

新北市文德國小資優方案

獨立研究報告

快來「橋橋」——材料與層數對達文西橋的影響

作者:王鈺維、蔡承翰、謝愷文

學校:新北市文德國小

指導老師:王捷老師

摘要

本文的重要性來自於研究達文西橋的構造及原理，並了解何種情況會影響到負重能力，對於我們在認識達文西橋以及對現代有拱形結構的橋梁有認識上的影響。

本研究開始的主要原因是因為曾經在營隊看到類似東西，讓我想要去研究為什麼在不用任何鉚釘及粘著方式下就能搭起橋並且能夠負重。此外，我觀察到達文西橋並非層數蓋得越多就越穩固，負重越好，所以我想了解搭建材料和層數對橋的穩定和負重的關係。

本次的研究方法是實驗法，而針對研究設計則是使用不同的材料、搭建不同的層數來測試負種能力。

研究結果發現在相同的材料及負種一樣的情況下，層數越多，負重越差；而材料本身的強度越差，負重也越差，但同時也是要考慮到材料的韌性，並非韌性越高越好，而是要找到中間值。

第一章 緒論

文藝復興是發生在歐洲14世紀到17世紀的文化運動，旨在復興古希臘羅馬的古典文化，而李奧納多·達文西是義大利文藝復興時期最傑出的博學家之一，以《蒙娜麗莎》，《最後的晚餐》等畫作聞名，他不僅是一位畫家，在研究方面也有非凡的才能，就比如說各種飛行器，雖然他的發明都是草稿，從未實際做過，但他的概念性設計，對後世產生了極大的影響；達文西不僅是個天才的科學家和哲學家以及藝術家和工程師，他的一生多才多藝，對後代產生了深遠的影響。

達文西橋是一種利用木棍互相支撐、不需任何釘子或膠水就能搭建的交叉式拱橋，其原理是利用木棍之間的摩擦力與結構本身的力量來穩定橋體。橋的結構環環相

扣，透過形狀來分散承載重量，將重量平均向下向外傳遞至橋梁兩側，因此即使是簡單的木棍也能承載相當的重量。

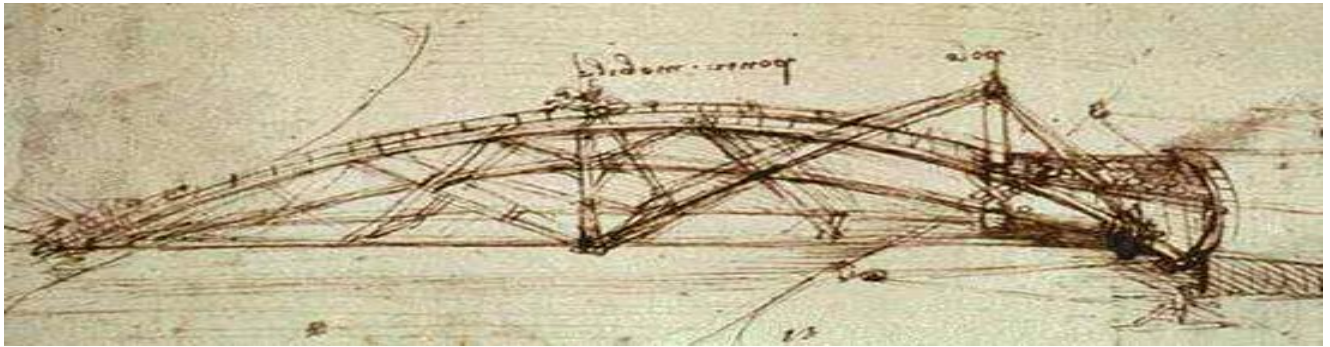


圖1「達文西橋」的設計手稿

《清明上河圖》中有一座拱橋，結構和達文西橋類似，但這座虹橋要橫跨汴水兩岸，尺寸較大，不可能只靠摩擦力支撐，所以要使用一些榫卯、卯釘。但是，在那年，建造薛宅橋的中國木匠鄭慧福的繼承人鄭多金竟在鏡頭前復刻了一座完全沒有用到榫卯或釘子的「飛天虹橋」。鄭多金過世前，雖然將技術傳授給了鄭多雄，但是卻沒辦法再建造出完全不用卯釘的橋了。

而在「台中科學博物館」有一座類似《清明上河圖》中的虹橋，就是以「達文西橋」的形抗結構搭建而成。



圖2「台中科學博物館」中的虹橋

第二章 研究動機與目的

第一節 研究動機

我們第一次認識達文西橋，是在資優營隊和影片中看到的。那時候發現這座橋非常特別，因為它不用釘子或繩子，只靠木棍就能自己站起來，甚至大型版本還可以讓人走上去，覺得既神奇又有趣。

我們想研究達文西橋，是因為這個主題可以動手實驗、不用查太多資料，而且過程很好玩。這座橋的設計看起來簡單，但實際上包含了許多科學原理，我們很好奇：一座穩固的達文西橋，到底需要哪些因素啊？

