

紙橋的極限

爲了了解紙張所能承受的重量，以及用不同的結構會有什麼不同的效果，經由和同學討論，透過相同的材料，做出不同的紙橋，並透過 **facebook** 在網路上討論出在不同的承受重量下，不同的紙橋有何不同的承受力和延展性。結果

壹、研究動機：

在一次網頁瀏覽時，偶然發現國外一個有趣的比賽，就是撲克牌承重比賽。利用標準紙質的材料(撲克牌)及限定黏合材料，並規範成品的大小範圍後進行比賽。結果大家用了各種不同的組合方法來比賽，小小的撲克牌可承受比它還重百倍重量的書呢。我們不禁聯想到，我們走過各式各樣不同的橋，有吊橋、鐵橋及斜張橋等，有的材質不同，有的形狀不同，而通常也會在橋頭標註承載重量幾公噸。這些不同的橋到底有什麼功用，那一種橋比較能承重，那種橋比較堅固，我們要去試著研究探討。

貳、研究目的：

爲了了解紙張在不同結構的承重程度，我們分爲 3 組，用相同的材料----四開圖畫紙，先參考網站上的資料，將紙張用不同的方式裁切並重新組合，以測試等量等材質材料在不同的結構中，所能承受的重量以及延展性的差異。

參、研究設備及器材：

每組限制使用材料如下：

- 一、4 開紙張 40 張
- 二、膠水一瓶
- 三、小刀

肆、研究過程或方法：

一、分 3 組進行，分別使用相同的材料和器具來進行比賽。

二、訂定比賽的規則：

(一)只能用紙來做爲橋的材料。

(二)唯一能改變的是重新組合的方式。

(三)共同討論比賽的標準及承受重量的測試方式，討論內容：

- 1.以逐漸增加重量爲原則，並由數位相機紀錄下來，這樣較能評估在何種情況下，開始出現不同的情況。
- 2.在 **facebook** 上成立社群，在 **facebook** 上討論過程並動手組合紙橋。



- 3.在製作的過程中，學員經由查網路的結果，認為可以增加一些結構性的因素來增加承受重量，例如在橋的兩端增加一些支柱及加強塗料的方式。
- 4.如果增加一些結構性的因素，會使得研究的過程中增加變因，而使得原來只是組合方式這個唯一的變因變得討論困難。
- 5.在經過討論後，三組同意以增加相同的結構---橋柱，以不黏貼於桌面上的方式但支撐本身的重量為主。
- 6.三組分別以不同的方式重新組合：
 - (1)第一組：以紙張重覆堆疊用膠水加以黏貼，一層一層加以堆疊上去，共貼了 30 張，其他的材料為橋柱的結構。
 - (2)第二組：將的紙以剪刀裁切為 50 釐米的細條，並以垂直的方式加以編織而成為一個平面，再一層一層以膠水黏貼上去，剩餘的紙張再製作成橋的支柱，支柱只為加強結構之用，不做承受力之主要架構。
 - (3)第三組：將紙捲成長條狀，再加以編織組合。

7.在比較三種橋的強度方面，一種為支撐橋的強度，一種為橋的延展度。我們討論之後，預測橋可能產生的一種情況為立即斷裂，一種為橋並沒有斷裂，但卻往下一直下垂。在這種情況下，斷裂所呈現的情況較為明顯判斷。為此，我們認為當延展至一定的長度時，即可視為危橋但仍可繼續紀錄至無法承受重量為止。

8.在堅固性與延展性的測試結果如下：

(1) 堅固性：

將三座紙橋同時架於兩張間隔 45 公分的桌面，然後以秤各量 0.5 公斤、1 公斤、1.5……公斤依序加入重量，一直至三座紙橋無力承擔為止，分別紀錄下重量。

(2) 延展性：

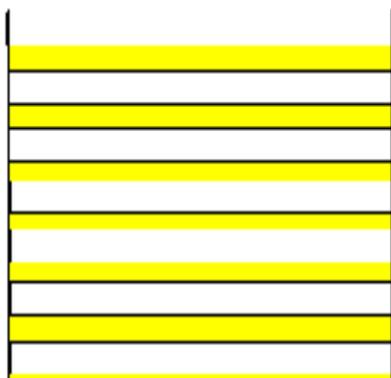
測出三座橋的平均厚度為 4 公分，以危橋標準將延展性設為 6 公分，若三座橋在同樣的重量測試下，在未超過 6 公分前斷裂，即判為堅固性不足。若未斷裂，則繼續紀錄至橋斷裂為止。

