

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

第三名

080117

天「柱」我也

學校名稱：高雄市三民區陽明國民小學

作者：	指導老師：
小六 孫振崑	薛育青
小六 曾聖祐	蔡育政
小六 徐子修	
小六 林湍儒	
小六 顏定陞	
小六 蔡承志	

關鍵詞：柱體承重、防震、地震模擬器

摘要

台灣地震災害頻傳，為了為台灣防震技術盡一份心力，透過文獻與實驗模擬大樓的剛性結構搭配輔助軟性結構的設備來分析樓層遇到地震時在物理上的變化與影響，實驗分兩部份：一、建築剛性結構變化，二、輔助結構之差異。發現：一、不管施重重量、樓層平面大小，施重所在區域之力柱承重最重，斜對面最輕；二、當柱體高度、質量固定時，不同切面柱形的承重能力也不相同，柱體分佈結構與地震震動方向的交互作用是造成建築物倒塌的重要因素。三、力柱加裝彈簧座可以馬上減低振幅，而加裝阻尼器可以透過反作用力緩衝地震的強度。四、根據實驗結果我們建議：越高樓層面積越小、中間樓層加裝阻尼器、使用加裝彈簧座的正方形力柱，是良好的防震大樓結構。

壹、 研究動機

「轟隆隆！」夜空中突然一聲巨響，劃破了寧靜的夢夜。一早起床便聽到了令人憂傷的消息，又一次的地震，聽著電視新聞台上的記者說著本次地震發生的災情，每說一項，我們臉色就越黯淡下一分，聽到花蓮統帥大飯店、雲翠大樓倒塌的消息後，心情也



▲統帥飯店(右)和維冠大樓(左)倒塌的原因類似，皆是一樓樑柱少、挑高，致使大地震發生以後，底層無力支撐進而斷腳，使得整棟大樓下陷、倒塌(照片取自民視新聞台網頁，刊登日期:2018/02/07)。

沉到了谷底。在看了這次的花蓮大地震之後，我們想到了 1999 年的 921 大地震、2016 年美濃大地震，同樣在人們心中劃上了永遠的悲傷印記，地震不只給大地一道深沉的傷痕，更在眾人記憶中留下不可抹滅的瘡口。

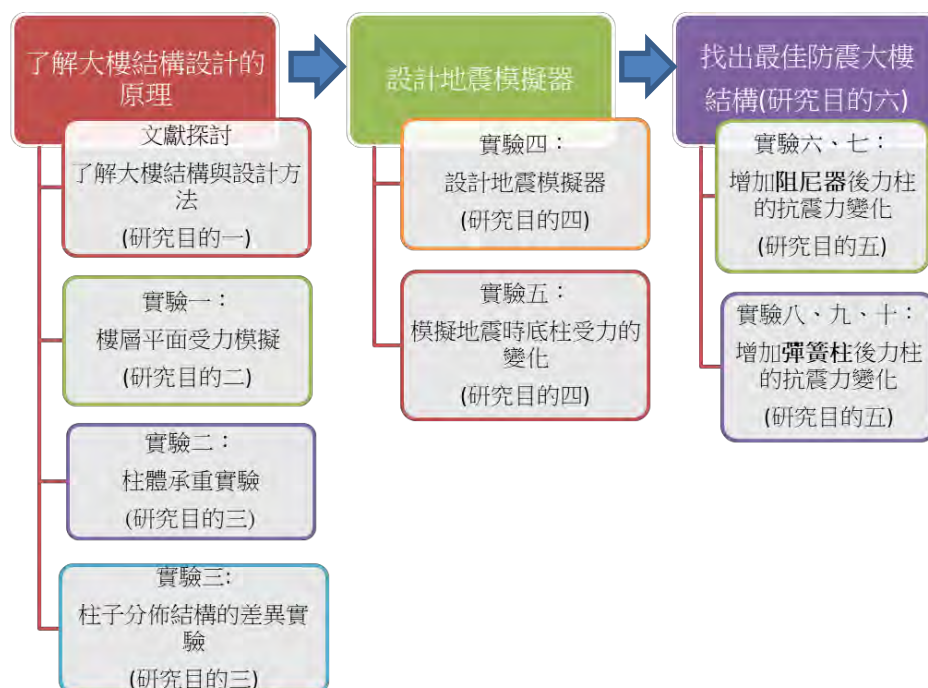
如今，這個人類幾乎掌控自然的 21 世代，人類可以透過所謂的科學，在地球上安居樂業，不畏各種威脅的日子，但「地震」還是人類無法擺脫的夢魘。地震本身是天災，我們愛莫能助，建築物的結構問題卻是人禍，人們常為了自身便利性或需求去改變屋子的結構，尤

其在整個底層結構與低層屋梁、支柱、牆面的變更導致騎樓結構毀損、坍塌。建物重量分配不均、胡亂變更牆體結構，發生倒塌、傾斜。所幸問題卻是可以解決的，我們就以此問題作為研究目標：若我們可以讓建築物更加穩固，是否就可以降低地震所帶來的災害呢？

我們曾經在六上自然課「變動的大地」中，了解到地震的成因與災害。且在六上數學課學到的各種柱體構成的要素，用以探討不同形狀力柱的耐壓、耐震關係，並將結果應用在結構上。在五下自然學習過「力的概念」，便想透過模擬大樓結構來了解柱子對整個大樓的影響，同時透過不同房子結構與不同的樑柱設計來探討當地震發生時，不同的柱子會產生哪些不同的變化？在獲得更多的實驗結果後，我們期望更進一步設計出讓結構更穩固的大樓構造。

貳、 研究目的

- 一、了解設計大樓結構的原理與方法。
- 二、模擬大樓結構，觀察樓層平面之受力情況。
- 三、比較不同柱型結構對樓層平面的承重能力比較。
- 四、利用地震模擬器觀察在不同的地震強度時，「力柱」所承受力量的改變。
- 五、探討安置在「力柱」上的附加設備對於「抗震」的效能。
- 六、根據實驗結果，找出最佳的防震大樓結構。








叁、研究器材及設備

一、研究器材

名稱	數量(規格)	名稱	數量(規格)	名稱	數量(規格)
長方形合板	10 塊	鉚釘	1 組(20 只)	美工刀	2 只
正方木柱[粗]	20 支	鐵鎚	1 只	剪刀	2 只
正方木柱[細]	20 支	鐵釘	1 組	熱熔膠槍	2 台
圓柱[粗]	20 支	厚紙板	1 張	熱熔膠	10 條
粗吸管	2 包	大彈珠	13 顆	程式控制板	1 組
FISH 器械模	1 組	電源器	1 組	柱體插座平板	1 組

二、研究設備

			
木工手動鋸 1 只	電鑽 1 台	電鋸 1 台	電子秤 4 台
		 	
自製設備: 大樓結構 2 組		自製設備: 地震模擬器 1 台	

肆、研究過程與結果

一、了解設計大樓結構的原理與方法

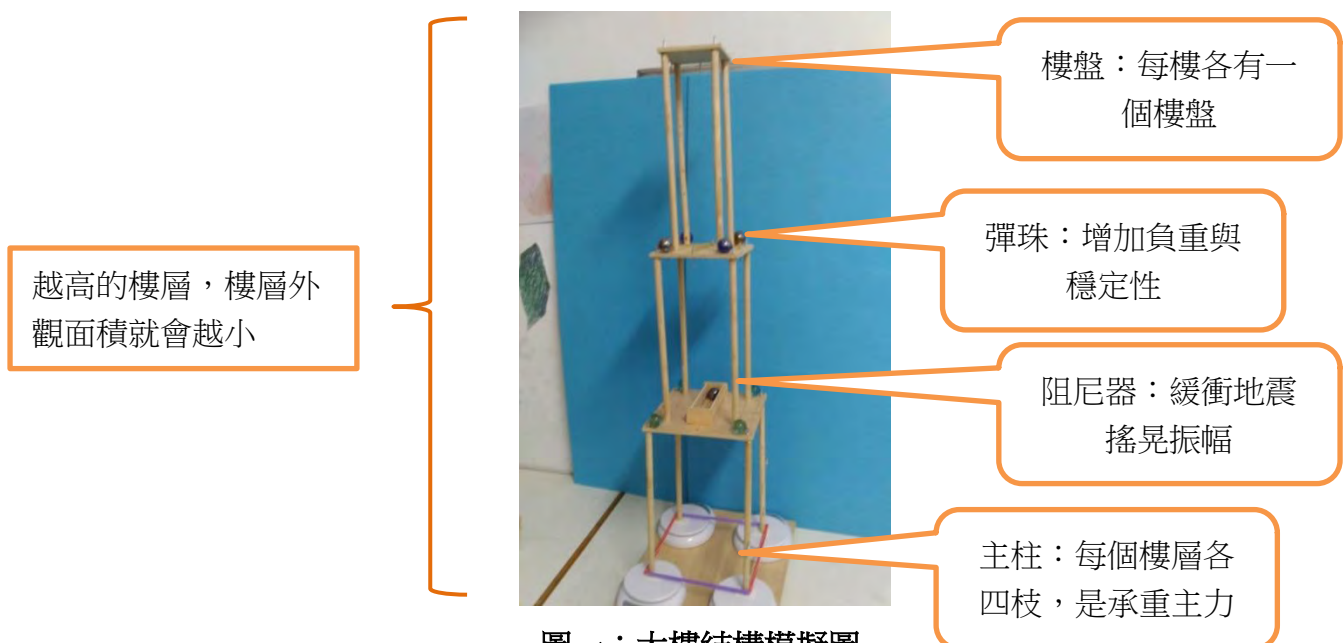
(一)了解建築物結構原理(剛性結構)

根據《超高層大樓建築奧妙》一書中提到，不同的建築外觀和不同的柱子形狀，通常都有不同的功用，例如：在越高的樓層，樓層外觀面積就會越小，因為這樣可以減少風阻，以免風變強時被吹倒；在一些柱子中央會加裝彈簧柱或是建築物中央加裝阻尼器，藉此來吸收地震的力量，不會產生劇烈的搖晃。

通常建築物都會使用多個柱子，藉此分散重物的力量，二樓的載重全數要傳到一樓的樑柱系統來支撐，最後再藉由樑柱傳到地面，所以柱子是房屋中很重要的一個角色。有些建築物也會參考一些比較堅固的形體，例如：建築學家理察·巴克明斯特·富勒設計的美國萬國博覽館球形圓頂薄殼建築，他就是參考了巴克球，巴克球是一種非常堅固的建築，一道力量打過去，會分散到整個建築物，所以幾乎不會產生傷害。台灣所處在地震帶上，更應該讓所有的建築物都朝向能將地震的力量降到最小的方向發展，才不會有更多的憾事發生。

(二)模擬大樓的結構

我們設計的大樓結構因為參考《摩天大樓建築之謎》一書的防風設計，所以最低樓層的柱子高度最高，而底板的面積最大，樓層越高，柱子高度越矮，底板面積越小，如圖一：



圖一：大樓結構模擬圖

二、模擬大樓結構，觀察樓層平面之受力情況。

實驗一、樓層平面受力模擬實驗


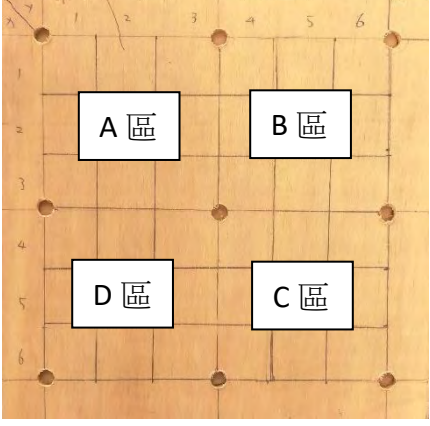
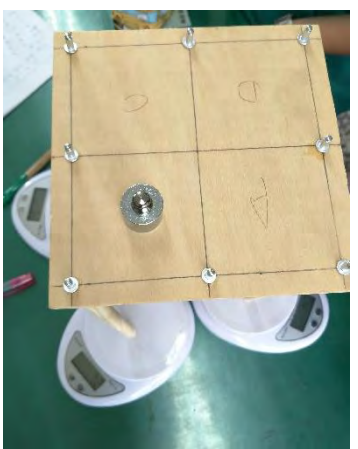
(一)實驗器材：

1. 木板：10cm×10cm、15cm×15cm、20cm×20cm 木板各一
2. 木柱：10cm 木柱 4 枝
3. 其他：電子秤 4 個、100 克砝碼 1 個、50 克砝碼 1 個。

(二)實驗方法：

1. 設計簡易大樓結構(如圖二)。
2. 分別將 10cm×10cm 木板、15cm×15cm 木板、20cm×20cm 各均勻劃分出 A、B、C、D 區(如圖三)。
3. 在木板的 A、B、C、D 四區分別放置 A、B、C、D 四根木柱，並固定。
4. 在 A、B、C、D 四根木柱下分別放置一個電子秤。
5. 分別將 50、100 克砝碼放置在 10cm×10cm 木板的 A、B、C、D 區，秤出每個 A、B、C、D 柱各自的承重狀況(如圖四)。
6. 做完 10cm×10cm 木板，再做 15cm×15cm 木板、20cm×20cm 木板。

