

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

佳作

031731

十震九穩－建築物抗震之研究

學校名稱：高雄市立陽明國民中學

作者：	指導老師：
國二 戴立嘉	洪英英
國二 徐家齊	馮南南

關鍵詞：防震 鋼構 阻尼器

十震九穩

建築物防震之研究

摘要：

地處環太平洋地震帶的台灣，發生地震是常有的事，雖然科技突飛猛進，對地震的來臨仍是無法準確預測，所以要防止震災所帶來的危害，加強建築物的耐震、抗震是首要之務。本實驗以自製、簡易的震動平台來模擬地震時的橫向撞擊，測量出建築物被撞擊後的移位面積或移位量來表述其防震能力。從多次測量結果，我們得出：(一)等底面積、同重量的建築物中，以底面內角有銳角者(例如三角形)之耐震程度較佳。(二)鋼骨構造的建築物以大 X 型的斜桿拉張作用，最能分擔樑柱所承受的撞擊力，故抗震能力最好。(三)建築物在安全載重的條件下，可提高建築物穩定性，也提升了防震效果。(四)加裝阻尼器的確增加建築物的抗震力，是極佳的抗震設計。

壹、研究動機

九二一大地震在人們的腦海中是難以被抹滅的記憶，當時山河變色、斷垣殘壁、令人觸目驚心的景況，至今還以影像被記錄保存下來，期望時時提醒大眾，地牛翻身可能帶來的災害。

地震是自然現象，是變動地球必然發生的現象，如何在地震發生時，減少生命財產的損失，建築物的耐震、抗震能力是非常重要的。因此，我們設計可模擬的震動平台，試著以不同的外型、不同的架構、增加載重以及放置阻尼器等變因，對建築物的耐震力和抗震力進行研究探討。

貳、研究目的

- 一、探討不同底面形狀的建築物與耐震程度
- 二、探討建築物鋼骨的排列方式與抗震程度
- 三、探討建築物頂上載重與耐震程度
- 四、探討建築物加裝阻尼器之抗震程度

參、研究設備與器材

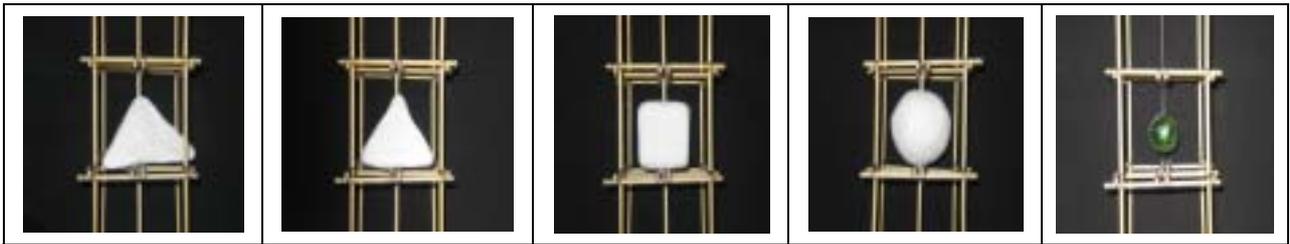
一、簡易地震模擬裝置



二、建築物模型

				
S QUARE	R ECTANGEL	T RIANGLE	T RAPEZOID	C IRCULAR
				
SC - 0	SC - 1	SC - 2	SC - 3	SC - 4

三、不同形體的阻尼器

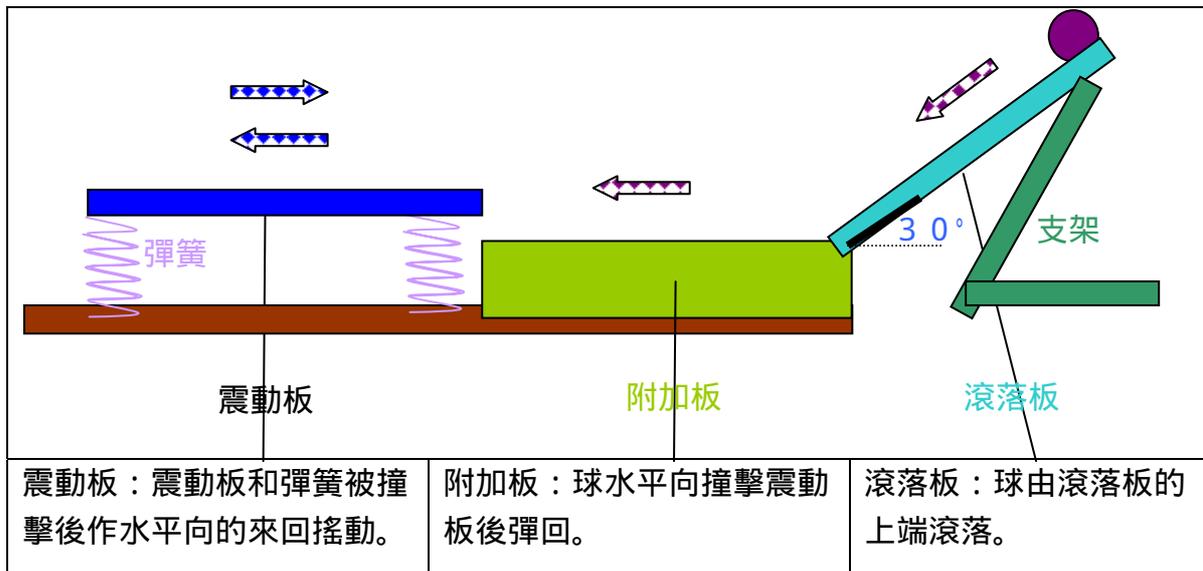


四、其他器材：筆、尺、電磁動力玩具車組、方格紙、量角器、打點計時器、水平儀

五、電腦檔製作：數位相機、Microsoft Word、Microsoft Excel、Nikon Browser、FastStone Image Viewer 2.28、Picasa2、AutoCAD2006

肆、研究過程或方法

一、簡易地震模擬裝置如下圖示，鋼球自滾落版的斜坡上滾落，確保以水平方向撞擊震動板，且鋼球在撞擊後被彈回時，立即取出，避免造成二次撞擊，帶來影響，震動板被撞擊後，產生水平向的來回搖動，我們以此作為模擬地震所造成的水平震動。



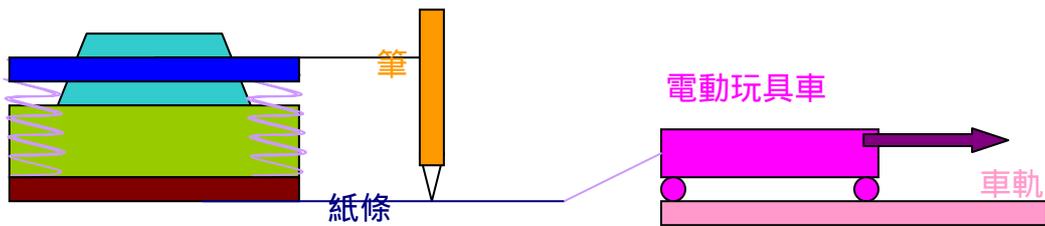
二、測出模擬裝置產生水平震動的大小

(一)原先的裝置內加裝如下所示的物件，我們利用玩具車帶動紙條，紀錄震動板的水平震動。

(二)以打點計時器測出玩具車的跑速。

(三)將震動板水平震動的波形掃描進電腦，並藉助 Auto CAD 量出最大振幅，以及第一個波谷(或波峰)和第二個波峰(或波谷)間的水平距離(即為 1/2 個波長)換算出週期，將結果代入 $a=r(4\pi^2/T^2)$ 。

註：a 是最大水平加速度(gal)、r 是振幅(cm)、T 是週期(秒)

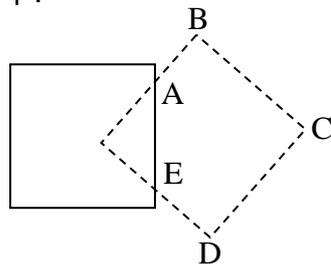


三、探討不同底面形狀的建築物與耐震程度

(一)在控制等質量、體積、高度、密度的條件下，本實驗選用木材材質，製作底面為正方形、長方形、三角形、梯形和圓形的柱體。其規格如下：

編號	S	R	T	TR	。C
規格 (底面*高) 單位：公分	3 * 3 * 10	2 * 4.5 * 10	3.94 * 4.56 * 10	1.8 * 4 * 2.7 * 10	1.69 * 10

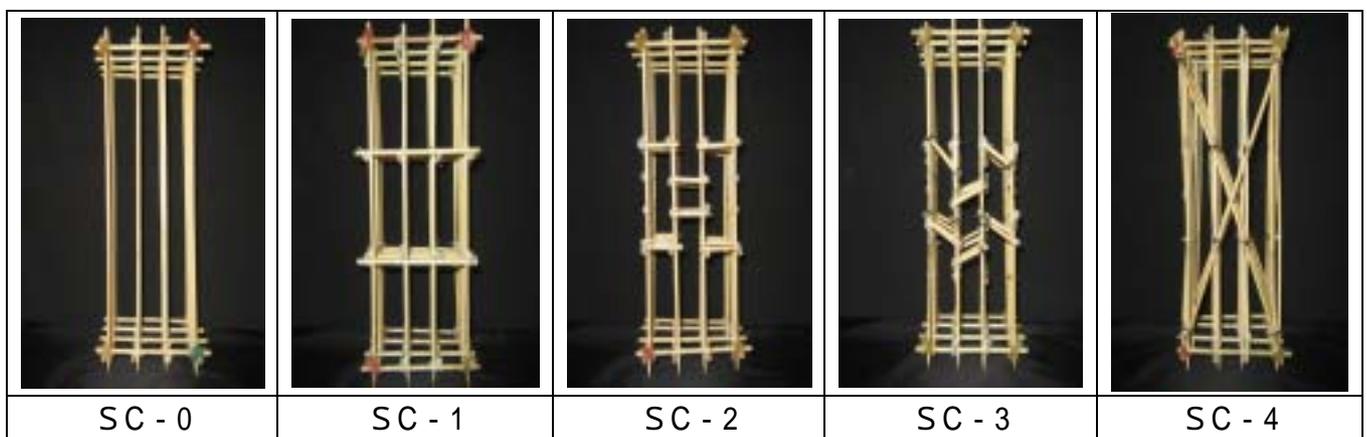
(二)實驗時，建築物置於震動板正中央，以方格紙記錄被鋼球撞擊前、後，建築物位置的改變，然後將結果掃描進電腦，以 AutoCAD 計算出移位面積。說明如下：



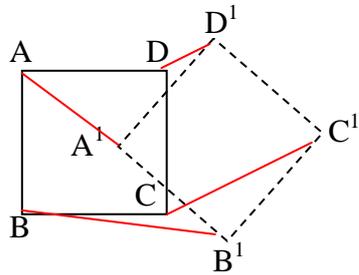
實線為未撞擊前的位置，虛線為撞擊後的位置，利用 AutoCAD 算出 ABCDE 圍成的面積，即為移位面積。

四、探討建築物鋼骨的排列方式與抗震程度

(一)以竹籤、雙面膠、細繩、老虎鉗、橡皮筋製作出五種不同鋼骨排列的建築物。以結構不同標示 SC-0 基本型骨架、SC-1(加入長的橫骨)、SC-2(加入短的橫骨)、SC-3(加入短的斜骨)、SC-4(加入 X 型骨)。



(二)實驗時建築物置於震動板正中央，以方格紙記錄被鋼球撞擊前建築物底部的四個頂角點與被撞擊後對應各頂角點的移位，然後將結果掃描進電腦，以 AutoCAD 計算出各頂角點移位量之總和。說明如下：



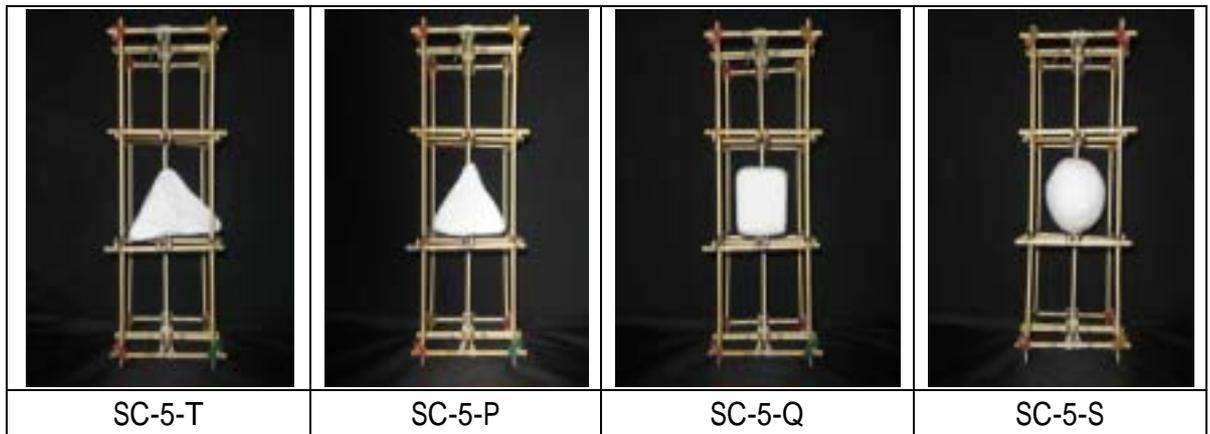
ABCD 為未撞擊前建築物的位置，
A'B'C'D' 為撞擊後的位置，
利用 AutoCAD 計算 $AA'+BB'+CC'+DD'$ 之值

五、探討建築物頂上載重與耐震程度

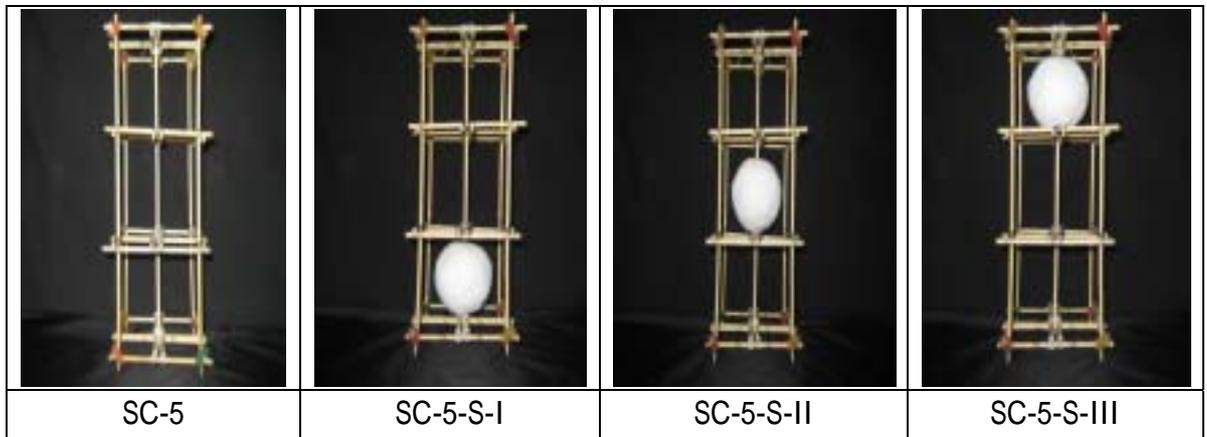
- (一)在控制震動板上維持 20 個十元硬幣的條件下，建築物頂上的硬幣和板上的硬幣之組合有 SC-4-W-0(板上 20 個，建築物上 0 個)、SC-4-W-5(板上 15 個，建築物上 5 個)、SC-4-W-10(板上 10 個，建築物上 10 個)、SC-4-W-15(板上 5 個，建築物上 15 個)、SC-4-W-20(板上 0 個，建築物上 20 個)。
- (二)測量建築物底部四個頂角點被撞擊後移位量的總和。

六、探討建築物內加裝阻尼器之抗震程度

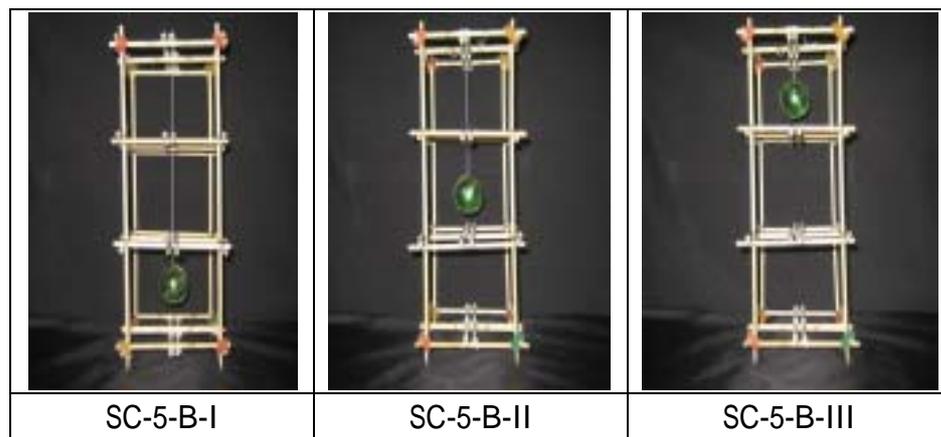
- (一)在建築物(SC-5)的第二層分別加裝由 150g 黏土捏塑成三角錐體、四角椎體、正方體、圓球體的阻尼器。其編號為 SC-5-T(裝三角錐體阻尼器)、SC-5-P(裝四角錐體阻尼器)、SC-5-Q(裝正方體阻尼器)、SC-5-S(裝圓球體阻尼器)。測量建築物底部四個頂角點被撞擊後移位量的總和。



(二)分別在建築物(SC-5)的第一層(SC-5-S-I)、第二層(SC-5-S-II)、第三層(SC-5-S-III)內，裝入固定的圓球體阻尼器，測量建築物底部四個頂角點被撞擊後移位量的總和。



(三)在建築物(SC-5)內加裝可搖晃的圓球，其編號有 SC-5-B-I、SC-5-B-II、SC-5-B-III。測量建築物底部四個頂角點被撞擊後移位量的總和。



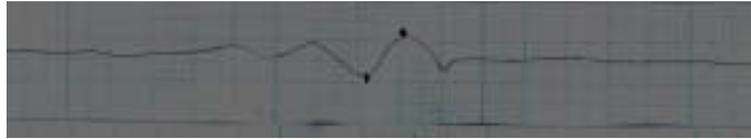
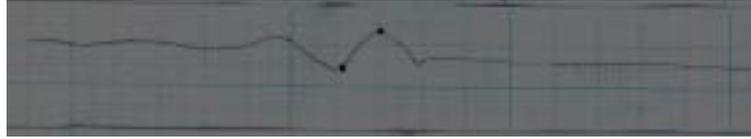
伍、結果與討論

一、地震模擬裝置的最大水平加速度

(一)玩具車的跑速為移動 10 公分需時 16/30 秒

(二)鋼球自可控制不同斜角的滾落板上落下後，給予震動板不同的撞擊速度，本實驗選擇斜角 30 度，是基於各種建築模型在被撞擊後不會傾倒，又能擁有最大水平向的撞擊力。

(三)由波形求出振幅和週期，代入 $a=r(4\pi^2/T^2)$ 得最大水平加速度平均值是 2094gal。

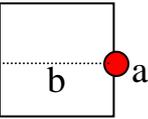
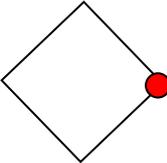
次數	波形	振幅(cm)	週期(sec)	最大水平加速度(gal)
1		0.45	0.10	1764
2		0.38	0.10	1597
3		0.48	0.10	2001
4		0.50	0.09	2668
5		0.44	0.09	1965
6		0.47	0.09	2226
7		0.50	0.10	2049
8		0.48	0.10	1931
9		0.44	0.09	1961
10		0.49	0.08	2778

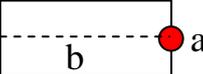
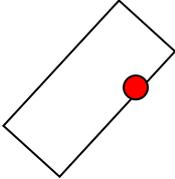
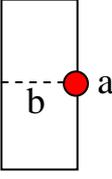
(四)對照交通部 中央氣象局地震震度分級表(如下表列)，本模擬裝置所產生的振動遠大於劇震的最大地表水平加速度(> 400 gal)

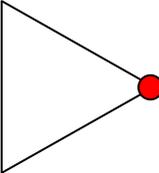
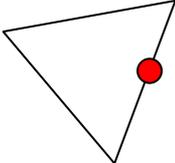
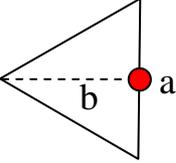
震度分級	1	2	3	4	5	6	7
名稱	微震	輕震	弱震	中震	強震	烈震	劇震
最大地表水平加速度(gal)	0.8~2.5	2.5~8.0	8.0~25	25~80	80~250	250~400	> 400

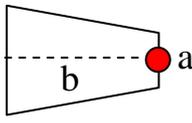
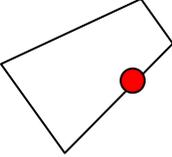
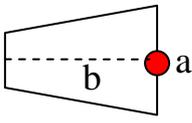
二、不同底面形狀的建築物之耐震探討：

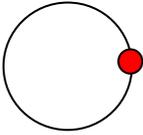
(一)移位面積(平方公分)的測量結果(●表撞擊點)：

S-00	S-45	次數	1	2	3	平均
		S-00	4.14	3.78	4.04	3.99
		S-45	4.66	4.63	4.88	4.73

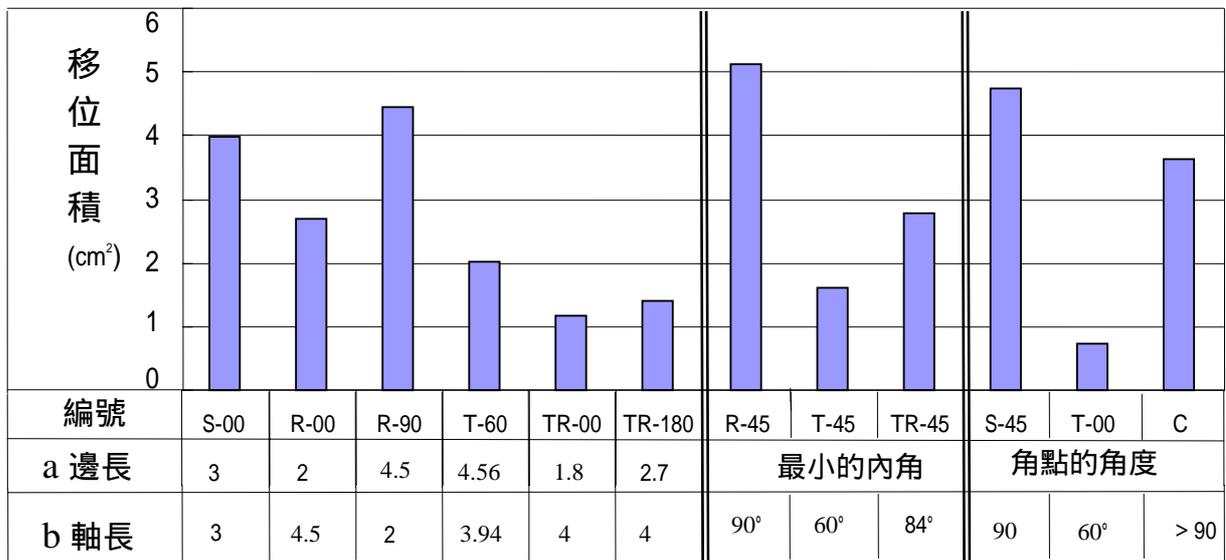
R-00	R-45	R-90	次數	1	2	3	平均
			R-00	2.87	2.69	2.51	2.69
			R-45	5.18	5.02	5.18	5.13
			R-90	4.25	4.61	4.50	4.46

T-00	T-45	T-60	次數	1	2	3	平均
			T-00	0.68	0.83	0.69	0.74
			T-45	1.78	1.53	1.53	1.61
			T-60	2.06	2.16	1.89	2.03

TR-00	TR-45	TR-180	次數	1	2	3	平均
			TR-00	1.28	1.09	1.12	1.16
			TR-45	2.75	2.81	2.77	2.78
			TR-180	1.32	1.56	1.36	1.41

C	次數	1	2	3	平均
	C	3.65	3.75	3.49	3.63

(二)等面積不同形狀的底面與撞擊的入射方向有以下幾種關係，一為方向垂直於邊，二為方向與邊夾 45 度，三為入射在角點上。我們試著分析相關資料，彙整於下表：



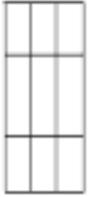
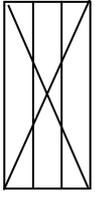
- 1.入射方向與邊垂直的情況，對照資料以邊寬與撞擊軸長之比例來看，R-90 最大，其次是 S-00，正好符合 R-90 的移位面積最大，其次是 S-00，依此，在承受地震力時，面寬、厚度窄的建築物之耐震程度較差。
- 2.在入射方向與邊夾 45 度的情況，以 R-45 的移位面積最大；又相較於各種情況的移位面積大小，其值也是最大的，可見如長方形、梯形等瘦長型的建築物在耐震上是較差的。就長方形四個 90 度的內角，三角形三個 60 度的內角以及梯形二個鈍角、二個銳角來看，具備較小的銳角者，在承受橫向力量時容易將力量分散而顯出較好的耐震程度。
- 3.入射角在角點上，造成移位面積大小依序是 S-45 C T-00，對應角點的角大小 S-45 是 90 度，C 是大於 90 度，T-00 是 60 度，所以角愈小，分散力量的效果愈好。

三、鋼骨排列之抗震探討：

(一)移位量(公分)的測量結果：

次數 編號	1	2	3	平均
SC-0	2.25	2.30	2.27	2.27
SC-1	1.82	1.77	1.77	1.79
SC-2	2.11	2.16	2.30	2.19
SC-3	2.35	2.32	2.63	2.43
SC-4	1.26	1.01	1.25	1.17

(二)

編號	SC-0	SC-1	SC-2	SC-3	SC-4
骨架結構					

- 1.SC-0 由樑和柱構架而成，是最簡單的形式。
- 2.相較於 SC-0，SC-1 建築物增加長的橫桿支撐，這些橫桿能分擔承載橫向的撞擊力，故移位量比 SC-0 少。由此看來，鋼骨構造的建築物除了樑與柱能承載撞擊力，所增加的橫桿也會加強抗震能力。
- 3.相較於 SC-0，SC-2 建築物增加短的橫桿，雖加入的總長度如同 SC-1，但架接在不同位置來支撐。由測試結果顯出，此作法並不能將抗震能力大大地提升，反而結構上顯得較鬆散，又銜接點多，對分擔承載橫向撞擊力的助益似乎不大。
- 4.相較於 SC-0，SC-3 建築物增加短的斜桿來支撐，將其測試結果與 SC-2 作比較，SC-3 的抗震能力更差。顯而易見，短的斜桿比短的橫桿更不能分擔承載橫向撞擊力，還更容易造成樑柱變形，降低建築物抗震能力。
- 5.相較於 SC-0，SC-4 建築物增加大 X 型的斜桿支撐，由測試結果得出 SC-4 的抗震能力較好，也就是 X 型的斜桿提高樑柱間的穩定性，增加對柱子的拉張作用，能有效地分擔承載橫向撞擊力。

四、建築物頂上載重之耐震探討：

(一)移位量(公分)的測量結果：

次數 編號	1	2	3	平均
SC-4-W-0	2.00	2.29	2.05	2.12
SC-4-W-5	1.73	1.76	1.51	1.67
SC-4-W-10	1.59	1.33	1.46	1.46
SC-4-W-15	0.81	1.11	1.03	0.99
SC-4-W-20	0.69	0.69	0.65	0.68

(二)模擬裝置的震動板上需保持等載重的狀況下，如此才可以控制鋼球撞擊後產生的震動是一樣的。建築物的選擇，因頂上要載重，SC-0、SC-1、SC-2 和 SC-3 等架構在受到重壓時會變形，只有 SC-4 架構的抗壓最好，故我們選用它來進行測試。

(三)隨著建築物頂上載重增加，移位量也顯著地減低。建築物的質量大，慣性也大，對外力的抗拒程度也大，產生的移位量也就比較少。

(四)每一建築物內會因人們生活需求而擺放各種家具，因此增加了建築物的載重，若載重是建築物所能負荷的範圍，這對建築物的耐震是有幫助的。

五、建築物內加裝阻尼器之抗震探討：

(一)移位量(公分)的測量結果：

次數 編號	1	2	3	平均	移位量(cm)		
					0.5	1.0	1.5
SC-5	1.32	1.37	1.60	1.43			
SC-5-T	1.17	1.06	1.25	1.16			
SC-5-P	0.86	0.92	0.91	0.89			
SC-5-Q	0.95	1.12	0.83	0.97			
SC-5-S	1.24	1.20	0.94	1.13			
SC-5-S-I	0.73	0.76	0.72	0.74			
SC-5-S-II	1.24	1.20	0.94	1.13			
SC-5-S-III	1.31	1.24	1.48	1.34			
SC-5-B-I	1.20	1.16	1.18	1.18			
SC-5-B-II	1.42	1.37	1.38	1.39			
SC-5-B-III	1.53	1.53	1.64	1.57			

(二)在建築物內加裝阻尼器，由結果顯示移位量減少了，表示阻尼器確實可以提高抗震力。

(三)SC-5-T、SC-5-P、SC-5-Q、SC-5-S 是在建築物內裝上固定的阻尼器，其中以三角錐體和四角錐體的抗震力較好。分析等重的三角錐體、四角錐體、正方體和圓球體的差異點，只在於重心位置的不同，所以重心高低是影響抗震力的主因，重心低者抗震力好。更進一步，由 SC-5-S-I、SC-5-S-II、SC-5-S-III 的結果來看，更能突顯出重心低，穩定性高，抗震力好。

(四)SC-5-B-I、SC-5-B-II、SC-5-B-III 是在建築物內裝上可搖晃的圓球，當圓球處於低位置時，可提升抗震力；處於高位置時，反而毫無助益，建築物受到圓球慣性搖擺以及重心位置不穩，抗震力有減無增，因此採用懸吊阻尼器來抗震，需將阻尼器安置在低樓層才行。

陸、結論

- 一、本實驗的模擬裝置在不使建築物傾倒的臨界狀況下，受單一方向撞擊力作用，可產生最大水平加速度約為 2094gal，這是極大的撞擊力。這麼大的力，並不是實際建築物在受到地震波作用時會產生的，傳到地表的地震波大小尚不足以撼動建築物產生移位，我們讓模擬物產生移位是為了研究目的之需要。
- 二、探討不同底面形狀的建築物、鋼骨不同排列的建築物、頂上載重的建築物、加裝阻尼器的建築物之防震能力，在每一主題裡，我們都儘量控制在相同摩擦的狀況下，因此，不討論摩擦之影響。
- 三、撞擊不同底面形狀的建築物，在控制等高度、等底面積的條件下，以三角形底、梯形底面的耐震程度較好，因此我們大膽地推論，建築物的幾何形底面有內角是銳角者，其耐震程度較好。
- 四、鋼骨構造的建築物增加大 X 型的斜桿支撐，斜桿的拉張作用提高樑柱抗變形的能力，也增強承受橫向的撞擊力。建築物採鋼骨構造，具有環保、耐震性佳、耐久性長 等多項優點，是目前高層大樓建築最佳的結構工法，但造價昂貴，假如能以較少的建材，也有相同的優點，對於地處地震帶的台灣，地震災害的損失可大大地減少。
- 五、建築物在可承受的荷重範圍內，增加載重有助於提升耐震力。
- 六、在建築物內安裝組尼器確實能夠增強抗震力，而固定位置的組尼器之抗震力比懸吊的組尼器抗震力佳。組尼器是個重物，建築物內增加可承載的重量以及降低重心，這對提升建築物的穩定度和抗震力是一種很好的防震設施。

柒、資料及其他

- 一、國民中學自然與生活科技第三冊第一章、第四冊第七章(翰林版)。
- 二、台灣地震數位知識庫: <http://kbteq.ascc.net/>
- 三、國立中央大學應用地質研究所 地科教室 地球物理教室:
<http://140.115.123.30/921/teach/default.htm>
- 四、921 地震數位知識庫: <http://gis2.sinica.edu.tw/website/921gis>
- 五、歷屆作品參考: <http://ntsec.gov.tw/>

附註：歷屆作品分析

- (一)「飛毛腿飛彈之聯想—探索地震模擬地震」—第三十一屆國小組地球科學科
 - 1.建築物高低受地震的影響 樓房的高度愈高愈容易倒下，愈低愈不容易倒下。
 - 2.樓房寬度受地震的影響 地基不寬而較高的房子易傾倒。
 - 3.地基深淺受地震的影響 樓房的地基愈深愈不易倒下，地基愈淺愈容易震倒。
 - 4.地質不同受地震的影響 地質愈硬，樓房愈不容易倒下。
 - 5.建築架構不同受地震影響 架構鬆散不嚴密，則地震時，較易傾倒龜裂。
- (二)「921 地震，房子倒不倒有關係」—第四十四屆國小組地球科學科

1.底面形狀以正方形最耐震。

2.X 型支撐最能有效地增加房屋抗震性。

(三)「抗震大作戰 建築結構耐震研究」—第四十四屆國中組物理科

1.對稱的建築物較耐震。

【評語】

031731 十震九穩－建築物抗震之研究

1.本件作品模擬了地盤之震動、房屋之結構與阻泥器，雖具創意，但卻為把結構物與地盤固定，所以看不到原本設計結構的耐震特性與結果。

2.整套實驗中，影響主要結果之質心移動及轉動量均未被精確測量，大部分看到的都是重心轉換所造成之不同位移結果，與原本設計要看到不同結構體受震行為之差距極大。