

# 2018 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160028

參展科別 物理與天文學

作品名稱 圓網波攔—圓網結構之振盪模態影像分析

得獎獎項 大會獎：三等獎

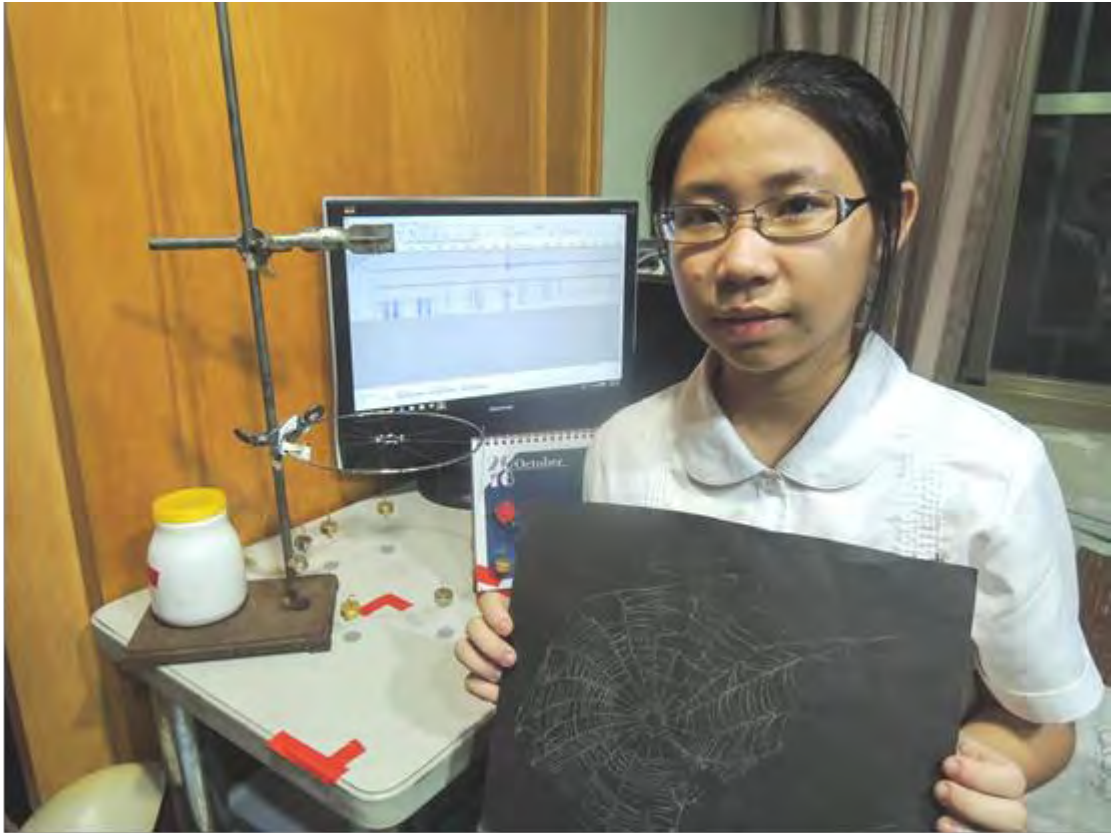
就讀學校 臺中市立臺中第二高級中等學校

指導教師 陳俞安、林子立

作者姓名 許捷宜

關鍵詞 圓網結構、模組振盪、影像分析

## 作者簡介



我是許捷宜，目前就讀臺中二中二年級。從國中開始接觸科展參加比賽的我，對科學一直保持著熱忱，我的研究主題一直以來都是在探討蜘蛛網結構與特性，從模擬實驗到真正的蜘蛛網測試，又再回到模擬的實驗。過程中遇到重重困難，但在和老師討論的過程中總會給我一些想法去突破困難，並利用參考文獻的資訊，變成自己獨有的方法和器材。

感謝國中時蔡明致老師帶我進入科學的領域，教我用最簡單的東西做出最適用的實驗設備；感謝高中陳俞安老師與林子立老師的指導和協助。謝謝所有幫助過我的人，讓我有機會參與這次的國際科展，替我的高中生涯畫下精彩的一筆。

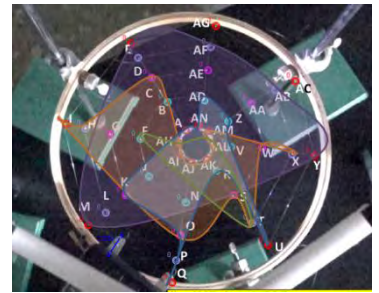
## 摘要

本次實驗探討網面結構不同所造成的振盪模態差異、振動頻率對網面結構振盪的模態差異。

本研究發現，蜘蛛網面的中央絲結構會直接影響到整個網面結構的振盪方式，以及能量散布的情形，希望藉由模態分析進行二維網面的討論。

當初想了解蜘蛛網結構對於分散衝擊力道的影響，為了簡化實驗變因而使用釣魚線進行模擬，所以設計出二維網面結構來模擬蜘蛛網面，並且改良過去的測量方式及振盪方法，加以探討二維網面結構，希望可以利用在生活中的相似抗震結構上。

實驗將觀察整片圓網結構在振盪下的模態能量散步以及傳遞方向趨勢，繪製出等振盪強度圖協助了解振動的分布，實驗結果指出蜘蛛網面的中央絲結構可以減緩振盪，這也是本次研究之後需要更進一步探討中央絲結構以及對能量傳遞的影響。



## Abstract

In this experiment, the oscillatory modal difference, the modal difference between the vibration frequency and the structure and the junction density of the oscillating system on the grid structure are discussed.

In this study, it is found that the central silk structure of the spider web surface directly affects the oscillation mode of the whole mesh structure and the energy transfer of the energy. It is hoped that the modal analysis will be carried out.

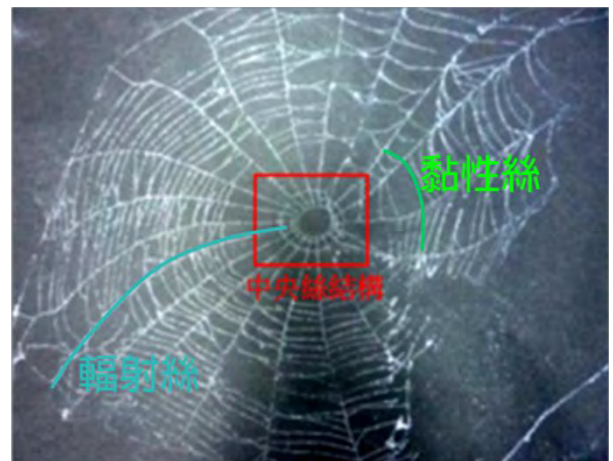
In order to simplify the experimental variation and the use of fishing line to simulate, so the design of the spider web surface to simulate the two-dimensional mesh structure, and improve the past measurement methods and oscillation methods to be discussed in order to understand the impact of the spider web structure on the impact of strength The mesh structure, hoping to take advantage of similar seismic structures in life.

The experimental results show that the central wire structure of the spider web surface can transfer energy quickly, and the vibration of the central wire structure of the spider web surface can be used to analyze the vibration of the double- This is also the need for further study of the central silk structure and the impact of energy transfer after this study.

## 壹、動機

在一次翻閱雜誌時，文中敘述了人面蜘蛛網的結構，觀察雜誌中的照片，發現結構特性與印象中的不同，當時我就這樣的二維結構產生結構興趣。於是就去野外採集蜘蛛網研究它的構造，發現結構特性與印象中的不同中央竟多了一圈圓網結構，而採集的過程中，我觀察到當網面受風時，網面上的振盪並不均勻，對這樣的現象產生好奇心，所以想透過圓網結構模擬，探討網面二維的振動模態是否因為結構的不同有所改變。

最初是想了解蜘蛛網結構對於分散衝擊力道的影響，為了簡化實驗變因而使用釣魚線進行模擬。先從放射性結構開始再進一步模擬成蜘蛛網的基本結構，經過兩年的蜘蛛網面的結構模擬製作後，終於設計出最相似於蜘蛛網面的網面結構模擬。藉由模擬蜘蛛網面振盪探討，並分析振盪能量散布，希望可以將研究成果套用在生活中的網面結構上。



圖一、蜘蛛網面、模擬網面圓網結構





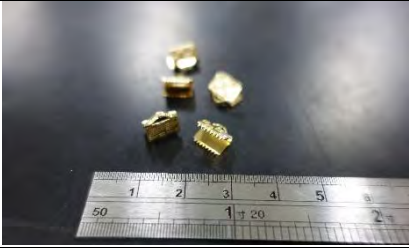



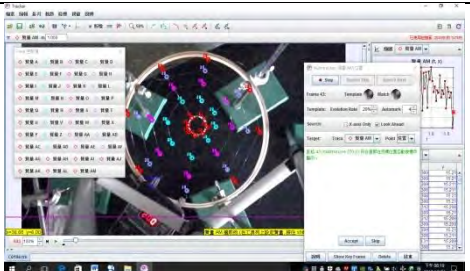


## 貳、 研究目的

- 一、 探討網面結構不同所產生的振盪模態差異。
- 二、 振動頻率對圓網結構的振動模態分析。

## 參、 研究器材

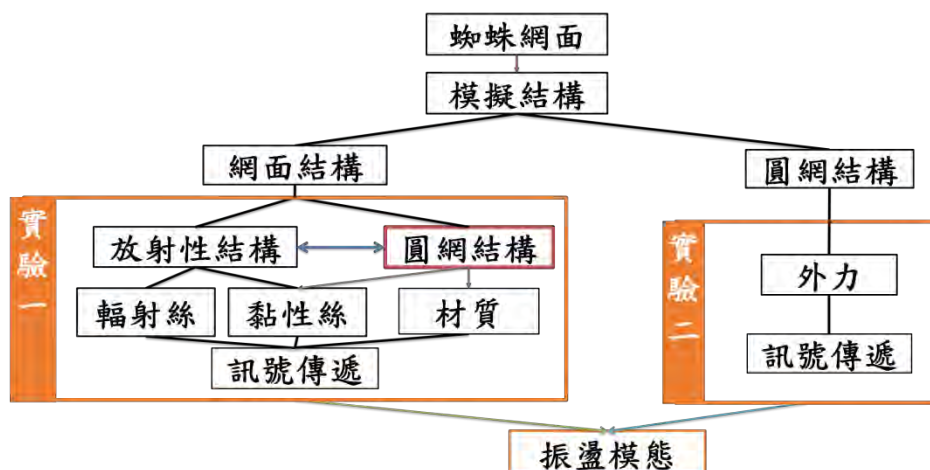
釣魚線(一號線，直徑0.165mm)、木頭圓框(直徑12吋)、雷射切割木頭圓框(直徑3cm)、雷射雕刻機、擋珠(直徑1mm)、緞帶夾(8mm)、水波槽起波器、立可白、螺帽、鐵尺、鐵架、鐵夾、腳架、膠帶、剪刀、尖嘴鉗、傳輸線、水平儀、高速攝影機(型號:Sony DSC-RX100M4)、手電筒(型號:NEW-528A)、Microsoft Excel、Tracker影像追蹤軟體(4.90版)。

