

中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

第一名

最佳創意獎

030510

危機自陷—臺灣高鐵差異沉陷的新測量方法

學校名稱：新北市私立南山高級中學

作者： 國二 吳承儒 國二 楊芸甄 國二 洪暉詞	指導老師： 蕭崇毅 莊貴冠
---	-----------------------------

關鍵詞：地層下陷、臺灣高鐵、

Quake Catcher Network (QCN)

得獎感言



艷陽高照日，國展比賽時，憶我來時路，百感頓萌生。網路谷歌齊搜尋，伊莉莎白創新意，電腦加速感測器，全球強動地震儀。雲林抽水地層陷，高鐵行經顛簸行，沉陷監測耗巨資，何不有形化無形？在校實驗勤奮做，拉拉扯扯跌跟斗，返家讀書把命拼，物理電腦微積分。半載匆匆瞬間逝，年前急急高鐵行，至此規定已更改，不復當年四人行。阮囊羞澀頗拮据，錙銖必較為上策，板橋台鐵新烏日，台中高鐵嘉義行。車頭車尾十二趟，差異沉陷現雛形，三天三夜徹未眠，研究報告方可行。

聯大頒獎日，人聲沸頂時，心中懷忐忑，未來不可知。頒獎頒一半，縣長來搗蛋，順序一弄亂，心情更混亂。國中團體組，南山第二名，至此心已知，我等第一名。

摘要

由於雲林地區超抽地下水引發地層下陷，導致高鐵橋墩與橋墩之間的差異沉陷日趨惡化。我們發現用Quake Catcher Network Live[1]軟體，可以將筆記型電腦中的加速度感測器所測量到的加速度值記錄下來。我們以直接搭乘高鐵的方式，利用商用筆記型電腦，記錄列車行進中的加速度值，並藉由加速度、速度、距離、時間之間的關係與定義，得到台灣高鐵橋墩差異沉陷的沉陷值，接著再以雲林縣已知的沉陷地區來驗證方法的可行性。結果發現，運用加速度感測器，來測量高鐵橋墩之間的差異沉陷是可行的。此外我們也將此方法應用於高鐵全程沿線的差異沉陷測量。總結研究結果，這個方法有利於迅速地測量高鐵橋墩的差異沉陷，不僅可以減少人力與資源，並可即時預警、減少政府的開支。相對於費時費工的傳統監測方法，新測量方法不只能夠測量橋墩的差異沉陷，同時也能反映出乘車者的感受。

壹、研究動機

有一天我們用Google搜尋班級導師的英文名字Iris時，意外發現國外的一個網站IRIS(Incorporated Research Institutions for Seismology)[2]，其中有一篇有趣的文章---The Quake Catcher Network: Bringing Seismology to Homes and Schools[3]，文中描述如何利用全球志願者的筆記型電腦中的加速度感測器，建構一個全球最大、最便宜的強動地震監測網。這整個計劃叫做Quake Catcher Network。

而前些日子，媒體爭相報導雲林超抽地下水，造成地層下陷的問題，進而使得高鐵橋墩產生了差異沉陷，影響了聯外道路的施工。也確實暑假與家人出遊的時候，乘坐高鐵經過某些路段時，車身似乎有些劇烈震動。於是我們連結了這兩個事件，既然筆記型電腦可以偵測地震時的加速度變化，那麼理論上，應該也可以用來偵測高鐵經過差異沉陷時，所產生的加速度變化。

若是可以運用加速度、速度、位移，三者與時間的關係，藉由筆記型電腦所記錄到的加速度值，回推各地的橋墩下陷值。再把我們計算出來的數據，與高鐵公佈的數據拿來作比較，馬上就能知道整個方法的精確度及可行性。

貳、研究目的

此研究之目的是希望能以一個簡單、方便，可隨車測量，且能立即觀察差異沉陷變化的新差異沉陷測量方法，來測量台灣高速鐵路之橋墩差異沉陷，了解其對於臺灣高鐵列車行駛的影響。也希望將來工研院以及台灣高鐵可以有效的運用，節省更多不必要的開支。

參、研究器材及設備

【校正QCN Live時間測量的軌道與台車】



圖一、鋁製軌道全貌



圖二、軌道設計的高度落差



圖三、鋁製軌道近照



圖四、軌道側面（可彎曲）



圖五、放置筆電用台車（側面）



圖六、放置筆電用台車（俯視）



圖七、GPS軌跡記錄器



圖八、商用筆記型電腦（內建加速度感測器）



圖九、捲尺



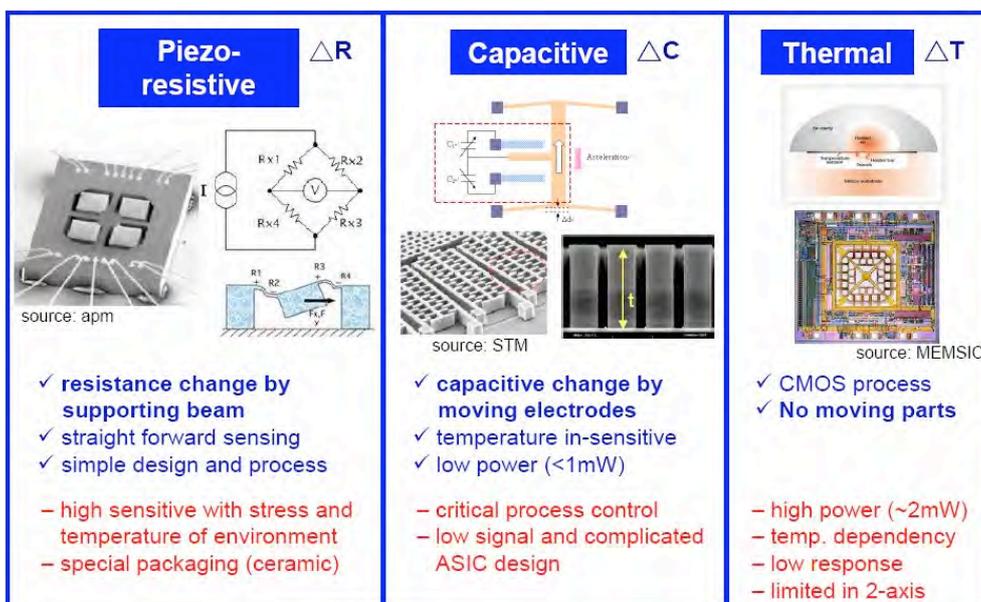
圖十、水平儀

肆、研究過程及方法

一、研究原理：

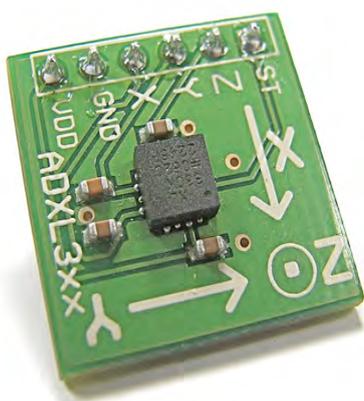
商用筆記型電腦，為了防止突發狀況，造成筆記型電腦的掉落，而使得硬碟裡的資料損毀，便內建加速度感測器來偵測突發狀況的加速度。當加速度值過大，電腦會自動將硬碟關閉以防止硬碟壞軌，而造成資料毀損。這種功能，一般稱為APS(Active Protection System)。

加速度感測器[5]是一種測量加速度的感應器，大致可以分為三種：熱氣泡式、電容式、以及壓阻式（如圖十一、十二）。熱氣泡式是利用一個懸浮在薄膜裡的氣泡，並加熱氣泡，當氣泡受到加速度的影響時，藉由解析溫度場的變化來反推出加速度值，但缺點是耗電量高。電容式則是在一塊晶圓上做出梳狀的結構，藉由偵測電容差來反推加速度值，但是電容式的加速度感測器很難同時測量X、Y、Z三軸的加速度，所以通常只製作 X、Y兩軸的感測器。而壓阻式則是在晶圓上放置一個具有質量的物塊，用四根懸臂將物塊撐起來，上面布了四個電阻，當物塊受到加速度的影響時，懸臂就會產生形變，而電阻值就會改變，就可以利用惠斯登電橋的原理，讀出電阻值，將電橋兩端的電壓值算出，並反推出加速度值，然而壓阻式卻會受溫度改變而影響所測得的加速度值。



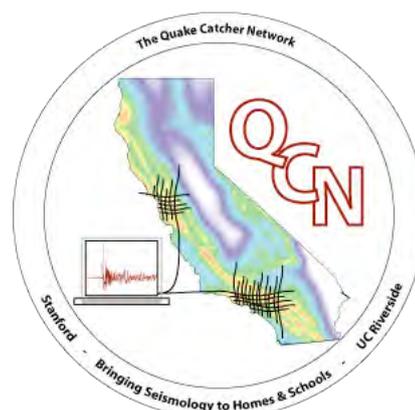
圖十一 加速度感測器的測量原理

(圖片取自：<http://irisintw.blogspot.com/2010/05/g-sensor-8424.html>)



圖十二、加速度感測器

(圖片取自：<http://www.3scoreandten.com/?p=227>)



圖十三、QCN程式

(圖片取自：<http://qcn.stanford.edu/>)

加速度感測器的輸出值，其實只是電壓，因此，如何將測量的電壓值，轉換成所需要的加速度值，需要Quake Catcher Network Live這套軟體。

Quake Catcher Network Live源自Quake Catcher Network (簡稱QCN)。QCN是一個監測地震的網絡，是美國一位大學教授Elizabeth Cochran，當她發現商用筆記型電腦有感測加速度這種功能之後，思考到若建立一個網絡，當有地震來時，電腦可以自動回報這些加速度感測器的資料。當各地有許多電腦受到同一個地震的晃動時，將地震波的數據傳回資料中心，作比對分析，了解地震的震度及震央位置等資訊，就是一個全球最大，而且最便宜的強動地震監測網。但是，要建立起一個這樣的網絡，需要龐大的資源，所以她尋求史丹佛大學的協助，建構出QCN。目前QCN是由史丹佛大學管理。而研究中所使用的QCN Live，則是Elizabeth Cochran做為教學用的程式，目的是幫助學生認識地震儀。

台灣高鐵經過雲林、苗栗等差異沉陷較嚴重的地方，會形成一個短暫的拋射，致使列車在短暫的懸空後，才掉落回軌道上。從開始懸空，商用筆記型電腦中的加速度感測器，便測

量到垂直軸上的加速度變化。此時，QCN Live的圖形，便開始偏離零軸，直到列車回到軌道上，QCN Live上的圖形，才會回到零軸。

擷取這段時間的加速度變化圖形，得到加速度對時間的關係圖。計算加速度曲線與時間軸的面積，便得到速度對時間的關係圖。計算速度曲線與時間軸的面積，便得到位移對時間的關係圖。由位移對時間的關係圖，即可得最後時間點的位移量，也就是差異沉陷的下陷值。

藉由數據的平均值來比對高鐵公佈的差異沉陷量，以得知此測量方法的準確度，再由數據的標準差，來判定本測量方法的精確度。而由準確度及精確度，即可知本測量方法的可行性。

二、研究方法：

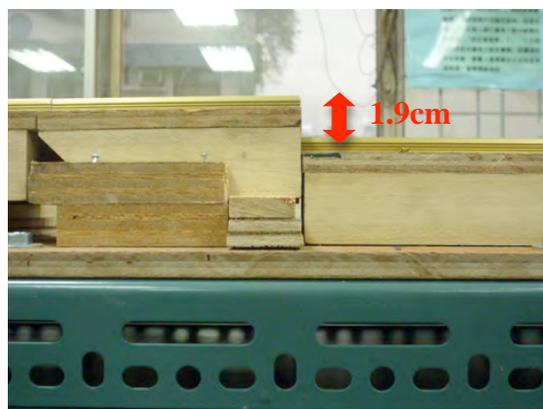
【測量平台的選擇】：

QCN Live原始的開發平台是ThinkPad，但是ThinkPad只有水平方向上X、Y軸的加速度感測器，所以一度考慮使用Apple Mac book。卻發現當Apple Mac book處於靜止時，加速度感測器仍會偵測到加速度的數值變動，推測應該是該筆電所配備的壓阻式加速儀過於敏感，將電腦本身的震動也算進去。所以我們後來還是使用ThinkPad筆記型電腦（內有電容式加速度感測器）做為測量平台。而為了達到測量垂直方向上的效果，把筆記型電腦垂直放置，並以台車輔助固定筆電（如圖十五）。

【實驗步驟】：

實驗一：驗證QCN Live時間計算

(一)、 使用可調高度之軌道，並使用木片自製一個明顯的下陷段。下陷高度為1.9公分。

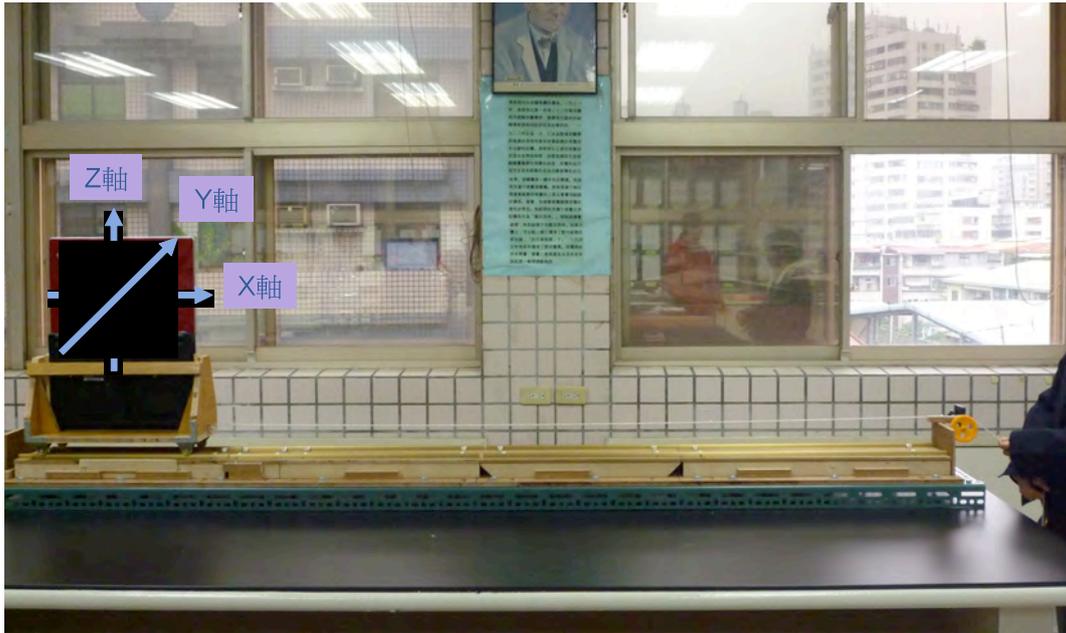


圖十四、軌道設計的下陷段（落差1.9公分）

(二)、 將台車置於模擬之軌道上，並調整平面至水平。

(三)、 筆記型電腦以180度展開，垂直放置於台車上並且固定。

(四)、以繩子拉動台車前進，並記錄QCN Live實驗結果



圖十五、以繩索拉動台車，記錄加速度感測器在落下時的加速度值

實驗二：校正QCN Live加速度值

- (一)、台車置於地上，並調整平面至水平。
- (二)、筆記型電腦置於台車上，X軸正向朝下，記錄靜止時的實驗結果。
- (三)、筆記型電腦置於台車上，X軸負向朝下，記錄靜止時的實驗結果。
- (四)、筆記型電腦置於台車上，Y軸正向朝下，記錄靜止時的實驗結果。
- (五)、筆記型電腦置於台車上，Y軸負向朝下，記錄靜止時的實驗結果。

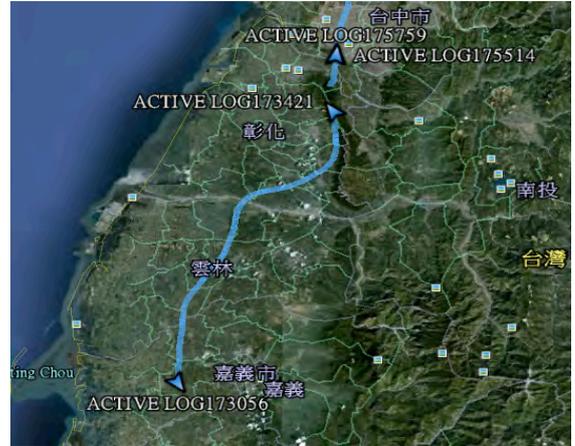
實驗三：實際測量台灣高鐵差異沉陷

- (一)、台車置於高鐵列車地板上，並調整平面至水平（如圖十六）。
- (二)、筆記型電腦以180度展開垂直置於台車上。（X軸正向與列車前進方向相同）
- (三)、打開GPS軌跡記錄器，並記錄軌跡。
- (四)、記錄GPS、QCN Live記錄實驗結果。

← (列車行駛方向)



圖十六、高鐵車廂內實驗裝置



圖十七、GPS沿線路徑圖



圖十八、GPS記錄路徑



圖十九、台78、縣道158與高鐵交會處

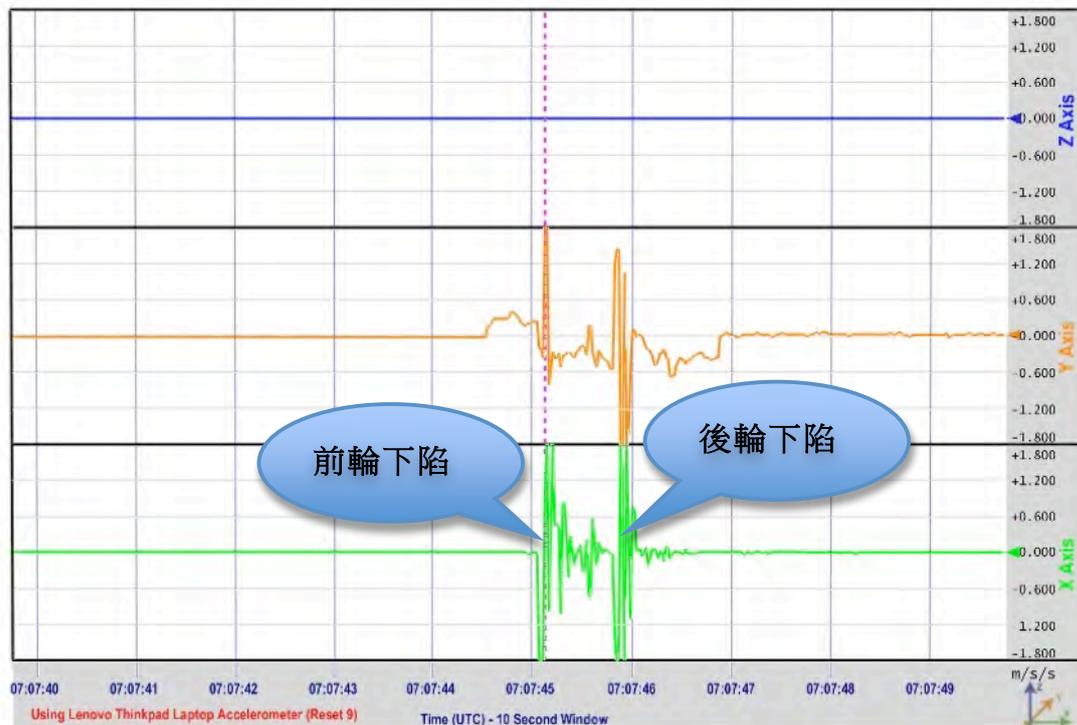
實驗四：差異沉陷現地勘查

- (一)、實際到實驗三中發現的嚴重差異沉陷地區(台78、縣道158、台6)的高鐵橋墩進行勘查。
- (二)、記錄觀察結果並現地拍照。

伍、研究結果

實驗一：驗證QCN Live時間計算

根據斜向拋射，加速度求距離的公式： $h = v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2}gt^2$ 可以由時間與加速度算出距離。在本實驗中，預設 $h=1.9$ 公分，所要計算的時間是由加速度值的原點至最低點之間的時間變量，實驗中X、Y軸皆保持水平，所以 $v_0 \sin \theta t = 0$ ，則 $h = -\frac{1}{2}gt^2$ ，相當於水平拋射。



圖二十 以繩索拉動台車時，台車前後輪下陷時的QCN Live記錄

以繩子拉動台車後，可以在QCN Live記錄中明顯看到前後輪分別下落的震動現象（如圖二十）。此外QCN Live的好處是隨時可以將實驗結果“錄製”下來，並精確轉換成時間與加速度的Excel數據檔案，而且還能自行存檔到筆記型電腦當中。因此我們只要在拉動台車後，讀取下陷的時間數值，並套入上述公式，即可算出下陷的高度落差。

實驗結果如下表一，發現下陷的時間變量約為0.0624秒，所以下陷高度落差應約等於1.9公分，實驗結果證明QCN Live在時間的計算上並無錯誤。

表一、台車前輪落下的時間記錄與換算的高度落差

實驗	第1次	第2次	第3次	第4次
前輪在上層軌道正要落下的時間點 (t_1)	2.3868	1.8862	3.2972	2.6988
前輪懸空的時間點 (t_2)	2.4024	1.9188	3.3384	2.7300
前輪下陷到下層軌道的時間點 (t_3)	2.4492	1.9500	3.3600	2.7612
前輪下陷的時間變量 $\Delta t = t_3 - t_1$	0.0624	0.0638	0.0628	0.0623
從 Δt 推算的下陷高度落差 (h)	-1.907cm	-1.994cm	-1.932 cm	-1.901cm

實驗二：校正 QCN Live 加速度值

實驗中的加速度感測器實際上是垂直擺放的，所以理當測到 1g 的重力加速度，卻發現 QCN Live 所測量到的加速度值與理論的加速度值不一樣，是因為 QCN Live 的原設計者並沒有想到，會有人把筆記型電腦垂直擺放。所以，以此研究中使用的加速度感測器 (ADXL320) 之製造商的校正方法 [6]，來校正我們所測量到的加速度值。校正方法如下：

設 QCN Live 所輸出的加速度值為 A_{out} ，偏差值為 A_{off} ，實際加速度為 A_{actual} ，單位都是重力加速度，設 Gain 為加速度感測器的增益，單位是加速度。

$$\text{則 } A_{off} [g] = 0.5 \times (A_{+1g} + A_{-1g}) \quad \text{Gain} = 0.5 \times \left(\frac{A_{+1g} - A_{-1g}}{1g} \right) \quad A_{actual} [g] = \frac{A_{out} - A_{off}}{\text{Gain}}$$

實驗結果 $A_{off} = 0.477555$ $\text{Gain} = 5.635151$

則本實驗加速度感測器所測量之實際加速度值應為： $A_{actual} [g] = \frac{A_{out} - 0.477555}{5.635151}$

由於在校正時是使用重力加速度來校正，而地球上每個不同的地方重力加速度值皆不相同，所以必須計算出校正實驗地點的重力加速度值是多少，以降低實驗的誤差。

從中央氣象局 [7] 的資料可以得知地球上每一點的重力加速度計算方法為：

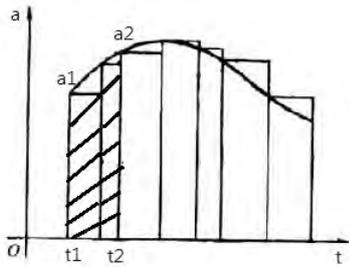
設 φ 為緯度之程度，則 $g = 978.03185(1 + 0.005278895 \sin^2 \varphi + 0.000023462 \sin^4 \varphi)(cm/s^2)$

以校正實驗的實驗地點台北，北緯約 25 度做為本研究之重力加速度值：

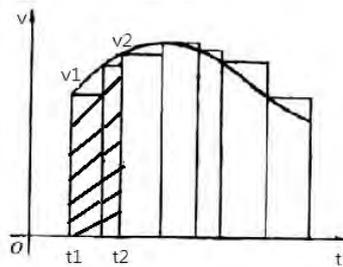
計算結果：北緯 25 度之重力加速度值約為：978.9547128 (cm/s^2)

實驗三：實際測量台灣高鐵差異沉陷

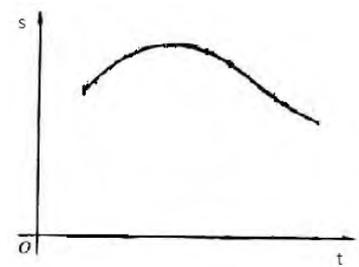
QCN Live所畫出的圖，橫軸是時間，縱軸是加速度。但是所得到的數據並不是一個可計算的函數。所以我們將加速度與時間的圖求出底下的面積，如圖二十一。可以得到橫軸是時間，縱軸是速度的圖。再將速度與時間的圖求出底下的面積，如圖二十二，就可以得到橫軸是時間，縱軸是距離的圖，如圖二十三。



圖二十一、a-t圖



圖二十二、v-t圖



圖二十三、s-t圖

圖二十一：計算 Δa 底下的面積，可以得到 Δt 的 Δv 值，計算方法為： $\Delta v_n = \frac{1}{2}(a_n + a_{n+1})\Delta t_n$

得到 Δv 之後，可以計算時間軸上的速度值 v ，計算方法為： $v_n = (v_{n-1} + \Delta v_n)$

圖二十二：計算 Δv 底下的面積，可以得到 Δt 的 Δs 值，計算方法為： $\Delta s_n = \frac{1}{2}(v_n + v_{n+1})\Delta t_n$

得到 Δs 之後，可以計算時間軸上的距離 s ，如圖二十三，計算方法為： $s_n = (s_{n-1} + \Delta s_n)$
找到 a 值最小時的時間值，比對當時的距離 s ，也就是台灣高鐵差異沉陷的測量下陷值。

計算出下陷值之後，必須與理論上的下陷值比較以驗證實驗是否正確無誤。台灣高鐵當局公布[9]，2009年在快速道路78附近，其相鄰橋墩間的差異沉陷造成的角變量為： $\frac{1.19}{1500}$ 。這

個數字表示台灣高鐵行走每1500公分，就會下降1.19公分，危險值為 $\frac{4.5}{1500}$ 。根據此數字，可

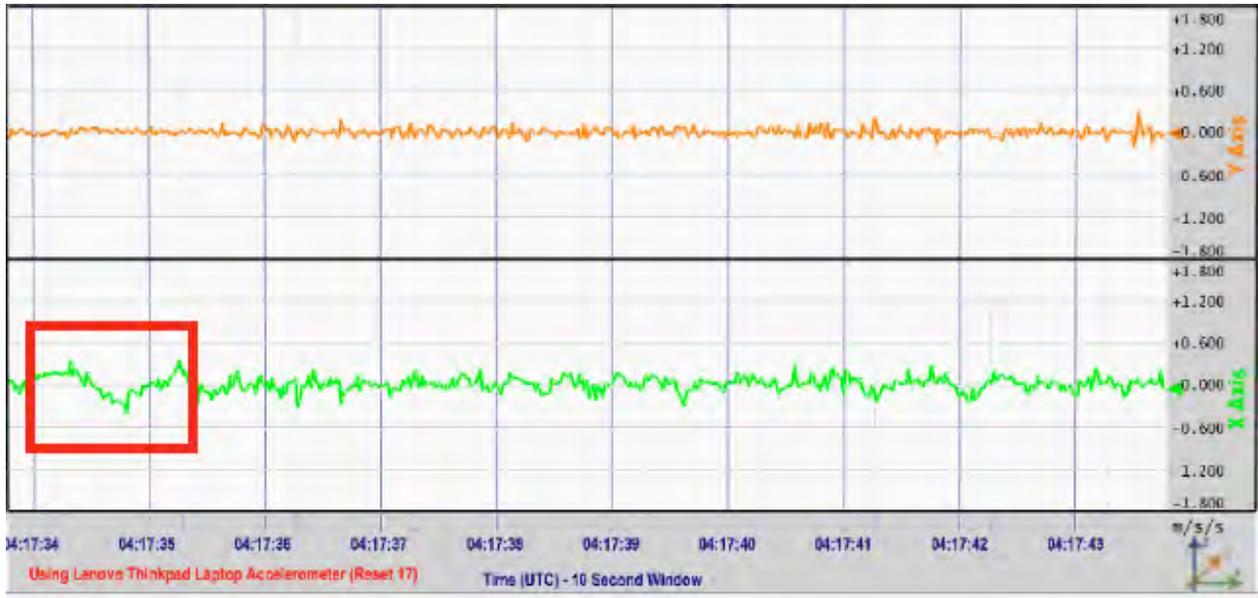
以設較明顯之震動的時間值為 t ，高鐵秒速為 v ，則理論的差異沉陷之下陷值計算方法為：

$$h = v_{thsr} \cdot t \cdot \frac{1.19}{1500}。$$

下列是縣道158和台78各次與不同情況的測量結果以及QCN Live擷取圖片，計算的理論下陷值與實際測量下陷值，所有的下陷值單位都是公分。

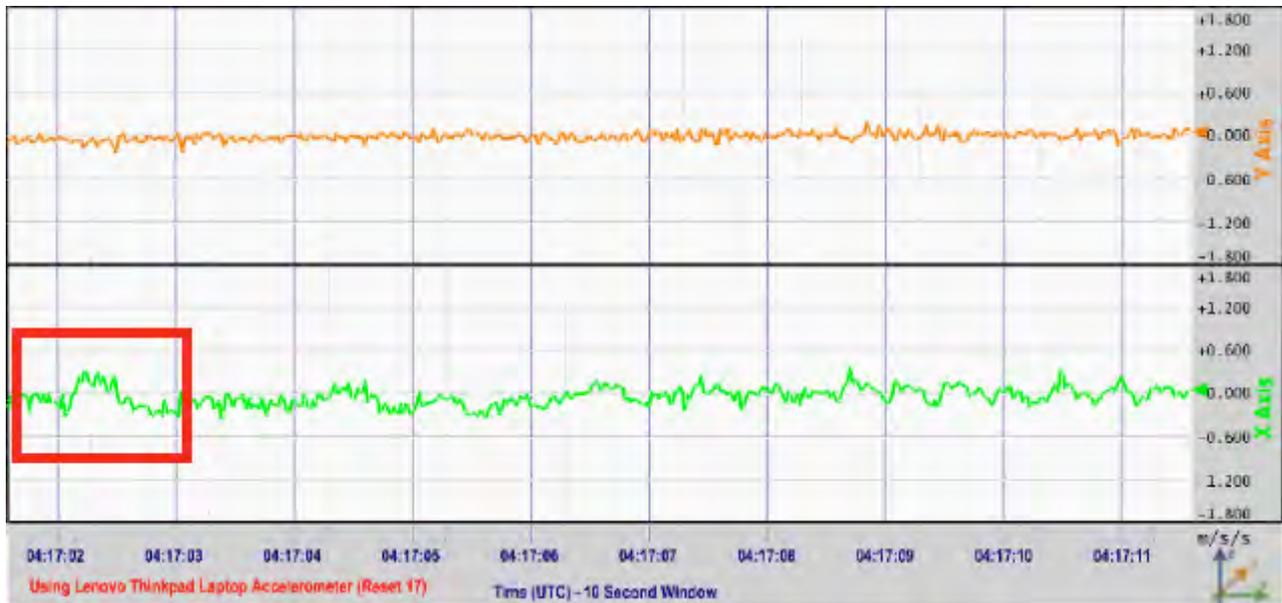
(下列各圖之紅色方框表示橋墩差異沉陷造成的加速度變化)

雲林北上車頭(上坡)：



圖二十四、縣道158 QCN Live擷取圖

雲林北上車頭(上坡)：

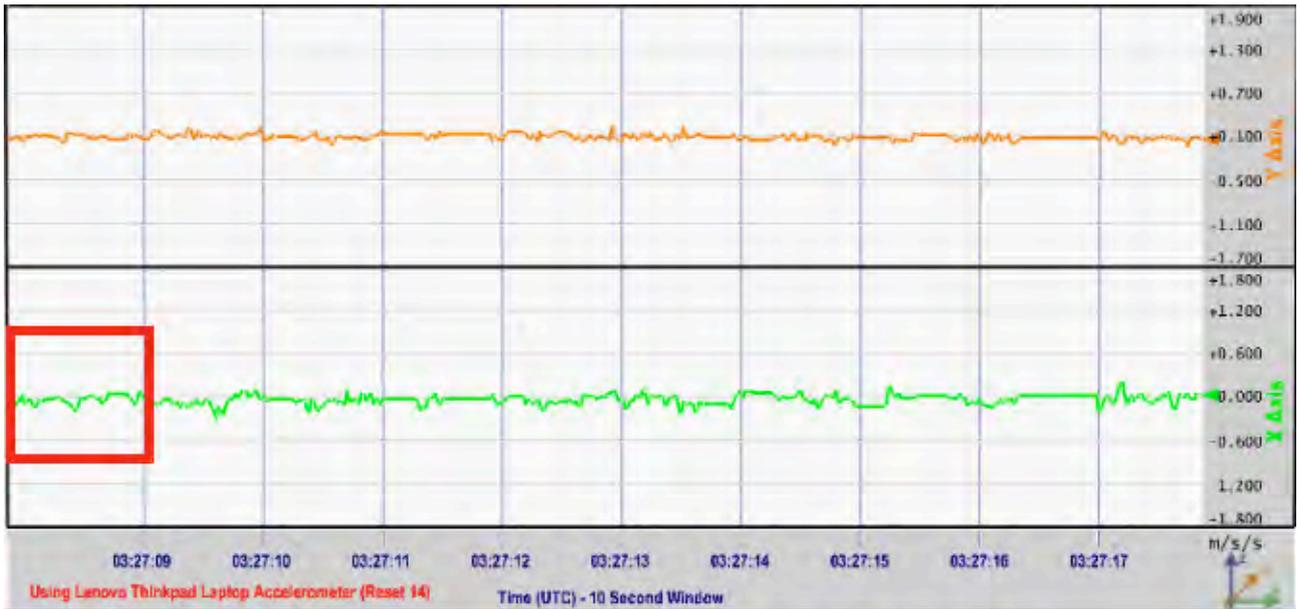


圖二十五、台78 QCN Live擷取圖

雲林北上車頭(上坡)實驗結果：

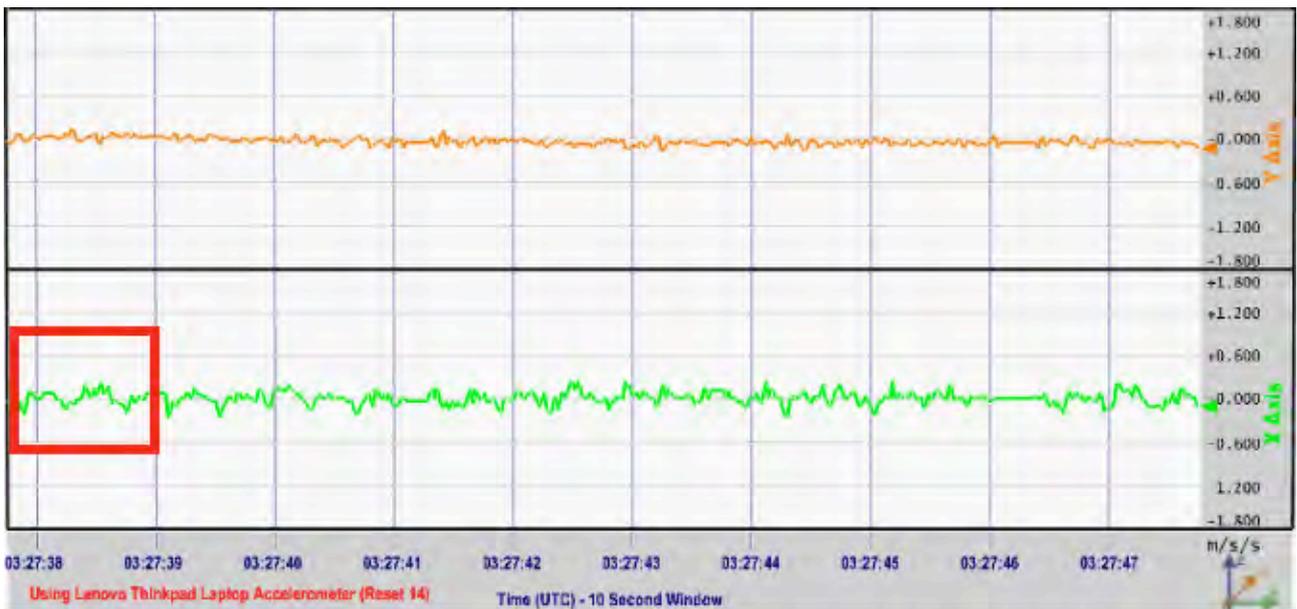
雲林北上車頭		縣道158				台78			
		理論下陷值(cm)	5.26	5.71	4.56	5.33	4.12	4.06	3.23
	測量下陷值(cm)	5.52	7.22	3.78	5.16	3.21	3.56	0.30	0.82

雲林南下車頭(下坡)：



圖二十六、縣道158 QCN Live擷取圖

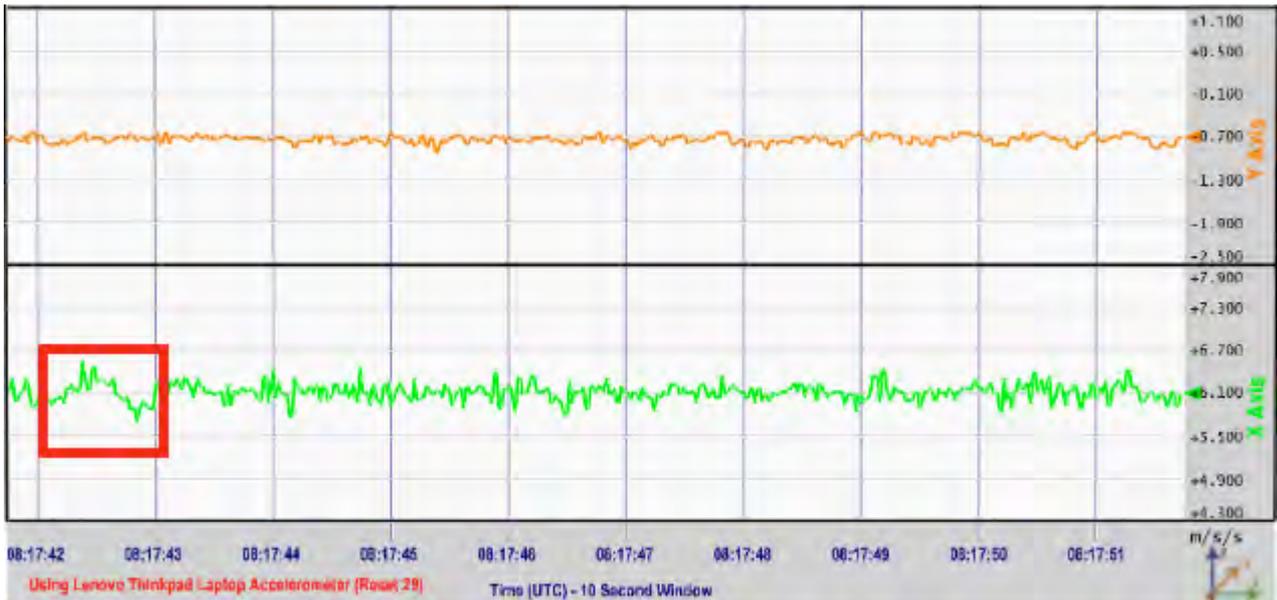
雲林南下車頭(下坡)：



圖二十七、台78 QCN Live擷取圖

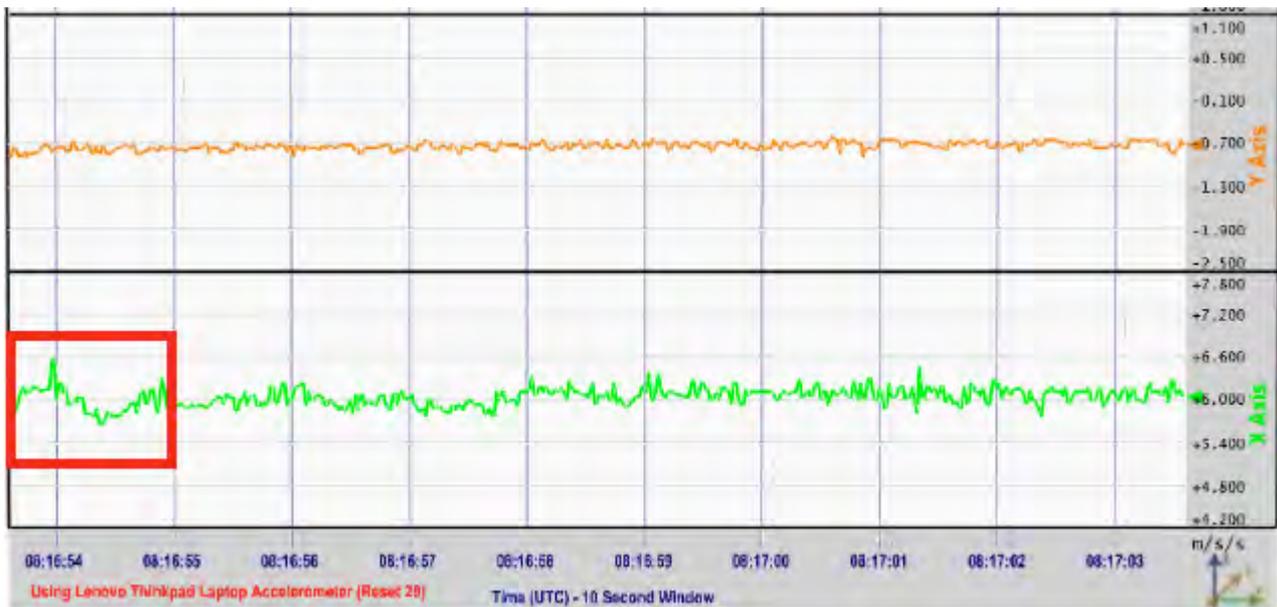
南下的車頭因完全無法測得雲林的差異沉陷，如上圖，因此沒有下陷值可以計算。

雲林北上車尾(上坡)：



圖二十八、縣道158 QCN Live擷取圖

雲林北上車尾(上坡)：

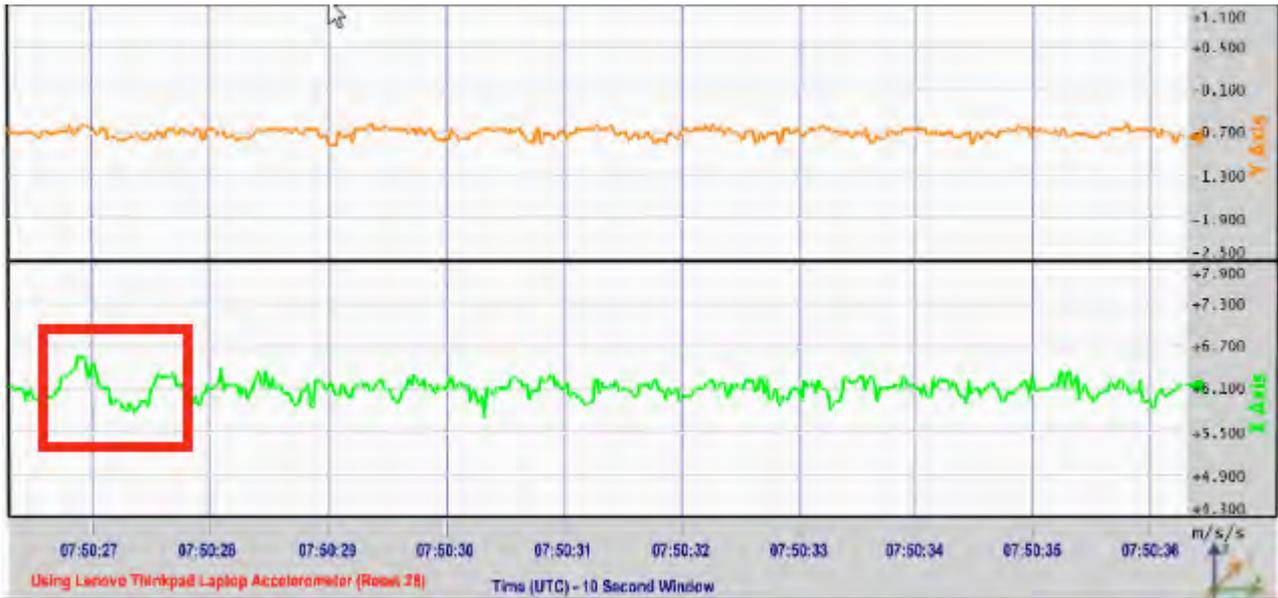


圖二十九、台78 QCN Live擷取圖

雲林北上車尾(上坡)實驗結果：

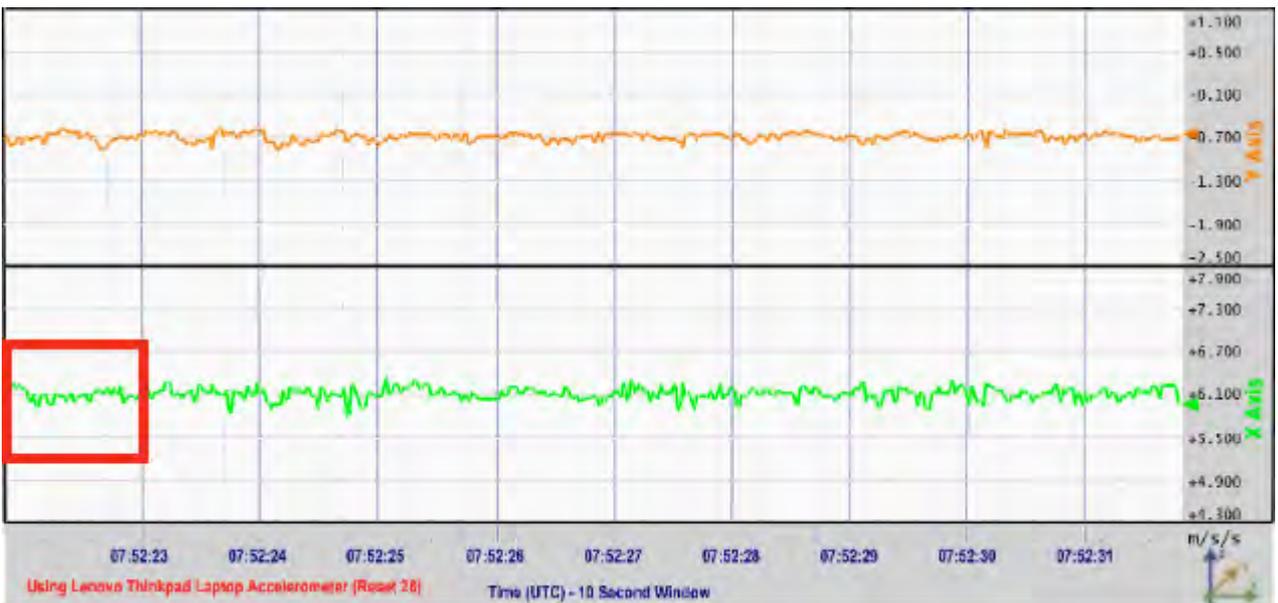
雲林北上車尾	縣道158			台78		
	理論下陷值(cm)	3.96	3.26	3.56	3.46	2.67
測量下陷值(cm)	1.58	2.80	2.77	4.10	0.60	0.69

雲林南下車尾(下坡)：



圖三十、縣道158 QCN Live擷取圖

雲林南下車尾(下坡)：



圖三十一、台78 QCN Live擷取圖

雲林南下車尾(下坡)實驗結果：

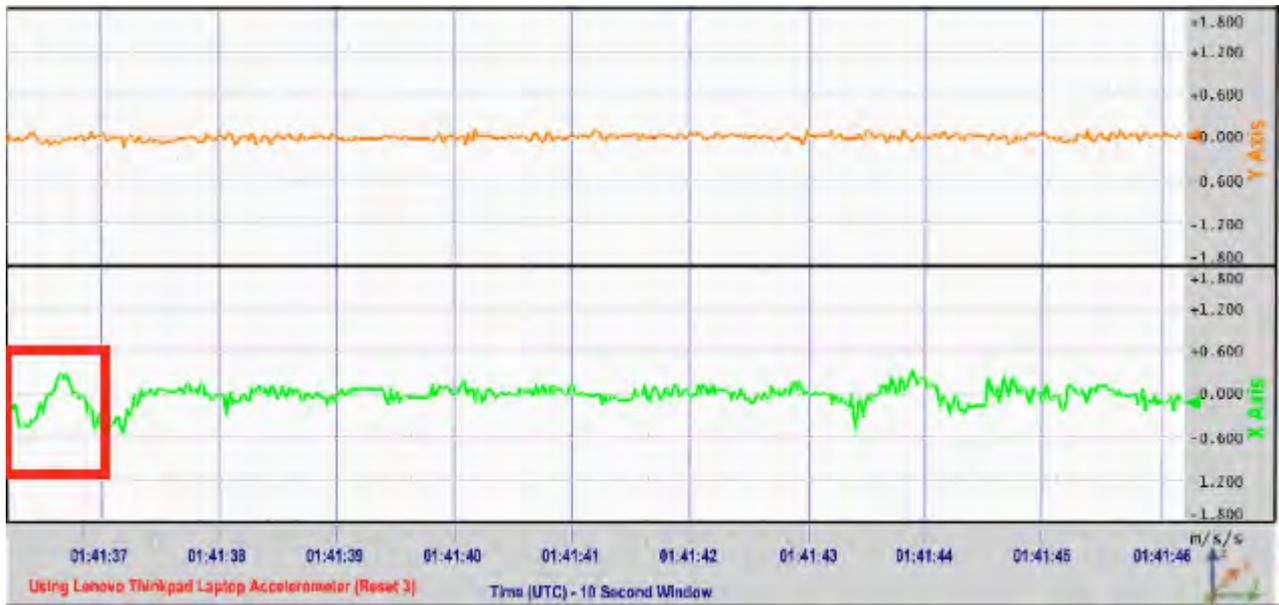
雲林南下車尾		縣道158			台78		
	理論下陷值(cm)	4.15	5.94	5.54	4.55	4.35	4.65
測量下陷值(cm)	4.63	13.52	12.46	10.35	7.78	7.66	

驗證測量方法是可行的之後，測量台灣高鐵全線，發現除了雲林的台78與縣道158與高鐵交會處有嚴重的橋墩差異沉陷之外，在苗栗地區，台6與高鐵交會處也有嚴重的橋墩差異沉陷。

下列是苗栗縣麻園坑（與台6交會處）各次不同情況的測量結果與QCN Live的擷取圖片，因為沒有高鐵公布相關數據，所以只有測量下陷值，單位皆是公分。

（下列各圖之紅色方框表示橋墩差異沉陷造成的加速度變化）

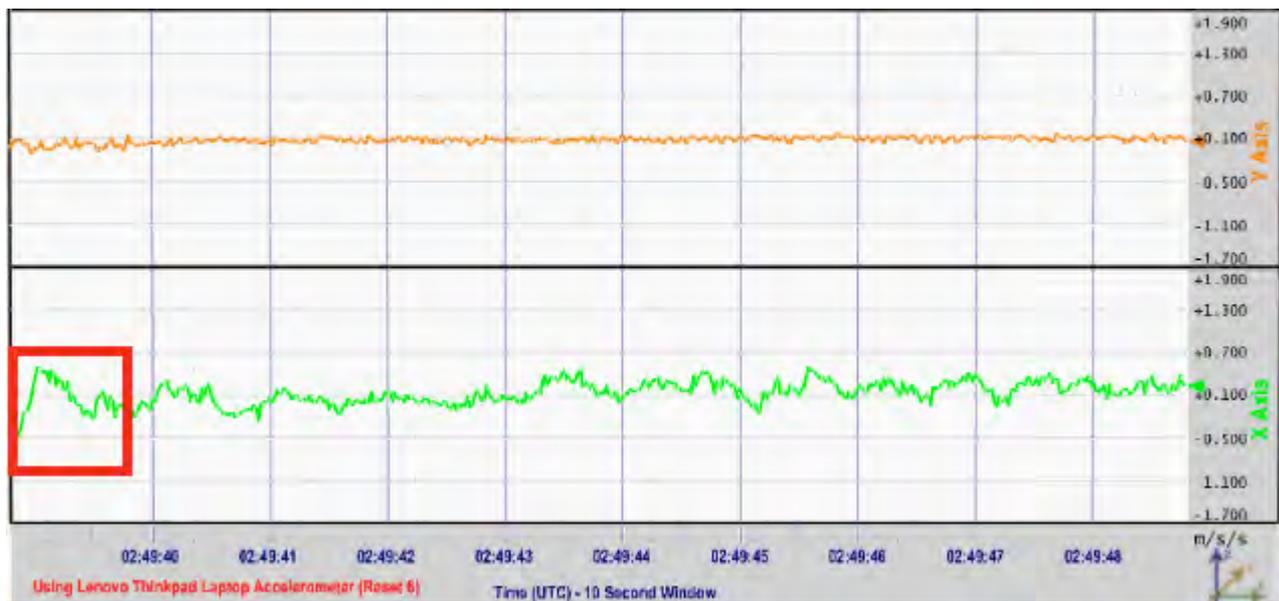
苗栗南下車頭：



圖三十二、台6 QCN Live擷取圖

苗栗南下車頭		台6				
	測量下陷值(cm)	7.09	5.96	9.71	7.72	11.08

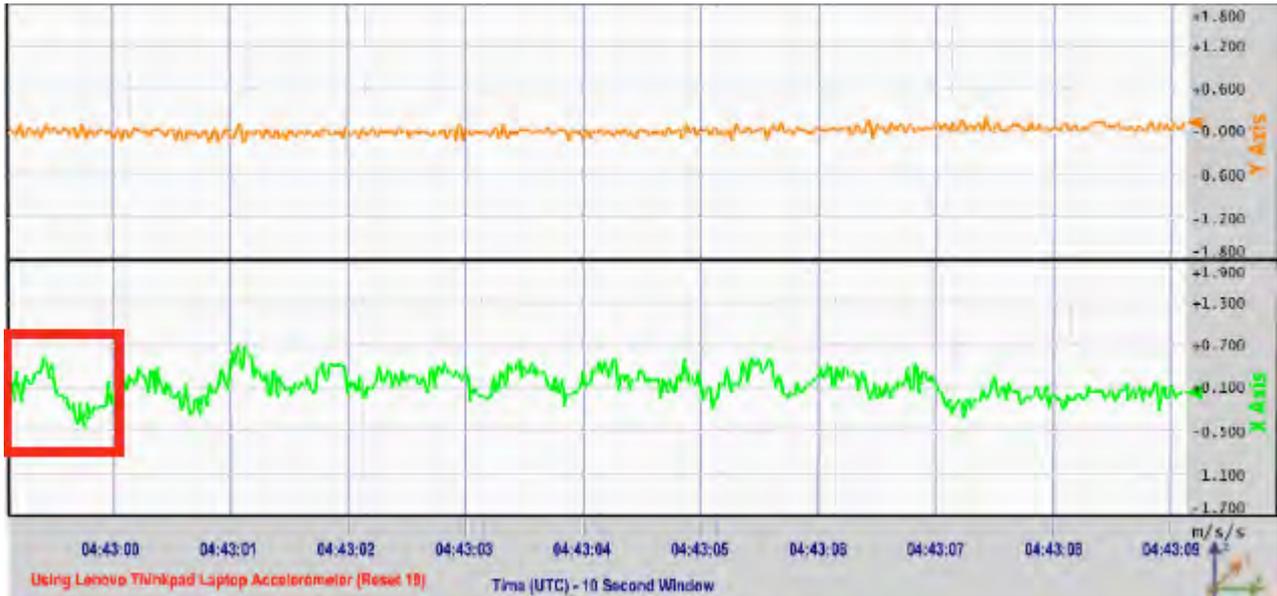
苗栗北上車頭：



圖三十三、台6 QCN Live擷取圖

苗栗北上車頭		台6				
	測量下陷值(cm)	6.99	6.68	5.99	8.00	5.82

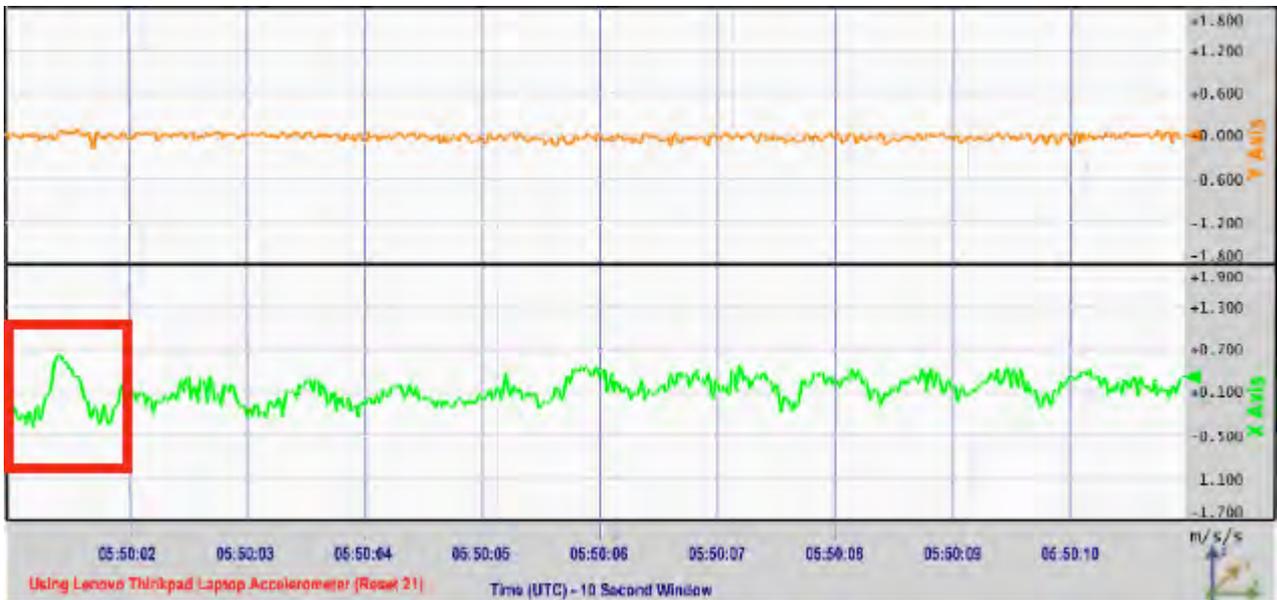
苗栗南下車尾:



圖三十四、台6 QCN Live擷取圖

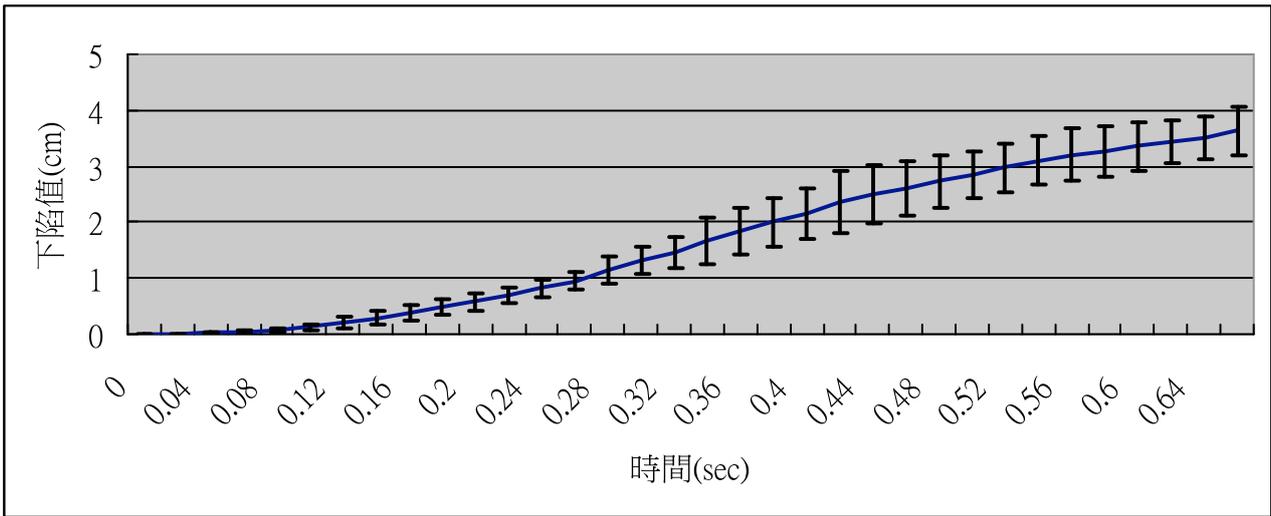
苗栗南下車尾		台6			
	測量下陷值(cm)	6.80	7.21	10.81	10.54

苗栗北上車尾:

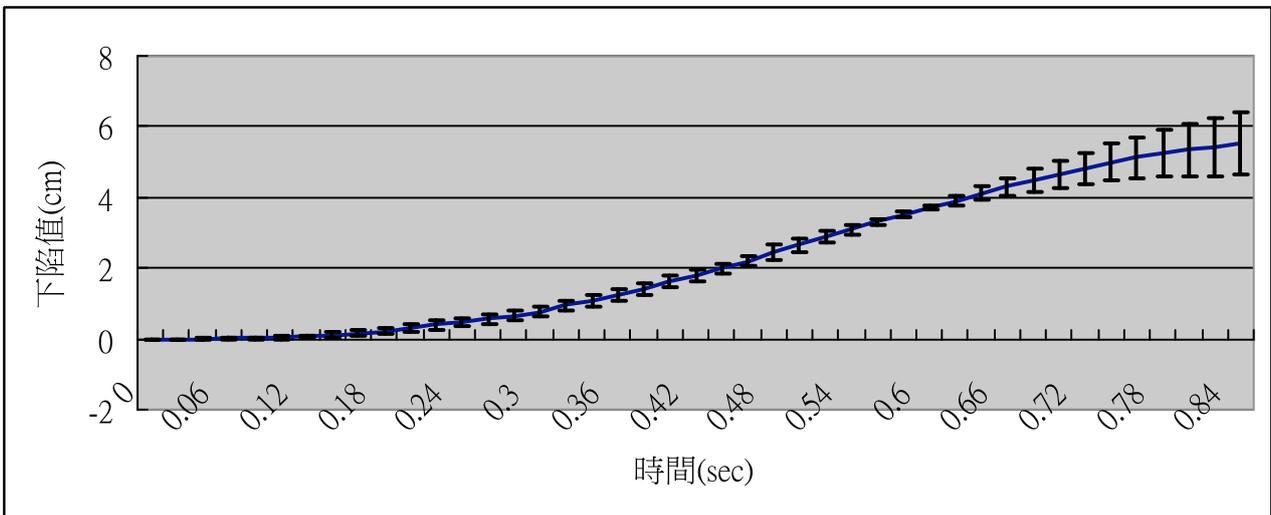


圖三十五、台6 QCN Live擷取圖

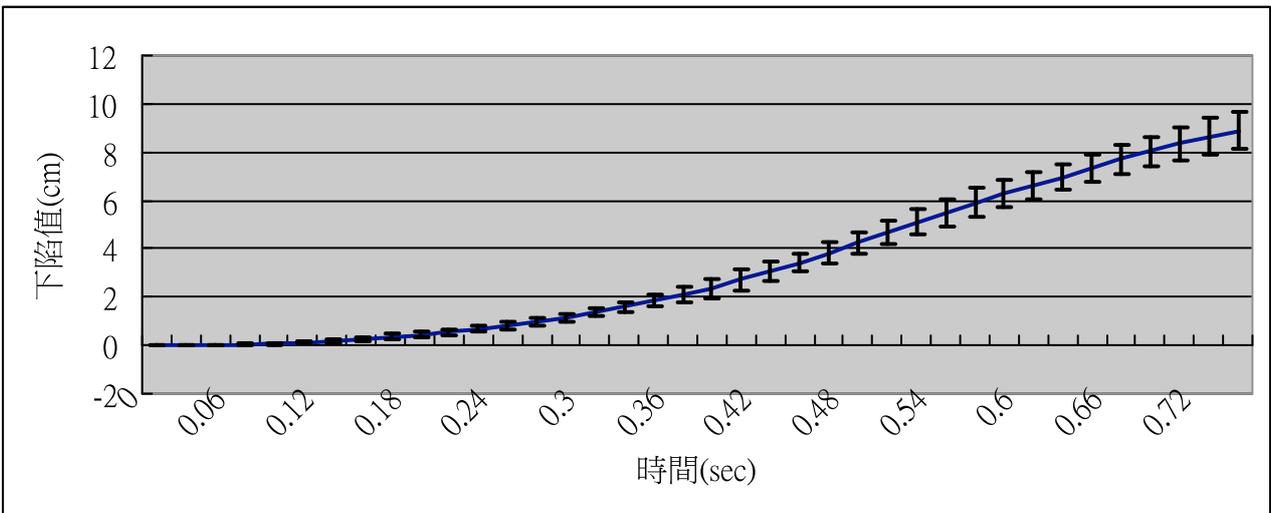
苗栗北上車尾		台6			
	測量下陷值(cm)	7.74	8.48	10.01	8.63



圖三十六、雲林台78實驗結果(下陷值對時間座標圖) 平均值**3.63cm** 標準差**0.45cm**



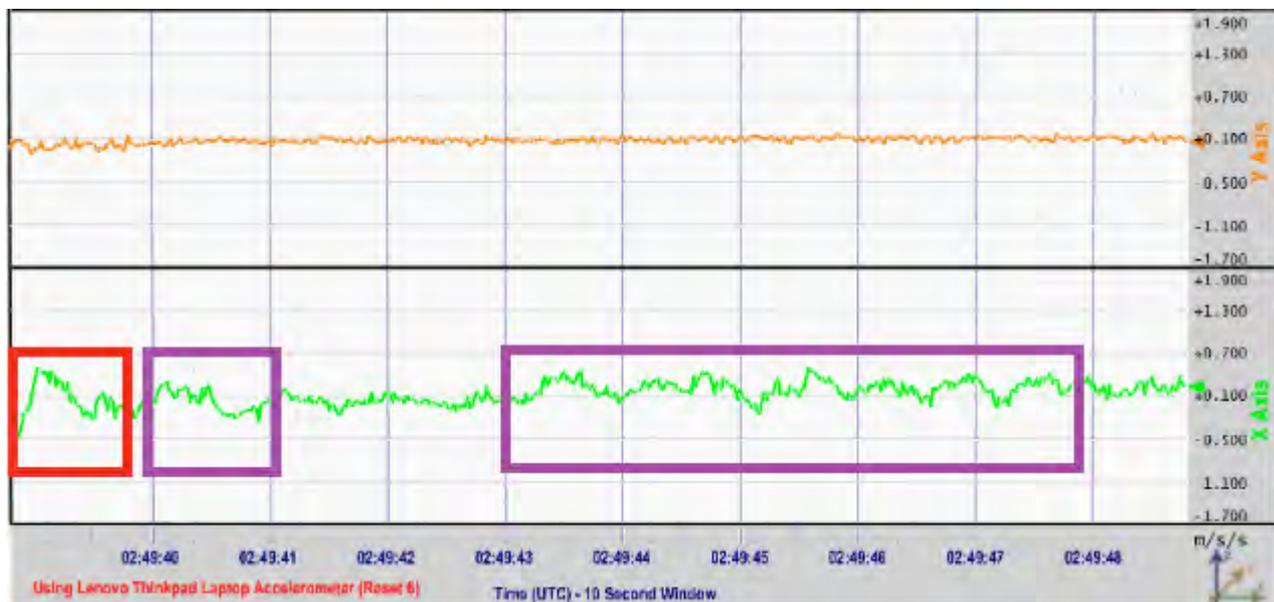
圖三十七、雲林縣道158實驗結果(下陷值對時間座標圖) 平均值**5.51cm** 標準差**0.90cm**



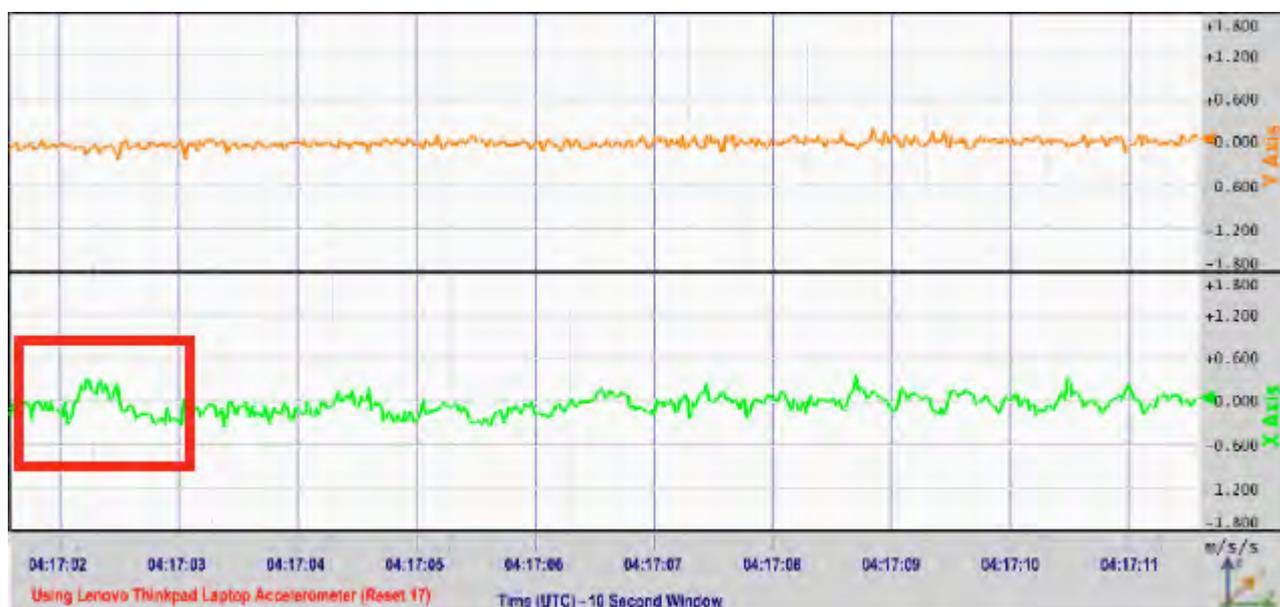
圖三十八、苗栗台6實驗結果(下陷值對時間座標圖) 平均值**8.90cm** 標準差**0.73cm**

上列三張圖，皆為北上車頭測量結果的統計分析，經過統計後，發現在車尾以及南下的測量實驗結果，大部分皆落在三倍的標準差外，少數落在二到三倍的標準差，落在三倍標準差外的數據應該是隨機誤差所造成的結果。

比較圖三十六及圖三十七，縣道158測量的精密度比台78高；比較雲林及苗栗的數據分析，苗栗的精密度較高。圖中黑色線所囊括的範圍為一倍的標準差，所以，所測量的下陷值出現在黑色線所囊括的範圍內的機率是68.3%。

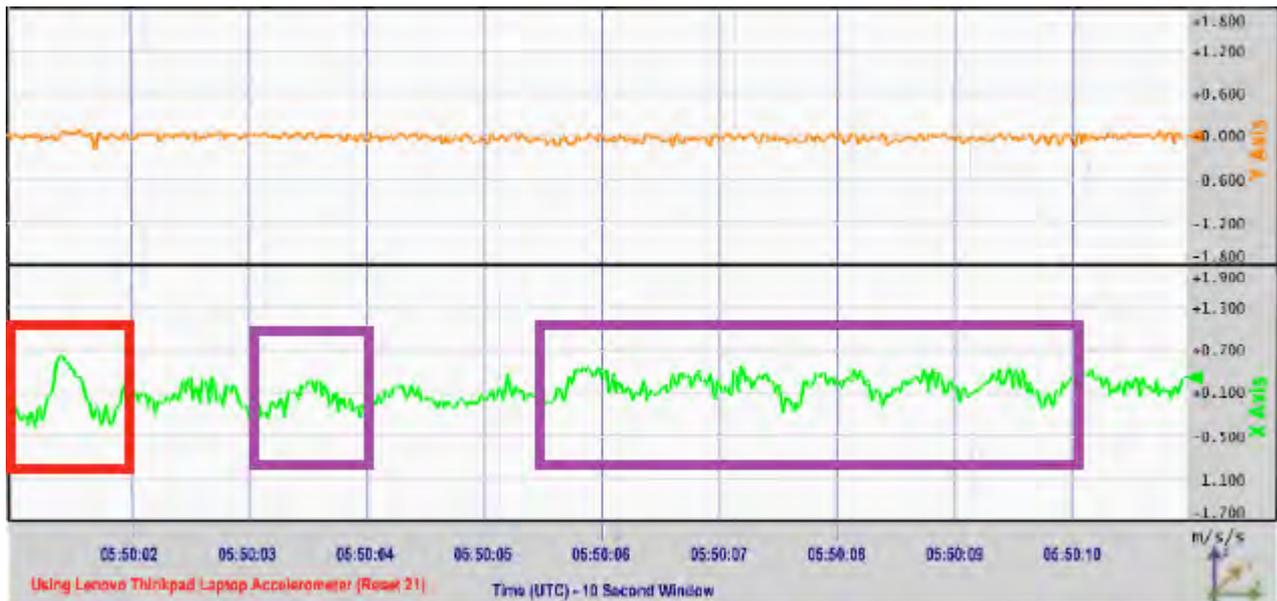


圖三十九、苗栗地區 QCN Live 擷取圖(北上車頭)

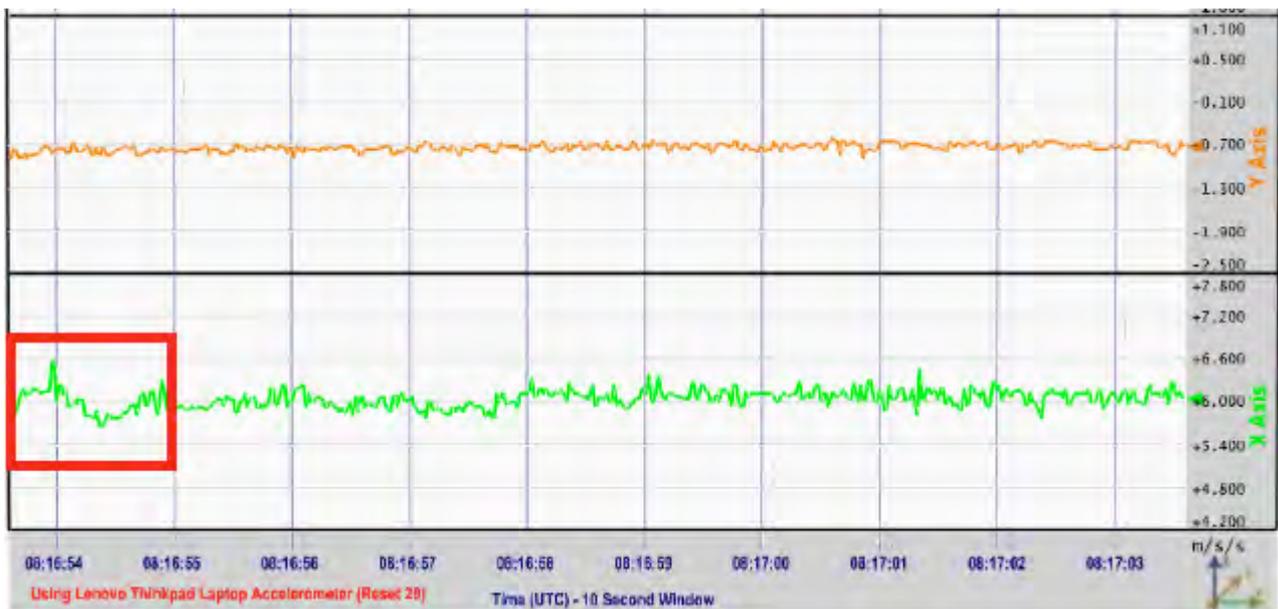


圖四十、雲林地區 QCN Live 擷取圖(北上車頭)

從上兩張圖，我們可以得知，雲林地區的差異沉陷在車頭看是屬於單一定點，因為在台78以及縣道158的差異沉陷之後就都沒有類似的情形發生，所以雲林的差異沉陷有可能構成危險的地區，就只有台78以及縣道158。而苗栗的車頭，在台6之後，仍然有許多的差異沉陷，表示苗栗的差異沉陷是屬於大範圍。

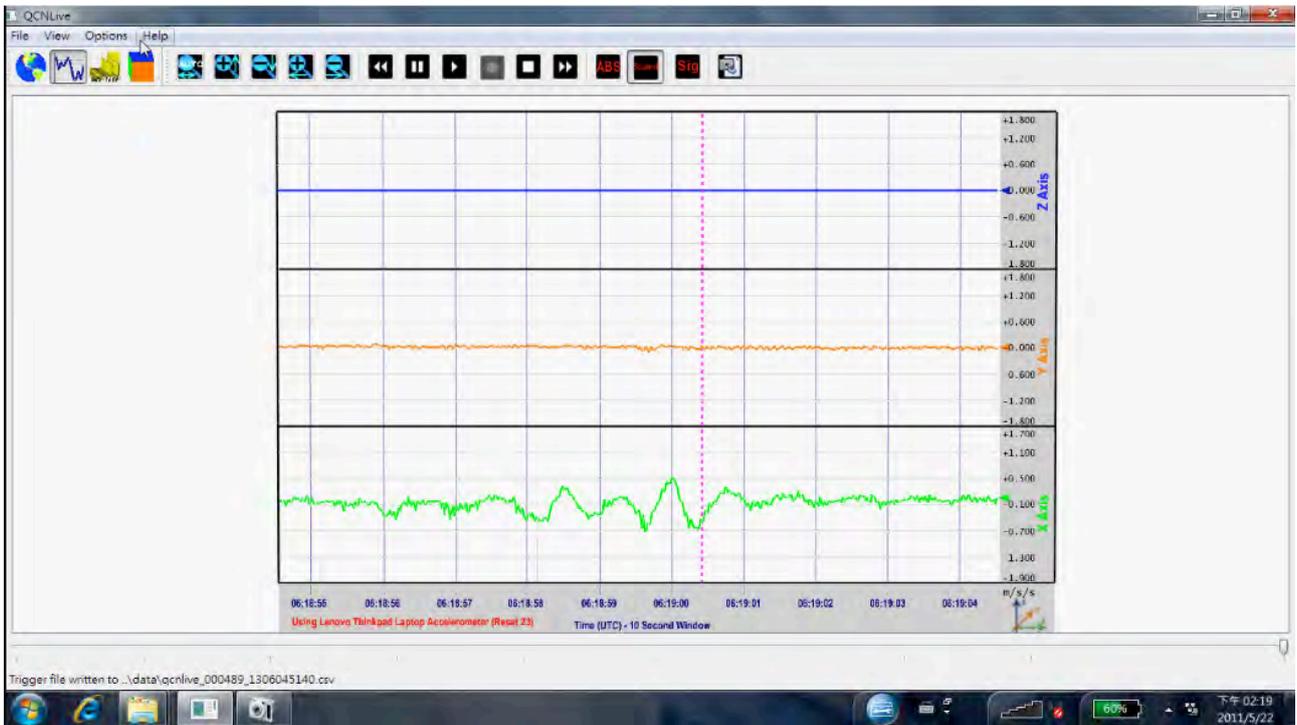


圖四十一、苗栗地區QCN Live 擷取圖(北上車尾)



圖四十二、雲林地區 QCN Live 擷取圖(北上車尾)

為了更確定推論是否正確，也把車尾的資料拿出來做比較，如上兩張圖。從車尾的狀況，可以發現雲林地區雖然雜訊較車頭的測量多，卻沒有差異沉陷的情形，因此雲林一定是單一定點的差異沉陷，從車頭及車尾都可以證明。但是，苗栗地區在車尾卻可以發現有許多的差異沉陷情形，在車頭的雖然不明顯，仍然像是差異沉陷的情形，所以苗栗地區的差異沉陷是屬於大範圍的，在台6的差異沉陷處之後，仍有約二公里的差異沉陷，且規模都比雲林單一定點的差異沉陷還要嚴重，所以苗栗的差異沉陷就整體來看比雲林嚴重，危險性也更高。



圖四十三、QCN Live擷取圖

圖四十三是在苗栗差異沉陷地點，高鐵與台6交會處的螢幕擷取圖，在圖中，紫色虛線是差異沉陷所造成的。QCN 原本是監測地震用的，而當QCN Live標示紫色虛線時，是代表有地震發生，換句話說，苗栗的差異沉陷已經嚴重到足以造成QCN Live判斷為地震。



圖四十四、台灣高鐵全線的橋墩差異沉陷線分布圖

藍色線為台灣高鐵行徑路線以及差異沉陷值 $< 1/1500$

紅色線段為差異沉陷值 $> 1.5/1500$

紫色線段為差異沉陷值介於 $1/1500 \sim 1.5/1500$

實驗四：差異沉陷現地勘查

在台灣高鐵差異沉陷的現地（台78、縣道158與高鐵交界處）中，在縣道158的橋墩上，發現有工作人員標記了記號，但暫時無法得知是否是地層的下陷量，如圖四十五、圖四十六。



圖四十五、橋墩現地照



圖四十六、橋墩現地照

另外，根據台灣高鐵當局的報告，台灣高鐵的橋墩結構上有變化，發現位於圖四十七紅圈處與別的橋墩接縫內部結構有所不同。而高鐵橋墩處深灰色的痕跡，可能是土壤之前的高度的痕跡，顯示土地可能也有下陷，而土地的下陷速率比高鐵橋墩的下陷速率來得快。



圖四十七、高鐵橋墩接縫



圖四十八、高鐵橋墩下方深灰痕跡



圖四十九、高鐵橋墩下方深灰痕跡（近照）



圖五十、 高鐵橋墩接縫

測量台灣高鐵全程的差異沉陷之後，發現除了雲林的台78、縣道158有嚴重的差異沉陷之外，苗栗縣也有相同的問題。所以也對苗栗縣嚴重的差異沉陷地區進行勘查。勘查地點為後龍鎮的麻園坑，也就是台灣高鐵與台6的交會處，此段的差異沉陷比雲林的差異沉陷還要嚴重。

在麻園坑附近有發現像是差異沉陷的情形，軌道的中間段明顯的較兩側低，如圖五十一。



圖五十一、苗栗麻園坑的高鐵



圖五十二、高鐵橋墩的固定性盤式支承

另外，也發現在這整段的差異沉陷中，橋墩都有裝設固定性盤式支承，如圖五十二，它的功能是防震以及減緩差異沉陷的問題，可見台灣高鐵當局還是有在盡力做改善。

為了證實我們的測量方法確實是簡易且省錢，決定與高鐵的測量方法做比較，已經向高鐵發出公文，請高鐵協助提供差異沉陷的測量方法及相關花費的資料，但高鐵尚未回函。

根據我們查詢的資料，台灣高鐵測量差異沉陷的方法有三種，第一種是使用傳統測量，也就是用經緯儀及水準儀，一年花費約700萬至1100萬新台幣，第二種是使用GPS測量，一年約花費2000萬新台幣，第三種是委託工業研究院做水位觀測井。

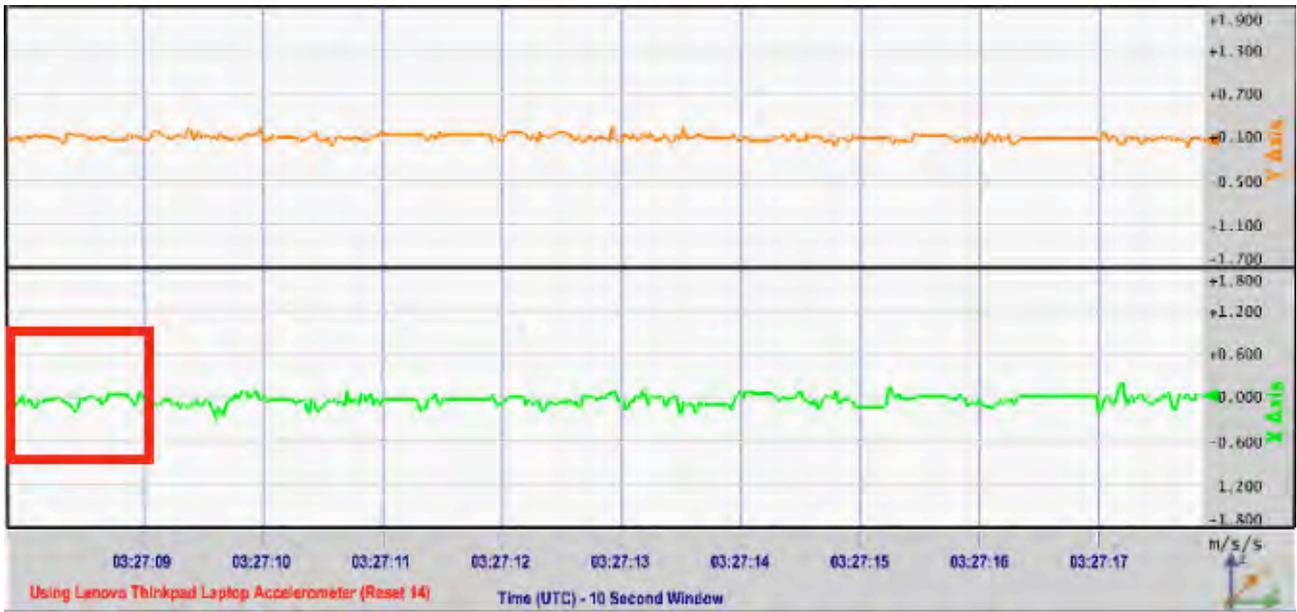
陸、討論

- 一、在實驗一驗證QCN Live時間計算的實驗中，為了要讓X、Y軸的分量不影響到Z軸，所以需使X、Y軸保持水平($\sin \theta = 0$)，由此也可得知X、Y軸上的速度並不會影響實驗結果。
- 二、實驗一中，拉動台車時，繩子需與台車水平，以免施力不均，且使用定滑輪，較能平穩的拉動，避免影響實驗結果。
- 三、GPS記錄器須在高鐵車站時就定位好，否則開車後會因車速過快，而使GPS無法準確定位。
- 四、在高鐵上做實驗時，盡量避免在筆記型電腦附近走動，以免加速度感測器偵測到其他震動，而造成實驗誤差。
- 五、在車尾測量時，可能因速度太快，而導致晃動幅度較車頭大，所以干擾較多。
- 六、總結雲林路段所有實驗結果，由GPS軌跡紀錄器的高度計上顯示，我們發現：
 - (一)高鐵南下時，經過雲林地區為下坡，差異沉陷處的QCN Live波形較不明顯，如圖五十四。
 - (二)高鐵北上時，經過雲林地區為上坡，差異沉陷處的QCN Live波形較明顯，如圖五十五。
 - (三)從GPS的高度計可以得知，苗栗北上及南下沒有分上坡及下坡，所以差異沉陷處的QCN Live波形類似，如圖五十六、五十七。

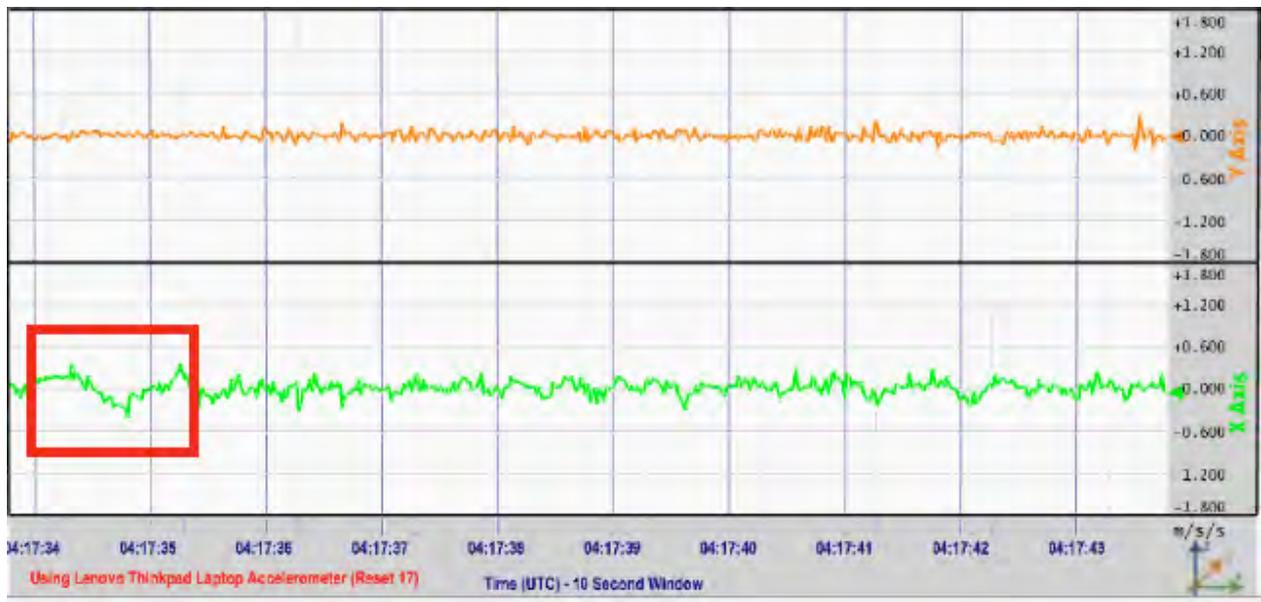
我們認為，導致雲林北上、南下的實驗結果不同，是由於上、下坡的差異。在研究中，我們所測量的都是「差異」值，也就是比較值，我們辨別差異沉陷的明顯與不明顯是從QCN Live，根據加速度所畫出來的圖，Z軸由上向下的斜率大小來辨別，當高鐵下坡時，Z軸上的加速度值原本就已經是負值，所以橋墩的差異沉陷相對於下坡，只是另一個下坡，加速度值因差異沉陷的關係，負值只會增加少許，向下的斜率較小，故繪於圖上較不明顯，而當高鐵上坡，原本Z軸上的加速度是正值，橋墩的差異沉陷相對於上坡，會導致加速度值在一瞬間由正轉負，向下的斜率較南下時大，故繪於圖上較明顯。圖五十三 為橋墩差異沉陷示意圖。



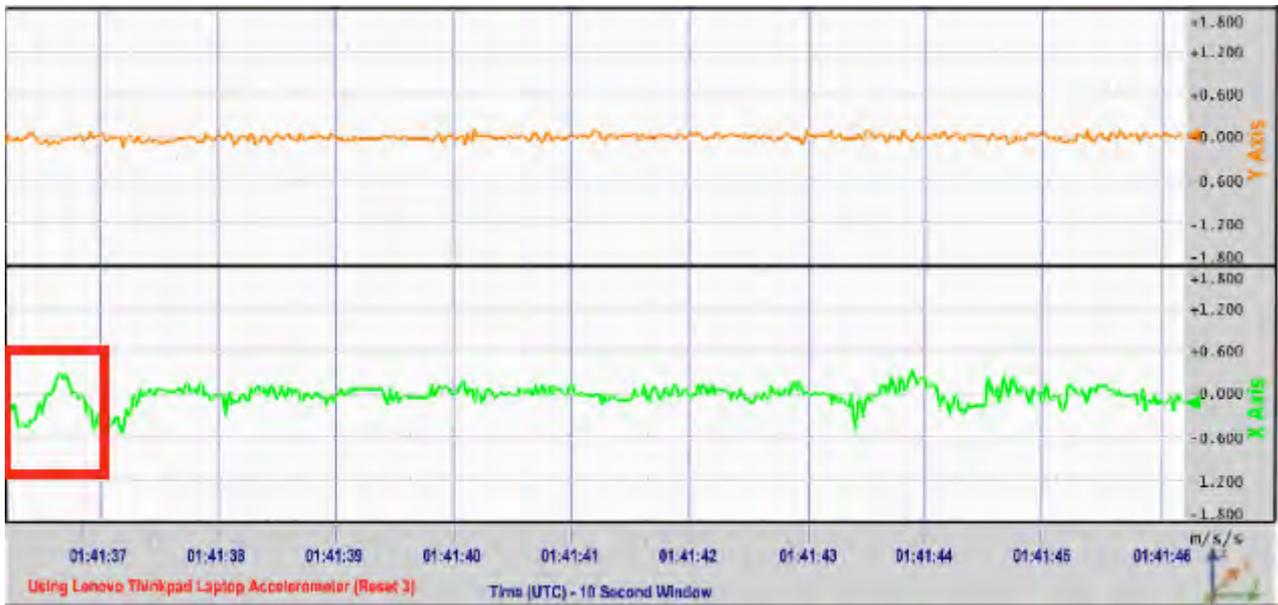
圖五十三、中間凹陷是代表差異沉陷



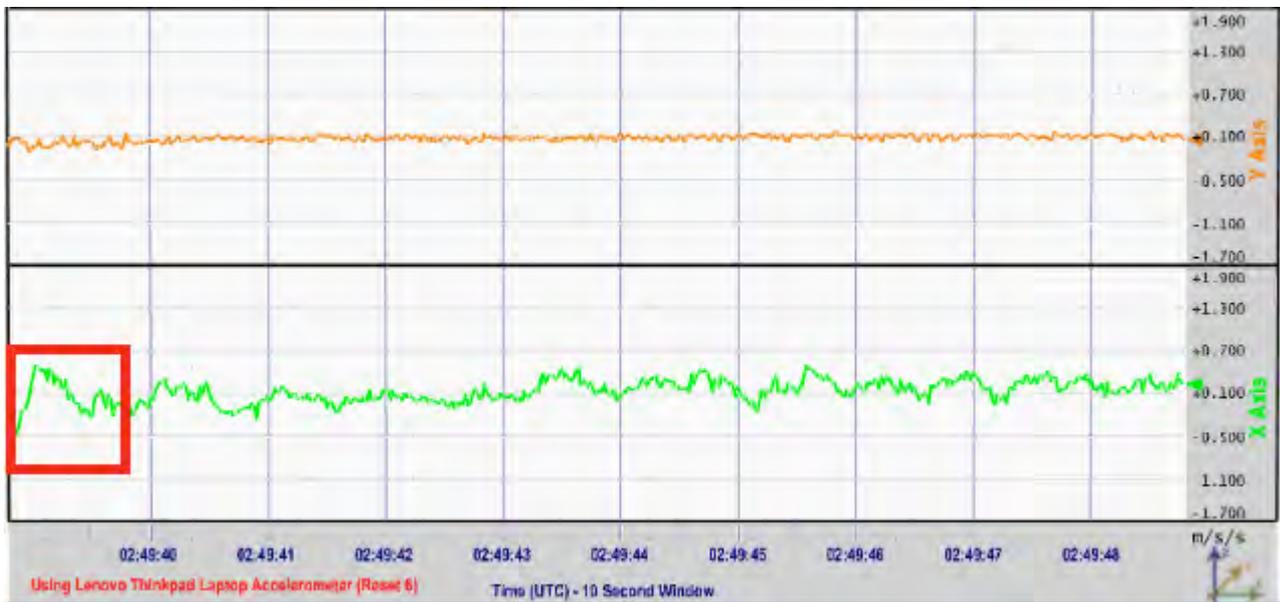
圖五十四、雲林南下QCN Live 擷取圖(下坡)



圖五十五、雲林北上QCN Live 擷取圖(上坡)



圖五十六、苗栗南下QCN Live 擷取圖



圖五十七、苗栗北上QCN Live 擷取圖

- 七、QCN有兩種繪圖的模式，一種是直接將測得的加速度繪出，另一種會將靜止時的加速度值設為零，繪出其差異值，但是兩種繪圖方式在記錄成Excel檔時，加速度的數值是相同的。
- 八、致使台78所測量的差異沉陷下陷值，與理論的差異沉陷下陷值相差過大的原因，我們推測是因為台78的車輛過多，造成地面震動而產生誤差；反之，縣道158的車輛較少，相對的理論與測量的數值也較接近。
- 九、台78可能是因為橋墩之差異沉陷沒較縣道158那麼嚴重，所以較難以測量到，以致實驗失敗的次數比縣道158多。
- 十、從一次的實驗失誤中，發現原本用來固定台車的四根螺絲柱有過濾雜訊的效果。
- 十一、由於高鐵是許多車廂連結在一起，會互相干擾，並不像是一個拋射體的運動，所以必須從加速度、速度、位移的定義來計算，不能使用斜向拋射來計算。

柒、結論

總結所測得的結果，台灣高鐵與縣道158交會處，橋墩的差異沉陷值為1.25/1500，與台78交會處的差異沉陷值為1.09/1500，與高鐵當局在2009年公布的數字誤差值約為百分之八。明顯的縣道158的橋墩差異沉陷較台78嚴重，另外，我們也測出苗栗縣後龍鎮也有嚴重的差異沉陷，苗栗縣後龍鎮麻園坑的差異沉陷範圍約有二公里，其中最嚴重的差異沉陷值為1.89/1500，約是雲林的1.6倍嚴重。同時，我們也發現，當高鐵經過有較嚴重之差異沉陷之路段時，例如與縣道158交會處，列車尾端會有上下擺動的狀況發生，有列車行車安全的疑慮。

運用加速度感測器，測量台灣高鐵橋墩的差異沉陷，是一個簡單可行的方法。相對於高鐵的測量方法，這樣的測量方法不只測量橋墩的差異沉陷，同時也可以反映出乘車者的感受。以雲林為例，南下時，無法測得差異沉陷，乘車者也感受不到差異沉陷的存在。

因此，高鐵當局可以在駕駛室內設置類似的測量工具，在每天的首班車與末班車進行測量，若發現測量到的差異沉陷值足以構成威脅，可以馬上降速，以提高行車安全。同時，也可做長期的觀測，觀察台灣高鐵差異沉陷的值是否持續惡化，以做好預防的工作，避免造成危險，也能節省不少測量與監測費用。這種測量方法也適用於其他國家的高速鐵路，例如日本的新幹線，法國的TGV等。

捌、參考資料及文獻

【網路資源】

- [1]Quake Catcher Network : <http://qcn.stanford.edu/>
- [2] <http://www.iris.edu/>
- [3] <http://www.iris.edu/hq/NSFProposal/Volume2/EO.pdf>
- [4]經濟部水利署地層下陷資料庫 : <http://www.subsidence.org.tw/>
- [5]G-sensor 重力感測器的技術原理 :
http://irisintw.blogspot.com/2010/05/g-sensor_8424.html
- [6]Using an Accelerometer for Inclination Sensing :
http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-1057.pdf
- [7]中央氣象局(地震百問) : <http://www.cwb.gov.tw/>
- [8]實驗數據的處理與分析 :
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/demolab/html.php?html=Notes/dataProcess>

【新聞】

- [9]李文儀(民100年3月17日)。 高鐵沉陷擴大，雲林三聯外道停工。自由時報。
取自 : <http://n.yam.com/tlt/life/201103/20110307146297.html>

【教科書】

- [10]康軒出版社。自然與生活科技，第六冊，第五章，地殼組成與地表作用。

【評語】 030510

優點：研究主題符合社會脈動，解決問題之方法有創意。

缺點：缺乏實驗對照組。

建議：應蒐集其他實測資料，加以比對，增加作品之完整性。