(三)實驗照片：

		
圖二：簡易大樓結構	圖三：分別將 3 種尺寸木板均勻劃分出 A、B、C、D 區	圖四：樓層平面受力模擬實驗

(四)實驗結果：

1. 20cm×20cm 木板

(1)用 100 克砝碼放置在各區

砝碼放置區域	A 柱承重	B 柱承重	C 柱承重	D 柱承重
A 區域	53*	20	6	13
B 區域	22	58*	21	9
C 區域	3	17	54*	16
D 區域	20	6	20	53*

單位：公克 * 承重最重力柱

(2)用 50 克砝碼放置在各區

砝碼放置區域	A 柱承重	B 柱承重	C 柱承重	D 柱承重
A 區域	27*	9	2	10
B 區域	13	42*	13	0
C 區域	0	6	24*	6
D 區域	11	0	12	30*

單位：公克 * 承重最重力柱

2. 15cm×15cm 木板

(1)用 100 克砝碼放置在各區

砝碼放置區域	A 柱承重	B 柱承重	C 柱承重	D 柱承重
A 區域	65*	29	3	21
B 區域	17	50*	22	8
C 區域	1	18	45*	14
D 區域	16	3	35	63*

單位：公克 * 承重最重力柱

(2)用 50 克砝碼放置各區

砝碼放置區域	A 柱承重	B 柱承重	C 柱承重	D 柱承重
A 區域	31*	17	0	10
B 區域	10	23*	10	4
C 區域	0	11	25*	7
D 區域	8	0	17	31*

單位：公克 * 承重最重力柱

3. 10cm×10cm 木板

(1)用 100 克砝碼放置各區

砝碼放置區域	A 柱承重	B 柱承重	C 柱承重	D 柱承重
A 區域	64*	21	11	37
B 區域	20	59*	12	9
C 區域	11	22	49*	21
D 區域	16	5	26	52*

(2)用 50 克砝碼放置各區

砝碼放置區域	A 柱承重	B 柱承重	C 柱承重	D 柱承重
A 區域	27*	14	0	16
B 區域	13	28*	14	2
C 區域	0	11	30*	12
D 區域	14	0	16	32*

【我們的發現】

分別在 10cm×10cm、15cm×15cm 或是 20cm×20cm 木板上，不論放置 100g 或是 50g 的砝碼，砝碼所在的區域對應的柱子承重的重量最高，斜對面的柱子都是最輕的，例如 A 柱的斜對面是 C 柱；B 柱的斜對面是 D 柱。

三、比較不同柱型結構對樓層平面的承重能力。

實驗二、柱體承重實驗

(一)實驗設計原理：透過查詢內政部建築研究所委託研究報告得知，我們發現不同柱體的優缺點與應用不同，分別將其特色整理分列於下表(蔡薰誼、蔡昀儒、林禹丞、張芳瑜、陳冠伸、高義維，2016)：

柱子類型名稱	優點或用途	缺點或用途
L 型柱	適用於 L 型角	做吊重實驗時，模型體容易發生傾倒
T 型柱	適用於 T 型角	容易發生扭曲現象
正方形柱	載重力最強	無
工型柱	受力作用時，支撐力量較佳	弱邊受水平力作用時，變形量最大，代表這樣的形狀配置對水平力的抵抗力最差
矩型柱	物體載重力佳	長、寬比越大，模型體的強邊與弱邊就更為明顯，對支撐力的差異就更大
梯型柱	載重力頗佳，重心穩固，斜邊可用於坡道	弱邊過多，當建築物重心歪斜時，容易發生垮的現象
三角柱	剛性結構	載重量普通

(二) 實驗器材：直徑 1.2 公分粗吸管 1 包、裁刀 1 個、熱熔槍(膠)、電子秤 1 台、相同樣式未使用的筆記本 300 本、30 公分直尺 1 把、投影片 1 片、油性筆

(三) 實驗方法：

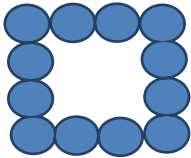

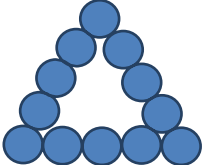

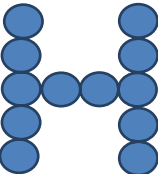

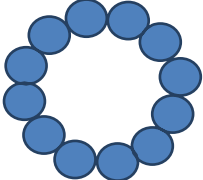

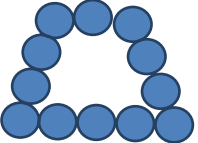

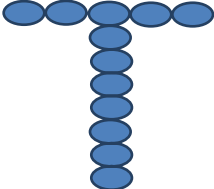

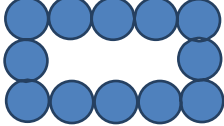

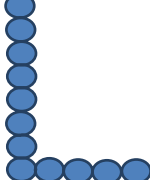

1. 製作各類型柱體：將吸管每 5 公分長裁成一段，使每個柱體的高度都是 5 公分。每 12 段吸管組成一個柱體，利用熱融膠連接，使每個柱體承重面都是由 12 段吸管組成(如圖五~七)。
2. 測出每本筆記本的重量，為 13.3 克。

3. 將投影片裁成與筆記本大小相同，並利用對角線找出投影的最中心點(圖八)。
4. 以投影片的中心點對準各柱體的重心，筆記本再對準投影片依序疊上去，讓柱體上的筆記本保持重心正確，以免影響檢測結果。
5. 記錄各柱體最多承重的筆記本數(柱體結構因承重過重而毀壞，致使垮下的前一本)
6. 將筆記本數換算成承重重量。

(四) 實驗過程照片：

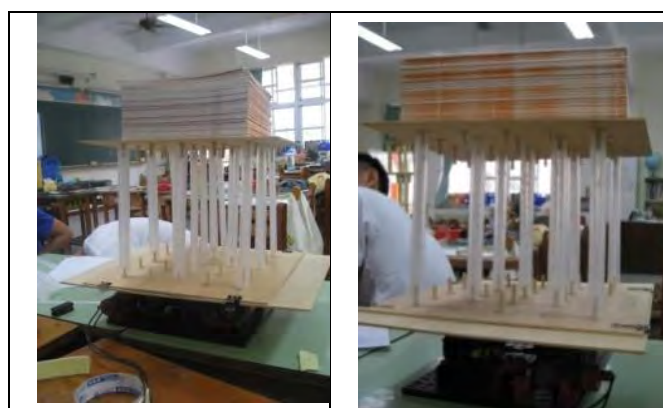
		
<p>圖五：將吸管剪成 5 公分小段。</p>	<p>圖六：用熱熔膠黏起來，每個柱體皆使用 12 個吸管段接起來。</p>	<p>圖七：每個柱體承重面皆是由 12 根吸管組成。</p>
		
<p>圖八：利用投影片的對角，找出筆記本重心，以利實驗時能讓筆記本的重心對準柱體重心。</p>	<p>各柱體承重實驗施作情形</p>	

(五)實驗結果：

名稱	切(承重)面 吸管數=12	照片	承受筆記 本數量	承重(克)	承重 排名
正方形 柱			138 本	18395.4 克	1
三角形 柱			110 本	14663 克	2
H 形柱			100 本	13330 克	3
圓形柱			100 本	13330 克	3
梯形柱			91 本	12130.3 克	5
T 形柱			83 本	11063.9 克	6
長方形 柱			80 本	10664 克	7
L 形柱			44 本	5865.2 克	8

【我們的發現】

承重最佳到最差的柱形為：正方形柱(18395.4g) > 三角形柱(14663g) > H 形柱=圓形柱
(13330g) > 梯形柱(12130.3g) > T 形柱(11063.9g) > 長方形柱(10664g) > L 形柱(5865.2g)。



▲柱子分布結構的實驗情形

(五)實驗結果：透過觀察，獲得以下實驗結果

分佈結構 地震模擬時間	四方形	L 形	ㄷ字型 (開口方向與 地震震動方 向平行)	凵字型 (開口方向與 地震震動方 向垂直)	X 字形 (大開口方向 與地震震動 方向平行)	十字形
30 秒內	無	17 秒崩塌	無	無	無	無
60 秒	無	崩塌	右開口略 傾斜	無	兩側傾斜 度提高	無
90 秒	無	崩塌	右開口傾 斜度提高	無	兩側傾斜 度再提高	無

註：「無」代表結構未崩塌或傾斜，是穩固的

【我們的發現】

根據實驗結果，我們發現柱子的分佈會直接影響整個平面的承重狀況，凡有開口的面向只要與地震震動方向平行，必定在受測時發生傾斜、甚至崩塌的情形。以左右往復運動的地震而言，四方形、十字形、凵字形的排列方式則是最穩固，但根據實驗結果推測，當地震的運動方向非為剛好平行於的左右水平的運動方向時，十字形、凵型的排列方式也很可能崩塌的。由於地震的震動方向可能來自四面八方，所以我們認為，四個周邊都有足夠立柱支撐的大樓結構是最適合地震頻傳的台灣。

四、利用地震模擬器觀察在不同的地震強度時，「力柱」所承受力量的改變。

實驗四、設計地震模擬器

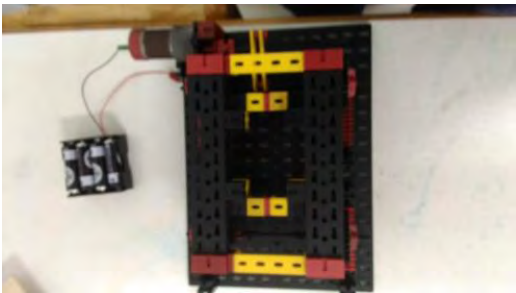


(一)設計的原理：我們透過查詢文獻，了解地震模擬器的製作方式非常多種，包含利用彈簧製作震盪箱，或是利用輪軸傳動的方式模擬地震等等，最後將基礎建築結構結合於上方，透過水平移動的地震模擬來觀察底層結構受力的變化。

(二)實驗器材：FISH 器械模組、電源器、程式控制板

(三)實驗方法：

1. 藉由輪軸原理引動齒輪，在固定齒軌上運行進行周而復始的往復運動(圖九)。
2. 再利用木板設計格擋板架在模擬器上，並利用雙面膠固定電子秤，使其平均分布於木板上(圖十、十一)。
3. 透過程式控制可控制其來回移動速度，可調整其震度。
4. 分別設定在移動距離為 1.5 公分的情形下，搖晃來回一次的秒速 1.5 秒為輕度、1 秒為中度、0.5 秒為重度搖晃，並觀察搖晃效果。

(四)實驗照片：

	
圖九：模擬地震波動的輪軸組	圖十：輪軸組上安放格擋板，並固定
	
圖十一：格擋板上放置電子秤，使其平均分散並固定	

(五)實驗結果：利用來回移動速度設定如下

震度設定(模擬)	來回 1 次的秒數	移動距離	效果
慢(輕度地震)	1.5 秒	1.5CM	搖晃不明顯，不易觀察
中(中度地震)	1	1.5CM	搖晃明顯，適合觀察
快(強力地震)	0.5	1.5CM	搖晃太過強烈，不適合做 實驗

【我們的發現】

輕度地震模擬效果較不明顯，建築物置於上方搖晃數據變化較小；中度地震模擬效果較明顯，且數據顯示較為完整與穩定；強力地震模擬有快要崩塌的感覺，較不適當來做為實驗的震度，故決定均採用中度地震模擬效果做為後面實驗的震度設定：地震頻率為每分鐘左右來回 60 次。

實驗五、模擬地震時底柱受力的變化

(一) 實驗器材：大樓模擬結構、地震模擬器、電子秤

(二) 實驗方法：

1. 先將底部的力柱定位在電子秤上、並利用線繩檢視大樓模擬結構是否有歪斜(圖十二)。
2. 開啟電子秤並觀察其數據是否有太大落差，調整力柱使得數據差異縮小，以表示大樓平衡(圖十三)。
3. 開啟模擬器、以每秒左右 1 次，來去移動距離 1.5 公分的「中速」來觀察其力柱於電子秤的受力變化(圖十四)。
4. 以手機錄影電子秤在地震模擬時，四個力柱底下其數據的變化，事後放慢撥放速度觀察，記錄下最高與最低的數據。例如：數據顯示 65-338，代表搖晃時力柱受力最大時為 338 克，受力最小時為 65 克(圖十五)。