		
相機(型號:Sony DSC-RX100M4)	木頭圓框(直徑 12 吋)	雷射切割木頭圓框
		
擋珠(直徑 1mm)	緞帶夾(8mm)	水波槽起波器
		
水平儀	螺帽	Tracker 影像追蹤軟體(4.90 版)

圖二、實驗器材

## 肆、研究方法

### 一、研究架構



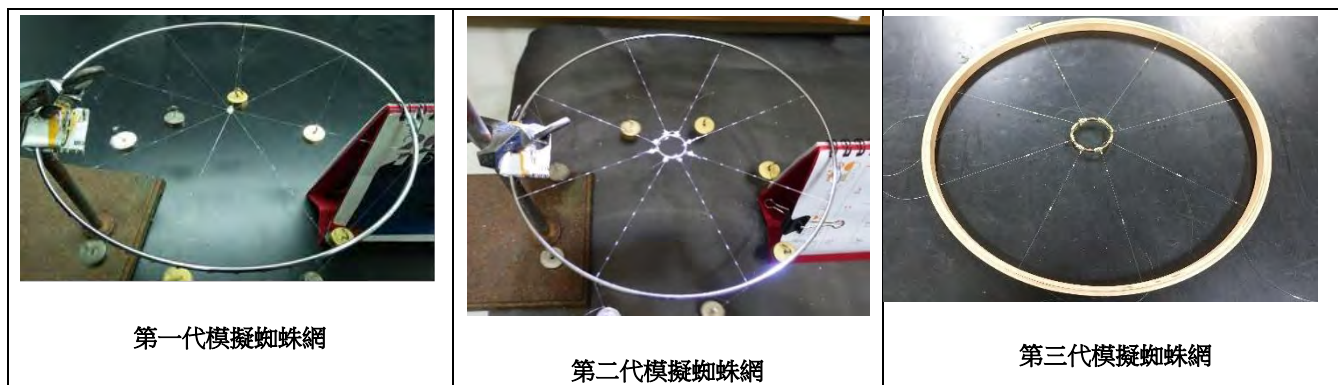
圖三、實驗架構圖

本實驗用木頭圓框與釣魚線模擬圓網結構，模擬出圓網蜘蛛網的主要結構(中央絲)進行實驗，中間使用緞帶夾固定尼龍繩，繩與繩之間用擋珠作為點固定，夾牢後，這樣的連接方法較沒有無法承受張力和張力不均的疑慮。

過去的實驗設計是使用熱縮管加三秒膠填滿固定，這樣的連接方法可能造成點與之間的受力不足，且固定端點較大，會影響網面的振盪與狀態，而且無法模擬出黏性絲結構，在輻射絲結構上也會因為砝碼的擺動造成影響。

而以往的尼龍繩製作圓網結構，再放到放射網上連接，剪斷尼龍圓框中間的放射絲，此時的尼龍框被張力拉成正八邊形，不過尼龍框無法承受張力而斷裂。以上兩個方法都經過嘗試後，且不符合需求淘汰。

本研究最特別的圓網結構編法，用擋珠作為連接點，再一次改良並且突破模擬蜘蛛網的困難，模擬出來的蜘蛛網面也越來越貼近相似狀態的蜘蛛網面，而且張力固定不需一直在釣魚線上掛著法碼，進而造成砝碼振盪之測量結果影響，藉由擋珠的連接方法成功做出黏性絲結構；未來可以藉由上述的擋珠連接法，讓整個網面結構都是相同為釣魚線材質，會更貼近蜘蛛網面的結構(相同為釣魚線材質)。

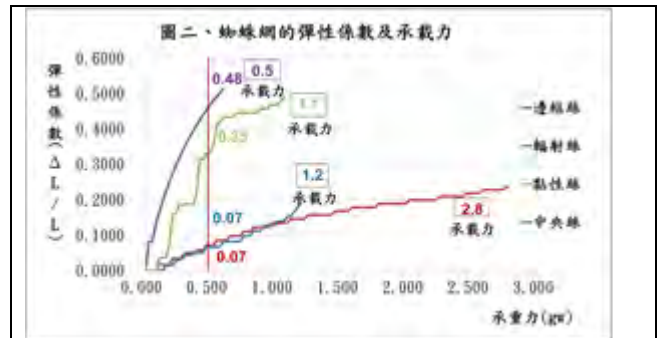


## 二、研究設備製作

使用設備介紹：

### (一)使用釣魚線製作圓網結構原因：

釣魚線為均勻介質適合進行實驗測量，圓網結構有「一圈」的中央絲結構。塑膠圓框和釣魚線相比，塑膠框較重；橡皮筋不適合當圓網結構，在以前的研究指出(圖四)，中央絲的彈性係數為蜘蛛網四種絲中最高的，而蜘蛛網主要由輻射絲結構構成，為不為彈性體。



節錄自<補網高手>實驗一的實驗數據

圖四、蜘蛛網彈性係數

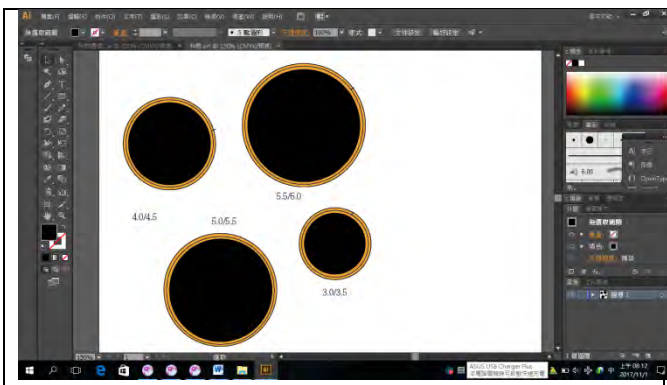
### (二)使用雷射雕刻機裁切圓形木頭框：

先繪製向量圖片，再將圖片匯入 RDwork，進行參數設定後下載到雷射雕刻機裡面，進在雷射雕刻機裡擺放實驗所需的木板(本次實驗使用厚度 2mm 的木片)，進行切割。

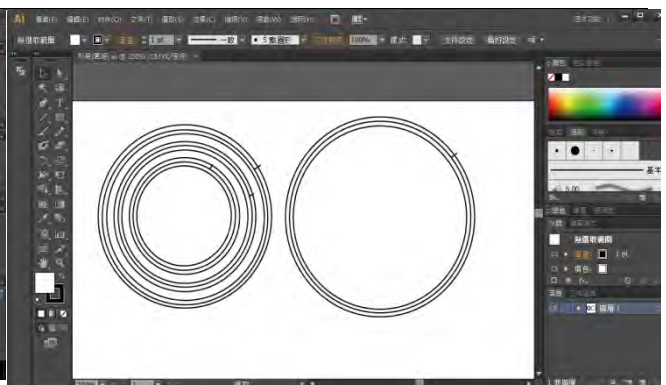
繪製向量圖片，切割本次實驗的圓網結構直徑大小變因。

控制相同的材質，繪製不同圓框直徑大小的向量圖，用面積估算去控制每個圓框的重量。

遇到的困難：雷射切割的時候會因為切割的溫度造成與預計中的寬度有所差異，所以要進行實體測試和細部調整改善。



圖五、雷射雕刻-向量圖 ai 繪製



圖六、雷射雕刻-向量圖切割調整

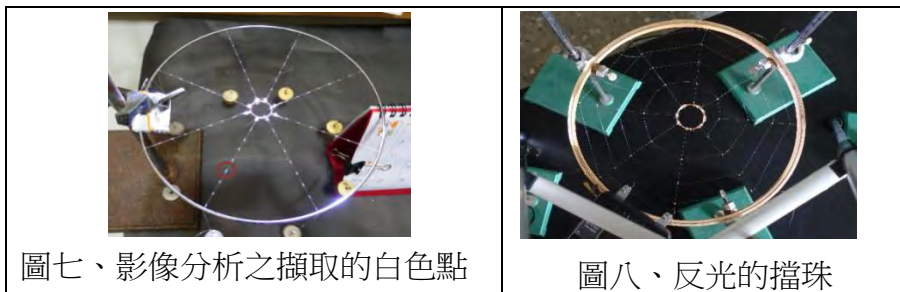


### (三)影像分析：

過去曾使用壓電蜂鳴器連接 Audacity 雖然可以快速的得數據，但壓電蜂鳴器的感測方式是將壓電板固定在釣魚線上，會干擾實驗裝置，實驗的精準度會下降。再改用 Tracker 進行影像分析，只要配合高速攝影機的拍攝，實驗數據一樣可以產生，相對來說也較精準，而且可以看到整個網面結構的模態。Tracker 同時可以分析擷取點的振幅、頻率，甚至可以藉由模態分析出各時間的振盪變化。

