
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
Applying AIOT computer vision system to real-time monitoring of slope displacement in landslides
(成果報告書)

執行單位：國立中興大學

執行期間：111 年 01 月 18 日至 111 年 12 月 31 日

計畫主持人：陳毅輝 助理教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 111 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

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

摘要

在崩塌地監測中，地表變位量監測是崩塌地防災的重要參考指標，應以邊坡確實有各種變形量之徵兆為重要警戒發布依據，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，應用微電腦與數位相機之即時攝影，創新研發三目鏡頭之電腦視覺式地表變位監測儀器，安裝於崩塌地區的邊坡，以 1 秒 4 幀照片的速率判視規標，可監測崩塌地的地表變位加速的趨勢。三目電腦視覺式變位監測儀包括兩組數位相機與一組望遠鏡頭，結合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，進行邊坡安全之穩定性監測分析，可工作之距離已達 500 公尺，其觀測精度為 0.01 公分，XY 軸平均觀測誤差為 0.07 公分。另比較傳統測量之全測站雷射經緯儀、LiDAR 測量與本計畫電腦視覺儀器之優缺點，本計畫研究之電腦視覺裝置只需要三十分之一的價格，運用規標辨識之誤差可達公厘級，不論是經濟面或使用性都更具有優勢。

關鍵詞：電腦視覺、大規模崩塌、地表變位監測

Applying AIOT computer vision system to real-time monitoring of slope displacement in landslides

Abstract

For landslide monitoring, the warning management value of ground displacement is an important monitoring item for disaster prevention and evacuation. A significant deformation on the slopeland should be considered as an indicator of early warning for the landslide monitoring through big data analysis. The study uses computer vision-based instruments composited of microcomputers and digital cameras with 4 frames per second to detect ground displacement of the slope in the landslide area. In order to monitor the 3D deformation and on-site image in the landslide area, the three-shot computer vision-based system including two digital cameras and a telescope consisted a Raspberry Pi equipment. The system based on Raspberry Pi microcomputer and Open CV technology to compute the displacement of chessboards by 500-meter distance. Comparing to traditional devices, such as a laser total station and LiDAR, the computer vision-based instruments only cost one-thirtieth of price of the traditional devices. Furthermore, the error could reach to millimeter. It is an advantage for the new instruments that they are more cost-effective and useful in the landslide monitoring.

Keywords: computer vision, large-scale landslide, ground movement monitoring

目次

摘要.....	I
Abstract.....	II
目次.....	III
表次.....	III
圖次.....	2
第一章 緒論.....	1-1
第二章 工作執行方法與步驟	2-1
第一節 工作執行方法	2-1
第二節 工作執行步驟	2-4
第三章 工作進度與交付項目	3-1
第一節 計畫甘特圖	3-1
第二節 計畫交付項目	3-2
第四章 結論及建議	4-3
第一節 結論	4-3
第二節 建議	4-4
參考文獻.....	參-5
附錄一 審查會議記錄暨回覆辦理情形	附錄-1

表次

表 2-2-1 XYZ 可調式工業級光學鏡頭	37
表 2-2-2 XYZ 燈光模組	37
表 2-2-3 XYZ 定焦式望遠光學鏡頭	38
表 2-2-4 XYZ 三軸位移精度實驗	39
表 2-2-5 現地經緯儀測試之結果比較表	67
表 2-2-6 現地 LiDAR 測試之結果比較表	68
表 2-2-7 TOTAL STATION &LiDAR&三目電腦視覺式變位監測儀比較表	69

圖次

圖 2-2-1 電腦視覺式變位監測裝置示意圖.....	5
圖 2-2-2 光學式變位觀測研究裝置	6
圖 2-2-3 位移速率加速變化理想示意圖（齊藤迪孝（1987）、INTRIERI 等人(2019）	7
圖 2-2-4 砂箱實驗立體規標滾落日間示意圖	9
圖 2-2-5 砂箱實驗立體規標滾落夜間示意圖	10
圖 2-2-6 砂箱實驗多點立體規標滾落示意圖	10
圖 2-2-7 電腦視覺辨識之 XYZ 變位值.....	11
圖 2-2-8 室內砂箱試驗規標中心點 X 軸方向變化量	12
圖 2-2-9 室內砂箱試驗規標中心點 Y 軸方向變化量	12
圖 2-2-10 室內砂箱試驗規標中心點 Z 軸方向變化量	13
圖 2-2-11 視差與景深示意圖	14
圖 2-2-13 黑白棋盤格校正板示意圖	16
圖 2-2-14 EXTRINSIC PARAMETERS VISUALIZATION 圖	17
圖 2-2-15 MEAN REPROJECTION ERROR PER IMAGE 圖	17
圖 2-2-16 左右鏡頭參數示意圖	18
圖 2-2-17 雙目校正照片示意圖.....	19
圖 2-2-18 雙目校正照片示意圖	20
圖 2-2-19 40M 到 10M 雙目視差示意圖	21
圖 2-2-20 雙目視覺測距距離圖	22
圖 2-2-21 雙目視覺測距距離誤差圖	22
圖 2-2-22 雙目視覺測距實驗誤差百分比圖	23
圖 2-2-23 定點監測實驗器材架設示意圖	24
圖 2-2-24 變位移率定試驗(A).....	25

