

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 物理科

080104

「橋」見摩擦力-探討達文西橋不同結構之形抗
結果

學校名稱： 桃園市平鎮區義興國民小學

作者： 小六 邱璿綾 小六 林汶靜	指導老師： 吳思瑤 邱仲遠
-------------------------	---------------------

關鍵詞： 達文西橋、形抗結果、摩擦力

「橋」見摩擦力-探討達文西橋不同結構之形抗結果

摘要

為了發現達文西橋的秘密，本研究嘗試採用不同材質棍子、不同搭橋方式來研究達文西橋承重力與形抗結構。經實驗後發現：（1）與木棍相比下，竹棍的韌性和彈力較好且更紮實，具有較大的承重力，其中，尺寸 0.5*0.5*20 竹棍的承重力最大；（2）橋體層數越多，越接近拱形，其承重量越大，但三層以上的橋體角度太大，容易崩塌，因此兩層的達文西橋為最佳；（3）竹棍間的實際接觸面積愈大、支點愈多時，摩擦力就愈大，橋體將會愈穩固，如直橫交錯鋪滿的橋體；（4）地面材質的摩擦力太大或太小皆不適合搭建達文西橋。因此，使用較多棍子搭橋不一定好，並且需要考慮棍子材質、搭橋方式，以及地面材質的影響，才能搭出穩固、承重力大、形變率小的達文西橋。

壹、研究動機

在一次美術課，老師介紹了許多古代的名畫，其中的一幅畫吸引了我們的注意力，那是一幅名叫「清明上河圖」的畫，畫中有一座由木頭搭建的拱橋，奇怪的是上面竟然站滿了人，橋卻沒有垮掉。深入了解之後發現，畫中的拱橋和「達文西橋」的結構十分相似，達文西橋是一種交叉式拱橋，靠摩擦力所搭建而成，不需要用任何繩索或黏著劑來固定，但是如何讓達文西橋承受更多的重量呢？為了研究達文西橋的秘密，我們想藉由一系列相關的實驗，找出不同形式的達文西橋最大承重量，進而研究出達文西橋的最佳承重力。

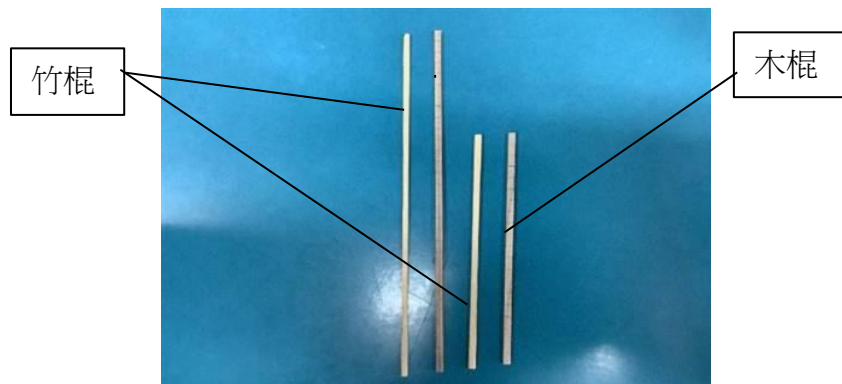







作品與教材單元相關性：

- 自然與生活科技 六下 第一單元 力與運動

貳、研究目的

- (一) 選出達文西橋的最佳主材料：比較同尺寸、不同材質棍子。
- (二) 選出達文西橋的最佳主材料：比較同材質、不同尺寸棍子。
- (三) 探討原型達文西橋的不同橋體結構：比較原型達文西橋橋體層數的形抗結果。
- (四) 探討原型達文西橋的不同橋體結構：比較不同底座結構數。
- (五) 探討原型達文西橋的不同橋體結構：比較橋體上方有無鋪滿。
- (六) 探討達文西橋不同橋體結構最佳的形抗結果。
- (七) 達文西橋的應用：比較摩擦力不同的地面對搭建達文西橋承重影響。
- (八) 延伸實驗：探討搭建不同結構的達文西橋最大承重量。

參、研究設備及器材

不同尺寸的木棍及竹棍		桌墊
		
1 公斤的鹽包	瓦楞板 (厚)	捲尺
		
量角器	IPAD 慢速錄影工具	100 克鹽袋
		

肆、文獻探討

我們在文獻探討中，主要分為五部分，分別為達文西橋的名詞定義、達文西橋原理、達文西橋的製作方法、達文西橋相關文獻及歷屆相關科展分析，以下我們將分別介紹。

一、達文西橋相關名詞定義：

- (一) 達文西橋定義：達文西橋是一種交叉式的木拱橋，不需要用任何繩索、釘子或黏著劑來固定，僅靠著木棍和木棍之間的摩擦力撐起。
- (二) 底座結構數：達文西橋底座結構定義為「口字型」中所放的不同棍子支數，說明如下表 1。

表 1 不同底座結構數

底座結構數一根	底座結構數兩根	底座結構數三根
		

- (三) 達文西橋層數：平視達文西橋，扣除最上方的那根直放棍子後，視覺左邊或右邊的直放棍子數就是達文西橋的層數，如下圖 1、圖 2 所示。

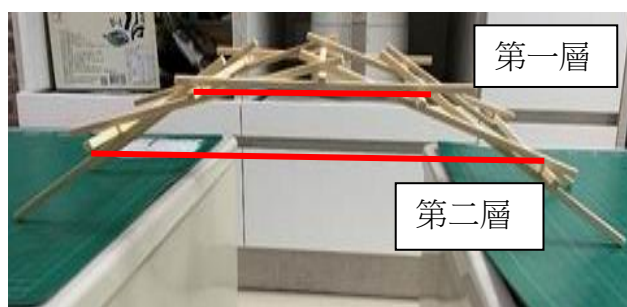


圖 1 兩層達文西橋

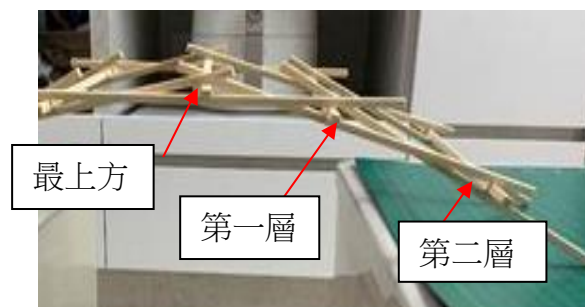


圖 2 達文西橋層數

- (四) 達文西橋的跨距、中心高度以及角度的位置，如圖 3 所示。

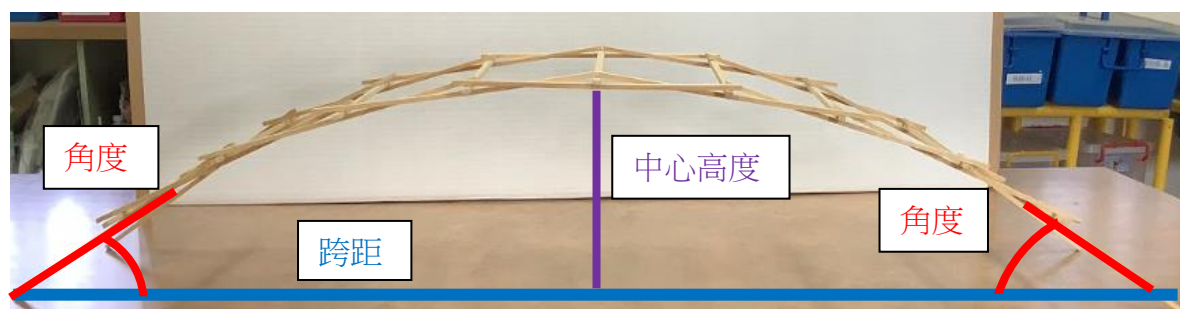


圖 3 達文西橋的跨距、中心高度、角度的位置

(五) 底座及棍子接點長度：紅線標示處皆固定為兩公分。

(六) 兩谷之間距離：桌子之間的距離。

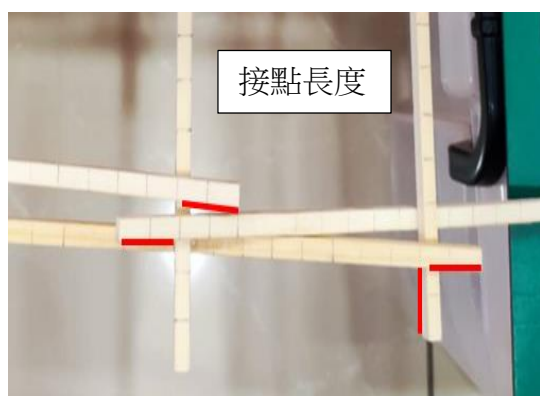


圖 4 達文西橋接點長度



圖 5 兩谷之間距離

二、達文西橋原理：

(一) 摩擦力：在接觸面上阻止物體運動的力。可分為靜摩擦力與動摩擦力，而達文西橋是利用靜摩擦力撐起。

(二) 靜摩擦力：靜摩擦力是物體受到外力推動仍靜止時的摩擦力。

(三) 最大靜摩擦力公式： $f_s = \mu_s \cdot N$ （最大靜摩擦力代表 f_s ，最大靜摩擦係數是 μ_s ，正向力是 N ）。

(四) 由於兩物體接觸時本身是相對靜止的，若外力加大到某一個程度時物體就會開始移動，從上述公式可知：物體所受的最大靜摩擦力(f_s)和正向力(N)成正比。

(五) 形抗結構：物體因外力作用而造成的形狀改變。

(六) 拱橋結構原理：建築物中有許多橋呈現拱形，這是因為拱形負重的下壓力會產生指向圓心的分力，左邊的分力會與右邊產生的分力相抵，使原來的下壓力減少很多，所以拱橋比一般的橋梁的負重大，而達文西橋就屬拱型橋的一種。

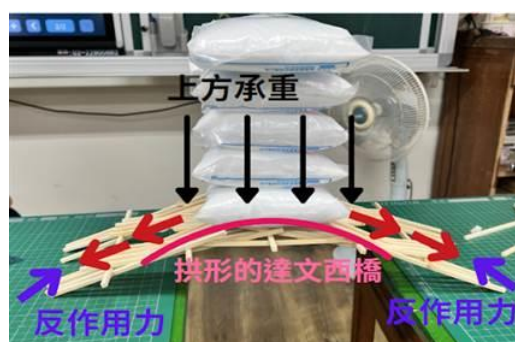



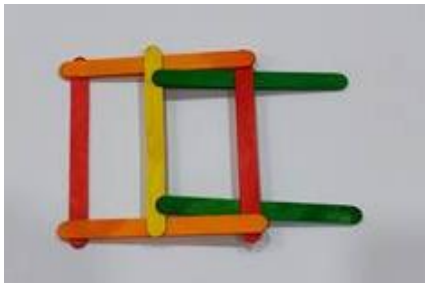

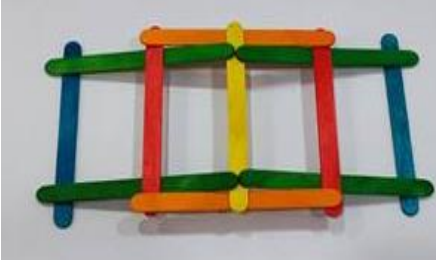
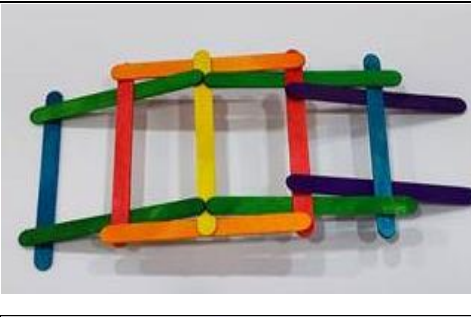
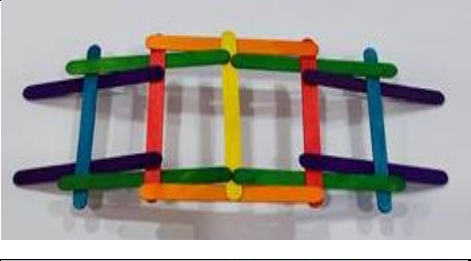



圖 6 拱橋原理說明

三、達文西橋的製作方法：

表 2 搭建達文西橋作法

步驟	說明	圖解
步驟一	1. 將兩根木棍直放	
步驟二	2. 另外兩根木棍橫放在原本的步驟一木棍上(呈「口」字形)	
步驟三	3. 將一根木棍(如圖黃色所示)直放在「口」字形的中間(旋轉 90 度的「日」字形)，完成底座的部分。	
步驟四	4. 將兩根新的木棍插入一側的外框及「日」字形木棍的中間最外緣，這兩根新木棍(如圖綠色所示)的前端需架在「日」字形的木棍上，中段需在外框之下。	
步驟五	5. 另一側的做法同步驟四，這樣就完成第一層了。	
步驟六	6. 將兩根木棍分別放在橋下的兩側。	