當 Tracker 擷取分析點時，因為釣魚線上並沒有色彩區分，導致無法擷取分析，經過嘗試後選擇使用立可白點出需擷取分析的數據點(左下圖，照片中的白色點即為立可白)。突破了無法進行影像分析的困難。

本次實驗改良的擋珠連接方法，擋珠本身就是金屬，所以在影像拍攝時，在左右打燈(開啟手電筒)，使金屬材質反光，可以有更明顯的分析點供 Tracker 軟體進行資料分析。



圖七、影像分析之擷取的白色點

圖八、反光的擋珠

### (四)使用設備介紹 Tracker 的操作：

使用高速攝影機拍攝，模擬結構的蜘蛛網面振盪，再將拍攝好的影片置入 Tracker 中進行影像分析，在匯出數據進行分析及圖表繪製。

開啟程式介面

載入影片

加入軸線當參考點和校正桿

選取要分析的點進行分析

分析過程時，同時檢查程式是否有擷取錯誤(黃框)。同時可以分析出數據及繪製折線圖(紅框)。在選取自己所需要的數據加以分析。

圖九、Tracker 的操作



### (五)振盪方式：

之前使用法碼撞擊的方式去測量半衰期，但這樣的撞擊方式，會造成每次的撞擊不穩定，造成其他不必要的影響，所以現在使用水波槽的製波器做為穩定的振源。機器可以控制在固定振幅和頻率，使振盪更穩定。



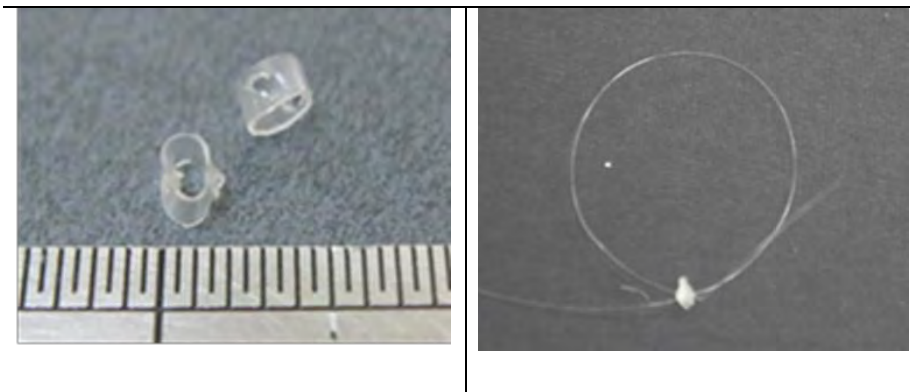
圖十、水波槽起波器

### (六) 改良後的圓網結構製作：

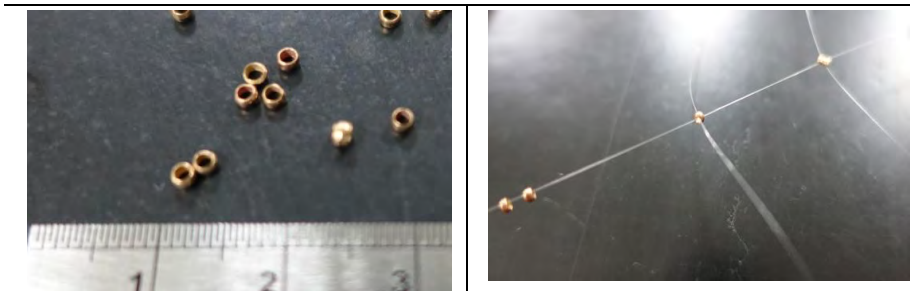
使用直徑 1mm 的擋珠，作為線與線之間的連接點，這樣的連接方法同時可以固定張力也不影響網面張力結構，也比之前的熱縮管的連接影響還要小(熱縮管連接點相較於擋珠大會影響網面的振盪與狀態，無法模擬出黏性絲結；此方法張力固定不需要在釣魚線上一一直垂釣著法碼，而造成砝碼振盪進而影響實驗)。



圖十一、蜘蛛網上的黏性絲結構，網點結構在交點，也有連接點上也會有網點結構



過去的釣魚線圓網結構連接點製作



釣魚線圓網結構連接點製作

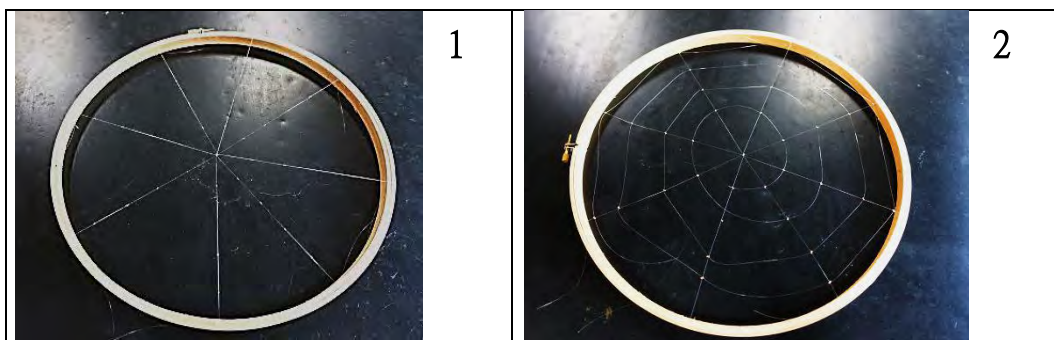
圖十二、圓網結構連接點

1. 放射性結構蜘蛛網面製作：

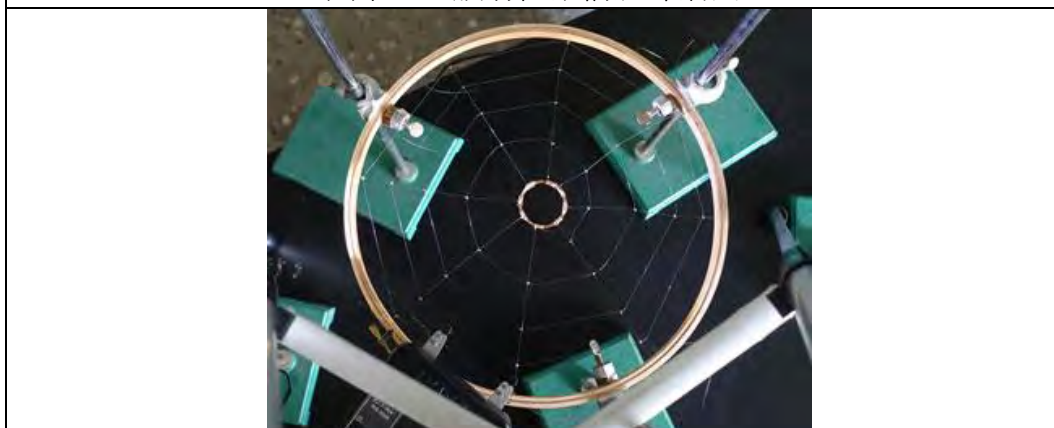
- (1) 先擷取釣魚線50公分的釣魚線四條。
- (2) 四條釣魚線同時穿過一個擋珠，再現的正中央將擋珠(直徑1mm)壓扁固定。
- (3) 在每條釣魚線上穿過四顆擋珠後，用膠帶固定螺帽在釣魚線的尾端。
- (4) 把木頭圓框(12吋)拆開，將內框固定在放射狀的釣魚線下方，同時要使擋珠位於木頭圓框(12吋)內，垂直拿起後，調整位置釣魚線的位置和夾角，再套上外框，將外框鎖牢。
- (5) 外框鎖牢後拆掉螺帽。

(以上為單純的放射性結構製做。)

- (6) 擷取250公分的釣魚線進行圓網結構的編製。
- (7) 先以點確定擋珠的位置，在開始穿過擋珠固定釣魚線，由內往外繞。
- (8) 在放射性結構線與線之間的擋珠穿過一條釣魚線，製做黏性絲結構，作為連接點。
- (9) 完成完整的圓網蜘蛛網結構。
- (10) 最後再將製作好的圓網結構固定到鐵架上開始進行實驗操作。