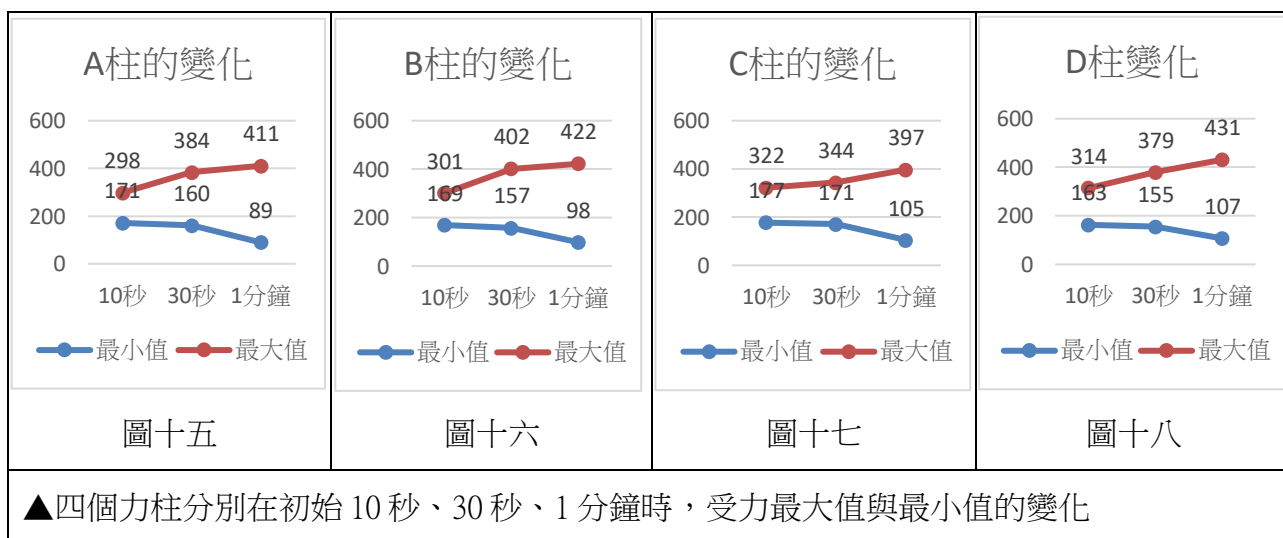
(三) 實驗照片：

<p>圖十二：將力柱定位在電子秤上，並利用線繩檢視大樓是否有歪斜。</p>	<p>圖十三：調整力柱使得電子秤數據差異縮小，以表示大樓平衡。</p>	<p>圖十四：開啟模擬器，觀察力柱於電子秤的受力變化。</p>	<p>圖十五：記錄地震時電子秤數據的變化。</p>

(四) 實驗結果：

各力柱初始數據為 A 柱：183、B 柱：181、C 柱：173、D 柱：168 (單位:公克)

搖晃時間/力柱代號	A 柱	B 柱	C 柱	D 柱
初始 10 秒	171-298	169-301	177-322	165-314
30 秒	160-384	157-402	171-344	155-379
1 分鐘	89-411	98-422	105-397	107-431



【我們的發現】

1. 大樓在初始的 10 秒時搖晃不穩定，四根力柱的數據差異不大。

2. 約至第 30 秒因搖晃較為穩定下，受力的最大值與最小值均有變化，最小值變更小、最大值開始拉高。
3. 接近 1 分鐘時，受力的最大值與最小值均有再度變化，視覺觀察力柱有要被拔起的感覺，最大值幾乎都接近 400 以上，最小值拉低接近 100 左右。觀察發現，可能是能量一直累積，造成左右震幅變大，以至於從圖表上可以觀察出來，四個力柱受力的最大值與最小值差異越來越大。

五、探討安置在「力柱」上的附加設備對於「抗震」的效能。

(一)探討阻尼器對於「抗震」的效能。

《摩天大樓建築之謎》一書提到，阻尼器共有 4 種，其特色與優劣分述如下：

1. **質量協調阻尼器**：利用鋼索吊起阻尼球，並在阻尼球下方直接加裝緩衝裝置，用其減輕搖動的能量，屬於減震裝置。
 - (1)優點：可以穩定吸收四面八方傳來的振晃
 - (2)缺點：a.地震或其它搖動震度過大可能造成阻尼器結構損壞 b.需要續力時間
2. **懸吊阻尼器**：用鋼索吊起阻尼球，並不在下方加裝緩衝裝置，而是在四周建起鋼板，利用慣性以及反作用力，用撞擊鋼板的力量來抵銷搖動的能量，屬於抑震裝置。
 - (1)優點：可以吸收四面八方傳來的振晃能量。
 - (2)缺點：a.吊起阻尼球的鋼索易斷裂，鋼板也易扭曲損毀；b.若是地震搖晃方向不規則，或頻率不固定，阻尼器可能無法發揮原本應有的效果；c.需要續力時間。
3. **平面撞擊阻尼器**：在一平面上搭起一個給阻尼球滾動的軌道，並在四周架起鋼板，其原理與懸吊阻尼器相同，兩者之中的差別在於，阻尼球在平面撞擊阻尼器有方向性，而懸吊阻尼器則無，屬於抑震裝置。
 - (1)優點：a.可以穩定的處理單一方向的搖動、b.不會受到搖動方向不固定的影響。
 - (2)缺點：a.只能處理單一方向的搖動、b.需要續力時間。
4. **拉伸阻尼器**：在樓頂層加裝中重物，在下方加裝滑軌，讓其可做四方位的移動，

並在平面邊緣處，架設相連的兩面牆壁，在重物及牆壁之間加裝活塞，其減震方式類似於彈簧柱，屬於減震裝置。

(1) 優點：不用續力時間

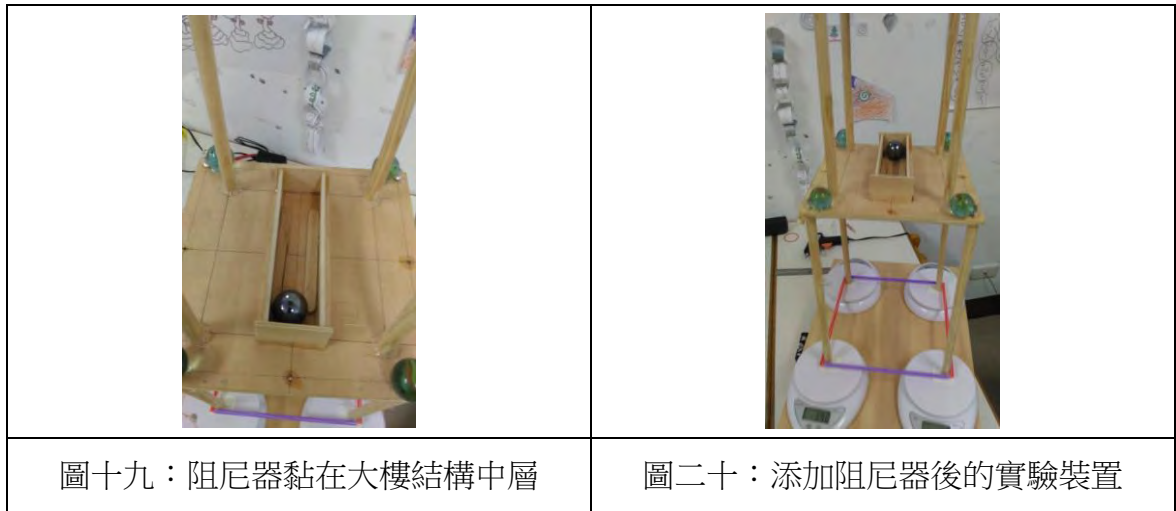
(2) 缺點：雖然能處理四個方向的搖動，但仍無法全方位的吸收

(二)分別探討「平面撞擊阻尼器」、「懸吊阻尼器」的抗震效果

由於「質量協調阻尼器」屬於「懸吊阻尼器」的延伸，都是懸吊式的阻尼器類型，而「拉伸阻尼器」是「平面撞擊阻尼器」的延伸，都是軌道式的阻尼器類型，所以我們分別探討「平面撞擊阻尼器」、「懸吊阻尼器」的抗震效果，並進行兩者比較。

實驗六、安裝平面撞擊阻尼器後力柱的抗震力變化

1. 原理：利用慣性以及反作用力，用撞擊鋼板的力量來抵銷搖動的能量。
2. 想法：將阻礙器添加在建築結構上，用以改變力柱的支撐方式，藉此觀察當地震模擬器啟動時，柱子受力的變化，以觀察是否能改變地震對結構的傷害。
3. 實驗器材：圖一的大樓模擬結構、實驗三的地震模擬器(圖十一)、自製阻尼器
4. 實驗方法：
 - (1) 製作阻尼器：將大樓中層設計一條軌道，裡面置放一顆大彈珠，放置於地震施力的垂直面上(圖十九)。
 - (2) 當模擬器啟動時，大彈珠開始跟著震晃方向前後移動並撞擊木板面，產生與地震施力相反之作用力(圖二十)。
 - (3) 在上、中、下三樓層四個角落，各黏上一顆大彈珠，增加重量，以便觀測。
 - (4) 開啟地震模擬器，分別在初始 10 秒、30 秒、1 分鐘時觀察 A 柱、B 柱、C 柱、D 柱的受力變化，觀察方法與實驗五相同。
5. 實驗照片：



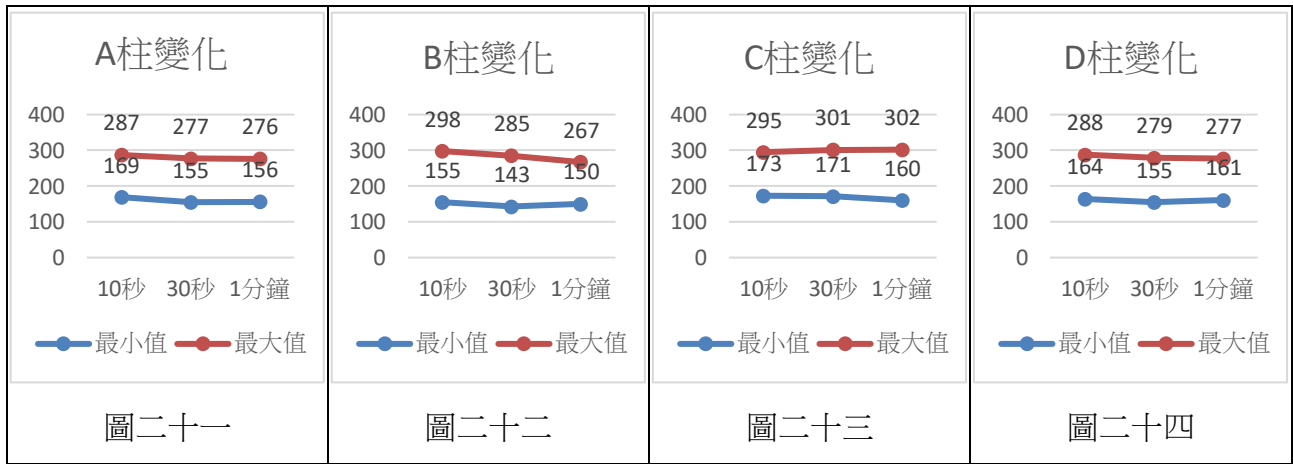
圖十九：阻尼器黏在大樓結構中層

圖二十：添加阻尼器後的實驗裝置

6. 實驗結果：

力柱初始數據為 A 柱：182、B 柱：180、C 柱：175、D 柱：170（單位：公克）

搖晃時間/力柱代號	A 柱	B 柱	C 柱	D 柱
起初 10 秒	169-287	155-298	173-295	164-288
30 秒	155-277	143-285	171-301	155-279
1 分鐘	156-276	150-267	160-302	161-277



▲安裝平面撞擊阻尼器後，四個力柱分別在初始 10 秒、30 秒、1 分鐘時，受力最大值與最小值的變化

【我們的發現】

1. 透過觀察發現，初始十秒時，阻尼器內的彈珠撞擊的頻率有點亂，還未見效果。
2. 到 30 秒時，整個受力情形與初始 10 秒時相比，略微下降約 10 克左右，而 30 秒到 1 分鐘這期間彈珠撞擊頻率穩定。

3. 若將本實驗圖二十一至二十四的結果，分別和圖十五至十八相比較，則可以明顯的發現，阻尼器可以緩和隨著地震時間加長、能量累積加大而造成的四個力柱的承重變化加劇的情形。
4. 根據實驗結果顯示，我們發現平面阻尼器的功能，主要是在地震發生一段時間後，能有效緩和地震的力度。

實驗七、比較懸吊阻尼器在不同樓層的抗震效果

1. 原理：利用慣性以及反作用力，用撞擊圓形牆面的力量來抵銷搖動的能量。
2. 想法：將懸吊阻尼器添加在新建築結構(方形柱體)上，透過不同樓層的安裝阻尼器來觀察受震影響的差異。
3. 實驗器材：阻尼器(大彈珠 1 顆、圓形膠帶捲 2 個)、方形柱模擬大樓、地震模擬器。
4. 實驗方法：
 - (1) 製作圓形懸吊阻尼器：將大鋼珠分別吊在頂層、中層天花板，周圍黏上圓型膠帶捲做為圓形撞擊牆面。
 - (2) 當地震模擬器啟動時，大鋼珠開始跟著震晃方向前後移動並撞擊圓型牆面，產生與地震施力相反之作用力(圖二十五)。
 - (3) 開啟地震模擬器，分別在初始 30 秒、60 秒、90 秒時觀察 A 柱、B 柱、C 柱、D 柱的受力變化，觀察方法與實驗五相同。
5. 實驗照片：



