

第五屆原住民華碩科教獎

研究成果報告

團隊編號：2013011

主辦單位：華碩文教基金會

國立清華大學

行政院原住民族委員會

原住民族電視台

第五屆原住民華碩科教獎 研究成果報告

搭起永恆的橋—Hong Nu Ru Ma



編號：yabit 2013011

團隊名稱：北得拉曼

成員：田紹軍、張紹仁、林聖群

指導老師：葉錦泉長老、李函潔、施佩岑

摘 要

在泰雅傳說故事—彩虹橋及部落裡要興建一座竹橋，讓我們開始對「竹橋」產生興趣與發想，此次研究報告「搭起永恆的橋—Hong Nu Ru Ma」中，展現我們對竹橋文化的智慧傳承，透過與部落長老一起在自然環境中搭橋，學習搭橋的技巧、團隊合作，更重要的是學習到祖先對自然環境的永續經營概念。

除竹橋實作的經驗傳承外，我們進一步，利用科學實驗來探討竹子的承載程度。在科學實驗中，我們發現竹子各支的承載程度，符合物理的虎克定律($F=kx$)，但當多支竹子排列時，僅能得到載重量(F)與下沉量(x)成正比，在彈性係數(k)上，與彈簧並聯時，彈性係數相加的情形不同，我們試圖找出可能的原因進行討論。

目錄

壹、研究動機

貳、研究目的

參、研究方法

肆、研究過程

訪問部落耆老.....	2
模型橋實作與實驗.....	4
真竹橋實作	9

伍、研究結果與討論

模型橋研究結果.....	14
模型橋研究討論.....	20

陸、結論

傳統部落的竹橋文化與科學連結.....	22
研究價值與部落智慧傳承	22
未來展望	22

柒、參考資料.....	23
-------------	----

捌、精彩歷程照片.....	23
---------------	----

壹、研究動機

在「賽德克·巴萊」這部電影的下集〈彩虹橋〉中，莫那·魯道帶著賽德克族人抵抗日軍，在族人從容犧牲後，越過彩虹橋回歸祖靈的畫面，讓我們想起泰雅族的故事：每一位泰雅族人死後的靈魂，都會通過往靈界的彩虹橋(hongu utux)，接受耿卜大(gun·buta)的審判，只有勇敢、正直而且遵守嘎嘎(gaga)的人，可以在祖靈的歡迎下順利走過去。

回想起彩虹橋(hongu utux)的傳說故事，我們開始想去探討「橋」的部分。生活中，「橋」擁有不一樣的面貌，有的橋是拱型、有些是斜型，回歸到我們的泰雅祖先，在自然環境中，運用智慧搭起竹橋，讓我們興起學習搭橋的傳統技術的念頭，希望可以在這些實作的經驗中，讓搭橋的智慧保留、傳承。又過去與長輩的互動中，爺爺(yutas)曾經告訴我們因桂竹的韌性很好，所以搭橋會選擇桂竹來作為材料，我們希望透過桂竹的小枝節做成模型，學習搭橋需要用到的技巧，並利用竹子橋面，實驗桂竹的承載力是否會「一加一大於二」。

貳、研究目的

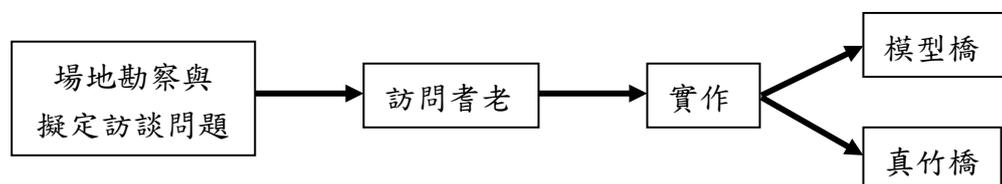
- 一、傳統搭橋的環境勘查與選擇。
- 二、傳統搭橋的基座、橋面材料如何選用。
- 三、傳統搭橋的基座、橋面如何固定，使竹橋堅固。
- 四、比較不同桂竹支數作為橋面的承載力。

參、研究方法

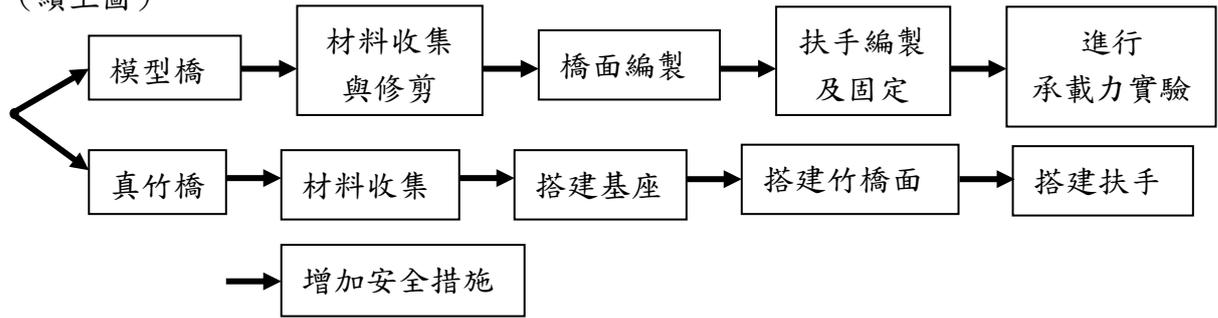
本研究採用訪談法與實作的方式進行。首先，透過訪問我們部落的耆老—葉長老，先了解搭橋要選擇的地方、搭橋需要使用的材料、對材料的認識；實作部分共分為兩部分：第一，利用竹子的枝節，做成小型的竹橋（以模型橋代稱）；第二，實際在河川上搭竹橋（以真竹橋代稱）。模型橋的製作，除使用於實驗外，也可練習將運用於搭橋的使用技巧，以讓真竹橋的搭建更為順利。真竹橋的成品，將完整保留於當地，幫助提升部落觀光發展。

