



農業部農村發展及水土保持署  
Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA

## 減災監測組seminar專題討論分享

# 邊緣運算AIOT應用於崩塌區坡面變動監測之研究

中興大學土木工程系 陳毅輝 助理教授 報告

113年12月



## 動機與目的

- ❑ **崩塌地二次致災風險之即時監測**且以**非接觸式地表變位量監測**是目前興新的研究領域，本計畫運用人工智慧電腦視覺技術之影像辨識功能監測崩塌地坡面變位量，應用微電腦與數位相機之即時攝影，以經濟面或使用方便性之角度，配合**AIOT系統設計**，提供適合做**緊急防災應變與長期、即時的坡地安全監測**。
- ❑ 在邊坡監測中，利用新型電腦視覺裝置，應用此裝置於潛在崩塌地之變位量測，以監控崩塌地三維變位情形與坡地影像監控。電腦視覺裝置包括單鏡頭以及雙鏡頭相機與人工智慧電腦視覺之樹莓派設備，利用**樹莓派Raspberry Pi微電腦與Open CV視覺技術**建立影像中的規標之變位量。



## 動機與目的

- 本研究透過 **Raspberry Pi** 微電腦及 **HQ** 相機模組相，創新研發 **雙鏡頭光學測距與3D變位監測**。
- 運用 **Python** 程式語言撰寫程式，結合 **電腦視覺投影、立體視覺系統及OpenCV開放原始碼** 進行分析，利用立體相對原理的影像投影三角之關係立體改正計算求取距離及相對座標。
- 針對山坡地土砂災害的安全監測，研發最新微電腦系統與電腦視覺技術設備，符合 **即時性、簡易性、非接觸性** 監測之坡地監測裝備與系統。



## 室內試驗

- 室內單鏡頭定點觀測精度試驗
- 室內單鏡頭誤差試驗

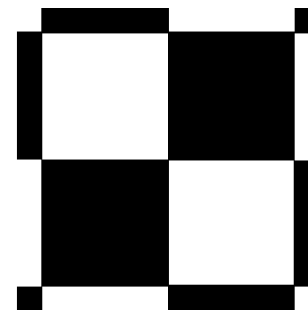
目的:探討本研究所自主研發的光學變位監測系統其精度以及誤差。



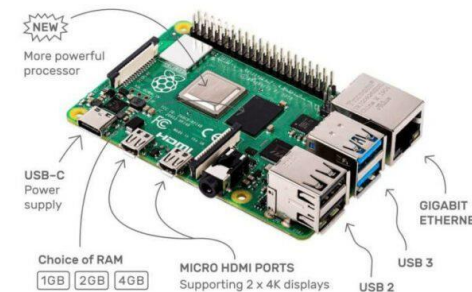
天文單筒式望遠鏡頭



HQ相機模組



規標



樹莓派4B



工業級可調焦鏡頭



STAGE手動微調平臺





## 室內試驗

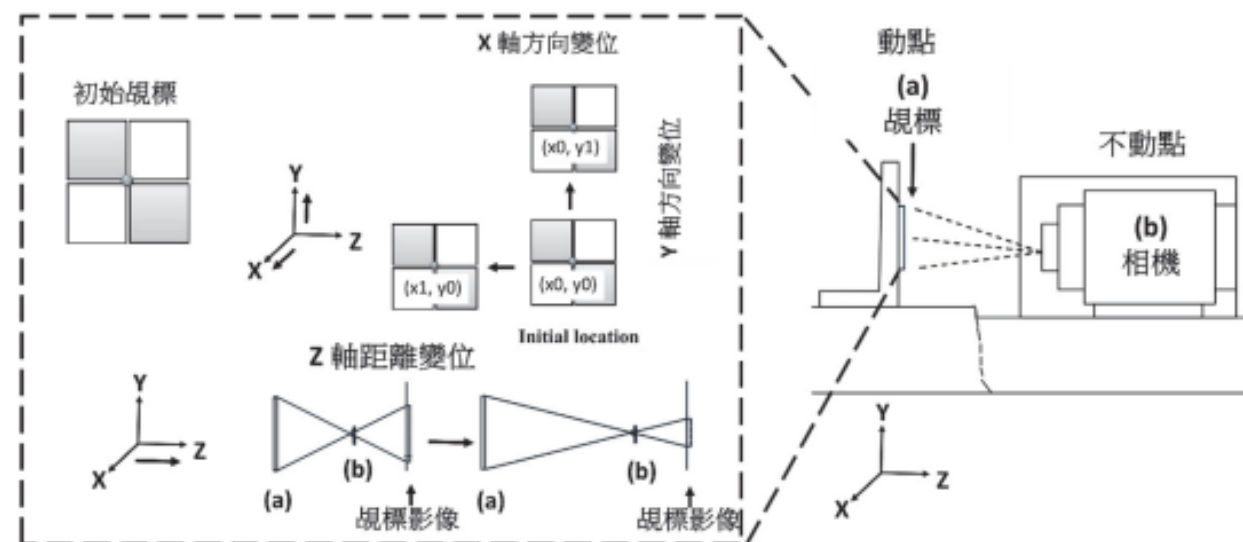
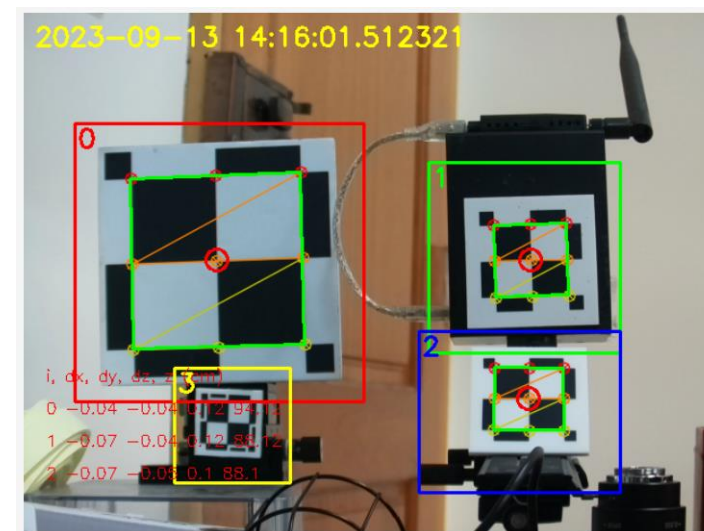
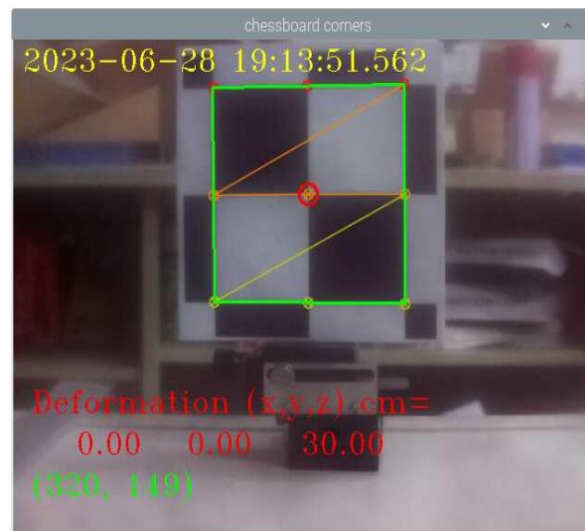
- 室內單鏡頭定點觀測精度試驗
- 室內單鏡頭誤差試驗

