# 中華民國第四十八屆中小學科學展覽會作品說明書

國中組 理化科

031603

「橋」遍全世界

學校名稱:臺中市立居仁國民中學

作者:

國三 王鈞

國三 黄朝煒

國三 李俊康

國三 呂昆霖

指導老師:

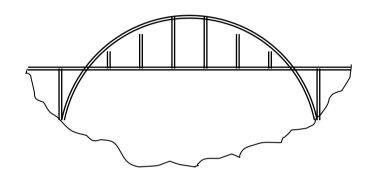
王翠妃

陳惠如

關鍵詞: 合力、分力、橋的力學

## 膏、摘要

橋樑功用在於接續兩地空間。本次探討橋樑力學並分析各橋樑特性:樑橋可隨地形彎曲、建造容易,故適作為長路徑陸橋,其橋墩須承受橋面的載重,故橋面易變形、斷裂;吊橋纜索屬弦垂型,受力成弧線、安全性低,但易於山谷架設,為增加安全性可採直線型鋼纜並將底索張力大於主索;斜張橋、拱橋相較於吊橋、斜張橋,其結構可減輕橋墩受力,故適用於鬆軟地基,斜張橋其纜索可減少橋墩受力,且建造成本低,故適用於長跨程的橋樑;拱橋受力時可使切塊更加緊密,故適用於土質鬆軟、不易維修區域(如峽谷),但因所負載的重量易傳至兩側,故需架設墩台於拱橋兩端以承受拱橋的水平推力,增加其最大載重量與耐用性可採圓形設並將纜索和拱橋結合(如下圖)。



## 貳、研究動機:

去年長達一年進行拱橋力學研究,在這段研究時間,每天犧牲中午睡眠的時間,甚至假日也常用來找尋資料、討論、實驗,雖然辛苦,但從對於研究的一無所知,到後來有默契各盡職責地進行研究,甚至常為了實驗流程設計的與數據資料的分析進行爭辯和討論,這些都讓我們發現原來研究科學是如此有趣的過程,尤其進行科展的這段時間,對未知的事物進行研究,似乎讓我們更懂得利用所學進行解釋和思考,甚至為了找尋合理的解釋,主動找尋資料,即使資料再複雜難懂,也努力去閱讀,這是在課堂上所學習不到的經驗,所以今年從暑假開始,我們決定重新再組合,將橋力學的相關研究一併完成,期望能有個完整的討論,也算是留給我們一個值得回憶的畢業禮物。

## 叁、研究目的:

將樑橋、拱橋、斜張橋(平行式纜索、放射式纜索)、吊橋四種橋類的力學加以研究及 討論,並整合四種橋樑的優勢應用於實際情形。

# 肆、研究器材和設備

| 名 稱       | 規格                            | 數 量                   | 照片          |
|-----------|-------------------------------|-----------------------|-------------|
| 保 麗 龍     | 長 89.5cm<br>寬 69.5cm<br>高 4cm | 數片                    |             |
| 砝碼        | 500g \ 100g                   | 500g×6 個<br>100g×20 個 |             |
| 重錘        | 20g                           | 70 個                  |             |
| 麥克筆       |                               | 1 盒                   |             |
| p         | 15 cm                         | 15cm×4                |             |
| 尺         | 30cm                          | 30cm×1                |             |
| 圓規        |                               | 1 支                   |             |
| 保麗龍切割器    |                               | 一個                    |             |
| 置放砝碼的塑膠平台 | 63g                           | 1個                    | 營<br>業<br>中 |
| 塑膠燒杯      | 53g                           | 1個                    |             |
| 玻璃燒杯      | 216g                          | 1個                    |             |
| 照相機       |                               | 1台                    |             |

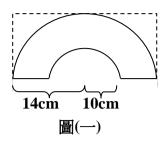
| 固定拱橋的保麗龍 | 10 cm          | 2 個  |         |
|----------|----------------|------|---------|
| 黏土       | 高 2cm          | 六個   | DOOCEC. |
| 保麗龍繩     | 直徑 0.1 公分      | 6 呎  |         |
| 鈕釦       | 直徑 2 公分        | 4個   |         |
| 壓舌板      | 長 15cm、寬 1.8cm | 20 個 |         |
| 熱熔膠      |                | 數條   |         |
| 輕彈簧      | 原長 10 公分       | 4 條  |         |

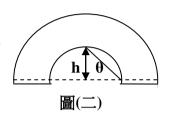
## 伍、研究步驟:

#### 一、拱橋力學研究設計

#### (一)探討圓半徑一定時,拱高對載重量的影響:

- 1、在長 88.5 公分,寬 59.5 公分,厚 4 公分的大保麗 龍板上,畫上外圓半徑為 14 公分、內圓半徑 10 公分的半圓形拱形,並割下,相同形狀完成數組, 如右圖(一)。
- 2、在裁好的半圓型拱形上,由拱形底部由下至上取 0、 1、2、3、4、5公分之點,沿著水平虛線裁去,形成 內圓高(h)分別為 10、9、8、7、6、5公分的六組拱 橋,各組拱橋做相同形狀至少 5個,右圖(二)。
- 3、在拱橋頂點上放上一塑膠平台,並將塑膠杯置於其上,起先放置100公克砝碼於塑膠杯內直至1300公克,同時注意杯內平衡,接著一一放入20公克的砝碼,隨時注意拱橋狀況,如:下陷、發出部份斷裂聲音,直到拱橋垮下,並記錄其垮下時的所承載的重量,重複多次,取平均值。如右圖(三)所示。



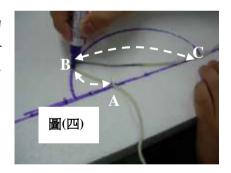


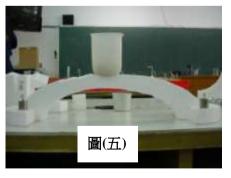


#### (二)探討焦距不同的橢圓拱橋與其載重的關係:

#### 1、橢圓拱橋的繪製:

- (1)以下頁(表一)所給之數據繪製不同焦距的 拱橋,取A、C作為橢圓內圓的兩焦點,分 別做出焦距(AC)0、4.4、6、7.1、8.0、8.6cm, 共6組。
- (2) 再取 20cm 之繩子,將其繩子兩端固定於 橢圓兩焦點 A、C上,在六組不同焦距的 保麗龍上,固定繩長為 20 公分(AB線+ BC線=20 公分)以筆自然畫出橢圓(如 圖(四))。外圓同上述(1)(2)方法,仍 AC作為焦點,再之前完成橢圓拱橋內圓 的保麗龍上,分別搭配下頁(表二)所給 之數據改變橢圓拱橋外圓兩焦點的焦距 0、6.1、8.4、7.1、10.0、11.2、12.1cm, 使6種橢圓拱橋厚度皆為 4 公分。(如右圖 (五)所示)





(3)外圓與內圓同一中心點,取如表(二)所示的焦距,使外圓長軸為 28cm 的 橢圓形,且外、內圓高成等比例縮小

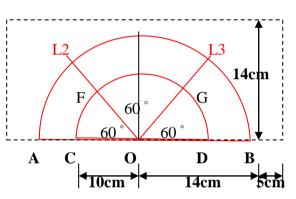
【表一】: 內圓之最高高度與焦距

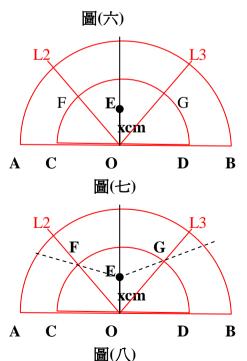
| 高  | 焦距  |
|----|-----|
| 10 | 0   |
| 9  | 4.4 |
| 8  | 6.0 |
| 7  | 7.1 |
| 6  | 8.0 |
| 5  | 8.6 |

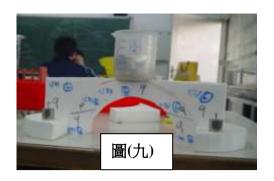
【表二】: 外圓之最高高度與焦距

| 高    | 焦距   |
|------|------|
| 14   | 0    |
| 12.6 | 6.1  |
| 11.2 | 8.4  |
| 9.8  | 10.0 |
| 8.4  | 11.2 |
| 7    | 12.1 |