圖十三、放射性結構蜘蛛網面



圖十四、完整的圓網結構蜘蛛網網面

## 2. 圓網結構蜘蛛網網面製作：

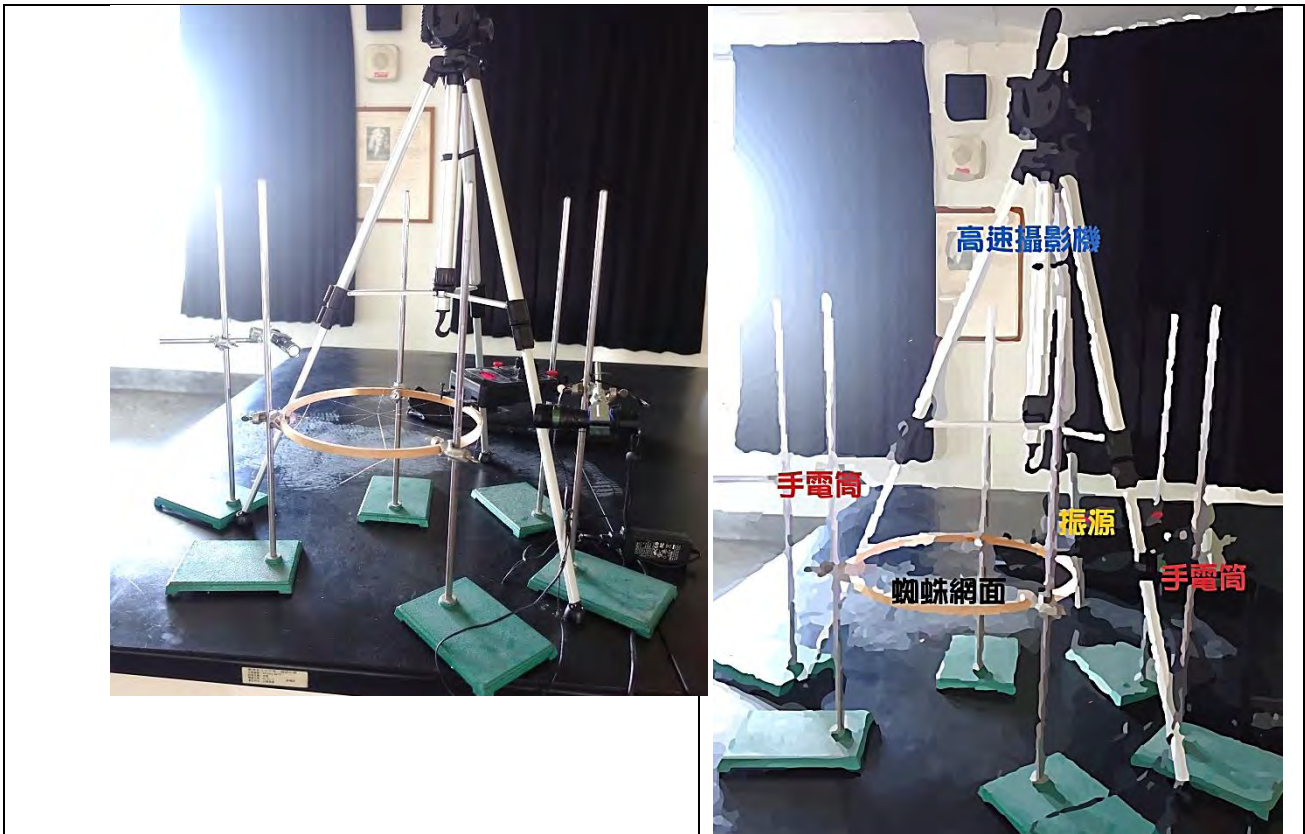
- (1) 先擷取釣魚線25公分的釣魚線8條。
- (2) 把釣魚線穿過緞帶夾上方的洞(每條釣魚線步驟相同)，把緞帶夾上方的洞壓平，將釣魚線固定在上方。
- (3) 再將緞帶夾下方的開口夾在是先用雷射雕刻機切的的木頭圓框上。
- (4) 固定後在每條釣魚線上穿過四個擋珠，用膠帶固定螺帽在釣魚線的尾端。
- (5) 把木頭圓框(12吋)拆開，將內框固定在放射狀的釣魚線下方，同時要使擋珠位於木頭圓框(12吋)內，垂直拿起後，調整位置釣魚線的位置和夾角，再套上外框，將外框鎖牢。
- (6) 擷取250公分的釣魚線進行圓網結構的編製。
- (7) 先以點確定擋珠的位置，再開始把釣魚線穿過擋珠固定，由內往外繞。
- (8) 在線與線之間的擋珠穿過一條釣魚線，製做黏性絲結構，作為線與線之間的連接點。
- (9) 完成完整的圓網蜘蛛網結構。
- (10) 最後再將製作好的圓網結構固定到鐵架上開始進行實驗操作。





### 三、研究方法

基本實驗架設圖：



- (一) 先將實驗器材擺放如上圖。
- (二) 再將事先做好的模擬蜘蛛網面在腳架上(用三個角架固定)。
- (三) 固定後用水平儀確定網面是否固定呈現水平，進行微調。
- (四) 在左右兩側架手電筒，開啟手電筒使擋珠反光，再分析數據時才能清楚的分析該點數據。
- (五) 高速攝影機架設到腳架上後，一樣也用水平儀測試是否呈現垂直狀態。
- (六) 確定水波槽起波器是否有在釣魚線的上方。
- (七) 開始進行實驗。





## (一) 探討網面結構不同所產生的振盪模態差異。

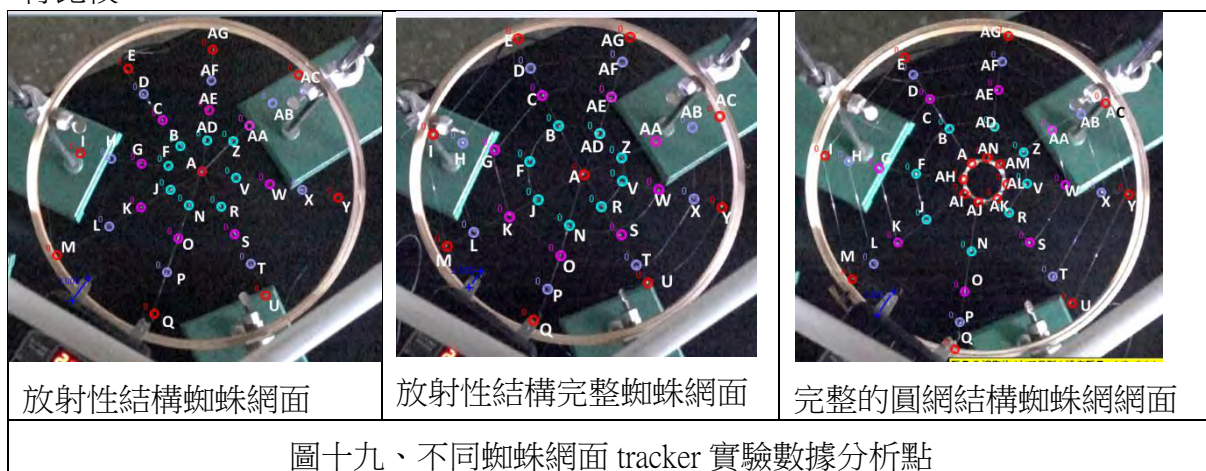
### 1. 比較圓網結構與放射性結構的振盪差異

- (1) 擺設出研究設備架設圖。
- (2) 在蜘蛛網面的架設位置擺放不同蜘蛛網面(如下圖：放射性結構蜘蛛網面、放射性結構完整蜘蛛網面、完整的圓網結構蜘蛛網面)。
- (3) 用三個腳架固定網面，在用水平儀確定蜘蛛網面是否呈現垂直水平擺設。
- (4) 調整水波槽起波器的打點距離木頭圓框(12 吋)，距離外框 2cm 距離。
- (5) 確定起波器的打點輕觸在釣魚線上。
- (6) 開啟水波槽起波器，設定頻率為 20Hz，撞擊釣魚線。
- (7) 使用高速攝影機進行拍攝，記錄波動。
- (8) 將影片匯入到 Tracker9.0，擷取所需分析的點進行分析。
- (9) 分析振盪振幅傳播。
- (10) 在分析數據點，比較數據繪製出等振圖。



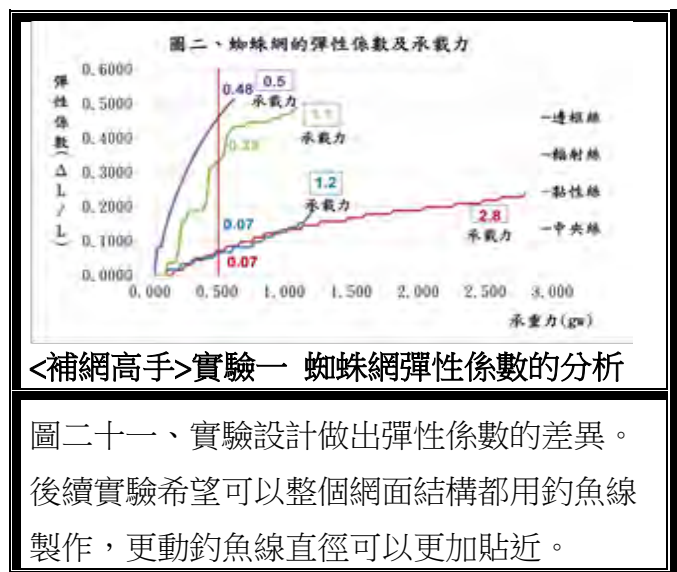
分析實驗數據：

在使用 tracker 分析時，為了方便同時比較三個不同網面的振幅差異，及不同網面的模態分析，所以皆將中心點設為”質點 A”，”質點 B”皆從左上的第一條釣魚線開始算起，所以”質點 B”~”質點 AG”接測量(不同網面)相同位置，利於直接進行比較。



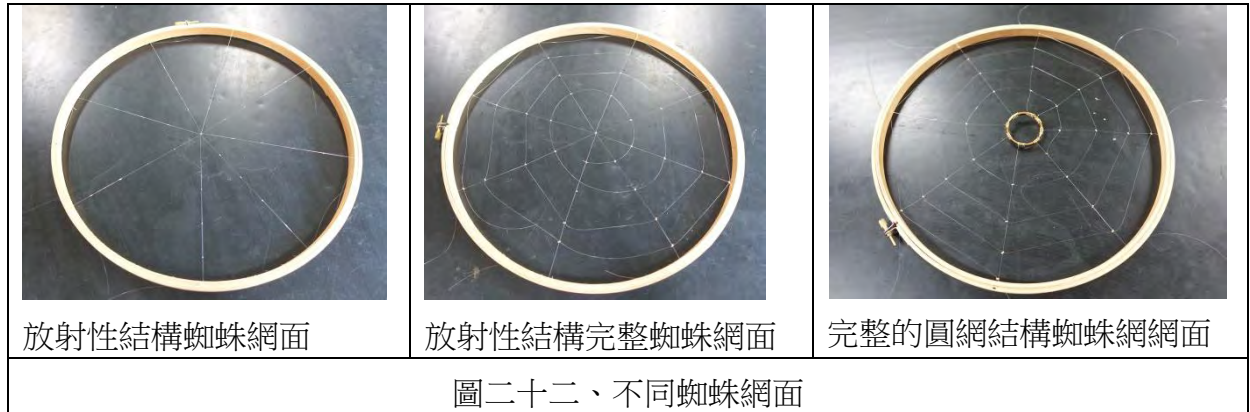
## 2.不同圓網結構材質的振盪差異：

- (1) 同上述實驗步驟。
- (2) 製作不同圓網結構材質(木頭圓框及釣魚線圓框)的完整圓網結構蜘蛛網網
- (3) 同樣用三個腳架固定網面，在用水水平儀確定蜘蛛網面是否呈現垂直水平擺設。
- (4) 調整水波槽起波器的打點距離木頭圓框(12 吋)，距離外框 2cm 距離。
- (5) 確定起波器的打點輕觸在釣魚線上。
- (6) 開啟水波槽起波器，設定頻率為 20Hz，撞擊釣魚線。
- (7) 使用高速攝影機進行拍攝，記錄波動。
- (8) 將影片匯入到 Tracker9.0，擷取所需分析的點進行分析。
- (9) 分析振盪振幅傳播。
- (10) 在分析數據點，比較數據繪製出等振圖。  
比較不同中央絲結構在不同頻率下的差異。