肆、研究過程

本研究之研究過程流程如下圖，於訪談耆老的部分結束後，實作方面分支為模型橋、真竹橋，兩流程同時進行。



(續上圖)



一、訪問部落耆老

本研究訪問的對象為我們很熟悉的葉長老，長老除了接受訪問外，也把模型橋、真竹橋的搭建技術教給我們，長老告訴我們，現在還會在自然環境中搭建竹橋，已不多見，希望可以藉由這個經驗，把泰雅族人的智慧教給我們，未來我們也要繼續傳承下去。然而，竹橋的搭建不僅是族人智慧的展現，更是過去族人與大自然互動、對環境永續經營的方式。我們根據需要用到的材料及搭橋地點的選擇，擬定了一些問題來訪問長老。

(一) 選用什麼竹子來搭橋？為什麼？

我們的部落裡有許多竹子，長老告訴我們這些竹子多為桂竹與麻竹，在搭橋地方就可以看到這兩種竹子。麻竹較桂竹粗，但不耐用，所以選擇以桂竹來搭橋。以桂竹來說，纖維排列緊密，使用年限也比麻竹長（兩者約 2:3）。桂竹可分為一到三年生、四到六年生、七到九年生，從外觀來看一到三年生較為青色，竹節略微粉色，四到六年生的竹子，竹節為紅色。

另外，一到三年生的竹子，含水量高，容易發霉，四到六年生的竹子含水量較低些，適合用來搭橋。長老還告訴我們，最適合砍桂竹的季節是秋天，因為竹子內的水分比其他季節少，更不容易發霉。我們搭橋的季節正好是秋天，是最適合砍竹的時間點。

(二) 什麼地點適合搭建竹橋？為什麼？

在我們搭橋的地方正好為一個斜坡，但我們覺得選擇這個地點是不是因為「斜坡」是適合搭橋的地方。長老告訴我們，一般而言，橋會選擇建在一條河的最窄處，若是搭在下游，由於河面較寬，寬度大於一支竹子的長度，搭建上會有一定的困難度。我們搭橋的地方恰好為一個山溝，兩側高低相等，且距離不寬，足夠一支竹子長度擺放，所以挑選這個地方。長老實際將一支竹子，放置上去，果真長度剛剛好，我們進一步用魯班尺來量測，為 950 公分。

在訪談的過程中，我們想起這個地方，曾有一座竹橋，幾年前颱風來襲，大雨把竹橋沖走了。長老告訴我們，這是另一個選擇這個地

方的原因，因曾經有竹橋，所以走往甕碧潭的方向，小山路已經過整理，而在這條小山路上，可以看到許多竹子，大約在四五月時，會冒出桂竹筍，若遊客來這裡遊玩，將會帶給遊客不一樣的體驗。

(三) 桂竹的承載力好嗎？如果很多人站在上面，竹橋會不會斷掉？

長老說，因桂竹纖維緊密，常常被拿來當作建材，我們的竹橋要纖維密又要承載力夠強，選用桂竹最適合不過。長老分享以前站在竹子上玩的經驗，當時想要測試看看竹子的韌性有多強，邀好幾位朋友（約六位）一起站在上面，結果竹子竟然沒有斷掉，僅僅一支竹子就可以承受這麼大的力，而我們的竹橋，用了十幾根竹子，可以承受的力量會更大。竹子還有一個有趣的地方，它的承載力並不是一支竹子的承載力加上另一支竹子的，而是會有一加一大於二的效果。這個說法，讓我們對竹子的承載力產生興趣，想要透過科學的實驗，證明確實會有一加一大於二的結果。

二、模型橋實作與實驗

模型橋的部分是先透過實作，學習到如何把每一支竹子都固定好的技巧，使真竹橋的搭建可以更順利，再將模型橋進行承載力的實驗。

(一) 模型橋實作

製作模型橋步驟	
步驟一：整理竹子 從部落裡找到一些桂竹，取下枝節，作為模型橋的材料。將枝節的樹葉拔除，並用美工刀修整竹節，再將每一支竹子，依相同長度裁剪。裁剪後，須將竹子以火烤，使其易於彎曲，再將竹子拉直。基座部分，由長老幫我們用一些木板，做成山溝的樣子。	
	
