中華民國第57屆中小學科學展覽會作品說明書

高級中等學校組 工程學科(一)科

052305

遠端監控橋樑振動量測系統研究

學校名稱:新北市立淡水高級商工職業學校

作者:

指導老師:

職三 羅興國

陳金雄

職三 賴冠勳

職三 連政威

關鍵詞:橋樑振動、遠端監控、資料庫

摘要

上下學坐車經過關渡橋時,有時會察覺橋樑發生較劇烈的晃動,因此讓我們開始對橋樑 安全產生關心,也引起了我們的興趣並根據我們目前所學的知識與技能,去設計橋樑安全通 報系統,來幫助人們預防災害的發生,與本土的交通建設之關懷。

本系統橋樑監控是以三個狀態:裂縫、下陷、傾斜,以直線拉桿感測器來量測裂縫及下陷狀態,加速規感測器量測橋樑來判斷橋樑是否受損。利用 Arduino 讀取所測量的值再透過 RF模組傳送至電腦,將五個狀態傳輸到電腦上,讓使用者能夠透過 VB 查看五個狀態的資訊;即是結合遠端通訊與橋樑資訊監控系統。圖 1 為系統架構圖。

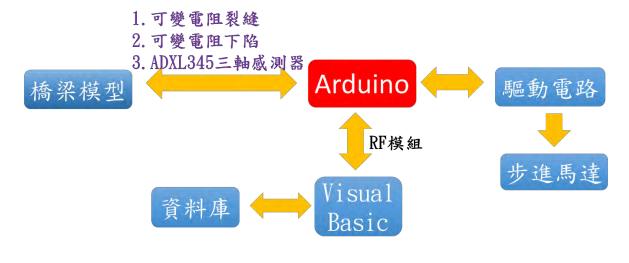


圖1系統架構圖

壹、研究動機

台灣位於菲律賓海板塊與歐亞大陸板塊交界處,有感地震非常頻繁,導致公共建設的嚴重損害[1]。地方政府的經費不足,對於偏遠山區,缺乏管理、維護及相關安全資訊,每逢大雨或是颱風都可能造成斷橋、倒塌的現象,對於偏遠地區的民眾生命財產受到危害提高了許多,加上近幾年來山坡地的過度開發,只要下雨就會淹水沖刷橋樑、橋墩裸露,使得每年投資交通建設預算逐漸升高。

每一年政府因為氣候與地震兩者因素讓相關單位長期以來投入人力與經費的重要項目, 人們在建築上長期時間使用會因為老化、龜裂、風吹日曬,特別是老舊的建築。另一方面, 台 64 線快速道路卡車經過產生的震動頻率與橋樑本生的自然頻率共振,因此產生附近房子天 花板與牆壁裂痕[2]。且最近淡水捷運輕軌線施工讓我們對橋樑的震動安全更為關切。然而我 們學校鄰近關渡橋,使我們對橋樑的震動安全更為關切。

為了確保建築或交通建設上的運作,除了政府相關規定符合建築規劃之設計及施工不偷工減料妥善之外,維護是非常重要,這就有賴於檢測之量測標準的制度及系統建立關係,量測後的評估、修繕、補強與維護管理。台灣對於安全性高度的要求下,安全的建築更突顯其重要性。此本研究欲探討,在許多重要建築需要有專業人員來維護,一旦疏忽對建築維護管理,造成無法彌補的遺憾。

看到以上現象,讓我們注意每天生活息息相關的橋樑,於是引起我們對此議題興趣,而 為此我們還去尋找了一些橋樑振動檢測的相關研究來進行參考[3-5],並到關渡大橋實際量測 以溶入本土橋樑建設。

貳、研究目的

為了幫助現在忙碌的維修人員,因此構思出了這個想法,所以本研究的目的主要是讓他們能 夠利用科技的力量來解決問題,現代無線傳輸的功能和檢測橋樑結合能夠節省不少時間與人 力。透過電腦能夠及時地觀察到橋樑的狀況[6]。

現代通訊科技的發達,我們以 RF 模組在半導體工業的高速發展支援下[7-8],加以系統的統整化與嵌入式化,使得產品體積縮小,可以將通訊模組裝載在任何產品中,增加產品的高附加價值。因此,如何將通訊模組結合個人電腦與單晶片微處理器來建構一個應用於振動量測來做監測建築與交通建設的安全,應能有效解決上述問題。圖 2 為我們的研究步驟流程圖。

- 1.設計一套橋樑模型模擬實際橋樑以便使用者遠端量測數值與監控。
- 2.設計一套簡單目操作裝置容易、低成本,來達成做為振動檢測之即時量測。
- 3.設計一套使用 RF 模組將測量到的數值傳到電腦,建立資料庫,做資料整合與分析。
- 4.設計一套應用環境廣泛,外型尺寸可跟著監測物體隨著變化應用。



圖2研究步驟流程圖

參、研究設備與器材

一、設備與器材

為了驗證本研究的可行性,所以需要實際架設簡易的實驗系統及正式橋樑測量,研究設備及器材如表1所示,其研究設備如表2所示。

表 1 研究設備及器材表

材料名稱	數量	功能	
廢木板	2 塊	製作成品	
ADXL345	1個	系統零件	
Arduino 微處理 UNO 板	1塊	系統核心	
拉桿式可變電阻	2個	系統零件	
RF 模組	1個	系統零件	
老虎鉗	1支	製作工具	
鋸子	2支	製作工具	
銼刀	2支	製作工具	
捲尺	1個	製作工具	
木頭貼紙	1張	製作工具	
鐵槌	1支	製作工具	
木頭螺絲	30個	製作成品	
單芯線	1 份	焊接電路	
剪刀	1支	製作工具	
銲槍	1支	焊接電路	
銲錫	1 份	焊接電路	
塑膠管	15 根	製作成品	
萬用電路板	坂 1個 製作成品		
鋁軌	4 根完整	製作成品	

表 2 研究設備表

研究設備	規格	數量
三用電錶	數位電錶	1 支
筆記型電腦	Windows 64 位元	1台

本次研究使用設備如下:

- (1).通訊設備:筆記型電腦,RF 模組。
- (2).電性設備:行動電源 DC5V。
- (3).電性器材:

A.控制電路:Arduino 微處理 Uno 板[9~11]、杜邦線。

B. 感測器:線性電阻尺、ADXL345[12]。

年			2016				20	17		
月份	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
蒐集										
資料										
編寫										
程式										
製作										
模型										
實際										
實驗										
測試										
成品										
數學										
研究										

肆、研究理論

在本研究中,我們為了增加作品的完整性,我們利用了一些數學理論來幫助我們實驗的進行, 分別為:

1. 機率[13]:我們透過 S 函數(sigmoid function)來判斷橋梁斷裂所發生的機率。下列式子 1 為 我們的 S 函數方程式,圖 3 為方程式特性曲線示意圖

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(x - x_0)}/\delta} \tag{1}$$

e 為自然對數函數的底數、X 為裂縫大小、X0 為平均值、 δ 為變異數

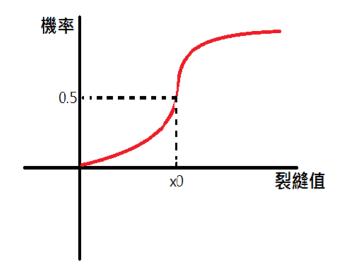


圖 3 方程式特性曲線示意圖

透過此圖可以發現當我們的數值超過平均值時,橋樑發生斷裂的機率也會慢慢提升。

2. 積分[14]:我們將測量到的三軸加速度值,轉換成G,並將此能量做積分以得到速度值。 下列式子 2 為我們的積分方程式,圖 4、5 為我們的方程式特性曲線示意圖。

$$V(t) = \int_0^\infty 9.8g(t)dt \cong \sum_{i=1}^n 9.8g_i(t)\Delta t$$
 (2)

g(t) 為我們所測量的值 △t 為我們每測量一個數值所花費的時間

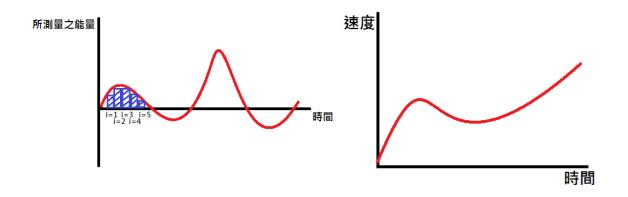


圖 4、5 方程式特性曲線示意圖

3. 影響線(Influence Line)[15]:我們參考影響線分析橋樑的受力狀況。來判斷有沒有斷裂或傾斜的狀況。下列式子 3、4 為我們的橋樑未斷裂前影響線方程式,式子 5、6 則是橋梁斷裂後的方程式(以示意圖為例),圖 6、7 為我們影響線示意圖。