<p>步驟七</p>	<p>7. 將另兩根新木棍(如圖紫色所示)插入一側橋下的木棍及底座的外框中間最外緣，這兩根木棍的前端需架在底座外框上，中段需在橋下的木棍之下。</p>	
<p>步驟八</p>	<p>8. 另一側做法同步驟七。</p>	
<p>步驟九</p>	<p>9. 重複以上步驟六~步驟八，就可以將橋越搭越高。</p>	

四、達文西橋相關文獻

- (一) 中國四大畫作之一《清明上河圖》的畫中畫眼是座「虹橋」，是北宋東京汴梁城外汴水河上的一座拱形橋樑，它是用木材製作的，木材間彼此互相支撐，沒有使用任何的黏著劑，化直為曲，形成虹橋，其結構與達文西橋十分相似。
- (二) 達文西曾在 1502 年為伊斯坦堡製作一座 240 公尺的木橋草圖。不過，這並不是達文西的特殊發明，早在羅馬時代以及中國古代，就有先人將這種建築技術利用在搭建拱橋、拱門等結構上。
- (三) 達文西橋是一種交叉式拱橋，靠摩擦力搭建，不需要任何黏著劑來固定，環環相扣使棍子可連接在一起而不滑脫。建築物中有許多橋成拱形，這是因為拱形負重的下壓力會產生指向圓心的分力，左邊的分力會與右邊產生的分力相抵，使原來的下壓力減少很多，所以拱橋比一般的橋梁的負重大，達文西橋就屬拱型橋的一種。
- (四) 達文西橋能將上方的負重承載都平均的向下、向外分擔，負重結構十分穩定。

五、歷屆相關科展分析：

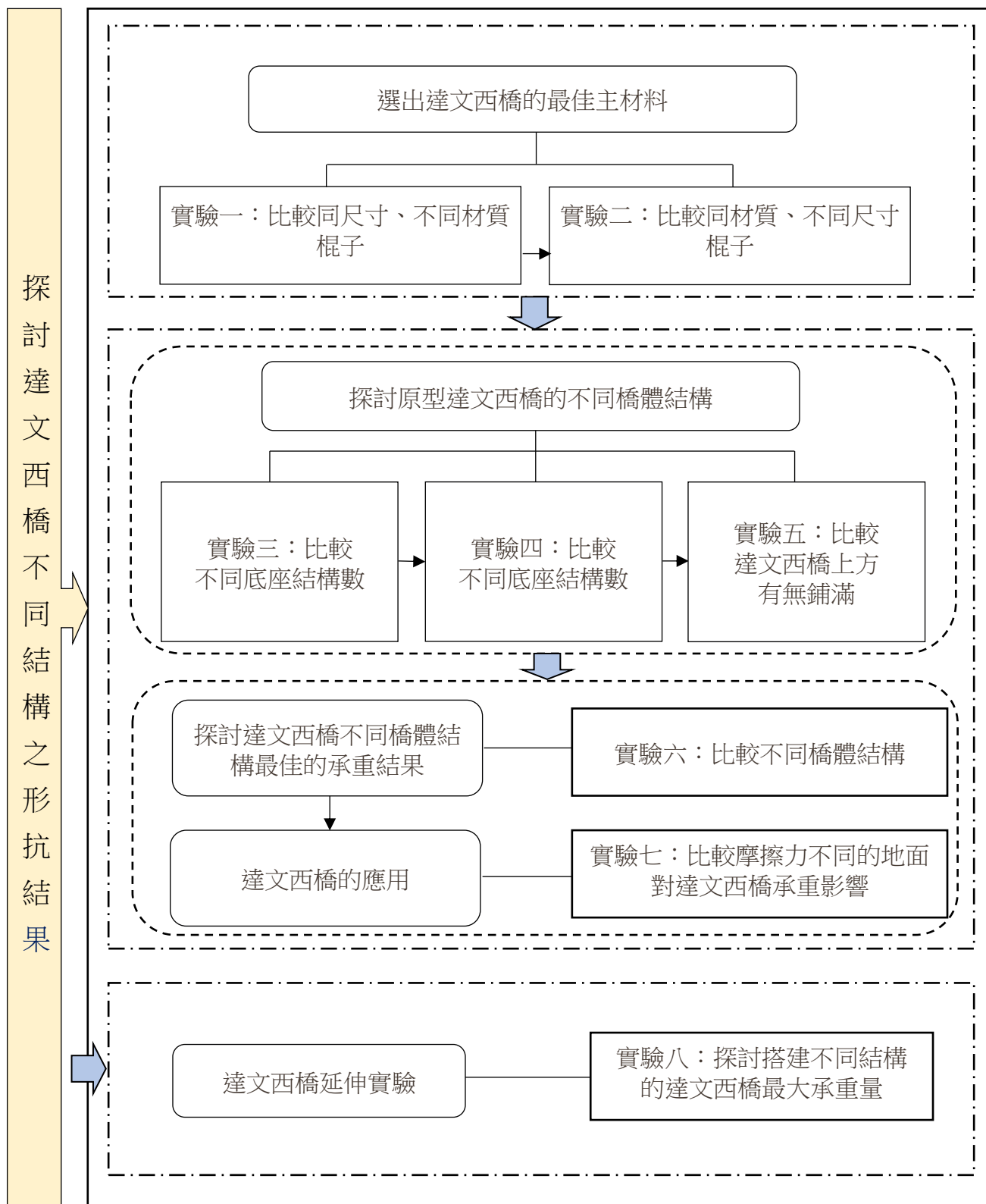
歷屆作品	作品內容
59 屆 《達文西橋》	研究搭建橋的斜面受摩擦力達到穩定現象，以及探討完成橋之後，橋身承受重力與固定跨距及接點長度、組數之間的關係。
60 屆 《以小博大》	研究橋體最佳的形狀，以及比較不同底角的三角形對整個橋體結構的影響。
61 屆 《達文西橋的秘密》	研究達文西橋在同樣的面積之下木條直放跟橫放會產生不同結果。

作品分析

1. 第 59 屆科展作品比較了不同冰棒棍及木棍的磨擦係數及承重力，他們將木棍及冰棒棍放在板子上，緩緩抬起板子使其傾斜，測量木棍及冰棒棍滑落的角度；這樣的方式只能間接找出達文西橋的搭建主材料，可能有滑落角度不精準的地方，因此我們希望能**直接探討達文西橋搭建主材料的方法**。
2. 第 59 屆和第 61 屆的科展作品都是將承重物用鉤子掛在橋下方，而我們將以**承重物放在橋身上方**進行實驗測試，讓整座橋體平均受力。
3. 第 59 屆和第 61 屆的科展作品都是使用一般的木桌桌面進行實驗，而我們考慮到橋一般是搭在戶外，因此將常見的地面材質列入研究目的，**比較不同摩擦力的地面**對達文西橋承重結果。
4. 第 59 屆和第 61 屆的科展作品在達文西橋底座中間，都是使用一根木棍，為了提高橋的穩定性，我們嘗試**改變底座中間不同的根數**。
5. 第 59 屆和第 61 屆的科展作品都是用未鋪滿的達文西橋做實驗，為了讓達文西橋更加穩固，所以我們比較**達文西橋身有無鋪滿**。
6. 第 60 屆是在探討不同底角的三角形對橋身的載重量影響，他們發現**底角越小，橋體的載重量就越大**。因此我們預測當達文西橋兩邊底角的角度超過 45 度角時，其橋體就較不穩固，承重效果會較差。

伍、研究流程概念圖

一、研究架構圖





陸、研究過程及結果

一、自製達文西橋承重檢測方式說明：

- (一) 達文西橋承重測量說明：將重物放在達文西橋的上方，每次以增加 1 公斤為限，測量達文西橋承受不同重量時的跨距、中心高度以及角度的變化，並計算出達文西橋的形變率。
- (二) 為考驗不同結構的達文西橋最佳承重結果，當達文西橋能承重五公斤以上，我們就會以每次增加 100 公克的方式來細測該橋體的最大承重量。
- (三) 重物及位置：我們選擇將重物放在上方，使用每包 1 公斤的鹽袋作為承重物，模擬把重量平均分散在整座橋，而不是只有檢測底座中間的棍子受力，這樣可以讓達文西橋的承重效能更加準確。

表 3 自製達文西橋承重檢測方式

將重物放在達文西橋的上方	利用每次放 100 公克來細測最大承重量
	

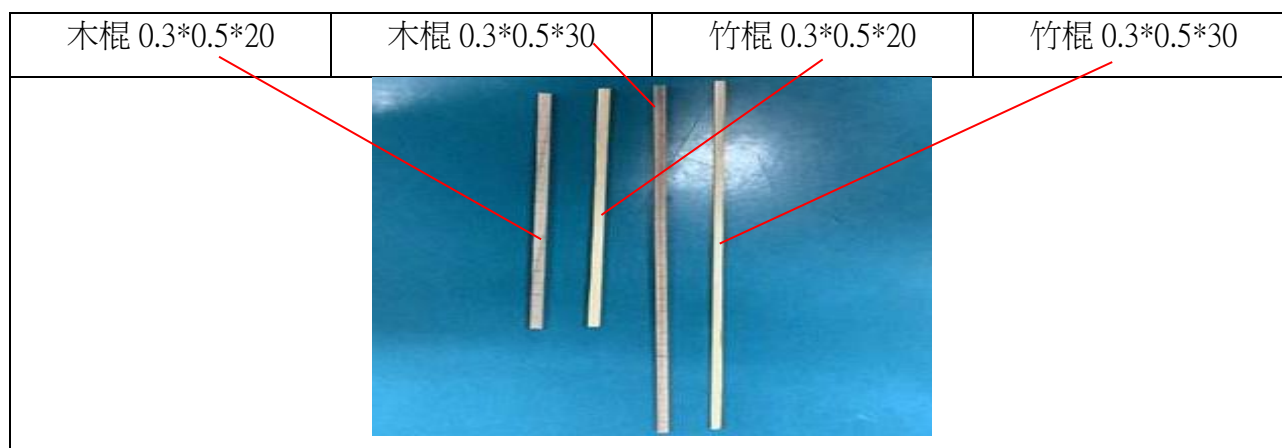
二、實驗一：比較同尺寸、不同材質對達文西橋的承重影響

在實驗一中是以一層的達文西橋進行實驗，我們選擇兩種不同材質(木棍與竹棍)，尺寸大小有 0.3*0.5*20 及 0.3*0.5*30 兩種規格如表 3，進行比較實驗。

(一) 實驗說明與步驟：

1. 實驗將重物放在橋的上方。
2. 橋下兩谷間的距離是 25 公分(棍子長 20 公分+5 公分)。
3. 棍子的接點長為兩公分。
4. 地面材質為桌面。
5. 每組各進行三次實驗，取數據平均值。

表 4 木棍及竹棍



(二)實驗記錄

在此次實驗中尺寸 0.3*0.5*20 及 0.3*0.5*30 兩種規格的木棍及 0.3*0.5*30 竹棍均無法承重 1 公斤的物重，而 0.3*0.5*20 竹棍能承重 3 公斤，如表 4 所示。

表 5 比較同尺寸、不同材質的棍子實驗結果數據

尺寸(公分)	重量	跨距(公分)	中心高度(公分)	角度(度)
木棍 0.3*0.5*20	0 公斤	35.2	2.5	10
	1 公斤	X		
竹棍 0.3*0.5*20	0 公斤	37	2.3	5
	1 公斤	37.8	0.5	0
	2 公斤	37.7	-0.5	-10
	3 公斤	36.8	-1.6	-20
	4 公斤	X		
木棍 0.3*0.5*30	0 公斤	55.7	2.5	6
	1 公斤	X		
竹棍 0.3*0.5*30	0 公斤	57	2.4	9
	1 公斤	X		

【備註】 X 表示達文西橋無法承重該重量，導致橋垮或崩裂。

當物體承重時橋的中心高度會產生變化，我們以未放重物前的中心高度 2.3 公分為基準點，紀錄橋的變化如表 5，並將每公斤的中心垂直高度形變計算繪圖，如圖 6。

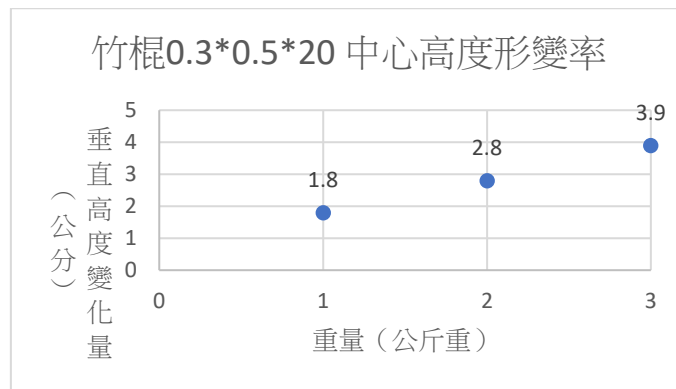


圖 6 竹棍 0.3*0.5*20 中心高度形變量

(三) 實驗結果分析

1. 由以上數據可以得知，尺寸 0.3*0.5*20 的這個尺寸**竹棍**承重力比木棍的承重力好，在一層達文西橋的條件下，能有效承重達 3 公斤，我們推測是竹子的韌性和彈力都比木質較好，所以選擇使用**竹棍**作為達文西橋的主實驗材料。
2. 經實驗後發現：因為竹棍的材質比木棍更紮實，所以使用竹棍搭的達文西橋可以承受更大的重量。