長老幫我們裁鋸木板，作為模型橋的基座	收集到的竹子，須去掉樹葉與小枝節並修剪
	
將處理好的竹子，裁剪成需要長度	處理完成

步驟二：編織竹橋面

要把數支竹子按一粗一細排列整齊，並用橫木與棉線將他們固定為一個橋面，一個橋面共有五支橫木來固定。長老告訴我們綁棉線時，每一支竹子以十字交叉法來綁最為穩固，不易脫落。



長老教我們綁竹橋



橋面完成

步驟三：拱型結構

將竹子先固定於兩端，利用棉線將中間重點部分綁起來，作為橋的拱型結構，再以細繩連結拱型結構與橋面。



以棉線固定竹子的拱型結構



模型橋完成

(二) 承載力實驗

承載力的實驗主要是想了解每支竹子的承載程度，訪問長老時，長老告訴我們竹子的韌性很強，具有加乘的效果。當橋面上的重量越重，橋的下沉量就越大，與學校的自然與生活科技課所學習的彈簧有些類似，所以想透過實驗竹子下沉量與載重的關係，來看看是否也能以虎克定律來解釋竹子的承載程度。為了避免竹子本身的特性影響實驗結果，我們事先挑選粗細相近的竹子($0.23 \text{ mm} \leq \text{竹子直徑} \leq 0.54 \text{ mm}$)，並裁剪至一樣的長度(51 公分)來作實驗。

實際量測的竹子粗細如下：

編號	粗(mm)	細(mm)
21	0.42	0.24
22	0.54	0.28

23	0.50	0.30
24	0.43	0.28
25	0.44	0.29
26	0.50	0.27
27	0.47	0.26
28	0.50	0.31
29	0.41	0.24
30	0.47	0.23

(1) 使用設備與器材



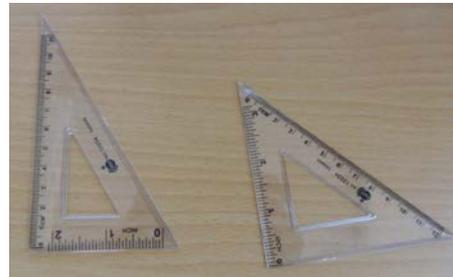
5800c.c. 水瓶 一個



秤子一個



100c.c. 養樂多瓶



量角器：
45-45 度、30-60 度



磚塊兩個



竹子數支

(2) 實驗設計

虎克定律是指：「在彈性限度內，物體受力與伸長量的關係。」老師說，竹子的中間可能也有彈簧的特性，在一定的載重範圍內，受力與伸長量可能有一定的關係，因此我們在竹子的中心點掛上寶特瓶並加水，每次的加水量，代表向下的外力大小，即竹子的載重。

當外力作用時，竹子會向下沉，我們利用方格紙記錄下沉的量（公厘）。當加入不同水量，等竹子達到靜力平衡後，利用三角尺的直角，一邊輕靠竹子，另一邊會與方格紙貼合，用筆畫下平衡後的位置。

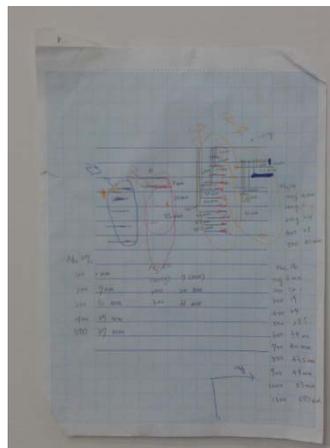
另外，長老說，竹子很不一樣，團結力量大，當多支竹子粗細併排在一起的時候，橋會變得更堅固且載重量會大大增加，所以我們分別用兩、三支竹子粗細併排做橋面來做實驗，藉以了解不同竹子支數的「下沉量」與「載重量」的關係，並且找出橋面的最大負載量來證實部落長老分享的智慧。

(3) 實驗流程

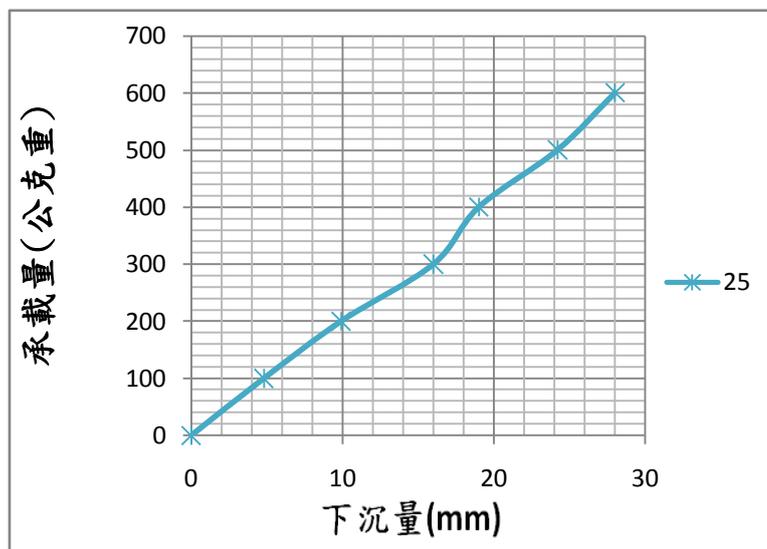
承載實驗步驟	
步驟一：實驗環境架設	
磚塊置桌面兩端，為記錄橋面下沉量與載重的關係，我們使用巧拼、尺與方格紙作記錄，實驗環境如下圖。	
	側視圖 
步驟二：利用保特瓶裝水作載重	
將竹子放置於磚塊上，並將保特瓶掛於中心位置，測量橋面下沉量。將水加入大保特瓶中，測量橋面下沉總量。加入 100 gw、200gw、300 gw、400 gw、500 gw，一次增加 100gw 的水(一個養樂多瓶)，量測不同載重時的橋面下沉量。	
最大承載量量測：我們持續依次加水，直到橋面垮掉，記下當時的承載量就是竹子的最大承載量。	



