

# 中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學(一)科

032812

法網恢恢，疏而不漏-不同編織方法對網狀物恢復係數之影響

學校名稱：新竹市立光武國民中學

作者：  國二 陳冠丞	指導老師：  王俊凱
-------------------	------------------

關鍵詞：編織、恢復係數、剛度

# 摘要

本研究為解決儲氫瓶存放安全問題，利用測試儲氫瓶編織層的各项變因，來獲取最佳參數，使之安全性得以提升。實驗由編織材質、編織張力、編織密度、編織方式四方面切入進行探討，並於最後將二維的編織物推向三維的儲氫瓶進行模擬實驗。此外，為了提升實驗的精準度，降低實驗誤差，在實驗中使用 Arduino 系列感測器進行實驗。實驗結果得出在高編織張力、保留空隙的高編織密度，以及低編織角度的設定下，編織面的恢復係數及剛度較高，此時儲氫瓶也最為安全。

## 壹、前言

### 一、研究動機

隨著地球資源的持續耗竭，為了環保及永續發展而創造的發明也日益普及，氫能源車也逐漸出現在了眾人的視野中，但目前的氫能車面臨一個棘手問題：儲氫裝置的存放安全，因為高壓氣體在密閉環境裡具有爆炸的風險，為了解決此問題，我們使用釣魚線模擬儲氫罐之碳纖維編織層的排列方式並展開後續實驗。

【作品內圖表照片說明】本作品所有照片、圖片、圖表皆由作者自行拍攝、繪製。

### 二、研究目的

- (一) 不同材質對恢復係數之影響
- (二) 人手與機械手臂對實驗精確度之影響
- (三) 探討不同因素對恢復係數及剛度的影響
  1. 不同編織張力對恢復係數及剛度之影響
  2. 不同間隙大小對恢復係數及剛度之影響
  3. 不同編織方式對恢復係數及剛度之影響
  4. 不同綁線角度對恢復係數及剛度之影響
- (四) 儲氫瓶安全性模擬實驗

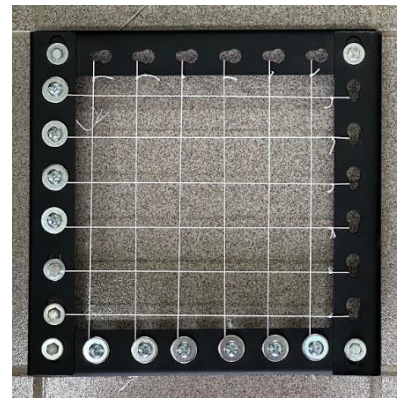


圖 1-1、網狀物圖示

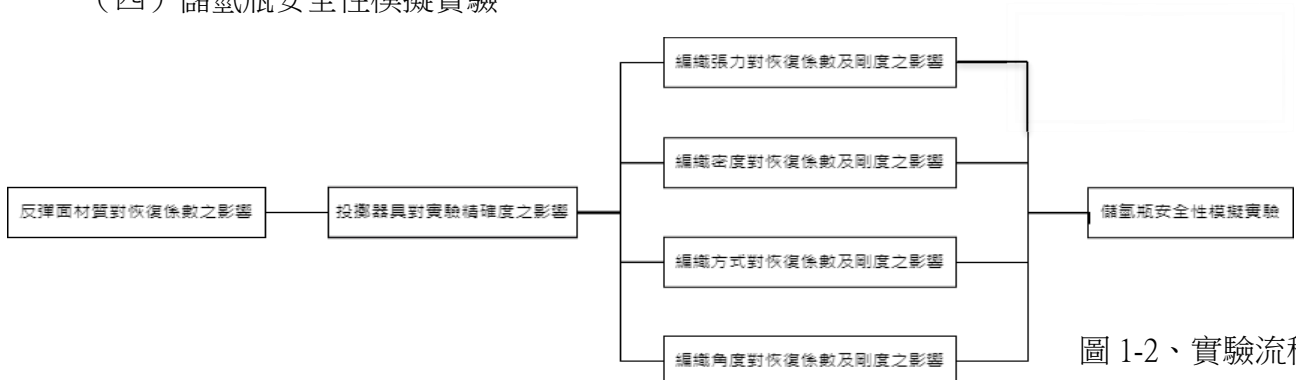


圖 1-2、實驗流程圖

### 三、文獻回顧

#### (一) 第 51 屆中小學科學展覽會「高『彈』闊論」

此實驗主要在實驗反映了球的不同參數與反彈的地面材質對反彈係數的影響，實驗使用投放球的方式測量反彈高度，其中反彈高度的實驗方式與球拍的製作方式為我們的實驗提供不錯的想法。但報告中未提及球拍編織的方式對球類的影響，故我們從反彈面的各項物理性質及排列方式進行入手，希望能藉此提高網狀物應用於儲氫瓶後的耐壓能力。

### 貳、研究設備及器材

這次的研究用材料分成五種，依序為框架用具、線材、實驗用具、測量用具、儲氫瓶用具等，各項使用到的材料規格與說明，整理成表 2-1 的內容。

表 2-1 研究材料規格說明表

材料項目	品項說明 1	品項說明 2	品項說明 3
框架用具	角鋼材 (8 洞, 圓徑 13mm, 厚度 2mm)	洞洞鐵 (16 洞, 圓徑 10mm, 厚度 2mm)	螺絲組 (圓頭 5/16*3/4 螺絲, M6 螺母)
			
線材	釣魚線 (線徑 0.6mm)		棉線 (線徑 0.6mm)
			
	水晶線 (線徑 0.6mm)		蠟線 (線徑 0.6mm)
			

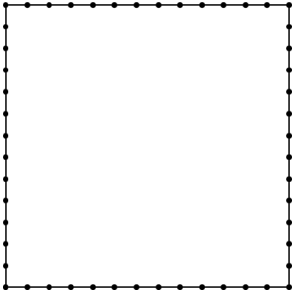
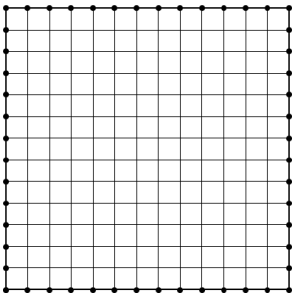
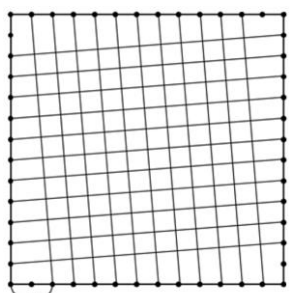
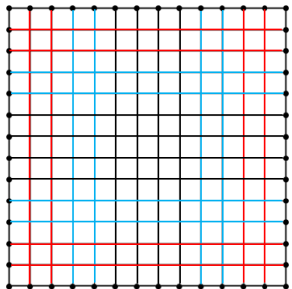
材料項目	品項說明 1	品項說明 2	品項說明 3
實驗用具	保麗龍球 (體積 450cm <sup>3</sup> 、重量 9.8g)	6000 ml 水桶 (作為重物吊重用)	
			
測量用具	Arduino 超音波感測器	Arduino Uno 控制板	Arduino 機械手臂
			
儲氫瓶用具	Phrozen Mini 3D 列印機	Phrozen 光固化樹脂	打氣機
			
	封口蠟膜		吸管 (長度 20cm)
			

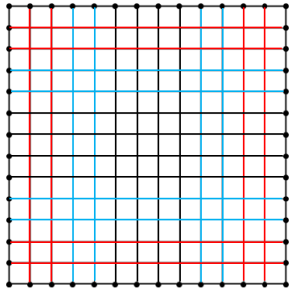
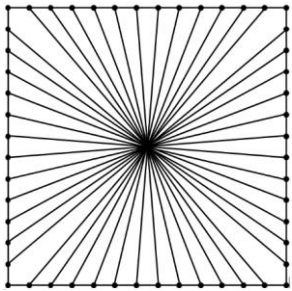
## 參、研究設計與方法

### 一、編織物製作

此研究首先是編織物的製作，利用角鋼及洞洞鐵框架作為編織的框架，使用了井字織、斜邊 n 格井字織、重力分散織、重力集中織、交匯集中織等五種編織方式，進行不同編織方式的實驗與儲氫瓶編織層抗壓力的測試，詳細說明彙整在表 3-1 內。

表 3-1 編織物製作與圖示彙整表

實驗器具/編織形式	製作方式	示意圖
洞洞鐵框架	將四段角鋼或洞洞鐵兩尾端分別垂直疊放，並使用螺絲鎖緊製成正方形框架。	
井字織	將線一端綁在角鋼上，並在另一端垂掛重物再用螺絲組鎖緊，接著重複上述動作織成井字狀。	
斜邊 n 格井字織	同井字織之綁線方式，但將綁線時所連接兩點改變綁線角度。	
重力分散織	同井字織之編織方式，但分別控制周圍及中央的八條線磅數為 3kgw 和 1kgw，其餘線磅數則為 2kgw。	 <p data-bbox="1093 1910 1380 2033"> <span style="color: black;">●</span>表示 1kgw 磅數之線  <span style="color: blue;">●</span>表示 2kgw 磅數之線  <span style="color: red;">●</span>表示 3kgw 磅數之線         </p>

<p>重力集中織</p>	<p>同井字織之編織方式，但分別控制周圍及中央的八條線磅數為 1kgw 和 3kgw，其餘線磅數則為 2kgw。</p>	 <p>●表示 1kgw 磅數之線 ●表示 2kgw 磅數之線 ●表示 3kgw 磅數之線</p>
<p>交匯集中織</p>	<p>同井字織之編織方式，但分別將最左端之洞連接最右端的洞，第二左的洞連接第二右的洞，以此類推編織成網狀。</p>	

※ n 定義為四邊形框架頂點至右方相鄰 n+1 格上的點（即所綁線與原直線角度差  $\theta = \tan^{-1} \frac{n}{14}$ ）。

在名詞定義上，分別將「恢復係數」與「剛度」的計算公式及意涵說明如下：

1. 恢復係數定義

恢復係數（Cr）：用以衡量兩個物體在碰撞後的反彈程度之值。

公式： $Cr = \sqrt{\frac{H}{h}}$ （h是物體掉落前的高度，H是物體回彈的高度）。

2. 剛度定義

剛度（k）：表示材料或結構抵抗形變的能力。

公式： $k = \frac{P}{\delta}$ （P是施力，δ是形變量）。

二、實驗設計

這次的研究我們設計了 13 次的實驗，依據研究目的逐項設計了「不同反彈面對恢復係數之影響、人手與機械手臂對實驗精確度之影響、不同編織張力對恢復係數之影響、不同編織張力對剛度之影響、不同編織密度對恢復係數之影響、不同編織密度對剛度之影響、不同編織方式對恢復係數之影響、不同編織方式對剛度之影響、不同綁線角度對恢復係數之影響、不同綁線角度對剛度之影響、特殊編織方式對恢復係數之影響、特殊編織方式對剛度之影響、儲氫瓶安全性實驗」等，詳細彙整在表 3-2 的內容敘述。

表 3-2 實驗名稱、目的、方法與器材說明彙整表

序號	實驗名稱	實驗目的	實驗方法	實驗器材
1.	不同反彈面對恢復係數之影響	探討不同材質的反彈面是否對恢復係數有影響。	用五種不同材質的反彈面進行測試。	角鋼材、螺絲組、釣魚線、棉線、水晶線、蠟線、保麗龍球、重物。
2.	人手與機械手臂對實驗精確度之影響	研究機械手臂與人手投擲的穩定性。	改變投擲器具（人手與機械手臂）進行實驗。	角鋼材、螺絲組、釣魚線、保麗龍球、機械手臂、重物。
3.	不同編織張力對恢復係數之影響	探討線的磅數是否會改變網狀物的恢復係數。	改變綁線時線所垂掛之重物磅數（1kg~4kg）。	角鋼材、螺絲組、釣魚線、保麗龍球、機械手臂、超音波感測器、重物。
4.	不同編織張力對剛度之影響	探討線的磅數是否會改變網狀物的剛度。	改變綁線時線所垂掛之重物磅數（1kg~4kg）。	
5.	不同編織密度對恢復係數之影響	探討綁線時的排列密度是否會改變網狀物的恢復係數。	改變綁線時線的排列密度（間隙 2cm 與 4cm）。	洞洞鐵、螺絲組、釣魚線、保麗龍球、機械手臂、超音波感測器、重物。
6.	不同編織密度對剛度之影響	探討綁線時的排列密度是否會改變網狀物的剛度。	改變綁線時線的排列密度（間隙 2cm 與 4cm）。	
7.	不同編織方式對恢復係數之影響	探討改變編織方式是否會改變網狀物的恢復係數。	改變綁線的方向（井字織與斜邊一格井字織）。	
8.	不同編織方式對剛度之影響	探討改變編織方式是否會改變網狀物的剛度。	改變綁線的方向（井字織與斜邊一格井字織）。	
9.	不同綁線角度對恢復係數之影響	研究綁線角度是否會改變網狀物的恢復係數。	改變綁線的角度。（斜邊一~六格井字織）。	
10.	不同綁線角度對剛度之影響	研究綁線角度是否會改變網狀物的剛度。	改變綁線的角度。（斜邊一~六格井字織）。	
11.	特殊編織方式對恢復係數之影響	找出其他可能影響恢復係數之變因。	測試其他的三種特殊編法。	

序號	實驗名稱	實驗目的	實驗方法	實驗器材
12.	特殊編織方式對剛度之影響	找出其他可能影響剛度之變因。	測試其他的三種特殊編法。	
13.	儲氫瓶安全性實驗	將編織面用三維的方式鋪在儲氫瓶上，進行模擬。	使用3D列印儲氫容器進行模擬，並測量強度。	3D 列印機、樹脂、打氣機。

## 肆、實驗結果和分析

### 實驗一、不同反彈面對恢復係數之影響

#### 一、實驗步驟

1. 將釣魚線、棉線一端綁在角鋼上，並在另一端垂掛 3kgw 重物再用螺絲組鎖緊。
2. 重複上述動作織成井字狀。
3. 將保麗龍球於高度 49.5 公分處投下，使之墜落於不同反彈面（釣魚線、棉線、水晶線、蠟線、磁磚地）上，再用攝影機錄起來。
4. 紀錄保麗龍球回彈至最高點時高度十次並取平均值作為數據。

※作為成功數據標準：保麗龍於第二次彈跳之落點位於網狀物上。



圖 4-1、實驗裝置

#### 二、實驗數據

為了瞭解不同反彈面對恢復係數之影響，我們用了釣魚線、棉線、水晶線、蠟線、磁磚地等五種實驗材料，並使用磅數 3kgw 的井字織進行編織，進行 10 次的保麗龍球反彈實驗，實驗結果的數據紀錄在表 4-1 裡。

表 4-1 保麗龍球在不同材質反彈面的回彈高度實驗參數紀錄表

實驗材料	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均
磁磚地	16.7cm	18.6cm	19.3cm	19.1cm	19.1cm	19.5cm	19.0cm	20.0cm	18.7cm	19.1cm	18.91cm
棉線	39.1cm	38.7cm	39.1cm	39.0cm	40.7cm	<b>44.6cm</b>	39.1cm	38.7cm	41.0cm	42.7cm	40.27cm
釣魚線	<b>40.1cm</b>	<b>41.7cm</b>	<b>42.0cm</b>	<b>43.1cm</b>	<b>41.9cm</b>	43.2cm	<b>44.0cm</b>	<b>41.1cm</b>	<b>42.0cm</b>	<b>42.9cm</b>	<b>42.20cm</b>
水晶線	36.9cm	35.3cm	36.6cm	36.4cm	37.5cm	37.2cm	35.1cm	36.6cm	34.7cm	35.2cm	36.15cm
蠟線	31.3cm	29.9cm	32.2cm	29.2cm	32.6cm	30.3cm	31.0cm	32.9cm	28.7cm	30.2cm	30.83cm



從表 1 和表 2 中可發現，井字織法之反彈面的彈跳高度皆大於磁磚地面，且在相同磅數、織法、線徑的反彈面中，又以釣魚線的恢復係數最高。另外，實驗過程容易因球彈跳出去而失敗，且在過程中，使用手持的方式讓球自由落下，容易導致球的落點不一、數據不夠精確，故施放的過程也可能影響實驗結果。

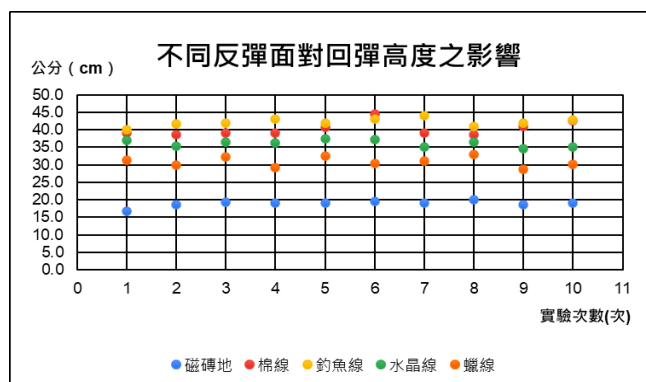


圖 4-2、保麗龍球在不同材質反彈面的回彈高度

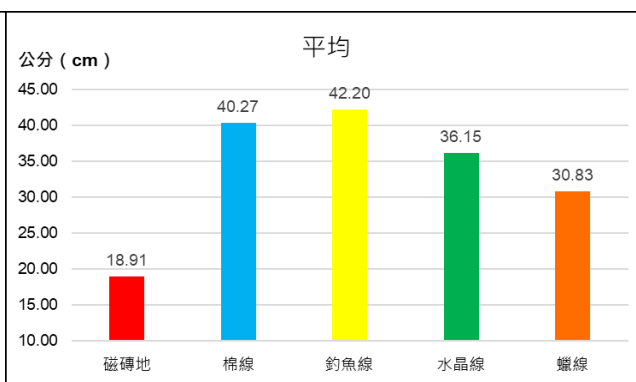


圖 4-3、保麗龍球在不同材質反彈面的平均

表 4-2、保麗龍球在不同反彈面的恢復係數

實驗材料	恢復係數
磁磚地	0.436
棉線	0.788
釣魚線	0.813
水晶線	0.734
蠟線	0.656

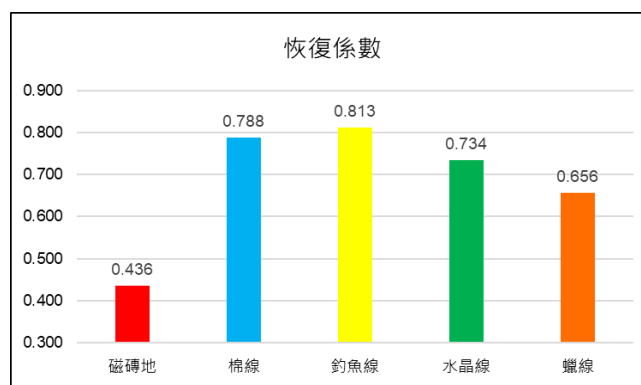


圖 4-4、保麗龍球在不同反彈面的恢復係數

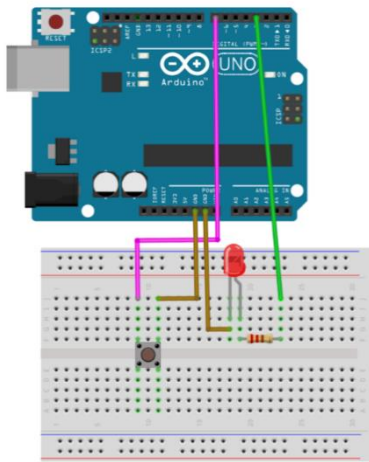
### 三、結論

1. 根據表 4-2 和圖 4-4，恢復係數：釣魚線編織面 > 棉線編織面 > 水晶線編織面 > 蠟線編織面 > 磁磚面，可見韌性適中材質之編織物的恢復係數較高，較適合作為代替碳纖維之材料。
2. 我們將以釣魚線作為編織面材料進行後續實驗操作。
3. 因在實驗中發現施放的精確度會影響實驗，故在下個實驗針對投擲器具切入，探討人手與機械手臂的實驗成功率。

## 實驗二、人手與機械手臂對實驗精確度之影響

### 一、實驗步驟

1. 將釣魚線一端綁在角鋼上，並在另一端垂掛 1kg 重物再用螺絲組鎖緊。
2. 重複上述動作織成井字狀。
3. 將保麗龍球於高度 49.5 公分處分別用人手與機械手臂投下，使之墜落於反彈面上，再用攝影機錄起來。
4. 紀錄保麗龍球回彈至最高點時高度十次並取平均值作為數據。  
※作為成功數據標準：保麗龍於第二次彈跳之落點位於網狀物上。
5. 將重物改成 2kgw、3kgw 並重複步驟 1~4。



### 機械手臂擲球方式說明：

1. 長按按鈕並等待機械手臂爪子（Gripper程式部分）張開至最大幅度之時。
2. 將保麗龍球直徑最長部分水平對準機械手臂爪子。
3. 對準後放入保麗龍球並放開按鈕使爪子閉合。
4. 確認位置正確後再度長按按鈕使保麗龍球得以落於網狀物之正中央位置。

圖 4-5、Arduino Uno 接線示意圖

```
#include "BraccioV2.h"
Braccio arm;
const int BUTTON_PIN = 7;
int buttonState = 0;

#define GRIPPER_CLOSED 85
#define GRIPPER_OPENED 20

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Initializing... Please Wait");

  arm.setJointCenter(WRIST_ROT, 90);
  arm.setJointCenter(WRIST, 90);
  arm.setJointCenter(ELBOW, 90);
  arm.setJointCenter(SHOULDER, 90);
  arm.setJointCenter(BASE_ROT, 90);
  arm.setJointCenter(GRIPPER, 50);
  pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);

  arm.setJointMax(GRIPPER, 100);
  arm.setJointMin(GRIPPER, 15);

  arm.begin(true);
  Serial.println("Initialization Complete");
}

void loop() {
  buttonState = digitalRead(BUTTON_PIN);

  if(buttonState == LOW){
    arm.safeDelay(3000);
  }else{
    closeGripper();
  }

  arm.safeDelay(3000);
}

void openGripper(){
  arm.setOneAbsolute(GRIPPER, GRIPPER_OPENED);
}

void closeGripper(){
  arm.setOneAbsolute(GRIPPER, GRIPPER_CLOSED);
}
```

圖 4-6、Arduino Uno 機械手臂程式

## 二、實驗數據

為了探討使用機械手臂能否提升保麗龍球的穩定性，我們使用不同磅數的反彈面並分別用人手與機械手臂進行十次投擲，得出標準差與成功機率，實驗結果如表 4-3。

表 4-3、保麗龍球用人手與機械手臂投擲的標準差與成功機率實驗參數紀錄表

磅數	投擲器具	標準差	成功次數/實驗次數	成功機率
1kgw	人手	0.54	10/43	23.3%
	機械手臂	<b>0.49</b>	10/11	<b>90.9%</b>
2kgw	人手	0.75	10/48	20.8%
	機械手臂	<b>0.45</b>	10/12	<b>83.3%</b>
3kgw	人手	0.66	10/51	19.6%
	機械手臂	<b>0.51</b>	10/13	<b>76.9%</b>

從表 4-3 中得知，雖然使用機械手臂無法保證每次實驗都能成功，但**機械手臂**不論是**標準差**或是**成功率的穩定度**都**優於人手**甚多。從數據中也發現，三磅數的標準差無太大差別，但**成功機率**卻**隨著磅數增加而降低**。

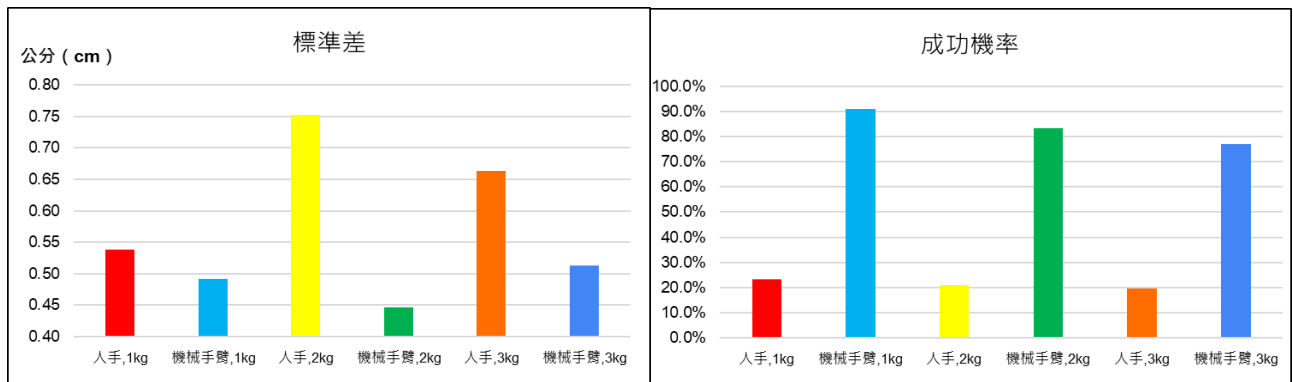


圖 4-7、人手與機械手臂投擲的標準差

圖 4-8、人手與機械手臂投擲的成功機率

## 三、結論

1. 根據圖 4-7 與 4-8 可知，標準差：機械手臂 < 人手（**機械手臂誤差值較小**），成功率：機械手臂 > 人手（**機械手臂有效增加實驗效率**），故機械手臂得以有效提升實驗的穩定性，因此之後將使用機械手臂進行實驗。
2. 磅數低之網狀物成功機率較高，故**磅數高的網狀物穩定度比較低**。
3. 確定磅數對穩定性有影響後，我們在下個研究接著探討磅數對恢復係數的影響。