$$R_{A} = P \times \left(1 - \frac{X}{L}\right) \tag{3}$$

$$\mathbf{R}_{\mathbf{B}} = \mathbf{P} \times \frac{X}{L} \tag{4}$$

X 為橋樑與受力點的距離 L 為橋樑的長度

P 為橋樑的乘載重量 R_A為橋樑 A 點的反作用力

R_B為橋樑 B 點的反作用力

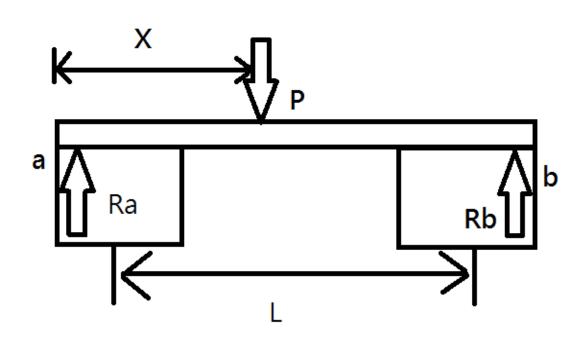


圖 6 橋樑未斷裂前影響線示意圖

$$R_{A} = P \tag{5}$$

$$R_B = 0 (6)$$

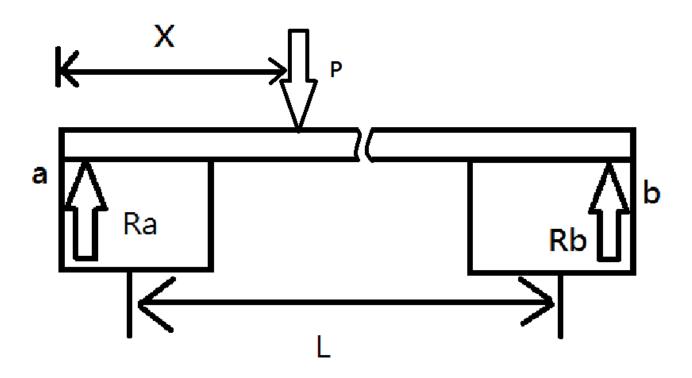


圖 7 橋梁斷裂後影響線示意圖

伍、研究過程或方法

這裡介紹研究過程與方法,我們使用直線拉桿感測器 A、B(線性電位器)以及加速規 ADXL345,運用微處理機 Atmega328 內的所撰寫的程式架構來存取橋樑裂縫、下陷、傾斜角 度與振動數據,並且透過 RF 無線模組依序從裂縫數據、下陷數據、傾斜角度、振動數據每 10 秒將存取的數據傳到電腦,圖 8 為製作流程圖。

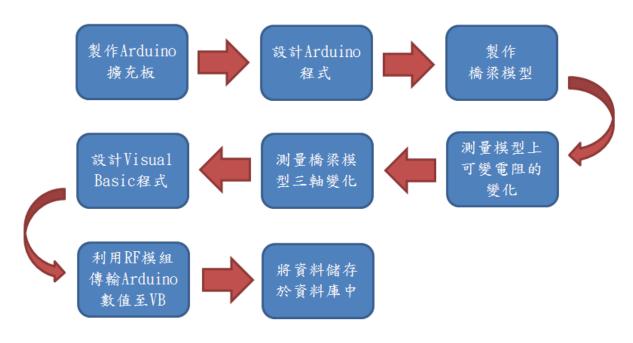


圖 8 製作流程圖

根據我們的研究目的,本研究主要可分為電腦接收系統與裂縫下陷等實驗。電腦系統主要可分為硬體和軟體部分,硬體部分分為感測器實驗與電路製作,而軟體部分分為 Arduino UNO 微處理控制程式與 Visual Basic 2010[13]控制程式,所以本實驗內容主要可以分為:

- 1. 製作 Arduino UNO 擴充版電路。
- 2. Arduino UNO 結合感測器為硬體部分。
- 3. Visual Basic 程式顯示各項參數為軟體部份。

一、硬體部份:

製作 Arduino UNO 擴充版,將電路以圖 9 為系統硬體接線圖,可分為接至裂縫感測器、下陷感測器與三軸加速規 ADXL345 感測器、RF無線模組之電源端(+3V)與接地端(GND)連接在一起,在由各項感測器之接腳接到 Arduino UNO 來做控制,如圖 10Arduin UNO 擴充版圖所示。 Arduino UNO 微處理機結合感測器,圖 11 為系統硬體圖。我們所需要偵測 5 種狀態,狀態參數為:裂縫、下陷、三軸(縱軸:X,橫軸:Y,重力:Z),為了能夠取得裂縫及下陷,我們以直線拉桿感測器代表裂縫及下陷,所使用類比/數位轉換為訊號數位訊號,Arduino UNO 利用所得到數位訊號來判斷裂縫及下陷的大小,接著透過 RF無線傳輸到電腦 VB 程式 ,並且顯示裂缝及下陷狀態。三軸感測器透過 I²C 模式將參數傳輸,以 Arduino UNO 讀取出三軸(縱軸:X,橫

軸:Y,重力:Z)的數值,透過 RF 無線傳輸傳送到電腦上,進行把數值傳到 VB 程式,顯示三軸(縱軸:X,橫軸:Y,重力:Z)的狀態。

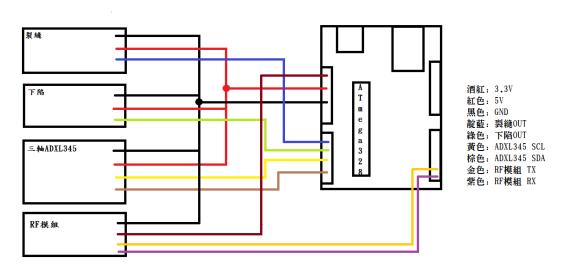


圖9系統硬體接腳圖

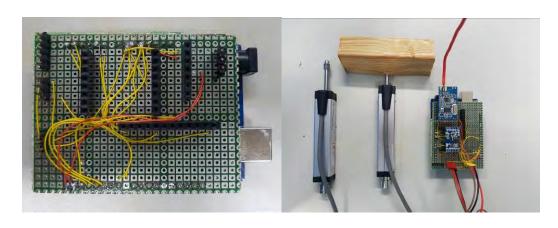


圖 10Arduino UNO 擴充版圖

圖 11 系統硬體圖

根據我們的研究目的,本研究內容主要可以分為橋樑震動分析與 RF 模組傳輸距離,其內容如下。

一. 橋樑震動與分析的部分分為:

(一).裂縫與下陷實驗:

裂縫與下陷實驗是將可變電阻拉至不同的長度(如圖 13 所示)而電阻利用 Arduino 讀值程式來 讀取不同的電壓值(如圖 14 所示),其實驗電路圖如圖 15 所示。實驗步驟圖如圖 12 所示。



圖 12 電阻實驗步驟圖



圖 13 可變電阻測量長度大小 圖 14 可變電阻電壓大小 Arduino 程式

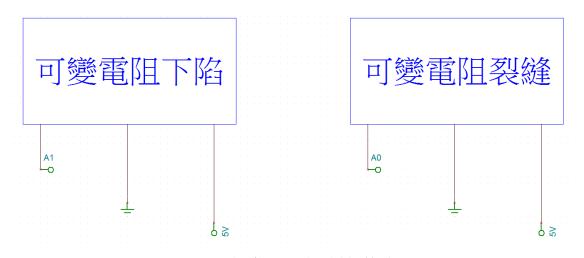


圖 15 可變電阻 下陷 裂縫 接線圖

(二).ADXL345 實驗:

我們利用震動源來模擬車輛經過時橋面的震動,透過觀察我們發現了震動源的距離以及 Sensor 的位置都是影響實驗數據的關鍵,圖 16 為模擬震動源圖,圖 17 為 ADXL345 實驗步驟

圖。

我們利用震動電鑽震動作為震動源來測量 ADXL345 三軸的變化再透過 Arduino 顯示出數值,再從 VB 讀取資料,再與其他點作比較來觀察數值的不同,圖 18 為 ADXL345 的實驗電路圖,圖 19 為實驗示意圖。



圖 16 模擬震動源圖

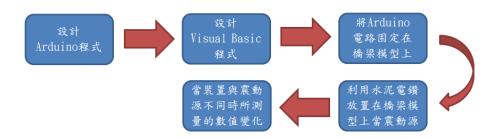


圖 17ADXL345 實驗步驟圖

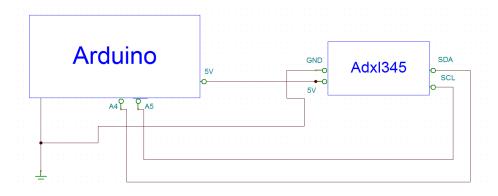


圖 18ADXL345 的實驗電路圖

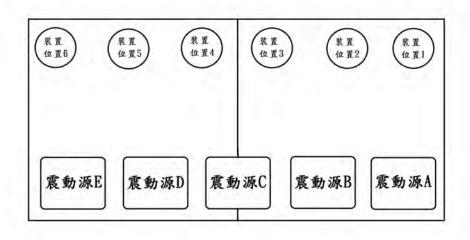


圖 19 實驗示意圖

二.RF 模組傳輸距離測量:

我們利用 Arduino 程式來進行測量 RF 接收的距離,如圖 20 為 RF 實驗步驟圖,而圖 21 實驗電路圖,其距離測試程式與數據如圖 22 所示。當在有辦法接收到值的距離內,它就會從 0 開始顯示數值至 1000,但在沒有辦法接收到值的距離時會停止顯示直到回去可以接收值的範圍內。

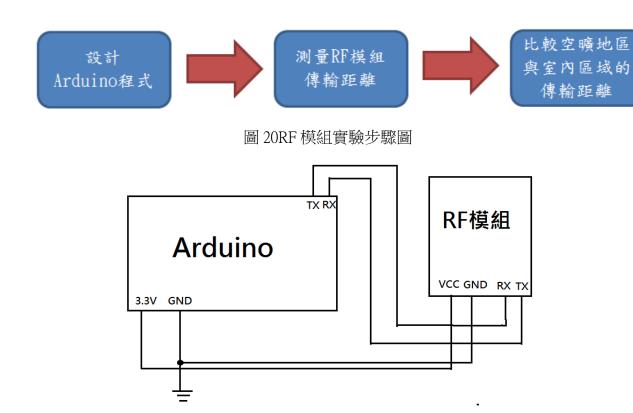


圖 21 實驗電路圖

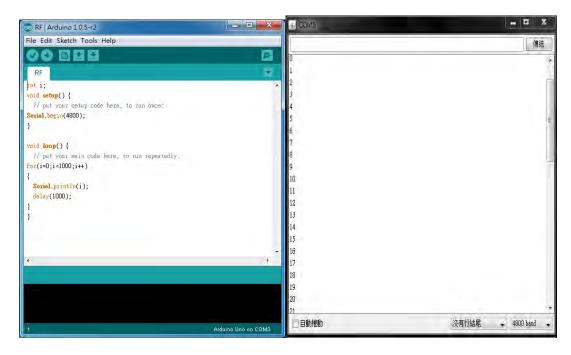


圖 22 RF 距離測試程式

陸、研究結果

經過我們的實驗後,我們得到了以下結果:

1.電阻尺的電壓會隨著電阻尺的長度呈線性變化數據變化如圖 23 所示。

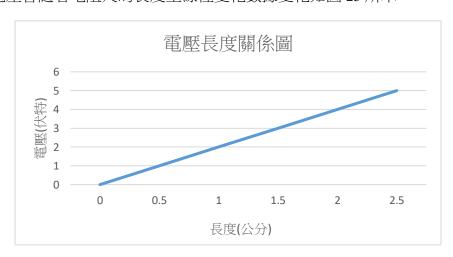


圖 23 電阻電壓長度變化圖

2.三軸感測器會因為位置的不同、震動源的不同而有所變化如圖 24、 25、26 所示,圖中震動源為 A~E 所示,感測器位置以位置 1~6 之趨勢線條表示。

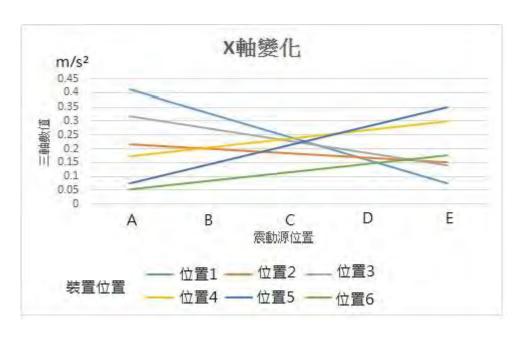


圖 24X 軸變化量

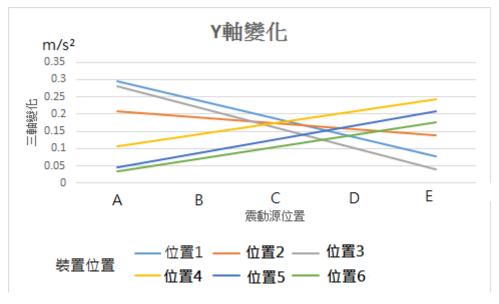


圖 25 Y 軸變化量

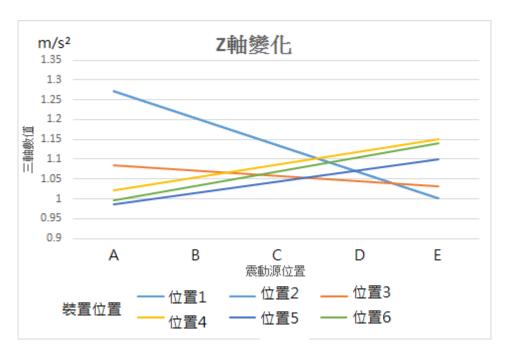


圖 26 Z 軸變化量

3.在 RF 模組中我們發現,RF 的傳輸距離在室內與室外會有所不同。

(一).空曠的地方

我們將 Arduino 接上行動電源,放置在空曠的區域,然後再用電腦端的 Arduino 程式,並利用 Google Map 測量實際的接收距離,其結果如圖 27 表示。



圖 27 空曠時 RF 模組的測量距離

(二).室內(有障礙物阻擋)

我們將 Arduino 接上行動電源,放置在桌子上方,然後再用電腦端的 Arduino 程式,並利用 Google Map 測量實際的接收距離,其結果如圖 28 表示,其室內與室外的比較如表 4 所示。

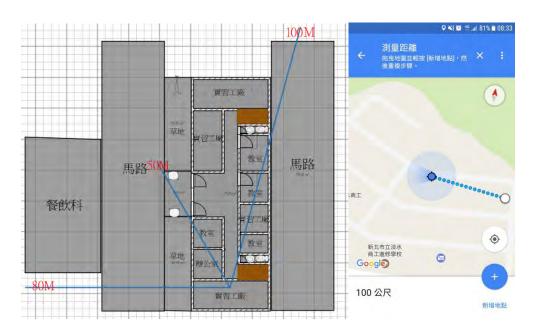


圖 28 室內時 RF 模組的測量距離

	室內	室外
最高傳輸距離	100m	230m
最低傳輸距離	50m	200m

表 4 RF 模組傳輸距離比較表

我們在這幾個月利用課餘時間、放假時間,跟著老師開會討論硬軟體程式,來達到我們想要的橋樑振動分析與研究,最終完成一套系統,以下是具有的功能:

- 一、拉桿式可變電阻感測裂縫數值及下陷數值。
- 二、ADXL345 感測三軸數值。
- 三、RF 無線數值顯示電腦畫面。

本系統驗證感測器實驗,以下為三大實驗數據:

一、驗證橋樑裂縫實驗:

橋樑的裂縫我們是以拉桿式可變電阻做為感測,使用 Arduino 來讀取裂縫之數值,以拉桿式可變電阻伸縮距離 2.5cm 來偵測裂縫之大小,圖 29 為紅色框裡面是橋樑裂縫位置,將感測器放置在我們所製作的橋樑模型上,並將感測器拉開,看圖 30 裂縫是否有變化,當裂縫數值大於透過電腦可以記錄橋樑裂縫數值,當裂縫如果數值過於異常,就可以向橋樑的通知維修人員,以防止意外的發生。圖 31 為 VB 畫面裂縫改變圖。

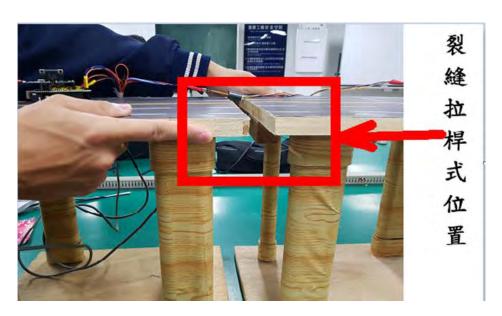


圖 29 橋樑裂縫咸測器位置圖



圖 30 裂縫變化實驗圖圖 31 VB 畫面裂縫改變圖

二、驗證橋樑下陷實驗:

橋樑的下陷我們是以拉桿式可變電阻做為感測,使用 Arduino 來讀取裂縫之數值,以拉桿式可變電阻伸縮距離 2.5cm 來偵測下陷之大小,圖 32 為紅線表示橋樑下陷位置。將感測器放置在我們所製作的橋樑模型上,並將感測器拉開,看圖 33 裂縫是否有變化。透過電腦可以記錄橋

樑裂縫數值,如果值過於異常,就可以向橋樑的通知維修人員,以防止意外的發生。圖 34 為 VB 下陷改變圖。

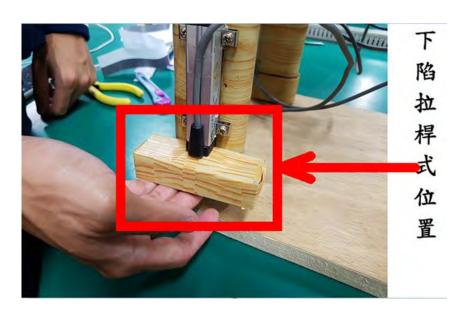


圖 32 橋樑下陷咸測器位置圖

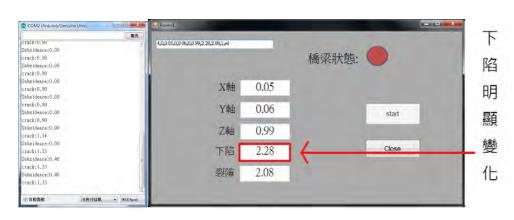


圖 33 下陷變化實驗圖

圖 34 VB 介面下陷變化

三、三軸 ADXL345 驗證實驗:

三軸加速度 ADXL345 實驗是將感測器放置在我們所製作的橋樑模型上,並將橋樑搖晃,使 Arduino 程式來讀取三軸加速度感測器之實驗值。圖 35 三軸感測器位置所示。我們驗證是將三軸加速度感測器搖晃,圖 36 為 X、Y、Z 軸所示之方位,圖 37 三軸數據是否變化。採用 Arduino 程式接收到三軸數值,在透過 RF 模組傳到電腦,以 APP 可以進行分析或是資料庫儲存並顯示數值,圖 38 為電腦顯示圖,如果三軸感測器數值過於異常,就可以通知橋樑的維修

人員,以防止意外的發生。

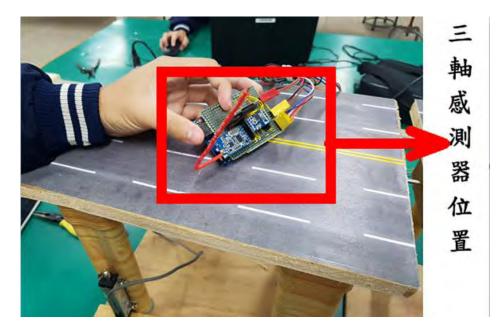


圖 35 三軸加速度感測器實驗圖

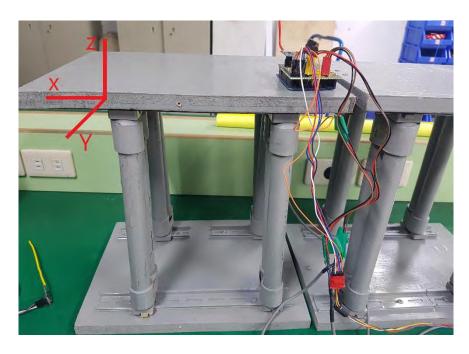


圖 36XYZ 軸所表示之方位

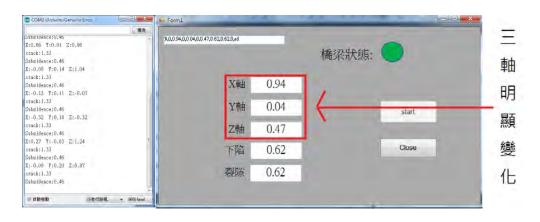


圖 37 三軸加速度感測器變化實驗圖圖 38VB 介面

根據以上實驗,我們會利用步進馬達如圖 39 所示,模擬柵欄,當橋樑發生不正常現象時,柵欄會下降,防止可避免的災害發生。



圖 39 步進馬達

而為了證明我們的系統在現實生活中是真的測量到數據的,我們還特地來到鄰近我們學校的關渡大橋上來進行測量圖如圖 40 所示,我們觀察橋樑較靜止時與大卡車經過時所測量出來的數據,利用測量出的數據之大小值去做比較,我們發現大卡車經過時如圖 41 所示,有明顯差異如圖 42、43 所示。而圖 44、45、46 為測試後數據比較圖,其中 1、2、 3 編號分別為 X 、 Y 、 Z 之最大值,4、5、 6 編號分別為 X 、 Y 、 Z 之最大值,4、5、 6 編號分別為 X 、 Y 、 Z 之最小值。