步驟三：將實驗數據記錄在圖表中



步驟四：整理量測結果，並請老師幫忙做 excel 圖



三、真竹橋實作

實際搭橋前，需要先場地勘查，了解要搭橋的地點，我們在部落裡找到三個可能搭橋的地點，並進一步訪問長老，是否適合為搭橋地點。三個可能搭橋地點如下：

地點	當地照片
<p>地點 A：</p> <p>這個地方河床比較淺，從入口看起來地勢平穩。</p>	
<p>地點 B：</p> <p>這個地方的地勢平穩，且一直有溪水流到下面，形成一個小池塘。</p>	
<p>地點 C：</p> <p>這個地方以前曾經搭有竹橋，但幾年前，因颱風來襲，竹橋已經毀損，從照片上，可以看到河床有許多大石頭，溪水雖然不多，但下游有一個觀光景點—甕碧潭。竹橋不見後，遊客漸少，該景點也荒廢了。</p>	

最後決定在地點 C 搭建這次的竹橋，長老提到這個地方，雖然看起來河床的大石頭多，但溪谷兩側高度一致，附近的竹子與樹木也多，取材方便，如果在這裡搭橋，可以提高遊客願意到下面甕碧潭遊玩的機會。



預定搭橋周圍情形



河床兩側的高度一致

選定搭橋地點後，接下來要把入口整理，並到附近收集搭橋材料，搭建基座、搭建竹橋的橋面、搭建扶手，最後增加竹橋的安全措施，實際過程情形如下：

搭橋步驟	
<p>步驟一：入口整地</p> <p>竹橋入口處，尚未整理前，樹枝、雜草叢生，不好走，所以需要把樹枝修剪、拔除雜草，地面需要把石頭移走，並用一些土，將地面鋪平。</p>	
 <p>整地前的入口</p>	 <p>進行入口處整理</p>
 <p>整地後的入口</p>	

步驟二：材料收集

竹橋的基座需要使用木頭，竹橋面需要使用竹子，所以長老們在搭橋點附近找適合使用的木頭與竹子並鋸下來，我們負責將這些木頭與竹子搬運到預定搭竹橋的地方。木頭的長度依照搭建所需修改，每支使用的竹子長度經過量測為 950 公分左右。



到附近搬竹子到搭橋處



搬需要用到的木頭

步驟三：搭建基座

在自然環境中搭橋，基座是橋結構中相當重要的部分之一，我們將取得的木頭，利用石頭與石頭間縫，固定木頭，並用鐵釘、鐵絲在兩木頭交接處進行固定。長老說傳統的竹橋，是用「藤」來綁，現在有鐵釘、鐵絲，除了更方便外，也可以增加竹橋的使用年限。我們的竹橋完成後，提供給遊客行走，為求堅固及使用年限增長，所以使用鐵釘與鐵絲。

基座的搭建分為兩個階段，第一階段：從無基座到兩側搭起基座的雛形。第二階段：利用 45 度的斜木，增加基座的穩固。在橋面的上下，一端以大石頭撐住，另端綁在原基座上，兩側的基座各有四支斜木支撐。



開始搭基座



兩側基座完成



利用 45 度的斜木，增強整個基座的穩固度

步驟四：搭建橋面

長老說竹子搭成的橋面，有一個小技巧，以橋面來說，如果粗的在一側、細的在另一側，將會讓較細的那一側，更脆弱且容易斷掉，所以利用一粗一細的排列方式，可以平均整個橋面的粗細，增加整體的穩固。排好竹子後，再用橫木綁，除了可以讓橋面更為平整，另一功能是一支竹子受的力，可平均分散到其他支竹子。



將竹子一粗一細排列作為竹橋面



用橫木來固定橋面



利用黑線，固定每支橫木

步驟五：搭建拱型結構

長老告訴我們，這次搭建的扶手，不僅只是簡單的扶手而已，還將會具備分散橋面承受的力，原預計在竹橋的下方，做一個拱型結構來協助支撐橋面所受的力，由於環境限制，橋面下難做出拱型結構。於是，將拱型結構作為扶手，再用繩子綁起來，有助於結構的作用。