9.在堅固性與延展性的考驗中，延展性為較主要考量。因為立即的斷裂在實際的橋面上有立即的危險，若延展性大於堅固性則視同將危險延後。而若是堅固性與延展性均佳者即為最好的紙橋，若能承受較大重量且能具有延展性，一方面具有強大的結構力，一方面能將橋面延伸，即是具有較好的設計。

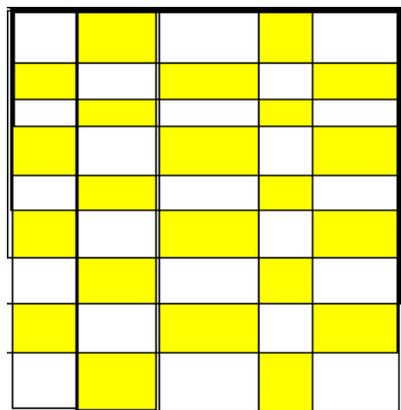
伍、研究結果：

在我們的討論過程中，發展出三種不同的橋樑的結構，我們將其稱為堆疊式、交錯式及瑛式，分別說明如下：

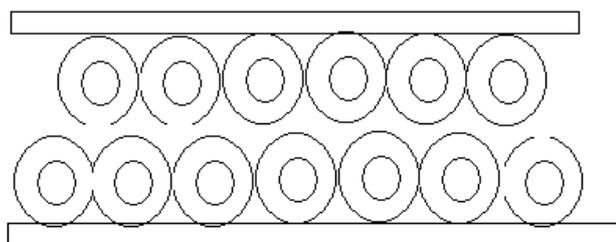
(一)堆疊式：將圖畫紙由上而下以垂直的方式黏貼，其中紙張與紙張之間沒有空隙，將所有的紙張都以上下黏貼來加以強化