因此，我們想研究：

- 一、不同材料相同層數的形變率差異。
- 二、不同層數相同材料的形變率差異。

壹、名詞釋義

一、形變率：橋因為受到外力的影響，而改變形狀的比率。

二、達文西橋：不需要卯釘、膠水，只使用摩擦力固定以及形抗結構來支撐的橋梁。

三、中心高度：橋的最高點離桌面的距離。

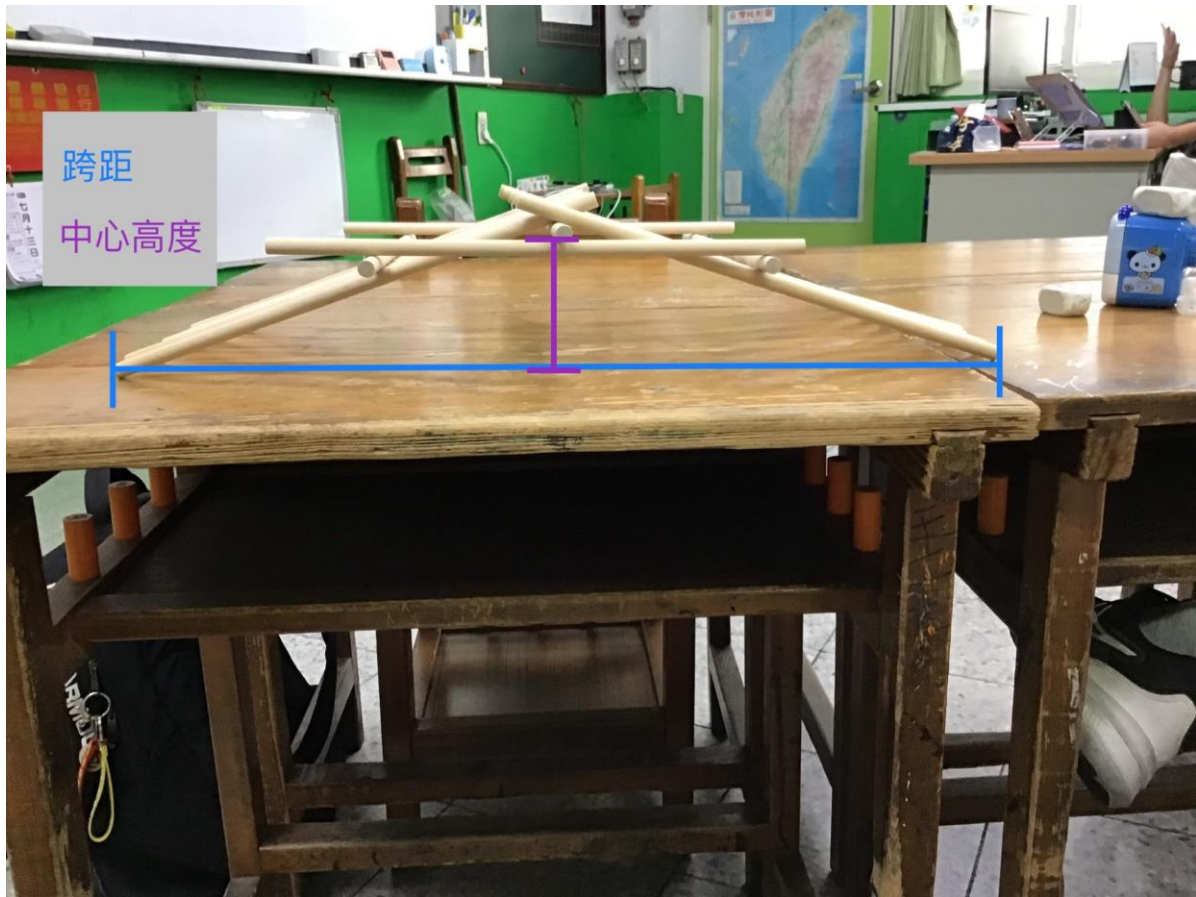


圖3跨距和中心高度

四、跨距：橋最左邊到最右邊的距離。（如圖3）

五、層數：正常的達文西橋往最上方直放的棍子往左右兩邊各放兩根棍子稱為一層，基於第一層，每往左右兩邊各增加兩根棍子就稱為第二層，以此類推。

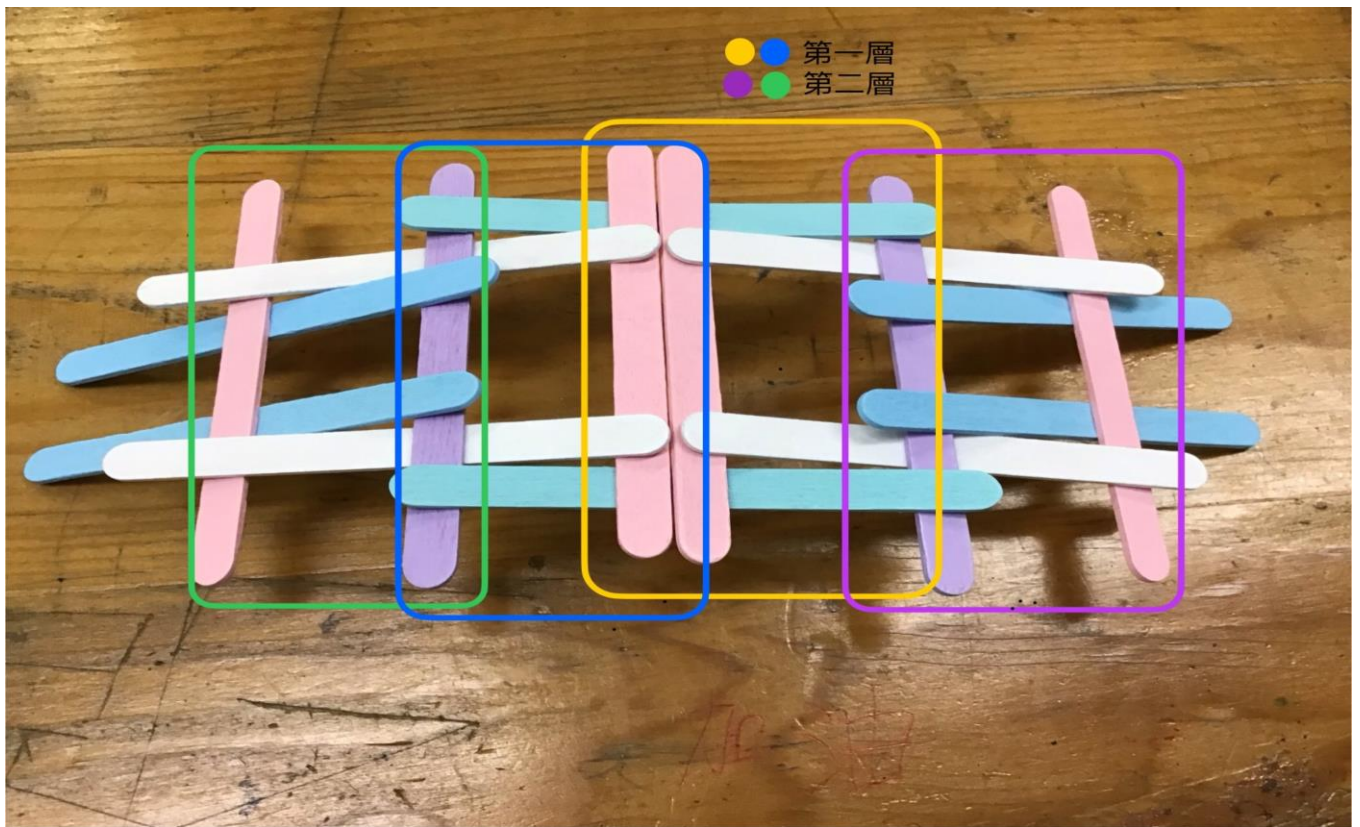


圖4橋的層數說明

六、形抗：物體受到外力的影響，改變自己的形狀，產生強大的摩擦力，看似因外力造成幾何變形，但卻能抵抗更大的力。

第二節 研究問題

- 一、使用不同材料但層數相同的橋在形變率上有哪些不同？
- 二、搭建不同層數但相同材料的橋在形變率的不同？

我們想研究的主要問題是使用哪一種材質或類型蓋出來的達文西橋比較堅固，可以承受多重的重量？當中也包含不同層數的負重變化，我們將以「形變率」來觀察，形變率越大，代表橋在負重時的變形越大，因此代表負重較差。