搭建前，先把竹子綁在一端



扶手完成，左右各使用四支竹子

步驟六：增加安全措施

扶手完成後，聖群爺爺(這次和我們一起搭橋的另外一位部落長老)發現扶手和橋面的距離頗大，若再加上一支竹子於兩者間，比較安全，小朋友走也安全，因此我們決定左右各增加一支竹子，來做安全措施。



尚未增加安全措施



在扶手與橋面間加上竹子

伍、研究結果與討論

在研究結果中，我們主要呈現承載力實驗的結果，利用科學實驗來應證長老告訴我們的智慧。

一、模型橋研究結果

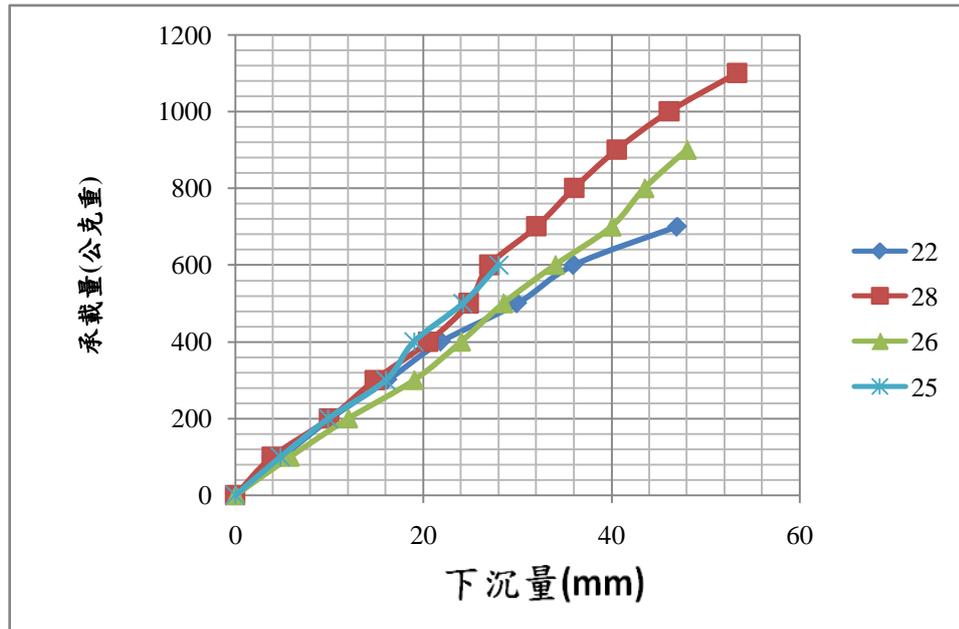
為了解竹子載重是否有類似彈簧的特性，我們進行竹子的四個承載實驗，實驗一：一支竹子做橋面的承載量與下沉量關係；實驗二：兩支竹子做橋面的承載量與下沉量關係；實驗三：三支竹子做橋面的承載量與下沉量關係；實驗四：最大承載量的量測。

(一)實驗一：一支竹子做橋面的負載量與下沉量的關係

我們選取九支竹子(編號 21-22、24-30)做橋面，竹子長度為 51 cm，竹子粗細 ($0.23\text{ mm} \leq \text{竹子直徑} \leq 0.54\text{ mm}$)，利用保特瓶裝水，觀察承載量與下沉量的關係。

		承載量(公克重)					
	竹子編號	0	100	200	300	400	500
下沉量 (公厘)	21	0	5.2	15.0	25.1	35.1	48.2
	22	0	5.0	10.1	16.2	21.9	30.0
	24	0	4.7	11.0	18.3	22.9	41.0
	25	0	4.8	9.9	16.0	19.0	24.2
	26	0	5.8	12.0	19.0	24.0	28.5
	27	0	2.0	7.0	16.0	27.0	37.0
	28	0	3.9	10.0	14.8	20.5	24.8
	29	0	5.6	11.0	21.2	35.8	42.5
	30	0	5.5	19.0	31.0	--	--

從實驗結果我們發現，當竹子承載量增加時，橋面下沉量增加。而編號 22 竹子在超過 600 公克重負載後的傾斜程度改變。當承載量小於 600 公克重時，承載量和下沉量成正比，即符合物理中的虎克定律($F=kx$)。進一步利用 excel 作圖(如下圖)，找出實驗數據的傾斜程度，即為彈性係數 k 值。我們可以得到每支竹子的彈性係數(k)，如下表：



每支竹子的彈性係數(k)：

竹子編號	粗(mm)	細(mm)	k(gw/mm)
21	0.42	0.24	10.1
22	0.54	0.28	16.8
23	0.48	0.3	12.2
24	0.43	0.28	12.2
25	0.50	0.29	20.5
26	0.50	0.27	17.1
27	0.47	0.26	12.3
28	0.50	0.31	19.5
29	0.41	0.24	9.1
30	0.47	0.23	9.1