(二) 交錯式：將紙張裁成數張的長條，然後以交錯的方式加以編織成一個平面再將數個平面黏貼在一起。



(三) 茨式：將紙張以圓形捲起，再以交錯的方式排列，上下再舖上紙張，再一層一層黏貼起來，以求得較堅固的力量

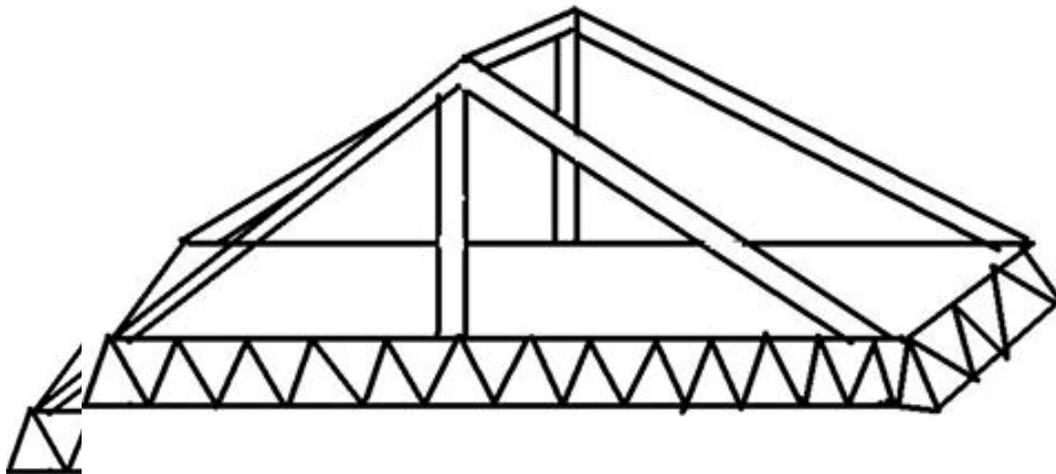




陸、討論：

在實驗的過程中，最讓我們感到爭論不休的，是堅固比較重要或是韌性比較重要。就如同鐵橋和吊橋那一種比較好，鐵橋似乎比較堅固，吊橋似乎比較堅韌。可是鐵橋似乎比較容易斷裂，吊橋似乎可載重較多，可是不夠堅固。可是另一方面，如果吊橋會延展到一定的程度，就算沒有斷掉，對橋面上的人而言，跟斷掉沒有差別，只是增加心理上的壓力程度。因此，在比賽橋的堅固和韌性而言，兩種同樣重要，要以堅固為主，在討論過之後，以 6 公分為界，紀錄下未超過 6 公分時的最大重量，標示名稱為危橋，就長度而言，三座橋的長度均以圖畫紙的長度為主，不再以紙張與紙張黏貼，一方面保持橋的完整性，一方面避免因為黏貼所產生損害紙橋堅固性的情況發生，在三座的結構如下：

最主要以橋面為主，旁邊以支架形成結構



第一組堆疊式



第二組交錯式



第三組嵌式



在測量方面：

重量方面

1 為了測試重量，以 500 克法碼為單位，逐次加上 500 克，在後期時，以書本為主，但仍以 50 公克及 1 公斤為重量標準，不足的重量以法碼增加，經測試後逐步增加重量(重量為公克，為了紀錄方便，以 0.5 公斤為記)



在長度方面，以橋面至地面長為最大長度裁出長紙條，並逐步畫記紀錄下每次減少的長度

(單位為釐米，為方便記錄，紀錄時以公分為單位)



三、在紀錄中以及停止紀錄時，以整座橋塌陷時停止紀錄



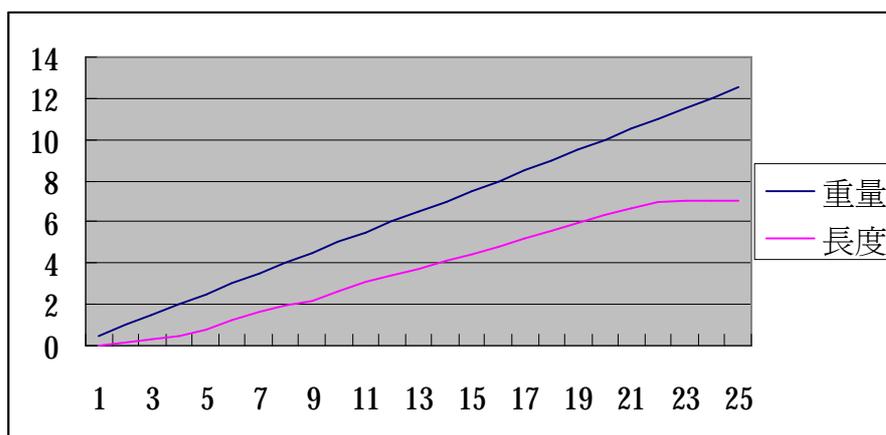
柒、結論：

當三座紙橋完成後，測試紙橋的承重及延展性記錄如下：

表一：堆疊式(重量單位：公斤，長度單位：公分)

(紅色標記為危橋程度，橘色為最大重量及長度)

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
重量	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
長度	0	0.2	0.3	1	0.8	1	1.65	1.95	2.2	3	3.1	3	3.75	4.1	4.43	4.83
次數	17	18	19	20	21	22	23	24	25	17	18	19	20	21	22	23
重量	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5
長度	5.18	5.58	5.93	6.33	6.64	6.94	7.04	7.04	7.04	5.18	5.58	5.93	6.33	6.64	6.94	7.04
次數	23	24														
重量	12	12.5														
長度	7.04	7.04														



