

2019 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 190007
參展科別 電腦科學與資訊工程
作品名稱 看見拔河中的力
得獎獎項 大會獎：四等獎

就讀學校 雲林縣私立揚子高級中學(附設國中)

指導教師 陳尚民、蔡智宇

作者姓名 張宸珣、王閔溱

關鍵詞 拔河、Arduino、應變規

作者簡介



(由左到右) 老師陳尚民、作者王閔溱、作者張宸珣、老師蔡智宇

我是王閔溱，從小對電腦資訊方面有濃厚的興趣，從國一開始積極的參與科學方面的比賽，希望能為學校爭光，過程中獲得許多團隊合作和解決問題之技能，希望能夠秉持著對科學的熱忱並繼續突破往後的挑戰。

我是張宸珣，自從上了國中之後，就一直想要參加科展比賽，因此在種種的因緣際會之下，就開始跟閔溱同學一起做這項研究，雖然在過程中遇到了許多還沒學過的東西，但因為有老師的指導，才能夠參加這次的比賽，希望以後能夠有更多的機會去做這類有趣的研究。

摘要

本設計利用了應變規(Strain Gauge)的原理去製作一台可以量測拔河時繩子兩端的施加力量值，本設計採用的原理是當應變規受力時其電阻值會因為不同的力量而產生不同的應變的變化。進一步地，本設計的準確性也進行了校正。透過拔河繩拉力所產生的應變造成電阻變化，來轉換成力量數值，而利用自己設計製造的夾具，放置在拔河繩上並固定在繩子的兩側，分析其應力應變和受力狀況來測出力量值。

本設計只用簡單的應變規、電子顯示器和電子零件，低成本、簡單構造的設計來達成本研究之目的，來解決拔河過程中比賽的兩隊平衡力之顯示，使拔河更增加樂趣，增加拔河的趣味性、數值化。

Summary

The design in the study utilizes Principles of Strain Gauges to produce a force value that can measure the strength of the two ends of the rope during tug-of-war. The principle adopted in this design is that when the strain gauge is stressed, its resistance value will produce different strain changes due to different forces. Further, the accuracy of the design was corrected as well. The strain generated by the tension of the tug-of-war rope causes the resistance change to be converted into a force value. The fixtures designed and manufactured by the researchers were placed on the tug-of-war ropes and fixed on both sides of the rope, and the stress strain and stress conditions were analyzed to measure the force values.

This design only uses simple strain gauges, electronic displays and electronic components. With low cost and simple construction, the purpose of this study is achieved. This study realizes the balance force display of the two teams in a of tug-of-war competition, making the game more fun and numerical.

壹、前言

一、研究動機

近年來，拔河世界第一的景美女中拔河隊一直是台灣體育界的驕傲，已有七年連續稱霸全世界。而在過程中有著鼓勵聲、喧鬧聲，但無法顯示各隊拔河力量值，使得比賽太單調性，所以本設計之構想由拔河測力中找出更大的愉悅性，讓拔河有數值化，可在訓練單人、雙人甚至多人，自己隊伍和比賽中之力量，並且可測出最佳的比賽用鞋和比賽姿勢和人員的耐力與人選。

而在打棒球，投手所投出的球是可測出球速，由棒球投手的球速可看出投手的能力、素質和強度，但在景美女中在比賽過程中，無法看出他們所發出的力有多大，且無可看性，因沒有數字、無數量化，只是在雙方中大聲吶喊，如果在拔河比賽過程中，可以顯示出拔河所有的力道，讓比賽變的精彩，更有可看性、多樣性，還可以知道比賽之隊伍，是增強或減弱、能力值和力量大小之變化，本設計，是讓拔河更有數字性，不再是雙方隊伍之間的參與和只有蹲在地上，而是增加趣味，就像投手在投球，可以知道球速有多快等相似構想，本設計可以適用在所有的拔河繩上，讓所有的比賽都可使用，讓比賽、練習更有數值化和練習強度化。



圖 1、景美女中拔河隊 世界室內拔河賽奪冠

二、研究目的

設計一個夾具符合所有的拔河繩，並利用應變規來測試應變值，並利用程式來顯示應變量，利用此應變量所產生的電阻變化來轉化成力量之裝置，而本設計其目的必須克服解決下列的問題：

- (一) 撰寫 arduino 程式編碼與套件的應用
- (二) 討論夾具的設計形式來符合所有繩子的夾具
- (三) 進行儀器的矯正與測試的量化

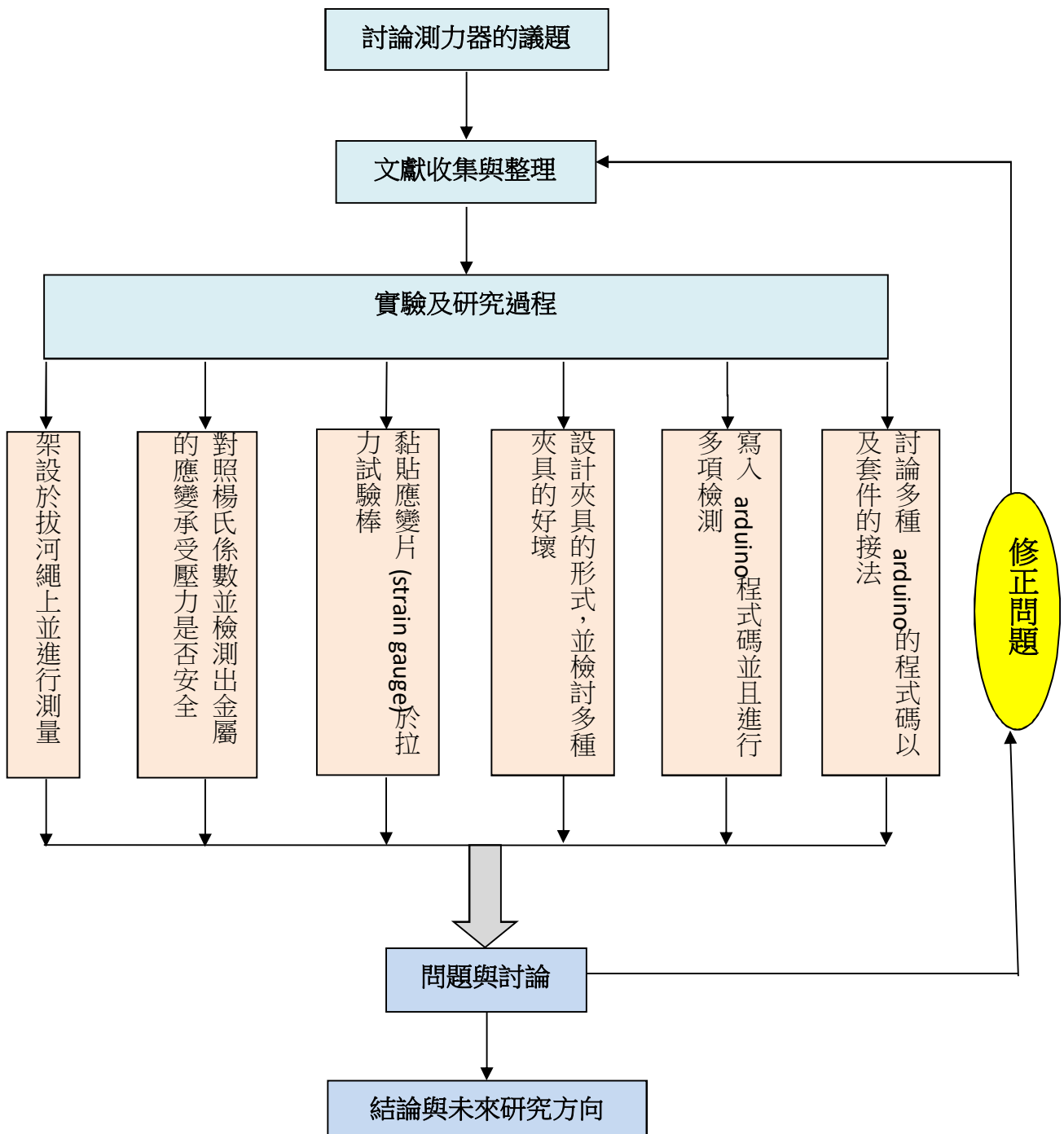
(四) 實際測量與使用

貳、研究方法及過程

一、研究設備及器材

編號	物品	數量	用途
(一)	筆記本、筆	1 本 2 支	實驗日記，紀錄觀察結果
(二)	數位相機	1 台	拍攝實驗過程
(三)	筆記型電腦	2 部	撰寫與製作電子檔
(四)	Arduino 開發版 UNO R3	1 塊	控制版
(五)	USB 線	1 條	上傳至 UNO 板
(六)	Arduino 擴充版	1 塊	線路配置
(七)	杜邦線	14 條	連接各模組
(八)	LCD 1602 液晶顯示器	1 塊	顯現數據
(九)	拔河繩	1 條	實驗用
(十)	應變規感測器放大模組	1 塊	測量拔河力量模組
(十一)	拉力試驗棒	1 組	測量拉力彎曲度之器具
(十二)	立式鐵床	1 台	鐵削夾具、拉力試片
(十三)	平面磨床	1 台	研磨夾具、拉力桿
(十四)	鑽床	1 台	鑽工件之孔

二、研究流程



三、文獻參考

(一)應變規 (Strain Gauge)量測原理

應變(Strain)定義為物體受力時長度變化量相對於原始未受影響長度的變化比例，(如圖 2 所示)。物體之所以會變形，是因為受到施力所致。應變可為正(拉伸力)或為負(因為收縮所致的壓縮力)。物體受到單向壓縮時，與此施力垂直之其他兩個方向的伸展趨勢，便稱為蒲松效應 (Poisson Effect)。蒲松比 (Poisson's Ratio) (ν) 為此效應的量測值，可定義為橫向應變對比軸向應變的負比例。應變用 in./in. 或 mm/mm 的單位表示。實際上，量測的應變強度均極小，因此通常會以微應變 ($\mu\epsilon$) 表示，亦即 $\epsilon \times 10^{-6}$ 。