### 實驗三、不同編織張力對恢復係數之影響

#### 1. 實驗步驟

1. 將釣魚線、棉線一端綁在角鋼上，並在另一端垂掛 1kgw 重物再用螺絲組鎖緊。
2. 重複上述動作織成井字狀。
3. 將保麗龍球於高度 49.5 公分處投下，使之墜落於反彈面上，再用攝影機錄起來。
4. 紀錄保麗龍球回彈至最高點時高度十次並取平均值作為數據。  
※作為成功數據標準：保麗龍於第二次彈跳之落點位於網狀物上。
5. 將重物改成 2kgw、3kgw、4kgw 並重複步驟 1~4。

#### 2. 實驗數據

為了探討綁線時線的磅數，也就是網狀物的張力是否會影響反彈面的恢復係數，我們分別垂掛 1kg~4kg 的重物並進行十次投擲，實驗結果如下表 4-4。

表 4-4、保麗龍球在不同反彈面編織張力的回彈高度實驗參數紀錄表

磅數	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均
1kgw	40.6cm	39.9cm	39.5cm	39.6cm	40.5cm	40.4cm	40.2cm	40.5cm	39.5cm	39.4cm	40.01cm
2kgw	40.7cm	41.5cm	41.0cm	41.4cm	41.6cm	41.1cm	42.2cm	41.2cm	41.9cm	41.3cm	41.39cm
3kgw	42.8cm	41.9cm	42.5cm	43.0cm	42.9cm	42.3cm	42.8cm	41.7cm	42.7cm	43.1cm	42.57cm
4kgw	43.8cm	44.5cm	42.5cm	43.1cm	43.2cm	44.3cm	44.1cm	44.7cm	43.6cm	44.3cm	43.81cm

從表 4-4 數據中可以發現，隨著磅數越大，恢復係數也會越大。另外，雖然此魚線正常可以承受 20kgw 左右的重量，但在製作 4kgw 磅網狀物時魚線易在節點處斷裂，可能是因節點處的摩擦力過大導致。因在實驗中發現網狀物在承受重量時形變量也各有所不同，故剛度的方面也需進行討論。

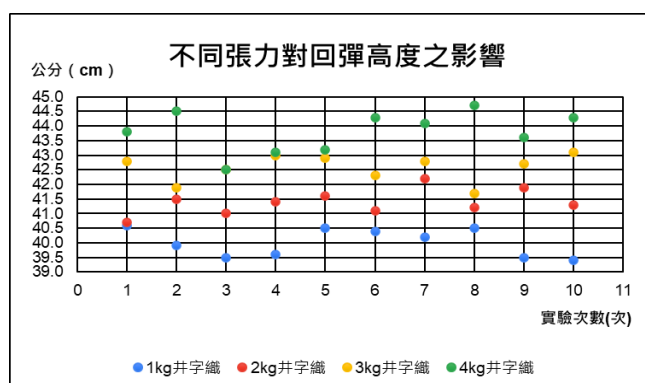


圖 4-9、保麗龍球在不同張力反彈面的回彈高度

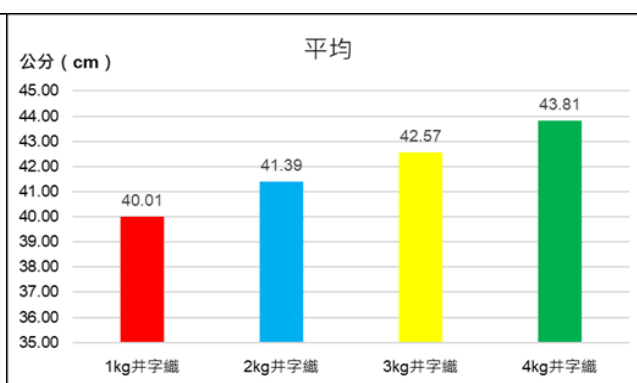


圖 4-10、保麗龍球在不同張力反彈面的平均

表 4-5、保麗龍球在不同張力反彈面的恢復係數

磅數	恢復係數
1kgw	0.785
2kgw	0.803
3kgw	0.817
4kgw	0.833

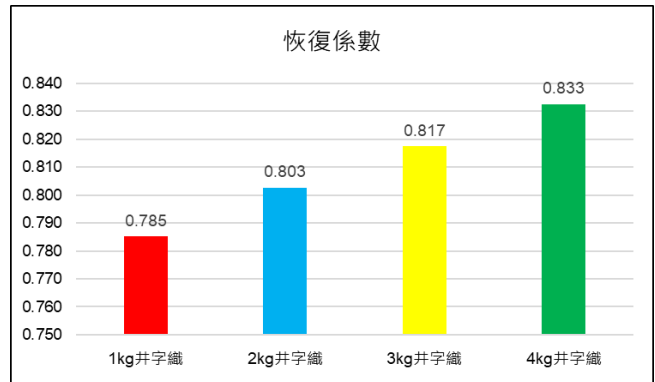


圖 4-11、保麗龍球在不同張力反彈面的恢復係數

### 三、結論

1. 根據表 4-5 和圖 4-11 得知，恢復係數： $4\text{kgw} > 3\text{kgw} > 2\text{kgw} > 1\text{kgw}$  磅數，故編織張力較大的網狀物恢復係數也較大。
2. 4kg 磅數雖然恢復係數最佳，但在製作過程釣魚線容易斷裂，因此在後續實驗中最大磅數皆設定在 3kgw 磅數。
3. 因發現剛度也會受網狀物影響，且在製作儲氫瓶時形變量也需控制，故在之後追加剛度的實驗。

### 實驗四、不同編織張力對剛度之影響

#### 一、實驗步驟

1. 將實驗三編成之四種磅數的網狀物正中央下方安置超音波感測器。
2. 尋找編織物於未受力時的水平點，並藉由改程式進行歸零。
3. 放置 1kgw 重物於網狀物的正中央上方並等待重物停止下降（網狀物停止形變）。
4. 藉由超音波感測器測量受力後與未受力的網狀物正中心垂直距離差，即為最終物體之形變量。
5. 將重物移除後再使用超音波感測器觀測網狀物是否回原水平點，即觀測網狀物有無超過彈性限度，發生塑形形變，有則記錄下發生塑形形變時網狀物所承重量；無則更換 2kgw、3kgw 之重物並重複上述動作。（圖 4-12 為示意，原始由角鋼作框架）

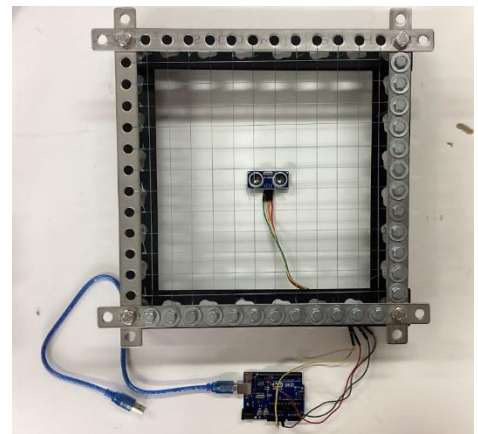


圖 4-12、實驗裝置圖

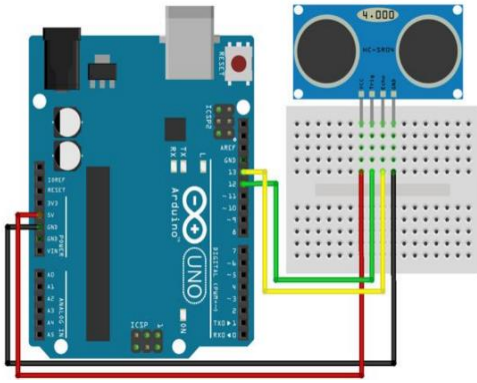


圖 4-13、Arduino 超音波感測器接線圖

```
#include <Ultrasonic.h>

Ultrasonic ultrasonic(12, 13);
int distance;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  distance = ultrasonic.read();

  Serial.print("CM: ");
  Serial.println(distance);
  delay(500);
}
```

圖 4-14、Arduino 超音波感測器程式

## 二、實驗數據

因發現剛度也會影響儲氫瓶安全性，我們用超音波感測器測量磅數 1kgw 至 4kgw 之網狀物在承受 1kgw 到 3kgw 時的形變量，並計算出剛度，結果如表 4-6。

表 4-6、網狀物於不同編織張力在不同承受重量下的形變量與剛度實驗參數紀錄表

磅數	受力 1kgw		受力 2kgw		受力 3kgw		剛度平均
	形變量	剛度	形變量	剛度	形變量	剛度	
1kgw	1.16cm	845	2.11cm	930	2.90cm	1014	930
2kgw	0.86cm	1140	1.61cm	1218	2.31cm	1274	1211
3kgw	0.62cm	1582	1.19cm	1648	1.77cm	1662	1631
4kgw	0.43cm	2281	0.85cm	2307	1.22cm	2411	2333

從表 4-6 可發現，形變量從 1kgw 至 4kgw 磅數網狀物呈遞減狀態，剛度則呈遞增狀態，且由 4kgw 磅數網狀物之剛度最大，且剛度有著隨著受力增加而微降的趨勢。另外，實驗使用各編只有 6 洞的角鋼，不易改變編織方式，無法使實驗更為完整。

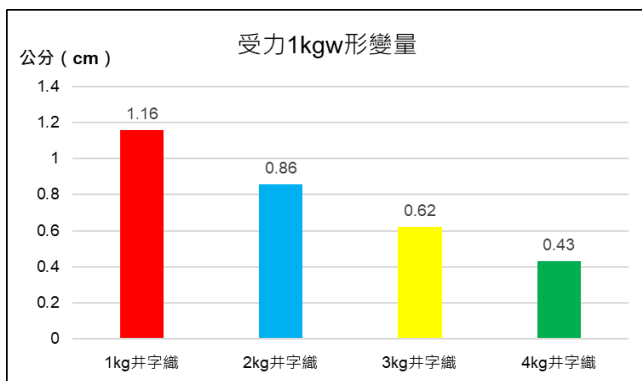


圖 4-15、不同張力網狀物受力 1kgw 形變量

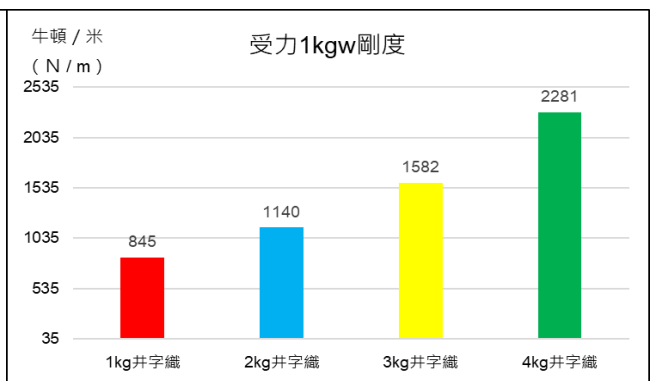


圖 4-16、不同張力網狀物受力 1kgw 剛度

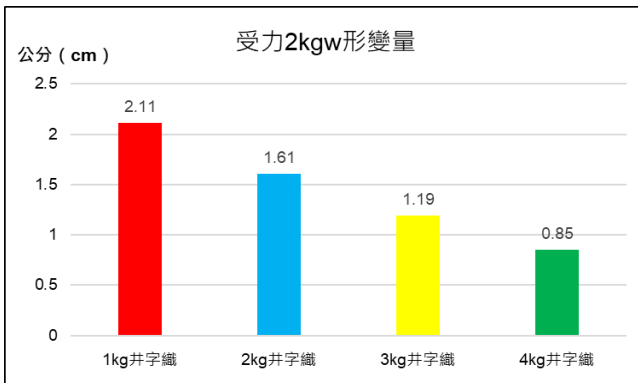


圖 4-17、不同張力網狀物受力 2kgw 形變量

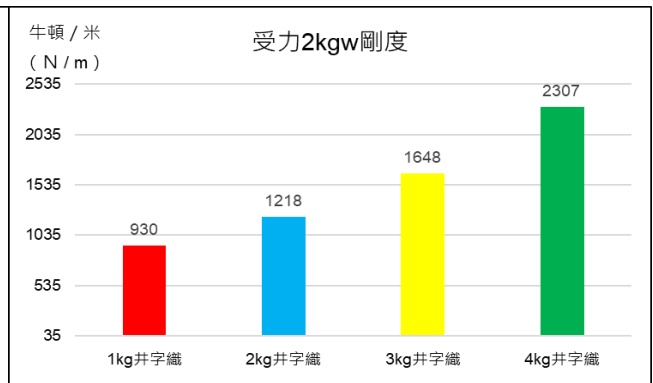


圖 4-18、不同張力網狀物受力 2kgw 剛度

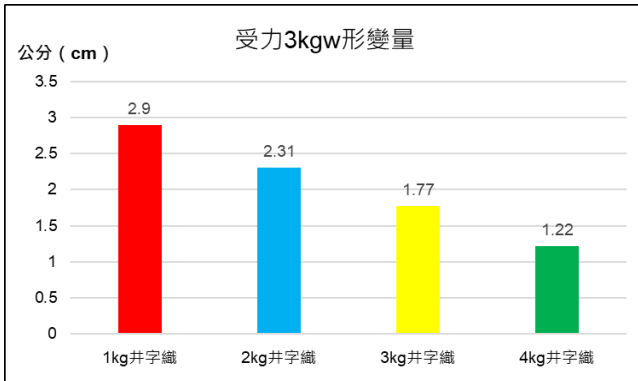


圖 4-19、不同張力網狀物受力 3kgw 形變量

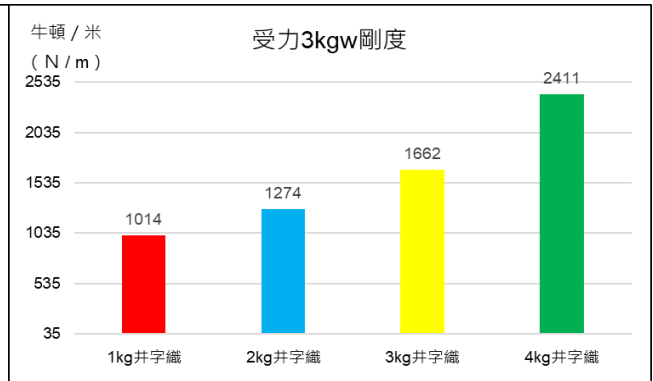


圖 4-20、不同張力網狀物受力 3kgw 剛度

### 三、結論

1. 從圖 4-15 至圖 4-20 可發現，剛度： $4\text{kgw} > 3\text{kgw} > 2\text{kgw} > 1\text{kgw}$  磅數，可見張力越大之編織物形變量越小，剛度越大，意即張力較大之編織物抗形變能力較佳。
2. 為了提升編織密度，我們以十二個洞的洞洞鐵代替角鋼進行後續實驗。

## 實驗五、不同編織密度對恢復係數之影響

### 一、實驗步驟

1. 將釣魚線一端綁在洞洞鐵上，並在另一端垂掛 1kgw 重物再用螺絲組鎖緊。
2. 重複上述動作織成井字狀。
3. 將保麗龍球於高度 49.5 公分處投下，使之墜落於反彈面上，再用攝影機錄起來。
4. 紀錄保麗龍球回彈至最高點時高度十次並取平均值作為數據。

※作為成功數據標準：保麗龍於第二次彈跳之落點位於網狀物上。

5. 將重物改成 2kgw、3kgw 並重複步驟 1~4。
6. 井字織的間隙由 4cm 改變為 2cm 並重複步驟 1~5。

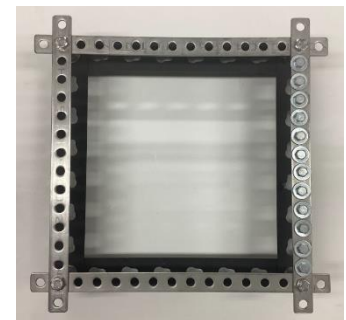


圖 4-21、洞洞鐵框架

## 二、實驗數據

為了研究網狀物編織密度對恢復係數的影響，我們將框架由六個洞的角鋼更換成十二個洞的洞洞鐵，並分別綁上十二及二十四條線來製作編織密度不同的井字織，再進行十次投擲實驗，實驗結果如下表 4-7。

表 4-7、保麗龍球在不同反彈面編織密度的回彈高度實驗參數紀錄表

磅數	間隙	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均
1kgw	2cm	42.9cm	43.5cm	42.4cm	42.1cm	43.2cm	42.8cm	42.3cm	42.5cm	42.3cm	43.4cm	42.74cm
	4cm	41.3cm	42.0cm	41.7cm	42.1cm	42.3cm	41.1cm	43.0cm	42.1cm	41.7cm	42.2cm	41.95cm
2kgw	2cm	45.3cm	45.5cm	45.0cm	46.1cm	45.2cm	44.9cm	45.6cm	45.9cm	44.9cm	46.0cm	45.44cm
	4cm	42.5cm	43.1cm	42.7cm	44.0cm	42.1cm	41.7cm	43.5cm	43.0cm	44.0cm	43.0cm	42.96cm
3kgw	2cm	46.3cm	46.7cm	45.3cm	46.8cm	46.9cm	45.9cm	46.0cm	46.0cm	46.3cm	46.6cm	46.28cm
	4cm	43.8cm	44.2cm	43.5cm	44.9cm	45.0cm	44.6cm	43.9cm	45.3cm	43.4cm	44.7cm	44.33cm

從表 4-7 可發現編織張力 3kgw、間隙 2cm 的網狀物之回彈高度為最高，且在各不同磅數網狀物中，皆由編織密度大的間隙 2cm 編法擁有較高的回彈高度。

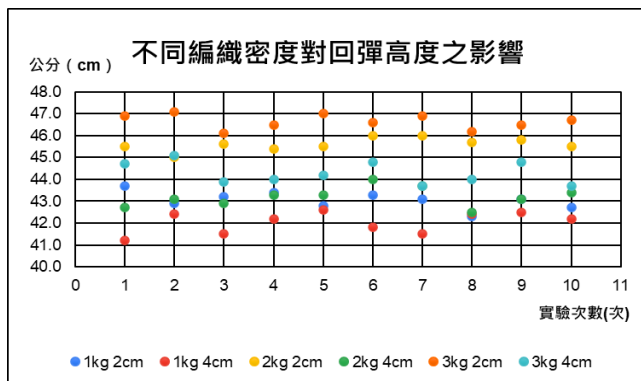


圖 4-22、保麗龍球在不同反彈面編織密度的回彈高度

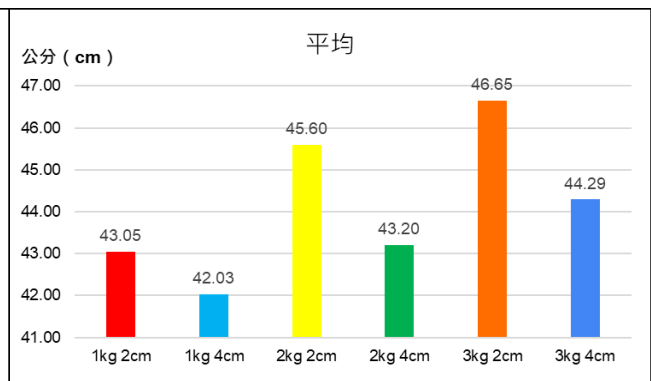


圖 4-23、保麗龍球在不同反彈面編織密度的平均

表 4-8、保麗龍球在不同反彈面編織密度的恢復係數

磅數	間隙	恢復係數
1kgw	2cm	0.819
	4cm	0.810
2kgw	2cm	0.852
	4cm	0.822
3kgw	2cm	0.862
	4cm	0.839

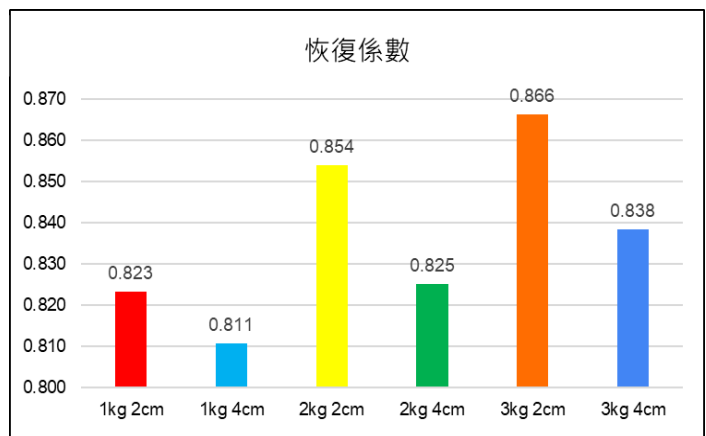


圖 4-24、保麗龍球在不同反彈面編織密度的恢復係數



### 三、結論

1. 從表 4-8 與圖 4-24 可以得知，不論編織張力為多少，恢復係數皆為間隙 2cm 編法（編織密度大）> 間隙 4cm（編織密度小）。
2. 因發現編織密度對恢復係數有影響，我們進而在下個實驗研究編織密度對剛度之影響。

### 實驗六、不同編織密度對剛度之影響

#### 一、實驗步驟

1. 將實驗五編成之六種網狀物正中央下方安置超音波感測器。
2. 尋找編織物於未受力時的水平點，並藉由改程式進行歸零。
3. 放置 1kgw 重物於網狀物的正中央上方並等待重物停止下降（網狀物停止形變）。
4. 藉由超音波感測器測量受力後與未受力的網狀物正中心垂直距離差，即為最終物體之形變量。
5. 將重物移除後再使用超音波感測器觀測網狀物是否回原水平點，即觀測網狀物有無超過彈性限度，發生塑形形變，有則記錄下發生塑形形變時網狀物所承重量；無則更換 2kgw、3kgw 之重物並重複上述動作。

#### 二、實驗數據

繼編織密度對恢復係數影響的實驗，我們接著使用實驗五製作而成的網狀物研究不同編織密度在承受不同重量下的實驗參數，結果如表 4-9。

表 4-9、網狀物於不同編織張力在不同承受重量下的形變量與剛度實驗參數紀錄表

磅數	間隙	受力 1kgw		受力 2kgw		受力 3kgw		剛度平均
		形變量	剛度	形變量	剛度	形變量	剛度	
1kgw	2cm	0.50cm	1961	0.93cm	2109	1.33cm	2212	2094
	4cm	1.13cm	868	2.02cm	971	2.89cm	1018	952
2kgw	2cm	0.29cm	3382	0.56cm	3502	0.83cm	3545	3476
	4cm	0.81cm	1211	1.59cm	1234	2.28cm	1290	1245
3kgw	2cm	0.18cm	5448	0.35cm	5604	0.53cm	5551	5534
	4cm	0.59cm	1662	1.01cm	1942	1.47cm	2001	1868

根據表 4-9，不論受力或張力為多少，剛度皆由編織密度大者較高，且兩者剛度與形變量大約差了二至三倍，另外，實驗中觀察到磅數 1kgw、間隙 2cm 之網狀物恢復原水平面所花時間略大於其他編織面。

