

# 中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科(一)

032817

**抗震結構 468**

學校名稱：花蓮縣波斯頓國際實驗教育機構(代碼錯誤不使用)

作者：  國一 王唯安  國一 黃聖昊  國一 陳佳恩	指導老師：  張廷宏  蔡博宇
---	-----------------------------

關鍵詞：多邊形、結構、抗震

# 作品名稱

抗震結構 468

## 摘要

用保麗龍為材料，建立同樣乘載面積的正四角柱、正六角柱以及正八角柱，以拉扯頂部測量各施力時的位移程度，並以樑對樑和角對角的兩種施力方向施於兩模型上，釋放時的晃動做為模擬地震時房屋的搖晃，實驗記錄拉扯釋放後至模型平衡不晃動的時間、晃動的緩衝幅度，以及觀測在哪一施力程度或實施的第幾次造成模型的結構損壞，用於檢測結構的耐震、耐久度。

## 壹、前言

### 一、研究動機

在偶然的機遇下看見路邊的蜂窩，並且觀察其整齊且規則的六角形，便聯想到近期的地震話題。我們所處的國家—臺灣，地處環太平洋火山帶，有著歐亞板塊以及菲律賓海板塊的擠壓，造就了鬼斧神工的高山、峽谷，但同時也帶來不可迴避的代價，地殼活動頻繁，多地震，且規模較大的地震也不在少數，而對我們最有印象的莫過於 2022 年的 918 臺東強震，房屋倒塌、橋樑斷裂或是火車出軌…等災情發生，而當時也造成桃園八德國民運動中心的天花板塌落，更讓我們得知地震來臨時，不只是震央附近，全臺各地都該做好防震的準備，並要對大自然抱持敬畏的心，且要好好瞭解我們的生活。

「危險的是『建築』，而不是地震！」倘若未來在臺灣經常發生或發生過強烈地震地區的房屋抗震能力更加優秀，對於抗震就會有極大的幫助，不只是減少損失，更能拯救許多寶貴的性命，因此我們想做這個研究去證實蜂窩的六角形結構或是更多邊的八角形，是否會比傳統房屋的四角結構來得更加堅固，而在建築物上是否能成為較好的抗震結構，那麼應用於建築之後就能有效減少傷亡，是以此事件成為本研究的研究動機。

## 二、研究目的

- (一) 建立正四角、正六角、正八角結構模型
- (二) 尋找模擬地震的方式並檢測各結構的抗震能力
- (三) 探討實驗數據與各結構對於抗震的關係
- (四) 探討何種抗震結構的抗震能力較好

## 三、文獻回顧

### (一) 環太平洋火山地震帶（Ring of Fire）的地理特性

環太平洋火山地震帶是全球分佈最廣、地震最多的地震帶，所釋放的能量約佔全球的四分之三。環太平洋地震帶分佈在太平洋周圍，包括南北美洲太平洋沿岸和從阿留申群島、堪察加半島、日本列島南下至我國台灣，再經菲律賓群島轉向東南，直到紐西蘭。

環太平洋火山地震帶是三大地震帶之一。三大地震帶分別是歐亞地震帶、海嶺地震帶和環太平洋火山地震帶。環太平洋火山地震帶全長四萬公里，有 452 座火山，範圍橫跨太平洋邊緣，有時也被稱為「環火帶」。世界上約 80% 的淺層地震（震源深度小於 70 公里、90% 的中層地震（震源深度介於 70 公里和 300 公里之間和幾乎所有的深層地震（震源深度大於 300 公里）都發生在這個地震帶上。環太平洋火山地震帶是由板塊的移動與碰撞。台灣位於環太平洋火山地震帶，地震繁多，也會出現一些具有破壞力的大地震，所以房屋的耐震度對位於環太平洋火山地震帶上的國家很重要。

### (二) 四角形結構（Quadrilatera Architecture）、六角形結構（Hexagonal Architecture）與八角形結構（Octagon Architecture）的特性和耐震度的差別

不規則的形狀，不僅耐震度差，消耗材料需要運用的很多。

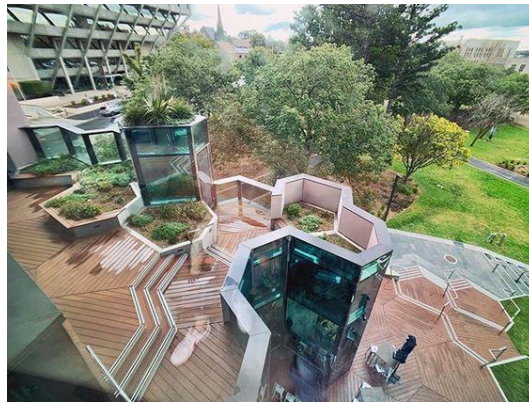
馮致文（2013）指出，正六角形的建築可以對來自各方面的搖晃都有抵禦。而六角形建築物層出不窮，如圖一日本福島的榮螺堂，以及圖二得過澳洲最佳建築獎的吉隆圖書館與遺產中心；甚至在藝術視角上也是時常使用的結構，整齊劃一且能夠作為堆疊使用。

圖一、日本福島—榮螺堂



註：取自福島自由行：榮螺堂 進入奇特六角形螺旋塔建築，  
會津若松景點，斑比，2019

圖二、吉隆圖書館與遺產中心



註：取自 Instagram：Geelong Library and Heritage Centre，  
poca88，2019

賴加翌（2018）指出，六角型為最有效率的形狀，正六角形結構除了節省材料、容積最大以外，以力學角度來看，它的結構各方受力大小均等，結構最緻密。

鋪磚的工人有許多的選擇，包括三角形、正方形、五角形、六角形、七角形、八角形等等，只有三角形、正方形和六角形可以鋪滿一個平面而不留下空間，以上這三種選擇裡，如果以一百平方公分的面積來算，三角形磁磚的周長是四十五公分，正方形的磁磚周長是四十公分，六角形磁磚的周長是三十七公分。也就是說，六角形是最有效率的正多邊形。

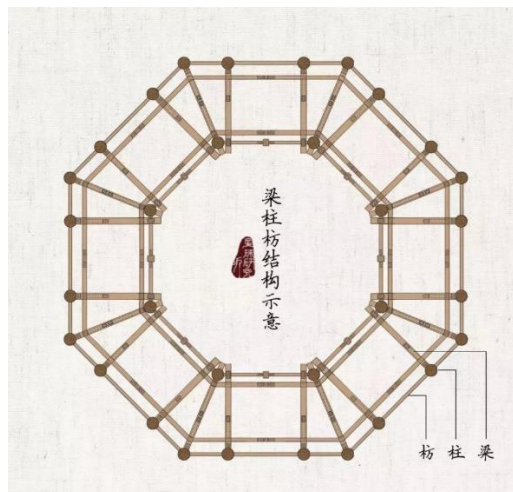
中文百科指出，八角形對於生活的套用還有建築結構以及正八角形孔蜂窩樑。八角形建築如圖三應縣木塔，距今 1000 多年，高達 65.84 米，是現存最高的木結構古建，抵禦 40 餘次地震，堪稱「中國第一木塔」，其結構形式為類八角形的斗拱，如圖四。