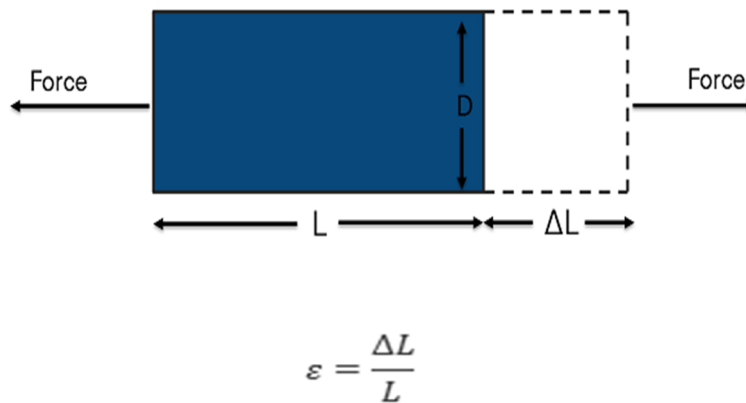


圖 2、應變指的是材料長度相對於原始未受影響長度的變化比例

應變有四種不同類型：軸向、彎曲、剪力與扭力。軸向與彎曲應變是最常見的應變類型 (請參閱圖 2)。軸向應變可量測物質因為水平方向線性力所造成的延伸或壓縮程度。彎曲應變可量測物質在受到垂直方向線性力影響下，單邊延展與另一邊收縮的程度。剪力應變可量測同時受到水平與垂直方向線性力影響的元件變形程度。扭力應變可量測同時影響元件的水平與垂直方向旋轉力。

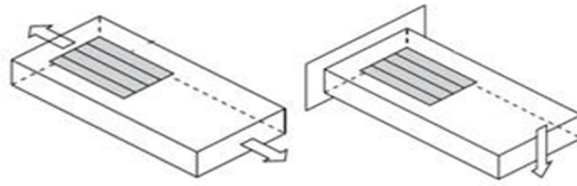


圖 3、軸向應變可量測物質延展或拉動方式。

彎曲應變可量測單邊延展與另一邊收縮的程度

應變量測雖然有多種方式，但最常見的仍為應變規。應變規應用於應變量測，基本原理是其電子電阻會隨裝置中的應變總數產生不同比例的變化。而最常使用的應變規，則是合金應變規 (Bonded Metallic Strain Gauge)。

金屬應變規包含品質極佳的接線，更常見的為格線 (Grid) 形式編排的金屬薄片。格線形式可透過平行排列的方式，最大化金屬接線或薄片的總數。

合金應變規 (Strain Gauge) 的原理總結如下：格線會黏至稱為載體 (Carrier) 的輕薄內襯中，並直接附加至測試樣本。因此，測試樣本所產生的應變將直接傳輸至應變規，並於電子電阻中反應出線性變化。

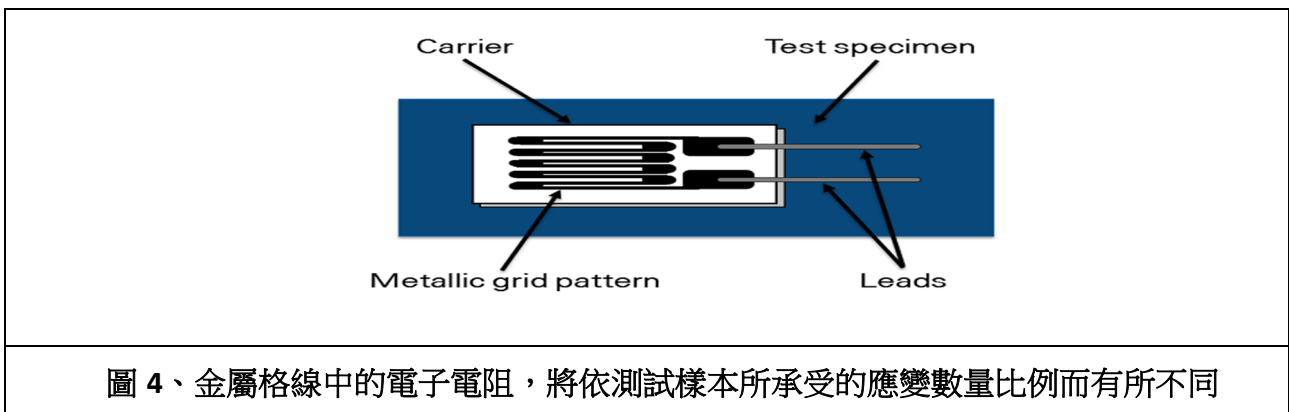


圖 4、金屬格線中的電子電阻，將依測試樣本所承受的應變數量比例而有所不同

應變規的基礎參數即對應變的敏感度，若量化表示即為應變係數 (GF)。GF 為「電子電阻的局部變化」與「長度 (應變) 的局部變化」之比例：

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\varepsilon}$$

金屬應變規的 GF 一般均為 2。而特定應變規的實際 GF，則可透過感測器製造商或說明文件取得。

實際情況來說，應變量測極少大於 Millistrain ($e \times 10^{-3}$)。因此，若要進行應變量測，則必須能夠精確量測電阻發生的極小變化。舉例來說，假設測試樣本承受 500 me 的應變。則 GF 為 2 的應變規，將呈現僅為 $2(500 \times 10^{-6}) = 0.1\%$ 的電子電阻變化。針對 120 Ω 應變規來看，此變化僅為 0.12 Ω。

若要量測電阻中的極小變化，則應變規組態必須使用 Wheatstone 橋接概念。如圖 4 所示的一般 Wheatstone 橋接，則包含 4 組電阻臂 (Resistive arm) 與 1 組激發電壓 VEX；激發電壓則套用至整組橋接。

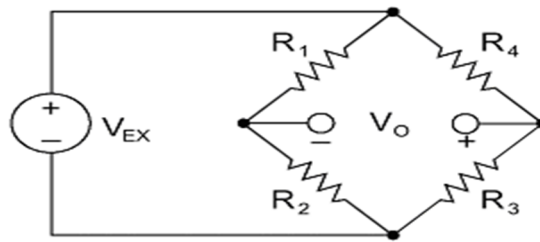


圖 5、Wheatstone 橋接電路使用應變規組態來偵測微小的電阻變化

Wheatstone 橋接電路等於 2 組分壓器電路。R1 與 R2 為第一組分壓器電路；R4 與 R3 則構成第二組。量測 2 組分壓器中間節點可得到 Wheatstone 橋接 VO 輸出。

$$V_O = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] * V_{EX}$$

從此方程式來看，當 $R_1/R_2 = R_4/R_3$ 時，電壓輸出 VO 為零。在這些條件下，則橋接為所謂的「平衡」狀態。任何電阻臂的電阻若發生變化，則輸出電壓必不為零。因此，若將圖 4 中的 R4 替換為作動應變規，則當應變規電阻發生任何變化時，橋接均將成為非平衡狀態，並產生不為零的輸出電壓。

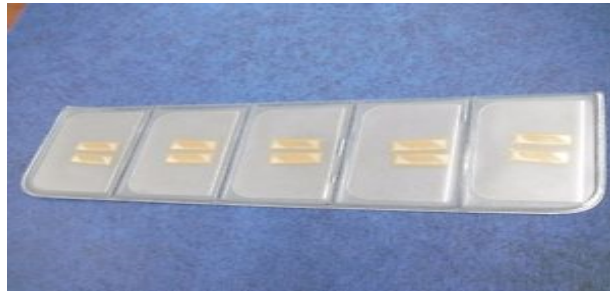


圖 6、應變規-350-ohm 的圖片

(二) 拔河力學原理：

決定拔河勝負的因素很多。根據牛頓第三定律，雙方受到對方的拉力，其大小相等而方向相反，均等於繩的張力 T ，如圖 7 所示。

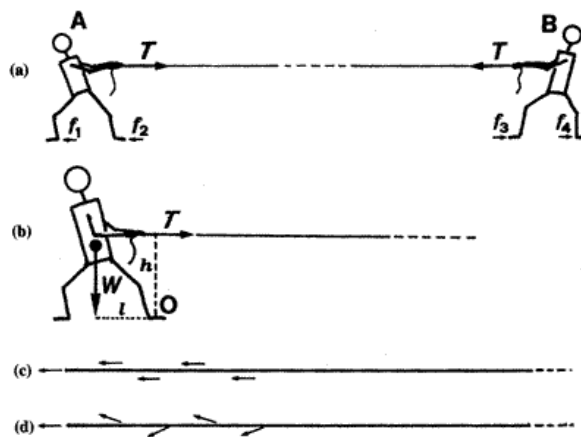


圖 7、拔河時張力 T 的示意圖

1. 以移動來分析：

A 所受的水準力為繩張力 T 及地面對腳底的摩擦力 f_1 及 f_2 。A 究竟能維持靜止抑或向何方移動，則視乎 T 與 $(f_1 + f_2)$ 的大小而定：

若 $T > (f_1 + f_2)$ ，則向對方加速移動

若 $T = (f_1 + f_2)$ ，則維持靜止

若 $T < (f_1 + f_2)$ ，則向己方加速移動

同理，B 也可同樣分析。若以兩方拔河者作為一整體而研究，則繩張力 T 是這體系的內力，它與整體的運動無關。於是，只剩下 (f1+f2) 和 (f3 +f4) 兩組方向相反的外力。故勝負就視乎這兩組外力何者較大。