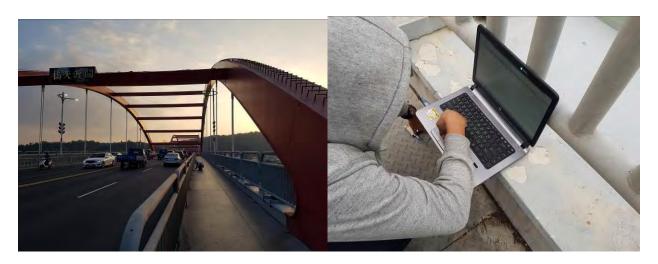


圖 40 關渡大橋實測



圖 41 大卡車經過時測試

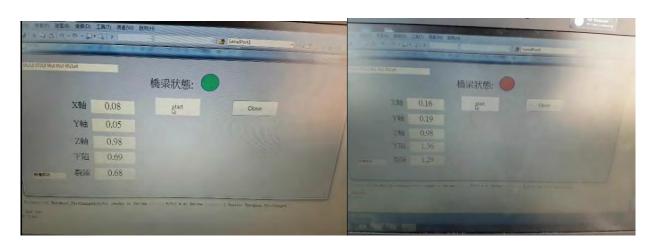


圖 42 橋樑無嚴重晃動時

圖 43 橋樑有大卡車經過時

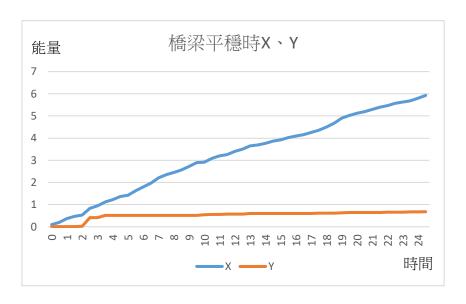


圖 44 關渡大橋實際測量橋梁平穩時 X、Y 結果圖

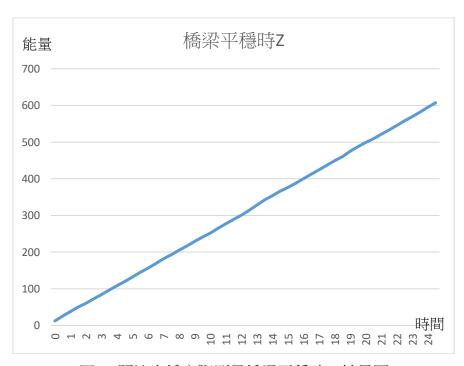


圖 45 關渡大橋實際測量橋梁平穩時 Z 結果圖

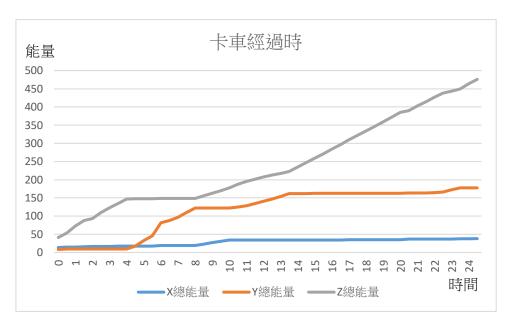


圖 46 關渡大橋實際測量卡車經過時結果圖

柒、問題與討論

我們在做這一套系統中,剛開始覺得應該滿簡單輕鬆,但是沒想到在做的過程中,碰到許多難解的問題,十分困難且遇到了挫折,但是我們不放棄想要學習的精神,與老師詳細討論,訂出我們要的目標前進。一開始在買零件過程中,想要節省開銷所以尋找學校不要的廢棄木材來製作橋樑的模型,系統零件由老師指導我們去光華商場電子材料行,解決我們購買零件缺少的問題,當我們去購買時,發現許多零件、材料可以應用在我們要製作的橋樑上,並請教老師如何使用零件。到了後面部份,我們加了 RF 無線模組,使我們製作的難度加大,雖然這次作品如期完成,但是偵測三軸的系統仍有許多值得我們去鑽研與改善的部分。希望在未來可以對這類的技術進行更深入的研究與整合更多的系統,能夠更迅速提供維修人員進行維護,減少意外的傷害與公共財產的損失。

我們發生了下列問題:

- (1) VB 沒有數值,經過三用電表量測發現是 RF 發送器發生故障 解決方法:更換一個新的 RF 發送器發生故障。
- (2) 步進馬達正反轉異常 解決方法:我們目前還未想出相關的因應措施。
- (3) RF 模組天線斷裂導致無法接受傳送數值 解決方法:重新焊接一條較堅固的單芯線。
- (4) USB 驅動程式有問題 解決方法:下載網路上新的 USB 驅動程式。
- (5) 無法換算裂縫下陷所代表的值 解決方法:把程式的數值的單位轉換成公分。
- (6) ADXL345 單位換算發生問題 解決方法:參考資料手冊將數值除以 256 轉換成加速度單位。
- (7) ADXL345 出現誤差

解決方法:透過實驗找出誤差值再經過即得實際值。

- (8) ADXL345 量測時後忘記將 sensor 固定導致實驗結果數值出現誤差解決方法:重新實驗並用膠帶將 sensor 固定。
- (9) ADXL345 實驗中,數據由於太過混雜,使研究結果不明確 解決方法:我們將數據改為趨勢線,使他表達的結果更為明確。
- (10)當初在建立資料庫時發生無法儲存資料的問題 解決方法:後來發現可能是軟題衝突的關係,所以把資料庫軟體更改版本。

捌、結論

- 一、透過橋樑振動系統設計與研製,使得觀察橋樑裂縫與下陷與三軸感測器之縱軸:X, 横軸:Y,重力:Z,更清楚得知橋樑整體狀態,且達到簡易、輕小、低成本目的。
- 二、我們成功設計一套 VB 系統,初步完成 Auduino UNO、RF 無線模組及電腦做溝通,架設橋樑振動系統,前者已具有硬體監控效果,後者更將可延伸至遠端監控功能,此外 VB 介面簡易,使相關工作人員觀察橋樑更方便,因此可廣範應用在各個橋樑上,加上 RF 無線技術的遠端傳輸資料,結合無線通訊及橋樑之各項參數,使得橋樑在人的生活有效管理更安全。
- 三、透過觀察 ADXL345 的結果我們得到了,當裝置位置與震動源位置不同時,所測量的數值會有所變化。
- 四、根據我們的數學理論可以更明確的了解橋樑異常的變化。
- 五、我們由於時間與所學的有限,所以還有很多需要改善的地方,如何能讓橋樑更安全和更 精準的數據等等,將是未來與老師討論並努力的。之後可能會將裝置結合雲端並在雲端 資料庫中上傳所量測之數據,方便讓大家查看。
- 六、日後將更進一步協同專業人員做振動頻率與橋樑結構的分析。

玖、參考文獻

- [1] 氣象局-地震專欄,http://www.cwb.gov.tw/V7/knowledge/planning/seismological.htm。
- [2]台 64 線橋樑共振造成居民不便,http://news.ltn.com.tw/news/local/paper/1031653。
- [3]橋樑監測系統-以高屏溪橋為例(I)(II)PDF,陳振華,國立高雄大學土環系。
- [4]搖擺橋柱自由振動行為之試驗研究,鄭錦銅、赫偉業、施明祥,國立高雄第一科技大學。 [5]微振量測之應用以土木館連絡空橋為例,賴尚賢、張顯宗。

- [6]地震防災:橋樑自動化量測作業-全橋安全監測,
- https://scitechvista.nat.gov.tw/zh-tw/articles/c/0/9/10/1/2120.htm。
- [7] RF 無線通訊,http://140.118.70.170/wp-content/uploads/2012/06/diba.pdf。
- [8] RF 無線通訊,
- http://www.rfduino.com/wp-content/uploads/2014/03/RFD22301.Data_.Sheet_.11.24.13_11.38PM.pdf。
- [9]趙英傑,超圖解 Arduino 互動設計入門(第二版),旗標出版社,2014年。
- [10]揚明豐, Arduino 最佳入門與應用:打造互動設計輕鬆學),基峰出版社,2015年。
- [11] Arduino UNO, http://www.playrobot.com/board/6-arduino-uno-rev-3.html。
- [12]ADXL345, http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf。
- [13]Sheldon Ross,譯者:朱蘊(金廣),機率論,華泰文化。
- [14]黄學亮,基礎微積分,五南圖書公司。
- [15]陳純森,結構力學與程式應用,科技圖書股份有限公司。
- [16]施威銘, Visual Basic 2010程式設計,旗標出版股份有限公司。

