

2023 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

高中（職）組 成果報告表單

題目名稱：達文西橋實驗

一、摘要

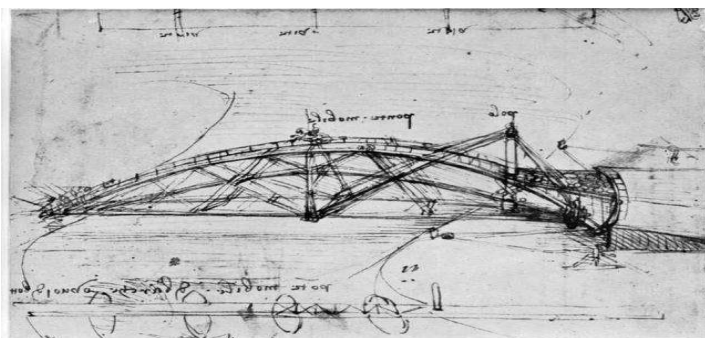
達文西橋為一種交叉式拱橋，靠摩擦力搭建，是不需用任何繩索或黏著劑來固定的拱橋，環環相扣能使它們可連接在一起而不滑脫，這是一種容易安裝及拆卸的橋樑。

在建築物中有許多拱形，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，讓原來的下壓力減少很多，所以此拱橋比一般的橋梁的負重大很多，故拱形這個結構被廣泛運用自各建築中。

二、探究題目與動機

有一次在路上看到建築工人在搭建橋梁，我們十分那悶—為什麼使用幾隻支柱就可以撐起重物?故我們找尋橋梁的相關資料發現，許多橋樑的基礎結構上皆有參考達文西的橋樑結構，在1502年，達文西曾為伊斯坦堡的土木工程專案製作一張單一跨距達240英尺(約73公尺)的橋樑草圖。這座橋樑被稱為「金角灣橋」(Bridge on the Golden Horn)或「庫庫萊利橋」(Cucurullo Bridge)，這是達文西生前最大的土木工程專案之一。雖然此橋未能實際興建，但是其被認為是當時工程學和建築學的一個重要里程碑。

我們藉由草圖可看出達文西橋樑的大致基本架構，故我們選擇使用較方便取得的材料(壓舌板)來搭建橋樑，也就是本次實驗主題，達文西橋實驗。



圖一、達文西橋草圖
(圖片來源:每日頭條)

三、探究目的與假設

(一)利用壓舌板(多重簡支樑)完成達文西橋的結構，探討完成橋之後：

1. 接點長度相同，搭建的木條數量不同的木橋，其承載力是否有所不同
2. 橋身承受重力與結構層數及組數之間的關係

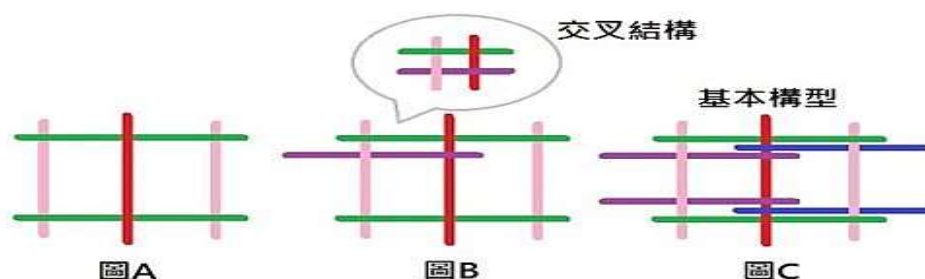
重點研究在改變厚度是否對於整體承重能力有一定的影響。

(二)預期成果:厚度越厚盛重能力則越好

四、探究方法與實驗步驟

【架設】

將壓舌板交叉擺放並搭建成型，並參考網路上搭橋示例(如下圖一)。



圖一、達文西橋基本架構 (圖片來源:@zfangの科學小玩意)

【測量】

(一)主要測量:

主要測量有以下三點，首先測量原橋高度(沒放法碼和板子的橋梁高度)，再測量將板子(10.83g)放上後高度，最後依序將砝碼放置橋上並觀測其下降量。

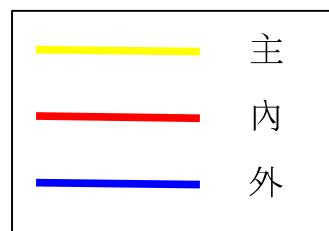
1. 沒放法碼和板子的橋梁高度
2. 只放板子的橋梁高度
3. 法碼放置後橋梁高度