- 2、將燒杯與塑膠板放置其上,先加入800g的砝碼,再慢慢加入20g的砝碼直到 拱橋垮下,紀錄其最後的重量。
- (三)利用三塊保麗龍塊進行半圓形拱橋的堆疊,探討堆疊的保麗龍塊間的接面斜率 不同對拱橋載重的影響
  - 1、由大塊保麗龍割出長為38公分,寬 為14公分,厚度為4公分的長方體 保麗龍。
  - 2、中點 O 為拱橋的圓心,以 10cm 為 半徑做圓,交底邊於 CD,再以 14 公分為半徑做圓,交底邊於 AB。
  - 3、自 O 做將半圓做三等分線: L2、L3(即 L2、L3 與底邊之夾角為 60 度), L2、L3 交內圓於 FG(如圖六)。
  - 4、由O做垂直於底邊之直線(黑色實線), 自O點在其垂直底邊的線上取 x 公分得 E點(x=0、0.5、1、2、3、4、5、6、 7cm)(如圖七),作9組。
  - 5、連接EF做延伸線(黑色虛線),並交於外圓,連接EG做延伸線(虛線),並交於外圓,如兩條虛線所示,沿虛線割取之,得切割拱形共9種(如圖(八))。
  - 6、兩旁以固定器固定之後再放上塑膠燒杯,起先放置100公克砝碼於塑膠杯內直至1300公克,同時注意杯子的平衡,接著一一放入20公克的重錘,直到拱橋垮下(指拱橋中任一塊滑落),並記錄其垮下時的所承載的重量,重複多次,取平均值。如下圖(九)所示。

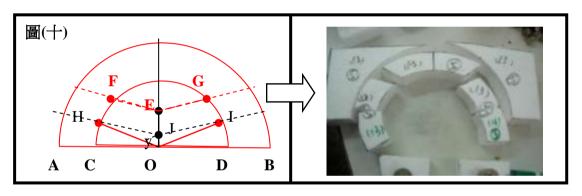






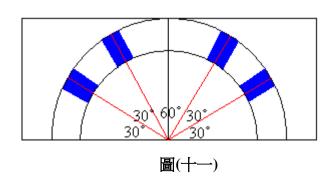
## (四)利用五塊保麗龍塊進行半圓形拱橋的堆疊,探討堆疊的保麗龍塊其接面的斜率 不同對拱橋載重的影響

- 1、由實驗三製得三塊保麗龍堆疊的拱橋,作 H、I 點使  $\angle$  AOH =  $\angle$  BOI =  $30^{\circ}$  (如  $\mathbb{G}(+)$ )。
- 2、由 O 做垂直於底邊之直線,自 O 點在其垂直底邊的線上取 y 公分得 J 點(y=0、0.5、1、1.5、2、3、4、5、6、7cm)
- 3、改變 OJ 長度,再沿 JH、JI 之延長線(黑色虛線)割取,使拱形變為五塊保麗龍塊堆疊而成(其他保麗龍塊維持不變),如下圖(十)。
- 4、測量其可負載之最大重量。



#### (五) 测量有五塊保麗龍進行堆疊的拱橋,其各接面所受之力。

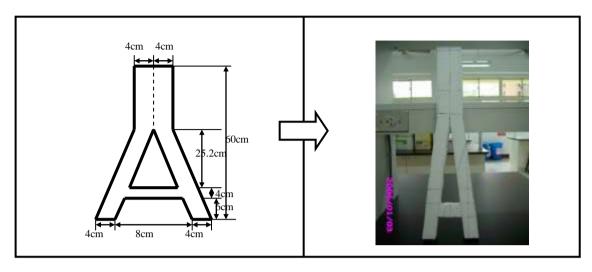
- 1、先把高度皆為 2cm 的黏土上放置不等重量的砝碼(接觸面皆為同一砝碼之底面積),再將黏土凹陷的深度和放置重量比較,求出兩者間的關係。
- 2、用四塊長、寬相同,高皆為 2cm 的黏土如下圖(十一)擺好,再於拱橋橋面上上放置 x gw(x 為 1000~2000)的重物,測量出填土凹陷程度及接觸面積,就可算出拱橋接面的受力情形。
- 3、利用黏土凹陷程度推出拱橋各接面的受力關係



#### 二、斜張橋的力學研究設計

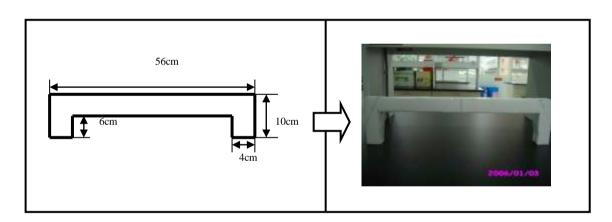
#### (一) 斜張橋結構設計

1、橋塔:其型式採倒Y型,橋塔高度為60公分,距離底部10公分處做為置放 主橋的位置,如下圖(十二)所示。



圖(十二)

2、橋面+橋墩:橋面為長56公分,寬2公分,厚4公分,搭配兩橋墩,橋墩高 為6公分,長為4公分,寬2公分,如下圖(十三)所示。



圖(十三)

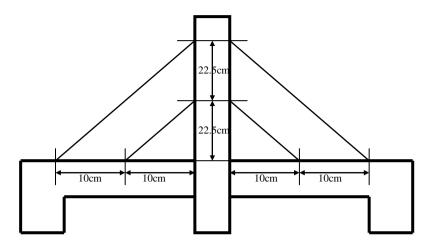
3、纜索:纜索與纜索間採豎琴式的平行設計與星形式的放射型,在橋塔兩側各兩條,以尼龍繩為作為纜索,因主橋以保麗龍為材質,其剛性不足,擔心當橋面承載重物時,保麗龍會因尼龍繩所造成的壓力而割破進而破壞斜張橋的結構,故將尼龍繩的纜索以下圖(十五)、(十六)比例穿過主橋與



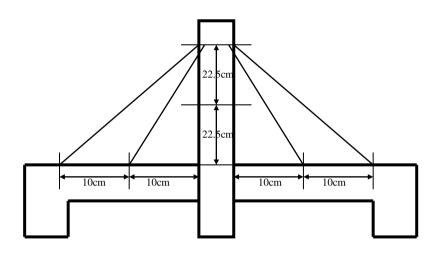
圖(十四)

橋塔,並於主橋及橋塔的另一側將尼龍繩繫於鈕扣上,如右圖(十四) 所示

4、將橋塔、橋台、纜索加以結合形成如下圖(十五)平行纜索與下圖(十六) 放射型纜索兩種斜張橋結構。



圖(十五)斜張橋-平行式纜索



圖(十六)斜張橋-放射式纜索

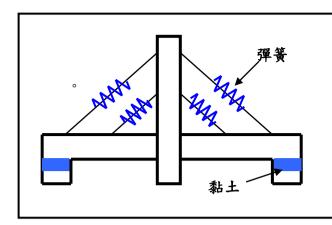
#### (二) 纜索張力的實驗設計

- 1、將預計作為纜索張力測量的八條輕彈簧進行編碼 1~8 號,將 1 號輕彈簧懸掛一固定處,測量其原長並紀錄,再分別懸掛 20g、40g、60g、80g、100g、120g、140g、160g、180g、200g、220g的砝碼,測量受力後的全長並記錄,以 Excel完成彈簧的作用力--伸長量之關係圖,2~8 號輕彈簧依相同步驟做出作用力與伸長量的關係圖。
- 2、由步驟(一).3 所完成的尼龍繩的纜索切斷,並預留約10公分的長度。
- 3、在預留處,分別綁上 1~8 號的輕彈簧,當橋面承載重物時,利用彈簧的形變量來預測纜索的受力情形。

#### (三)橋墩的受力實驗

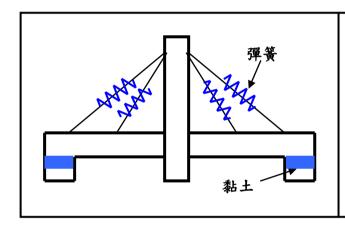
- 1、先把長 3cmx寬 3cmx高 2cm 的黏土上放置不等重量的砝碼 (接觸面皆為同一 砝碼之底面積),再將黏土凹陷的深度和放置重量比較,求出兩者間的關係。
- 2、於斜張橋的橋面與橋墩間預留 2 公分的高度做為置放黏土的位置,再於橋面上上放置 x gw(x 為 1500~2000)的重物,測量出填土凹陷程度及接觸面積,就可推出橋墩的受力情形。

#### (四)完成模型如下圖(十七)、(十八)所示。





圖(十七)斜張橋-平行式纜索



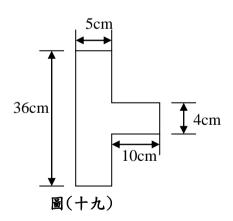


圖(十八)斜張橋-放射式纜索

#### 三、吊橋的力學研究設計

#### (一) 吊橋結構設計

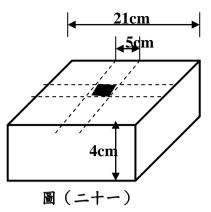
- 1、橋墩:吊橋兩旁的橋墩為高36公分的 ├型設計, ├型横向凸處(主索抗拉鎮座)做為和吊橋橋台連接之處,如圖(十九)所示。
- 2、橋面:模仿木質吊橋橋面設計,將17支長 15cm、寬1.5cm的冰棒棍以尼龍繩 再橋面兩端各一條作為作為纜索(橋 面底索)將其串成橋面30.6公分長,並 以熱熔膠固定。
- 3、將橋面底索(左右各兩條)繫於兩端橋墩 16cm 高處,如圖(二十)箭頭所示。
- 4、以尼龍繩作為吊橋的主索橫跨兩橋墩的頂部, 將其兩端固定在主索抗拉鎮座,以協助直向吊 索和橋台的聯接。