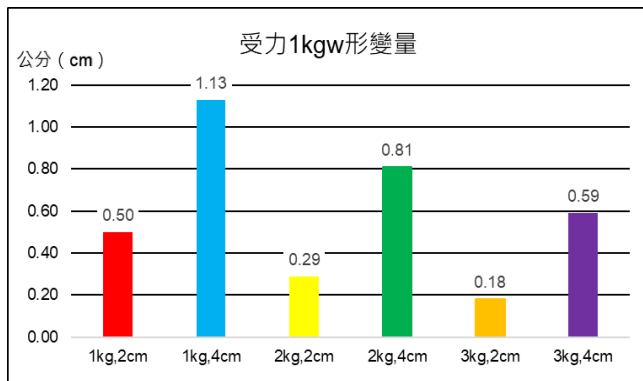


圖 4-25、不同編織密度網狀物受力 1kgw 形變量

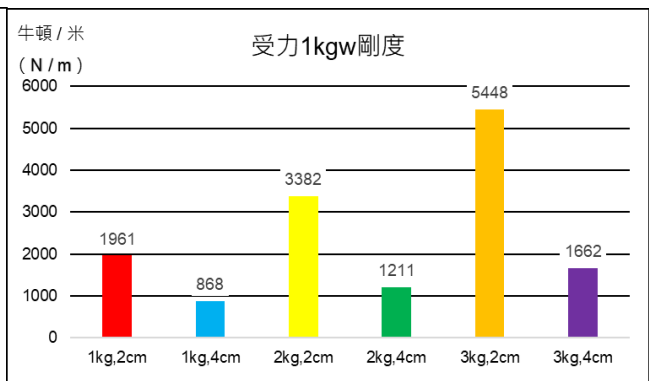


圖 4-26、不同編織密度網狀物受力 1kgw 剛度

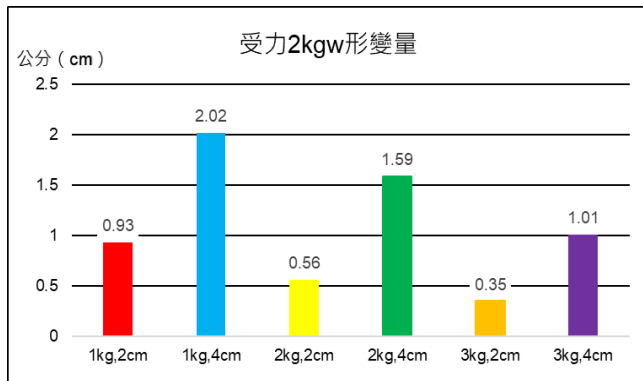


圖 4-27、不同編織密度網狀物受力 2kgw 形變量

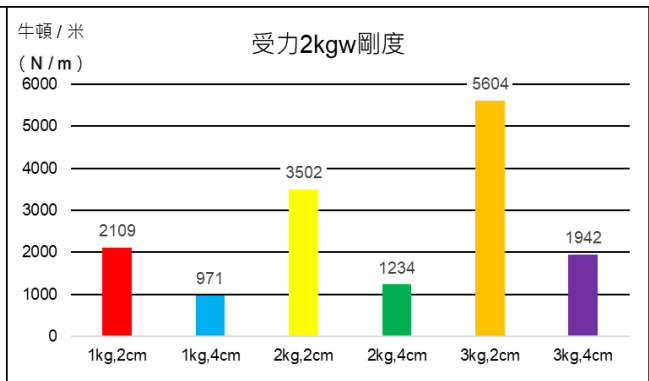


圖 4-28、不同編織密度網狀物受力 2kgw 剛度

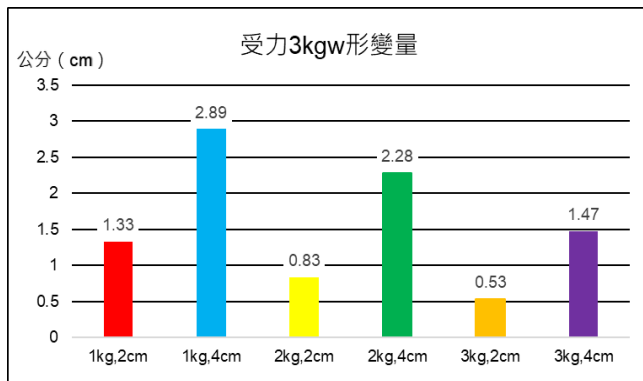


圖 4-29、不同編織密度網狀物受力 3kgw 形變量

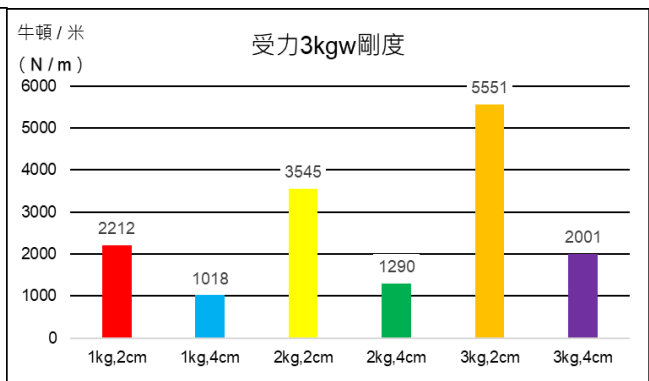


圖 4-30、不同編織密度網狀物受力 3kgw 剛度

### 三、結論

1. 編織密度大者剛度較高，意即編織密度高之網狀物抗形變能力較佳。故後續實驗皆用間隙 2cm 的編織方式進行操作。
2. 改變完編織密度後，因所使用線材量有異同，我們研究使用不同線量的斜邊一格井字織與井字織的恢復係數差異，即為不同編織方式對恢復係數之影響的實驗。

## 實驗七、不同編織方式對恢復係數之影響

### 一、實驗步驟

1. 將釣魚線一端綁在洞洞鐵上，並在另一端垂掛 1kg 重物再用螺絲組鎖緊。
2. 重複上述動作織成井字狀。
3. 將保麗龍球於高度 49.5 公分處投下，使之墜落於反彈面上，再用攝影機錄起來。
4. 紀錄保麗龍球回彈至最高點時高度十次並取平均值作為數據。  
 ※作為成功數據標準：保麗龍於第二次彈跳之落點位於網狀物上。
5. 將重物改成 2kgw、3kgw 並重複步驟 1~4。
6. 將網狀物編法換成斜邊一格井字織並重複步驟 1~5

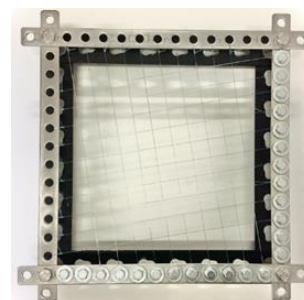


圖 4-31、斜邊一格井字織

### 二、實驗數據

在探討完編織張力及密度後，接著切入本次研究的重點－編織方式的影響，我們利用井字織與斜邊一格井字織兩種不同的編法進行實驗，實驗結果如下表 4-10。

表 4-10、保麗龍球在不同反彈面編織方式的回彈高度實驗參數紀錄表

磅數	編織方法	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均
1kgw	井字織	43.7cm	42.9cm	43.2cm	43.4cm	42.8cm	43.3cm	43.1cm	42.3cm	43.1cm	42.7cm	43.05cm
2kgw		45.5cm	45.0cm	45.6cm	45.4cm	45.5cm	46.0cm	46.0cm	45.7cm	45.8cm	45.5cm	45.60cm
3kgw		46.9cm	47.1cm	46.1cm	46.5cm	47.0cm	46.6cm	46.9cm	46.2cm	46.5cm	46.7cm	46.65cm
1kgw	斜邊一格井字織	44.0cm	43.1cm	43.2cm	42.9cm	43.5cm	43.9cm	43.8cm	44.2cm	43.3cm	43.0cm	43.49cm
2kgw		43.4cm	44.1cm	43.7cm	43.9cm	44.2cm	43.5cm	44.1cm	43.7cm	43.3cm	44.3cm	43.8cm
3kgw		43.7cm	43.9cm	44.1cm	44.5cm	45.0cm	44.5cm	44.1cm	44.6cm	44.2cm	43.9cm	44.25cm

從表 4-10 中可以發現磅數於 2kgw、3kgw 時，井字織編法的恢復係數皆較斜邊一格井字織編法高，但在磅數位於 1kgw 時，斜邊一格井字織編法的恢復係數卻較高。故兩編法在不同磅數下所呈現的恢復係數不會有一者恆大。

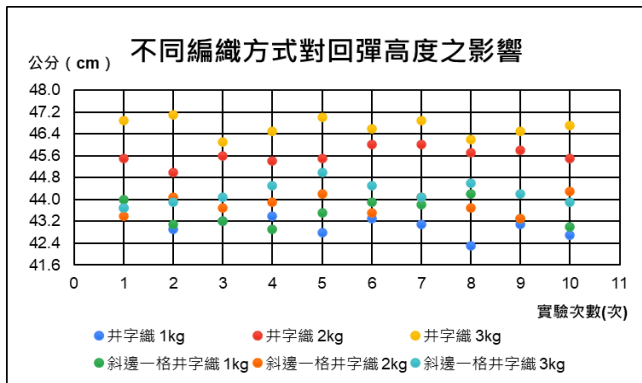


圖 4-32、保麗龍球在不同反彈面編織方式的回彈高度

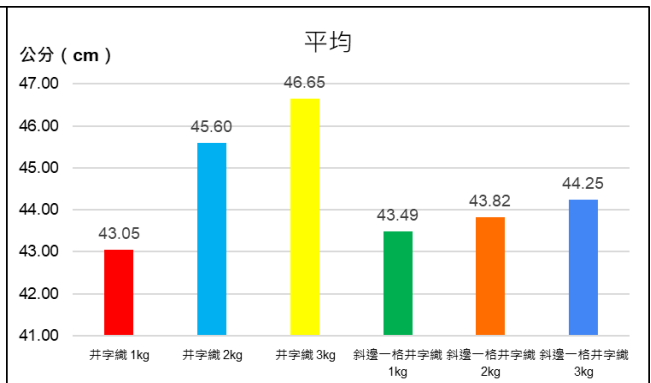


圖 4-33、保麗龍球在不同反彈面編織方式的平均

表 4-11、保麗龍球在不同反彈面編織方式的恢復係數

磅數	編織方式	恢復係數
1kgw	井字織	0.823
2kgw		0.854
3kgw		0.866
1kgw	斜邊一格井字織	0.829
2kgw		0.833
3kgw		0.838

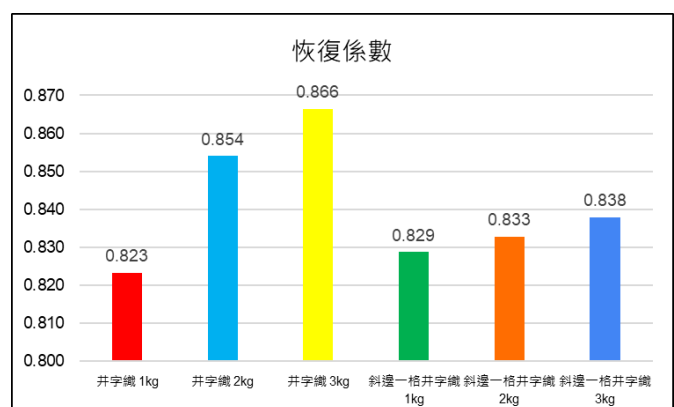


圖 4-34、保麗龍球在不同反彈面編織方式的恢復係數

### 三、結論

1. 從表 4-11 可證明**改變編法確實對網狀物的恢復係數有所影響**，且不同編織方式的網狀物在不同條件下，並不會使原恢復係數高的網狀物之恢復係數，恆高於原恢復係數低的網狀物。
2. 從以上的五個實驗可以發現 3kgw 磅數網狀物的回彈高度為 1~3kgw 裡最高的，又因在固定的恢復係數下，磅數越高，回彈高度越高，不同編織方法的回彈高度差距得以越明顯，因此之後編織物皆使用 3kgw 磅數進行實驗。
3. 因發現編織方式對恢復係數有影響，我們在下個實驗探討此因素對剛度的影響。

## 實驗八、不同編織方式對剛度之影響

### 一、實驗步驟

1. 將實驗七編成之六種網狀物正中央下方安置超音波感測器。
2. 尋找編織物於未受力時的水平點，並藉由改程式進行歸零。
3. 放置 1kgw 重物於網狀物的正中央上方並等待重物停止下降（網狀物停止形變）。
4. 藉由超音波感測器測量受力後與未受力的網狀物正中心垂直距離差，即為最終物體之形變量。
5. 將重物移除後再使用超音波感測器觀測網狀物是否回原水平點，即觀測網狀物有無超過彈性限度，發生塑形形變，有則記錄下發生塑形形變時網狀物所承重量；無則更換 2kgw、3kgw 之重物並重複上述動作。

### 二、實驗數據

因發現改變編法會影響恢復係數，為了探討改變編法是否也會對剛度造成影響，我們用實驗七編成之網狀物進行承重後的形變量實驗，結果如表 4-12。

表 4-12、網狀物於不同編織方式在不同承受重量下的形變量與剛度實驗參數紀錄表

磅數	綁線方式	受力 1kgw		受力 2kgw		受力 3kgw		剛度平均
		形變量	剛度	形變量	剛度	形變量	剛度	
1kgw	井字織	0.50cm	1961	0.93cm	2109	1.33cm	2212	2094
2kgw		0.29cm	3382	0.56cm	3502	0.83cm	3545	3476
3kgw		0.18cm	5448	0.35cm	5604	0.53cm	5551	5534
1kgw	斜邊一格井字織	0.60cm	1634	0.99cm	1981	1.61cm	1827	1814
2kgw		0.43cm	2281	0.82cm	2392	1.22cm	2411	2361
3kgw		0.24cm	4086	0.50cm	3923	0.78cm	3772	3927

由表 4-12 得知，剛度皆由井字織大於斜邊一格井字織，與恢復係數的情況有所異同，且從表中也可以發現，兩網狀物剛度的差距隨著磅數增大而跟著增加。

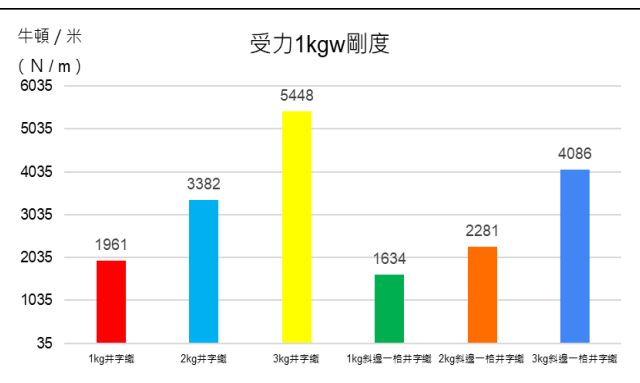
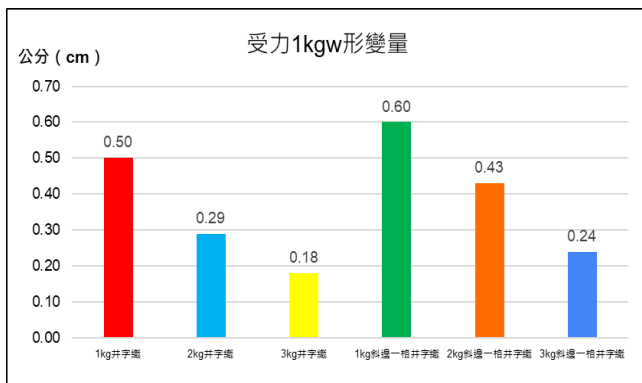


圖 4-39、不同反彈面編織方式受力 1kgw 形變量

圖 4-40、不同反彈面編織方式受力 1kgw 剛度

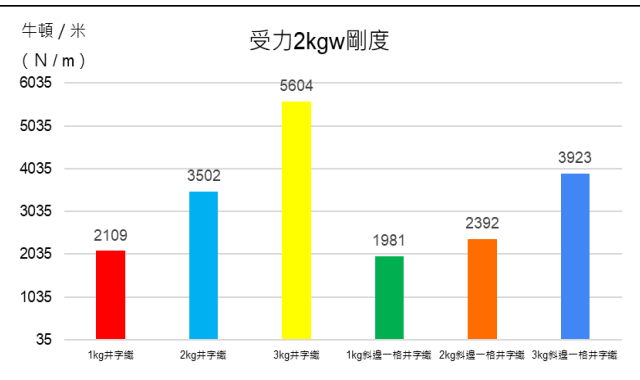
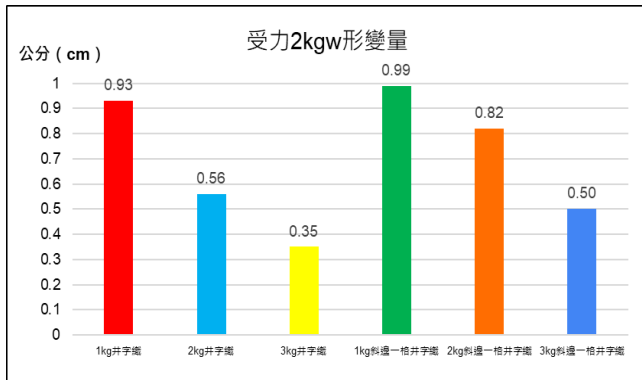


圖 4-41、不同反彈面編織方式受力 2kgw 形變量

圖 4-42、不同反彈面編織方式受力 2kgw 剛度

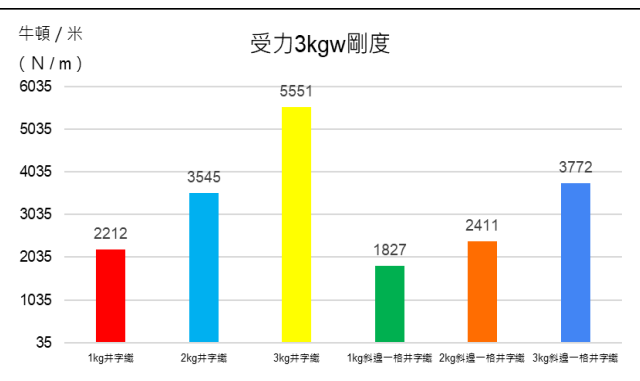
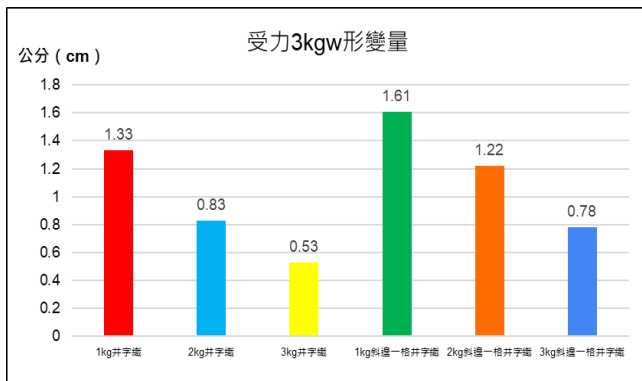


圖 4-43、不同反彈面編織方式受力 3kgw 形變量

圖 4-44、不同反彈面編織方式受力 3kgw 剛度

### 三、結論

1. 實驗證明改變編法對剛度也具有影響，且在受力不同時，兩種編法的剛度差距也不盡相同。
2. 針對磅數 1kgw 的井字織及斜邊一格井字織可發現，恢復係數較大的編法，剛度不一定也較大，故在選擇哪種排列方式較佳時，要從不同方面去做考量。
3. 因井字織與斜邊一格井字織有編織角度上的差異，我們進而延伸探討不同編織角度對恢復係數之影響。

## 實驗九、綁線角度改變對恢復係數之影響

### 一、實驗步驟

1. 將釣魚線、棉線一端綁在角鋼上，並在另一端垂掛 3kgw 重物再用螺絲組鎖緊。
2. 重複上述動作織成斜邊一格井字織。
3. 將保麗龍球於高度 49.5 公分處投下，使之墜落於反彈面上，再用攝影機錄起來。
4. 紀錄保麗龍球回彈至最高點時高度十次並取平均值作為數據。  
※作為成功數據標準：保麗龍於第二次彈跳之落點位於網狀物上。
5. 將斜邊一格井字織更換成二至六格並重複步驟 1~4。

### 二、實驗數據

從改變編法的實驗中發現編織方式的不同對恢復係數有影響，因此我們從斜邊一格井字織所改變之角度切入，使用斜邊一至六格井字織六種編織方式進行實驗，結果如下表 4-13。

表 4-13、保麗龍球在不同反彈面綁線角度的回彈高度實驗參數紀錄表

	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均
斜邊一格井字織	43.7cm	43.9cm	44.1cm	44.5cm	45.0cm	44.5cm	44.1cm	44.6cm	44.2cm	43.9cm	44.25cm
斜邊二格井字織	44.0cm	44.0cm	43.9cm	44.1cm	44.1cm	43.8cm	43.8cm	44.0cm	43.9cm	44.2cm	43.98cm
斜邊三格井字織	43.7cm	44.0cm	43.8cm	43.5cm	43.6cm	43.3cm	43.8cm	44.1cm	43.9cm	43.4cm	43.71cm
斜邊四格井字織	43.9cm	43.3cm	43.5cm	43.5cm	43.3cm	43.7cm	43.1cm	43.2cm	43.0cm	43.6cm	43.41cm
斜邊五格井字織	43.7cm	43.5cm	43.6cm	43.0cm	42.8cm	43.1cm	43.3cm	43.1cm	42.9cm	43.2cm	43.22cm
斜邊六格井字織	42.5cm	43.1cm	43.3cm	42.5cm	42.8cm	43.3cm	43.8cm	43.6cm	42.9cm	43.0cm	43.08cm

從表 4-13 可發現，恢復係數隨著綁線角度增大而下降，由斜邊一格井字織的恢復係數最高，且由斜邊六格井字織的恢復係數最低。

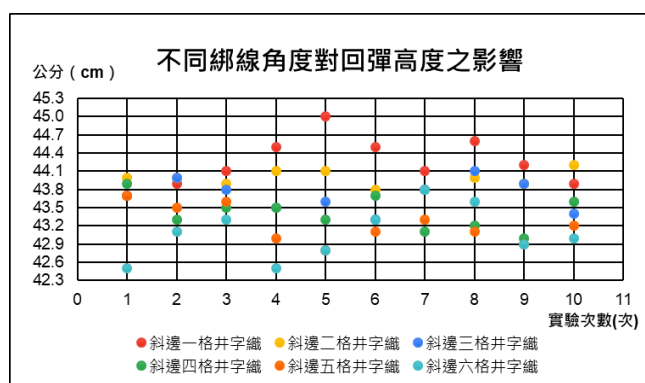


圖 4-45、保麗龍球在不同反彈面綁線角度的回彈高度

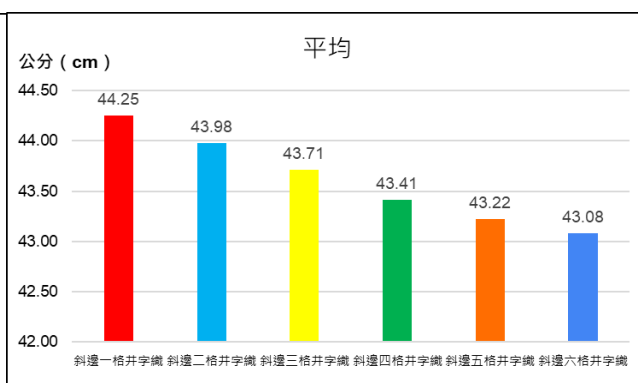


圖 4-46、保麗龍球在不同反彈面綁線角度的平均

表 4-14、保麗龍球在不同反彈面綁線角度的恢復係數

編織方式	恢復係數
斜邊一格井字織	0.838
斜邊二格井字織	0.835
斜邊三格井字織	0.831
斜邊四格井字織	0.828
斜邊五格井字織	0.825
斜邊六格井字織	0.824

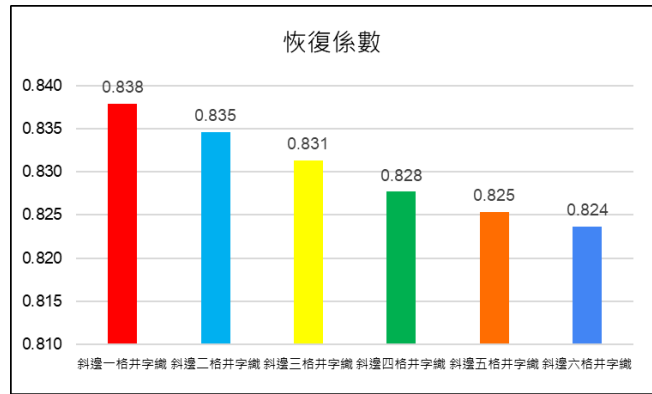


圖 4-47、保麗龍球在不同反彈面綁線角度的恢復係數

### 三、結論

1. 從表 4-14 得知，恢復係數隨著綁線角度增大而跟著下降，進而證明編織方法的改變對於恢復係數具有一定的影響力。
2. 之後的實驗將嘗試其他不同的特殊編織方法對恢復係數的影響，探討其他影響儲氫瓶安全性的因素。

## 實驗十、綁線角度改變對剛度之影響

### 一、實驗步驟

1. 將實驗九編成之網狀物六種網狀物正中央下方安置超音波感測器。
2. 尋找編織物於未受力時的水平點，並藉由改程式進行歸零。
3. 放置 1kgw 重物於網狀物的正中央上方並等待重物停止下降（網狀物停止形變）。
4. 藉由超音波感測器測量受力後與未受力的網狀物正中心垂直距離差，即為最終物體之形變量。
5. 將重物移除後再使用超音波感測器觀測網狀物是否回原水平點，即觀測網狀物有無超過彈性限度，發生塑形形變，有則記錄下發生塑形形變時網狀物所承重量；無則更換 2kgw、3kgw 之重物並重複上述動作。

### 二、實驗數據

因發現改變編織角度也對恢復係數有影響，我們利用六種不同綁線角度的網狀物進行承重實驗，測量出形變量及剛度，實驗結果如表 4-15。



表 4-15、網狀物於不同綁線角度在不同承受重量下的形變量與剛度實驗參數紀錄表

編織方式	受力 1kgw		受力 2kgw		受力 3kgw		剛度平均
	形變量	剛度	形變量	剛度	形變量	剛度	
斜邊一格井字織	0.24cm	4086	0.50cm	3923	0.78cm	3772	3927
斜邊二格井字織	0.29cm	3382	0.63cm	3113	0.88cm	3343	3279
斜邊三格井字織	0.33cm	2972	0.67cm	2927	0.99cm	2972	2957
斜邊四格井字織	0.38cm	2581	0.71cm	2762	1.12cm	2627	2657
斜邊五格井字織	0.41cm	2392	0.83cm	2363	1.19cm	2472	2409
斜邊六格井字織	0.44cm	2229	0.86cm	2281	1.28cm	2298	2269