原理:

利用相機獲取規標的影像，並透過電腦視覺技術取得規標中心點與初始原點的相對像素變化量(像素)，再透過公式將像素變化量轉換成位移量(公分)。

$$\frac{\text{規標實際邊長(公分)}}{\text{畫面規標邊長(像素)}} = \text{單位像素對應實際位移(公分)}$$

$$\frac{\text{焦距(像素)} * \text{規標實際邊長(公分)}}{\text{畫面規標邊長(像素)}} = \text{鏡頭與規標的距離(公分)}$$

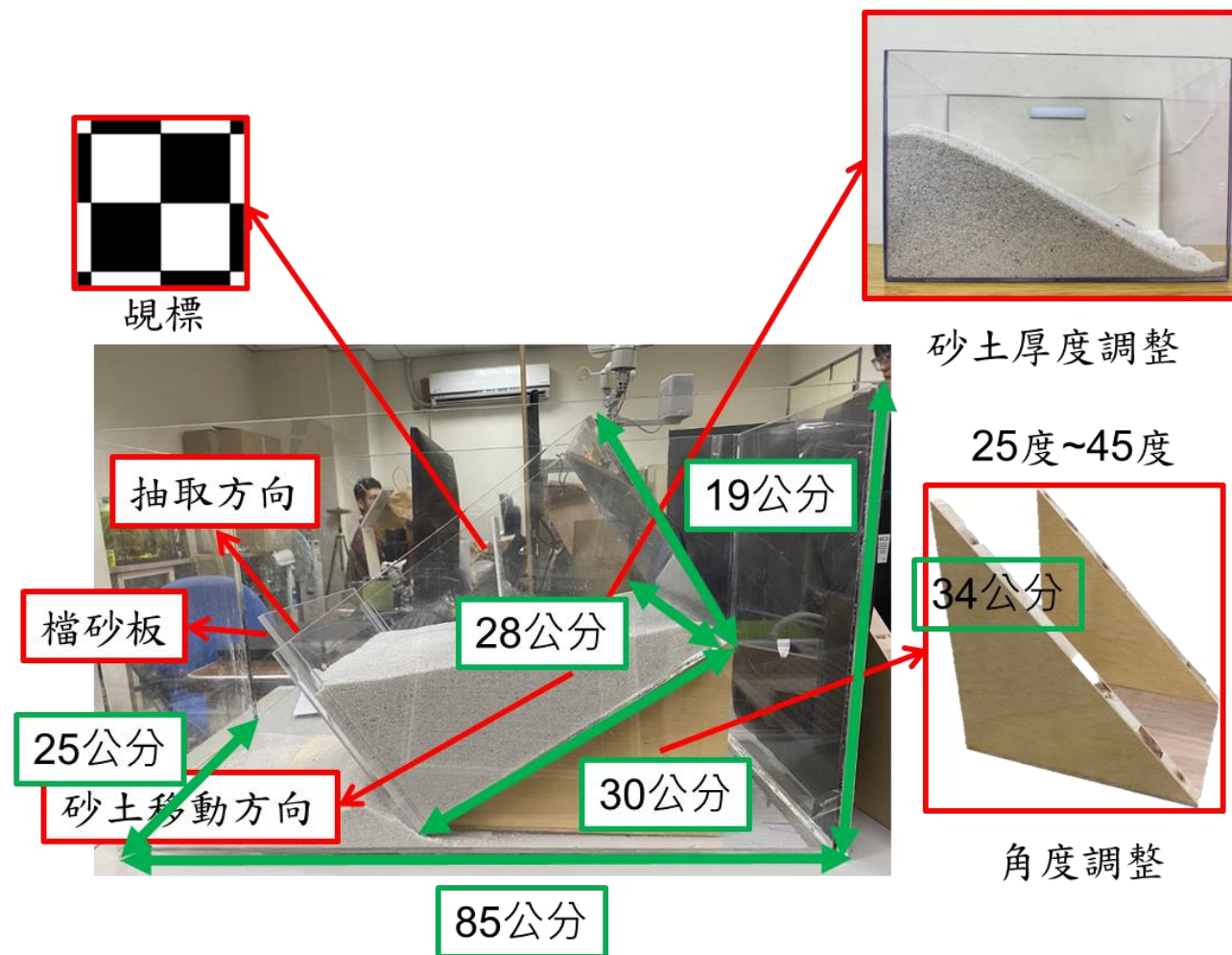
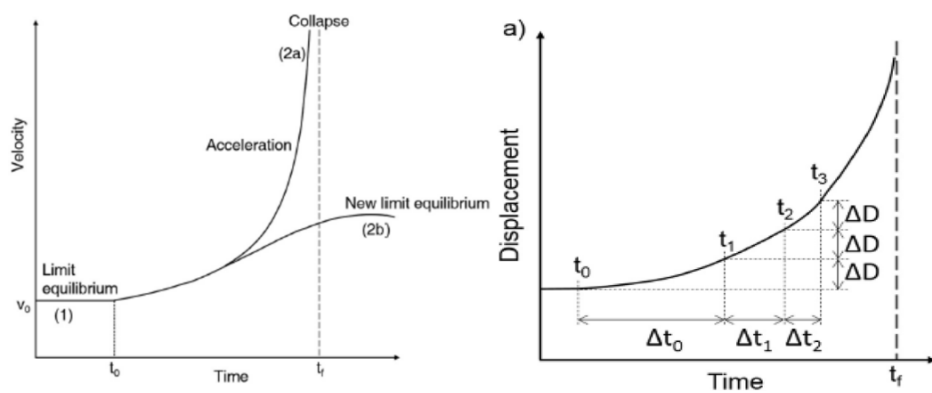




## 室內試驗

### 室內砂箱試驗

目的:透過室內縮尺的砂箱模型，模擬現地邊坡探討本研究自主研發的光學變位監測系統是否能有效地偵測到邊坡位移，以及其位移曲線趨勢與日本學者齊藤狄孝所提出的邊坡破壞變形理論是否相符。