總共有三種材質，分別以單一材質及混合結構，在相同層數下的形變率來做負重比較。

第三節 研究架構

❖ 研究主題

- 研究動機 → 影片與營隊啟發
- 研究問題 → 材料 × 層數 × 形狀

➤ 研究方法

■ 準備材料

■ 負重測試

■ 形變率量測

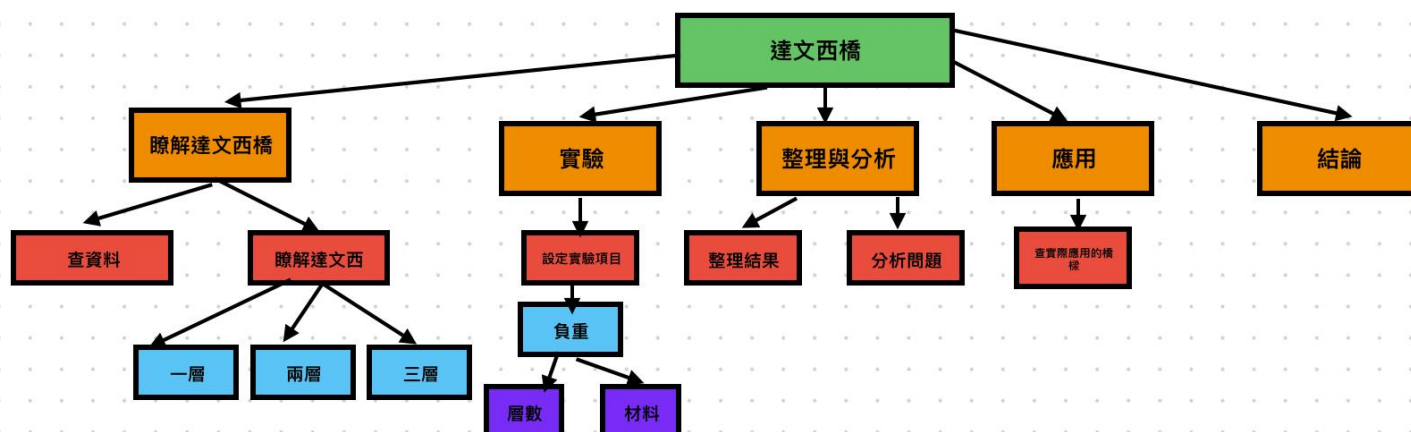
■ 延伸測試

- 實驗過程 → 七次主要測試

- 挑戰與失敗 → 問題與修正

- 分析與討論 → 比較結果、找出原因

- 結論 → 結構原理 × 材料特性 × 摩擦力=達文西橋



現今路上見到的橋樑，無一不是鋼筋、水泥和混凝土組合而成的，不過，你知道嗎？早在文藝復興時期的時候，就有一種橋梁可以不用樁卯、釘子，就能夠承受巨大的重量，沒錯！他就是大名鼎鼎的——達文西橋，從我們查詢到的資料，達文西橋最早出現於15世紀，本來達文西打算建造一座長240公尺的巨型橋梁，但最後並未實現，不過經現代科學家的計算，發現當時的設計完全可行，這一切都歸功於它巧妙的結構，用摩擦力、靜摩擦力以及最重要的拱形結構的形抗力。

第三章 研究方法

我們準備搭建四種不同材料的達文西橋模型，分別是：竹筷、粗冰棒棍、細冰棒棍，以及複合材料（粗冰棒棍＋細冰棒棍）。

每一種材料都會先製作成三層的橋，完成後再進行承重測試：我們會在橋上逐步放上重物（例如橡皮擦或銅板），記錄橋在不同重量下的變化。當三層的橋測試結束後，我們會拆掉最上層，改成兩層、再測一次，最後再做一層的測試。

透過比較不同材料與不同層數的橋，我們想知道哪一種材料最穩固、最能承受重量。我們也會根據橋在測試過程中的變形或倒塌情況，計算出各種材料的形變率，找出最合適的橋材與層數組合。

我們一開始打算使用四驅車來測試橋的穩定性，想觀察哪一種材料能承受最多重量。四驅車加上小盒子的重量大約 300 公克，因為比較輕，能讓我們在初期測試時避免橋太快倒塌。

不過在實驗過程中，我們發現一些穩固的材料（例如竹筷或木棒）在放上四驅車時，橋幾乎沒有變化，結果差異不明顯。因此，我們決定改用A4 紙箱、書本等較重的物品來測試，讓不同材料之間的穩定度差異更明顯。這樣能更清楚觀察橋在負重下的變形或倒塌情況，也能更準確地判斷哪一種材料的承重能力最好。

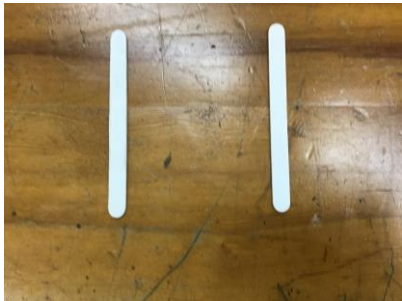
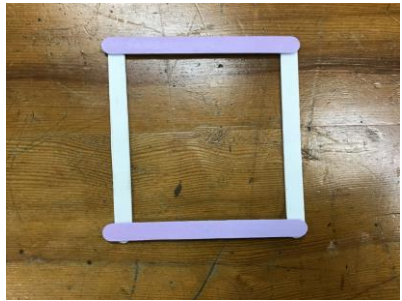
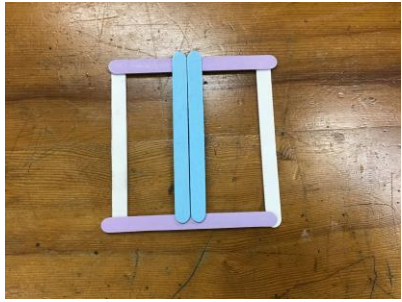
先搭建不同參數 如：材質、形狀（因為有圓木棍、粗冰棒棍、細冰棒棍）、層數、角度的橋再慢慢增加重量測出不同參數的承重量、穩定性的不同。

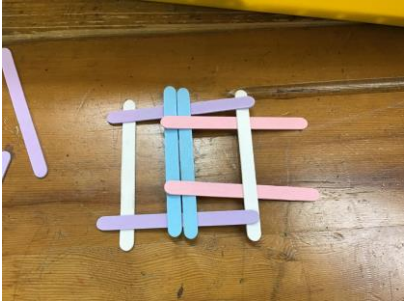
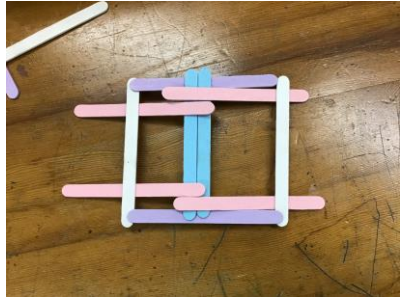
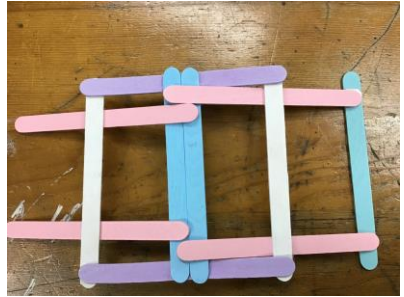
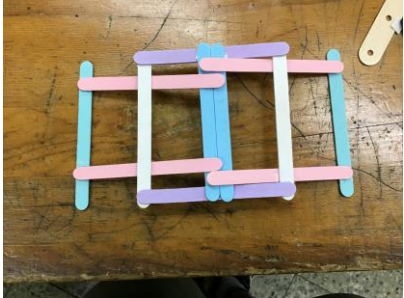
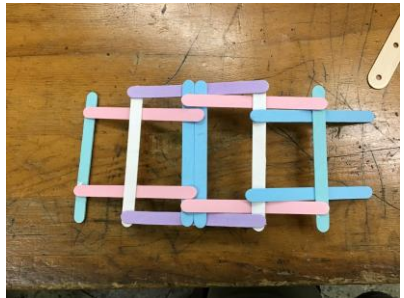
使用計算公式如下：

零負重時中心高度-負重時中心高度=中心高度差

$$\text{形變率} = \frac{\text{中心高度差}}{\text{零負重時中心高度}}$$

達文西橋搭建步驟：

步驟	說明	圖片
第一步驟	先放兩根冰棒棍平行	
第二步驟	再放兩根冰棒棍呈現口字形	
第三步驟	原本這裡中間是放一根的，但我們發現中間放兩根會更堅固，更好蓋。	

第四步驟	接著插兩根冰棒棍在一側的冰棒棍和第三步驟中間的那個口	
第五步驟	重複第四步驟換邊就好了，第一層就好了	
第六步驟	在一側的腳底下放上一根冰棒棍	
第七步驟	在另外一側蓋跟第六步驟一樣的步驟，就好了。	
第八步驟	拿兩根冰棒棍在第一步驟和第六步驟的一側形成的口插進去	

