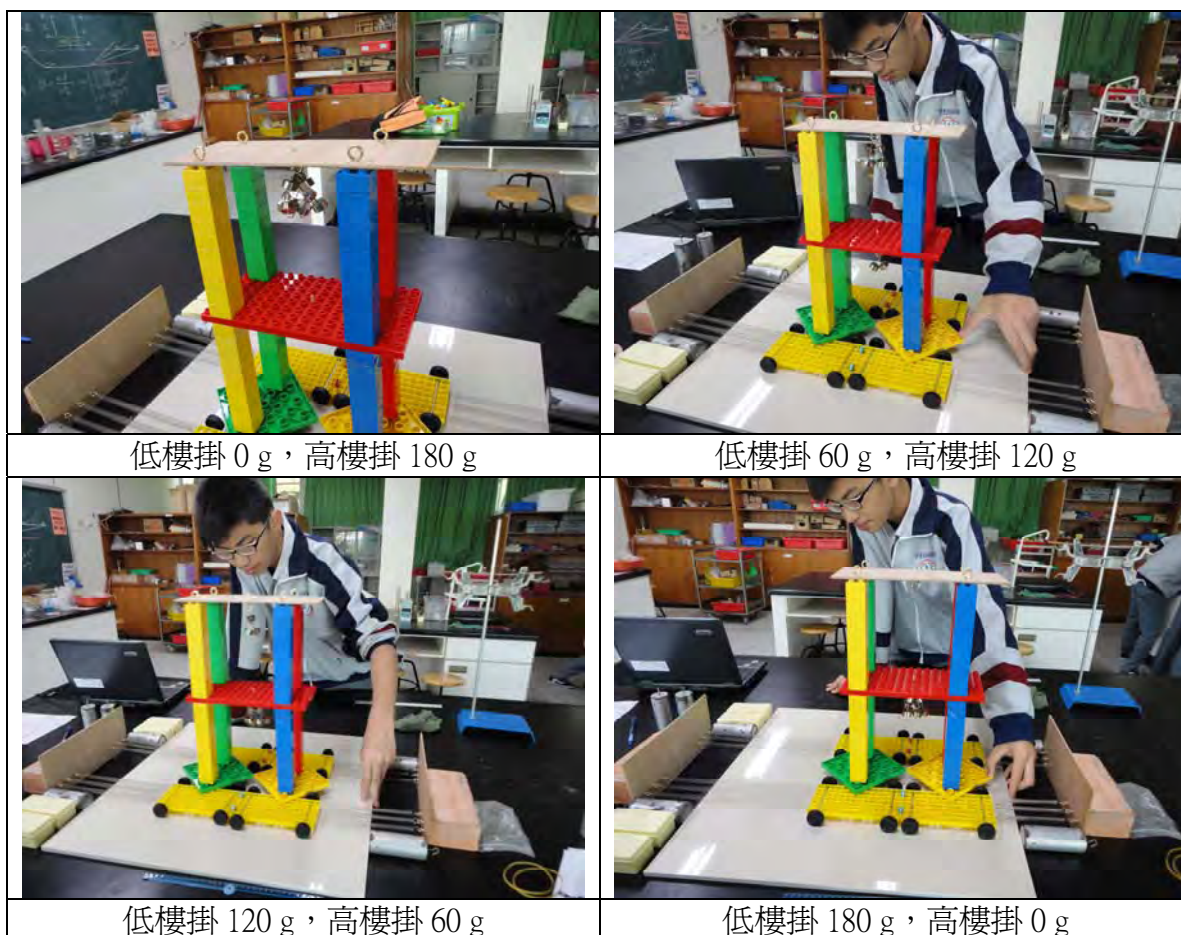
接著，我們想要進一步了解阻尼器在高低樓板中，如何發揮最佳效果，如果把阻尼器加裝於低樓層，是不是也能讓建築物更不易搖晃呢？

