

中華民國第四十三屆中小學科學展覽會參展作品專輯

國中組

生活與應用科學科

科別：生活與應用科學科

組別：國中組

作品名稱：讓巨人馴服地牛

關鍵詞：建築結構、衍架、防震系統

編號：030806

學校名稱：

台北市立金華國民中學

作者姓名：

李奕儒、崔哲豪、林彥百

指導老師：

周杰傳、曾立志



摘要

爲了實際瞭解不同的建築物基礎設計與處理方式不同，進而探索建築物耐震能力與隔震效果的差異性爲何？我們利用電磁鐵及電腦桌滑槽等簡易材料先自製了一模擬震動平台及具彈性節點之兩層式桁架。並將電腦連線的數位攝影機裝置於平台上，以方便於震動實驗中同步觀測攝錄桁架淨變位之震動狀況。我們總共分有三大項的實驗，分別研究三種的防震系統(橡膠柱防震、彈珠防震及我們所自創的新型防震)每三項實驗又分成兩小項分別研究各個實驗系統的功效與載重的影響實驗後再針對這三大項實驗來判別我們先前的假設是否成立，並探討我們實驗的成果。

壹、研究動機

在日本阪神大地震之後，台灣也歷經了 921、311 等的大規模地震。隨著地震陰霾的消逝，接踵而至的卻是我們心中許許多多的疑惑。因此我們在各大書局、市立圖書館及網際網路中期盼能夠找到這一方面的資料。當一切正順利時，卻在找尋防震措施的過程中遭遇空前的困難，即使找專業的公司、學術研究機構、教授，仍無法給予淺顯易懂而適合我們吸收的知識。所以便想藉著參與這一次的科學展覽來自行探討這一方面問題，來彌補平時不易接觸到建築、土木的科技新知。

貳、研究目的

我們這次實驗的目的就是希望能夠經由找尋相關的資料與一次次的實驗中，徹底了解到底都市中高大雄偉的建築物是如何屹立不搖，來承受地牛的考驗與洗禮。隨著辦公大樓到處的樹立以及 101 大樓的興建，我們便有些許疑問，是什麼科技、設備讓建築設計師敢讓大樓興建得如此高大？又如何讓建築承受大地的怒吼狂飆？又這些設施有哪

些？有什麼不同？原理如何？、、、等的疑問，最後以創新防震法作為本研究的重頭戲。雖然仍無法滿足我們渴望知識的心靈，但更重要的是，我們以自己的『力量』去追尋自己渴望的知識。然而我們也非常希望能夠將我們這次的實驗結果、心得與大家分享，同時激起同學們對科學的興趣，讓大家認清多元教育的重要，一同來打造完美的學習環境。雖說有一點像夢想一般的不可能，但是有『夢想』仍是人生最美的事。

參、研究設備器材

一、器材

- (一) 電源供應器 (桌上型電腦的電源供應器, 4V)
- (二) Logitech Quick Cam (負責全程記錄實驗的影像)
- (三) 電磁鐵 (1V/每個) 一共 4 個
- (四) 橡皮擦 (柱狀形, 做為橡膠防震法的橡膠。)
- (五) 約略 100 顆直徑相同的彈珠 (作為彈珠防震法的防震器)
- (六) 尺、筆、橡皮擦 (做紀錄以及輔助記錄)
- (七) 鋸子 (幫助製作模擬震動平台)

二、材料

- (一) 木材 (做衍架及震動平台)
- (二) 木板 (做衍架及震動平台)
- (三) 中性矽利康 (黏接衍架, 具彈性, 可放大衍架搖擺程度, 以利觀察)
- (四) 圖釘 (固定橡皮筋)
- (五) 橡皮筋 (瞬間將平台拉回, 與電磁鐵一齊作用時, 可讓平台迅速移動。)
- (六) 手動式開關 (由手動來控制平台, 壓下、放開一次, 則平台震動一次)

三、設備

(一) 模擬震動產生平台 (產生震動以供實驗)



(二) IBM 筆記型電腦 (記錄影片及數據)