從表 4-15 可以發現，剛度隨著綁線角度變大而下降，再與原無改變角度的井字織剛度數據做比對，發現井字織依舊遵循上述規則。

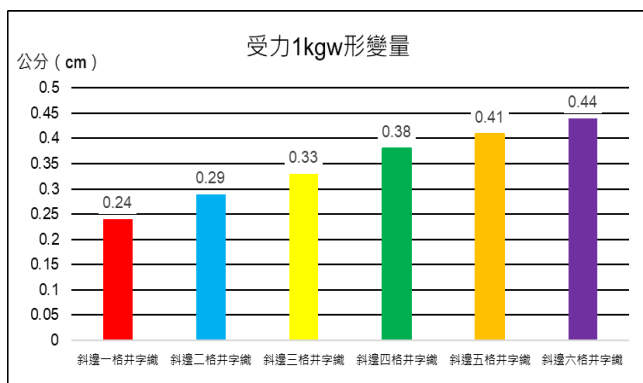


圖 4-48、不同反彈面綁線角度受力 1kgw 形變量

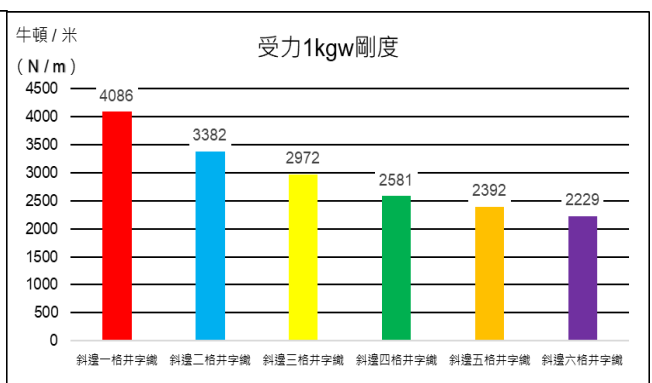


圖 4-49、不同反彈面綁線角度受力 1kgw 剛度

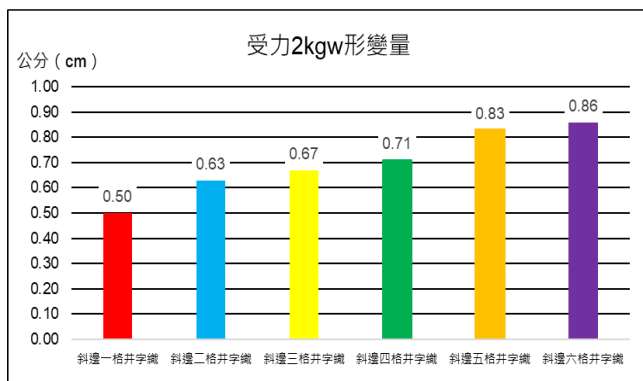


圖 4-50、不同反彈面綁線角度受力 2kgw 形變量

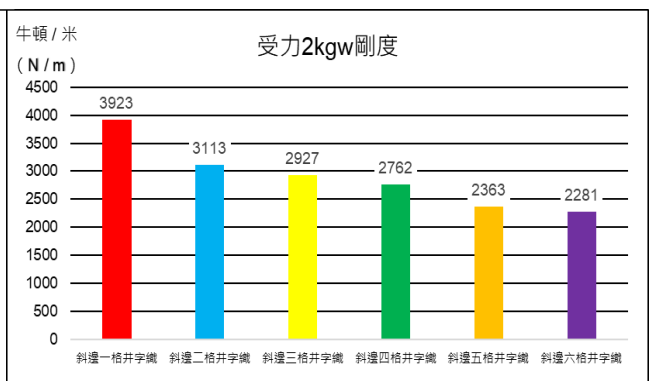


圖 4-51、不同反彈面綁線角度受力 2kgw 剛度

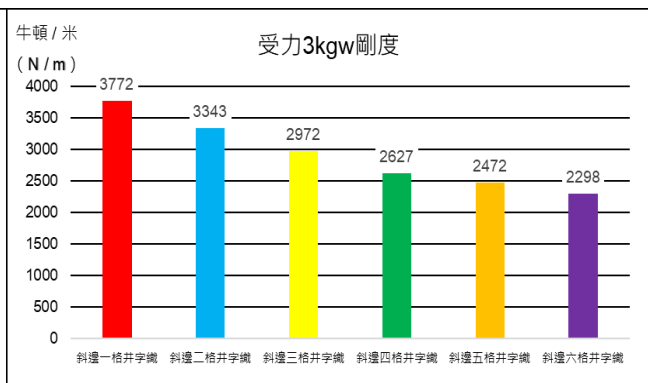
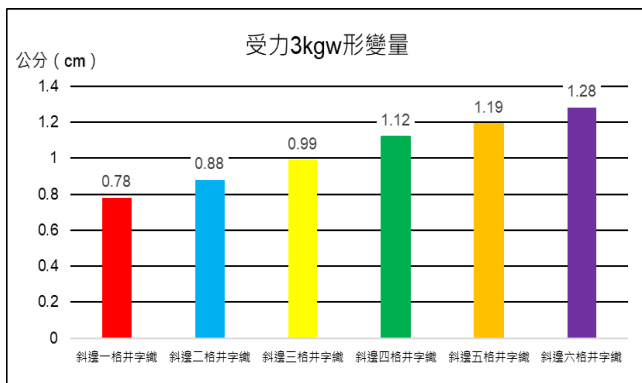


圖 4-52、不同反彈面綁線角度受力 3kgw 形變量

圖 4-53、不同反彈面綁線角度受力 3kgw 剛度

### 三、結論

1. 從圖 4-48 至 4-53 可發現，**綁線角度越小，網狀物所擁有的剛度也會越高。**
2. 與對邊連接的線較短的斜邊一格井字織之剛度較大，可能是因在編織時短線上的每個點受力較長線大，線所提供支撐力也會較大，故**短線的抗形變能力較佳。**
3. 因發現改變綁線角度對恢復係數及剛度皆有影響，我們在下個實驗針對擁有較多變化的集中交匯織、重力分散織、重力集中織等編法進行研究。

## 實驗十一、特殊編織方式對恢復係數之影響

### 一、實驗步驟

1. 將釣魚線、棉線一端綁在角鋼上，並在另一端垂掛 3kgw 重物再用螺絲組鎖緊。
2. 重複上述動作織成集中交匯織。
3. 將保麗龍球於高度 49.5 公分處投下，使之分別墜落於反彈面中央與非中央上，再用攝影機錄起來。
4. 紀錄保麗龍球回彈至最高點時高度十次並取平均值作為數據。  
※ 作為成功數據標準：保麗龍於第二次彈跳之落點位於網狀物上。
5. 將集中交匯織更換成重力集中織以及重力分散織並重複步驟 1~4。

### 二、實驗數據

綜合以上實驗，我們嘗試融合編織張力、編織角度等不同因素於網狀物上，進而研究集中交匯織、重力分散織、重力集中織等編法之各項參數，結果如下表 4-16 及表 4-17。

表 4-16、保麗龍球在不同反彈面編織方式的回彈高度實驗參數紀錄表

編織方式	落點	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次	第 6 次	第 7 次	第 8 次	第 9 次	第 10 次	平均
集中交匯織	非中央	43.9cm	44.2cm	44.7cm	44.5cm	44.3cm	44.4cm	44.6cm	44.8cm	44.5cm	44.1cm	44.40cm
	中央	38.9cm	37.8cm	38.5cm	37.9cm	38.3cm	38.6cm	39.5cm	38.2cm	39.0cm	38.8cm	38.55cm
重力集中織	非中央	46.0cm	45.8cm	46.3cm	45.9cm	45.7cm	45.8cm	46.1cm	46.2cm	46.1cm	45.7cm	45.96cm
	中央	46.9cm	47.1cm	46.5cm	46.6cm	45.8cm	46.3cm	46.5cm	46.6cm	46.4cm	46.2cm	46.49cm
重力分散織	非中央	46.8cm	46.6cm	46.4cm	46.4cm	46.5cm	46.8cm	46.2cm	47.2cm	45.9cm	46.5cm	46.53cm
	中央	44.5cm	44.9cm	45.1cm	43.6cm	45.0cm	44.2cm	43.9cm	43.6cm	44.2cm	44.1cm	44.31cm

表 4-17、保麗龍球在不同反彈面編織方式的標準差、成功機率、恢復係數實驗參數紀錄表

綁線方式	落點	標準差	成功次數/ 實驗次數	成功機率	恢復係數
集中交匯織	非中央	0.28	10/10	100.0%	0.840
	中央	0.52	10/24	41.7%	0.766
重力集中織	非中央	0.21	10/10	100.0%	0.858
	中央	0.36	10/11	90.9%	0.864
重力分散織	非中央	0.36	10/10	100.0%	0.865
	中央	0.55	10/10	100.0%	0.839

從表 4-16 和 4-17 中發現，集中交匯織中央與非中央的各項數據差距甚大。重力集中織與重力分散織的恢復係數與標準差皆以磅數大之線的鋪面位置較磅數小的高。而重力集中織與重力分散織中央與周圍的差距又以重力分散織較大。另外，在做集中交匯織落點中央實驗時，球撞擊到中央時會有較撞擊周圍大的聲音，代表中央點的編織密度較周圍其他點高許多，且中央點也因多條線交匯而有較大的厚度。

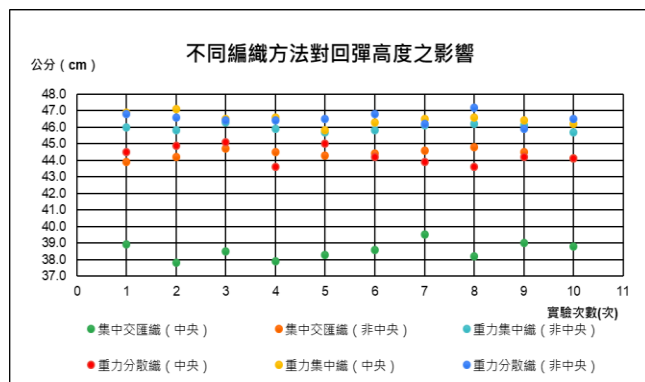


圖 4-54、保麗龍球在特殊編法反彈面的回彈高度

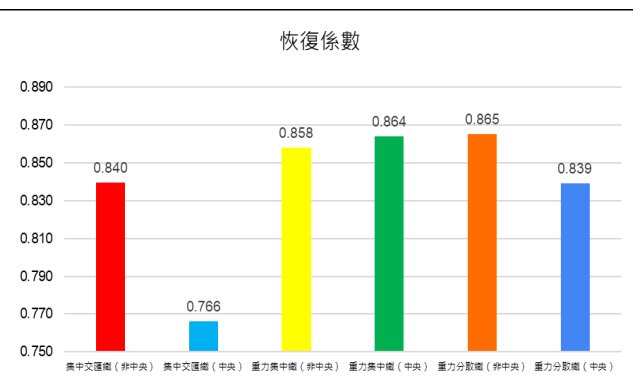


圖 4-55、保麗龍球在特殊編法反彈面的恢復係數

### 三、結論

1. 從表 4-54 和 4-55 得知，**集中交匯織的恢復係數以非中央點較中央點高**，可見編織的時候不能使編織密度過高，中間無間隙，這樣會造成反效果。
2. **集中交匯織的中心點穩定性較低**，應是因為所有線交匯在同一點上，在交匯時因重疊而使厚度與其他點差距過大，因此保麗龍球彈跳時易向某一方向偏離。
3. **重力集中織與重力分散織的高磅數的恢復係數都較低磅數部分高**，但兩者不同落點恢復係數的差距卻不盡相同，可知**反彈面投擲物落點的位置對恢復係數的影響較大**，且**線的分布位置也對恢復係數有影響**。
4. 確認此特殊編織方式在不同位置對恢復係數有著不同的影響後，我們接著在下個實驗研究這些編法對剛度的影響是否與恢復係數有關連。

### 實驗十二、特殊編織方式對剛度之影響

#### 一、實驗步驟

1. 將實驗十一編成之網狀物正中央下方安置超音波感測器。
2. 尋找編織物於未受力時的水平點，並藉由改程式進行歸零。
3. 放置 1kgw 重物於網狀物的正中央上方並等待重物停止下降（網狀物停止形變）。
4. 藉由超音波感測器測量受力後與未受力的網狀物正中心垂直距離差，即為最終物體之形變量。
5. 將重物移除後再使用超音波感測器觀測網狀物是否回原水平點，即觀測網狀物有無超過彈性限度，發生塑形形變，有則記錄下發生塑形形變時網狀物所承重量；無則更換 2kgw、3kgw 之重物並重複上述動作。

#### 二、實驗數據

在進行完特殊編織方式對恢復係數之影響後，我們接著用這些特殊編法的網狀物進行剛度實驗，觀察是否有其它現象發生，實驗結果如表 4-18。

表 4-18、網狀物於不同編織方式在不同承受重量下的形變量與剛度實驗參數紀錄表

綁線方式	受力 1kgw		受力 2kgw		受力 3kgw		剛度平均
	形變量	剛度	形變量	剛度	形變量	剛度	
集中交匯織	0.11cm	8915	0.22cm	8915	0.32cm	9194	9008
重力集中織	0.32cm	3065	0.63cm	3113	0.95cm	3097	3092
重力分散織	0.24cm	4086	0.49cm	4002	0.72cm	4086	4058

從表 4-18 可發現，集中交匯織雖然恢復係數較小，但剛度卻是之前實驗裡所有編織物中最大的。周圍線磅數為 3kgw 的重力分散織之剛度大於周圍為 1kgw 的重力集中織。

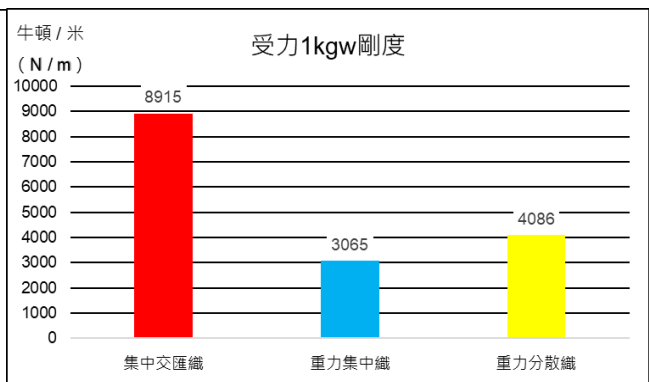
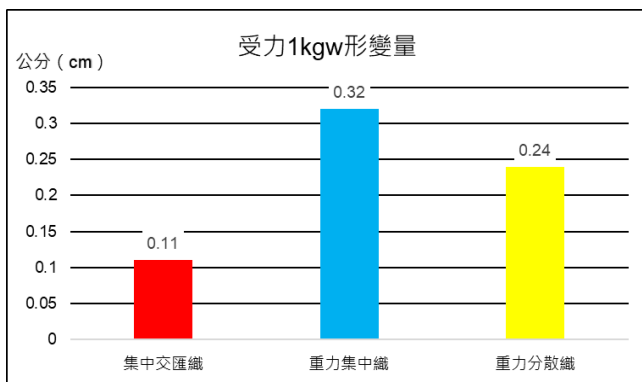


圖 4-56、特殊編織方式反彈面受力 1kgw 形變量

圖 4-57、特殊編織方式反彈面受力 1kgw 剛度

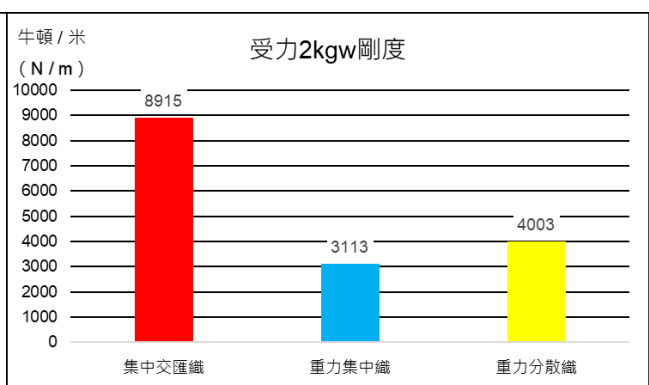
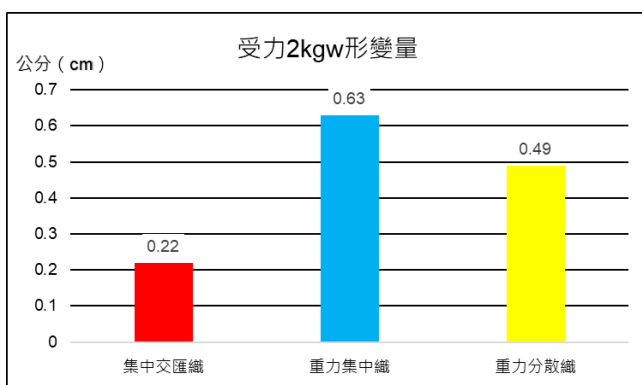


圖 4-58、特殊編織方式反彈面受力 2kgw 形變量

圖 4-59、特殊編織方式反彈面受力 2kgw 剛度

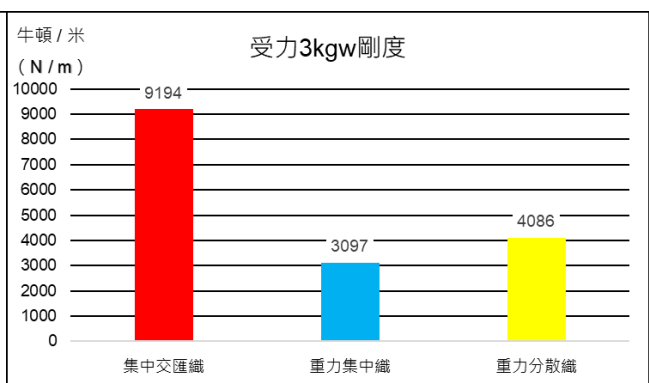
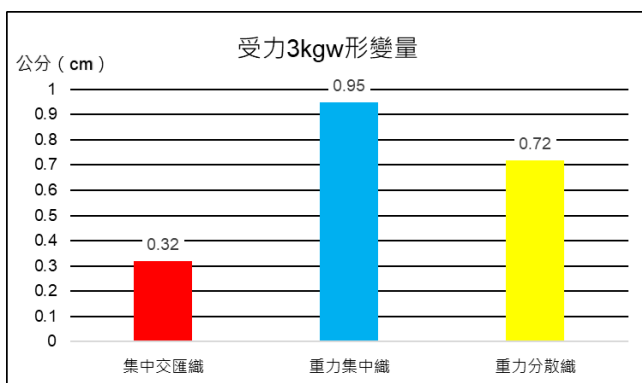


圖 4-60、特殊編織方式反彈面受力 3kgw 形變量

圖 4-61、特殊編織方式反彈面受力 3kgw 剛度

### 三、結論

1. 綜合評估下，集中交匯織的剛度雖然較高，但因恢復係數在編織物的特定位置上過低，因此不適合作為碳纖維的排列方式，諸如此類的網狀物亦同。
2. 重力集中織與重力分散織雖然用線量相同，但鋪線位置的不同導致了兩者剛度與恢復係數的不同，且排列於周圍之線對剛度的影響力大於中央點。
3. 結合以上十二個實驗，下個實驗將正式推廣二維的編織面到三維的儲氫瓶，印證網狀物實驗的結果。

### 實驗十三、儲氫瓶安全性模擬

#### 一、實驗步驟

1. 利用 Tinkercad 製作出儲氫瓶模型。
2. 使用 3D 列印機將儲氫瓶模具印出來。
3. 用打氣機連接儲氫瓶管口並進行打氣。
4. 觀測不同支架形式的儲氫瓶於承受多少氣壓時產生破損或缺口，以測量支架對儲氫瓶強度的影響。

※儲氫瓶規格：直徑 5cm，高度 5cm，厚度 2mm 的空心圓柱體表面外接 3mm 的支架，在外層再連接 2mm 的外壁，形成一高 6cm、直徑 6cm 之瓶狀物。

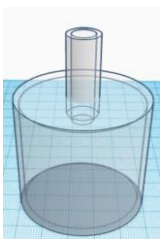
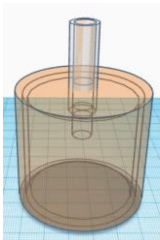
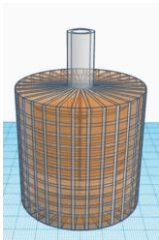
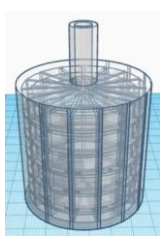
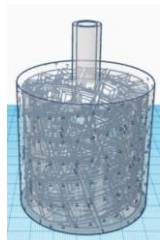
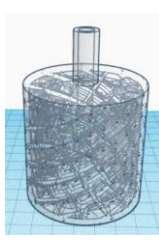


圖 4-62、儲氫瓶實驗裝置圖

#### 二、實驗數據

結合了以上十二個實驗，統整出六種儲氫瓶形式，並用打氣的方式探討不同之架型式除氫瓶的耐壓強度，試驗網狀物實際應用於儲氫瓶上的結果，結果如下表 4-19。

表 4-19、儲氫瓶於不同支架形式所能承受之氣壓實驗參數紀錄表

支架形式	不具外壁 無支架	具外壁 無支架	間隙 5mm 井字支架	間隙 10mm 井字支架	斜角 15 度 井字支架	斜角 30 度 井字支架
結構圖						
空氣壓力	26PSI	35PSI	120PSI 以上	73PSI	69PSI	66PSI

從表 4-19 得知，耐壓能力由間隙 5mm 井字支架最大，在同支架斜角的情形以間隙密的儲氫瓶耐壓能力較好；在同間隙密度的情形下又以斜角角度最低的儲氫瓶耐壓能力較好，且有支架的儲氫瓶耐壓能力都遠大於無支架的儲氫瓶，具外壁但無支架的儲氫瓶耐壓能力也低於有支架的，另外，間隙 5mm 井字支架之儲氫瓶因所能承受之壓力過高，儲氫瓶與打氣機的連接器材在氣壓達 120PSI 時損壞，不過實驗數據得以佐證以上網狀物實驗的結果。

#### 三、結論

1. 有支架的儲氫瓶耐壓能力都較高，其中支架間隙密、斜角角度低之儲氫瓶又在同條件下擁有較優的耐壓能力，與網狀物實驗的結果皆相同。結果印證網狀物實驗的內容，也可以得知，儲氫瓶在擁有這些結構時較為安全。

## 伍、研究結果與未來展望

### 一、反彈面材質對恢復係數之影響

1. 釣魚線反彈面為生活中常見的線材反彈面中恢復係數最高的，故選擇釣魚線作為後續實驗所用來代替碳纖維之編織材料。

### 二、投擲器具對實驗精確度的影響

1. 機械手臂能有效提升實驗的精確度、效率和穩定性。

### 三、編織面恢復係數與剛度最佳條件

1. 編織張力高之網狀物擁有較高的恢復係數與剛度，但穩定度較低。
2. 編織密度大之網狀物的恢復係數與剛度較高，且穩定性也較高。
3. 改變編法對恢復係數及剛度皆有影響，且兩編法在不同條件下所呈現的恢復係數不一定會有一者恆大。
4. 恢復係數與剛度隨著綁線角度增大而跟著下降。
5. 網狀物落點的位置對恢復係數的影響較大，且線的分布位置也對恢復係數有影響。
6. 排列於周圍之線對剛度的影響力大於中央點。

### 四、儲氫瓶模擬實驗

1. 支架間隙密、斜角角度低之儲氫瓶耐壓能力較高，成功印證網狀物實驗的內容。

### 五、未來展望

目前儲氫瓶耐壓測試只進入初步階段，希望未來在耐壓實驗中，可以嘗試更多不同樣式的支架，將實驗結果做的更為完備，並從中找出最佳的支架型式。最終將儲氫瓶商品化讓大家在使用氫氣的同時不用害怕儲存上的安全問題。

## 陸、參考文獻資料

### 一、Coefficient of restitution。（2023）。取自 Wikipedia：

[https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient\\_of\\_restitution](https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_restitution)。

### 二、Hooke's law（2023）。取自 Wikipedia：[https://en.wikipedia.org/wiki/Hooke%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Hooke%27s_law)。

### 三、Hydrogen vehicle（2024）。取自 Wikipedia：[https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_vehicle)。

### 四、蘇柏文；陳祐豪；劉語晴（2011）。「高『彈』闊論」。第 51 屆中小學科學展覽會。

取自：<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/030804.pdf>。

### 五、胡瑞文（2014）。不同線徑、穿線磅數對羽球線恢復係數之影響。取自「全國碩博士論文網」：

<https://hdl.handle.net/11296/7kjpr4>。

## 【評語】 032812

1. 本作品探討不同編織特性對恢復係數的影響，期望找出可作為儲氫鋼瓶內襯的編織物之最佳設計。
2. 本作品構想明確，實驗方法符合科學精神，值得肯定。
3. 若能進一步，詳加描述實際的材料及物理考量之細節，以及編織物做為鋼瓶內襯的實際組合方式和組合後的特性，可讓作品更完整。



## 作品簡報

法網恢恢，疏而不漏



不同編織方法對網狀物恢復係數之影響

## 研究動機

隨著地球資源的持續耗竭，為了環保及永續發展而創造的發明也日益普及，氫能源車也逐漸出現在了眾人的視野中，但目前的氫能車面臨一個棘手問題：**儲氫裝置的存放安全**，因為高壓氣體在密閉環境裡具有爆炸的風險，為了解決此問題，我們使用**釣魚線模擬儲氫罐之碳纖維編織層的排列方式**並展開後續實驗。

## 研究目的

- (一) 實驗不同材質對恢復係數之影響
- (二) 分析人手與機械手臂對實驗精確度之影響
- (三) 探討不同實驗變項對編織層的恢復係數及剛度的影響
- (四) 依據實驗變項測試結果進行儲氫瓶安全性模擬實驗

## 實驗操弄

洞洞鐵框架

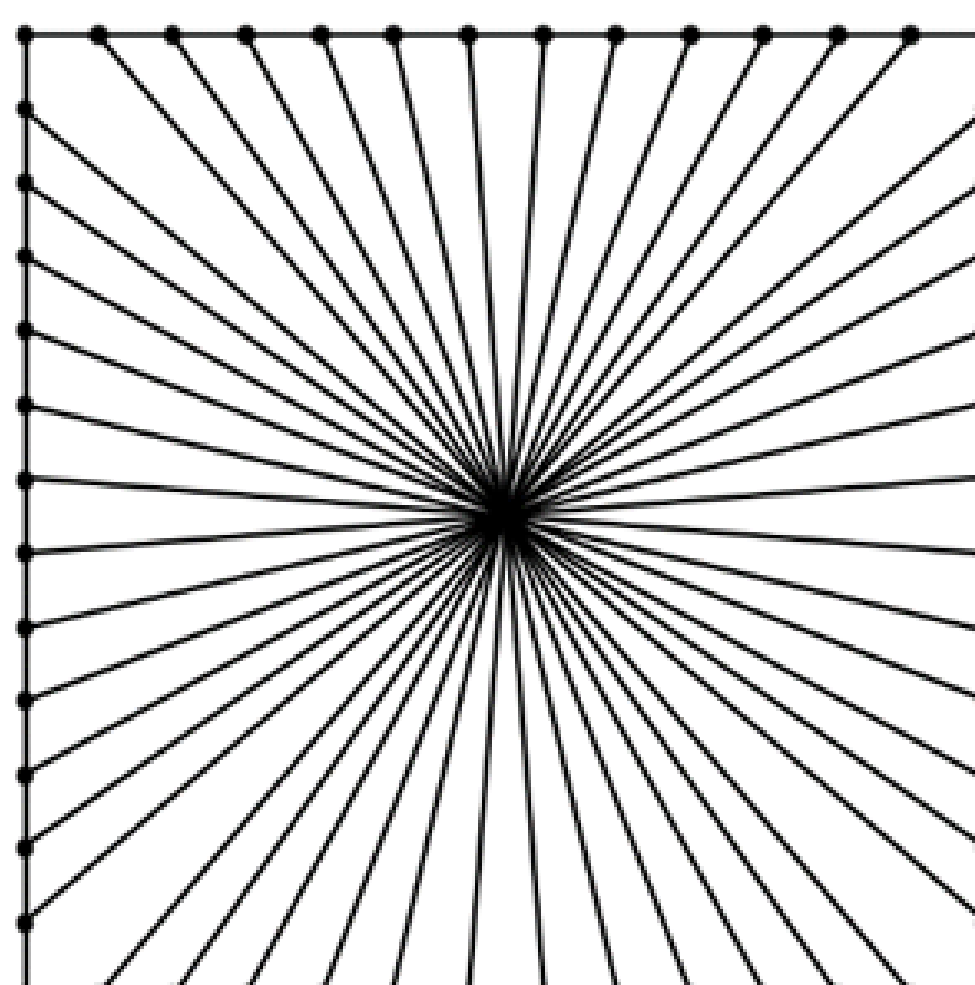
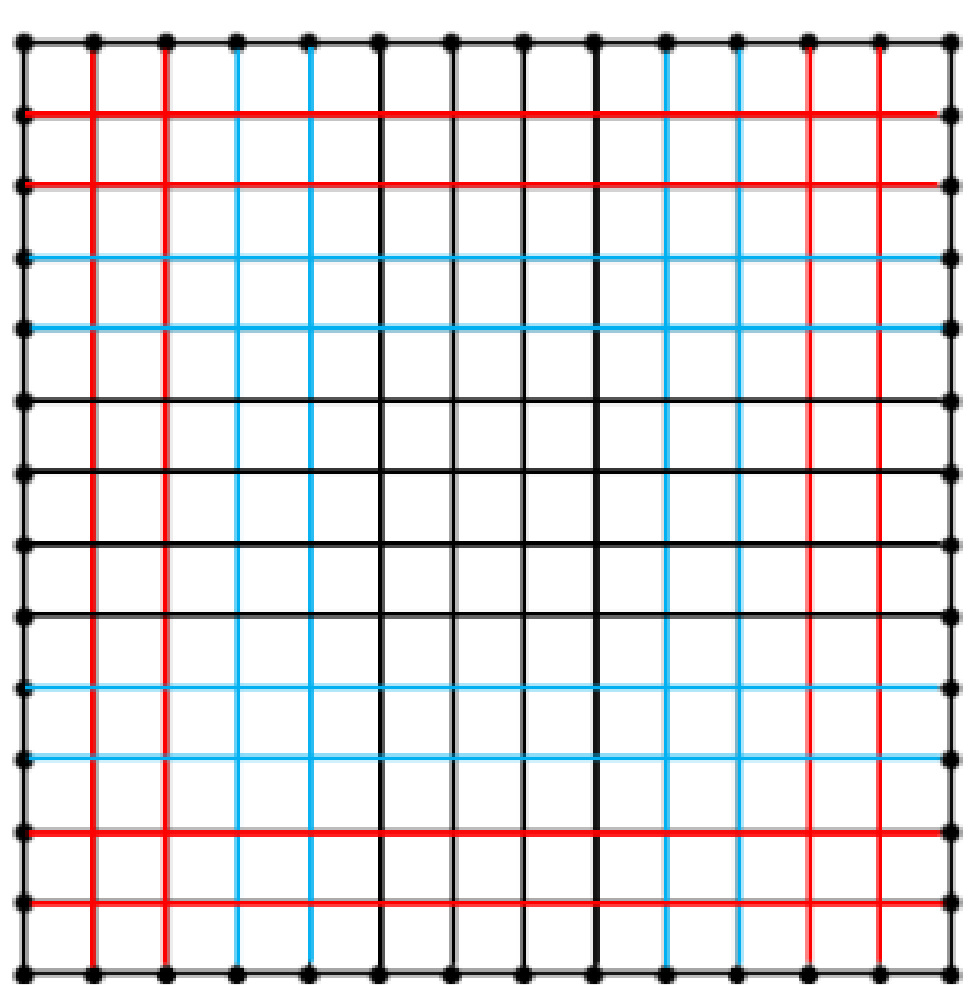
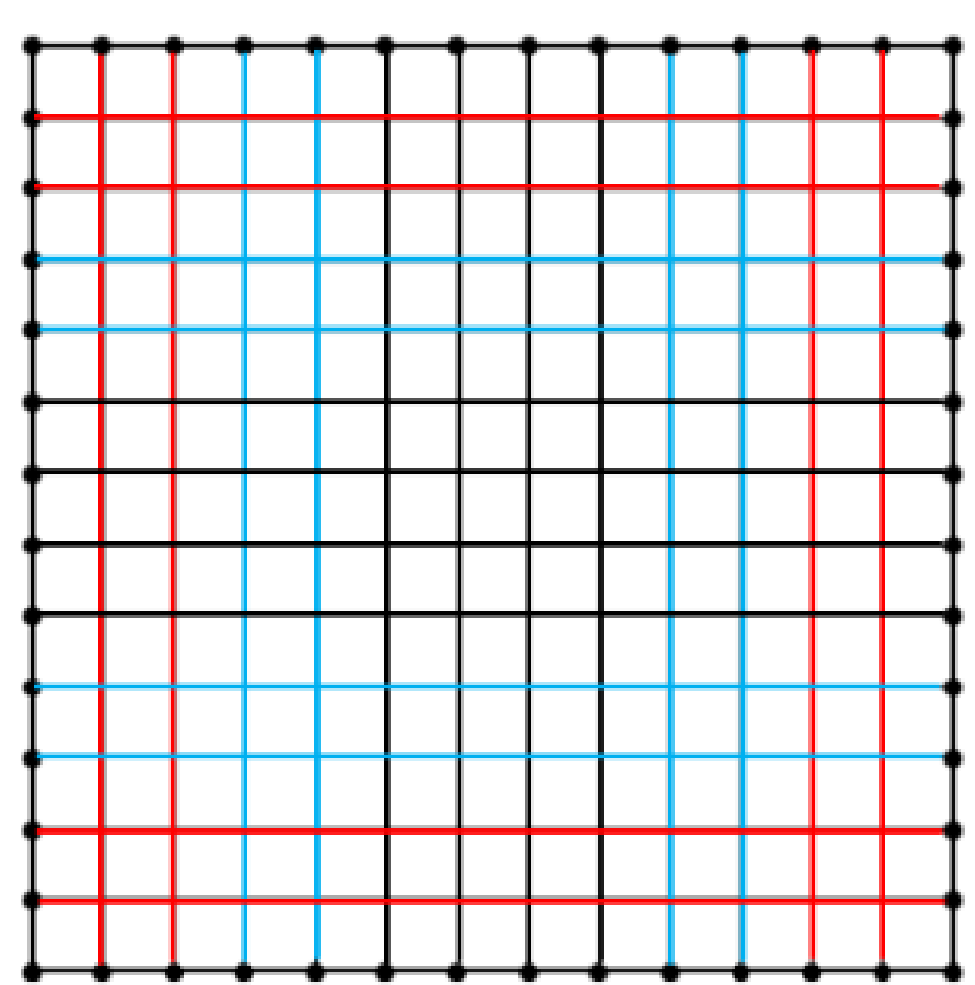
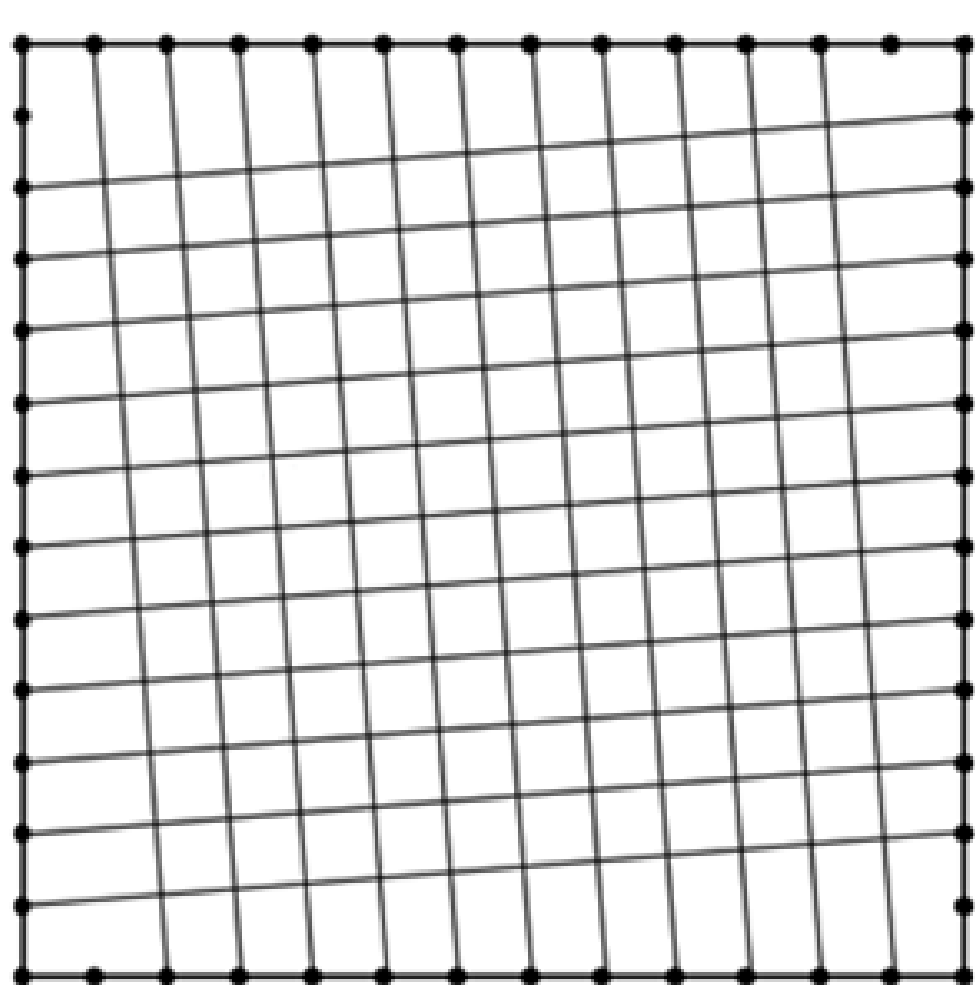
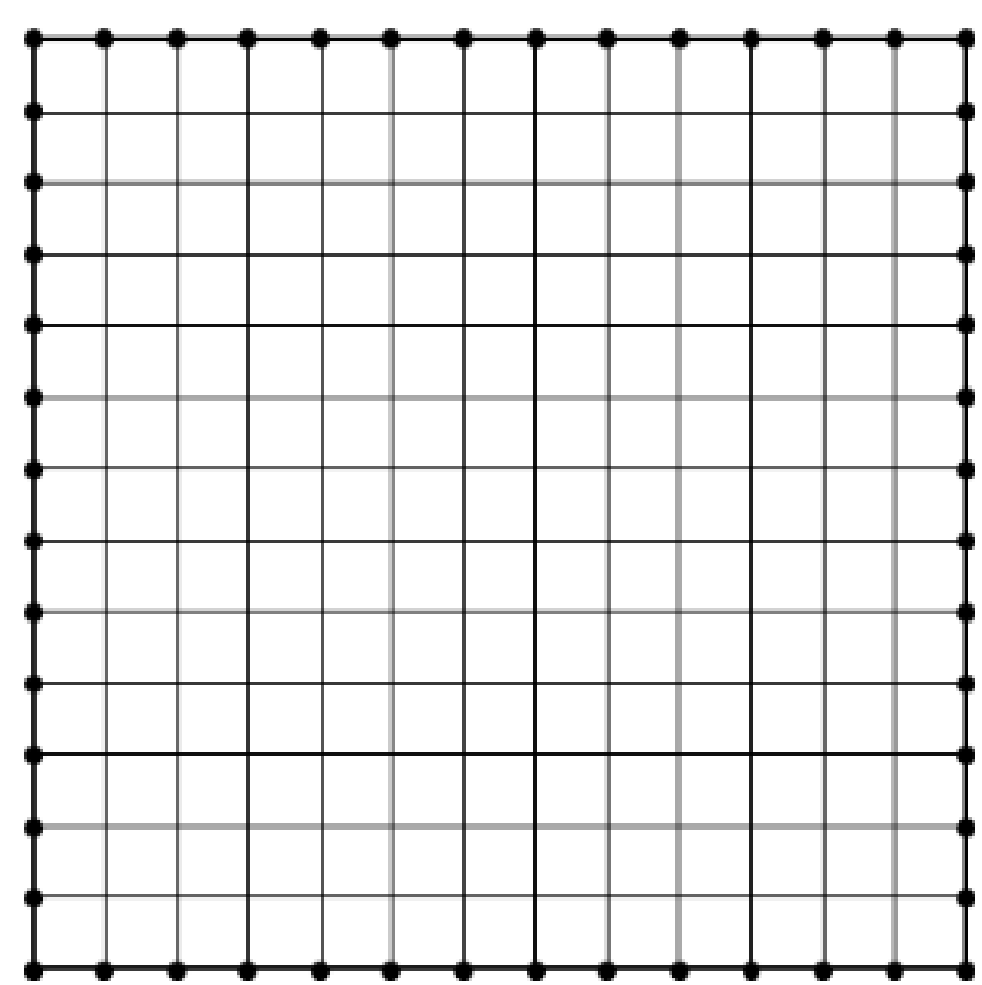
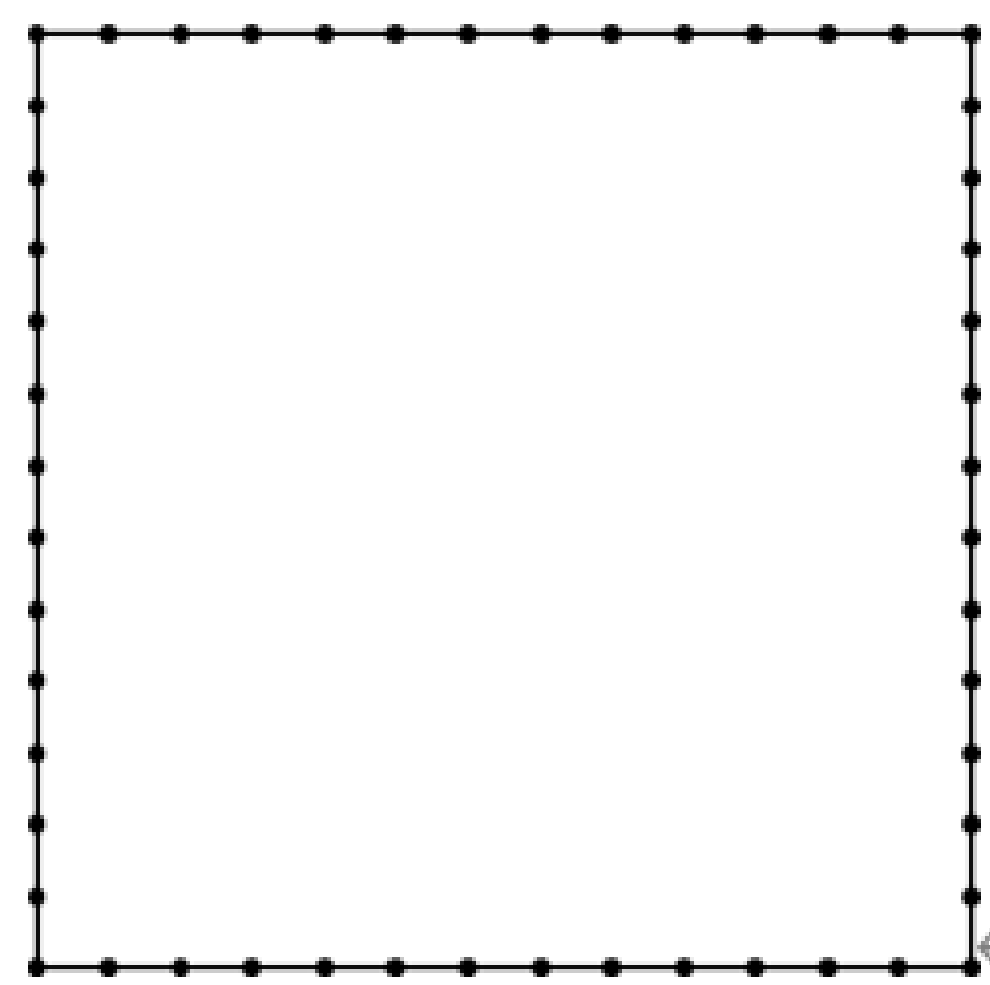
井字織

斜邊n格井字織

重力分散織

重力集中織

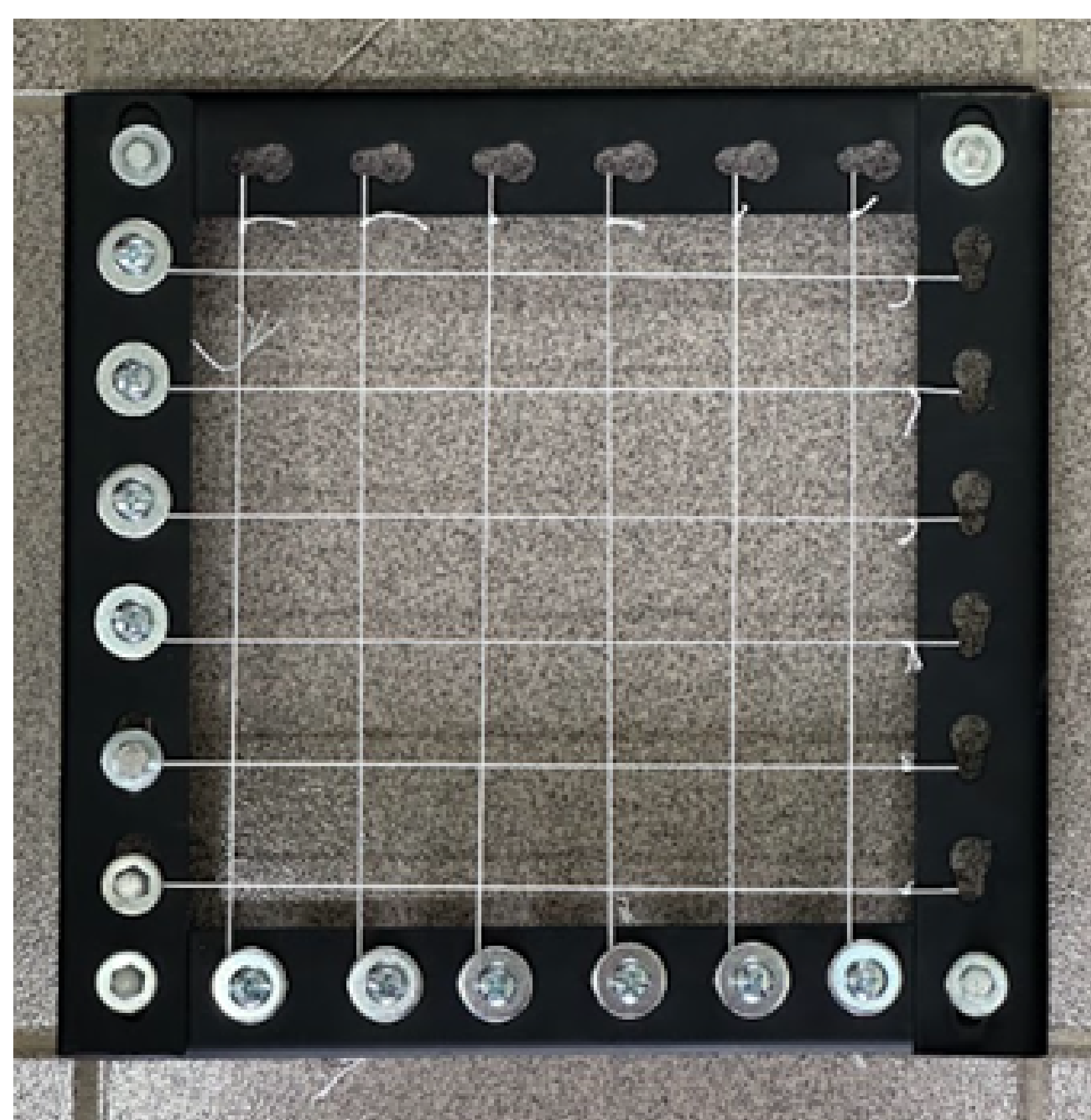
集中交匯織



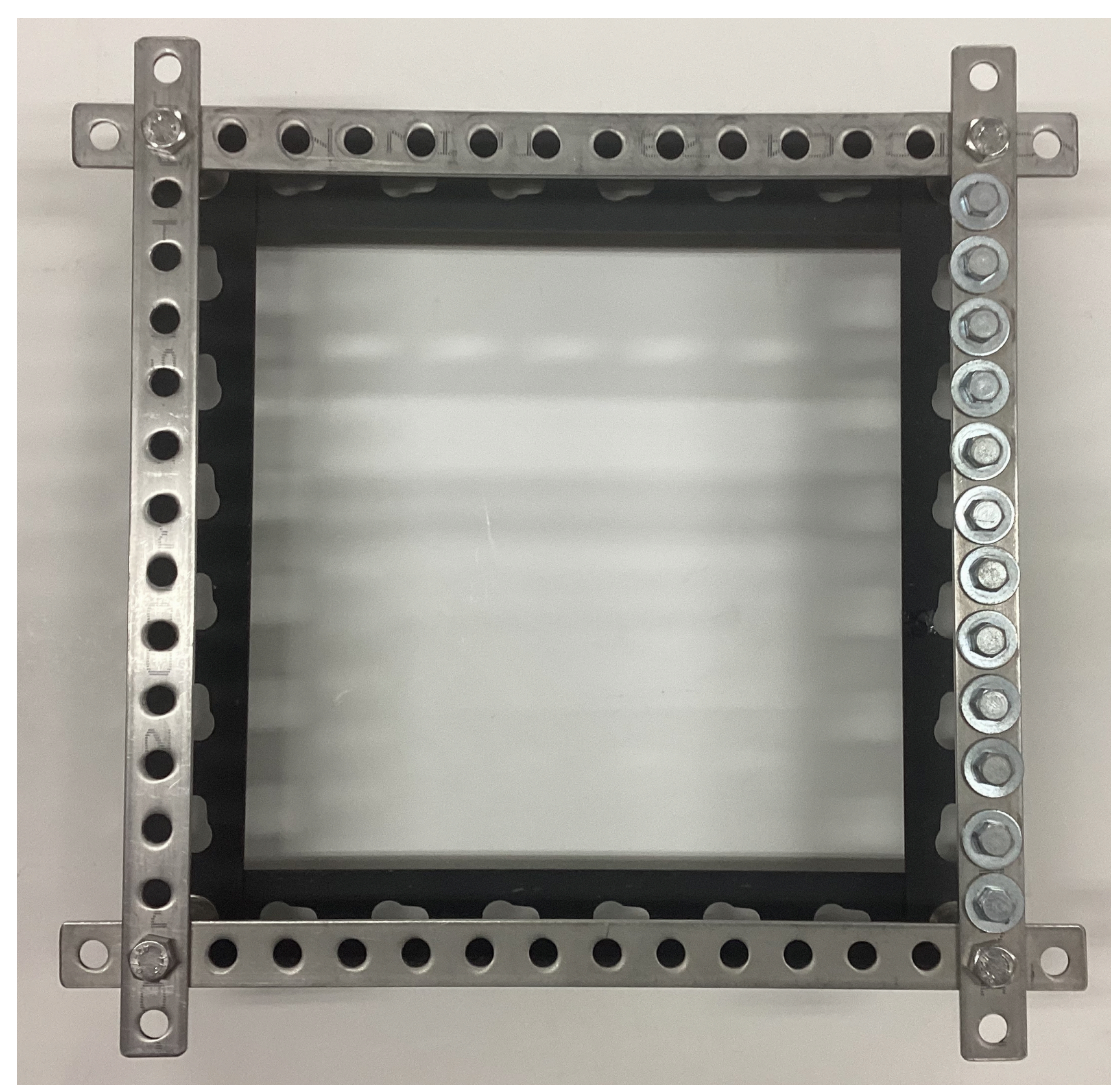
●表示1kgw磅數之線  
●表示2kgw磅數之線  
●表示3kgw磅數之線

●表示1kgw磅數之線  
●表示2kgw磅數之線  
●表示3kgw磅數之線

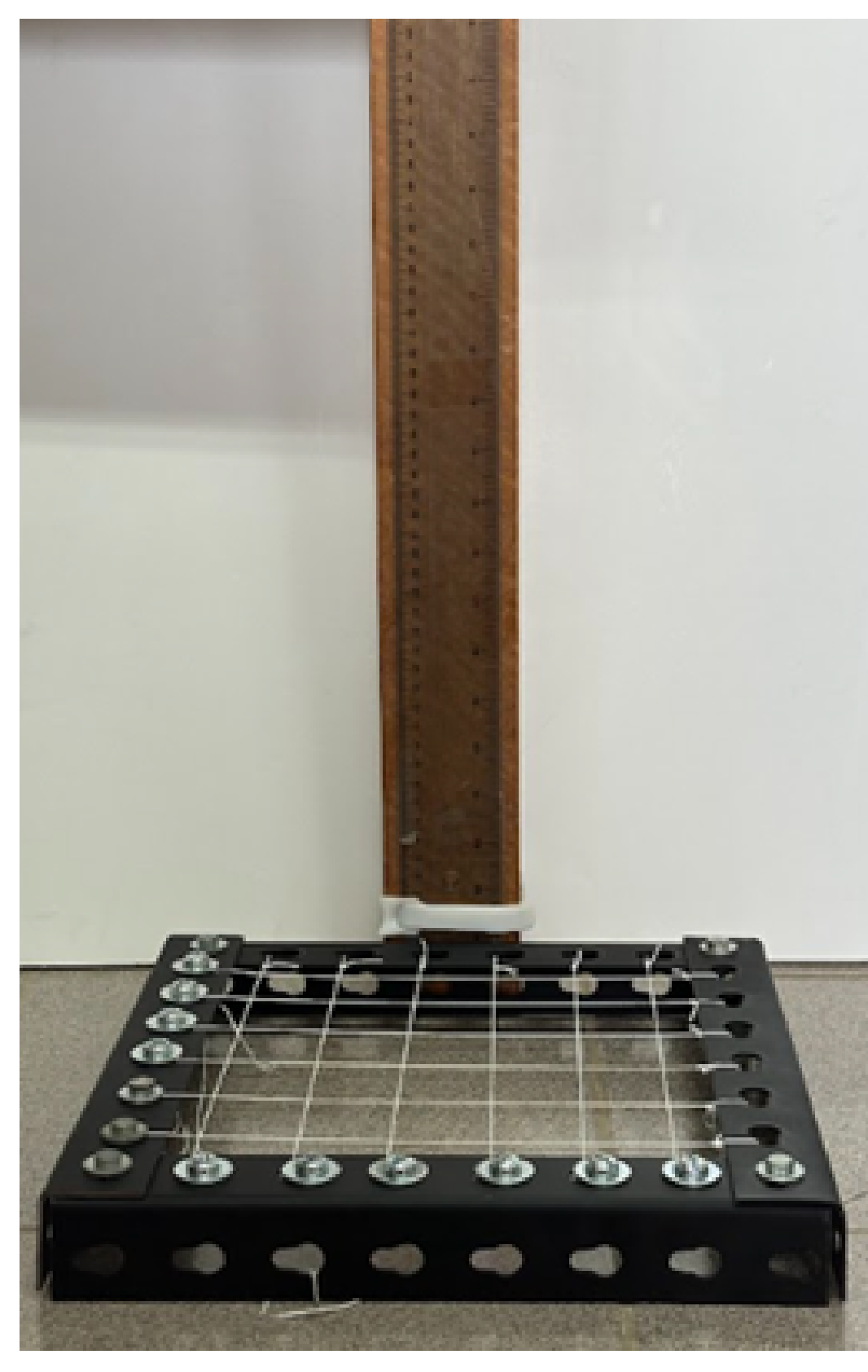
## 實驗器材



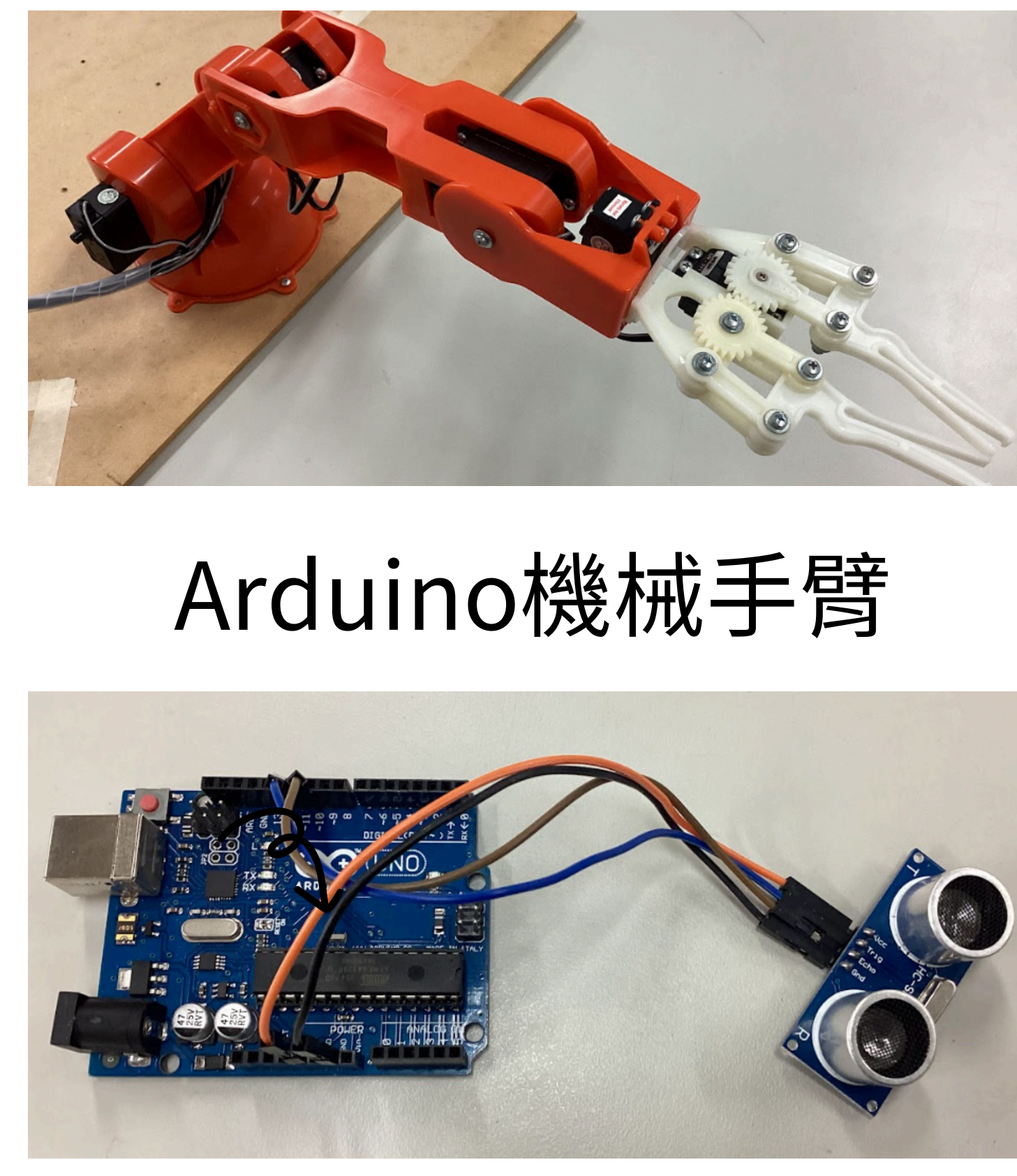
網狀物示意圖



洞洞鐵框架示意圖



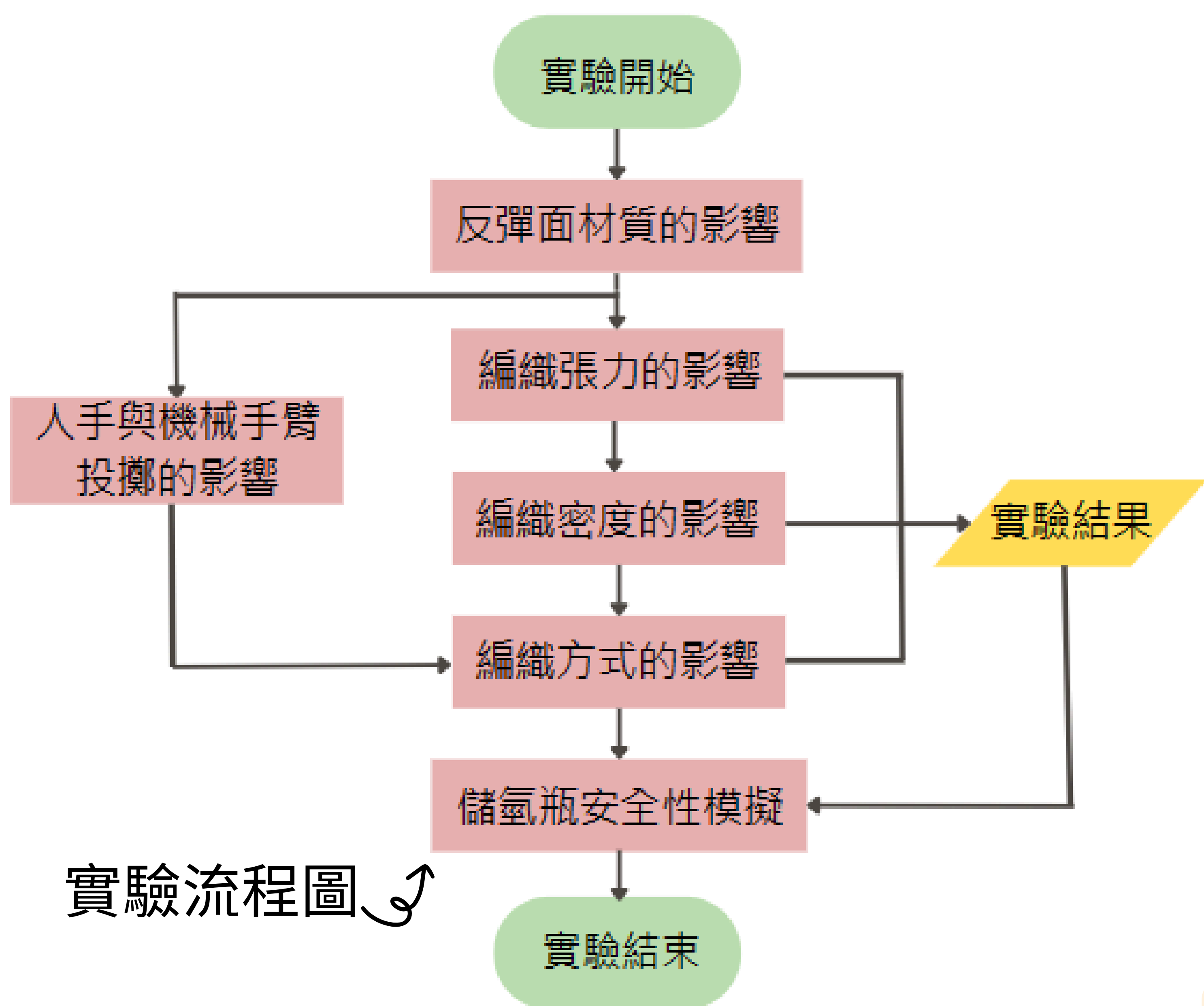
實驗裝置圖



Arduino機械手臂

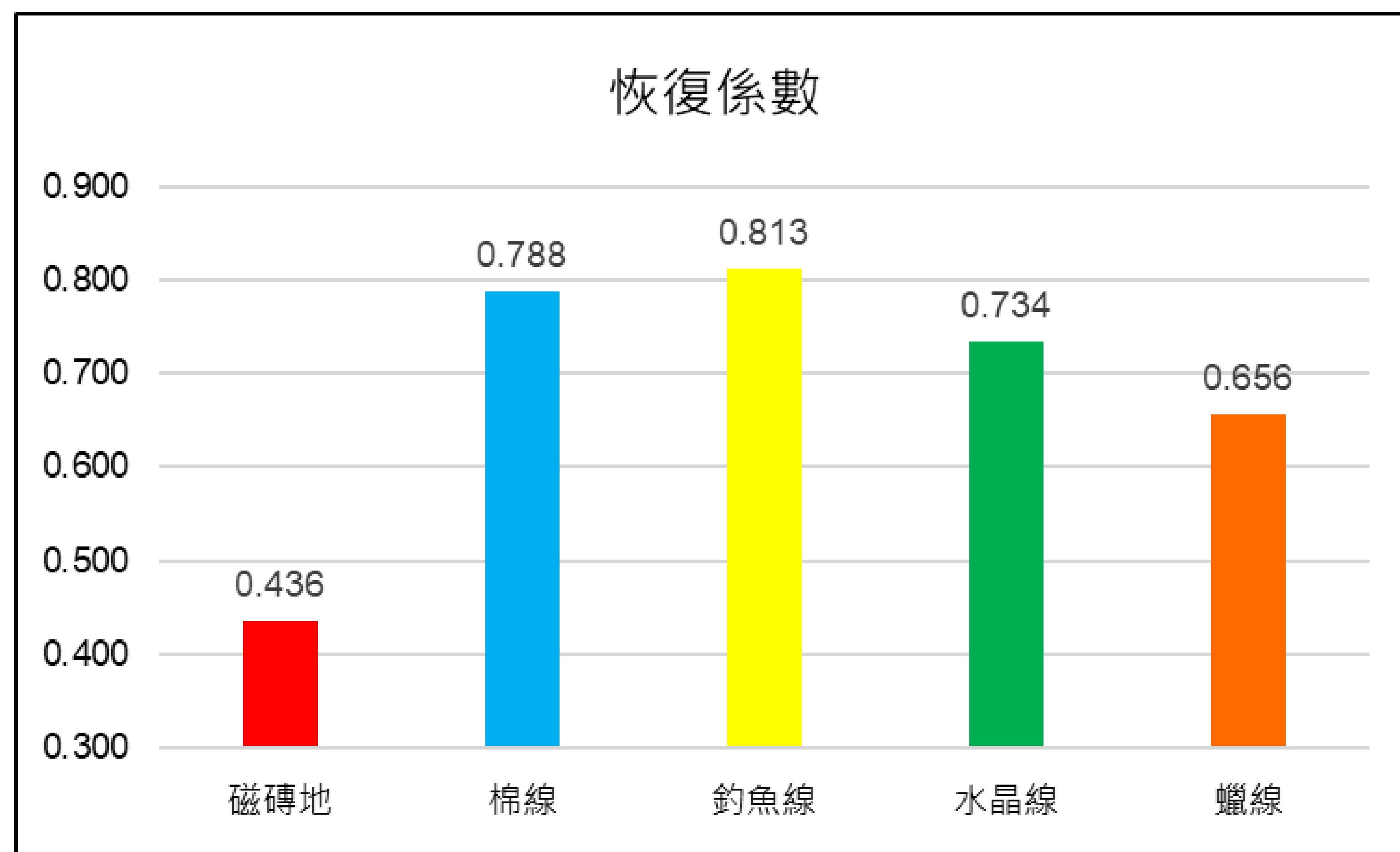
Arduino超音波感測器

## 實驗研究



### 不同反彈面對恢復係數之影響

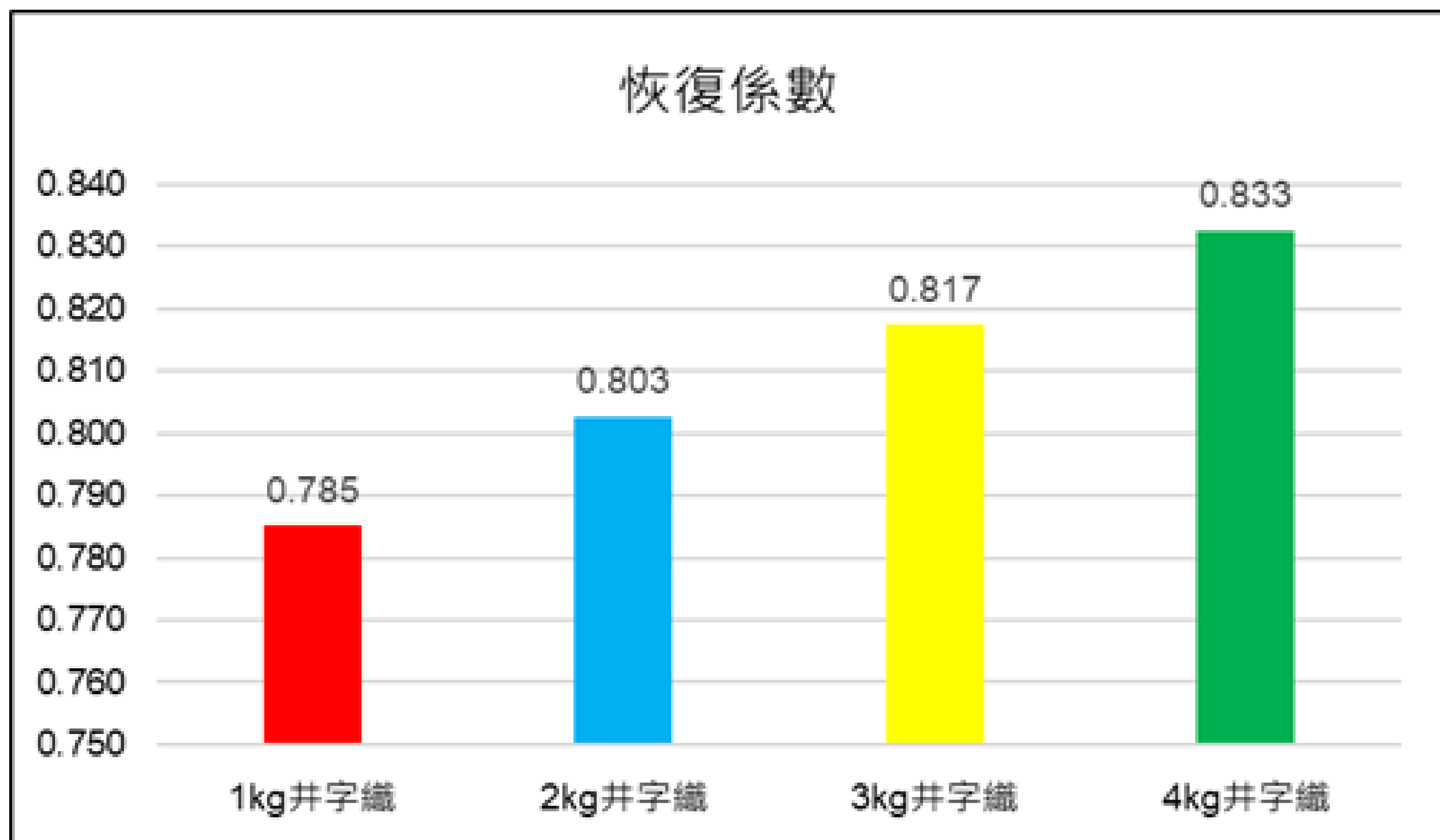
保麗龍球於不同反彈面之恢復係數



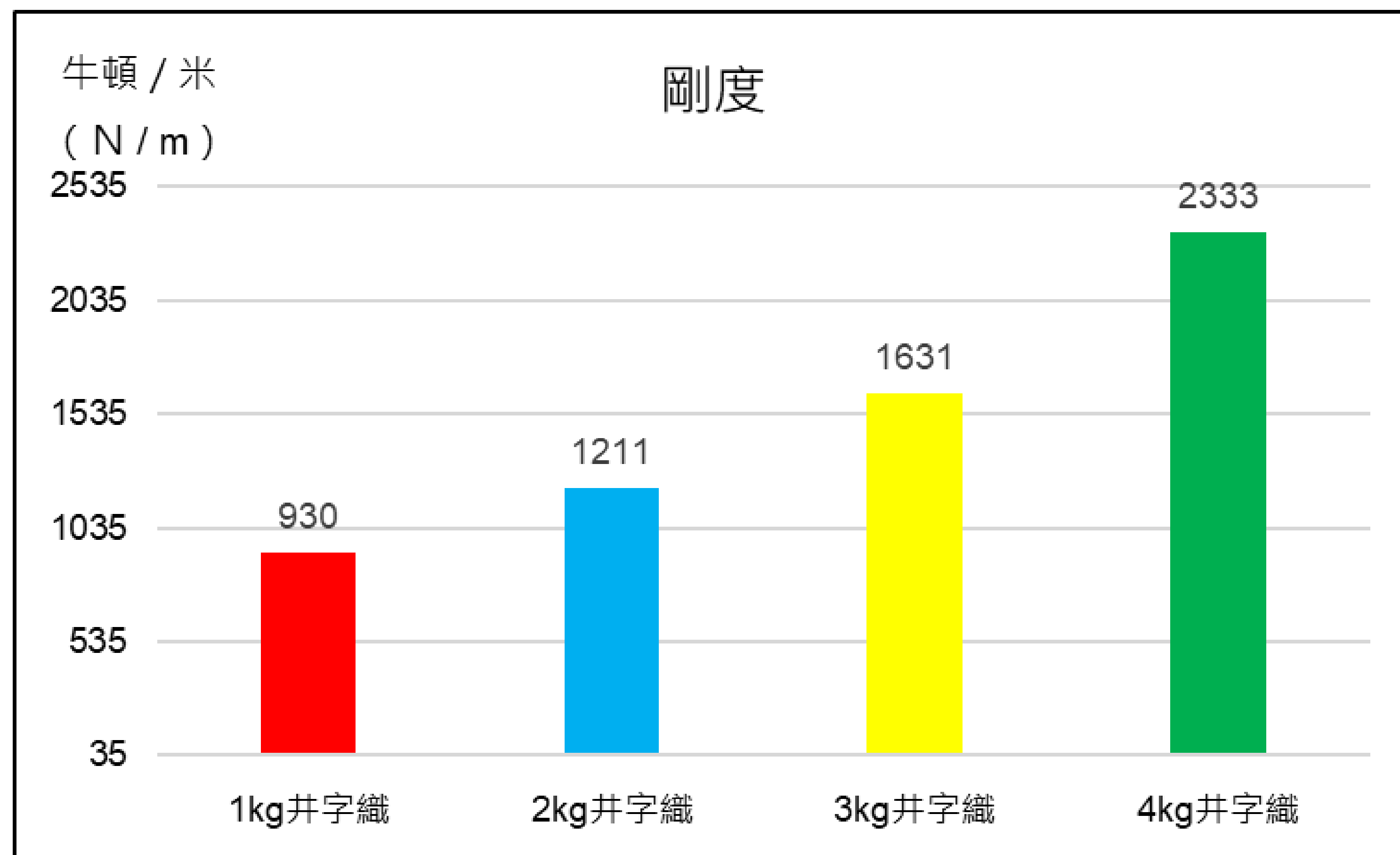
釣魚線反彈面的恢復係數為常見線材中最大的。

### 不同編織張力對恢復係數及剛度之影響

保麗龍球於不同反彈面之恢復係數



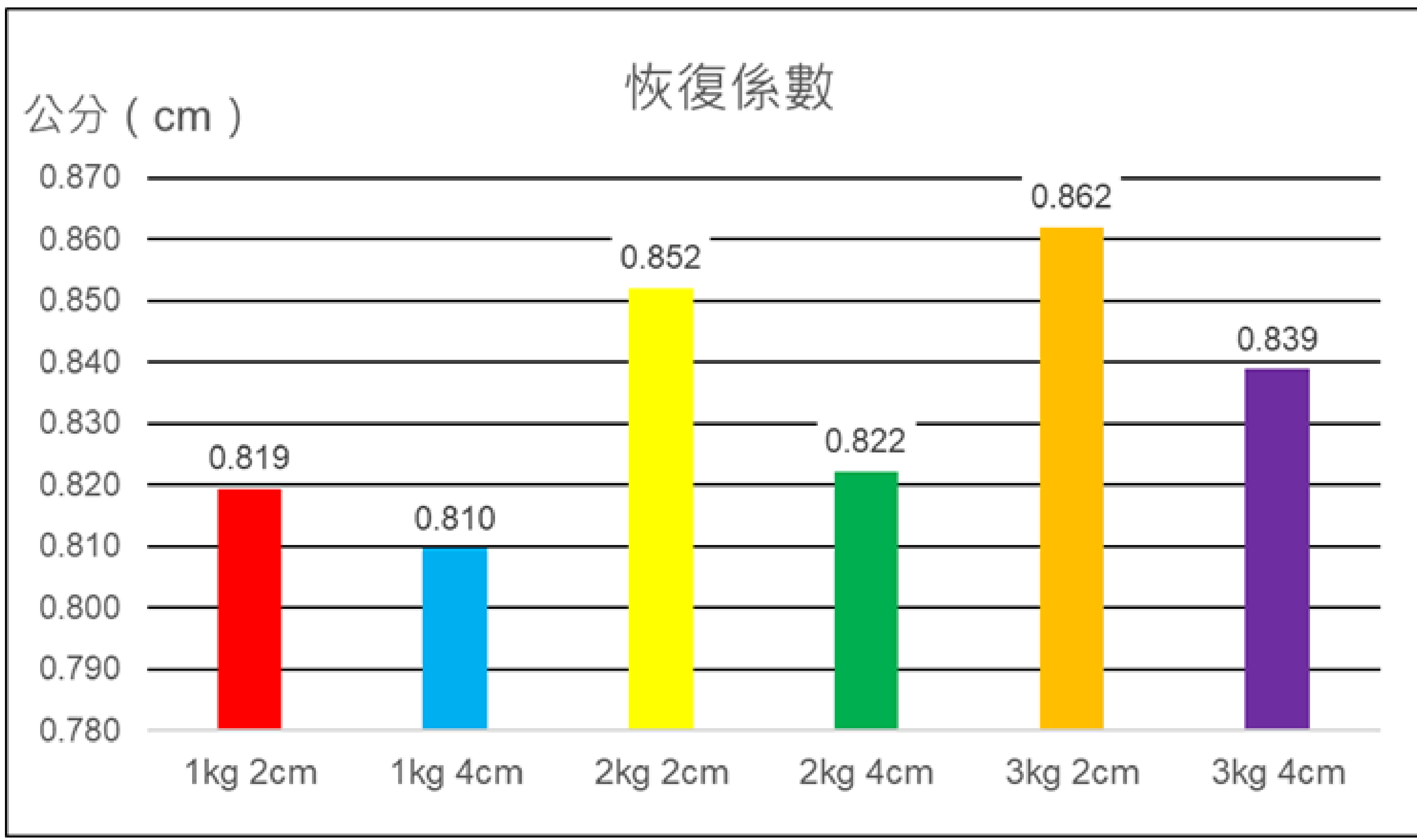
保麗龍球於不同反彈面之剛度