圖三、應縣木塔



註：取自世界最高最古老的木結構建築，你了解多少？，壹讀，2018

圖四、斗拱



註：取自世界最高最古老的木結構建築，你了解多少？，壹讀，2018

正八角形在大家印象中，莫過於八卦，在許多道教的祠廟也常使用八卦以及正八角形結構，如圖五。

圖五、祠廟天花板



註：取自周易八卦圖解（帶你了解八卦），每日頭條，2017

古希臘數學家就證明出以下兩點：（1）所有周長固定的  $N$  邊形，以正  $N$  邊形的面積最大，而且  $N$  越大面積就越大。（2）當周長固定時，圓的面積大於所有正多邊形。所以我們知道在相同面積的所有幾何形狀中，圓形的周長最短。但圓形無法鋪滿一塊地。（賴加翌，2018）

### （三）建築結構與耐震程度的關係

越高的房子越容易倒塌，如要設計出可運用在都市更新的房子，必須考慮房子的材料、形狀和構造，這些都和房子的耐震有巨大的關聯。在都市更新的運用上，除了考慮耐震的問題外還要考慮房屋的創新。經過科學研究指出，六角型不管在耐震度上或是材料的節省。都是最優秀的多邊形，地震越來越頻繁和物價通膨的時代，這種結構可以在建築、工程等領域中被廣泛使用，因為它具有許多優點。

台灣位於環太平洋地震帶上，結構以鋼筋及混凝土作為建築材料較適合台灣的建築，也是台灣業界最純熟的技術工法，適合於興建 15 樓以下的中低層建築。

在工程業界有一句名言：「地震本身不會殺人，但建築物會。」地震發生時，有高達 90%以上的人士由於建築物倒塌而喪失生命。因此，為了民眾的生命和財產安全，建築物的抗震性能未來應面臨更謹慎的評估。(FAM, 2020)

抗震結構可以採用主體框架即柱子、房樑、牆體的強度和硬度來抵禦地震，較高的房子也可以設計阻尼裝置吸收地震能量其中。目前有一種柱中柱結構，它可以加強柱子強度。在地震時，倒塌的房屋主要是因樑柱斷裂，所以加強柱子可以讓房屋更耐震。調配水泥的磅數也可以讓房屋更堅固。連棟的房屋也更堅固，「就好比一捆筷子比起一支筷子更難折斷。」

以參考文獻為輔，設計一個以樑、柱或面的模型，一個以正方形為底面、一則以正六角形為底面，最後一個以正八角形為底面；並且設計能夠達到模擬地震的方式，研究如何建模、三種模型受模擬地震時的不同影響。

## 貳、 研究設備及器材

- 一、建立模型：保麗龍、尺、保麗龍膠、保麗龍切割器、1 號電池、竹籤、紙板
- 二、地震模擬：彈簧秤、捲尺、碼表、相機、鐵尺

## 參、 研究過程或方法

### 一、研究過程

- (一) 提問：蜂窩六角或多邊形是否能夠較傳統四角來得抗震？
- (二) 探討：正四角形結構、正六角形結構與正八角形結構
- (三) 建立模型—材料選用、切割注意事項、黏合注意事項
- (四) 建立模型—唔談表：詢問模型尺寸如何建立。計算乘載面積與撓度
- (五) 設立地震模擬方法：耐震能力與減震能力
- (六) 實驗、紀錄、探討
- (七) 得出結論



## 二、研究方法

本研究再探討地震對正方形結構、正六角型結構以及正八角形結構的影響，希望能透過此研究探討最適合耐震的房屋結構。

### (一) 研究對象

本研究的晤談對象為結構技師，藉由專業人士訪談，瞭解更多與建築結構和房屋抗震的相關知識，並運用到本研究的設計中。

本研究以正方形結構、正六角形結構以及正八角形結構為研究對象，每種結構使用相同乘載面積、撓度以及高度，作為本研究的控制變因。

### (二) 研究設計

建立柱體模型，且模型的乘載面積以及撓度皆要相同。乘載面積為柱的水平總面積，且柱截面皆為正方形，頂面積與底面積相同，且三種模型的底面積也相同；撓度為樑的應力。確保乘載面積以及撓度相同之下，結構的強度才能再做實驗相比。

外邊長 =  $r$ ，正六角形面積 =  $\frac{3\sqrt{3}}{2}r^2$ ，正八角形面積 =  $(2 + 2\sqrt{2})r^2$

$$\text{撓度，又稱勁度} = \frac{EI}{L} = \frac{Ebh^3}{12L}$$

$E$ ：楊氏係數

$$I：\text{慣性矩} = \frac{1}{12}bh^3$$

$L$ ：跨度（樑的長度）

$b$ ：樑的寬度

$h$ ：樑的高度

### (三) 實驗設計

本研究以不同建築結構為樣本進行研究，比較三種建築結構經彈簧秤測量各施力以及位移公分數後，再經過手拉的位移量之後釋放，並測量釋放置平衡不動的平衡時間，各施力位移量施作 5 次，最後將各數據平均。



