



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

AIOT電腦視覺裝置於崩塌地坡面變位即時監測之可行性研究

中興大學土木工程系 陳毅輝 助理教授 報告

112年11月07日

簡介

本研究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，以1秒4幀照片的取樣率判視覘標，可同時偵測4個覘標，量測距離已達1000公尺，其觀測精度為0.01 公分，XY軸平均觀測誤差為0.1公分。價格只需要傳統全測站儀器的五分之一且運用太陽能電源與物聯網系統，具有節能減碳之AIOT應用監測系統。



動機與目的

大規模崩塌多尺度監測

□ **多尺度監測**: 監測項目的多元性，更加明確掌握現地資訊

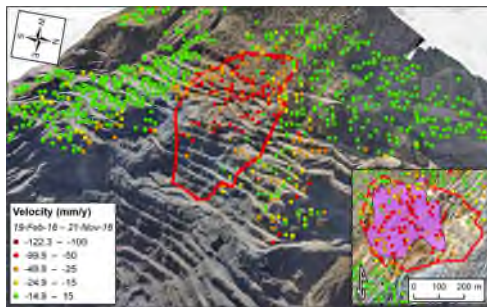
1. **尺度**: 大尺度(In-SAR、LiDAR、UAV)、中尺度(雨量資料、人工監測儀器或半自動監測儀器、GPS、GNSS)、小尺度(全自動化之地表(孔內)伸縮計、孔內傾斜儀&TDR(地層變位監測)、地下水計、地表傾斜計)
2. **監測幾何**: 點、線、面(**面**: In-SAR、LiDAR、UAV；**線**: 地表(孔內)伸縮計、孔內傾斜儀&TDR(地層變位監測)、地下水；**點**: 雨量計、GPS(GNSS)、地表傾斜計等)
2. **資料呈現**: (**點**: 定量數據；**線**: 方向、角度；**面**: 三維立體空間)

□ **監測新科技**:

1. **通訊模式**: 單向通訊(工業3.0)、雙向通訊(工業3.5)、遠距操控(物聯網=工業4.0)
2. **通訊技術**: 低頻遠距傳輸(LORA，適合偏遠無通訊且資料小)、窄頻物聯網(Narrow Band Internet of Thing, NB-IoT)、高頻高頻寬(4G、5G，適合影像大數據)
3. **感測器**: 體積越來越小，使用能源越來越少，監測間隔越來越短。

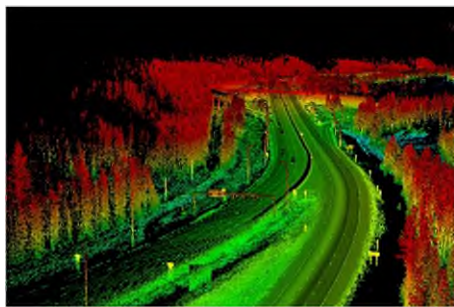
過去傳統的遠距離測量，常使用GPS或地表伸縮計量測長期之地表位移趨勢，若觀測地點為不易到達或有危險性時則採用全測站雷射經緯儀，此方法雖然量測精準，但所需的儀器花費高，若需達到自動化功能，尚須配合周邊環境與設備，例如接市電、網路與另接讀取器，又需另外成本。

大尺度監測



InSAR

中尺度監測



LiDAR

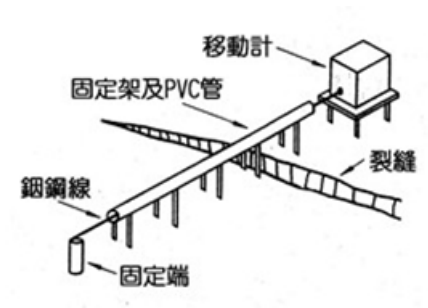


GPS&GNSS

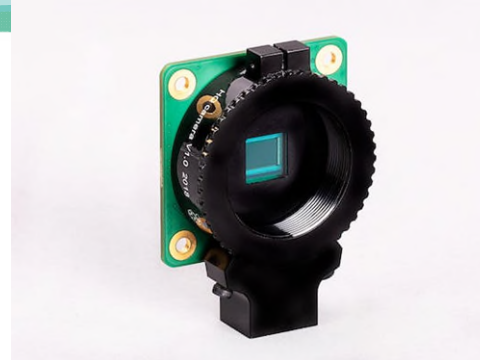
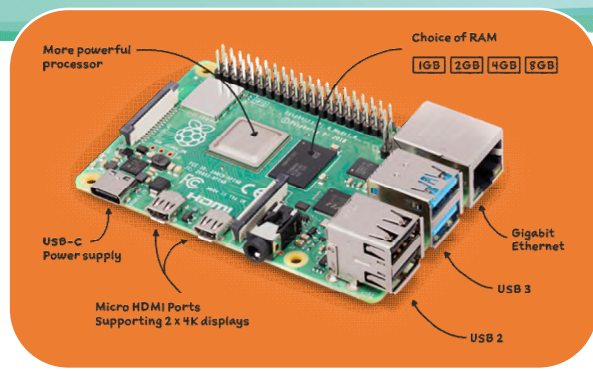
小尺度監測



全測站經緯儀



地表伸縮計
地表傾斜計



- 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。

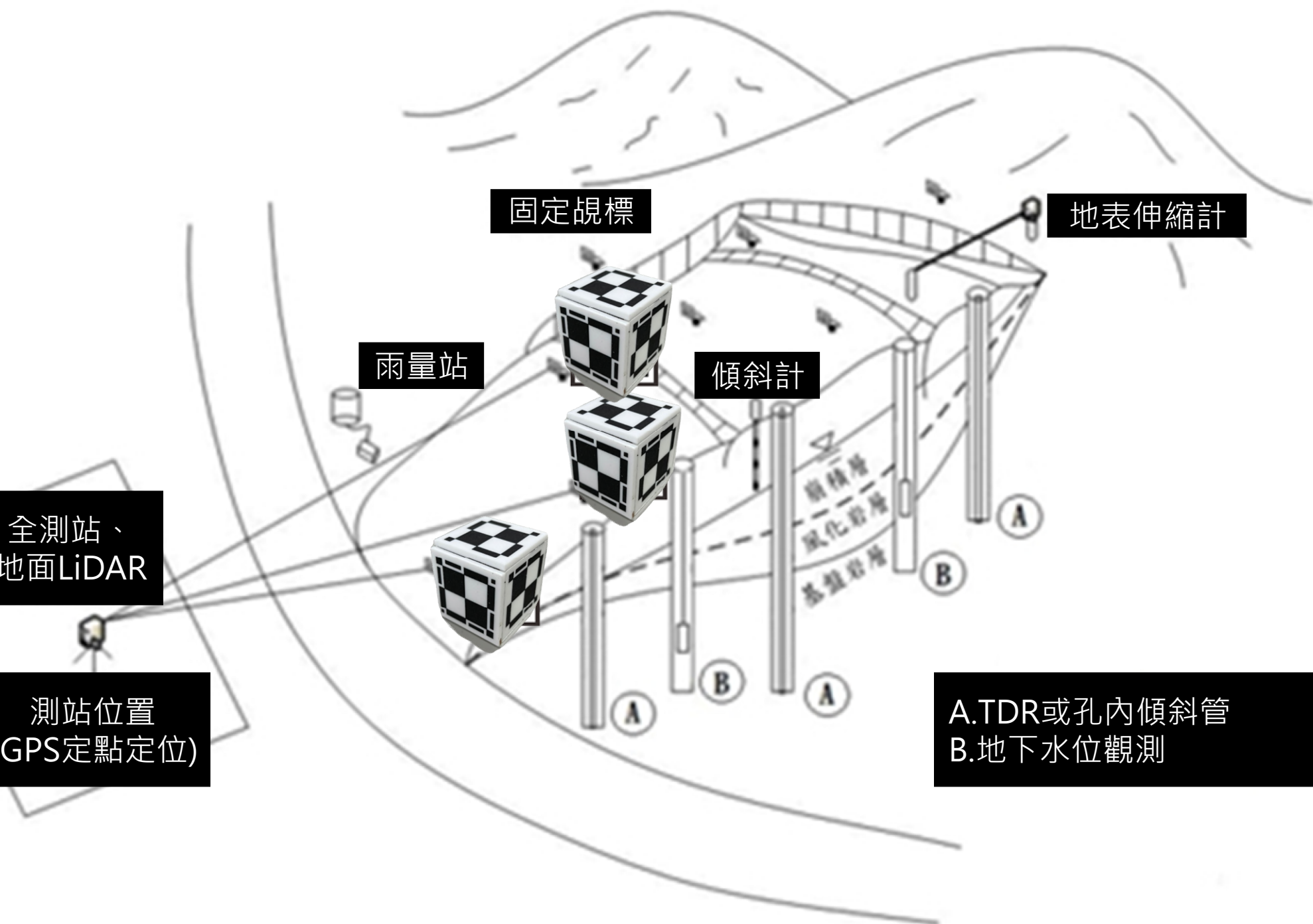
現地試驗

電腦視覺裝置



全測站、
地面LiDAR

測站位置
(GPS定點定位)