三、實驗二：比較同材質、不同尺寸對達文西橋的承重影響

由實驗一的結果我們發現竹棍比木棍更能承重，但在實驗一中竹棍的尺寸只有 0.3*0.5*20，因此我們想要進一步的了解相同材質(竹棍)，但不同的尺寸下的達文西橋的承重能力，因此進行實驗二，在此實驗中竹質做為控制變因。

(一) 實驗說明與步驟：

1. 選擇不同的尺寸作為操作變因，共六種，如下所示：

表 6 不同尺寸的竹棍

0.3*0.5*20	0.3*0.9*20	0.5*0.5*20	0.3*0.9*30	0.5*0.5*30	0.4*0.4*30

2. 將重物放在橋的上方。

3. 橋下兩谷間的距離 是 25 公分以及 35 公分(棍長 20 公分或 30 公分加 5 公分)。
4. 棍子的接點長為兩公分。
5. 地面材質為桌面。
6. 實驗搭橋一層。
7. 每組各進行三次實驗，取數據平均值。

(二) 實驗記錄

表 7 比較同材質、不同尺寸的竹棍實驗結果數據

尺寸(公分)	重量	跨距(公分)	中心高度(公分)	角度(度)	形變率(%)
0.3*0.5*20	0 公斤	37	23	5	△
	1 公斤	37.8	0.5	0	
	2 公斤	37.7	-0.5	-10	
	3 公斤	36.8	-1.6	-20	
	4 公斤	X			
0.3*0.9*20	0 公斤	25.3	2.1	8	0
	1 公斤	35.8	0.3	0	85.7
	2 公斤	36	-0.4	-3	119
	3 公斤	36.3	-1.1	-6	152.3
	4 公斤	35.7	-1.7	-8	181
	5 公斤	35.4	-2.5	-10	219
0.5*0.5*20	0 公斤	35	3.6	12	0
	1 公斤	35.4	2.6	5	27.8
	2 公斤	35.6	1.5	1	58.3
	3 公斤	39.9	1.2	0	66.7
	4 公斤	35.7	0.6	-1	83.3
	5 公斤	35.5	-0.2	-2	105.6
0.3*0.9*30	0 公斤	55.5	2.2	5	△
	1 公斤	55.3	-1.8	-10	
	2 公斤	X			
0.5*0.5*30	0 公斤	55	3.7	9	△

	1 公斤	55.8	1.1	3	
	2 公斤	X			
0.4*0.4*30	0 公斤	54.8	2.4	7	△
	1 公斤	56.6	0	1	
	2 公斤	X			

【備註】△表示沒承重到 5 公斤，故不計算形變率

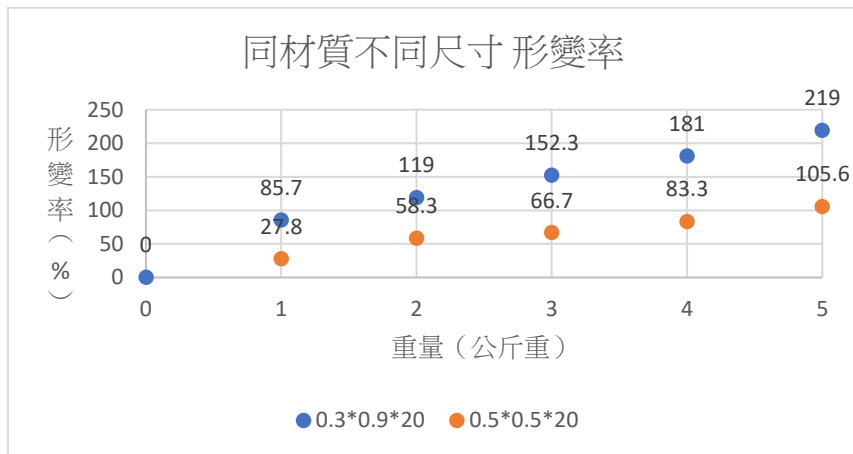


圖 7 同材質、不同尺寸達文西橋形變率

(三) 實驗結果分析

1. 由以上數據可知，這六種尺寸的竹棍中，只有 0.3*0.9*20 和 0.5*0.5*20 這兩種尺寸可以支撐到五公斤的重量。
2. 使用 **0.5*0.5*20** 這個尺寸的竹棍橋，橋在承重到五公斤的形變率(105.6%)比 0.3*0.9*20 的橋(219%)小，較穩定，所以我們選擇 0.5*0.5*20 尺寸的竹棍作為主材料。
3. 經實驗後發現：30 公分的木棍或竹棍承重都無法達到 2 公斤，我們推測是因為在固定竹棍支點間距及受力相同的情況下，越長的竹棍力臂越長，在末端受力時承重的壓力就會越大，所以受力時就更容易彎曲，達文西橋的形變會較大，竹棍在受力時也容易斷裂。

四、實驗三：比較原型達文西橋橋體層數的形抗結果

前兩個目的使用失誤率最低的一層方式搭建達文西橋，它讓我們找到了搭建達文西橋的竹棍材料及規格，為了進一步了解不同層數的達文西橋形抗結果，所以設計了實驗三，以 0.5*0.5*20 的竹棍做為控制變因。

(一) 實驗說明與步驟

1. 選擇達文西橋不同層數操作變因，分別是一層、兩層、三層，如下

表 8 不同層數的達文西橋



2. 將重物放在橋的上方。
3. 橋下兩谷間的距離是 25 公分(棍子長 20 公分+5 公分)。
4. 棍子的接點長為兩公分。
5. 地面材質為桌面。
6. 棍子材質為竹棍。
7. 棍子尺寸為 0.5*0.5*20。
8. 每組各進行三次實驗，取數據平均值。

(二) 實驗數據

本次實驗中原本想搭建三層達文西橋，但由於三層的橋體角度皆達到 50 度，故橋身即便搭建完成，也無法承重，會立即崩塌。

表 9 比較達文西橋不同層數實驗結果數據

不同橋體 層數	重量	跨距(公分)	中心高度 (公分)	角度(度)	形變率(%)
一層	0 公斤	35	3.6	12	0
	1 公斤	35.4	2.6	5	27.8
	2 公斤	35.6	1.5	1	58.3
	3 公斤	39.9	1.2	0	66.7
	4 公斤	35.7	0.6	-1	83.3
	5 公斤	35.5	-0.2	-2	105.6
兩層	0 公斤	46.3	9.3	27	0
	1 公斤	46.4	7.5	23	19.4

	2 公斤	46.5	6.5	20	30.1
	3 公斤	48.1	4.5	14	51.6
	4 公斤	49.8	0.5	7	94.6
	5 公斤	50	0	1	100

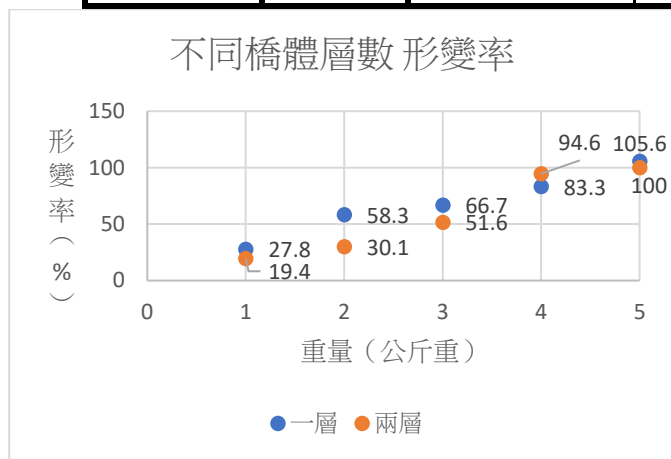


圖 8 不同層數形變率



圖 9 三層的達文西橋角度已達到 50 度

(三) 實驗結果分析

1. 我們比較了不同層數的達文西橋，經實驗後可以得知，**兩層**的達文西橋承重效果更好。
2. 由文獻中可以得知，橋體最佳的角度為 45 度角，超過該角度則會導致橋體結構不穩固。而在搭建三層的達文西橋時，橋體的角度已達到 50 度，推測因為角度過大，所以無法將三層的達文西橋成功搭起。
3. 拱形負重的下壓力會產生指向圓心的分力，左邊的分力會與右邊產生的分力相抵，使拱橋比一般的橋梁的承重量大很多；若達文西橋層數越多時，越接近拱型，所以其層數較多時承重效果較好。但由於角度過大，太多層的達文西橋反而無法搭起，所以**兩層的達文西橋**為最佳的達文西橋承重實驗層數。

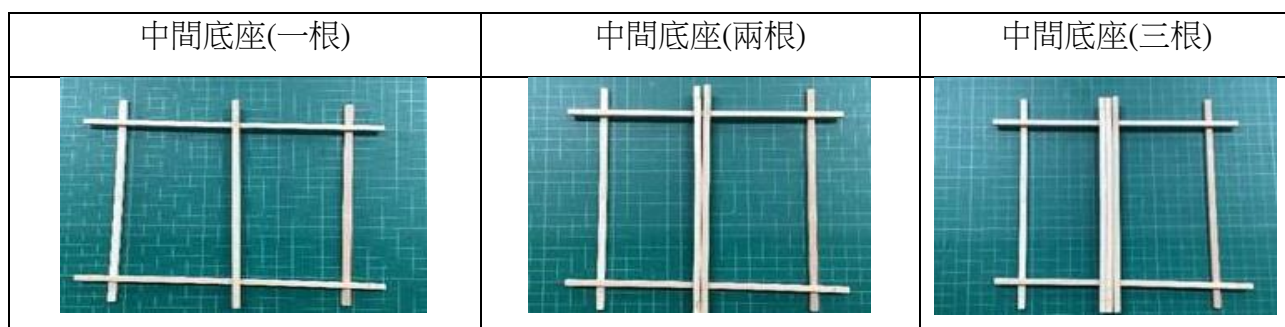
五、實驗四：比較不同底座結構數對達文西橋的承重影響

從實驗三我們理解到搭建達文西橋的最佳層數，因此在實驗四中我們將進一步探討中間底座結構數不同時對達文西橋的承重影響。

(一) 實驗說明與步驟

1. 以前次實驗最佳結果的尺寸—0.5*0.5*20 做為控制變因。
2. 選擇不同的底座結構數作為操作變因，分別是中間一根、兩根及三根的不同底座結構，如下表所示：

表 10 不同底座結構數



3. 將重物放在橋的上方。
4. 橋下兩谷間的距離是 25 公分(棍長加 5)。
5. 棍子的接點長為兩公分。
6. 地面材質為桌面。
7. 實驗搭橋兩層。
8. 棍子材質為竹質。
9. 棍子尺寸為 0.5*0.5*20。
10. 每組各進行三次實驗，取數據平均值。

(二) 實驗記錄

表 11 不同底座結構數達文西橋承重結果

中間底座 結構數	重量	跨距(公分)	中心高度(公分)	角度(度)	形變率(%)
一根	0 公斤	46.3	9.3	27	0
	1 公斤	46.4	7.5	23	19.4
	2 公斤	46.5	6.5	20	30.1
	3 公斤	48.1	4.5	14	51.6
	4 公斤	49.8	0.5	7	94.6
	5 公斤	50	0	1	100
兩根	0 公斤	47.8	10.2	30	△
	1 公斤	49.3	7.6	24.7	
	2 公斤	50.7	5.3	15.7	
	3 公斤	52.9	0.5	7.5	
	4 公斤	X			

三根	0 公斤	48.2	10.3	30.3	△
	1 公斤	48.3	7.2	23	
	2 公斤	48.7	5.1	14	
	3 公斤	50.3	1.5	11	
	4 公斤	X			

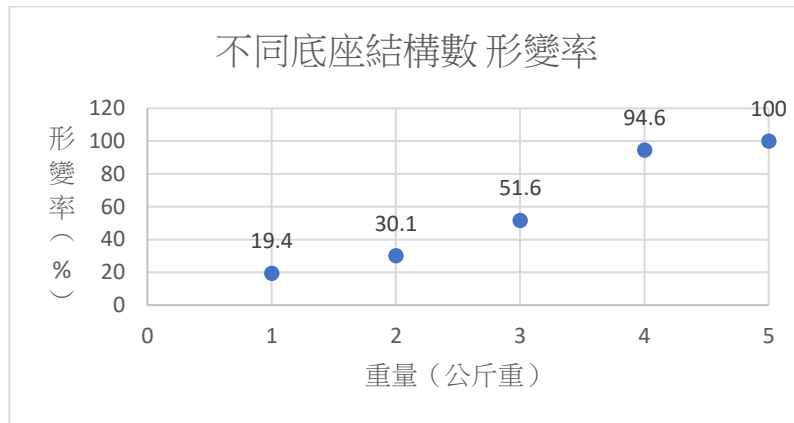


圖 10 比較達文西橋不同底座結構數實驗結果數據

(三) 實驗結果與分析

1. 由以上數據可以知，**底座中間為一根棍子**的達文西橋承重最好，可以達到 5 公斤。
2. 推測原因是：當達文西橋搭建起來時，兩側的棍子會撐在底座中間，中間只有一根的時候，兩側的棍子可以比較貼平在中間的棍子，在第 58 屆科展作品《修正教科書的「摩」力觀點-摩擦力跟接觸面積真的有關係》所研究之結論：微觀角度中，介面間實際接觸面積越大，摩擦力越大。因此本研究發現達文西橋的棍子間接觸面積愈大，橋體就愈穩固，所以底座中間一根的達文西橋承重數據較好。