因摩擦力 f 等於摩擦係數 μ 與正壓力（在此例中正壓力等於體重 mg）之乘積。

即：摩擦力 $f = \mu mg$

故拔河的勝負，主要視乎雙方隊員的總體重以及鞋底與地面之間的摩擦係數而定。地面較平滑的一方當然吃虧。因此一回合之後就要對調場地。

2. 以轉動來分析

拔河時，除了發生移動之外，還有可能被對方拉倒，產生轉動。

由圖 8 可知，當 A 剛被拉至轉動時，他受到兩個方向相反的力矩。以前足踏地點 O 為支點計算：

順時針力矩 = $T \times h$

逆時針力矩 = $W \times l$

A 要避免被拉倒，應盡可能減小 h（儘量蹲低），而增大 l（兩腳馬步要闊）

3. 拉繩的方向

拉繩的力與繩的夾角應儘量小（最好和繩平行），這可以增大合力。故圖 (c) 是正確的，圖 9 是不正確的。

以上各項是拔河的主要物理原理。拔河的勝負除了和物理有關之外，當然還與生理及士氣有關。

場地不同，地面的磨擦係數不同，所以最大靜摩擦力也不同：



圖 8-1 室內場地的拔河



圖 8-2 室外草皮的拔河

四、研究方法：

(一) 討論多種 Arduino 的套件接法與程式編碼

第一種：Strain Gauge 放大器之應用

此程式為我們自行創造得程式碼，為了讓應變規放大器產生的訊號在電腦上顯示，並且檢測其應變量量值為多少。

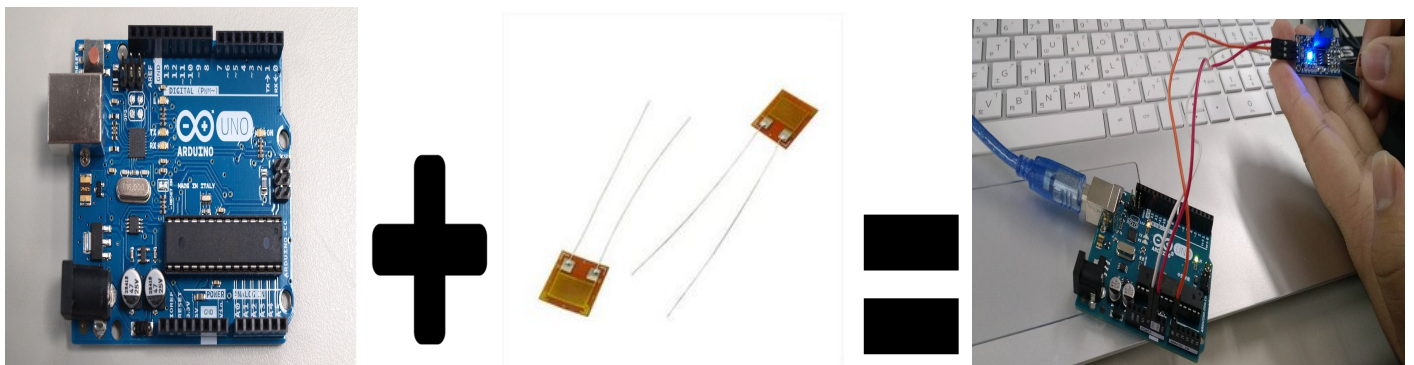


圖 9、組裝方式

```

double data;
int pin=A0;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pin,INPUT);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  data=analogRead(pin);
  Serial.println(data);
  delay(500);
}

```

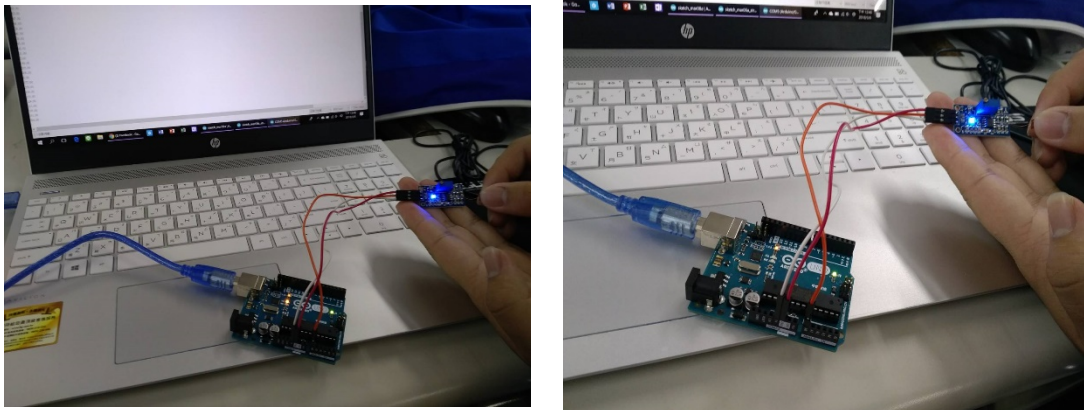


圖 10、使用應變規感測放大器

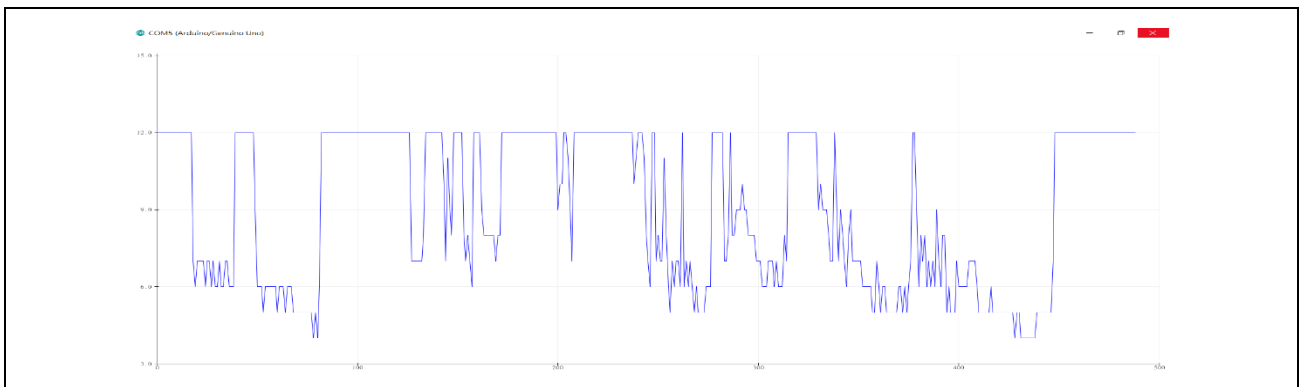


圖 11、應變量數據圖

第二種：LCD 與 Strain gauge 放大器的結合與應用

此程式是我們將上一組程式再和我們的 LCD 顯示器結合，目的是為了讓數據直接顯示在數位顯示器上而不是接線然後在電腦上呈現。

```
#include <SoftwareSerial.h>

#include <Wire.h> // Arduino IDE Built-in
// LCD I2C Library , Download from here :
// https://bitbucket.org/fmalpartida/new-liquidcrystal/downloads
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Set the pins on the I2C chip used for LCD connections:
//
//          addr, en,rw,rs,d4,d5,d6,d7,bl,blpol
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE); // Set the LCD I2C address

SoftwareSerial bt(2,3);//Tx,Rx

int A,TT,T,t;

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    bt.begin(9600);
    Serial.begin(9600);
    lcd.begin(16, 2); // Initialize the LCD , One line of 16 characters , 共 2 行 , Preset
backlight    for(int i = 0; i < 3; i++) {
        lcd.backlight(); // Turn on backlight
        delay(250);
        lcd.noBacklight(); // Turn off the backlight
        delay(250);
    }
}
```

```

lcd.backlight();

// Output initialization text
lcd.setCursor(0, 0); // Set the cursor position at the beginning of the first line
lcd.print("Tug of War");
delay(1000);

lcd.setCursor(0, 1); // Set cursor position at the beginning of the second line
lcd.print("YT.org");
delay(3000);

// Inform users that they can start manually entering messages
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Use Serial Mon");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Type to display");
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  A=analogRead(0);
  bt.print(A);
  if(A>=100){
    TT=A/100;
    A=A-(100*TT);
  }
}

```

```

    T=A/10;

    t=A % 10;

    // When the user manually enters the message
if( A>=0) {

    // Wait a short time and confirm that the data has been received
    delay(100);

    Serial.println(A);

    // Clear old message
    lcd.clear();

    // Read new message
// if (analogRead(0) > 0) {
        // Display the message on the LCD
        lcd.setCursor(0, 0);

        lcd.write("Value: ");

        if(A>10){

            lcd.write(TT+48);

            lcd.write(T+48);

            lcd.write(t+48);

        }

    }
}
}

```

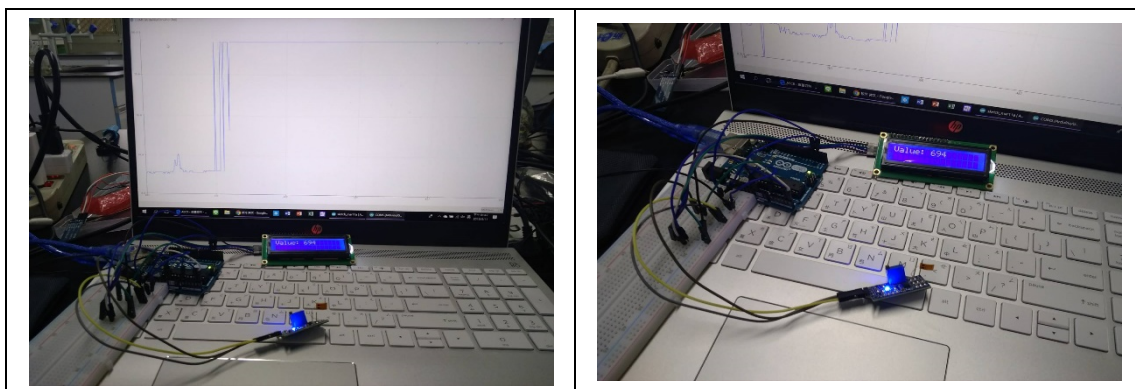



圖 12、使用 LCD 顯示出應變規的應變量量值

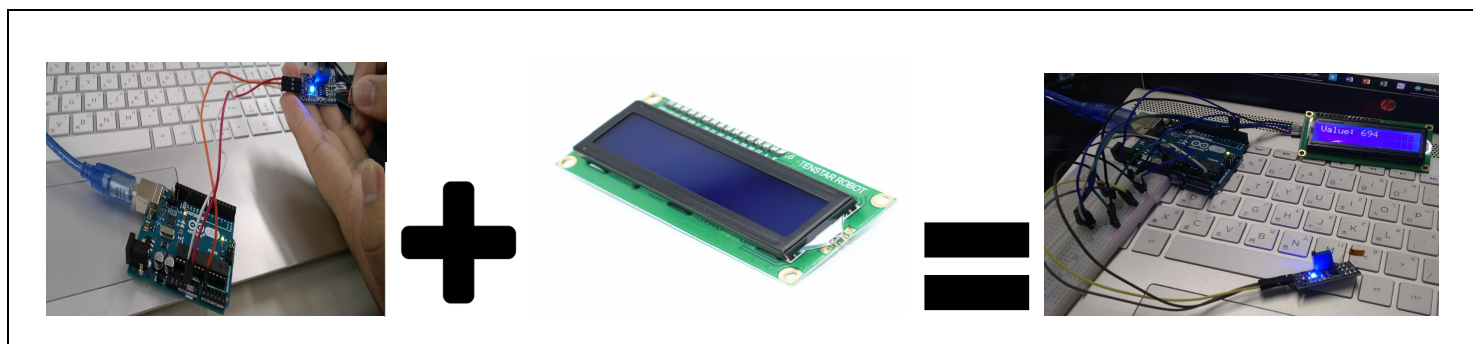


圖 13、LCD 的組裝方式

(二)設計夾具

表 1、使用刀具、工具清單

工具名稱	數量
鑽夾	1
鑽夾板手	1
鑽頭 Ø3	1
鑽頭 Ø8.5	1
鑽頭 Ø22	1
鑽頭 Ø32	1
螺絲攻 M10x1.5	1
螺絲攻板手	1

面銑刀把	1
面銑刀片	3
粗銑刀 Ø8	1
粗銑刀 Ø10	1
圓孔倒角刀	1
橡膠錘 5P	1
高度規	1
V 行枕	1

第一個夾具之設計圖：

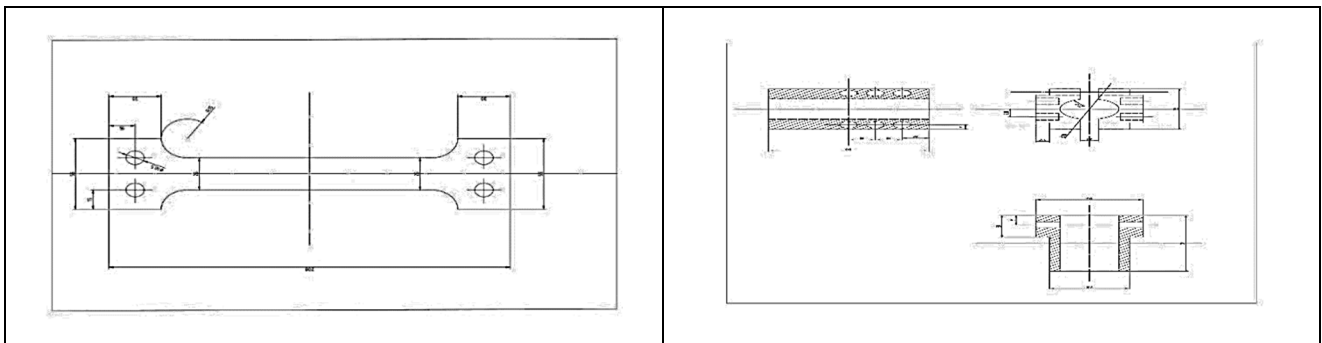


圖 14、第一個夾具設計圖

第二個夾具之設計圖：

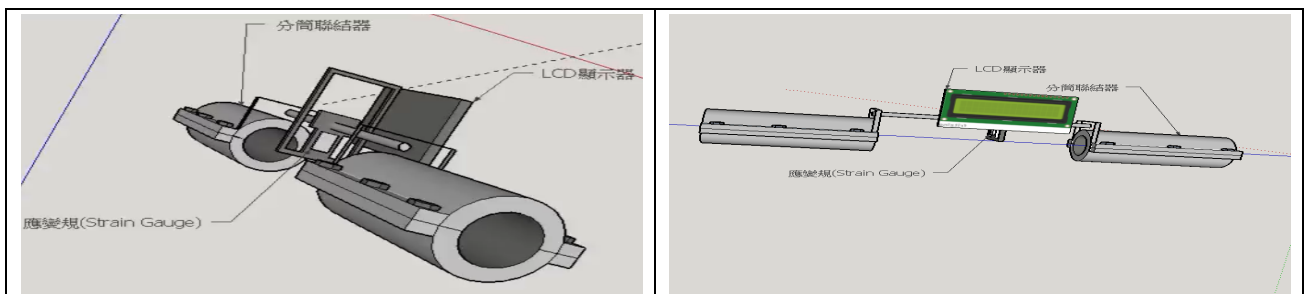


圖 15、第二個夾具設計






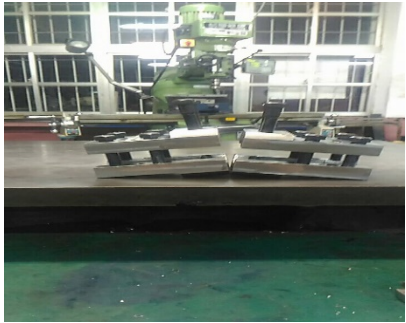
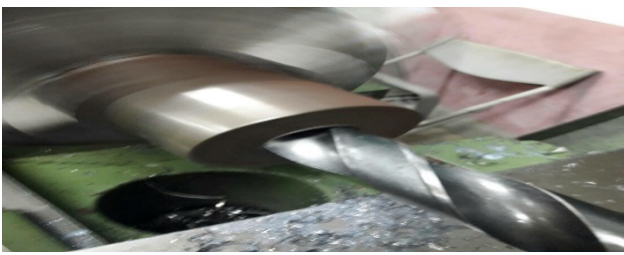
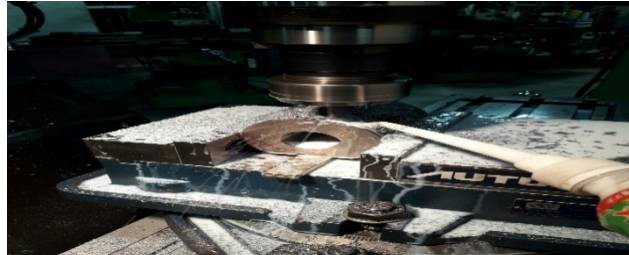
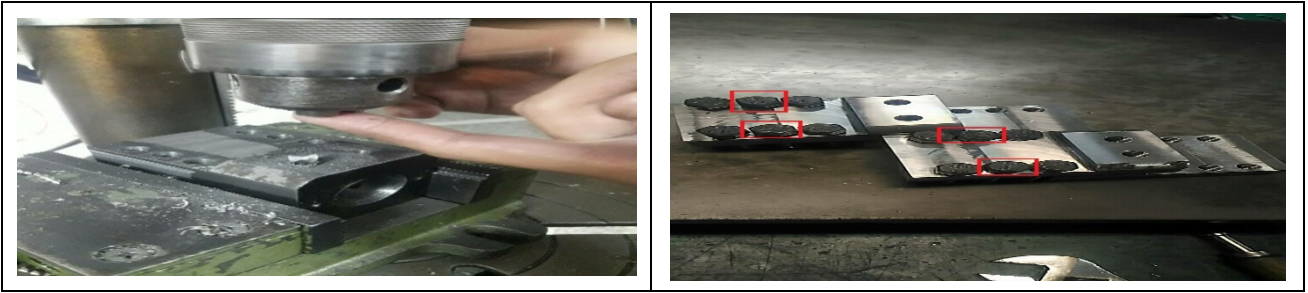
		
鑽孔	銑銷	鑽孔
		
成品	一組分筒聯結器	由兩組組成的夾具

圖 16、夾具(分筒聯連結器)製作過程

表 2、夾具製作過程介紹	
<p>第一步：將圓棒的中心鑽孔做出最初的外型，且方便之後做對半切割。鑽頭在鑽 $\text{Ø}32\text{ mm}$ 的時候出現工件會晃的問題，但之後會將偏心率銑削掉，所以不影響。</p>	<p>第二步：銑削圓棒，銑出平面後以便之後的鑽孔及攻螺紋。我們在銑削第二面平面時將墊片墊在銑削後的第一面，以確保上下兩個平面是平行。鑽孔時我們是使用光學尺來對照中心後才開始鑽削。</p>
	
<p>第三步：鑽孔及攻螺紋，在做此步驟時遇到了這次最大的困擾是鑽頭斷在工件內，之後我們是拿鑿子把鑽頭鑿碎後再取出碎片</p>	<p>第四步：組裝過程的時候，發現中間的螺絲由於中心孔位置沒有算好，導致於螺帽與螺帽之間互相干涉無法鎖入（如圖內紅框處）。</p>



(三) 黏貼應變片 (strain gauge) 於拉力試驗棒(組裝)

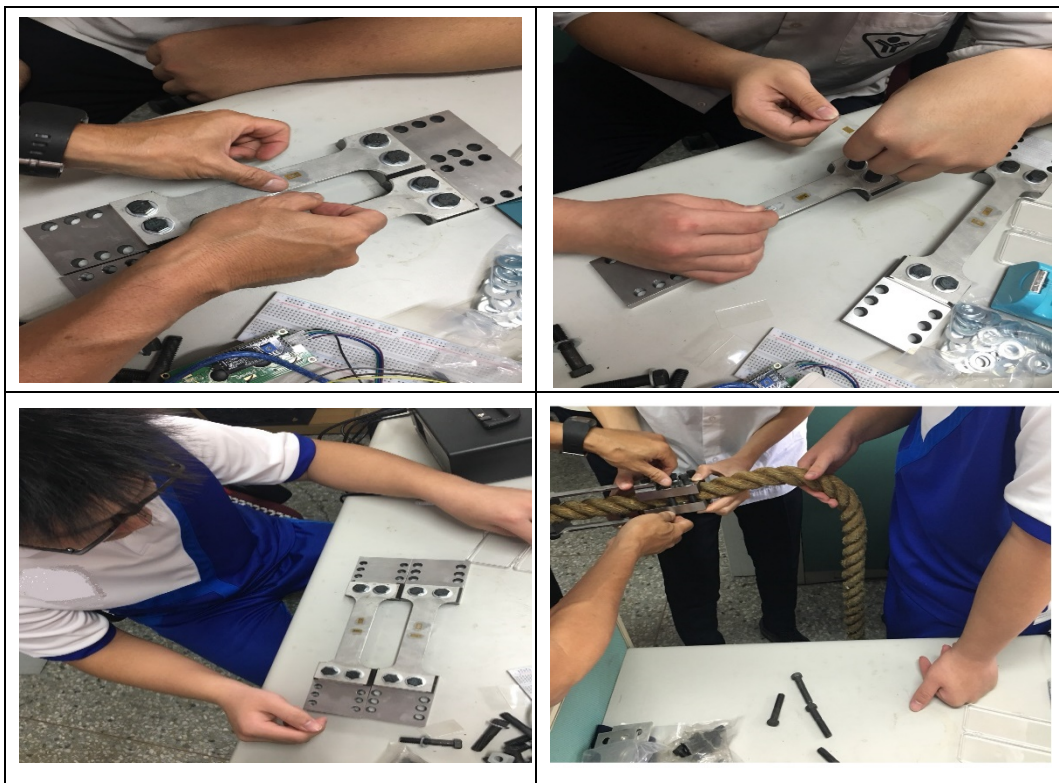


圖 17、黏貼應變規的過程

因為應變規銅片太小，我們失敗了非常多次，尤其在焊接電線時，稍微彎曲電線，應變規就會破損，我們嘗試失敗五次後才成功。

應變片黏著步驟（黏在金屬上的情況）：

1. 待測物的表面處理：

清除所有表面塗料、金屬鏽蝕、油漆、黏貼物……等，再使用#320~#600 的砂紙輕輕

地做拋光，並使用丙酮等溶劑清除異物。

2. 標記應變片接著位置：

請在要黏著的位置上做記號以確保黏著精準度。

3. 黏緊應變片：

請使用包裝上指定的粘著劑

4. 壓力校正：

按照黏著劑附有的使用說明寫的方法來黏應變規（壓、固化〔curing〕、加速老化〔aging〕等 ...）

5. 檢查黏貼狀態：

檢查應變片黏貼狀態。檢查電阻值及絕緣狀態。請使用低於 50V 的 DC 直流電檢查。

6. 連接導線：

將量具終端黏在應變規旁之後焊接應變規及導線。注意別對應變規施加太大的壓力。

7. 防潮、防水處理：

根據量具〔measuring conditions〕（我們是用狗骨頭）選用適當的防水塗料。

8. 導線及連接工具：

將導線接合至狗骨頭上，即可開始測

(四) 力量的測試--懸掛法

拔河測力必須和應變規結合，並校對，所以我們使用掛勾來跟拔河測力器結合，並在一皮箱類裝設鐵塊來測試應變和重量的關係，並利用關係來了解使應店櫃電阻的變化值和力量的關係，藉由此設置，方可做出真正顯示力量的拔河測力器。測試時皮箱重量經由四位數電子秤秤重為 500 公克，但經由函數的轉換，我們將皮箱的重量給扣除了，目的是為了增加本測試的精確度。