【評語】052305

研究設計一套橋樑監控系統,可監控裂縫、下陷、傾斜三個狀態,包含以直線拉桿感測器來量測裂縫及下陷,加速規感測器量測結果來判斷橋樑是否受損,利用 Arduino 讀取所測量的值再透過 RF 模組傳送至電腦,讓使用者能夠透過 VB 查看狀態的資訊,並到關渡大橋上來進行測量車輛通過時之變化。研究包含實驗及學理探討,可再強化實用性之探討。

作品海報

壹、研究動機

上下學坐車經過關渡橋時,有時會察覺橋樑發生較劇烈的晃動,且最近又看到有關於新北市台64線橋樑振動的新聞,而引起橋樑附近房屋的振動與龜裂。因此讓我們開始對橋樑安全產生關心,這也引起了我們的興趣並根據我們目前所學的知識與技能,去設計橋樑安全通報系統,來幫助人們預防災害的發生,與本土的交通建設之關懷。圖1為系統架構圖,透過此圖可以用來了解我們系統的基本架構。

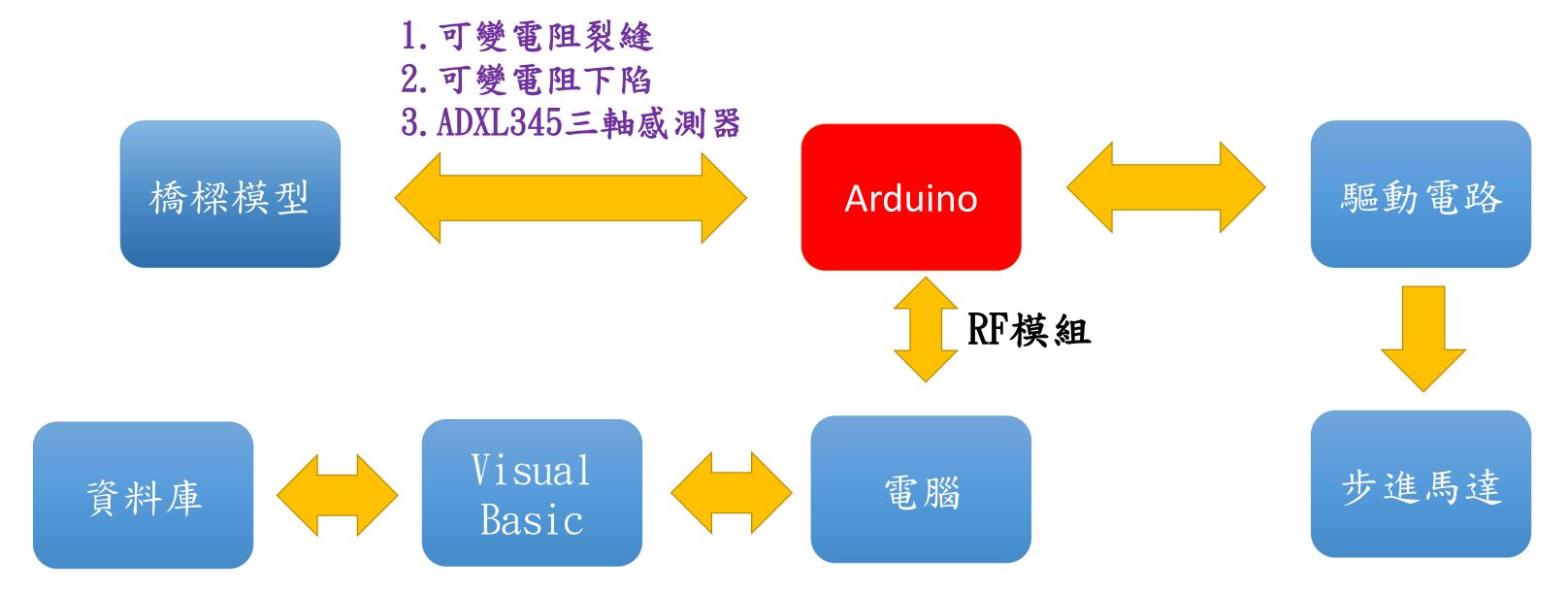


圖1 系統架構圖

貳、研究目的

為了幫助現在忙碌的維修人員,因此構思出了這個想法,所以本研究的目的主要是讓他們能夠利用物理力學,如三軸加速度感測器(ADXL345)與線性電阻來量測振動的頻率與橋樑變形,並結合無線通訊與資料庫建立的創意,這能夠節省不少時間與人力。所以本系統相對於目前的橋樑量測系統,如光纖超音波、RFID、GPS等更為方便與低成本。圖2為研究步驟流程圖,根據此圖可以了解我們團隊研究的相關順序。

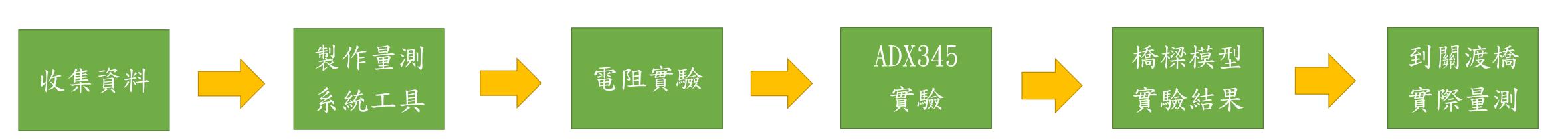


圖2 研究步驟流程圖

参、系統研究

一、系統理論:

在本研究中,我們為了增加作品的完整性,我們利用了一些數學理論來幫助我們實驗的進行,分別為:

1. 橋樑危險機率(警報機率):橋樑斷裂的分佈為高斯分配函數,其平均值為 μ_{f0} ,變異數為 ,這二者參數與橋樑結構及外力有關,若將斷裂發生危險機率設定於斷裂長度 x_{fa} ,經高斯分配函數積分後,可得到sigmoid function來判斷橋樑斷裂所發生的機率。式子(1.1)為橋樑斷裂的sigmoid function P_f ,圖3為方程式特性曲線示意圖。同義,我們可得到橋樑下陷的sigmoid function P_s 如式式子(1.2) ,最後將二者取最大值,得到其決定危險機率 P_{alarm} ,以啟動警報裝置。

$$P_{f} = \frac{1}{\frac{-(x_{f} - \mu_{f0})}{\delta_{f}^{2}}}$$
(1.1)

$$P_{s} = \frac{1}{\frac{-(x_{s} - \mu_{s0})}{\delta_{s}^{2}}}$$
 (1.2)

$$P_{alarm} = \max(P_f, P_s) \qquad (1.3)$$

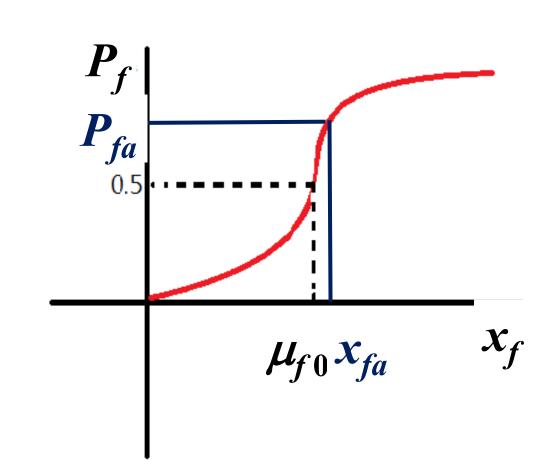


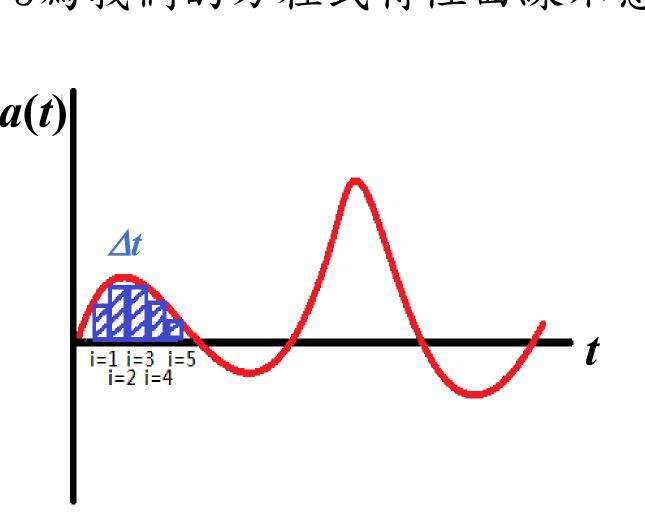
圖3 sigmoid function Pf 特性曲線

2. 橋樑受外力之能量積分:我們將測量到的三軸重力加速度g(t)轉換成加速度a(t)=9.8 g(t),並將此加速度值做積分以得到速度v(t),我們便可以得到橋樑受外力之能量積分 $1/2mv^2$ 。 式子(2)為我們的積分方程式,圖4、5為我們的方程式特性曲線示意圖。

$$v(t) = \int_{t=0}^{T_N} a(t)dt = \int_{t=0}^{T_N} 9.8g(t)dt$$

$$v(t_i) \approx v(t) = \sum_{i=1}^{N} 9.8g(\Delta t_i) \Delta t_i \quad (2.1)$$

$$E(t_i) = \frac{1}{2} mv^2(t_i)$$
 (2.2)