圖 11 底座一根的橋



圖 12 中間底座三根橋體，在承重 3 公斤呈現凹陷

3. 經實驗可知，底座中間為三根的達文西橋的承重量不是最好的，推測是因為當底座中間是三根時，只會有兩根與左右兩側的棍子接觸，而在正中間的那根棍子就會比較容易滑落，它會伴隨著摩擦力，帶動其他棍子，所以容易倒塌。

六、實驗五：比較達文西橋上方有無鋪滿對達文西橋的承重影響

透過實驗四我們測量出了最佳的底座結構數。在實驗五，我們將嘗試在達文西橋的上方鋪滿，測試其承重影響；控制變因是上個實驗的最佳結果—底座中間為一根的達文西橋。

(一) 實驗說明與步驟

1. 選擇達文西橋有無鋪滿為操作變因，分別是全鋪滿、鋪滿一半、沒鋪滿，如下：

表 12 有無鋪滿的達文西橋



2. 將重物放在橋的上方。
3. 橋下兩谷間的距離是 25 公分(棍子長 20 公分+5 公分)。
4. 棍子的接點長為兩公分。
5. 地面材質為桌面。
6. 實驗搭橋兩層。
7. 棍子材質為竹棍。
8. 棍子尺寸為 0.5*0.5*20。
9. 每組各進行三次實驗，取數據平均值。

(二) 實驗記錄

表 13 比較達文西橋上方有無鋪滿實驗結果數據

鋪滿	重量	跨距(公分)	中心高度(公分)	角度(度)	形變率(%)
全部鋪滿 (25 根)	0 公斤	48	9.2	28	△
	1 公斤	48.3	7.2	24.3	
	2 公斤	48.5	5.5	17.3	
	3 公斤	49.2	3.6	11.3	
	4 公斤	49.3	1	6	
	5 公斤	X			

一半鋪滿 (12 根)	0 公斤	48.3	9.3	27.7	△
	1 公斤	48.8	7.3	20.7	
	2 公斤	49.2	4.6	14	
	3 公斤	50.8	1.8	5.3	
	4 公斤	X			
沒有鋪滿	0 公斤	46.3	9.3	27	0
	1 公斤	46.4	7.5	23	19.4
	2 公斤	46.5	6.5	20	30.1
	3 公斤	48.1	4.5	14	51.6
	4 公斤	49.8	0.5	7	94.6
	5 公斤	50	0	1	100

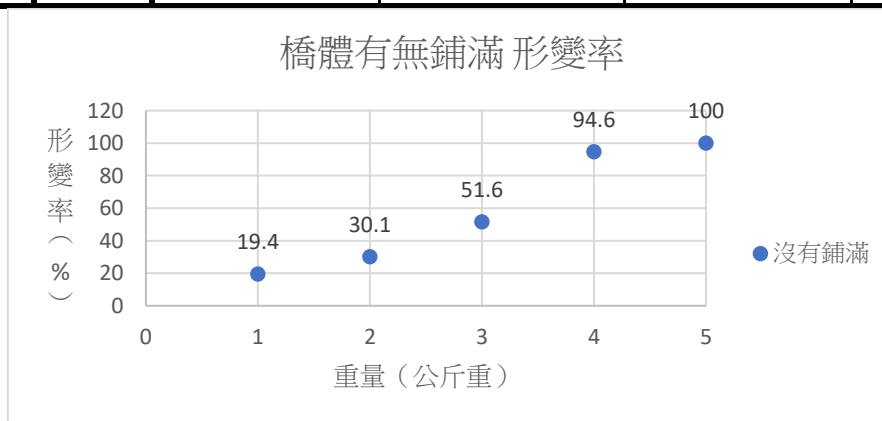
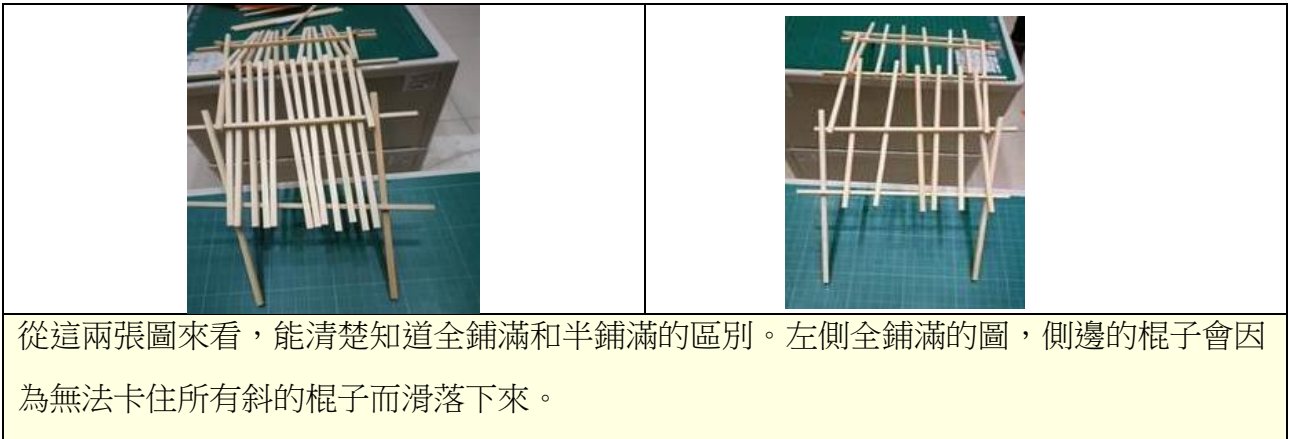


圖 13 橋體有無鋪滿形變率

(三) 實驗結果分析

1. 由以上實驗可知，沒有鋪滿的達文西橋結構承重數據最好，可承重達到 5 公斤。
2. 雖然鋪滿的達文西橋在承重 4 公斤前的情況下是最穩，但是由於鋪滿的棍子與其他棍子的接觸面積較小，容易滑落，導致其無法承重到 5 公斤。
3. 在鋪滿的情況下，全鋪滿的達文西橋比半鋪滿的承重結果好，推測是因為當全鋪滿的達文西橋經受力，棍子滑落後，雖然影響了橋體結構，但仍有棍子可支撐橋體；而半鋪滿的達文西橋棍子滑落影響橋本身結構，剩下的棍子沒辦法支撐橋體，導致橋身解體崩塌。比較如下表 14。

表 14 全撲滿及半鋪滿的橋體結構



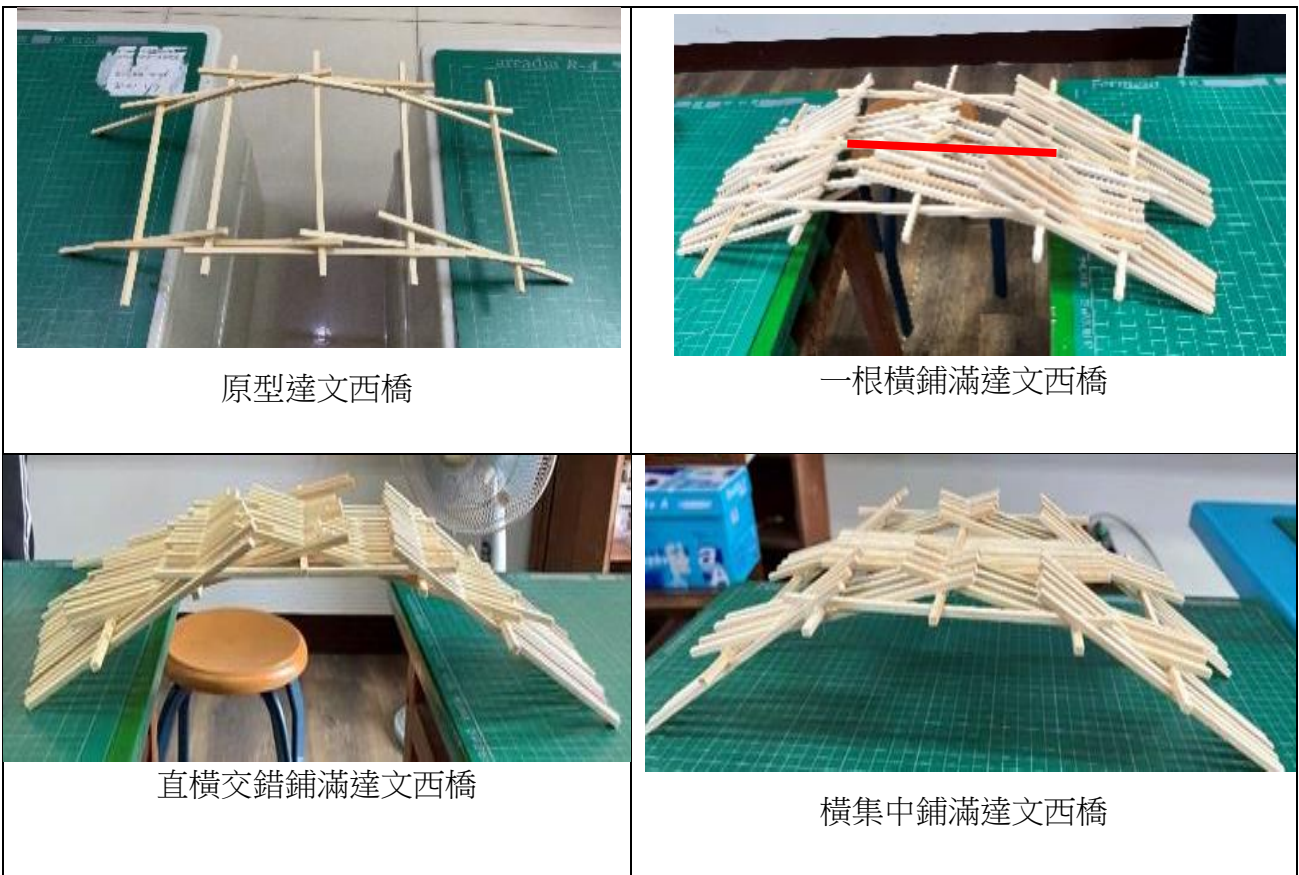
七、實驗六：探討不同造型達文西橋橋體結構之形抗結果

透過實驗四及實驗五，我們理解到了搭建達文西橋的最佳底座結構數及有無鋪滿的最佳結果，因此本實驗設計將嘗試改變原型的達文西橋造型，以原型的達文西橋為控制變因。

(一) 實驗說明與步驟

1. 選擇不同橋體結構的達文西橋作為操作變因，分別是原型、直橫交錯鋪滿、一根橫的鋪滿、橫的集中鋪滿，如下所示：

表 15 不同橋體結構的達文西橋



2. 將重物放在橋的上方。
3. 橋下兩谷間的距離是 25 公分(棍長加 5)。
4. 棍子的接點長為兩公分。
5. 地面材質為桌面。
6. 實驗搭橋兩層。
7. 棍子材質為竹質。
8. 底座結構數為一根。
9. 棍子尺寸為 0.5*0.5*20。
- 10.每組各進行三次實驗，取數據平均值。

(二) 實驗數據

表 16 比較達文西橋不同橋體結構實驗結果數據

不同橋體結構	重量	跨距(公分)	中心高度(公分)	角度(度)	形變率(%)	交叉支點
原型	0 公斤	46.3	9.3	27	0	26
	1 公斤	46.4	7.5	23	19.4	
	2 公斤	46.5	6.5	20	30.1	
	3 公斤	48.1	4.5	14	51.6	
	4 公斤	49.8	0.5	7	94.6	
	5 公斤	50	0	1	100	
直橫交錯鋪滿	0 公斤	44	9.3	30	0	165
	1 公斤	44.2	9	29	3.3	
	2 公斤	44.4	8.9	27	4.3	
	3 公斤	44.7	8.8	25	5.4	
	4 公斤	45.4	8.5	24	8.6	
	5 公斤	45.6	8.3	22	10.8	
一根橫的鋪滿	0 公斤	48.4	9	28	△	110
	1 公斤	48.9	8	20		
	2 公斤	49.9	7	17		
	3 公斤	X				

橫的集中鋪滿	0 公斤	48.4	9	30	0	118
	1 公斤	48.8	8	27	11.1	
	2 公斤	49.4	7.5	25	16.7	
	3 公斤	49.9	7	22	22.2	
	4 公斤	50.2	6.5	20	27.8	
	5 公斤	50.6	6	18	33.3	