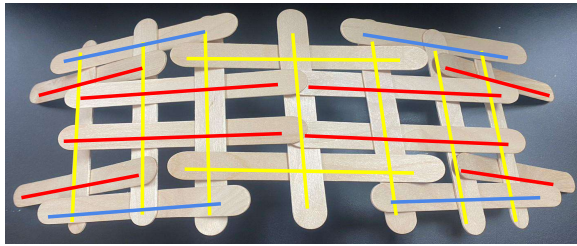
(二)實驗組數:

我們總共探討12組實驗，而高度皆固定於三層，以內外交錯方式排列，以下A-L為我們實驗搭建方式，而(圖二、圖三)為內內內、內內外排列示意圖作圖。

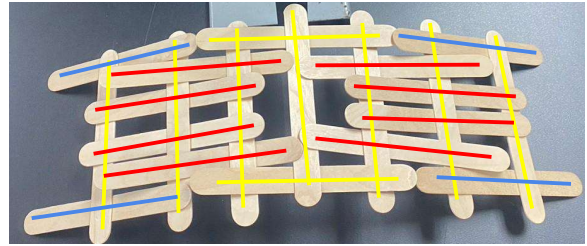
- | | | | |
|----|------|--------|----------------|
| A. | 高度三層 | 厚度1片 | 內(1)外(1)內(1)排列 |
| B. | 高度三層 | 厚度1片 | 內(1)內(1)外(1)排列 |
| C. | 高度三層 | 厚度1、2片 | 內(1)外(1)內(2)排列 |
| D. | 高度三層 | 厚度1、2片 | 內(1)內(1)外(2)排列 |
| E. | 高度三層 | 厚度1、2片 | 內(1)外(2)內(1)排列 |
| F. | 高度三層 | 厚度1、2片 | 內(1)內(2)外(1)排列 |
| G. | 高度三層 | 厚度1、2片 | 內(2)外(1)內(1)排列 |
| H. | 高度三層 | 厚度1、2片 | 內(2)內(1)外(1)排列 |
| I. | 高度三層 | 厚度1、2片 | 內(2)外(2)內(1)排列 |
| J. | 高度三層 | 厚度1、2片 | 內(2)內(2)外(1)排列 |
| K. | 高度三層 | 厚度1、2片 | 內(1)外(2)內(2)排列 |
| L. | 高度三層 | 厚度1、2片 | 內(1)內(2)外(2)排列 |

(下圖為二、三圖例)





圖二、內外內排列
(圖片來源:本組自行拍攝、繪製)



圖三、內內外排列
(圖片來源:本組自行拍攝、繪製)

(三)實驗裝置:



圖四、
左圖為本次實驗裝置，由紅色線圈起的正是本次實驗對象:達文西橋
(圖片來源:本組自行拍攝、繪製)

(四)測量結果:

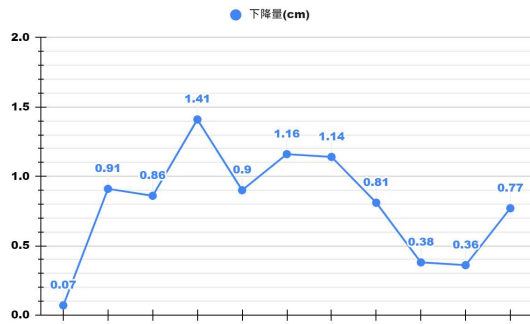
以下12張圖(表一)為下降量折線圖，由本組自行統整且藉由Google試算表繪製而成，使用圖表方式更能看出其下降程度趨勢，圖F因無法搭建起來故無資料。

軸標題:

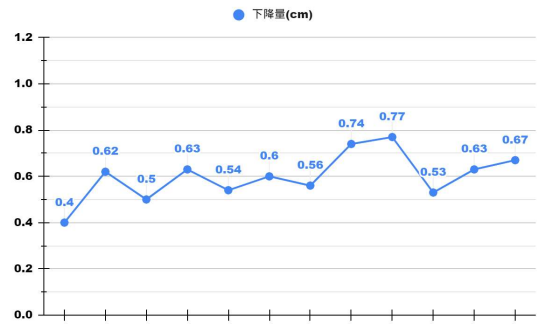
*縱軸:每增加50g砝碼下降量(cm)

*橫軸:每增加50g砝碼(個)