A.TDR或孔內傾斜管
B.地下水位觀測

電腦視覺式變位監測 (CVDM)儀器說明

- 室內試驗

- 現地試驗



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

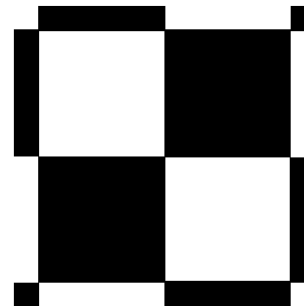
目的:探討本研究所自主研發的光學變位監測系統其精度以及誤差。



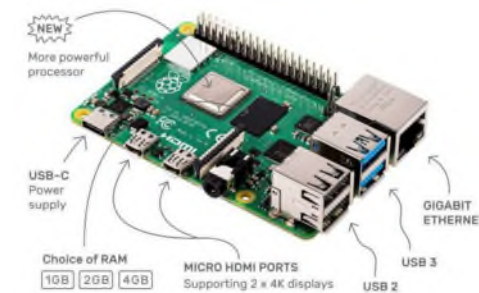
天文單筒式望遠鏡頭



HQ相機模組



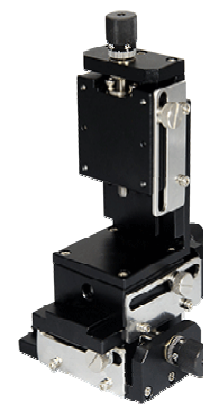
規標



樹莓派4B



工業級可調焦鏡頭



STAGE手動微調平臺

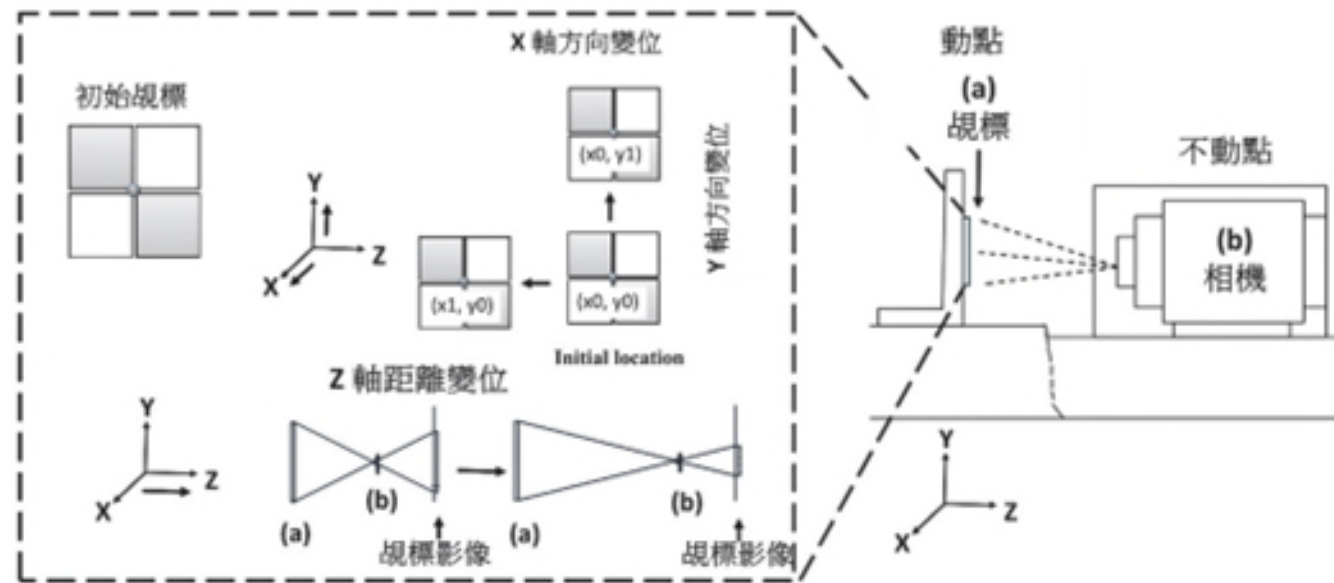




室內試驗

- 室內單鏡頭定點觀測精度試驗
- 室內單鏡頭誤差試驗

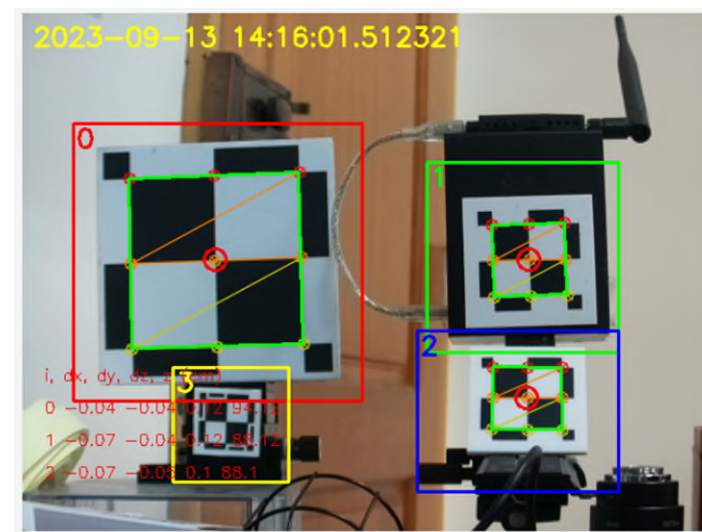
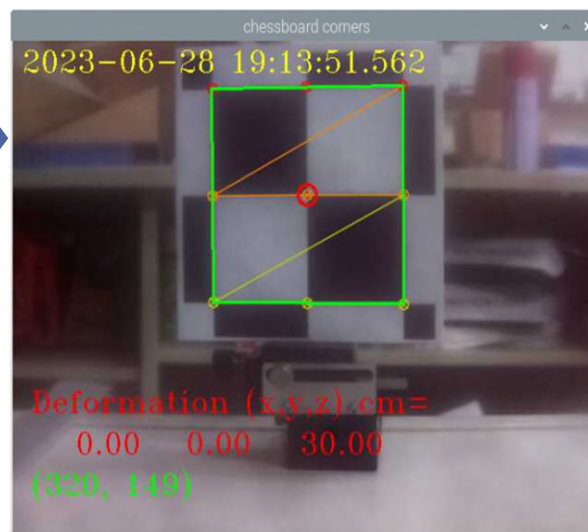
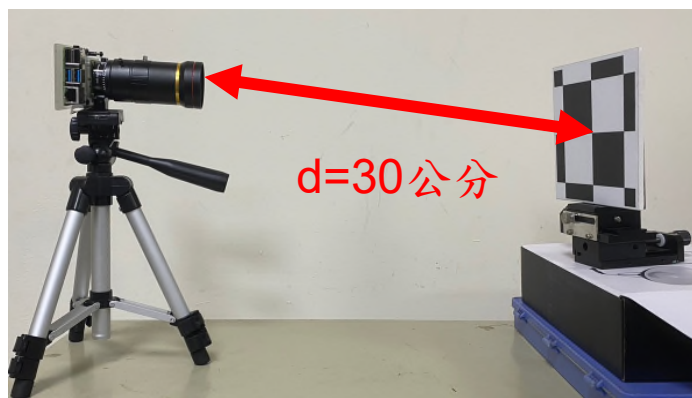
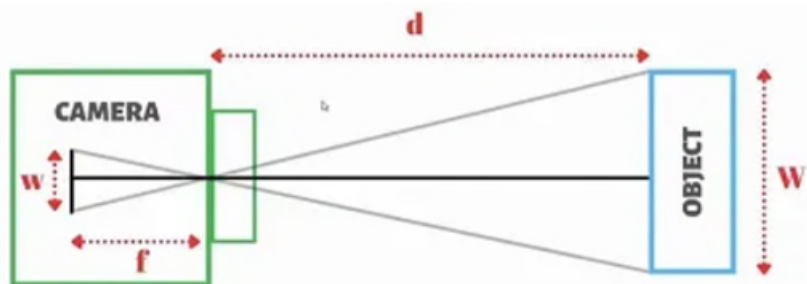
原理: 利用相機獲取規標的影像，並透過電腦視覺技術取得規標中心點與初始原點的相對像素變化量(像素)，再透過公式將像素變化量轉換成位移量(公分)。





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



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

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

$$\text{焦距(像素)} = \text{Constant}$$

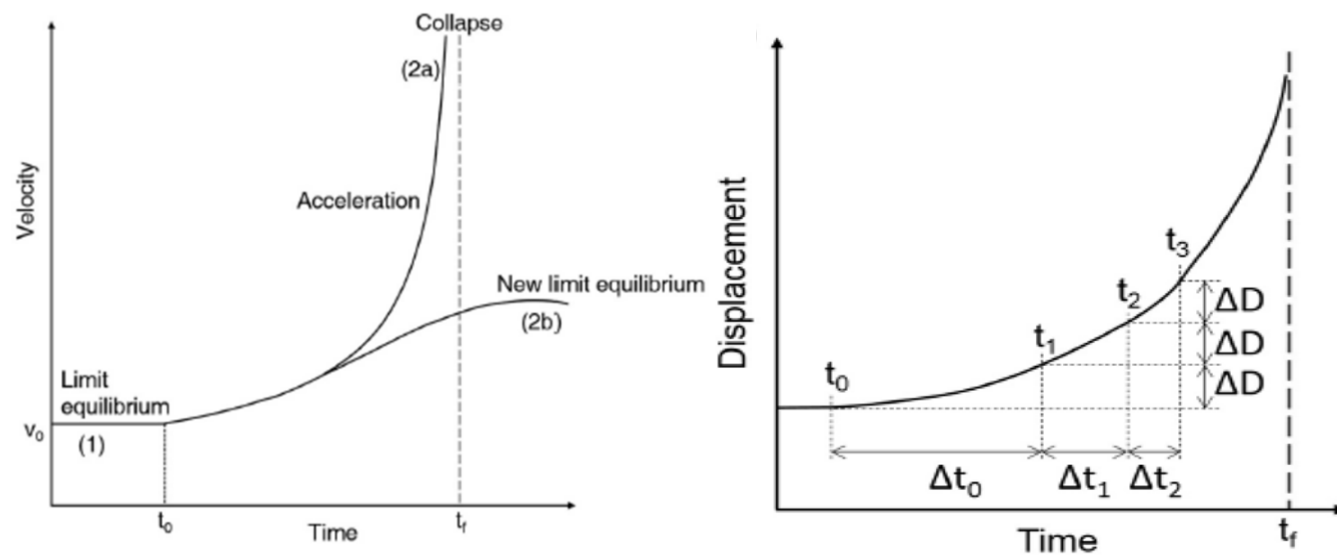




室內試驗

• 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

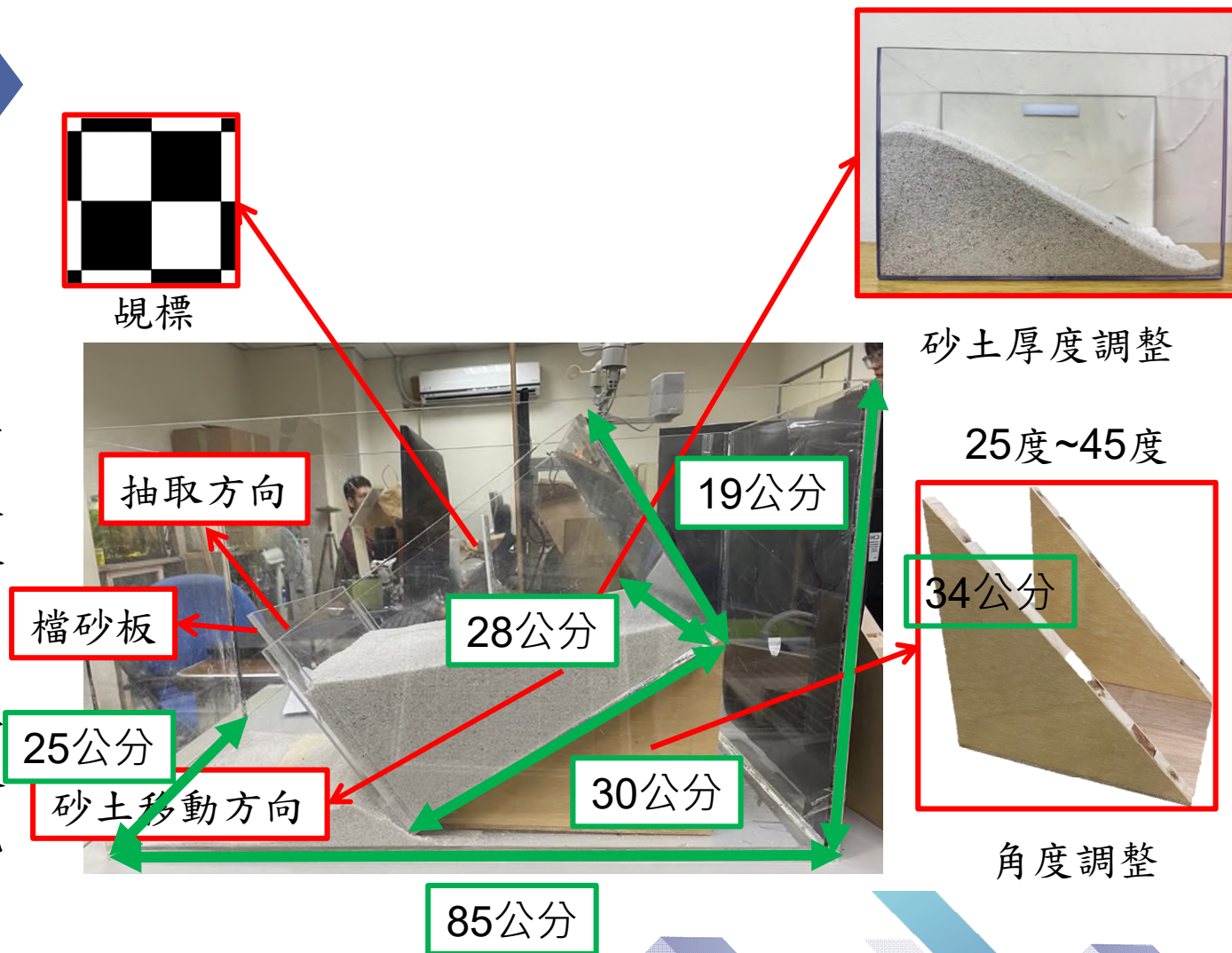




室內試驗

室內砂箱試驗

原理：本研究透過角度調整板以及標準砂的多寡，模擬不同砂土厚度以及不同的邊坡角度，待調整完成後移除檔砂板，模擬現地邊坡破壞的情形，並透過位移監測系統針對規標進行位移的判視，最後透過位移資料進行各種不同情況下砂土邊坡破壞曲線趨勢的探討。