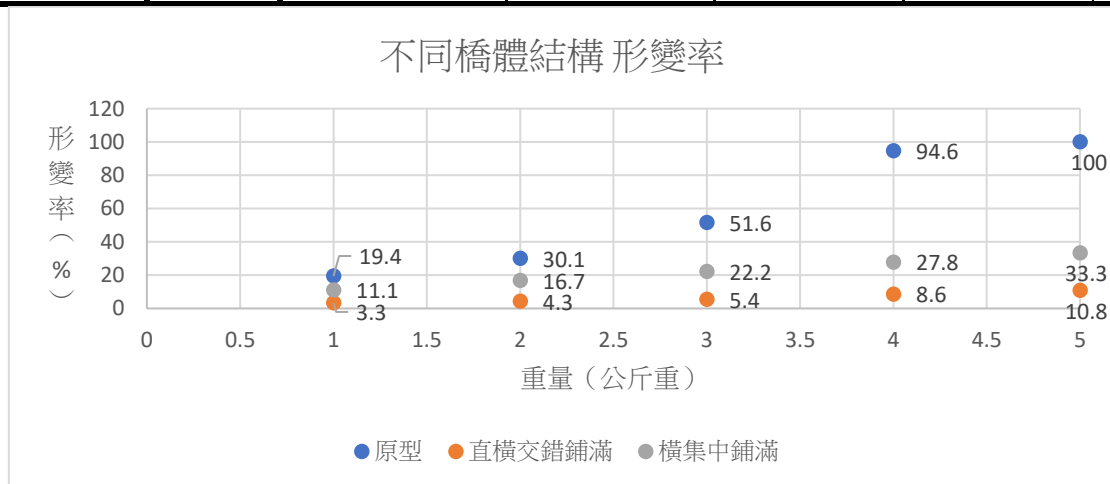


圖 14 不同橋體結構形變率

(三) 實驗結果分析

1. 由以上數據可知，原型、直橫交錯鋪滿以及橫的集中鋪滿達文西橋都可以承重 5 公斤，而其中直橫交錯鋪滿的形變率最小，橋體結構最穩固。
2. 我們推測原因是：在每根棍子都上下卡緊的情況下，達文西橋橋體結構的棍子間支點愈多，摩擦力就越大，達文西橋也就越穩固，所以承重時形變小。
3. 在以上數據中，一根橫的鋪滿達文西橋承重效果最差，由此可見當達文西橋全部鋪滿時，需要有橫向的棍子支撐才能讓達文西橋更加穩固，推測是因為橫向的棍子可以完全跟其他棍子平面接觸到，所以更能支撐達文西橋。
4. 經實驗可知，直橫交錯鋪滿的達文西橋承重數據比橫集中鋪滿的達文西橋好，所以在搭橋時選擇將橫向的棍子交錯分散比將棍子全部集中更好。








八、 實驗七：比較摩擦力不同的地面對搭建達文西橋承重影響。

本研究目的想要了解達文西橋於真實環境的應用，因此我們比較不同地面材質是否有搭建達文西橋的可能，本研究延續使用形變率最小、承重效果最好的直橫交錯鋪滿達文西橋做為實驗的控制變因。

(一) 實驗說明與步驟



1. 選擇不同地面材質作為操作變因，分別是木地板、草地、泥土地、大理石磁磚地面材質、PU 跑道、柏油路、水泥地，如下所示：

表 17 不同地面材質

			
木地板	草地	泥土地	花崗岩磁磚地面
			
PU 跑道	柏油路面	水泥地	

2. 將重物放在橋的上方。
3. 棍子的接點長為兩公分。
4. 實驗搭橋兩層。
5. 棍子材質為竹棍。
6. 底座結構數為一根。
7. 棍子尺寸為 0.5*0.5*20。
8. 每組各進行三次實驗，取數據平均值。

表 18 達文西橋於木頭地及泥土地的承重效果

木頭地實驗	泥土地實驗
	

(二) 實驗數據

表 19 比較不同地面材質實驗結果數據

地面材質	重量	跨距(公分)	中心高度(公分)	角度(度)	形變率(%)
木地板	0 公斤	48.8	8.8	30.7	0
	1 公斤	49.1	8	27	10
	2 公斤	49.2	7.4	25.7	17.5
	3 公斤	49.3	6.8	23	25
	4 公斤	49.5	6.4	20.3	30
	5 公斤	49.5	5.5	18.7	41.3
泥土地	0 公斤	46.9	7.6	29.7	0
	1 公斤	47.1	7.4	28.3	2.6
	2 公斤	47.4	7.1	27	6.6
	3 公斤	47.7	6.6	25.3	13.2
	4 公斤	48.1	6.2	24	18.4
	5 公斤	48.3	5.8	23	23.7

【備註】由於草地、大理石磁磚地面材質、PU 跑道、柏油路及水泥地面材質無法搭起達文西橋，所以實驗數據不做討論。

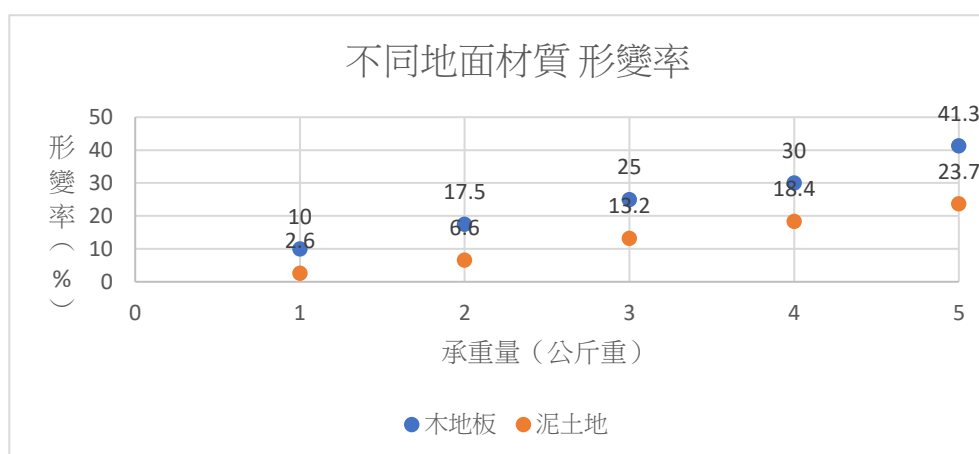


圖 15 不同地面材質形變率

(二) 實驗結果分析

1. 比較不同地面材質對達文西橋的影響，由實驗可知，只有**木地板及泥土地**可將橋搭起，推測是因為草地、PU 跑道、柏油路、水泥地這些材質的摩擦力太大，導致在搭橋時竹棍沒有足夠的伸縮空間，所以無法將橋搭起。而大理石磁磚地面材

質，是因為它的表面太過於平滑，導致竹棍及大理石磁磚地面材質之間沒有一定的摩擦力，所以也無法將橋搭起。

2. 當達文西橋在受到外力作用時，**橋墩的竹棍會陷入泥地中**，就好比是在蓋房子時打地基，所以達文西橋在泥土地搭建的承重效果最好，形變也最小。

柒、延伸實驗

實驗八：探討搭建不同結構的達文西橋最大承重量。

為了探討達文西橋不同結構的形抗結果，我們比較了材質、尺寸、搭建層數、中間底座結構數、有無鋪滿以及不同造型的結構，發現**原型、直橫交錯鋪滿以及橫集中鋪滿的達文西橋體結構皆能承重至 5 公斤**，為此我們想進一步探究何者是達文西橋的最佳橋體結構，並找出其最大承重的極限值。

一、實驗數據

本實驗是實驗六的延伸，故延續原型、直橫交錯鋪滿以及橫集中鋪滿的達文西橋承重 5 公斤後的最大承重的極限。

表 20 比較不同橋體結構最大承重量實驗結果數據

不同結構	重量	跨距(公分)	中心高度(公分)	角度(度)	形變率
原型	0 公斤	48.4	9	27.3	0
	5 公斤	49.5	0.2	0	97.8
	6 公斤	50	-0.7	0	107.8
	7 公斤	51	-1.5	-1	116.7
	8 公斤	51	-1.8	-3	120
	9 公斤	X	X	X	X
直橫交錯 鋪滿	0 公斤	44	9.3	30	0
	5 公斤	45.6	8.3	22	10.7
	6 公斤	47.4	7.3	23.3	21.5
	7 公斤	47	6.8	20.3	26.9
	8 公斤	46.7	6.7	18.3	28
	9 公斤	46.1	6.6	15.5	29
	10 公斤	X	X	X	X
橫集中	0 公斤	48.4	9	30	0

鋪滿	5 公斤	50.6	6	18	33.3
	6 公斤	45.95	6.25	20	30.6
	7 公斤	46.85	5.35	21	40.6
	8 公斤	47.75	4.9	19	45.6
	9 公斤	X	X	X	X

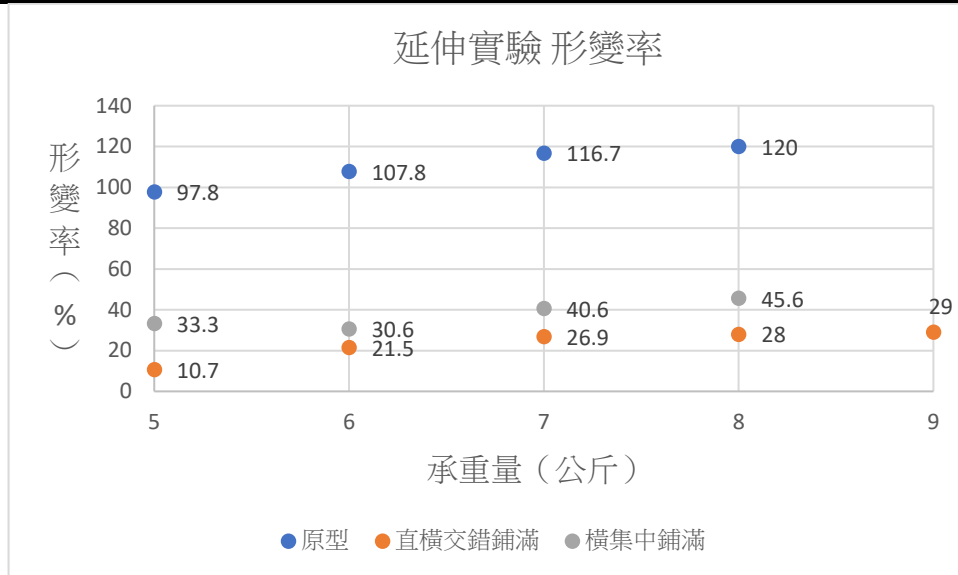


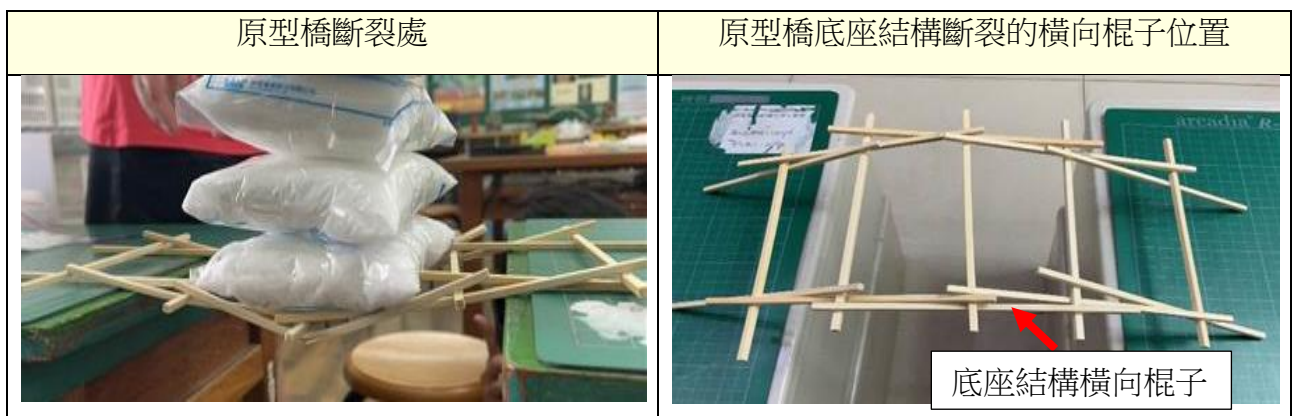
圖 16 延伸實驗形變率

二、實驗結果分析

(一) 原型 達文西橋

原型的達文西橋在承重因沒有其他棍子支撐結構不穩固，導致受力時棍子形變，所以承重效果較差，而經實驗後發現原型的達文西橋斷裂的位置都是**底座結構的橫向棍子**，由此可見底座的結構十分重要，如果底座的結構形變了，整座橋體將無法承重。

表 21 原型橋實驗照片



(二) 直橫交錯鋪滿的達文西橋

直橫交錯鋪滿的達文西橋形變率最小的原因是它的橋體結構緊密扎實，其負重的下壓力會產生指向圓心的分力，左邊的分力會與右邊產生的分力相抵，讓原來的下壓力減少很多，因此直橫交錯鋪滿的達文西橋在受力時，兩側橋墩的跨距向外延伸的幅度較小。甚至在負重時，直向竹棍會受到兩側分力影響而往前微推擠，使得跨距微微往內縮，但中心高度降幅不大，所以形變率也更小。