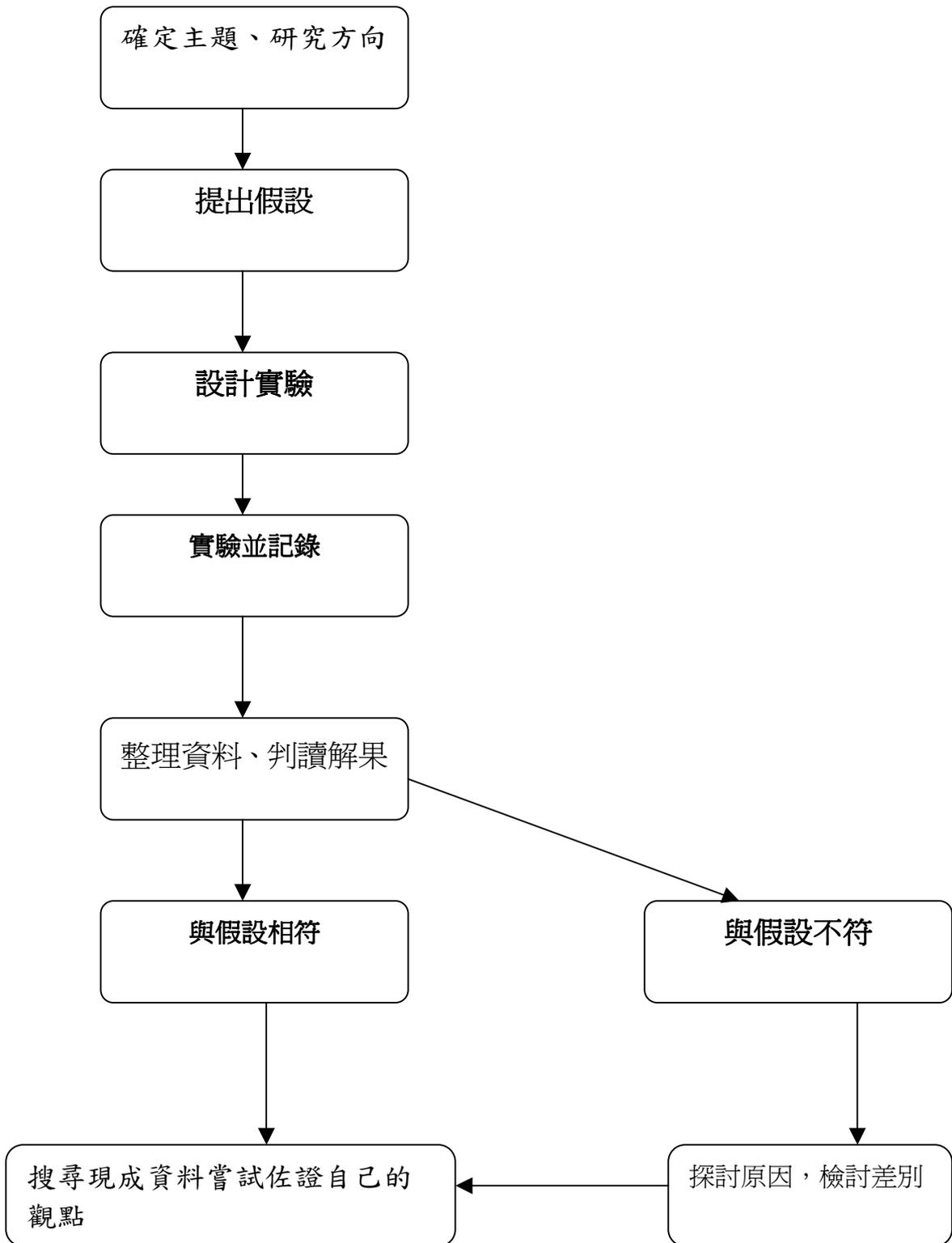
肆、研究過程或方法

一、研究流程：

我們此次實驗多是採用『控制變因法』。此實驗分爲兩種變因。1.控制變因-維持不變，可有好幾項。2.操縱變因-人爲改變，主要與探討的項目相關，僅只有一項。

- (一) 確定主題、研究方向→明確我們的研究方向，從日常生活中列出疑問，準備尋找答案。
- (二) 提出假設→在設計實驗前，先預想實驗時所有有可能的情況與變數，並模擬其結果。
- (三) 設計實驗→將所有係數及變因納入，針對它設計一系列的實驗，並經過簡易的測試可行後，列入正式實驗的名單中。
- (四) 實驗並記錄→將每一次的實驗數據確實而詳細的紀錄下來。以便日後便於呈現與判讀。
- (五) 整理資料、判讀結果→一系列的實驗完成後，將前後的數據比對，再用自身的常識來解釋其現象以及結果。
- (六) 搜尋現成資料嘗試佐證自己的觀點→在書籍及網際網路上蒐集資料，並運用這些資料來佐證或糾正我們小組的觀點。