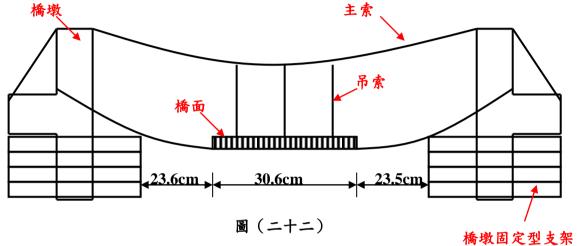




圖(二十)

- 5、在主索與橋台之間,等距且對稱的吊索(直向)共六條。
- 6、橋墩固定型支架,主橋兩端橋墩各四個固定型 支架,每一支架高為4cm、面為21cm×21cm 的柱形體,在此柱形體中間挖一4cm×5cm的 洞,做為置放橋墩的位置,以固定橋墩,如右 圖(二十一)所示。
- 7、將橋面、主索、吊索、橋墩、橋墩固定型支架 加以組合,形成吊橋結構,如下圖(二十二) 所示。





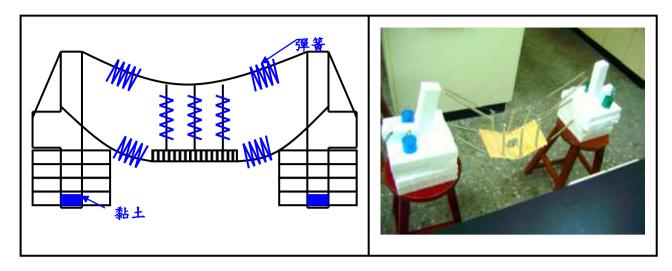
#### (二) 纜索張力的實驗設計

- 1、將預計作為纜索張力測量的十四條輕彈簧進行編碼 A~N 號,將 A 號輕彈簧 懸掛一固定處,測量其原長並紀錄,再分別懸掛 20g、40g、60g、80g、100g、 120g、140g、160g、180g、200g、220g 的砝碼,測量受力後的全長並記錄, 以 Excel 做出彈簧的作用力--伸長量之關係式,B~N 號輕彈簧依相同步驟做出 作用力與伸長量的關係式。
- 2、將吊橋上主索、吊索、橋面兩旁的尼龍繩的纜索切斷,並預留約10公分的長度。
- 3、在預留處,分別綁上 A~N 號的輕彈簧,當橋面承載重物時,利用彈簧的形變量來預測纜索的受力情形。

#### (三)橋墩的受力實驗

- 1、先把長 5cmx寬 4cmx高 3cm 的黏土上放置不等重量的砝碼 (接觸面皆為同一 砝碼之底面積),再將黏土凹陷的深度和放置重量比較,求出兩者間的關係。
- 2、於吊橋的兩橋墩與地面間預留 2 公分的高度做為置放黏土的位置,再於橋面上上放置 x gw(x 為 100~500)的重物,測量出填土凹陷程度及接觸面積,就可推出橋墩的受力情形。

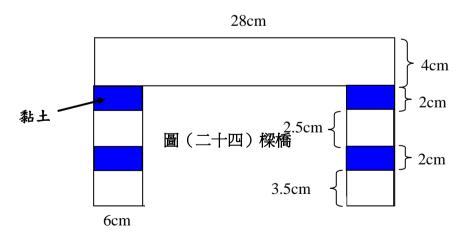
#### (四)完成模型如下圖(二十三)所示。



圖(二十三) 吊橋

#### 三、樑橋的力學研究設計

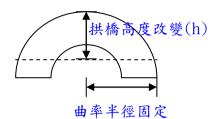
- 1、在長88.5公分,寬59.5公分,厚4公分的大保麗龍板上,畫上長28公分、寬4公分、厚4公分作為樑橋的橋台,並割下。
- 2、並繪製兩橋墩長10公分、寬4公分、厚4公分的長方體橋墩,置於橋面的兩端,即 為樑橋模型。
- 3、先把長 3cmx寬 3cmx高 2cm 的黏土上放置不等重量的砝碼 (接觸面皆為同一砝碼之底面積),再將黏土凹陷的深度和放置重量比較,求出兩者間的關係。
- 4、兩橋墩,由橋底部量取,於3.5公分~5.5公分處,割取2公分厚的空隙,並以長3cm ×寬3cm×高2cm的黏土替代於空隙處,同樣在8公分~10公分處,割取2公分厚的 空隙,相同以2公分高的黏土替代於空隙處,如下圖(二十四)所示。
- 5、再於橋台上放置 x gw(x 為 500~1000)的重物,測量出黏土凹陷程度及接觸面積,就可推出橋墩的受力情形。



## 陸、研究結果:

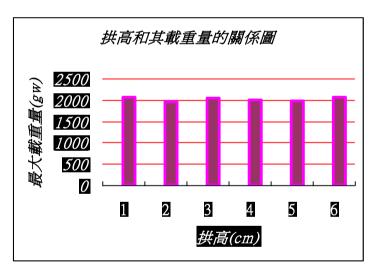
#### 一、拱橋力學

#### (一)探討圓半徑一定時,拱高對載重量的影響:



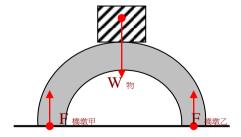
#### 【實驗數據】:

| h    | 1      | 1 ]    | 111    | 四      | 五      | 總計      | 平均     |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 10cm | 2313gw | 2266gw | 2216gw | 1636gw | 1836gw | 10267gw | 2053gw |
| 9cm  | 2346gw | 1836gw | 1836gw | 2036gw | 1696gw | 9750gw  | 1950gw |
| 8cm  | 2201gw | 1953gw | 2106gw | 1976gw | 2016gw | 10252gw | 2050gw |
| 7cm  | 1916gw | 2076gw | 2006gw | 1796gw | 2156gw | 9950gw  | 1990gw |
| 6 cm | 1821gw | 1886gw | 2116gw | 2116gw | 1967gw | 9906gw  | 1981gw |
| 5 cm | 1984gw | 2076gw | 2196gw | 2076gw | 2006gw | 10338gw | 2067gw |



實驗結果:由測量的結果得知其載重量數據相差不大,故本組推得改變半圓形拱形的高 度,並不影響載重量。

實驗討論:若以右圖的垂直分力來解釋,不論拱高如何, 橋載重時期處於靜力平衡,其合力為 0,所以 ₩<sub>物</sub>=F<sub>橋墩甲</sub>+F<sub>橋墩乙</sub>,若橋墩材質均匀,則 F 橋墩甲或乙=1/2xW 物重,以相同力圖解釋,改變 拱高並不會造成影響載重。



## (二)製作橢圓形拱橋,並改變橢圓拱橋的離心率,探討橢圓拱橋離心率與最大載重量 的關係

【表一】: 橢圓拱橋內圓之最高高度與橢圓兩焦點 間焦距 (單位:公分)

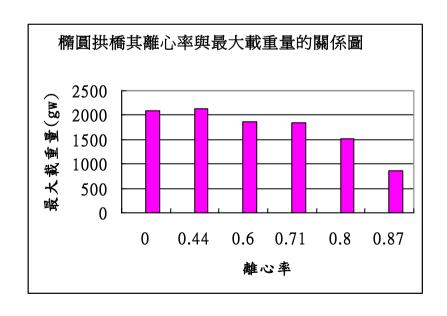
高 焦距
10 0
9 4.4
8 6
7 7.1
6 8
5 8.6

【表二】: 橢圓拱橋外圓之最高高度與橢圓兩焦點 間焦距(單位:公分)

| 高    | 焦距   |
|------|------|
| 14   | 0    |
| 12.6 | 6.1  |
| 11.2 | 8.4  |
| 9.8  | 10.0 |
| 8.4  | 11.2 |
| 7    | 12.1 |