圖二十五：懸吊阻尼器實驗裝置

6. 實驗結果：

(1)未使用懸吊阻尼器時的受測數據

時間\柱體承重	A 柱	B 柱	C 柱	D 柱
30 秒	45-175	47-170	45-177	46-172
60 秒	69-186	72-188	68-185	68-186
90 秒	98-205	102-203	99-210	99-201

(2)低層裝置懸吊阻尼器的受測數據

時間\柱體承重	A 柱	B 柱	C 柱	D 柱
30 秒	46-176	48-170	46-176	47-171
60 秒	68-184	67-189	70-186	69-187
90 秒	97-200	98-201	98-202	100-203

[結果]：與(1)未使用懸吊阻尼器相比，不管是 30 秒、60 秒、90 秒時，底層裝置懸吊阻尼器幾乎沒有作用，幅度太小，大鋼珠碰不到壁面，數值幾乎沒有任何改變。

(3)中層裝置懸吊阻尼器受測數據

時間\柱體承重	A 柱	B 柱	C 柱	D 柱
30 秒	47-177	49-169	48-177	46-170
60 秒	69-183	68-187	71-187	68-188
90 秒	90-188	88-187	91-190	89-191

[結果]：與(1)未使用懸吊阻尼器相比，在中層加裝懸吊式阻尼器，發現前 60 秒幾乎不太有變化，隨著能量的累積，震盪幅度變大後，以視覺觀察約在 70 秒開始有輕微的減少其柱體所承受的力量，而實驗數據則顯示，在 90 秒時各柱體的最大與最小受力均約減少 8-20 克。

4.高層裝置懸吊阻尼器受測數據

時間\柱體承重	A 柱	B 柱	C 柱	D 柱
30 秒	47-176	48-168	50-168	49-171
60 秒	60-176	59-178	60-172	62-175
90 秒	85-178	83-180	84-181	85-182

[結果]：與(1)未使用懸吊阻尼器相比，在高層加裝懸吊式阻尼器，以視覺觀察發現在約 50 秒後開始產生輕微的影響，而在 60 秒時，數據顯示各柱體的最大與最小受力均約減少 8-13 克；在 90 秒時，數據顯示各柱體的最大與最小受力均約減少 13-29 克。顯示隨著時間增長，裝懸吊式阻尼器抗震效果更明顯。

【我們的發現】

1. 懸吊阻尼器在前 30 秒地震的過程中幾乎沒有功能，震幅一開始不足以驅動鋼珠去碰撞牆面。
2. 而透過實驗得知，安裝在不同樓層懸吊式阻尼器的效果不同：高層 > 中層 > 底層。而低層效果極差。
3. 與未裝阻尼器時相比，隨著地震時間增加，懸吊式阻尼器抗震的效果越明顯。

實驗八、添加彈簧後力柱的抗震力變化

(一)原理：柱底設有彈簧，可以控制機件的運動、緩和衝擊或震動，進而減緩上下搖晃的地震強度。

(二)想法：將彈簧添加在建築結構上，用以緩衝地震強度，藉此觀察當地震模擬器啟動時，柱子受力的變化，以觀察是否能改變地震對結構的傷害。

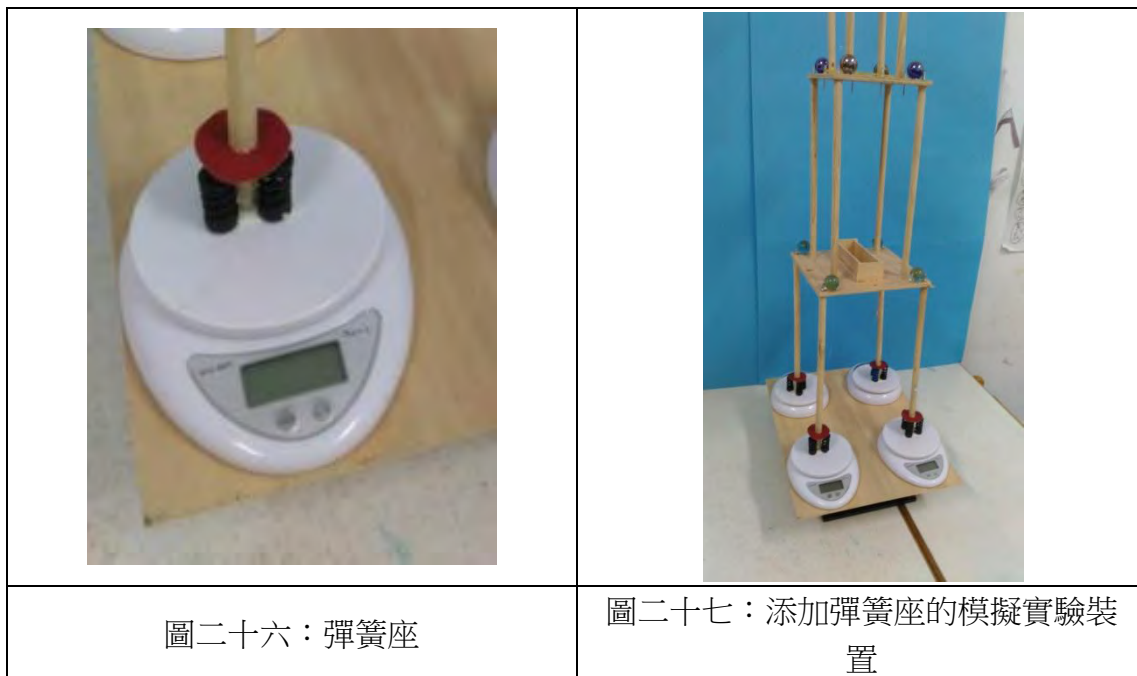
(三)實驗器材：圓形柱模擬大結構、地震模擬器、電子秤 4 個、加增於底柱的彈簧座 4 組。

(四)實驗方法：

1. 製作彈簧座：取四個直徑為 3 公分的厚紙板，中間各挖一個可以讓力柱穿過的洞，每個圓形紙板上分別用熱熔膠黏上 3 個彈簧，即成彈簧座(圖二十六)。

2. 將彈簧座安置在大樓底層每一力柱底部，並注意柱面根部與地面貼平。
3. 開啟地震模擬器，分別在初始 10 秒、30 秒、1 分鐘時觀察 A 柱、B 柱、C 柱、D 柱的受力變化(圖二十七)。

(六) 實驗照片：



(七) 實驗結果：

力柱初始數據為 A 柱：184、B 柱：183、C 柱：179、D 柱：175 (單位：公克)

搖晃時間/力柱代號	A 柱	B 柱	C 柱	D 柱
起初 10 秒	166-289	164-295	170-299	169-288
30 秒	167-289	165-298	168-301	160-279
1 分鐘	167-292	164-303	166-305	167-281

【我們的發現】

當底柱增加彈簧座且固定於力柱周圍，震幅一下子就達穩定，不管是初始 10 秒、30 秒、1 分鐘，各力柱的承重上、下限狀態都很穩定，因為彈簧座是有固定力柱的功能。

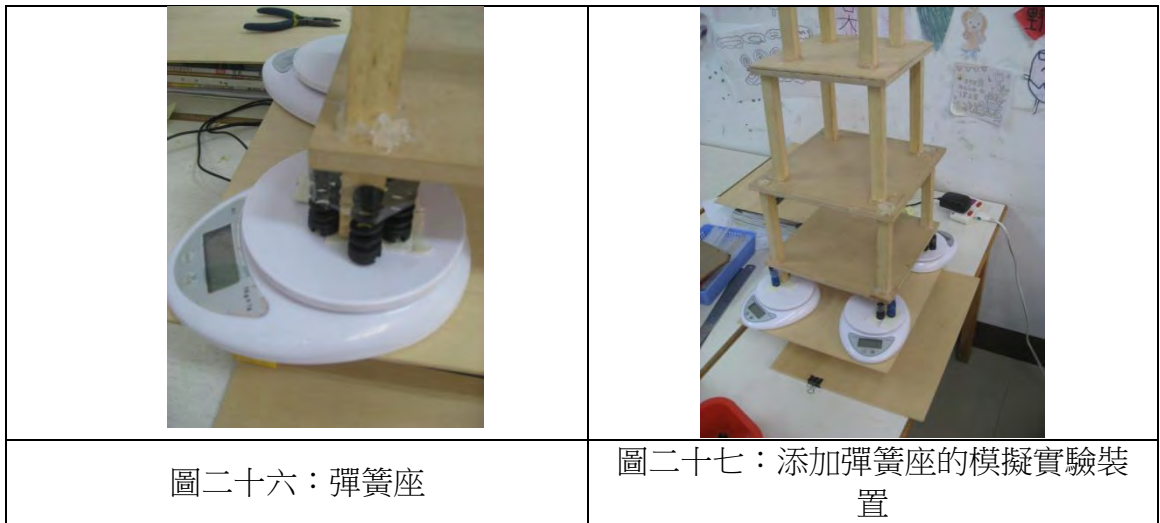
實驗九、方形柱體大樓於底柱增添彈簧柱後力柱的抗震力變化

(一) 原理與想法：與實驗八同。

(二) 實驗器材與做法：將模擬圓形柱體大樓改成方形柱的模擬大樓之外，其他與實驗八

同。

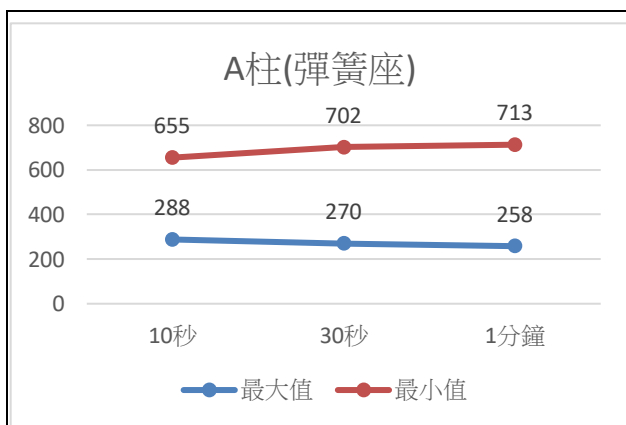
(三) 實驗照片：



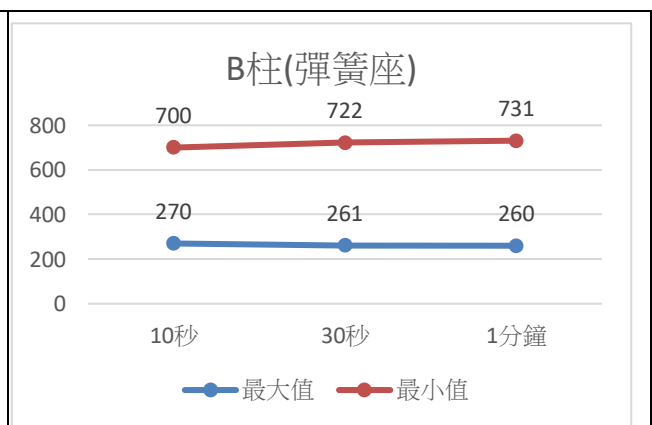
(五) 實驗結果：

力柱初始數據為 A 柱：350、B 柱：365、C 柱：368、D 柱：377（單位：公克）

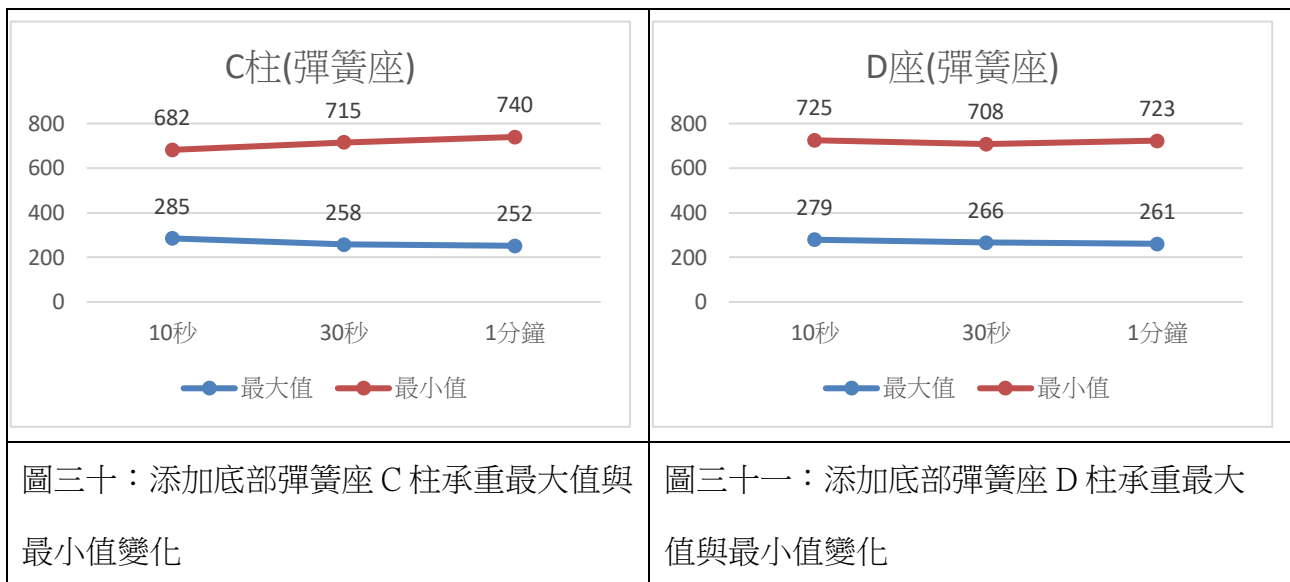
力柱代號/ 搖晃時間	A 柱		B 柱		C 柱		D 柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初 10 秒	288-655	367	270-700	430	285-682	397	279-725	446
30 秒	270-702	432	261-722	461	258-715	457	266-708	442
1 分鐘	258-713	455	260-731	471	252-740	488	261-723	462