伍、結果



一、橡膠柱防震研究

(一) 橡膠柱長短與防震功效關係之研究

1. 編號：92316（依照實驗當日的年、月、日）
2. 變因：改變衍架基礎的防震措施→橡膠的長短，分別有 0cm、2cm、4.5cm。



3. 假設：無橡膠柱的衍架，因未有防震措施，而震波回直間傳到衍架上，因此預估其搖擺的幅度最大。反而，以 4.5 橡膠柱作為防震措施的衍架，因為有彈性物質的隔絕，使得能量震波傳達到衍架主體前，其一部分會因橡膠柱的左右位移而消耗掉。因此，搖擺幅度較小。

4. 數據：

	第一次	第二次	第三次	第四次	平均值
0cm 橡膠柱	右:1.0;0.5 左:1.2;0.4 全:2.2;0.9	右:1.0;0.5 左:0.9;0.3 全:1.9;0.8	右:0.9;0.5 左:0.9;0.4 全:1.8;0.9	右:1.1;0.5 左:1.0;0.5 全:2.1;1.0	右:1.0;0.5 左:1.0;0.4 全:2.0;0.9
2cm 橡膠柱	右:1.1;0.9 左:0.6;0.4 全:1.7;1.3	右:1.0;0.75 左:0.8;0.5 全:1.8;1.4	右:1.3;0.9 左:0.6;0.5 全:1.9;1.4	右:1.2;0.8 左:0.7;0.4 全:1.9;1.2	右:1.15;0.84 左:0.68;0.5 全:1.8;1.3
4.5cm 橡膠柱	左:2.2;1.2 右:3.5;1.4 全:5.7;2.6	左:2.0;1.3 右:3.7;1.5 全:5.7;2.8	左:1.7;1.0 右:3.0;0.8 全:4.7;1.8	左:1.8;0.9 右:3.0;1.0 全:4.8;1.9	右:1.93;1.1 左:3.3;1.18 全:5.23;2.28

數位格式：(位移類別)、(上層實驗數據)、(下層實驗數據)

單位：cm、最小刻度單位：mm、四捨五入至十分位

5. 結果：我們發現實驗結果結果與假設及實際應用上有很大的不同。經過討論、查驗數據及蒐集相關資料，我們認為造成此結果有可能與重量有關（會利用實驗二的機會來證明），因為沒有足夠的重量（下壓力）讓橡膠柱變形來消耗能量，反而是衍架額外的負擔（增加建築物的高度會增加其搖動的幅度）。

（二）橡膠柱防震功效與載重關係之研究

1. 編號：92318

2. 變因：改變衍架（兩層）負重的重量以及位置的不同，分別有：無（0g）、上層（32.1g）、下層（29.4g）及全載重（61.5g）之分。

3. 假設：因載重的有無（重量的不同）及載重的地方（上下層之分）不同，導致由地面傳上去的震波會因為不同的情形導致有所增減。因此，我們大膽假設，若沒有載重，震波並不會使衍架產生增幅的情況發生。而只有上層載重時，使衍架的重心往上提升，等到震波抵達時，便比較容易產生較大的搖擺。換成只有下層載重，因為接近衍架的重心，而加強了重心的穩固度，雖因重量的增加而也會加劇搖擺，但應該不會比上層加重時來的嚴重。至於全加重時，因為要加入所有的因素，所以我們以前兩項都假設加劇搖擺的基礎來說，應該會雙重搖擺的程度。