六、實驗四：阻尼器位置與建築物搖晃關係

我們想進一步了解阻尼器安裝於哪樓層，會讓建築物更不易搖晃？進行實驗四的操作。

(一) 實驗設計與過程：

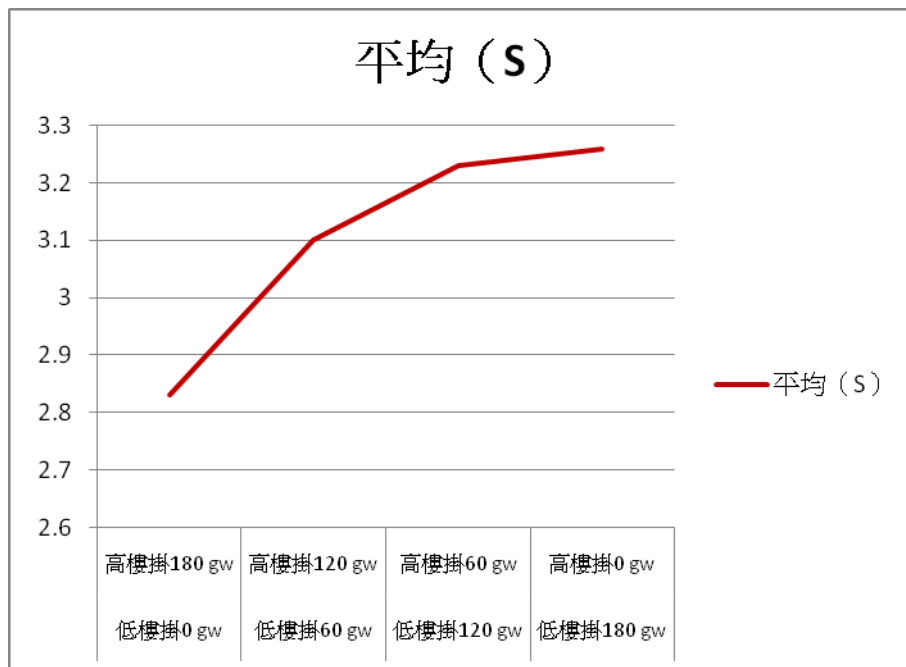
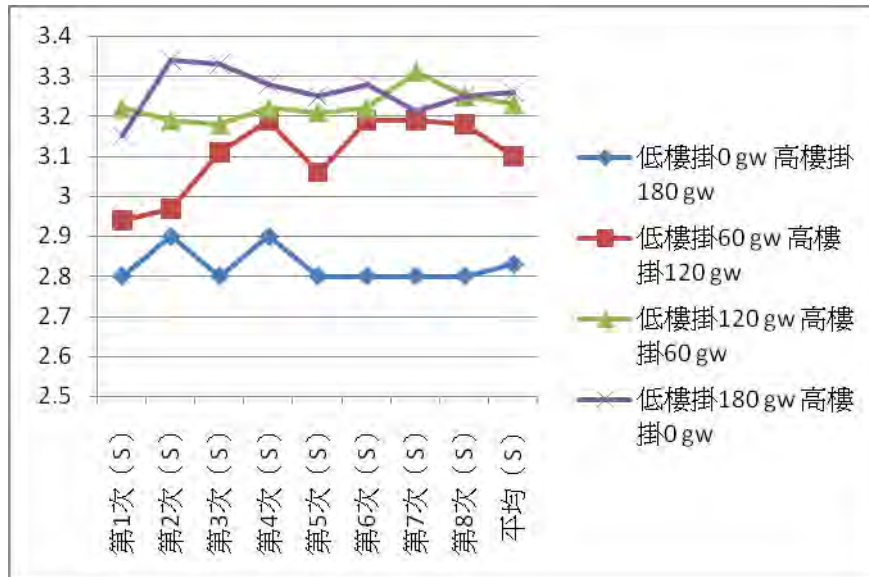
將兩層高的建築物模型，固定於地震模擬振動平台上，選擇相同重量的阻尼器依樓層分別做出四種不同的搭配方式，懸掛於樓板下中央位置，每次施以相同力拉引平台，測量建築物搖晃的時間。



(二) 實驗結果：如下 表六

表六：不同組合方式的阻尼器與建築物搖晃時間

	低樓掛 0 g 高樓掛 180 g	低樓掛 60 g 高樓掛 120 g	低樓掛 120 g 高樓掛 60 g	低樓掛 180 g 高樓掛 0 g
第 1 次 (S)	2.8	2.94	3.22	3.15
第 2 次 (S)	2.9	2.97	3.19	3.34
第 3 次 (S)	2.8	3.11	3.18	3.33
第 4 次 (S)	2.9	3.19	3.22	3.28
第 5 次 (S)	2.8	3.06	3.21	3.25
第 6 次 (S)	2.8	3.19	3.22	3.28
第 7 次 (S)	2.8	3.19	3.31	3.21
第 8 次 (S)	2.8	3.18	3.25	3.25
平均 (S)	2.83	3.10	3.23	3.26



結果說明：將阻尼器全部懸掛於高樓板下，則越能減緩建築物搖晃情形。

(三) 實驗推論與文獻資料：

台北 101 大樓將重達 680 公噸阻尼器，以單擺方式懸掛於 88-92 高樓間，運用物理慣性來減緩高樓層搖晃，同時爲了避免阻尼器的擺盪過大而又增加油壓緩衝系統來減緩阻尼器擺動幅度。另一超高大樓-高雄東帝士 85 大樓，於 85 樓處放置似鐘擺的阻尼器，其阻尼器雖重 80 公噸，經電力驅動可發揮 800 公噸的效果。