我們利用了慢速錄影的方式發現直橫交錯鋪滿橋體結構倒塌以及跨距往內縮的原因，如表 22。





表 22 直橫交錯鋪滿橋實驗照片



(三) 橫集中鋪滿的達文西橋

橫集中鋪滿的達文西橋在上方受力時，由於橋體上方橫集中結構穩固，所以橋體完全沒有呈現凹陷。但橫集中的達文西橋在承受其能負荷的最大重量時，第一層與第二層間的橋體結構交叉支點較為薄弱，導致兩側竹棍結構會因橋體受力造成位置偏移，橋體倒塌。

表 23 橫集中橋體結構實驗照片

<p>橫集中的橋體在剛開始承重時結構穩固</p>	<p>由於橋體上方橫集中結構穩固，所以上方形變不明顯，但兩側的棍子位移導致橋體傾斜。</p>
<p>1</p> 	<p>2</p> 
<p>橫集中的達文西第一層與第二層間的橋體結構交叉支點較為薄弱，導致兩側竹棍結構會因橋體受力造成位置偏移，影響橋體結構。</p>	<p>橫集中橋體再承受所負荷的最大重量時，會因兩側結構不穩固而倒塌。</p>
<p>3</p> 	<p>4</p> 

(四) 延伸實驗綜合討論

經實驗後我們也發現不同造型的達文西橋主要也是利用**原型的達文西橋**結構撐起，因此如果不同造型的達文西橋最原始的結構—外側竹棍或中間底座結構變形或崩解，便會使其受力不均造成形抗改變，導致橋體倒塌。

捌、結論

- 一、我們原本以為木棍的表面材質粗糙，摩擦力較大，預測木棍的達文西橋承重效果較好，但經實驗後發現承重效果較好的是**竹製的達文西橋**。推測竹棍比木棍的密度大、更扎實，且韌性較好，所以適合做為達文西橋承重實驗主材料。
- 二、比較竹棍不同尺寸的承重力，發現是**0.5*0.5*20 的竹棍**承重力最好。推測在固定竹棍支點、間距及受力相同的情況下，越長的竹棍在末端受力時承重的壓力就會越大，所以

受力時就容易彎曲、斷裂。

- 三、中間底座的支數愈多並不能提高達文西橋的承重結果。實驗後發現，承重效果最好的是**中間底座一根的達文西橋**。推測是因為底座三根的正中間的棍子比較容易滑落，會藉著摩擦力，帶動兩旁的棍子，導致容易倒塌，承重效果較差。
- 四、**沒鋪滿的達文西橋**比鋪滿的橋體承重結果好。推測是由於鋪滿的棍子與其他棍子的接觸面積較小，會導致在承受外力的時候滑落，影響承重結果。
- 五、**兩層的達文西橋承重效果最好**。推測是拱橋比一般的橋梁的承重量大很多，而當達文西橋層數越多時，越接近拱型，所以當達文西橋層數較多時承重效果較好。但由於角度過大的問題，太多層的達文西橋反而無法搭起。
- 六、**中心結構-直橫交錯的橋體形變最小**。相比起其他造型的橋，直橫交錯的橋體結構使橋身更加穩固。達文西橋只要交叉支點愈多，摩擦係數愈大，其承重效能就會愈高，形變率就會愈小。不同的排列方式及支點數量都會影響達文西橋的穩固性、承重量。
- 七、**若要搭建達文西橋，需要有適中的地面材質摩擦力**，並不是橋體末端與地面的摩擦力越大，橋就越容易搭起來，還需考量地面間是否有可以讓棍子伸縮的空間。
- 八、**直橫交錯鋪滿的達文西橋承重效果最好，形變也最小**。原因是它的橋體結構使其負重的下壓力會產生指向圓心的分力，左邊的分力會與右邊產生的分力相抵，使原來的下壓力減少很多，因此直橫交錯鋪滿的達文西橋在受力時，兩側橋墩的棍子向後延伸的幅度較小。
- 九、經實驗後可以發現，達文西橋受力之後，跨距會往外延伸，高度及角度都會往下降，我們利用這樣的數值變化來計算出形變率，找出最佳的達文西橋橋體結構。

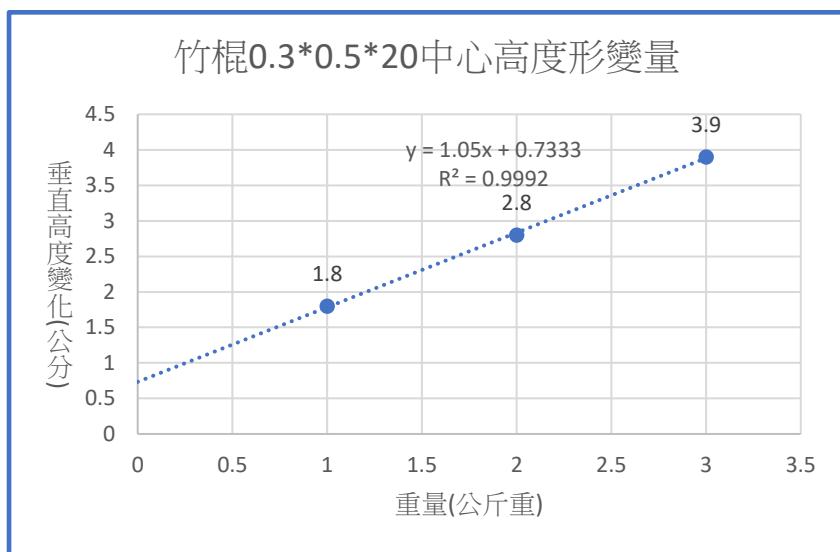
玖、未來展望

達文西橋是一種失敗率非常高的實驗，再加上搭橋可能會有誤差，所以需要許多的時間及耐心來完成達文西橋實驗。我們將每根棍子都標示記號、更換使用過的棍子以及每組實驗座三次取數距平均值等方式，將實驗可能造成的誤差降到最小。

在實驗前，我們閱讀了相關文獻，卻發現研究達文西橋的研究者不多，這更激起了我們想要研究達文西橋的鬥志，利用不同的理論及原理，想出了不同的實驗目的，也藉此了解到了達文西橋的最佳橋體結構及最大承重量。

在實驗的過程中，我們發現了直橫交錯鋪滿及橫集中鋪滿的橋體結構都是穩固的，而我們推測橫集中承重效果較差的原因是左右兩側的棍子間距離較遠，導致受力時橋體位置偏移。如果在未來有時間，我們想要再持續研究相關達文西橋結構的實驗，嘗試改變橫集中的橋體結構，讓其更加穩固、更能承重。我們也希望能將達文西橋應用在生活中以及提高其跟

教科書的關聯性，讓我們可以從中證明摩擦力的存在，及了解到靜摩擦力及垂直、水平分力等原理。我們利用點狀圖上的趨勢線來分析達文西橋的實驗數據，以表 5 的實驗數據為例，利用不同橋體的中心垂直高度形變量來分析。



在這個實驗中，我們將質量為 1 公斤、2 公斤及 3 公斤的物重(鹽包)放置於達文西橋時，中心垂直高度的形變量分別為 1.8cm、2.8cm 及 3.9cm。在圖中我們利用 Excel 的趨勢線來顯示資料的趨勢，藉現在的實驗數值來預測未來的實驗數值。

我們獲得一個很好的趨勢線方程式 $y = 1.05x + 0.7333$ ，而且因為其 $R^2 = 0.9992$ (因為 R^2 值非常接近 1，代表此趨勢線方程式是可靠的)。例如 $x = 2$ 時，代入 $y = 1.05x + 0.7333$ 獲得

$y = 2.8333$ (我們的實驗值為 2.8)，若以 2.8333 當作理論值，我們的實驗值的百分誤差為

$$\frac{2.8333 - 2.8}{2.8333} \times 100\% = 1.12\%$$

可以看得出誤差非常小，因此我們可以大膽預測重量為 1.5 公斤重時，中心垂直高度的形變量約為 2.3cm。如果在達文西橋未崩塌前，我們也可預測質量 4 公斤、5 公斤等重物其中心垂直高度的形變量，並可和實驗值做一比較。虎克定律中提到，彈簧的伸長量和拉力成正比，也就是說當達文西橋承受越多的重力時，其形變率也會越大，而竹棍也有彈性也產生形變，其對應的物理模型類同虎克定律一樣。不過在虎克定律中的彈簧其彈力係數為一個常數，但在我們的實驗中，達文西橋所產生的形變其對應的彈力係數(從實驗數值來看)並不會為一個常數，這是其不同的地方，也是未來值得我們再更進一步探討研究的課題。

拾、參考文獻資料

- 一、張瑋真等(2018)。修正教科書的「摩」力觀點-摩擦力跟接觸面積真的有關係。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 二、zfang(2019)。達文西木橋(下)~布拉格廣場遇見達文西(達文西木橋實做篇)。取自 <https://n.sfs.tw/content/index/11546>
- 三、李劭洋等(2019)。達文西橋。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、陳雅庭等(2020)。以小博大~桁架結構初探。金門縣第 60 屆國民中學科學展覽會。
- 五、呂信德等(2020)。達文西密碼。高雄市岡山區前峰國中活動。
- 六、查無作者(2021)。達文西橋的秘密。嘉義縣第 61 屆國民中小學科學展覽會。

【評語】 080104

實驗設計相當用心，認真嘗試並改進不同實驗設計，實驗數據取樣與觀測仔細，能夠耐心進行許多實驗步驟。

實驗設計建議考慮作者想要進行的邏輯連貫性，設計實驗來得出想要推理的證據，幫助進一步理解當中的物理機制與來龍去脈。

作品海報

摘要

為深入了解達文西橋的奧秘，本研究選用不同材質的棍子，並比較搭橋結構對橋體承重與形抗的影響。以竹、木棍實作，發現竹棍因具優異的韌性與彈力，故獲得較紮實的結構，並具較大的承重力，研究中，我們使用尺寸 $0.5 \times 0.5 \times 20 \text{ cm}^3$ 竹棍所獲得的結構體承重力最佳。進一步研究多項因素對橋體結構的性能影響，我們的結果：

1. 橋體層數越多，拱度較大，承重也越大，但三層以上的橋體因角度太大容易崩塌，故兩層達文西橋最佳。
2. 竹棍間的接觸面積愈大、支點愈多時，摩擦力就愈大，橋體將會愈穩固，如直橫交錯鋪滿的橋體。
3. 地面材質的摩擦力太大或太小皆不適合搭建達文西橋。

因此，使用較多棍子搭橋不一定好，並且需要考慮棍子材質、搭橋方式，以及地面材質的影響，才能搭出穩固、承重力大、形變率小的達文西橋。

動機

「清明上河圖」這一幅畫吸引了我們的注意力，畫中有一座沒有橋墩的拱橋。深入了解後發現，這座拱橋和「達文西橋」的結構相似。但是要如何讓達文西橋能夠承受更多的重量呢？

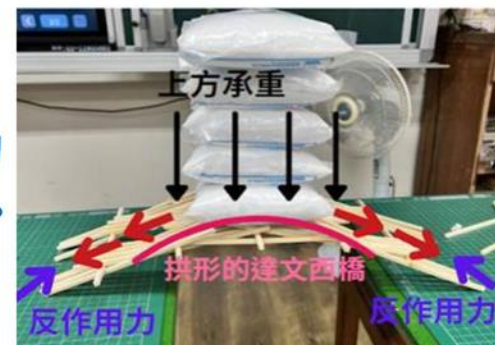
研究目的

為尋找最佳承重與抗形能力的達文西橋結構，我們探討下列因素對橋體特性的影響：

1. 橋體的組成單元：探討實驗主材料的材質與尺寸。
2. 橋體結構：探討橋體層數、底座結構、橋體有無鋪滿。
3. 探討不同達文西橋體結構最佳的形抗結果。
4. 比較不同地面的摩擦性對橋體承重的影響。
5. 探討達文西橋不同結構的承重極限。