4. 數據：

	第一次	第二次	第三次	第四次	平均
無	左:2.2;1.2 右:3.5;1.4 全:5.7;2.6	左:2.0;1.3 右:3.7;1.5 全:5.7;2.8	左:1.7;1.0 右:3.0;0.8 全:4.7;1.8	左:1.8;0.9 右:3.0;1.0 全:4.8;1.9	左:1.9;1.1 右:3.3;1.2 全:5.2;2.3
上	左:1.8;0.8 右:2.0;1.1 全:3.8;1.9	左:1.9;0.7 右:2.2;0.7 全:3.1;1.4	左:2.3;0.9 右:2.6;1.1 全:4.9;2.0	左:2.6;1.0 右:2.6;1.0 全:5.2;2.0	左:2.2;0.9 右:2.4;1.0 全:4.3;1.8
下	左:1.1;0.6 右:1.2;0.7 全:2.3;1.5	左:1.3;0.7 右:1.2;0.4 全:2.5;1.1	左:1.0;0.5 右:1.4;0.8 全:2.4;1.3	左:1.0;0.8 右:1.4;0.4 全:2.4;1.2	左:1.1;0.7 右:1.3;0.6 全:2.4;1.3
全	左:3.6;1.9 右:3.5;1.9 全:7.1;3.8	左:3.6;1.7 右:3.9;1.6 全:7.5;3.3	左:4.0;1.8 右:3.9;1.4 全:7.9;3.2	左:3.5;1.6 右:3.8;1.3 全:7.3;2.9	左:3.7;0.8 右:3.8;1.3 全:7.5;3.3

單

位：cm、最小刻度單位：mm、四捨五入至十分位

5.結果：我們發現與假設稍有不同，在上、下載重時，反而搖動程度較小，這正好印證我們上一實驗問題的見解。由於上、下載重實驗的重量提供足夠的下壓力，因此反而搖擺程度較小。

二、彈珠基礎防震研究

(一) 彈珠有無與防震功效關係之研究

1.編號：92326

2.變因：將凹槽內置滿約 100 顆平鋪的彈珠，並將衍架主體放置在上面，充當實際建築工程中的石墨（石墨防震法）。



3. 假設：彈珠防震法的原理是應用顆粒狀物質的接觸面小（摩擦力小），在震波抵達時，因建築物的重量向下壓，地表移動時建築物因彈珠的滾動猶如懸浮在半空中一樣，受到的影響想必比橡膠防震法的效率來的好。
4. 數據：無法運用數據辨別。因為數據所呈現出來的結果明顯與 Quick Cam 所記錄的影片有明顯的差異。因此，本小組決定放棄此項實驗的實驗數據，而改由影片呈現。
5. 結果：雖無法使用數據，但用影片觀察時，發現其性能比橡膠柱防震法還要優越，以現有的知識來說明，也許是此防震器的彈性較好，所能消耗的能量震波也相對提昇。

（二） 彈珠防震功效與載重關係之研究

1. 編號：92329
2. 變因：改變衍架的載重位置與重量，觀察其震動時搖擺的幅度。
3. 假設：因重量與載重位置的不同，使得增加幅度的方式有所改變，但是彈珠防震法的功效還算優

良，所以衍架所受到的震動非常的小。雖然增幅的情況會出現，但是並不明顯。

4.數據：無法運用數據辨別。因為數據所呈現出來的結果明顯與 Quick Cam 所記錄的影片有明顯的差異。因此，本小組決定放棄此項實驗的實驗數據。而改由影片呈現。

5.結果：實驗結果與假設相符。並且如同我們想像一般，搖擺的幅度並沒有增加許多。

三、創新、改良型防震研究

(一) 防震系統的有無與防震功效關係之研究

1.編號：92324

2.變因：改變衍架上防震裝置的有無，測試此一創新機制（也許是礙於技術吧？目前沒聽說有建築使用此方式的防震法）是否有效。



3. 假設：此一防震系統的原理與彈珠防震系統類似，但在構想中它是具有慣性回復的能力（還不知道是否可行，理論上是行得通的）。因此我們認為此系統的性能應該不比其他方法差，甚至還較以往的優越（本小組無法確定此項事情，需經由專業的實驗及大自然的考驗才能判定它的優劣。）。