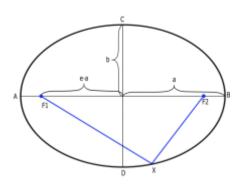
#### 【實驗數據】:

| 內圓高  |        | 11     | 11]    | 四      | 五      | 總和      | 平均       | 離心率  |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------|------|
| 10cm | 2823gw | 1464gw | 2266gw | 2216gw | 1636gw | 10405gw | 2081.0gw | 0    |
| 9cm  | 2473gw | 1813gw | 2253gw | 2013gw | 2113gw | 10665gw | 2133.0gw | 0.44 |
| 8cm  | 1833gw | 1813gw | 1953gw | 1933gw | 1753gw | 9285gw  | 1857.0gw | 0.6  |
| 7cm  | 2133gw | 2173gw | 1300gw | 1853gw | 1813gw | 9272gw  | 1854.4gw | 0.71 |
| 6cm  | 1953gw | 1193gw | 1373gw | 1653gw | 1413gw | 7585gw  | 1517.0gw | 0.8  |
| 5cm  | 773gw  | 913gw  | 723gw  | 1013gw | 853gw  | 4275gw  | 855.0gw  | 0.87 |



**實驗結果**:橢圓拱橋的兩焦點距離(離心率)越大, 其可承載的重量越小。

實驗討論:1、橢圓的定義—在數學中橢圓是平面上到 兩個固定點的距離和是常數(線段FiX+ 線段  $F_2X$ =常數) 所形成的軌跡,而這兩 固定點稱之為焦點 (F1、F2), 經過定義 顯示,完成一橢圓需將一固定長的線, 將線的兩端固定於兩焦點上,取一支



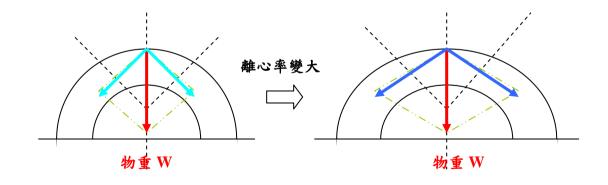
筆,將線繃緊,這時兩個焦點和筆形成一個三角形 (  $\Delta F_i F_e X$  ),然後拉著 線開始做圖,並持續拉緊線(使線段F1X+線段F2X=常數),即可形成一 橢圓。

2、橢圓離心率的定義-穿過兩焦點並終止於橢圓上的線段 AB 稱為長軸,而

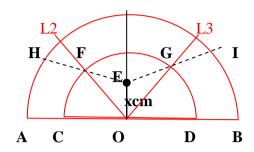
c=1/2x線段 F<sub>1</sub>F<sub>2</sub>(半焦距), a=1/2x線段 AB(半長軸), 而離心率

當離心率為〇時,則為圓形,換而言之離心率越大此橢圓會被拉較長。

3、隨著橢圓拱橋的離心率越大,其可承載的重量越小,其最主要的因素在 於橋樑為同一材質時,每一切面的可承受的最大壓力是固定的,若其承載 重量所造成的切面壓力大於可承受的最大壓力時就會斷裂,若以下圖來解 釋當橢圓的離心率較大,當承載重物的重量是相同時(以)新頭表示), 

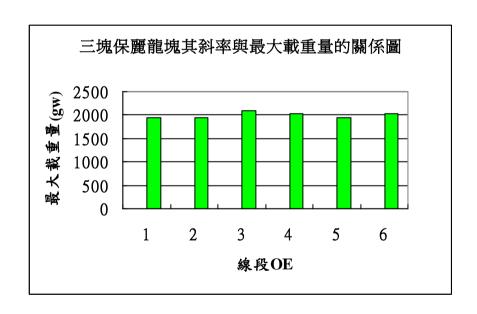


(三)將橢圓拱橋以三塊保麗龍塊進行堆疊,判斷不同接面斜率的保麗龍塊,其載重量的關係(如下圖,固定 F、G 兩切割點,改變 E 點的位置,以線段 EF 與線段 EG 作為切割線,形成三塊保麗龍塊 ACFH、FHIG、BDGI)



#### 【實驗數據】:

| 線段 OE | _       | 1]      | 111     | 四       | 五       | 總和       | 平均      |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 0cm   | 1416gw  | 2446 gw | 2093 gw | 1733 gw | 1993 gw | 9681 gw  | 1936 gw |
| 4cm   | 1823 gw | 1773 gw | 1673 gw | 1953 gw | 2513 gw | 9735 gw  | 1947 gw |
| 5cm   | 2113 gw | 2153 gw | 2173 gw | 2053 gw | 1953 gw | 10445 gw | 2089 gw |
| 6cm   | 1989 gw | 1833 gw | 2193 gw | 2163 gw | 1933 gw | 10111 gw | 2022gw  |
| 7cm   | 1633 gw | 1863 gw | 2213 gw | 1693 gw | 2333 gw | 9735 gw  | 1947 gw |
| 10cm  | 2011 gw | 2233 gw | 1993 gw | 2100 gw | 1823 gw | 10160 gw | 2032 gw |



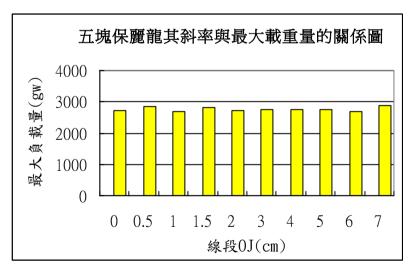
**實驗結果**:由測量的結果得知其載重量數據相差不大,故本組推得當由三塊保麗龍進行 拱橋堆疊時,其保麗龍接面的斜率並不影響載重量。 (四)將橢圓拱橋以五塊保麗龍塊進行堆疊,判斷不同接面斜率的保麗龍塊,其載重量的關係(如下圖,使用相同大小拱橋,並切割三塊,分別有 ACFH、FHIG、IGDB,並固定三塊保麗龍塊的大小,再固定 K、L 兩切割點,改變 J 點的位置,以線段 EF 與線段 EG 作為切割線,形成五塊保麗龍塊 ACKM、KMHF、FHIG、IGLN、LNBD)

H F G I

A C O D B

#### 【實驗數據】:

| 線段 OJ | _       | 1 ]     | 111     | 四       | 五       | 總和       | 平均      |
|-------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|
| 0cm   | 2693 gw | 2853 gw | 2653 gw | 2693 gw | 2713 gw | 13605 gw | 2721 gw |
| 0.5cm | 2993 gw | 2933 gw | 2973 gw | 2720 gw | 2632 gw | 14251 gw | 2850 gw |
| 1cm   | 2953 gw | 2933 gw | 2653 gw | 2453 gw | 2513 gw | 13505 gw | 2701 gw |
| 1.5cm | 2873 gw | 2793 gw | 2713 gw | 2813 gw | 2853 gw | 14045 gw | 2809 gw |
| 2cm   | 2788 gw | 2689 gw | 2780 gw | 2463 gw | 2841 gw | 13561 gw | 2712 gw |
| 3cm   | 2313 gw | 2453 gw | 2633 gw | 3153 gw | 3213 gw | 13765 gw | 2753 gw |
| 4cm   | 2963 gw | 2873 gw | 2764 gw | 2373 gw | 2841 gw | 13814 gw | 2763 gw |
| 5cm   | 2533 gw | 2873 gw | 2654 gw | 2791 gw | 2850 gw | 13701 gw | 2740 gw |
| 6cm   | 2513 gw | 2867 gw | 2463 gw | 2603 gw | 2963 gw | 13409 gw | 2682 gw |
| 7cm   | 2983 gw | 2933 gw | 2753 gw | 2973 gw | 2833 gw | 14475 gw | 2895 gw |



實驗結果:由測量的結果得知其載重量數據相差不大,故本組推得當由五塊保麗龍進行 拱橋堆疊時,其保麗龍接面的斜率並不影響載重量。

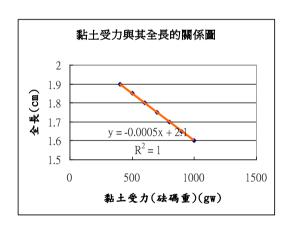
**實驗討論**:综合實驗結果(三)、(四)發現不論保麗龍以何種接面斜率進行堆疊,都不 影響其最大載重量,換而言之,不管拿何種形狀的保麗龍塊,只要堆疊成相 同的拱形,其最大載重量幾乎是相同的,為了解釋如此現象我們嘗試將以黏土置於保麗龍塊間的接面,以黏土的凹陷程度來測出當拱橋載重物時保麗龍塊間的的受力情形,如下結果顯示

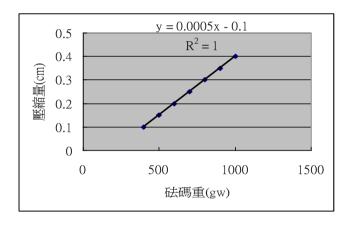
#### (五) 測量形成拱橋的保麗龍塊間接面的受力情形:

- 1、以黏土受力後的凹陷程度,與受力的大小關係,繪出兩者的關係曲線
  - (1)黏土載重量與壓縮量的關係:

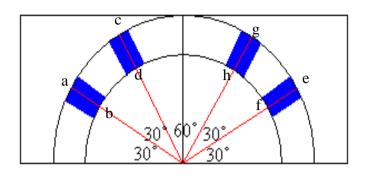
| 黏土原先高度為 2.00 公分 |              |         |  |  |  |  |  |
|-----------------|--------------|---------|--|--|--|--|--|
| 砝碼重(gw)         | 受力壓縮後高度 (cm) | 壓縮量(cm) |  |  |  |  |  |
| 400 gw          | 1.90 cm      | 0.10 cm |  |  |  |  |  |
| 500 gw          | 1.85 cm      | 0.15 cm |  |  |  |  |  |
| 600 gw          | 1.80 cm      | 0.20 cm |  |  |  |  |  |
| 700 gw          | 1.75 cm      | 0.25 cm |  |  |  |  |  |
| 800 gw          | 1.70 cm      | 0.30cm  |  |  |  |  |  |
| 900 gw          | 1.65 cm      | 0.35 cm |  |  |  |  |  |
| 1000 gw         | 1.60 cm      | 0.40 cm |  |  |  |  |  |

#### (2) 黏土壓縮量與載重砝碼的關係圖:





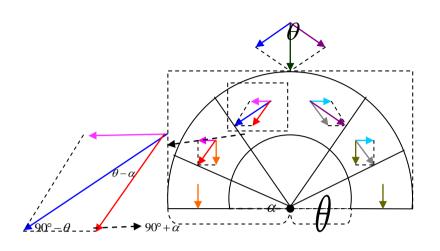
2、在以五塊保麗龍塊進行堆疊的拱橋,在保麗龍塊的四個接面放上高度為兩公分高的黏土,如下圖(藍色位置為置放黏土處),再於拱橋上放置 x gw(x 為 1000~2000)的重物測知其所受之壓力

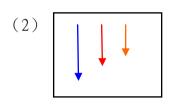


#### 【實驗數據】

| 拱橋載重<br>(gw) | 1000    | 1100    | 1200    | 1300    | 1400    | 1500    | 1600    | 1700    | 1800    | 1900    | 2000    |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| a            | 2.00cm  | 2.00 cm | 1.90 cm | 2.00 cm | 2.00 cm | 2.00 cm | 1.90 cm | 1.90 cm | 1.80 cm | 1.80cm  | 1.80 cm |
| b            | 2.00cm  | 1.90 cm | 1.80 cm | 1.80cm  | 1.90 cm | 1.90 cm | 1.70cm  | 1.70cm  | 1.70cm  | 1.50 cm | 1.50cm  |
| (a+b)/2      | 2.00 cm | 1.95 cm | 1.85 cm | 1.90 cm | 1.95cm  | 1.95 cm | 1.80 cm | 1.80 cm | 1.75 cm | 1.65 cm | 1.65 cm |
| ab 黏土受力      | 0gw     | 300gw   | 500gw   | 400gw   | 300gw   | 300gw   | 600gw   | 600gw   | 700gw   | 900gw   | 900gw   |
| С            | 2.00 cm | 1.80 cm | 1.80 cm | 1.70 cm | 2.00 cm | 2.00 cm | 1.30 cm | 1.60cm  | 1.90 cm | 1.20 cm | 1.75 cm |
| d            | 2.00 cm | 1.90 cm | 1.70 cm | 1.80 cm | 1.90 cm | 1.90 cm | 1.90 cm | 1.80cm  | 1.70cm  | 1.80cm  | 1.30 cm |
| (c+d)/2      | 2.00 cm | 1.85 cm | 1.75 cm | 1.75 cm | 1.95 cm | 1.95 cm | 1.80 cm | 1.70 cm | 1.80cm  | 1.50 cm | 1.52 cm |
| cd 黏土受力      | 0gw     | 500gw   | 700gw   | 700gw   | 300gw   | 300gw   | 600gw   | 800gw   | 600gw   | 1200gw  | 1150gw  |
| e            | 2.00 cm | 1.80 cm | 1.90 cm | 2.00 cm | 2.00 cm | 1.90 cm | 1.90 cm | 1.90 cm | 1.80 cm | 1.90 cm | 1.90 cm |
| f            | 1.90 cm | 1.80 cm | 1.80 cm | 1.70cm  | 1.70 cm | 1.70 cm | 1.60 cm | 1.60 cm | 1.70 cm | 1.50 cm | 1.50 cm |
| (e+f)/2      | 1.95 cm | 1.80 cm | 1.85 cm | 1.85 cm | 1.85 cm | 1.80 cm | 1.75 cm | 1.75 cm | 1.75 cm | 1.70 cm | 1.70 cm |
| ef 黏土受力      | 300gw   | 600gw   | 500gw   | 500gw   | 500gw   | 600gw   | 700gw   | 700gw   | 700gw   | 800gw   | 800gw   |
| g            | 2.00 cm | 2.00 cm | 1.90 cm | 1.90 cm | 1.90 cm | 2.00 cm | 1.90 cm | 1.90 cm | 1.80 cm | 1.70 cm | 1.70 cm |
| h            | 1.70 cm | 1.70 cm | 1.80 cm | 1.80 cm | 1.60 cm | 1.70 cm | 1.60 cm | 1.60 cm | 1.70 cm | 1.50 cm | 1.50 cm |
| (g+h)/2      | 1.85 cm | 1.85 cm | 1.85 cm | 1.85 cm | 1.75 cm | 1.85 cm | 1.75 cm | 1.75 cm | 1.75 cm | 1.60 cm | 1.60 cm |
| gh 黏土受力      | 500gw   | 500gw   | 500gw   | 500gw   | 700gw   | 500gw   | 700gw   | 700gw   | 700gw   | 1000gw  | 1000gw  |

實驗結果:依據上圖的圖形以及實驗數據可以發現,當拱橋載重時,ab的黏土受力<cd 黏土受力、ef的黏土受力<gh的黏土受力,以此可說明當拱橋載有重物時, 可將其受力傳達至兩橋墩,且在傳遞的過程,其受力有漸小的趨勢。 實驗討論:(1)由實驗五的結果 ab 的黏土受力 < cd 黏土受力、ef 的黏土受力 < gh 的 黏土受力,很明顯的,只要90°>θ>α,α>0°,即為正常情況下,中 間切塊上方切面所受的力會大於下方切面所受的力,則符合拱橋力學, 所以不論切面斜率為何,都不影響結果。





左圖為上圖拱橋的分解圖表示各剖面由 載重處至橋墩方向(由上至下, 以藍、 紅、橘箭頭)正向力大小比較

如藍紅橋三力的線段長短可說明拱橋上方剖面所受之正向力大於下方 所受之正向力,也就是力愈往下傳愈小,所以只要傳遞到拱橋與地面 的接觸面之力不超過接觸面的最大靜摩擦力(而最下面的接觸面的最 大靜摩擦力是最大的),拱橋就不會垮掉,換而言之,壓力愈往下愈小, 代表拱橋可以將所受之力平均分散到每一個切塊中,而且每一塊切塊 都能吸收部份的力,使得力愈傳愈小。

#### 三、斜張橋力學

(一)將八條做為斜張橋的輕彈簧依次標號 1~8 號,並分別懸掛一固定點,測量其原長後,再懸掛 80、100、120、140、160、180、200、220gw 的砝碼,測量其力與全長的關係,使用 Excel 計算出其關係式。

| 彈簧編號 | 彈簧受力(x)與全長(y)的關係式    | 彈簧受力(x)與伸長量(y)的關係式   |
|------|----------------------|----------------------|
| 1號彈簧 | y = 0.0918x + 4.8357 | y = 0.0918x - 5.1643 |
| 2號彈簧 | y = 0.0961x + 4.8643 | y = 0.0961x - 5.1397 |
| 3號彈簧 | y = 0.0988x + 4.0286 | y = 0.0988x - 5.9714 |
| 4號彈簧 | y = 0.097x + 4.0464  | y = 0.097x - 5.9536  |
| 5號彈簧 | y = 0.1018x + 9.9643 | y = 0.1018x - 0.0357 |
| 6號彈簧 | y = 0.1007x + 9.6143 | y = 0.1007x - 0.2857 |
| 7號彈簧 | y = 0.0896x + 10.064 | y = 0.0896x + 0.1643 |
| 8號彈簧 | y = 0.0985x + 9.7268 | y = 0.0985x - 0.1232 |

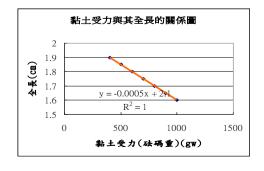
#### (二)以黏土受力後的凹陷程度,與受力的大小關係,繪出兩者的關係曲線

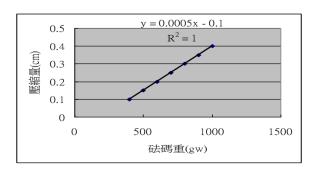
(1)黏土載重量與壓縮量的關係:

※黏土原先高度為2公分

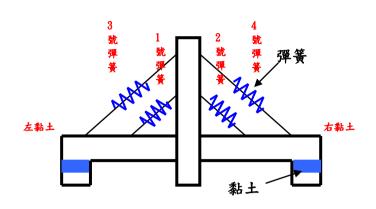
| 砝碼重(gw) | 受力壓縮後高度 (cm) | 壓縮量(cm) |
|---------|--------------|---------|
| 400 gw  | 1.90 cm      | 0.10 cm |
| 500 gw  | 1.85 cm      | 0.15 cm |
| 600 gw  | 1.80 cm      | 0.20cm  |
| 700 gw  | 1.75 cm      | 0.25 cm |
| 800 gw  | 1.7 0cm      | 0.3 0cm |
| 900 gw  | 1.65 cm      | 0.35 cm |
| 1000 gw | 1.60 cm      | 0.40 cm |

(2) 黏土壓縮量與載重砝碼的關係圖





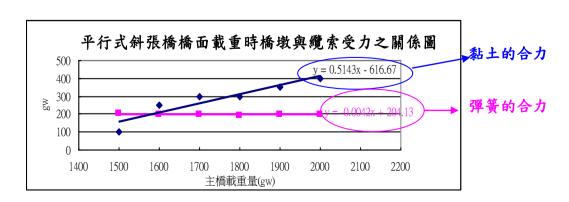
(三)將標號 1~4 號的輕彈簧與黏土,分別架於平行式斜張橋的橋索與橋墩上(如下圖 所示),測量當橋台受力後,輕彈簧與黏土的受力關係,進而推導纜索與橋墩的 受力關係。



【實驗數據分析】下表依實驗結果→1~4 號彈簧其伸長量與受力的關係圖+黏土的受力與高度的關係圖,算出當斜張橋的橋台載重時,其黏土與彈簧的受力情形

|        | 3 號彈簧   | 1 號彈簧    | 2 號彈簧    | 4號彈簧    | 彈簧受力     | 左邊黏土   | 右邊黏土   | 黏土受力   |
|--------|---------|----------|----------|---------|----------|--------|--------|--------|
|        | 受力(gw)  | 受力(gw)   | 受力(gw)   | 受力(gw)  | 總和       | 受力(gw) | 受力(gw) | 總和(gw) |
| 1500gw | 38.31gw | 53.62gw  | 47.99gw  | 60.91gw | 200.84gw | 0gw    | 100gw  | 100gw  |
| 1600gw | 55.99gw | 38.73gw  | 64.73gw  | 38.68gw | 198.03gw | 100gw  | 150gw  | 250gw  |
| 1700gw | 41.36gw | 52.63gw  | 40.18gw  | 60.91gw | 194.98gw | 150gw  | 150gw  | 300gw  |
| 1800gw | 43.22gw | 53.62.gw | 36.83gw  | 55.84gw | 189.51gw | 150gw  | 150gw  | 300gw  |
| 1900gw | 41.26gw | 53.62gw  | 41.29gw  | 61.93gw | 198.11gw | 200gw  | 150gw  | 350gw  |
| 2000gw | 43.22gw | 54.62gw  | 40.184gw | 60.91gw | 198.93gw | 200gw  | 200gw  | 400gw  |

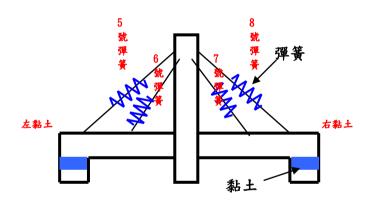
實驗結果:依上表將其繪製成當主橋載重漸增(由 1500gw→2000gw)時,其彈簧合力與黏 土合力的變化關係,如下圖,由圖中可發現



- (1) 隨著橋台載重變大,纜索(彈簧秤)及橋墩(黏土)受力皆變大。
- (2) 隨著橋台載重變大,由上圖趨勢線的斜率可以發現,橋墩(黏土)的受力變化量大於纜索(彈簧秤)的受力變化量。

實驗討論:(1)因橋台載重時,其力量由橋墩與纜索承擔,故當載重量變大時,橋墩與纜索 的受力會變大。

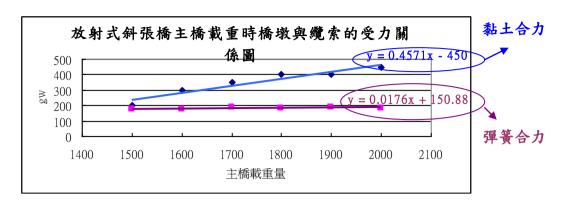
- (2)隨著橋台載重變大,由上圖趨勢線的斜率可以發現,橋墩(黏土)的受力變化量大於纜索(彈簧秤)的受力變化量,其最主要的原因,因斜張橋的纜索需具有不易形變的特性,否則橋台會因纜索變形而變形,而影響其安全性,故當纜索不易改變長度的情況下,其纜索的彈力(張力)也不易改變,如此正符合實驗結果,當橋台載重量增加時,纜索的彈力(張力)變化量亦不大。
- (3)在實驗結果所提供的數據中,橋墩與纜索受力的總和小於載重物的重量,其 最主要的原因在於橋台的受力,除了纜索與橋墩負擔外,橋塔也提供支撐的 力量。
- (四)將標號 5~8 號的輕彈簧與黏土,分別架於放射式斜張橋的橋索與橋墩上(如下圖所示),測量當橋台受力後,輕彈簧與黏土的受力關係,進而推導纜索與橋墩的受力關係並與平行式斜張橋做比較。



【實驗數據分析】下表依實驗結果→5~8 號彈簧其伸長量與受力的關係圖+黏土的受力與高度的關係圖,算出當放射式斜張橋的橋台載重時,其黏土與彈簧的受力情形

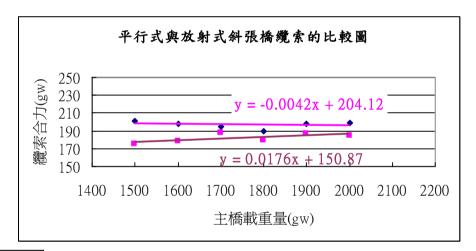
|        | 7 號彈簧<br>受力(gw) | 5 號彈簧<br>受力(gw) | 6 號彈簧<br>受力(gw) | 8 號彈簧<br>受力(gw) | 彈 <b>簧</b> 受力<br>總和 | 左邊黏土<br>受力(gw) | 右邊黏土<br>受力(gw) | 黏土受力<br>總和(gw) |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1500gw | 23.58gw         | 48.66gw         | 51.34gw         | 51.78gw         | 175.35gw            | 100gw          | 100gw          | 200gw          |
| 1600gw | 36.35gw         | 47.67gw         | 41.29gw         | 52.79gw         | 178.10gw            | 200gw          | 100gw          | 300gw          |
| 1700gw | 37.33gw         | 47.67gw         | 41.29gw         | 60.91gw         | 187.20gw            | 150gw          | 200gw          | 350gw          |
| 1800gw | 37.33gw         | 42.70.gw        | 39.06gw         | 59.90gw         | 178.99gw            | 250gw          | 150gw          | 350gw          |
| 1900gw | 37.33gw         | 42.70gw         | 40.17gw         | 65.99gw         | 186.20gw            | 250gw          | 150gw          | 350gw          |
| 2000gw | 37.33gw         | 42.70gw         | 43.53gw         | 60.91gw         | 184.47gw            | 250gw          | 200gw          | 450gw          |

實驗結果:依上表將其繪製成當主橋載重漸增(由 1500gw→2000gw)時,其彈簧合力與黏 土合力的變化關係,如下圖,由圖中可發現



不論平行式或放射式斜張橋些具有下列特性

- (1) 隨著橋台載重變大,纜索(彈簧秤)及橋墩(黏土)受力皆變大。
- (2) 隨著橋台載重變大,由上圖趨勢線的斜率可以發現,橋墩(黏土)的受力變化量大於纜索(彈簧秤)的受力變化量。
- (五)針對平行式與放射式斜張橋比較當兩橋面載重時其纜索的變化關係,如下圖所 示



實驗結果:隨著橋面載重越大,纜索以平行式的斜張橋其纜索的變化量小於放射式的斜張橋的變化量。。

實驗討論:依上述結果與斜張橋特性推論,平行式斜張橋其纜索的穩定性與安全性皆比放射性斜張橋的纜索高。

#### 三、吊橋力學

(一) 將十四條做為吊橋的輕彈簧依次標號 A~N 號,並分別懸掛一固定點,測量其原長後,再懸掛 80、100、120、140、160、180、200、220gw 的砝碼,測量其力與全長的關係,使用 Excel 計算出其關係式。

| 吊索-彈簧受力(x)與全長(y)                    | 主索-彈簧受力(x)與全長(y)                    | 底索-彈簧受力(x)與全長(y)                  |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 的關係式                                | 的關係式                                | 的關係式                              |
| $\mathbf{A} : y = 0.0992x + 9.9271$ | G : y = 0.1013x + 9.5107            | <b>H</b> : y= 0.1009x + 9.6607    |
| $\mathbf{B} : y = 0.1018x + 9.9643$ | $\mathbf{I} : y = 0.1002x + 9.5321$ | $\mathbf{J} : y = 0.102x + 9.869$ |
| $\mathbf{C}$ : y= 0.1007x + 9.6143  | L : y = 0.098x + 9.7321             | $\mathbf{K}$ : y= 0.0982x + 9.65  |
| $\mathbf{D} : y = 0.1043x + 9.6286$ | $\mathbf{M} : y = 0.0895x + 9.1036$ | $\mathbf{N}$ : y= 0.1x + 9.7571   |
| $\mathbf{E}$ : y= 0.095x + 9.9      |                                     |                                   |
| $\mathbf{F}: y = 0.0998x + 9.6536$  |                                     |                                   |

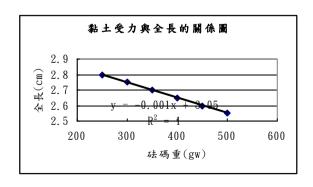
#### (二)以黏土受力後的凹陷程度,與受力的大小關係,繪出兩者的關係曲線

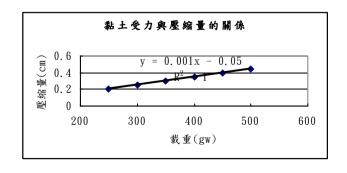
(1)黏土載重量與壓縮量的關係:

#### ※黏土原先高度為3公分

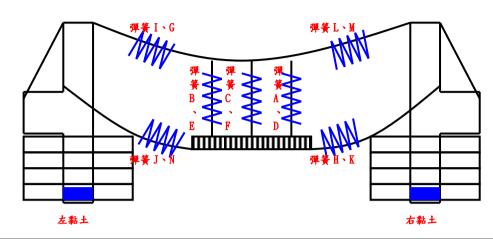
| 砝碼重(gw) | 受力壓縮後高度 (cm) | 壓縮量(cm) |
|---------|--------------|---------|
| 250 gw  | 2.80 cm      | 0.20 cm |
| 300 gw  | 2.75 cm      | 0.25 cm |
| 350 gw  | 2.70 cm      | 0.30cm  |
| 400 gw  | 2.65 cm      | 0.35 cm |
| 450 gw  | 2.60cm       | 0.40cm  |
| 500 gw  | 2.55 cm      | 0.45 cm |

#### (2) 黏土壓縮量與載重砝碼的關係圖



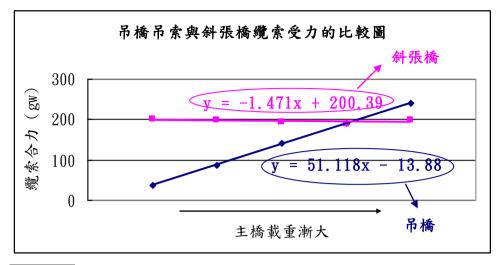


(三)將標號 A~N 號的輕彈簧,分別架於吊橋的主索、底索、吊索上,黏土則架設於兩旁的橋墩底部(如下圖所示),測量當橋台受力後,輕彈簧與黏土的受力關係, 進而推導主索、底索、吊索與橋墩的受力關係並與斜張橋做比較。



| 橋<br>彈簧<br>與黏土受 | 面載重   | 0gw | 100gw   | 200gw   | 300gw   | 400gw   | 500gw   |
|-----------------|-------|-----|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | A 號彈簧 | 0gw | 5.04gw  | 12.10gw | 19.15gw | 23.19gw | 40.32gw |
|                 | B號彈簧  | 0gw | 7.87gw  | 13.78gw | 24.61gw | 33.46gw | 39.37gw |
| 吊索              | C號彈簧  | 0gw | 18.38gw | 29.01gw | 36.75gw | 50.29gw | 58.99gw |
| 中系              | D號彈簧  | 0gw | 0gw     | 9.59gw  | 17.26gw | 25.89gw | 33.56gw |
|                 | E號彈簧  | 0gw | -1.05gw | 2.11gw  | 13.68gw | 16.84gw | 18.95gw |
|                 | F號彈簧  | 0gw | 7.01gw  | 20.04gw | 31.06gw | 40.08gw | 50.10gw |
| 主索              | G號彈簧  | 0gw | 30.60gw | 34.55gw | 41.46gw | 43.44gw | 44.42gw |
|                 | H號彈簧  | 0gw | 38.92gw | 40.92gw | 46.91gw | 48.90gw | 55.89gw |
|                 | I號彈簧  | 0gw | 51.02gw | 44.90gw | 54.08gw | 58.16gw | 62.24gw |
|                 | J號彈簧  | 0g  | 33.52gw | 39.11gw | 53.63gw | 64.80gw | 64.80gw |
|                 | K 號彈簧 | 0gw | 18.83gw | 29.73gw | 37.66gw | 51.54gw | 60.46gw |
| <b>展索</b>       | L號彈簧  | 0gw | 50.00gw | 51.96gw | 66.67gw | 64.71gw | 66.67gw |
| 広 系             | M 號彈簧 | 0gw | 53.97gw | 52.95gw | 66.19gw | 71.28gw | 70.26gw |
|                 | N 號彈簧 | 0gw | 63.06gw | 64.11gw | 76.01gw | 77.00gw | 88.00gw |
| 左               | 黏土    | 0gw | 0gw     | 0gw     | 0gw     | 250gw   | 300gw   |
| 右               | 黏土    | 0gw | 0gw     | 100gw   | 150gw   | 200gw   | 300gw   |

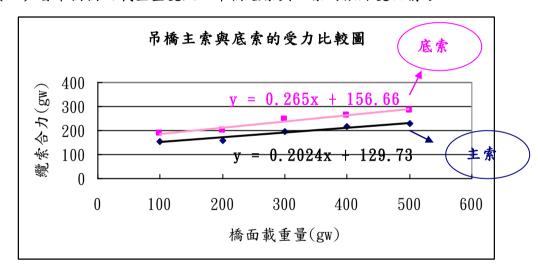
#### (四)當吊橋與斜張橋兩橋面載重物越大時,吊橋的吊索與斜張橋的纜索張力變化情形



實驗結果:由上圖兩線段斜率顯示,當主橋載重量變大時,吊橋的吊索斜率大於斜 張橋的纜索斜率

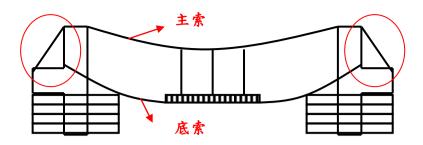
實驗討論:由實驗結果顯示,當主橋載重變大,吊橋吊索的形變量大於斜張橋的形變量,若以行走的平穩性考量與安全性做考量,仍以斜張橋較好。

#### (五)當吊橋橋面載重量變大,吊橋底索與主索的張力變化情形



實驗結果: 1、當橋面載重量時,底索所受的力恆大於主索所受的力 2、由上圖顯示,當橋面載重量越大時,底索、主索纜索合力的斜 率相近,代表兩者受力時的形變的變化量相近。

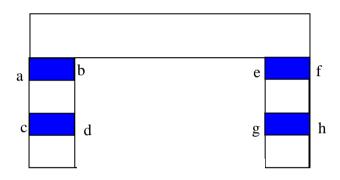
實驗討論:1、底索所受的力大於主索,因主要於其結構(如下圖)中的主索兩端固定於橋墩的主索抗拉鎮座(如○所示),所以橋墩可提供一斜向拉力,以減少主索的受力。



2、當橋面載重量越大時,底索與主索纜索兩者受力時的形變的變化量相近,換而言之,當吊橋橋面載重時,主索與底索伸長量是相近的,如此也可有效減緩吊索的形變量。

### 四、樑橋力學

將2公分高的黏土(如藍色方形部分)置於梁橋的切面,測量其黏土的受壓縮後的高度, 探討其力傳導的關係。



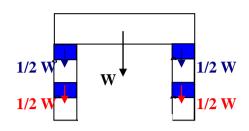
#### 【實驗數據】:

|         | 500gw   | 600gw  | 700gw | 800gw  | 900gw  | 1000gw |
|---------|---------|--------|-------|--------|--------|--------|
| a       | 2cm     | 2cm    | 1.9cm | 1.9cm  | 1.9cm  | 1.8cm  |
| b       | 1.9cm   | 1.9cm  | 1.9cm | 1.8cm  | 1.8cm  | 1.8cm  |
| (a+b)/2 | 1.95m   | 1.95cm | 1.9cm | 1.85cm | 1.85cm | 1.8cm  |
| ab 黏土受力 | 300gw   | 300gw  | 400gw | 500gw  | 500w   | 600gw  |
| c       | 2cm     | 2cm    | 1.9cm | 1.9cm  | 1.9cm  | 1.9cm  |
| d       | 1.9cm   | 1.9cm  | 1.9cm | 1.8cm  | 1.8cm  | 1.8cm  |
| (c+d)/2 | 1. 95cm | 1.95cm | 1.9cm | 1.85cm | 1.85cm | 1.85cm |
| cd 黏土受力 | 300gw   | 300gw  | 400gw | 500gw  | 500gw  | 500gw  |
| e       | 2cm     | 1.9cm  | 1.9cm | 1.9cm  | 1.9cm  | 1.8cm  |
| f       | 1.9cm   | 1.9cm  | 1.9cm | 1.9cm  | 1.8cm  | 1.8cm  |
| (e+f)/2 | 1.95cm  | 1.9cm  | 1.9cm | 1.9cm  | 1.85cm | 1.8cm  |
| ef 黏土受力 | 300gw   | 400gw  | 400gw | 400gw  | 500gw  | 600gw  |
| g       | 2cm     | 2cm    | 1.9cm | 1.9cm  | 1.9cm  | 1.9cm  |
| h       | 1.9cm   | 1.9cm  | 1.9cm | 1.8cm  | 1.8cm  | 1.8cm  |
| (g+h)/2 | 1.95cm  | 1.95cm | 1.9cm | 1.85cm | 1.85cm | 1.85cm |
| gh 黏土受力 | 300gw   | 300gw  | 400gw | 500gw  | 500gw  | 500gw  |

實驗結果: 樑橋的受力情況可以由上表得知,黏土 ab 受力=黏土 cd 受力,黏土 ef 受力=黏土 gh 受力。

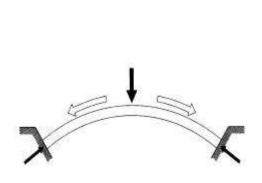
實驗討論:由右圖的受力圖可以解釋,當樑橋載重

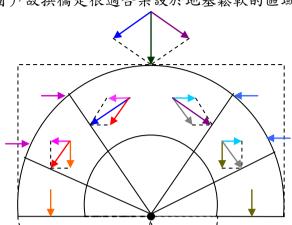
W,兩橋墩受力 1/2×W,因橋墩與主橋 呈垂直,所以下方剖面所受的正向力和 上方剖面所受的正向力相同,換而言 之,樑橋的力量並不會因往下傳導力量 變小,當傳至橋墩的力量不無減少,就 易因受力過大而斷裂。



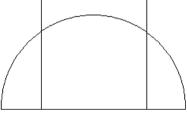
## 柒、結 論

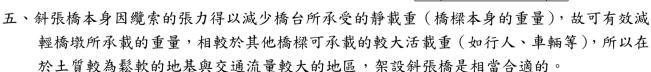
一、由實驗證明拱橋可以將受力傳遞到兩旁橋墩,而不是直接加在橋身上,故不容易斷裂(如左下圖),再者施加的力會對兩邊產生水平分力,而拱橋也同時受到反作用力,所以拱橋受到外力時反而會使切塊更加緊密(如右下圖),故拱橋是很適合架設於地基鬆軟的區域。





- 二、由實驗證明以堆疊方式形成的拱橋可以將所受之力平均分散到每一個切壞中,而且每一塊切塊都能吸收部份的力,使得力愈傳愈小,且當拱橋載有重物時其物體重力會對兩邊產生水平分力,而拱橋也同時受到反作用力,所以拱橋受到外力時反而會使切塊更加緊密,故拱橋相當適合用於土質較為鬆軟且不易進行橋樑維護工程的地區,但因應拱形的特性其具有將拱頂所負載的重量,傳遞到兩側,故在拱橋兩旁需架設墩台加以固定。以承受拱橋的水平推力。
- 三、拱橋的另一優勢在於其拱形的設計可大(如濁水溪的鐵路拱橋)可小(如拱門),在設計上的用途較廣,但由實驗結果發現拱型的設計仍採以圓形設計較橢圓形設計來的好,其可負擔的載重量較大。
- 四、在山洞的建築上大多採如下圖左的形式,以半圓形設計,若需讓高度越高的車子通過,則所需要的寬度越大,耗費資金也越多,但若在相同的圓中,截取較大的弧,則可以增加其高,其面積也較相同高度的半圓小(如下圖右),耗費資金就相對較少,而支撐力卻可相同。

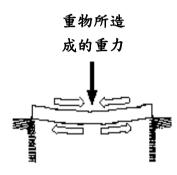




- 六、在路徑較長的大橋設計來說,也是以斜張橋較為適合,除了因纜索的優勢可協助承受橋樑 的載重外,相較於其他橋樑形式,在經濟與安全性考量下,同時具有成本低與安全性高 的特質。
- 七、斜張橋在設計上較難克服的是其結構屬於高度靜不定的輕量結構,所以較怕風力較大的地 區,其最主要的原因是纜索在風力作用下易產生斷裂或強大拖曳力,故除了纜索的材質

須經有效的測試在使用外,也可以纜索張力檢測儀器,有效檢測纜索的健康情形,當纜索張力改變或不穩定時,可透過安全警報向民眾發出警訊,或在風力較大的地區改採以 拱橋設計。

- 八、吊橋的優勢在於藉由密佈的吊索來分擔主樑承受的活載重,可減少兩端橋墩的受力,且因 建造較容易,所以吊橋仍廣泛用溝通峽谷兩端的橋樑,但由實驗結果得知,當其橋面載 重時,其吊索的形變量遠大於斜張橋的纜索的形變量,故在行走的平穩性與安全性較差, 為解決上述的問題,其纜索應改採較不易形變的直線型鋼纜,且因吊橋的底索所承受的 力大於主索,故在設計上底索的可承受的張力需大於主索,兩方的橋墩其地基需打的深 穩,才可增加吊橋的安全性,吊橋在地形較特殊的區域仍具有其建造的方便性,但因維 修的不易,故在維護工程更顯其重要性,控制其載重的限制與避免纜索或橋面共振的情 形,便可以增加吊索的保固時間。
- 九、樑橋的優點在於製造及架設都很方便,尤其在需跨越區域的橋樑中(如高速公路、省道等),因可以配合區域地形架設,不只侷限於直線道路,所以它也是用途十分廣泛的橋樑,但因橋墩與橋台彼此成垂直,所以橋墩須承受橋台所受的重力,故在橋墩的負擔上較大,且橋台只利用橋墩進行支撐所以本身須承受很大的彎曲力(如右圖所示),如此會造成樑橋受力時,橋身彎曲,使上方橋面縮短,承受壓應力;下方橋面伸長,承受拉應力。所



以當架設於地基較為鬆軟的基地,較易崩垮,故建造橋樑時需探勘地基的情形,若為較 鬆軟的地基則應遷移或改採拱橋或斜張橋代替。

## 玖、參考資料

- 一、國中自然與生活科技第四冊第五章力與壓力。南一出版社。
- 二、褚德三著。物質科學物理篇(上)第三章靜力學。龍騰文化出版社。
- 三、李政寬。直線型鋼纜張力間接量測。國研科技第七期 P78~79。
- 四、蔡俊鏡(民92)。橋樑-築橋亦築夢。台北市:科技圖書。
- 五、蔡俊鏡(民88)。斜張橋。台北市:科技圖書。
- 六、王如鈺/王雲程著。拱橋。憬藝企業出版社。
- 七、吳智偉、謝明益、李資強。拱橋。中華民國第三十六屆中小學科學展覽高中職組物 理科第二名。
- 八、陳龍安 3Q 創意工作室,創意教材,土木工程,3.1.2 感同身受與傳力路徑。網址:http://3q.creativity.edu.tw/teach/1/tm312.htm
- 九、. 林楚儒-節塊施工的連續預力梁之分析與設計。文笙書局。現代營建 1999, 5 月 233 期。
- 十、由阪神地震探討橋樑耐震工程之發展方向研討會,臺灣營建研究中心,1996
- 十一、林楚儒--斜張橋或吊橋實際演算之解說

http://www.arch.net.tw/modern/month/242/242-2.htm

## 【評語】031603

- 1. 本作品討論各種不同橋樑的力學,並有相當深入的討論,但此類作品相當普遍,創意稍嫌不足。
- 2. 實驗模型以保麗龍塊做爲材料,建議以鐵絲輔以黏土更能代表橋座的性質。