承受 12 公斤時



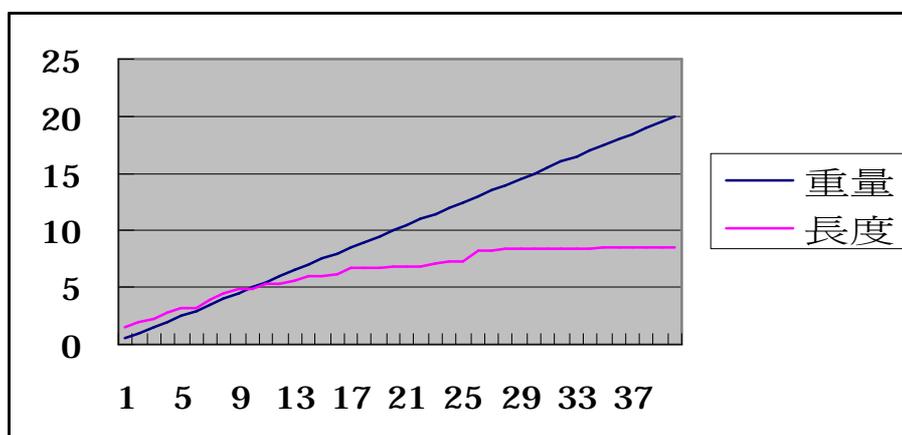
停止紀錄時



表二：交錯式(重量單位：公斤，長度單位：公分)

(紅色標記為危橋程度，橘色為最大重量及長度)

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
重量	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
長度	1.6	2	2.3	2.8	3.2	3	3.9	4.5	4.9	5	5.3	5	5.6	6	6	6.1
次數	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
重量	8.5	9	9.5	10	11	11	11.5	12	13	13	14	14	14.5	15	15.5	16
長度	6.7	6.7	6.7	6.8	6.8	7	7.1	7.2	7.3	8	8.3	8	8.4	8.4	8.43	8.43
次數	33	34	35	36	37	38	39	40								
重量	17	17	18	18	19	19	19.5	20								
長度	8.4	8.4	8.5	8.51	8.5	8.52	8.53	8.53								



承受 20 公斤時



停止紀錄時

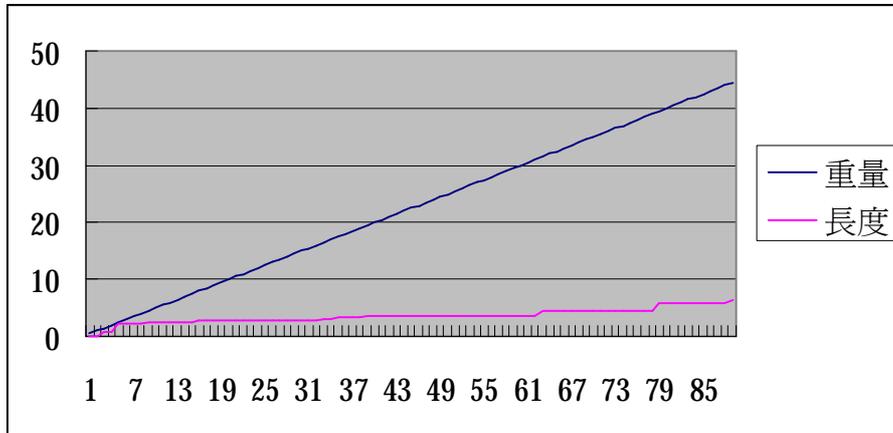


表三：嵌式

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
重量	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
長度	0	0	0.8	0.8	2.1	2.1	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.7
次數	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
重量	8.5	9	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16
長度	2.8	2.83	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84	2.85	2.85	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
次數	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
重量	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20	20.5	21	21.5	22	22.5	23	23.5	24
長度	3.1	3.1	3.3	3.4	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
次數	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
重量	24.5	25	25.5	26	26.5	27	27.5	28	28.5	29	29.5	30	30.5	31	31.5	32
長度	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	4.6	4.6
次數	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
重量	32.5	33	33.5	34	34.5	35	35.5	36	36.5	37	37.5	38	38.5	39	39.5	40
長度	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	5.8	5.8
次數	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
重量	40.5	41	41.5	42	42.5	43	43.5	44	44.5							
長度	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	6.4							