4. 數據：

	第一次	第二次	第三次	第四次	平均
無	右:1.0;0.5	右:1.0;0.5	右:0.9;0.5	右:1.1;0.5	左:1.0;0.5
	左:1.2;0.4	左:0.9;0.3	左:0.9;0.4	左:1.0;0.5	右:1.0;0.4
	全:2.2;0.9	全:1.9;0.8	全:1.8;0.9	全:2.1;1.0	全:2.0;0.9
有	左:0.7;0.3	左:0.9;0.4	左:0.8;0.4	左:0.9;0.3	左:0.8;0.4
	右:1.1;0.7	右:1.1;0.6	右:1.3;0.5	右:1.0;0.6	右:1.1;0.6
	全:1.8;1.0	全:2.0;1.0	全:2.1;0.9	全:1.9;0.9	全:2.0;1.0

單位：cm、最小刻度單位：mm、四捨五入至十分位

5. 結果：經我們簡易的實驗後，確實有發揮防震的功效，雖效果不及彈珠防震法，但擁有自動回復的功能。

(二) 新防震系統防震功效與載重關係之研究

1. 編號：92325

2. 變因：改變裝有防震系統衍架上的載重位置及重量。
分別有：無（0g）、上層（32.1g）、下層（29.4g）及全載重（61.5g）之分。

3. 假設：因重量與載重位置的不同，而使得增加幅度的

方式有所改變。但大致上我們認為越重或重心較上面的搖擺程度較大。

4. 數據：

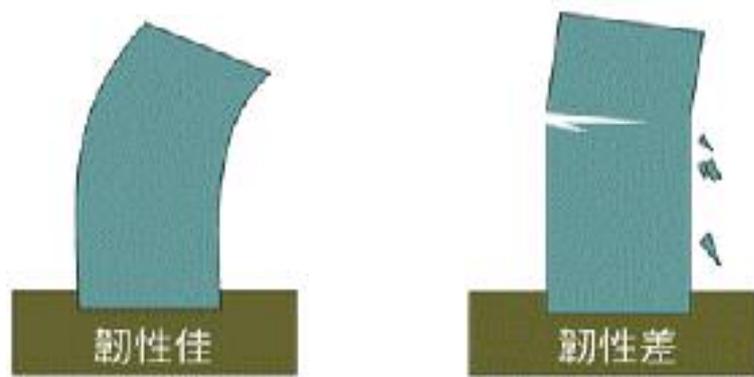
	第一次	第二次	第三次	第四次	平均
無	左:0.7;0.3 右:1.1;0.7 全:1.8;1.0	左:0.9;0.4 右:1.1;0.6 全:2.0;1.0	左:0.8;0.4 右:1.3;0.5 全:2.1;0.9	左:0.9;0.3 右:1.0;0.6 全:1.9;0.9	左:0.8;0.4 右:1.1;0.6 全:2.0;1.0
上	左:1.5;1.0 右:1.3;0.7 全:2.8;1.7	左:1.4;0.8 右:1.3;0.6 全:2.7;1.4	左:1.3;0.9 右:1.4;0.8 全:2.7;1.7	左:1.6;1.1 右:1.2;0.9 全:2.8;2.0	左:1.5;1.0 右:1.3;0.8 全:2.8;1.7
下	左:1.0;0.5 右:1.2;0.5 全:2.2;1.0	左:1.3;0.4 右:1.0;0.3 全:2.3;0.7	左:1.1;0.4 右:1.1;0.6 全:2.2;1.0	左:1.2;0.6 右:1.3;0.5 全:2.5;1.1	左:1.2;0.5 右:1.2;0.5 全:2.3;1.0
全	左:2.0;1.1 右:3.1;1.3 全:5.1;2.4	左:2.3;1.0 右:3.4;1.2 全:5.7;2.2	左:2.1;0.9 右:3.0;1.1 全:5.1;2.0	左:1.9;0.9 右:3.2;1.1 全:5.1;2.0	左:2.1;1.0 右:3.2;1.2 全:5.3;2.2

