

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080121

棉花糖『懼高症』

學校名稱：桃園市平鎮區文化國民小學

作者：	指導老師：
小六 林珮萱	賴碧純
小六 鄧祺耀	李宜穎
小六 王子芮	
小六 葉 瑋	
小六 黃新傑	

關鍵詞：高塔、剪力、耐重

## 摘要

專題課時，利用 20 根義大利麵及有限的膠帶與棉繩搭高塔挑戰失敗，引發了我們對在有限資源下，如何搭出堅固高塔的好奇心。本研究利用自然課的教具完成簡易裝置，測試了幾種市售麵條的彈性與彎曲強度，挑出適合的義大利麵條進行棉花糖挑戰。接著使用圓竹棒代替義大利麵進行結構的實驗，再配合自製的剪力測量裝置進行研究，探討三角形長邊的重疊方式對剪力與耐重力的影響，並發現剪力與耐重力最大的重疊方式與加強三角柱的直立柱中間點可以加強耐重力。最後，運用研究結果與文獻資料，成功將 20 根義大利麵高塔由原本 22 公分高提升到 97 公分高，高度增加了四倍多。

### 壹、研究動機

六年級上學期剛開學上專題課程時，進行了一個有趣的活動「棉花糖挑戰」。所謂的棉花糖挑戰就是利用 20 根義大利麵條及有限的膠帶與棉線在 18 分鐘內搭出高塔後，將一顆棉花糖放在最高的位置，在未倒塌狀況下，高度越高的得勝。一開始我們努力的疊出很高的塔，信心滿滿的將棉花糖放在最高點，高塔卻不爭氣的倒下了，這一倒塌讓我們產生許多疑惑，也激起了我們想要繼續研究的興趣。

如何搭起堅固的高塔呢？我們上網蒐集世界各國高樓大廈、高塔的資料，還請教童軍搭工程的繩結專家，學習如何搭建高塔。因為麵條很脆弱，不容易呈現差異，所以我們改用細圓竹棒進行測試，以了解到底什麼因素會影響塔的穩固，是連接方式？或是重疊方式呢？還是需要輔助的地方不同呢？我們有非常多的疑問，於是有了這次的研究。

### 貳、研究目的

二、利用自製的剪力測量裝置，探討三角形三個邊不同的重疊方式，對平面三角形的剪力大小的影響。

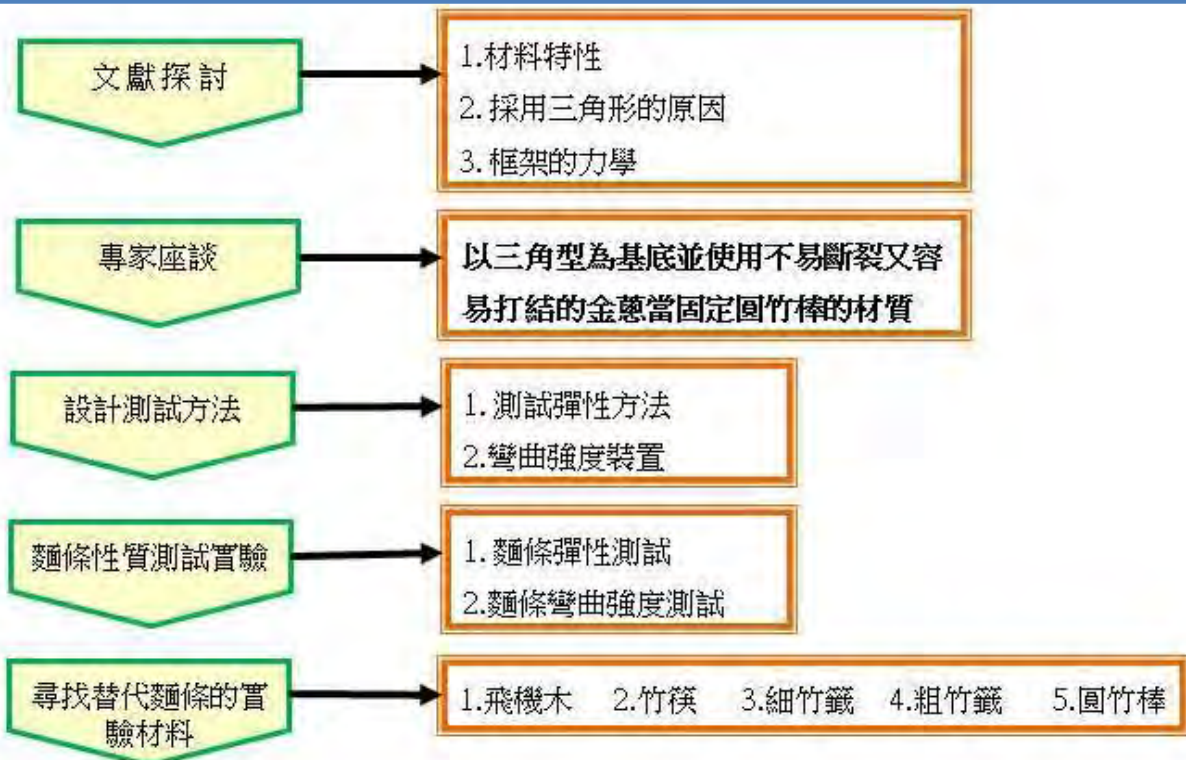
三、探討柱子中間點不同的加強方式，對立體三角柱的扭轉與耐重力的影響。

四、探討三角形接點不同的重疊方式，對立體三角柱的扭轉與耐重力的影響。

## 參、研究設備及器材

<p>圓竹棒(2mm)</p> 	<p>麵條</p> 	<p>園藝剪刀</p> 	<p>瓦楞板</p> 
<p>金蔥</p> 	<p>熱熔槍(膠)</p> 	<p>膠帶</p> 	<p>棉繩</p> 
<p>油土</p> 	<p>泡棉積木</p> 	<p>重物(螺帽)</p> 	<p>方格板</p> 
<p>電子磅秤</p> 	<p>游標尺</p> 	<p>水平儀</p> 	<p>量角器</p> 
<p>彈性測試</p> 	<p>彎曲強度測試</p> 	<p>剪力測試</p> 	<p>扭轉與耐重力測試</p> 

## 肆、研究流程



## 研發測量剪力的裝置



驗證與應用---圓竹棒高塔---棉花糖挑戰

## 伍、研究方法

### 一、文獻探討

〈一〉材料特性可分為：強度、硬度、韌性、延展性、耐久性，其中強度又包含彎曲、抗壓、抗拉、抗剪四種強度。本研究測量材料特性，包含彈性、彎曲強度、和抗剪強度，各特性定義分別如下：

1. **彎曲強度**：材料受到外力或負荷重量而彎曲形變時，產生的抵抗力。
2. **彈性**：材料受外力而產生變形，外力解除後恢復原狀的能力。
3. **抗剪強度**：材料局部於相對方向施壓，產生的抵抗能力，建築物中須抵抗側邊風的力量，稱為的抗風剪力，簡稱**剪力**。

〈二〉採用三角形的原因：早在兩千年前，人類的祖先就發現三角形的穩定性原理，並發明三角桁架，廣泛應用在古代住屋的木製屋頂中。古代建房子都要建造一個三角形的房樑，因為三角形是最穩固的結構，利用三角形桁架來支撐重量時，載重力不只流向三角形的頂點，也會傳導到其他交撐的材料，因此可以將承重力分散承擔。而現代的混凝土樑或鋼樑建築，從結構力學上分析起來也是三角形桁架組成的。

〈三〉框架的力學：框架構造是種貫穿構造，會讓柱和樑互相貫穿，是對橫向受力有高安定性的架構。在現代世界常見的高樓建築，包含超高層建築在內，幾乎都是以框架構造為主軸的建造方式。

### 二、專家座談

一開始，我們在研究如何搭建高塔與固定竹籤的綁法時意見不一，因此，老師請了一位擅長童軍搭工程的繩結專家來指導我們數種繩結的綁法和特色(圖一)。








圖一 專家到校教導簡易工程與繩結

某個星期三下午，專家來到我們學校。他使用各種不同的材料，例如：橡皮筋、金蔥、棉線等材料，綁出各式各樣的繩結，都非常的牢固，另外，利用竹筷重疊互相牽制的力量也能使三角塔更加堅固。接受專家的指導後，我們發現橡皮筋簡單易上手，但綁久後容易彈性疲乏而斷掉，會造成固定強度不一；棉線固定效果很好，但容易使圓竹棒斷裂，且技術面較高，不容易綁緊。

經過實作與優缺點比較後(如表一)，我們達成了共識，決定以三角型為基底，使用不易斷裂又容易打結的金蔥當固定圓竹棒的材質，每次使用 9 公分長金蔥纏繞兩根並排的圓竹棒三圈，再將圓竹棒打開至所需角度，連結處再以少量熱熔膠加強，改善金蔥易鬆脫的缺點。






表一 結點方式優缺點比較

連結方式	照片	特色
膠帶		<ol style="list-style-type: none"> <li>1.使用方便、迅速</li> <li>2.可以定量</li> <li>3.竹棒容易鬆脫</li> </ol>
棉繩		<ol style="list-style-type: none"> <li>1.可以定量且相當牢固</li> <li>2.可使用童軍結固定，但竹棒打結處易斷裂</li> </ol>
金蔥		<ol style="list-style-type: none"> <li>1.可以定量</li> <li>2.簡單好綁</li> <li>3.容易鬆脫</li> </ol>
熱熔膠		<ol style="list-style-type: none"> <li>1.加熱後可快速使用</li> <li>2.不易定量，使用的多寡會影響整體結構穩定性</li> </ol>
塑膠球		<ol style="list-style-type: none"> <li>1.洞口略小，需要磨細竹籤才可以使用</li> <li>3.洞的深度約 2mm，竹籤易鬆脫</li> </ol>

### 三、義大利麵材質基本測試

一開始我們想從市面上選取一種適合搭塔的麵條進行實驗，於是我們選取市售五款麵條進行分析與比較(如表二)，並設計測試彈性與彎曲強度的方法進行實測，目標找出適合搭建高塔與進行實驗的麵條。

表二 麵條規格比較

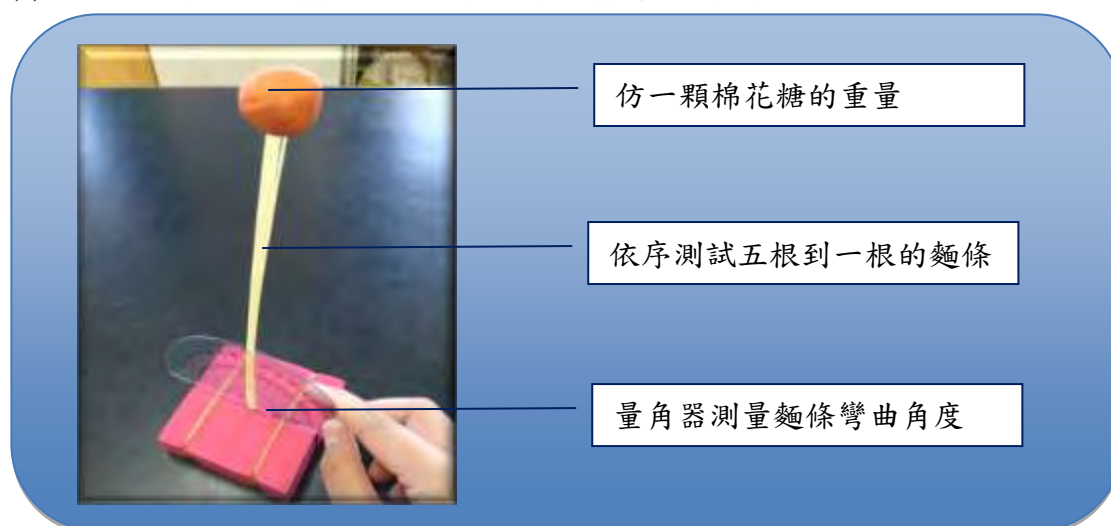
編號	A	B	C	D	E
照片					
種類	天使細麵	義大利麵	細扁麵	寬版大麵	家常麵
剖面	小圓	大圓	橢圓	矩形	矩形
直徑 (mm)	1.02	1.84	短軸 1.42 長軸 2.78	面寬 5.49 厚度 1.18	面寬 2.35 厚度 1.25

#### 〈一〉麵條彈性測試

測試五款麵條在直立時，承受一顆棉花糖重量(5.61 公克重)後，麵條彎曲的角度，表示該麵條的彈性(如 圖二)。

##### 1.實驗步驟：

- (1)用橡皮筋將兩個泡棉積木固定當作底座
- (2)將麵條插進底座中，依序測試五根到一根的麵條。
- (3)把 5.61gw 的圓型黏土插在麵條上方
- (4)測量不同數量的麵條，在相同載重下麵條彎曲的角度