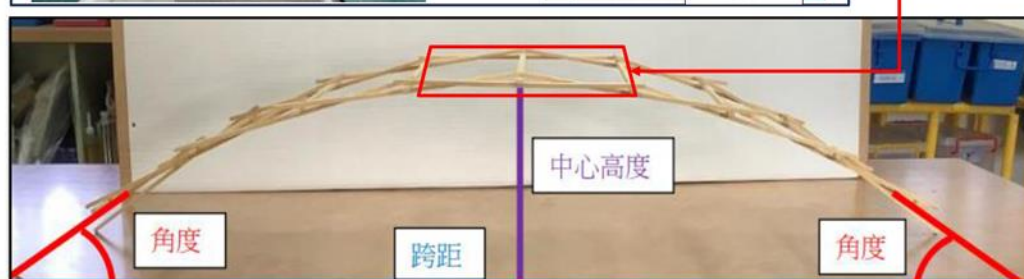
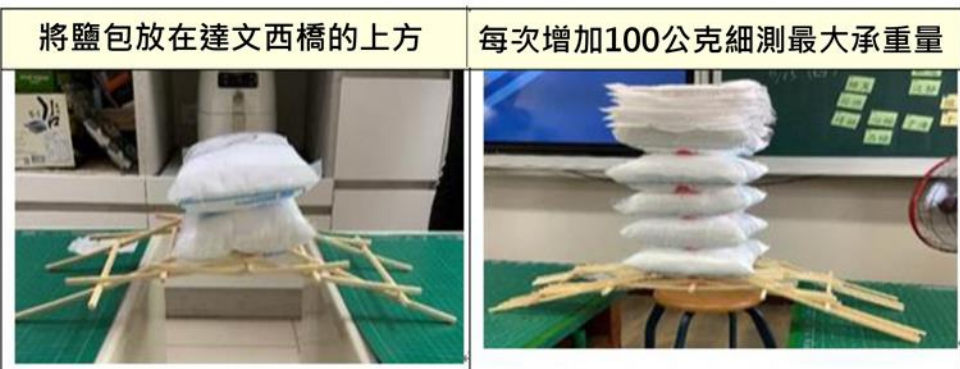
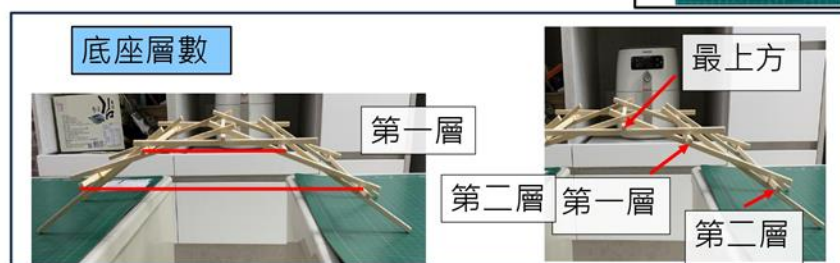
達文西橋原理

1. 摩擦力：接觸面上阻止物體運動的力。
2. 靜摩擦力：物體受到外力推動仍靜止時的摩擦力。
3. 靜摩擦力公式：
 $f_s = \mu_s \cdot N$ ，由公式可知：
物體所受的最大靜摩擦力 (f_s) 和正向力 (N) 成正比。
4. 拱橋結構原理：

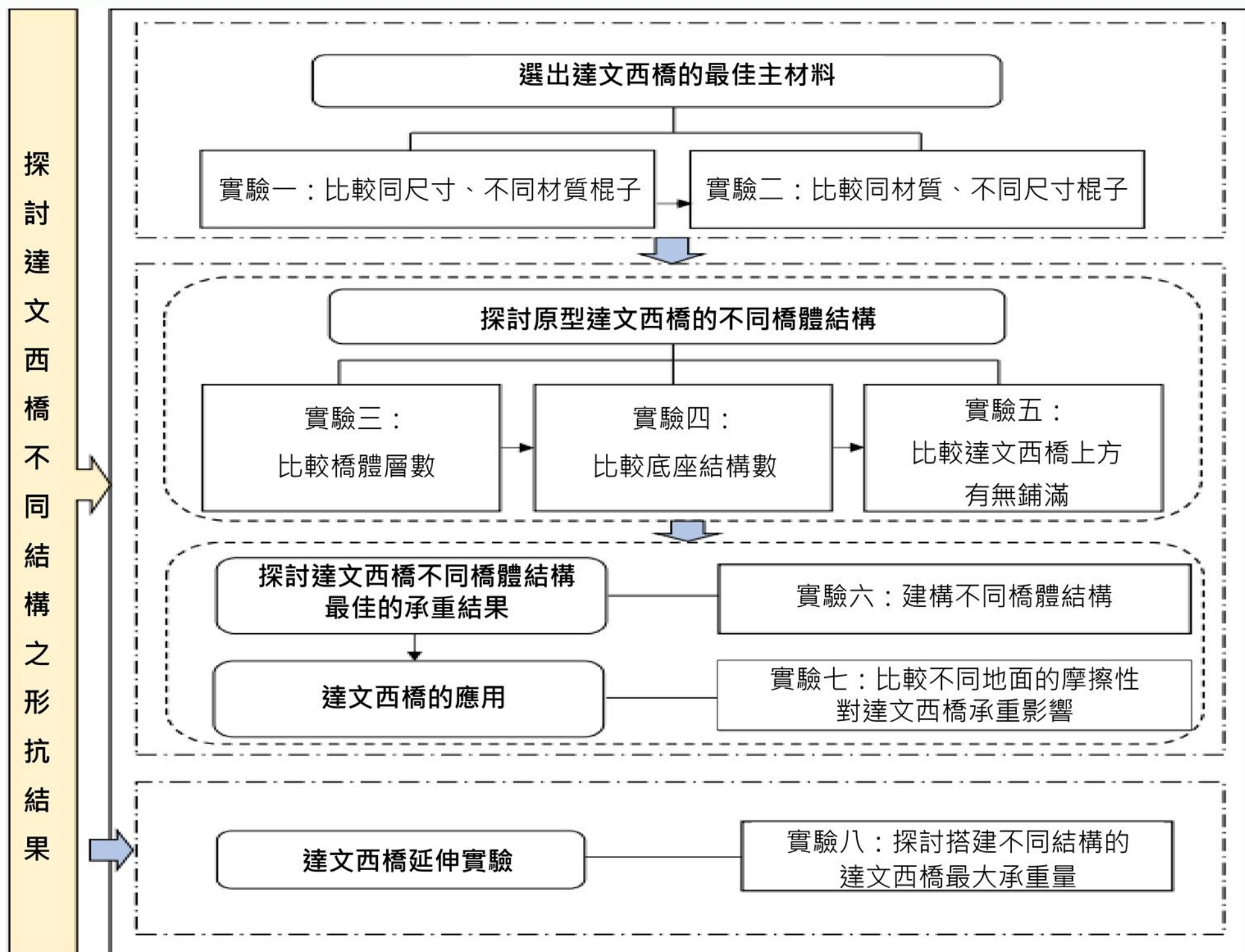


達文西橋定義

1. 達文西橋定義：泛指交叉式的拱橋，不需黏著劑固定，靠棍子之間的摩擦力撐起。
2. 底座結構數：在達文西橋第三步驟時，口字型中所放的不同棍子支數。
3. 達文西橋層數：平視橋體，扣除最上方的直放棍子，視覺左邊或右邊直放棍子數。
4. 達文西橋的跨距、中心高度以及角度的位置。
5. 形抗結構：物體因外力作用而造成的形狀改變。
6. 自製檢測方式：



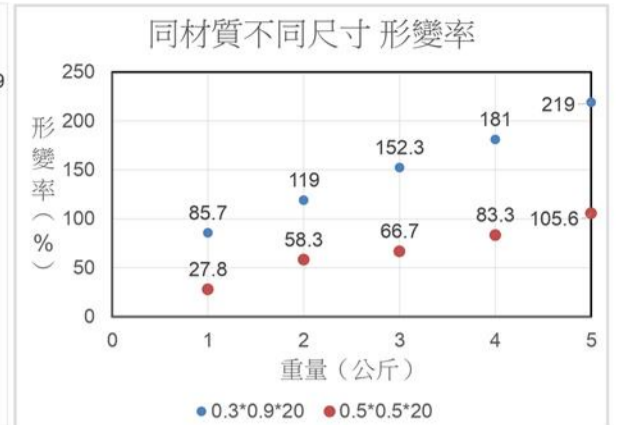
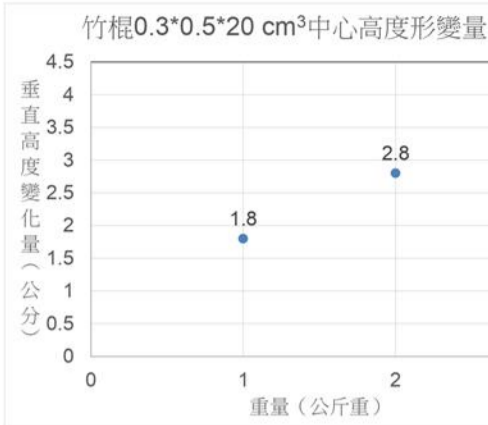
研究架構



實驗結果與討論

實驗一：比較同尺寸、不同材質對達文西橋的承重影響 實驗二：比較同材質、不同尺寸對達文西橋的承重影響

1. 竹子的**韌性、彈力**都比木質較好且**更紮實**，可以承受更多重量，所以選擇使用**竹棍**作為達文西橋的主實驗材料。
2. 使用 **0.5*0.5*20 cm³** 這個尺寸的竹棍橋，形變率(105.6%)最小，所以我們這個尺寸的竹棍作為主材料。
3. **越長的竹棍**在末端受力時承重的壓力會越大，所以**受力時就更容易彎曲**，橋體的形變會較大。

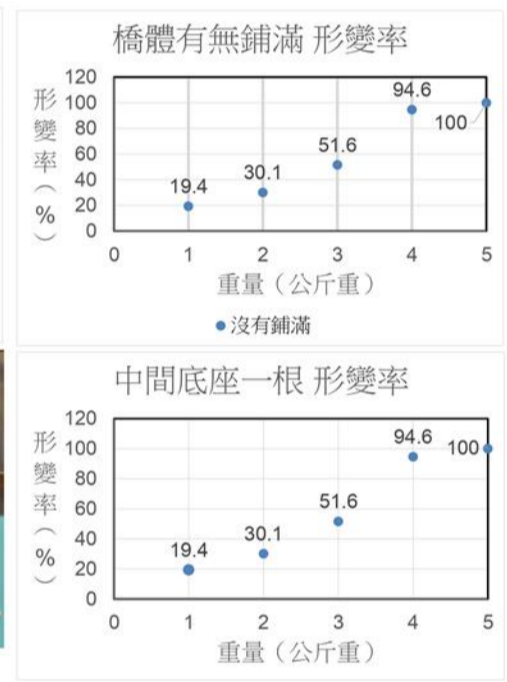
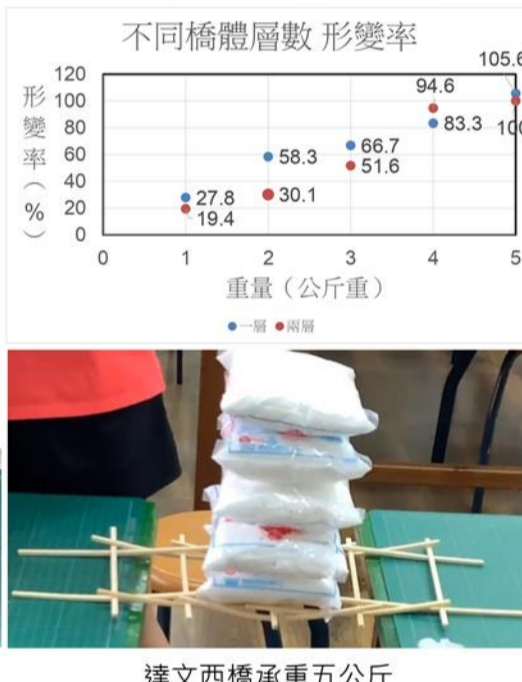
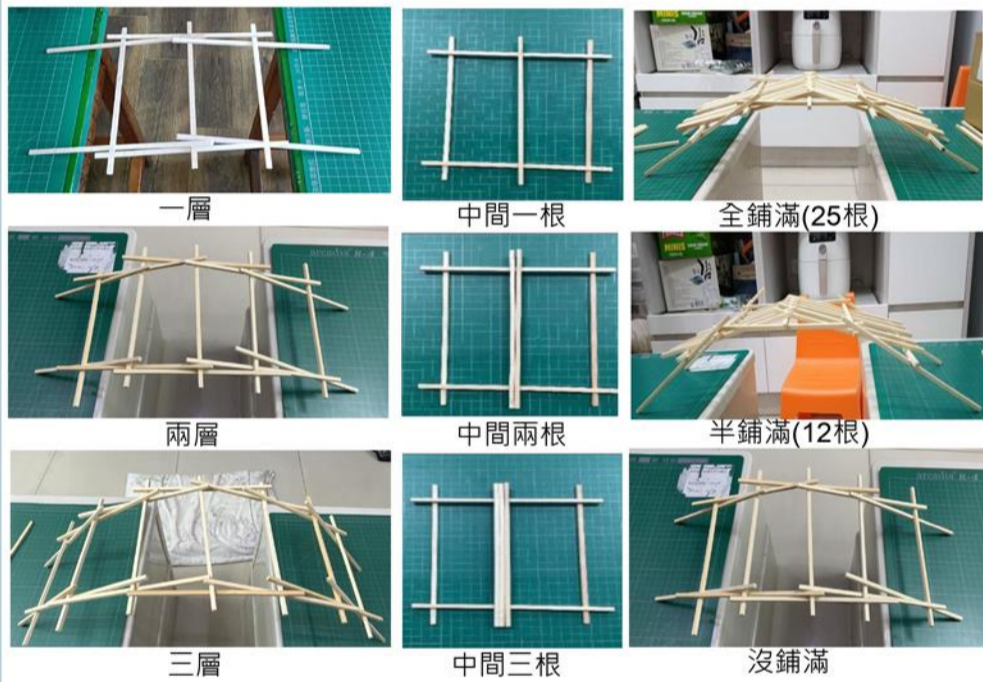