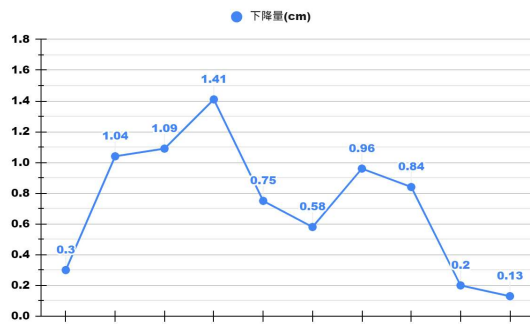
A. 高度三層 厚度1片
內(1)外(1)內(1)



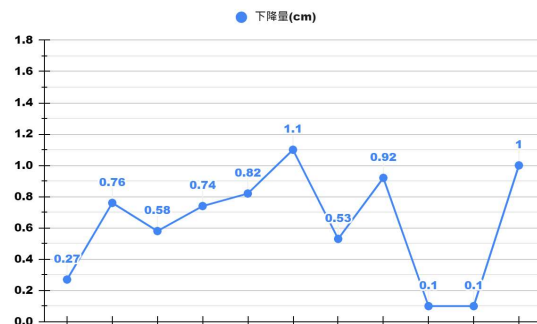
B. 高度三層 厚度1片
內(1)內(1)外(1)



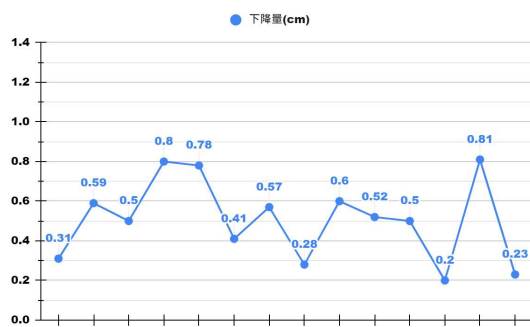
C. 高度三層 厚度1、2片
內(1)外(1)內(2)



D. 高度三層 厚度1、2片
內(1)內(1)外(2)



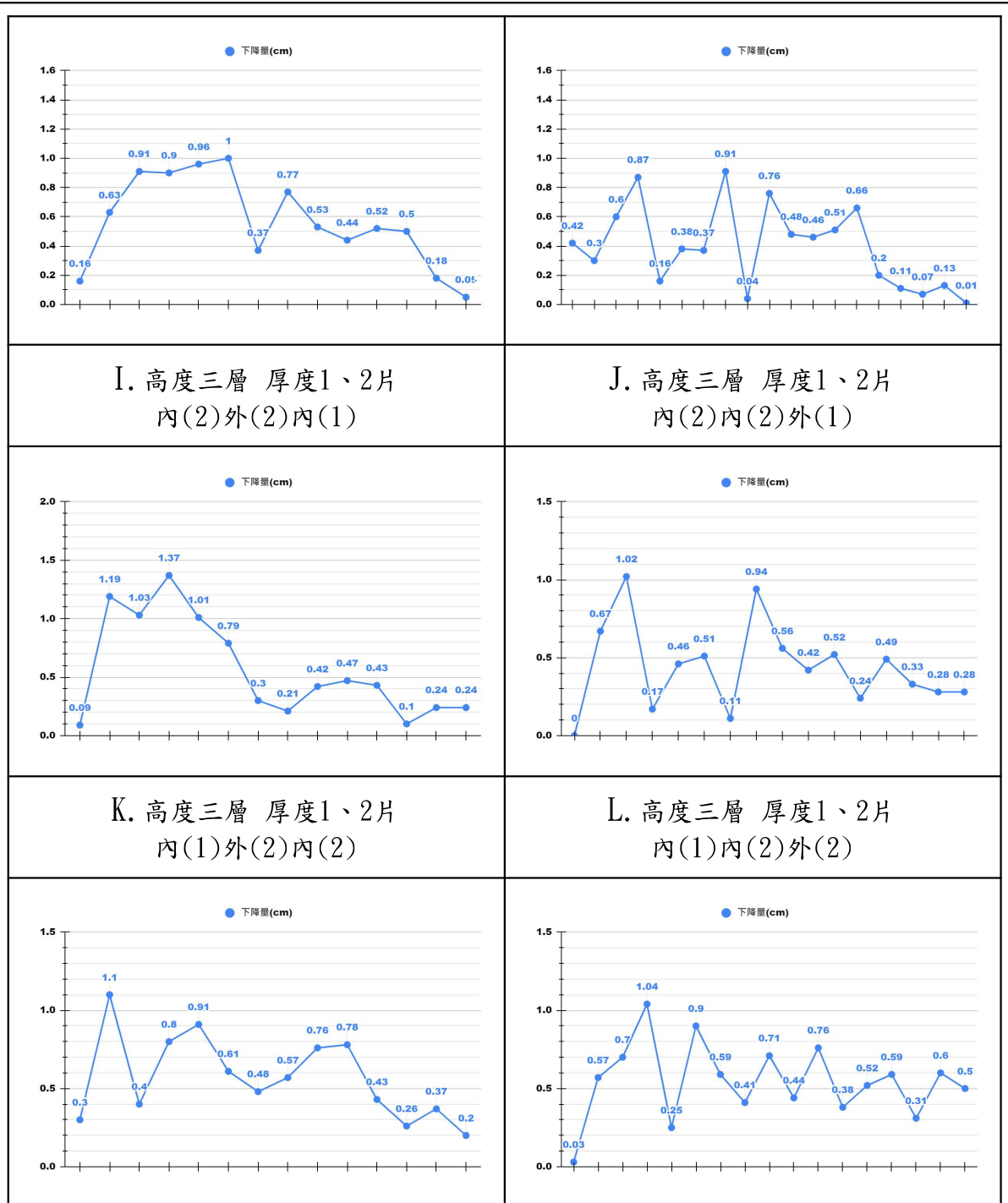
E. 高度三層 厚度1、2片
內(1)外(2)內(1)