圖二十八：添加底部彈簧座 A 柱承重最大值與最小值變化



圖二十九：添加底部彈簧座 B 柱承重最大值與最小值變化



【我們的發現】

本實驗結果與實驗八的圓形柱大樓模擬結構不同，在實驗八中，彈簧柱一下子就能減低振幅，且效果持續，而在本實驗中，使用與實驗八相同的彈簧座，卻沒有收到如實驗八的預期效果，因為四根柱子的最大與最小值差異持續變大，推測是因為本實驗的方形結構大樓結構較圓形大樓結構重，所以彈簧柱抗震效果減弱。

實驗十、利用軟性結構彈簧效應設計斜面彈簧柱，觀察其影響與效應。

《摩天大樓建築之謎》與《超高大樓的建築奧秘》書中均有提到，利用彈簧來達到減震之效果，尤以斜面彈簧來束縛柱體之間的設計是目前大樓常見的設置。

(一)原理：安裝彈簧於牆柱對角線上，利用其彈性原理來減緩地震時產生的作用力

(二)想法：將彈簧安裝在底層兩柱體上下之間，用以緩衝地震強度，藉此觀察其差異(圖三十二、三十三)。

(三)實驗器材與做法：模擬方形柱體大樓、地震模擬器、電子秤 4 個、斜面的彈簧座 4 組。

(四)實驗照片：



圖三十二：斜面彈簧座

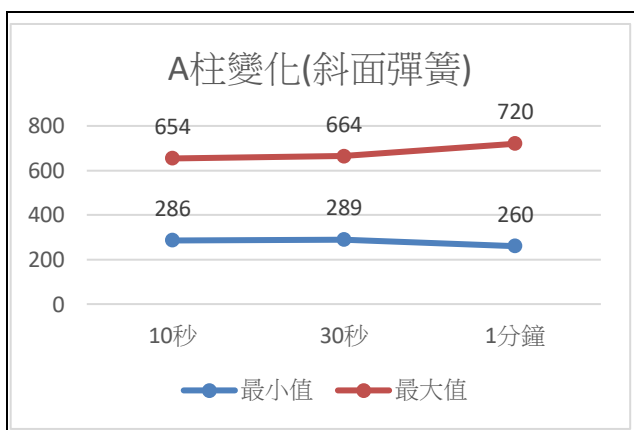


圖三十三：添加斜面彈簧座的裝置

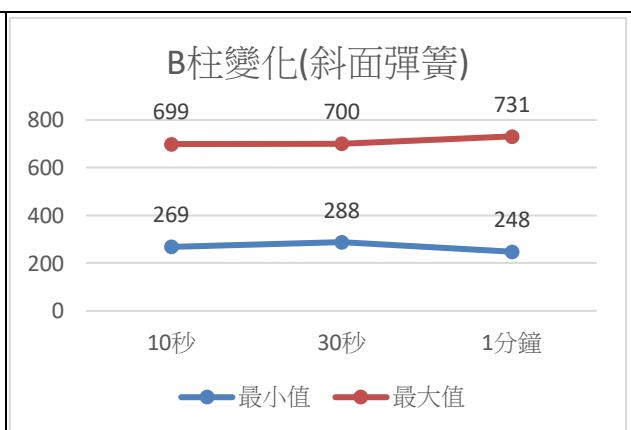
(六)實驗結果：

力柱初始數據為 A 柱：350、B 柱：365、C 柱：368、D 柱：377 (單位：公克)

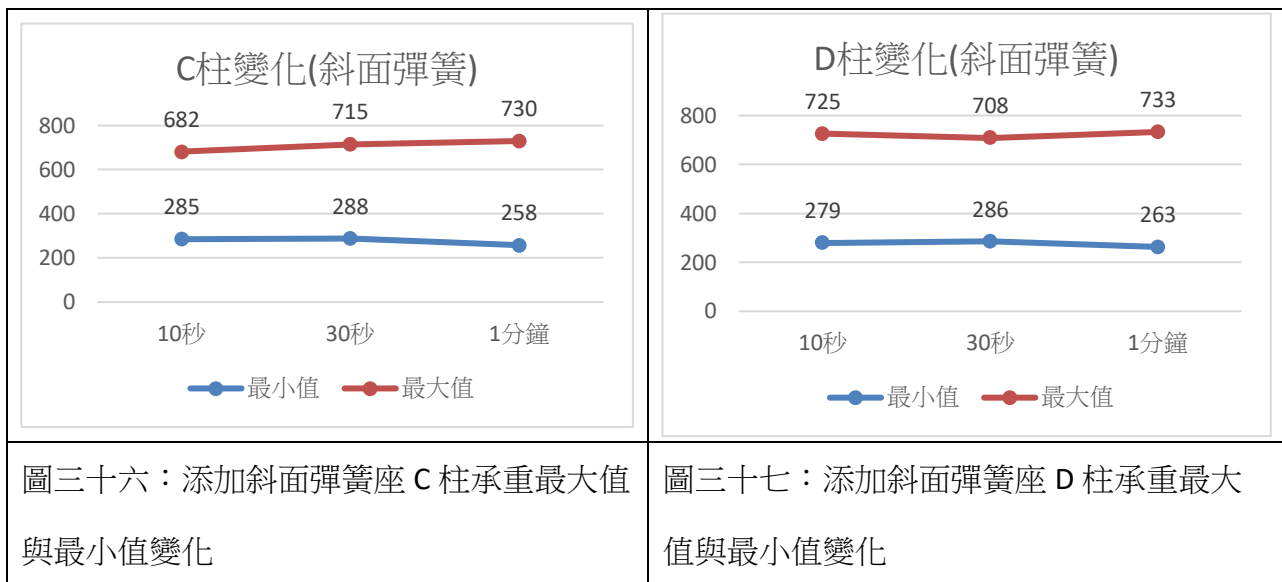
力柱代號/ 搖晃時間	A 柱		B 柱		C 柱		D 柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初 10 秒	286-654	368	269-699	430	285-682	397	279-725	446
30 秒	289-664	375	288-700	412	288-715	427	286-708	422
1 分鐘	260-720	460	248-731	427	258-730	472	263-733	470



圖三十四：添加斜面彈簧座 A 柱承重最大值與最小值變化



圖三十五：添加斜面彈簧座 B 柱承重最大值與最小值變化



【我們的發現】

1. 比較實驗八與實驗九的實驗數據之後，發現不論是底柱彈簧座的方式，或是斜面彈簧，大致上抗震效果差不多。
2. 進一步計算兩個實驗的四個力柱分別在初始 10 秒、30 秒、1 分鐘時，受力最大值與最小值的差異後，發現兩種彈簧在初始十秒時的表現差異不大，但若仔細比較 30 秒時的變化，可以看出斜面彈簧明顯優於彈簧座，但至一分鐘時，兩者表現又回復為差不多，都是差異越來越大的情況，此研究結果文獻沒有提到，是本研究的新發現。
3. 根據觀察發現，斜面彈簧的效果要有具體的成效，除非地震震幅達到較高的幅度，否則效果不佳，也就是整個柱體必須開始巨力的拉扯變形才能讓斜面彈簧出現效果。

伍、討論

一、實驗一開始時在基礎的大樓結構設計上，我們面對哪些問題？透過何種方法來解決呢？

ANS：表列出本問題的原因與解決辦法，如下：

問題	原因	解決辦法
1. 柱子定位問題	不論是橫向或縱向的距離，柱子與柱子之間些微的差距都會影響整體大樓的平衡，縱向、橫向的距離若有落差，則測量較不準	(1) 利用線繩綁一固定物來測量縱向力柱是否跟線繩保持水平。 (2) 透過 L 型尺來定位橫向距離

	確。	是否有落差。
2.樓層重量問題	因為是模擬樓層所以取用的材料為合板木材，但其重量過輕使得測量時整個樓層的數據會大幅變化不穩定，尤其是圓柱大樓結構。	在圓柱大樓結構的每個樓層的四個角落安置大彈珠，利用彈珠的重量來穩定樓層過輕造成搖晃時的不穩定因素。
3.承重測量問題	因為是模擬測重無法將柱體深入在測量儀器(電子秤)上，造成柱體在模擬地震時會位移使的數據不穩定無法測量。	利用雙面泡棉膠固定在電子秤的中央，讓柱體結構黏在上方，在地震測量模擬時，也能同時固定其變化過的柱體結構如彈簧柱。

二、在不同柱體形狀所承受的的力量實驗過程中，對地震所帶來的傷害又有何幫助？

ANS：透過實驗，我們發現柱體的形狀變化在承受力量時有相當大的差異，要找到一個萬用的柱形並不容易，通常得透過房子結構的需求來配置適當的柱型才能確保其承受力量足以承受地震震晃時加諸於建築物的力量，本研究把不同柱型能承受的力量做量化，透過量化的數據進行比較，以提供設計樓層主體結構時之參考。

三、地震模擬器的配置原理與其優缺點為何？

ANS：

地震模擬器的設計與原理介紹	
設計原理	利用器械的輪軸原理驅動一齒輪車在齒距上做 1.5CM 的往復運動，齒輪車上放置水平的木板固定其上，上方可擺置所需測試的儀器跟模擬建築物，再透過驅動程式來控制齒輪的運走速度，速度越大其震幅也越大。
優點	可以穩定持續的施放其水平位移的力量，震度也能受到控制來進行觀察測試。
缺點	無法模擬當地層板塊推擠時往上的作用力，也就是上下式的地震模式。因為地震的來臨主要是水平位移的力量，但板塊推擠時產生往上推擠的作用力較難以同步模擬。

四、透過附加在建築物上「阻尼器」或在柱體結構添加輔助的「彈簧」器物是否能減緩地震所帶來的能量呢？

ANS：根據實驗結果來看，不論阻尼器或彈簧柱都能有效的減緩或抵銷部分地震所帶來的力量，但消耗或減緩的比例有限，最主要還是在建築物的結構上不能有過度的破壞，尤其在基礎的底柱設計上尤為重要，彈簧柱雖然在抵銷地震能量不如阻尼器明顯，但在加固基層底座有較明顯的功效。

陸、結論

一、不同的建築外觀和不同的柱子形狀，通常都有不同的功用，例如：在越高的樓層，樓層外觀面積就會越小，以減少風阻；在一些柱子中央會加裝彈簧或是建築物中央加裝阻尼器，藉此來吸收地震的力量，防止劇烈的搖晃。而堅固的外型與數量足夠的支柱，更是重要。

二、不論樓層平面大小，施重所在的區域所對應的柱子承重量最高，兩旁區域的柱子次之，斜對角的柱子都是承重最輕的。

三、即使吸管的數量、高度相同，但所排列出的承重切面形狀不同，承重狀況差異很大，最佳到最差的順序為：正方形柱 > 三角形柱 > H 形柱 = 圓形柱 > 梯形柱 > T 形柱 > 長方形柱 > L 形柱。進一步測試四方形、十字形、C 字形、U 字形柱子排列結構大樓在地震模擬器下的承重狀況，發現凡有開口的面向與地震震動方向平行者，皆發生傾斜、甚至崩塌。但根據實驗結果推測，由於地震的震動方向可能來自四面八方，所以我們認為，四個周邊都有足夠立柱支撐的大樓結構是最適合地震頻傳的台灣。

四、將地震模擬器設定為每秒來回搖晃 1.5 公分的振幅，是比較適合進行研究觀察的；將大樓結構置於地震模擬器上實驗後發現，在初始的 10 秒時搖晃不穩定，四根力柱的數據差異不大；約至第 30 秒搖晃較為穩定；接近 1 分鐘時，因能量累積，造成左右震幅變大，以至於力柱承重上、下限不斷拉低或升高。