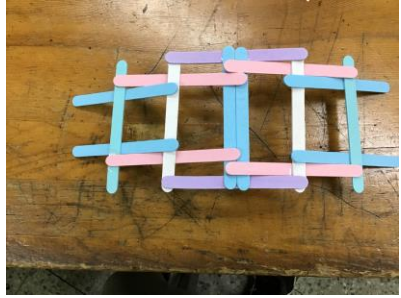
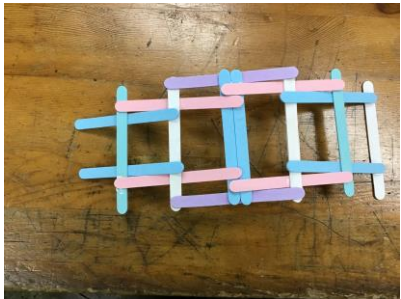
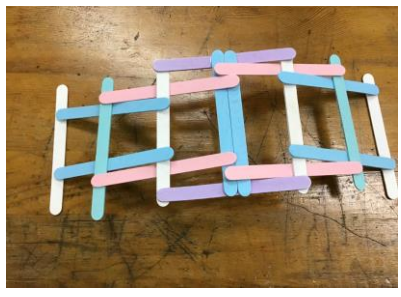
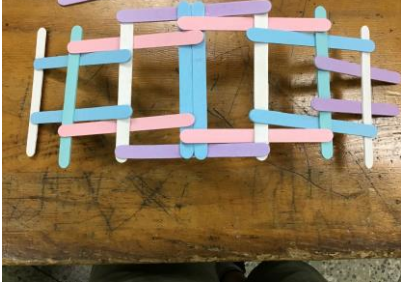
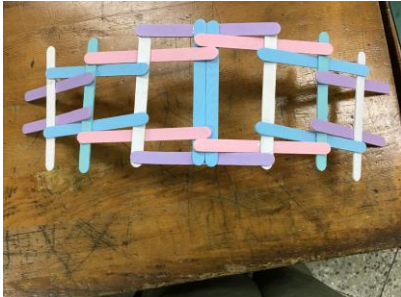
第九步驟	在另一側蓋跟第八步驟一樣的步驟，這樣第二層就完成了	
第十步驟	在第八步驟的冰棒下面再放一根	
第十一步驟	重複第十步驟換邊就好了	
第十二步驟	在第六步驟和第十步驟的冰棒棍中間的口插兩根	
第十三步驟	最後在拿兩根重複第十二步驟第三層就好了（要在仔細檢查）	

表1搭橋步驟

第一節 研究取向

我們想研究的主要問題是使用哪一種材質或類型蓋出來的達文西橋比較堅固，可以承受多重的重量？當中也包含不同層數的負重變化，我們將以「形變率」來觀察，形變率越大，代表橋在負重時的變形越大，因此代表負重較差。

總共有三種材質，分別以單一材質及複合材質，在相同層數下的形變率來做負重比較。

形變率的計算方式：零負重時中心高度-負重時中心高度=中心高度差

$$\text{形變率} = \frac{\text{中心高度差}}{\text{零負重時中心高度}}$$

第二節 研究對象與工具

準備幾種不同材質來搭建，其中有兩種不同的冰棒棍，分別為寬/薄、細以及竹筷。並且準備其他實驗工具如下：

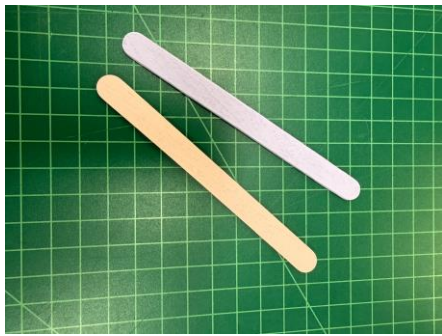
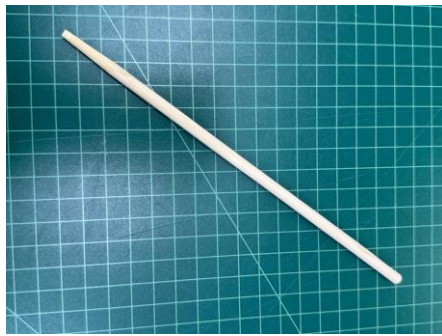
		
冰棒棍（寬/薄）	冰棒棍（細）	一般竹筷
		
四驅車+盒（負重用）234g	平板（紀錄用+拍照+負重）632g	木棍

表2研究材料與工具

我們準備搭三種不同的橋的模型，有兩座分別是用兩種不同材質的冰棒棍，第三種則是用複合材料。

第四章 實驗紀錄

第一節 實驗紀錄

實驗紀錄（一）：先使用不同材料搭建，進行負重初步的測試，能大致了解不同材質的負重承度，之後再進行後續實驗來做比較。

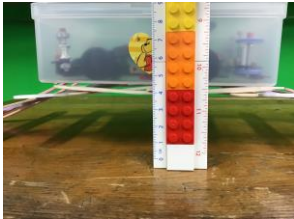
材料	使用數量	是否成功搭建	承重測試	倒塌原因	照片/繪圖
冰棒棍（細）	22（三層）	是	一輛四驅車(約234g)	沒有倒塌，且還有一定的高度。	
冰棒棍（寬又薄）	22（三層）	是	一輛四驅車(約234g)	沒有倒塌，差點碰到桌面	
複合材料（寬+細）	21（三層）	是	一輛四驅車(約234g)	沒有倒塌，差點碰到桌面	
竹筷	15（兩層）	是	四台平板（約2528g）	沒有倒塌，第五台過重扁掉	
木棍	9（一層）	是	一大包簿本（約13kg）	有倒塌，一根木棍斷裂	

表3綜合測試

實驗分析：使用冰棒棍搭建的橋都能承受一輛四驅車的重量，但寬/薄的冰棒棍和複合材料都差點碰到桌面，而竹筷和木棍因為四驅車放上去根本不會有變化，所以改用平板和一箱簿本來測試，結果顯示，竹筷最多可以承受四台平板的重量，第五台扁掉，沒有倒塌，木棍則是能夠撐住一箱簿本一

段時間，之後斷裂、倒塌。

另外，因為不同材質的搭建難度各有不同，因此主要實驗材質：冰棒棍寬、細都以三層做為綜合測試，其餘如「竹筷」、「木棍」則是延伸實驗。

實驗紀錄（二）：先使用單一材質__竹筷，並根據實驗（一）的測試結果，用較重的平板來測試形變率。

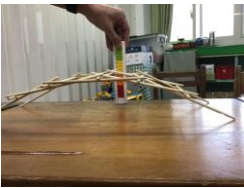
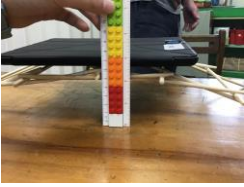
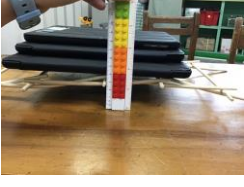
負重（平板）	跨距約(cm)	中心高度約(cm)	結果	形變率約(%)	照片/繪圖
無	47	7.5	—	0	
一台 632g	49	5	V	33.3	
兩台 1264g	49.5	3	V	60	
三台 1896g	50.5	2.5	V	66.6	
四台 2528g	51	2	V	73.3	
五台 3160g	52	0	X	100	

表4竹筷兩層

實驗分析：因為我們竹筷蓋不到三層。所以就只使用兩層的橋來測試，當第一、二台平板放上去時，竹筷橋只是微微下壓，但到第三台平板放上去時，就有明顯的變化了，我們以為它撐不過第四台平板，沒想到它只是差一點碰到桌面，只離桌面兩公分而已，放上第五台平板後，果然塌下去了，但竹筷沒有斷裂。