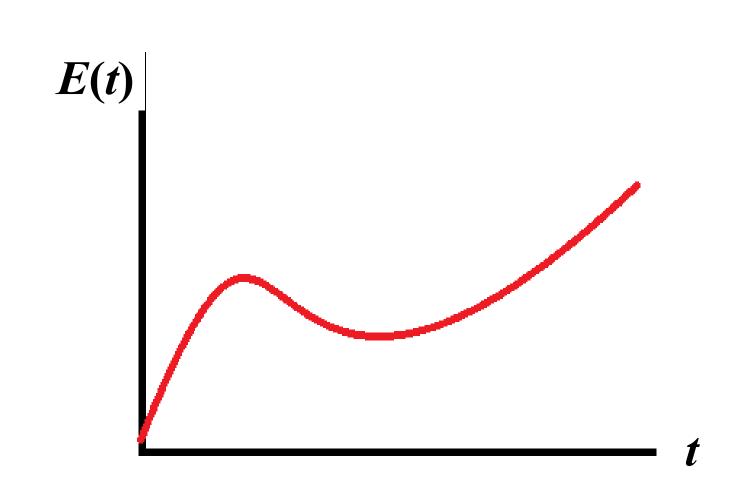


圖4 加速度a(t)=9.8 g(t)特性曲線示意圖

圖5 速度E(t)特性曲線示意圖

3. 影響線: 我們參考影響線分析橋樑的受力狀況。來判斷有沒有斷裂或傾斜的狀況。 下列式子3、4為我們的橋樑未斷裂前影響線方程式, 圖6為我們影響線示意圖。

$$R_A = w \left(1 - \frac{x}{I} \right) \tag{3}$$

$$R_B = w \frac{x}{L} \tag{4}$$

X為橋樑與受力點的距離、L為橋樑的長度、W為橋樑的乘載重量、 R_A 為橋樑A點的反作用力、 R_B 為橋樑B點的反作用力

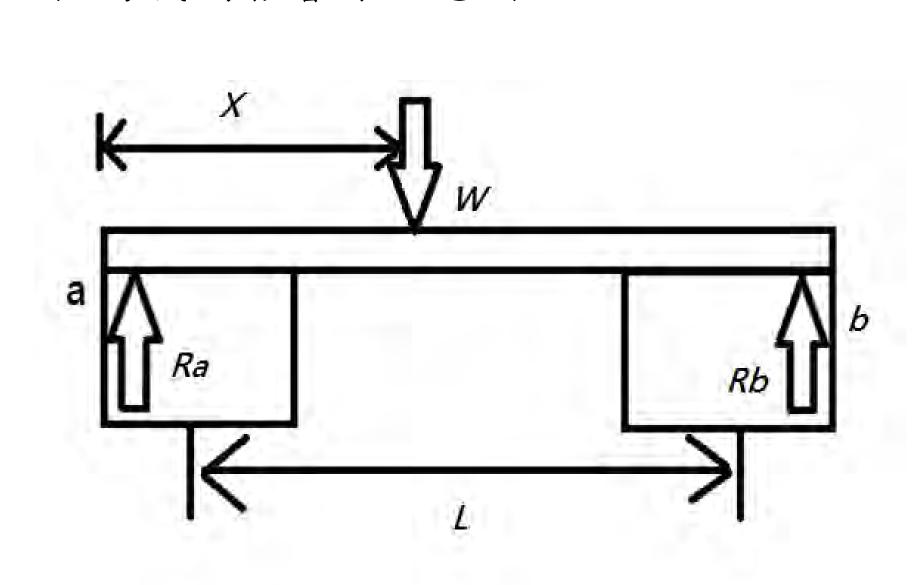


圖6影響線示意圖

式子5、6則是橋樑斷裂後的方程式(以示意圖為例)圖7為我們影響線示意圖。



$$R_{R}=0 \tag{6}$$

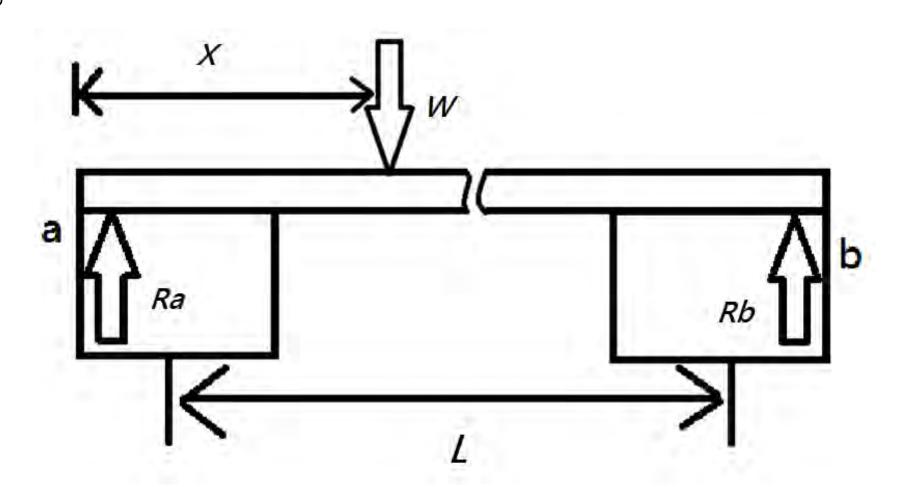


圖7橋樑斷裂後影響線示意圖

式子7、8則是橋樑傾斜後的方程式(以示意圖為例)圖8為我們影響線示意圖。

$$R_A = w_{A||} + w_{A\perp} = (1 - \frac{x}{L}) w\{||\sin\theta + \vec{\perp}\cos\theta\}$$
 (7)

$$R_B = w_{B||} + w_{B\perp} = \frac{x}{L} w\{||\sin\theta + \vec{\perp}\cos\theta\}$$
 (8)

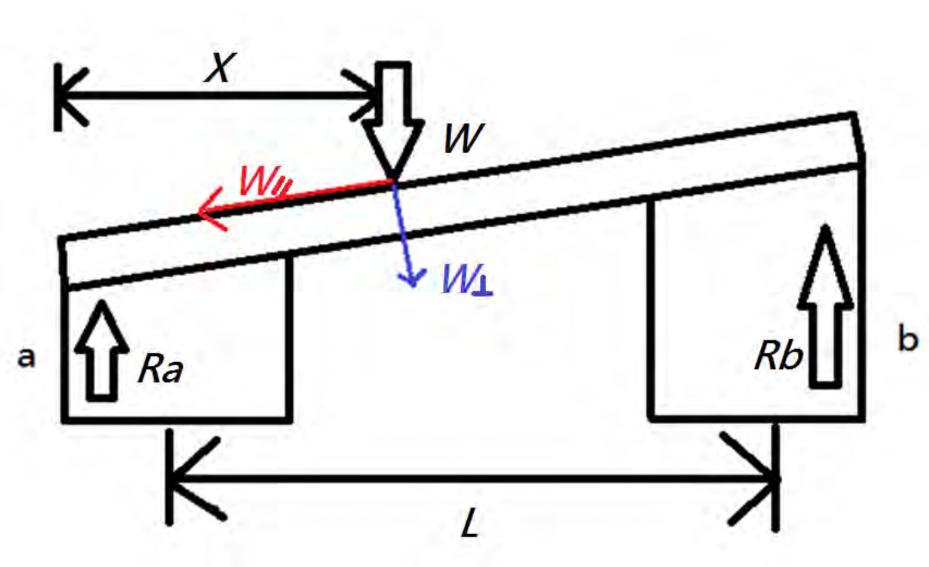


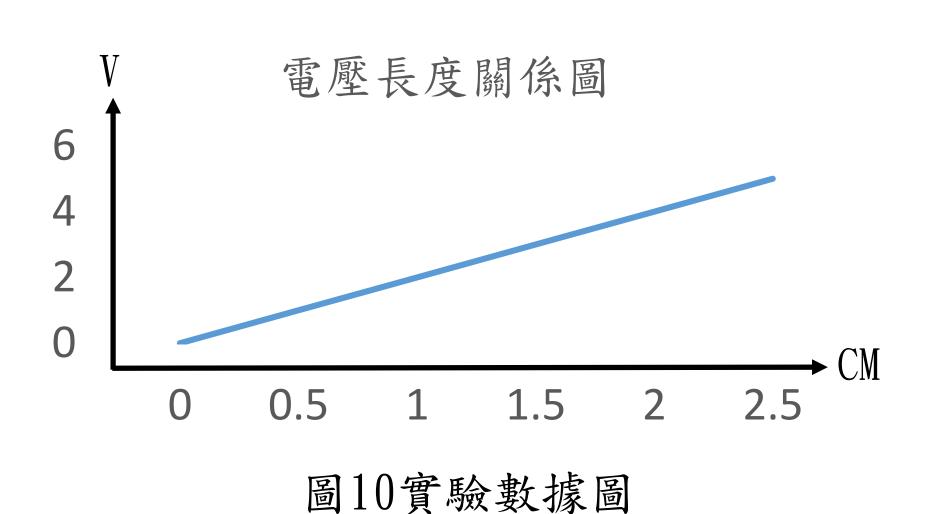
圖8 橋樑傾斜後影響線示意圖

二、電阻測量實驗:

本實驗是將可變電阻拉至不同的長度而電阻利用Arduino讀值程式來讀取不同的電壓值。 圖9、10為我們的實驗圖與實驗數據圖。



圖9實驗圖



回。

三、三軸ADXL345驗證實驗:

我們利用振動源來模擬車輛經過時橋面的振動,透過觀察我們發現了振動源的距離以及裝置的位置都是影響實驗數據的關鍵,因此我們利用振動電鑽振動作為振動源來測量ADXL345三軸的變化再透過Arduino傳送數值,再從VB讀取資料,與其他點作比較來觀察數值的不同。