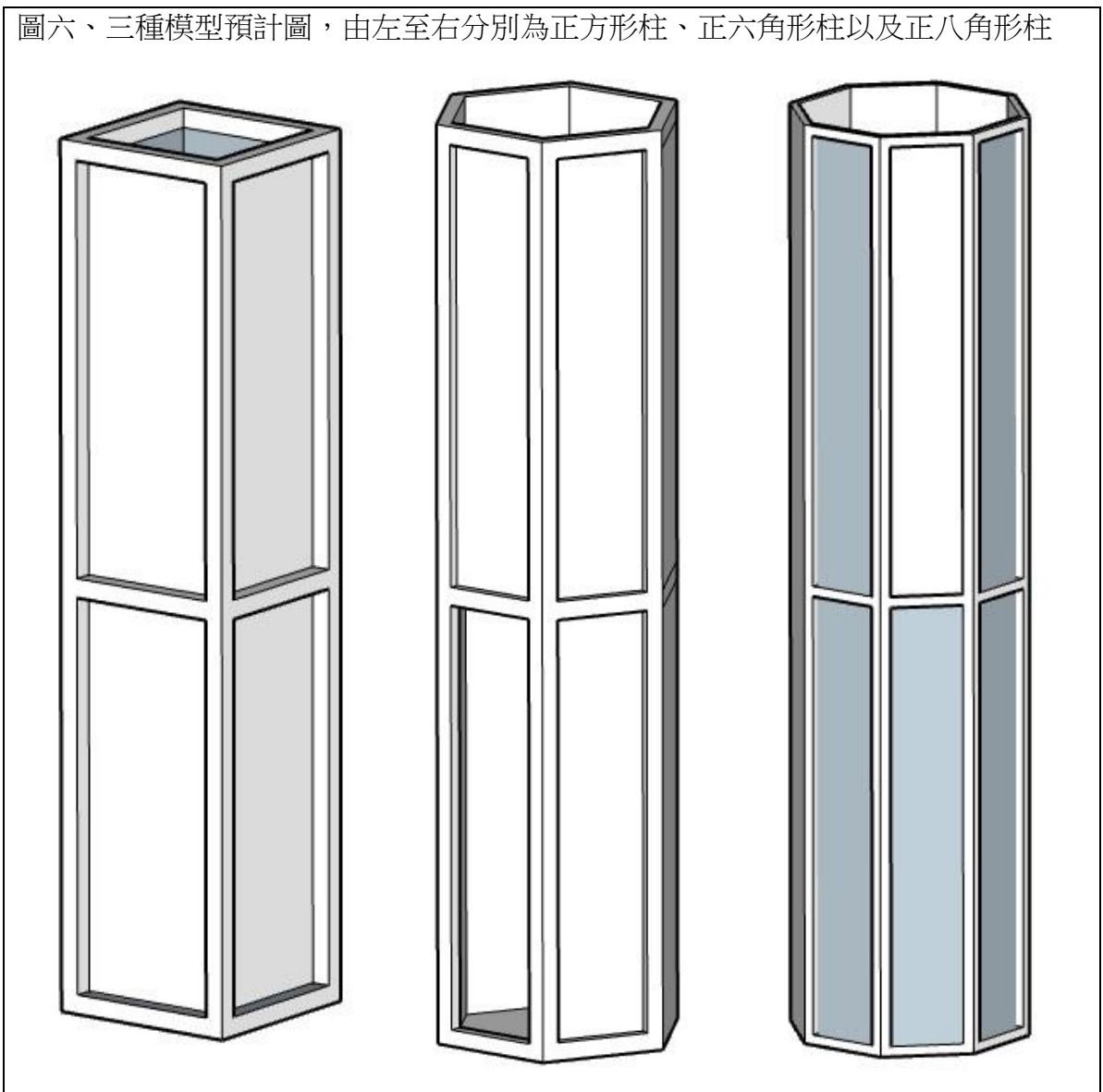
並以結構的樑往樑方向施力，以及結構的角往角方向施力，因此一共有三種模型、兩種施力方向，因此一共各有兩個模型。

## 肆、 研究結果

### 一、建立模型

預計模型為樑、柱組合，建立高度相同，且水平面的總乘載面積相同的正方形、正六角形和正八角型的頂面、中層、底面三層；總柱面乘載面積也相同的柱；撓度相同的樑，如圖六。

圖六、三種模型預計圖，由左至右分別為正方形柱、正六角形柱以及正八角形柱



### (一) 柱子寬度

設定柱子總乘載面積為  $16\text{cm}^2$

	正方形柱	正六角形柱	正八角形柱
柱子寬度 (cm)	2.00	$\approx 1.63$	$\approx 1.41$

表一、各模型的柱子寬度

### (二) 外邊邊長

設定底面總乘載面積為  $400\text{cm}^2$

	正方形柱	正六角形柱	正八角形柱
外邊邊長 (cm)	20.00	$\approx 12.41$	$\approx 9.10$

表二、各模型的水平面外邊邊長

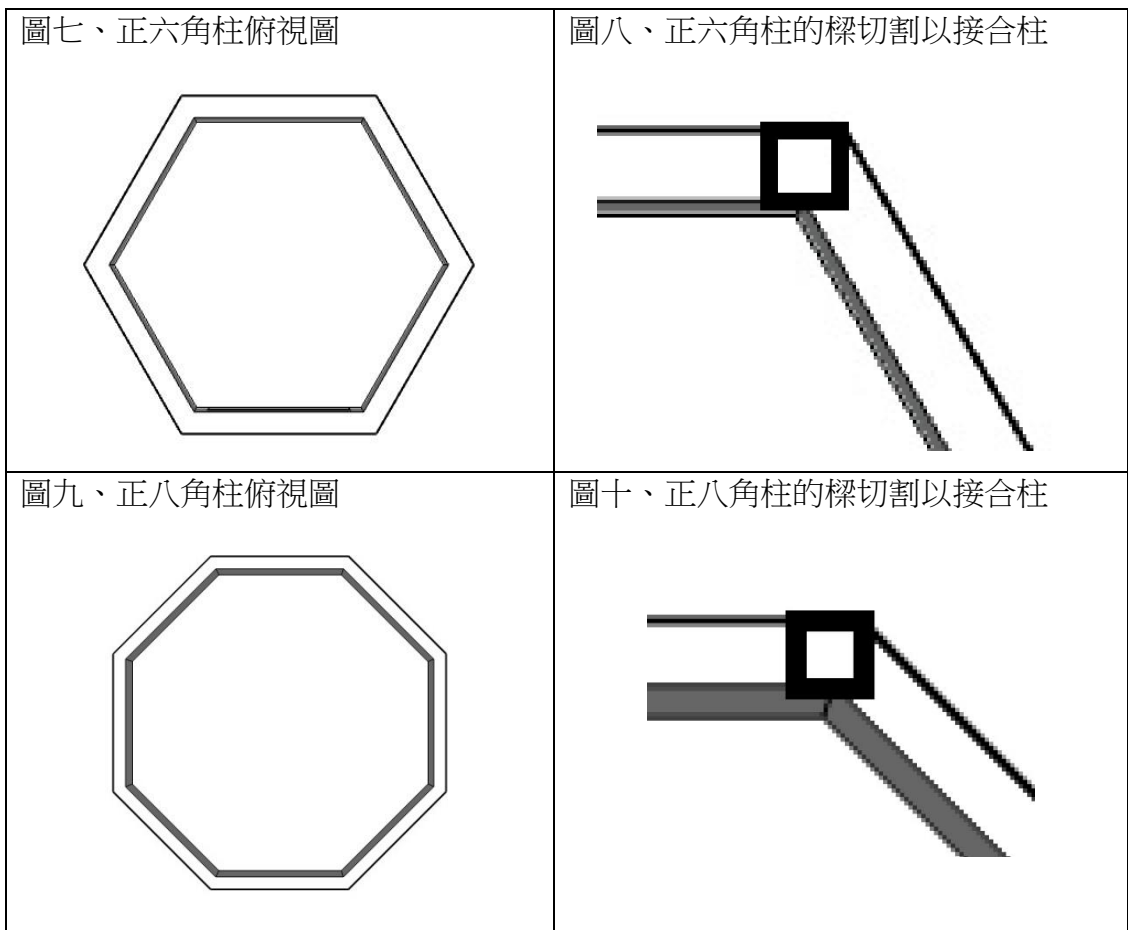
### (三) 樑高度

	正方形柱	正六角形柱	正八角形柱
樑高度 (cm)	2.00	$\approx 1.83$	$\approx 1.92$

表三、各模型的樑高度

### (四) 正六角形與正八角形組裝問題與解決方案

因正六角形與正八角形的內角不等於  $90^\circ$ ，因此在組裝上需要在做切割，正六角柱的樑要切留  $30^\circ$  角  $1.63\text{cm}$  再轉  $90^\circ$  角去接合柱，如下圖六與圖七；正八角柱的樑要切留  $45^\circ$  角  $1.41\text{cm}$  再轉  $90^\circ$  角去接合柱，如下圖八與圖九。



(五) 保麗龍膠黏合問題與解決方案

為確保每個黏合面的保麗龍膠均為相等厚度，因此在塗抹保麗龍膠之後，以竹籤側邊刮拾多餘的部分。

二、實驗數據

(一) 樑對樑

結構	50gw		100gw		150gw		200gw		250gw	
	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數
正方形	2.0	5.32	5.0	5.54	9.1	5.99	14.2	5.10	X	
正六角形	3.1	5.24	6.6	5.60	12.4	4.56	21.2	4.10	X	
正八角形	2.7	3.78	5.9	3.99	8.4	4.90	13.4	5.47	19.1	4.76

表四、各結構模型樑對樑應力的位移公分數及平衡秒數

(二) 角對角

結構	50gw		100gw		150gw		200gw		250gw	
	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數
正方形	4.0	4.25	6.7	4.42	12.8	3.43	16.0	454	X	
正六角形	3.3	4.82	6.7	5.66	10.3	5.86	18.0	4.70	X	
正八角形	2.3	6.47	4.9	5.90	7.7	542	10.9	4.71	20.1	4.24

表五、各結構模型角對角應力的位移公分數及平衡秒數

(三) 破損斷面位置

大部分的結構都是在柱上發生破損，唯四角樑對樑的破損斷面出現在樑上，圖解由上往下為施力方向：

1. 四角結構：

- (1) 樑對樑的破損斷面位於中層的樑，距接合面約 0.2cm 處，實際圖如圖十一，圖解如圖十二。
- (2) 角對角的破損斷面位於右下柱，約 2.4cm 高，實際圖如圖十三，圖解如圖十四。

2. 六角結構：

- (1) 樑對樑的破損斷面位於右柱，約 16.8cm 高；右下柱，約 22.1cm 高；左下柱，約 18.6cm 高，實際圖如圖十五，圖解如圖十六。
- (2) 角對角的破損斷面位於左上柱，約 2.0cm 高；上柱，約 2.0cm 高；右上柱，約 2.0cm 高；右下柱，約 2.5cm 高，實際圖如圖十七，圖解如圖十八。

3. 八角結構：

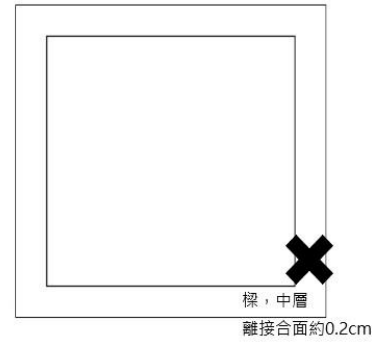
- (1) 樑對樑的破損斷面位於右下柱，約 21.8cm 處，實際圖如圖十九，圖解如圖二十。
- (2) 角對角的破損斷面位於左下柱，約 21.2cm 高；下柱，約 18.7cm 高；右

下柱，約 15.9cm 高，實際圖如圖二十一，圖解如圖二十二。

圖十一、四角樑對樑實際斷面



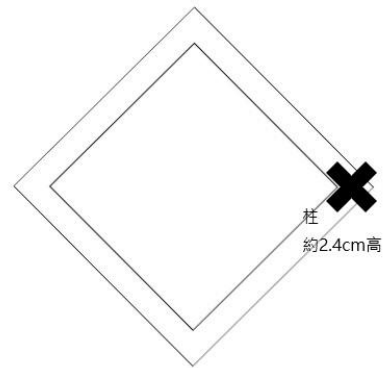
圖十二、四角樑對樑圖解斷面



圖十三、四角角對角實際斷面



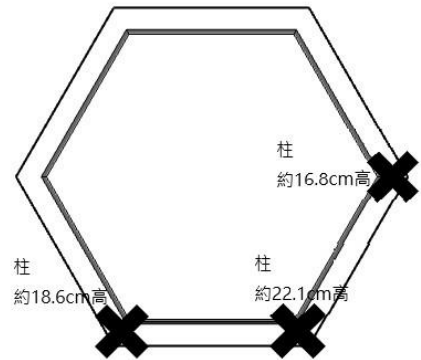
圖十四、四角角對角圖解斷面



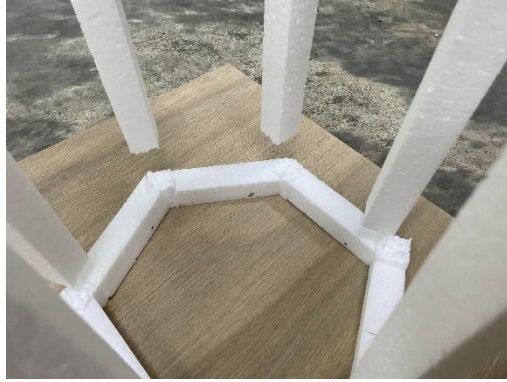
圖十五、六角樑對樑實際斷面



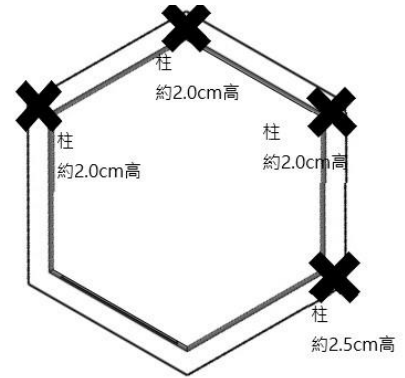
圖十六、六角樑對樑圖解斷面



圖十七、六角角對角實際斷面



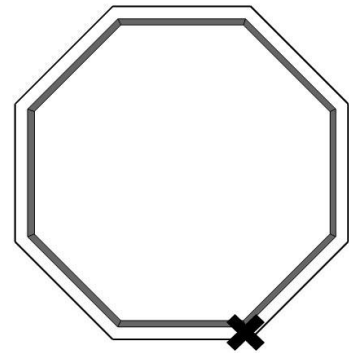
圖十八、六角角對角圖解斷面



圖十九、八角樑對樑實際斷面



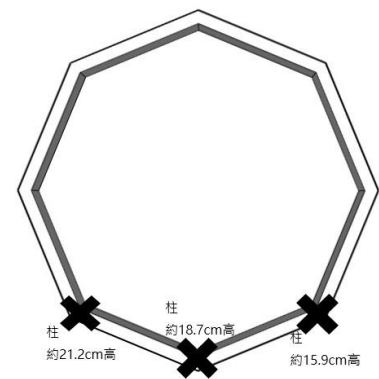
圖二十、八角樑對樑圖解斷面



圖二十一、八角角對角實際斷面



圖二十二、八角角對角圖解斷面



減震能力：或避震，主要的作用為吸收和過濾震動；可由時間長短來相比減震能力。

耐震能力：受應力的強度以及耐久度多寡；可由應力多寡亦即拉扯水平位移量，以及搖晃次數相比受應力的強度，並由實驗自 50gw 拉扯 5 次，並向上增加 50gw 至 100gw 拉扯 5 次，重複實驗至破壞前的施作次數相比耐久度。

## 伍、 討論

### (一) 建立正四角、正六角、正八角結構模型

為了探討結構性，需將其他變因控制住，並且以樑、柱為本體，去除掉牆壁、天花板或地板，好用以實質實驗三種模型的結構抗震或抗壓能力。

與結構技師唔談後，得知需將三種結構模型建立相等的總乘載面積，以及底面或頂面的總面積也要計算，因此柱面的總和要相等，外徑邊長所劃之底面或頂面總面積也要彼此相等；以及樑的撓度（或稱勁度）需要套用公式並且也是彼此相等。以數據為基礎，設立正方形柱的柱寬、柱高、樑高以及樑長之後，便可將其他兩者的結構尺寸得出。

為確保用保麗龍切割器能切出完整的切面，以紙板為輔助折成「 $\square$ 」字型，再行切割；並確保於樑、柱黏合時，每一個面所使用的保麗龍膠量有相等厚度，便使用牙籤的側邊，將多餘的保麗龍膠去除，

### (二) 尋找模擬地震的方法並檢測各結構的抗震能力

以一定限度內具有彈性且相對脆弱的材料製成模型，利用拉動公分數作為地震時的第一時間相對位移量，且依序增加力道使得位移公分數增加。

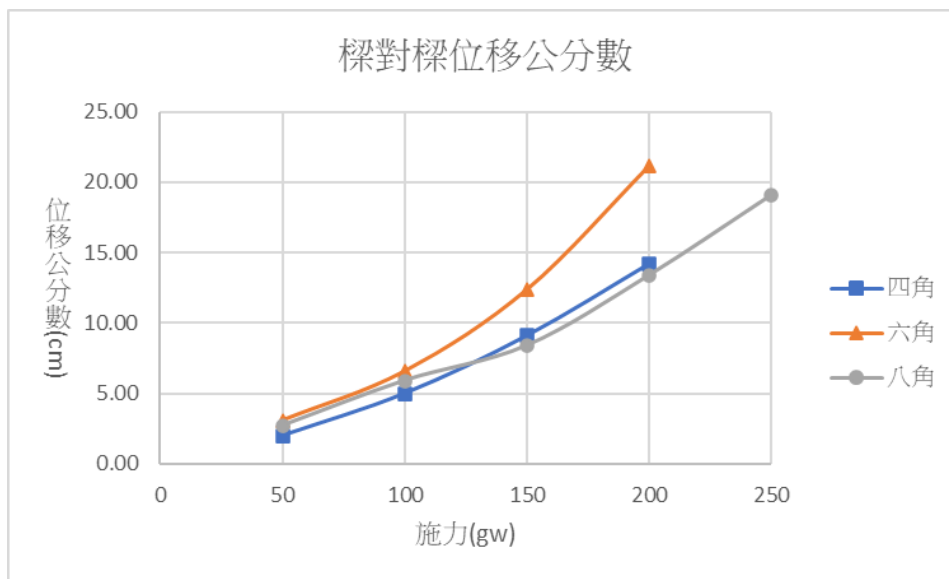
測量自搖晃至平衡時間秒數作為結構上減震能力，增加力道以及施作次數至破損作為結構上耐震能力。



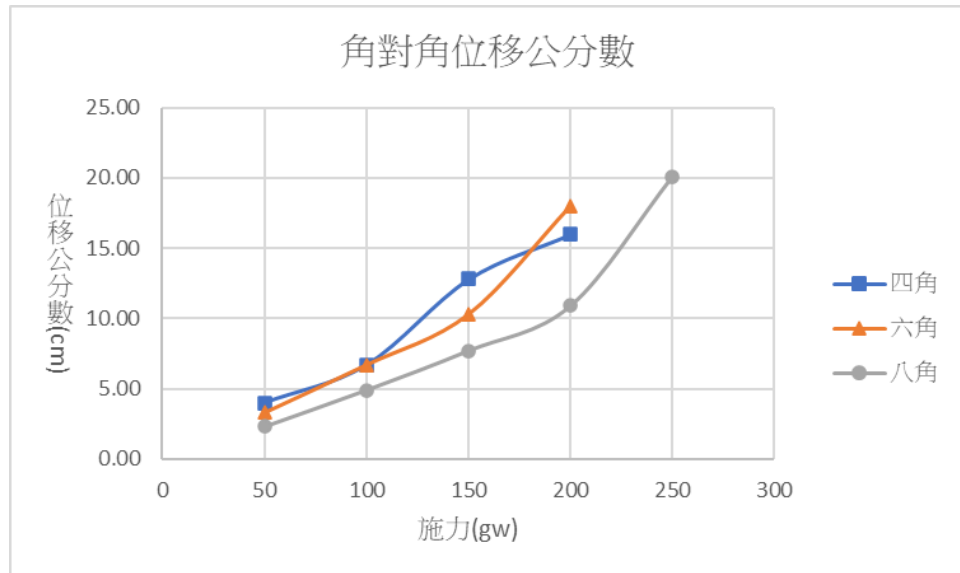
### (三) 探討實驗數據與各結構對於抗震的關係

#### 1. 應力與位移公分數關係

在樑對樑的應力上的位移公分數當中，正六角形柱的位移長度最長，而正方形柱與正八角形柱在施力約莫 125gw 有一個交界點，判別可能正六角的兩個柱子與樑角度，比起正方形和正八角形兩個具有一平行施力的邊，因此正六角的位移公分在樑對樑上都較長。

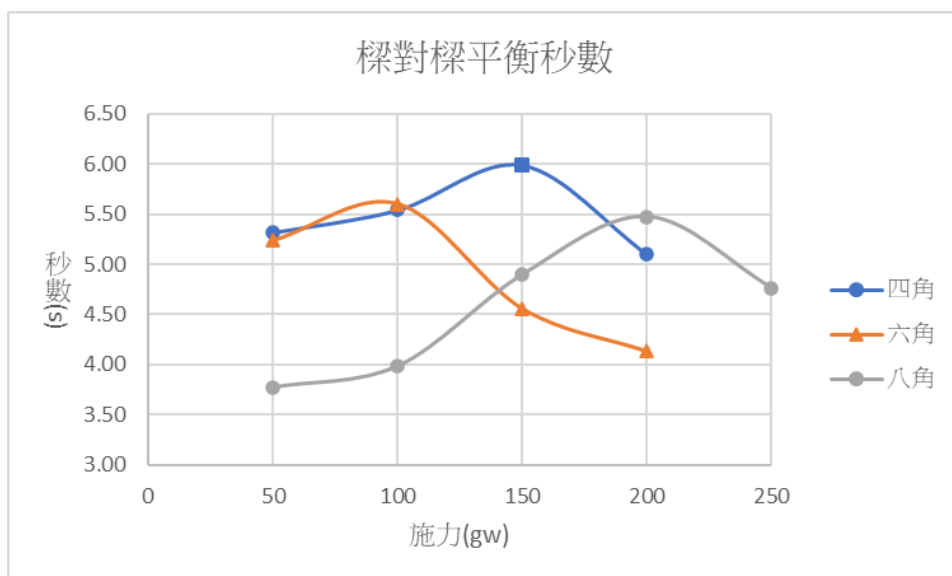


在角對角的應力上的位移公分數當中，正方形在圖中的曲線上較其他二者不同，而正八角形的位移公分數都較短，判別可能與其兩側的柱的數量增加以及樑的角度連接，使得角對角位移公分數有下降的趨勢。

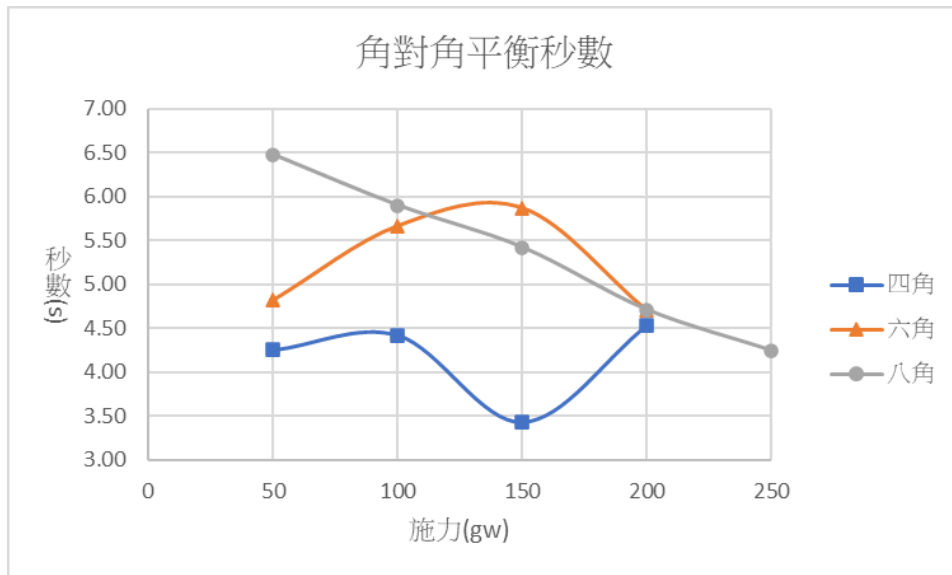


## 2. 應力與平衡時間關係

在樑對樑的應力與平衡時間當中，皆呈現山岳型的波峰，隨著邊數的增加，波峰值也隨之下降，但比較有趣的是達最高峰值的施力由小至大為正六角形、正方形再來是正八角形，判斷其對於位移公分數有相關性。



在角對角的應力與平衡時間當中，是數張數據當中最有趣的一張，發現三種結構在圖中的波形並不太一致，甚至是正八角形有隨著施力增加，平衡的秒數也呈現下降的趨勢。而在施力 200gw 時的平衡秒數差異並不大，而相對來說正方形在此情況的平衡秒數較其他二者少，判斷此現象可能與樑的角度或數量使得波型差異較大。



### 3. 各模型的斷面

在樑對樑方向，斷面皆較靠近施力方向的柱，且正八角形的斷柱數量較少，原先預估隨著邊數增加，斷裂的數量也會增加，但實驗上並非如此；而在角對角方向，斷面的位置在三種模型中並不一致，且每個柱在三種結構上所旋轉的角度也不太一樣，判斷此種情況的原因可能與樑的角度能否吸收力道有關係以及柱的旋轉角度也有關。

#### (四) 探討何種抗震結構的抗震能力較好

就耐震所抵抗最大力道而言，正八角形所能承受的力道較正方形或正六邊形要來得高，因此正八角形的抗震能力較好。

但若考慮施力方向以及平衡秒數的話，因為平衡秒數越多，造成物品掉落或是柱的壽命均有影響，在樑對樑的方面，邊數越多，抗震能力越高；在角對角的方面，抗震能力由高到低依序為正方形、正八角形、正六角形。

### 陸、 結論

正八角形在各方面的數據上均有抗震能力較佳的情形，在最重要的房屋沒有損壞這一點，正八角形相較於其他二者均是較好的選擇，對於邊數的增加，抗震能力也相對增加。因此若房屋能夠有正八角形的結構，不只能夠減少地震時造成的生命財產安危，也可以減少阻尼器的成本開銷。

而在不同的施力方向，可以考慮事先調查各地區的板塊移動方向，再考慮房屋的結構以及房屋建築的方向。

對於結構上，樑的方向、柱的旋轉角度以及位移公分數…等均有各自的相關關係，但能否在數據上有方程式的計算，仍可以再去做細分，

## 柒、 未來展望

### 一、對於實驗上：

- (一) 釋放時的方式可以再改成其他方式，因為用手去施壓與釋放都有可能造成誤差。
- (二) 搖晃至平衡的時間判定若有儀器能夠輔助，也能夠將數據誤差縮小。
- (三) 除了平衡時間長短之外，也可以尋找有無適合的儀器判定各結構各次數搖晃時的幅度，從而增加減震能力或因施力而造成的共振。
- (四) 施力的級距可以再縮小，能夠將更精細的曲線圖記錄下來。
- (五) 若有地震模擬器的協助，更能貼近實際地震發生的狀況，也能夠研究地層搖晃與建築物搖晃對於建築物所造成的剪斷力。

### 二、若將柱改為圓柱，對於各多邊形方形柱的角度因素望能夠去除，對於樑的結構抗震能力即可有相關研究方向。

### 三、在都市更新或房屋改建上，雖抗震能力能夠保護生命財產，但要再多考量家俱、房屋與道路的使用效率，或是住戶的觀感…等問題。

## 捌、 參考文獻資料

中文百科·八角形·取自 <https://www.newton.com.tw/wiki/八角形>

朱竣暉、鄭毓涵、陳宥任、楊鎧嶸·天搖地動~耐震屋研究(2021)·第61屆全國中小學科展，國小組地球科學科

袁志豪(2022)·全台有感地震池上規模6.8花蓮玉里大樓倒塌·聯合新聞網·取自 <https://udn.com/news/story/123028/6621638>

逢致文(2013)·防震蜂巢基礎結構·中華人民共和國國家知識產權局·取自 <https://patents.google.com/patent/CN104514281A/zh>

斑比(2019年,02月22日)·福島自由行:榮螺堂進入奇特六角形螺旋塔建築,會津若松景點·Banbi 斑比美食旅遊·取自 <https://banbi.tw/sazaedo/>

壹讀(2018)·世界最高最古老的木結構建築,你了解多少?·取自 <https://read01.com/ePd5nO.html>

劉光瑩、天下 Web only·台灣地震為何倒的多是14樓以下的大樓?·天下雜誌·取自 <https://www.cw.com.tw/article/5088470>

賴加翌(2018)·最有效率的形狀·CASE 報科學·取自 <https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=33196>

FAM(2020年,01月24日)什麼是「耐震」、「制震」、「免震」?哪一種抗震工法最好?·準建築人手札網站·取自 <https://forgemind.net/media/什麼是耐震-制震-免震-抗震工法/>

poca88(2019)·Geelong Library and Heritage Centre·Instagram·取自 <https://www.instagram.com/p/B2V8EH1HkIg/?epik=dj0yJnU9Nk01VmRxQnJVSEl3Y0Mya3JsMEQybGEyLV9wOHdqN1omcD0wJm49Wm9CbFJUaFBxUjk5M0VNT0k3amRzUSZ0PUFBQUFBR1NLQIR3>

## 【評語】 032817

本作品以保麗龍為主要材料，建立同樣乘載截面積的四、六、八邊型的建築，進行拉扯並測量位移程度，實驗記錄其晃動的緩衝幅度，用以檢測結構的耐震、耐久度。作品中以現存歷史建築作為依據，研究動機容易使人共有感同處地殼活動頻繁的國家。作品基於台灣的地理環境與人的需求，具有實用價值，值得肯定。

研究方向明確，一開始就指出不規則的建築缺點，所以選用四、六、八角建築，作為其主要研究對象。控制變因方面，為求實驗正確性，除去其牆壁、天花板、地板，且計算總乘載面積。然研究所選擇的材料為高密度保麗龍，如果可以參考現有的鋼筋混凝土的類比模型會更貼近現實建材。測試方法除了在結構高處以彈簧秤拉扯釋放之外，可以考慮從地基著手可以更貼近現實地震的來源。震動是有許多的動態行為未來也需要更多基礎學習可以精進作品。



# 作品海報

抗震結構

4

6

8



## 摘要

用保麗龍為材料，建立同樣乘載面積的正四角柱、正六角柱以及正八角柱，以拉扯頂部測量各施力時的位移程度，並以樑對樑和角對角的兩種施力方向施於兩模型上，釋放時的晃動做為模擬地震時房屋的搖晃，實驗記錄拉扯釋放後至模型平衡不晃動的時間、晃動的緩衝幅度，以及觀測在哪一施力程度或實施的第幾次造成模型的結構損壞，用於檢測結構的耐震、耐久度。

## 壹、前言

### 一、研究動機

在偶然的機遇下看見路邊的蜂窩，並且觀察其整齊且規則的六角形，便聯想到近期的地震話題。而對我們最有印象的莫過於2022年的918臺東強震，房屋倒塌、橋樑斷裂或是火車出軌...等災情發生，而當時也造成桃園八德國民運動中心的天花板塌落，更讓我們得知地震來臨時，不只是震央附近，全臺各地都該做好防震的準備，並要對大自然抱持敬畏的心，且要好好瞭解我們的生活。

「危險的是『建築』，而不是地震！」倘若未來在臺灣經常發生或發生過強烈地震地區的房屋抗震能力更加優秀，對於抗震就會有極大的幫助，不只是減少損失，更能拯救許多寶貴的性命，因此我們想做這個研究去證實蜂窩的六角形結構或是更多邊的八角形，是否會比傳統房屋的四角結構來得更加堅固，而在建築物上是否能成為較好的抗震結構，那麼應用於建築之後就能有效減少傷亡，是以此事件成為本研究的研究動機。

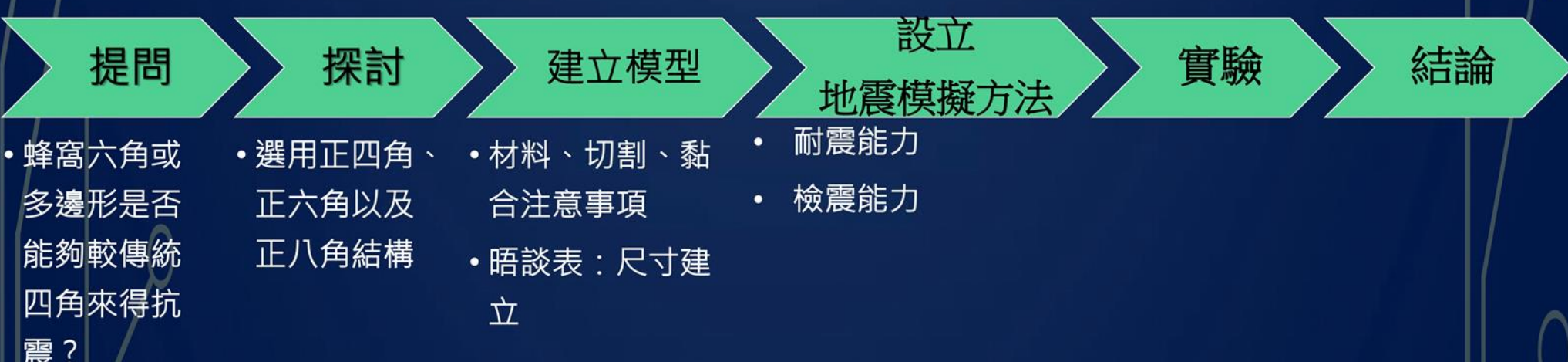
### 二、研究目的

- 1.建立正四角、正六角、正八角結構模型
- 2.尋找模擬地震的方式並檢測各結構的抗震能力
- 3.探討實驗數據與各結構對於抗震的關係
- 4.探討何種抗震結構的抗震能力較好

## 貳、研究設備及材料

- 一、建立模型：保麗龍、尺、保麗龍膠、保麗龍切割器、1號電池、竹籤、紙板
- 二、地震模擬：彈簧秤、捲尺、碼表、相機、鐵尺

## 參、研究過程或方法





## 研究設計與實驗設計

建立柱體模型，且模型的乘載面積以及撓度皆要相同。乘載面積圍住的水平總面積，且柱截面皆為正方形，頂面積與底面積相同，且三種模型的底面積也相同；撓度為樑的應力。確保乘載面積以及撓度相同之下，結構的強度才能再做實驗相比。

$$\text{撓度，又稱勁度} = \frac{EI}{L} = \frac{Ebh^3}{12L}$$

$E$ ：楊氏係數  $I$ ：慣性矩 =  $\frac{1}{12}bh^3$   $L$ ：跨度（樑的長度）  $b$ ：樑的寬度  $h$ ：樑的高度

本研究以不同建築結構為樣本進行研究，比較三種建築結構經彈簧秤測量各施力以及位移公分數後，再經過手拉的位移量之後釋放，並測量釋放置平衡不動的平衡時間，各施力位移量施作5次，最後將各數據平均。

並以結構的樑往樑方向施力，以及結構的角往角方向施力。

## 肆、研究結果

### 一、建立模型

(一) 尺寸：設定柱子總乘載面積為 $16m^2$ 、底面總乘載面積為 $400cm^2$

	正方形柱	正六角形柱	正八角形柱
柱子寬度(cm)	2.00	≈1.63	≈1.41
外邊邊長(cm)	20.00	≈12.41	≈9.10
樑高度(cm)	2.00	≈1.83	≈1.92

(二) 組裝問題與解決方案

因正六角形與正八角形的內角不等於90度，因此在組裝上需要再做切割。



(三) 保麗龍膠黏合問題與解決方案

為確保每個黏合面的保麗龍膠均為相等厚度，因此在塗抹保麗龍膠之後，以竹籤側邊刮拾多餘的部分。

## 二、實驗數據

(一) 樑對樑

結構	50gw		100gw		150gw		200gw		250gw	
	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數
正方形	2.0	5.32	5.0	5.54	9.1	5.99	14.2	5.10	X	
正六角形	3.1	5.24	6.6	5.60	12.4	4.56	21.2	4.10	X	
正八角形	2.7	3.78	5.9	3.99	8.4	4.90	13.4	5.47	19.1	4.7

(二) 角對角

結構	50gw		100gw		150gw		200gw		250gw	
	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數	公分數	平衡秒數
正方形	4.0	4.25	6.7	4.42	12.8	3.43	16.0	4.54	X	
正六角形	3.3	4.82	6.7	5.66	10.3	5.86	18.0	4.7	X	
正八角形	2.3	6.47	4.9	5.90	7.7	5.42	10.9	4.71	20.1	4.24

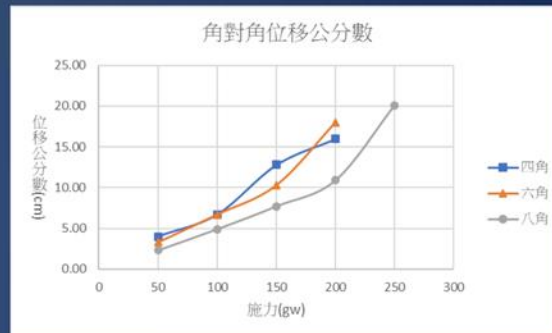
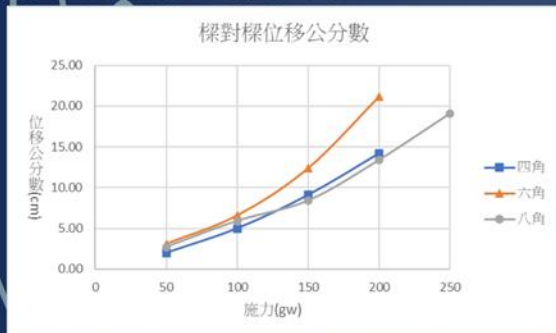


## 伍、討論

探討實驗數據與各結構對於抗震的關係

### 一、應力與位移公分數關係

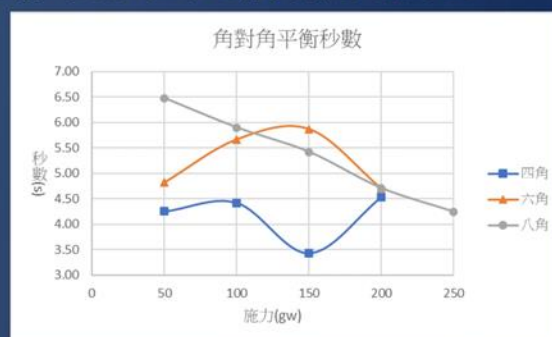
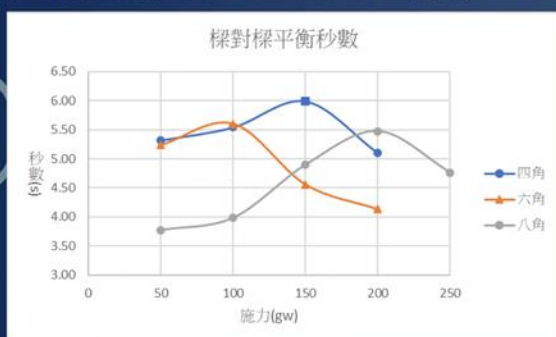
在樑對樑的應力上的位移公分數當中，正六角形柱的位移長度最長，而正方形柱與正八角形柱在施力約莫125gw有一個交界點，判別可能正六角的兩個柱子與樑角度，比起正方形和正八角形兩個具有一平行施力的邊，因此正六角的位移公分在樑對樑上都較長。



在角對角的應力上的位移公分數當中，正方形在圖中的曲線上較其他二者不同，而正八角形的位移公分數都較短，判別可能與其兩側的柱的數量增加以及樑的角度連接，使得角對角位移公分數有下降的趨勢。

### 二、應力與平衡時間關係

在樑對樑的應力與平衡時間當中，皆呈現山岳型的波峰，隨著邊數的增加，波峰值也隨之下降，但比較有趣的是達最高峰值的施力由小至大為正六角形、正方形再來是正八角形，判斷其對於位移公分數有相關性。



在角對角的應力與平衡時間當中，是數張數據當中最有趣的一張，發現三種結構在圖中的波形並不太一致，甚至是正八角形有隨著施力增加，平衡的秒數也呈現下降的趨勢。而在施力200gw時的平衡秒數差異並不大，而相對來說正方形在此情況的平衡秒數較其他二者少，判斷此現象可能與樑的角度或數量使得波型差異較大。

### 三、各模型的斷面

在樑對樑方向，斷面皆較靠近施力方向的柱，且正八角形的斷柱數量較少，原先預估隨著邊數增加，斷裂的數量也會增加，但實驗上並非如此；而在角對角方向，斷面的位置在三種模型中並不一致，且每個柱在三種結構上所旋轉的角度也不太一樣，判斷此種情況的原因可能與樑的角度能否吸收力道有關係以及柱的旋轉角度也有關。

四角樑對樑斷面	四角角對角斷面	六角樑對樑斷面	六角角對角斷面	八角樑對樑斷面	八角角對角斷面

## 陸、結論

正八角形在各方面的數據上均有抗震能力較佳的情形，在最重要的房屋沒有損壞這一點，正八角形相較於其他二者均是較好的選擇，對於邊數的增加，抗震能力也相對增加。因此若房屋能夠有正八角形的結構，不只能夠減少地震時造成的生命財產安危，也可以減少阻尼器的成本開銷。

而在不同的施力方向，可以考慮事先調查各地區的板塊移動方向，再考慮房屋的結構以及房屋建築的方向。

對於結構上，樑的方向、柱的旋轉角度以及位移公分數...等均有各自的相關關係，但能否在數據上有方程式的計算，仍可以再去細分。

## 柒、未來展望

### 一、對於實驗上：

- (一) 釋放時的方式可以再改成其他方式，因為用手去施壓與釋放都有可能造成誤差。
- (二) 搖晃至平衡的時間判定若有儀器能夠輔助，也能夠將數據誤差縮小。
- (三) 除了平衡時間長短之外，也可以尋找有無適合的儀器判定各結構各次數搖晃時的幅度，從而增加減震能力或因施力而造成的共振。
- (四) 施力的級距可以再縮小，能夠將更精細的曲線圖記錄下來。
- (五) 若有地震模擬器的協助，更能貼近實際地震發生的狀況，也能夠研究地層搖晃與建築物搖晃對於建築物所造成的剪斷力。

二、若將柱改為圓柱，對於各多邊形方形柱的角度因素望能夠去除，對於樑的結構抗震能力即可有相關研究方向。

三、在都市更新或房屋改建上，雖抗震能力能夠保護生命財產，但要再多考量家俱、房屋與道路的使用效率，或是住戶的觀感...等問題。