由本測試實驗中，我們量測結果發現：應變量在 50kgw 中呈現正比的一個趨勢。但由於安全性的考量，所以本實驗以 50kgw 為一界限值，因為設備的安全性問題，師長們禁止本實驗持續進行，但在將後的測試中，我們將在校外進行量的試驗，並且經由 Arduino 程式的轉換，將應變量轉換成實際繩上的張力值。

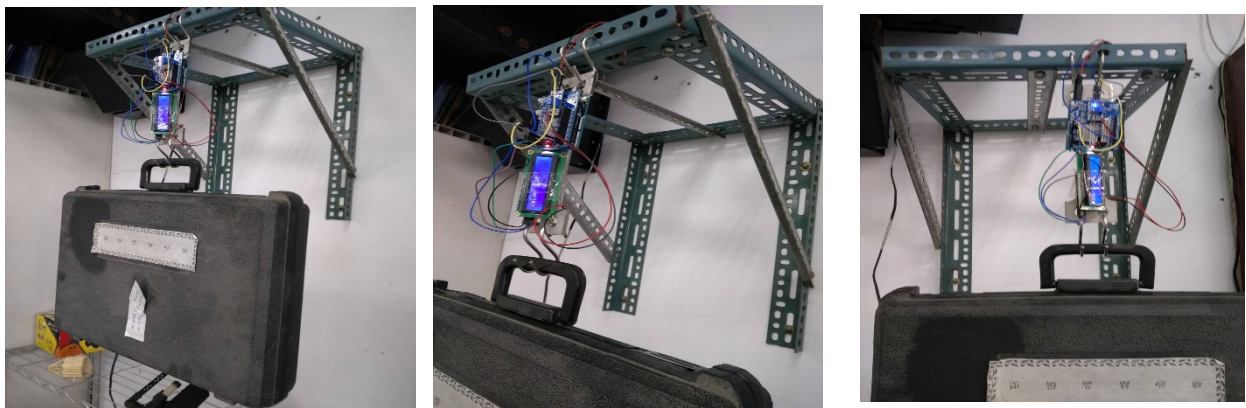
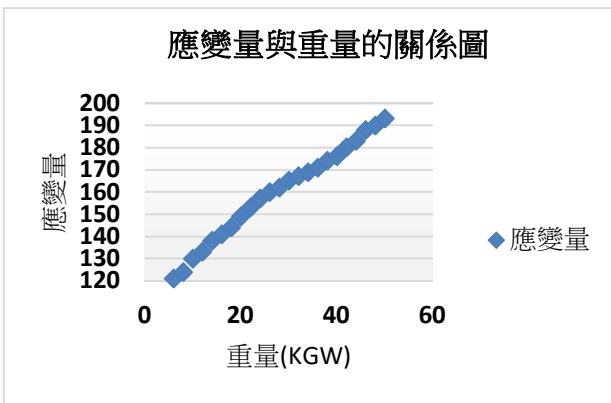
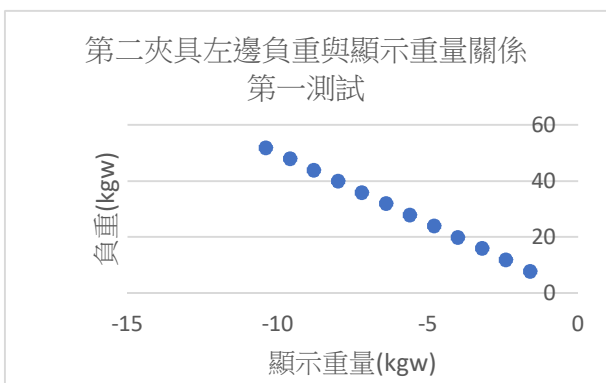
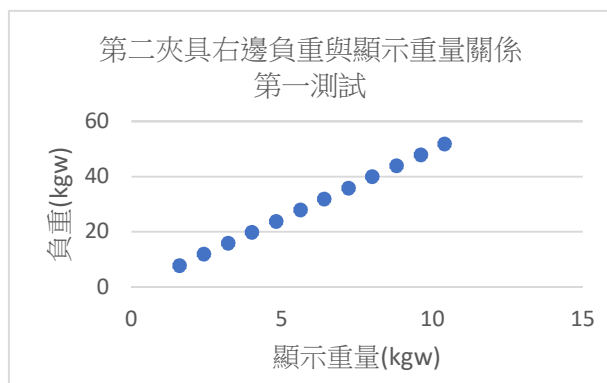
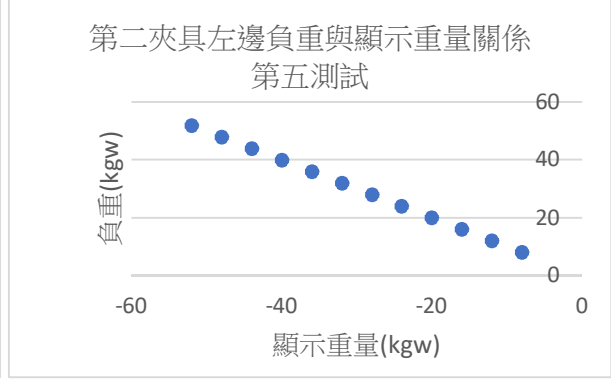
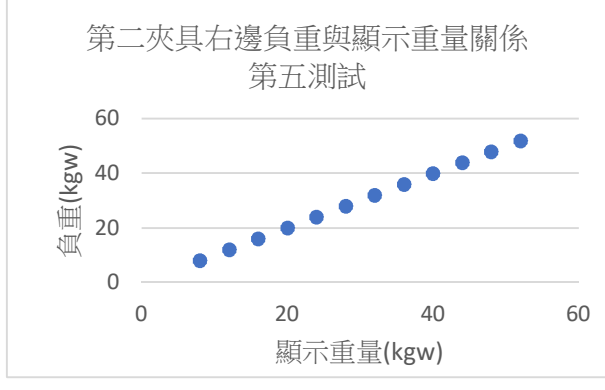
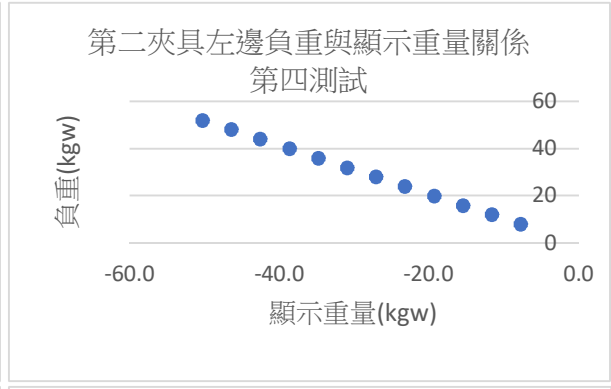
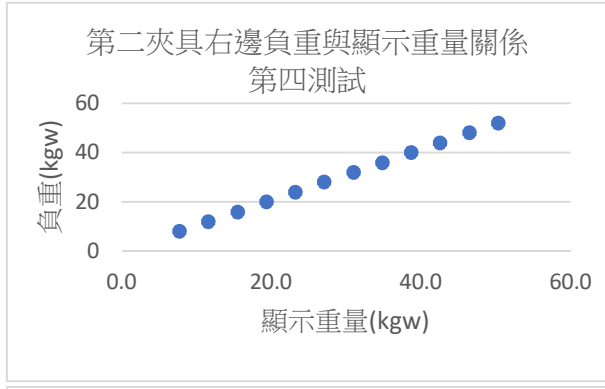
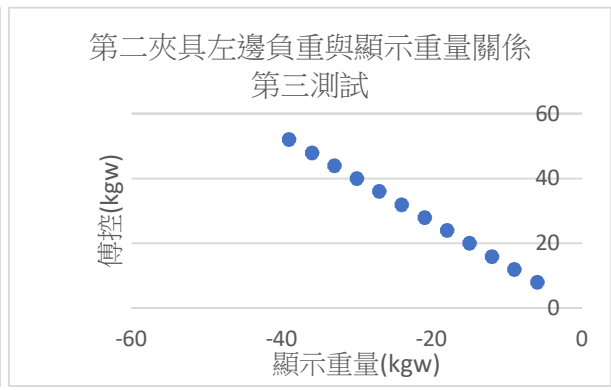
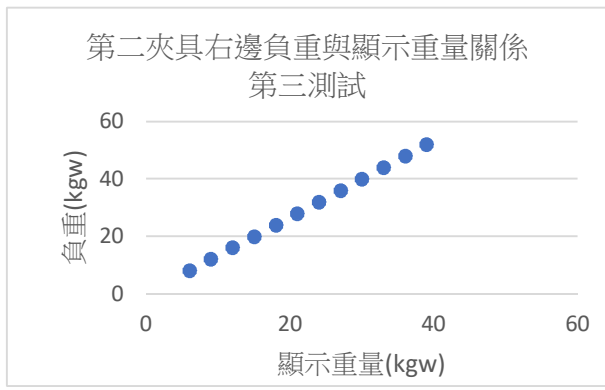
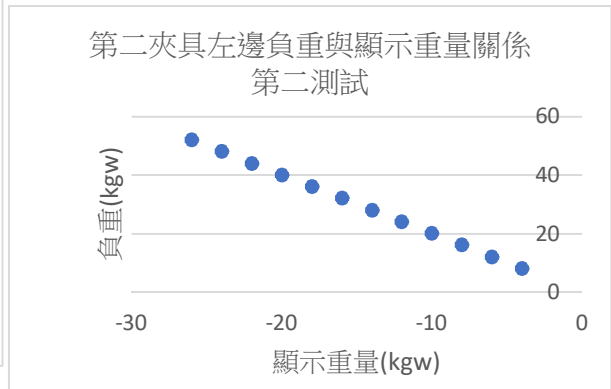
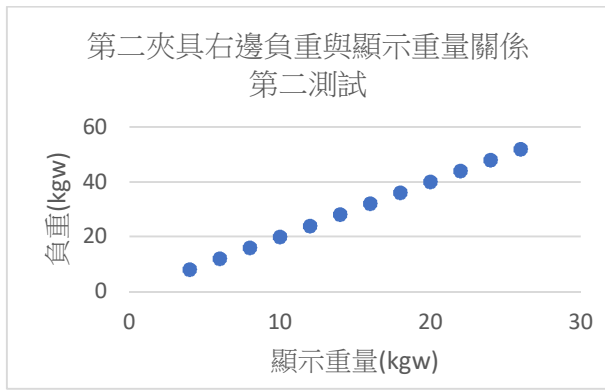


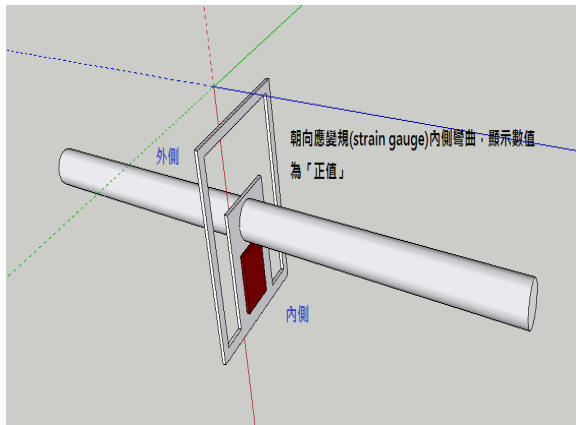
圖 18、懸掛法的測量



此為第一個夾具的懸掛法測量之數據，可見
到應變量與懸掛重量得相對關係。







第二夾具正負值的原因：

此裝置編碼時，將向應變歸內側彎曲時設為正值，反之，向外側彎曲則為負值。

(五) 強度設計計算

1. 測試棒之應力計算：

本拉力試驗棒乃採用中國國家標準(CNS)之板型測試棒，為了使力量集中在測試桿上，必須在拔河繩子中間放鬆，利用兩組螺絲組(類似分筒聯軸器)之構想，夾住拔河繩，使其拔河之力量全部作用在拔河繩上面，用兩根拉力試驗棒為承受拔河繩之所有力量。若拔河一人出力 20 kgw~150 kgw(小學生~大學生)比賽人數 8~20 人，所以出力 160 kg~3000 kg 即 1600 Newton~30000 Newton 之力 (若 $g=10 \text{ m}/(\text{s}^2)$ ，則 $1 \text{ kgw}=10 \text{ Newton}$)。

板厚 4 mm 則：

$$(1) \text{ 應力(MPa)} \sigma_{\min} \frac{P}{A} [P \text{ 為力量(N), } A \text{ 為面積(mm}^2)] = \frac{1600}{2(4 \times 25)} = 8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{P}{A} = \frac{30000}{2(4 \times 25)} = 150 \text{ MPa}$$

由查表得知 304 不銹鋼抗拉強度為 520MPa 降伏強度為 205 MPa

(2) 所以本測試桿之安全因素：

$$n_{\min} = \frac{205}{150} = 1.36 ; n_{\max} = \frac{205}{8} = 25.6$$

安全因數在總出力(160 kg~3000 kg)，安全因數為 1.36~25.6，一般拔河時若為 15 人(一般學校比賽)若每人出力 80 kg，為 1200 kg，12000 Newton，此時拉力

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{12000}{2(25 \times 4)} = 60 \text{ MPa}$$

$$\text{此時安全因數 } n = \frac{205}{60} = 3.41$$

(3) 本測試桿可承受之最大拉力

$$\text{由 } \sigma = \frac{P}{A} \text{ 且 } 520 = \frac{P}{2(4 \times 25)} \text{ 所以 } P = 104000 \text{ Newton} = 10400 \text{ kgw}$$

即使測試桿斷裂，人亦不致受傷，因為繩子未斷，所以本設計之安全符合所求

2. 測試棒變形量計算：

(1) 由於伸長量 $\delta = \frac{LP}{EA}$ (L = 桿長 P = 力量 E = 彈性係數 A = 面積)

(2) 應變 $\epsilon = \frac{\delta}{l} = \frac{P}{EA}$ (由不鏽鋼 304, E=194 Gpa, 出力 160 kgw~3000 kgw)

$$\text{所以應變量 } \epsilon_{min} = \frac{P}{EA} = \frac{1600}{(194 \times 1000) \times (2 \times 4 \times 25)} = 4.12 \times 10^{-5}$$

$$\epsilon_{max} = \frac{P}{EA} = \frac{30000}{(194 \times 1000) \times (2 \times 4 \times 25)} = 7.73 \times 10^{-4}$$

本設計所使用之應變規可測試之應變量為 $10^{-6} \sim 3 \times 10^{-2}$ ，即此應變規可測試本拔河測力器。

(3) 本應變規可測試力量之範圍：

$$\text{由 } \epsilon = \frac{P}{EA} = 10^{-6} = \frac{P_{min}}{(194 \times 1000)(2 \times 4 \times 25)} \text{ 所以 } P_{min} = 38.8 \text{ Newton} \text{ 相當於 } 3.88 \text{ kg}$$

$$3 \times 10^{-2} = \frac{P_{max}}{(194 \times 1000)(2 \times 4 \times 25)} \text{ 所以 } P_{max} = 1164000 \text{ Newton} \text{ 相當於 } 116400 \text{ kgw}$$

依應變規之可測應變值得知即可測力量在 3.88kgw~116400 kgw 之間，及本設計可測量力量之範圍為 3.88~116400 kgw 之間。

3. 測試板之螺釘剪應力計算：

(1) 由剪應力 $\tau = \frac{P}{A}$ (由出力 P=160kgw~3000kgw)

本設計在每邊 4 顆 M10 螺釘為承受，所以

$$T_{min} = \frac{P}{A} = \frac{1600}{4 \left(\frac{\pi}{4} \times 10^2 \right)} = \frac{16}{\pi} \text{ MPa} ; T_{max} = \frac{P}{A} = \frac{30000}{4 \left(\frac{\pi}{4} \times 10^2 \right)} = \frac{300}{\pi} \text{ MPa}$$

(2) 依一般拔河出力(每人 80 kg, 15 人為 1200 kg 時)

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{12000}{4\left(\frac{\pi}{4} \times 10^2\right)} = \frac{120}{\pi} \text{ MPa}$$

由 S45C 之靠拉強度為 355 MPa 所以抗剪強度為 355/2=178 MPa

$$\text{所以安全因素 } n_{max} = \frac{178}{\frac{16}{\pi}} = 34.9$$

$$n_{min} = \frac{178}{\frac{300}{\pi}} = 1.86$$

所以安全係數為 1.86~34.9，本設計安全符合所求

(3) 考量螺釘被剪斷之出力 P：

$$\text{由 } \tau = \frac{P}{A}, 178 = \frac{P}{4\left(\frac{\pi}{4} \times 10^2\right)} = 55892 \text{ Newton} = 5589 \text{ kg}$$

$$\text{若比賽 15 人(單四)，則每人出力} = \frac{5589}{15} = 372.6 \text{ kg 才會斷}$$

4. 考慮結合面(測試片之拉應力)：

$$\text{由 } \sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{[(\text{板寬}-2d) \times \text{板厚}] \times 2} = \frac{P}{[(55-2 \times 10) \times 4] \times 2} = \frac{P}{280}$$

考慮 S304 不鏽鋼板之容評應力 520 MPa

$$\text{因為 } \sigma = \frac{P}{280} = 520, \text{ 所以 } P=145600 \text{ N}=14560 \text{ kg}$$

即考慮板材鑽孔度之強度為，則需 14560 kg 才會拉斷

5. 考慮 6 顆鐵釘之拉力斷裂：

由鐵釘底徑為-2 倍牙深，由公制三角形螺紋之牙深為 0.65P(P 為螺距)，M10 之螺栓距

為 105mm，所以 M10 底徑為 D 底 = 10 - 2 X (0.65 X 1.5) = 8.05 mm

由 6 顆螺釘可夾持之最大夾持力：

$$\text{由拉應力 } \sigma = \frac{P}{A}, \text{ 若其為 S20C 抗拉強度 320 MPa}$$

$$\text{所以 } 320 = \frac{P}{6\left(\frac{\pi}{4}\right) \times 8.05^2} \text{ 所以 } P=97670 \text{ Newton 之夾持力}$$

$$=9769 \text{ kg 之夾持力}$$

所以本設計之結構強度，在安全上符合所求。

對照楊氏係數並檢測出金屬的應變承受壓力

楊氏模數，也稱楊氏模量（Young's modulus），是材料力學中的名詞。彈性材料承受正向應力時會產生正向應變，在形變數沒有超過對應材料的一定彈性限度時，定義正向應力與正向應變的比值為這種材料的楊氏模量。公式記為

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

，E 表示楊氏模數， σ 表示正向應力， ϵ 表示正向應變

楊氏模量取決於材料的組成。舉例來說，大部分金屬在合金成分不同、熱處理在加工過程中的應用，其楊氏模量值會有 5% 或者更大的波動。正如以下的很多材料的楊氏模量值非常接近。

(五) 實際應用

裝置完成也檢測完了，相對的也必須進行實際上的應用，本次的應用(如下圖 17)使用拔河繩規格是：

外周圍 10—12.5 公分

承受拉斷力 6000—8000 公斤

50m/m 承受拉斷力為 13000 公斤，可為一邊 30 人，共 60 人一同拔河

繩子長度：33.5 公尺



圖 19-1、舉行雙方拔河賽

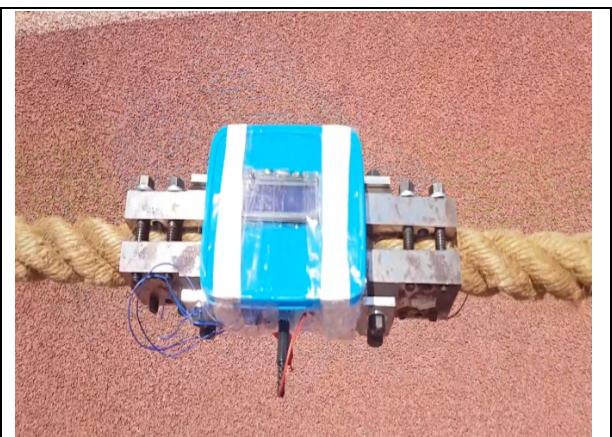


圖 19-2、中間裝上本實驗裝置

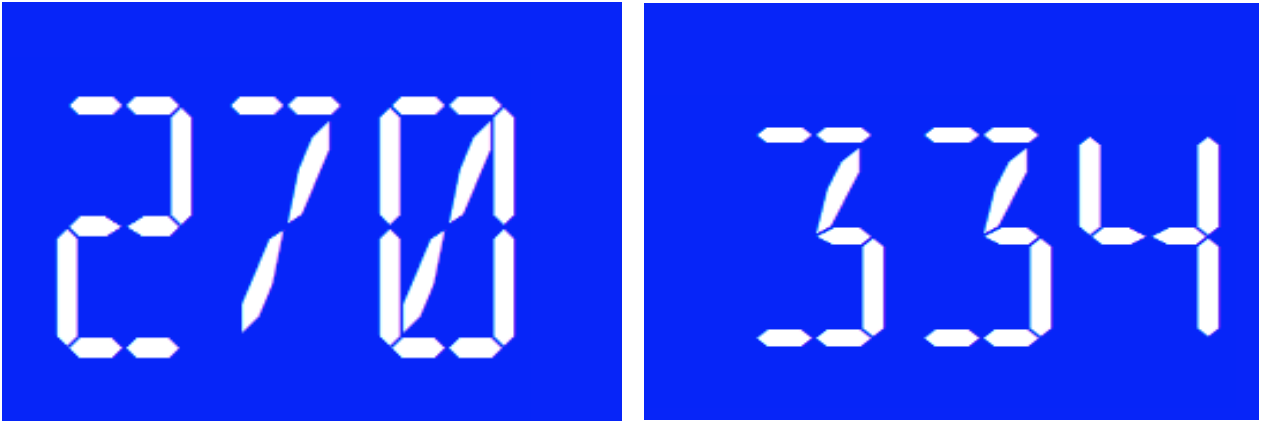


圖 20、拔河比賽時顯示的應變量

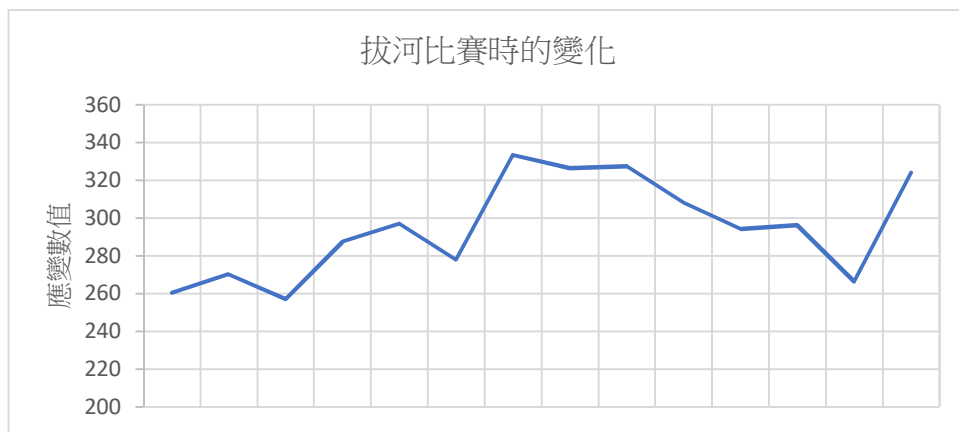


圖 21、拔河比賽時的應變變化

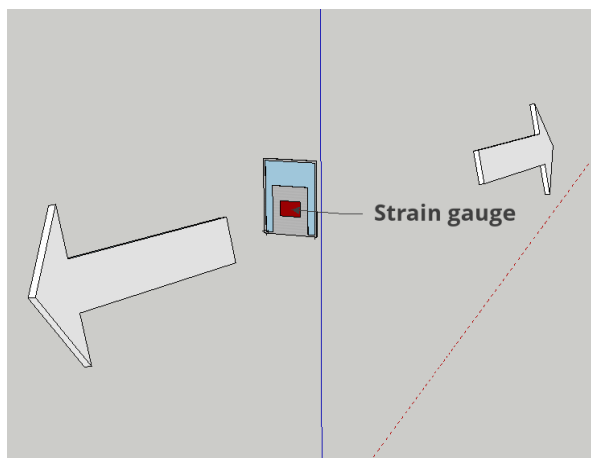
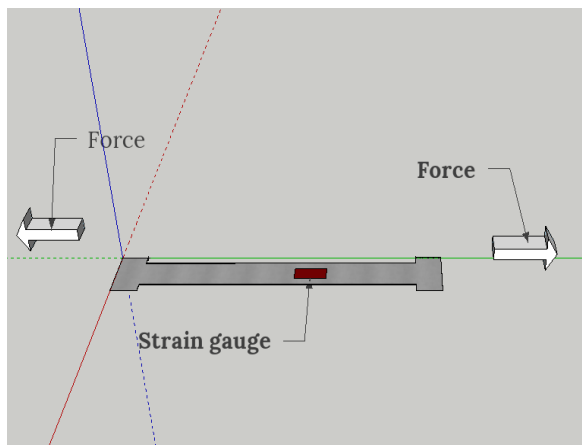
參、問題討論

一、設計的構思之演化：

- (一) 一開始討論測量拔河繩上的受力時，我們起初決定要將繩子中間切斷，然後接上彈簧秤進行測量，但當繩子切斷時，繩子的結構就已經被破壞了，也因此繩子的強度就降低許多，也因為這樣若接合處斷裂，可前對人體的造成的傷害將會提升很多，比方說：繩子斷裂……。

- (二) 後來我們決定使用光學式去測量，但我們找了許多的測量儀，但這些儀器的最大精度是 1 mm，所以無法進行測量，而我們也跟工研院借了雷射測距儀，雖然可以，但由於成本過高(價值一百多萬)，所以我們決定取消這項光學測量方式之計畫。
- (三) 我們考慮過變通的方法，利用夾持器將應變規(Strain Gauge)夾在繩上，但這樣會遇到許多問題：
1. 如果繩子和應變規一起伸長，我們必需計算出繩子的受力、K 值(Hooker constant)……，但拔河繩的K值是一個很大的變數，因為拔河繩的規格都不相同，所以每當我要測試一組新的拔河繩時必須重新校正多回方可使用。為了可以方便測量以及適應每一條拔河繩，我們查閱了一本書 <<機件原理>> 第六章 剛性連結器有軸環連結器(collar coupling)、凸緣連結器(flange coupling)、賽勒氏錐形連結器(Seller's cone coupling)、分筒連結器(split sleeve coupling)以及摩擦組環連結器(friction clip coupling)，所以我們必須想到連結器的組合方法。
 2. 我們不能使繩子身長，如果繩子伸長，我們必須將應變規(Strain Gauge)一起分段討論，最後我們決定解決的方法就是用應變規(Strain Gauge)去進行我們的測量，我們找尋了許多的公司和研究機構(三聯科技股份有限公司、工研院、中央研究院、國家精密量測實驗室……)進行訪談以及應變規的採購，一開始我們拿的是尚未焊接導線的應變規，現在就出現了一個很大的問題，就是起初我們在焊接導線的部分，因為應變規上的銅片十分的薄，所以我們以及老師多次失敗以及不小心地將應變規給燒壞了，所以最後我們決定買已經焊好導線的應變規去進行實驗，設計上我們決定將中間被夾具夾住的一段繩子給放鬆。

二、夾具(一)與(二)的比較：

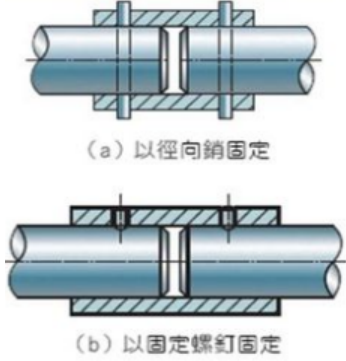
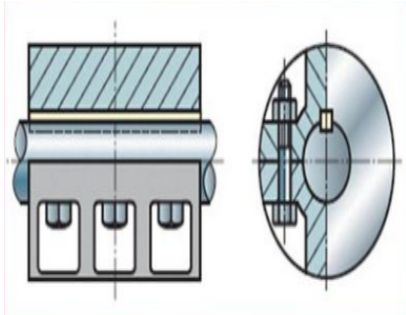
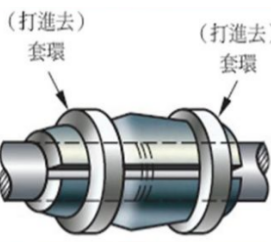
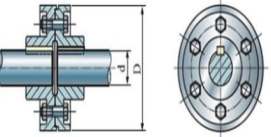
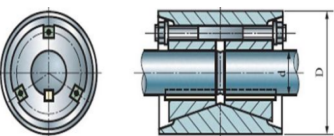


附圖為第一夾具中間的拉力試驗棒模擬圖，因為應變規(Strain Gauge)本身的彎曲是造成電阻值改變的原因，所以平行應變規的拉力就顯的影響較小，但如下圖，是夾具二的應變裝置，由於拉力與應變規垂直，所以對它造成的是彎曲的力，而非延展的拉力，所以應變規上的電阻值改變容易，也較容易進行檢測。除此之外，第二夾具有一大優勢，就是可以知道哪一方向的受力較大，要不然原本的夾具只知道兩邊的合力差，卻不知受力的方向。

三、優點：

我們中間的繩子尚未受力，受力的目標就是裝置上的拉力試驗棒，而且實驗發現拉力試驗棒的數值與實際受力的數值相同，不只是如此，經過嚴密的計算，我們計算出如果力量大到拉力試驗棒被拉斷，比賽人員也不會受傷，因為我們中間的繩子沒有拉斷，再來是夾具的部分，我們使用分筒連結器的方式去組裝，原本我們決定設計全緣式的錐形螺栓，但因為繩子在受力時直徑的改變太大，所以我們設計兩個分筒去夾住繩子中間以拉力試驗棒連接，在這項設計中，為了避免溫度所造成的誤差，所以我們設計有溫度補償的應變規，用四組應變規來做補償的效果，我們經過應變應力的計算，我們設計出來的厚度是 4 mm，寬度是 25 mm，設計出來的強度是 3.88~116400 kgw，所以在力量上是符合我們的所求。