圖二 麵條彈性測試方法

**2.實驗結果：**五款麵條彈性由大到小依序是  $D > C > B > E > A$ ，寬版大麵彈性最大，天使細麵彈性最小(如表三)。

表三 五款麵條彈性測試

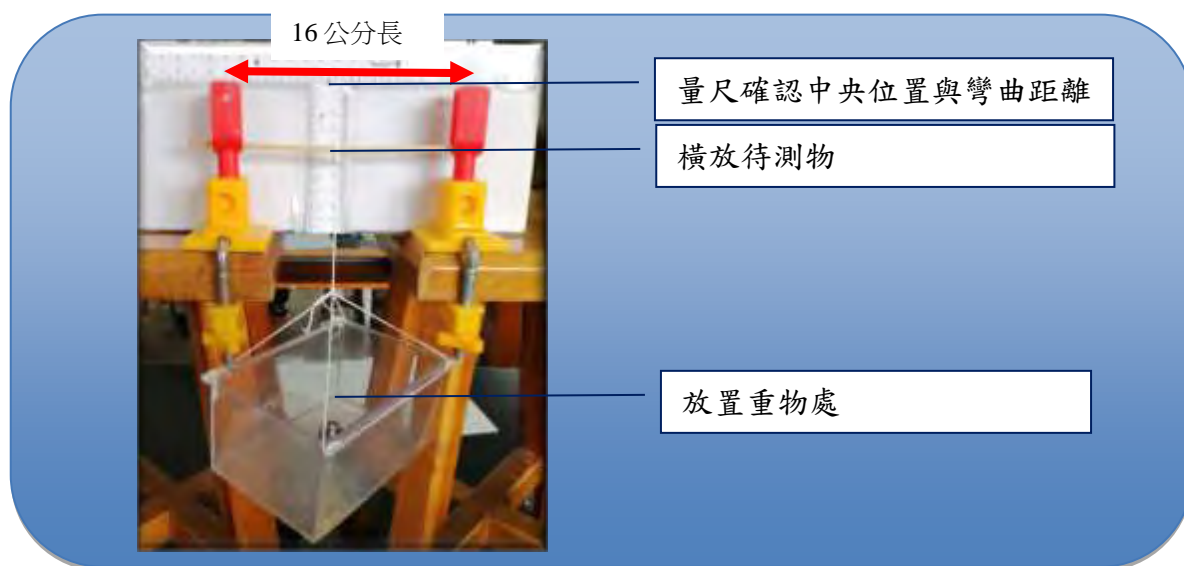
彎 曲 根 數	麵 條 度 數	A 天使細麵	B 義大利麵	C 細扁麵	D 寬版大麵	E 家常麵
5 根		30 度	無	無	無	無
4 根		30 度	3 度	無	無	2 度
3 根		斷	5 度	無	無	4 度
2 根		斷	6 度	5 度	無	19 度
1 根		斷	10 度	9 度	17 度	斷

## 〈二〉麵條彎曲強度測試

以麵條橫放時，中央位置載重的能力，表示該麵條的彎曲強度。我們使用小六自然課簡單機械單元中的教具，設計一個能將麵條橫放的裝置，因 1 根麵條太脆弱，所以每次用 5 根麵條進行測試，並於麵條中央位置綁上重物盒，逐漸增加重物，當麵條斷裂時，重物重量就可以表示該麵條的彎曲強度。

### 1.實驗步驟：

- (1)在距離 16 公分寬的架子上放上五根麵條。
- (2)在麵條的中心點用掛鉤掛上盒子，逐漸增加重物。
- (3)測量麵條斷掉時重物的重量



圖三測量麵條彎曲強度



**2.實驗結果：**五款麵條彎曲強度由大到小依序是  $B=D>C>E>A$ ，義大利麵與寬版大麵彎曲強度最大，天使細麵彎曲強度最小(如表四)。

表四 五款麵條彎曲強度測試

項目 \ 編號	A 天使細麵	B 義大利麵	C 細扁麵	D 寬版大麵	E 家常麵
彎曲強度(gw)	55	270	150	270	140
平均一根麵條的彎曲強度(gw)	11	54	30	54	28

#### 四、尋找取代義大利麵的實驗材料

實驗過程中，因義大利麵非常脆弱，在測試的時候很容易斷掉，無法顯現出實驗的差異，於是我們開始尋找市面上相近的材料，包含飛機木、竹筷、粗竹籤、細竹籤與圓竹棒，並逐一測量彈性與彎曲強度，企圖尋找一種具有彈性，且彎曲強度與義大利麵接近的替代材料(如表五)。

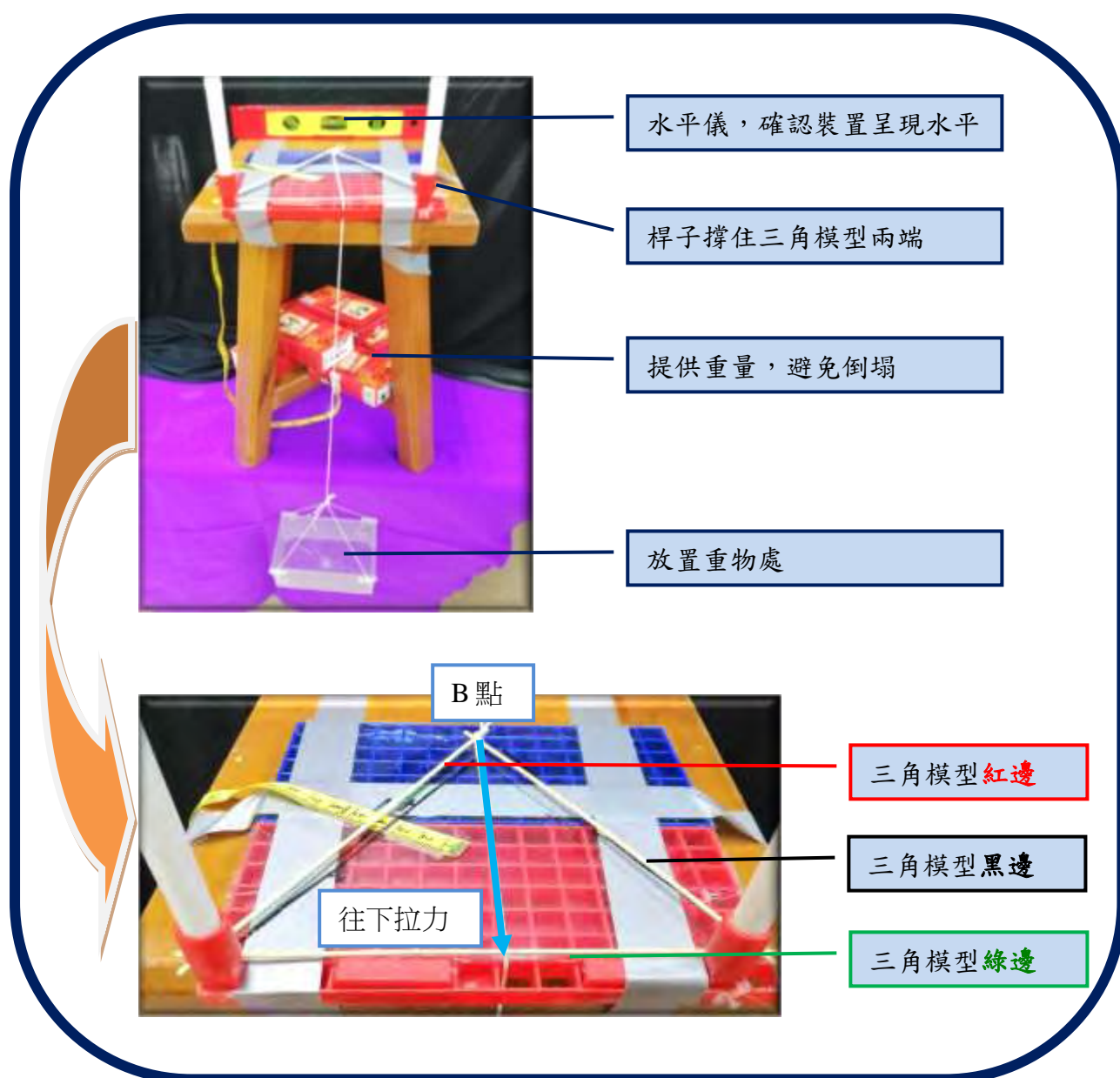
表五 替代性材料比較與測試

材料 \ 測試項目	飛機木	竹筷	粗竹籤	細竹籤	圓竹棒
圓直徑(mm)	4	4.91	3.79	2.66	2
彎曲強度(gw)	/	/	1180	220	332
彎曲度(cm)			3.4	3.7	5
彎曲程度(gw/cm)			347.1	59.5	66.4
描述	用油性筆做記號時，就會有凹陷情形，容易變形、斷裂	彈性小、太粗不好切割	剖面直徑是義大利麵的2倍	市售細竹籤長度較短。	市售圓竹棒，因較細，容易變形，使用前要篩選

根據上表中的特性比較，圓竹棒具有彈性，直徑與義大利麵(1.8mm)相近，彎曲強度是義大利麵的 6.15 倍，能承受較大的施力，因此我們選擇使用圓竹棒取代義大利麵進行實驗。

## 五、研發測量剪力的裝置

根據文獻的資料，我們定義當圓竹棒組合成的三角模型於相對方向施力，產生的抵抗能力就是剪力。因為我們沒有可以測試剪力的儀器，所以我們就想著如何用現成的東西組成可以達到目標的工具，經過多次修改，最後我們拿以前自然課使用過的方格板與長棍組成一個平台，上方加一透明片(四年級教具)減少方格版與平面三角結構間的摩擦力，在三角模型 B 點綁上棉繩，讓棉繩穿過方格板中間的洞口，位置剛好位在綠邊的正中間且與綠邊垂直(如圖四)。在棉繩下方逐漸增加重物，三角模型需要抵抗棉繩向下拉的拉力，當模型斷裂時就代表它能承受的最大剪力。

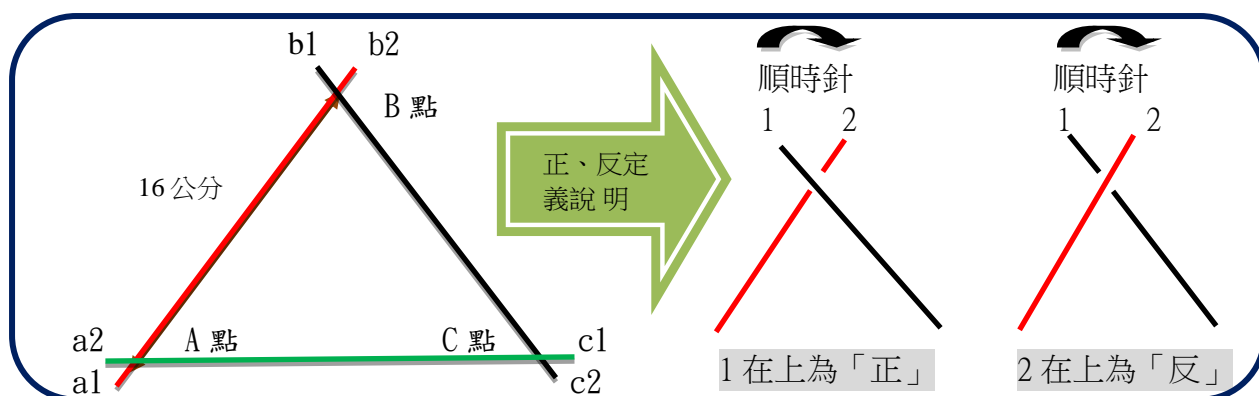


圖四 測量剪力的裝置

## 陸、研究過程與結果

### 一、平面三角結構

為使我們快速且正確的綁好平面三角形，我們統一採用三根 18 公分長的圓竹棒排成正三角形，內邊長固定為 16 公分(圖五)，並定義兩種交疊方式(正、反)，從 A 點開始順時針編號，依序為 a1、a2、b1、b2、c1 和 c2。改變三角形 ABC 三個交點的圓竹棒重疊順序，當 a1 疊在 a2 上稱為「正」，a2 疊在 a1 上稱為「反」，B 點和 C 點以此類推，產生 8 種不同型態的平面三角結構，依序編號 A~H，如表六。



圖五 平面三角結構

表六 不同重疊方式的平面三角結構表

結構編號 接點	A	B	C	D	E	F	G	H
A 點	正	正	正	正	反	反	反	反
B 點	正	正	反	反	正	正	反	反
C 點	正	反	正	反	正	反	正	反

為使判讀資料時提供有效的資訊，我們分析不同編號的三角形結構，當一個邊的兩個交點重疊方式是一正一反時，此邊會與桌面水平，反之，當一個邊的兩個交點重疊方式是兩正或兩反時，此邊則無法保持水平，表格內相同顏色表示水平邊的位置相同，兩個三角形為鏡像結構，分析結果如表七。

表七 平面三角結構三邊的水平狀態

結構編號 邊	A	B	C	D	E	F	G	H
紅邊	X	X	○	○	○	○	X	X
黑邊	X	○	○	X	X	○	○	X
綠邊	X	○	X	○	○	X	○	X

X：無法保持水平    ○：呈現水平

### (一)實驗 1-1 三個邊重疊方式對剪力的影響

在外面的建築物，都需要擁有抗風剪力的結構，專家提到會改變三角形三個邊的重疊方式以增加三角柱的穩固性，我們猜測不同的重疊方式可能會是影響結構穩固度的其中一個因素，如果提高結構的抗風剪力，就能提升整體的穩度性。所以我們製作出八種不同交疊方式的三角形，測試哪一種三角形的交疊方式產生的剪力最大(如圖六)，可以讓我們利用在日後的實驗當中。

#### 1.實驗步驟：

- (1)平面三角結構 B 點綁上棉繩，棉繩另一端綁上載重盒。
- (2)在載重盒內逐漸增加重物。
- (3)紀錄平面三角結構的剪力大小、斷裂點位置及過程中圓竹棒中間點上下彎曲的變化。



圖六 利用剪力測量儀器，測試剪力與邊的彎曲變化

## 2.實驗結果：

利用剪力測量儀器，測試八種不同重疊方式的三角形的剪力大小、斷裂前三個邊的彎曲變化情形及斷裂桿的位置，每一種三角形各選取 3 次的記錄，並計算平均值如表八。

表八 平面三角結構，三個邊不同重疊方式的剪力與斷點紀錄

項次 觀察項目	編號	第一次	第二次	第三次	平均(△相差值)	
實驗後照片	A 三角形					
斷裂邊顏色		黑	紅	紅		紅
斷裂邊是否水平		1294	2030	2085		1803 (△791)
剪力(gw)		否	否	否		否
實驗後照片	B 三角形					
斷裂邊顏色		黑	紅	黑		黑
斷裂邊是否水平		是	是	是		是
剪力(gw)		1344	1361	1377		1361 (△33)
實驗後照片	C 三角形					
斷裂邊顏色		紅	紅	紅		紅
斷裂邊是否水平		是	是	是		是
剪力(gw)		1091	1094	1294		1159 (△200)
實驗後照片	D 三角形					
斷裂邊顏色		紅	黑	紅		紅
斷裂邊是否水平		是	是	是		是
剪力(gw)		1386	1394	1461		1414 (△75)

實驗後照片	E 三角形					
斷裂邊顏色		黑	黑	黑		黑
斷裂邊是否水平		否	否	否		否
剪力(gw)		2331	1747	1568		1882 ( $\Delta$ 763)
實驗後照片	F 三角形					
斷裂邊顏色		黑	黑	黑		黑
斷裂邊是否水平		是	是	是		是
剪力(gw)		1218	1413	1159		1263 (254)
實驗後照片	G 三角形					
斷裂邊顏色		紅	黑	紅		紅
斷裂邊是否水平		否	否	否		否
剪力(gw)		2582	1646	2492		2240 ( $\Delta$ 936)
實驗後照片	H 三角形					
斷裂邊顏色		黑	紅	黑		黑
斷裂邊是否水平		否	否	否		否
剪力(gw)		1508	1388	1715		1537 ( $\Delta$ 327)

### 3.研究發現：

- (1)剪力大小依序為  $G>E>A>H>D>B>F>C$ ，依名次順序兩兩一組，互為鏡像的三角形(例如 GE 互為鏡像)，其斷裂邊在結構上也在相同位置(相同的邊上)，且皆在桿長的中央。
- (2)依據剪力大小順序，G 和 E 剪力最大，兩者的斷裂邊都是非水平的邊，剪力大小第二序位地的 A、H 三個邊都是非水平邊，剪力較小的 B、D、F、C 斷裂邊都為水平邊。
- (3)B 和 D 結構的剪力最穩定。棉繩向下拉動時，綠邊的彎曲變化最小完全沒有折斷現象。

## (二)實驗 1-2

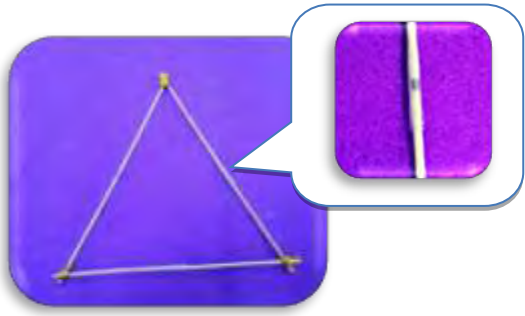

### 三個邊中間點加強對剪力大小的影響

在 1-1 的實驗當中，我們在測試剪力時發現，三角形結構的斷裂點都位於每一邊的中間，看見了這個結果，我們推論是因為中間點沒有任何支撐的地方，導致中間點最為脆弱，因此我們決定利用不同的加強方式加強每一邊的中間點，研究中間點加強是否能讓結構的穩固度提升，希望能一一改善使結構不穩的因素，讓三角形的抗風剪力更加提升。

#### 1.實驗步驟：

- (1)在編號 B 平面三角結構三個邊的中間點，分別利用膠帶和棉繩進行單點加強(表九)。
- (2)B 點綁上棉繩，棉繩另一端綁上載重盒，在載重盒內逐漸增加重物。
- (3)紀錄平面三角結構的耐重(剪力)、斷點位置及過程中圓竹棒中間點上下彎曲的變化。

表九 中間點不同加強物

加強方式	中間點加強-膠帶	中間點加強-棉繩
說明	使用長 5 公分膠帶在中央單點纏繞	一條棉繩逐一網綁三個中央點
照片		

#### 2.實驗結果：

採用編號 B 平面三角結構做出三個邊的單點加強，探討單點加強方式對於剪力的影響，每種加強方式測試 3 次，計算平均剪力與單點加強後剪力提升的百分比(如表十)。

表十 平面三角結構，三個邊中間點加強的剪力

加強方式 觀測 項目 項次	無加強		膠帶		棉繩	
	斷裂邊	剪力(gw)	斷裂邊	剪力(gw)	斷裂邊	剪力(gw)
第一次	黑色	1377	黑色	1522	紅色	1839
第二次	黑色	1344	黑色	1492	紅色	1880
第三次	黑色	1361	黑色	1668	黑色	2094
平均	黑色	1360.7	黑色	1560.6	紅色	1937.6
增加百分比			14.7%		42.4%	

### 3.研究發現：

- (1)中間點無加強與利用膠帶加強的三角結構都是黑色邊斷裂。
- (2)中間點利用棉線加強的三角結構，2 次斷在紅色圓竹棒上，黑色 1 次。
- (3)中間點加強後剪力的大小：棉繩(1937.6gw) > 膠帶(1560.6gw) > 無(1360.7gw)，利用棉繩 加強中間點後剪力提升 42.4%，利用膠帶加強中間點後剪力提升 14.7%。

## 二、立體雙層三角柱

棉花糖挑戰是以高為目標，觀察完平面結構後，我們決定以實驗中比現較穩定的編號 B 和編號 D 兩種三角形為基礎，改變不同的搭配方式搭建四種不同的雙層三角柱，搭配方式如表十一。

表十一 立體雙層三角柱種類

種類 層別	第一種 BBB	第二種 DDB	第三種 DBB	第四種 BDB
第三層	B	D	D	B
第二層	B	D	B	D
第一層	B	B	B	B

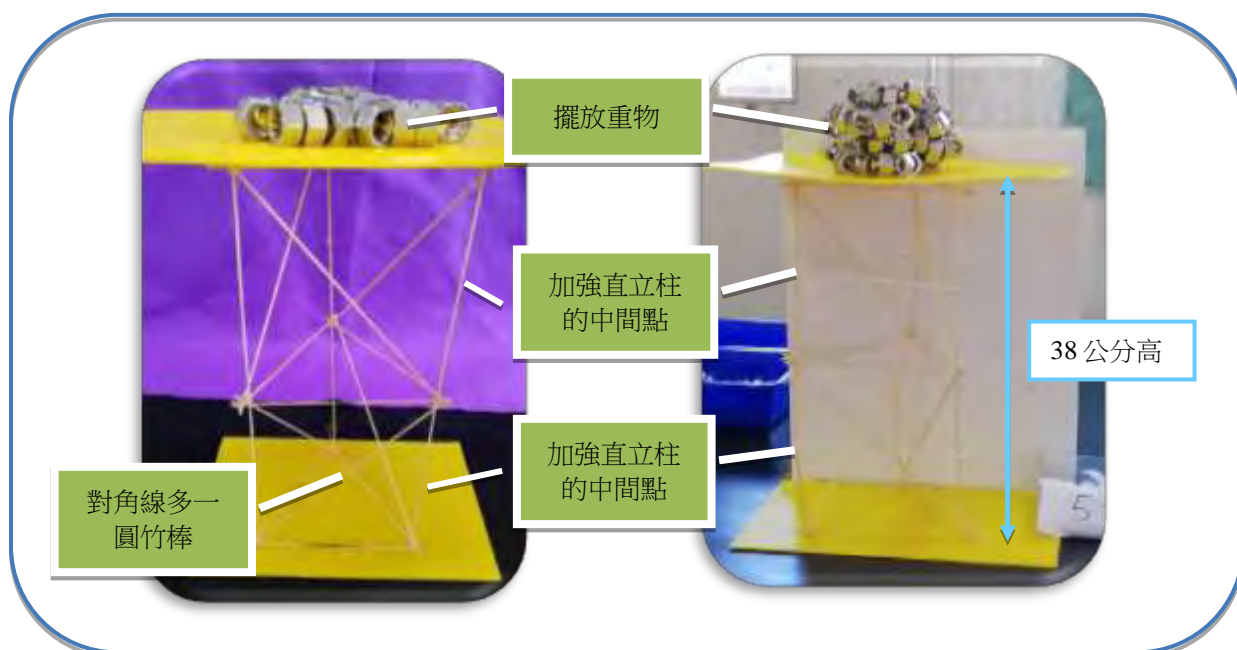
### (一)實驗 2-1 中間點加強對扭轉方式與耐重力的影響

在 1-2 的實驗過後，我們發現在三角形的中間點加強之後，真的能提升三角形的抗風剪力，因此我們想知道若在三角柱上，同時加強直立柱的中間點，是否也能有效提升結構的穩固度，所以以編號 B 三角形組成立體雙層三角柱(BBB)，再利用不同的方式加強直立柱上的中間點，觀察其整體的扭轉方式和耐重力的變化。

#### 1.實驗步驟：

- (1)用熱熔膠將三個編號 B 三角形與三根長 38 公分的圓竹棒黏成兩層樓的三角柱(總長度和間格距離都相等)，每一面的一個對角項再加上一圓竹棒，上下各黏上一片瓦楞板。
- (2)在三個直立柱每一層的中間點上，分別利用膠帶及棉繩進行加強(如圖七)。
- (3)在上方的瓦楞板上逐漸增加重物，測量立體三角柱的耐重程度，並觀察其扭轉方式





圖七 雙層立體三角柱

## 2. 實驗結果：

以 BBB 雙層立體三角柱為樣本，探討直立柱的單點加強方式對於耐重力的影響，紀錄每次的耐重力與旋轉方式，並計算平均耐重力與提升的百分比(如表十)。

表十二 立體三角柱，中間點加強對扭轉方式與耐重力的紀錄

中間點加強方式		無加強	膠帶	棉繩
第 1 次	旋轉方式	逆時針扭轉，脫離下方板子彈起	C 桿斷裂，二樓扭轉，重物直接掉落	逆時針扭轉，二樓彎曲，一樓很穩
	耐重力(gw)	1545	2335	2023
第 2 次	旋轉方式	二樓旋轉呈倒 S 型，一樓跟著轉	二樓旋轉呈 S 型，一樓也跟著轉	二樓朝 C 點逆時針扭轉，一樓很穩
	耐重力(gw)	1499	2138	1872
平均耐重力 (gw)		1522	2236.5	1942.5
耐重力增加百分比			46.94%	27.63%

## 3. 研究發現：

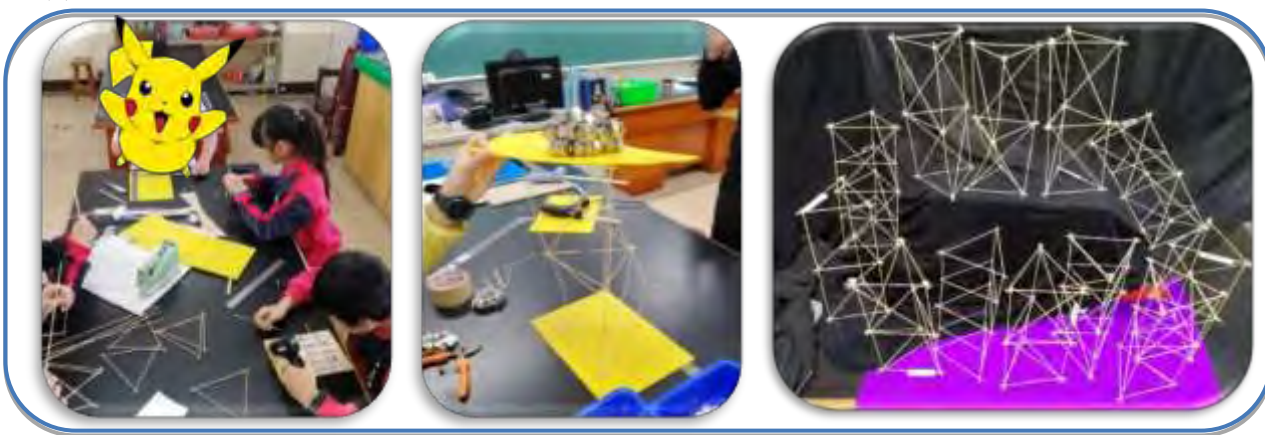
- (1) 三角柱中間點使用不同的加強物對扭轉方式沒有顯著影響，二樓較為脆弱容易扭轉。
- (2) 中間點加強後耐重力的大小：膠帶(2236.5gw) > 棉繩(1942.5gw) > 無(1522gw)，利用膠帶加強中間點後耐重力提升 46.94%，利用棉繩加強中間點後耐重力提升 27.63%。

## (二) 實驗 2-2 三角形交疊方式對扭轉方式與耐重力的影響

三角形三個邊的重疊方式會影響剪力的大小，利用不同重疊方式的三角型組合而成的立體三角柱，耐重力是否也會有影響呢？剪力大小和耐重力有沒有關係呢？如果改變三角柱的三角形交疊方式是否能使整體穩固度增強？為解開這些疑惑，我們製作 BBB、DDB、DBB、BDB 四種不同的立體三角柱進行實驗(如圖八)。

### 1. 實驗步驟：

- (1) 用平面三角結構編號 B 和編號 D 做出四種立體雙層三角柱。
- (2) 每一面的一個對角項再加上一圓竹棒，三角柱上下各黏上一片瓦楞板。
- (3) 在上方的瓦楞板上逐漸增加重物，測量三角柱的耐重程度，並觀察其扭轉方式。



圖八 製作立體雙層三角柱

### 2. 實驗結果：

改變立體三角柱二層樓上下的平面三角結構交疊方式，探討交疊方式對立體三角柱扭轉方式與耐重力的影響。

表十二 立體三角柱，重疊方式對扭轉方式與耐重力的測量

三角柱種類	第一種 BBB	第二種 DDB	第三種 DBB	第四種 BDB
扭轉描述	B 桿、C 桿同時呈現倒 S 狀態。A 桿接著彎曲。	A 桿最先呈現倒 S 狀態，BC 兩桿隨之旋轉彎曲。	B 桿最先呈 S 形彎曲，C 桿接著 A 桿最後變形。	B 桿最先成 S 形，A、C 兩桿隨之旋轉彎曲。
旋轉方式	整體彎曲倒塌沒有顯著旋轉	整體逆時針旋轉	整體順時針旋轉	整體逆時針旋轉
耐重力(gw)	1499	1758	1708	1099

### 3. 研究發現：

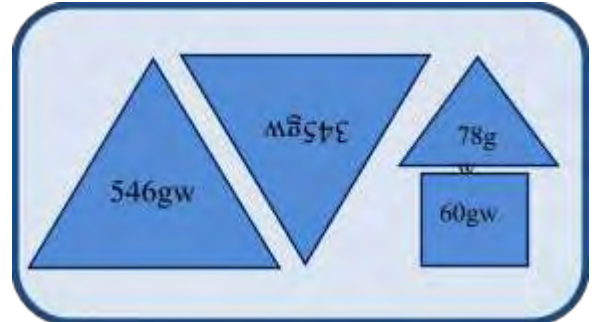
- (1) DDB 和 BBB 類型都成倒 S 彎曲，DBB 和 BDB 成正 S 彎曲。
- (2) 不同重疊方式耐重力由大到小：DDB > DBB > BBB > BDB，沒有明顯的趨勢。

### 三、改良重物

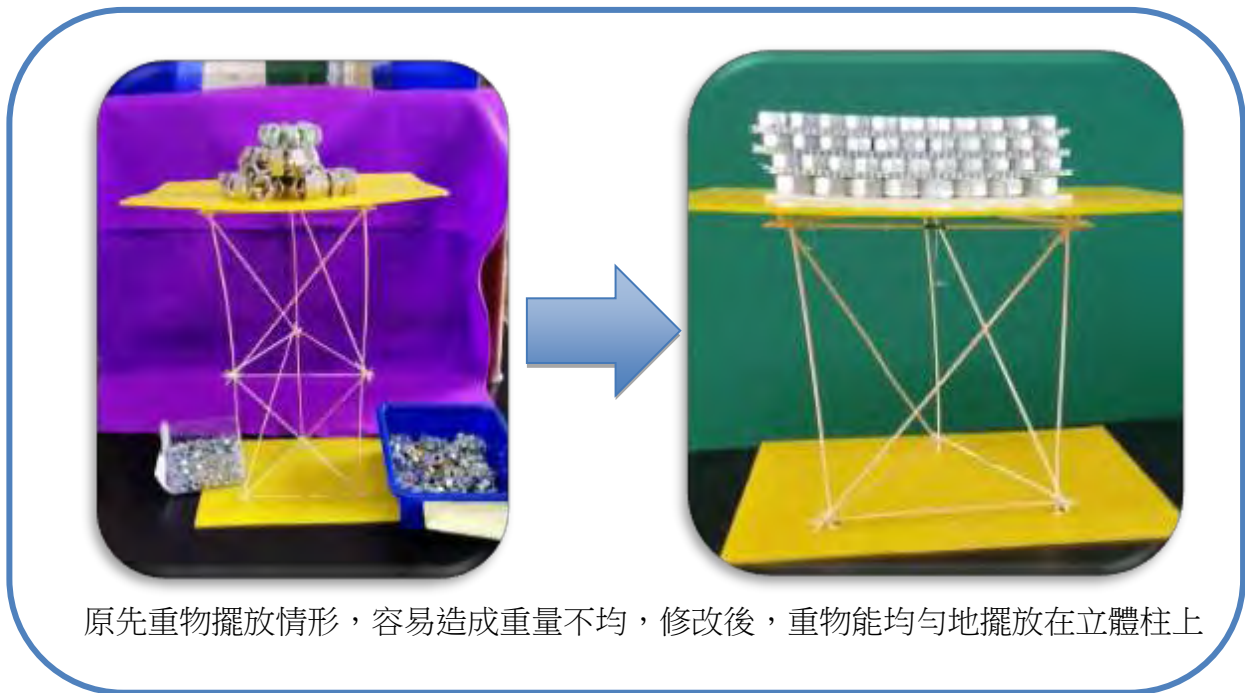
一開始，因為我們使用的重物是一串一串或一顆一顆的，因此會有人為放置或重物位置分配的誤差，導致我們時常因為重量分配不均而使三角柱一方不穩或倒塌，為此我們改變重物的形式，用螺帽排列成和平面結構一樣大的三角形及重量較小的小三角和正方形如圖九，重量分配如圖十，用此方式來改善重量擺放不均的問題如圖十一。



圖九 改良後的重物



圖十 重物重量



原先重物擺放情形，容易造成重量不均，修改後，重物能均勻地擺放在立體柱上

圖十一 重物修改前後的狀況

### 四、立體單層三角結構

在進行實驗 2 的過程中，我們發現兩層的三角柱有很多干擾，不穩定度也跟著提升，三角形的重疊方式與耐重力關係不顯著，因此我們將高度降低，修改成只有一層的三角柱(圖十二)，將不必要的干擾控制住，使我們的實驗結果更準確，並陸續做出四組互為鏡像三角形所組成的八種單層三角柱(表十三)，來觀察結果的關聯性。

表十三 立體單層三角柱種類

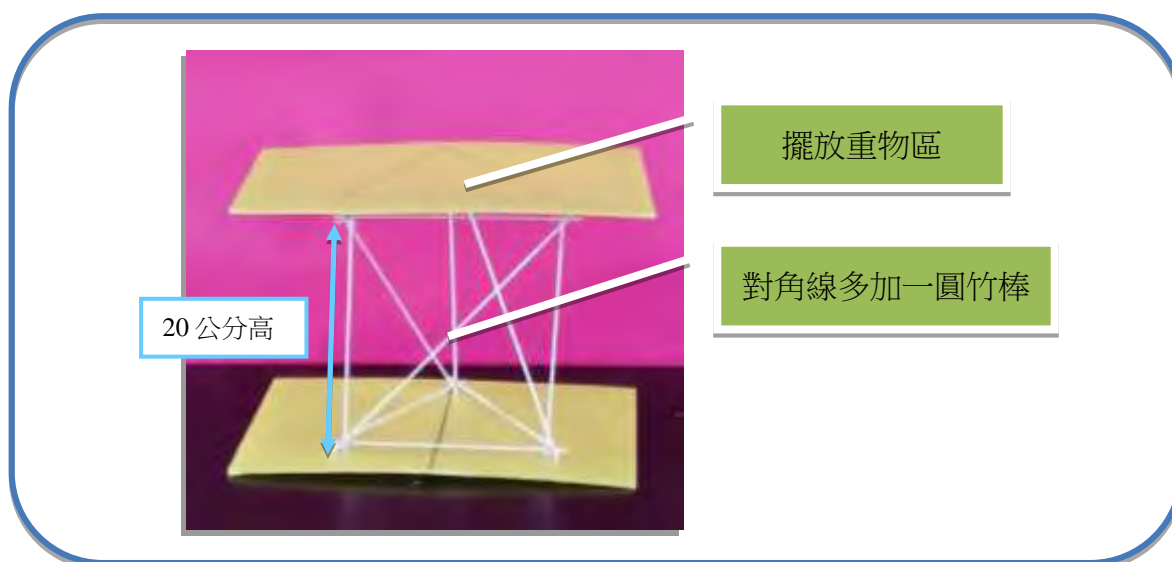
種類 層別	一	二	三	四	五	六	七	八
	第二層	B	D	G	E	A	H	F
第一層	B	B	G	G	A	A	F	F

**(一) 實驗 3 三角形交疊方式對扭轉方式與耐重力的影響**

以互為鏡像的兩個三角形組成單層三角柱，在平面中剪力較大的三角型當底層，共組成 8 種不同種類的三角柱，進行實驗觀察三角形交疊方式對扭轉方式與耐重力的影響。

**1. 實驗步驟：**

- (1) 用熱熔膠將兩個三角形與三根長 20 公分的圓竹棒黏成一層樓的三角柱，每一面的一個對角線再加上一圓竹棒(如圖十二)。
- (2) 上下各黏上一片瓦楞板。
- (3) 在上方的瓦楞板上逐漸增加重物，測量立體三角柱的耐重程度，並觀察其扭轉方式



圖十二 單層立體三角柱

**2. 實驗結果：**

分別測量 8 種單層立體三角柱的耐重力，探討三角形交疊方式對單層立體三角柱扭轉方式與耐重力的影響，並計算同組中互為鏡像的三角柱平均耐重力大小，實驗記錄如下。

表十二 單層立體三角柱，重疊方式對扭轉方式與耐重力的測量

三角柱種類	一 BB	二 DB	四 GG	三 EG	六 AA	五 HA	八 FF	七 CF
扭轉方式	向 A 柱彎曲	逆時針旋轉	逆時針向 A 柱彎曲	逆時針向 C 柱彎曲	逆時針向 B 柱彎曲	逆時針向 B 柱彎曲	逆時針旋轉	逆時針向 A 柱彎曲
耐重力 (gw)	1436	1392	1550	1737	1581	1375	1472	1393
平均耐重力	1414		1643.5		1478		1432	

### 3.研究發現：

- (1)不同重疊方式中，GG 三角柱耐重力最大，HA 三角柱耐重力最小。
- (2)由互為鏡像的三角型組成的三角柱中，平均耐重力由大到小為 E、G 組〉H、A 組〉C、F 組〉D、B 組。
- (3)8 組單層立體三角柱旋轉方向都是逆時針旋轉，但是哪一根直立柱會彎曲是隨機的。

## 五、圓竹棒高塔

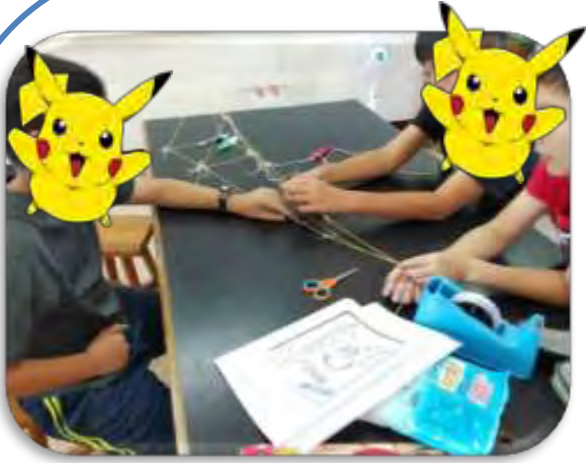
為使實驗結論能應用到義大利麵高塔，我們將圓竹棒裁剪成和義大利麵等長(25.6 公分)，再依兩者的彎曲強度等比例計算出放在圓竹棒最上端的重物重量，如下列計算。

義大利麵彎曲強度：圓竹棒彎曲強度 = 棉花糖重量：重物重量

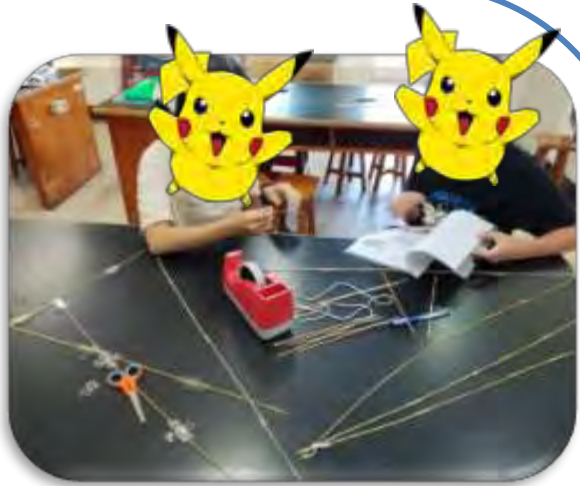
54gw：332gw = 5.61gw：重物重量

重物重量 = 34.5 gw

接著，每兩根圓竹棒利用膠帶連結一起，分別用 4 根圓竹棒連結而成一根直立柱，再以三根直立柱用三角椎方式搭建高塔；另外採用剪力與耐重力都最大的 E、G 組重疊方式，分別製作出四個平面三角形框架，將這四個平面三角形框架以棉線綁在直立柱上；綁框架的位置是在直立柱兩個膠帶連結處的中間點。最後三角椎頂端擺上 35 公克重的螺帽(如圖十三)。製作過程須注意許多的細節，例如圓竹棒用膠帶黏貼是否緊密，棉繩將框架和直立柱固定在一起是否牢固，框架位置是否合適，每一個細節都要一一確認，嘗試了幾次，最後高度達到 98 公分高(四根圓竹棒不交疊，連接起來的總長度是 102.4 公分)。



製作圓竹棒高塔

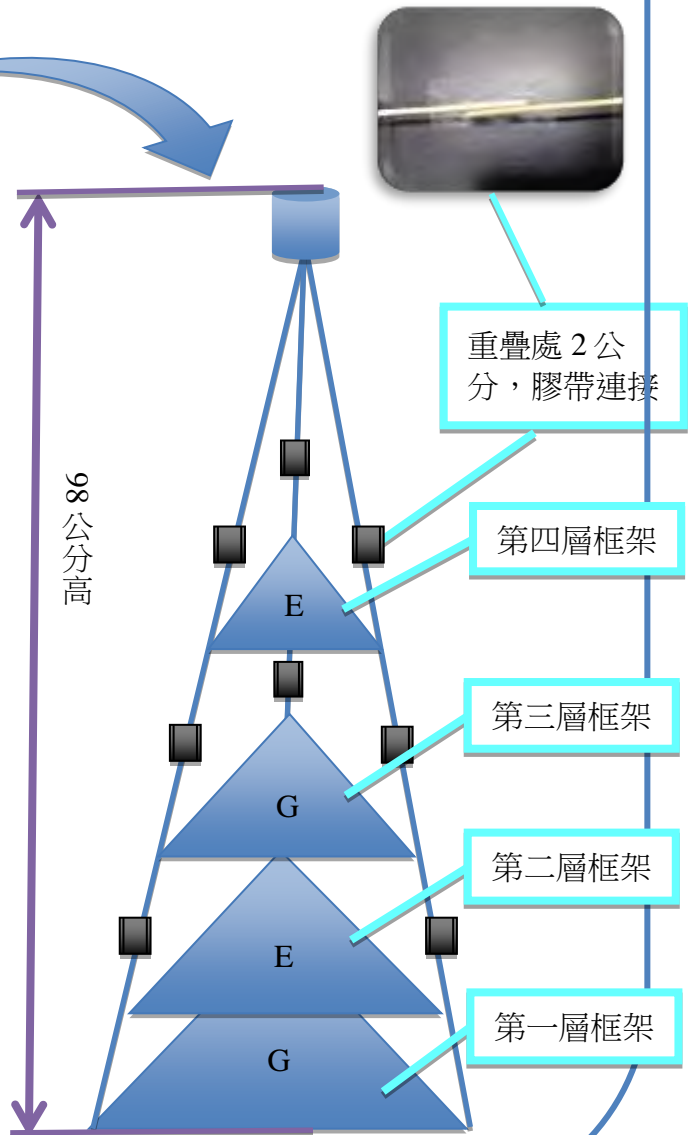


確認三角形框架



高塔頂端擺上重物

放大圖示



圖十三 製作圓竹棒高塔

## 柒、討論

一、研究目的一：利用教具完成簡易裝置，測量義大利麵的彈性及彎曲強度，探討義大利麵的特性。

(一)在測試麵條彈性時，我們從五根麵條逐漸遞減，是為了凸顯它的彈性強度差異。實驗發現麵條 D 的彈性最大，但這個實驗需要彈性小一點的材質，避免高塔容易歪斜，所以我們最後決定使用麵條 B 來搭建義大利麵高塔。

二、研究目的二：利用自製的剪力測量裝置，探討三角形三個邊不同的重疊方式，對平面三角形的剪力大小的影響。

(一)在測試平面三角結構中間點加強對剪力的影響時，使用棉繩的效果比膠帶好。我們觀察到圓竹棒外擴時，棉繩就會完全伸張把竹棒拉住，因此剪力增加量達 42.4%。而膠帶只能加強了竹棒的中心點，竹棒受力時會在沒有膠帶的地方出現斷裂，剪力增加量是 14.7%。所以棉繩對於整個結構的剪力增強效果較佳。

(二)本研究只有探討了三個邊的重疊方式對平面三角結構的剪力大小造成的影響。當搭建成立體的三角柱時，三角形三個邊的重疊方式是否對三角柱的剪力造成影響呢？這方面的相關研究，有待未來繼續探索。

(三)在平面三角形結構三個邊重疊方式對剪力的影響實驗中，我們發現三角形的綠邊，都不會有太大的改變。我們進行力的分析後，推測綠邊受到的力是向外的張力，所以不容易變形，因此沒有斷裂的現象。

(四)在平面三角形結構三個邊重疊方式對剪力的影響實驗中，我們本來假設三角形正正正(A)和反反反(H)會最堅固，因為綠紅黑三桿都不是水平的，彼此會互相傳力，呈現一個循環的狀態。但是 A 和 H 卻不是最堅固的，反而是三角形 G 和 E 最堅固。在八個樣品中，只有 G 和 E 的斷裂桿是三個邊中的唯一非水平桿，是否因此而造成剪力較大，未來可再進行原因探討。

(五)在平面三角形結構三個邊重疊方式對剪力的影響實驗中，編號 B 三角形的幾次重複實驗中，比較其結果差異是最小的，數據是最穩定的，因此選定為我們日後其他實驗的樣品。

三、研究目的三：探討柱子中間點不同的加強方式，對雙層立體三角柱的扭轉與耐重力的影響。

(一)立體三角柱的柱子加強方式，使用膠帶會比棉線好，因為三角柱比較容易左右倒或轉

動。而棉線只在三角柱外擴時能伸張開去發揮功能，若柱子往內側彎曲時，棉線呈現鬆弛無作用，因此棉線的效果不穩定，剪力提升了 27.63%。膠帶會讓竹籤最容易斷的中心點加強了強度，剪力提升了 46.94%。

#### 四、研究目的四：探討三角形接點不同的重疊方式，對立體三角柱的扭轉與耐重力的影響。

- (一)在進行雙層立體三角柱的探討時，結果發現重疊方式對扭轉方式與耐重力的影響缺少規律性，我們推測可能是因為放置砝碼時重量分配稍微不平均所造成的，所以改良重物並減少樓層，更改為使用單層立體三角柱去進行實驗 3。
- (二)在實驗 3 中以 E 和 G 兩種三角形去重疊製作出的三角柱耐重力最大，而平面三角形中，也是以 E 和 G 的剪力最大，因此我們推論出三角柱耐重力會受到平面三角形的剪力大小的影響，兩者之間應該有一致的趨勢。
- (三) 8 組不同的單層立體三角柱旋轉方向都是逆時針旋轉，造成這種現象的原因是兩層平面三角形的堆疊方式？或是柱子和平面三角形間的固定方式？未來可使用更多不同的平面三角形進行堆疊，研究觀察趨勢後再討論。
- (四) 哪一根直立柱會彎曲是隨機的，橫向力由柱子往下傳遞方式不同是受到堆疊方式的影響嗎？目前兩者間還缺少顯著的關係。

## 捌、結論與應用

- 一、依照麵條基本測試，義大利麵條 B 在彈性與彎曲強度表現上最適合搭建高塔。
- 二、探討平面三角結構，重疊方式對剪力的影響：
  - (一)互為鏡像的模型，其斷點在結構上都位於相同位置，且都在邊長的中央。
  - (二)單點受力下，三角形中的對邊影響最小，完全沒有折斷的現象。
  - (三)單點受力下，與點相連的兩個邊受力不固定，但重疊方式的確會影響斷點位置。
- 三、探討平面三角結構，中間點加強對剪力大小的影響中，使用棉繩的模型剪力增加 42.4%，膠帶增加 14.7%，因此在單一方向下，棉繩對張力的幫助較膠帶好。
- 四、探討雙層立體三角柱，中間點加強對耐重力的影響中，使用膠帶的模型耐重力增加 46.94%，棉繩增加 27.63%，柱子中間點用膠帶加強強度對耐重力的影響較棉繩顯著。
- 五、探討單層立體三角柱，重疊方式對扭轉方式與耐重力的測量中，GG 三角柱耐重力最大，HA 三角柱耐重力最小，互為鏡像的三角型組成的三角柱中，平均耐重力最大為 E、G 組，最小是 D、B 組，8 組單層立體三角柱旋轉方向都是逆時針旋轉。



六、交叉比對麵條彈性與彎曲強度，取彈性較小但彎曲強度較大的 B 麵條，再次挑戰「棉花糖挑戰」。應用實驗結果，仿照圓柱棒高塔模式，在有限的材料下，一舉將棉花糖高塔高度從專題課堂中第一次的 22 公分提升至 97 公分，共增加 4.4 倍(如圖十四)。再次挑戰改變的項目包含以下幾點：

(一)使用三角錐結構。

(二)利用膠帶固定兩根義大利麵交會點，重疊部分 2 公分長，提供兩個三角框架中間的支撐點。

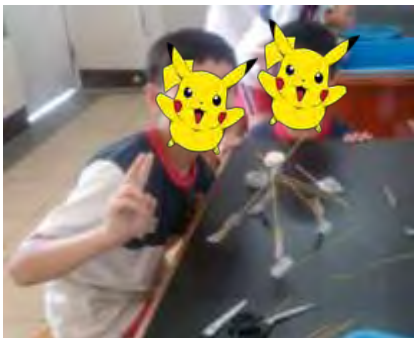
(三)使用實驗測量出剪力與耐重力最大的 E 和 G 組三角形，製作四層框架。

(四)運用中央點加強方式，於三角錐三個直立柱每兩個膠帶黏貼處中央位置，增加一平面三角形框架，加強結構的耐重力。

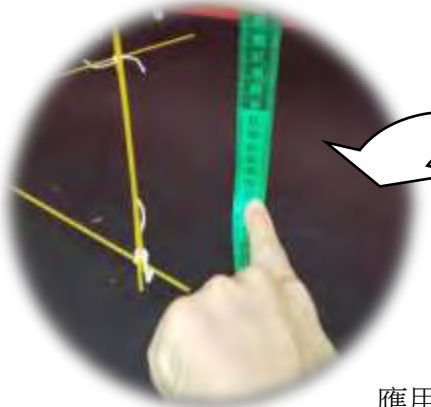
(五)利用棉線固定平面三角結構與直立柱。

(六)義大利麵條分別使用在直立柱 3 根，每根由 4 根義大利麵條組合；四層框架共用 8 根義大利麵條。

※棉花糖挑戰材料限制：20 根義大利麵條、90 公分長棉線與 90 公分長膠帶。



一開始只搭了 22 公分高



應用實驗結果成功搭出 97 公分高的義大利麵高塔

圖十四 棉花糖挑戰成功

## 玖、參考資料

一、王素慧等編著(2018年)，自然與生活科技 六下(P.4~P.19)，翰林出版。

二、郭亭勻(2008年)。淺談建築力學構造。

取自 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2008/03/2008032622030674.pdf>

三、黃寶慧等，(2014)。過來『橋』一下～利用市售義大利麵來探討桁架橋樑結構對其負重情形之影響。中華民國第54屆中小學科學展覽會 國中組生活與應用科學科，國立台灣科學教育館，臺北。

四、甘錫滢等，(2017)。台北101大樓結構的工程設計。中工高雄會刊，25(1)，12。

五、地獄罡風(2018年)。萬能的桁架，無限的變化，懸挑和跨越盡在眼前。

取自 <https://kknews.cc/history/ve2rgw92.html>

六、模型製作工作坊－高樓和塔的結構(2012年)。

取自 [https://minisite.proj.hkedcity.net/hkiakit/cht/Science/lesson\\_3.html](https://minisite.proj.hkedcity.net/hkiakit/cht/Science/lesson_3.html)

## 【評語】 080121

1. 人工綁住節點如何確保每個節點一致性。
2. 最後棉花糖塔結構與實驗不同，卻無法說明。
3. 宜聚焦探究主題。

# 摘要

專題課時，利用20根義大利麵、有限的膠帶與棉繩搭高塔挑戰失敗，引發了我們對在有限資源下，如何搭出堅固高塔的好奇心。本研究利用自然課的教具完成簡易裝置，在幾種市售的麵條中，挑出彈性及彎曲強度適當的義大利麵進行棉花糖挑戰。使用圓竹棒代替義大利麵進行結構的探討，先利用自製的剪力測量裝置找出兩個重點，第一是平面三角形的邊彼此以非水平方式

重疊可以提升剪力，第二是各邊長的中間點以棉繩加強後可以讓平面三角形增加剪力。接著以圓竹棒組成兩層的三角柱結構，進行扭轉和耐重力的探討，發現使用膠帶加強竹棒中間點可以使三角柱模型的耐重力提升。最後，配合研究結果與文獻資料，成功將20根義大利麵高塔由原本22公分高提升到97公分高，高度增加了4.4倍。

## 01 研究動機

剛開學上專題課程時，進行了一個有趣的活動「棉花糖挑戰」，所謂的棉花糖挑戰就是在18分鐘內利用20根義大利麵條及有限的膠帶與棉線，將一顆棉花糖放在最高的位置。一開始我們努力疊出很高的塔，信心滿滿將棉花糖放在最高點，高塔卻不爭氣的倒下了，這一倒塌讓我們產生許多疑惑，也激起了我們想要繼續研究的興趣。

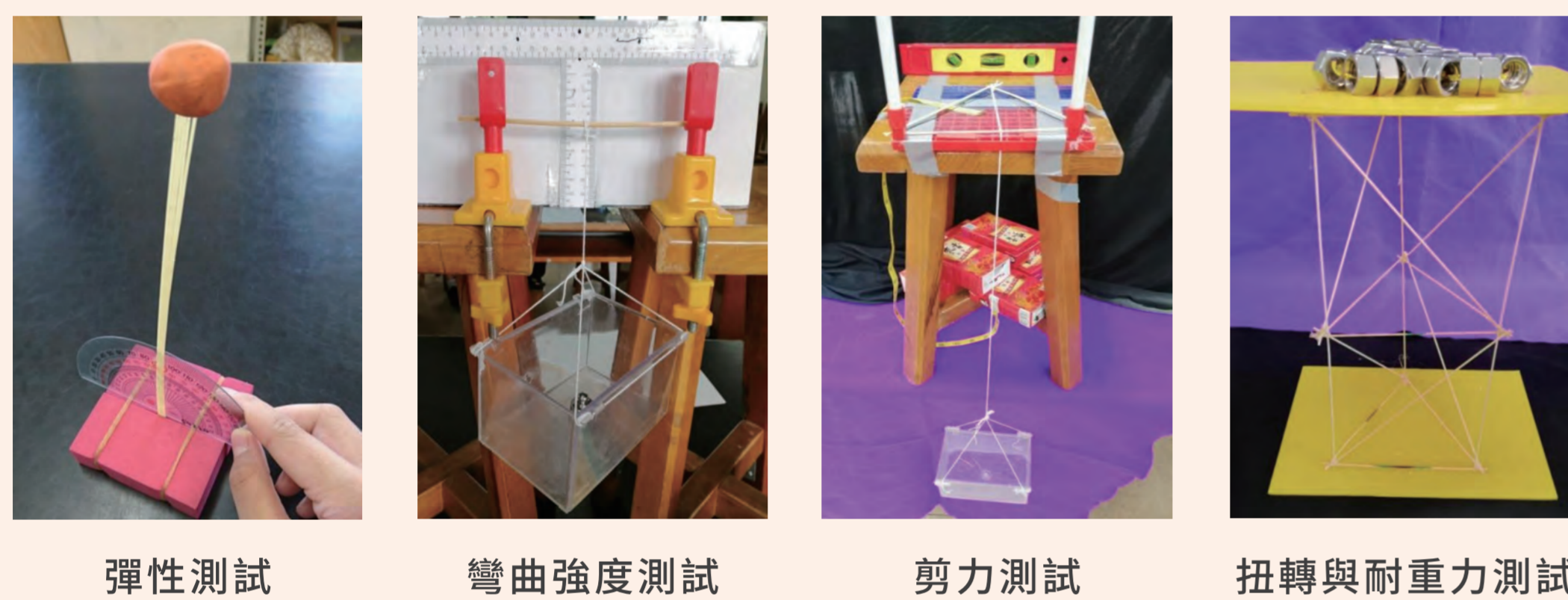
如何搭起堅固的高塔呢？我們上網蒐集世界各國高樓大廈、高塔的資料，還請教童軍搭工程的繩結專家，學習如何搭建高塔。因為麵條很脆弱，不容易呈現差異，所以我們改用細圓竹棒進行測試，到底什麼因素會影響塔的穩固，是連接方式？或是重疊方式呢？還是需要輔助的地方不同呢？我們有非常多的疑問，於是有了這次的研究。

## 02 研究目的

- 一、利用教具完成簡易裝置，測量義大利麵的彈性及彎曲強度，探討義大利麵的特性。
- 二、利用自製的剪力測量裝置，探討**三角形三個邊不同的重疊方式**，對平面三角形的剪力大小的影響。
- 三、探討**柱子中間點不同的加強方式**，對立體三角柱的扭轉與耐重力的影響。
- 四、探討**三角形接點不同的重疊方式**，對立體三角柱的扭轉與耐重力的影響。

## 03 研究設備及器材

圓竹棒、麵條、園藝剪刀、瓦楞板、金蔥、熱熔槍、膠帶、棉繩、油土、泡棉積木、螺帽、方格板、電子磅秤、游標尺、水平儀、量角器



彈性測試

彎曲強度測試

剪力測試

扭轉與耐重力測試

## 04 研究流程

文獻探討	1. 材料特性 2. 採用三角形的原因 3. 框架的力學
專家座談	以三角型為基底並使用不易斷裂又容易打結的金蔥當固定圓竹棒的材質
設計測試方法	1. 測試彈性方法 2. 彎曲強度裝置
麵條性質測試實驗	1. 麵條彈性測試 2. 麵條彎曲強度測試
尋找替代麵條的實驗材料	1. 飛機木 2. 竹筷 3. 細竹籤 4. 粗竹籤 5. 圓竹棒
自行研發裝置	使用自然課中的教具自製測量剪力裝置
實驗設計與執行	〈實驗1-1〉 平面三角結構，重疊方式對剪力的影響
	〈實驗1-2〉 平面三角結構，中間點加強對剪力大小的影響
	〈實驗2-1〉 雙層立體三角柱，中間點加強對扭轉方式與耐重力的影響
	〈實驗2-2〉 雙層立體三角柱，三角形重疊方式對扭轉方式與耐重力的影響
改良重物	螺帽排列成正三角形
修改實驗	〈實驗3〉 單層立體三角柱，重疊方式對扭轉方式與耐重力的影響
驗證與應用	1. 圓竹棒高塔 2. 棉花糖挑戰

## 05 研究方法

### 一、文獻探討

〈一〉本研究測量材料特性，定義分別如下：

1. 彎曲強度：材料受到外力或負荷重量而彎曲形變時，產生的抵抗力。
2. 彈性：材料受外力而產生變形，外力解除後恢復原狀的能力。
3. 抗剪強度：材料局部於相對方向施壓，產生的抵抗能力，簡稱剪力。

〈二〉採用三角形的原因：三角桁架可以分散承重力。

〈三〉框架的力學：是種貫穿構造，對橫向受力有高安定性的架構。

### 二、專家座談

某個星期三下午，擅長童軍搭工程的繩結專家專家來到我們學校。結束後，我們比較各式材料，最後決定以三角型為基底，使用不易斷裂又容易打結的金蔥當固定圓竹棒的材質，外部再以少量熱熔膠加強。

### 三、義大利麵材質基本測試

#### 〈一〉麵條彈性測試

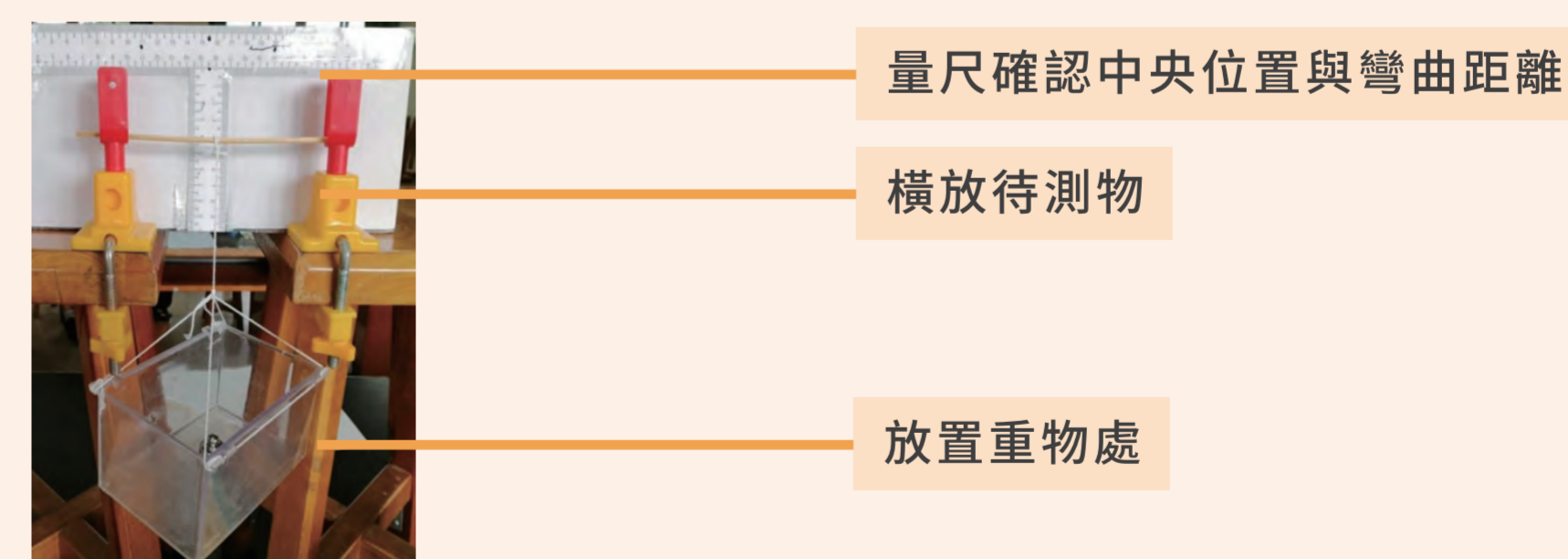
測試五款麵條在直立時，承受一顆棉花糖重量(5.61公克重)後，麵條彎曲的角度，表示該麵條的彈性。



實驗結果：五款麵條彈性由大到小依序  
**D寬版大麵 > C細扁麵 > B義大利麵 > E家常麵 > A天使細麵**

#### 〈二〉麵條彎曲強度測試

使用自然課簡單機械單元中的教具設計這裝置，用5根麵條進行測試，並於麵條中央逐漸增加重物，當麵條斷裂時，重物重量就可以表示該麵條的彎曲強度。

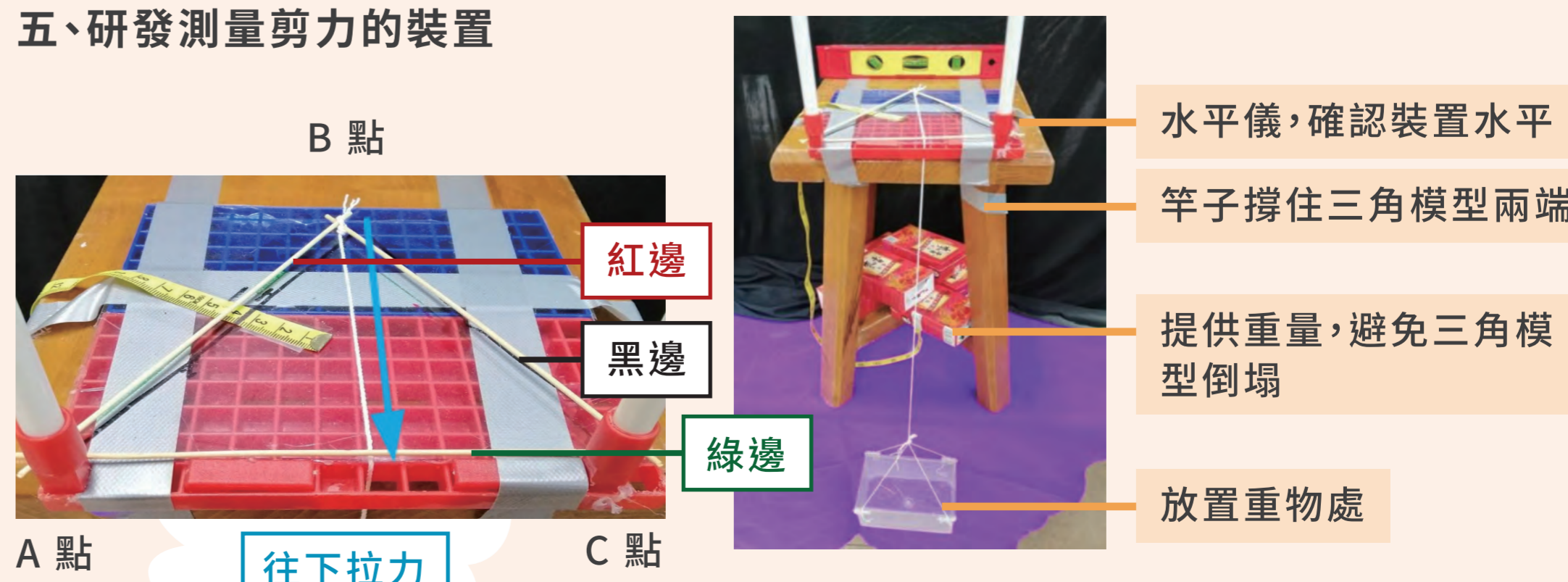


實驗結果：五款麵條彎曲強度由大到小依序  
**B義大利麵 > D寬版大麵 > C細扁麵 > E家常麵 > A天使細麵**

### 四、尋找取代義大利麵的實驗材料

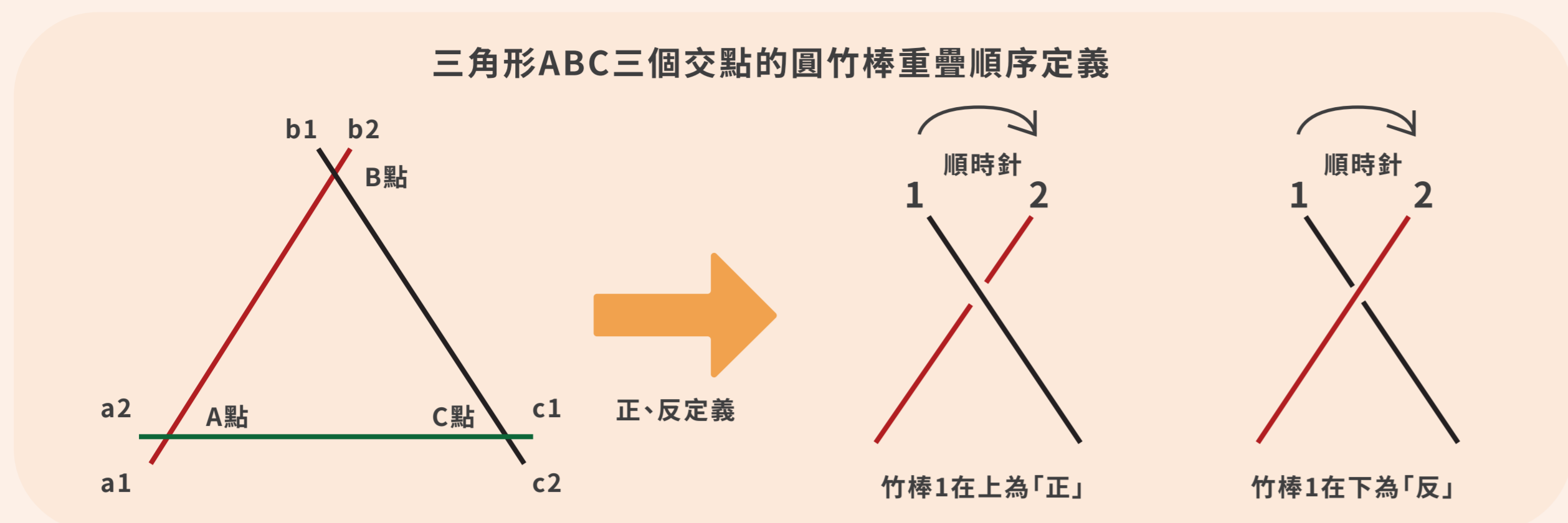
實驗過程中，因義大利麵非常脆弱很容易斷掉，無法顯現差異，於是我們測量市面上相近的材料，包含飛機木、竹筷、粗竹籤、細竹籤與圓竹棒。最後根據特性比較，圓竹棒具有彈性，直徑與義大利麵(1.8mm)相近，彎曲強度是義大利麵的6.15倍，能承受較大的施力，因此我們選擇使用圓竹棒取代義大利麵進行實驗。

### 五、研發測量剪力的裝置



# 06 研究過程與結果

## 一、平面三角結構



三角形ABC三個交點的圓竹棒重疊順序定義

結構編號 接點	A	B	C	D	E	F	G	H
A點	正	正	正	正	反	反	反	反
B點	正	正	反	反	正	正	反	反
C點	正	反	正	反	正	反	正	反

平面三角結構三邊的水平狀態分析表 X:無法保持水平 O:呈現水平

結構編號 接點	A	B	C	D	E	F	G	H
紅邊	X	X	O	O	O	O	X	X
黑邊	X	O	O	X	X	O	O	X
綠邊	X	O	X	O	O	X	O	X

### 〈實驗1-1〉 平面三角結構，重疊方式對剪力的影響

在外面的建築物，都需要擁有抗風剪力的結構，專家提到會改變三角形三個邊的重疊方式以增加三角柱的穩固性，我們猜測不同的重疊方式可能會是影響結構穩固度的其中一個因素，如果提高結構的抗風剪力，就能提升整體的穩度性。所以我們製作出八種不同交疊方式的三角形，測試哪一種交疊方式產生的剪力最大。



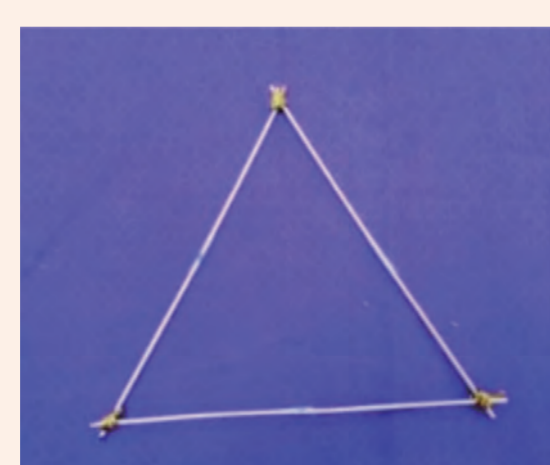
實驗結果與發現：

三角結構 觀察項目	A	B	C	D	E	F	G	H
斷裂邊顏色	紅	黑	紅	紅	黑	黑	紅	黑
斷裂邊是否水平	否	是	是	是	否	是	否	否
剪力(gw)	1803	1361	1159	1414	1882	1263	2240	1537

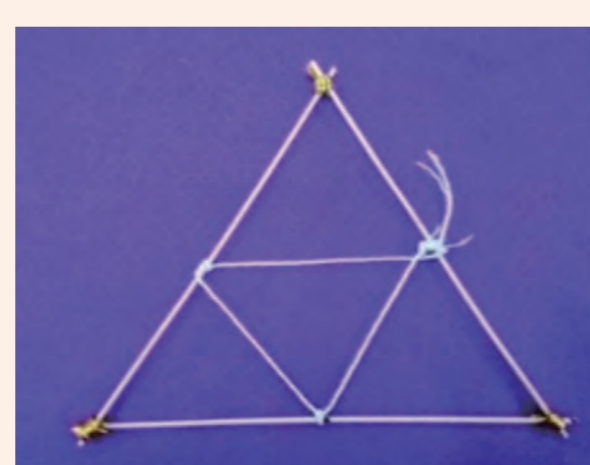
### 〈實驗1-2〉 三個邊中間點加強對剪力大小的影響

在1-1的實驗中發現，三角形結構的斷裂點都位於每一邊的中間，我們推論是因為中間點沒有任何支撐的地方，導致中間點最為脆弱，因此我們決定利用不同的加強方式加強每一邊的中間點，研究中間點加強是否能讓結構的剪力提升。(使用結構B)

利用膠帶加強三角形中間點



利用棉繩加強三角形中間點

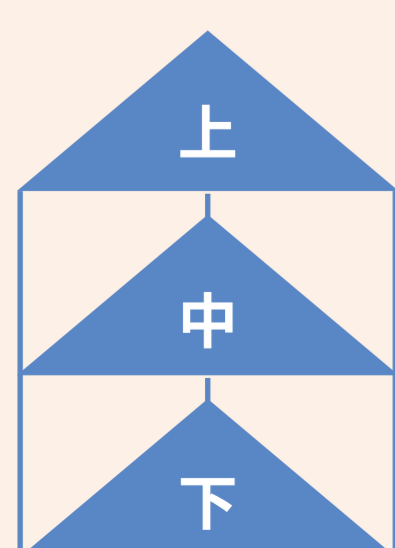


實驗結果與發現：

加強方式 觀察項目	無加強	膠帶	棉繩
剪力(gw)	1360.7	1560.6	1937.6
增加百分比	X	14.7%	42.4%

## 二、雙層立體三角柱

以實驗中表現較穩定的結構B和D兩種三角形為基礎，改變不同的搭配方式搭建四種不同的雙層三角柱。



種類 層別	第一種 BBB	第二種 DDB	第三種 DBB	第四種 BDB
第三層(上)	B	D	D	B
第二層(中)	B	D	B	D
第一層(下)	B	B	B	B

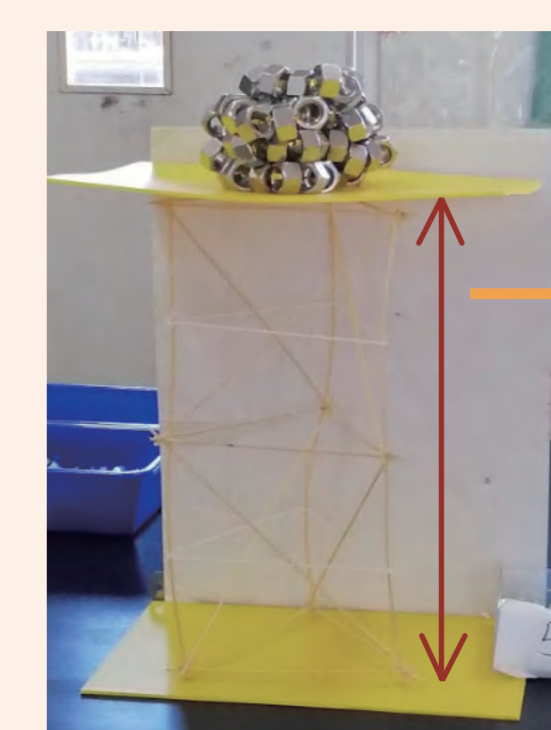
### 〈實驗2-1〉 中間點加強對扭轉方式與耐重力的影響

利用不同的方式加強雙層立體三角柱(BBB)直立柱上的中間點，觀察扭轉方式和耐重力的變化

膠帶加強直立柱中間點進行實驗



棉繩加強直立柱中間點進行實驗



實驗結果與發現：

- (1)三角柱中間點使用不同的加強物對扭轉方式沒有顯著影響，二樓較為脆弱容易扭轉。
- (2)中間點加強後耐重力的大小：膠帶(2236.5gw) > 棉繩(1942.5gw) > 無(1522gw)，利用膠帶加強中間點後耐重力提升46.94%，利用棉繩加強中間點後耐重力提升27.63%。

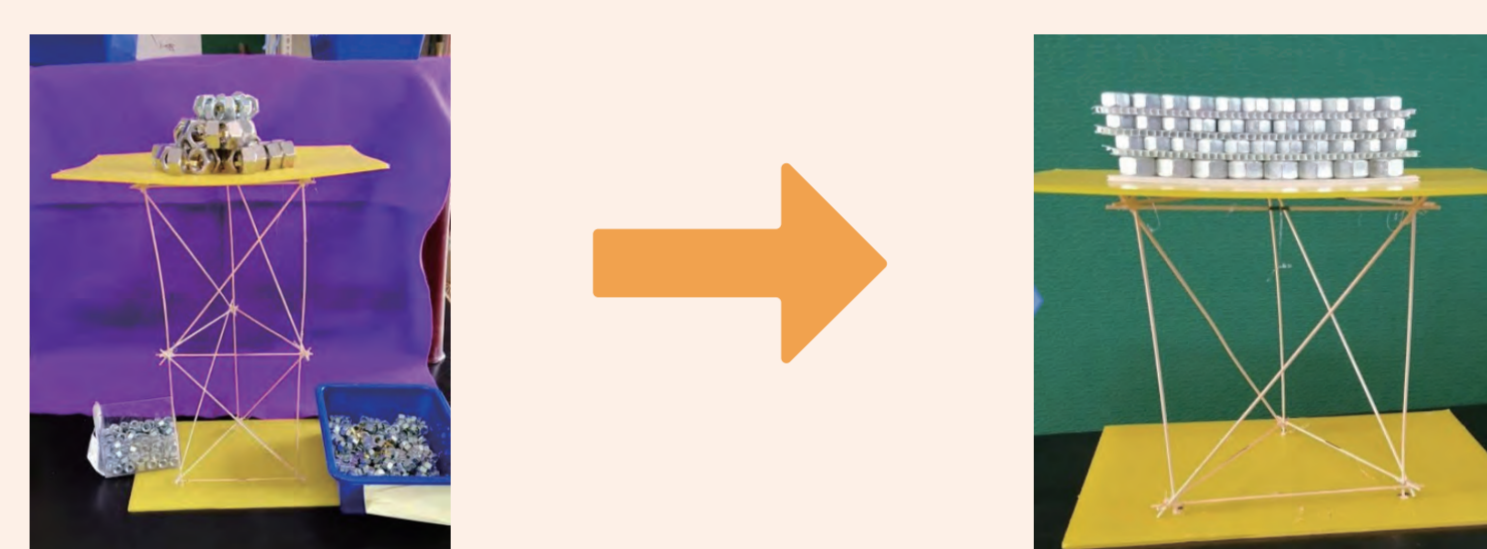
### 〈實驗2-2〉 三角形交疊方式對扭轉方式與耐重力的影響

實驗結果與發現：

- (1)DDB和BBB類型都成倒S彎曲，DBB和BDB成正S彎曲。
- (2)不同重疊方式耐重力由大到小：DDB(1758gw) > DBB(1708gw) > BBB(1499gw) > BDB(1099gw)，沒有明顯的趨勢。

### 三、改良重物

原先重物擺放情形，容易造成重量不均，修改後，重物能均勻地擺放在立體柱上，成功減少干擾



## 四、單層立體三角結構

我們發現兩層的三角柱有很多干擾，因此改以四組互為鏡像的三角形製作出八種單層三角柱，進行實驗。

種類	一	二	三	四	五	六	七	八
第二層(上)	B	D	G	E	A	H	F	C
第一層(下)	B	B	G	G	A	A	F	F

20公分高

### 〈實驗3〉 三角形交疊方式對扭轉方式與耐重力的影響

觀察單層立體三角柱中，三角形交點交疊方式對扭轉情形與耐重力的影響。

實驗結果與發現：

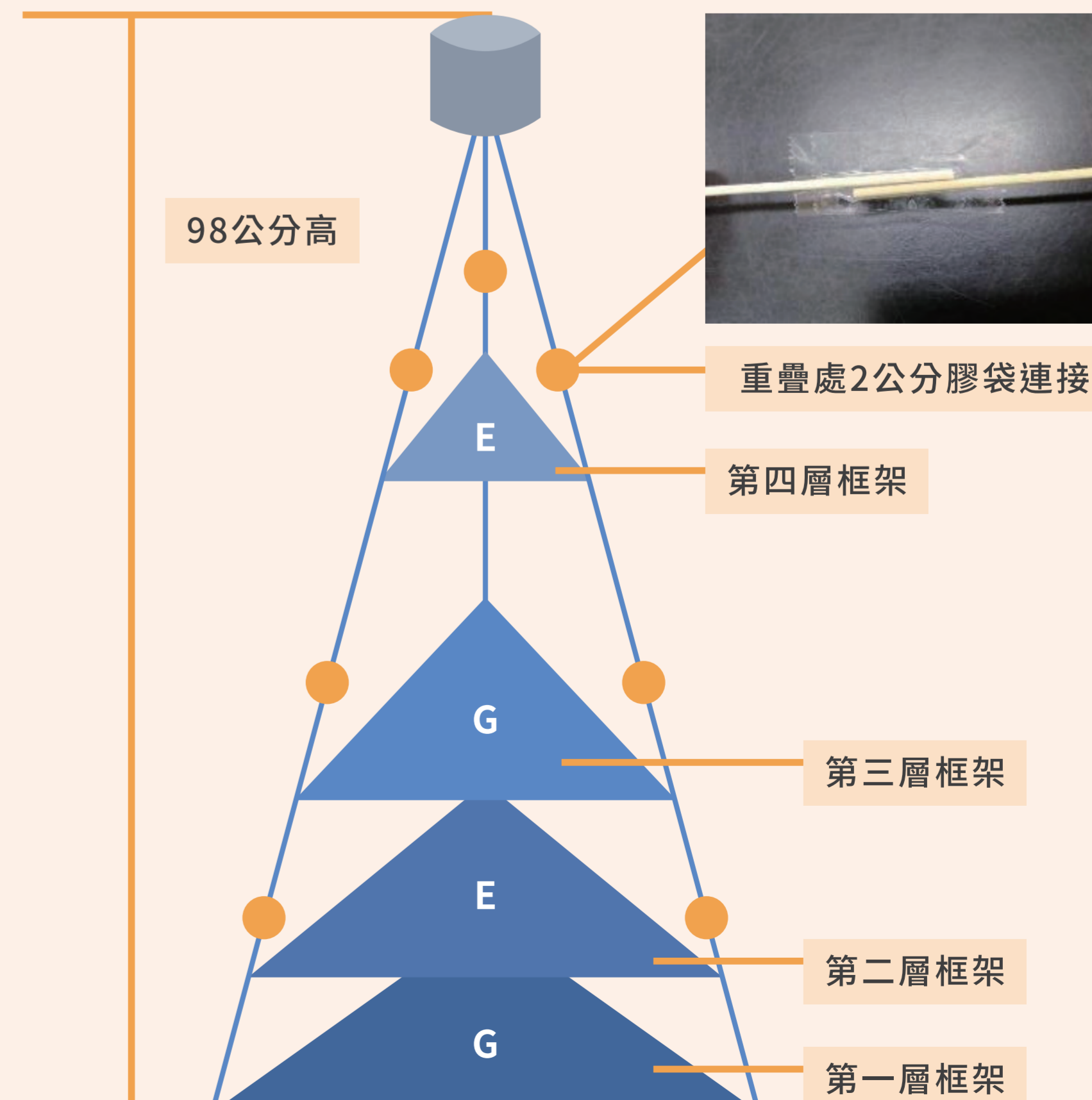
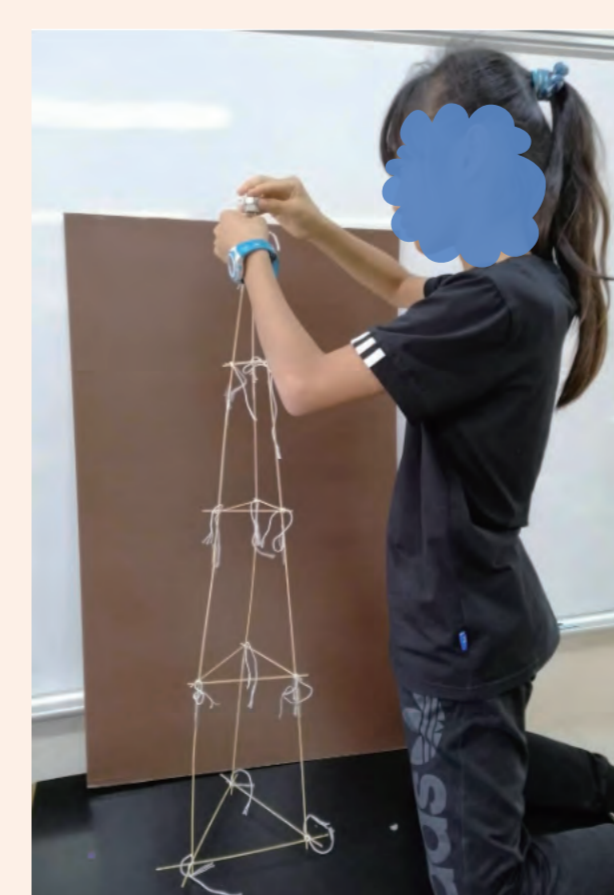
單層立體三角柱，重疊方式對扭轉方式與耐重力的測量