## (二) 振動頻率對圓網結構的振動模態分析。

- (1) 擺設出研究設備架設圖。
- (2) 在蜘蛛網面的架設位置擺放不同蜘蛛網面(如下圖：放射性結構蜘蛛網面、放射性結構完整蜘蛛網面、完整的圓網結構蜘蛛網面)。



- (3) 用三個腳架固定網面，在用水水平儀確定蜘蛛網面是否呈現垂直水平擺設。
- (4) 調整水波槽起波器的打點距離木頭圓框(12 吋)，距離外框 2cm 距離。
- (5) 確定起波器的打點輕觸在釣魚線上。
- (6) 開啟水波槽起波器，設定頻率為 10、15、20、25、30Hz(一次測量一組)(下圖為調整頻率位置)，撞擊釣魚線。
- (7) 使用高速攝影機進行拍攝，記錄波動。
- (8) 將影片匯入到 Tracker9.0，擷取所需分析的點進行分析。
- (9) 分析振盪振幅傳播。
- (10) 在分析數據點，數據繪製出等振圖。

比較不同網面結構在不同時間下的振盪強度差異。



## 伍、 研究原理

結構振動特性而言，除了「自然頻率」外，另一個名詞為「模態振型」，每一個「自然頻率」都有一個對應的「模態振型」，合稱之為「振動模態」(mode of vibration)，也可簡稱「模態」。

「振盪模態」為結構受到「自然頻率」相同以外之「外力激振頻率」作用，結構所呈現的振動型態。結構在振盪後會出現不同的振動型態，「節點」數量增加，結構正負交錯振盪現象也會越複雜。

大學的普物實驗室進行的克拉尼平面共振實驗，觀察二維平面上駐波振盪形成的圖形，會產生複雜的「波節」曲線和「波腹」曲線，排列在平面上形成特殊的圖樣。



本次實驗繪製的等振幅分布圖，與克拉尼共振實驗分析有異曲同工之妙。圓網結構外有蜘蛛網面的外框，由於木頭圓框邊緣有波的反射，因而產生干涉，形成不振動的「波節」與激烈振動的「波腹」，平面振動的波節排列在曲線上，就形成複雜的圖形。

本次實驗的蜘蛛網面振幅，利用起波器當作訊號來產生振動，觀察其產生特定頻率的共振並分析各個時間點的振幅強度。


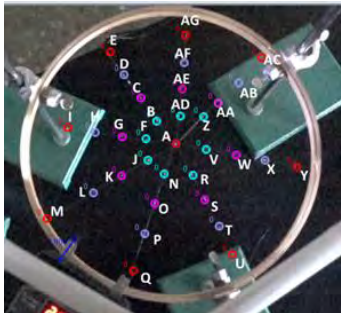
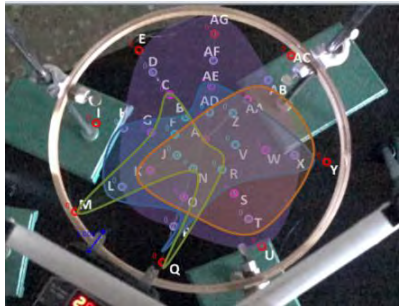

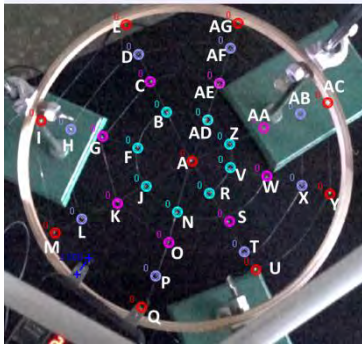
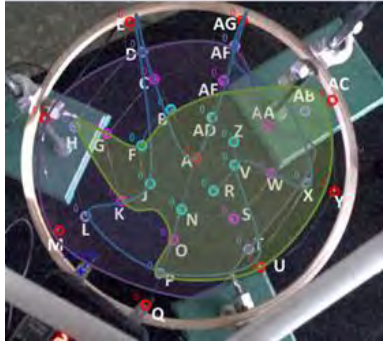


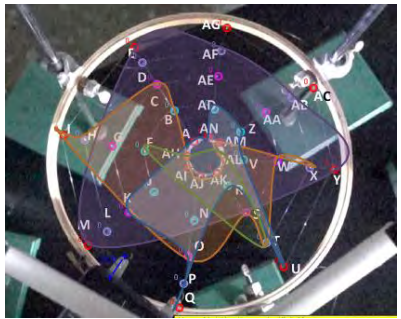


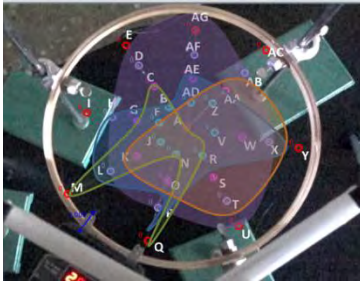
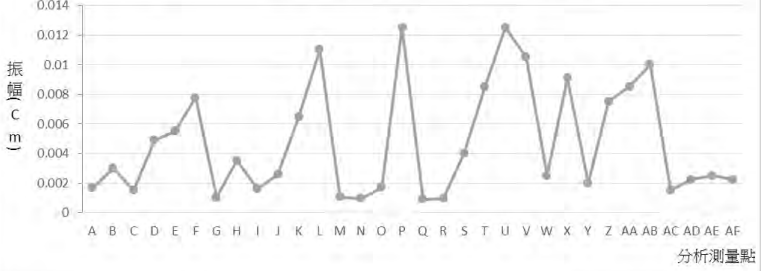
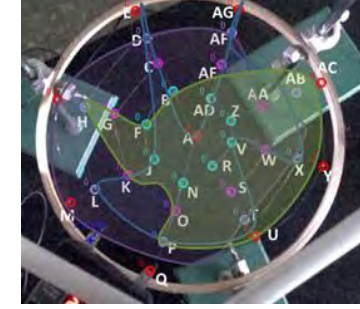
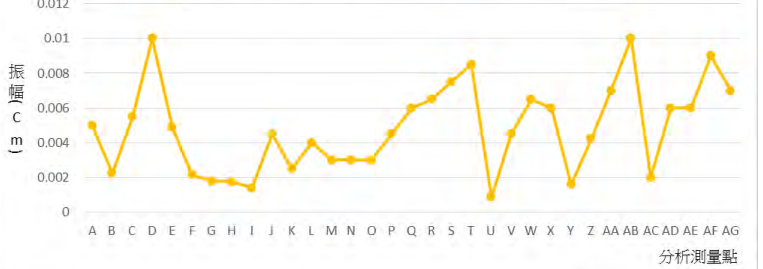


## 陸、 研究結果與討論

一、探討網面結構不同所產生的振盪模態差異。

(一) 比較圓網結構與放射性結構的振盪差異：

(Tracker的實驗數據分析點B~AG皆是相對位置。)

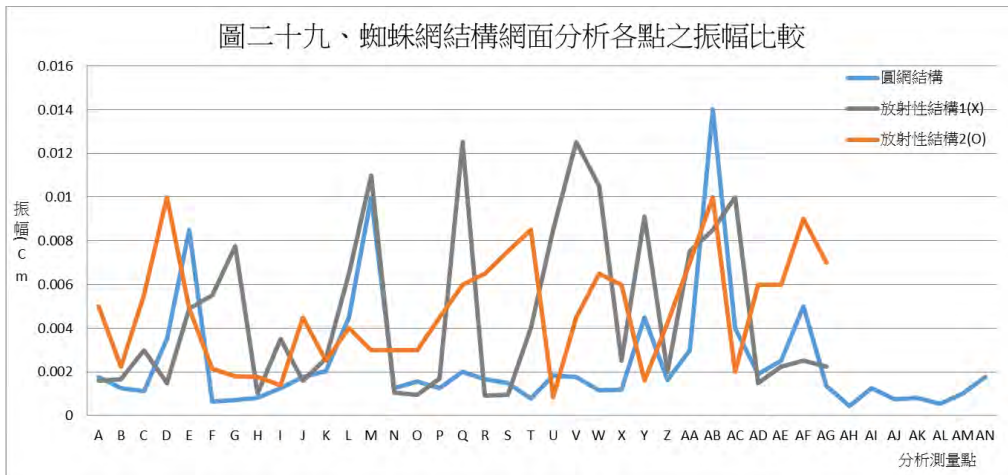
	網面結構	Tracker 分析點	振圖分析
放射性結構蜘蛛網面			
放射性結構完整蜘蛛網			
完整的圓網結構蜘蛛網			