實驗二、三、四的結果推論，在超高建築物中，於高樓處懸掛越重的阻尼器越能減緩建築物搖晃的情形，但因阻尼器是運用物理慣性，建築物搖晃時，這個懸吊的大質量物體也會擺動，當建築物向右擺動時，阻尼器會向左擺動，因爲移動的方向正好相反，可以達到平衡的作用，減少結構的位移，而我們曾嘗試掛上 800g 的砝碼作爲阻

尼器進行操作，一開始觀察發現，原本搖晃的建築物很快就要停止，就在要停止計時時，阻尼器本身的擺動反而帶動建築物又開始劇烈搖晃，顯示阻尼器要發揮最佳作用並不是越重越好，相對於建築物本身的質量來說，應有適當的比例。

伍、研究結果

由以上實驗操作可以得到以下結果：

- 一、利用彈簧、台車所設計的地震模擬振動平台，可以模擬地震的水平移動。
- 二、阻尼器即消能元件，主要功能在提供結構物外加的阻尼(亦可謂之阻抗)，來降低地震、風力等外力所造成的振動，會隨著建築振動的大小和方向，產生相反的力來抵銷地震力。
- 三、懸掛式的阻尼器可藉由物理慣性來減緩建築物搖晃以減少地震對建築物的傷害；在不傷害建築物結構下，阻尼器越重、位置越接近頂端越能減緩建築物搖晃的情形。

陸、討論

- 一、因石英地磚的有限空間、彈簧彈性範圍的限制，無法施以過多拉力來增加平台移動幅度，使得搖晃時間稍短，也限制了實驗結果呈現，如果能在光滑地面操作，選用彈性範圍較佳的彈簧，應該可以增加建築物搖晃時間。
- 二、受到上述的限制因素，因此建築物高度不宜過高，避免建築物過重而減弱平台移動的加速度造成實驗結果不易觀察。
- 三、本次操作的地震模擬平台，依建築物比例來說，並無法模擬一般摩天大樓，因模擬的建築物上下擺動幾乎一致，反而比較像高樓頂樓 2 層樓層的擺動情形，若能依此結果來推出與實際摩天大樓的對應關係，不失為良好的簡化實驗器材的模擬裝置。
- 四、未來我們可以嘗試研究阻尼器與建物重量關係，找出最適合建築物質量比例的阻尼器，使其能最有效減弱搖晃情形。
- 五、建議未來也可以模擬建築物受風的影響後，探討阻尼器與建築物搖晃的關係。

柒、結論

台灣位處於歐亞與菲律賓海洋板塊地震帶，時常遭受地震、颱風等天災的侵襲，對高樓建築物安全性的影響更是首當其衝，為了避免相關災害，減震的阻尼器研究一直是人類運用智慧來建構安全的最重要課題。本次實驗裝置提供相當清楚的模擬狀況，一連串的實驗操作也協助我們進一步瞭解阻尼器的作用模式，若能克服一些相關的實驗限制，例如台車位移的靈敏度、彈簧規格強化及提升建築物高度等，相信可以提供更多值得參考的數據與結果。

捌、參考資料

- 王秋文(民 98)。如何幫大樓抗風防震？淺談台北 101 大樓阻尼器。杜風 台灣大學土木工程學系電子報，21。民國 101 年 3 月 1 日，<http://epaper.ce.ntu.edu.tw/vol.21/101damper-1.html>。
- 高橋俊介(民 98)。摩天大樓建築之謎-從台北 101 發現建築科技的奧妙。台中市：晨星出版。
- 蔡衡、楊建夫(民 93)。台灣的斷層與地震帶。台北縣：遠足文化。

【評語】 030504

本研究分析樂高積木所建構的模擬大樓中，藉著懸掛重錘所造成的阻尼來達到減緩震度的效果。

優點：

題材相當生活化，實驗說明的邏輯清楚，結構簡明扼要。在無其他精密測量儀器的條件下，改以觀測結構物搖晃的歷時取代搖晃的幅度。

缺點：

阻尼的物理觀念闡述不清，振動台模擬地震力的估計考慮不足，定量測量的技術稍嫌簡陋。

建議改進事項：

1. 建議可考慮不同地震力之影響。
2. 人工計時誤差難以估計，建議輔以具計時功能的錄影方式判讀。
3. 可再實驗懸吊長度（擺長）的影響，進一步討論結構物的自然週期。
4. 彈簧本身也扮演台車的阻尼系統，應予討論。
5. 可搭配微機電加速度計度量振幅與歷時。

對本研究之建議：

建議考慮用錄影方式，增加觀測之時空解析度與精確度。減少人為誤差。建議觀察 101 大樓的懸掛重錘下方預防重錘導致振盪之裝置！