5. 結果：與假設完全相符，其震動幅度確實越重、重心越高時較大。

陸、討論

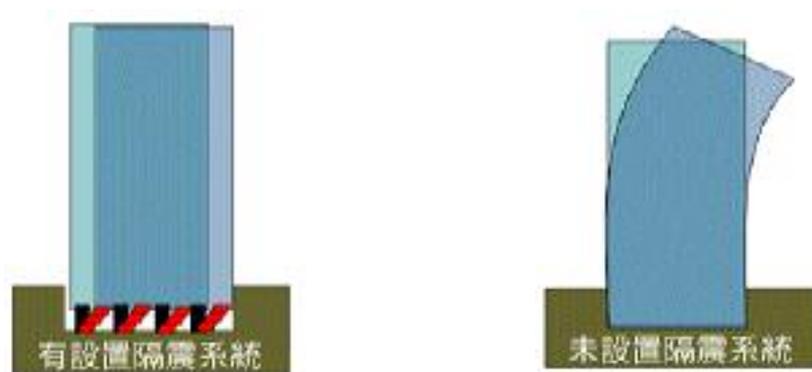
一、 耐震設計原理之一-以柔克剛

韌性的觀念與老祖宗太極拳中以柔克剛的精神是相同的。結構體利用其變形來抵銷地震的能量，其設計最高原則是"小震不裂，中震可修，大震不倒"。



二、 隔震設計的原理

隔震系統又稱減震系統，是藉由特殊設計裝置，將結構物與地盤隔離，以減少或消散部分地震的能量。因此，隔震技術不僅可以使結構物本身的震害減輕，還可以使其內部重要設施不受地震危害。



三、 地震的成因

(一) 板塊運動

台灣位於菲律賓海洋板塊西側，與歐亞大陸板塊東側，交界於台東縱谷。這兩個板塊以每百萬年 70 公里的速度相互衝撞，這些擠壓的動力，就是造成地震的原因。由於板塊運動的能量相當大，所以其規模與影響範圍也相當廣。

(二) 火山活動

由世界各地震觀測站所測得的資料，可以明顯的看

出火山對地震的影響。火山爆發的能量，引起地面的震動而造成地震。但是一般而言，這規模與影響範圍遠小於板塊運動。

四、 建築物結構共振

地震波因不同的震源機制、土壤地質、地形狀況而有不同的週期。建築物因建築高度、樑柱與牆體的配置等條件會有不同的振動週期。當地震波週期與建築物振動週期一致時，會產生共振現象，建築物有擴大振動趨勢的情形。

五、 建築物結構防震

建築物的耐震概念可以分為兩個層面，第一是增加建築物結構強度，也就是應用建築技術，加以補強或調整。第二，由於現代的科學進步，我們發展出許多器械，裝在建築物上，可以隔絕地震波，減少傳遞到建築物的地震波能量。

六、 結構系統的調整與改善

結構系統耐震不足時有兩種方法進行耐震性能的改善，一是減輕建築物自重；由於地震力與建築物自重成正比關係，因此將載重大的設備、器材置於一樓，能減少建築物承受的地震力。另一方法是進行結構系統補強，例如增加耐力構架或樑柱補強等，使結構本身具備較佳的耐震能力。

七、 隔震設施

隔震設施包括：類彈簧式隔震、滑動式隔震等。類彈簧式隔震的原理是直接在建​​築物底部與基礎結構之間設置含鉛心多層橡膠墊，使整個建築物坐落在橡膠墊上，地震來時建築物的震動週期可與地震週期錯開，防止共振現象，橡膠墊隔絕了地面運動對建築物上部的直接作用，保護上部結構不受地震力的破壞。滑動式隔震的原理是在建築物的底面設置鋼珠、鋼球、石墨、砂粒等材質的滑動層或滾動層，在地震時，建築物可藉由滑動位移產生的摩擦過程，消耗掉地震傳來的能量。



八、 制震設施

地震使建築物振動時，若有一相反的振動，就可以把地震引起的振動抵消掉。因此科學家發明了一種裝置，裝在建築物上，當地震波傳遞到建築物時，隨即根據建築振動的大小及方向，產生相反的振動，來抵銷地震力。當地震波傳遞到建築物時，制震器會產生一相反的振動，抵銷地震力的作用。