實驗紀錄（三）：使用單一材質__冰棒棍（寬/薄），並根據實驗（一）的測試結果，用較輕的四驅車來測試形變率。

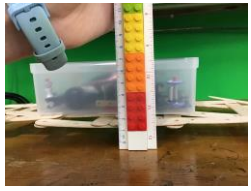
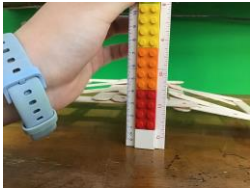
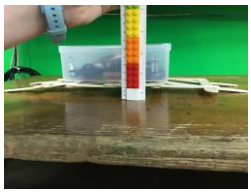
層數/ 參數、 負重& 結果	負重	跨距約 (c m)	中心高度約(c m)	結果	形變率約 (%)	照片/繪圖
三層	0	52	7	—	0	
	一台四驅 車(約234 g)	55	1.5	V	78.6	
兩層	0	40	3.5	—	0	
	一台四驅 車(約234 g)	41.5	1.5	V	57.1	
一層	0	30	2	—	0	
	一台四驅 車(約234 g)	32	0.9	V	55	

表5冰棒棍（寬/薄）

實驗分析：寬/薄的冰棒棍是我們整個實驗中最好搭的一座橋，因為它韌性好，長度也夠，所以第一次搭就搭建成功了，但當我們放上四驅車時，原本長度和高度都是最大的橋，在瞬間就扁掉了，雖然沒有碰到桌面，但還是讓我們很吃驚，第二層也是跟第三層差不多，只是中心高度變的更低了，直到我們做到第一層時以為它會直接塌下，沒想到他距離桌面只有0.9公分，沒有倒塌。

實驗紀錄（四）：使用單一材質__冰棒棍（細），並根據實驗（一）的測試結果，用較輕的四驅車來測試形變率。

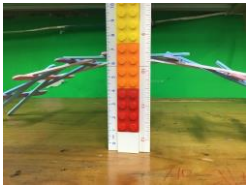
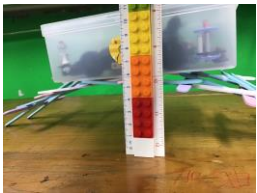
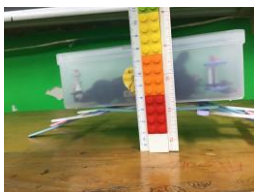
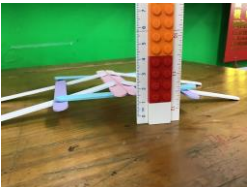
層數/ 參 數、 負重& 結果	負重	跨距約(c m)	中心高度約(c m)	結果	形變率約 (%)	照片/繪圖
三層	0	36	8.5	—	0	
	一台四 驅車(約 234g)	39	6	V	29.4	
兩層	0	30	4.5	—	0	
	一台四 驅車(約 234g)	29.5	3.5	V	22.2	
一層	0	21	2	—	0	
	一台四 驅車(約 234g)	21	1.8	V	10	

表6冰棒棍（細）

實驗分析：細的冰棒棍是冰棒棍裡最難搭的橋，搭這座橋整整花了我們一個禮拜以上，因為它長度不夠，韌性也幾乎沒有，所以我、們都覺得他是冰棒棍裡形變率最低的，結果果然如此，放上四驅車後，形變率只有29.4，非常低，第二層和第一層的形變率也是逐漸降低，但是第一層因為原本的中心高度很低，所以差點碰到桌面。

實驗紀錄（五）：使用兩種材質__冰棒棍（細）加冰棒棍（寬/薄），並根據實驗（一）的測試結果，用較輕的四驅車來測試形變率。

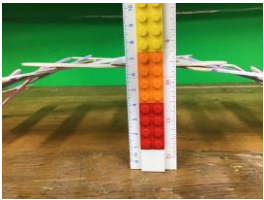
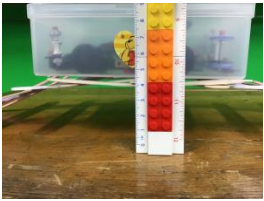
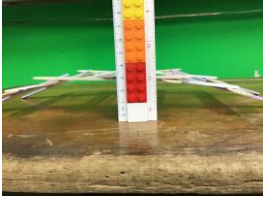
層數/ 參 數、 負重& 結果	負重	跨距約 (cm)	中心高度約 (cm)	結果	形變率約(%)	照片/繪圖
三層	0	38.5	7.5	—	0	
	一台四驅車(約234g)	40	4.5	V	40	
兩層	0	35	4.5	—	0	
	一台四驅車(約234g)	30.5	3	V	33.3	
一層	0	23	1.5	—	0	
	一台四驅車(約234g)	23	1.3	V	13.3	

表7混合材質

實驗分析：復合材料是裡面第二好搭的。雖然有混入細的冰棒棍導致韌性不太好，但好在使用的數量不多，所以沒有到特別難搭，放上四驅車後，下壓的高度沒有特別多，但也沒有很少，兩層的比三層的好很多，形變率從40下降到28.6，到了一層，我們覺得這是冰棒棍中第一個扁掉的橋，因為它的中心高度實在太低了，只有1.5公分，放上去後，看起來是扁掉的，結果看到還有一點縫隙，但尺的刻度不是從最低下開始的，所以只好用樂高尺的一部分來測量，測量後，放上四驅車的橋中心高度就只有0.8公分。

實驗紀錄（六）延伸實驗：使用一種材質__竹筷，並根據實驗（一）的測試結果，用較輕的四驅車來測試形變率，並且和實驗（二）～（五）進行比較。

層數/ 參 數、 負重& 結果	負重	跨距約 (c m)	中心高度約(c m)	結果	形變率約 (%)	照片/繪圖
1層	0	37	3.5	-	0	
	一台 四驅 車(約 234g)	37	3.3	V	5.7	

表8竹篾一層

實驗分析：因為之前做竹篾兩層的實驗時，忘記測竹篾一層的實驗，所以就外加一個竹篾一層的表格，但這次試用四驅車來測，結果顯示，竹篾一層是我們所有實驗中，形變率最低的一座橋，它的形變率只有5.7，非常低。

實驗紀錄（七）延伸實驗：使用一種材質__木棍，並根據實驗（一）的測試結果，用較輕的四驅車來測試形變率，並且和實驗（二）～（六）進行比較。

層數/ 參數、 負重& 結果	負重	跨距約 (cm)	中心高度約(cm)	結果	形變率約 (%)	照片/繪圖
1層	0	53	8.5	-	0	
	一台 四驅 車(約 234g)	53	8.5	V	0	

表9木棍一層

實驗分析：由於木棍材質較硬，搭出來的橋更為堅固，因此以四驅車的重量幾乎無法對木棍所搭出來的橋產生影響，形變率為0。

在實驗過程中發現達文西橋支撐不住很多原因是最中間的結構會歪掉，但也可能是材質的摩擦力不足或支點太少，且在搭建的過程中，也會因為形狀、摩擦力不足…等許多因素導致在搭建時棍子會掉下來/滑下來，因此要蓋出一座穩固的達文西橋，需要各種因素全部合在一起。

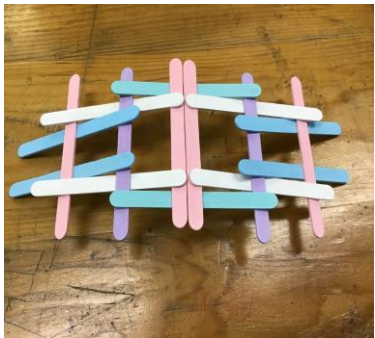
我們在實驗過程中發現，有時候達文西橋會支撐不住，最主要的原因常常出現在中間的結構歪掉。除了這個問題外，也可能是因為材料的摩擦力不足，或是橋腳的支點太少，導致整體不穩。

要蓋出一座穩固的達文西橋，必須讓所有因素都配合得剛剛好。首先，底部結構一定要穩固，如果一開始中間的部分太鬆散，後面的橋就很難成功搭上去；即使勉強搭起來，也無法承受太多重量。

