

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國小組 物理科

### 最佳團隊合作獎

080103

形不行？差很大-形狀及方向對抗彎變形之研究

學校名稱：臺北市大同區日新國民小學

作者：	指導老師：
小六 蔡薰誼	游禎欣
小六 蔡昀儒	曾綺瑜
小六 林禹丞	
小五 張芳瑜	
小四 陳冠伸	
小五 高義維	

關鍵詞：彎曲變形、轉動慣量、虎克定律

# 摘要

研究樑柱的形狀、擺放方向及在相似形狀下，樑柱的寬與高對支撐力的影響，再將研究結果用電腦程式模擬驗證，適當的樑柱配置是有助於建築結構的抗震效果。

使用厚紙板製作各式模型體，在相同材質、長度及斷面積等控制變因下，以砝碼吊重，並設計了將微小變形量放大再依比例縮小的間接測量方法，算出微小變形量，經實驗後獲得以下的結果：

- 1.物體載重力和形狀有關，以 W 型、工字型和長方形樑較佳。
- 2.物體載重力和擺放方向有關，相同形狀時長邊的支撐力優於短邊。
- 3.物體增加寬度的方向如與力的方向平行，可以有效提高支撐力；如與力的方向垂直，也可提高支撐力但效果比較差。
- 4.利用樑或柱的強邊去補強建築物平面的弱邊，可提高抗震能力。

## 壹、研究動機

平時，我對於身邊東西的形狀就很有興趣，小時候常常玩樂高積木，堆疊出不同造型的物體，五年級數學有一個單元教長方體、圓柱體、三角椎體的表面積及體積，又多認識了一些形狀，覺得很有趣，因此開始注意生活周遭一些建築物的造型和形狀。

學校老師每次帶我們去附近國中上游泳課時，都要走過兩個大馬路交叉口的行人路橋，每經過行人路橋一次，我就會想一次：為什麼提供行人行走的橋面及支撐橋面的柱子是採用「工」字型設計的呢？它與我們平時看到支撐房子的柱子，為什麼長的不一樣呢(圖 1-1)？五年級自然有一個單元是「力的作用」，力有大小和方向，地震也是一種力的作用，用工形樑抵抗地震力會比較好嗎？

在上、下學時，我也觀察到馬路中等候公車的涼亭，它的屋頂是用「T」字形的樑作為屋頂的支撐

(圖 1-2)，建造中的建築大樓則是使用「工」字型樑及「口」字型柱子來構築(圖 1-3)，「工」



圖 1-1 人行路橋的工字樑



圖 1-2 公車候車亭的 T 字樑



圖 1-3 建築物的工字樑與口型柱

字型、「口」字型與「T」字形樑有什麼不一樣呢？工程師及建築師們為什麼要這樣設計路橋、建築大樓及等候公車的涼亭呢？

我們問老師這個問題時，老師建議我們：為什麼不試著以探討相關文獻及設計簡單實驗來解答這個問題呢？於是，我與我的同學們組成了研究小組，並且展開了以下的相關探討。

我們團隊為了想深入了解建築物的樑、柱受力情形，研讀了相關文獻，包括：虎克定律、畢氏定理、相似三角形的比例關係及光的直進等基本的數學與物理學文獻，配合我們在五年級的「力的作用」單元中，學到力有大小及方向性，物體受力的作用後會發生伸長、凹陷、扭曲或彎曲，或是改變物體的運動方向等現象，還有六年級的「簡單機械」單元中，學到定滑輪不省力也不費力，但是可以改變施力方向的原理，我們將研讀的重點節錄如下：

### 一、虎克定律

(一)固體材料承受軸向力量(作用力與桿件中心點相同位置且平行)時會發生軸向變形，桿件會發生些微的長度變化，但是將軸向力量移除後，桿件會恢復為原來長度。

依據虎克定律:在比例限度(彈性限度)內，應力與應變保持正比例關係。

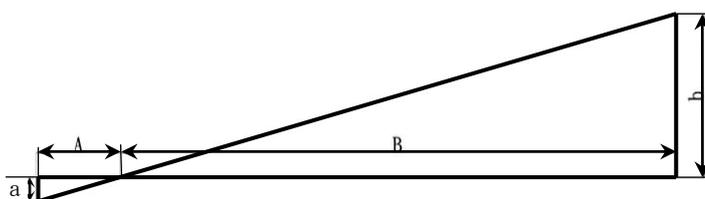
伸長量=力×桿件長/(彈性係數×面積)

(二)固體材料承受側向力量(作用力與桿件中心線垂直)時會發生側向彎曲變形，此時桿件會發生微小的彎曲變化，但是將側向力量移除後，桿件會恢復為原來筆直的情況。

依據虎克定律：在比例限度內，彎曲應力與彎曲應變保持正比例關係。

### 二、相似三角形比例關係

當 2 個相似三角形的  
對應邊比例是  $A : B$  時，  
那其他對應邊比例一樣是  
 $A : B$ ，就是  $A : B = a : b$ 。

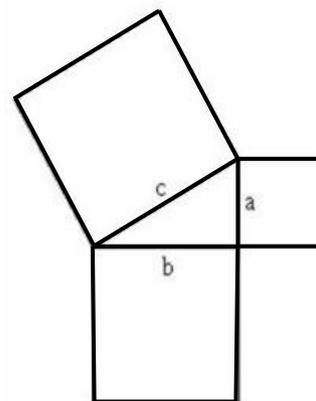


### 三、畢氏定理:

以直角三角形的三邊為邊長作出三個正方形，其中兩股上兩個正方形的面積和，會恰好等於斜邊上的正方形面積。

以數學公式表示：直角三角形的兩股長為  $a, b$ ，斜邊長為  $c$ ，則  $a^2 + b^2 = c^2$ 。

利用畢氏定理可以自製較大型的直角三角板來測量鉛垂線是否垂直地面。



### 四、光的直進原理

光在同一種介質中永遠保持直線進行，不會發生偏折。

### 五、簡單機械一定滑輪

定滑輪裝置不省力也不費力，但是可以改變施力的方向。利用定滑輪可以將垂直力改變為水平力。

### 六、地震的成因

地震是地殼或地函上部因為板塊相互擠壓，當積蓄在板塊邊緣的變形量超過負荷後，會在短時間內釋放出很大能量，進而引起地面強烈震動的一種自然現象。地震時釋放出來的能量，會以波動的形式通過地殼而達到地球表面，傳播時會有縱波(P 波)與橫波(S 波)兩種不同性質的波動在地殼內傳播，而構築於地表的房屋或公用結構體也會隨地表波動，產生激烈的震動。

臺灣地區因恰好位於環太平洋地震帶上，經常發生許多有感或無感地震。在許多的研究中發現，大地震中房屋或公用結構物發生破壞的主要原因是：房屋或公用結構物構件配置不良所引起的，所以結構體的構件配置在設計上很重要。

## 貳、研究目的

### 一、物體形狀對支撐力的影響

利用自己設計的厚紙板模型體，測量模型體受到力作用時的變形量大小，比較前一節【研究動機】描述的「工」字型樑、「T」字型樑及「口」字型樑的抵抗受力好壞，並且自行設計其他形狀的樑(含 L 型樑、梯型樑、長方形樑及 W 型樑) 模型體，尋找是否有比「工」字型樑、「T」型樑及「口」字型樑更佳形狀。

### 二、物體形狀相同時，模型體放置方向對支撐力的影響

實驗時因為研究組員放錯長方形樑模型體方向為側向，發現同一個模型體在放錯方向時，變形量與正向放置時差別很大，顯然模型體的放置方向也會影響構件的受力強度，所以將模型體擺設方向列為研究項目的其中之一。

### 三、物體形狀相同時，物體的寬度和高度對支撐力的影響

從一般的事物觀察得知：相同形狀的物體，面積愈大支撐力越好，但是從實驗二我們得知：模型體的支撐力是與擺放方向有關的；為探討物體提高支撐力時，是往水平向加寬增加面積比較有效？還是往垂直向加高增加面積比較有效？我們設計了兩組長、寬不同的長方形樑模型(每組五個模型)及兩組長、寬不同的「工」字型樑模型(每組五個模型)，探討物體寬度及高度對支撐力量有什麼影響。

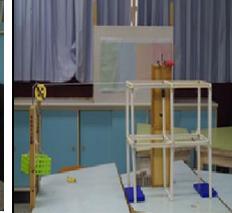
### 四、研究結論對日常應用的探討

研究期間發生了台南地震，維冠大樓倒塌造成許多人員死亡，從我們研讀的地震資料知道：地震是水平的力量，所以在地震震動期間，房屋的柱子是受到水平向力量的作用，與我們研究「樑」的側向支撐力與變形很相似，為了探討實驗結果如何應用於日常公共結構物及建築物？我們設計了兩個立體模型，研究柱的擺設方向對立體模型水平支撐力的影響，並探討經濟、可行的抗震方法。

## 參、研究設備及器材

研究期間，我們研究團隊使用的器材、設備與功能整理如表 1。

表 1 研究器材、設備與功能表

品項	1mm 厚紙板	砝碼	鋼捲尺	水平尺	棉線
實體照片					
功用	製作吊重模型體	模擬外力	測量吊件與刻度板間的尺寸	檢測與校正雷射筆的水平情況	傳遞荷重並將荷重轉換為集中載重
品項	游標尺	雷射筆	瞬間黏著膠	吊重籃	1:1 刻度表
實體照片					
功用	測量吊重模型體的尺寸	投射直進光線於刻度表	結合吊重模型體	集中砝碼	利用 AUTOCAD 電腦繪圖繪製 1:1 刻度表，作為判讀放大變形量的依據
品項	雷射筆架與支撐架	刻度表架	厚紙板模型體	垂直微小變形測量裝置	水平微小變形測量裝置
實體照片					
功用	支撐雷射筆且形成雷射筆的旋轉軸	張貼刻度表，且必須與地面保持垂直	模擬吊重	請參考 10 頁圖 4-1	請參考 11 頁圖 4-2