柒、結論

我們這次的科展領悟到地震雖無法阻止他的發生,但卻能有效的防止它對我們造成的破壞及人員的傷亡。地震雖然擁有無窮的破壞力,但是人類卻運用智慧一次次的化解危機,把危機化爲轉機,雖然違逆了大自然的法則,和它做無形的對抗,但也造福了大自然界許許多多的生命力,卻也不嘗是件好事。我們應該多多研究相關的預防措施,以備不時之需,並且要有正確的防震觀念,才能夠減少地震造成的傷亡。

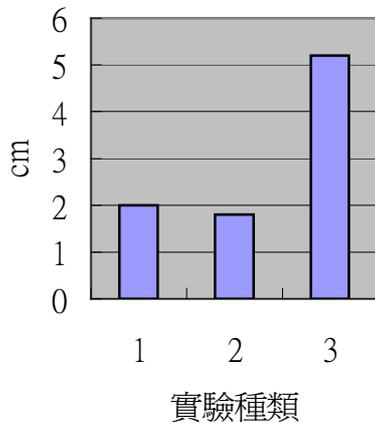
特別感謝：某位同學父親 及 許多老師。

捌、參考資料及其他

- (一) <http://www.nstm.gov.tw/earthquake/index.htm>
- (二) <http://cae.ce.ntu.edu.tw/doctor/mute/index.html>
- (三) <http://science.yam.com/quake/index.html>
- (四) <http://www.stic.gov.tw/stic/infowww/civarch/index.html>
- (五) Welcome to Centrifuge Modeling Laboratory
- (六) First Page of CTSEE
- (七) <http://www.sinotech.org.tw/gerc-ctr/>
- (八) <http://www.ce.ntu.edu.tw/~hkhong/>
- (九) <http://home.kimo.com.tw/111956/work.htm>

玖、附件

橡膠柱防震之有無



1. → 無橡膠柱
2. → 2cm 橡膠柱
3. → 4.5cm 橡膠柱

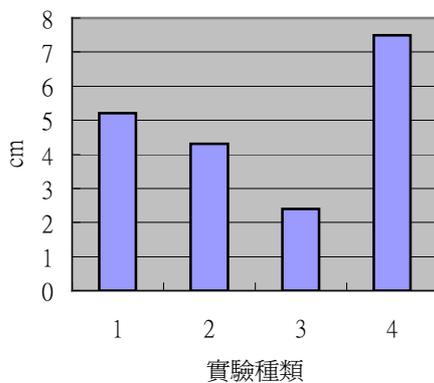
現象解釋：

由 1 與 2 比較，『有橡膠柱』的實驗數據較小，證實了橡膠柱具有防震效果。再來看 1 與 3，『有橡膠柱』的實驗數據卻是『無橡膠柱』的 2 倍多，這說明建築、衍架的柔軟係數過高，並不會幫助吸收能量，反而會有反效果。最後，2 跟 3 比較，這現象印證了建築、衍架的纖細比（件註釋一）越高則較容易震動。