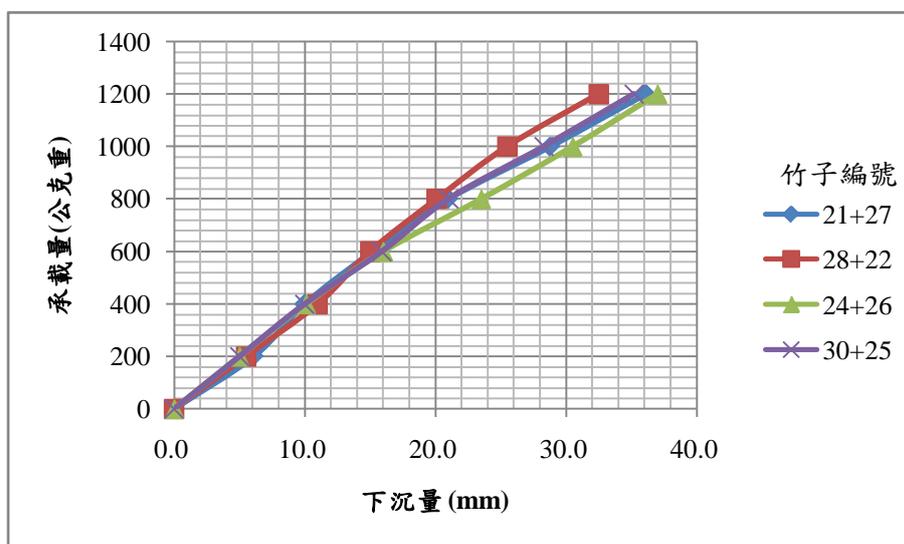
每一支竹子的彈性係數不同，我們觀察到：若竹子的細端直徑在 0.25 公厘以下時，彈性係數 k 值介於 9.1~10.1 之間；竹子的粗端直徑在 0.50 公厘以上時，彈性係數 k 值介於 16.8~20.55 之間。

(二) 實驗二：兩支竹子做橋面的承載量與下沉量的關係

我們隨機選取兩支的竹子，粗細交錯排列作橋面，實際量測兩支竹子做橋面的彈性係數大小。量測的結果如下：

承載量(公克重)		0	200	400	600	800	1000	1200
下沉量 (公厘)	組合一 (21+27)	0	6.1	10.0	15.2	21.0	28.8	36.1
	組合二 (22+28)	0	5.5	11.0	15.0	20.1	25.5	32.5
	組合三 (24+26)	0	5.0	10.1	16.0	23.5	30.5	37.0
	組合四 (25+30)	0	5.0	10.0	15.9	21.0	28.3	35.2

從實驗結果發現：當承載量小於 1200 公克重時，承載量和下沉量成正比，利用 excel 作圖(如下圖)，找出實驗數據的傾斜程度，即為彈性係數 k 值，得到的結果如下表：



兩支竹子的彈性係數($k_{\text{量測}}$):

竹子編號	$k_a + k_b^*$	$k_{\text{量測}}$
組合一(a=21,b=27)	22.4	33.6
組合二(a=22,b=28)	36.3	39.1
組合三(a=24,b=26)	29.3	31.2
組合四(a=25,b=30)	29.6	35.2

* 說明: k_a 、 k_b 為實驗一分別得到彈性係數結果。

(三)實驗三：三支竹子做橋面的負載量與下沉量的關係

隨機選取三支竹子做橋面，竹子粗細交錯並排，依次加入 200 公克重的水，實驗結果如下：

承載量(公克重)		0	100	300	500	700	900	1100	1300	1500	1700	1900	2100
下沉量 (mm)	組合一 (21+24+28)	0	3	8	13	18	21	25	30	34	38	42	47
	組合二 (25+27+30)	0	4	8	14	18	22	27	32.5	39.5	44.5	50.5	58.5
	組合三 (22+26+29)	0	5	10	15	20.6	24	30	36	40	45	52	61

從 0 至 1800 公克重的載重，橋面下沉量成正比，利用 excel 作圖找出實驗數據的傾斜程度，如下表：

竹子編號	$k_a + k_b + k_c^*$	$k_{\text{量測}}$
組合一 (a=21,b=24,c=28)	41.8	44.1
組合二 (a=25,b=27,c=30)	33.6	38.5
組合三 (a=22,b=26,c=29)	43.0	43.5

* 說明: k_a 、 k_b 、 k_c 為實驗一分別得到的彈性係數 k 值。

(四)實驗四：最大承載量的量測

最大承載量的量測方式：持續的增加承載量，使橋面無法維持靜力平衡而倒塌，記錄倒塌前的承載量，該承載量為為最大承載量。我們量測單支竹子、兩支與三支竹子做橋面的最大承載量。