	振圖分析	實驗測量數據
放射性結構蜘蛛網面		<p>圖二十六、放射性結構蜘蛛網面分析各點之振幅</p>  <p>可以看到連起來的振幅圖，能力是漸漸消失，符合能量傳遞，但能量散波速度較慢，在同頻率振盪下，與下面兩個實驗數據相比，振幅也比較高。</p>
放射性結構完整蜘蛛網		<p>圖二十七、放射性結構完整蜘蛛網面分析各點之振幅</p>  <p>實驗結果與上圖相似，符合能量傳遞，但等振幅線比上一個實驗結果少一圈，與上述實驗相比，蜘蛛網面的振頻因為中央絲結構的關係來小；在同頻率振盪下，與原網結網結構實驗數據相比，振幅也還是偏高。</p>
完整的圓網結構蜘蛛網面		<p>圖二十八、完整的圓網結構蜘蛛網面分析各點之振幅</p>  <p>實驗結果發現，可以看到等振幅圖的結果是非振源的蜘蛛網面那端，振幅明顯下降，與面兩圖匯出的結果完全不同。可以推知圓網結構個影響直接打散了能量傳遞；但在靠近振源的蜘蛛網面這端卻振幅較大，需要近一步探討網面震盪的傳遞方式。</p>

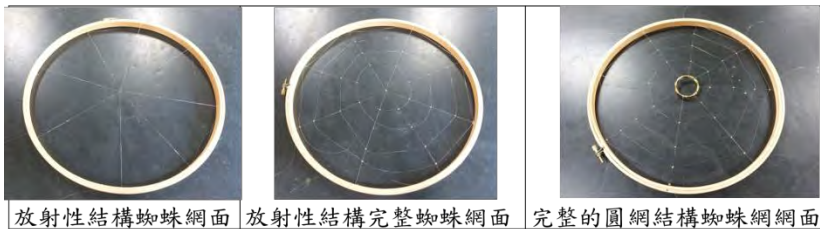


綜合比較：

(Tracker 的實驗數據分析點 B~AG 皆是相對位置。)

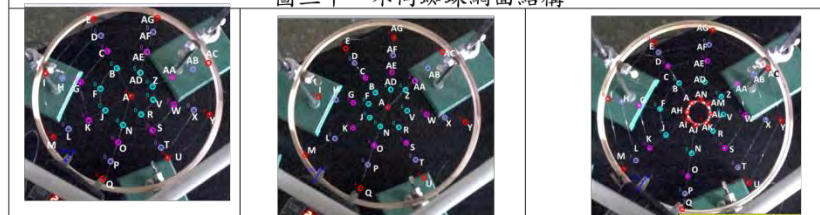


- 一、 放射性結構1(沒有黏性絲結構)，振幅普遍比放射性結構2(有黏性絲結構)的振幅還要高，說明黏性絲結構具有能量傳遞功能。
- 二、 點A都是網面最中間的點，很明顯的可以看出，黏性絲結構有無的差異性，因為圓網結構與放射性結構2都是具有黏性絲結構的，振幅比放射性結構來的低兩倍。
- 三、 圓網結構的振幅普遍比另外兩個放射性結構小，而圓網結構與放射性結構2的網面結構只差別在中間是否為中央絲結構，即可以明顯比較出兩者的振幅差異。
- 四、 圓網結構的蜘蛛網面，中央絲結構處呈現穩定低振幅。



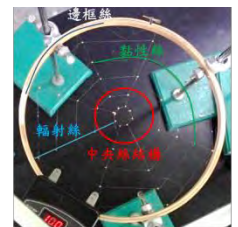
放射性結構蜘蛛網面 放射性結構完整蜘蛛網面 完整的圓網結構蜘蛛網面

圖三十、不同蜘蛛網面結構



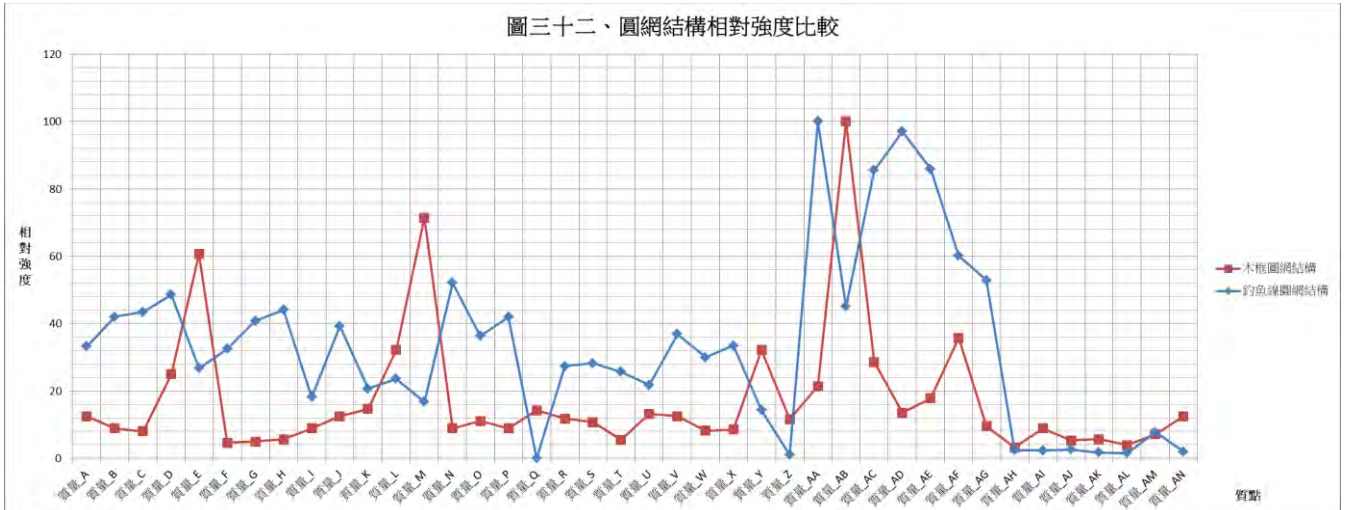
放射性結構蜘蛛網面 放射性結構完整蜘蛛網面 完整的圓網結構蜘蛛網面

圖三十一、不同蜘蛛網面tracker實驗數據分析點

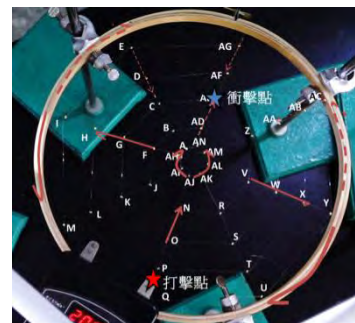
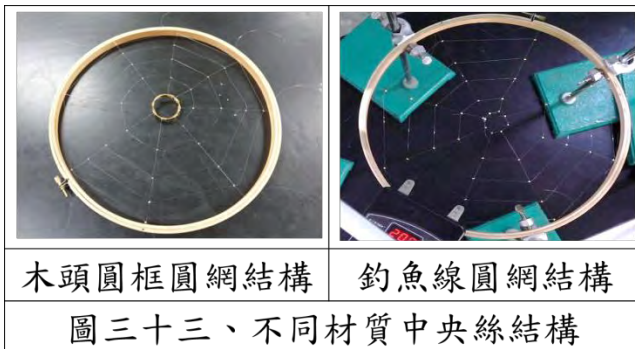


圖三十二、模擬蜘蛛網面結構示意圖

(二) 不同圓網結構材質的振盪強度差異。



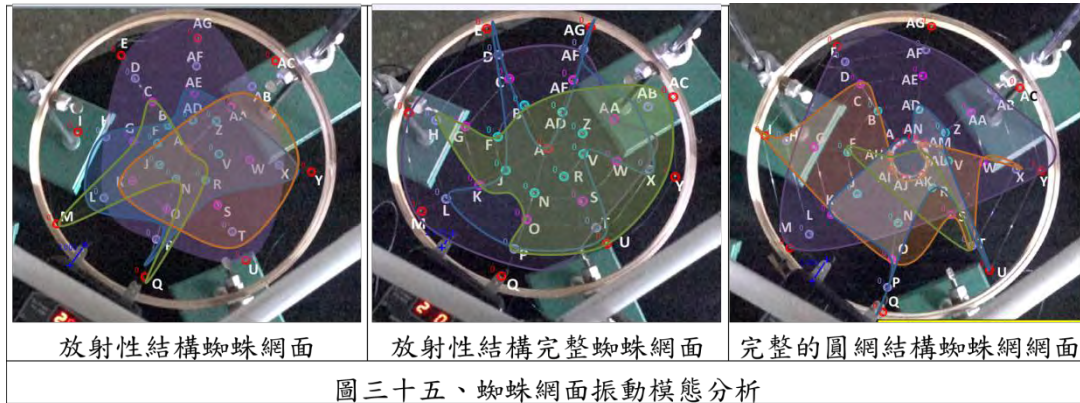
- 一、木頭圓框圓網結構，振幅普遍比釣魚線圓網結構的振幅還要小。木頭框圓網結構較重，原本應該是游離端的結構變成固定端，
- 二、點AH~AN就是網面的圓網結構，很明顯的可以看出，圓網結構與其他位置的震盪的差異性，圓網結構振幅極小。
- 三、在靠近衝擊點的測量點，振幅相較於打擊點大，能量的散步推測如右圖。
- 四、釣魚線圓網結構實驗較貼近於蜘蛛網面結構因為都是同一材質組成結構，振盪大於木框結構使蜘蛛能感測到網面。