聯結器的示意圖

 <p>(a) 以徑向銷固定</p> <p>(b) 以固定螺釘固定</p>		
<p>套筒聯結器</p>	<p>分筒聯結器</p>	
		
<p>摩擦阻環聯結器</p>	<p>凸緣聯結器</p>	<p>賽勒斯錐形聯結器</p>

肆、結論

本拔河測力器的優點：

- 一、可以用在任何拔河繩上面，安裝方便拆卸簡單，所以在拔河比賽上很好使用。
- 二、安裝此拔河測力器時，不需將拔河繩切斷。可以直接安置於拔河繩上。
- 三、本拔繩繩子完全沒有受力，所以受力等於零，所有的力量都集中在拉力試驗棒上面，即使當測驗棒斷裂或與分筒夾器分離時，繩子並不會斷裂，所以不會造成任何傷害。
- 四、本拔河測力器可以測出兩組比賽時的力之數值大小（單組在訓練時也可以）
- 五、本拔河測力器可以在任何的比賽場合上使用，並且知道每一隊的平衡力也就是所謂的拉

力。而且經過計算，此測力器的使用範圍很廣，從 5 k g 到 1 5 0 0 k g 之間皆能夠測量。

六、本拔河測力器構造簡單，只有使用應變規及小型的電池和顯示器就可以達到顯示數字的功用(量化)，而不用採用雷射式的一台造價好幾百萬。

七、本拔河測力器可以讓拔河比賽更多采多姿與討論性及數字化，讓拔河不再只是蹲在那很無聊的兩隊互拉。

八、本設計使得我們兩年所學得理論和基礎的應用及實用，讓我們所學得教學相長，可以把這兩年所的觀念及知識充分的發揮。

伍、參考文獻

一、基礎物理 高涌泉教授編 龍騰文化

二、(1)小栗富士雄

(2)標準機械設計圖表

(3)改新補正二版

(4)日本

(5)臺隆書局

(6)P.16-1-16-4

(7)民國 90 年

三、(1)吳思達

(2)機械設計大意

(3)再版

(4)台北市

(5)全華科技圖書股份有限公司

(6)P.11-32

(7)民國 81 年

- 四、(1)張志榮、劉瑞興
- (2)精密測量
- (3)初版
- (4)台北縣
- (5)龍騰文化事業股份有限公司
- (6)P.2-48(7)2002 年

- 五、(1)黃達明、何孟軒
- (2)機械力學
- (3)初版
- (4)台北縣
- (5)台科大圖書股份有限公司
- (6)P.88-121(7)2002 年

- 六、(1)謝文隆
- (2)機工精密量測學
- (3)二版
- (4)三文出版社
- (5)P.52-89
- (6)民國 72 年

- 七、(1)許全守
- (2)機械基礎實習-鉗工
- (3)三版
- (4)台北市
- (5)全華科技圖書股份有限公司
- (6)P.18-25(7)民國 85 年

- 八、(1)邱瑞敏
- (2)機件原理 2

(3)三版

(4)台北縣

(5)台科大圖書股份有限公司

(6)P.26-4

(7)2005 年

九、(1)洪敏發

(2)車床實習

(3)初版

(4)台北縣

(5)龍騰文化事業股份有限公司

(6)P.116-134

(7)民國 79 年

十、(1)陳勤仁

(2)銑床實習

(3)二版

(4)台北縣

(5)台科大圖書股份有限公司

(6)P.113

(7)民國 94 年

十一、 Arduino 微電腦應用實習增訂版(第二版) 施士文 編 台科大圖書股份有限公司

附錄一

拔河繩規格：

<一>材質：馬尼拉繩不可用其他人造繩索代替。

<二>規格：外周圍 10—12.5 公分。

* 承受拉斷力 6000—8000 公斤

* 50m/m 承受拉斷力為 13000 公斤，可為一邊 30 人，共 60 人一同拔河。

* 90m/m 承受拉斷力 40000 公斤，可為一邊 100 人，共 200 人一同拔河

* 一般學校皆為 50m/m 的馬尼拉繩，不可超過一隊 30 人以上拔河

<三>繩子長度：

1. 八人制比賽：室內 28 公尺以上，室外 33.5 公尺以上。

2. 傳統室外拔河：以一隊 30 人計算 長度比須 70 公尺以上。

* 每位選手前後的距離大約以一公尺來計算，不論左右交叉站立排列或是站立在繩子的同一邊拉，前後都要有 1 公尺的安全距離。

* 兩對中間繩子的安全比賽巨哩，室內 5 公尺，室外 10 公尺。

* 比賽繩之圓周必需介於 10 公分至 12.5 公分之間，且不可有結節或握把；繩之兩端需博紮結尾，長度不得短於 33.5 公尺。

比賽繩的檢查和保養：

<一>檢查：

1. 馬尼拉繩最怕水和潮溼，遇水後易變成僵硬的繩子，或是繩子發霉，不能再使用。

2. 三股的馬尼拉繩若鬆掉，三股會轉動鬆開，即不可再使用。

3. 三股的繩子若有一股磨損或繩股突出，即不可再使用。

4. 使用過的繩子，中間承受拉力最大，就拉成較細，繩子長一點。若中心減少 2m/m 或尾端與中心點相差 4m/m 以上，即不可再使用。

5. 繩子的尾端最容易鬆開，應注意固定好，可用膠帶或細鉛線將它束緊，也有用結繩法固定的。

6. 收納時應置於通風處且避免太陽直射處。

7. 可使用捲繩器收納。

<二>保養：繩子用它，要先愛惜它。

1. 八人制拔河繩：外周圍 10-12.5 公分、33.5m 長、(32m/m 粗、28m 長)

A. 可用帆布袋放在通風處。


B. 可用長方形籃子裝，不可放在太陽直射的地方。

C. 若能使用標準的捲繩器收拾起來最好。

2.傳統拔河用繩:50m/m 粗、70m 長、130 公斤重，因不當存放，繩子易受損。八人制拔河繩，38m/m 粗、33.5m 長、35 公斤重；32m/m 粗、28m 長、21 公斤重)。

樹脂黏膠是被允許用來協助握繩，但只可塗抹手上。在室內比賽時，樹脂黏膠只能在主辦單位同意下，並在裁判指導下使用。拔河前手心抹滑石粉是為了要防止手滑

附錄二

	<p style="text-align: center;">KYOWA 接著劑 AdhesivesCC-33A</p>
<p>產品說明</p>	<p>需針對應變規的底座材料，被測物體的材質及當時使用的環境等幾個因素來考慮，才能選擇出一種最適用的接著劑，如此才能使應變規發揮出其效益。 KYOWA 提供如下的接著劑可供選擇以適應不同的使用需求。</p>
<p>產品特性</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 適用於黏接通用計，如 KFR 和 KFR，其中在 20 至 80°C 的正常溫度用於一般的應力測量。 2. 快速固化時間和各種材料在寬範圍的溫度和濕度範圍穩定黏合。 3. 快速固化，確保順利結合的作品。 4. 在從接合約 1 小時使測量。

附錄三

不同材料=的楊氏模量約值

材料	楊氏模量 (E) / GPa	楊氏模量 (E) / lbf/in ²
鋁	69	10,000,000

黃銅和青銅	103-124	17,000,000
鈦 (Ti)	105-120	15,000,000-17,500,000
碳纖維強化塑料 (單向，顆粒表面)	150	21,800,000
合金與鋼	190-210	30,000,000
鎢 (W)	400-410	58,000,000-59,500,000
碳化矽 (SiC)	450	65,000,000
碳化鎢 (WC)	450-650	65,000,000-94,000,000
單碳奈米管 ^[1]	approx. 1,000	approx. 145,000,000
鑽石	1,050-1,200	150,000,000-175,000,000

附錄四

標準拉力試片：一般常用的試片包括棒材如CNS 4號、8號及10號試焊，如圖(a)。

扁平狀試片如CNS 5號、6號、7號試片，如圖(b)。

其他用途試片可參考CNS 2112號規範。 直徑	標點距離	平行部位之長度	肩部半徑
-----------------------------	------	---------	------

D	L	P	R
14	50	約60	15以上

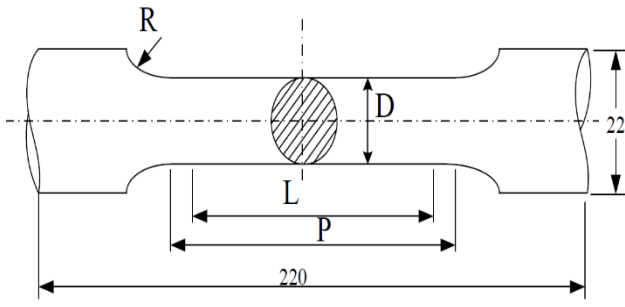
CNS 4號試片 試片種類	試片鑄造尺寸 (直徑)	平行部位之長 度P	直徑D	肩部半徑R
8A	約13	約8	8	16以上

CNS8 號試片 直徑	標點距離	平行部位之長度	肩部半徑
D	L	P	R
12.5	50	約60	15 以上

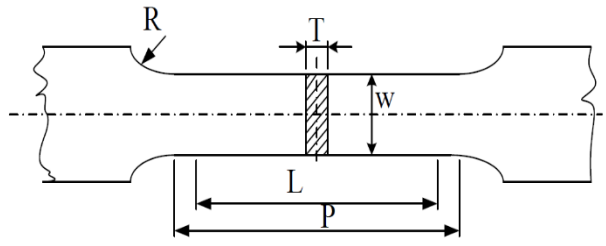
CNS 10 號試片 寬度	標點距離	平行部位之長 度	肩部半徑	厚度
W	L	P	R	T
25	50	約60	15 以上	材料之厚度

CNS 5 號試片 寬度	標點距離	平行部位之長 度	肩部半徑	厚度
W	L	P	R	T
15	$8\sqrt{A}$	$L+約10$	15 以上	材料之厚度

CNS6 號試片 寬度	標點距離	平行部位之長 度	肩部半徑	厚度
W	L	P	R	T
T 以上	$4\sqrt{A}$	約1.2L	約15	材料之厚度



(a) 圓形試樣



(b) 扁平形試樣

【評語】 190007

本作品利用應變規(Strain_Gauge)的原理製作量測拔河時繩子兩端的施加力量值工具，藉以分析其應力應變和受力狀況來測出力量值。作品結合物理原理進行資訊科技工具發展，可用於運動科學研究，是不錯的研究主題與發想。建議多增加實用性實驗，尤其可與專家/教練多討論所獲得數據對於拔河選手訓練的助力，以提升作品的完整性與實用性。