(1)單支竹子的最大承載量實驗結果：

公厘 克重	21	22	24	25	26	27	28	29	30
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	5.2	5.0	4.7	4.8	5.8	2.0	3.9	5.6	5.5
200	15.0	10.1	11.0	9.9	12.0	7.0	10.0	11.0	19.0
300	25.1	16.2	18.3	16.0	19.0	16.0	14.8	21.2	31.0
400	35.1	21.9	22.9	19.0	24.0	27.0	20.5	35.8	
500	48.2	30.0	41.0	24.2	28.5	37.0	24.8	42.5	
600		36.0		28.0	34.0		27.0		
700		47.0			40.0		32.0		
800					43.5		36.0		
900					48.0		40.5		
1000							46.1		
1100							53.3		

按實驗結果得各支竹子之最大承載量為：

竹子編號	21	22	24	25	26	27	28	29	30
最大承載量 (公克重)	500	700	500	600	900	500	1,100	500	300

(2)兩支竹子的最大承載量實驗結果：

公厘 克重	21+27	22+28	24+26	25+30
0	0.0	0.0	0.0	0.0
200	6.1	5.5	5.0	5.0
400	10.0	11.0	10.1	10.0
600	15.2	15.0	16.0	15.9
800	21.0	20.1	23.5	21.0
1000	28.8	25.5	30.5	28.3
1200	36.1	32.5	37.0	35.2

公厘 克重	21+27	22+28	24+26	25+30
1400	--	36.0	42.0	38.1
1600	--	39.5	46.0	41.2
1800	--	46.0	58.9	51.0
2000	--	51.8	--	58.0

按實驗結果得兩支竹子之最大承載量為：

竹子編號	21+27	22+28	24+26	25+30
最大承載量 (公克重)	1200	2000	1800	2000

(3)三支竹子的最大承載量實驗結果：

公厘 克重	24+21+28	25+27+30	29+22+26
0	0	0	0
100	3	4	3.3
300	8	8	10
500	13	14	15
700	18	18	20.6
900	21	22	24
1100	25	27	30
1300	30	32.5	36
1500	34	39.5	40
1700	38	44.5	45
1900	42	50.5	52
2100	47	58.5	61
2300		67.5	

按實驗結果得三支竹子之最大承載量為：

竹子編號	24+21+28	24+27+30	29+22+26
最大承載量(公 克重)	2100	2300	2100

二、模型橋研究討論

(一)實驗一

單支竹子的下沉量與承載量的關係在一定範圍內成正比，此現象類似彈簧的伸長量與受力的關係。虎克定律為「物體的受力和它的變形量是成正比」我們可利用作圖法得到彈性係數 k 值，超出彈性限度時，受力與形變量將不成正比，編號 22 號竹子在超過 600 公克重的承載後，兩者關係開始改變。

(二)實驗二與實驗三

若單一竹子符合虎克定律，則多支竹子的並排可視為多個彈簧並聯排列的狀態，並聯時的彈性係數相加。我們利用實驗一得到不同竹子的彈性係數作估算，得到當兩支竹子並排時的彈性係數理論值 (k_a+k_b) 。

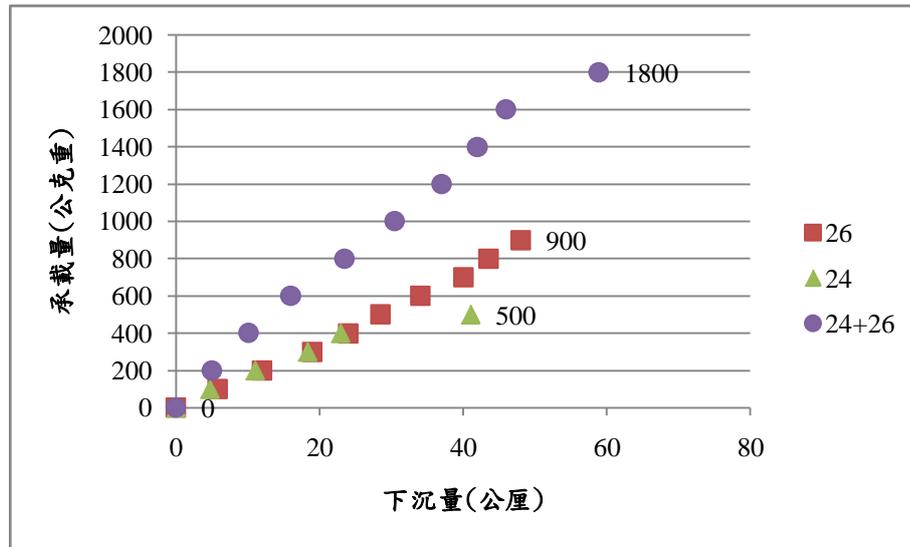
實驗後，我們依然得到多支竹子的負載量與下沉量的關係成正比，但是並沒有如彈簧的並聯特性，可以使用相加的方式得到彈性係數，而多支竹子做橋面的彈性係數值($k_{\text{量測}}$)大於竹子分別相加的彈性係數值，這點讓我們覺得很神奇。

竹子本身具有竹節，而越細端的區間將會越來越小，仔細觀察兩支、三支竹子粗細端交錯排列的橋面，不同支竹子的竹節將會分佈在節與節之間(如下圖)，因此我們猜想「竹節」可能是使 k 的量測值大於 k 的理論值的原因。