室內試驗

- 室內砂箱試驗

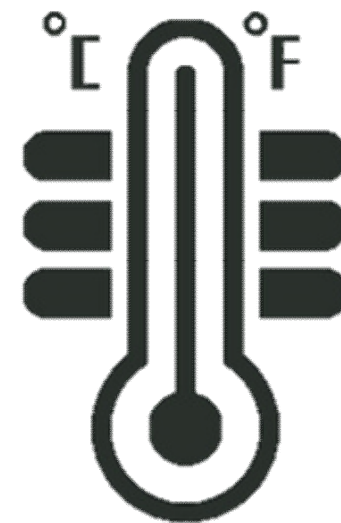




室內試驗

- 室內單鏡頭50公尺定點觀測試驗

目的：透過中等距離的連續監測了解本研究自主研发的光學變位監測系統的監測連續性以及其受到日夜光影以及溫度所造成的誤差情形。





室內試驗

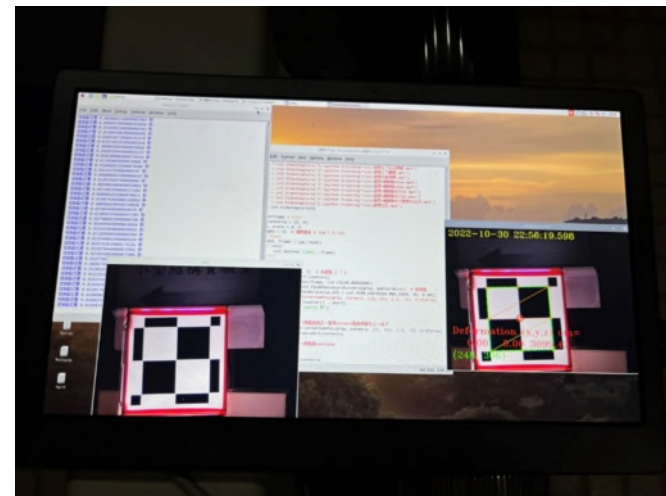
- 室內單鏡頭50公尺定點觀測試驗



+



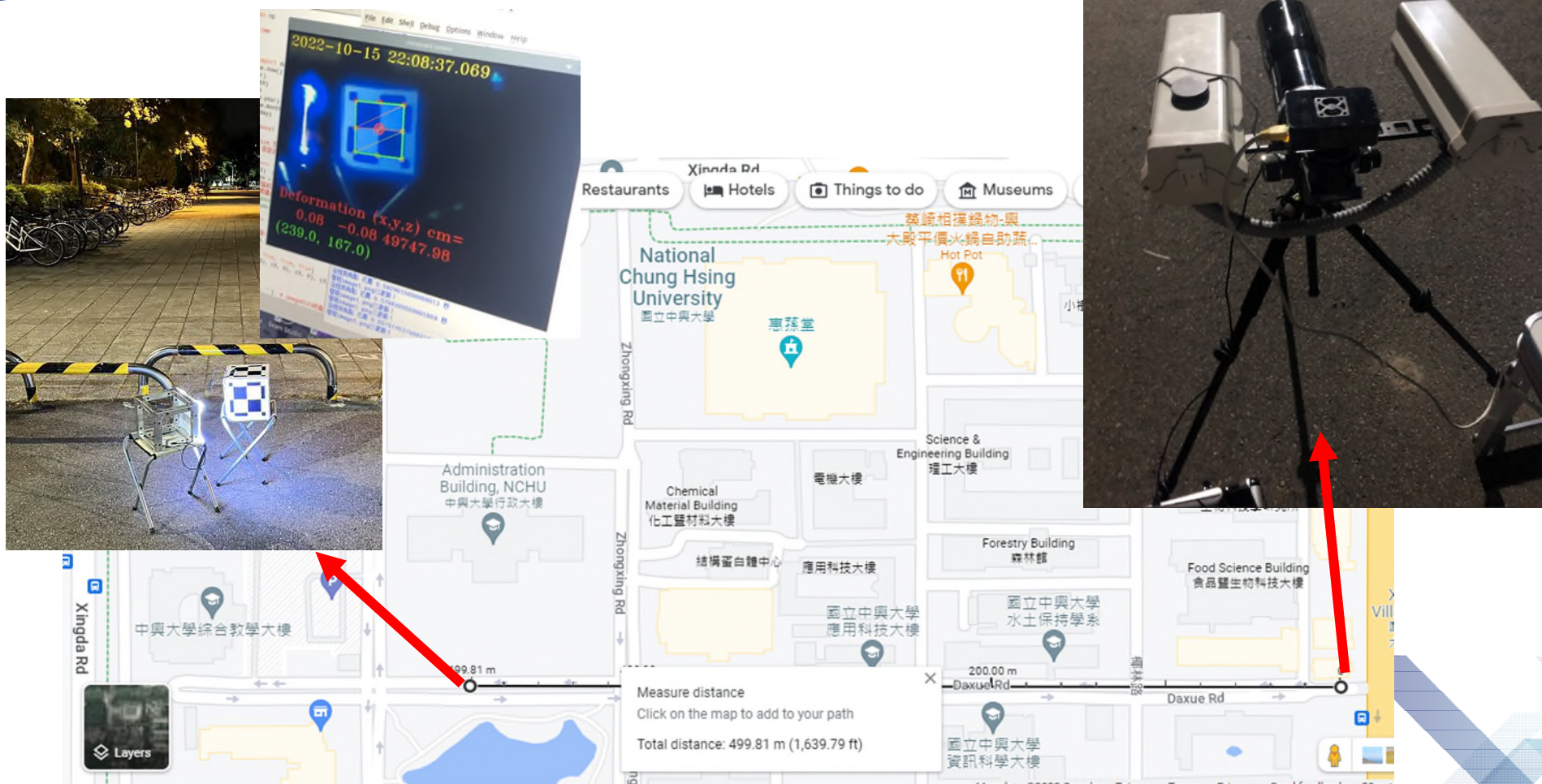
=



太陽能LED立體規標



現地試驗



➤ 測量距離=49747.98 公分 (約500米)



現地試驗

- 河堤單鏡頭1000公尺定點觀測試驗

距離:1001.42公尺
地點:頭汴坑溪河堤





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





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



監測小屋外部

監測小屋內部



覘標往監測小屋視角

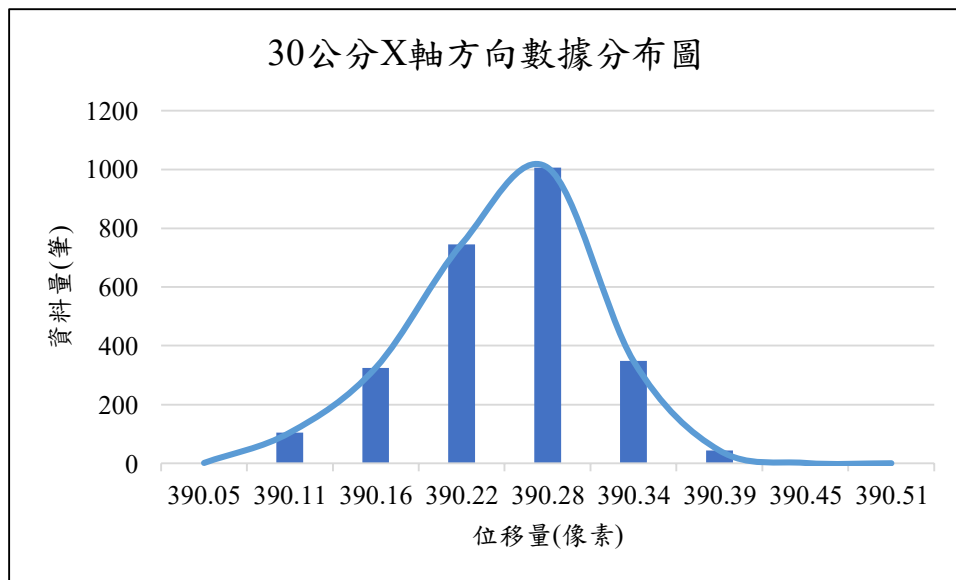
監測小屋往覘標視角



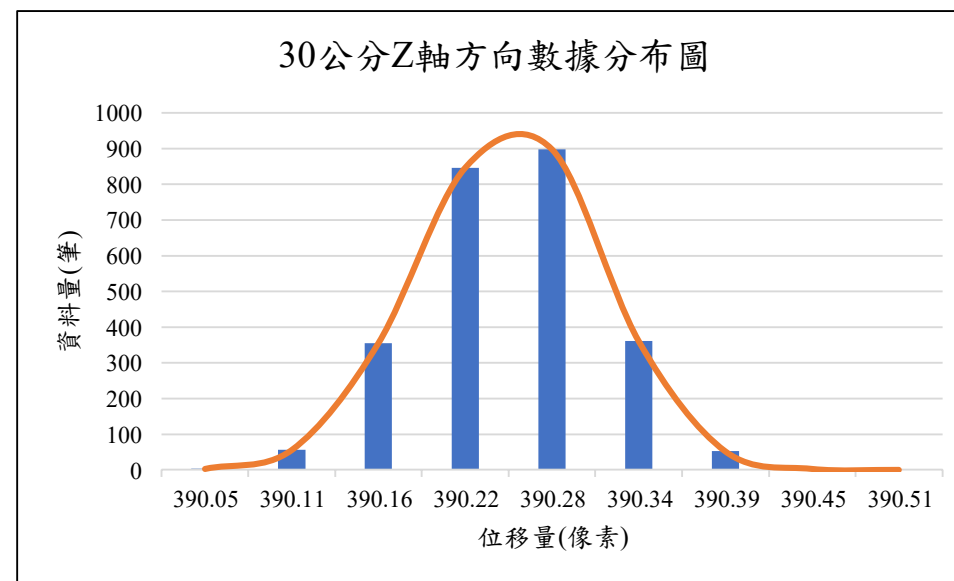
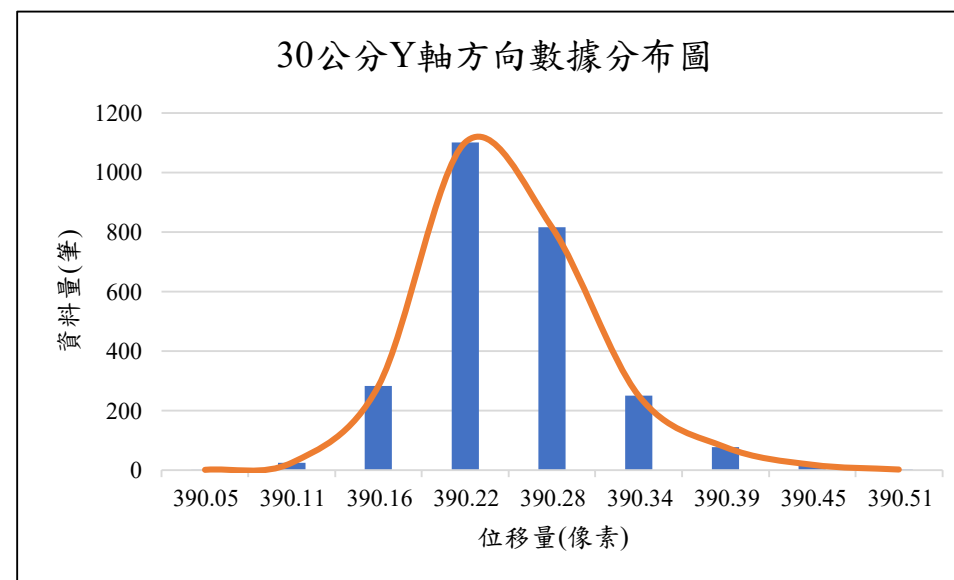


室內試驗

• 室內單鏡頭定點觀測精度試驗



本試驗一個像素所代表的實際長度為0.161公分





室內試驗

本研究變位監測系統定點觀測之資料分部
落在2倍標準差內的資料皆有
達9成以上

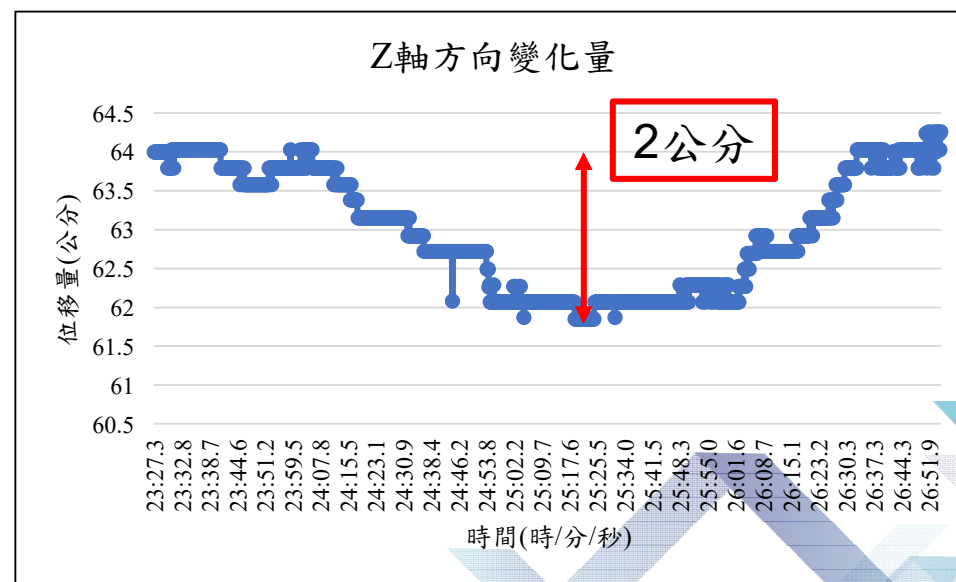
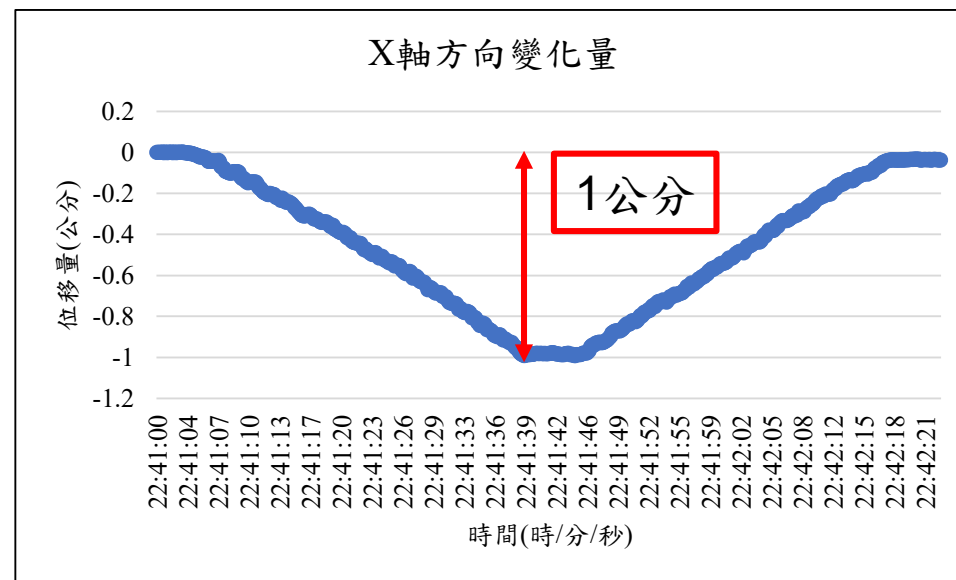
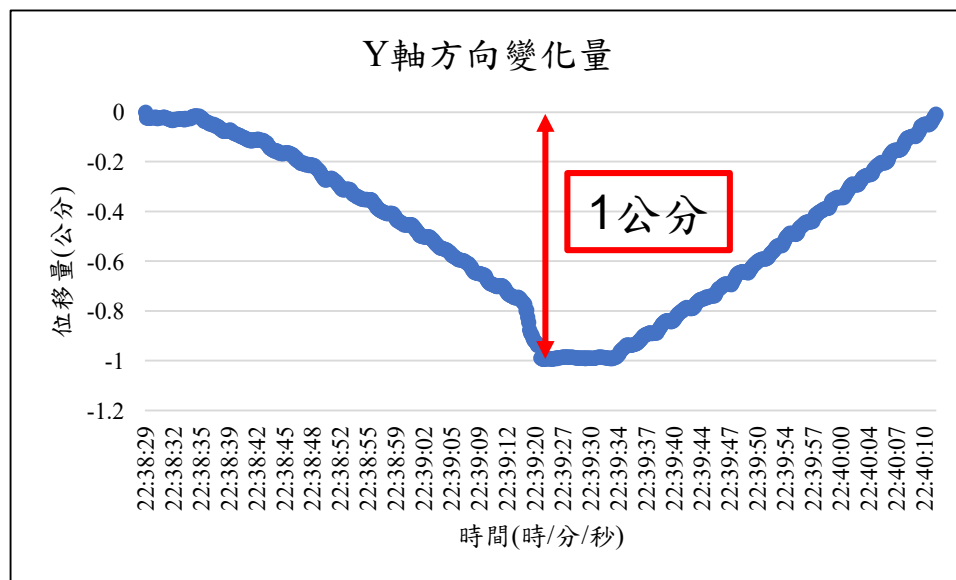
- 室內單鏡頭定點觀測精度試驗

	X軸方向	Y軸方向	Z軸方向
平均值(像素)	390.221	285.881	174.417
標準差	0.0577	0.0417	0.0666
總資料筆數	2574	2574	2574
兩倍標準差內的 資料筆數(筆)	2529	2476	2516
兩倍標準差內的 資料筆數(%)	98.25%	96.19%	97.75%



室內試驗

室內單鏡頭誤差試驗





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

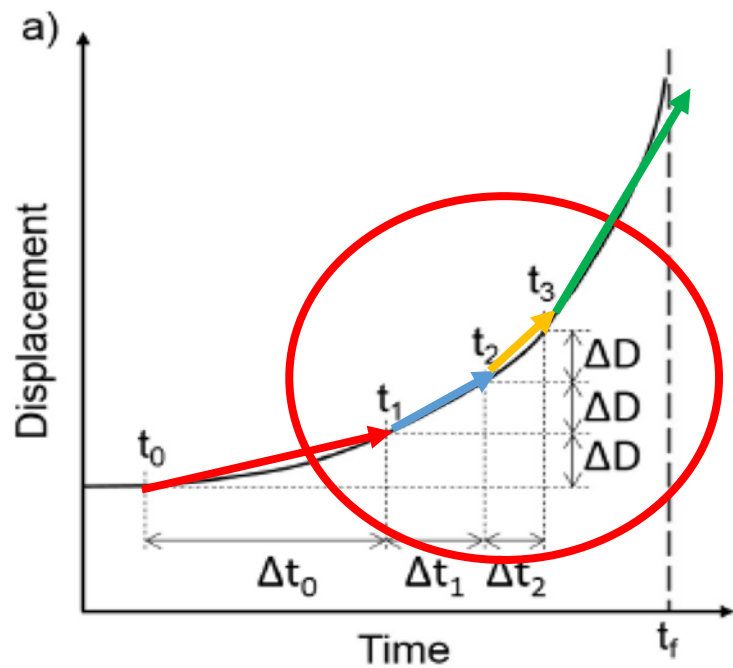
- 室內單鏡頭誤差試驗

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

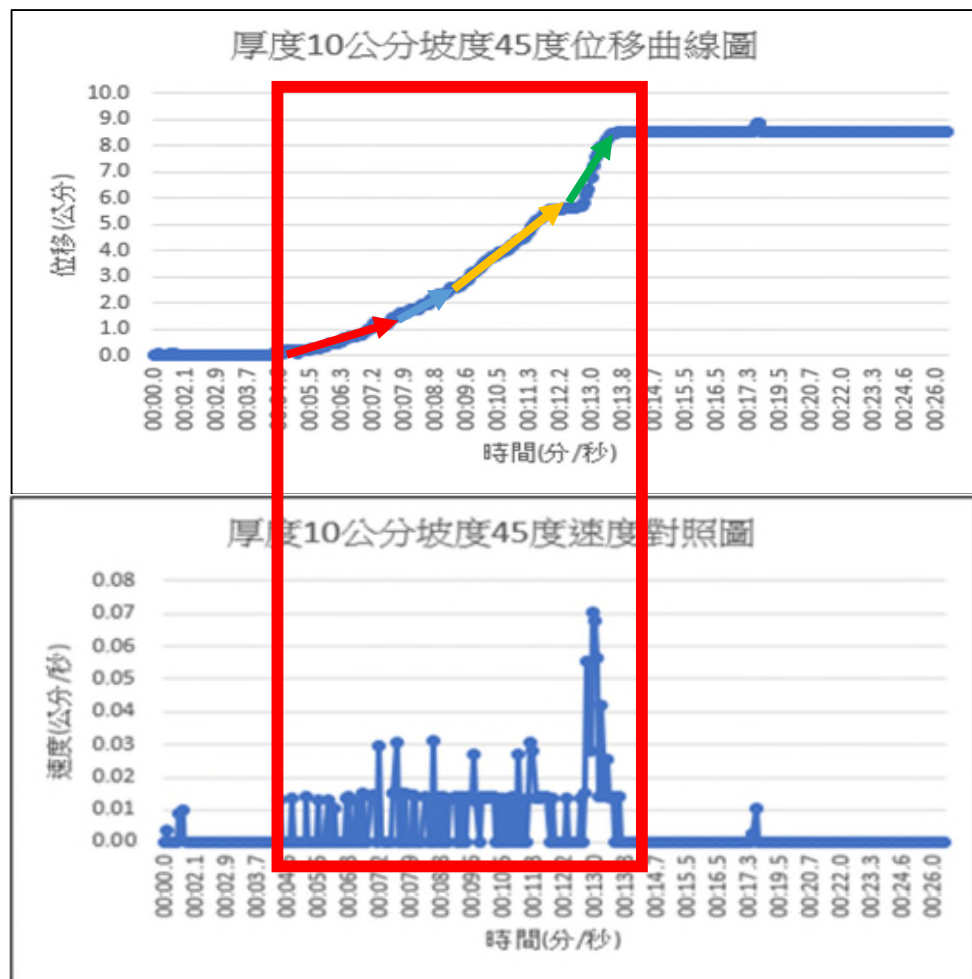


室內試驗

室內砂箱試驗



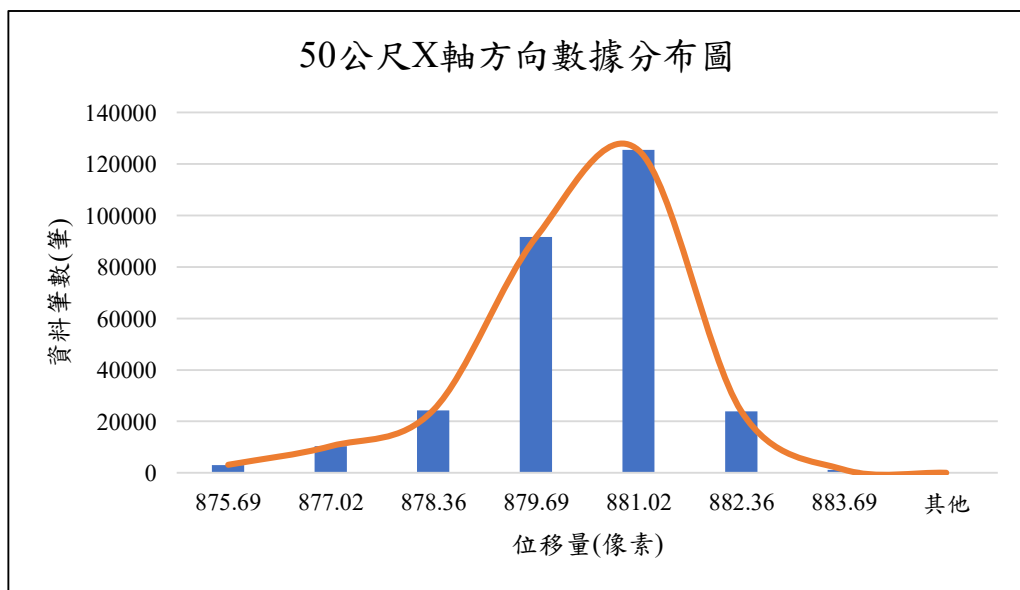
齊藤迪孝(1987)，邊坡破壞變形理論曲線



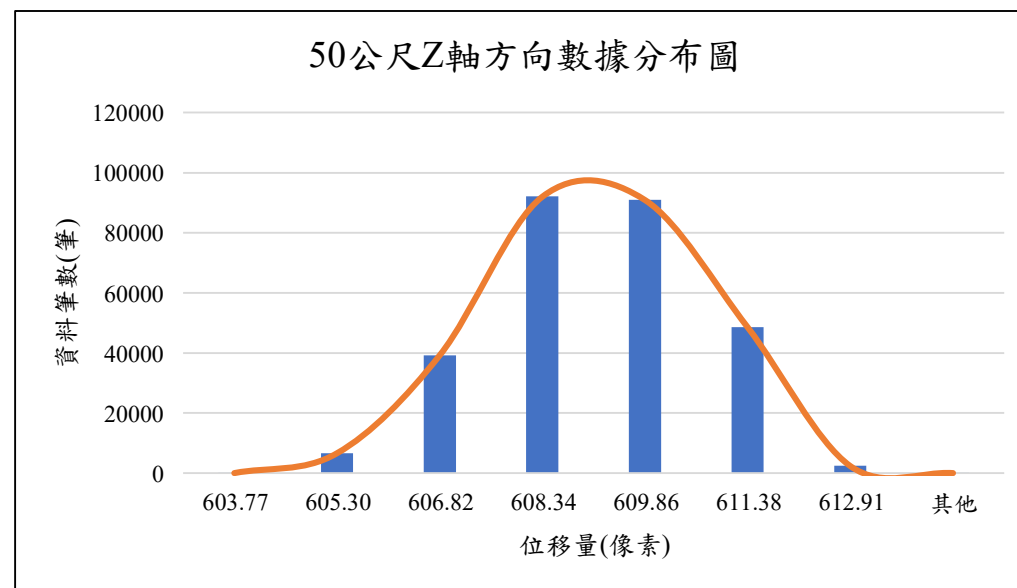
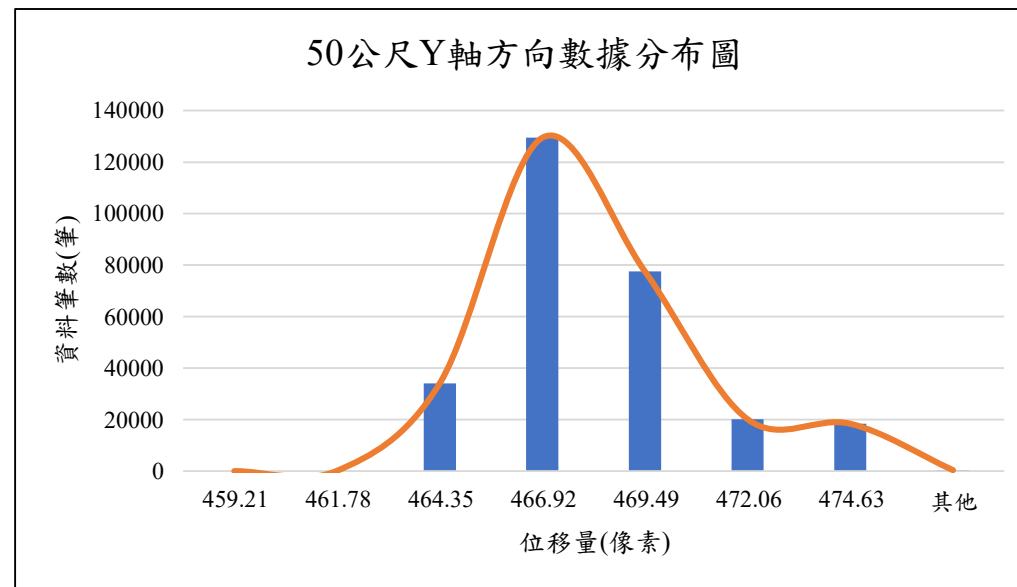


室內試驗

• 室內單鏡頭50公尺定點觀測試驗



本試驗一個像素所代表的實際長度為0.021公分





室內試驗

本研究單鏡頭50公尺定點觀測試驗資料分部
落在2倍標準差內的資料

達**9**成以上

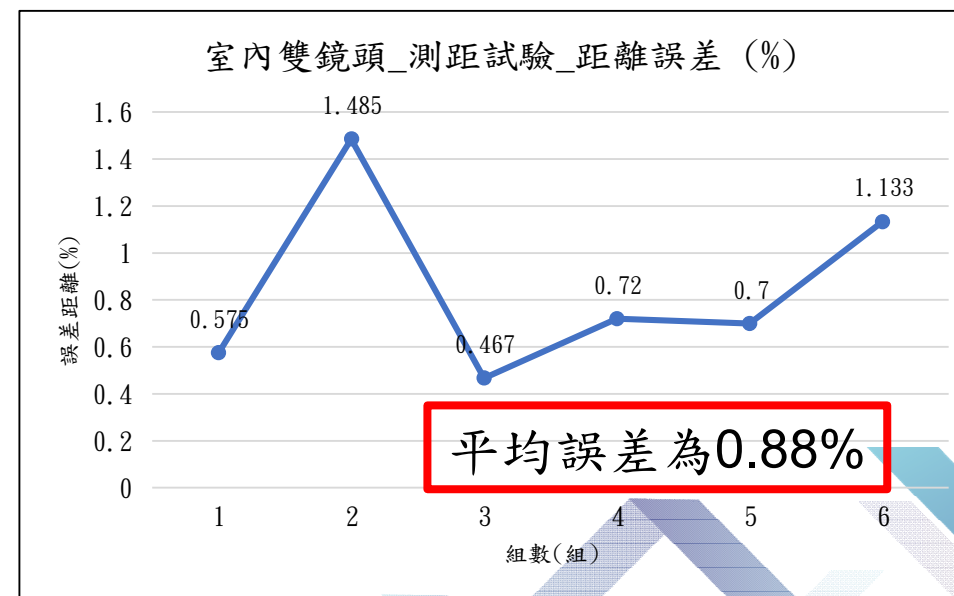
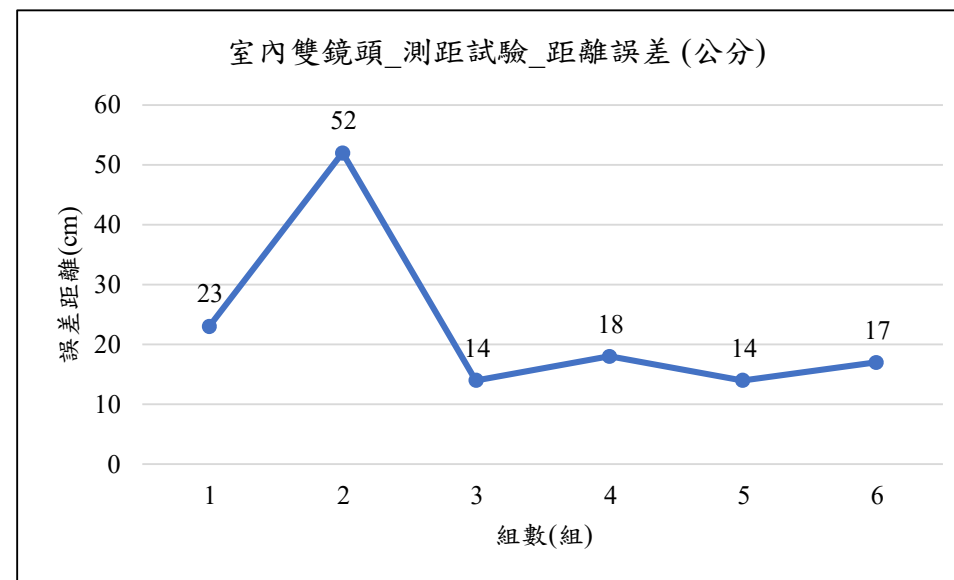
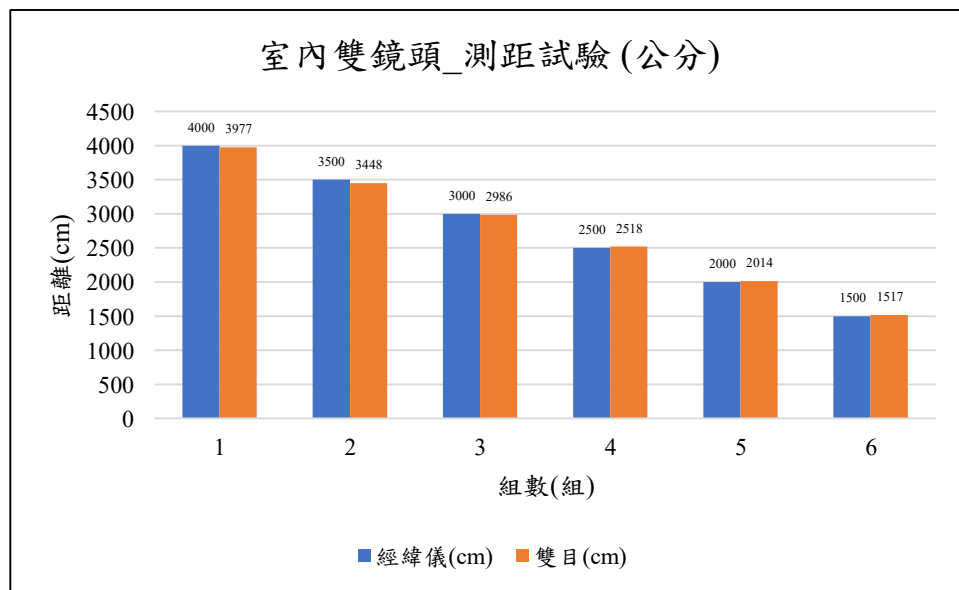
- 室內單鏡頭50公尺定點觀測試驗

室內單鏡頭31公尺定點觀測試驗			
	X軸方向	Y軸方向	Z軸方向
平均值(像素)	390.221	285.882	174.417
標準差(像素)	0.058	0.042	0.067
總資料筆數(筆)	2574	2574	2574
兩倍標準差的資料筆數(筆)	2529	2476	2516
兩倍標準差的資料筆數(%)	98.25%	96.19%	97.75%



室內試驗

室內雙鏡頭測距試驗

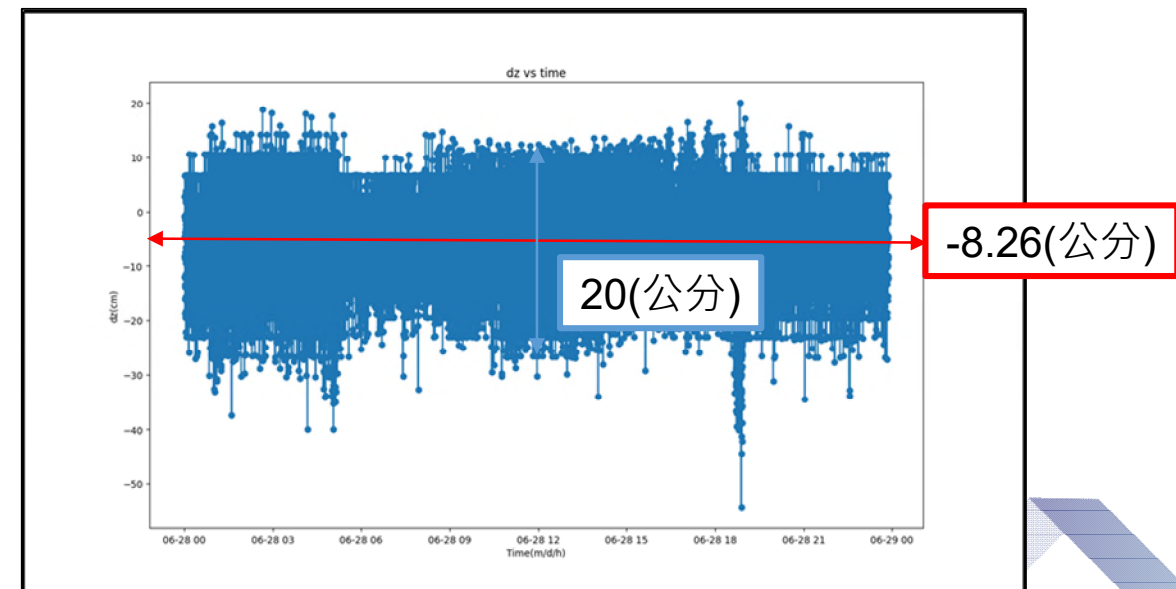
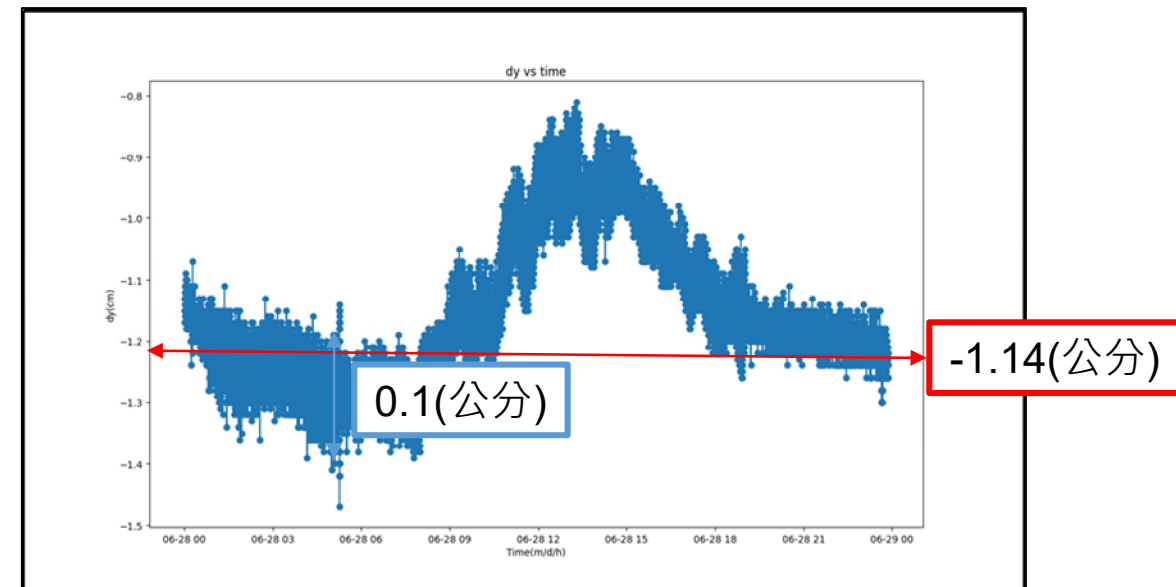
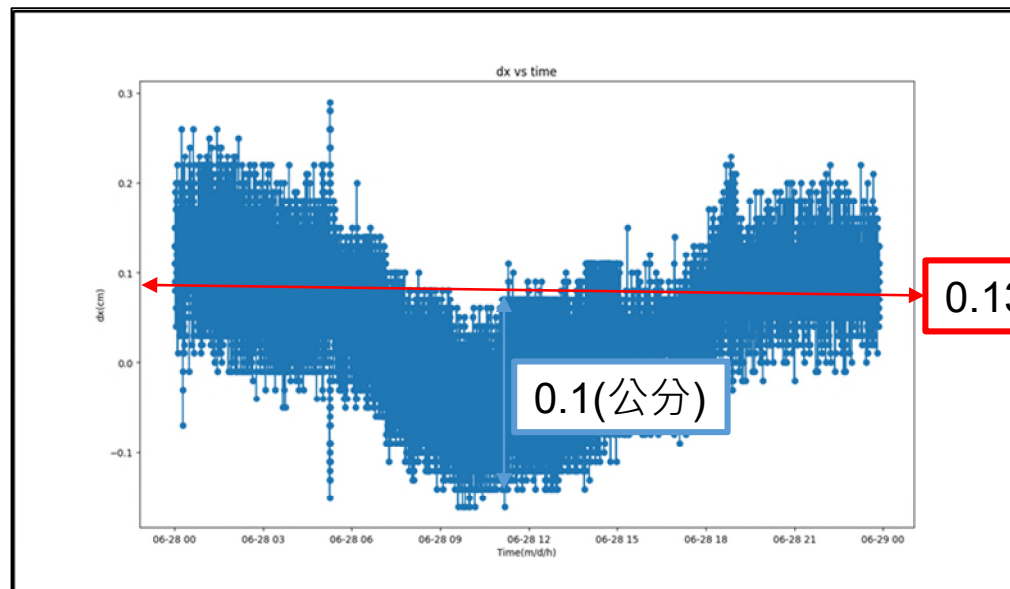




現地試驗

(以2023/06/28單日觀測資料為例)

- 九份二山現地單鏡頭定點觀測試驗

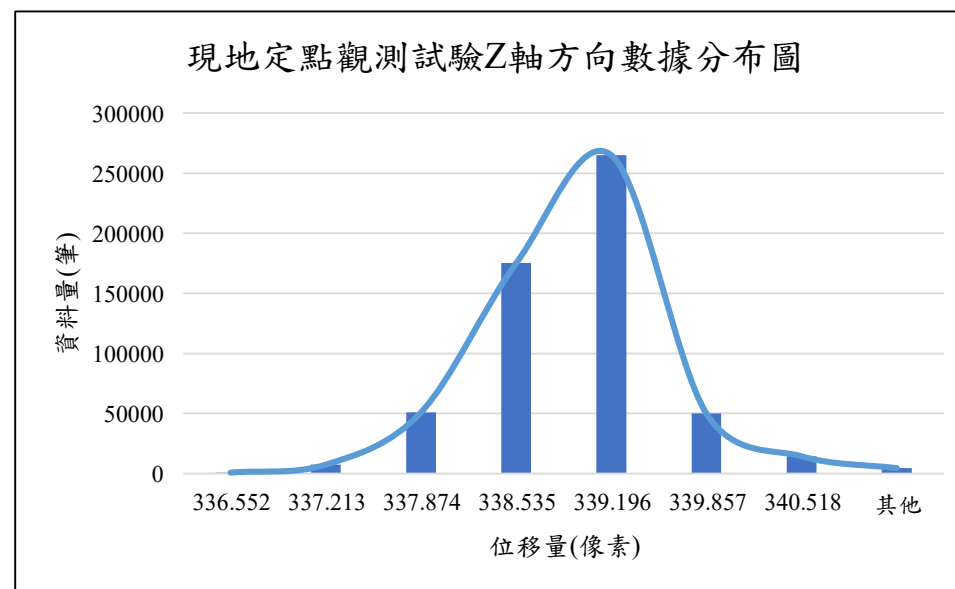
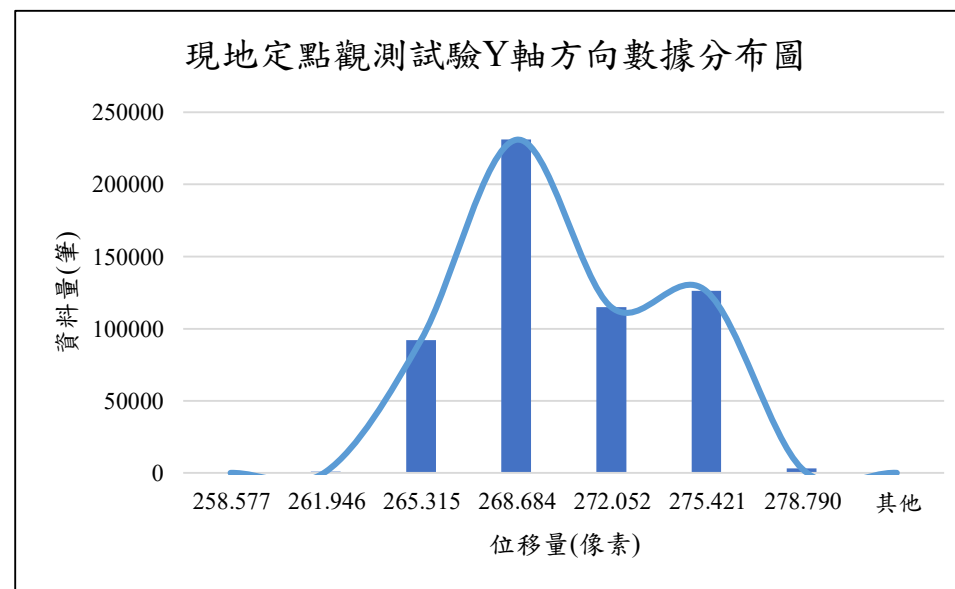
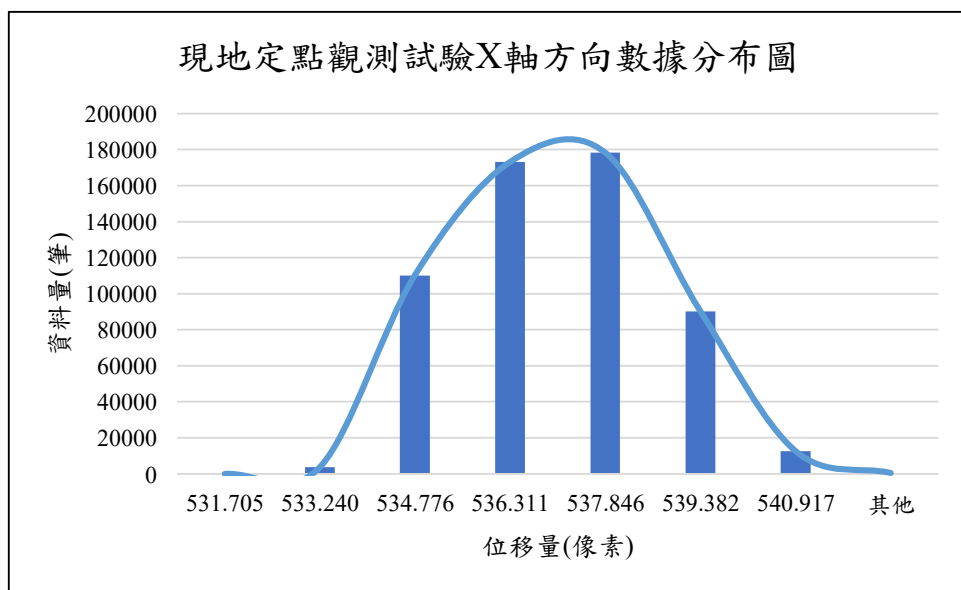




現地試驗

(以2023/06/28單日觀測資料為例)

• 九份二山現地單鏡頭定點觀測試驗



本試驗一個像素所代表的實際長度為0.039公分



現地試驗

(以2023/06/28單日觀測資料為例)

本研究現地單鏡頭定點觀測試驗資料分部
落在2倍標準差內的資料

達**9**成以上

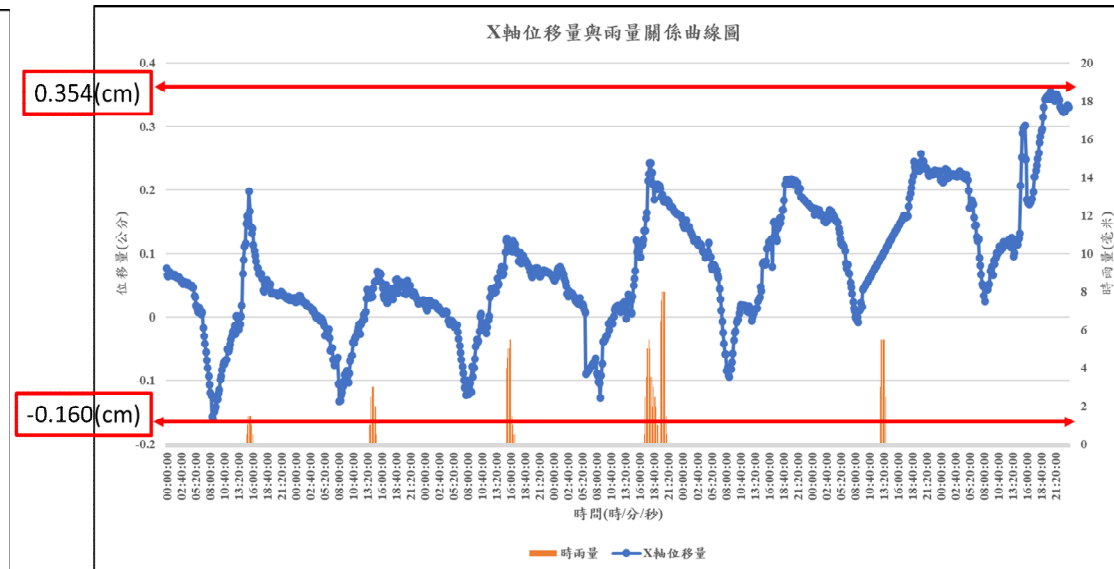
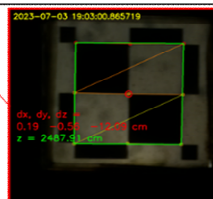
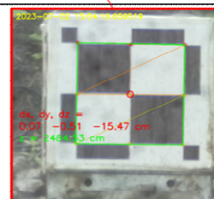
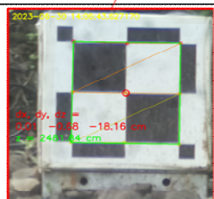
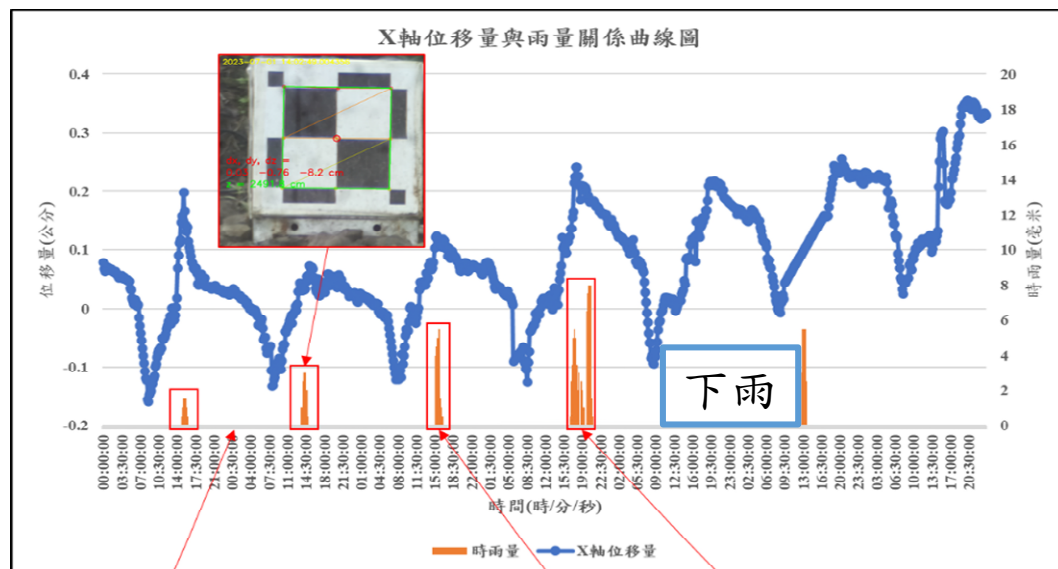
• 九份二山現地單鏡頭定點觀測試驗

九份二山現地定點觀測試驗			
	X軸方向	Y軸方向	Z軸方向
平均值(像素)	536.311	268.683	338.535
標準差(像素)	1.535	3.369	0.661
總資料筆數(筆)	568503	568503	568503
兩倍標準差的資料 筆數(筆)	555387	565370	548842
兩倍標準差的資料 筆數(%)	97.69%	99.45%	96.54%



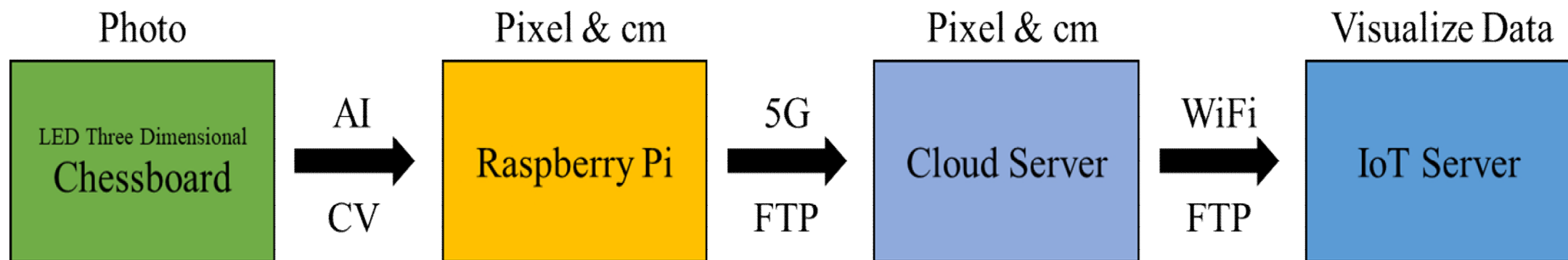
現地試驗

九份二山現地單鏡頭定點觀測試驗





AIoT現地應用

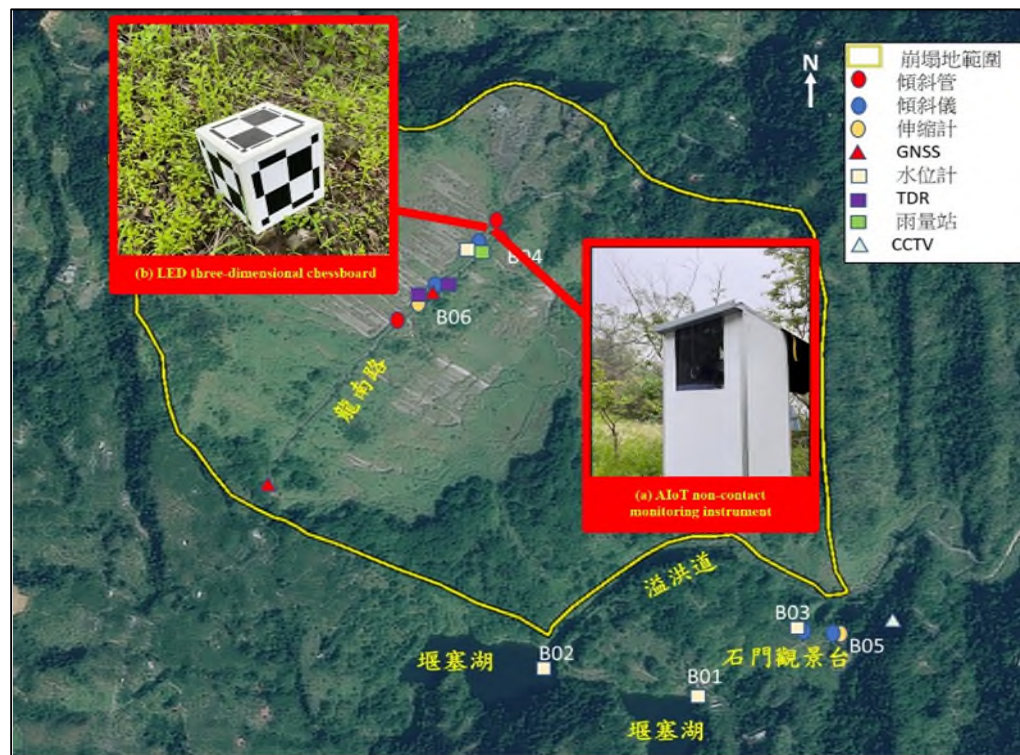
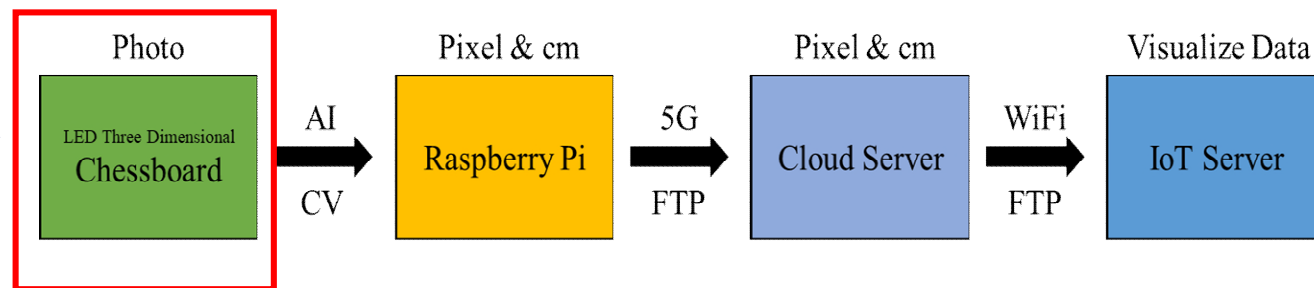


AIoT智慧監測流程示意圖





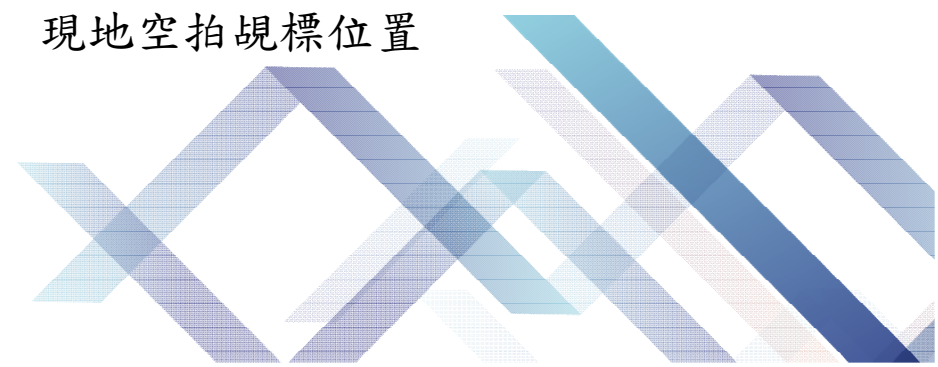
AIoT現地應用



現地試驗儀器配置

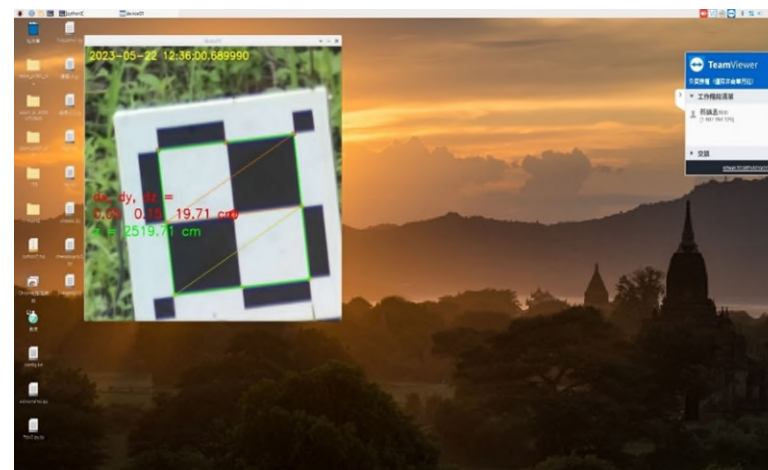
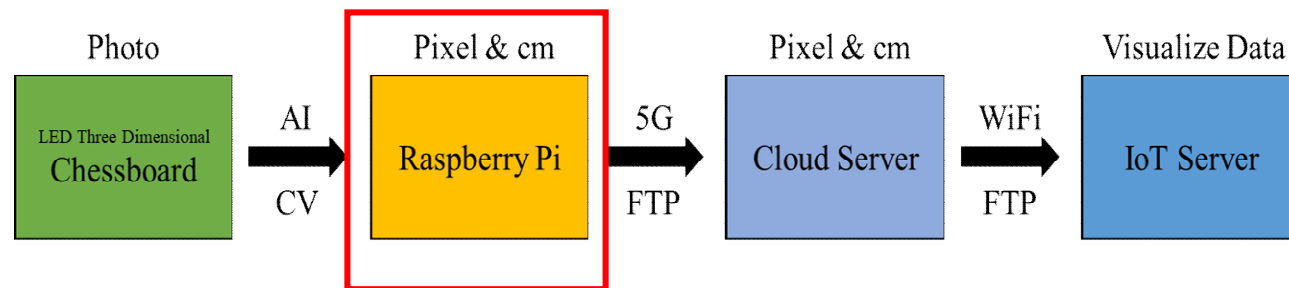


現地空拍規標位置





AIoT現地應用

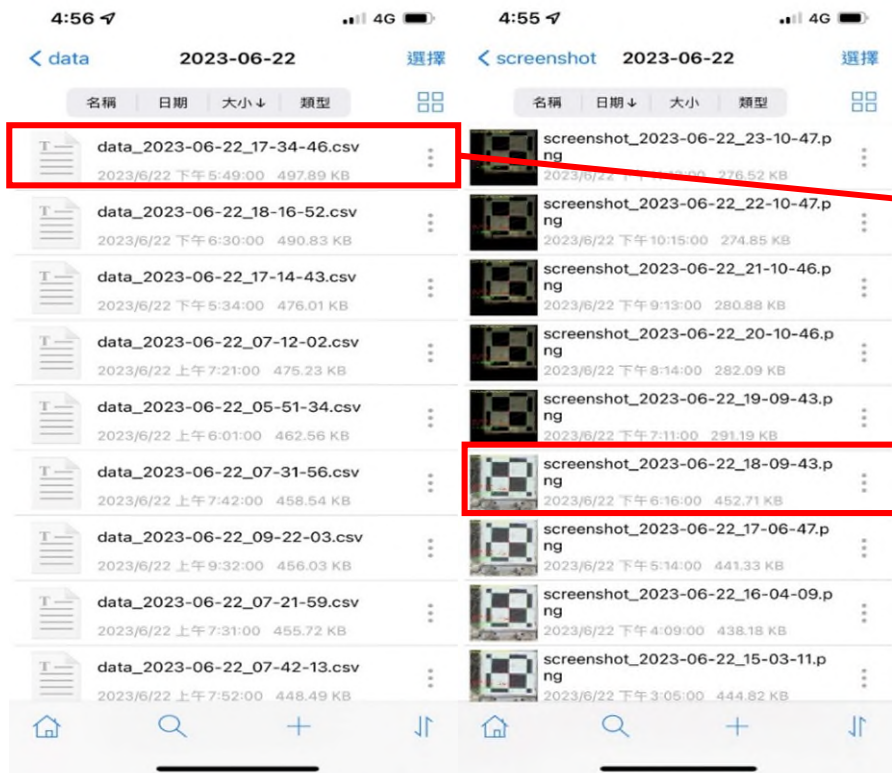
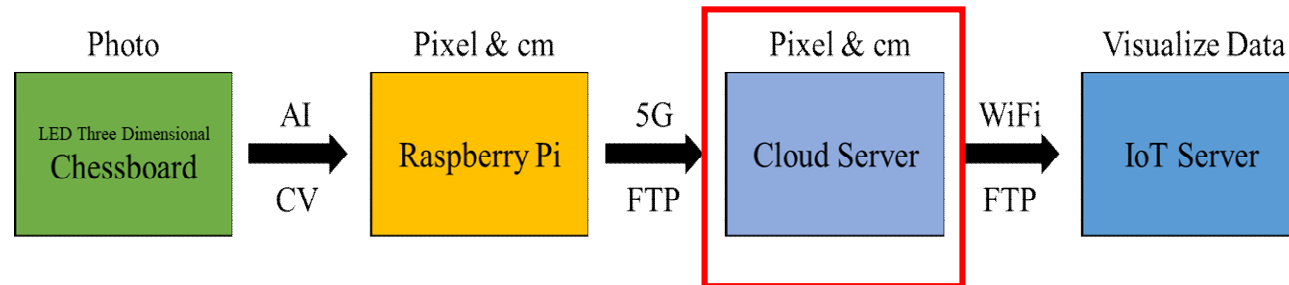


video.py與Chessboard.py之Python程式碼操作示意圖

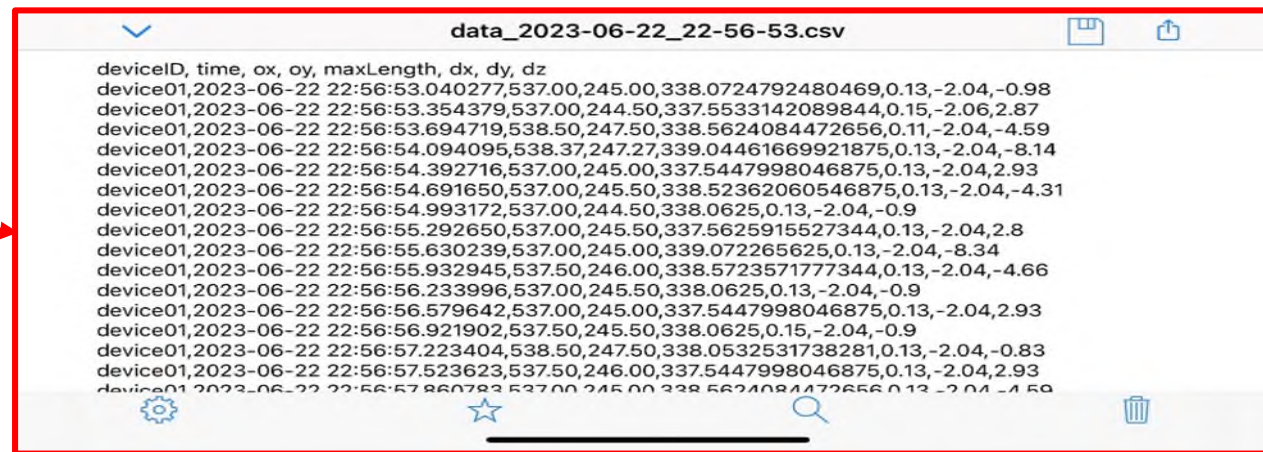




AIoT 現地應用



雲端伺服器內部資料

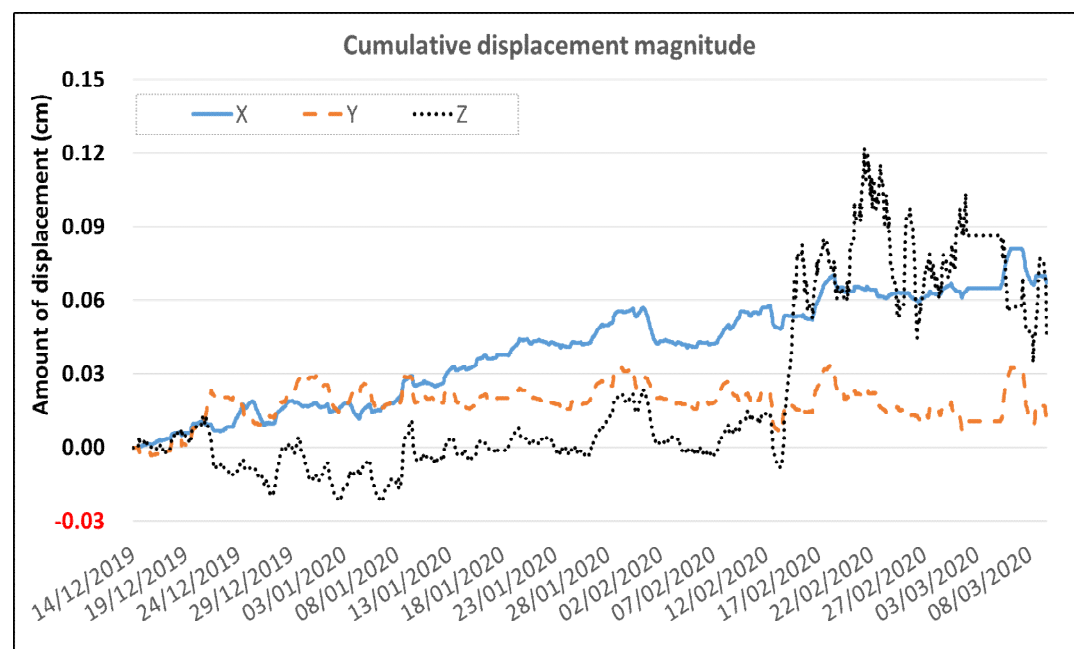


自動記錄的資料格式

規標中心點XYZ
像素的座標

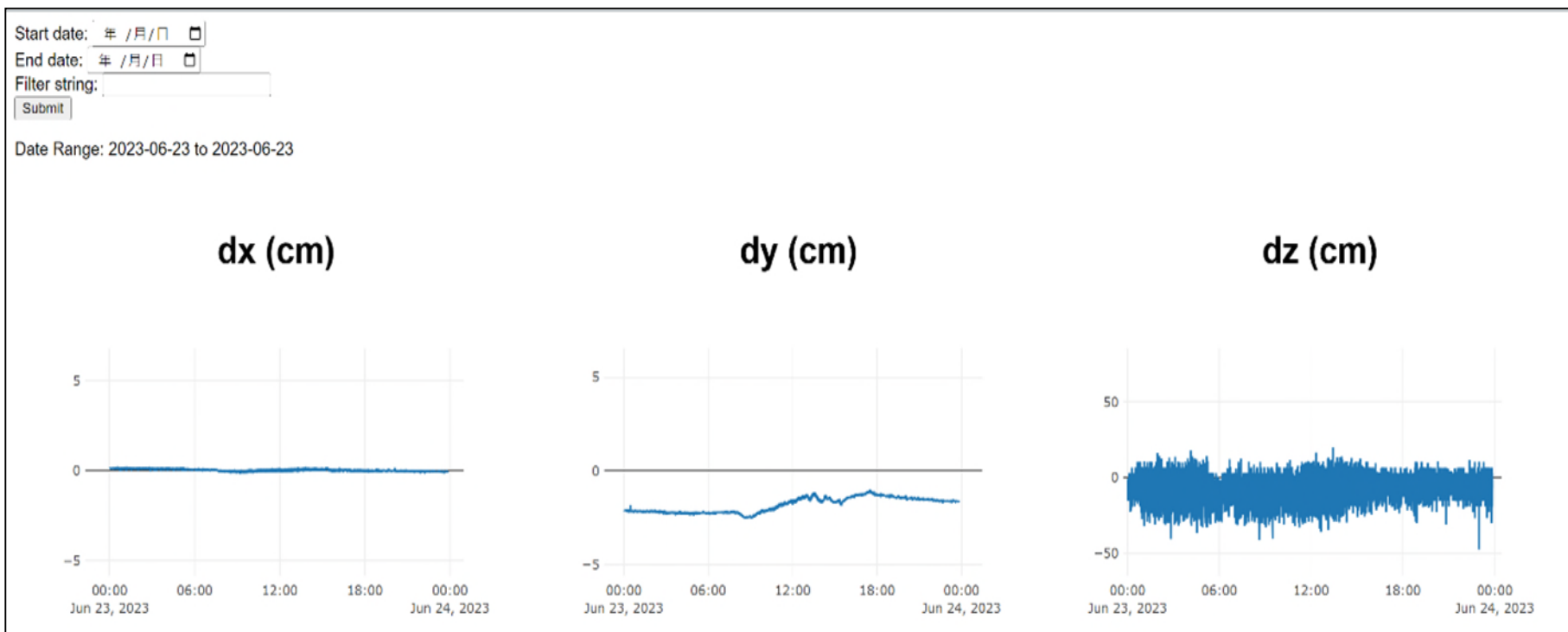
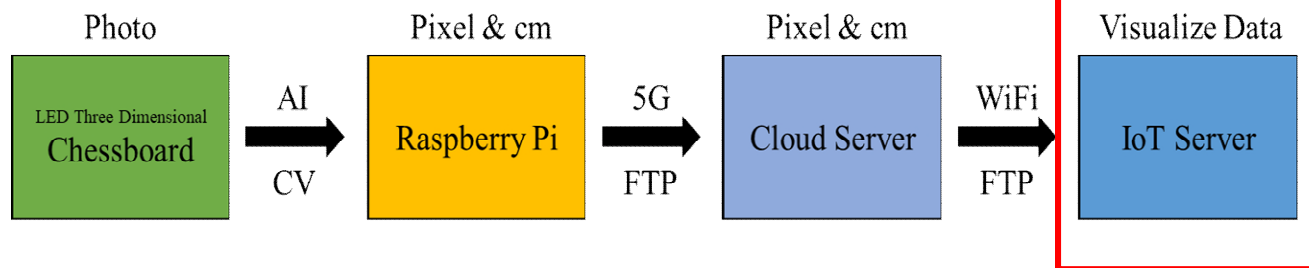
規標中心點XYZ
相對起始點的位移距離

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	ID	date	time	scx	scy	scz	Dx	Dy	Dz
2	device01	2022/8/9	11:52.5	320.5627	328.3318	48.09366	0.06	1.16	30.43
3	device01	2022/8/9	11:52.6	320.5698	328.3362	48.04165	0.06	1.16	30.46
4	device01	2022/8/9	11:52.9	320.5413	329.1796	49.0408	0.06	1.22	29.84
5	device01	2022/8/9	11:53.2	320.5929	330.8656	50.03998	0.06	1.29	29.25
6	device01	2022/8/9	11:53.7	320.5252	330.9952	50.08992	0.06	1.29	29.22
7	device01	2022/8/9	11:53.9	320.4938	331.1368	50.03998	0.06	1.35	29.25
8	device01	2022/8/9	11:54.2	320.5106	331.1941	50.03998	0.06	1.35	29.25
9	device01	2022/8/9	11:54.4	320.513	331.2671	50.03998	0.06	1.35	29.25
10	device01	2022/8/9	11:56.0	320.7154	331.4948	49.09175	0.06	1.35	29.81
11	device01	2022/8/9	11:56.2	320.7263	331.6105	49.09175	0.06	1.35	29.81
12	device01	2022/8/9	11:57.5	320.7381	331.6451	49.09175	0.06	1.35	29.81
13	device01	2022/8/9	11:57.9	320.7449	331.7595	49.09175	0.06	1.35	29.81
14	device01	2022/8/9	11:58.4	320.8943	332.7488	50.15974	0.06	1.41	29.18
15	device01	2022/8/9	11:58.9	320.8972	332.8144	50.15974	0.06	1.41	29.18
16	device01	2022/8/9	11:59.5	320.9092	333.0182	50.15974	0.06	1.48	29.18





AIoT現地應用



AIoT地表變位監測5G物聯網系統





比較分析

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。

利用電腦視覺變位監測儀器(CVDM儀器)與傳統監測儀器之比較

	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	\$20,000 美元	\$10,000 美元
物聯網應用	是	否	否

總結

1. 基於電腦視覺的位移監測儀器 (CVDM)
可作為物聯網系統，提供即時和長期的
邊坡位移監測。
2. CVDM儀器的解析度和精確度分別為0.01和0.11公分。
3. CVDM儀器由樹梅派和數位相機組成，其處理數據的頻率可以每秒4幀(即時監測) 或以每秒90幀(後處理方案)分析大規模崩塌潛勢區的邊坡位移。
4. 利用CVDM儀器對於大規模崩塌潛勢區的邊坡位移，以及結構物的變位監測，
具有革命性與創新性。

即時(Real-time)
節能(Energy-saving)
經濟性(Cost-effective)
雲端物聯網(IOT)

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