註釋一：以建築學上來講，是建築中的任一面，其高與底寬的比值。（例：某建築面，高 100m、底寬 10m， $100/10=10$ ，它的纖細比就是 10）

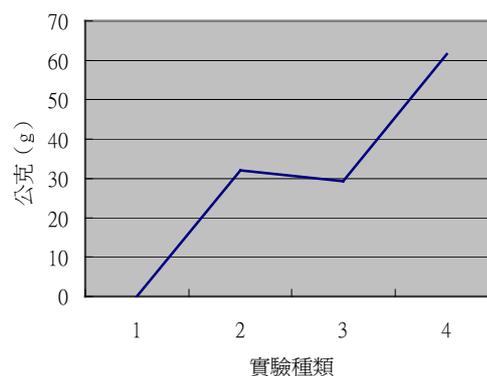
= > > >

橡膠柱之載重實驗



5. 無載重
6. 上載重
7. 下載重
8. 全載重

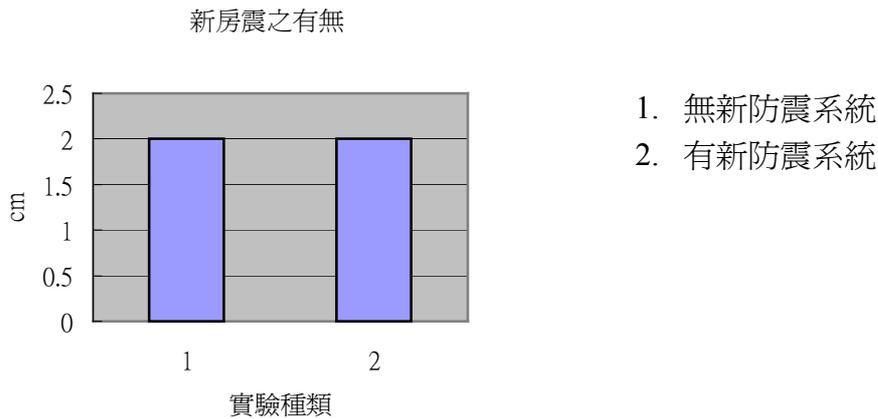
重量變化趨勢圖



現象解釋：

由此實驗解釋了上一項實驗假設為何與數據有差異。因為在 4.5cm 橡膠柱時，沒有足夠或適當的『重量』，導致會有反效果。若仔細觀察 1 與 2 的數據與趨勢圖的話，會發現實驗 2 的重量較接近適當值，所以震動較小。再來看 2 跟 3，由於載重量相似（相差約 2.7g），而改變最大的是重心，因此可以印證重心越低就越不易搖晃。

= > > >

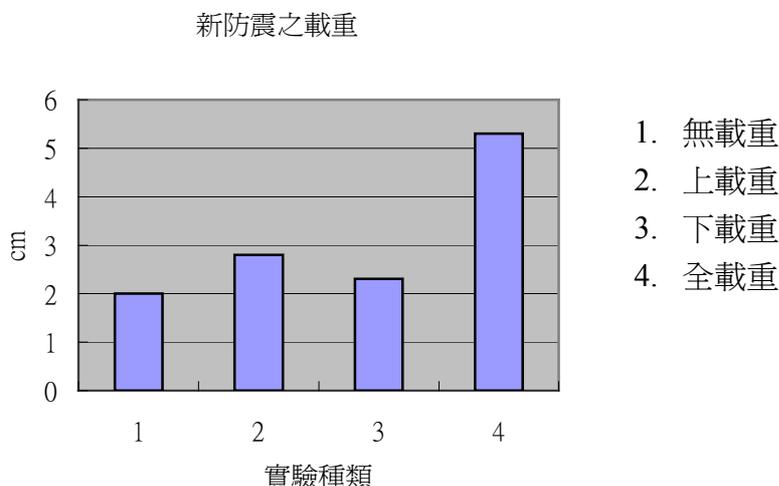


現象解釋：

雖然數據相同，但由『影片』中觀察出有新防震系統的靜變位（見註釋一），比無新防震系統的靜變位小。在此說明一下，基本上此一實驗應該也是由影片表示而放棄數據，但因為下一實驗的數據仍具意義，所以在誰求整齊一致的前提之下，保留了這一部份。

註釋一：衍架、建築的本身變化，意即扣除建築本體以外震動的變位。例：一棟建築物在地震時，某一節點向東一棟 2cm，而地基向東一棟 1cm， $2\text{cm}-1\text{cm}=1\text{cm}$ ，由此可知此一節點的靜變位是 1 公分。

= > > >



現象解釋：

由 1、2 和 4 的比較中，可得知重量愈重，這原理與『國中理化』第六章第五節的『摩擦力』一樣。引述：……一般而言接觸面愈粗糙，及作用於接觸面上的力（見註解一）愈大時，所產生的摩擦力也愈大……（出處：國中理化第一冊第 159 頁）。而防震系統原理的重要理念就是減少地表與建築本體間的摩擦力，因此重量愈大，摩擦力愈大，震動幅度就愈大。最後來比較 2 跟 3，同前面所說的一般，重心愈低愈不易搖晃。

註釋一：此力即為『正向力』，可為『重量』或『垂直接處面的作用力（壓力）』。

= > > >

衍架規格：

長：4.41cm

寬：13.95cm

高：25.00cm

估計最大負載值：800g~1000g

評語

研究主題尚具有實用性，推廣性與創新度尚可加強，在研究方法分析取樣上尚有改善的空間。