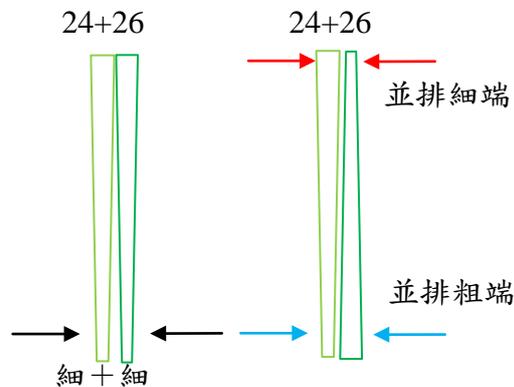
(三)實驗四

從實驗結果我們發現，多支竹子的最大承載量大於單支竹子的最大承載相加，以 24+26 號組合為例，分別能承受的最大承載量為 $500+900=1400$ 公克重，而兩支竹子粗細端交錯排列最大承載量為 1800 公克重。



若假設：橋面細端為影響最大承載量的因素，我們可以得到組合後的竹子橋面總寬度大小，如下表：

組合	21+27	22+28	24+26	25+30
粗於一側，細於另一側				
細+細	0.5	0.59	0.54	0.52
粗細並排				
並排細端	0.68	0.77	0.7	0.73
並排粗端	0.71	0.85	0.78	0.76



我們發現組合後的細端寬度仍大於兩支竹子的最細組合，符合我們的假設，橋面細端為影響最大承載量的因素之一。

陸、結論

從部落傳說的彩虹橋故事，興起想要與長老一起學習傳統搭橋的技巧，希望習得這些部落的智慧後，能將經驗傳承於後代，另外，我們透過與長老的互動討論，得到為什麼搭橋使用桂竹的想法，進一步對桂竹做承載實驗。

一、傳統部落的竹橋文化與科學連結

本研究的實驗目的之一是希望能證實長老與我們分享的「 $1+1>2$ 」的概念，此概念的意思即為當我們將多支竹子粗細交錯的排列，竹子的會變得更堅固，我們可以理解成(1)在同樣的承載量下，橋的下沉量是較小的；(2)依此排列方式，橋的最大承載量將會大於原先個別竹子的最大承載量相加。

在一定的範圍內，無論單支竹子會多支竹子做橋面的承載量與下沉量的關係皆成正比，符合虎克定律中所說「物體的形變量與受力的關係成正比」，而每支竹子因本身的粗細不同而造成彈性係數 k 值的不同，彈性限度大約承載為600公克重的時候。

在虎克定律中談到當彈簧並聯時，彈性係數為多個彈簧的彈性係數相加($k=k_1+k_2+k_3+\dots+k_n$)。但從多支竹子做橋面的實驗結果中，我們發現彈性係數 k 值的實驗值($k_{\text{量測}}$)大於理論值($k=k_1+k_2+\dots+k_n$)，我們推測原因來自於竹節的分佈而加強竹子橋的彈性。

最大承載量的實驗中，多支竹子的最大承載量大於單支竹子的最大承載相加，我們實際比較與量測橋面的粗細端寬度大小，得到橋面細端的寬度為決定承載量大小的原因之一。

以上的實驗結果，讓我們發現竹子粗細併排的橋面，將會使得橋面更堅固，符合長老在訪談時提到的「 $1+1>2$ 」的概念。

二、研究價值與部落智慧傳承

我們跟著部落長老，學習如何利用桂竹的枝節製作模型橋，也學會如何在實際的環境中，搭建竹橋。首先，我們的真竹橋搭建地點將有助於提升遊客更願意到部落的觀光景點—甕碧潭，竹橋完成後，目前保留於當地，供遊客使用。除了實質上有助於觀光外，當遊客走在竹橋上，可以欣賞、感受竹橋文化的智慧展現，再者，模型橋的製作，將成為部落裡的文化學習材料，將泰雅文化傳承下去。

三、未來展望

本次研究中，我們接觸部落的竹橋，並首次實際動手製作。在實驗前，需先將竹橋搭建完成後，才能進行實驗，較耗時、耗力。在實驗的過程中，我們也發現許多可進一步探討或進行更精確的實驗設計，如：竹節對橋的承載結構影響，未來將進一步依此為主題進行相關研究。

柒、參考資料

一、參考書籍

- (一)自然與生活科技，康軒版第四冊，第六章 力與平衡。
- (二)台灣原住民的神話與傳說系列－泰雅族：彩虹橋的審判。里慕伊·阿紀。
新自然主義股份有限公司出版。2012年3月。
- (三)KO 理化教室 11，力與運動。奇鼎事業股份有限公司出版。

二、網路資源

- (一)2011年原住民華碩科教獎之國小組參展作品：竹筒飯大師
- (二)臺灣大百科全書網站 <http://taiwanpedia.culture.tw/web/content?ID=6475>
- (三)有趣的形變-竹橋的形變應用 <http://www.shs.edu.tw/works/essay/2008/03/2008030822491147.pdf>

捌、精彩歷程照片













[全體大合照]