齊藤迪孝(1987)邊坡破壞變形理論曲線



## 室內試驗

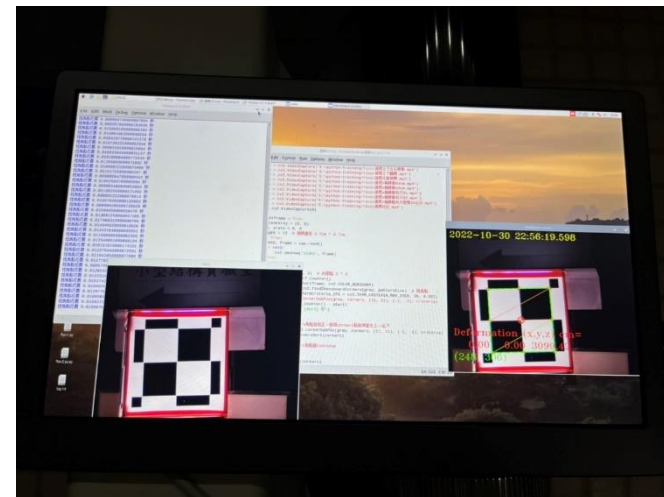
- 室內單鏡頭50公尺定點觀測試驗



+



=



太陽能LED立體規標



## 現地試驗

- 河堤單鏡頭1000公尺定點觀測試驗

距離:1000公尺

地點:頭汴坑溪河堤

Large  
chessboard

Theodolite

Raspberry Pi  
and Telescope





## 現地試驗

### • 九份二山現地單鏡頭定點觀測試驗

試驗距離:2500公分=25公尺

太陽能LED立體規標



監測小屋內部



監測小屋外部



25m



監測小屋往規標視角





## 室內試驗

本研究之變位監測系統最小可測得單位為  
**0.01公分=0.1毫米**

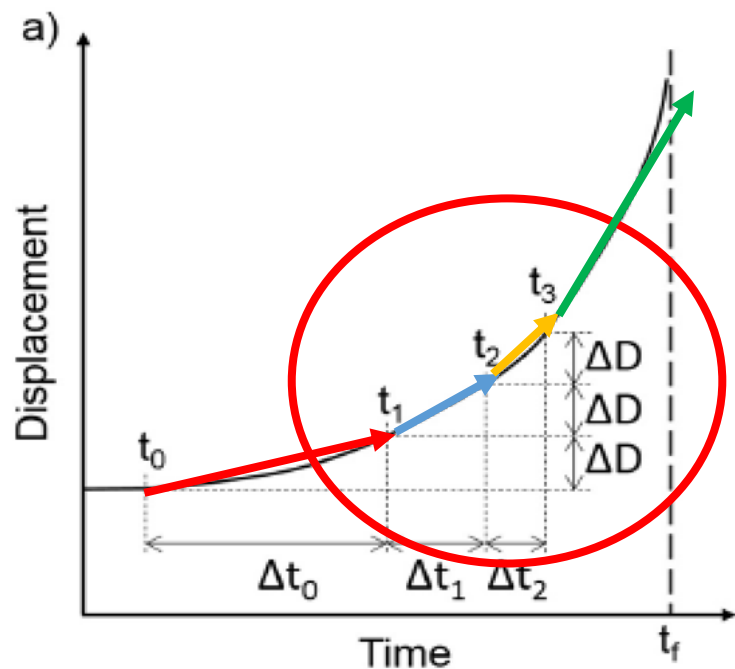
- 室內單鏡頭誤差試驗

| 單鏡頭誤差試驗 |               |                 |             |
|---------|---------------|-----------------|-------------|
| 移動方位    | 實際移動量<br>(cm) | 儀器測得變位量<br>(cm) | 誤差量<br>(cm) |
| X軸      | 1             | -0.9907         | 0.0092      |
| Y軸      | 1             | -0.9954         | 0.0046      |
| Z軸      | 2             | 1.93            | 0.07        |

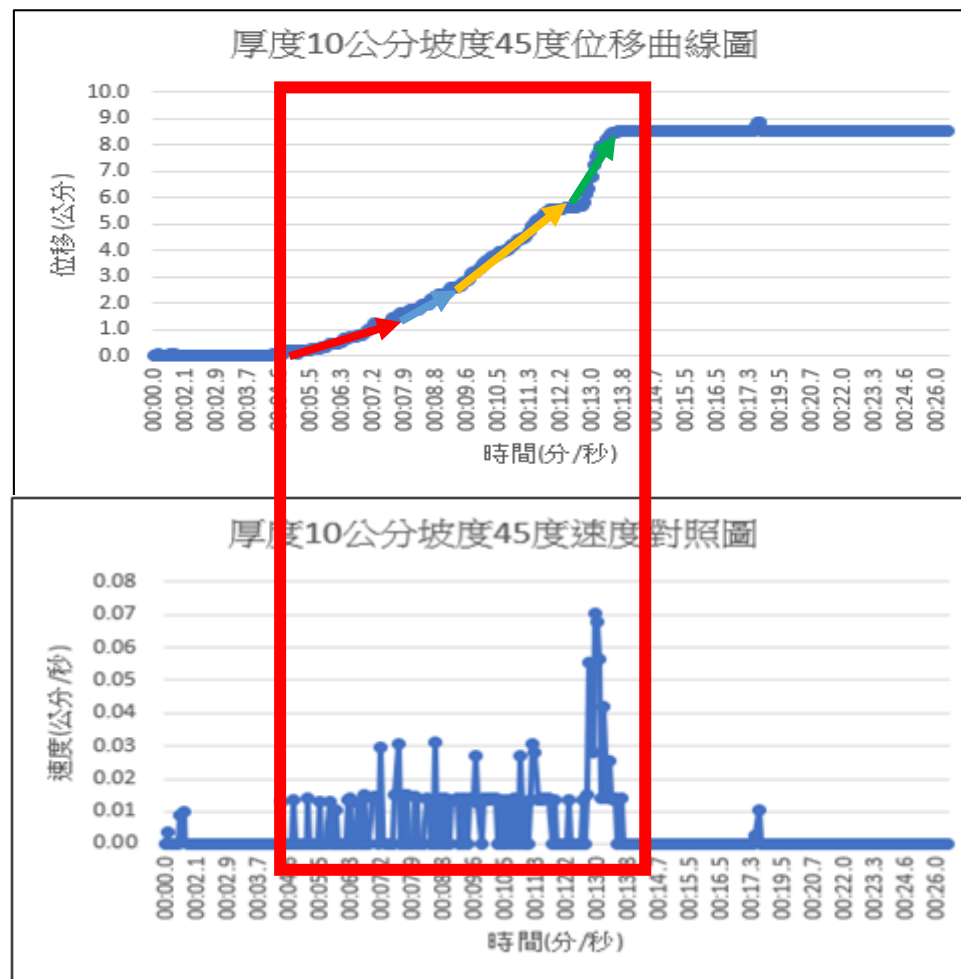


## 室內試驗

### 室內砂箱試驗



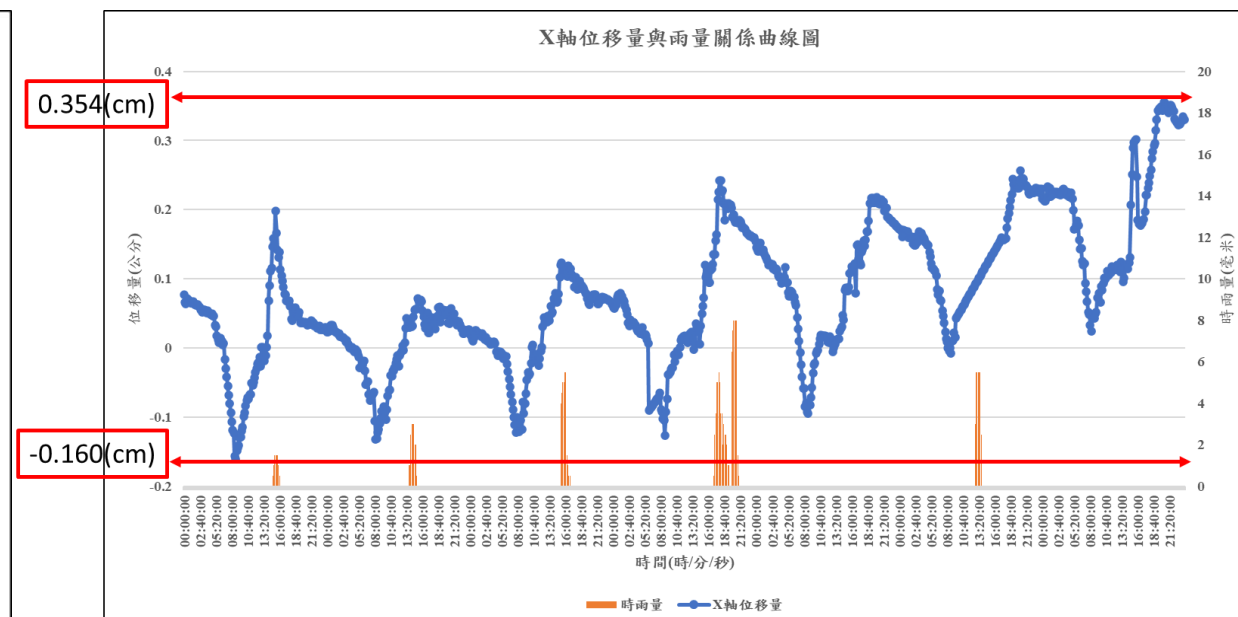
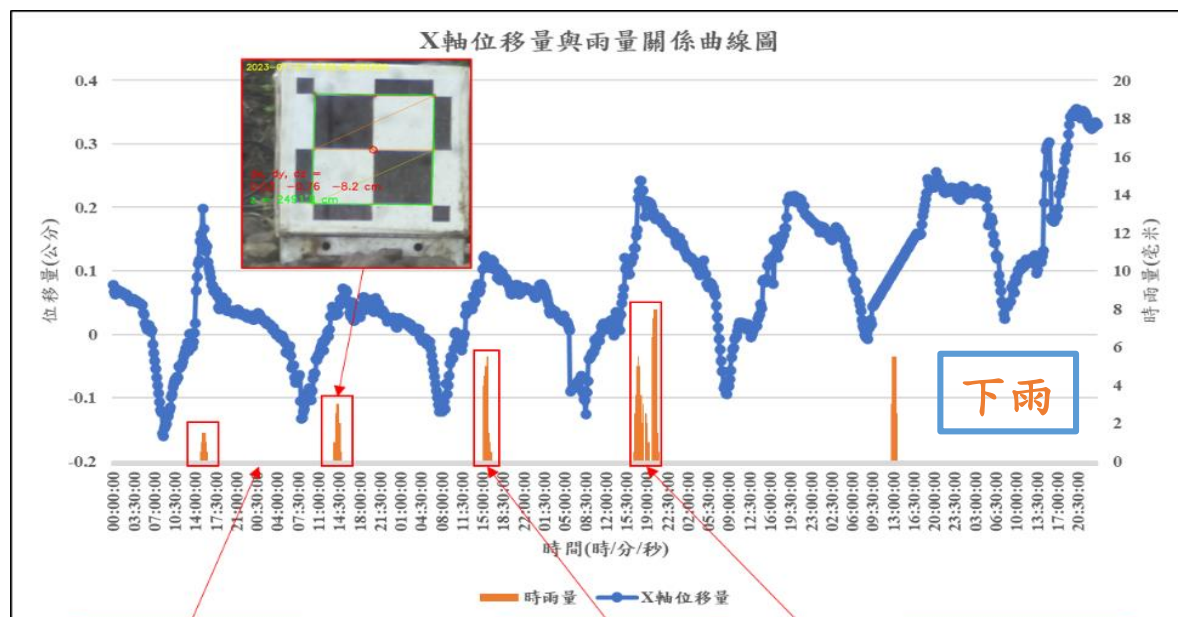
齊藤迪孝(1987)，邊坡破壞變形理論曲線





# 現地試驗

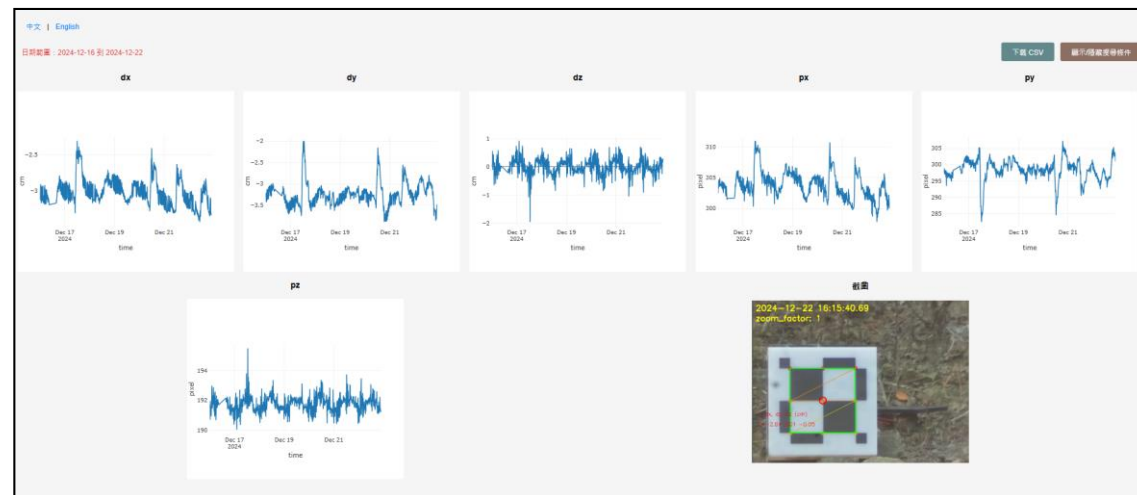
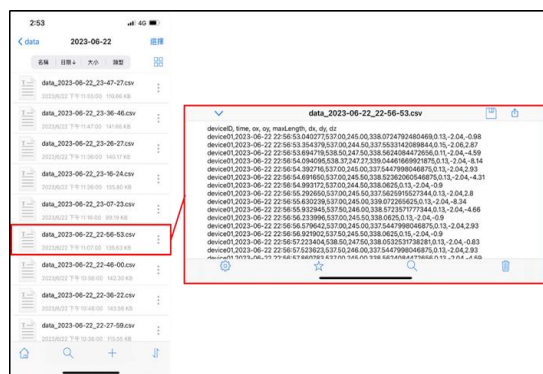
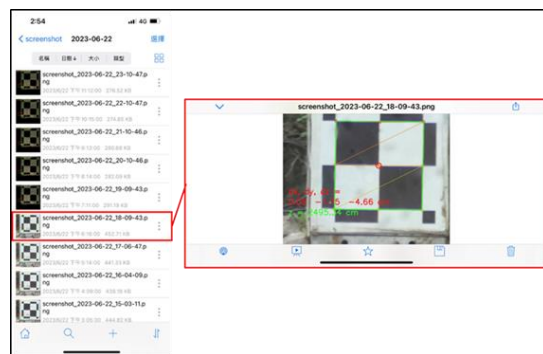
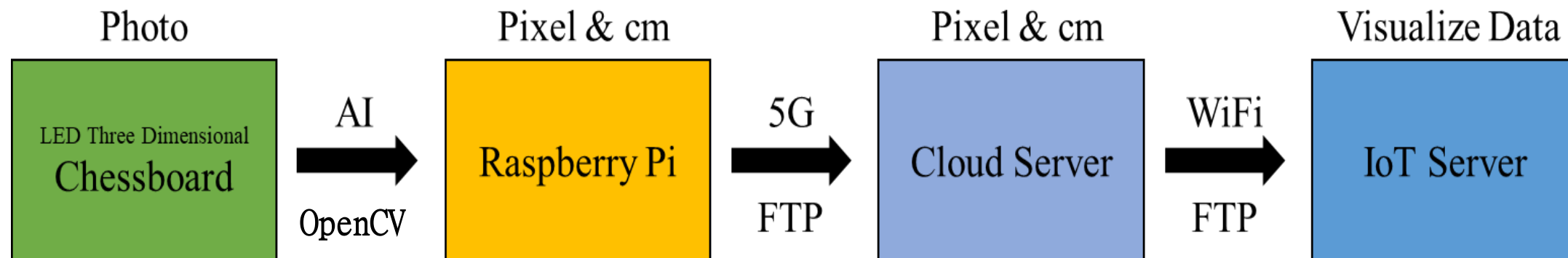
## 九份二山現地單鏡頭定點觀測試驗





# AIoT現地應用

## 電腦視覺式變位監測儀器智慧監測流程圖



# 振動監測之現地應用

- 電腦視覺技術的新儀器可以量測工程結構的變形和邊坡地區的坡體運動。
- AIoT的技術被應用在由樹莓派、數位相機、棋盤規標和OpenCV所組成的儀器當中。
- 利用電腦視覺的位移監測儀器(Computer Vision-based Displacement Monitoring)，簡稱為CVDM儀器。
- CVDM儀器由樹梅派和數位相機組成，其處理數據的頻率可達每秒20幀(即時監測) 或以每秒100幀(後處理方案)分析大規模崩塌潛勢區的邊坡位移。

|       | CVDM儀器         | 雷射雷達        | 全測站儀經緯儀      |
|-------|----------------|-------------|--------------|
| 精度    | 0.1 毫米         | 10~30 毫米    | 0.1毫米        |
| 測量距離  | 100 ~ 500 公尺   | 450 公尺      | 300 ~ 500 公尺 |
| 價格    | \$3,000美元(單鏡頭) | \$20,000 美元 | \$10,000 美元  |
| 物聯網應用 | 是              | 是，在連上網路的情況下 | 否            |

## 快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)

藉由Cooley–Tukey快速傅立葉轉換演算法，實現優化計算離散傅立葉轉換(DFT)的公式：複雜度由  $N^2 \rightarrow N \log_2 N$

## 短時距傅立葉轉換(Short-time Fourier Transform, STFT)

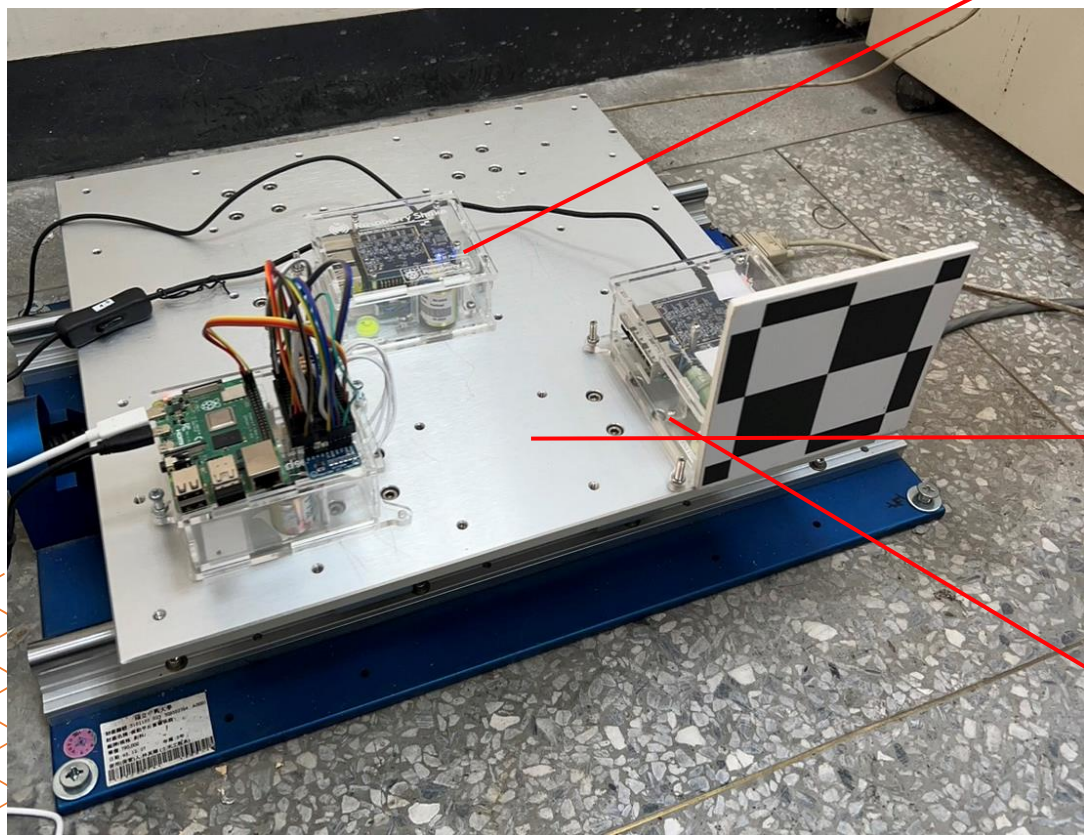
$$\begin{aligned} X(t, \omega) &= \text{STFT}[x(t)] \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) w(t - \tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \end{aligned}$$

## 希爾伯特-黃轉換(Hilbert-Huang Transform, HHT)

### 經驗模態分解(Empirical Mode Decomposition, EMD)

將原始非線性和非穩態訊號分解成本質模態函數(Intrinsic Mode Functions, IMF)組合方法，IMF須滿足兩個條件：

- (1) IMF之局部極大值(local maxima)及局部極小值(local minima)的數量和須與零交越點(zero crossing)的數量相同或差1。
- (2) IMF在任何時間點，上包絡線(由局部極大值定義)和下包絡線(由局部極小值定義)的均值應趨近零。



註：規標尺寸為15公分×15公分  
後端解算影像幀率為每秒100幀  
影像解析度640×480(pixel×pixel)

### 樹莓派地震儀 (RS4D)

| 加速度(gal) | 代表震度 | 頻率(Hz) |
|----------|------|--------|
| 0.8      | 1級   | 0.142  |
| 2.5      | 2級   | 0.252  |
| 8        | 3級   | 0.450  |
| 25       | 4級   | 0.796  |
| 80       | 5弱   | 1.424  |
| 130      | 5強   | 1.814  |

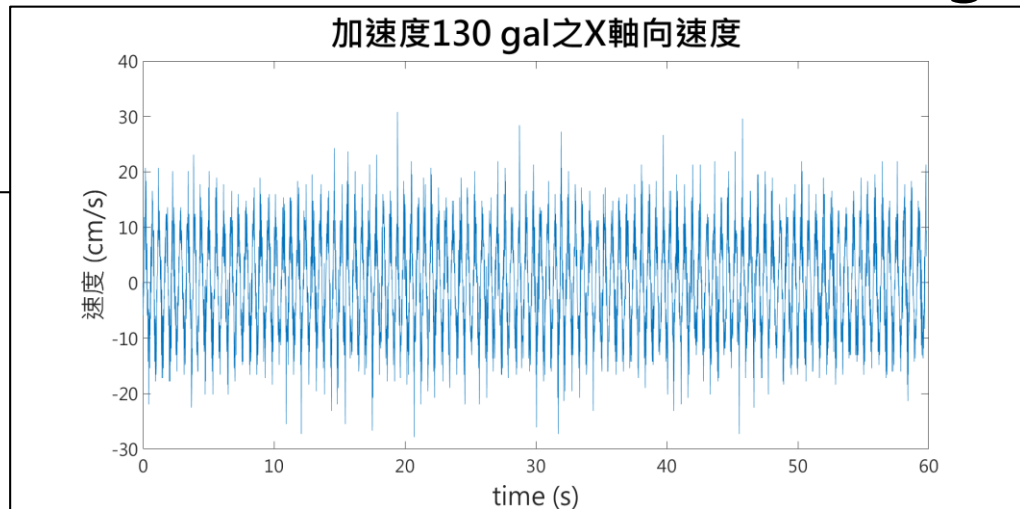
振幅: 1 cm





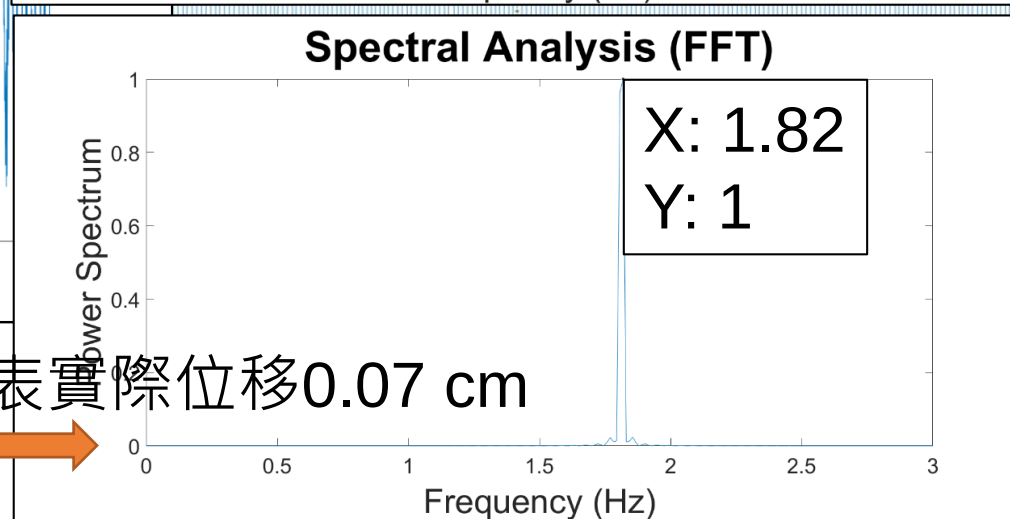
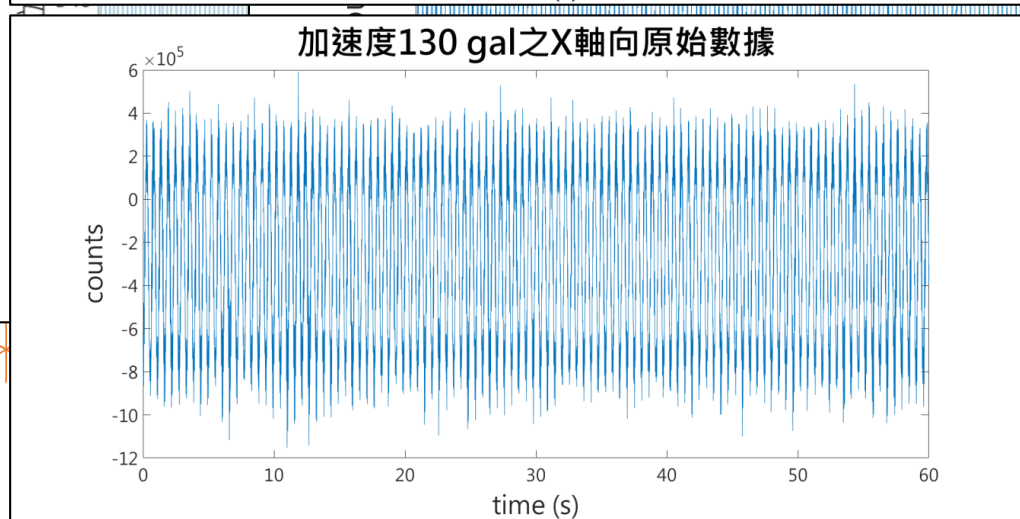
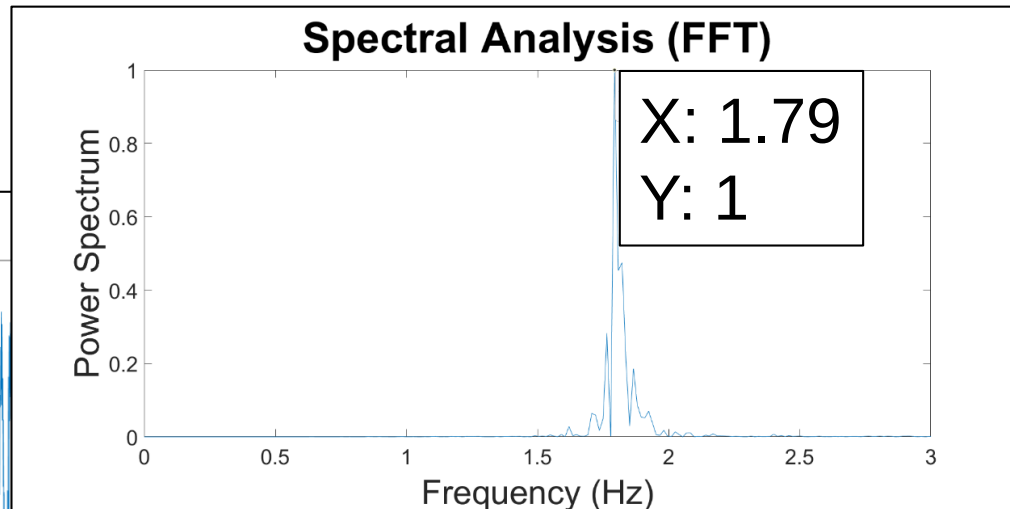
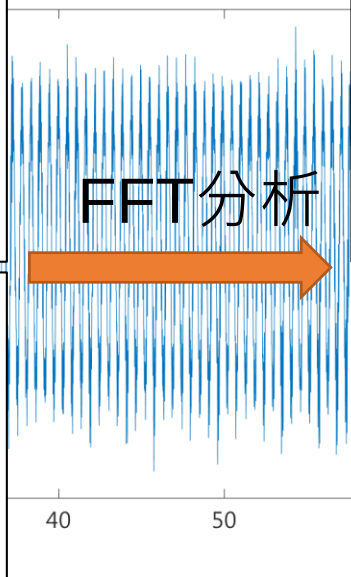
註：後端解算影像幀率為每秒100幀  
影像解析度為20公分×20公分  
影像解析度640×480(pixel×pixel)

以振動台設定加速度130 gal，頻率1.814 Hz為例



監測成果

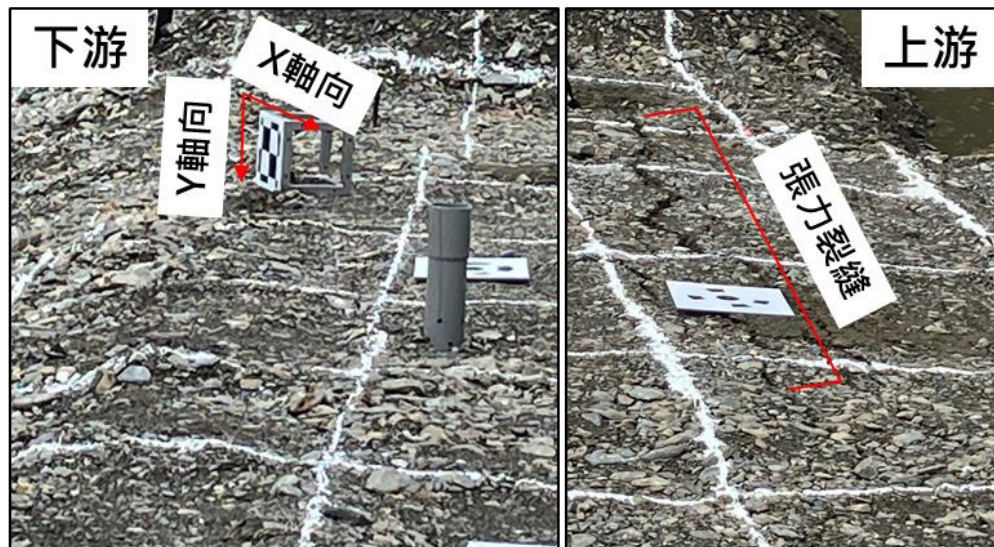
原始數據



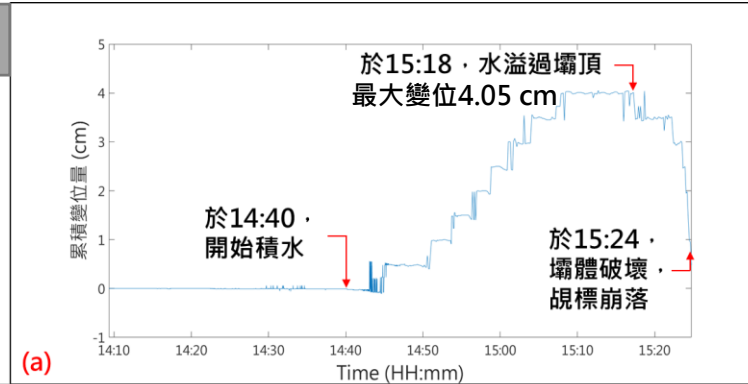
素變化量代表實際位移0.07 cm

| 加速度(gal) | 代表震度 | 頻率(Hz) | 主要振動頻率(Hz) |        |
|----------|------|--------|------------|--------|
|          |      |        | 電腦視覺式變位監測儀 | 樹莓派地震儀 |
| 0.8      | 1級   | 0.142  | 0.145      | 0.146  |
| 2.5      | 2級   | 0.252  | 0.255      | 0.256  |
| 8        | 3級   | 0.450  | 0.445      | 0.452  |
| 25       | 4級   | 0.796  | 0.801      | 0.793  |
| 80       | 5弱   | 1.424  | 1.411      | 1.428  |
| 130      | 5強   | 1.814  | 1.794      | 1.819  |

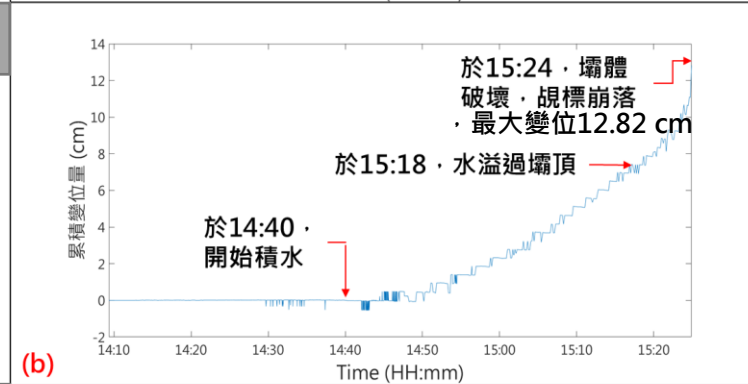




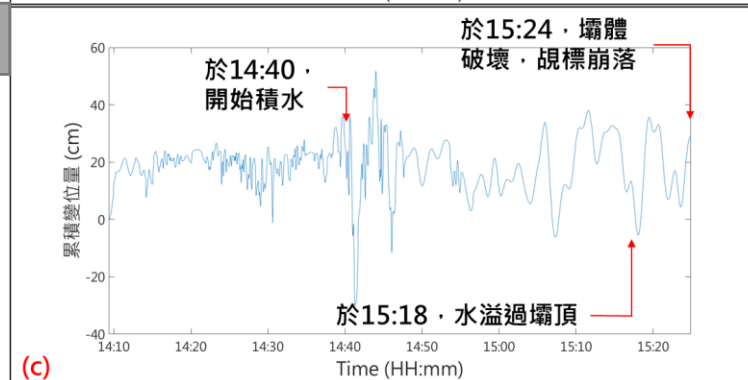
X軸向

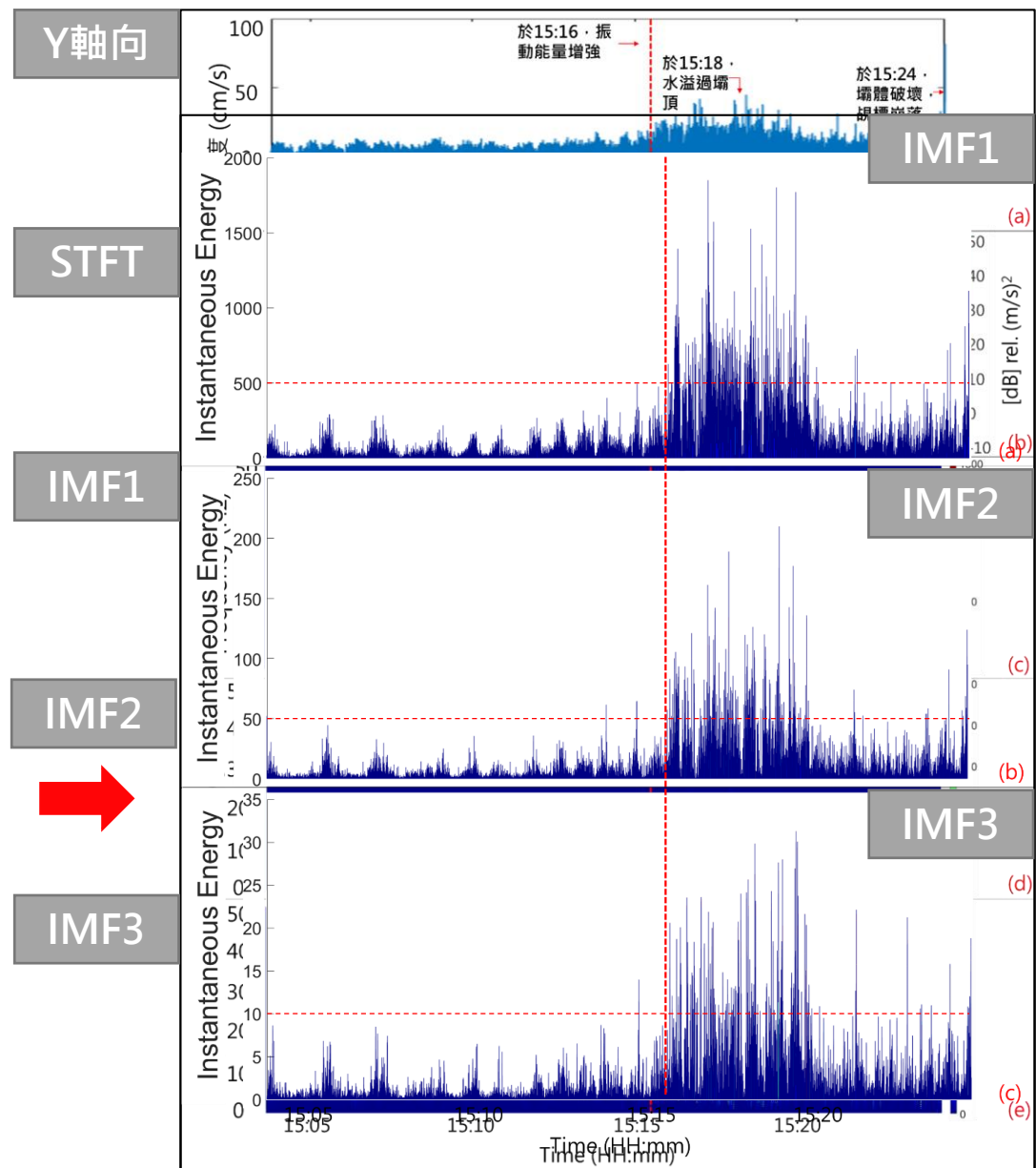
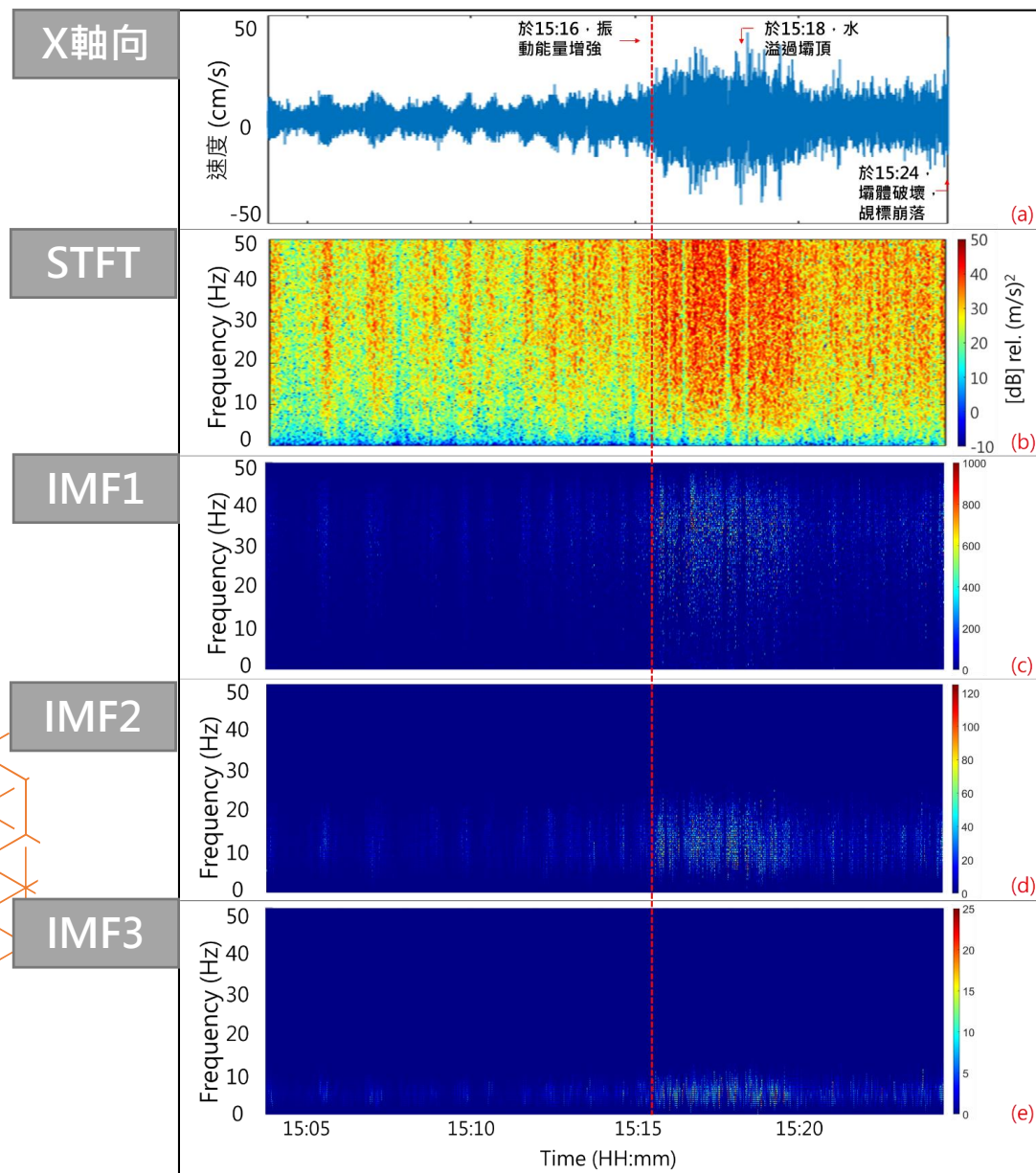


Y軸向



Z軸向





# 結論與建議

1. 電腦視覺式變位監測儀於良好之監測環境下，即時判釋可達每秒20筆之解算速度。後端解算則可透過PiCamera錄製高幀影像，達到每秒100筆資料的解算速度，並量測50 Hz以下的振動頻率。
2. 電腦視覺式變位監測儀於穩態振動的振動頻率量測結果是準確的。
3. 於潰壩試驗中，電腦視覺式變位監測儀在左岸即時判釋觀察到X軸向與Y軸向最大變位分別有4.05 cm與12.82 cm，其中X軸向之變位趨勢為先朝向張力裂縫，再往潰口方向。而右岸後端解算則得知振動頻率主要落在20至50 Hz的範圍，另可透過HHT分析量測到有部分微小能量落在0至10 Hz的低頻段，因此本儀器可為山坡地之土砂災害提供更早的預警。
4. 目前本研究僅針對山坡地之土砂災害進行振動監測之研究，未來可再針對更多方面進行研究，如橋梁、水壩、高樓等等，藉此了解電腦視覺式變位監測儀於振動監測之適用範圍。

# 報告完畢 敬請指教



農業部農村發展及水土保持署  
與您一起打拼