五、將大樓結構添加附加設備後至於地震模擬器上實驗發現：

(一)平面阻尼器較懸吊式阻尼器更快發揮減緩振幅的功效，且兩者皆是時間越長效果越好，而懸吊式阻尼器安裝在不同樓層效果不同：高層 > 中層 > 底層，低層效果極

差。

(二)在相同的大樓結構之下，底柱增加彈簧座比使用阻尼器，震幅下降速度較快，但以時間拉長來看，阻尼器緩和振幅的能力較佳。

(三)比較底柱彈簧座、斜面彈簧後發現，兩者大致上抗震效果差不多，但在 30 秒時，可以看出斜面彈簧效果明顯優於底柱彈簧座，但至一分鐘時，兩者表現又回復為差不多，且都是受力最大值與最小值差異越來越大的情況，此研究結果文獻沒有提到，是本研究的新發現。根據實驗觀察，斜面彈簧在地震強度超高，造成建築物拉扯變形時，保護建築物的完整性效果較佳。

六、綜合以上各實驗結果，我們認為最佳的大樓結構，應是越高樓層面積越小；相同質量之下，採用正方形柱且盡量排成四邊都有足夠力柱支撐的大樓，承重效能最優；於結構中、高層加裝阻尼器，以利地震來時能緩衝振福、減低各力柱的承重量；在柱底加裝彈簧座，柱與柱之間增加斜面彈簧更能穩固力柱，使地震一發生時，馬上減低振福。

柒、參考資料與其他

黃凱彬、莊永宗、林揚均·**地牛翻身-簡易地震模擬器與感應器的製作與操作**·取自 <https://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/32/pdf/32m/153.pdf>

蔡薰誼、蔡昀儒、林禹丞、張芳瑜、陳冠伸、高義維(2016)·**形不行？差很大-形狀及方向對抗彎變形之研究**·取自 <https://www.ntsec.edu.tw/Science-Content.aspx?a=6821&fld=&key=&isd=1&icop=10&p=1&sid=13215&print=1>

高橋俊介、姚淑娟、陳又哲、陳俊宸、連梅吟、陳其輝(2009)·**摩天大樓建築之謎-從台北 101 發現件直科技的奧秘**·台中：知己圖書。

島俊雄、小林昌一、小林伸也(2014)·**超高層大樓建築奧秘**·新北市：瑞昇文化。

張文彥、余桂坤(2009)·**防震減災**·台北市：財團法人三聯科技教育基金會。

劉坤松(2010)·**地震存亡關鍵**·台北市：五南圖書。

許坤南、林長勳(1995.04.22)·**日本阪神大地震勘災訪問報告**·中華民國建築學會。

花蓮強震：統帥、雲翠倒塌 專家：原因跟維冠一樣·取自民視新聞網(2018 年 2 月 7 日) https://news.ftv.com.tw/AMP/News_Amp.aspx?id=2018207L09M1

【評語】 080117

此作品中模擬實驗裝置的設計(如：建築物的模型和模擬地震振動的平台)都相當良好，有助於實驗測量的進行和分析。研究過程也周詳，另外能參考 101 大樓阻尼器裝置的設計，而發展另一類左右滾珠移動的避震裝置，是值得嘉許的想法。本研究除了探討建築物結構與避震裝置的最佳化條件外，分別就支撐柱形狀承重、阻尼器種類與安裝位置、柱底加裝彈簧座等變因，予以模擬大樓實測之探討，整體而言是件完整的作品。

另針對本作品的研究題材與台灣常有地震的特殊地理環境，有密切的關聯性，是一個相當好的科學學習題目。

摘要

為了為台灣防震技術盡一份心力，透過模擬大樓實驗分析樓層遇到地震時在物理上的變化與影響，實驗分兩部份：**一、建築剛性結構變化**，**二、輔助結構之差異**。發現：

一、當柱體高度、質量固定時，不同承重切面柱形的承重能力不同，柱體分布結構與地震震動方向的交互作用是造成建築物倒塌的重要因素。

二、力柱加裝**彈簧座**可以馬上減低震幅，**一段時間後阻尼器**則可透過反作用力緩衝地震強度。

三、根據實驗結果建議：越高樓層面積越小、高樓層加裝阻尼器、使用加裝彈簧座的正方形力柱，且每邊除了角落力柱外還有其他力柱，是良好的防震大樓結構。

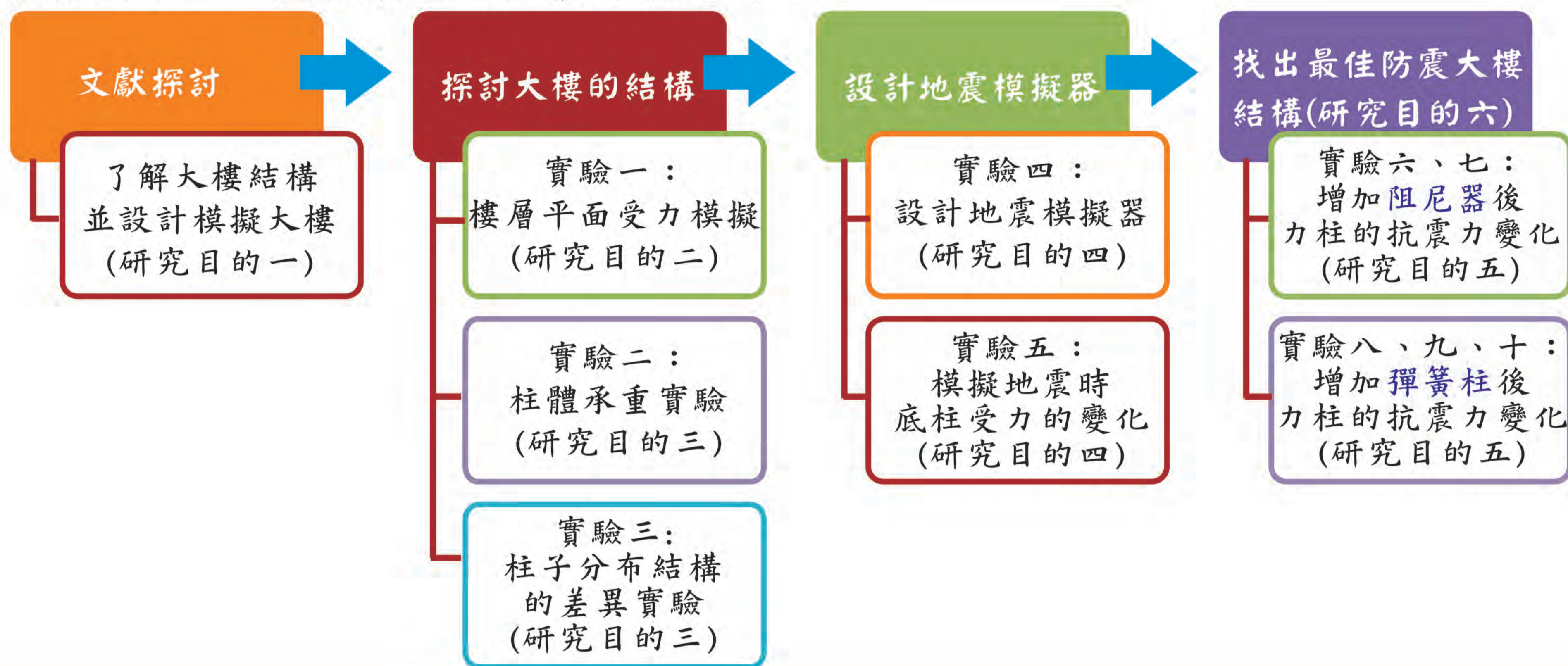
研究動機

「地震」是人類無法擺脫的夢魘。地震本身是天災，我們愛莫能助，建築物的結構問題卻是人禍，人們常為了自身便利性或需求去改變屋子的結構，尤其在整個底層結構與低層屋梁、支柱、牆面的變更導致騎樓結構毀損、坍塌。所幸問題卻是可以解決的，我們就以此問題作為研究目標：「若可以讓建築物更加穩固，是否就可以降低地震所帶來的災害呢？」

我們運用曾經在六上自然課「**變動的大地**」、在六上數學課學到的各種**柱體構成要素**之知識，輔以閱讀相關書籍與研究結果作為本研究的基礎。

研究目的

- 一、了解設計大樓結構的原理並製作模擬大樓。
- 二、模擬大樓結構，觀察樓層平面之受力情況。
- 三、比較不同柱型結構對樓層平面的承重能力。
- 四、利用地震模擬器觀察在不同的地震強度時，「力柱」所承受力量的改變。
- 五、探討安置在「力柱」上的附加設備對於「抗震」的效能。
- 六、根據實驗結果，找出最佳的防震大樓結構。



目的一：了解設計大樓結構的原理並製作模擬大樓

了解建築物結構原理(剛性結構)

- 1.越高的樓層平面面積會越小，以減少風阻。
- 2.在柱子中央加裝彈簧柱，或是建築物中央加裝阻尼器，藉此吸收地震的力量。
- 3.使用較多柱子，藉此分散建築物的重量。
- 4.採用較堅固的大樓結構。

目的二：模擬大樓結構，觀察樓層平面之受力情形

實驗一、樓層平面受力模擬實驗

放置區域	A柱承重		B柱承重		C柱承重		D柱承重		放置區域	A柱承重		B柱承重		C柱承重		D柱承重			
重量	100g	50g	100g	50g	100g	50g	100g	50g	重量	100g	50g	100g	50g	100g	50g	100g	50g		
A區域	大板	53*	27*	20	9	6	2	13	10	C區域	大板	3	0	17	6	54*	24*	16	6
	中板	65*	31*	29	17	3	0	21	10		中板	1	0	18	11	45*	25*	14	7
	小板	64*	27*	21	14	11	0	37	16		小板	11	0	22	11	49*	30*	21	12
B區域	大板	22	13	58*	42*	21	13	9	0	D區域	大板	20	11	6	0	20	12	53*	30*
	中板	17	10	50*	23*	22	10	8	4		中板	16	8	3	0	35	17	63*	31*
	小板	20	13	59*	28*	12	14	9	2		小板	16	14	5	0	26	16	52*	32*

【發現】不論在哪個平板上，分別放置100g或是50g的砝碼，砝碼所在的區域對應的柱子承重的重量都是最高，斜對面的柱子都是最輕的。

目的三：比較不同柱型結構對樓層平面的承重能力

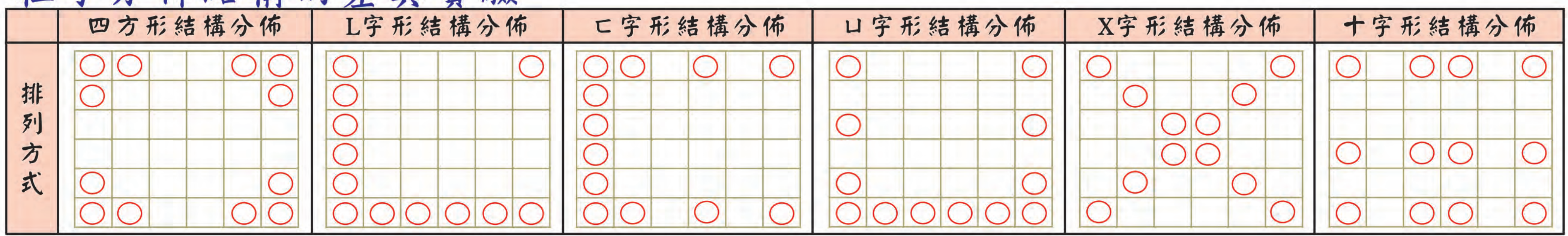
實驗二、柱體承重實驗

名稱	切(承重)面	承重(克)	排名	名稱	切(承重)面	承重(克)	排名	名稱	切(承重)面	承重(克)	排名	名稱	切(承重)面	承重(克)	排名
正方形柱		18395.4克	1	三角形柱		14663克	2	H形柱		13330克	3	圓形柱		13330克	3
梯形柱		12130.3克	5	T形柱		11063.9克	6	長方形柱		10664克	7	L形柱		5865.2克	8

【發現】承重排序：正方形 > 三角形 > H形 = 圓形 > 梯形 > T形 > 長方形 > L形。

目的三：比較不同柱型結構對樓層平面的承重能力

實驗三、柱子分佈結構的差異實驗



【結果】

註：「無」代表結構未崩塌或傾斜，是穩固的

【發現】

分佈結構/ 地震模擬時間	四方形	L字形	ㄇ字型 (開口方向與地震 震動方向平行)	凵字型 (開口方向與地震 震動方向垂直)	X字型 (大開口方向與地震 震動方向平行)	十字形
30秒內	無	17秒崩	無	無	無	無
60秒	無	崩塌	右開口略傾斜	無	兩側傾斜度提高	無
90秒	無	崩塌	右開口傾斜度提高	無	兩側傾斜度再提高	無

1. 只要開口的方向與地震震動方向平行，必定在受測時發生傾斜、甚至崩塌的情形。
2. 由於地震的震動方向可能來自四面八方，所以每邊除了角落力柱外還有其他力柱的大樓結構，最適合地震頻傳的台灣。