圖 2-2-25 變位儀率定試驗(B).....	25
圖 2-2-26 15M-距離-常態分佈圖	26
圖 2-2-27 15M-距離-離散圖	26
圖 2-2-28 15M-SCX-常態分佈圖	27
圖 2-2-29 15M-SCX-離散圖.....	27
圖 2-2-30 15M-SCY-常態分佈圖.....	28
圖 2-2-31 15M-SCY-離散圖	28
圖 2-2-32 20M-距離-常態分佈圖	29
圖 2-2-33 20M-距離-離散圖	29
圖 2-2-34 20M-SCX-常態分佈圖	30
圖 2-2-35 20M-SCX-離散圖.....	30
圖 2-2-36 20M-SCY-常態分佈圖.....	31
圖 2-2-37 20M-SCY-離散圖	31
圖 2-2-38 25M-距離-常態分佈圖	32
圖 2-2-39 25M-距離-離散圖	32
圖 2-2-40 25M-SCX-常態分佈圖	33
圖 2-2-41 25M-SCX-離散圖.....	33
圖 2-2-42 56.8M-距離-觀測圖	34
圖 2-2-43 56.8M-距離-離散圖	34
圖 2-2-44 56.8M-SCX-常態分佈圖	35
圖 2-2-45 56.8M-SCX-離散圖.....	35
圖 2-2-46 56.8M-SCY-常態分佈圖.....	36
圖 2-2-47 56.8M-SCY-離散圖	36
圖 2-2-48 規標中心點 X 軸方向像素變化量(PIXEL).....	39
圖 2-2-49 規標中心點 X 軸方向位移變化量(CM).....	40

圖 2-2-50 規標中心點 Y 軸方向像素變化量(PIXEL).....	40
圖 2-2-51 規標中心點 Y 軸方向像位移變化量(CM).....	41
圖 2-2-52 規標中心點 Z 軸方向像素變化量(PIXEL).....	41
圖 2-2-53 規標中心點 Z 軸方向像位移變化量(CM)	42
圖 2-2-54 規標示意圖	43
圖 2-2-55 100M 定點規標辨識	44
圖 2-2-56 500M 定點規標辨識	45
圖 2-2-57 六面立體光學規標示意圖	46
圖 2-2-58 九份二山現地示意圖	47
圖 2-2-59 現地安裝圖	48
圖 2-2-60 現地裝置模擬示意圖	49
圖 2-2-61 黑白棋盤格校正板示意圖.....	50
圖 2-2-64 左右鏡頭參數示意圖	51
圖 2-2-65 雙目校正照片示意圖	52
圖 2-2-66 40M 到 10M 雙目視差示意圖	53
圖 2-2-67 雙目視覺測距距離圖	54
圖 2-2-68 雙目視覺測距距離誤差圖	54
圖 2-2-69 雙目視覺測距距離誤差百分比圖	55
圖 2-2-70 日間監測時實鏡頭	56
圖 2-2-71 日間監測框選辨識範圍	56
圖 2-2-72 日間監測規標辨識	57
圖 2-2-73 日間監測連續自動辨識	57
圖 2-2-74 夜間監測時實鏡頭	58
圖 2-2-75 夜間監測框選辨識範圍	59
圖 2-2-76 夜間監測規標辨識	59

圖 2-2-77 夜間監測連續自動辨識.....	60
圖 2-2-78 規標中心點 X 軸方向像素變化量(PIXEL).....	61
圖 2-2-79 規標中心點 X 軸方向位移變化量(CM).....	61
圖 2-2-80 規標中心點 Y 軸方向像素變化量(PIXEL).....	62
圖 2-2-81 規標中心點 Y 軸方向像位移變化量(CM).....	62
圖 2-2-82 規標中心點 Z 軸方向像素變化量(PIXEL).....	63
圖 2-2-83 規標中心點 Z 軸方向像位移變化量(CM)	63
圖 2-2-84 三目電腦視覺式變位監測儀.....	64
圖 2-2-85 現地照片之儀器與規標	65
圖 2-2-86 全測站雷射經緯儀之現地照片	67
圖 2-2-87 LiDAR(ZENMUSE L1)九份二山現地施作照片	67
圖 2-2-88 LiDAR(ZENMUSE L1)九份二山現地施作照片	68
圖 2-2-89 LiDAR(ZENMUSE L1)九份二山點雲圖成果.....	68

第一章 緒論

崩塌地邊坡位移監測需要即時、長期與可預警式的安全監測，對於偏遠山區之土砂災害須具備簡易、自動化之監測裝置。坡地發生土砂災害時，需要緊急應變、安全且可靠度高的坡面變位監測系統。應用非接觸式光學儀器達到工程結構或崩塌坡面的安全性監測，並能長期架設於現場提供 24 小時之監測數據與影像資料。

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，量測崩塌坡面岩塊上的觀測點。此傳統方法雖然量測精準，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。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 XYZ 三軸變位監測，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 OPEN CV 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，即時監測崩塌坡面定點式規標偵測，若規標有位移或崩落，可即時研判並提出警告，提供山坡地土砂災害的安全監測。本計畫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。

第二章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

一、本研究主要採用電腦視覺監測技術，應用於崩塌地之變位監測系統，可分為三大層面。

(一)、嵌入式系統與感測器：應用人工智慧之電腦視覺技術微型化導入創新研發之非接觸式地表位移感測器，搭載樹莓派嵌入式裝置，其運算能力佳，已達伺服器等級，故單一現地節點端就能進行影像分析運算，達成多點感測器之分散式監測架構。

(二)、無線感測網絡(WSN)：本研究應用 4G 無線通訊網絡，進行分散式監測之無線傳輸。大量數據資料可透過 4G 網路上傳雲端進行數據分析，以無線型之即時監測崩塌地地表變位情形。

(三)、雲端數據與分析：應用智慧型裝置與量測點之間的相對變位會造成影像改變的原理，分析影像上的變化量，即可得知現地的變位量，本研究將各單一感測器資料，儲存於智慧型裝置與連結無線網路傳輸，最後透過網際網路上傳至雲端，成為完整之電腦視覺技術監測的物聯網

系統。

二、本研究之原創性為將電腦視覺技術之光學原理，應用於現地動點與不動點之相對變位感應與記錄的裝置，包括一個用來安裝具攝影功能的智慧型裝置及設置在欲量測相對變位的規標設計。應用影像改變的原理，分析規標變位造成影像上的變化量，即可推算待測物相對變位量。所記錄的資料，可以顯示在智慧型裝置，或儲存，定時或即時傳遞至其他必要之裝置。

三、實驗室試驗：

利用砂箱試驗模擬邊坡破壞時，邊坡感測器的偵測與即時電腦視覺辨識之監測系統配置，以及本電腦視覺裝置於室內的定位點測試，分析儀器解析度與精確度。

四、光學儀器之比對：

本計畫使用三目鏡頭之電腦視覺裝置架設於室內研究室進行資料比對作業，比對儀器包括全測站雷射經緯儀以及光達（LiDAR）雷射掃瞄系統。本 AIOT 電腦視覺裝置之攝影機拍攝得到數據所解算之深度距離與全測站雷射經緯儀之距離以及 LiDAR 所測之地形進行分析比較，透過不同測距重複進行上述作業，藉此討論本裝置之實驗 XYZ 三軸變位量測的精度。

從經濟上來比較，本研究以兩組樹莓派加上三台攝影機與 4G

模組等，一組 AIOT 電腦視覺裝置之硬體費用約可控制在 5 萬元左右，然而電子式全測站雷射經緯儀之設備就達 30 萬元以上，光達（LiDAR）雷射掃瞄系統更達 50 萬元以上。且本裝置可以同步自動化監測崩塌區之特徵點 XYZ 三軸變位，又有省電、經濟與物聯網功能之優勢，適合做緊急防災應變與長期、即時的坡地安全監測。

五、現地試驗：

本計畫研擬使用 AIOT 電腦視覺裝置架設於崩塌地實地之配置與可行性方案，模擬若崩塌區並無道路可以抵達或有安全疑慮之崩塌坡面，裝設夜間可辨識規標並應用 AIOT 電腦視覺裝置進行長期對邊坡位移進行觀測。

比對儀器可包括全測站雷射經緯儀或光達（LiDAR）雷射掃瞄系統。研擬於崩塌區對岸設置即時影像觀測，持續注意崩塌土石崩落或利用 UAV 進行定期的拍攝分析崩塌區長期位移情形，以即時掌握邊坡位移變化情形之可行性研究。

第二節 工作執行步驟

一、實驗室試驗：

本創新研究應用智慧型裝置原構想要為監測潛在崩塌地之地表 XYZ 三軸變化量，預設定安裝規標可能崩落之測點，另安裝智慧型裝置與相機於相對不動點，以利用電腦視覺技術判讀不動點與測點之間的相對變位所造成影像改變的原理，分析影像上的變化量，即可得知現地的變位量。

原啟發性的裝置構想如圖 2-1 之示意圖，對所欲量測的相對變位的點位，設置簡易的機械裝置，要量測現地兩點位之間位置關係的變化量，將具備可供量測尺寸大小之規標固定在可能變位的測點，具相機之固定架固定在不動點位置。當測點與不動點之間產生相對位移時，規標所在之位置亦會隨之改變，相機成像中，規標的大小亦會隨之改變，由連接相機之電腦或智慧型裝置中，即可計算影像中規標各部分尺寸的大小變化來推算測點與不動點之間的相互關係變化，並可進行記錄，資料儲存與傳輸的工作，此為最初電腦視覺式變位儀之構想。