三角柱種類 觀察項目	一 BB	二 DB	三 GG	四 EG	五 AA	六 HA	七 FF	八 CF
扭轉方式	向A柱彎曲	逆時針旋轉	逆時針向A柱彎曲	逆時針向C柱彎曲	逆時針向B柱彎曲	逆時針向B柱彎曲	逆時針旋轉	逆時針向A柱彎曲
耐重力(gw)	1436	1392	1550	1737	1581	1375	1472	1393
平均耐重力(gw)	1414		1643.5		1478		1432	

- (1)不同重疊方式中，GG三角柱耐重力最大，HA三角柱耐重力最小。
- (2)由互為鏡像的三角形組成的三角柱中，平均耐重力由大到小為 E、G組 > H、A組 > C、F組 > D、B組。

## 五、圓竹棒高塔

圓竹棒裁剪成和義大利麵等長(25.6公分)，再依兩者的彎曲強度等比例計算出放在圓竹棒最上端的重物重量是34.5公克重，運用實驗結果搭建高塔，順利達到98公分高。



## 07 討論

一、研究目的一：利用教具完成簡易裝置，測量義大利麵的彈性及彎曲強度，探討義大利麵的特性。

(一)在測試麵條彈性時，我們從五根麵條逐漸遞減，是為了凸顯它的彈性強度差異。實驗發現麵條D的彈性最大，但這個實驗需要彈性小一點的材質，避免高塔容易歪斜，所以我們最後決定使用麵條B來搭建義大利麵高塔。

二、研究目的二：利用自製的剪力測量裝置，探討三角形三個邊不同的重疊方式，對平面三角形的剪力大小的影響。

(一)在測試平面三角結構中間點加強對剪力的影響時，使用棉繩的效果比膠帶好。我們觀察到圓竹棒外擴時，棉繩就會完全伸張把竹棒拉住，因此剪力增加量達42.4%。而膠帶只能加強了竹棒的中心點，竹棒受力時會在沒有膠帶的地方出現斷裂，剪力增加量是14.7%。所以棉繩對於整個結構的剪力增強效果較佳。

(二)在平面三角形結構三個邊重疊方式對剪力的影響實驗中，我們發現三角形的綠邊，都不會有太大的改變。我們進行力的分析後，推測綠邊受到的力是向外的張力，所以不容易變形，因此沒有斷裂的現象。

(三)在平面三角形結構三個邊重疊方式對剪力的影響實驗中，我們本來假設三角形正正正(A)和反反反(H)會最堅固，因為綠紅黑三桿都不是水平的，彼此會互相傳力，呈現一個循環的狀態。但是A和H卻不是最堅固的，反而是三角形G和E最堅固。在八個樣品中，只有G和E的斷裂桿是三個邊中的唯一非水平桿，是否因此而造成剪力較大，未來可再進行原因探討。

(四)在平面三角形結構三個邊重疊方式對剪力的影響實驗中，編號B三角形的幾次重複實驗中，比較其結果差異是最小的，數據是最穩定的，因此選定為我們日後其他實驗的樣品。

三、研究目的三：探討柱子中間點不同的加強方式，對雙層立體三角柱的扭轉與耐重力的影響。

(一)立體三角柱的柱子加強方式，使用膠帶會比棉線好，因為三角柱比較容易左右倒或轉動。而棉線只在三角柱外擴時能伸張開去發揮功能，若柱子往內側彎曲時，棉線呈現鬆弛無作用，因此棉線效果不穩定，剪力提升了27.63%。膠帶會讓竹籤最容易斷的中心點加強了強度，剪力提升了46.94%。

四、研究目的四：探討三角形接點不同的重疊方式，對立體三角柱的扭轉與耐重力的影響。

(一)在進行雙層立體三角柱的探討時，結果發現重疊方式對扭轉方式與耐重力的影響缺少規律性，我們推測可能是因為放置砝碼時重量分配稍微不平均所造成的，所以改良重物並減少樓層，更改為使用單層立體三角柱去進行實驗3。

(二)在實驗3中以E和G兩種三角形去重疊製作出的三角柱耐重力最大，而平面三角形中，也是以E和G的剪力最大，因此我們推論出三角柱耐重力會受到平面三角形的剪力大小的影響，兩者之間應該有一致的趨勢。

(三)8組不同的單層立體三角柱旋轉方向都是逆時針旋轉，造成這種現象的原因是兩層平面三角形的堆疊方式？或是柱子和平面三角形間的固定方式？未來可使用更多不同的平面三角形進行堆疊，研究觀察趨勢後再討論。

(四)哪一根直立柱會彎曲是隨機的，橫向力由柱子往下傳遞方式不同是受到堆疊方式的影響嗎？目前兩者間還缺少顯著的關係。

## 08 結論與應用

一、依照麵條基本測試，義大利麵條B在彈性與彎曲強度表現上最適合搭建高塔。

二、探討平面三角結構，重疊方式對剪力的影響：

(一)互為鏡像的模型，其斷點在結構上都位於相同位置，且都在邊長的中央。

(二)單點受力下，三角形中的對邊影響最小，完全沒有折斷的現象。

(三)單點受力下，與點相連的兩個邊受力不固定，但重疊方式的確會影響斷點位置。

三、探討平面三角結構，中間點加強對剪力大小的影響中，使用棉繩的模型剪力增加42.4%，膠帶增加14.7%，因此在單一方向下，棉繩對張力的幫助較膠帶好。

四、探討雙層立體三角柱，中間點加強對耐重力的影響中，使用膠帶的模型耐重力增加46.94%，棉繩增加27.63%，柱子中間點用膠帶加強強度對耐重力的影響較棉繩顯著。

五、探討單層立體三角柱，重疊方式對扭轉方式與耐重力的測量中，GG三角柱耐重力最大，HA三角柱耐重力最小，互為鏡像的三角型組成的三角柱中，平均耐重力最大為E、G組，最小是D、B組，8組單層立體三角柱旋轉方向都是逆時針旋轉。

六、交叉比對麵條彈性與彎曲強度，取彈性較小但彎曲強度較大的B麵條，再次挑戰「棉花糖挑戰」。應用實驗結果，仿照圓柱棒高塔模式，在有限的材料下，一舉將棉花糖高塔高度從專題課堂中第一次的22公分提升至97公分，共增加4.4倍。再次挑戰改變的項目包含：

(一)使用三角錐結構。

(二)利用膠帶固定兩根義大利麵交會點，重疊部分2公分長，提供兩個三角框架中間的支撐點。

(三)使用實驗測量出剪力與耐重力最大的E和G組三角形，來製作四層框架。

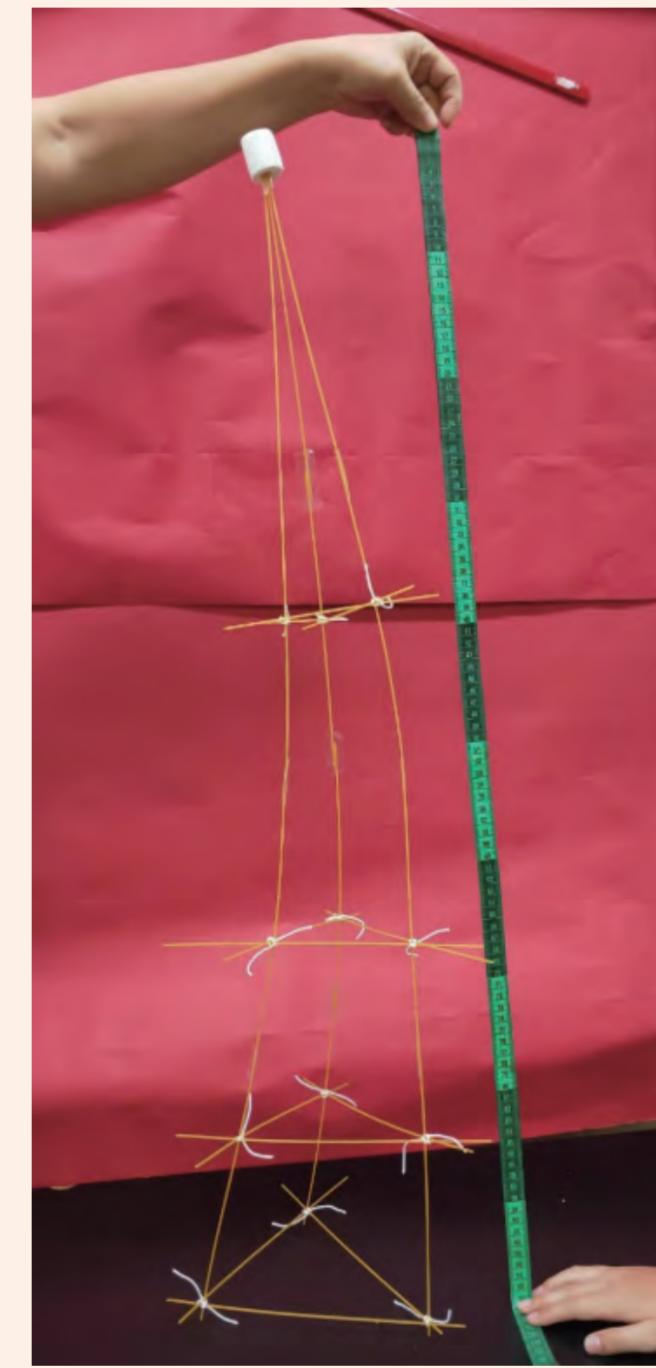
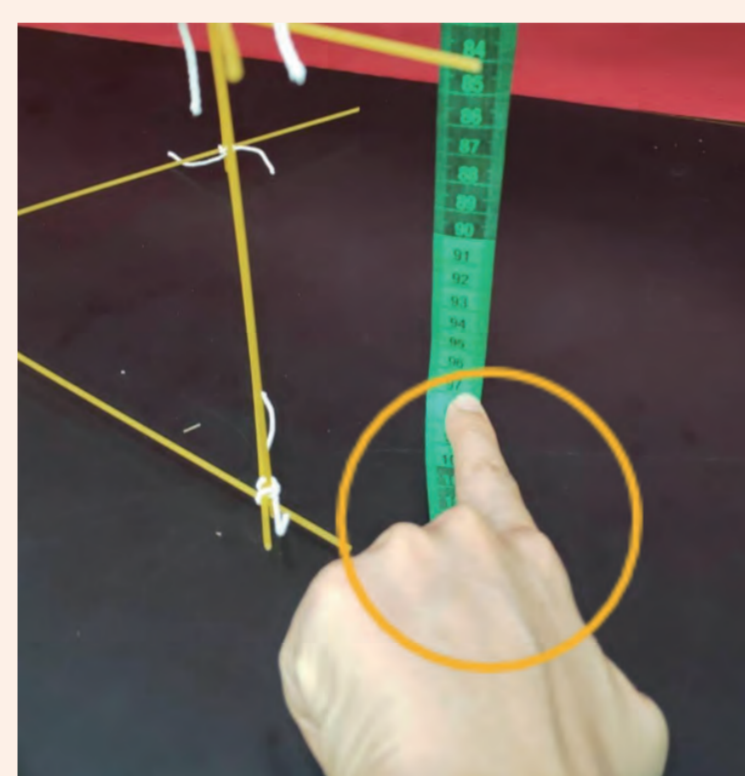
(四)運用中央點加強方式，於三角錐三個直立柱每兩個膠帶黏貼處中央位置，增加一平面三角形框架，加強結構的耐重力。

(五)利用棉線固定平面三角結構與直立柱。

(六)義大利麵條分別使用在直立柱3根，每根由4根義大利麵條組合；四層框架共用8根義大利麵條。

※棉花糖挑戰材料限制：20根義大利麵條、棉線與膠帶各90公分長。

一開始只搭了22公分高



應用實驗結果成功搭出97公分高的義大利麵高塔

## 09 參考資料

一、王素慧等編著(2018年)，自然與生活科技 六下(P.4~P.19)，翰林出版。

二、郭亭勻(2008年)。淺談建築力學構造。取自 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2008/03/2008032622030674.pdf>

三、黃寶慧等，(2014)。過來『橋』一下～利用市售義大利麵來探討桁架橋樑結構對其負重情形之影響。中華民國第54屆中小學科學展覽會 國中組生活與應用科學科，國立台灣科學教育館，臺北。

四、甘錫滢等，(2017)。台北101大樓結構的工程設計。中工高雄會刊，25(1)，12。

五、地獄罡風(2018年)。萬能的桁架，無限的變化，懸挑和跨越盡在眼前。取自<https://kknews.cc/history/ve2rgw92.html>

六、模型製作工作坊－高樓和塔的結構(2012年)。取自[https://minisite.proj.hkedcity.net/hkiakit/cht/Science/lesson\\_3.html](https://minisite.proj.hkedcity.net/hkiakit/cht/Science/lesson_3.html)