承受 44.5 公斤時	停止紀錄時
	

表三的圖表

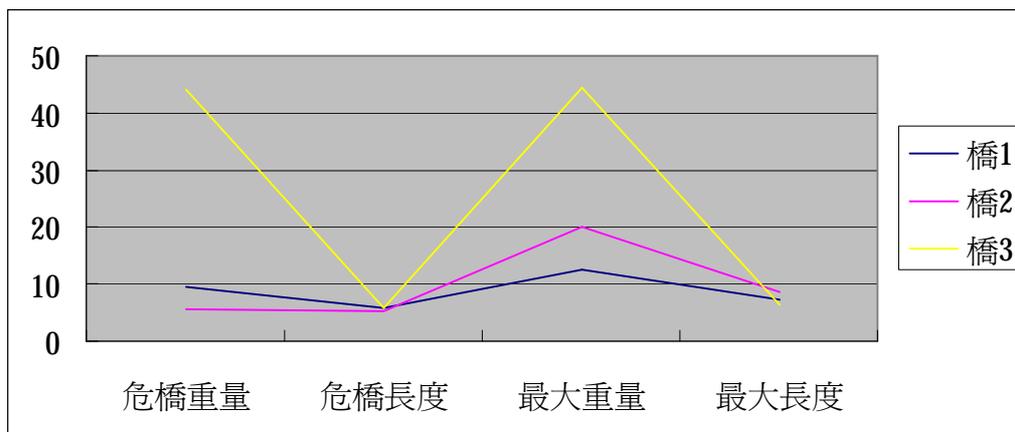


橋 1、橋 2、橋 3 的比較



由上而下，分別為橋 1、橋 2 及橋 3 橋 1 的次數最少，長度也最短
橋 2 的次數較橋 1 多，但長度最長
橋 3 的次數最多，次數密度較大

在下列紀錄表中，紀錄了危橋程度及最大承受重量及最大承受長度：



從記錄表中，我們可以發現：

- 一、堆疊式紙橋不管是堅固性或延展性中，都有一定的優點，但相同的材料經過重新組合後，呈現了不同的延展性和承受力。
- 二、交錯式紙橋出現了較好的延伸性，但延伸的長度過了我們視為危橋的程度，但仍然有很好的承受重量的能力，有最大的延展性。
- 三、嵌式紙橋的延展性為三者之中最低，但卻有最大的載重力。

由此可見，同樣的材質，在經過裁切、黏貼後，以不同的形態組合，將可大幅提升物體的載重力和延展性。因此，在不同的地區，有些是鐵橋，有些是吊橋，有些是拱橋，都是為了適應當地不同的環境及要求。而且不同的地方有不同的產物，有些地方產竹子，就以竹子形成吊橋，而不同的地方也有不同的載重量需求，有些較大的城市，可能就需要較大的載重量；有些較小的部落或村子，考量路面的大小及使用需求，就以成本較低的吊橋或繩橋為主。而在水流較為湍急，侵蝕性較強的地區，就必須有較為堅固的設計，以確保橋不會被沖毀。在這次的實驗中，我們充分的比較了不同橋的設計風格與材質，下次如果再有機會的話，希望能比較不同材質在水中的實驗結果。

捌、參考資料及其他

1 撲克牌承重

http://zhidao.baidu.com/question/194224843.html?qbl=relate_question_3

2 橋的結構

<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E6%A9%8B>

3 力與美的建構——結構造型 黃河 中國建築工業出版社

4 世界建築紀行 A Tour of World Architecture 作者：金錫澈

原文作者：Kim Seok Cheol 譯者：陳寧寧、陳慶德出版社：聯經出版公司

5 好想看世界的橋 菲勒蒙·史塔奇/著，蓋爾·拉契/繪 譯者：郭郁君 出版社：和融出版社