另外，每一層橋腳的角度也很重要，不能太往外、也不能太往內。太外會讓摩擦力不足、容易滑開；太內雖然卡得緊，但突出的部分太短，下一層的橋腳就放不下。這些小細節都會影響橋的穩定性。

總結來說，達文西橋之所以能站得住，是因為它結合了摩擦力、角度與支撐平衡等多種原理。只要底部結構穩、角度正確、材料適中，就能蓋出一座穩固又能承重的橋。

第二節 挑戰與失敗

材料	搭建層數	怎麼失敗的？	為什麼會失敗？	解決方法	照片/繪圖
冰棒棍 (細)	兩層	冰棒棍的韌性不足，並且在搭建第三層一定要壓著，不然一定會倒	結構每蓋一層就會歪掉一次，有一些卡的太緊移動不了，才導致第三層還倒	可以請兩個人以上幫忙，一個幫忙壓著，另外幾個就負責調整或搭建	

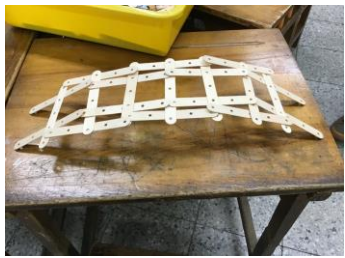
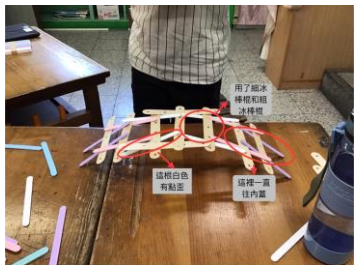
冰棒棍 (寬/薄)	三層	冰棒棍太粗放不下第四層	本來可以往外蓋可是我們一直往內蓋	之後可以一層往外，在一層往內	
複合材料	三層	前面結構歪了後面就不穩固	因為最重要的結構就歪了	可以做完一層，就壓住慢慢調整	
冰棒棍 (細)	三層	冰棒棍的韌性不足，而且長度不夠	中間的冰棒棍調整一下就會倒	在蓋第一層時把冰棒棍推進去一點，後面才不會一直往外跑	
冰棒棍 (寬/薄)	六層	結構完全平行，導致兩邊的支撐點地方不同	中間位置的冰棒棍太鬆，兩邊的支點也不平行	每蓋完一層就看一下中間位置的冰棒棍有沒有鬆掉	
木棍	一層	木棍是圓形的，容易滾掉	圓形的容易歪掉	讓木棍卡在桌子的縫隙上面	

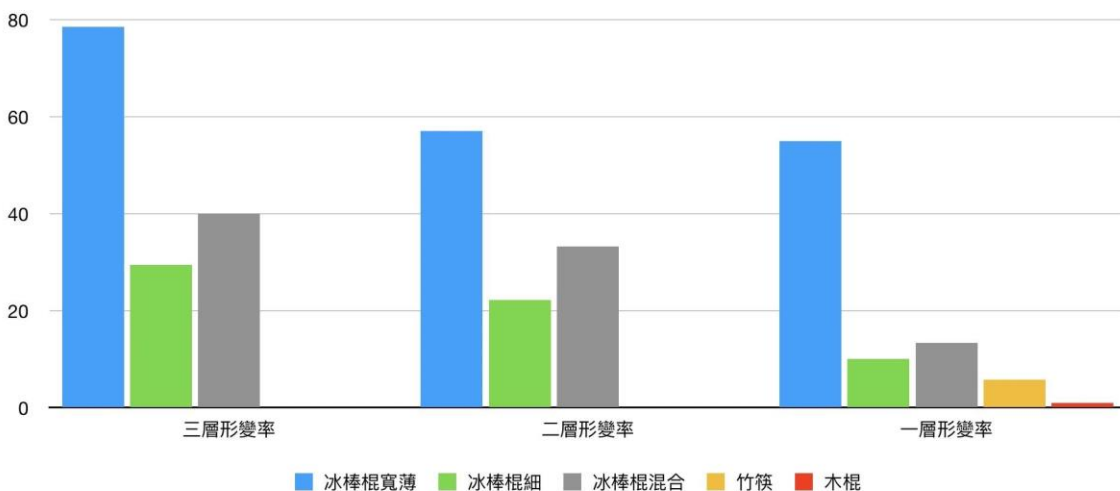
表10實驗失敗的記錄

第五章 研究結果與分析

第一節 分析與討論

我們前面要測試三層和兩層橋的原因是想先看哪一層的橋最穩，測試完後再用不同的材料蓋出那一層的橋。

從下面的圖表可以看出，二、三層的形變率都是寬/薄的冰棒棍最高，細的冰棒棍最低，因為竹筷因為蓋不出三層的所以只有測兩層和一層，但是我們發現我們之前測竹筷兩層的橋是用平板負重，導致負重的材料不一樣，所以竹筷兩層的橋就不放上去圖表，而木棍則是只蓋的起來一層，所以木棍才只出現一層的圖表。從一層的圖表可以看到，寬/薄的冰棒棍一樣形變最高，但這次形變率最低的卻是木棍，可以看到木棍的形變率是1，但我們上面表格的形變率卻是0，把它寫成形變率1點原因是如果寫的是0，長條圖上就看不到木棍。而我們為了方便看出形變率的高低，所以就把形變率四捨五入到個位數。



	冰棒棍寬薄	冰棒棍細	冰棒棍混合	竹筷	木棍
三層形變率	79	29	40	-	-
二層形變率	57	22	33	-	-
一層形變率	55	10	13	6	1

在我們的實驗中，「木棍」做成的達文西橋最穩固，寬又薄的冰棒棍做成的橋最不穩。竹筷的形變率最低，幾乎不會彎曲，而木棍是完全不變，我們甚至在橋上放了一整箱書本，它的形狀也幾乎沒有改變。不過在承重到一定程度後，木棍橋會直接斷裂。雖然會斷，但在斷掉之前，它仍然是所有材料中最穩固的一種。

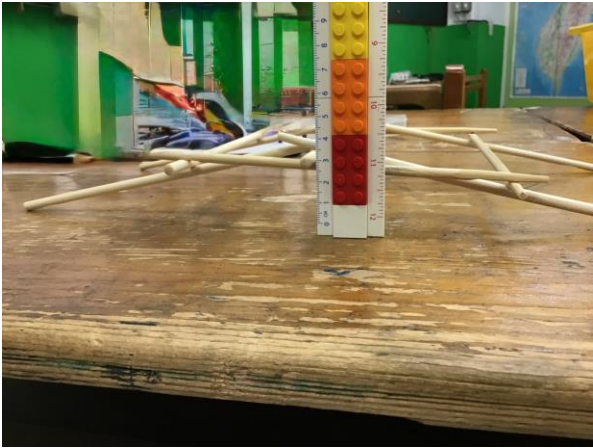
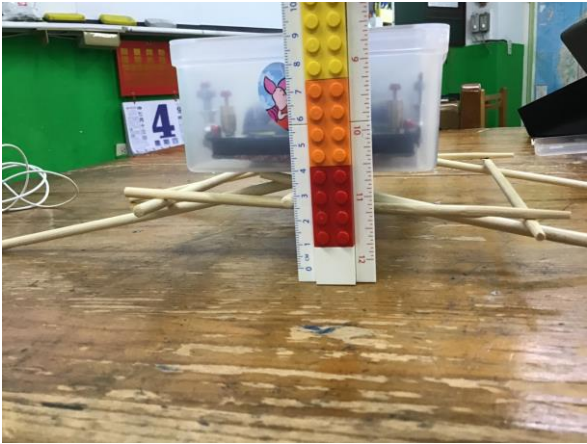
	