目的四：利用地震模擬器觀察在不同地震強度時，「力柱」所承受力量的改變

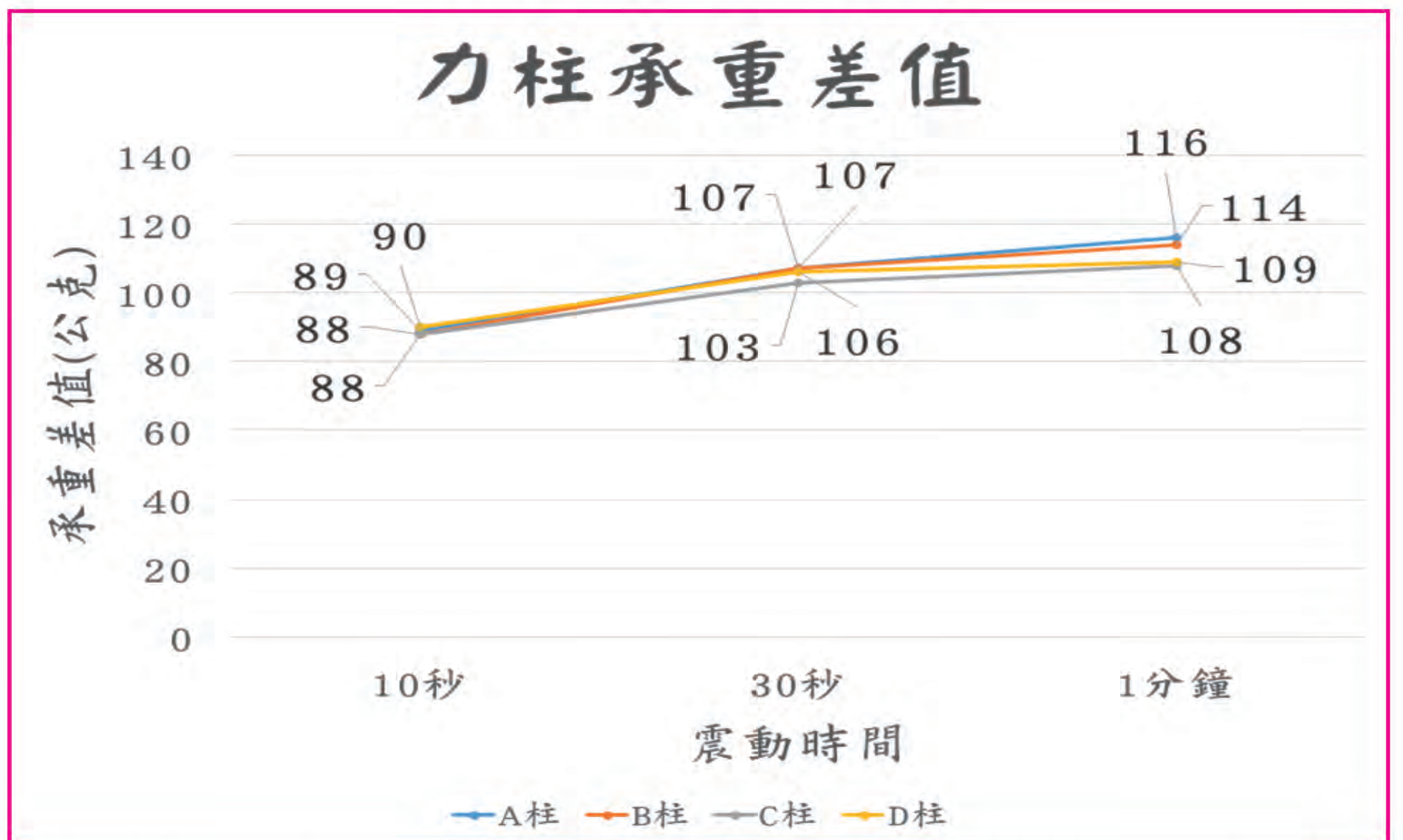
實驗四、設計地震模擬器

震度設定	來回1次的秒數	移動距離	效果
慢(輕度地震)	1.5秒	1.5CM	搖晃不明顯，不易觀察
中(中度地震)	1秒	1.5CM	搖晃明顯，適合觀察
快(強力地震)	0.5秒	1.5CM	搖晃太過強烈，不適合做實驗

實驗五、模擬地震時底柱受力的變化

【結果】單位：公克

力柱代號/ 搖晃時間	A柱		B柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初10秒	49-138	89	48-136	88
30秒	43-150	107	44-151	107
60秒	39-155	116	42-156	114
力柱代號/ 搖晃時間	C柱		D柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初10秒	48-136	88	47-137	90
30秒	46-149	103	44-150	106
60秒	43-151	108	43-152	109



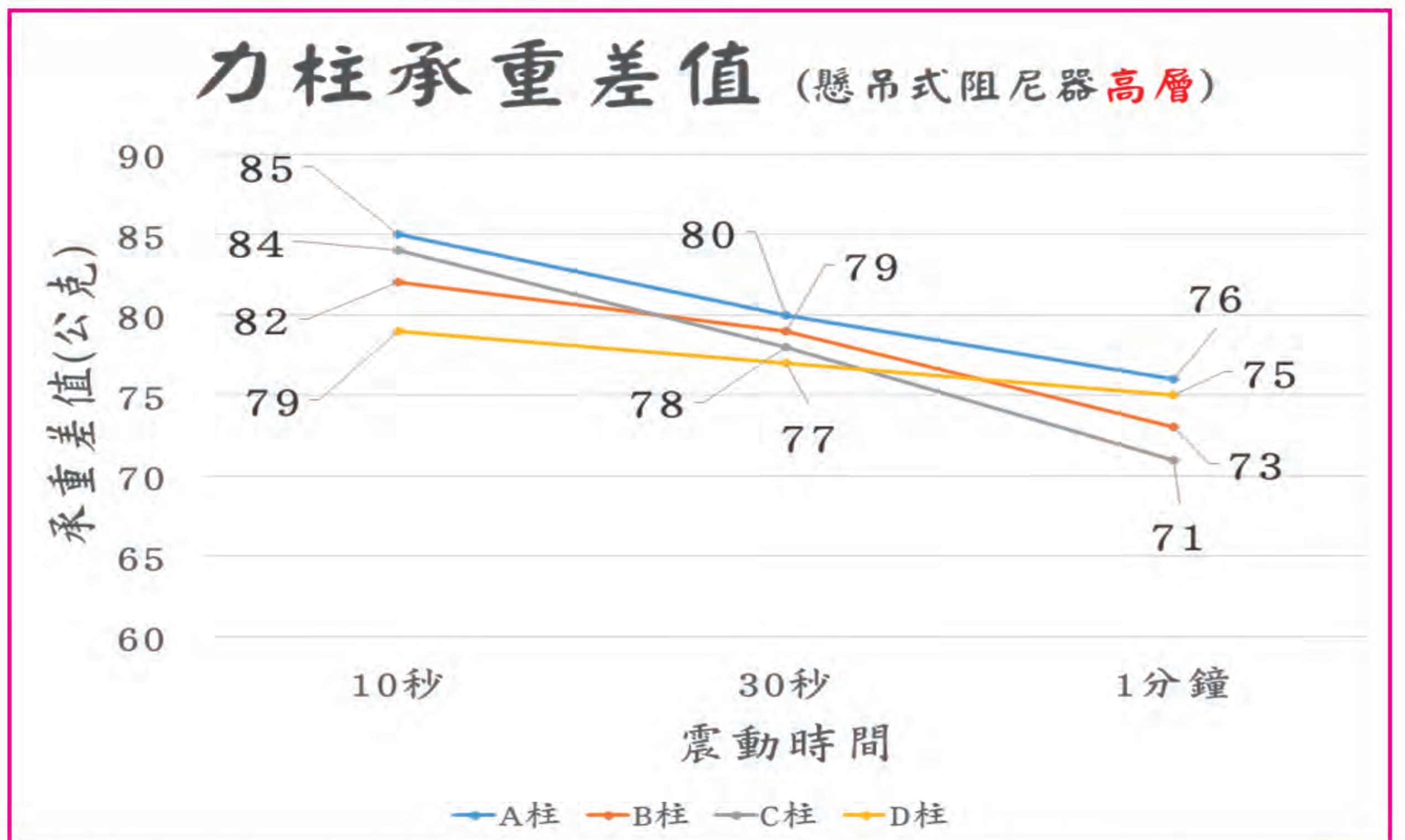
【發現】初始10秒時搖晃不穩定，四力柱承重的數據差異小；至30秒搖晃較為穩定；1分鐘時，力柱有要被拔起的感覺，承重上、下數據變化劇烈，可能是能量一直累積，造成左右震幅變大。

目的五：探討安置在「力柱」上的附加設備對於「抗震」的效能

實驗六、懸吊式阻尼器在不同樓層的抗震效果

【結果】單位：公克

力柱代號/ 搖晃時間	A柱		B柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初10秒	51-136	85	53-135	82
30秒	54-134	80	55-134	79
60秒	55-131	76	56-129	73
力柱代號/ 搖晃時間	C柱		D柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初10秒	52-136	84	55-134	79
30秒	55-133	78	54-131	77
60秒	57-128	71	55-130	75



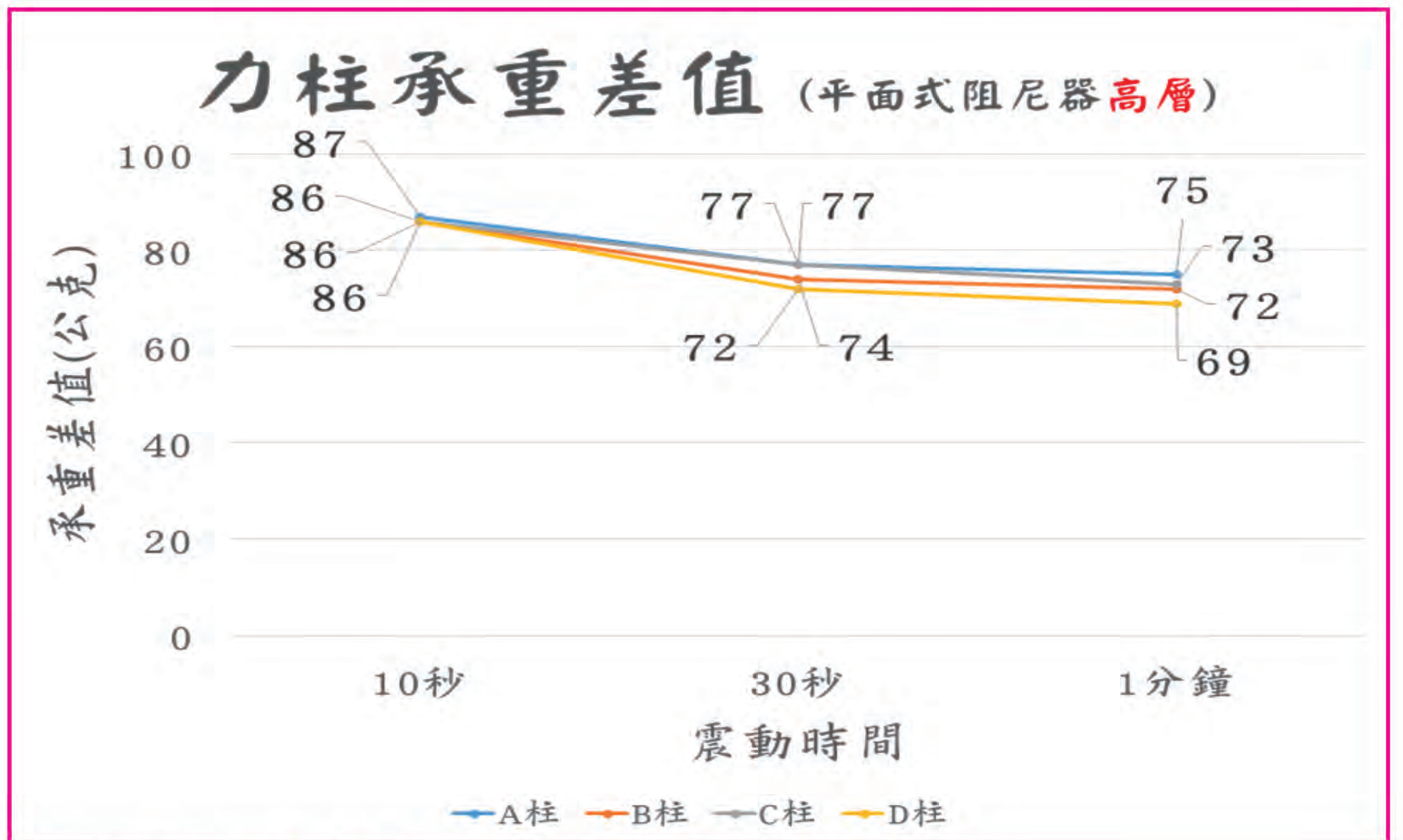
【發現】1. 在低層時，到30秒之前，可以抵銷地震的能量累積，但到一分鐘時，震動差值快速變大，顯示能量累積加大，阻尼器抵銷能力到達上限。(圖表略)