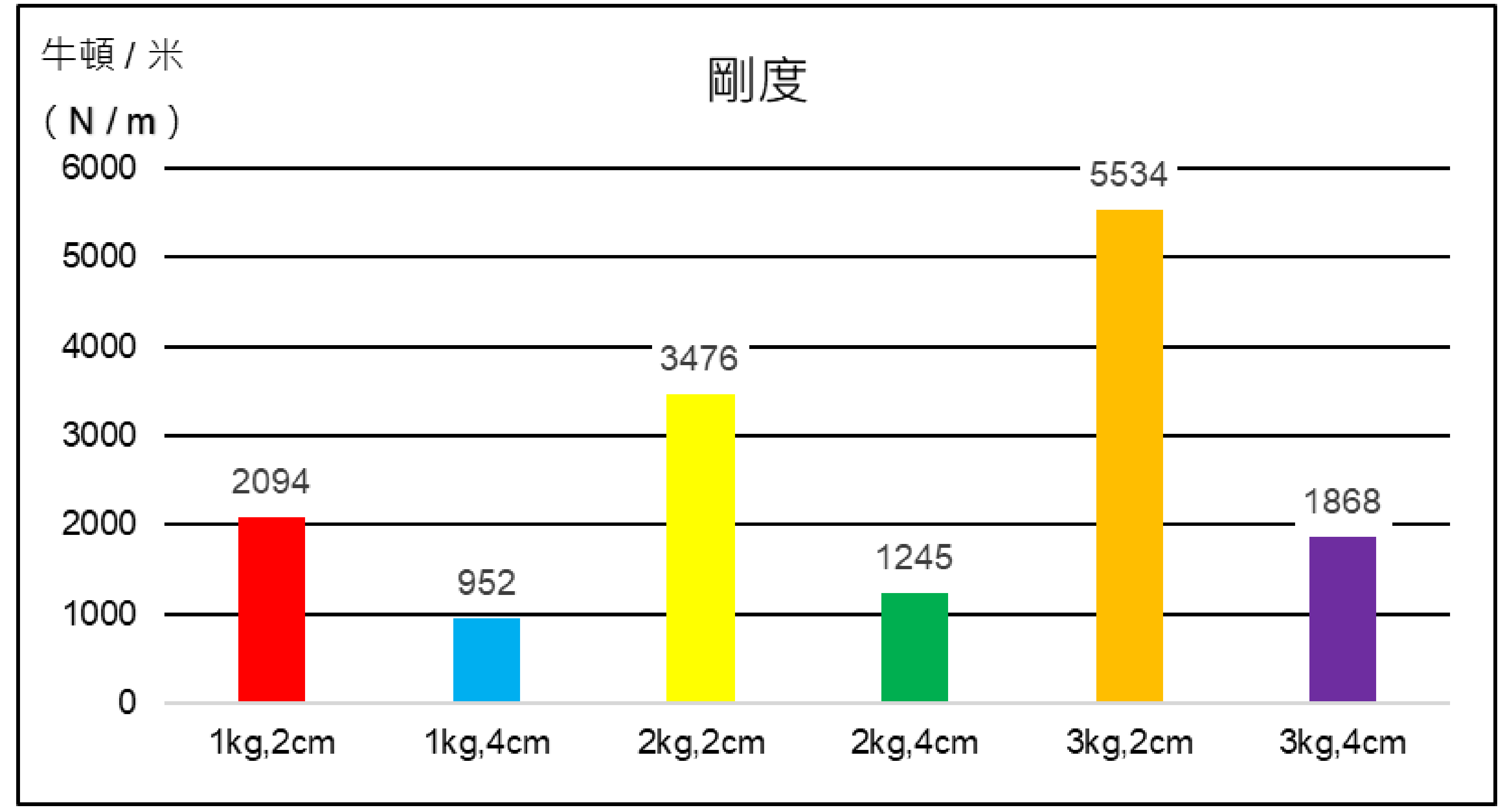
隨著磅數越大，恢復係數也會越大。且在此編織方式下，釣魚線可承受的最大磅數在4kgw附近。形變量從1kgw至3kgw張力呈遞減狀態，剛度則呈遞增狀態。在編織物張力為1kgw和2kgw時，剛度隨著受力而略增，且受力越大時，剛度和原受力1kgw時落差越大。

## 不同編織密度對恢復係數及剛度之影響

保麗龍球於不同反彈面編織密度之恢復係數



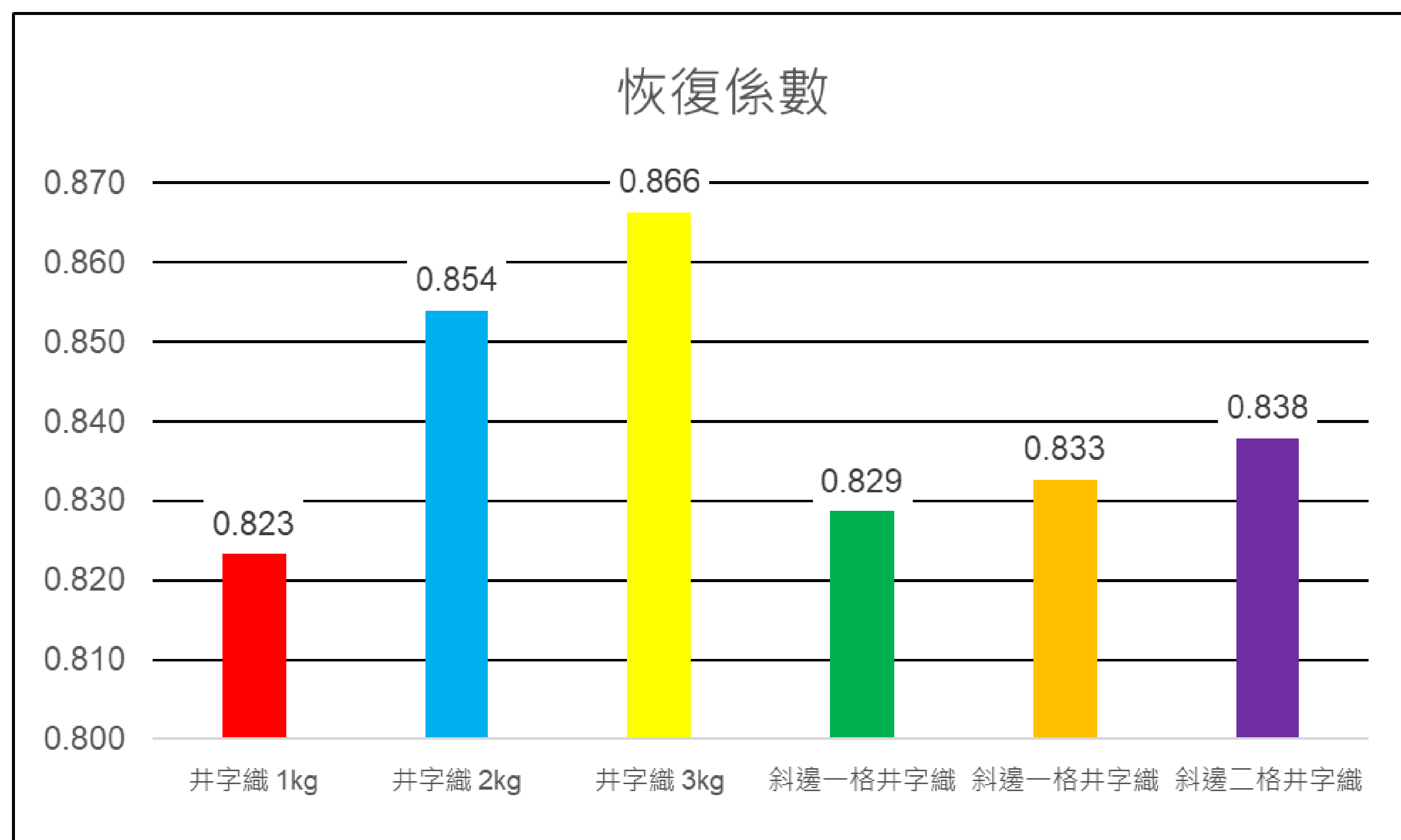
保麗龍球於不同反彈面編織密度之剛度



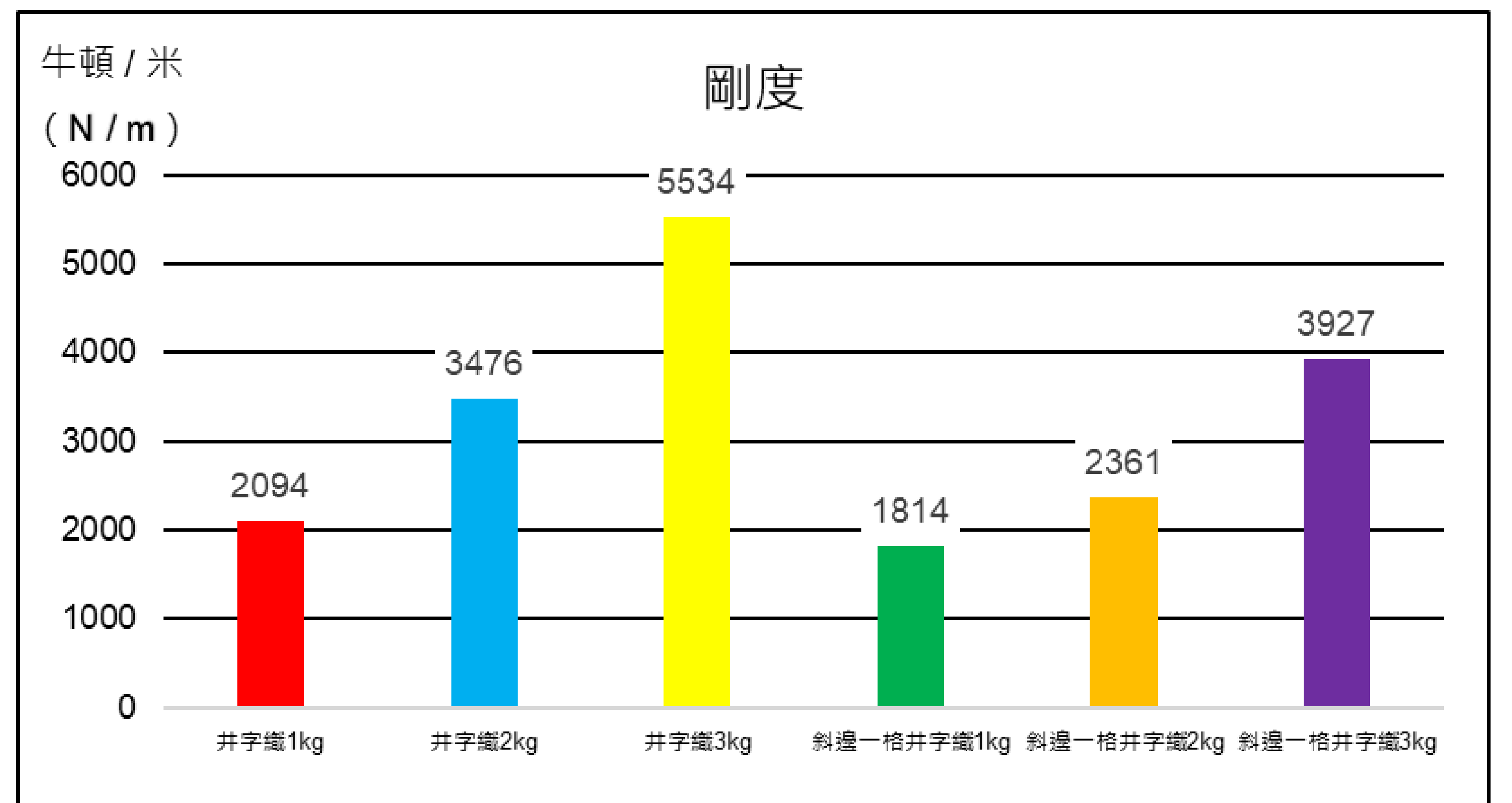
從實驗數據可以發現，不論張力是多少，**編織密度高的編法恢復係數及剛度皆大於編織密度低的編法**。同時也發現間隙2cm編法穩定度較間隙4cm編法優。

## 不同編織方式對恢復係數及剛度之影響

保麗龍球於不同反彈面綁線方向之恢復係數



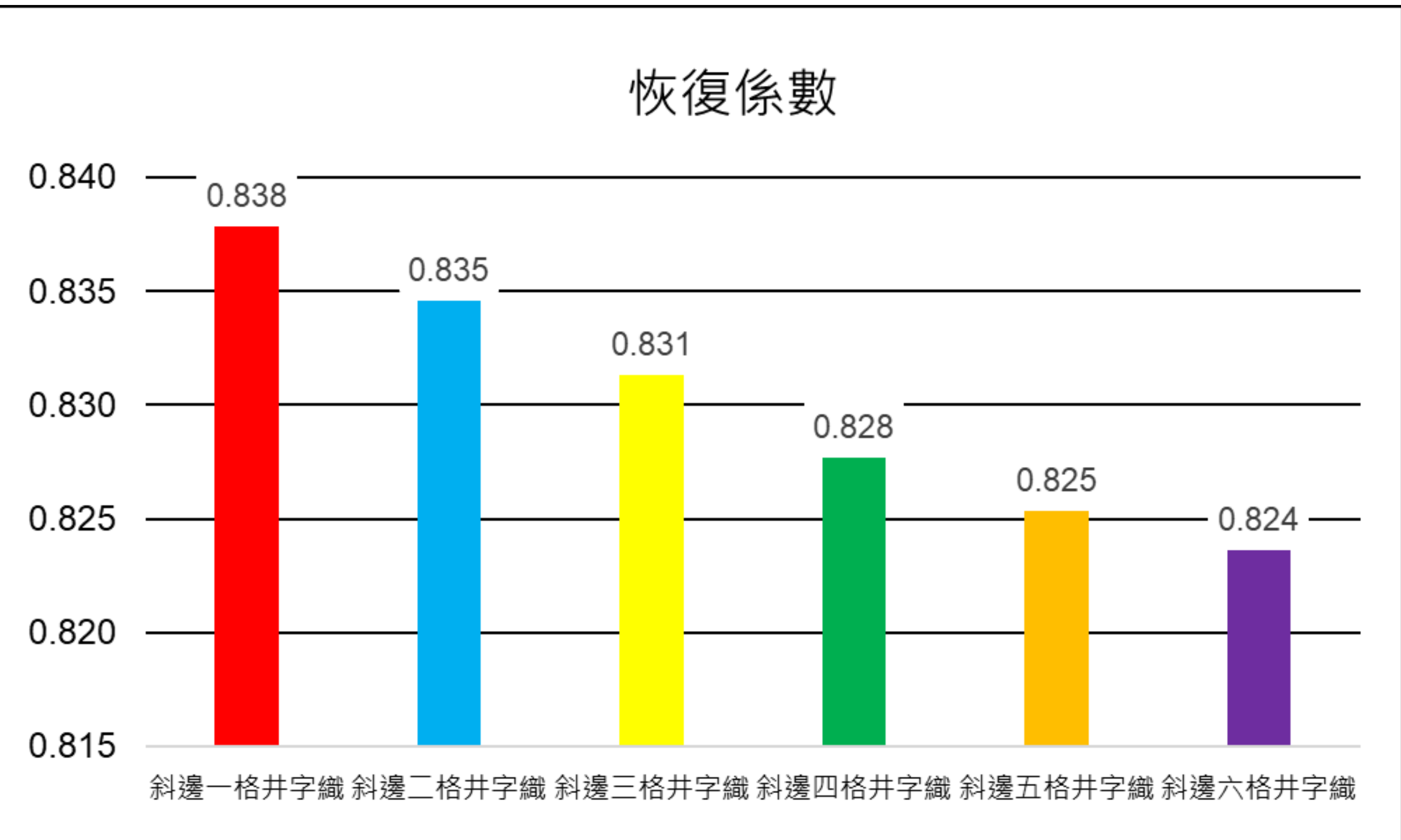
保麗龍球於不同反彈面綁線方向之剛度



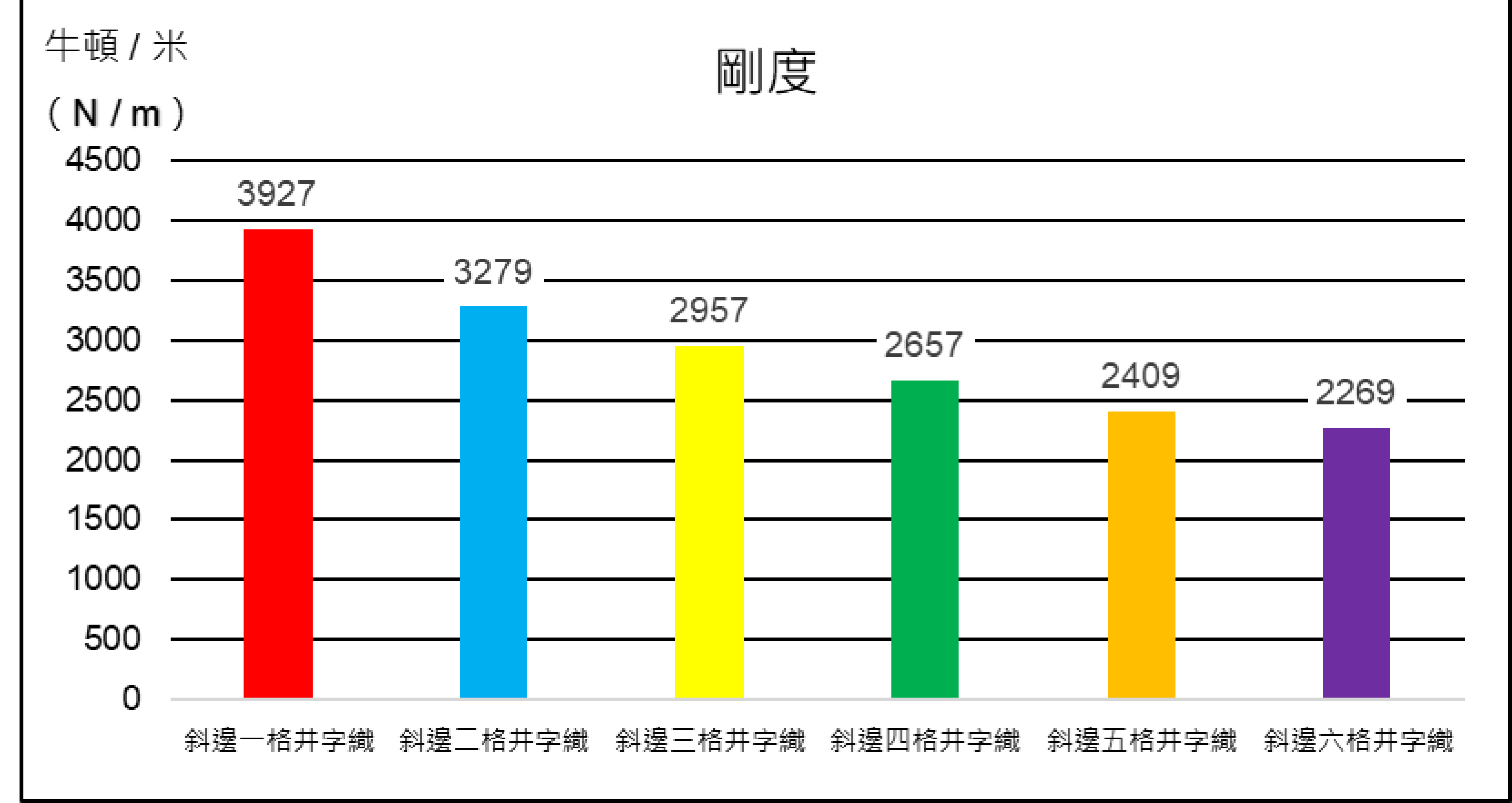
磅數於2kgw、3kgw時，**井字織編法的恢復係數皆較斜邊一格井字織編法高**，但在磅數位於1kgw時，**斜邊一格井字織編法的恢復係數卻較高**。不論張力為多少，**井字織的剛度恆大於斜邊一格井字織**。縱使1kgw張力斜邊一格井字織的恢復係數較1kgw井字織大，剛度卻不像前面實驗一樣恢復係數大之編織物剛度也較大。

## 不同綁線角度對恢復係數及剛度之影響

保麗龍球於不同綁線角度之恢復係數



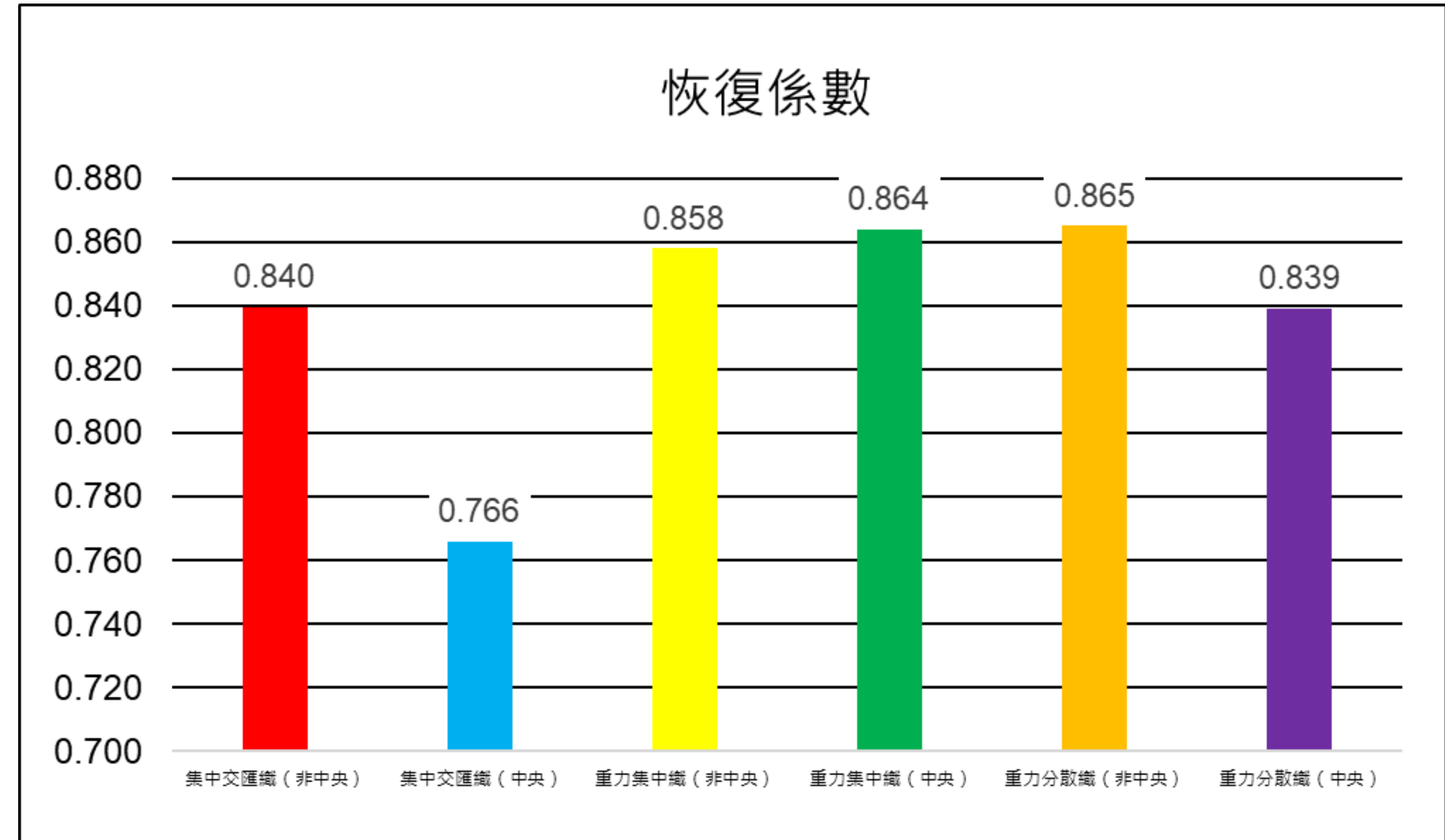
保麗龍球於不同綁線角度之剛度



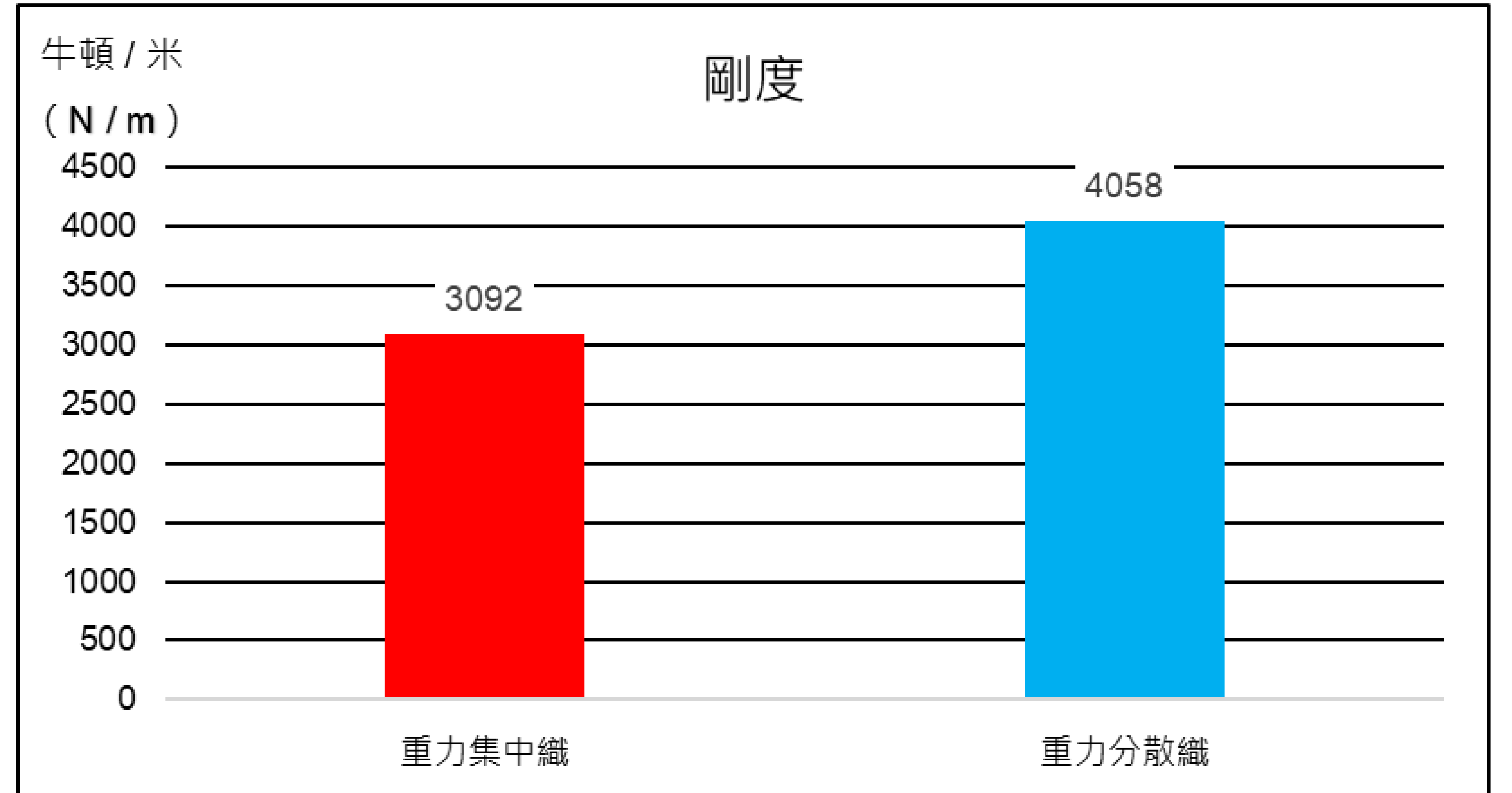
恢復係數隨著綁線角度增大而跟著下降，再與井字織做比較，發現井字織因無改變綁線角度而使之在相同張力與編織密度下擁有較高的剛度。

## 特殊編織方式對恢復係數及剛度之影響

保麗龍球於不同編織方式之恢復係數



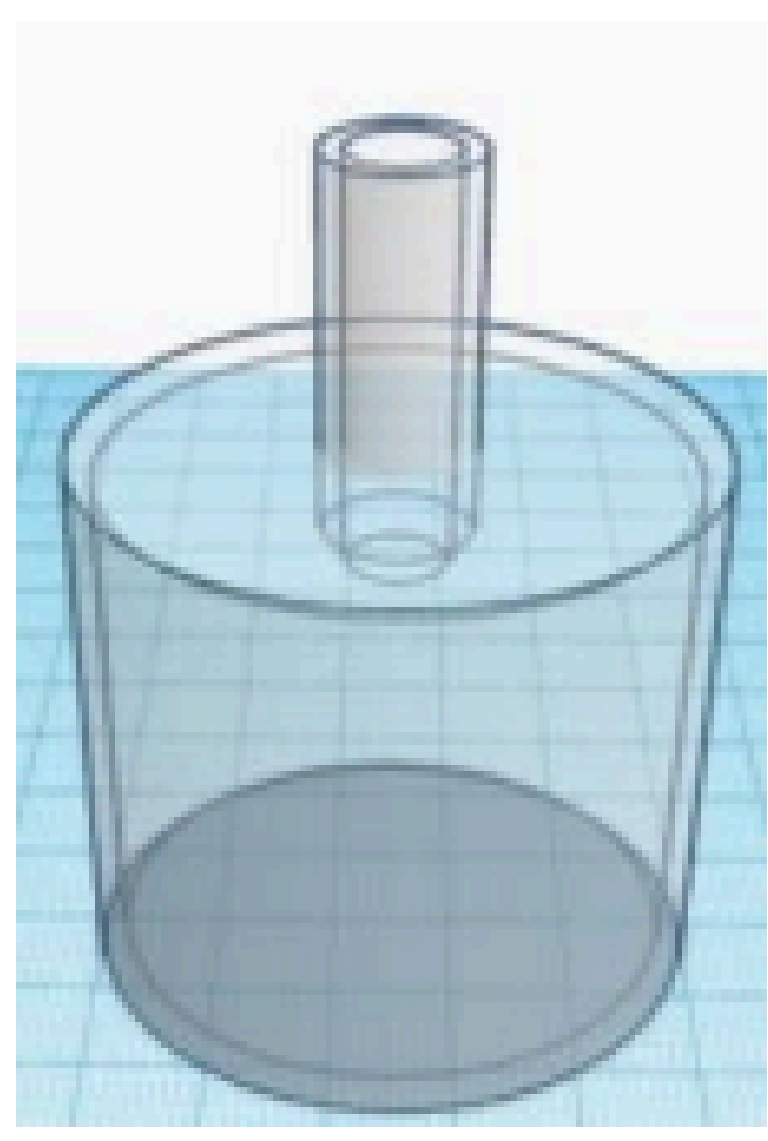
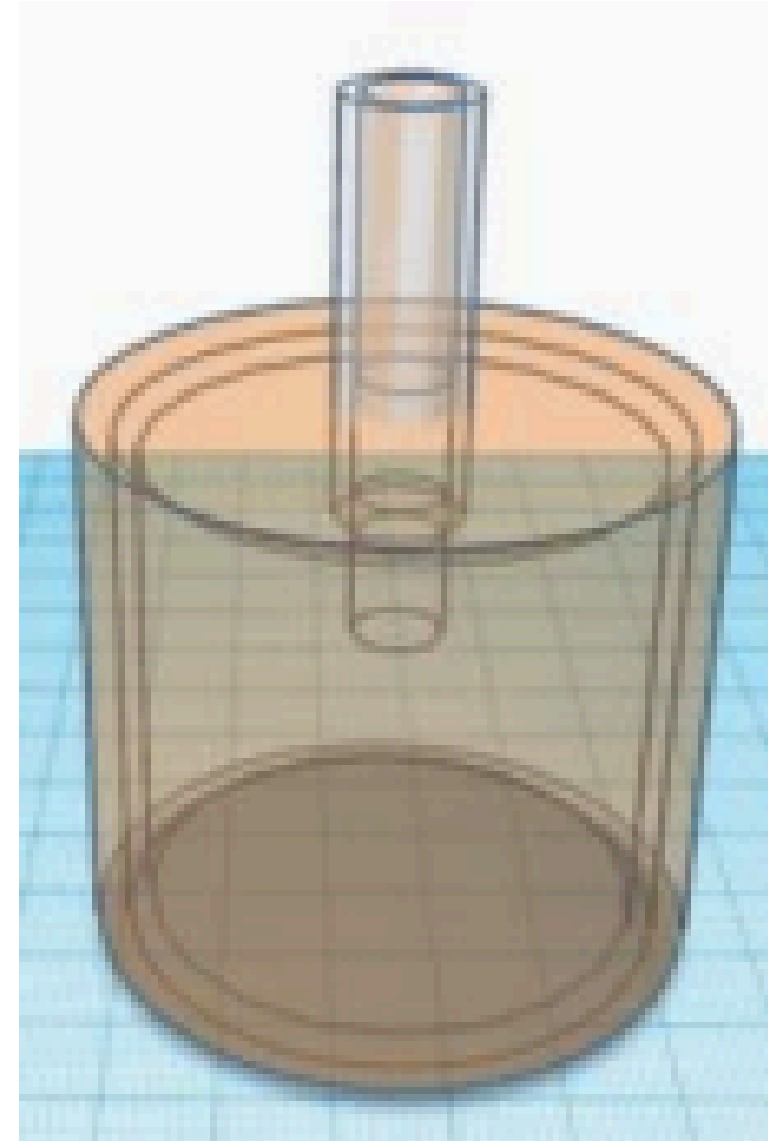
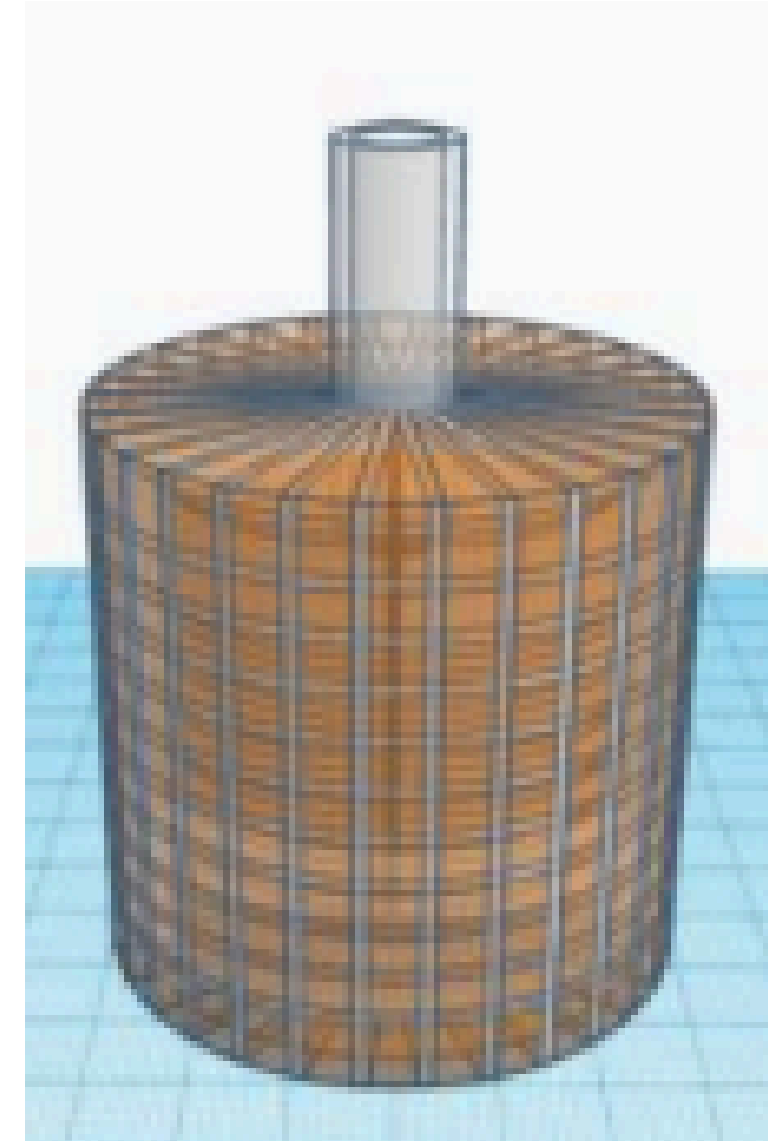
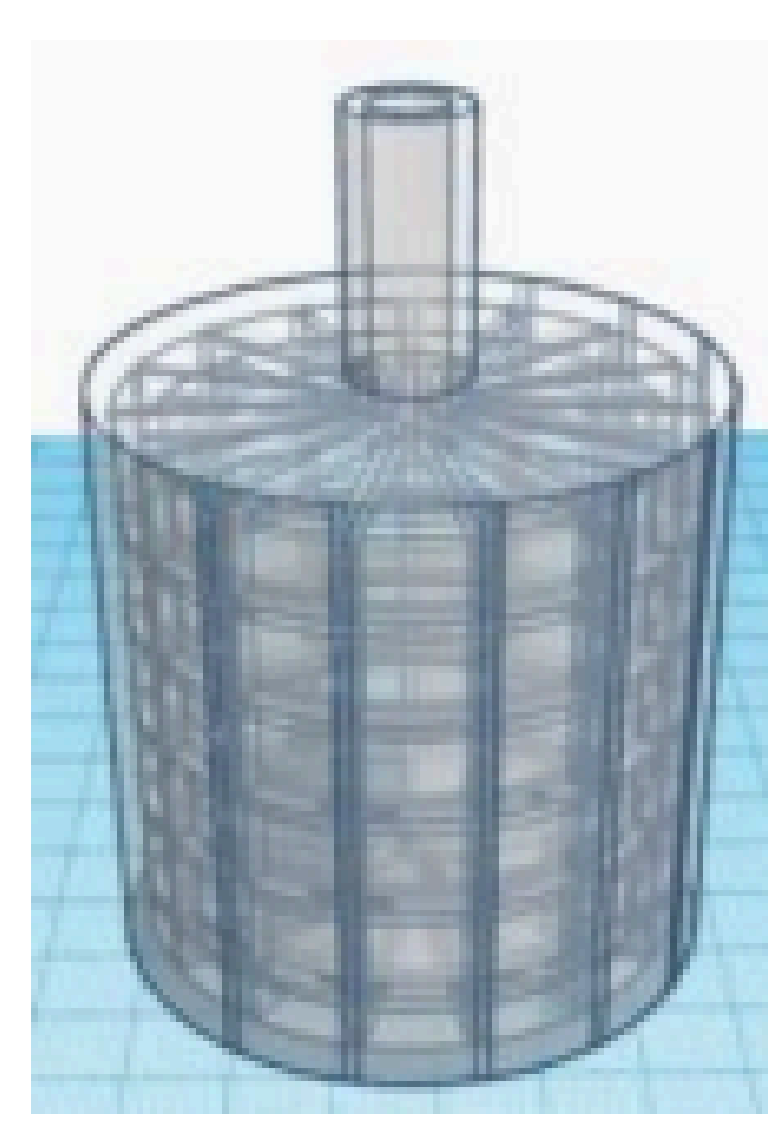
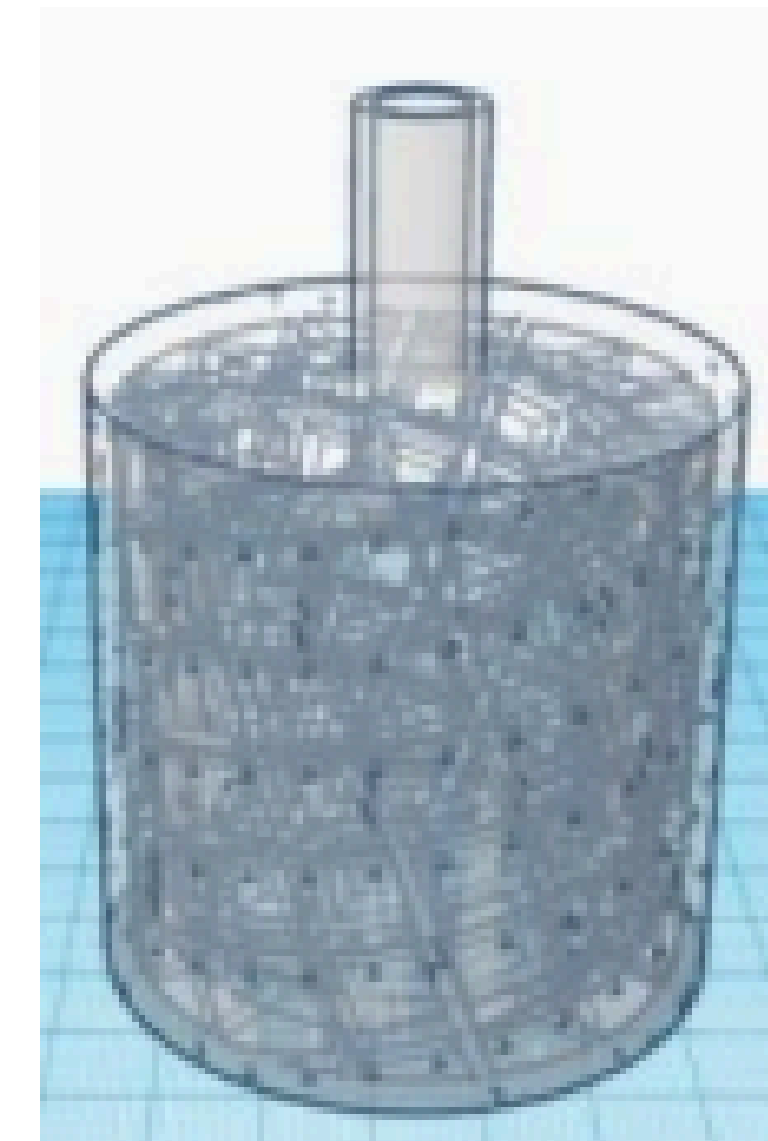
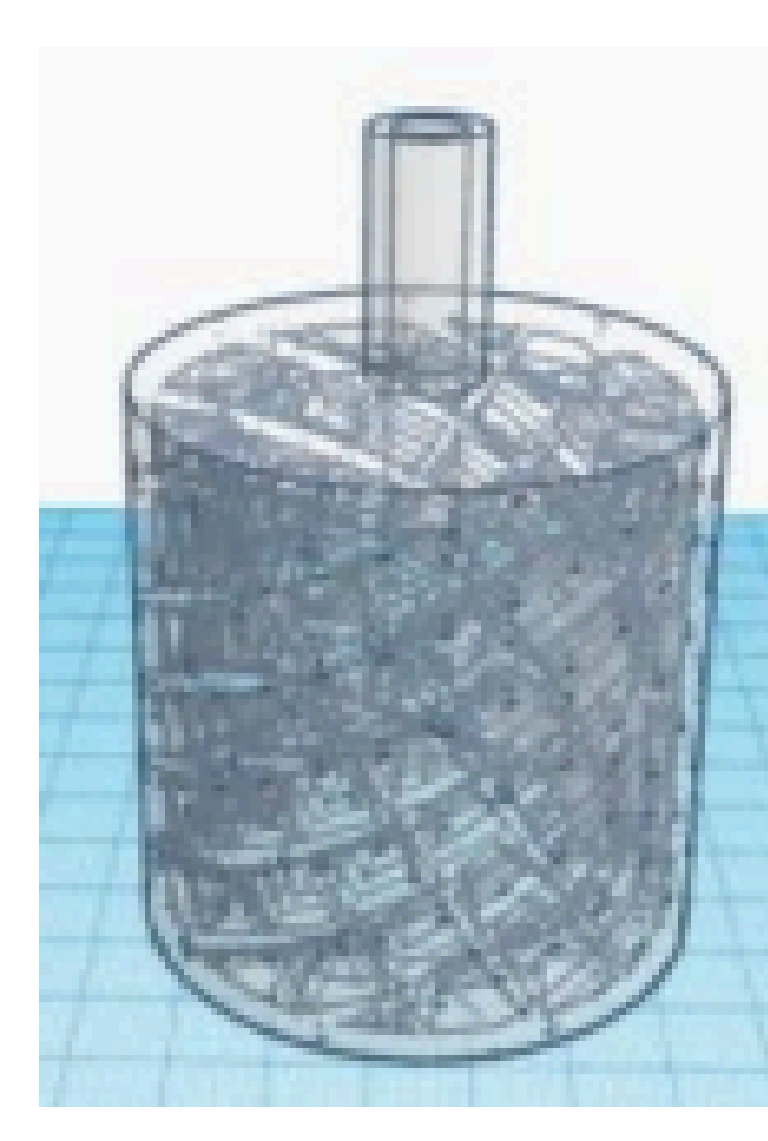
保麗龍球於不同編織方式之剛度



集中交匯織中央與非中央的數據差距甚大，落點於中央時恢復係數較低。而重力集中織中央的恢復係數較重力分散織中央大，非中央卻以重力分散織較大，剛度則以重力分散織較佳。

# 儲氫瓶**安全性**模擬實驗

儲氫瓶於不同**支架形式**產生破損時之氣壓

支架形式	不具外壁 無支架	具外壁 無支架	間隙 5mm 井字支架	間隙 10mm 井字支架	斜角 15 度 井字支架	斜角 30 度 井字支架
結構圖						
空氣壓力	26PSI	35PSI	120PSI 以上	73PSI	69PSI	66PSI



實驗裝置圖



無支架儲氫瓶模型



井字支架儲氫瓶模型



儲氫瓶產生破損範例圖

具**支架**的儲氫瓶耐壓能力都較高，其中**支架間隙密、斜角角度低**之儲氫瓶又在同條件下擁有較優的耐壓能力，可以得知，儲氫瓶在擁有這些結構時較為安全。

## 結論

- 1.編織張力高之網狀物（4kgw）的恢復係數及剛度較高。
- 2.編織密度高之網狀物（間隙 5 mm）的恢復係數、剛度與穩定性較佳。
- 3.編織物的恢復係數與剛度隨著編織角度增加而下降。
- 4.編織物中央鋪線位置對恢復係數及剛度的影響力較周圍大。
- 5.支架間隙密、斜角角度低之儲氫瓶，其耐壓能力較高，使本實驗獲得最佳解。

## 未來展望

目前儲氫瓶耐壓測試已完成初步實驗，得出**支架間隙密、斜角角度低**之儲氫瓶，其耐壓能力較高。希望未來在耐壓實驗中，可以嘗試更多不同樣式的**支架**，將實驗結果做的更為完備，並從中找出最佳的**支架型式**。最終將儲氫瓶商品化讓大家在使用氫氣的同時，不用害怕儲存上的安全問題。

## 參考文獻

- 1.Coefficient of restitution (2023) by Wikipedia  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient\\_of\\_restitution](https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_restitution)
- 2.Hooke's law (2023) by Wikipedia  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Hooke%27s\\_law](https://en.wikipedia.org/wiki/Hooke%27s_law)
- 3.Hydrogen vehicle (2024) by Wikipedia  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_vehicle)
- 4.第 51 屆中小學科學展覽會「高『彈』闊論」(2011) by蘇柏文、陳祐豪、劉語晴  
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/pdf/030804.pdf>
- 5.不同線徑、穿線磅數對羽球線恢復係數之影響 (2014) by 胡瑞文  
<https://hdl.handle.net/11296/7kjpr4>