無資料

G. 高度三層 厚度1、2片
內(2)外(1)內(1)

H. 高度三層 厚度1、2片
內(2)內(1)外(1)



表一、A~L下降量折線圖(表格來源:本組自行繪製)

【數據分析】

觀察(A/B)、(C/D)、(G/H)、(I/J)及(K/L)中，我們可以看到向內排列的承重能力皆比交錯排列的承重能力還要來的突出，且每次下降的高度也較交錯排列更平均。

結合上方圖二及圖三，我們推測其原因是因為在內內外排列(圖二)中，整個力能更平均的擴散，而在交錯排列(圖三)中，我們可以發現力主要分散在第一層，因此向內排列的承重能力才會比交錯排列來的突出。

觀察A、C、E、G、I、K中，我們可以發現折線圖前半段的下降高度皆比後半段來的多，而B、D、H、J、L則沒有此現象，本組推測其原因是因為內外內排列的達文西橋模型會因為少了第二層在裡面分攤力量，所以導致前半段的下降量會大於後半段，而我們也推測後半段主要是因為第一層在支撐，所以內外內排列才會和內外內排列相似。

五、結論與生活中的運用

(一)結論

1. 橋的支撐主要是因為中間脊柱平均分散整個系統的力，故當我們向內排列的承重能力比交錯排列更加的突出。

2. 橋體主要承擔力的部分為第一層和第二層，我們推測其原因是因為彈性越小，木板的承重能力越大，所以才會導致後半段的承重能力更好。

但是探究實驗也有其局限性，導致有些實驗條件無法完全模擬真實情況，造成偏差等，不過依照此實驗來看達文西橋仍有搭建成功的可能性。

(二)生活中的應用

達文西發明木橋，是為了解決當時建造大型拱橋所面臨的技術和物資限制的創新設計，目的在於提供一個更加實用、經濟和可行的橋樑建造方案。但是在目前並未有直接參考達文西橋結構的實例，因為達文西的設計是沒有被興建的。

不過，在亞洲仍有一些橋樑結構採用了類似達文西所提出的拱形結構設計，但這些橋樑都是在現代工程技術和設計原理的基礎上所發展出來的，不是直接參考達文西的橋樑結構設計。

舉例來說，中國的玉帶橋就是一座採用了拱形結構的橋樑，其建造時間是清朝乾隆年間，遠晚於達文西的時代。此外，近代的一些橋樑如台灣的新高架橋、隧道橋等，也都採用了拱形結構，而這些橋樑也都是在現代工程技術和設計原理的基礎上建造的，而非直接參考達文西的橋樑結構。

參考資料

@zfangの科學小玩意

<https://n.sfs.tw/content/index/11546>

大紀元-5分鐘完工！不用釘子「徒手造橋」結構超穩

<https://www.epochtimes.com/b5/18/8/28/n10672354.htm>

阿波羅新聞 達文西500年前設計的橋首獲驗證：當時最長跨度

<https://tw.aboluowang.com/2019/1025/1360379.html>

每日頭條 達文西手稿公開，500年前，這位來自芬奇鎮的小伙子都做了些啥？

<https://kknews.cc/culture/ok2mkmp.html>

科學月刊 懸吊拱橋的結構與破壞緣由

<https://www.scimonth.com.tw/archives/2194>

當代中國 盤點中國最美古橋

<https://www.ourchinastory.com/zh/1314>