2. 在高層時，隨著搖晃時間拉長，差值漸小，顯示懸掛式阻尼器安裝於高層能有效減低震幅。

實驗七、平面式阻尼器後力柱的抗震力變化

【結果】單位：公克

力柱代號/ 搖晃時間	A柱		B柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初10秒	50-137	87	51-137	86
30秒	55-132	77	56-130	74
60秒	56-131	75	57-129	72
力柱代號/ 搖晃時間	C柱		D柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初10秒	52-138	86	50-136	86
30秒	54-131	77	57-129	72
60秒	56-129	73	58-127	69



【發現】1. 隨著搖晃時間拉長，差值漸小，顯示在高層安裝平面式阻尼器能有效減低震幅。

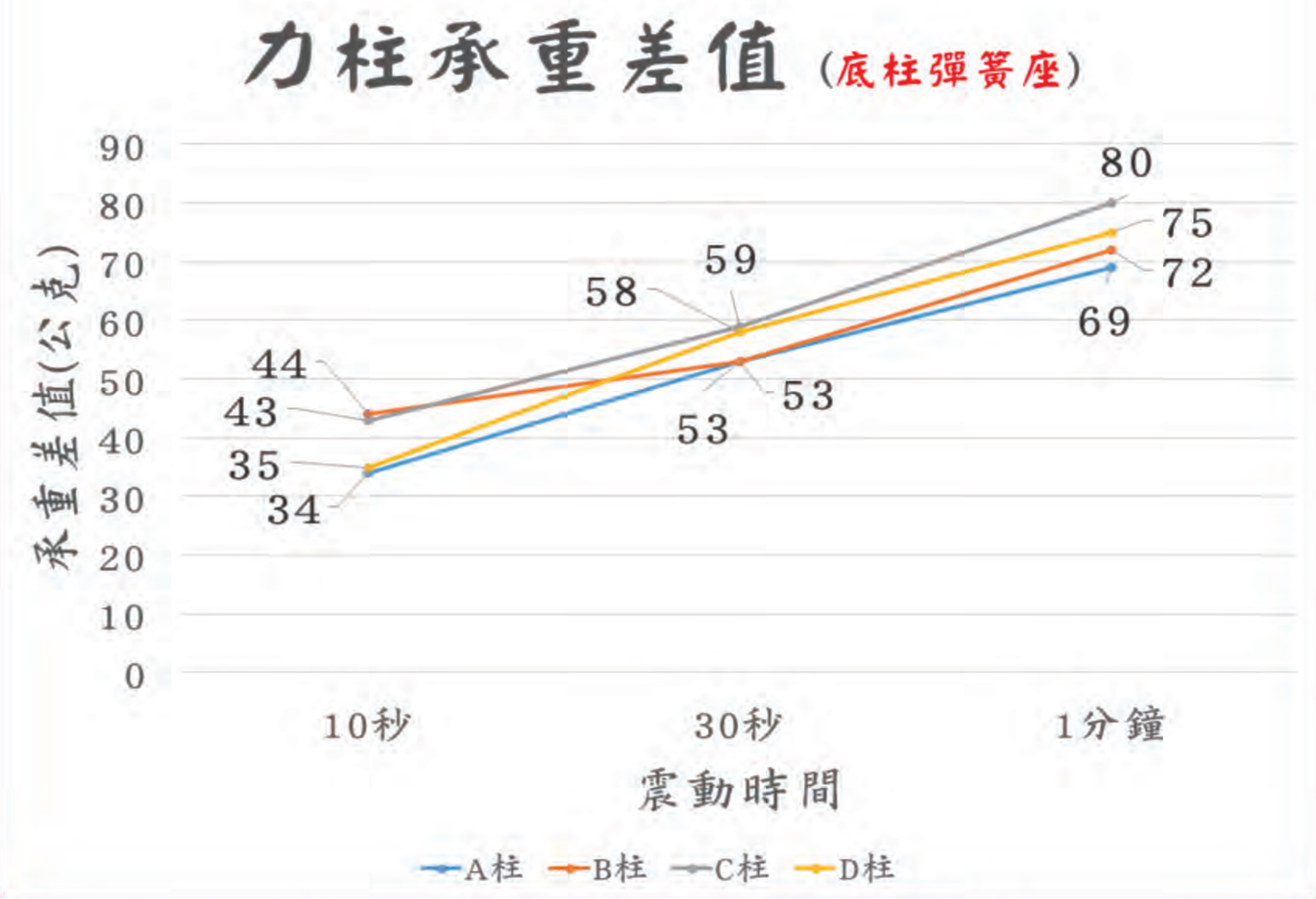
2. 比較兩種阻尼器發現，30秒時平面式阻尼器效果優於懸吊式，到1分鐘時兩者效果差不多。因此平面式阻尼器發揮減震效果的速度優於懸吊式，但先決條件是地震方向與軌道方向需相同，否則平面式阻尼器裡的鋼珠不會移動，無法達到撞擊之效果。

目的五：探討安置在「力柱」上的附加設備對於「抗震」的效能

實驗八、方形柱體大樓於底柱增添彈簧座後力柱的抗震力變化

【結果】單位：公克

力柱代號/ 搖晃時間	A柱		B柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初10秒	78-112	34	73-117	44
30秒	70-123	53	69-122	53
60秒	65-134	69	63-135	72
力柱代號/ 搖晃時間	C柱		D柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初10秒	69-112	43	75-110	35
30秒	64-123	59	67-125	58
60秒	59-139	80	61-136	75

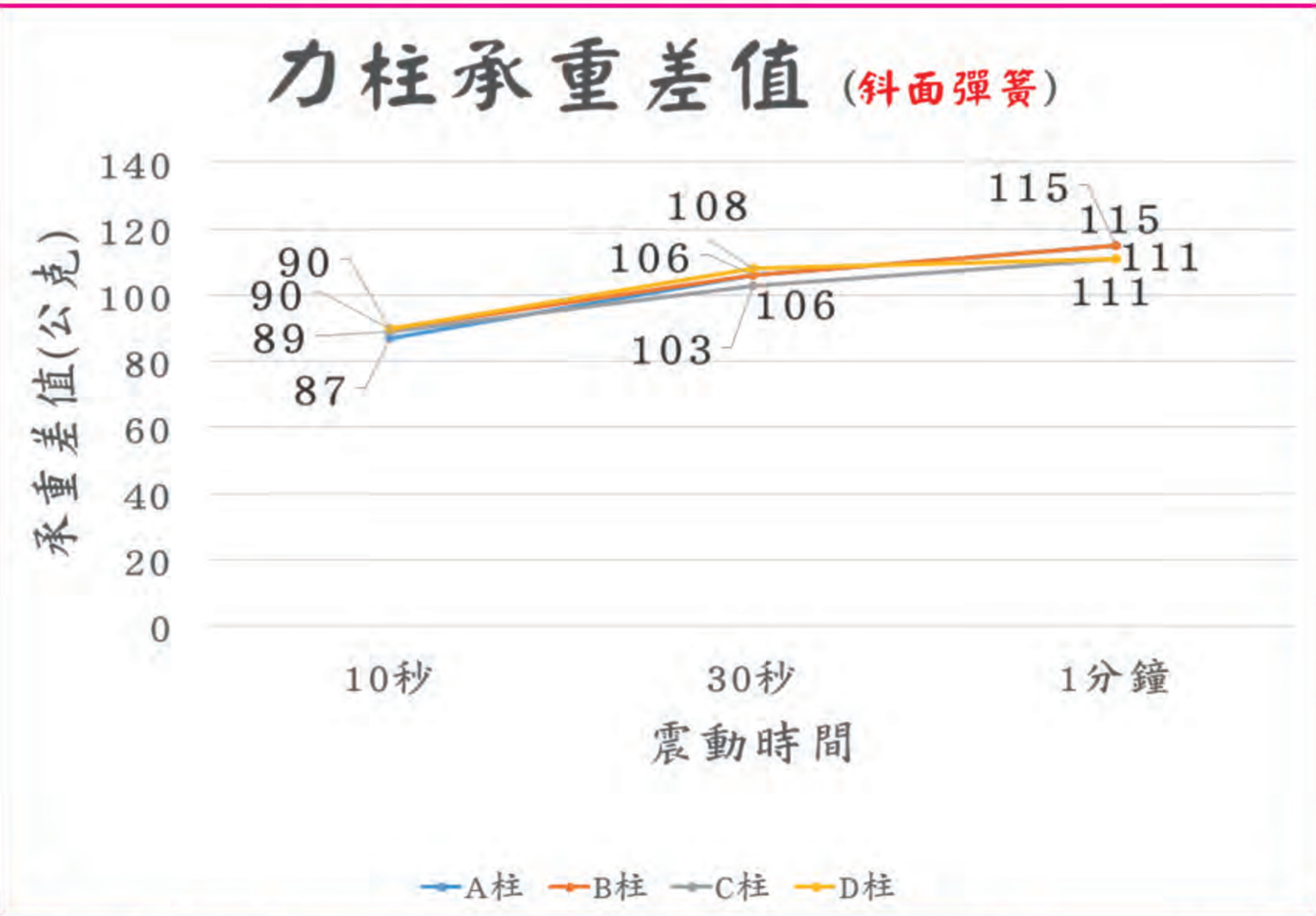


【發現】透過觀察發現，底柱彈簧座在地震一開始就可以減低震幅，但隨著時間拉長、震幅加大，四力柱的承重差值逐漸升高。

實驗九、利用軟性結構彈簧效應設計斜面彈簧，觀察其抗震力變化。

【結果】單位：公克

力柱代號/ 搖晃時間	A柱		B柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初10秒	50-137	87	47-137	90
30秒	45-151	106	44-150	106
60秒	40-155	115	40-155	115
力柱代號/ 搖晃時間	C柱		D柱	
	最小-最大	差值	最小-最大	差值
起初10秒	49-138	89	48-138	90
30秒	45-148	103	43-151	108
60秒	42-153	111	42-153	111



【發現】對照實驗五數據無明顯落差，觀察發現除非底層之柱體有傾斜或崩毀的變化，否則其影響甚微。建議可設立在可能發生較為強烈地震的區域，如地震規模7以上的地帶，能夠緩衝逃離的時間也可能預防樓層整個倒塌的現象。

討論

一、一開始在基礎的大樓結構設計上，我們面對哪些問題？透過何種方法來解決？

二、地震模擬器的配置原理與優缺點為何？

問題	原因	解決辦法
柱子定位問題	柱子與柱子之間些微的差距都會影響整體大樓的平衡，影響測量結果	1.線繩綁重物垂放測量縱向力柱 2.用L型尺定位橫向力柱
承重測量問題	無法將力柱深入在電子秤裡，模擬地震時力柱位移使得無法測得數據	利用泡棉膠將力柱結構固定在電子秤的中央

地震模擬器的設計與原理介紹	
設計原理	利用輪軸驅動齒輪車，在齒距上做1.5CM的往復運動，再透過驅動程式來控制齒輪的運走速度，速度越大其震幅也越大
優點	可以穩定、持續的施放水平位移的力量，震度也能受到控制
缺點	無法模擬當地層板塊推擠時往上的作用力，也就是上下式的地震模式

結論

- 施重所在的區域的柱子承重量最高，兩旁區域的柱子次之，斜對角的柱子都是最輕的。
- (1)吸管的數量、高度相同，但所排列出的柱體其「承重切面」不同，承重狀況有所差異：正方形 > 三角形 > H形 = 圓形 > 梯形 > T形 > 長方形 > L形。
(2)不同「承重切面」，凡開口面向與地震震動方向平行者，皆發生傾斜、甚至崩塌。
- 大樓結構置於地震模擬器上後發現，在初始的10秒時搖晃不穩定，四根力柱的數據差異不大；約至第30秒搖晃較為穩定；1分鐘時，因能量累積，左右震幅逐漸變大。
- 將大樓添加輔助設備進行後地震模擬實驗後發現：
 - 平面式較懸吊式阻尼器更快發揮減震功效，且安裝在高層且時間越長效果越好。
 - 底柱彈簧座較兩種阻尼器下降震幅的速度快，但兩種阻尼器緩和震幅的能力較佳。
 - 底柱彈簧座較斜面彈簧的抗震效果佳，兩者都是受力最大值與最小值差異越來越大。

★新發現：斜面彈簧在地震強度高造成建築物拉扯變形時，保護建築物的完整性效果佳。
- 最佳的大樓結構：越高樓層面積越小；採正方形柱且每邊除了角落力柱外還有其他力柱，承重效能最佳；於結構高層加裝阻尼器、底柱加裝彈簧座，使地震發生時馬上減低震幅；柱與柱之間增加斜面彈簧，避免樓層完全倒塌。

參考資料

- 高橋俊介、姚淑娟、陳又哲、陳俊宸、連梅吟、陳其輝(2009)·摩天大樓建築之謎-從台北101發現件直科技的奧秘·台中：知己圖書。
- 島俊雄、小林昌一、小林伸也(2014)·超高層大樓建築奧秘·新北市：瑞昇文化。