竹筷負重前後的變化不大，根據表6，形變率只有5.7。	

表11竹筷負重時的變化

	
木棍搭建的橋可承受至大約13kg重量仍然穩固。	超過一定負荷之後橋的結構會直接斷掉。

表12用木棍搭建的橋能夠承受很大的重量

造成這些差異的原因，主要與材料的硬度、韌性和摩擦力有關。像竹筷比較硬、摩擦力也夠，所以能撐起較重的物體；但因為比較細而有彈性，因此無法像木棍一樣可以承受到公斤級的重量，而冰棒棍比較軟、摩擦力也小，所以較容易變形或滑動。

	原本	施力後公斤	施力後樣子
寬冰棒棍 *施加壓力後彎曲較大。			
細冰棒棍 *施加壓力後彎曲較小。			
竹筷 *施加壓力後幾乎無彎曲。			
木棍 *施加壓力已經快到1kg，木棍仍然無明顯變形。			

表13三種材質在大約相同壓力下的硬度測試

在觀察橋的倒塌狀況時，我們發現它通常不是真的倒下去，而是整體往一邊傾斜，這可能是因為放重物時使底部的橋腳歪掉。還有一些情況是橋被壓得太扁，看起來像「塌下去」而不是斷開。這些結果說明，要讓橋穩固，除了材料要夠硬、摩擦力要夠強，橋腳的角度與位置也要設計得剛剛好。



圖5橋容易倒塌的原因

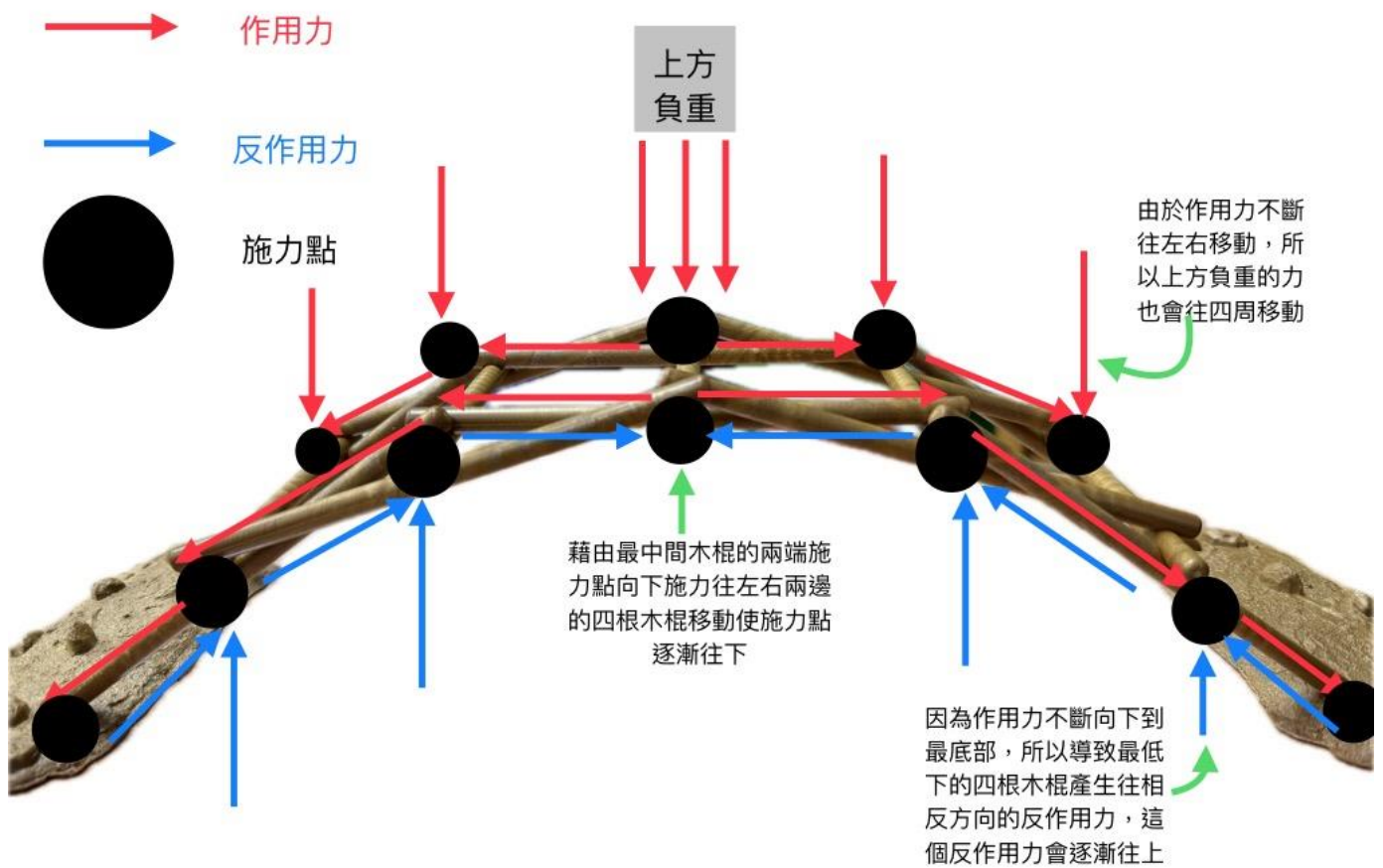


圖6達文西橋的形抗結構

達文西橋的型抗結構是利用拱形會將負重下壓的力轉換成往左右兩邊的力，達到分散壓力的結果。到現代，也可以將達文西橋的型抗結構應用在橋樑設計上，從下面橋樑的圖片可以看到，有上半部是拱形的上拱橋和下半部是拱形的下拱橋，上拱橋的優點是結構比較穩定，缺點則是不適合建造在城市道路和鐵路，下拱橋的優點則是跨越較長的山谷，也適合建造城市道路和鐵路，缺點是結構複雜，施工的成本高。下面六種橋是上拱橋的有關渡大橋、篤銘橋、進德大橋和廬山橋，是下拱橋的則是鯉魚潭拱橋和山銀橋。



苗栗的鯉魚潭拱橋



新北的關渡大橋



台中篤銘橋



彰化八卦山銀橋



屏東進德大橋



嘉義廬山橋

第六章 研究建議與省思

第一節 研究建議

在我們搭橋的時候可以儘量讓橋最上方的材料突出幾公分、材料之間的間距和搭建的地點保持相同或差不多，才不會讓實驗的結果有誤差以及一些問題，也可以在做表格時看一看有哪些跟我們原本的假設不太一樣，就不用等到後面才去找這些小問題，很浪費時間。

第二節 研究省思

我覺得我們應該反省為什麼橋會搭不好，數據有時都有異常，為什麼凸出去的長度、和每個間格的距離會影響負重，和形變率，等到出錯的時候還要在重搭一遍，這都是我們要檢討的。

第三節 研究限制

- 我們沒有專業的器材，所以每一次搭出的橋都會有差別，結果也會有誤差。
- 同樣材料的長度、粗細有有些微的差別，導致有些橋腳根本沒有支撐住。
- 研究目標是不同材質的負重程度，在控制變因上應該要為同形狀、同大小，只有材質不同（應變變因），但是要找到同形狀同大小卻不同材質的材料有難度，甚至可以說幾乎無法找到符合條件下的適合材料。

第七章 結論

在我們完成這項研究後發現，不同材料會影響達文西橋的穩定性與形變率。韌性較好的材料（例如寬、薄的冰棒棍）比較容易搭，但在負重後會產生較大的形變；相反地，韌性較差的材料（像竹筷或木棒）雖然比較難搭，但能承受的重量較大，形變率也比較低。

在達文西橋的各種原理中，有個結構和著名的槓桿原理相似，我們把負重想像成槓桿原理中的力臂，把最左右兩邊想像成抵抗力的抗力臂，因此抗力臂越短，就可以越輕鬆的把負重撐住，力臂越長，雖然能越省力，但也越容易彎曲變形、甚至斷裂。如下圖：

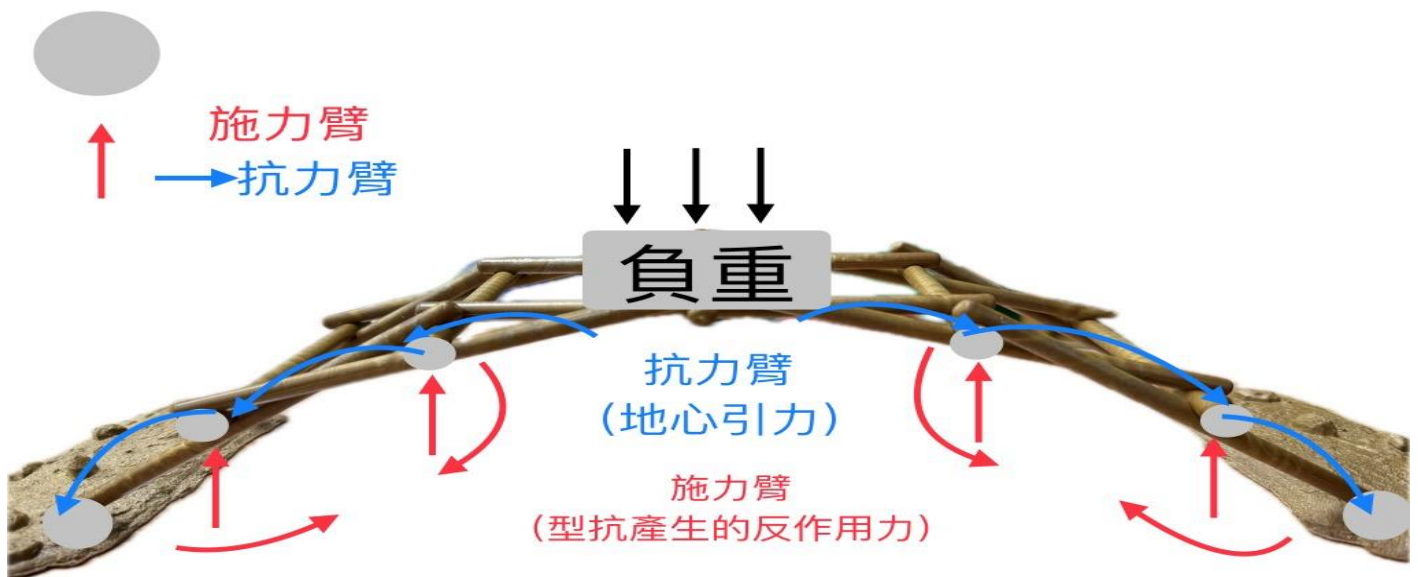


圖7達文西橋的力臂

達文西橋之所以能不用釘子或黏著劑就站得住，是因為它的設計利用了棍子之間的交錯排列，形成拱形結構。拱形的特性是可以把垂直向下的力量轉化為向外的推力，讓壓力分散到兩邊，避免集中在同一個點。同時，每根棍子之間產生的摩擦力與靜摩擦力，能讓結構互相支撐、固定位置，維持整座橋的穩定。

材料的韌性越好，越容易蓋，但它能承受的重量比較小，而且形變率也比較高，相反的，韌性越差的材料越難蓋，但它們能承受的重量可能會比韌性差的多很多，而且形變率也比較低。那麼，為什麼達文西橋只需要簡單的材料，就可以建造出結構穩定、可以承受一定重量的橋呢？其實達文西橋的負重多少不只和材料的韌性有關係，還跟達文西橋的結構和原理有關，達文西橋是由木棍交叉排列組成的，所以在各個材料間會形成摩擦力和靜摩擦力，增加結構的穩定性，而且我們觀察達文西橋後可以發現，它也是一種拱橋，為什麼負重多寡和外型有關呢？原來，拱形可以將垂直向下的力轉化成向外的推力，這些向外的推力會沿著拱橋的受力點向左右移動，可以讓拱橋達到分散壓力，避免壓力集中在同一個地方，這也是為什麼達文西橋的結構簡單，但卻不需要任何的榫卯和釘子就能蓋出來。總結來說，想蓋出一座結構穩固、能承受重量的達文西橋，不僅材料的韌性不能太好，還要許多技巧和原理，例如：木棒交錯排列會形成摩擦力和靜摩擦力，利用拱形的結構讓壓力分散出去等，因為這些原理，才能使達文西橋能在不需要黏著工具或榫卯結構下，實現穩定的結構，並具有足夠的承重能力。

這項研究讓我們了解，達文西橋的穩定並不只靠材料的強度，更重要的是力學原理與設計結構。只要底層穩固、角度正確、摩擦力足夠，就能用簡單的材料搭出一座堅固的橋。總結來說，要蓋出一座穩定又能承重的達文西橋，必須同時考慮材料特性、摩擦力與拱形原理，還有力臂長度；只要材料強度夠，力臂長度適中，配合上其他良好的條件下，就能撐起最大負重。這也是達文西橋最神奇的地方。

第八章 參考文獻

《中華民國第 63 屆中小學科學展覽會作品說明書》，邱璿綾/林汶靜，桃園市平鎮區義興國民小學

《中華民國公路局》

https://thbu2.thb.gov.tw/News_Photo_Content.aspx?n=4479&s=75663

《達文西橋》<https://www.merit-times.com.tw/NewsPage.aspx?unid=885015>

《材質問題》<https://youtu.be/XXcIhKkCB0I?si=0UtqVLVJ3EhSAdOP>

《媽媽的另一扇窗》<https://hinlin.pixnet.net/blog/post/24869207>

《閩東重現「汴水虹橋」》<http://paper.wenweipo.com/2005/10/19/CH0510190050.htm>

《達文西，文藝復興時期-【名畫檔案】》https://www.ss.net.tw/paint-144_81.html

《達文西的飛行夢-【知識大圖解】-PanSci泛科學》<https://pansci.asia/archives/82639#>

《國家文化資產網》

<https://nchdb.boch.gov.tw/assets/overview/historicalBuilding/20030610000001>

《國家文化記憶庫》

https://tcmb.culture.tw/zh-tw/detail?indexCode=Culture_Place&id=619144

《國家文化記憶庫2.0》

https://tcmb.culture.tw/zh-tw/detail?indexCode=Culture_Place&id=332834

《國家發展委員會檔案管理局》

<https://www.archives.gov.tw/tw/arctw/336-8855.html>

《Mobile01》

<https://www.mobile01.com/topicdetail.php?f=206&t=1107913>

《廬山橋達成重要里程碑鋼橋閉合完成》

https://work.chiayi.gov.tw/News_Content.aspx?n=3918&s=645401

[達文西橋的建造過程【高中組一佳作獎】](#)

[只用竹筷不用釘子，也能搭橋?!! #力學之美 #達文西拱橋 #科學實驗 #優質陪伴](#)

[閩中橋梁甲天下，傳統營造技藝——鄭多金 #非遺傳承人 #福見非遺 #fujian](#)

[《清明上河图》中的木结构“汴水虹桥”是如何建造的？探寻中国木拱廊桥的演变历程 20240822 中国古建史话（一）·木拱廊桥1 | CCTV科教《地理·中国》](#)