實驗三：比較原型達文西橋橋體層數的形抗結果

實驗四：比較不同底座結構數對達文西橋的承重影響

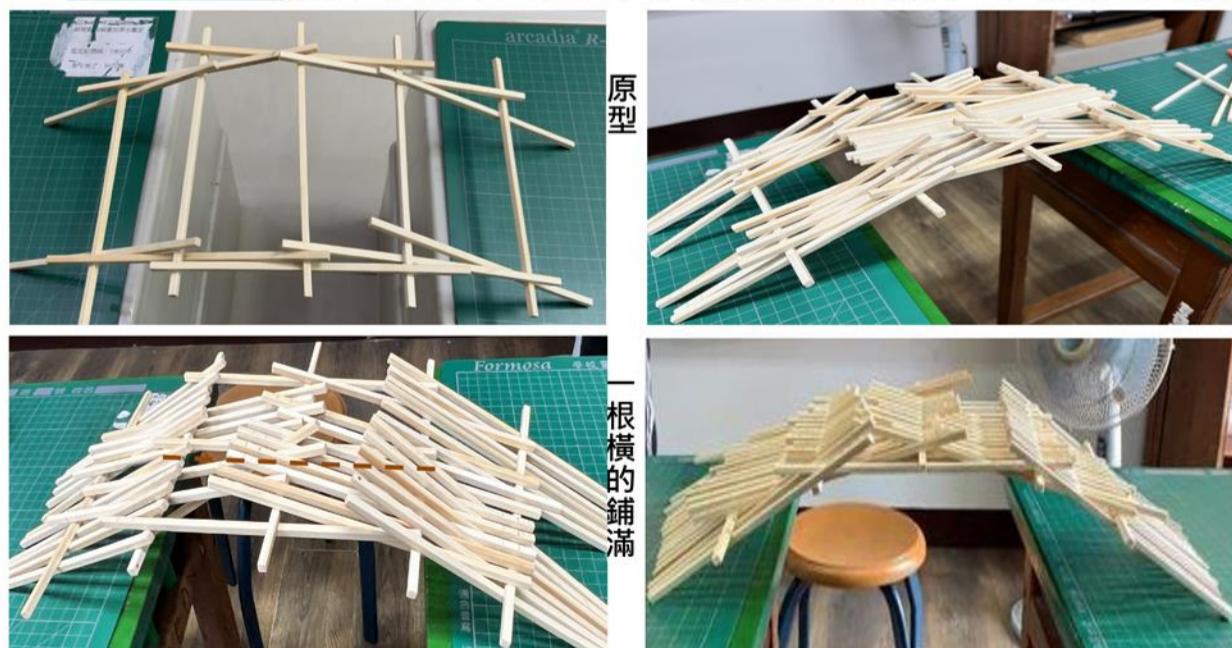
實驗五：比較達文西橋上方有無鋪滿的承重影響

1. 拱形負重的下壓力時，左邊的分力會與右邊產生的分力相抵，使拱橋比一般的橋梁的承重量大很多;若達文西橋層數越多，越接近拱型，但由於角度過大，太多層的達文西橋反而無法搭起，所以**兩層的達文西橋為最佳的達文西橋承重實驗層數**。
2. 當達文西橋搭建時，**中間只有一根的時候**，兩側的棍子可以較貼平中間的棍子，科展作品《修正教科書的「摩」力觀點-摩擦力跟接觸面積真的的關係》研究之結論：介面間接觸面積越大，摩擦力越大。本研究發現**棍子間接觸面積愈大，橋體就愈穩固**，所以**底座中間一根的達文西橋承重較好**。
3. 由實驗可知，**沒有鋪滿的達文西橋結構承重數據最好**，可承重達到 5 公斤。
4. **鋪滿的達文西橋**在承重 4 公斤前的情況下是最穩，但鋪滿的**棍子間接觸面積小，易滑落**，導致無法承重 5 公斤。



實驗六：建構不同達文西橋橋體結構之形抗承重結果

1. 由實驗可知，有**三座達文西橋**都可以承重 5 公斤，而其中**直橫交錯鋪滿**的形變率最小，橋體結構最穩固。
2. 當達文西橋鋪滿時，需有**橫向的棍子**完全跟其他棍子平面接觸到，才能讓達文西橋更加穩固。
3. **直橫交錯鋪滿**的達文西橋承重比橫集中鋪滿的達文西橋好，在搭橋時選擇將**橫向的棍子交錯分散**比將棍子全部集中更好。



實驗七：比較不同地面的摩擦性對橋體承重的影響

1. 我們選擇了七種地面材質，分別是木地板、草地、泥土地、花崗岩磁磚、PU 跑道、柏油路、水泥地。
2. 當達文西橋在受到外力作用時，**橋墩的竹棍會陷入泥地中**，就好比是在蓋房子時打地基，所以達文西橋在泥土地搭建的承重效果最好，形變也最小。



延伸實驗—實驗八：探討搭建不同結構的達文西橋最大承重量

1橫集中 2橫集中 3橫集中 4橫集中

剛開始承重時結構穩固 兩側的棍子位移使橋體傾斜

第一層與第二層的支點薄弱 橫集中橋體承受最大重量會受外力時造成位置偏移 因兩側結構不穩固而倒塌

原型 直橫交錯

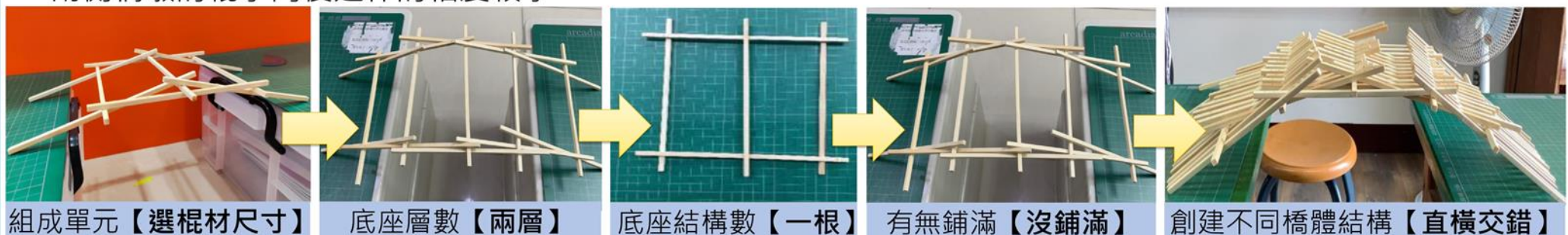
原型達文西橋承重過載，斷裂 結構穩固受兩側分力僅位移歪斜

實驗結果：
直橫交錯的承重量最大，可達9公斤，形變率也最小。

延伸實驗綜合討論：
不同造型的達文西橋主要是利用原型的達文西橋結構撐起，因此推論任何造型橋最原始的結構穩固，其橋體都不容易倒塌或造成形變。

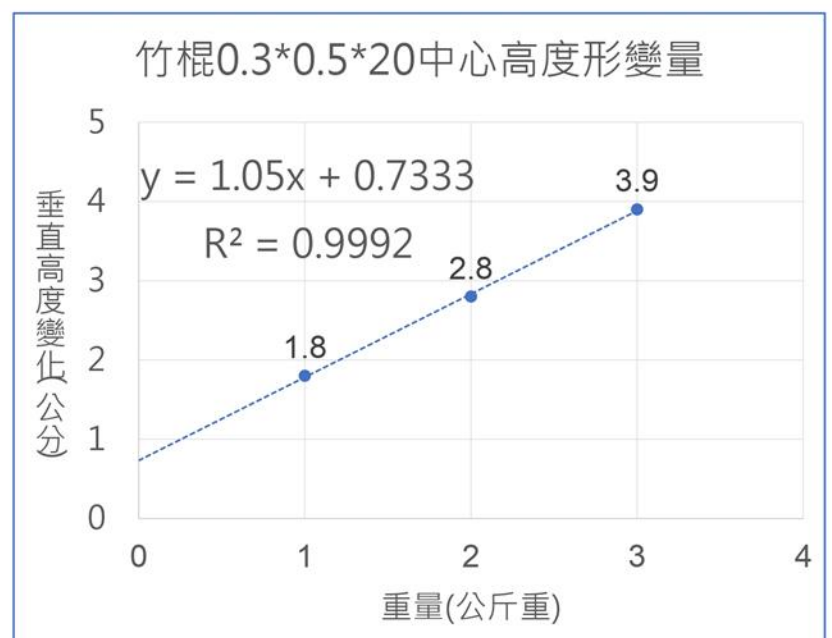
結論

- 一. 我們原本以為木棍的表面材質粗糙，摩擦力較大，預測木棍的達文西橋承重效果較好，但經實驗後發現承重效果較好的是**竹製的達文西橋**。推測竹棍比木棍的密度大、更扎實，且韌性較好，所以適合做為達文西橋承重實驗主材料。
- 二. 比較竹棍不同尺寸的承重力，發現是**0.5*0.5*20cm³的竹棍**承重力最好。推測在固定竹棍支點、間距及受力相同的情況下，越長的竹棍在末端受力時承重的壓力就會越大，所以受力時就容易彎曲、斷裂。
- 三. **兩層的達文西橋承重效果最好**。推測是拱橋比一般的橋梁的承重量大很多，而當達文西橋層數越多時，越接近拱型，所以當達文西橋層數較多時承重效果較好。但由於角度過大的問題，太多層的達文西橋反而無法搭起。
- 四. 中間底座的支數愈多並不能提高達文西橋的承重結果。實驗後發現，承重效果最好的是**中間底座一根的達文西橋**。推測是因為底座三根的正中間的棍子比較容易滑落，會藉著摩擦力，帶動兩旁的棍子，導致容易倒塌，承重效果較差。
- 五. **沒鋪滿的達文西橋**比鋪滿的橋體承重結果好。推測是由於鋪滿的棍子與其他棍子的接觸面積較小，會導致在承受外力的時候滑落，影響承重結果。
- 六. **中心結構-直橫交錯的橋體形變最小**。相比起其他造型的橋，直橫交錯的橋體結構使橋身更加穩固。達文西橋只要交叉支點愈多，摩擦係數愈大，其承重效能就會愈高，形變率就會愈小。不同排列方式及支點數量都會影響達文西橋的穩固性、承重量。
- 七. **若要搭建達文西橋，需有適中的地面材質摩擦力**，並不是橋體末端與地面的摩擦力越大，橋就越容易搭起來，還需考量地面間是否有可以讓棍子伸縮的空間。
- 八. **直橫交錯鋪滿的達文西橋承重效果最好，形變也最小**。原因是它的橋體結構使其負重的下壓力會產生指向圓心的分力，左邊的分力會與右邊產生的分力相抵，使原來的下壓力減少，因此直橫交錯鋪滿的達文西橋受力時，兩側橋墩的棍子向後延伸的幅度較小。



未來展望

- 一. 我們將質量為 1 公斤、2 公斤及 3 公斤的鹽包放置於達文西橋時，中心垂直高度的形變量分別為 1.8cm、2.8cm 及 3.9cm。在圖中利用 Excel 的趨勢線來顯示資料的趨勢，獲得一個很好的趨勢線方程式 $y = 1.05x + 0.7333$ ，且因為其 $R^2 = 0.9992$ ，垂直高度的變化量很規律，可預測質量 4 公斤、5 公斤等重物其中心垂直高度的形變量，並**和實驗值結果相呼應**。
- 二. **虎克定律**提到，彈簧的伸長量和拉力成正比，也就是說當達文西橋承受的重力越多時，其形變率也會越大，竹棍本身的彈性也會產生形變，其對應的物理模型類同虎克定律一樣。不過在虎克定律中的彈簧其彈力係數為一個常數，但在我們的實驗中，達文西橋所產生的形變其對應的彈力係數並不會為一個常數，這是其不同的地方，也是未來值得我們再更進一步探討研究的課題。



$$\frac{2.8333 - 2.8}{2.8333} \times 100\% = 1.12\%$$

參考文獻

- 一、張瑋真等(2018)。修正教科書的「摩」力觀點-摩擦力跟接觸面積真的有關。中華民國第 58 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 二、zfang(2019)。達文西木橋(下)~布拉格廣場遇見達文西(達文西木橋實做篇)。取自<https://n.sfs.tw/content/index/11546>
- 三、李劭洋等(2019)。達文西橋。中華民國第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- 四、陳雅庭等(2020)。以小博大~桁架結構初探。金門縣第60屆國民中學科學展覽會。
- 五、呂信德等(2020)。達文西密碼。高雄市岡山區前峰國中活動。
- 六、查無作者(2021)。達文西橋的秘密。嘉義縣第61屆國民中小學科學展覽會。