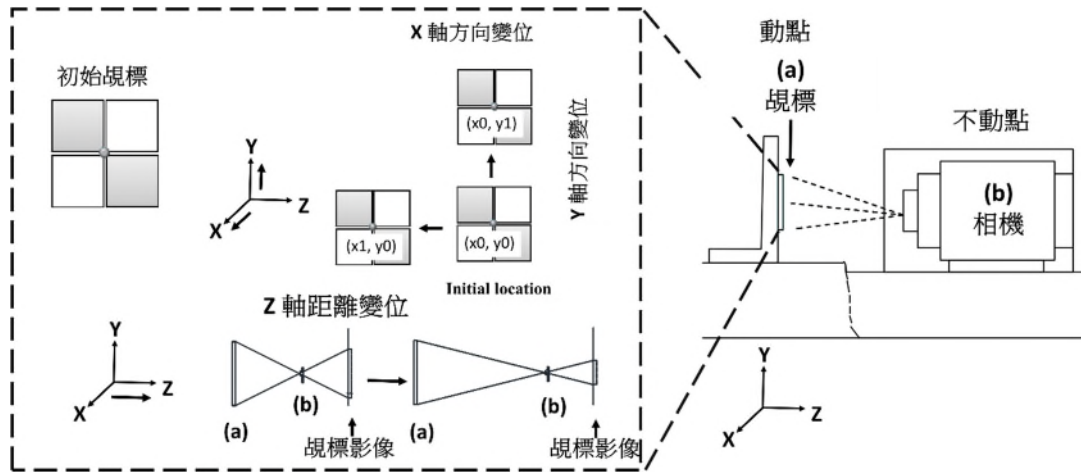


圖 2-2-1 電腦視覺式變位監測裝置示意圖

本研究利用人工智慧電腦視覺技術，即 OpenCV 之 Python 程式語言結合物聯網裝置樹莓派與數位相機，撰寫相關程式與整合開發環境。利用相機影像原理與預設之 Chessboard(規標)，兩者相對互相平行，運用影像投影三角之關係，和相對位移逐次進行測試，計算求取距離。因為焦距與規標之尺寸為已知值，故影像規標邊長尺寸會隨相機與規標距離而改變，距離與規標像尺寸為反比，因此可求得實際距離，並藉由規標座標值之變化，換算 Pixel 與位移、角度之關係，進而求得兩者之相對變位，相機採用固定焦距，相機不會旋轉，若相機移動，必須重新校正焦距與重新計算變位量。

本研究選用樹莓派 4B 與 HQ 相機模組以及 Chessboard(20*20 公分)規標，利用三角幾何關係，求規標中心點規標與相機距離，再運用程式碼判讀規標之(X,Y)座標，利用前後期數據相比對，計算出水平(X)、垂直(Y)位移量變化，如圖 2-2-2 之研究裝置。

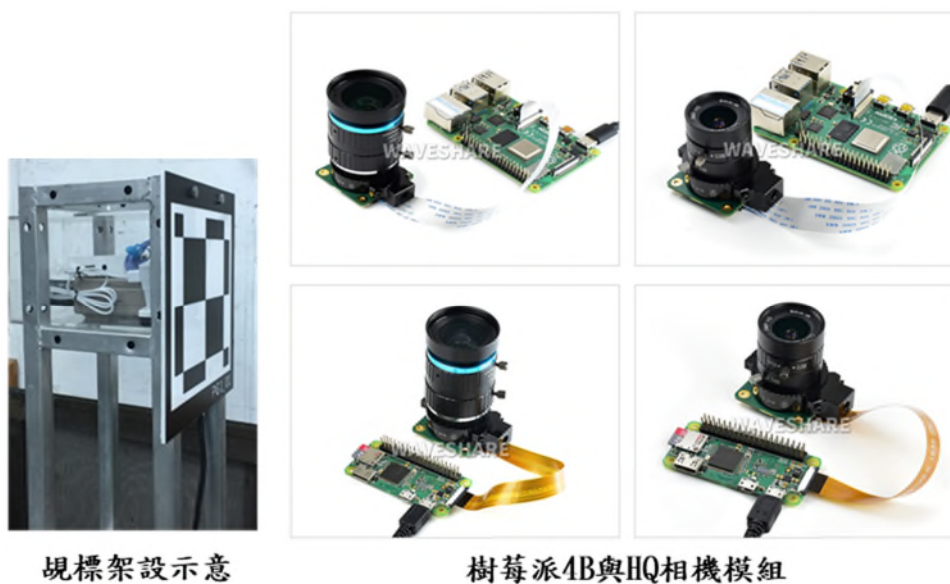


圖 2-2-2 光學式變位觀測研究裝置

本研究透過室內砂箱實驗可模擬現地巨石滾動前的崩塌破壞前最後階段的位移曲線，以求得其加速變形之臨界點。本計畫針對邊坡變形速率加速之模擬，主要依據齊藤迪孝(1987)、Intrieri 等人(2019)之崩塌破壞前最後階段的位移曲線原理(圖 2-2-3)如下圖所示。

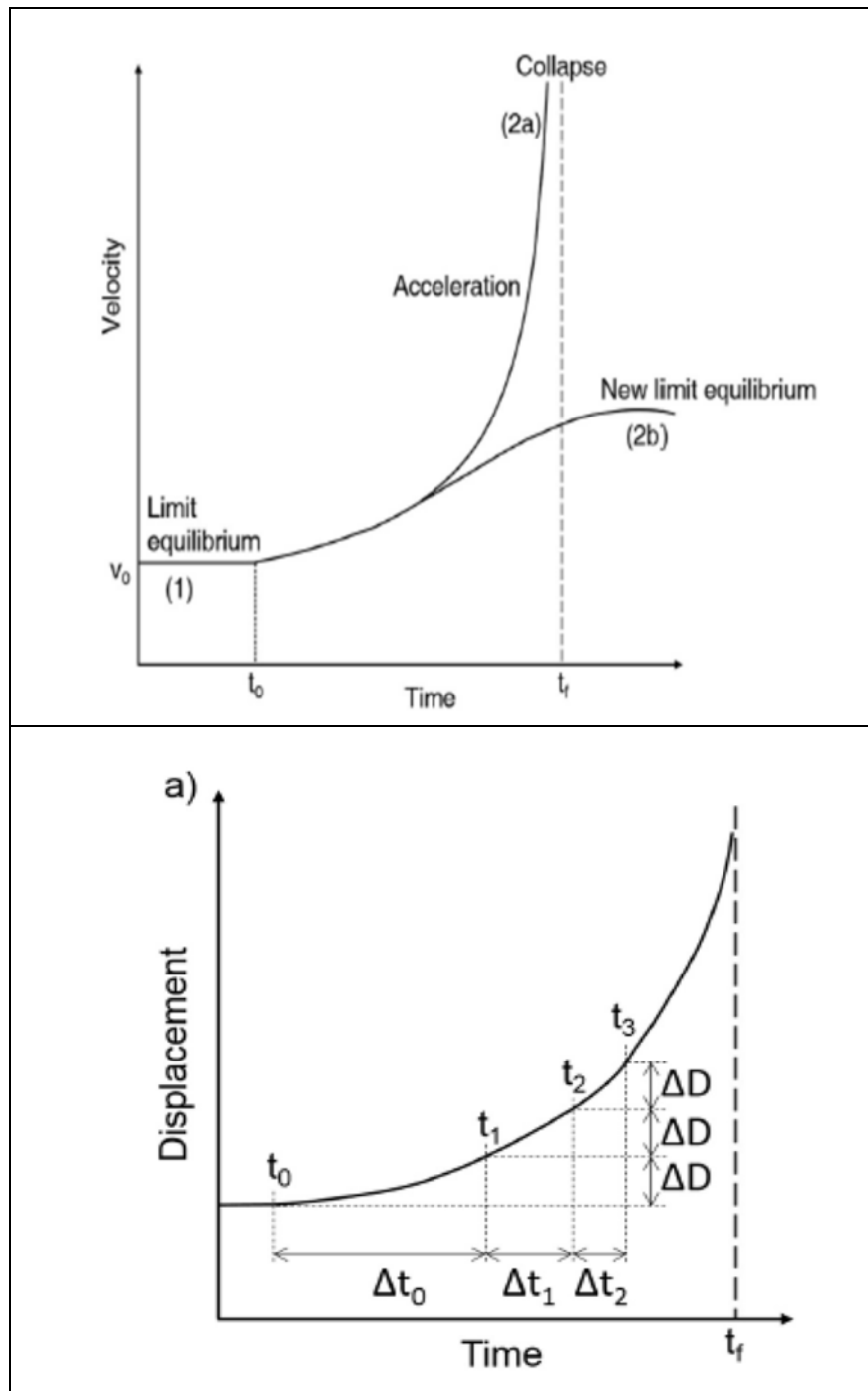


圖 2-2-3 位移速率加速變化理想示意圖（齊藤迪孝（1987）、

Intrieri 等人(2019)

(一)、砂箱實驗：

本研究想要了解現地崩塌前的位移加速變動的偵測，所以利用長 85 公分寬 25 公分高 34 公分的透明壓克力箱作為現地邊坡模擬的容器，以標準砂(粒徑:0.25-0.50mm、單位重:1.45g/cm³)作為現地砂土的模擬，以 3D 立體規標作為現地落石的模擬，接著將樹莓派與相機的鏡頭裝置於邊緣，整體裝置於模擬不動點(相機)以及坡地之規標變為監測，實驗方法為拉動坡地內盒之高度，模擬坡地坡度變化之情形，使得規標在砂箱內前傾滾落產生位移，並藉由事先寫好之程式計算取得三軸(X,Y,Z)pixel 及距離之間的關係。

1、單點規標偵測：

(1)、可見光(模擬白天)

透過實驗數據可發現在 3D 立體規標崩塌滾落驅動前位移與時間的斜率有明顯加速的趨勢，與理論相符，分析圖形如後詳述。

(2)、紅外光(模擬黑夜)

由於現地所在位置於夜晚無照明設備，所以如果當日落時將無法辨識規標，為了模擬現地狀況所以室內試驗以紅外線投射器當作夜晚的光線來源，以達到

監測的連續性。

砂箱實驗模擬邊坡破壞時之規標滾落的變位判識，本研究以 1 秒 4 幀照片的速率辨識規標，所以當規標欲滾動掉落時可以成功地捕捉到其變形加速的微趨勢，規標之量測範圍為相機畫面解析(640*480 pixel)。實驗畫面如下圖 2-2-4~2-2-6 所示。

[日間(紅外線濾片 OFF)]

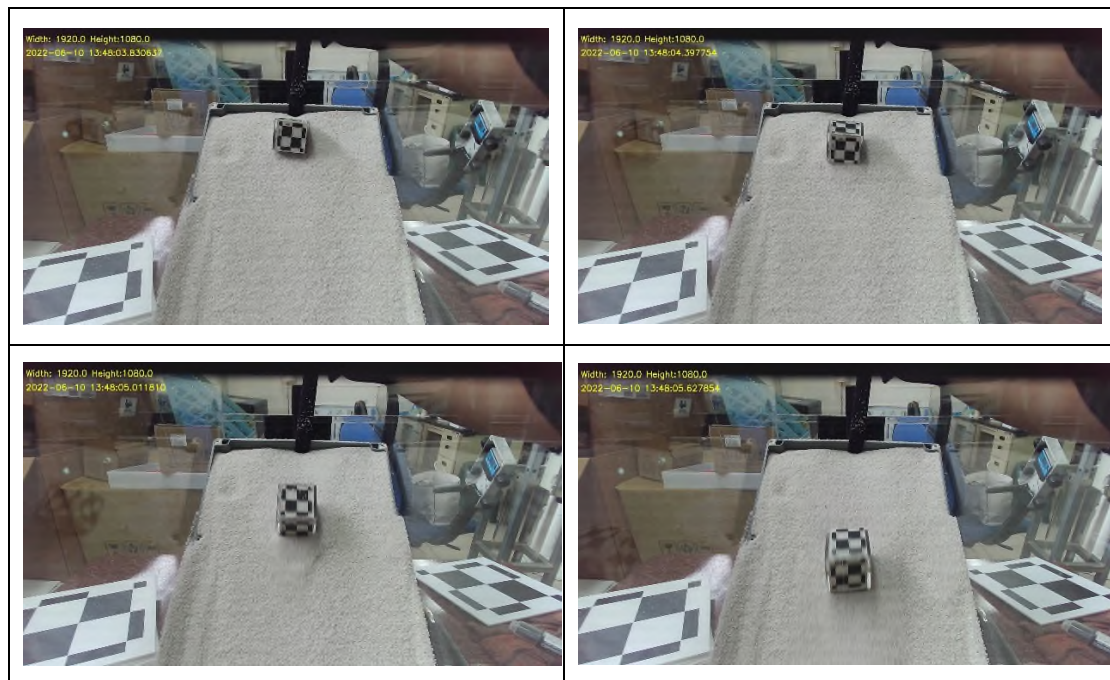


圖 2-2-4 砂箱實驗立體規標滾落日間示意圖

[夜間(紅外線濾片 ON)]

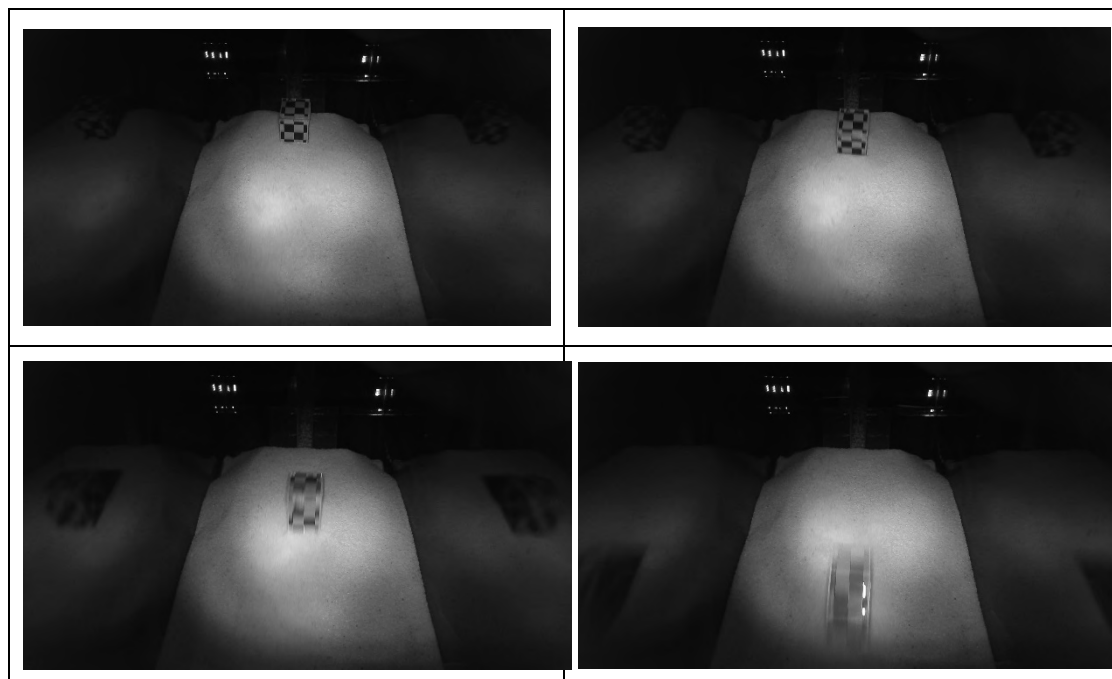


圖 2-2-5 砂箱實驗立體規標滾落夜間示意圖

[單點&多點規標偵測]



圖 2-2-6 砂箱實驗多點立體規標滾落示意圖

另針對單點偵測坡地變位實驗裝置，將樹莓派與相機的鏡頭裝置於邊緣，往另一側攝影 chessboard(規標)，整體裝置於模擬不動點(相機)以及坡地之規標變為監測，實驗方法為拉動坡地內盒之高度，模擬坡地緩坡與陡坡之情形，使得規標在相片中產生位移，並藉由計算取得 pixel 及距離之間的關係，如圖 2-2-7 之示意圖，畫面底下紅字為 XYZ 相對變化值。

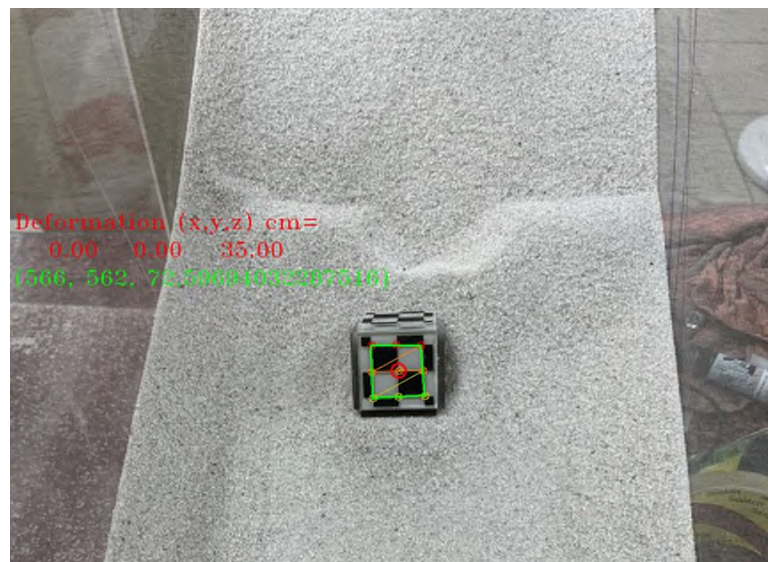


圖 2-2-7 電腦視覺辨識之 XYZ 變位值

透過實驗數據可以發現當模擬邊坡破壞時，坡度約為 30 度，立方體規標在崩塌滾落前的確有明顯的加速位移曲線(斜率變大)，如下圖 2-2-8~2-2-9，分別代表規標 X 軸(水平方向)、Y 軸(垂直方向)與 Z 軸(規標與相機之間距離)。Y 軸(垂直方向)之測試結果，與理論圖形(上頁圖 2-2-3)一致，有變位加速之趨勢圖形的偵測結果如圖 2-2-9 所示，y 軸之 pixel 值從 162 移動至 400 左右，經由換算可推得 1 個 pixel