圖11、12為我們的橋樑振動模擬圖與實際測量圖,由裝置位置1~裝置位置6與振動源A~振動源E進行橋樑振動模擬實驗。

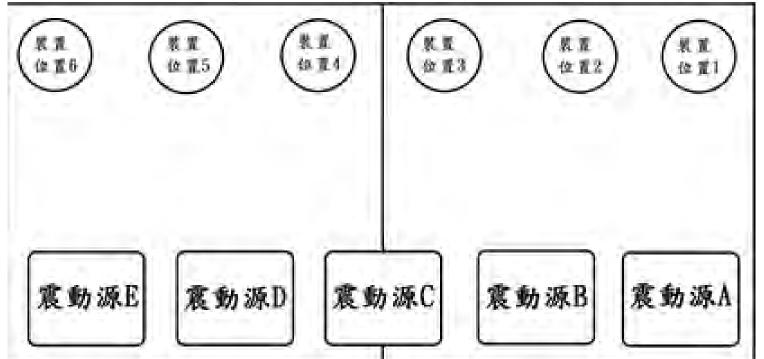
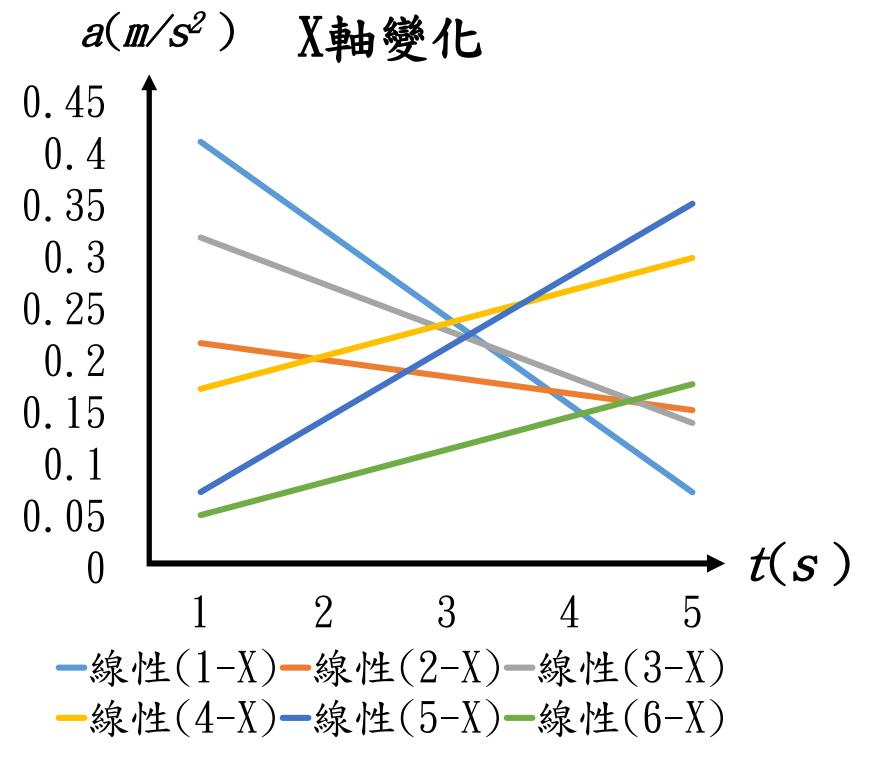


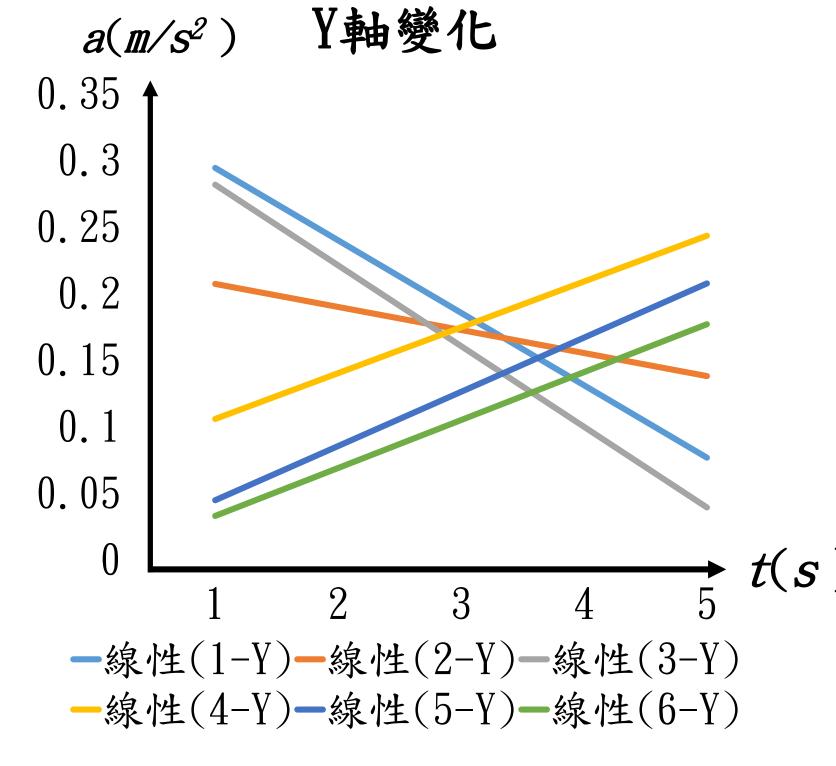
圖11 橋樑振動模擬圖



圖12 實際測量圖

圖13、14、15為我們的橋樑振動模擬實驗結果之X、Y、Z軸數據趨勢圖,透過這些圖可以讓我們清楚的了解裝置位置與振動源位置的變化關係。





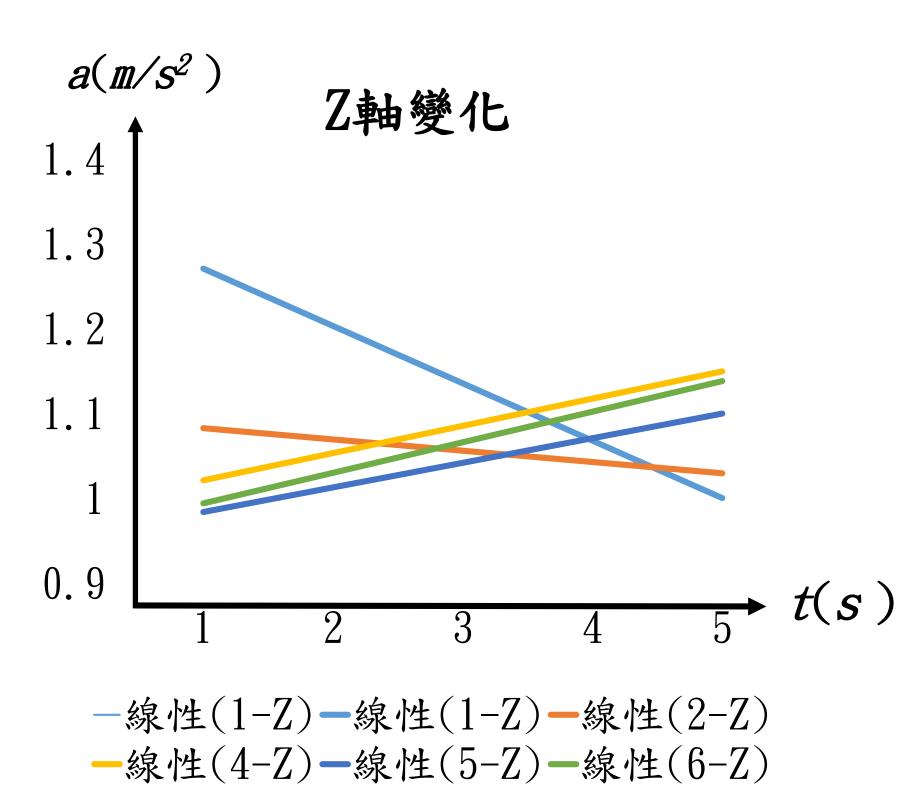
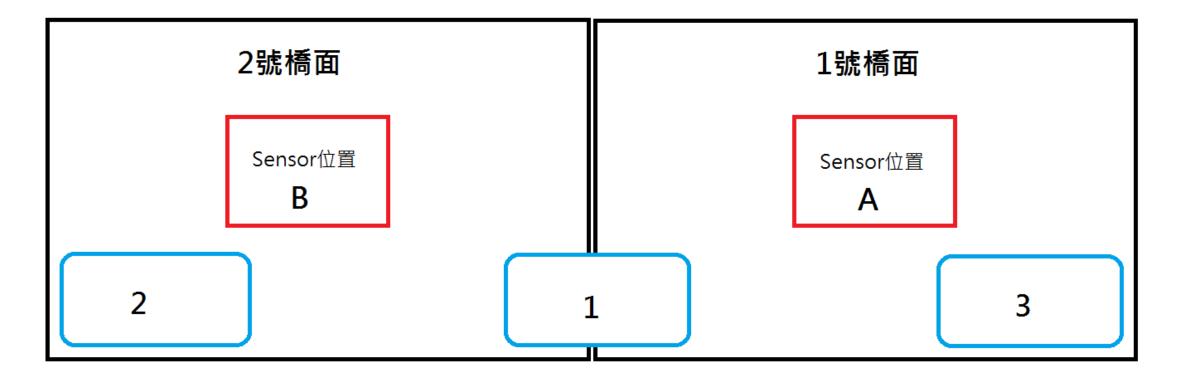
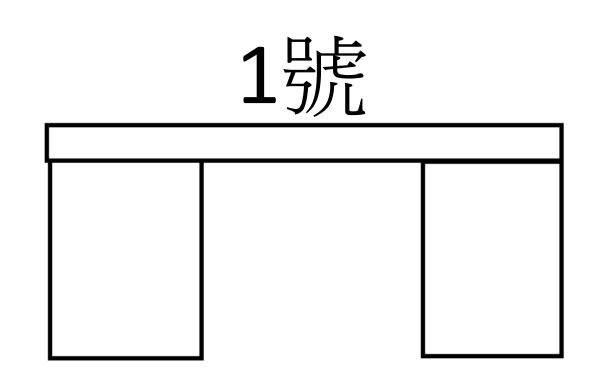


圖13、14、15橋樑振動模擬實驗結果之X、Y、Z軸數據趨勢圖

四、橋樑傾斜實驗:

為了可以判別橋樑傾斜時的情況,我們另外做了傾斜的實驗,跟一般未發生傾斜的橋面做比較,以判別兩者的關係。圖16、17為我們的橋梁傾斜實驗模擬圖。





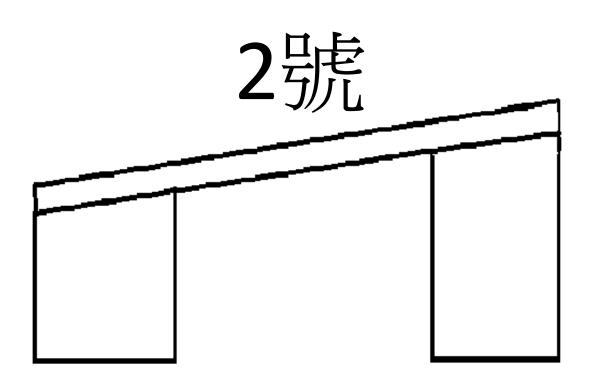


圖16、17橋梁傾斜實驗模擬圖

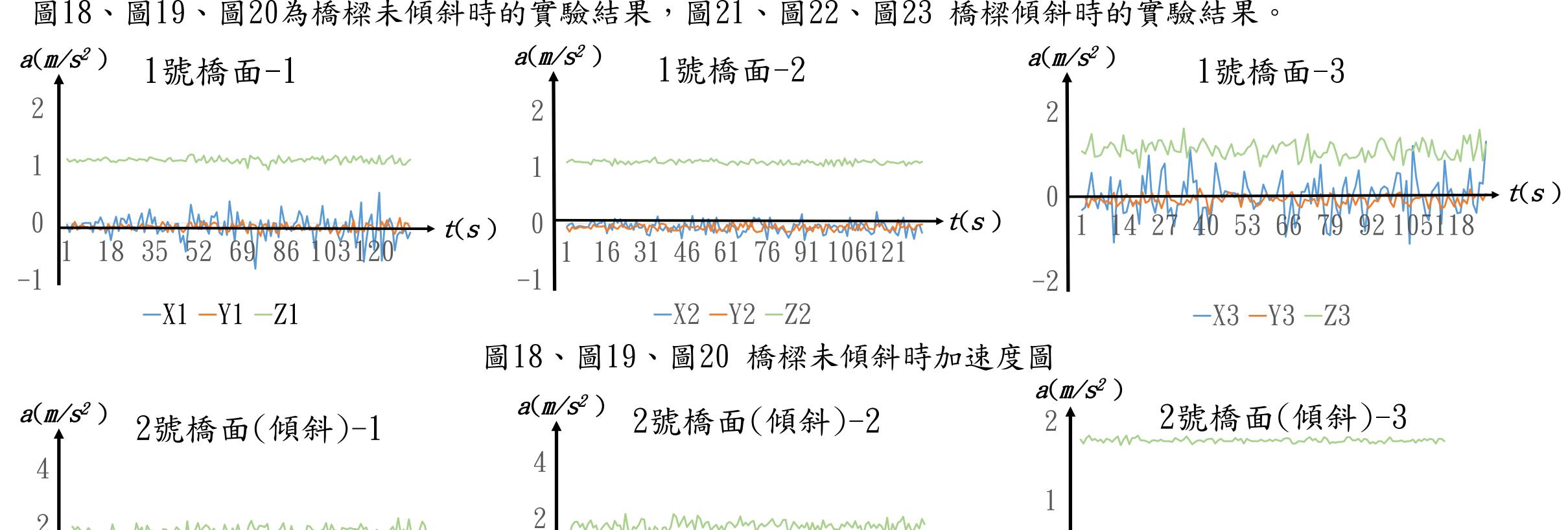


圖21、圖22、圖23 橋樑傾斜時加速度圖

-SX3 - SY3 - SZ3

4 7 1013161922252831343740434649

-較平穩時 -卡車經過時

圖29 關渡橋實際測量Z軸能量圖

16 31 46 61 76 91

-SX2 - SY2 - SZ2

、關渡橋實際測量

16 31 46 61 76 91 106121

-SX1 - SY1 - SZ1

為了證明我們的系統在現實生活中是真的能測量到數據的,加上我們學校區域因素,我們每天需要乘坐交通 車上下學,而交通車每天會經過關渡橋,因此我們來到這裡來進行測量,我們觀察橋樑較靜止時與大卡車經過 時,每一次抓50筆資料,共20筆數據,再利用數據之平均值去做比較,我們發現大卡車經過時,與較靜止時有 明顯差異。圖24、25、26為關渡橋實際測量的數據圖、圖27、28、29關渡橋實際測量的能量圖。

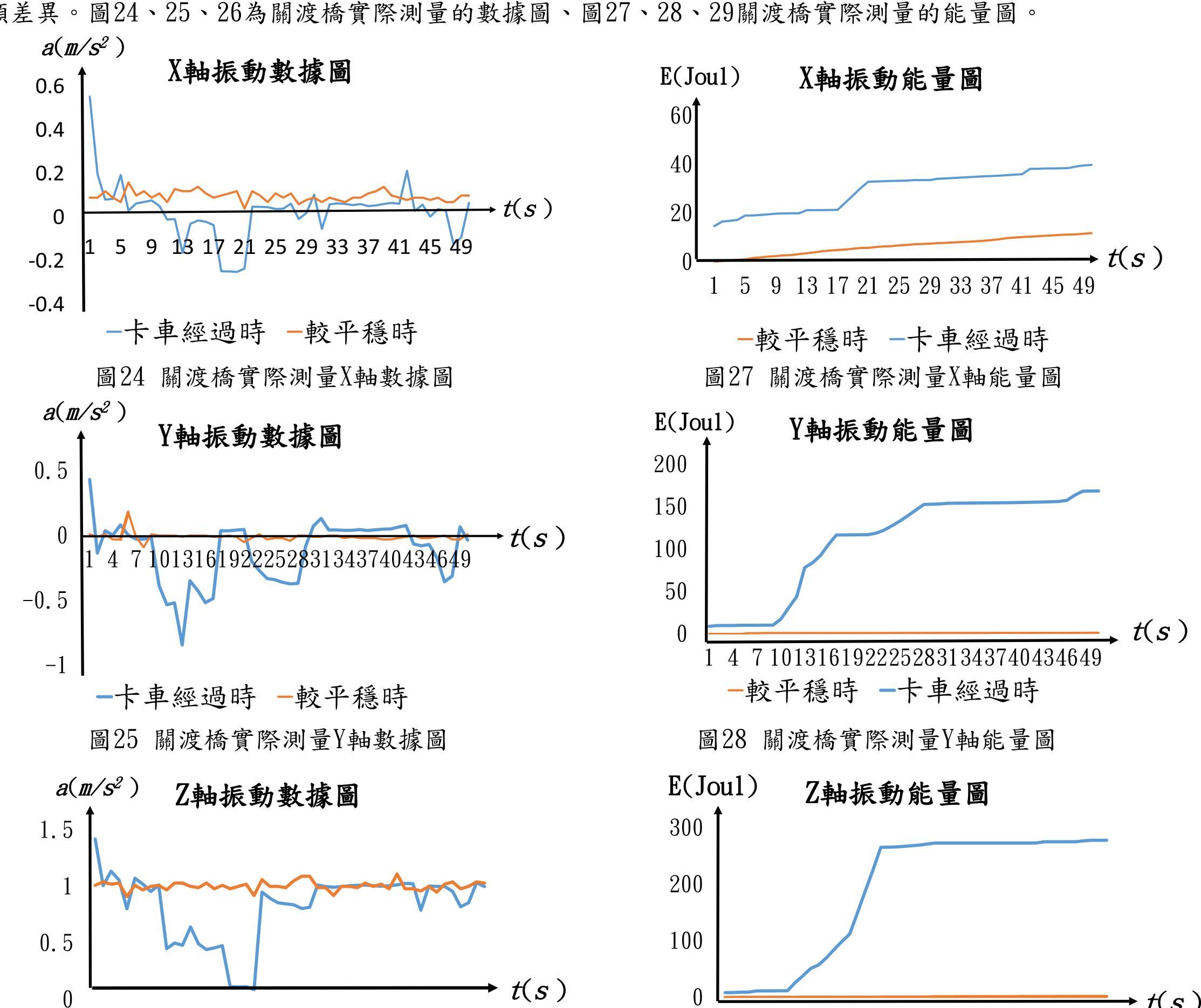


圖26 關渡橋實際測量Z軸數據圖 伍、結論

- 透過sigmoid function來分析橋樑發生斷裂與下陷的機率,以決定橋樑是否達到危險,並啟動警 報系統之步進馬達,進而確保橋樑工作的安全。
- 二、透過積分將加速度值轉換為速度值,再將速度值平方轉換成能量,以觀察橋樑振動的幅度與能量。
- 三、透過勢力線可以更明確地了解到兩側柱子在各種情況的受力情形。

1 4 7 1013161922252831343740434649

-卡車經過時 -較平穩時

陸、問題與討論

- 一、在橋樑判斷裂縫下陷時,無法確實表達橋樑是否已經發生危機,因此我們將危機發生之機率顯示, 以協助維修人員判斷橋樑之狀態。
- 二、在利用ADXL345測量兩座橋面三軸時,因為未歸零導致三軸變化幅度較不明顯,因此我們校正數值 後,發現結果較明確。
- 三、我們在關渡橋上時,發現無法有效架設線性電阻在橋樑裂縫中,未來可能會向有關單位申請協助, 已完成實驗。

柒、参考文獻

- 一. 微振量測之應用以土木館連絡空橋為例, ,賴尚賢、張顯宗。
- 二. 陳純森, 結構力學與程式應用, 科技圖書股份有限公司。
- 三. ADXL345, http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf