

# 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高中組 地球科學科

**最佳創意獎**

040501

**大樓結構聽診器？**

—利用震波來監控大樓結構改變之方法

學校名稱：國立基隆高級中學

作者：  高二 柯鈞耀	指導老師：  林忠彥
-------------------	------------------

關鍵詞：微機電加速度感應器、波形比對、

大樓結構監控

## 摘要:

本科展計畫是想發展出新的監控大樓結構改變之方法，目前階段是先用模擬建築物來觀測，我們將模擬建築物置入水浴槽中，將水浴槽模擬震源發震，來檢測模擬建築在各事件及各樓層之波形，將得之波形數值化，並用數學相關係數來分析結果。結果可分為三部分：一、同一事件中，樓層越高，其波形振幅有被放大之效應，且在各事件中各樓層間的相關係數幾乎是很高度相關。二、由各樓層中破壞前與破壞後事件互相比較時，皆顯示為很低度相關，因而反向推論，當前後事件波形改變，可能建築物的結構已改變。三、是否能用各樓層破壞前與破壞後波形振幅有放大效應，來判斷破裂面所在位置，是未來延伸方向。

## 壹、研究動機:

讓我想到此實驗計畫，是由於老師上課的補充雜誌「地科搜查線」中有一篇介紹校園地震觀測網(Quake Catcher Network)，裡面所敘述的儀器是可以測量震動所產生的X、Y、Z軸之加速度的微機電加速度感應器，而且它攜帶容易，儀器輕便，用起來更是簡單上手。加上老師是此篇作者，因此就詢問老師相關儀器問題。

聽了老師解說完後，我對QCNLive非常感興趣，因此，我又繼續查關於它的相關資料，查到多篇關於它實際用於生活中且國外許多大學用它來跟小孩做一些互動，例如將它綁在滑車上，測它對某軸所產生的加速度為多少；又或者是將其作為類似跳舞機的感應板，讓小孩子在上面舞動、跳躍，使孩子們對沒看過的機器突然產生波形而感到新奇，使用範圍非常廣泛。近年來，台灣也有國中生將其運用在記錄高鐵上的搖晃程度，以解釋高鐵橋墩的差異沉陷之科展作品。

前陣子看到日本遭遇大地震時，新聞寫著大樓因地震而倒塌的消息，心想如果此儀器能監控大樓的狀態加上在搖晃時也能發出警訊，讓睡眠中的民眾驚醒，進而可以順利逃離大樓。因此，詢問老師是否可能用微機電加速度感應器來監控大樓，在跟老師討論一番之後，發覺過去有人用重複地震序列(在某些斷層系統上，一群地震可以重複地發生在同一個斷層嵌塊上，這群地震具有相同波形、發震位置、大小、機制，稱做重複地震序列)看921地震前後的波形來推測地震波因為經過路徑效應之後所發生的改變。再者，我想說高中數學也學過相關係數，是否能用此方法來分析我的實驗數據。

## 貳、研究目的:

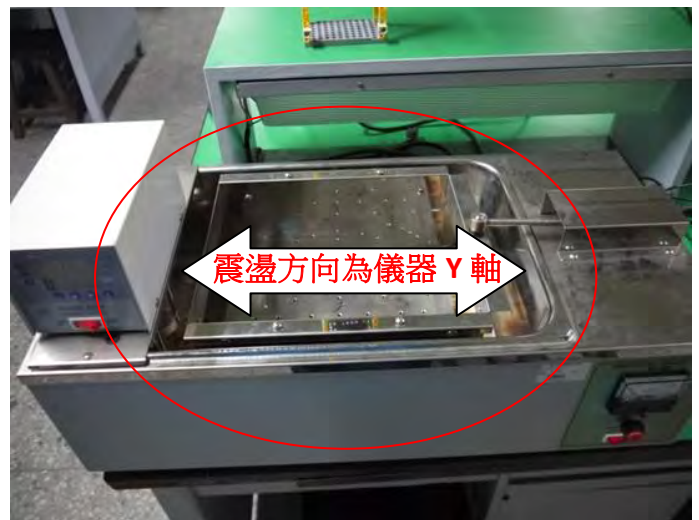
- 一、假設場值、路徑、震源皆無改變且模擬建築物中無儀器之外的其他物件，探討在結構崩壞之前，模擬建築物中各樓層，在破壞前各事件中測量所得之波形是否相近，用數學相關比對係數時，相關係數是否高度相關。
- 二、假設場值、路徑、震源皆無改變且模擬建築物中無儀器之外的其他物件，探討在結構崩壞之後，模擬建築物中各樓層，在破壞後各事件中測量所得之波形是否相近，用數學相關比對係數時，相關係數是否高度相關。
- 三、假設場值、路徑、震源皆無改變且模擬建築物中無儀器之外的其他物件，探討在結構崩壞前後，模擬建築物中各樓層，在破壞前(事件一至事件五)與破壞後(事件六至事件十)所得之波形是否不相近，用數學相關比對係數時，相關係數是否低度相關。
- 四、了解是否能用前後事件波形的改變，來推測模擬建築物結構已改變。

## 參、研究器材與設備:

- 一、研究器材數量：模擬建築物一棟、水浴槽一組、電源計時器一組、微機電加速度感應器5套、筆記型電腦5部。
- 二、研究器材使用介紹：
  - (一) 模擬建築物：為積木搭建來模擬樓層為5層之建築物。
  - (二) 水浴槽：為模擬地動之設備；相當於消防署地震體驗車用以模擬地動之搖晃。
  - (三) 電源計時器：為了讓水浴槽所產生的震動數據能控制在一定之時間，因此，水浴槽需裝設此器材來自動開啟和關閉。
  - (四) 微機電加速度感應器：用於感測地動時，模擬建築物搖晃程度之儀器。儀器為16bit 自我造訊值約為 $2 \times 10^{-2}$ ，但仍足以記錄本實驗搖晃程度並能清楚的接收訊號。
  - (五) 筆記型電腦：本實驗是用ASUS F6Vseries，作業系統為Windows XP，用以記錄此實驗數據之儀器
- 三、研究器材照片：



圖(一) 整組儀器架設圖



圖(二) 震盪平台(水浴槽改良)



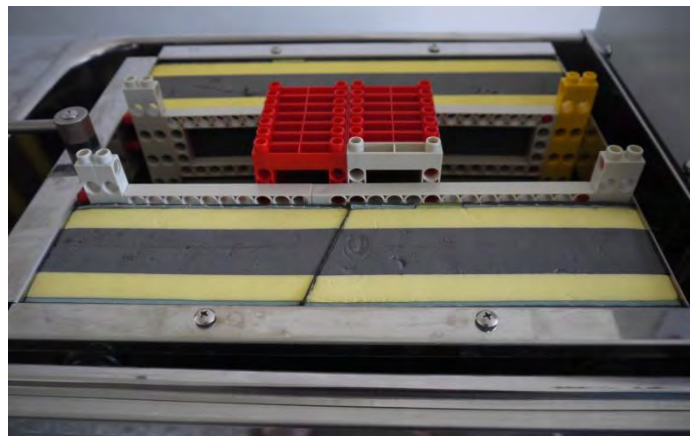
圖(三) 微機電加速度感應器16Bit



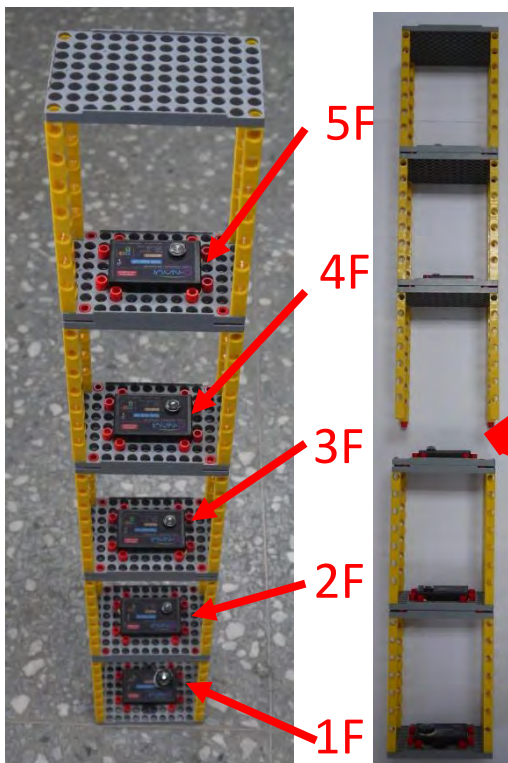
圖(四) 筆記型電腦 (F6Vseries,XP作業系統)



圖(五) 電源計時器

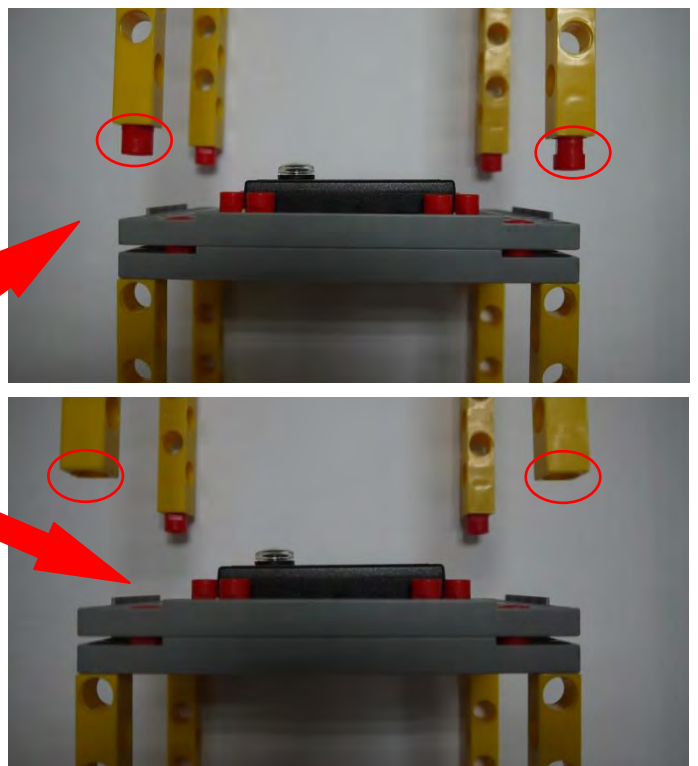


圖(六) 模擬建築物地基基座



正常結構模組

崩壞結構模組



圖(七)模擬建築物



#### 四、軟體介紹：

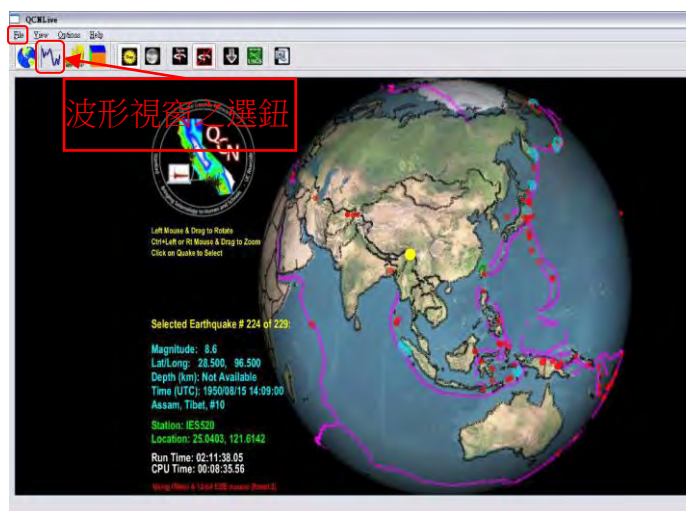
(一) 用Microsoft Excel 2010裡的公式CORREL來分析相關係數。

(二) 用QCN Live程式來記錄波形數據：

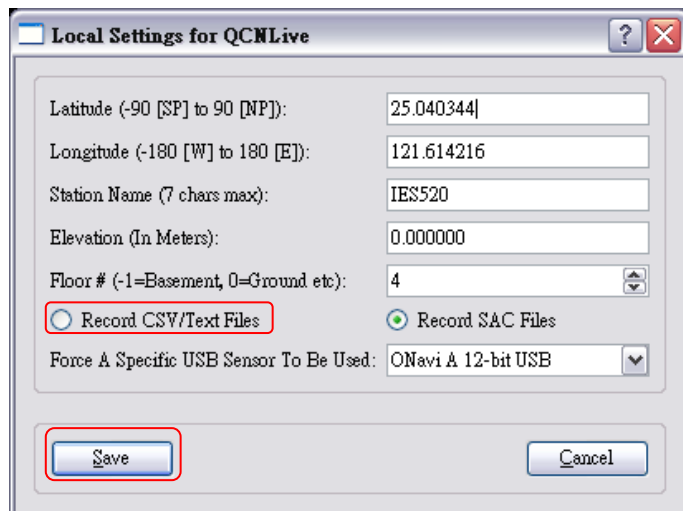
利用美國史丹佛大學（Stanford University）所主持的捕震網（Quake-Catcher Network,QCN）計畫所開發出的QCN Live程式來擷取我們所需的資料。

由於我們之後需要在Excel上進行資料輸出，因此我們在使用QCN Live程式來監控測量之前，必須先將輸出檔改為Record CSV/Text Flies，以便於之後開啟數據資料檔時，可以方便做資料處理。所以我們會先開啟程式畫面(如圖八)，並按左上角File打開子選項Local Settings開啟視窗(如圖九)，將附圖(九)中的選項改為Record CSV/Text Flies之後，按Save存入設定，並回到主畫面。

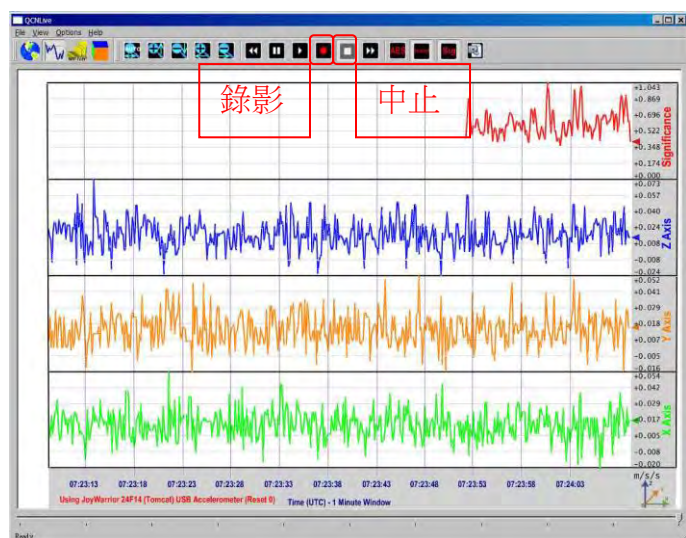
回到主畫面後，選擇附圖(八)上所標示的紅框中之選鈕，點擊之後便可來到觀看與記錄波形視窗(圖十)。啟動錄影或是停止錄影時，選擇附圖(十)中紅框所示之位置即可。而在觀測完之後，便可開啟檔案(圖十一)並且開始進行分析。



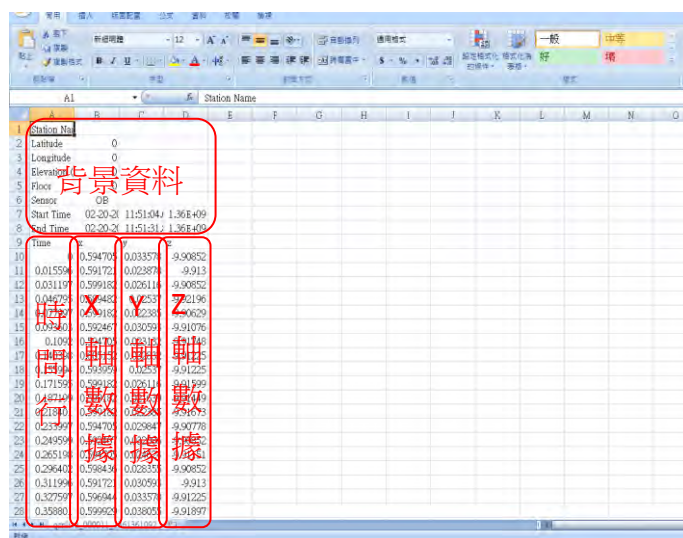
圖(八) 程式主畫面



圖(九) Local Settings設定視窗



圖(十) 觀看與記錄波形視窗



圖(十一) 三軸紀錄值(50資料點/s)

## 肆、研究過程及方法

### 一、研究原理：

在現實中，影響地震的因素相當複雜，但主要可以分為三部分來討論：包括震源規模與破裂過程的震源效應、地震波的傳播路徑、以及地震波因局部地質所引起的場址效應。而地表所收錄的強地動加速度紀錄相當於以上三種效應的結果。

在此實驗中用水浴槽當作震源，並用電源計時器來控制一致的發震時間長度且水浴槽的轉速（RPM）固定不變，因而，控制了震源效應影響因素，由於模擬建築物未改變其與水浴槽位置，因此排除掉路徑效應與場址效應，所以大膽假設變因只剩模擬建築物結構因素。

以水浴槽的的晃動當作固定之震源，雖然水浴槽的震動方向只有Y軸，但足以運用在本實驗中。將正常結構模擬大樓放入水浴槽搖晃五次事件並記錄其波形數據，再放入崩壞結構模大樓同樣方式搖晃五次並記錄數據，將其數值彙整分析其各事件之相關係數高低比較。

### 二、研究方法：

#### （一）相關係數 $r$ 的定義：

兩組並列數據資料 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ ，其算術平均數分別為  $\mu_x, \mu_y$ ，標準差分別為  $\sigma_x, \sigma_y$ ，

當  $\sigma_x, \sigma_y$  均不為 0 時，其相關係數  $r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i - \mu_x}{\sigma_x} \right) \left( \frac{y_i - \mu_y}{\sigma_y} \right)$

當  $\sigma_x, \sigma_y$  至少有一為 0 時

(即  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  或  $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$  至少有一組內之數據完全相同時)，其相關係數為 0。

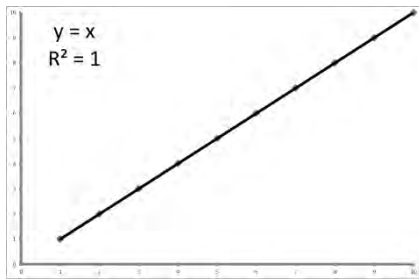
所以  $r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2}}$

相關係數  $r$  的絕對值愈大，表示兩變量之間的直線相關程度愈強。

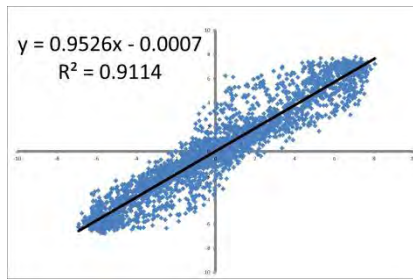
#### （二）相關係數的強度大小與意義：

相關係數範圍(絕對值)	變項關連程度
0.8以上	很高度相關
0.60~0.79	高度相關
0.40~0.59	中度相關
0.20~0.39	低度相關
0.19以下	很低度相關

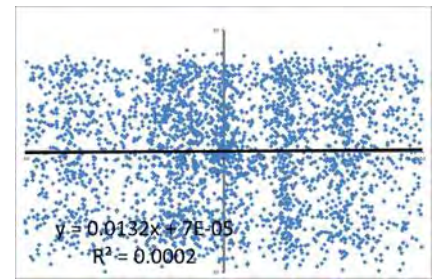
(三) 六種不同程度相關情形：



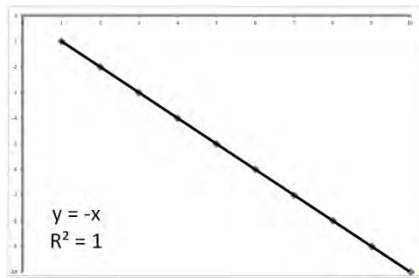
圖(十二) 當  $r=1$  時完全正相關



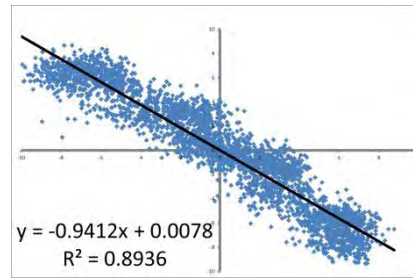
圖(十三) 高度正相關



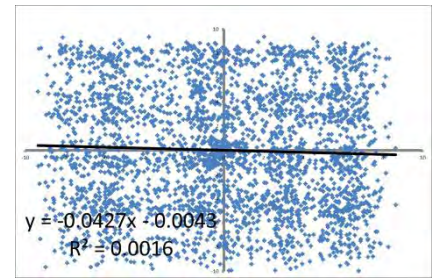
圖(十四) 低度正相關



圖(十五) 當  $r=-1$  時完全負相關



圖(十六) 高度負相關



圖(十七) 低度負相關

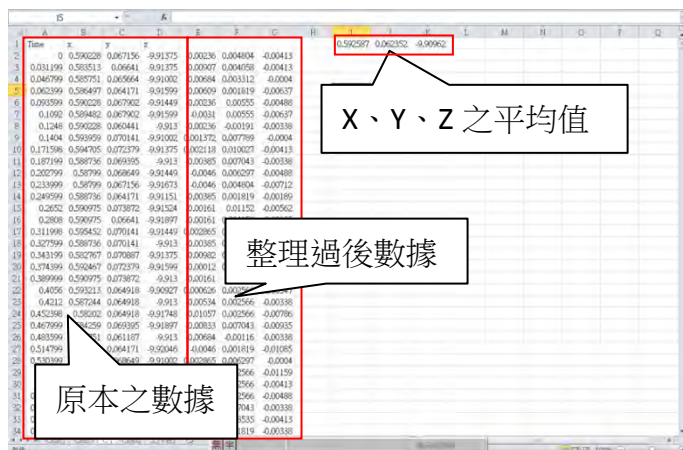
三、實驗步驟：

- 步驟一、將積木拼湊成五層樓之建築物，並在一樓下方加入地基，接著用泡棉夾住模擬大樓的地基，穩固下盤，讓模擬地震開始時，能夠保持建築物之結構。
- 步驟二、將模擬大樓放進水浴槽中，並將水浴槽的rpm(轉/分)設定為200(轉/分)。
- 步驟三、將各電腦以一、二、三、四、五樓層之順序排放好並開啟程式。
- 步驟四、將每台電腦連接到相對應之樓層的感應儀器，並確認每台電腦皆有收到數據。
- 步驟五、將各樓層積木間的縫隙壓好，避免搖晃過大而導致崩塌。
- 步驟六、將電源計時器的時間間隔設定為1分鐘。
- 步驟七、將各樓層之儀器，在一定時間內記錄模擬地震之波形。
- 步驟八、重複步驟六至步驟七，共四次，以記錄破壞前五個事件(事件一至事件五)。
- 步驟九、把第三樓層面上的小螺絲拔除，沒有小螺絲連接的柱子用膠帶貼著(並未完全黏死，建築物依舊可以搖動)，模擬大樓內鋼筋生鏽或是破壞時，仍能維持外表的完整。
- 步驟十、重複步驟六至步驟七，共五次，以記錄破壞後五個事件(事件六至事件十)。
- 步驟十一、資料彙整並分析實驗結果。

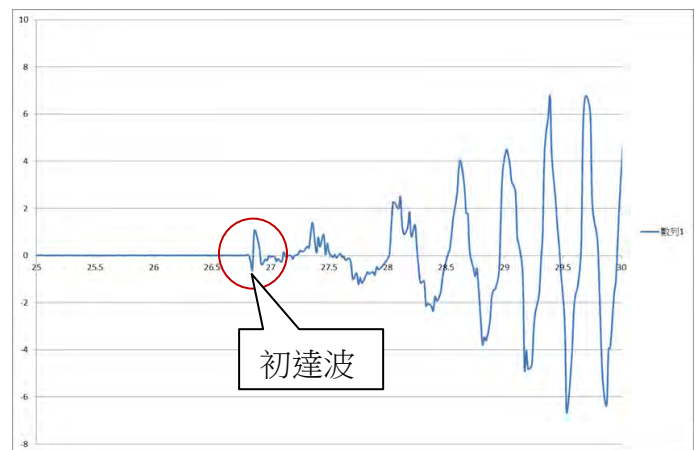


#### 四、資料處理

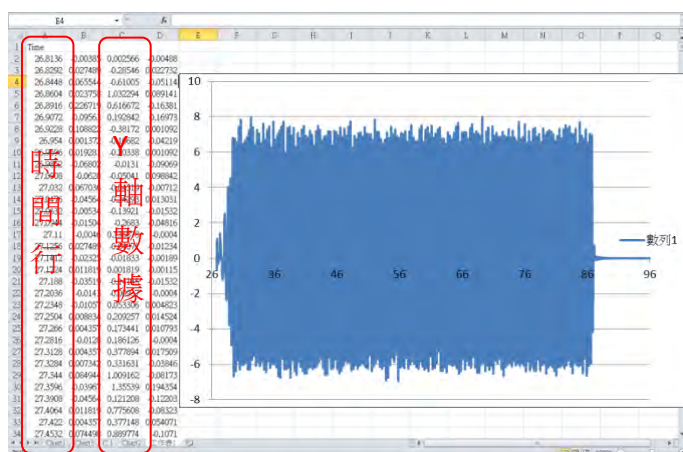
- (一) 開啟數據後，先求X、Y、Z軸之平均值，再將平均值減掉原數據數值(圖十八)，以得到起始值為0左右之波形數值。
- (二) 由於水浴槽的震動方向只有Y軸，因此，數據在Y軸上震盪較為明顯劇烈，所以，我們只取Y軸來做分析。將Y值與時間作圖，找出其初達波之時間(圖十九)。
- (三) 找出初達波到達之時間，回到數據資料中，把初達波到達前的數據刪除，得未來分析之數據(圖二十)，以便於各事件統整時，能準確地從起始震動資料點開始比對其相關係數。
- (四) 重複(一)至(三)於各樓層(1F~5F)各事件(事件一至事件十)實驗數據。
- (五) 將整理過後的Y軸數據取各事件(事件一至事件十)不同樓層(1F~5F)做出其相關性(圖二十一)，用以再度確保初達波是否準確擷取，便於各事件比較時，能準確地從起始震動資料點開始比對其相關係數。
- (六) 將整理過後的Y軸數據取各樓層(1F~5F)不同事件(事件一至事件十)做出其相關係數。



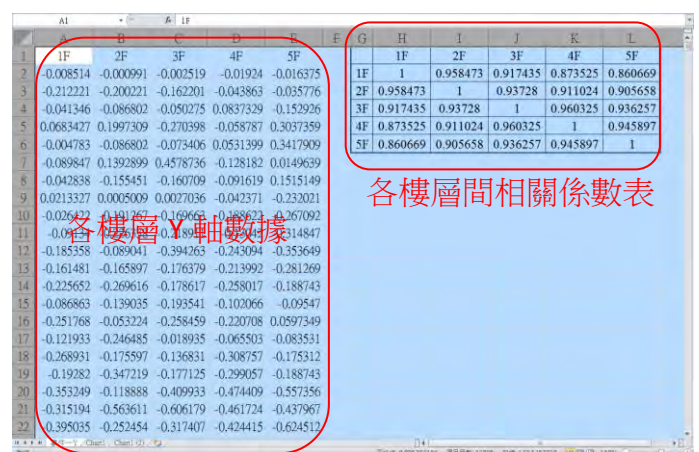
圖(十八) 平均值處理



圖(十九) 初達波之時間



圖(二十) 處理後數據表與震波波形



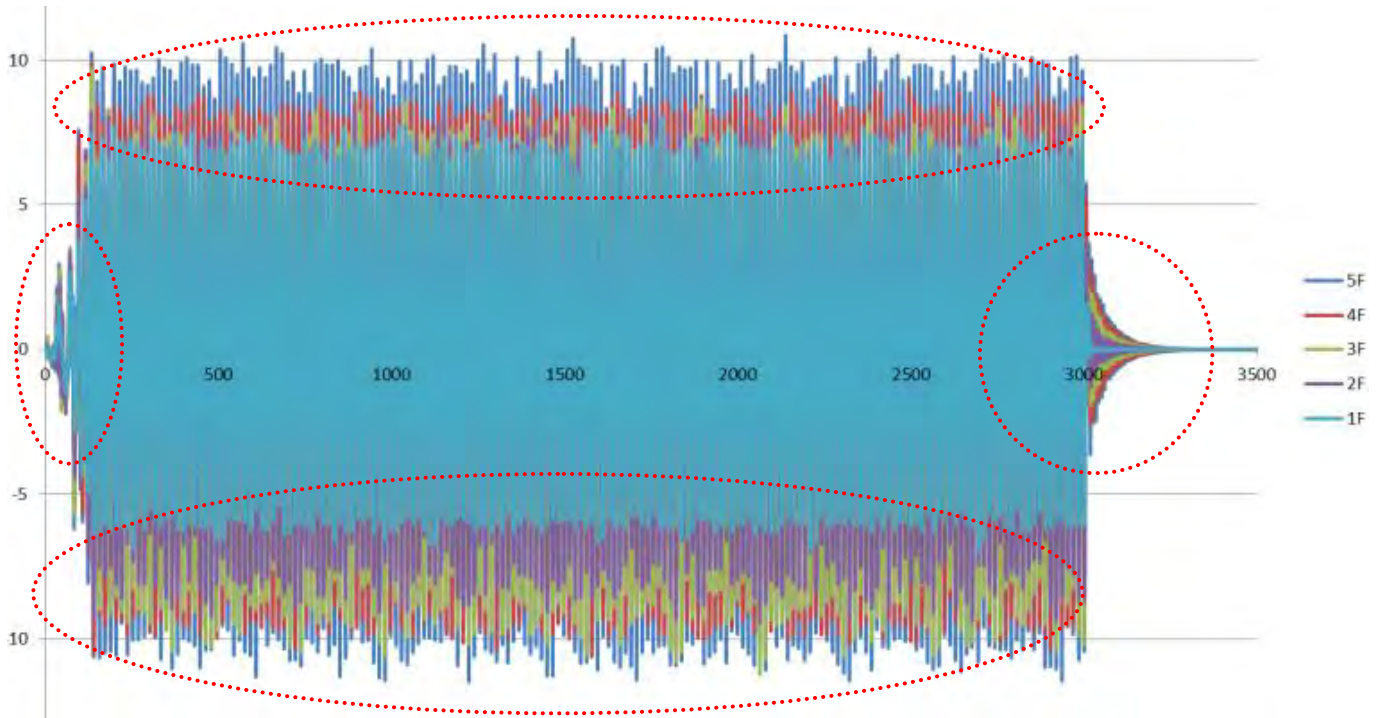
圖(二十一) 事件一不同樓層相關性表格



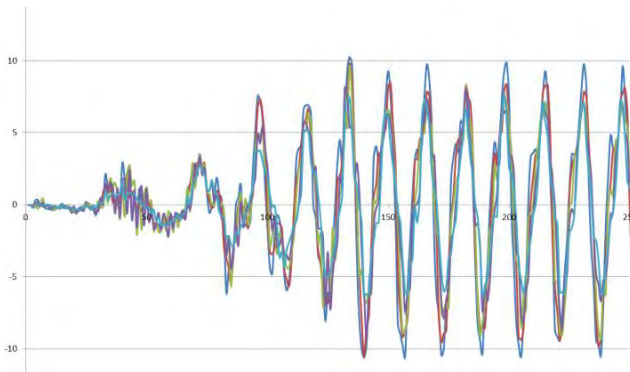
## 伍、研究結果

### 一、事件一不同樓層(1F~5F)其相關性：

可以看出在水浴槽剛啟動之時，其轉速並未馬上到達200轉/分，可能是慢慢加速中。在1F加速度振幅平均大約為 $7\text{m/s}^2$ 左右，5F加速度振幅平均大約為 $11\text{m/s}^2$ ，有越高樓層，其波形有放大之效果，且其加速度振幅有偏向負值之趨勢。在震盪餘波中也可發現，1F回到背景值大約需為3s左右，5F回到背景值卻需大約8s左右，有越高樓層，其震盪餘波有拉長之效果(圖二十二)。而在波形圖(圖二十三)與相關係數表(表一)中，也可看出在事件一中，各樓層間的相關係數皆為很高度相關。



圖(二十二) 事件一各樓層之波形，其X軸數值為3500資料點(70s)，Y軸數值為資料點加速度值( $\text{m/s}^2$ )。  
\* 淺藍色為1F之加速度波形、紫色為2F之加速度波形、綠色為3F之加速度波形、紅色為4F之加速度波形、深藍色為5F之加速度波形。



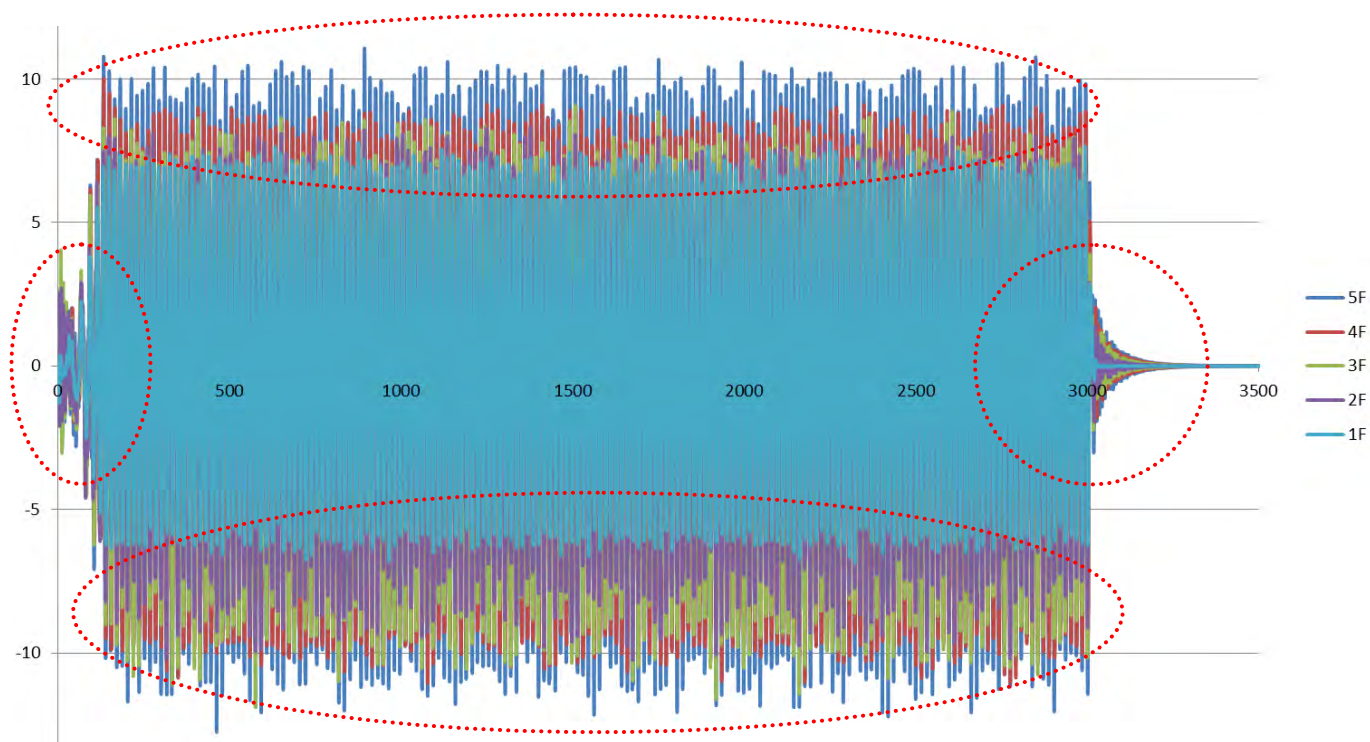
圖(二十三) 上圖X軸數值前250資料點(5s)

	1F	2F	3F	4F	5F
1F	1	0.958473	0.917435	0.873525	0.860669
2F	0.958473	1	0.93728	0.911024	0.905658
3F	0.917435	0.93728	1	0.960325	0.936257
4F	0.873525	0.911024	0.960325	1	0.945897
5F	0.860669	0.905658	0.936257	0.945897	1

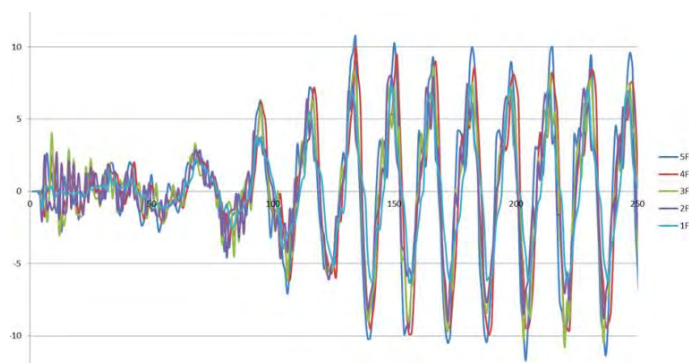
表(一) 事件一各樓層之間的相關係數

## 二、事件二不同樓層(1F~5F)其相關性：

可以看出在水浴槽剛啟動之時，其轉速並未馬上到達200轉/分，可能是慢慢加速中。在1F加速度振幅平均大約為 $7\text{m/s}^2$ 左右，5F加速度振幅平均大約為 $11.5\text{m/s}^2$ ，有越高樓層，其波形有放大之效果，且其加速度振幅有偏向負值之趨勢。在震盪餘波中也可發現，1F回到背景值大約需為3s左右，5F回到背景值卻需大約8s左右，有越高樓層，其震盪餘波有拉長之效果(圖二十四)。而在波形圖(圖二十五)與相關係數表(表二)中，也可看出在事件二中，各樓層間的相關係數皆為很高度相關。



圖(二十四) 事件二各樓層之波形，其X軸數值為3500資料點(70s)，Y軸數值為資料點加速度值( $\text{m/s}^2$ )。  
\* 淺藍色為1F之加速度波形、紫色為2F之加速度波形、綠色為3F之加速度波形、紅色為4F之加速度波形、深藍色為5F之加速度波形。



圖(二十五) 上圖X軸數值前250資料點(5s)

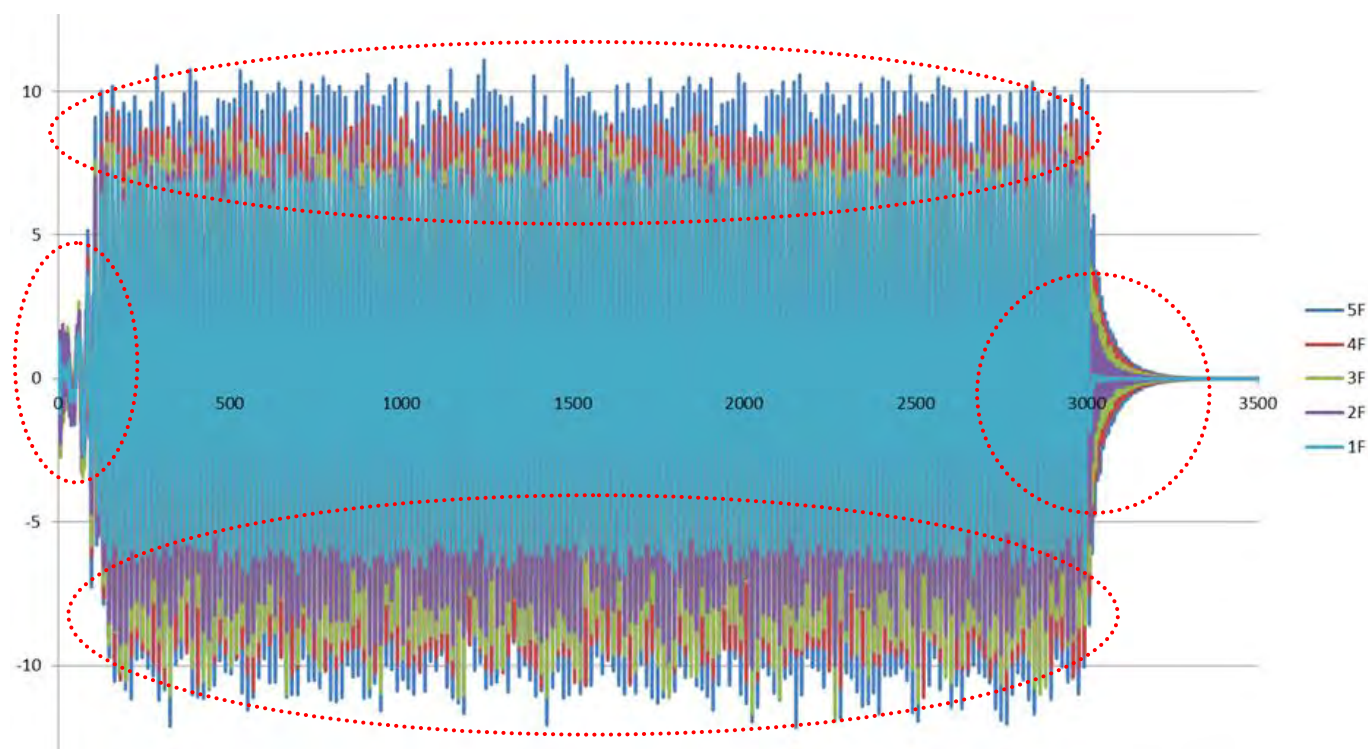
	1F	2F	3F	4F	5F
1F	1	0.886866	0.878921	0.868926	0.826691
2F	0.886866	1	0.955613	0.858095	0.834649
3F	0.878921	0.955613	1	0.907963	0.894737
4F	0.868926	0.858095	0.907963	1	0.969172
5F	0.826691	0.834649	0.894737	0.969172	1

表(二) 事件二各樓層之間的相關係數

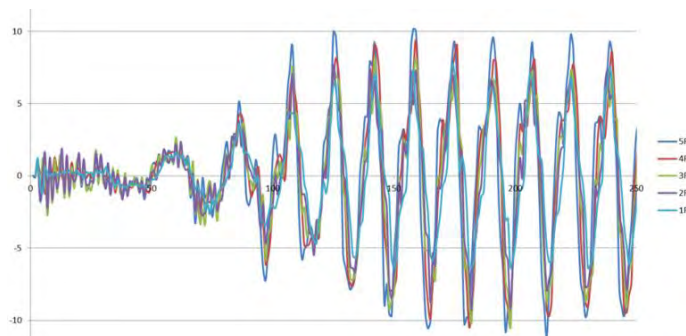


### 三、事件三不同樓層(1F~5F)其相關性：

可以看出在水浴槽剛啟動之時，其轉速並未馬上到達200轉/分，可能是慢慢加速中。在1F加速度振幅平均大約為 $7\text{m/s}^2$ 左右，5F加速度振幅平均大約為 $11\text{m/s}^2$ ，有越高樓層，其波形有放大之效果，且其加速度振幅有偏向負值之趨勢。在震盪餘波中也發現，1F回到背景值大約需為4s左右，5F回到背景值卻需大約8s左右，有越高樓層，其震盪餘波有拉長之效果(圖二十六)。而在波形圖(圖二十七)與相關係數表(表三)中，也可看出在事件三中，各樓層間的相關係數皆為很高度相關。



圖(二十六) 事件三各樓層之波形，其X軸數值為3500資料點(70s)，Y軸數值為資料點加速度值( $\text{m/s}^2$ )。  
\* 淺藍色為1F之加速度波形、紫色為2F之加速度波形、綠色為3F之加速度波形、紅色為4F之加速度波形、深藍色為5F之加速度波形。



圖(二十七) 上圖X軸數值前250資料點(5s)

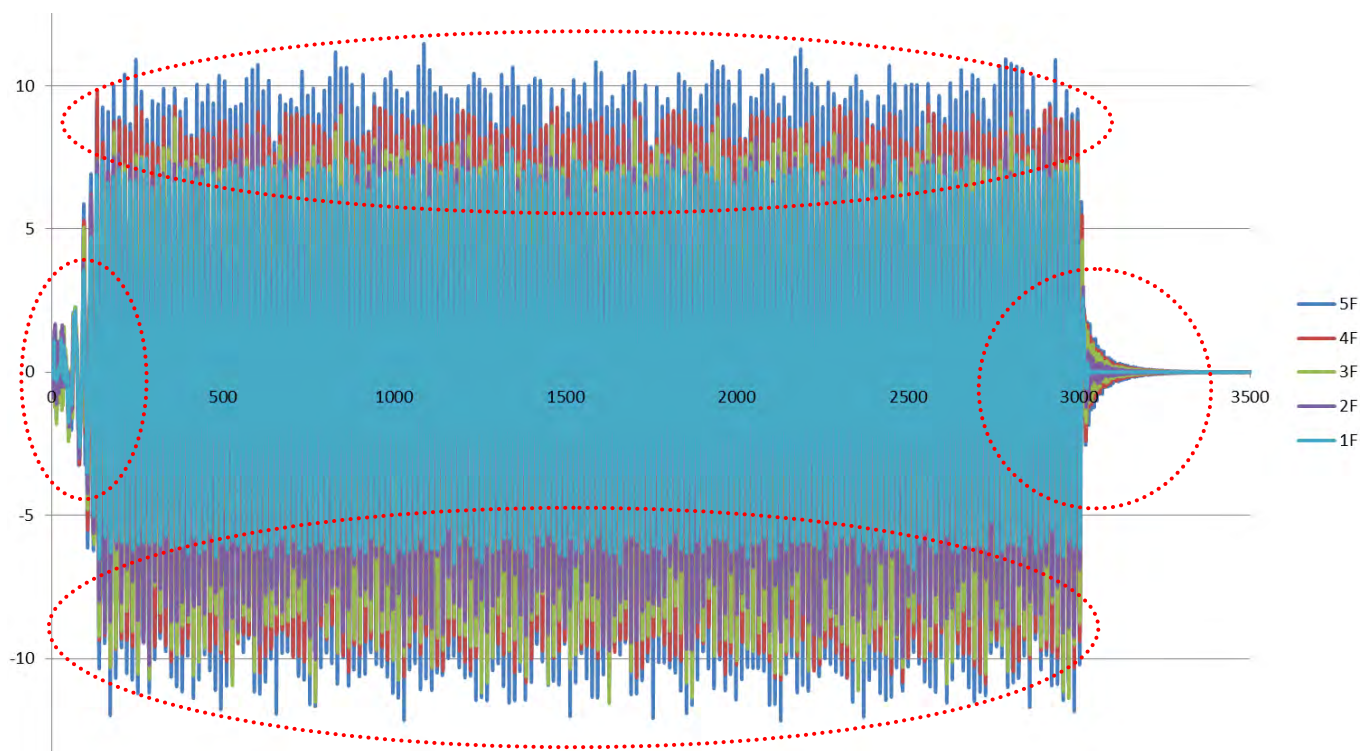
	1F	2F	3F	4F	5F
1F	1	0.92208	0.879171	0.850093	0.819841
2F	0.92208	1	0.978619	0.927913	0.891117
3F	0.879171	0.978619	1	0.963169	0.934543
4F	0.850093	0.927913	0.963169	1	0.969332
5F	0.819841	0.891117	0.934543	0.969332	1

表(三) 事件三各樓層之間的相關係數

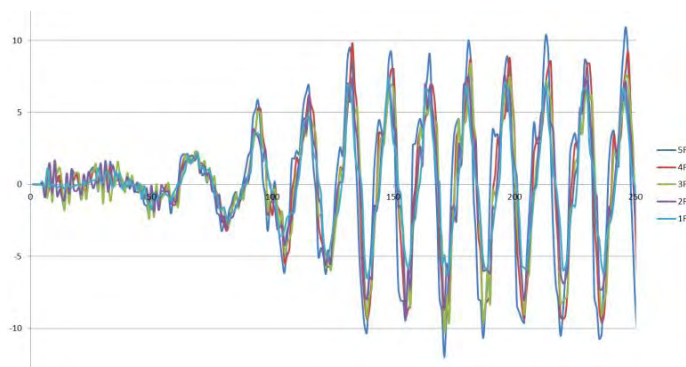


#### 四、事件四不同樓層(1F~5F)其相關性：

可以看出在水浴槽剛啟動之時，其轉速並未馬上到達200轉/分，可能是慢慢加速中。在1F加速度振幅平均大約為 $7\text{m/s}^2$ 左右，5F加速度振幅平均大約為 $10.5\text{m/s}^2$ ，有越高樓層，其波形有放大之效果，且其加速度振幅有偏向負值之趨勢。在震盪餘波中也發現，1F回到背景值大約需為3s左右，5F回到背景值卻需大約9s左右，有越高樓層，其震盪餘波有拉長之效果(圖二十八)。而在波形圖(圖二十九)與相關係數表(表四)中，也可看出在事件四中，各樓層間的相關係數皆為很高度相關。



圖(二十八) 事件四各樓層之波形，其X軸數值為3500資料點(70s)，Y軸數值為資料點加速度值( $\text{m/s}^2$ )。  
\* 淺藍色為1F之加速度波形、紫色為2F之加速度波形、綠色為3F之加速度波形、紅色為4F之加速度波形、深藍色為5F之加速度波形。



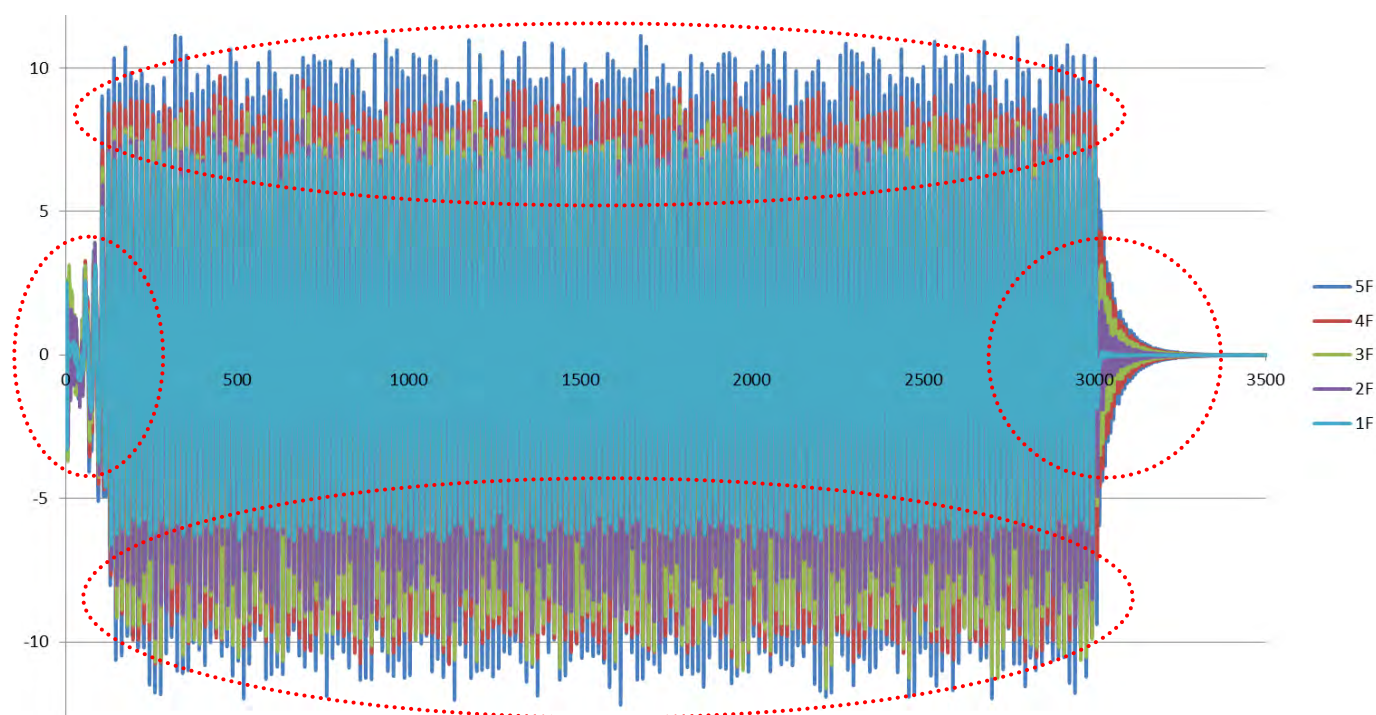
圖(二十九) 上圖X軸數值前250資料點(5s)

	1F	2F	3F	4F	5F
1F	1	0.949243	0.905305	0.875706	0.83437
2F	0.949243	1	0.957521	0.930941	0.8905
3F	0.905305	0.957521	1	0.967971	0.935997
4F	0.875706	0.930941	0.967971	1	0.973081
5F	0.83437	0.8905	0.935997	0.973081	1

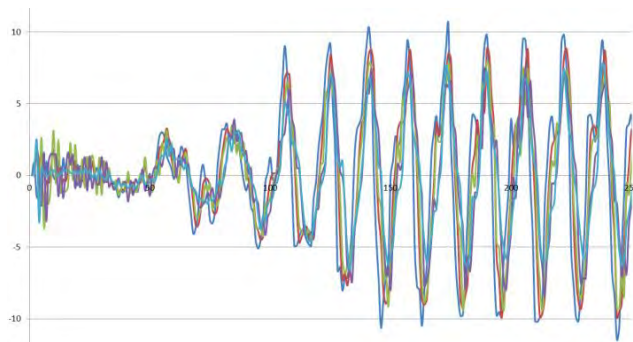
表(四) 事件四各樓層之間的相關係數

## 五、事件五不同樓層(1F~5F)其相關性：

可以看出在水浴槽剛啟動之時，其轉速並未馬上到達200轉/分，可能是慢慢加速中。在1F加速度振幅平均大約為 $7\text{m/s}^2$ 左右，5F加速度振幅平均大約為 $10\text{m/s}^2$ ，有越高樓層，其波形有放大之效果，且其加速度振幅有偏向負值之趨勢。在震盪餘波中也發現，1F回到背景值大約需為3s左右，5F回到背景值卻需大約9s左右，有越高樓層，其震盪餘波有拉長之效果(圖三十)。而在波形圖(圖三十一)與相關係數表(表五)中，也可看出在事件五中，各樓層間的相關係數皆為很高度相關，除了5F與1、2F略低，值低於0.8，但仍為高度相關。



圖(三十) 事件五各樓層之波形，其X軸數值為3500資料點(70s)，Y軸數值為資料點加速度值( $\text{m/s}^2$ )。  
\* 淺藍色為1F之加速度波形、紫色為2F之加速度波形、綠色為3F之加速度波形、紅色為4F之加速度波形、深藍色為5F之加速度波形。



圖(三十一) 上圖X軸數值前250資料點(5s)

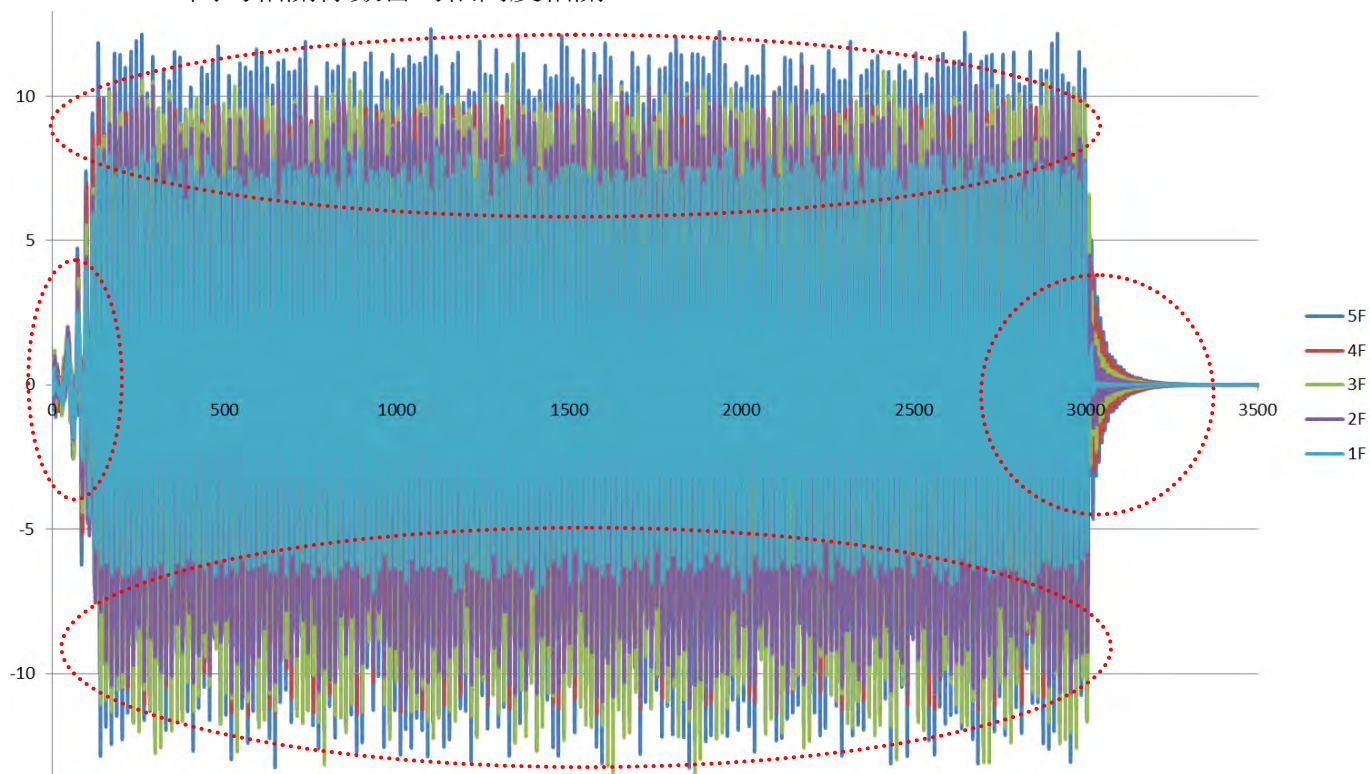
	1F	2F	3F	4F	5F
1F	1	0.94772	0.873177	0.822343	0.778126
2F	0.94772	1	0.861036	0.823377	0.783946
3F	0.873177	0.861036	1	0.96903	0.928832
4F	0.822343	0.823377	0.96903	1	0.978156
5F	0.778126	0.783946	0.928832	0.978156	1

表(五) 事件五各樓層之間的相關係數

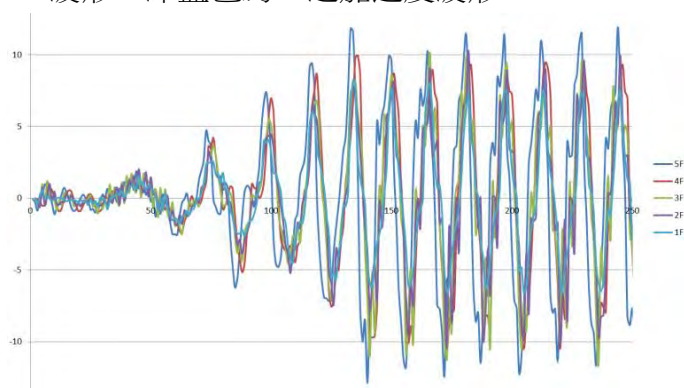


## 六、事件六不同樓層(1F~5F)其相關性：

可以看出在水浴槽剛啟動之時，其轉速並未馬上到達200轉/分，可能是慢慢加速中。在1F加速度振幅平均大約為 $7.3\text{m/s}^2$ 左右，5F加速度振幅平均大約為 $12\text{m/s}^2$ ，有越高樓層，其波形有放大之效果，且其加速度振幅有偏向負值的趨勢。在震盪餘波中也發現，1F回到背景值大約需為3s左右，5F回到背景值卻需大約9s左右，有越高樓層，其震盪餘波有拉長之效果(圖三十二)。而在波形圖(圖三十三)與相關係數表(表六)中，也可看出在事件六中，各樓層間的相關係數皆為很高度相關。



圖(三十二) 事件六各樓層之波形，其X軸數值為3500資料點(70s)，Y軸數值為資料點加速度值( $\text{m/s}^2$ )。  
\* 淺藍色為1F之加速度波形、紫色為2F之加速度波形、綠色為3F之加速度波形、紅色為4F之加速度波形、深藍色為5F之加速度波形。



圖(三十三) 上圖X軸數值前250資料點(5s)

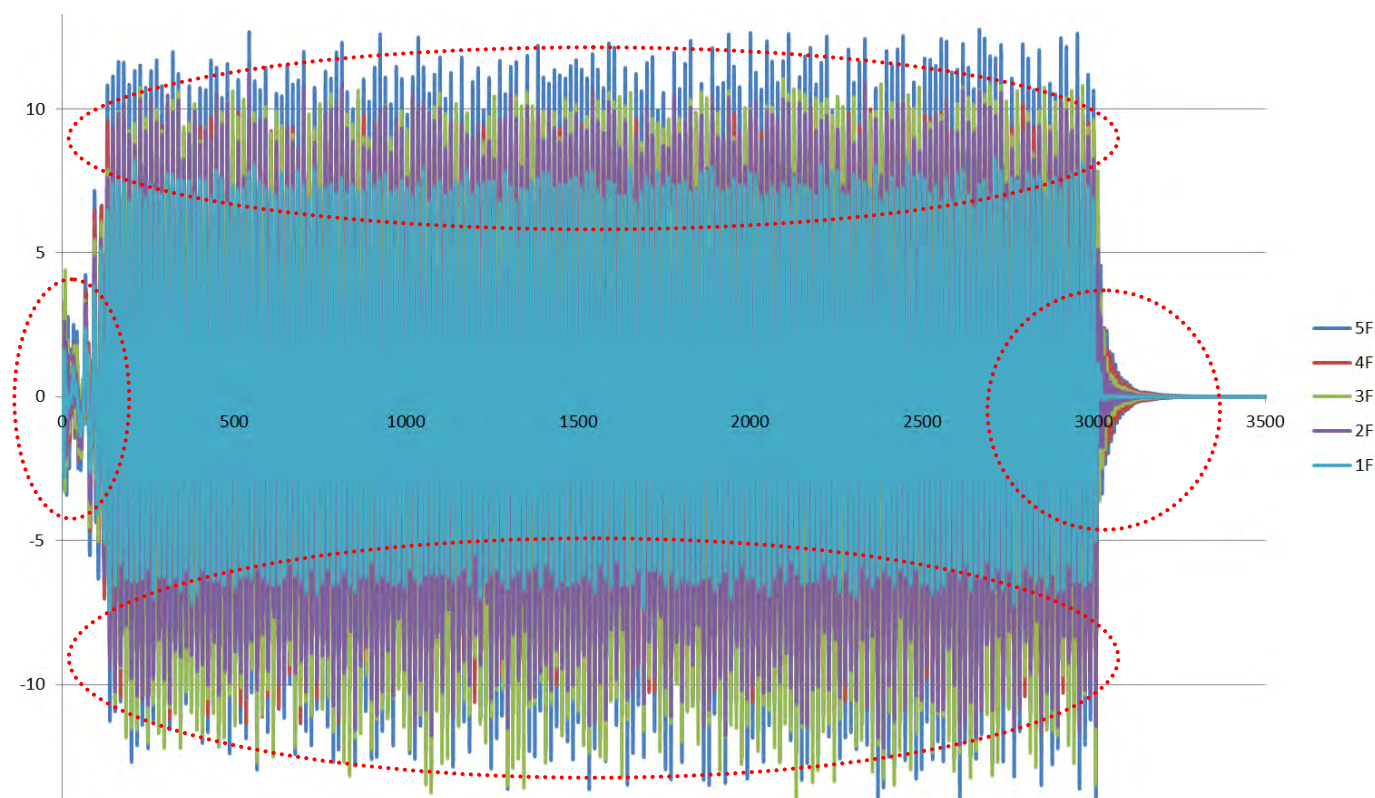
	1F	2F	3F	4F	5F
1F	1	0.913292	0.885714	0.926945	0.821521
2F	0.913292	1	0.897211	0.916092	0.837021
3F	0.885714	0.897211	1	0.915058	0.867067
4F	0.926945	0.916092	0.915058	1	0.822364
5F	0.821521	0.837021	0.867067	0.822364	1

表(六) 事件六各樓層之間的相關係數



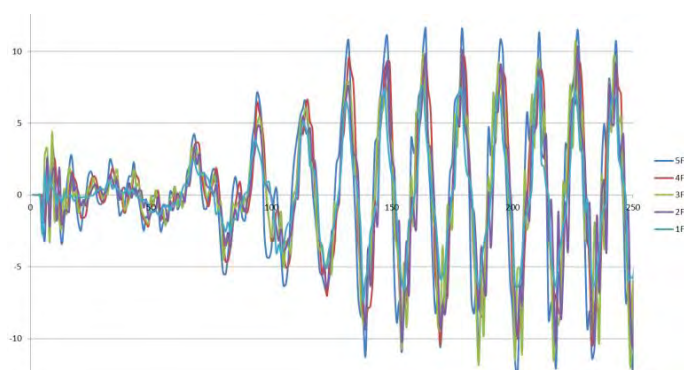
## 七、事件七不同樓層(1F~5F)其相關性：

可以看出在水浴槽剛啟動之時，其轉速並未馬上到達200轉/分，可能是慢慢加速中。在1F加速度振幅平均大約為 $7\text{m/s}^2$ 左右，5F加速度振幅平均大約為 $11\text{m/s}^2$ ，有越高樓層，其波形有放大之效果，且其加速度振幅有偏向負值之趨勢。在震盪餘波中也發現，1F回到背景值大約需為3s左右，5F回到背景值卻需大約6s左右，有越高樓層，其震盪餘波有拉長之效果(圖三十四)。而在波形圖(圖三十五)與相關係數表(表七)中，也可看出在事件七中，各樓層間的相關係數皆為很高度相關。



圖(三十四) 事件七各樓層之波形，其X軸數值為3500資料點(70s)，Y軸數值為資料點加速度值( $\text{m/s}^2$ )。

\* 淺藍色為1F之加速度波形、紫色為2F之加速度波形、綠色為3F之加速度波形、紅色為4F之加速度波形、深藍色為5F之加速度波形。



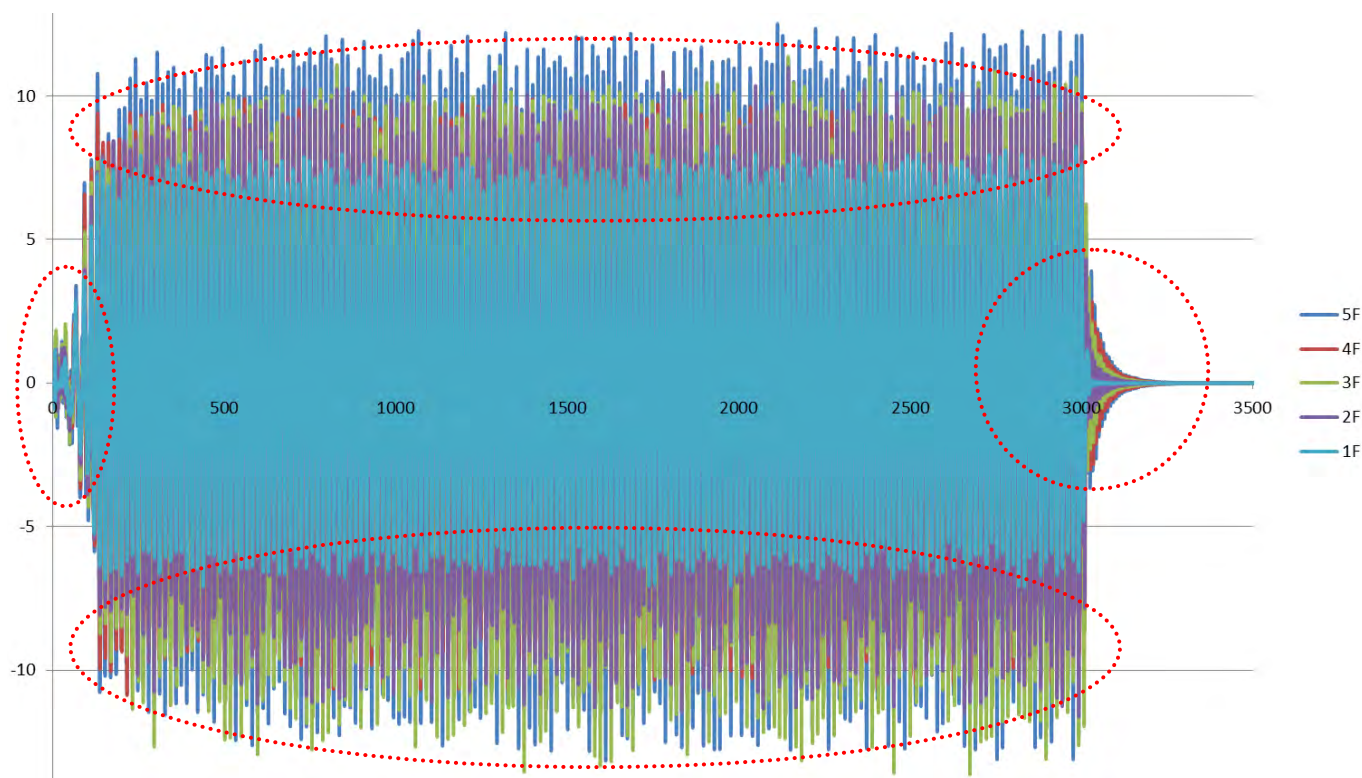
圖(三十五) 上圖X軸數值前250資料點(5s)

	1F	2F	3F	4F	5F
1F	1	0.883089	0.8858	0.911588	0.879874
2F	0.883089	1	0.812432	0.895456	0.828155
3F	0.8858	0.812432	1	0.900144	0.816279
4F	0.911588	0.895456	0.900144	1	0.950615
5F	0.879874	0.828155	0.816279	0.950615	1

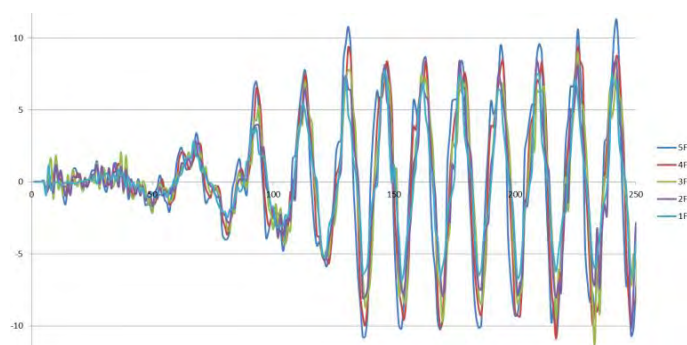
表(七) 事件七各樓層之間的相關係數

#### 八、事件八不同樓層(1F~5F)其相關性：

可以看出在水浴槽剛啟動之時，其轉速並未馬上到達200轉/分，可能是慢慢加速中。在1F加速度振幅平均大約為 $7.5\text{m/s}^2$ 左右，5F加速度振幅平均大約為 $11\text{m/s}^2$ ，有越高樓層，其波形有放大之效果，且其加速度振幅有偏向負值之趨勢。在震盪餘波中也發現，1F回到背景值大約需為3s左右，5F回到背景值卻需大約7s左右，有越高樓層，其震盪餘波有拉長之效果(圖三十六)。而在波形圖(圖三十七)與相關係數表(表八)中，也可看出在事件八中，各樓層間的相關係數皆為很高度相關。



圖(三十六) 事件八各樓層之波形，其X軸數值為3500資料點(70s)，Y軸數值為資料點加速度值( $\text{m/s}^2$ )。  
\* 淺藍色為1F之加速度波形、紫色為2F之加速度波形、綠色為3F之加速度波形、紅色為4F之加速度波形、深藍色為5F之加速度波形。



圖(三十七) 上圖X軸數值前250資料點(5s)

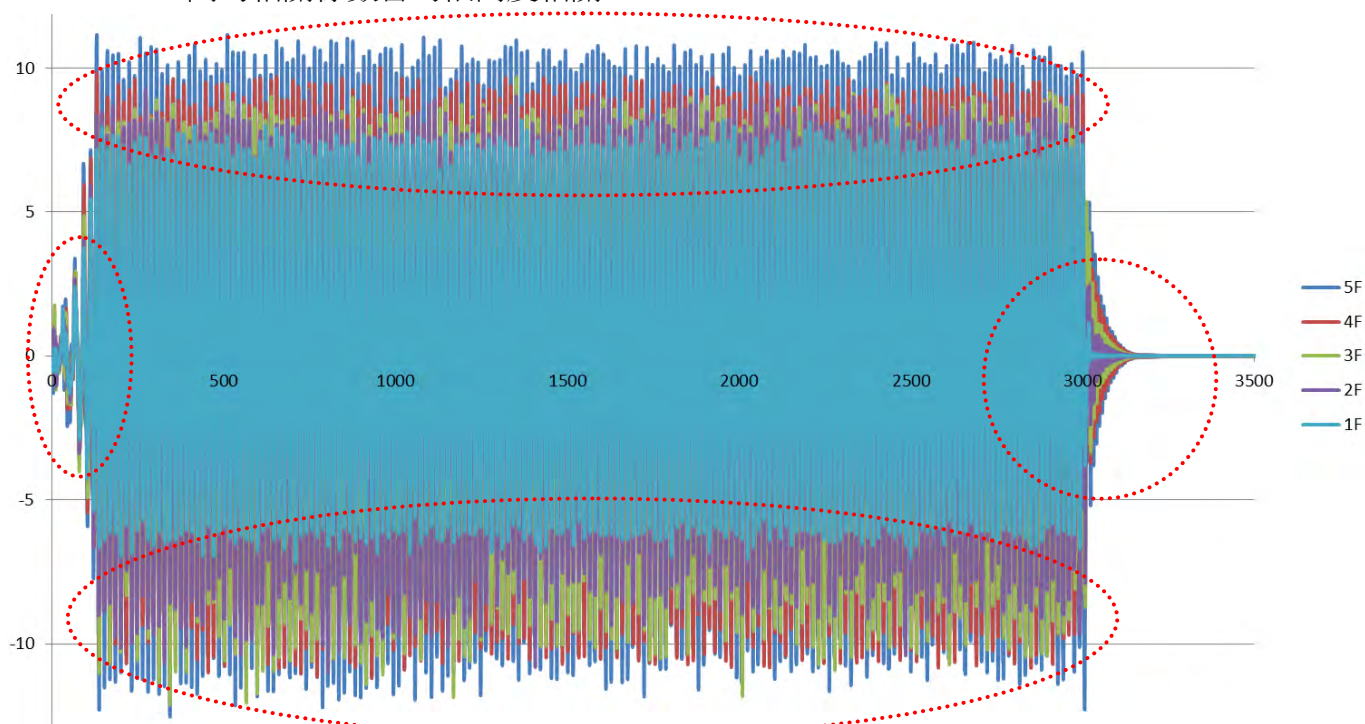
	1F	2F	3F	4F	5F
1F	1	0.913221	0.882368	0.92793	0.88959
2F	0.913221	1	0.926594	0.900896	0.842507
3F	0.882368	0.926594	1	0.894427	0.858758
4F	0.92793	0.900896	0.894427	1	0.950339
5F	0.88959	0.842507	0.858758	0.950339	1

表(八) 事件八各樓層之間的相關係數

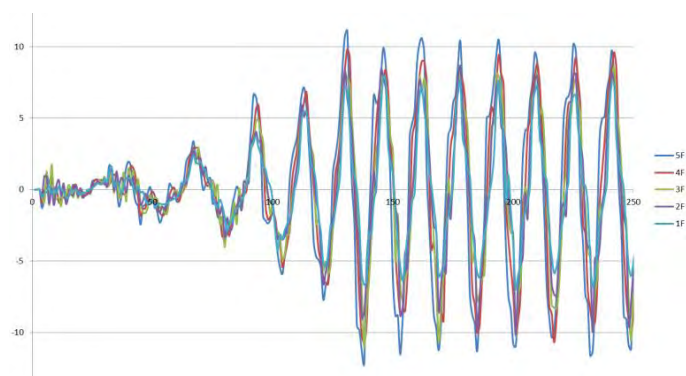


### 九、事件九不同樓層(1F~5F)其相關性：

可以看出在水浴槽剛啟動之時，其轉速並未馬上到達200轉/分，可能是慢慢加速中。在1F加速度振幅平均大約為 $7\text{m/s}^2$ 左右，5F加速度振幅平均大約為 $11\text{m/s}^2$ ，有越高樓層，其波形有放大之效果，且其加速度振幅有偏向負值之趨勢。在震盪餘波中也發現，1F回到背景值大約需為3s左右，5F回到背景值卻需大約6s左右，有越高樓層，其震盪餘波有拉長之效果(圖三十八)。而在波形圖(圖三十九)與相關係數表(表九)中，也可看出在事件九中，各樓層間的相關係數皆為很高度相關。



圖(三十八) 事件九各樓層之波形，其X軸數值為3500資料點(70s)，Y軸數值為資料點加速度值( $\text{m/s}^2$ )。  
\* 淺藍色為1F之加速度波形、紫色為2F之加速度波形、綠色為3F之加速度波形、紅色為4F之加速度波形、深藍色為5F之加速度波形。



圖(三十九) 上圖X軸數值前250資料點(5s)

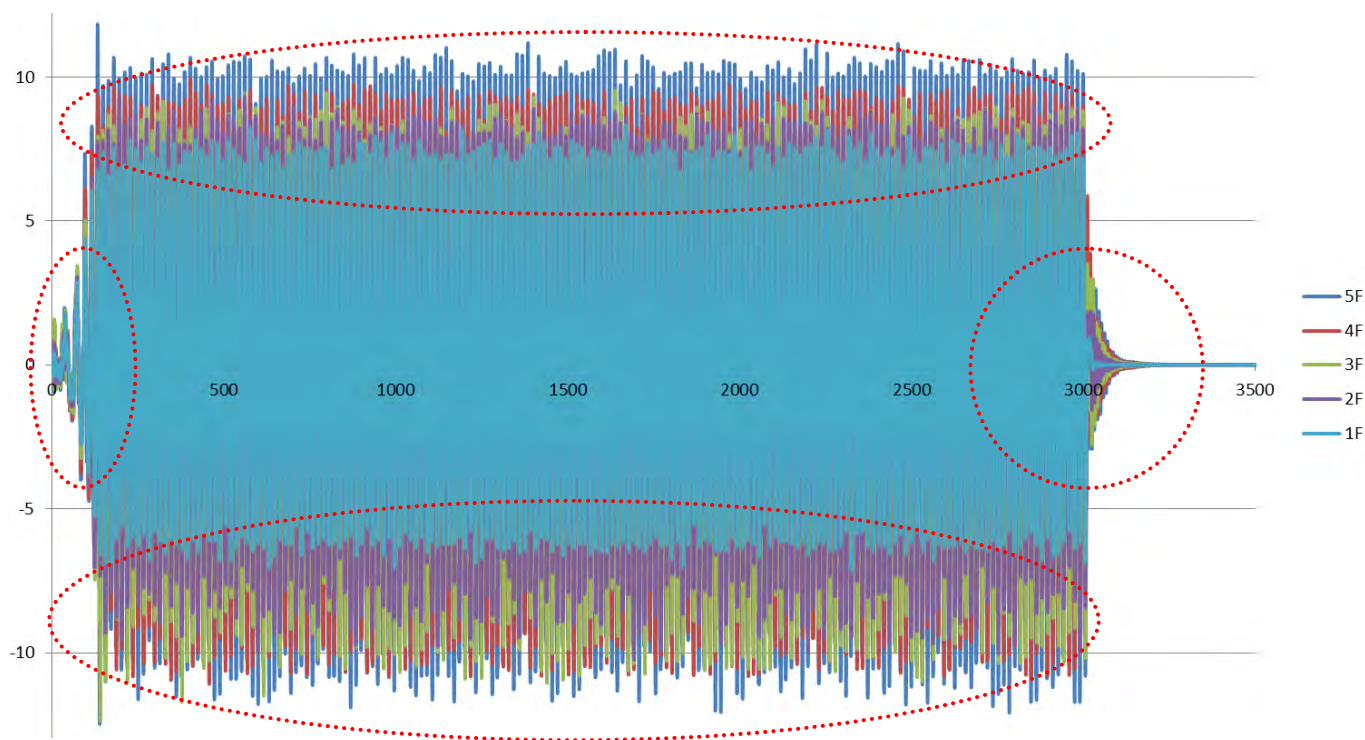
	1F	2F	3F	4F	5F
1F	1	0.958646	0.948879	0.916739	0.905693
2F	0.958646	1	0.96385	0.937387	0.922152
3F	0.948879	0.96385	1	0.956517	0.954267
4F	0.916739	0.937387	0.956517	1	0.984828
5F	0.905693	0.922152	0.954267	0.984828	1

表(九) 事件九各樓層之間的相關係數

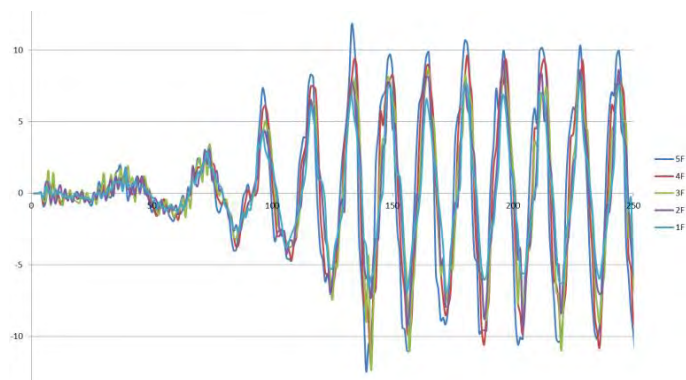


#### 十、事件十不同樓層(1F~5F)其相關性：

可以看出在水浴槽剛啟動之時，其轉速並未馬上到達200轉/分，可能是慢慢加速中。在1F加速度振幅平均大約為 $7\text{m/s}^2$ 左右，5F加速度振幅平均大約為 $10.5\text{m/s}^2$ ，有越高樓層，其波形有放大之效果，且其加速度振幅有偏向負值之趨勢。在震盪餘波中也發現，1F回到背景值大約需為2s左右，5F回到背景值卻需大約5s左右，有越高樓層，其震盪餘波有拉長之效果(圖四十)。而在波形圖(圖四十一)與相關係數表(表十)中，也可看出在事件十中，各樓層間的相關係數皆為很高度相關。



圖(四十) 事件十各樓層之波形，其X軸數值為3500資料點(70s)，Y軸數值為資料點加速度值( $\text{m/s}^2$ )。  
\* 淺藍色為1F之加速度波形、紫色為2F之加速度波形、綠色為3F之加速度波形、紅色為4F之加速度波形、深藍色為5F之加速度波形。



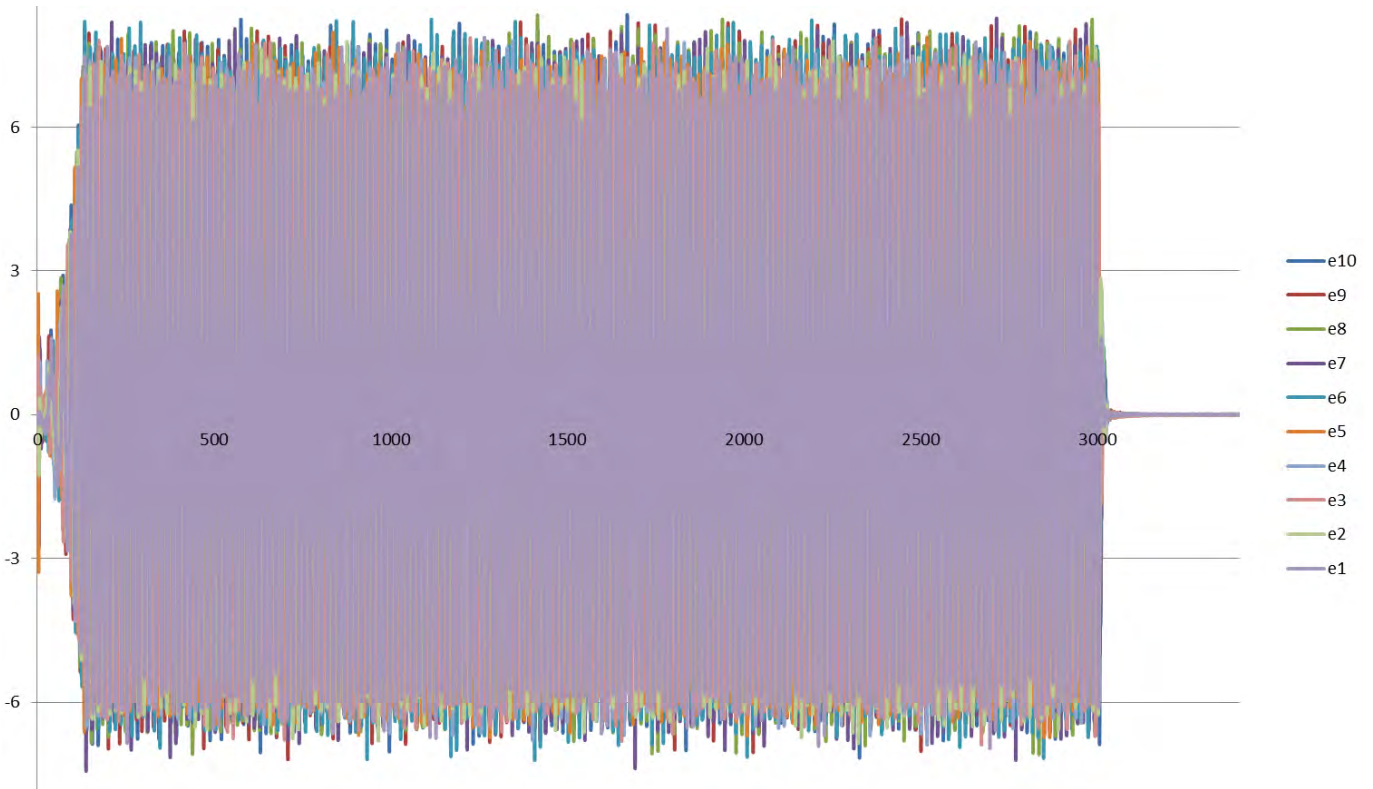
圖(四十一) 上圖X軸數值前250資料點(5s)

	1F	2F	3F	4F	5F
1F	1	0.965276	0.950638	0.925755	0.9134
2F	0.965276	1	0.965147	0.938037	0.92638
3F	0.950638	0.965147	1	0.962227	0.958264
4F	0.925755	0.938037	0.962227	1	0.984889
5F	0.9134	0.92638	0.958264	0.984889	1

表(十) 事件十各樓層之間的相關係數

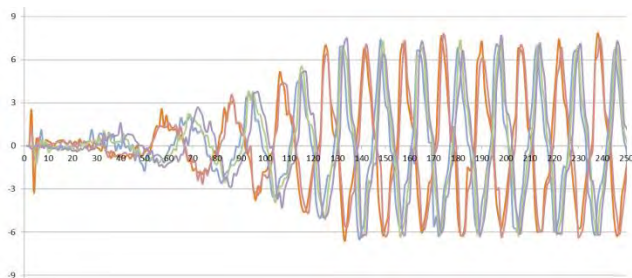
#### 十一、1F不同事件(事件一至事件十)其相關係數：

由圖可看出在一樓各事件中其波形振幅都相當一致，沒有太大的放大效果(圖四十二、四十三、四十四)。由表(十一)可看出破壞前各事件(事件一至五)都有很高度相關，且在破壞後各事件(事件六至十)都有很高度或高度相關，但在破壞前各事件與破壞後各事件相比較時，可明顯看出為很低度相關。\* 只比相關性，無關正負相關，正負相關差異在於初達波是上動還是下動開始。

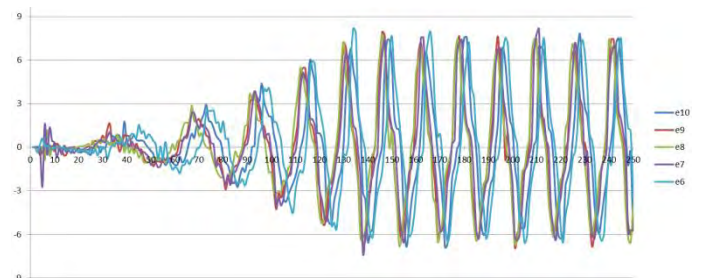


圖(四十二) 1F各事件之波形，其X軸數值為3400資料點(68s)，Y軸數值為資料點加速度值( $m/s^2$ )。

\* 粉紫色為事件一之加速度波形、淺綠色為事件二之加速度波形、粉紅色為事件三之加速度波形、粉藍色為事件四之加速度波形、澄色為事件五之加速度波形、淺藍色為事件六之加速度波形、紫色為事件七之加速度波形、綠色為事件八之加速度波形、紅色為事件九之加速度波形、深藍色為事件十之加速度波形。



圖(四十三) 上圖事件一至五前250資料點(5s)



圖(四十四) 上圖事件六至十前250資料點(5s)

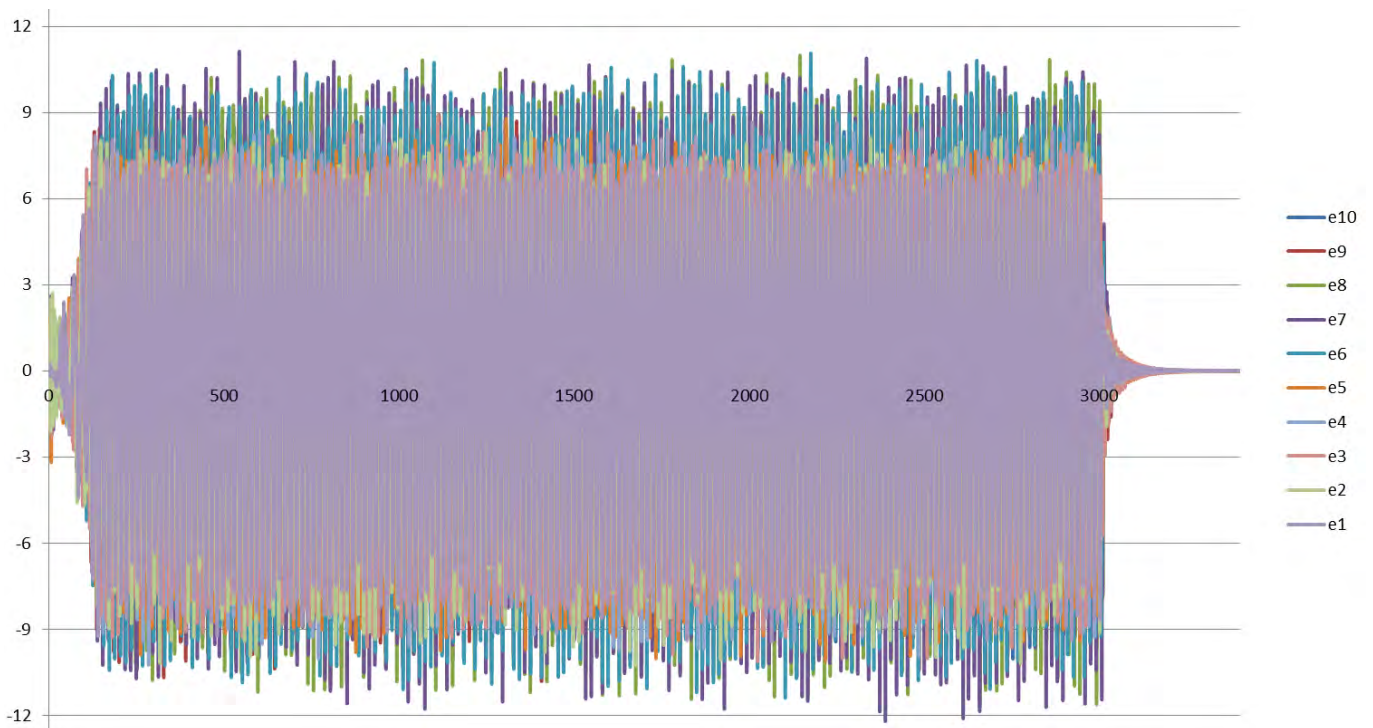
	第一事件	第二事件	第三事件	第四事件	第五事件	第六事件	第七事件	第八事件	第九事件	第十事件
第一事件	1	0.954672	-0.95626	0.904468	-0.96054	-0.01655	-0.07207	-0.07298	-0.06965	-0.03623
第二事件	0.954672	1	-0.91832	0.968183	-0.95864	-0.00807	-0.05948	-0.0643	-0.05945	-0.02416
第三事件	-0.95626	-0.91832	1	-0.85386	0.968067	0.023526	0.078236	0.075616	0.073446	0.045118
第四事件	0.904468	0.968183	-0.85386	1	-0.91389	-0.00026	-0.04578	-0.05551	-0.04856	-0.01201
第五事件	-0.96054	-0.95864	0.968067	-0.91389	1	0.01615	0.069818	0.069048	0.065816	0.033096
第六事件	-0.01655	-0.00807	0.023526	-0.00026	0.01615	1	0.759246	0.621658	0.666768	0.920045
第七事件	-0.07207	-0.05948	0.078236	-0.04578	0.069818	0.759246	1	0.918619	0.938779	0.854708
第八事件	-0.07298	-0.0643	0.075616	-0.05551	0.069048	0.621658	0.918619	1	0.987034	0.791204
第九事件	-0.06965	-0.05945	0.073446	-0.04856	0.065816	0.666768	0.938779	0.987034	1	0.829386
第十事件	-0.03623	-0.02416	0.045118	-0.01201	0.033096	0.920045	0.854708	0.791204	0.829386	1
		>0.8很高度相關			0.8>X>0.6高度相關			<0.2很低度相關		

表(十一) 1F各事件之間的相關係數 (事件一至事件五為破壞前，事件六至事件十為破壞後)



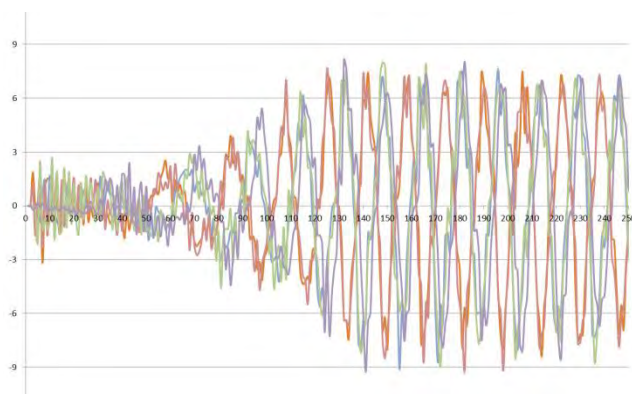
## 十二、2F不同事件(事件一至事件十)其相關係數：

由圖可看出在二樓破壞前各事件(事件一至五)其波形振幅都相當一致(圖四十六)，且在破壞後各事件(事件六至十)其波形振幅也都相當一致(圖四十七)，但在破壞前事件與破壞後事件相比較時，可發現破壞後之波形振幅有明顯的放大(圖四十五)。由表(十二)可看出破壞前各事件(事件一至五)都有很高度相關，且在破壞後各事件(事件六至十)都有很高度或高度相關，但在破壞前各事件與破壞後各事件相比較時，可明顯看出為很低度相關。  
\* 只比相關性，無關正負相關，正負相關差異在於初達波是上動還是下動開始。

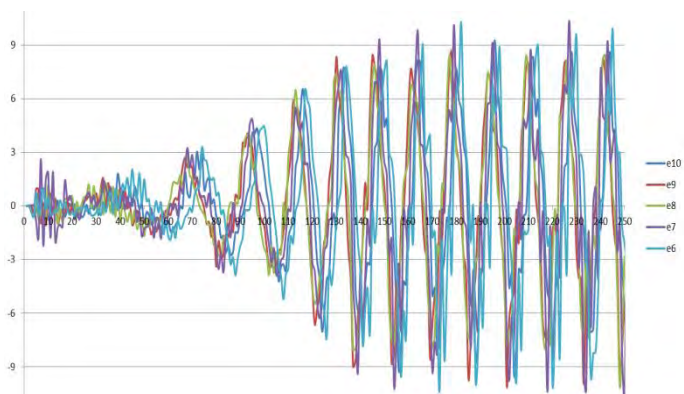


圖(四十五) 2F各事件之波形，其X軸數值為3400資料點(68s)，Y軸數值為資料點加速度值( $m/s^2$ )。

\* 粉紫色為事件一之加速度波形、淺綠色為事件二之加速度波形、粉紅色為事件三之加速度波形、粉藍色為事件四之加速度波形、澄色為事件五之加速度波形、淺藍色為事件六之加速度波形、紫色為事件七之加速度波形、綠色為事件八之加速度波形、紅色為事件九之加速度波形、深藍色為事件十之加速度波形。



圖(四十六) 上圖事件一至五前250資料點(5s)



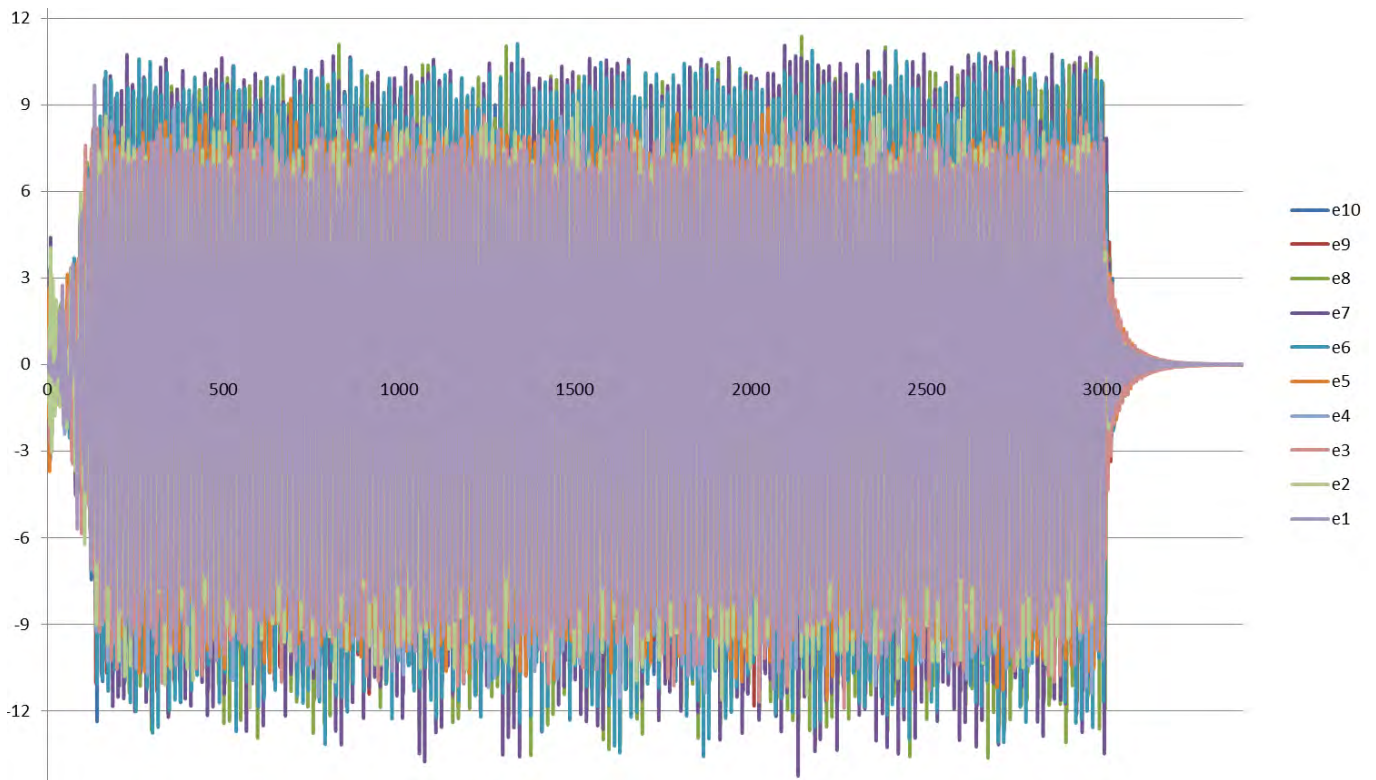
圖(四十七) 上圖事件六至十前250資料點(5s)

	第一事件	第二事件	第三事件	第四事件	第五事件	第六事件	第七事件	第八事件	第九事件	第十事件
第一事件	1	0.82589	-0.91353	0.891358	-0.94529	-0.01553	-0.05261	-0.05747	-0.07787	-0.03997
第二事件	0.82589	1	-0.84471	0.92415	-0.81639	-0.00286	-0.01463	-0.03825	-0.04726	-0.01094
第三事件	-0.91353	-0.84471	1	-0.86663	0.950673	0.017308	0.044194	0.056947	0.071734	0.036614
第四事件	0.891358	0.92415	-0.86663	1	-0.86465	0.001714	-0.02042	-0.04693	-0.05466	-0.01344
第五事件	-0.94529	-0.81639	0.950673	-0.86465	1	0.014837	0.049673	0.053542	0.073795	0.037962
第六事件	-0.01553	-0.00286	0.017308	0.001714	0.014837	1	0.694865	0.566655	0.623608	0.85012
第七事件	-0.05261	-0.01463	0.044194	-0.02042	0.049673	0.694865	1	0.824411	0.847549	0.847733
第八事件	-0.05747	-0.03825	0.056947	-0.04693	0.053542	0.566655	0.824411	1	0.889902	0.761307
第九事件	-0.07787	-0.04726	0.071734	-0.05466	0.073795	0.623608	0.847549	0.889902	1	0.800576
第十事件	-0.03997	-0.01094	0.036614	-0.01344	0.037962	0.85012	0.847733	0.761307	0.800576	1
		>0.8很高度相關			0.8>X>0.6高度相關		<0.2很低度相關			

表(十二) 2F各事件之間的相關係數 (事件一至事件五為破壞前，事件六至事件十為破壞後)

### 十三、3F不同事件(事件一至事件十)其相關係數：

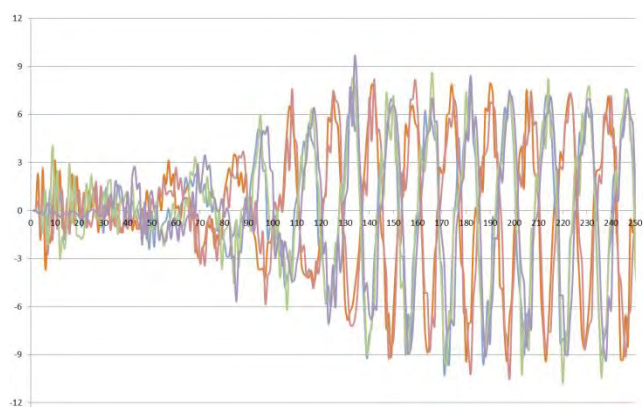
由圖可看出在三樓破壞前各事件(事件一至五)其波形振幅都相當一致(圖四十九)，且在破壞後各事件(事件六至十)其波形振幅也都相當一致(圖五十)，但在破壞前事件與破壞後事件相比較時，可發現破壞後之波形振幅有明顯的放大(圖四十八)。由表(十三)可看出破壞前各事件(事件一至五)幾乎都有很高度相關，只有事件四與五是高度相關；且在破壞後各事件(事件六至十)幾乎都有很高度或高度相關，只有事件六與八是中度相關，但在破壞前各事件與破壞後各事件相比較時，可明顯看出為很低度相關。\*只比相關性，無關正負相關，正負相關差異在於初達波是上動還是下動開始。



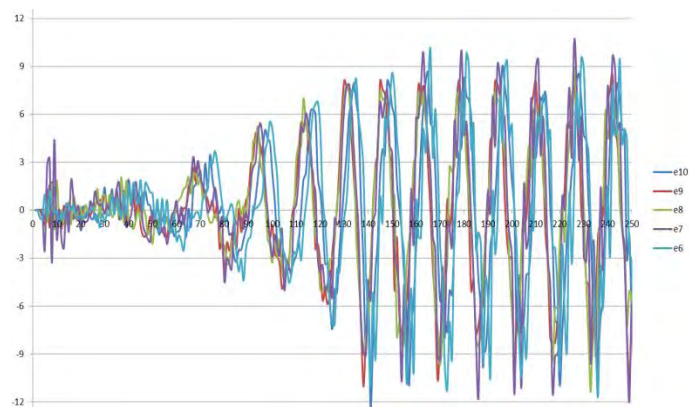
圖(四十八) 3F各事件之波形，其X軸數值為3400資料點(68s)，Y軸數值為資料點加速度值( $m/s^2$ )。

\*粉紫色為事件一之加速度波形、淺綠色為事件二之加速度波形、粉紅色為事件三之加速度波形、粉藍色為事件四之加速度波形、澄色為事件五之加速度波形、淺藍色為事件六之加速度波形、紫色為事件七之加速度波形、綠色為事件八之加速度波形、紅色為事件九之加速度波形、深藍色為事件十之加速度波形。





圖(四十九) 上圖事件一至五前250資料點(5s)



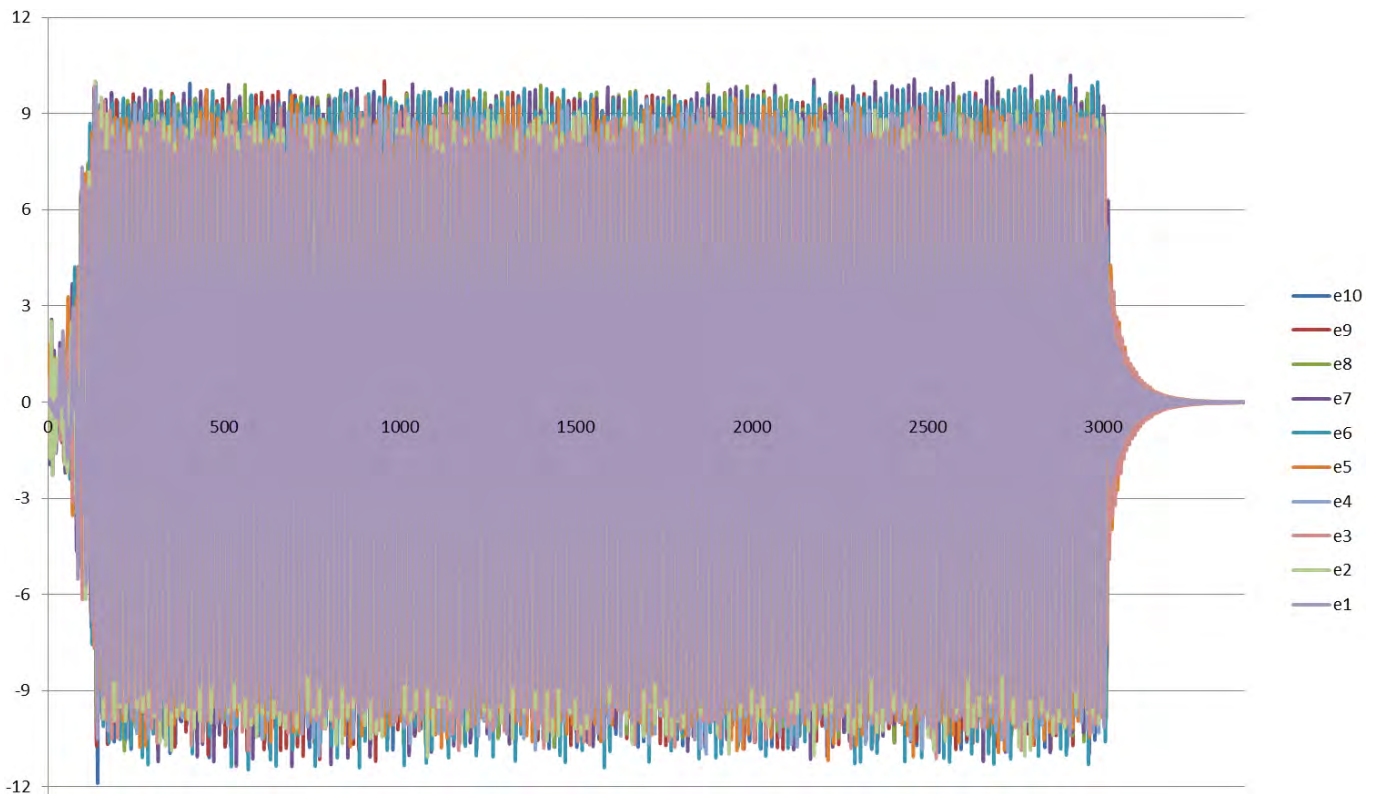
圖(五十) 上圖事件六至十前250資料點(5s)

	第一事件	第二事件	第三事件	第四事件	第五事件	第六事件	第七事件	第八事件	第九事件	第十事件
第一事件	1	0.910402	-0.85845	0.930987	-0.85237	-0.01467	-0.05859	-0.05685	-0.06225	-0.03203
第二事件	0.910402	1	-0.80623	0.911944	-0.81603	-0.00599	-0.03708	-0.04144	-0.04659	-0.01553
第三事件	-0.85845	-0.80623	1	-0.80071	0.922216	0.018377	0.058819	0.059051	0.063008	0.034542
第四事件	0.930987	0.911944	-0.80071	1	-0.79937	0.005373	-0.04245	-0.05737	-0.05405	-0.0171
第五事件	-0.85237	-0.81603	0.922216	-0.79937	1	0.007852	0.042033	0.041529	0.047383	0.021717
第六事件	-0.01467	-0.00599	0.018377	0.005373	0.007852	1	0.694894	0.57385	0.653092	0.835848
第七事件	-0.05859	-0.03708	0.058819	-0.04245	0.042033	0.694894	1	0.747605	0.881255	0.811592
第八事件	-0.05685	-0.04144	0.059051	-0.05737	0.041529	0.57385	0.747605	1	0.87904	0.776597
第九事件	-0.06225	-0.04659	0.063008	-0.05405	0.047383	0.653092	0.881255	0.87904	1	0.822956
第十事件	-0.03203	-0.01553	0.034542	-0.0171	0.021717	0.835848	0.811592	0.776597	0.822956	1
		>0.8很高度相關			0.8>X>0.6高度相關			<0.2很低度相關		

表(十三) 3F各事件之間的相關係數 (事件一至事件五為破壞前，事件六至事件十為破壞後)

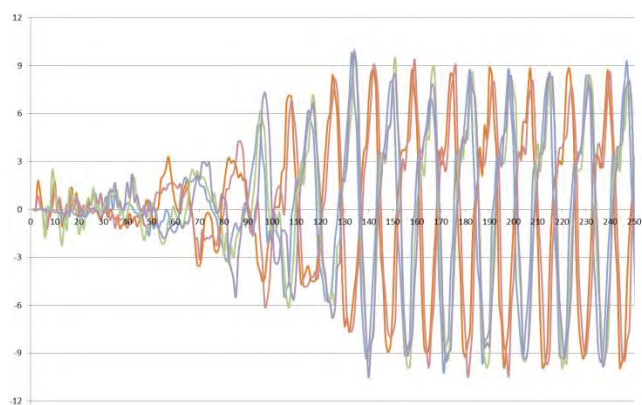
#### 十四、4F不同事件(事件一至事件十)其相關係數：

由圖可看出在四樓破壞前各事件(事件一至五)其波形振幅都相當一致(圖五十二)，且在破壞後各事件(事件六至十)其波形振幅也都相當一致(圖五十三)，但在破壞前事件與破壞後事件相比較時，可發現破壞後之波形振幅有稍微放大(圖五十一)。由表(十四)可看出破壞前各事件(事件一至五)都有很高度或高度相關，且在破壞後各事件(事件六至十)都有很高度或高度相關，但在破壞前各事件與破壞後各事件相比較時，可明顯看出為很低度相關。\* 只比相關性，無關正負相關，正負相關差異在於初達波是上動還是下動開始。

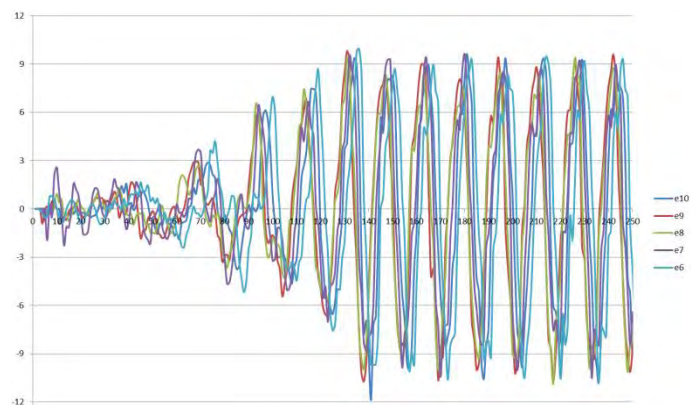


圖(五十一) 4F各事件之波形，其X軸數值為3400資料點(68s)，Y軸數值為資料點加速度值( $m/s^2$ )。

\* 粉紫色為事件一之加速度波形、淺綠色為事件二之加速度波形、粉紅色為事件三之加速度波形、粉藍色為事件四之加速度波形、澄色為事件五之加速度波形、淺藍色為事件六之加速度波形、紫色為事件七之加速度波形、綠色為事件八之加速度波形、紅色為事件九之加速度波形、深藍色為事件十之加速度波形。



圖(五十二) 上圖事件一至五前250資料點(5s)



圖(五十三) 上圖事件六至十前250資料點(5s)

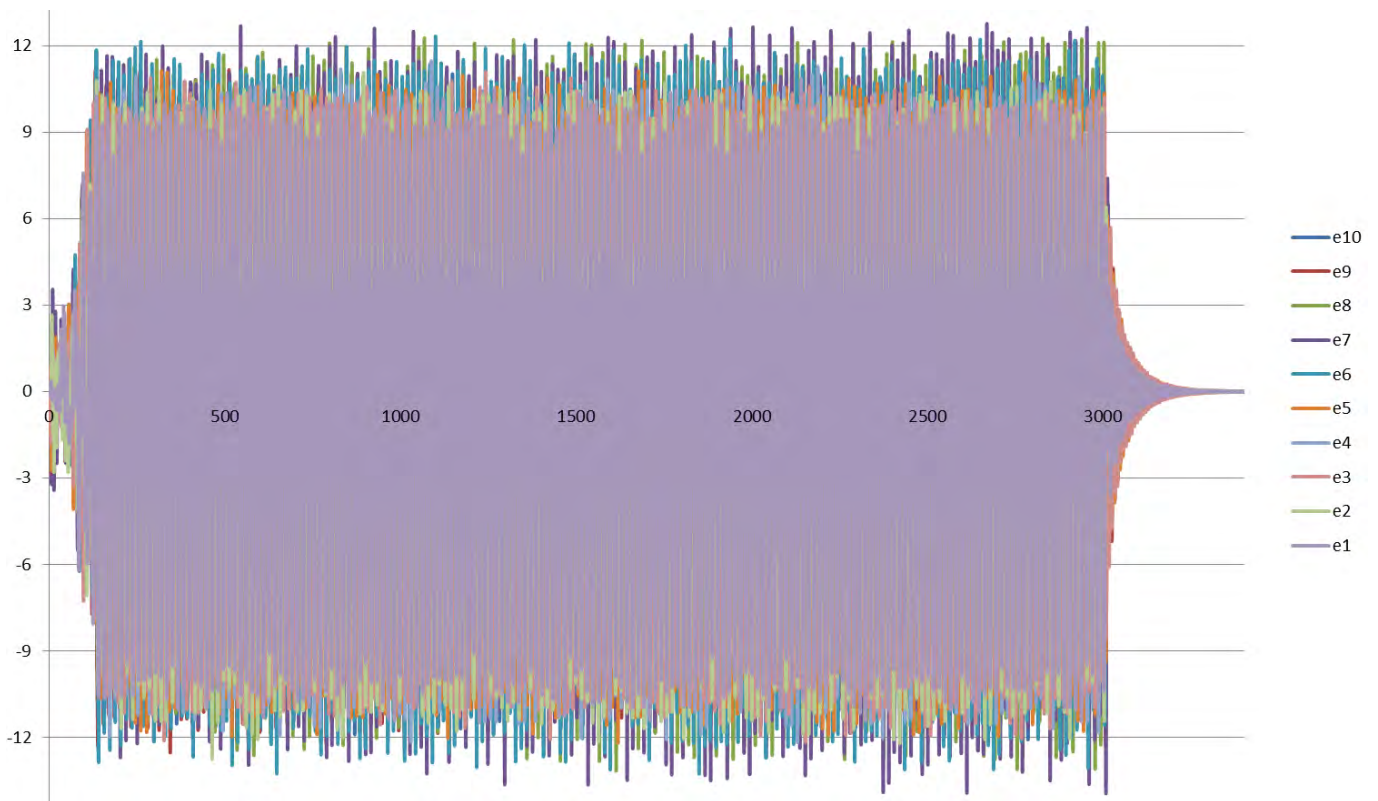
	第一事件	第二事件	第三事件	第四事件	第五事件	第六事件	第七事件	第八事件	第九事件	第十事件
第一事件	1	0.96095	-0.79358	0.938459	-0.77372	-0.01212	-0.05191	-0.05339	-0.06994	-0.03306
第二事件	0.96095	1	-0.74893	0.95245	-0.72463	-0.00741	-0.05297	-0.05726	-0.07076	-0.03247
第三事件	-0.79358	-0.74893	1	-0.73271	0.926559	0.01691	0.055908	0.05598	0.072005	0.041789
第四事件	0.938459	0.95245	-0.73271	1	-0.73103	0.000373	-0.03759	-0.04587	-0.05928	-0.01721
第五事件	-0.77372	-0.72463	0.926559	-0.73103	1	0.008311	0.034852	0.037406	0.058616	0.026494
第六事件	-0.01212	-0.00741	0.01691	0.000373	0.008311	1	0.800238	0.636394	0.633862	0.916841
第七事件	-0.05191	-0.05297	0.055908	-0.03759	0.034852	0.800238	1	0.940512	0.919362	0.935743
第八事件	-0.05339	-0.05726	0.05598	-0.04587	0.037406	0.636394	0.940512	1	0.943813	0.829073
第九事件	-0.06994	-0.07076	0.072005	-0.05928	0.058616	0.633862	0.919362	0.943813	1	0.832998
第十事件	-0.03306	-0.03247	0.041789	-0.01721	0.026494	0.916841	0.935743	0.829073	0.832998	1
		>0.8很高度相關			0.8>X>0.6高度相關			<0.2很低度相關		

表(十四) 4F各事件之間的相關係數 (事件一至事件五為破壞前，事件六至事件十為破壞後)



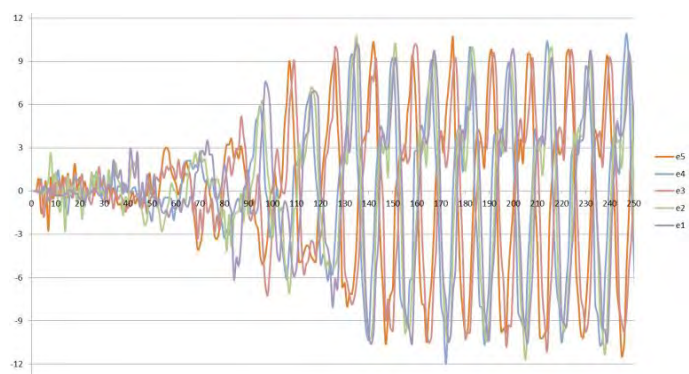
十五、5F不同事件(事件一至事件十)其相關係數：

由圖可看出在五樓破壞前各事件(事件一至五)其波形振幅都相當一致(圖五十五)，且在破壞後各事件(事件六至十)其波形振幅也都相當一致(圖五十六)，但在破壞前事件與破壞後事件相比較時，可發現破壞後之波形振幅有稍微放大(圖五十四)。由表(十五)可看出破壞前各事件(事件一至五)都有很高度或高度相關，且在破壞後各事件(事件六至十)幾乎都有很高度或高度相關，只有事件六與八是中度相關，但在破壞前各事件與破壞後各事件相比較時，可明顯看出為很低度相關。\* 只比相關性，無關正負相關，正負相關差異在於初達波是上動還是下動開始。

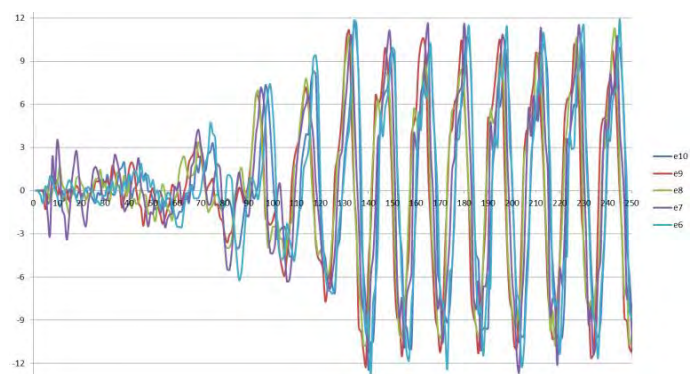


圖(五十四) 5F各事件之波形，其X軸數值為3400資料點(68s)，Y軸數值為資料點加速度值( $m/s^2$ )。

\* 粉紫色為事件一之加速度波形、淺綠色為事件二之加速度波形、粉紅色為事件三之加速度波形、粉藍色為事件四之加速度波形、澄色為事件五之加速度波形、淺藍色為事件六之加速度波形、紫色為事件七之加速度波形、綠色為事件八之加速度波形、紅色為事件九之加速度波形、深藍色為事件十之加速度波形。



圖(五十五) 上圖事件一至五前250資料點(5s)



圖(五十六) 上圖事件六至十前250資料點(5s)

	第一事件	第二事件	第三事件	第四事件	第五事件	第六事件	第七事件	第八事件	第九事件	第十事件
第一事件	1	0.956633	-0.71912	0.893647	-0.65858	-0.02167	-0.05637	-0.06634	-0.07528	-0.04111
第二事件	0.956633	1	-0.66748	0.926829	-0.64384	-0.01115	-0.04465	-0.05723	-0.06416	-0.03045
第三事件	-0.71912	-0.66748	1	-0.65294	0.870194	0.023791	0.050839	0.056031	0.069489	0.039544
第四事件	0.893647	0.926829	-0.65294	1	-0.6479	0.004732	-0.02838	-0.0472	-0.05181	-0.01525
第五事件	-0.65858	-0.64384	0.870194	-0.6479	1	0.015262	0.023409	0.028225	0.0448	0.017738
第六事件	-0.02167	-0.01115	0.023791	0.004732	0.015262	1	0.737508	0.554685	0.672278	0.798796
第七事件	-0.05637	-0.04465	0.050839	-0.02838	0.023409	0.737508	1	0.913684	0.913863	0.927915
第八事件	-0.06634	-0.05723	0.056031	-0.0472	0.028225	0.554685	0.913684	1	0.912284	0.820287
第九事件	-0.07528	-0.06416	0.069489	-0.05181	0.0448	0.672278	0.913863	0.912284	1	0.817533
第十事件	-0.04111	-0.03045	0.039544	-0.01525	0.017738	0.798796	0.927915	0.820287	0.817533	1
		>0.8很高度相關			0.8>X>0.6高度相關			<0.2很低度相關		

表(十五) 5F各事件之間的相關係數 (事件一至事件五為破壞前，事件六至事件十為破壞後)

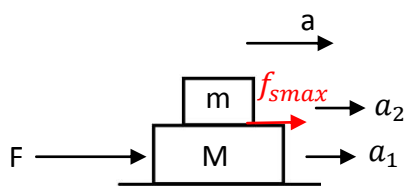
## 陸、討論

由以上實驗結果，我們看到各事件其各樓層波形振幅，皆有越高樓層愈大，也就是說高樓層其震度比低樓層來的大，有震度放大的效應，像圖(二十二)中，雖在同一事件，但卻有越高樓層其震度放大之效應，就連在尾波處也有需較長的回復時間，且不只有在事件一，在事件二(圖二十四)、事件三(圖二十六)、事件四(圖二十八)、事件五(圖三十)、事件六(圖三十二)、事件七(圖三十四)、事件八(圖三十六)、事件九(圖三十八)、事件十(圖四十)皆有相同明顯波形振幅放大的效應；在前人的研究中也有如此的效應，Biggs(1971)提出可由地表觀測值與物品所在位置之結構觀測值，兩者值計算出物品在地震所得之放大係數。姚昭智等(1998)則曾根據多筆美國加州大地震下建築物的震動資料，指出地表加速度傳到各樓層時會有放大的現象，並據此論點，因此，在國內也做了相關研究發現，建築物二樓之樓高放大倍率平均值約為 1.42，標準差約為 0.47；頂樓之樓高放大倍率，平均值約為 2.49，標準差約為 0.89。張志玲(2013)也提過在探討大樓高層震度放大因子時發現，震度放大因子會隨樓高及樓層數的增加而增加。不過，建築結構系統特性、局部場址效應、自然頻率（共振效應）等也是重要的影響因素，尤其是共振效應須特別注意。關於共振效應這個因素，我們在這一次實驗中恰巧有觀察到此效應，由下一段來論述。

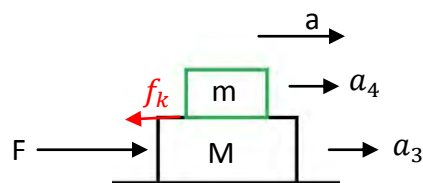
我們發現在二、三樓結構破壞後，其波形振幅有明顯之放大效果(圖四十五、四十八)，經過討論之後，我們推測在此因為斷裂面在三樓面，所以我們也可以將一至三樓面看作為一獨立系統。因為我們可以假設說  $M$  為一至三樓面之質量， $m$  為三樓面以上(四、五樓)之質量，而質量為  $M+m$  的物體，如果受  $F$  之外力， $M$  所受的加速度為  $a_1$ ， $m$  所受的加速度為  $a_2$ ，如果沒有讓  $m$  的受力超過其的最大靜摩擦力  $f_{smax}$  (圖五十七)，如同模擬建築物還未拆除小螺絲，那麼  $M$  的受力方程式可以寫為  $F-f = Ma_1$ ，其中  $f \leq f_{smax}$ ， $m$  的受力方程式為  $f = ma_2$ ，其中  $f \leq f_{smax}$ ，力總方程式為  $F = Ma_1 + ma_2$ ；但如果  $m$  的受力超過其  $f_{smax}$  而變成動摩擦力  $f_k$  (圖五十八)，就如同拆除模擬建築物三樓面中的二根小螺絲，但仍有另外二根小螺絲拉住，那麼  $M$  的受力方程式就會變成  $F-f_k = Ma_3$ ， $m$  的受力方程式為  $f_k = ma_4$ ，力總方程式為  $F = Ma_3 + ma_4$ 。

由上述可知，因  $f_{smax}$  必定大於  $f_k$ ，所以  $M$  在建築物中的小螺絲拔除之後，所受的力變大了，在  $M$  質量未變的情況下， $a_3$  也必定會大於  $a_1$ ，所以在(圖四十五、四十八)中可以很明顯看出波形振幅在破壞後有放大的效應，因為加速度變大了。而  $m$  則因  $f_{smax}$  必定大於  $f_k$ ，所以可以知道在建築物中的小螺絲拔除之後，加速度  $a$  改變了，由 1F 表(十一)、2F 表(十二)、3F 表(十三)、4F 表(十四)、5F 表(十五)中都可以看出其在結構破壞前與破壞後的相關係數皆為很低度相關，也就是說四、五樓本身擾動的力，在破壞後因為受的阻力變小( $f_{smax} > f_k$ )，所以擾動的度變大，因此四、五樓所受外力的變因很多，因沒事先設計此變因，所以難進一步討論。





圖(五十七) 結構未破壞前



圖(五十八) 結構破壞之後

因為震源傳播至高樓層的路徑被改變了，雖有膠帶黏住，但膠帶所提供的結構強度，並沒有原本小螺絲所提供的結構強度來的強，因此能量如果想向上傳遞，就沒那麼容易，那能量會集中在一至三樓層面，所以四、五樓所接收的能量必定沒有一至三樓層面所接受的能量來的大。我們可以看出二、三樓波形振幅有被放大的效應，而四、五樓層則因保持原本慣性，所以波形振幅並未有明顯放大，一樓則因為上有建築物的重量，下連接地基，所以波形振幅也並未有明顯放大。

甚至我們也想說，可能因每一個結構系統都它自己的自然頻率，而今天樓層變低，由經驗法則如：921 地震中，倒塌的大樓除斷層帶附近為低矮的房子外，受損較嚴重的建築物以 10 層樓高左右的最明顯，所以低樓層怕高頻率震動，高樓層怕低頻率震動，而一至三樓層的自然頻率可能剛好與本實驗中水浴槽振動頻率相同，而發生共振；相對來說四、五樓則因振動頻率並沒有跟水浴槽震動頻率相似，所以它們波形振幅並沒有明顯被放大之效應；就好像美國的塔科馬海峽吊橋發生強迫共振而斷裂的原因相同，甚至就連臺北 101 大樓也是。風勢能使超高大樓不停擺動，發生共振。

而我們也從上實驗結果中表(十一)發現：在結構未破壞前各事件間的相關性很高，而破壞後各事件間的相關性也很高，但如果用破壞前與破壞後的事件互相比較時，皆顯示為很低度相關；且不只有 1F 表(十一)中有此結果，數據 2F 表(十二)、3F 表(十三)、4F 表(十四)、5F 表(十五)也都有此結果，此結果符合我們本身預期之結果，當介質改變，波的能量傳遞不均，就會造成波形的變動，導致前後比較相關性低，進而可知模擬建築物結構改變。因此，我們大膽推論如果發現前後事件波形改變，就有可能建築物結構已改變，需嚴密為大樓做檢測。也由此實驗發現，在破壞面以下之結構物波形振幅有放大之效應，是否能當日後檢測之重點部分，有待未來延伸實驗。

## 柒、結論

- 一、同一事件中，樓層越高，其波形振幅有被放大之效應，且高樓層加速度值回到背景值的時間，相對於低樓層來說需要較長時間，並且在各事件中各樓層間的相關係數幾乎是很高度相關。
- 二、由各樓層中破壞前與破壞後事件互相比較時，皆顯示為很低度相關，因而反向推論，當前後事件波形改變(相關性低)，就有可能建築物結構已改變。
- 三、是否能用各樓層破壞前與破壞後波形振幅有放大效應，來判斷破裂面所在位置，將是我們日後實驗之方向。

## 捌、未來展望

此次之實驗目的是希望能以輕便、便宜之儀器、簡單的測量方式，觀測建築物結構是否改變，雖本實驗為模擬建築物的狀態，但希望此方法未來有機會能用於真實的建築上，雖然地震波影響因素並非如此簡單，有震源效應、路徑效應與場址效應等因素的影響，我們大膽猜測是否能用重複地震序列來檢測大樓結構的變化，是我們期待之結果。

## 玖、參考資料

### 書籍類

- 一、陽王孝(主編)(2011)。數學2。新北市：全華。

### 期刊類

- 二、Biggs, J.M.(1971) Seismic Response Spectra for Equipment Design in Nuclear Power Plants, Dept. of Civil Engineering, MIT, USA.
- 三、姚昭智、吳健富(1998)。以強震資料檢討非結構物設計規範。中央氣象局地震技術報告彙編，22，37-46。
- 四、劉坤松、蔡義本(2007)。以921集集地震之建築物強震紀錄探討大樓高層震度的放大效應。建築學報，61，151-173。
- 五、陳卉瑄、Robert M. Nadeau、饒瑞鈞(2010)。重複地震與潛移斷層特性之關係。成大研發快訊，12(7)，3。
- 六、林忠彥、張俊彥、梁文宗、嚴漢偉、陳卉瑄(2012)。您的一小「部」，世界一大「部」：開啟地震科學新視野。地科搜查線，4，7-9。
- 七、張志玲(2013)。精準觀測。減輕震災科學發展，483，70-71。

### 網站

- 八、安全耐震的家 認識地震工程 (<http://w3.ncree.org/safehome/index.htm>)
- 九、捕震網(Quake Catcher Network) (<http://qcn.stanford.edu/>)
- 十、51屆科展作品集 (<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/51/high05.htm>)

## 【評語】 040501

研究主題非常切合台灣的實際需要，課題的鄉土性甚強，是防災的重要項目之一。該作品以簡單的儀器探討地震產生的振動對大樓的結構會產生的影響，研究的方法適切，獲得的結論也有意義與價值。可是這個作品沒有針對實際的建築特性做設計，模擬所用的材料太簡單，模擬的條件也不足，仍有許多改進的空間。

1. 善用簡單的結構及器材進行震動模擬及觀測，可簡化實際狀況下的複雜變因，但也需考量接近真實建築的修正方式，進一步模擬以提高應用性。
2. 選題有實用意義。實驗本身也不錯，但因為實驗器材之限無法將要研究的現象模擬到完整(僅針對某單頻，以及某一方面的施力做出實驗結果)。有持續深入的潛力。