圖三十四、模擬網面結構  
能量散失示意圖



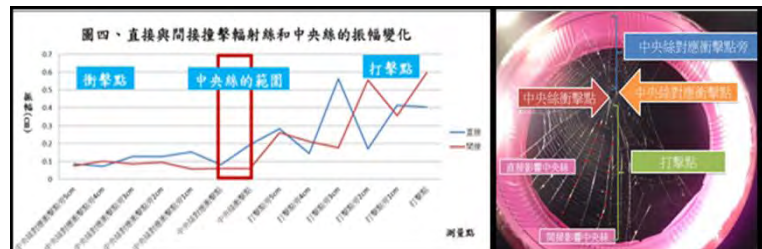
二、 振動頻率對圓網結構的振動模態分析。



圖三十五、蜘蛛網面振動模態分析

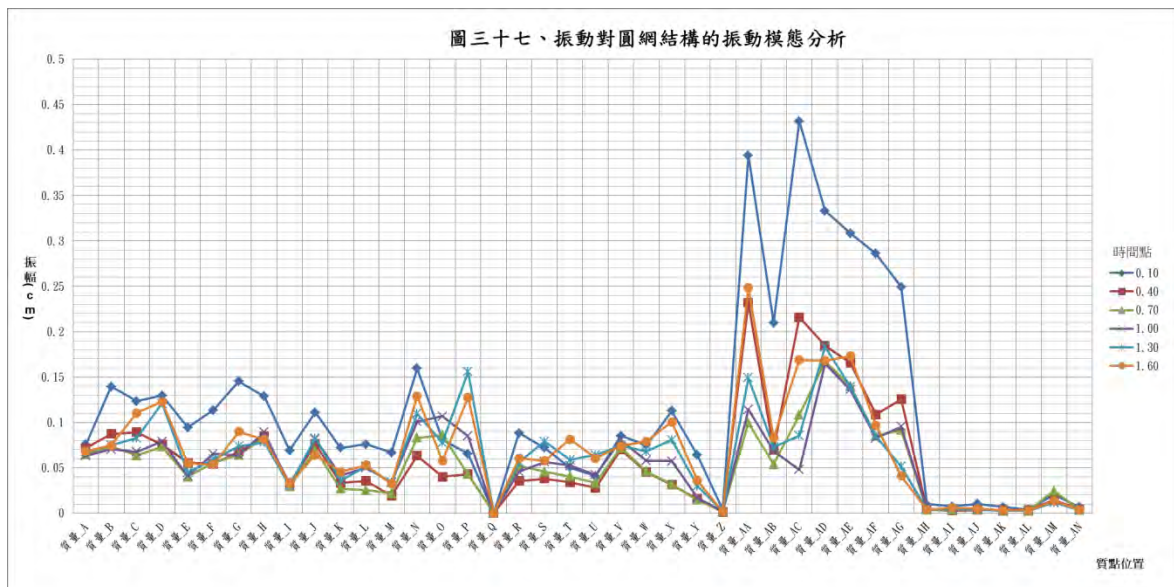
比較上面三個模態分析圖，可以發現到

- 一、放射形結構蜘蛛網面：可以看到連起來的振幅圖，振幅隨著與打擊點距離越遠越降小；在同頻率振盪下，與下面兩個實驗數據相比，振幅也比較大。
- 二、放射形結構完整蜘蛛網面：實驗結果與上圖相似，符合能量傳遞，但等振幅線比上一個實驗結果少一圈，與上述實驗相比，因為中央絲結構的存在使蜘蛛網面振幅較小；在同頻率振盪下，與圓網結構網結構實驗數據相比，振幅也還是較大。
- 三、完整的圓網結構蜘蛛網網面：實驗結果發現，可以看到能量散布圖的結果是振源端的蜘蛛網面，振幅明顯下降，與前面兩張沒有蜘蛛網面的圖匯出的結果不同。可以推知圓網結構直接影響了能量分布；但單一材質的蜘蛛網面結構在振源的蜘蛛網面這端卻振幅較大，需要藉由能量散布圖探討網面振盪的傳遞方式。



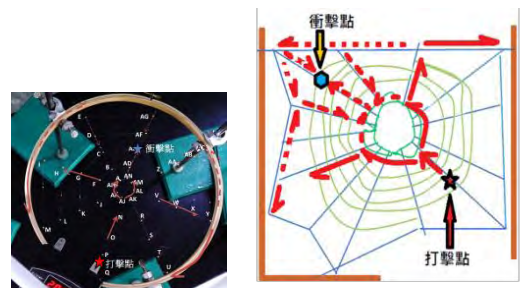
圖三十六、實體蜘蛛網實驗結果

可以看出來經過中央絲結構，振幅會小到趨近於零。與圓網結構的實驗結果相似。



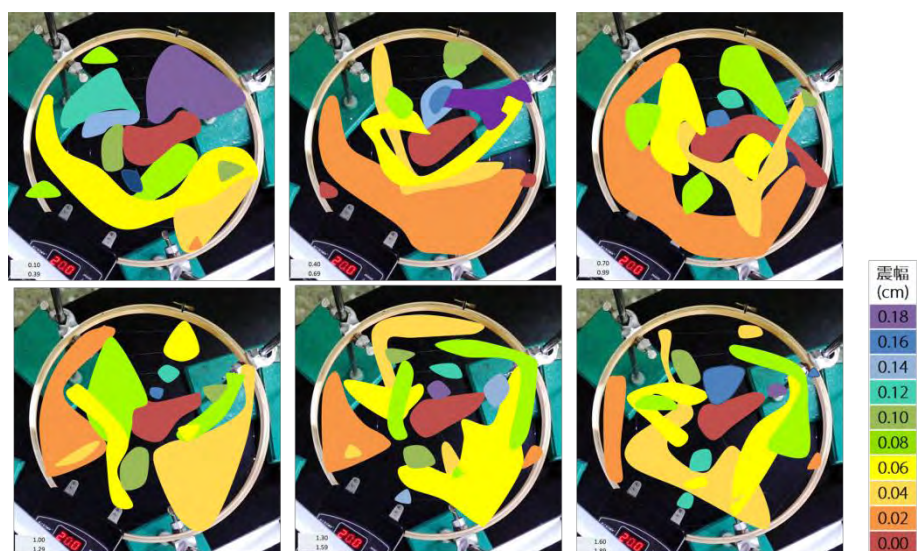
下圖為圓網結構的各個時間點的振幅分析等振圖，由Tracker影像分析中的實驗數據加以分析後描繪出來的能量分布情況。

- 一、 因為是由固定頻率當作振源，可以看到不同時間各個質點的振幅都不相同，尤其是衝擊點那端，振幅卻比打擊點端還要大，中央絲結構一直維持在低振幅狀態，不受其他點振幅影響，但中央絲結構的性質卻又不屬於固定端。



圖三十八、模擬網面結構能量散失示意圖

- 二、 蜘蛛網面結構在衝擊端時振幅較大，但在短時間內振幅又會快速下降，符合蜘蛛網面需要的型態，讓蜘蛛能感應到振盪進而推測出振源位置，同時也不破壞網面平衡。



圖三十九、圓網結構網面振盪模態強度分析圖

## 柒、 實驗結論與應用

本實驗目前研究成果包含：

### 一、探討網面結構不同所產生的振盪模態差異。

#### (一) 比較圓網結構與放射性結構的振盪差異：

從實驗一的結果可以得知蜘蛛網面受到中央絲結構的影響可以使振幅降低；在放射性結構的比較下，可以知道黏性絲結構類速同心圓的結構也可以幫助能量的傳遞，使網面振盪減小許多。

#### (二) 不同圓網結構材質的振盪差異：

實驗二的結果，在過去的實驗資料裡有嘗試比較中央絲結構的材質差異，中央絲結構與網面的材質越相近越利於能量傳遞，網面振盪也越小。

### 二、振動對圓網結構的振動模態分析：

在不同時間點上振幅大小在衝擊端與打擊端不同，蜘蛛網面結構在衝擊端時振幅較大，但在短時間內振幅又會快速下降，符合蜘蛛網面需要的型態，讓蜘蛛能感應到振盪進而推測出振源位置，同時也不破壞網面平衡。

### 三、應用發展：

本研究分析振動模態，提供仿生學應用方向，可將其應用在防振結構防護網、降落傘結構應用等，緩衝抗振二維結構上。研究成果會協助後續延伸實驗，把圓網特殊的抗振結構原理應用於生活中。

### 四、創見性：

#### (一) 振盪的方式

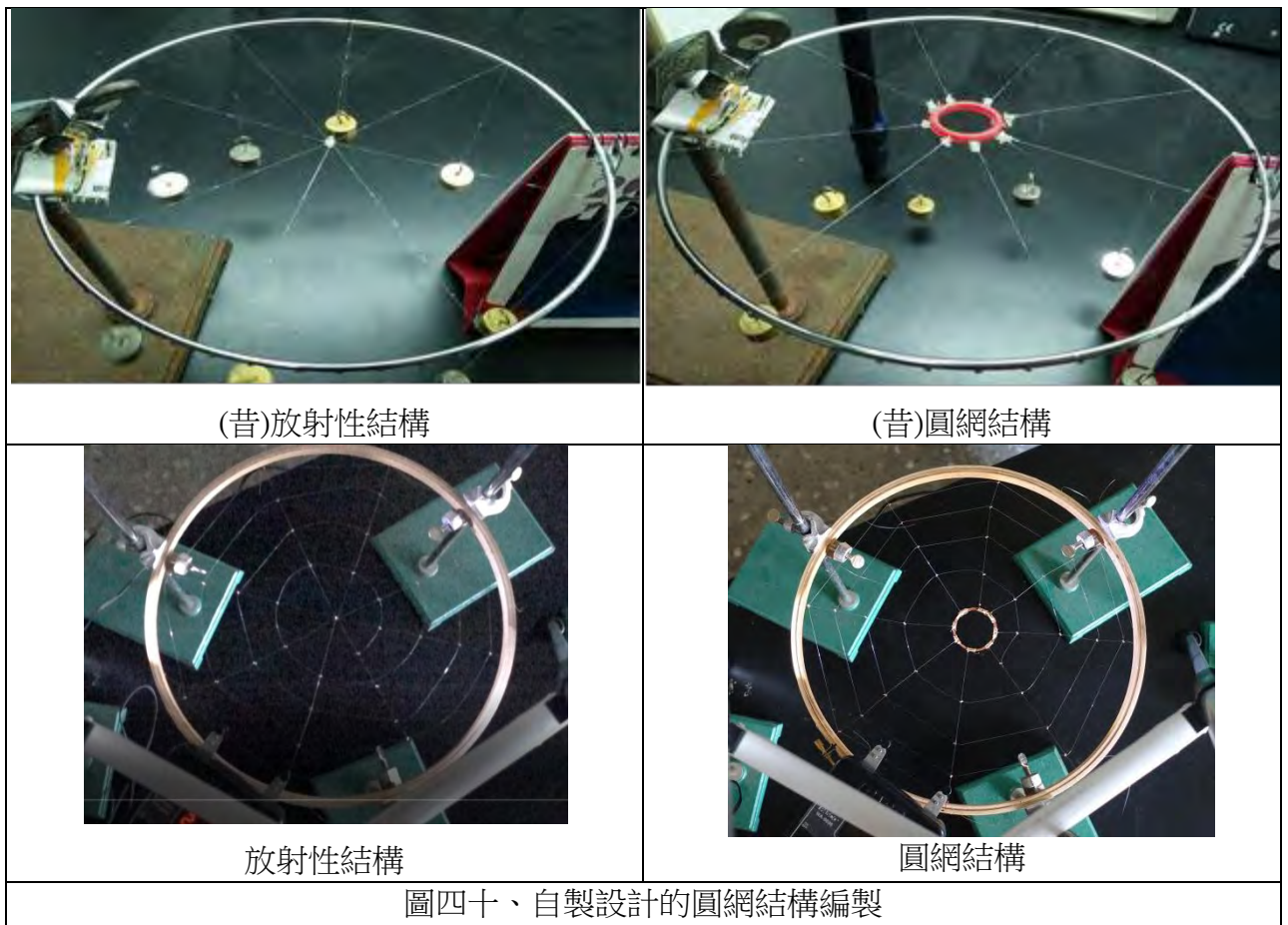
過去使用法碼撞擊，但因撞擊的角度偶爾會有偏差，會出現撞擊時的誤差，現在使用水波槽起波器，可以固定及容易調整振盪頻率大小，持續時間長且穩定，適合用來進行模態分析的振源。



## (二) 圓網結構的製作

過去使用自製設計的圓網結構編法，突破蜘蛛網面模擬的這項困難。釣魚線模擬出圓網結構，使用熱縮管當連接點固定線與線的交點，這樣的連接方法較沒有無法承受張力和製作時張力不均的疑慮。

本研究最特別的圓網結構編法再加以改良，用木頭圓框與釣魚線模擬圓網結構，模擬出圓網蜘蛛網的主要結構(中央絲)進行實驗，中間使用緞帶夾固定尼龍繩，蜘蛛網結構中有許多的連接點，使用擋珠作為本實驗的網點連接點固定，此次改良且突破模擬蜘蛛網的困難，模擬出來的蜘蛛網面也越來越貼近相似狀態的蜘蛛網面，這樣的連接方法較沒有無法承受張力和張力不均的疑慮。而且張力固定不需一直在釣魚線上掛著法碼，進而造成砝碼振盪之測量結果影響，藉由擋珠的連接方法成功做出黏性絲結構；未來可以藉由上述的擋珠連接法，讓整個網面結構都是相同為釣魚線材質，會更貼近蜘蛛網面的結構(相同為釣魚線材質)。

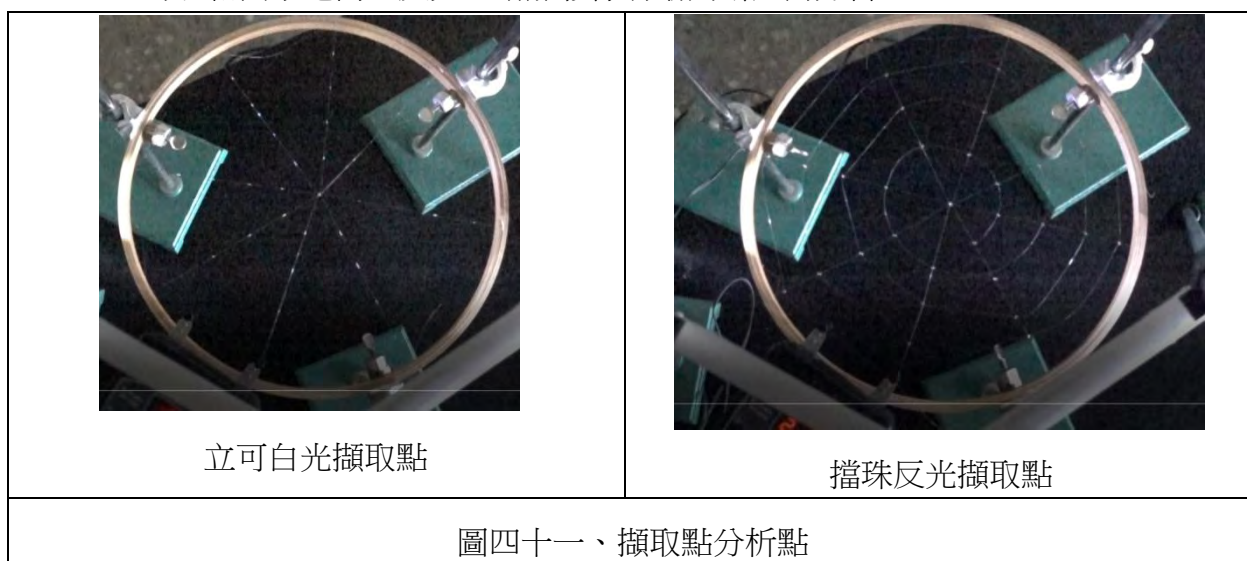


### (三) 影像分析擷取分析點的困境突破

過去使用壓電蜂鳴器連接Audacity取得數據，但壓電蜂鳴器固定在釣魚線上，產生了外力影響。現在改用Tracker進行影像分析，配合高速攝影機的拍攝，便可以擷取實驗數據，比較精準且可以看到整個網面結構的模態。同時可以分析擷取點的振幅、頻率，甚至可藉由模態分析出各時間的振盪變化。

釣魚線為均勻介質，並沒有色彩區分，導致無法用影像辨識擷取分析，經過嘗試後選擇使用立可白點出需擷取分析的數據點，採用立可白的原因是因為清晰且質量輕，幾乎不會造成網面張力的影響。

在本次實驗時完整的蜘蛛網結構製作，作為連接點的擋珠，本身是很輕的金屬，可以藉由手電筒燈反光，增加影像清晰判斷進而分析。



### 五、後續研究方向：

- (一)結網密度再更進一步的模擬，比較黏性絲結構圈數造成的二維振動模態。
- (二)打擊力量、振盪對中央絲結構及能量散佈的分析。
- (三)製作 3D 蜘蛛(八隻腳上裝感測器)模擬蜘蛛站在蜘蛛網的不同位置，感測振盪的差

## 捌、 參考資料

- 一、藍本榮(2012)人面蜘蛛-自然生態部落格 兒童天地 第552期~563期
- 二、中興大學(2012)普通物理實驗室[http://experiment.phys.nchu.edu.tw/EZphysics/ex\\_d.htm](http://experiment.phys.nchu.edu.tw/EZphysics/ex_d.htm)
- 三、國立清華大學(2016)實驗物理講義力學振盪。  
<http://www.phys.nthu.edu.tw/~exphy/Download/ex07v2.pdf>
- 四、林良達、蔡佳諺、何國龍 (2006)改變網球拍夾層結構對於球拍振動之影響。運動生物力學研究彙刊。
- 五、吳庭毓(2006)榔頭振動特性對使用影響之分析。  
<http://handle.ncl.edu.tw/11296/ndltd/79318258560367376962>
- 六、蔡金吾、洪瑞聰、黃奎綱、蕭錚(1994)不均勻介質中弦波形成駐波的研究。第34屆全國中小學科展作品。
- 七、(2013)阻尼振盪 共振、受迫和阻尼振動  
[http://www2.hkedcity.net/sch\\_files/a/fms/fms-physics/public\\_html/resource/pdf/a8-damping.pdf](http://www2.hkedcity.net/sch_files/a/fms/fms-physics/public_html/resource/pdf/a8-damping.pdf)
- 八、(2014)用運動感測器測量被動阻[http://www.anpico.com/f/ProductDetails\\_1181.html](http://www.anpico.com/f/ProductDetails_1181.html)
- 九、(2015)補網高手-人面蜘蛛結構對訊號阻隔的影響。臺中市103學年度國民中小學科學展覽作品。
- 十、(2017) 推「波」助「攔」－圓網結構對訊號衰減模式分析。臺中市105學年度科學展覽作品。
- 十一、 Laboratory for Robotics and Applied Mechanics(2016)  
[http:// research.engr.oregonstate.edu/lram/research#SpiderWebs](http://research.engr.oregonstate.edu/lram/research#SpiderWebs)
- 十二、國立臺灣大學普通物理實驗室(2018)克拉尼平面共振。  
<http://web.phys.ntu.edu.tw/gphyslab/modules/smartsection/item891a.html?itemid=29>
- 十三、王栢村(2018)振動知多少?  
[http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1\\_file/moeaidb/012565/Tno003.pdf](http://ebooks.lib.ntu.edu.tw/1_file/moeaidb/012565/Tno003.pdf)



## 【評語】 160028

設計不同的網狀結構來了解受力點與衝擊點相對關係的了解，提出圓網結構可以分散衝擊並有對稱性的衝擊點產生。模擬仿生架構並進行分析模擬，很有趣。建議可提出可多延伸的觀點與分析。