

# 台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：物理

作品名稱：天空之城耐震設計與隔震技術之探討

學 校：臺北縣立永和國民中學

作 者：邱垂青、黃毓棠

## 作者簡介



我是邱垂青，自幼即是個好奇寶寶，喜歡發問、思考和閱讀。

我的興趣非常的廣泛，鋼琴、小提琴、電腦、球類都是我的最愛，小二時還曾當選全國資訊小楷模呢！國二時即通過全民英檢中級檢定，能用流利的英文與外國人溝通，旅遊世界各地讓我增加不少見聞。

至於科展，從小二時即積極的參與，因為我喜歡科學求真的精神，即使實驗時遇到了很多困難，仍然鍥而不捨的尋求解決問題的方法，我的努力也得到了大家的肯定，小四時曾得到全國科展化學組第一名，小六時得到全國科展物理組第一名，國一時得到台北縣科展化學組特優，國二時得到全國科展物理組第二名，這些鼓勵更驅使我立志當個科學人。

## 作者簡介



我的名字叫黃毓棠，目前就讀台北縣立永和國中，我喜歡看書，指的是課外書，尤其是科學或偵探方面的書，也非常喜歡科學遊戲，或製造機器人之類，很小的時候，就常爲了逗一個複雜的機器人澈夜不睡。

因爲喜歡，我參加過許多次科學方面的競賽，這些競賽既好玩，又可以活學到一些能力，而且也都得到了不錯的肯定。由教育部及國科會指導，國立師範大學主辦的 ”2001 全國少年科技創作競賽“我獲得全國總冠軍，創作競賽特優，及造型競賽優等，”2002 全國少年科技創作競賽”再次獲得全國國中組第二名。全國中小學科展方面，我得過第42屆全國物理組第一名、第43屆台北縣化學組特優、第44屆全國物理組第二名。

今後我仍然會繼續做科學方面的研究，儘管很辛苦，也許有挫折，但也很有趣，且受益匪淺。

# **THE SKY CITY**

## **--- A DISCUSSION ON SEISMIC RESISTIVE DESIGN AND VIBRATION ISOLATION TECHNIQUES ---**

### **1. ABSTRACTION**

The research includes two parts. In the first part the work is concentrated on on-site visiting and investigation such as understanding the cause of earthquake, the damage and the preventive method currently available, investigating the different types of building and the phenomenon of altering the structure of an existing building without permission by government authorities which is popularly seen in Taiwan. These are considered as the basis of the research. The second part is the experimental study of earthquake resistance of a building. The test results showed that weak-point can be caused at the place where the existing wall is moved or an extra building is attached to the roof or the structure of building has extended space between floors, and fracture always occurs at the weak-point. If the number of columns of a building is the same, then the scattering arranged location of columns is weaker than concentrating type of arrangement of columns. The building having unsymmetrical structure will twist in uneven fashion that causes the building apt to collapse in case of earthquake. Employing proper vibration-absorption material can effectively increase earthquake resistance. Sliding rails and balls can provide satisfiable vibration-isolation effect, but can also cause too much displacement of building structure. Install damping material beneath the building can absorb part of the energy of earthquake, and decrease the damage, and can solve the problem of displacement of building, therefore, damping material can be considered as an ideal vibration-isolation material. Install energy-attenuation equipment can also reduce vibration but the design of the equipment is extremely difficult.

# 天空之城---耐震設計與隔震技術之探討

## 壹、摘要

我們的研究包括兩部份，第一部份是實地調查訪問。瞭解地震成因、傷害及現有防震方法，並調查坊間各種建築物類型，及常見私自改變建築物結構現象，做為研究的基礎。第二部份為建築物抗震實驗。研究發現：牆面挖空、頂樓加蓋、樓層挑高，建築物會在該處產生弱點，由此斷裂。柱子數量相同下，散開時支撐力較弱。不對稱建築物遇震時會不自然扭轉且易倒。隔震素材恰當，能有效提高耐震力。滑軌、彈珠隔震效果很好，但位移太大，為實際建築所不容許。建物下加裝阻尼材料，能吸收部份地震能量，降低地震對建築物的危害，並有效控制位移問題，是良好的隔震素材。樓頂加裝消能設施亦能減震，但設計極其不易。

## 貳、研究動機

我們從電視及報紙看到國家地震中心舉辦抗震盃大賽，覺得非常有趣，引發我們研究建築物抗震的興趣。臺灣處於地震帶，地震頻繁，蓋一棟耐震的建築物，應十分重要，但我們環顧四週，發現私自把牆打掉，改變建築結構，及頂樓加蓋等現象繁多。921 大地震的教訓不遠，伊朗及土耳其地震的報導令人蹙目驚心，建築物若不耐震，將造成極大的傷害。於是便促發我們著手研究建築物如何耐震。

## 參、研究目的

- 一、探訪地震災區，瞭解地震成因及傷害。
- 二、瞭解現有各種建築物的類型。
- 三、實地調查民間常見私自改變建築物結構的現象。
- 四、研究改變建築物結構所造成的影響。
- 五、研究較好的抗震結構。
- 六、尋找有效的隔震、減震方法。

## 肆、研究設備及器材

木條、棉繩、木板塊、角木、長彈簧、小彈簧、橡膠墊、大小滑軌、水管、高爾夫球、彈性鋼片、砝碼、保特瓶、水、海綿、彈珠、麵粉、蔗糖、彈簧秤、橡皮筋、質量塊、螺絲、鋸子、熱熔槍、電鑽、螺絲起子、量尺、海報紙、攝影器材、電腦設備、小型單軸向震動台。

## 伍、研究過程、方法及結果

### 第一部份：實際參觀、訪問、調查

#### 一、921 地震災區及研究機構探訪

##### (一)、 921 地震災區

921 地震教育園區(原為台中縣光復國中)及中興新村省政資料館，目前保留台灣 921 地震資料最完整，讓人實際體會 921 地震的威力，及了解基本的建物結構及地震成因。尤以光復國中因仍保留災難現場原貌，更是一個活教材。隆起的操場、毀壞的房舍、變形的鐵軌……都令人觸目驚心。



921 地震倒塌的建築物



921 地震變形的鐵軌



省政資料館解說員講解地震成因



參觀 921 地震資料陳列室

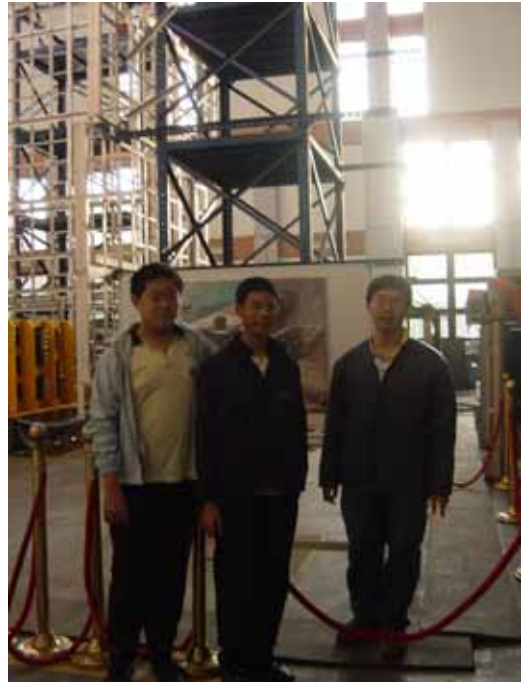


## (二)、地震研究機構

國家地震工程研究中心是目前台灣最重要的地震研究機構之一，此處提供專家學者做學術性的研究，內有最精良的實驗設備。國立臺灣科技大學營建工程結構研究室則為提供大學內師生測試部份結構物的強度。此二處專家學者及地震資料頗多，給予我們很多協助，是解惑的重要場所。



國家地震中心人員為我們講解



參訪國家地震工程研究中心



參訪臺灣科技大學耐震實驗室



請教臺灣科技大學研究人員

## 二、實際建築物研究

### (一)、台北 101 大樓

為全球最高的大樓，該建築邀集國內外專業顧問，對風力及地震力做最嚴謹的審查，以確保結構安全。利用 660 噸諧調質量阻尼器(大鋼球)，遇風力或地震時可降低大樓搖晃程度。



參觀 101 大樓



101 大樓內抗風制震大鋼球(註：摘自網站)

### (二)、慈濟醫院新店分院

為東南亞最大的隔震大樓，地底用隔震墊和阻尼器，使建築物與大地相距 80 公分，大地搖動時，有如騰空的大樓，震度大幅減少，可把七級震度減為四級。



慈濟醫院的鉛心橡膠隔震墊

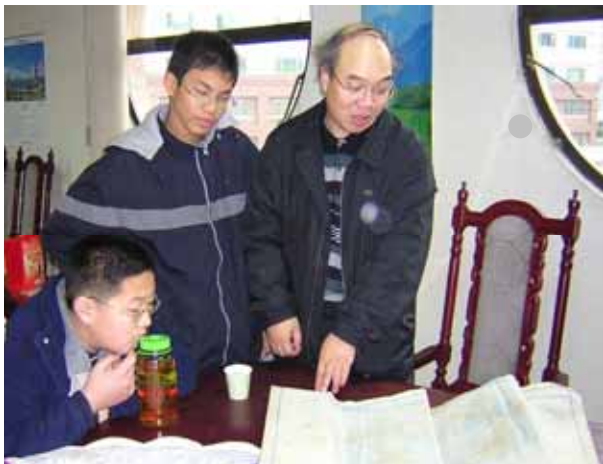


參觀慈濟醫院新店分院



### (三)、內湖順弼大廈

基底原是泥沼地，所以在地底設三個水池，建物有如一艘船，在水上滑動，只要風勢稍強，建物就會搖動，歷年來專家學者探勘研究，均認為結構正常，迄今已二十餘年，建築物仍然完好。



我們在研究順弼大廈最初的设计圖



順弼大廈叔叔為我們解說  
附近地形、地質

### (四)、內湖台新銀行大樓

因濱臨基隆河，地質較為軟弱，防震十分重要，整棟結構設計，採用專業的斜撐鋼樑加裝油壓避震系統，具有高標準的防震效果。



參觀台新銀行大樓斜撐鋼樑  
加裝油壓避震系統



內湖台新銀行大樓

### 三、常見建築物結構改變類型調查

- (一)、頂樓加蓋
- (二)、其中一層樓挖空
- (三)、打通陽台改成室內
- (四)、打通室內牆，改變隔間
- (五)、兩層樓之間，打室內樓梯



頂樓加蓋



頂樓加蓋



打通陽台改成室內



打通陽台改成室內



兩層樓之間，打室內樓梯



打通室內牆，改變隔間



## 第二部份：建築物抗震實驗

### 一、量測儀器

震動台是本實驗主要量測儀器，我們雖經多次改良，但要設計一部能模擬實際地震的震動台，須用高科技儀器，非我們所能為。最後經多方探詢，透過學校聯繫，向國家地震工程研究中心借小型單軸向震動台。此機由電腦控制，配備有電腦主機、發電箱及震動臺，主機內建有標準一到七級地震波，及各種不同的震動波、震動頻率及震動次數，每一種震波均能準確的模擬實際地震情形，我們的研究採用的是實驗者常用的SIN波。



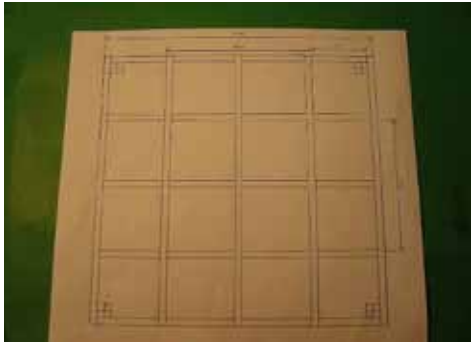
小型單軸向震動台

### 二、結構規則

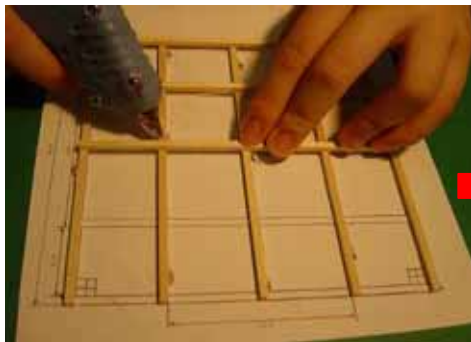
本研究主要參考”2003 抗震盃—地震工程模型製作校際競賽”的比賽規則。為求控制變因一致，每一模型均在此原則下設計結構。

- (一)、用橫斷面 4 mm X 4mm 木條製作，綑綁的棉繩直徑 1.5mm。
- (二)、四個平面樓層，木板底座當作一樓。
- (三)、為求柱子提供的基本支撐強度一致，每一模型均為 16 枝木條支撐。
- (四)、除一樓面積外，每層樓板面積，均設為 250 平方公分。
- (五)、為求能符合實際建築物重量，樓板每一平方公分，須承受約 10 公克重量。每一質量塊重 635 公克，故每層須置 4 個質量塊。
- (六)、每一樓層淨高 15 公分，質量塊盒不算是樓層的一部份。

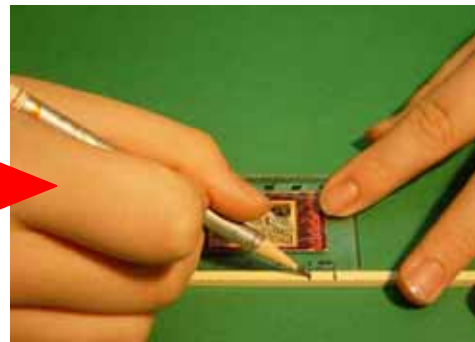
### 三、標準模型製作方法



(一)畫樓板支架平面圖及質量塊固定盒圖



(二)以平面圖為底，鋸適當長度木條黏合成樓板及質量塊固定盒各 3 個。



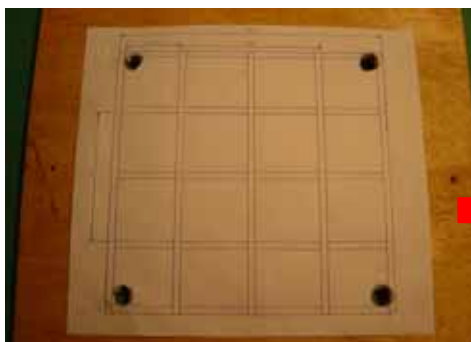
(三)取木條一枝量出樓板固定位置為標尺。



(四)取 16 枝木條用標尺，做出 16 枝一模一樣的柱子。



(五)每 4 枝柱子各在綁棉繩處以棉線繞 5 圈綁緊，共做出 4 枝大柱。



(六)把樓板平面圖貼於厚 1 cm 的木板上，用電鑽在柱位鑽 4 個孔洞。



(七)在底板上插入 4 枝柱子，再套入樓板，於樓板黏合處，將柱與樓板黏合，三層樓板依次黏好。





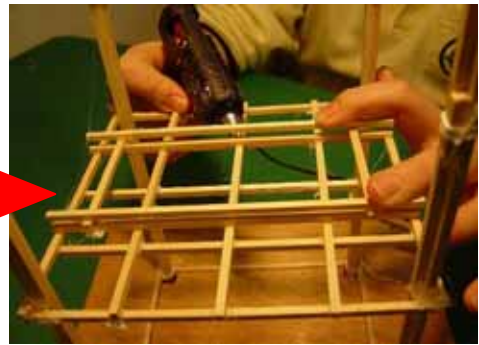
(八)將地樑黏上。



(九)用繩子綁住其中二柱，以對角線方式，穿入底板洞，再將繩子綁在對角的柱子上。



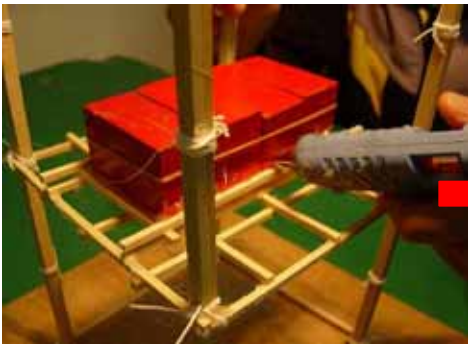
(十)將地樑與木板黏合，並將4洞灌滿熱熔膠固定。



(十一)將質量塊盒固定在二、三、四樓板中央。



(十二)用棉繩將每一樑與柱以繞二圈方式綁緊。



(十三)每一質量塊盒放置4個質量塊，以橡皮筋圈住，再用熱熔膠固定在放置盒上。



(十四)完成後的標準模型。

#### 四、研究過程

##### 研究一：不同樓層挖空的影響

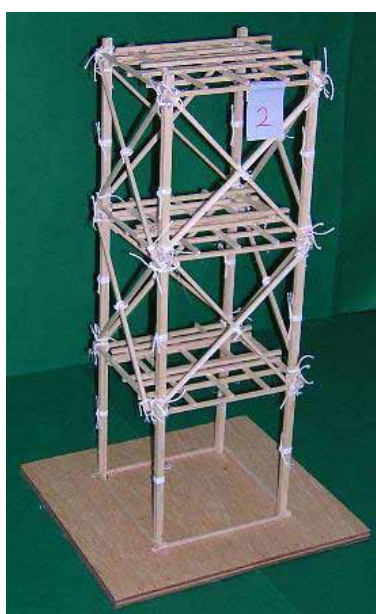
###### 一、我們的想法：

坊間爲了擴大使用空間，常把某個樓層挖空，當成營業場所，或把陽台打通，以擴大室內空間。因此我們設計不同樓層挖空，來探討挖空對耐震力的影響。

###### 二、模型照片：



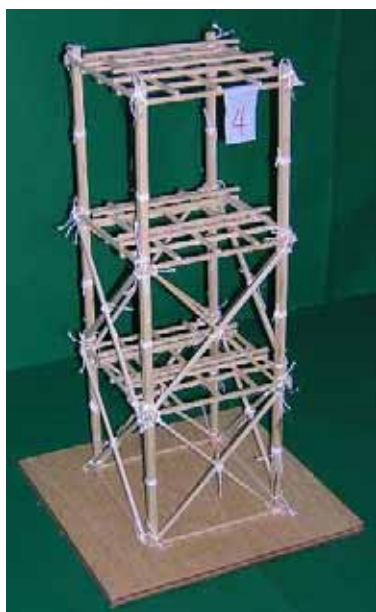
實驗 1



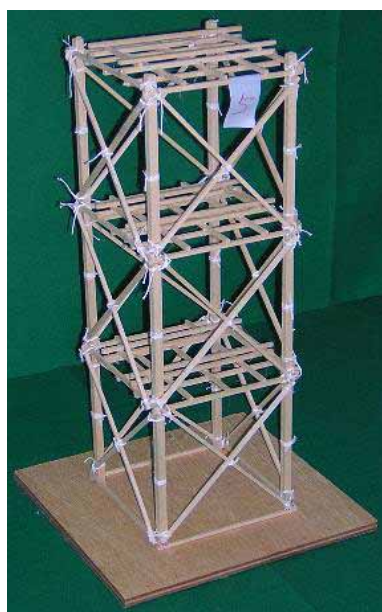
實驗 2



實驗 3



實驗 4



實驗 5

### 三、實驗結果：

表一：不同樓層挖空的影響

震動狀態		實驗類型				
振幅(mm)	振頻(Hz)	實驗 1	實驗 2	實驗 3	實驗 4	實驗 5
50	0.5	O	O	O	O	O
50	1	O	O	O	O	O
50	1.5	O	X	O	O	O
50	2	△		X	O	O
50	2.5	△			X	O
50	3	X				O
60	0.5					O
60	1					X

“O” 表模型完好      “△” 表有傾斜或斷裂聲      “X” 表模型全倒

### 四、發現討論：

實驗 2、3、4 由於其中二層有斜撐，一層沒有斜撐，造成各樓層勁度不同，在沒有斜撐的樓層，形成軟弱層，容易由此倒塌，其中實驗 2 軟弱層在一樓，受力較大，實驗 3 軟弱層在二樓，受力次之，實驗 4 軟弱層在三樓，受力更次之，因此實驗 2 倒塌最快，實驗 4 倒塌較慢。實驗 1 和 5，由於各樓層勁度相同，耐震能力較好，實驗 5 又因有斜撐，勁度更強，因此耐震最好。由此確知：樓層挖空確會影響耐震能力，越低樓層挖空愈不耐震。

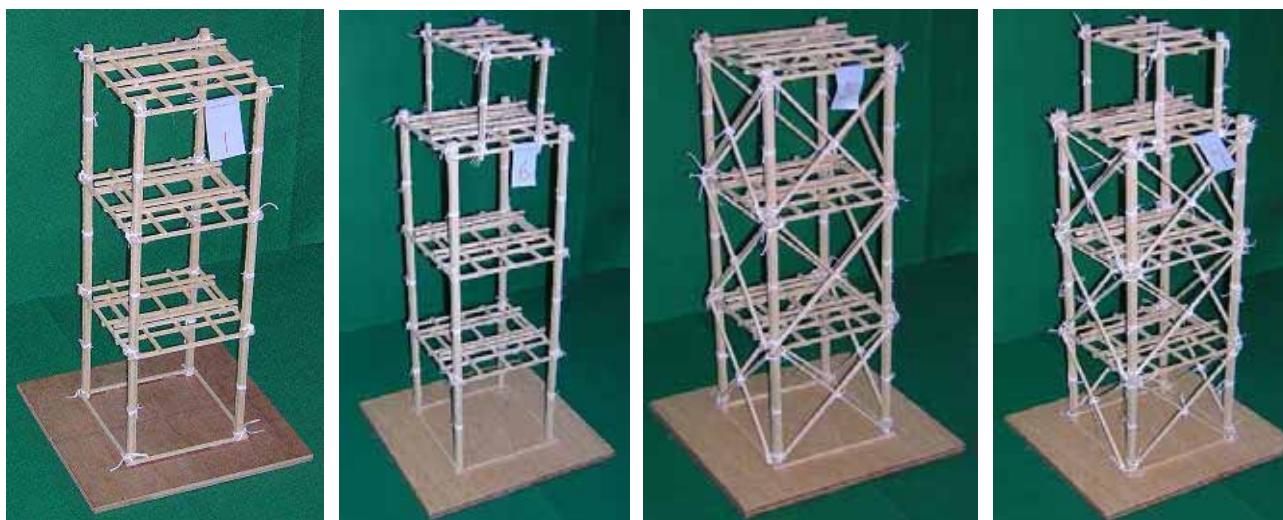
## 研究二：頂樓加蓋的影響

### 一、我們的想法：

街上常看到建築物頂樓加蓋，這會影響耐震力嗎？我們對這種現象感到很好奇，因此設計本實驗。頂樓面積為四樓一半。



## 二、模型照片：



實驗 1

實驗 6

實驗 5

實驗 7

## 三、實驗結果：

表二：頂樓加蓋的影響

震動狀態		實驗類型			
		實驗 1	實驗 6	實驗 5	實驗 7
振幅(mm)	振頻(Hz)				
50	0.5	O	O	O	O
50	1	O	X	O	O
50	1.5	O		O	△
50	2	△		O	X
50	2.5	△		O	
50	3	X		O	
60	0.5			O	
60	1			X	

“O” 表模型完好

“△” 表有傾斜或斷裂聲

“X” 表模型全倒

## 四、發現討論：

頂樓加蓋的柱子和原建築物柱體不相連，因此震動時，頂樓加蓋部份和其它樓層震動的方向不一樣，這會加速結構物的破壞。實驗 7 是因加蓋部份柱子斷裂而破壞，所以抗震力比實驗 5 差。由此可知：頂樓加蓋會減低建築物的耐震力。



### 研究三：挑高的影響

#### 一、我們的想法：

商店或大樓入口，爲了使用空間或美觀考量，一樓常挑高，甚且四面挖空只剩柱體，這會影響建築物嗎？實驗 8 一樓加高爲 20 公分，實驗 10 每樓都挑高爲 20 公分。

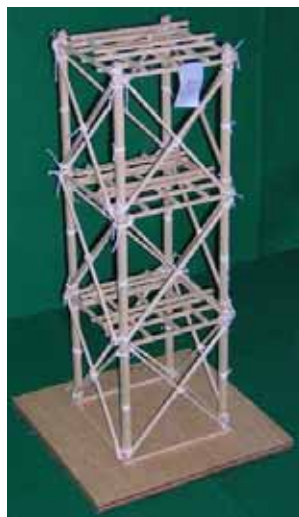
#### 二、模型照片：



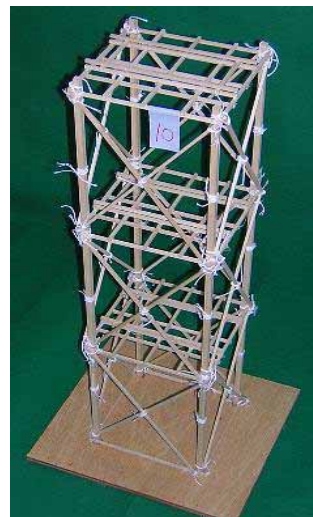
實驗 2



實驗 8



實驗 5



實驗 10

#### 三、實驗結果：

表三：挑高的影響

實驗類型 震動狀態		實驗 2	實驗 8	實驗 5	實驗 10
50	0.5	O	O	O	O
50	1	O	X	O	O
50	1.5	X		O	O
50	2			O	△
50	2.5			O	X
50	3			O	
60	0.5			O	
60	1			X	

“O” 表模型完好      “△” 表有傾斜或斷裂聲      “X” 表模型全倒

#### 四、發現討論：

- (一)、實驗 8 在一樓挑高的地方破壞，一根柱子斷裂後，便向斷裂的那一方傾倒，此時震動台還在繼續震動中，模型便受到兩方拉扯的力量，以旋轉的方式倒下。
- (二)、實驗 10 在振頻為 2.0 時，一樓的斜撐斷掉一枝，在下一個振頻時模型就倒塌了，由此可知一旦結構物有所損傷後，強度就會降低，在下次更大的地震來時，很快就會破壞。
- (三)、一樓挑高的實驗 8 較沒有挑高的實驗 2 早破壞。每層樓都挑高的實驗 10 比都沒有挑高的實驗 5 早破壞。所以挑高的模型耐震能力都較低。

#### 研究四：柱子配置方式不同的影響

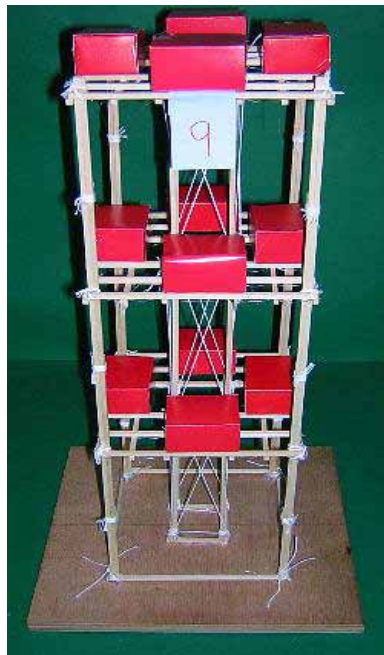
##### 一、我們的想法：

柱子總數相同，面積亦相同時，柱子集中或分散，會影響耐震力嗎？實驗 9 外柱 3 根木條，內柱 1 根，實驗 11 木條全散開。

##### 二、模型照片：



實驗 1



實驗 9



實驗 11

### 三、實驗結果：

表四：柱子配置方式不同的影響

實驗類型		實驗 1	實驗 9	實驗 11
震動狀態	振幅(mm)			
	振頻(Hz)			
	50	0.5	O	O
	50	1	O	X
	50	1.5	O	X
	50	2	△	
	50	2.5	△	
	50	3	X	

“O” 表模型完好 “△” 表有傾斜或斷裂聲 “X” 表模型全倒

### 四、發現討論

實驗 11 單根的木條承受不了太大的震動，很快就倒塌。實驗 9 內側的柱子和實驗 11 相同，很快就斷裂，外側柱子也因此需承受原本是內側柱子所承受的力，力量變化太大，使得模型倒塌。由此可知：柱子數量雖然一樣多，但各自獨立，使得柱子太細，發揮不了耐震能力，就像一根筷子很容易折斷，多根筷子綁在一起，就不容易折斷的原理是一樣的。

### 研究五：建築物外型的影響

#### 一、我們的想法：

爲了適應當地街道的形狀或畸零地，建築物常不得不設計成特殊形狀，這會產生怎樣的影響呢？因此設計了實驗 12 正三角形，實驗 13 正八邊形，實驗 14 星形，來了瞭解建築物外型對耐震力的影響。

## 二、模型照片



實驗 1

實驗 12

實驗 13

實驗 14

## 三、實驗結果：

表五： 建築物外型的影響

實驗類型 震動狀態		實驗 1	實驗 12	實驗 13	實驗 14
50	0.5	O	O	O	O
50	1	O	X	Δ	Δ
50	1.5	O		X	X
50	2	Δ			
50	2.5	Δ			
50	3	X			

“O” 表模型完好

“Δ” 表有傾斜或斷裂聲

“X” 表模型全倒

## 四、發現討論：

相較於實驗 1，實驗 12 因為結構不對稱，震動時會不自然搖擺且扭轉，很快就倒塌。實驗 13 實驗 14 外型雖不同，但結構仍是對稱，因此倒塌時間差不多，但因柱子都單根散開，勁度較弱，所以容易倒塌。建築物結構對稱與否，對耐震能力影響很大。



## 研究六：隔震設施的影響

### 一、我們的想法：

建築物結構確會影響抗震能力，但除本體結構外，是否還有良好的隔震方法？因此我們在一樓底板下加裝各種素材作為隔震設施，實驗 15 彈簧；實驗 16 橡膠墊；實驗 17 兩個滑軌，實驗 22 海棉，實驗 23 彈珠。

### 二、模型照片：



實驗 1



實驗 15



實驗 17



實驗 16



實驗 22



實驗 23

三、實驗結果：

表六： 隔震設施的影響

實驗類型 震動狀態		實驗 1	實驗 15	實驗 16	實驗 17	實驗 22	實驗 23
振幅 (mm)	振頻 (Hz)						
50	0.5	O	O	O	O	O	O
50	1	O	O	O	O	O	O
50	1.5	O	O	O	O	O	O
50	2	Δ	O	O	O	O	O
50	2.5	Δ	O	O	O	X	O
50	3	X	Δ	Δ	O		O
60	0.5		X	Δ	O		O
60	1			X	O		O
60	1.5				O		O
60	2				O		O
60	2.5				O		O
60	3				O		O
70	0.5				O		O
70	1				O		O
70	1.5				O		O
70	2				O		O
70	2.5				O		O
70	3				O		O
80	0.5				O		Δ
80	1				Δ		Δ
80	1.5				Δ		Δ
80	2				Δ		Δ
80	2.5				Δ		Δ
80	3				Δ		Δ
90	0.5				X		Δ
90	1						Δ
90	1.5						Δ
90	2						Δ
90	2.5						Δ
90	3						Δ
100	0.5						X

“O” 表模型完好      “Δ” 表有傾斜或斷裂聲      “X” 表模型全倒

#### 四、發現討論：

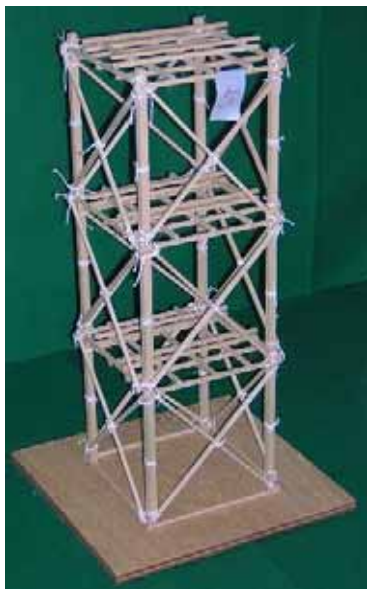
實驗 15 經 6 次改良才比實驗 1 好一點點，原因是彈簧極易使建築物跳起，要找到能與運  
築物結構體及地震頻率搭配的彈簧，極其不易。實驗 16 原理同實驗 15。實驗 17 和實驗 23 的  
耐震能力遠遠超出其它實驗，建築物隨着軌道和彈珠滑移，可將震動台的震動與模型隔開，將  
傳遞到模型的力減到較小，使得耐震能力大幅提昇，達到極佳的隔震效果，但缺點是位移量太  
大，為實際建築所不容許。

#### 研究七：消能設施的影響

##### 一、我們的想法：

震動若超過模型所能承受的範圍，結構就會損壞，若有能消散震動能量的裝置，使模  
型擺動的幅度變小，那模型便能承受更大的震動。依照這個概念，我們在實驗 5 的頂樓上  
加不同的消能裝置，希望能使模型撐得更久。實驗 18 在滑軌上加裝滑移的質量塊，實驗  
19 在水管內加滑移的高爾夫球，實驗 20 在彈性鋼片上加裝 100 克砝碼，實驗 21 在寶特瓶  
內加水。

##### 二、模型照片：



實驗 5

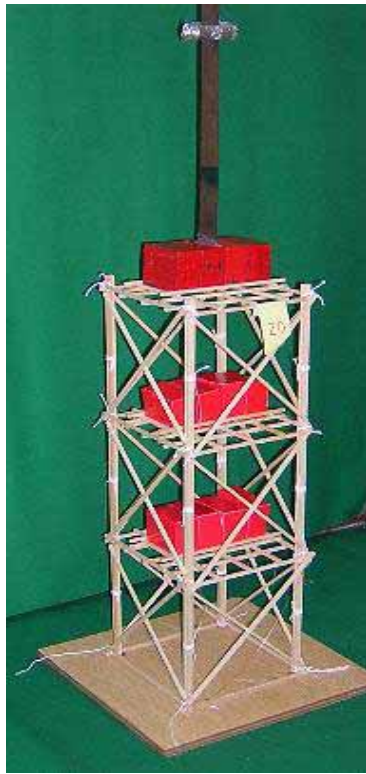


實驗 18



實驗 19





實驗 20



實驗 21

三、實驗結果：

表七：消能設施的影響

實驗類型		實驗 5	實驗 18	實驗 19	實驗 20	實驗 21
震動狀態	振幅(mm)					
	振幅(mm)					
	振頻(Hz)					
50	0.5	O	O	O	O	O
50	1	O	Δ	O	O	O
50	1.5	O	X	O	O	O
50	2	O		O	O	Δ
50	2.5	O		X	O	X
50	3	O			O	
60	0.5	O			O	
60	1	X			O	
60	1.5				Δ	
60	2				X	

“O” 表模型完好

“Δ” 表有傾斜或斷裂聲

“X” 表模型全倒

#### 四、發現討論：

實驗 18 震動時，上面的質量塊滑移，並不能減少模型擺動幅度，經多次更換質量塊重量，也沒辦法提高耐震力。實驗 19 及實驗 21 高爾夫球和水撞擊到容器時，反而加大了模型的震動，多次改變重量，仍然無效。實驗 20 在開始時，是將 100 克砝碼固定在質量塊上 6 公分的地方，耐震力較實驗 5 差，後來每次將砝碼提高 3 公分，砝碼在高度 21 公分的地方，耐震能力超過實驗 5。證明利用消能裝置來提升模型的耐震力是有效的，但設計上很不容易，必須要找到適當的震動頻率。

#### 研究八：阻尼對地震之反應

##### 一、我們的想法：

觀察研究六，實驗 17 和實驗 23 的隔震效果很好，但位移太大，為實際建築所不容許。實驗 15 彈簧易使建物跳起，實驗 16 和實驗 22 軟硬度又不能配合。我們想：建物下如加入具有粘性及柔軟度的阻尼物質，則其阻尼力，是否能有效降低地震度。

##### 二、模型照片：



模型下加麻繩



實驗 24 模型



記錄紙黏上繩子由小馬達拖動



上下樓層記錄紙由一個小馬達拉動，同步記錄。



用彈簧秤測量阻尼材料勁度



我們設計的振波記錄台

### 三、實驗規劃：

- (一) 為降低磨擦力對阻尼反應的影響，建物下加裝滑軌。
- (二) 隔震系統的勁度以 24 條橡皮筋提供，考慮加裝阻尼材料（ 蔗糖、麵粉 ）的彈性勁度，須作等值彈性勁度折減 2 條，其折減計算如下。
- (三) 用彈簧秤拉開 2 條橡皮筋 2.5 公分長，測得拉力約 500 公克，故置入隔震材時，亦須拉動 2.5 公分得拉力 500 公克，並實驗時橡皮筋減 2 條（共 22 條）以確保各組實驗勁度相同。
- (四) 耐震能力之比較改以筆記錄震波觀察。故建物改以橫斷面 7mm×7mm 木條製作，樓板亦改成 4mm 厚的密集板，以增強建物結構，固定不變變因。
- (五) 設計記錄台，如上照片，包含上下二個記錄桌面，各記錄紙粘上細線，由一個小馬達拉動，同步記錄。
- (六) 振動台輸入的振動波形為正弦波，每一次試驗設定震動次數設為 5 次。進行試驗結果分析時，因考慮慣性作用，第一波與最後一波不計，取中間 3 個波的平均值進行分析、比較。
- (七) 實驗設計：
  - 1、 先以振幅 10mm，頻率從 1.5Hz 到 2.6Hz 掃出建物的自然週期。
  - 2、 把振幅調大為 30mm，以增大其反應，頻率從 0.5Hz 掃到 3.0Hz，找出適合實驗阻尼反應的頻率。
  - 3、 置入不同阻尼材料，測其地震反應。

### 四、實驗過程

#### (一) 尋找建物本身的自然週期

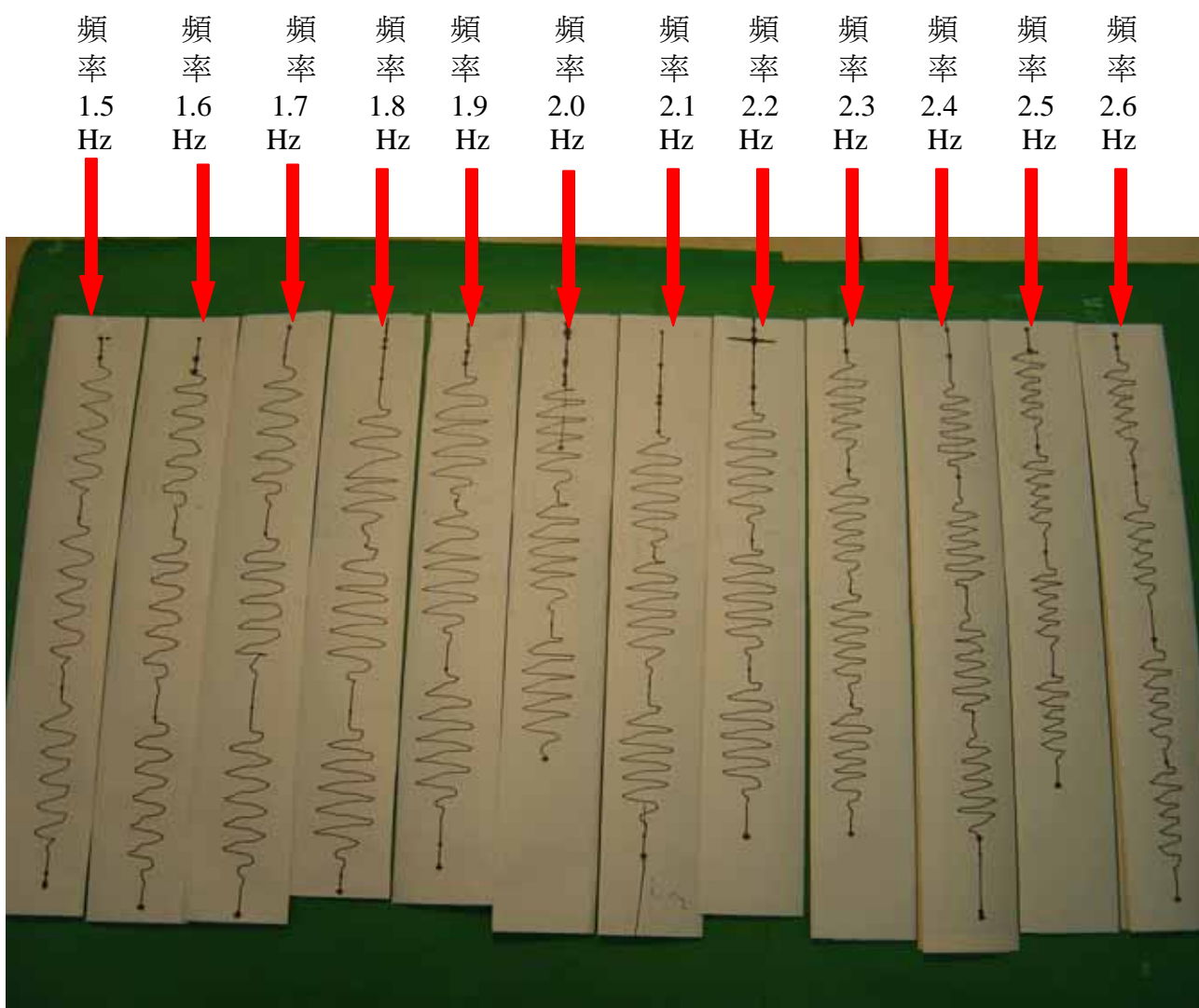
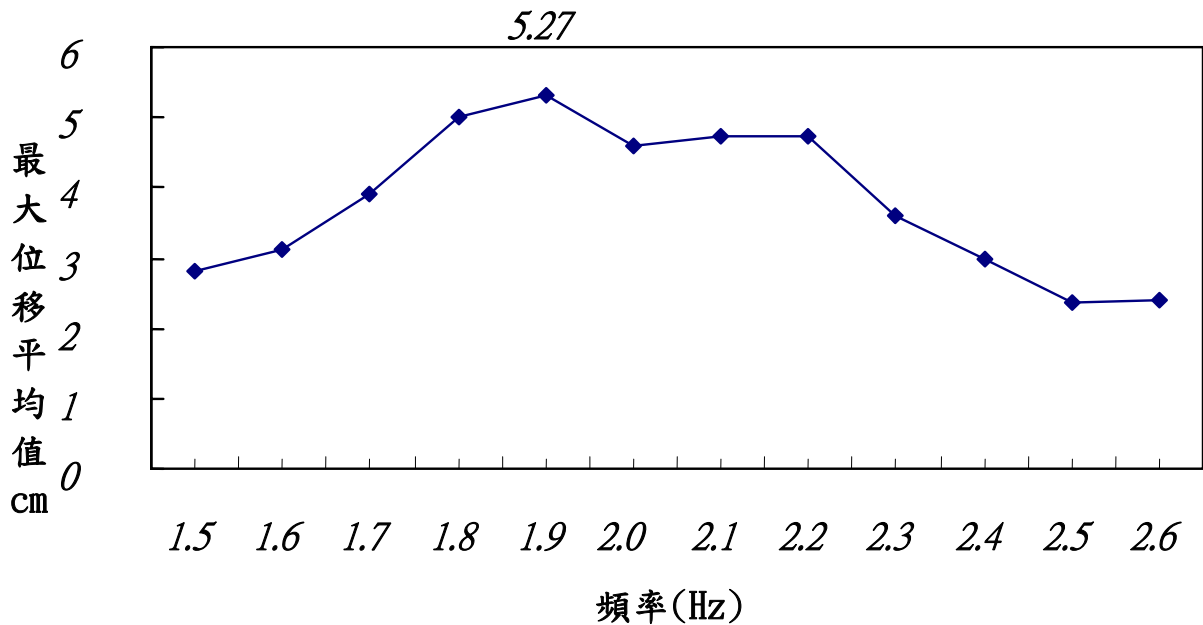
##### 1、實驗結果

表八： 尋找建物本身的自然週期

頻率 (Hz)	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
最大位移平均值 (cm)	2.8	3.13	3.9	5	5.27	4.6	4.73	4.73	3.59	3	2.37	2.4



圖 A：建物本身自然週期



## 2、發現討論

- (1) 為找到適合實驗阻尼反應的配置條件，需先測得建物本身的自然週期，以免建物反應過大，破壞整個系統，或過小則無法比較。
- (2) 設震幅為 10mm，震動次數 5 次，反應不會過大。
- (3) 最大位移平均值取第 2.3.4 波最大位移的平均值。
- (4) 本實驗測得建物在頻率 1.9Hz 反應最大，故自然週期約為 1.9Hz。

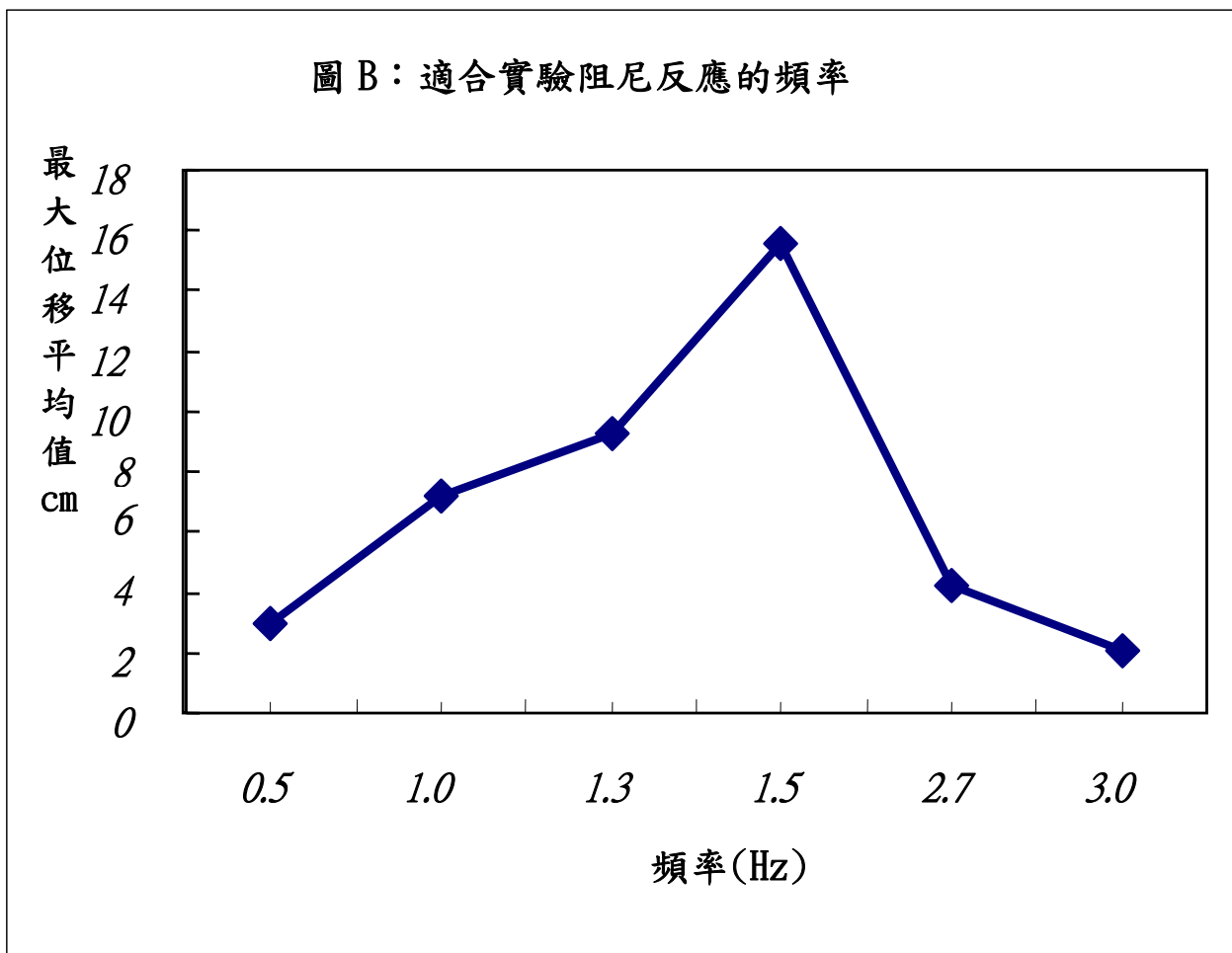
### (二) 找適合實驗阻尼反應的頻率

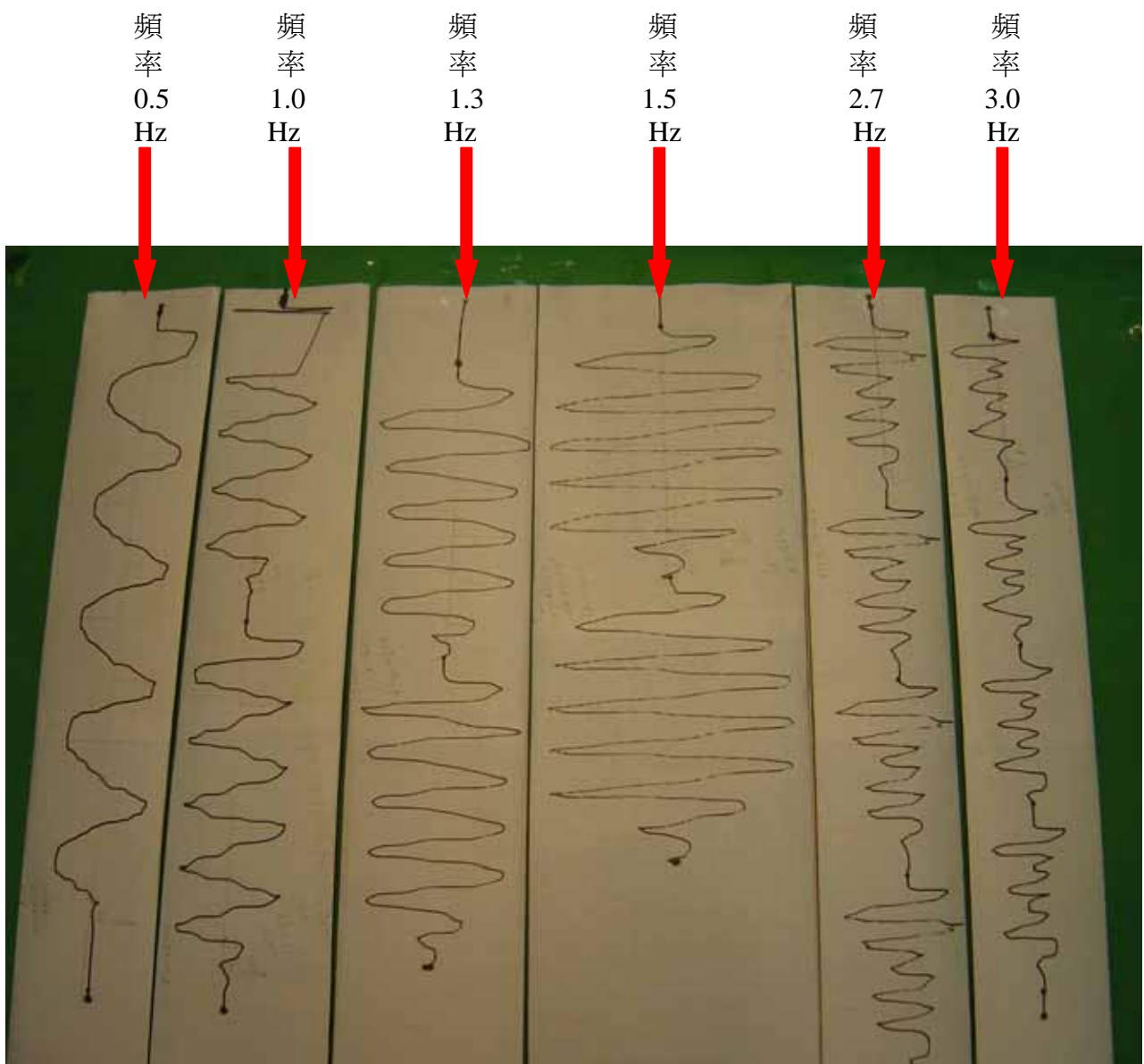
#### 1、實驗結果：

表九：適合實驗阻尼反應的頻率

頻率(Hz)	0.5	1.0	1.3	1.5	2.7	3.0
最大位移平均值 (cm)	3	7.2	9.27	15.53	4.27	2.07

圖 B：適合實驗阻尼反應的頻率





## 2、發現討論：

- (1) 為便於觀察位移反應，將振幅放大為 30mm。
- (2) 以不同的頻率作測試，為怕反應過大，破壞系統，故不用自然週期 1.9Hz，改以靠近的頻率測試。
- (3) 實驗結果，頻率 1.5Hz 反應最大，故以此為中心，上下各取 1.0Hz 及 3.0Hz 相比較，用以實驗阻尼反應。



### (三)不同阻尼之地震反應

#### 1. 實驗結果

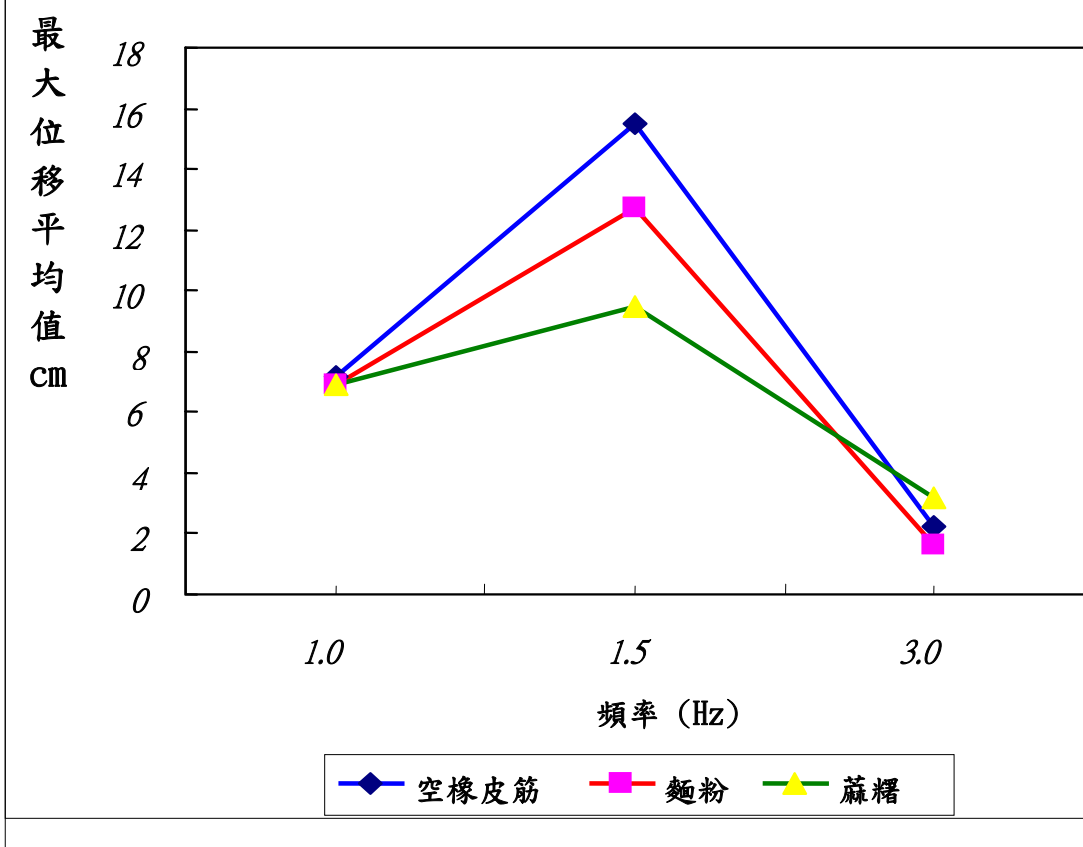
表十： 不同阻尼之地震反應

頻 率 隔震材		1.0 Hz			1.5 Hz			3.0 Hz		
		最大位 移平均 (cm)	第 6 波 (cm)	減 少 百分比	最大位 移平均 (cm)	第 6 波 (cm)	減 少 百分比	最大位 移平均 (cm)	第 6 波 (cm)	減 少 百分比
空 橡 皮 筋	波峰	3.7	1.4	62%	7.6	4.8	37%	0.8	0.7	13%
	波谷	3.5	0.2	94%	7.9	1.8	77%	1.4	0.5	64%
	全波	7.2			15.5			2.2		
麵 粉	波峰	3.4	0.8	76%	6	2.8	53%	0.7	0.6	14%
	波谷	3.5	0	100%	6.7	0.9	87%	0.9	0.2	78%
	全波	6.9			12.7			1.6		
蔬 糲	波峰	2.9	0.4	86%	3.9	0.9	77%	1.6	0.7	56%
	波谷	4	0	100%	5.6	0.7	88%	1.6	0	100%
	全波	6.9			9.5			3.2		

表十之一： 全波最大位移平均值

頻 率 (Hz)	1.0	1.5	3.0
空橡皮筋 (cm)	7.2	15.5	2.2
麵粉 (cm)	6.9	12.7	1.6
蔬糲 (cm)	6.9	9.5	3.2

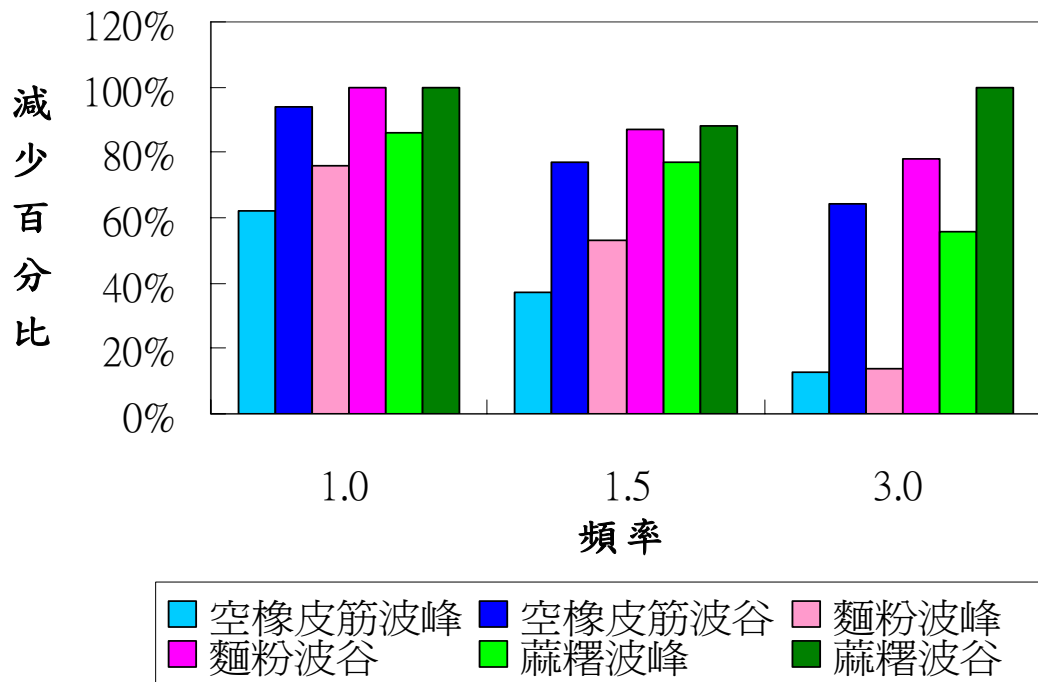
圖 C：全波最大位移平均值



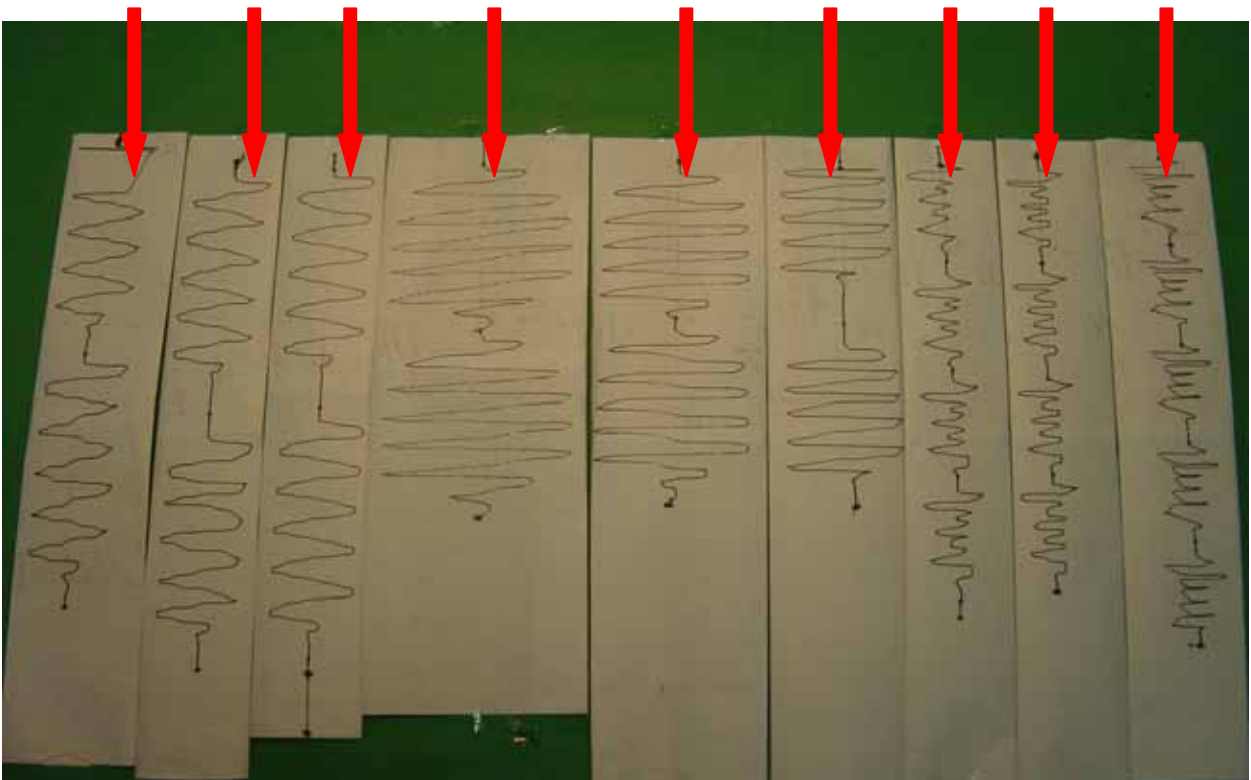
表十之二：波峰、波谷減少百分比

隔震材 \ 頻率		1.0 Hz	1.5 Hz	3.0 Hz
		空橡皮筋	波峰: 62%	波峰: 37%
空橡皮筋	波谷	94%	77%	64%
	麵粉	波峰: 76%	波峰: 53%	波峰: 14%
麵粉	波谷	100%	87%	78%
	麻糬	波峰: 86%	波峰: 77%	波峰: 56%
麻糬	波谷	100%	88%	100%

圖D：波峰、波谷減少百分比



空頻	麵頻	蕪頻	空頻	麵頻	蕪頻	空頻	麵頻	蕪頻
橡	粉	糴	橡	粉	糴	橡	粉	糴
皮	1.0	1.0	皮	1.5	1.5	皮	3.0	3.0
筋	Hz	Hz	筋	Hz	Hz	筋	Hz	Hz



## 2.發現討論：

- (1)本表數值均取底層樓測得的數值，因底層貼近地球板，測得波長較不受建物本身搖擺之力影響，測得的阻尼較為正確。頂層樓測得的波長，應為地震之力加建物本身搖擺之力，所反應出來的。
- (2)最大位移平均值指主震時波峰（波谷）第 2.3.4 波最大位移的平均，餘震之波峰（波谷）長度則取第 6 的波最大位移。
- (3)減少百分比 =  $\left[ \text{主震時之 2.3.4 波(波峰、波谷)最大位移的平均值} - \text{餘震最大位移(第 6 波)} \right] \div \text{主震時之 2.3.4 波(波峰、波谷)最大位移的平均值}$ 。
- (4)根據表十、圖 C 可以看出：蕙糴的振幅曲線在最下面，位移最小，麵粉次之，空橡皮筋再次之，且以頻率 1.5Hz 時最明顯，頻率 3.0Hz 時蕙糴雖位移較大，但其減少的百分比仍是最多。
- (5)根據表十、圖 D，波峰、波谷減少的百分比，仍明顯可以看出，無論哪一種頻率，蕙糴減少的百分比最多，麵粉次之，空橡皮筋減少最少。
- (6)從此實驗可以看出：建築物下加裝適當的阻尼材料，確實可以吸收部份地震能量，減少地震力對建築物的反應，從而減少對建築物的傷害。在本實驗中，以蕙糴的阻尼效果最好。

## 陸、研究心得與討論

- 一、這次研究我們面臨了很多困難，其中參訪部份有些機構在很遠的地方，有些需要多次聯絡，才得參訪機會，甚至剛開始，還不知道要去哪裡才能取得資料呢！這些難題雖然有時讓我們很沮喪，可是也從中學到很多解決問題的方法，及不屈不撓，鏗而不捨的科學精神。
- 二、由於小型單軸向震動台，有其極限，因此我們在建築物材料的選擇上，格外費心，除了要選擇適當的木材、尺寸，更要控制每條木材都一樣的條件，以便控制變因，所以光在選材上，就實驗了很多次。
- 三、模型的製作非常的費時費工，爲了保持實驗的準確度，每一細節都要注意，使其控制變因一致，從熱熔膠的黏法、棉繩的綁法、底板的鑽洞、建築物的架法……都須注意。
- 四、我們一起設計工作日誌，每次實驗前後，均先確定目標、流程，可使實驗節奏及思考、組織更好，並能掌握效率，清楚瞭解過程、遇到的困難、及解決的方法。
- 五、感謝國家地震工程研究中心、國立台灣科技大學營建工程結構研究室及國立台灣大學土木工程研究所師長鼎立相助，無論在器材設備或學術理論上都給予大力協助，使研究得以順利完成。



## 柒、結論

### 第一部份：實際參觀、訪問、調查

- 一、地震難以預警，卻帶來極大傷害，為全世界共同的現象。臺灣尤其處在地震帶，研究如何防震，更是十分重要。
- 二、國內有名的防震建築物中，臺北 101 大樓用抗風制震重球來抗震及抗風，慈濟醫院新店分院以地底的隔震墊及阻尼器來隔震，內湖順弼大廈用地底的水池，使建築物有如一艘船來減震，內湖台新銀行則用斜撐鋼樑加裝油壓避震系統以達到減震效果。
- 三、國內常見私自改變建築物結構的類型有：頂樓加蓋、其中一層樓挖空、打通陽臺改成室內、打通室內牆改變隔間、兩層樓之間打室內樓梯。

### 第二部份：建築物抗震實驗

#### 一、不同樓層挖空影響：

建築物任何一層樓牆面挖空，建築物會在該處產生弱點，由此斷裂，挖空的樓層越低，越容易倒。

#### 二、頂樓加蓋的影響：

頂樓加蓋的柱子和原建築物柱體不相連，震動時，頂樓加蓋部分和其它樓層震動的方向不一樣，會加速結構物的破壞，因此頂樓加蓋的建築較不耐震。

#### 三、挑高的影響：

挑高的建築，在挑高的樓層易斷，一旦一根柱子折斷，地震如持續進行，建築物便會向該方向以旋轉方式倒下，因此挑高的建築耐震力較差。

#### 四、柱子配置方式不同的影響：

柱子數量一樣多的條件下，如各自獨立，使得柱子太細，承載能力太弱則易斷，因此柱子集中的強柱，比散開的弱柱耐震力強。

#### 五、建築物外型的影響：

結構不對稱的三角形建築，震動時會不自然搖擺且扭轉，很快就倒塌，對稱的四邊形則無此現象，建築物結構對稱耐震力較好。

#### 六、隔震設施的影響：

建築物下加裝隔震設施，可增加耐震能力，隔震的素材越恰當，耐震能力越好。建築物下裝滑軌、彈珠來隔震，是一種非常有效的方法，滑軌、彈珠將震動台的震動和模型隔開，可將傳遞到模型的力減到最小，使耐震能力大幅提昇，但缺點是位移量太大，為實際建築所不容許。

#### 七、消能設施的影響：

建築物上面加裝滑移的質量塊、管內滑動的高爾夫球及瓶內裝水，經過多次更換滑移重量，並不能加強耐震能力。建築物上面加裝彈性鋼片，砝碼在高度 21 公分的地方，耐震能力有提高。證明用消能裝置來提升模型的耐震能力是有效的，但在設計上很不容易，必須要找到適當的震動頻率。

#### 八、阻尼對地震之反應：

建築物下加裝適當的阻尼材料，可以吸收部份地震能量，減少地震力對建築物的反應，從而減少對建築物的傷害，且能有效解決位移問題，是良好的隔震素材。在本實驗中，以麻糬的阻尼效果最好。

## 捌、參考資料

一、國中自然與生物科技課本第一冊第三章地球環境，康軒文教事業。

二、國中自然與生物科技課本第四冊第六章力學在營建科技的應用，南一出版社。

三、2003 年國際抗震盃競賽規章。

四、網站：

國家地震工程研究中心[www.ncree.gov.tw](http://www.ncree.gov.tw)

國立台灣科技大學[www.ntust.edu.tw](http://www.ntust.edu.tw)

台北 101 大樓[www.tfc101.com.tw](http://www.tfc101.com.tw)

[board.isayhi.net](http://board.isayhi.net)

內湖台新銀行大樓[www.taishinbank.com.tw](http://www.taishinbank.com.tw)

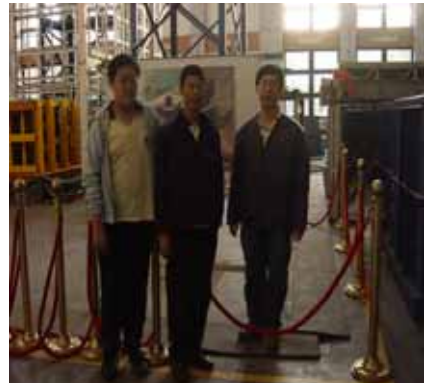
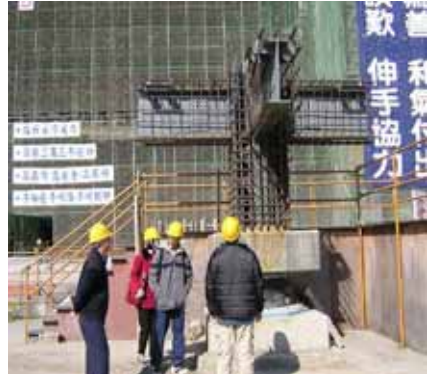
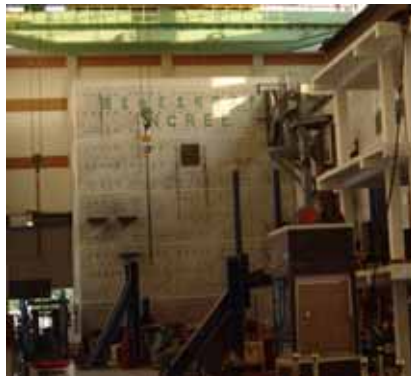
國立科學博物館[gis.geo.ncu.edu.tw](http://gis.geo.ncu.edu.tw)

五、吳惠潔，七十六年，地震，小牛頓雜誌，38 期，20~45 頁。

六、李文勳，土木工程概論，初版，台灣，科技圖書公司，85 年。

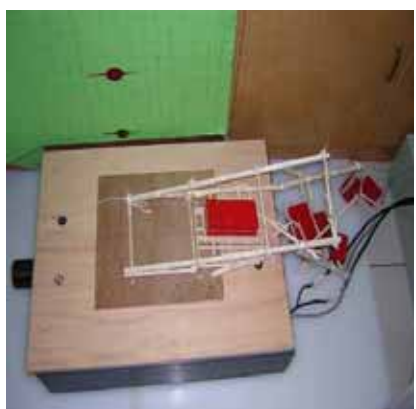
附件：

一、我們的參觀、訪問、調查



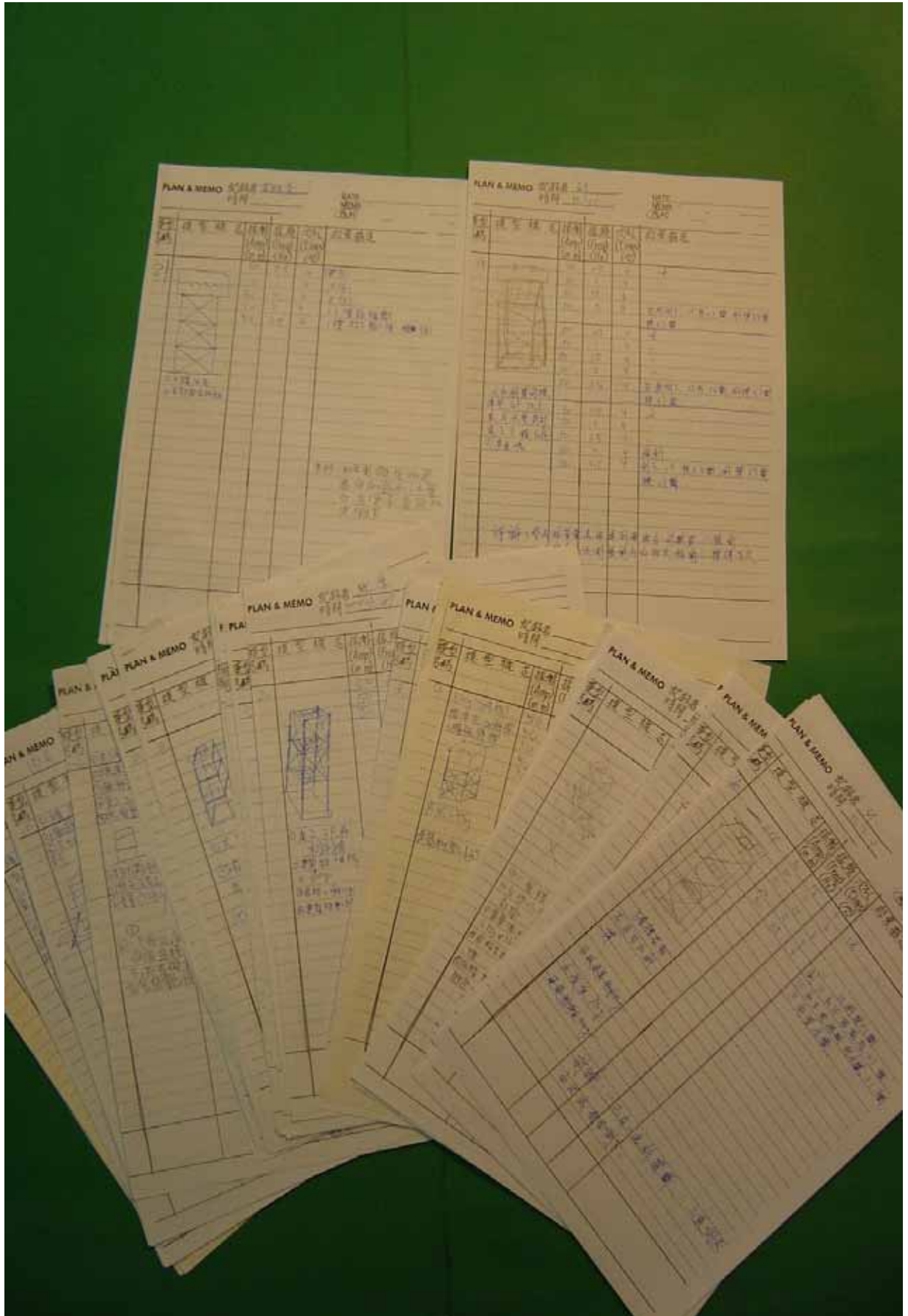


二、我們的模型製作及實驗





三、我們的實驗記錄：



四、我們的工作日誌：

### 學生工作日記

時間 92.11.15      記錄 邱振青

本 次 1.穩定之後人造地震的次數，次數解序。  
 工作目標 2.做好此模型 1-1 的實驗用架和 1-2 的模型比較異同。

工作過程	討論或遇到的問題
1. 我們拿 4x4 白木架做柱子上熱熔膠(四面皆有)的基本型當作模型 1-1。用兩和下一個模型 1-2 (柱子不上任何熱熔膠的基本型)作比較。 	1.之前我們試過了許多規格：白木 4x6, 3x3 和精鋼 4x4，我們精熟 4x4 白木架成功，而我們不知道是否真能會成功？否則會停滯在試材料的階段。

2.實驗記錄如下：

次數	結果	備註
4	2	不倒
5	2	不倒，第一次卡喇，但頂上膠才看不出有任何內傷(結構破壞)
6	2	不倒，第二次卡喇
6	2	IF 膠板的一根撐斷了(1 條裂痕)

工作過程	討論或遇到的問題																																	
<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>次數</th> <th>結果</th> <th>備註</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7</td> <td>2</td> <td>不倒，2 次卡喇。</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>2</td> <td>IF 同一邊又了 1 條裂痕。</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>4</td> <td>不倒</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>4</td> <td>不倒</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>4</td> <td>第 1 次卡喇，看不出內傷。</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>4</td> <td>第 4 次卡喇，看不出內傷。</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>6</td> <td>IF 柱與地板夾角傾斜 3°</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>6</td> <td>第 2.6 次卡喇，看不出內傷。</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>6</td> <td>第 1 次卡喇，IF 柱與地板夾角傾斜 6°</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>6</td> <td>不倒，仍傾斜。</td> </tr> </tbody> </table>	次數	結果	備註	7	2	不倒，2 次卡喇。	7	2	IF 同一邊又了 1 條裂痕。	4	4	不倒	5	4	不倒	6	4	第 1 次卡喇，看不出內傷。	7	4	第 4 次卡喇，看不出內傷。	4	6	IF 柱與地板夾角傾斜 3°	5	6	第 2.6 次卡喇，看不出內傷。	6	6	第 1 次卡喇，IF 柱與地板夾角傾斜 6°	7	6	不倒，仍傾斜。	2.我們發現此模型用 4-7 區域都無法成功，而我們希望換一些同樣具公認力而標準化的人造地震，漸漸不要用到 CH-CH1。
次數	結果	備註																																
7	2	不倒，2 次卡喇。																																
7	2	IF 同一邊又了 1 條裂痕。																																
4	4	不倒																																
5	4	不倒																																
6	4	第 1 次卡喇，看不出內傷。																																
7	4	第 4 次卡喇，看不出內傷。																																
4	6	IF 柱與地板夾角傾斜 3°																																
5	6	第 2.6 次卡喇，看不出內傷。																																
6	6	第 1 次卡喇，IF 柱與地板夾角傾斜 6°																																
7	6	不倒，仍傾斜。																																

### 解決的方法

1.我們仍忠於實驗結果，若此規格不適合，還是會找到一種最好的。

2.我們在震動台內邊的震波找到一套可調整震幅、震頻、次數的標準 sin 波。

實驗發現	1.因為此模型只有最基本的柱和梁，並無斜撐，所以結構體軟，是漸漸地傾斜而慢慢倒下。但結構硬得相當的話，可能會瞬間倒下，之前並無任何傾斜。
回家作業	補足材料，整理筆記。
下次開會時間	92.11.16
下次預定工作	做模型 1-2 (不上膠的柱子之基本型) 與模型 1-1 (這一次實驗) 比較
備註	

### 照片



### 工作小日記

嘿，今天是正式開始做控制變因的實驗之時，不過經過二次的失敗嘗試後，我們也較能熟能生巧，因此做模型也比較快完成製作，雖然同樣地，今天做這個實驗也產生了不少問題，假如人造地震和先都無法搖倒模型，讓我們真是大傷腦筋，還好很幸運地，碰到的困難我們都能循序解決，不斷地來進步，把實驗的公平性發揮至極。

### 老師的話

有試幾次就見我以你實驗的結論我們目的所在也逐漸的把這做起來。

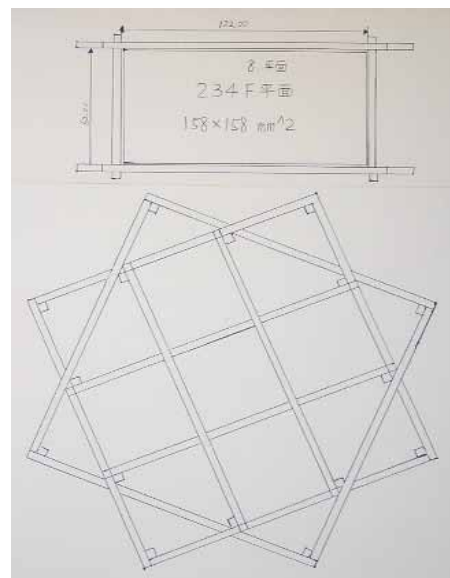
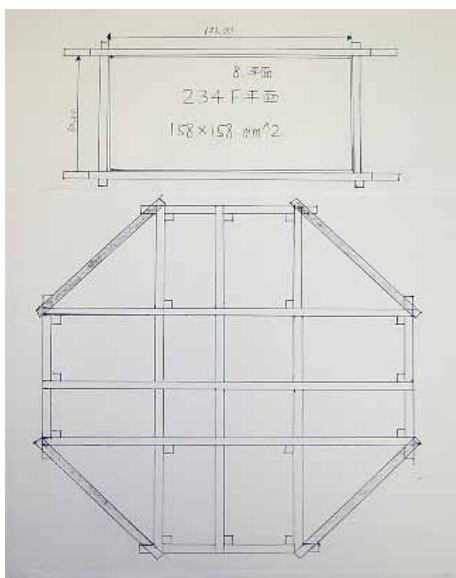
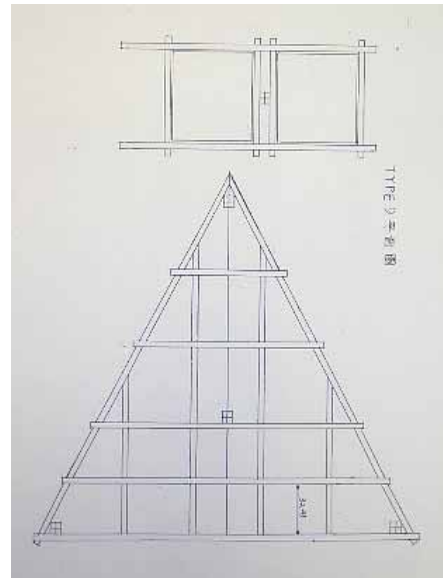
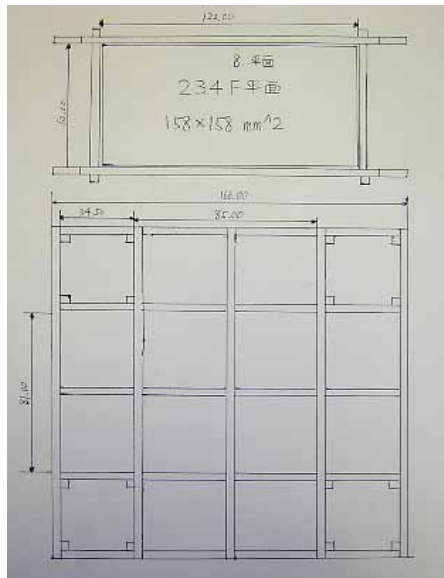
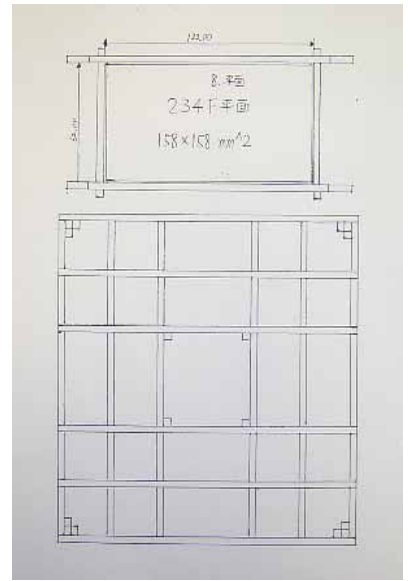
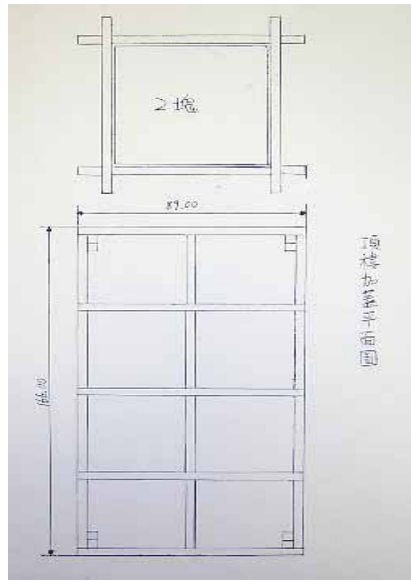
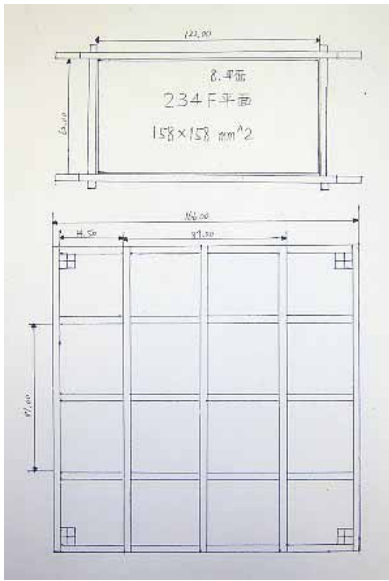
漫長的研究過程，我們寫了將近三百頁工作日誌，足足厚厚一大本。



五、我們嘗試自行設計的震動台：



六、樓板支架平面圖及質量塊固定盒圖：





七、我們製作的模型：



實驗 1



實驗 2



實驗 3



實驗 4



實驗 5



實驗 6



實驗 7



實驗 8



實驗 9



實驗 10



實驗 11



實驗 12



實驗 13



實驗 14



實驗 15



實驗 16



實驗 17



實驗 18



實驗 19



實驗 20



實驗 21



實驗 22



實驗 23



實驗 24