## 肆、研究方法及過程

### 一、初期：直接測量

#### (一) 方法與過程

- 1.我們小學生因為無法取得大型物料及實驗器材做相關研究，所以在研究初期就利用書局內賣的 2mm 厚紙板及瞬間膠，模擬製作類似人行路橋的工字樑及空心長方形樑的模型體。
- 2.以學校教具室內的砝碼作為模型體載重，教室的椅子作為支撐，觀察厚紙板模型體在承受重量的變形情況。
- 3.用棉線綁上砝碼，掛於模型體中央，利用物體受力會產生變形的原理，直接測量變形量（圖 2）。



圖 2 初期吊掛實驗

#### (二) 結果與修正

- 1.研究初期一直增加砝碼都無法看出變形量，模型體結實情況有點超過我們的預估。
- 2.我們發現模型體受側向力量作用時的變形量十分微小，很難用直尺或其他工具直接測量。
- 3.改用 1mm 厚紙板製作模型體，觀察是否以有較明顯的變形量。
- 4.實驗結果與(二)-1 相近，因此我們放棄直接測量變形量的方法，思考用其他方法測量模型體微小變形量。

### 二、中期：間接測量

#### (一) 方法與過程

- 1.研究期間，我們觀察到老師使用雷射筆提點白板上的上課投影片，老師的手只有很小的移動，雷射筆光點移動距離卻很大，使我們聯想到：或許可以利用相似三角形的對應邊長成比例的性質，結合光在同一種介質中會保持直線前進的特性，來測量微小變形。於是在經過多次討論後，我們設計了

一個含有雷射筆的間接測量裝置，先將微小變形量放大，測量放大後的變形量，再依相似三角形比例縮小，就可以計算得到微小變形量。

2.經過老師的指導後，我們利用雷射筆及自然器材室的一些教具，分別製作了簡易的垂直變形測量裝置及水平變形測量裝置(如圖 4-1，請參考第 10 頁及如圖 4-2，請參考第 11 頁)，來測量微小變形量。

## (二)垂直變形測量結果與討論

1.垂直變形測量裝置的說明：

(1)利用固定在水平旋轉軸上的雷射筆將微小變形放大後，投射於垂直放置的 1:1 刻度紙上，測量刻度紙上放大後的垂直變形量。

(2)依變形連動點至雷射筆轉軸的距離，與刻度紙到雷射筆轉軸的距離比例縮小，可計算得到模型體受垂直側向力量作用時的微小變形量。

2.我們也想知道：有沒有比常見的長方形及工字型更強的形狀，於是每個組員各自想出一至二個形狀，總共有：三角形、正方形、長方形、T 形、L 形、W 形及梯形等八種形狀。利用相同厚度的厚紙板，設計長度和斷面積相同的各式模型體，比較哪一種形狀的載重能力較強。

3.在相同材質、相同長度及相同斷面積的控制變因條件下，改變斷面形狀並且施予相同的垂直載重條件，再比較垂直變形量，就可得知形狀的好壞。

## (三)水平變形測量結果與討論

1.水平變形測量裝置的的說明：

(1)利用定滑輪將垂直力改變為水平力，固定在垂直旋轉軸上的雷射筆將水平微小變形放大後，投射於水平放置的 1:1 的刻度紙上，測量刻度紙上放大後的變形量。

(2)依變形連動點至雷射筆轉軸的距離，與刻度紙到雷射筆轉軸的距離比例縮小，可計算得到模型體受水平方向力量作用時的微小變形量。

2.我們假設適當的形狀安排應該可以用於建築物結構體的抗震，為了求證我們的想法，我們設計一組對照模型，第一個為棕色立體模型(圖 3-1)，擺設

工形柱子的正向(強邊)是與平面的短邊平行，第二個為白色立體模型(圖 3-2)，擺設工形柱子的正向(強邊)是與平面的長邊平行。

3.在相同材質、相同長度及相同斷面積的控制變因條件下，改變柱子方向並且施予相同水平載重條件，再比較水平變形量，就可得知柱子擺置方向對結構物水平支撐力的影響。



圖 3-1 棕色立體模型

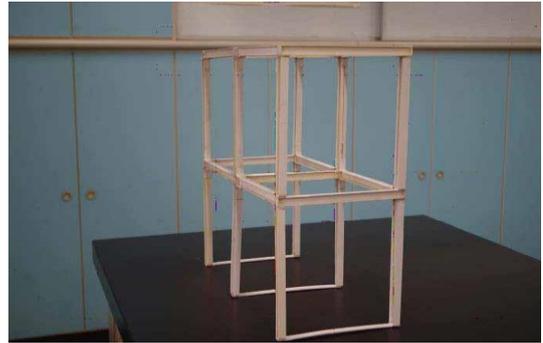


圖 3-2 白色立體模型

### 三、後期：電腦模擬驗證

#### (一)方法與過程

1.因為我們設計的棕色與白色立體模型，相較於實驗一至實驗三的模式體複雜許多，為求證我們的想法是否正確？以及我們製作的模型是否有什麼缺點？或有其他沒有考慮到的問題？於是我們拜訪了專業工程顧問公司，請技師指導我們，技師建議我們用電腦模擬程式驗證相關實驗數據。

2.研究期間發生了台南地震維冠大樓倒塌，造成一百多人死亡的事件，我們在網路上蒐尋相關資料，查到維冠大樓的平面設計圖(如圖 5)，建築物平面圖是一邊比較長，一邊比較短，似乎跟我們研究的形狀有強邊與弱邊問題很類似，而且維冠大樓也是往短的方向倒塌，與我們實驗三發現的結果：「弱邊的變形量比較大」很相似。

3.提出問題:

(1)維冠大樓的平面圖是否有強邊與弱邊的差別？我們的研究結果可以利用在建築物的抗震嗎？

(2)如果說有一座兩層樓的建築物模型，利用我們實驗的工字型斷面作為樑

- A: 1:1 刻度表
- B: 刻度表支撐
- C: 雷射筆旋轉軸距離刻度表 494.5cm
- D: 雷射光
- E: 雷射筆
- F: 雷射筆旋轉軸
- G: 雷射筆連動點與雷射筆旋轉軸距離 5.5cm
- I: 連動線及連動點
- J: 實驗模型體
- K: 砝碼吊掛籃
- M: 模型體支撐架

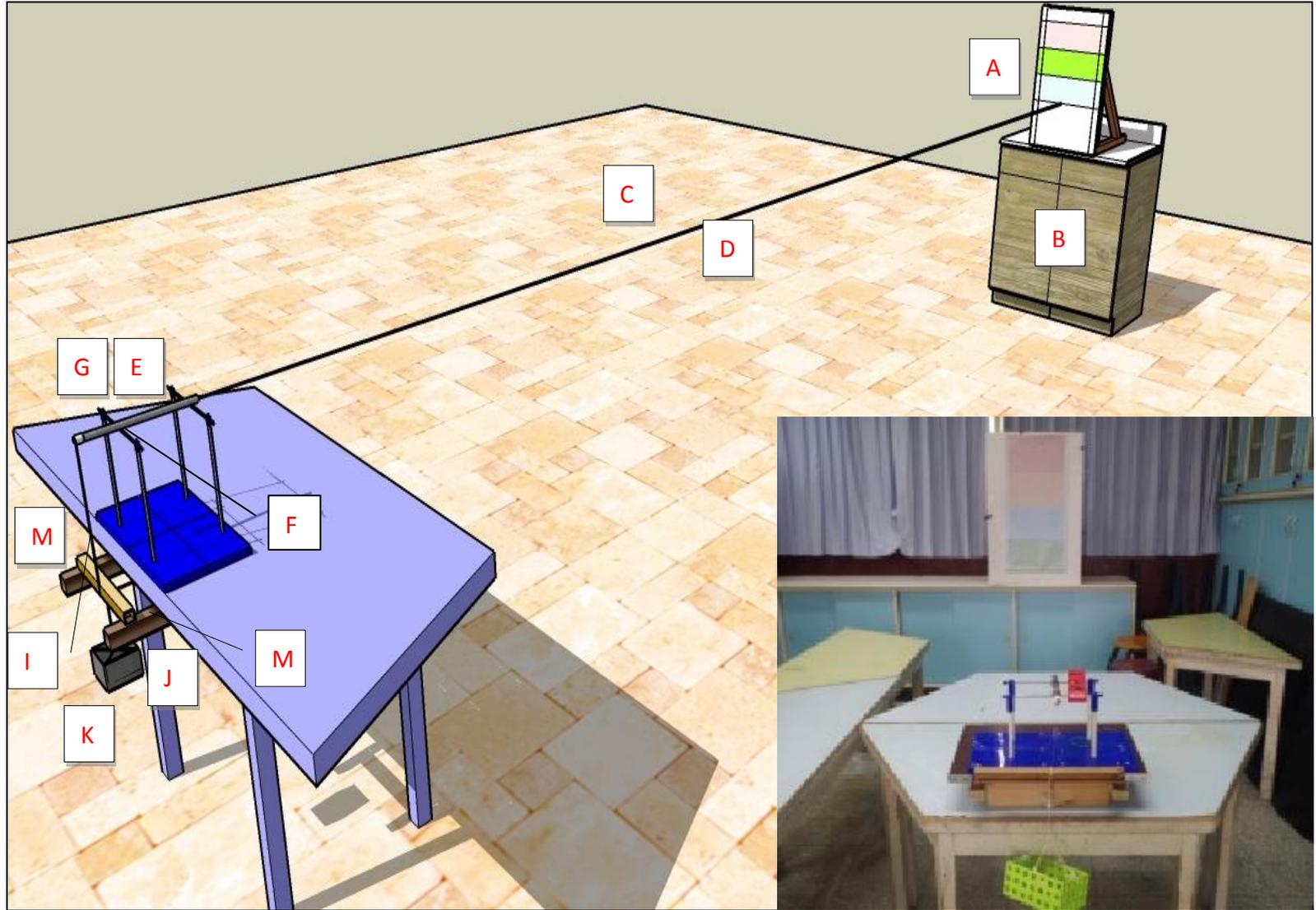


圖 4-1 垂直微小變形量測量裝置示意圖與實作照片

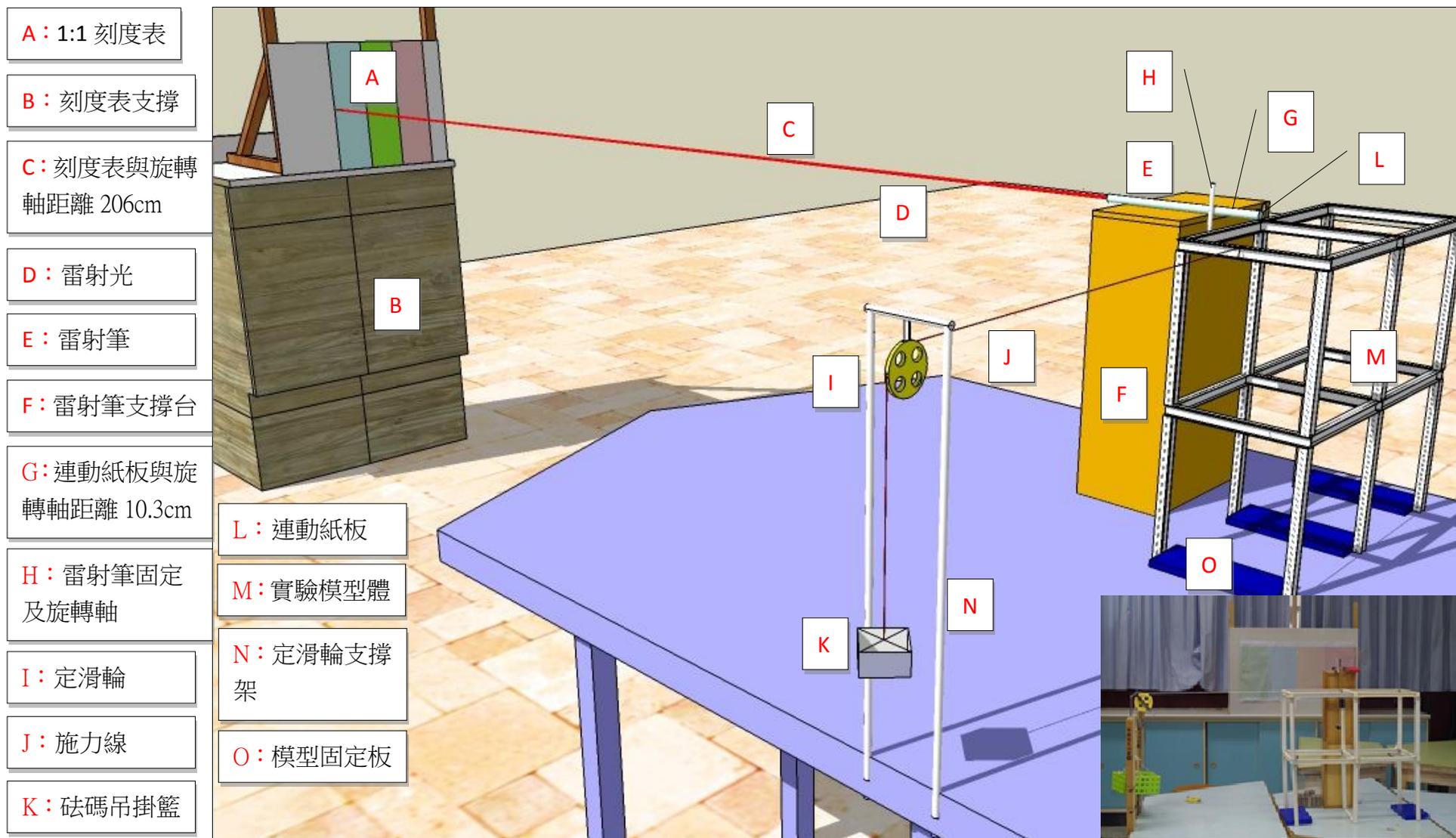


圖 4-2 水平微小變形量測量裝置示意圖與實作照片

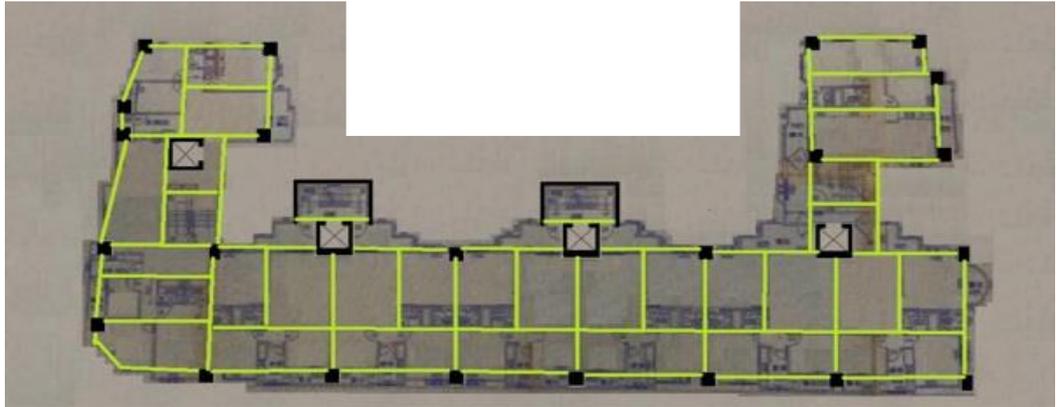


圖 5 維冠大樓標準層結構平面圖(擷取於網路)

與柱子，在它的建築模型面上距離相等的地方，各別設置了兩根與三根的工字型柱子，如果有強大的地震發生，房子會往那一個方向倒下呢？

(3)如果工型的柱子像我們的實驗一樣改變佈置方向，是不是也會改變建築物對於地震的抵抗強度呢？如何才可以把房子蓋得既堅固又省錢呢？

#### 4.請教結構物方面的專家學者：拜訪浩○工程顧問股份有限公司

我們將製作的兩個實驗模型，帶去請教專家來解答問題。學校安排我們拜訪位在大安區的浩○工程顧問股份有限公司，並安排國家考試及格的林○明技師幫我們解答問題。

以下是他的解說重點：

(1)利用立體模型實驗求證當然是最直接有效的研究方法，但是影響結構物的變形不僅僅只有形狀與



圖 6 拜訪浩○公司情況

方向兩個因素，我們製作的立體模型的接合點是否堅固？實驗時固定點是否牢固？都會影響實驗的準確性；另外力量部分也是以電腦模擬較接近自然地震情況。

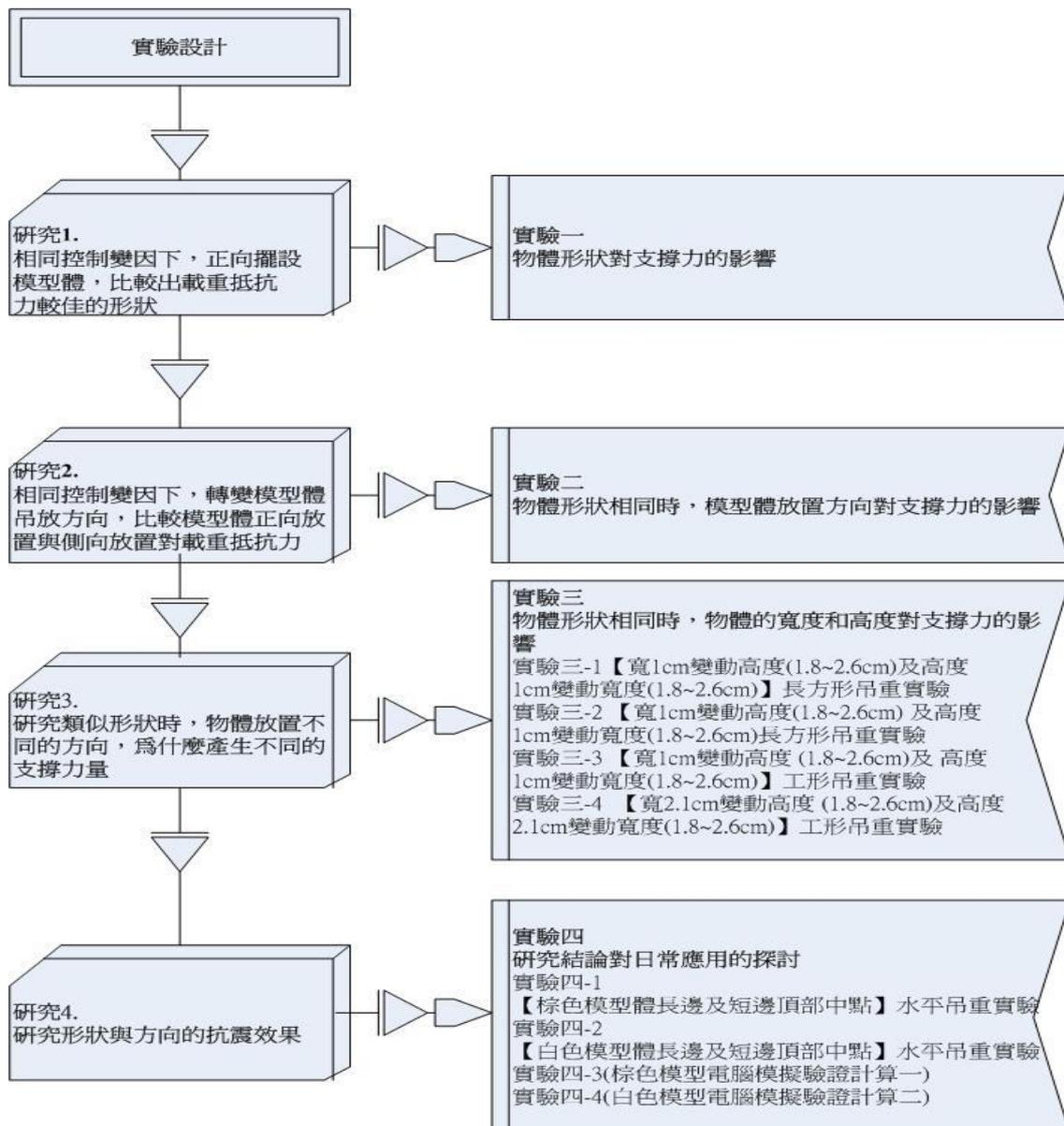
(2)現在的結構物的受力與變形，已經可以利用電腦分析計算，而且可以完全避開前面提到的問題，浩○公司有 Mida s Gen 結構物變形分析程式，因此林技師建議我們：利用電腦模擬作計算為實驗的驗證參考，他可協

助我們了解如何操作分析程式，林技師也可以幫我們作分析後相關數據與結果的解說。

(3)當地震來時，因為地震波是沿著地面傳送的，恰好與建築物的柱子成垂直關係，所以柱子在受地震作用的短時間中，除本身原有的承受重量外，還會有一短暫時間是類似樑的受力，變形情況很複雜，所以柱子對於結構物特別重要。

(4)組員同學 C 在假日時間到浩○公司，向林技師學習分析程式的操作與結果的解讀，實驗四的立體模型變形模擬驗證是同學 C 的學習成果。

### 三、實驗設計



#### 四、實驗步驟

##### (一)垂直變形測量步驟

- 1.製作相同長度(29cm)、相同材質(1mm 厚紙板)、相同斷面積( $0.84\text{cm}^2$ )的厚紙板模型體做為測試模型。
- 2.在實驗桌前方架設裝有雷射筆的變形測量裝置(圖 1-1 及照片)，雷射筆轉軸至連動軸距離為 5.5cm。
- 3.在架設有雷射筆的變形測量裝置前方 494.5cm 處架設刻度表架與刻度表。
- 4.調整連動線及雷射筆歸零後，掛設 3000gw 的砝碼於模型體中心處。
- 5.讀取刻度表數據，除以( $494.5/5.5$ )即可得到模型體中心處的變形量。
- 6.更換模型體，重覆(一)-2~(一)-5 步驟，並記錄。

##### (二)水平變形測量步驟

- 1.製作相同長度(46cm)相同寬度(21cm)、相同高度(45cm)、相同材質(0.1cm 厚紙板)、相同梁、柱斷面積( $0.52\text{cm}^2$ )，但是柱子方向不同的兩個厚紙板立體模型體(棕色與白色)做為對照測試模型。
- 2.利用定滑輪改變施力方向，並在實驗桌前方架設裝有雷射筆的變形測量裝置(圖 1-2 及照片)，雷射筆轉軸至連動軸距離為 10.3cm。
- 3.在架設有雷射筆的變形測量裝置前方 206cm 處架設刻度表架與刻度表。
- 4.調整連動線及雷射筆歸零後，掛設 500gw 的砝碼於模型體頂層中心處。
- 5.讀取刻度表數據，除以( $206/10.3$ )即可測得到模型體頂層中心處的變形量。
- 6.更換立體模型體及受力方向，重覆(二)-2~(二)-5 步驟，並記錄。

#### 五、操作步驟

- 1.校正實驗桌腳是否對齊地面的距離記號。
- 2.放置試驗模型體並掛設吊重籃在模型體中心處。
- 3.調整連動線處於緊繃狀態並且使雷射光刻度紙上歸零。
- 4.置入 3000gw 砝碼(或 500gw 砝碼)並記錄刻度紙上的變形量。

## 伍、研究結果

### 一、實驗一、物體形狀對支撐力的影響

(一)實驗模型體尺寸及斷面積計算整理如表 2。

表 2 各種形狀的設計尺寸及斷面積計算表

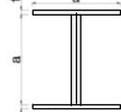
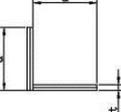
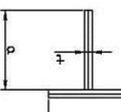
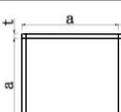
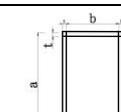
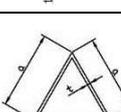
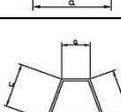
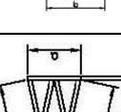
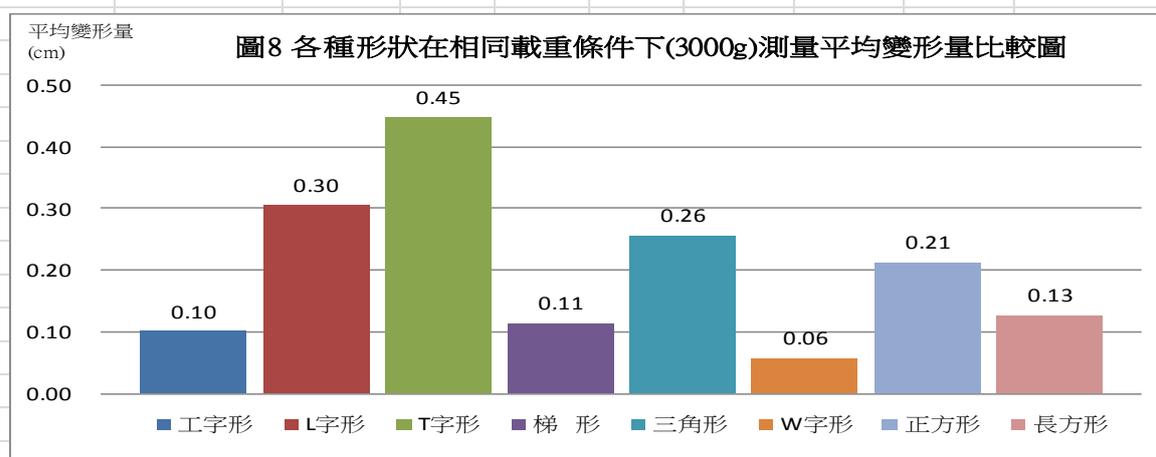
			a(cm)	b(cm)	c(cm)	t(cm)	斷面積(cm <sup>2</sup> )
工字型			2.1			0.1	0.84
L 字型			2.1	2.1		0.1	0.84
T 字型			2.1	2.1		0.1	0.84
正方形			2.1			0.1	0.84
長方形			2.8	1.4		0.1	0.84
正三 角形			2.8			0.1	0.84
梯形			1.4	2.8	2.1	0.1	0.84
W 字形			1.35			0.1	0.84



圖 7 厚紙板模型體製作及組合照片

(二)各種形狀在相同載重條件下(3000gw)變形測量及換算記錄如表 3。

形狀名稱	次數	變形量(cm)						平均	備註(特別現象)
		1	2	3	4	5	6		
工字形	正向	10.8	4.7	10.8	11.2	7.8	8.5		
	換算實際變形	0.12	0.05	0.12	0.12	0.09	0.09	0.10	
L字形	正向	27.1	26.4	22.9	33.6	32.2	22.3		形狀扭曲
	換算實際變形	0.30	0.29	0.25	0.37	0.36	0.25	0.30	
T字形	正向	37.2	47.5	38.7	45	32.4	模型壞掉		模型體凹陷
	換算實際變形	0.41	0.53	0.43	0.50	0.36		0.45	
梯 形	正向	9.3	5.6	5.9	8.4	11.8	20.5		
	換算實際變形	0.10	0.06	0.07	0.09	0.13	0.23	0.11	
三角形	正向	29	24.1	22.8	18.1	27.3	16.9		
	換算實際變形	0.32	0.27	0.25	0.20	0.30	0.19	0.26	
W字形	正向	5.3	4.5	2.8	4.6	7.8	6.2		
	換算實際變形	0.06	0.05	0.03	0.05	0.09	0.07	0.06	
正方形	正向	14.5	15.3	22.7	20.8	23.4	17.9		
	換算實際變形	0.16	0.17	0.25	0.23	0.26	0.20	0.21	
長方形	正向	17.7	5.4	11.3	17.4	10.8	5.7		
	換算實際變形	0.20	0.06	0.13	0.19	0.12	0.06	0.13	



## (二) 實驗結果

- 1.由表 3 及圖 8，可以看出模型體放置正向並吊掛 3000gw 載重時，以 W 形的平均變形量 0.06cm 最小，載重力最強。
- 2.其次是工形，六次實驗變形量平均是 0.10cm。
- 3.第三名的是梯形，變形量平均是 0.11cm。
- 4.變形量最大的是 T 形，平均變形量是 0.45cm，模型體在第六次吊掛時甚至出現凹陷而無法負荷載重。L 形模型體的變形量也很大，平均達 0.30cm，並

且模形體在實驗後產生扭曲現象。

## 二、實驗二、物體形狀相同時，模型體放置方向對支撐力的影響

(一)各種形狀轉換擺設方向後在相同載重條件下變形測量及換算記錄如表 4。

形狀名稱	方向	變形量(cm)						平均	備註(特別現象)
		1	2	3	4	5	6		
工字形	轉90度	29	34.9	24	25.2	26.3	33.2		
	換算實際變形	0.32	0.39	0.27	0.28	0.29	0.37	0.32	
L字形	側向擺放	44	28.3	31	30.9	36.7	36.1		
	換算實際變形	0.49	0.31	0.34	0.34	0.41	0.40	0.38	
T字形	側向擺放	49.5	53.7	53.9	53.8	50.9	模型壞掉		模型體凹陷
	換算實際變形	0.55	0.60	0.60	0.60	0.57		0.49	
梯 形	側向擺放	37.3	34.6	20.9	33.1	27	29.4		
	換算實際變形	0.41	0.38	0.23	0.37	0.30	0.33	0.34	
三角形	轉120度	25	28.5	24	29	19.3	16.2		
	換算實際變形	0.28	0.32	0.27	0.32	0.21	0.18	0.26	
W字形	側向擺放	12.3	13.3	14.7	20.2	16.3	10.4		
	換算實際變形	0.14	0.15	0.16	0.22	0.18	0.12	0.16	
正方形	轉90度	14	20.5	15.7	24	17.4	24		
	換算實際變形	0.16	0.23	0.17	0.27	0.19	0.27	0.21	
長方形	轉90度	22	24.7	16	22.1	30	14.7		
	換算實際變形	0.24	0.27	0.18	0.25	0.33	0.16	0.24	

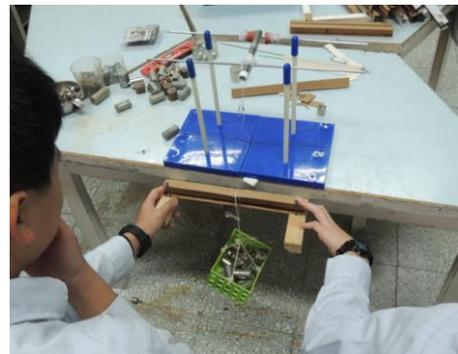
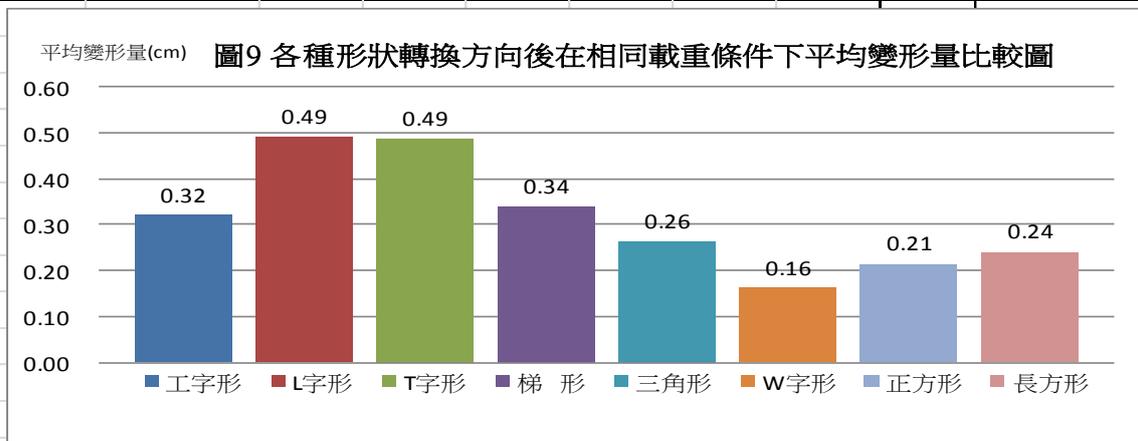


圖 10 吊重實驗照片

## (二)實驗結果

- 1.由表 4 及圖 9，可以看出各種模型體轉至側面擺放並吊掛 3000gw 載重時，仍以 W 形的變形量最小，實測平均變形量為 0.16cm，載重力仍是最強，但是與實驗一的 W 形模型體變形量 0.06cm 相比，變形量增加許多，由此可知：當 W 形模型體轉至側面擺放時，載重能力下降許多。
- 2.其次是正方形，六次的實驗平均變形量約 0.21cm，與實驗一的正方形模型體平均變形量 0.21cm 相比，模型體轉至側面擺放時，變形量差異不大；
- 3.再其次是長方形，六次的實驗平均變形量約 0.24cm，再與實驗一的長方形模型體平均變形量 0.13cm 相比，模型體轉至側面擺放時，變形量也同樣是增加許多。
- 4.除了正三角形與正方形因轉置方向後變形量仍然與實驗一相近，在實驗二部分差別不大外，比較實驗二其餘六種模型體的變形量都大於實驗一其餘六種模型體的變形量，顯示各種形狀都有明顯的強邊與弱邊的區別，強邊大多是形狀的長邊，弱邊大多是形狀的短邊。

## 三、實驗三、物體形狀相同時，物體的寬度和高度對支撐力的影響

### (一)實驗三-1【寬 1cm 變動高度(1.8~2.6cm)及高度 1cm 變動寬度(1.8~2.6cm)】長方形吊重實驗

- 1.實驗記錄整理如表 5、圖 10 及表 6、圖 11。
- 2.實驗結果
  - (1)由表 5 和圖 10 可以看出：同一組長方形模型體，將模型體 1.8~2.6cm 的一側擺設為高度，1cm 的一側擺設為寬度，且變形量固定在放大後 5cm 時，可以看出模型體由 1.8cm 每隔 0.2cm 增加到 2.6cm，高度越高所需的重量也越大，當高度增加到 2.6cm 時，平均最大載重可達 3090gw，因此得知：將模型體加高，對模型體的載重能力是有明顯的提升效果。
  - (2)由表 6 和圖 11 可以看出：同一組長方形模型體，將模型體 1cm 的一側擺設為高度，1.8~2.6cm 的一側擺設為寬度，變形量固定在放大後 5cm 時，當

寬度由 1.8cm 每隔 0.2cm 增加到 2.6cm 時，寬度越寬所需的量也越大，但當寬度增加到 2.6cm 時，平均最大載重卻僅有 1825gw，因此得知：將模型體加寬，對模型體的載重能力也是有提升效果，但效果不如加高。

表5 長方形寬1cm變動高度(1.8~2.6cm)吊重實驗記錄表

		寬度	高度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均	
長方形	正向	1	1.8	1000	2000	1400	1500	1500	650	2200	1800	1000	800	1385	
長方形	正向	1	2	1500	2100	1900	1500	2200	2200	2200	2200	1100	1400	1830	
長方形	正向	1	2.2	1500	2200	2200	2100	2400	2200	2400	2700	2000	2000	2170	
長方形	正向	1	2.4	2000	2200	2500	2200	2400	2400	2400	3400	2100	2200	2380	
長方形	正向	1	2.6	3400	3500	3200	3000	2600	2800	2500	3500	3400	3000	3090	
單位：公克				固定變形量:放大後50mm											

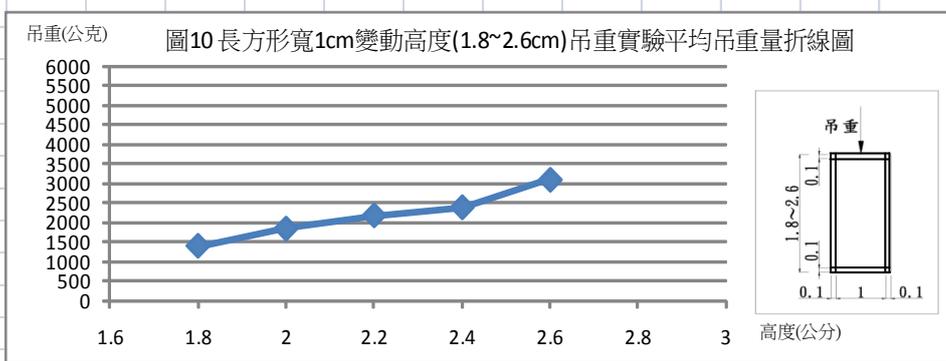
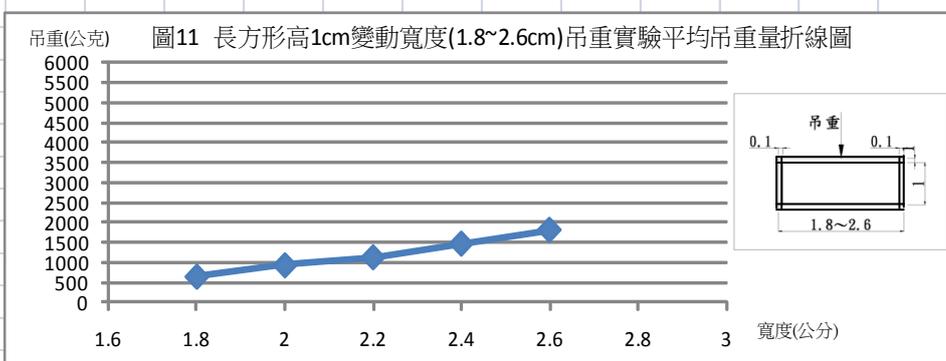


表6 長方形高度1cm變動寬度(1.8~2.6cm)吊重實驗記錄表

		寬度	高度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均	
長方形	轉90度	1.8	1	450	500	600	250	650	700	650	450	1300	1000	655	
長方形	轉90度	2	1	550	550	650	1100	800	1000	850	1300	1400	1200	940	
長方形	轉90度	2.2	1	550	700	800	1200	800	1300	1650	1400	1800	1200	1140	
長方形	轉90度	2.4	1	1000	1050	1000	1600	1250	1700	2200	1800	1800	1400	1480	
長方形	轉90度	2.6	1	1500	1100	1100	2050	1700	2200	2400	2400	1900	1900	1825	
單位：公克				固定變形量:放大後5cm											

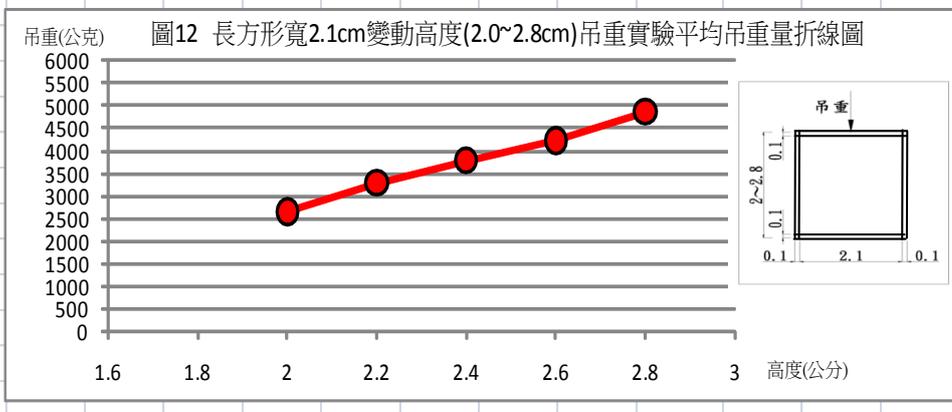


(3)同時比較圖 10 和圖 11，圖 10 重量對高度的增加率(斜率)明顯大於圖 11 重量對寬度的增加率(斜率)，代表強邊與弱邊對支撐力的差異很大。

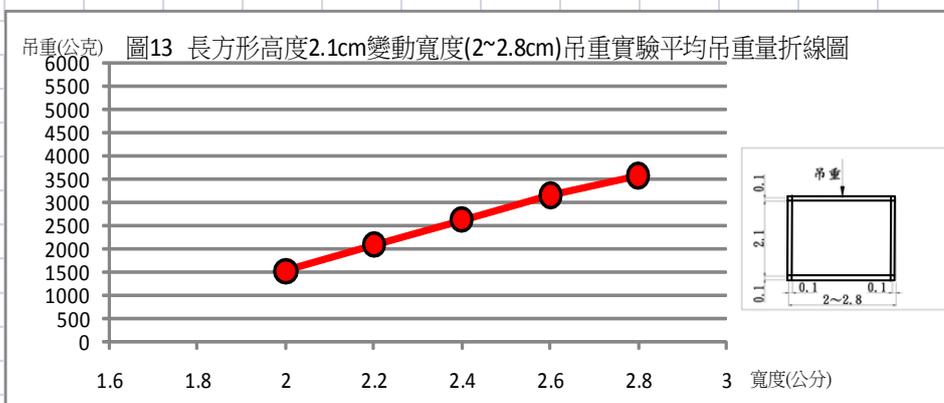
(二)實驗三-2【寬 1cm 變動高度(1.8~2.6cm)及高度 1cm 變動寬度(1.8~2.6cm)】長方形吊重實驗

1.實驗紀錄整理如表 7、圖 12 及表 8、圖 13。

		寬度	高度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
長方形	正向	2.1	2	3000	2400	2000	1500	2000	3800	4000	3000	2400	2500	2660
長方形	正向	2.1	2.2	3200	3000	2200	2250	2800	4200	4500	4450	3300	3000	3290
長方形	正向	2.1	2.4	3800	4200	2900	2900	2800	4300	4550	4550	4500	3300	3780
長方形	正向	2.1	2.6	4100	4400	4050	3400	3100	4550	4700	5400	4550	4050	4230
長方形	正向	2.1	2.8	4550	4550	4550	4550	4550	4600	6000	5800	4900	4550	4860
單位：公克				固定變形量:放大後5cm										



		寬度	高度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
長方形	轉90度	2	2.1	1100	1800	800	2000	1000	1400	1300	2800	1000	2000	1520
長方形	轉90度	2.2	2.1	1400	2500	1300	2900	1200	2300	1500	3200	2000	2500	2080
長方形	轉90度	2.4	2.1	3200	2600	1900	3000	3600	2400	1700	3300	2000	2500	2620
長方形	轉90度	2.6	2.1	3900	2800	3700	3400	4000	3000	2600	3400	2000	2600	3140
長方形	轉90度	2.8	2.1	4200	3200	4100	3800	4400	3500	3000	3800	2600	3100	3570
單位：公克				固定變形量:放大後5cm										



## 2.實驗結果

(1)由表 7 和圖 12 可以看出：同一組長方形模型體，將模型體 2~2.8cm 的一側擺設為高度，2.1cm 的一側擺設為寬度，且變形量固定在放大後 5cm 時，可以看出模型體由 2cm 每隔 0.2cm 增加到 2.8cm 時，高度越高所需的重量也越大，當高度增加到 2.8cm 時，平均最大載重可達 4860gw，因此得知：**將模型體加高，對模型體的載重能力是有明顯的提升效果。**

(2)由表 8 和圖 13 可以看出：同一組長方形模型體，將模型體 2.1cm 的一側擺設為高度，2~2.8cm 的一側擺設為寬度，當寬度由 2cm 每隔 0.2cm 增加到 2.8cm 時，變形量仍固定在放大後 5cm 時，寬度越寬高所需的重量也越大，但當寬度增加到 2.8cm 時，平均最大載重卻僅有 3140gw，因此得知：**將模型體加寬，對模型體的載重能力也是有提升效果，但效果不如加高。**

(3)同時比較圖 12 和圖 13，圖 12 重量對高度的增加率(斜率)約與圖 13 重量對寬度的增加率(斜率)相當，**代表強邊與弱邊對支撐力的差異不大。**

### (三)實驗三-3【寬 1cm 變動高度(1.8~2.6cm)及高度 1cm 變動寬度(1.8~2.6cm)】工形吊重實驗

1.實驗紀錄整理如表 9、圖 14 及表 10、圖 15。

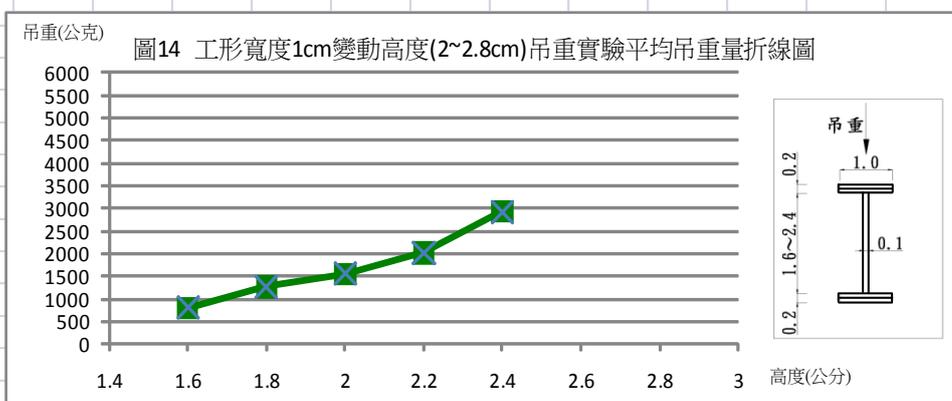
#### 2.實驗結果

(1)由表 9 和圖 14 可以看出：同一組工形模型體，將模型體 1.6~2.4cm 的一側擺設為高度，1cm 的一側擺設為寬度且變形量固定在放大後 50mm 時，可以看出模型體由 1.6cm 每隔 0.2cm 增加到 2.4cm 時，變形量固定在 50mm 時，高度越高所需的重量也越大，當高度增加到 2.4cm 時，平均最大載重可達 2930gw 左右，因此得知：**模型體加高，對模型體的載重能力是有明顯的提升效果。**

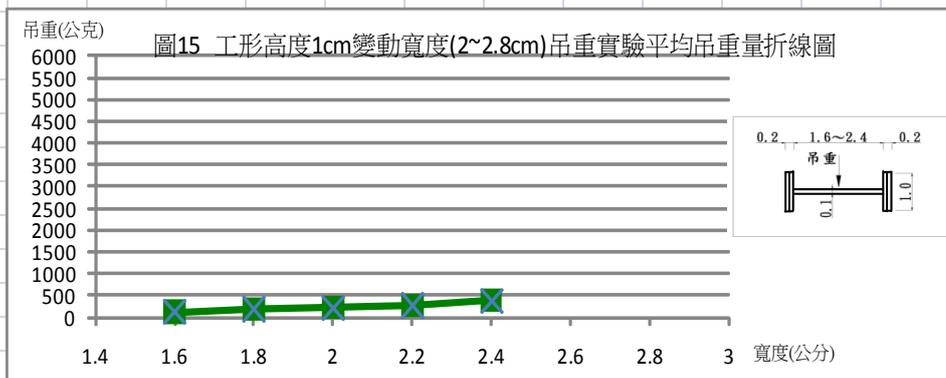
(2)由表 10 和圖 15 可以看出：同一組工形模型體，將模型體 1cm 的一側擺設為高度，1.6~2.4cm 的一側擺設為寬度，當寬度由 1.6cm 每隔 0.2cm 增

加到 2.4cm 時，變形量仍固定在放大後 5cm 時，寬度越寬高所需的重量也越大，但當寬度增加到 2.4cm 時，平均最大載重卻僅有 381gw 左右，得知：模型體加寬，對模型體的載重能力也是有提升效果，但效果不如加高明顯。

		寬度	高度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
工形	正向	1	1.6	1000	500	1500	300	800	950	700	1100	600	600	805
工形	正向	1	1.8	2200	1500	2200	700	900	1200	800	1400	800	1000	1270
工形	正向	1	2	2300	1800	2400	1000	2000	1500	800	1800	800	1200	1560
工形	正向	1	2.2	2800	2600	3100	1200	2600	1800	1400	1800	1200	1700	2020
工形	正向	1	2.4	3900	3400	3400	4000	3800	2100	1400	1900	1800	3600	2930
單位：公克				固定變形量:放大後5cm										



		寬度	高度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
工形	轉90度	1.6	1	30	130	100	150	80	150	220	100	150	120	123
工形	轉90度	1.8	1	140	160	120	160	100	350	250	190	180	160	181
工形	轉90度	2	1	150	170	170	170	140	400	300	200	240	210	215
工形	轉90度	2.2	1	230	220	220	180	160	550	400	240	260	220	268
工形	轉90度	2.4	1	450	350	310	200	160	700	400	250	690	300	381
單位：公克				固定變形量:放大後5cm										



(3)同時比較圖 14 和圖 15，圖 14 重量對高度的增加率(斜率)明顯高於圖 15

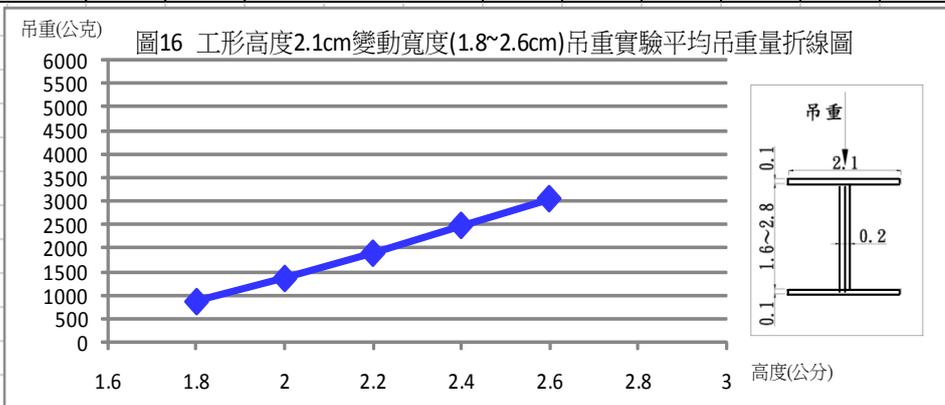
重量對寬度的增加率(斜率)，代表強邊與弱邊對支撐力的差異很大。

(四)實驗三-4【寬 2.1cm 變動高度(1.8~2.6cm)及高度 2.1cm 變動寬度(1.8~2.6cm)】

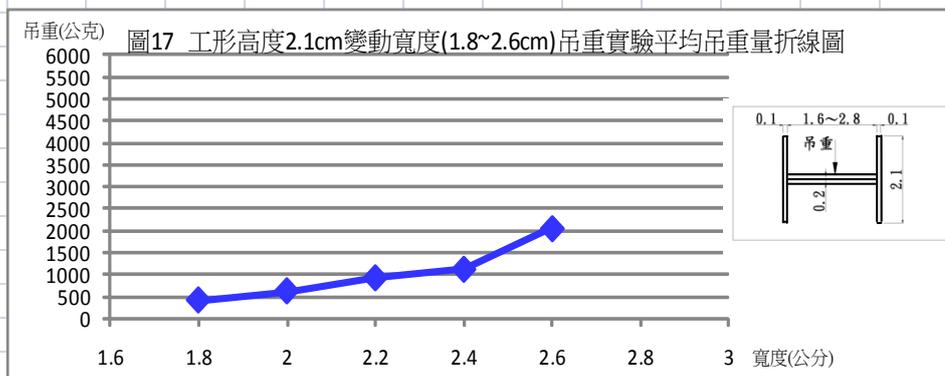
### 工形吊重實驗

1.實驗紀錄整理如表 11、圖 16 及表 12、圖 17。

		寬度	高度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
工形	正向	2.1	1.8	300	200	400	300	100	600	2400	1500	800	2100	870
工形	正向	2.1	2	800	1000	400	400	1200	800	2700	2400	1400	2500	1360
工形	正向	2.1	2.2	1050	1200	800	900	1800	1600	3400	2600	2700	2900	1895
工形	正向	2.1	2.4	1200	2000	1640	2200	2200	2400	3600	3000	3400	3200	2484
工形	正向	2.1	2.6	2500	3700	2500	2500	2500	2900	3600	3500	3500	3300	3050
單位：公克				固定變形量:放大後5cm										



		寬度	高度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
工形	轉90度	1.8	2.1	100	300	200	300	350	600	800	400	600	500	415
工形	轉90度	2	2.1	800	450	200	500	550	800	800	600	800	750	625
工形	轉90度	2.2	2.1	950	850	750	1000	1100	800	800	1000	1000	1000	925
工形	轉90度	2.4	2.1	1400	1000	850	1100	1250	1200	1100	1000	1000	1300	1120
工形	轉90度	2.6	2.1	2300	2000	1800	2450	2500	2100	1600	2000	1600	2200	2055
單位：公克				固定變形量:放大後5cm										



## 2.實驗結果

- (1)由表 11 和圖 16 可以看出：同一組工形模型體，將模型體 1.8~2.6cm 的一側擺設為高度，2.1cm 的一側擺設為寬度，且變形量固定在放大後 5cm 時，可以看出模型體由 1.8cm 每隔 0.2cm 增加到 2.6cm 時，高度越高所需的重量也越大，當高度增加到 2.4cm 時，平均最大載重可達 3050gw 左右，得知：**模型體加高，對模型體的載重能力是有明顯的提升效果。**
- (2)由表 12 和圖 17 可以看出：同一組工形模型體，將模型體 2.1cm 的一側擺設為高度，1.8~2.6cm 的一側擺設為寬度，當寬度由 1.8cm 每隔 0.2cm 增加到 2.6cm 時，變形量仍固定在放大後 5cm 時，寬度越寬高所需的重量也越大，但當寬度增加到 2.6cm 時，平均最大載重卻僅有 2055gw 左右，得知：**模型體加寬，對模型體的載重能力也是有提升效果，但效果不如加高明顯。**
- (3)同時比較圖 16 和圖 17，圖 16 重量對高度的增加率(斜率)明顯高於圖 17 重量對寬度的增加率(斜率)，**代表強邊與弱邊對支撐力的差異不大。**

## 四、實驗四、研究結論對日常應用的探討

### (一)實驗四-1【棕色立體模型長邊及短邊頂部中點】水平吊重實驗

- 1.在長度 46cm、寬度 21cm、高度 45cm、材質 0.1cm 厚紙板、樑與柱斷面  $0.52\text{cm}^2$ ，在棕色立體模型短邊頂部中點施加 500 gw 的水平力(模擬水平地震力)，測量頂部中點的水平變形量。
- 2.將立體模型水平轉向 90 度，在棕色立體模型長邊頂部中點施加 500 gw 的水平力(模擬水平地震力)，測量頂部中點的水平變形量。
- 3.實驗結果：實驗紀錄整理如表 13 第一列及第二列、圖 18。

### (二)實驗四-2【白色模型體長邊頂部中點及短邊頂部中點】水平吊重實驗

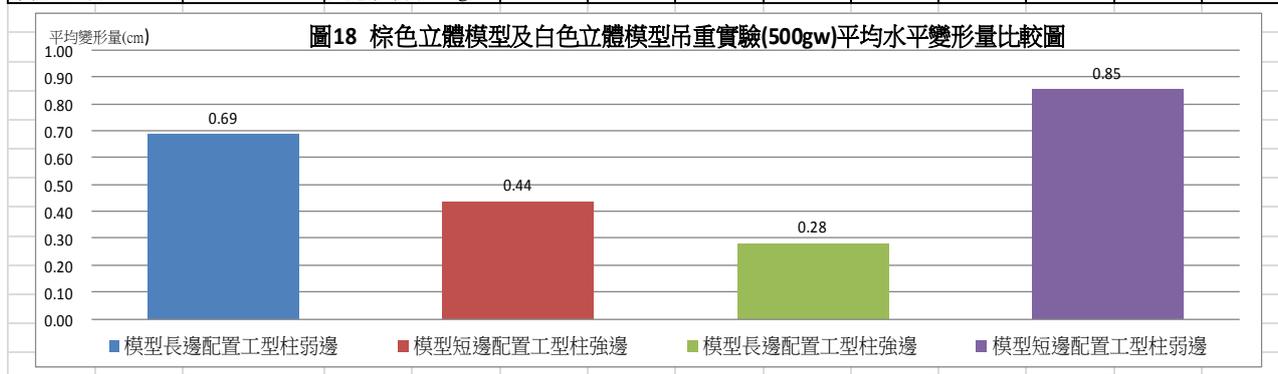
- 1.在長度 46cm、寬度 21cm、高度 45cm、材質 0.1cm 厚紙板、樑與柱斷面  $0.52\text{cm}^2$ ，在白色立體模型短邊頂部中點施加 500 gw 的水平力(模擬水平地震力)，測量頂部中點的水平變形量。

2.將立體模型水平轉向 90 度，在白色立體模型長邊頂部中點施加 500 gw 的水平力(模擬水平地震力)，測量頂部中點的水平變形量。

3.實驗結果：實驗記錄整理如表 13 第三列及第四列、圖 18。

表13 棕色立體模型及白色立體模型吊重實驗(500gw)水平變形量記錄表

立體模型與工型柱的配置	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次	平均
棕色模型 模型長邊配置工型柱弱邊	13.9	14.2	13.7	14.6	13.4	14.1	14.5	14.3	10.9	13.6	13.72
換算實際變形量	0.695	0.71	0.685	0.73	0.67	0.705	0.725	0.715	0.545	0.68	0.69
棕色模型 模型短邊配置工型柱強邊	8.9	9.20	8.5	8.6	8.4	8.2	9.5	8.7	8.6	8.4	8.7
換算實際變形量	0.445	0.46	0.425	0.43	0.42	0.41	0.475	0.435	0.43	0.42	0.44
白色模型 模型長邊配置工型柱強邊	4.9	4.2	7.2	7	6.7	5	3.2	6.9	5.8	5.4	5.63
換算實際變形量	0.245	0.21	0.36	0.35	0.335	0.25	0.16	0.345	0.29	0.27	0.28
白色模型 模型短邊配置工型柱弱邊	18.5	14.8	17.1	18.4	16.4	20.3	17.4	16.4	15.1	16.1	17.05
換算實際變形量	0.93	0.74	0.86	0.92	0.82	1.02	0.87	0.82	0.76	0.81	0.85
單位：公分	固定水平力:500g										



為瞭解立體模型實驗的準確性，組員 C 以電腦程式計算驗證立體模型實驗與實際建築物的差異性。

### (三)實驗四-3(棕色模型電腦模擬驗證計算一)

電腦模擬演算工型柱支撐的厚紙板立體模型，在兩種不同放置方向的情況下，受側向力(模擬地震力)的影響。

1.輸入模型條件：輸入工形柱的強邊與平面的弱邊(短向)平行、斷面性質、節點與桿件編號等

2.輸入模擬外力條件：

(1)模擬計算 1：16 號節點輸入水平力 500gw

(2)模擬計算 2：18 號節點輸入水平力 500gw

(3)模擬計算 3：17-18 號節點輸入水平均佈力 100gw



### (四)實驗四-4(白色模型電腦模擬驗證計算二)

1.輸入模型條件:輸入工型柱的強邊與平面的強邊(長向)平行、斷面性質、節點與桿件編號等



2.輸入模型條件:

(1)模擬計算:16 號節點輸入水平力 500gw

(2)模擬計算 2:18 號節點輸入水平力 500gw

(3)模擬計算 3:17-18 號節點輸入水平均佈力 100gw

(五)實驗四-3(棕色)與實驗四-4(白色)電腦模擬驗證演算結果整理如表 14。

表 14 電腦模擬驗證計算模型一(棕色模型)與模型二(白色模型)成果比較表			
	模型一(棕色立體模型):工形柱的強邊與平面的弱邊平行		模型二(白色立體模型):工形柱的強邊與平面的強邊平行
照片			
輸入的電腦模型	輸入模型的節點與元件編號、柱腳的固定條件 		輸入模型的節點與元件編號、柱腳的固定條件 
驗證計算 1	模型的 16 號節點輸入水平力 500gw, 計算得 20 號節點的變形量 0.457cm, 		模型的 16 號節點輸入水平力 500gw, 計算得 20 號節點的變形量 0.221cm 
驗證計算 2	模型的 18 號節點輸入水平力 500gw, 計算得 18 號節點的變形量 0.224cm。 		模型的 18 號節點輸入水平力 500gw, 計算得 18 號節點的變形量 0.467cm。 
驗證計算 3	模型的 17-19 號節點輸入水平均佈力 100gw, 計算得 18 號節點的變形量 1.522cm, 		模型的 17-19 號節點輸入水平均佈力 100gw, 計算得 18 號節點的變形量 3.591cm, 

## (六)結果

1.整理立體模型水平吊重實驗及電腦模擬驗證計算的水平變形量如表 15。

表 15 立體模型水平吊重實驗與電腦模擬驗證計算成果比較表

	棕色模型長邊配置工型柱弱邊	棕色模型短邊配置工型柱強邊	白色模型長邊配置工型柱強邊	白色模型短邊配置工型柱弱邊
實驗平均變形量	0.69cm	0.43cm	0.28cm	0.85cm
電腦驗證	0.457cm	0.224cm	0.221cm	0.467cm

2.比較表 15 數值知：由立體模型水平吊重實驗測得的變形量，與電腦模擬驗證計算所得的變形量並不一樣，但是整體變形趨勢卻很類似，就是：白色立體模型兩種方向的水平變形量，無論實測或是電腦計算都是最大與最小，棕色立體模型兩種方向的水平變形量，無論實測或是電腦計算，都是介於白色立體模型的水平變形量之間。

3.白色立體模型的長邊配置工型柱強邊受水平力作用時，無論實測或是電腦計算，變形量都是最小，代表這樣的形狀配置對水平力的抵抗力最好，白色立體模型的短邊配置工型柱弱邊受水平力作用時，無論實測或是電腦計算，變形量都是最大，代表這樣的形狀配置對水平力的抵抗力最差。



圖 19 組員同學 C 學習電腦程式操作照片

4.棕色立體模型的長邊配置

工型柱弱邊，或是棕色立

體模型的短邊配置工型柱強邊受水平力作用時，無論實測或是電腦計算，變形量都介於白色立體模型的變形量之間，代表這樣的形狀配置對水平力的抵抗力差異性較小，強弱差異性較小。

5.以電腦模擬水平均佈地震力，比較棕色立體模型與白色立體模型的模擬計算 3 可以知道：棕色立體模型變形量(頂部中點變形量 1.522cm)比白色立體模型變形量(頂部中點變形量 3.591cm)小，所以棕色立體模型弱邊抵抗水平作用力的能力比白色立體模型弱邊好。

- 6.綜合以上比較可以知道：工形柱子的方向與建築物水平面強、弱邊的相互安排，對於建築物抵抗水平作用力(地震力)的能力很重要。
- 7.由我們研讀的地震資料可以知道，人類到現在仍無法預測地震的大小與方向，所以建築物應該避免有明顯的強、弱邊，以免萬一地震方向與建築物弱邊方向相近時，容易造成建築物損壞。
- 8.實驗四的實驗及驗證演算也可以知道：適當的安排柱子的形狀與方向，是有助於建築物抵抗來自各方向的地震力，但是在金錢上的花費卻不多，是經濟、省力的抗震方法。

## 陸、討論

### 討論一

在我們實驗的過程中發現 L 型模型體在做吊重實驗時，模型體容易發生傾倒現象；T 型模型體容易發生扭曲現象，而且兩種形狀的吊重能力比其他形狀差很多，應該是 L 型與 T 型不常被使用的原因。

### 討論二

在我們實驗的過程中發現：W 型模型體在做吊重實驗時，吊重能力比其他形狀強，但日常生活卻很少見，我們向製作鋼構件的鋼鐵廠詢問原因時，鋼鐵廠告訴我們：W 型製作比較困難，而且不容易與其他形狀配合，所以很少使用。

### 討論三

本研究共設計八種形狀作為題材，最後在實驗三部分只研究工形及長方形，原因是：

- 1.從實驗二中發現正方形與正三角形轉為側向後，形狀仍與正向相同，因此這兩種形狀不列入實驗三研究範圍。
- 2.T 形與 L 形 與其他形狀比較，變形量較大，也發生模型體損毀情況，所以這兩種形狀也不列入實驗三研究範圍。
- 3.W 形及梯形的加高或加寬，我們也做了相似的模型體來研究，但是實際實

驗時發現：W 形及梯形側向擺放時，施力方向無法與上下的平行面保持平行，而且容易翻轉，也發現這兩種形狀側向擺放時，高度與寬度無法依照每 0.2cm 增加，所以這兩種形狀也不列入實驗三研究範圍。

#### 討論四

從實驗 3-1 到實驗 3-4 的折線圖可以發現：長寬比值在 2 左右的模型體，重量對高度的增加率(斜率)，比長寬比值在 1 左右的模型體，重量對寬度的增加率(斜率)的差異性更大，顯示長、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。

#### 討論五

在我們實驗的過程中發現：雖然各次的實驗趨勢都很類似，但是實驗數據的差異性還是很明顯，這可能與我們的操作經驗不足、每位組員的判讀習慣與自製測量設備的精確度有關，也是我們須要檢討改善的地方。

## 柒、結論

### 一、形狀對支撐力的影響

在相同材料、相同長度、相同斷面積的控制變因條件下，對各種形狀正向施於相同載重時，測得 W 型、工形及長方形模型體變形量最小，依虎克定律知：**W 型、工形及長方形模型體受力作用時，支撐力量較其他形狀為佳。**

### 二、方向對支撐力的影響

觀察相同形狀時，將測試模型體的放置方向更動為側向，再施於相同載重時，會發生不同於正向的變形量，所以**模型體的放置方向與受到力量的方向會影響整體結構物的強度。**

### 三、物體的寬度和高度對支撐力的影響

在相同材料、相同長度、類似形狀時，改變模型體的寬度與高度，會對模型體的支撐力量的產生影響，依我們的實驗數據顯示，**增加與力量平行方向的模型體尺寸，可以有效提高模型體的支撐力量；另一方面，增加與力量垂直方**

向模型體的尺寸，也有提高模型體支撐力量的效果，但效果比較差。

#### 四、研究結論對日常應用的探討

從網路查詢維冠大樓倒塌事件的相關資料讓我們知道：影響結構物支撐力的原因很多，而且有許多原因是我們小學生無法理解的；但是從日常的觀察與經驗可以知道：只要是固體物質，就會有體積與形狀的存在，所以「**形狀**」雖然不是影響結構物支撐力的唯一原因，**但一定是影響結構物支撐力的原因之一**。再從我們的研究結果可以知道：只要不是正多邊形就會有強邊與弱邊的不同，所以**適當的安排「形狀」可以用於改變結構物支撐力，或是抵抗地震力**。

**利用樑或柱形狀的強邊(通長是長邊)與弱邊(通長是短邊)，適當搭配建築物的建築物平面的強邊(通長是長邊)與弱邊(通長是短邊)，避免將樑或柱形狀的弱邊配置在建築物平面的弱邊，而造成整棟建築物的弱面，可以有效提高建築物的抗震能力，而且是非常省錢、省力的作法。**

#### 捌、參考資料及其他

1. 東尼·德·索羅斯(2012)·神奇酷科學 11-無所不在的力·台北市：小天下。
2. 阿妮塔加奈利(2014)·神奇酷地理 5 -翻天覆地的地震·台北市：小天下。
3. 沈載圭(2010)·資優科普王-力的作用·台北縣：美藝學苑社。
4. 朴姪雄(2010)·資優科普王-火山和地震·台北縣：美藝學苑社。
5. 鄭暢勳(2014)·撼動天地的力·台中市：晨星。
6. 岡本舜三(2009)·地震工程學·國立台灣大學工學院地震工程研究中心
7. Beer and Johnston Jr. (1985)·毛迪(1987)譯述 Mechanics of Materials 材料力學·台北市：乾泰。
8. 中華民國結構工程學會(2003)·鋼結構設計手冊·台北市：科技圖書。
9. 簡單機械 <http://w3.hyps.tp.edu.tw/~hy134/B1.htm>
10. 國立科學工藝博物館網站：撼天動地地震科學探索  
[http://www3.nstm.gov.tw/earthquake/A\\_3.htm](http://www3.nstm.gov.tw/earthquake/A_3.htm)

## 【評語】 080103

1. 此作品為實用科學，透過樑柱不同形狀瞭解抗彎變形的問題。
2. 能自製儀器架設，分析形變的問題，具有量化實用價值。