約為 0.315 公分，總位移量約為 75 公分。

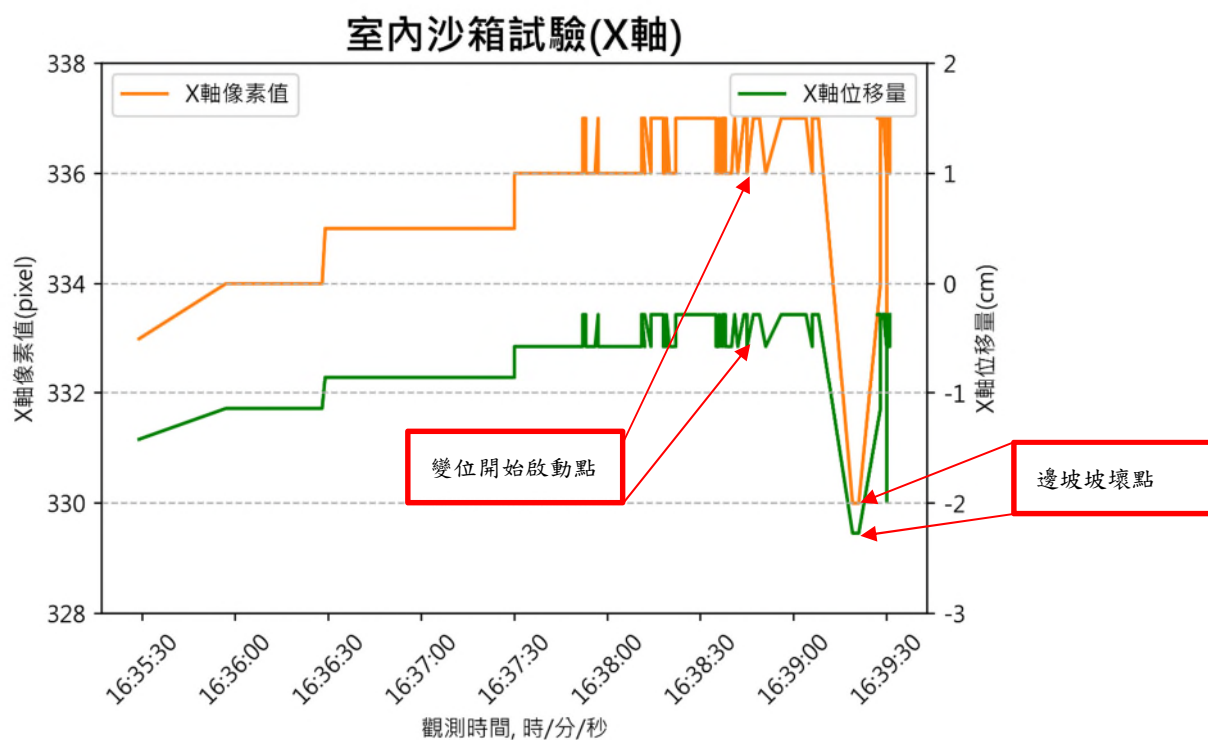


圖 2-2-8 室內砂箱試驗規標中心點 X 軸方向變化量

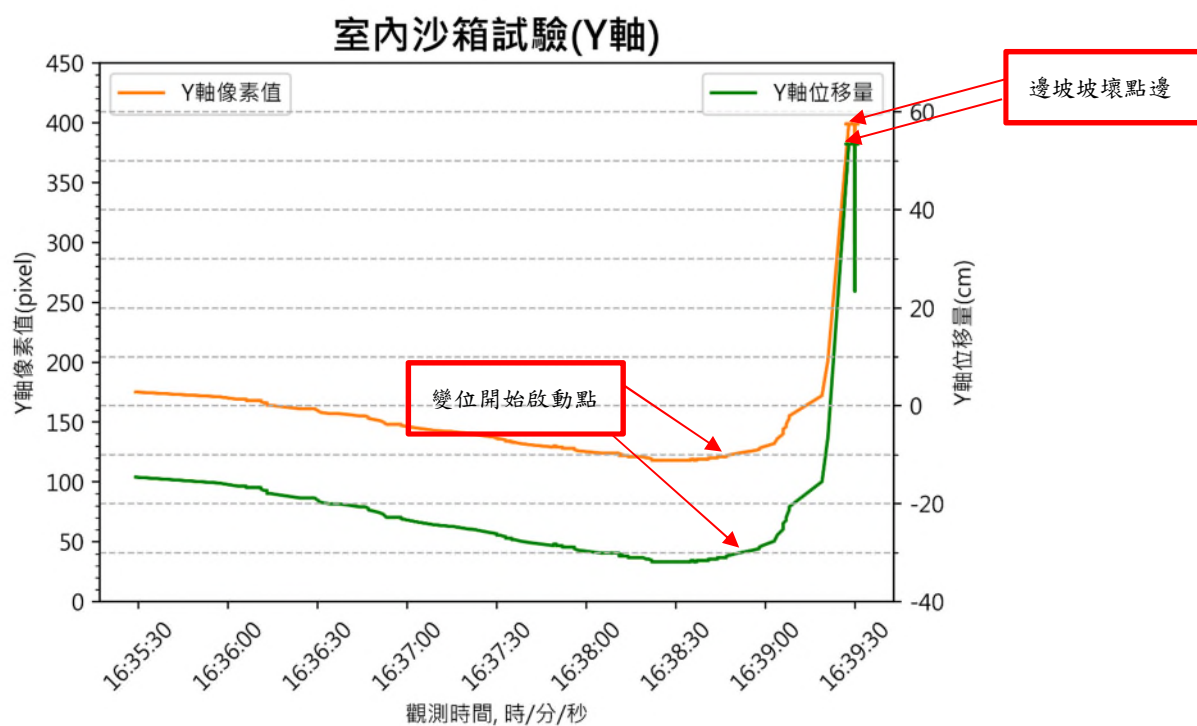


圖 2-2-9 室內砂箱試驗規標中心點 Y 軸方向變化量

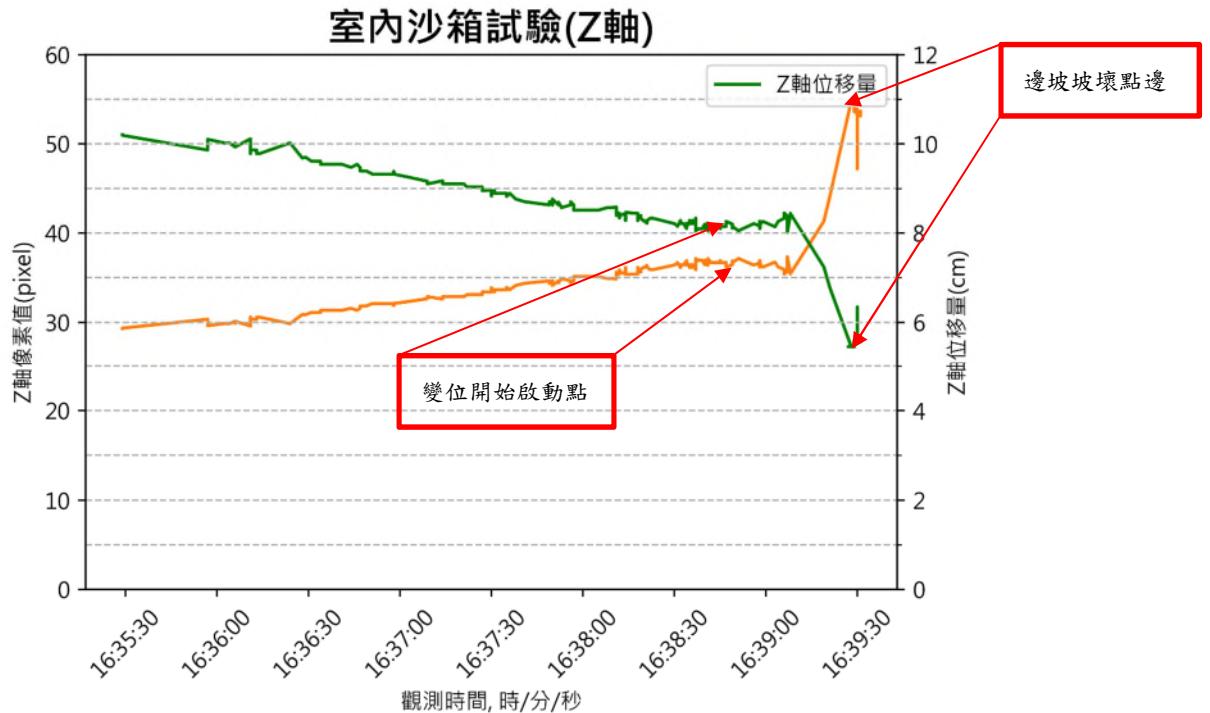


圖 2-2-10 室內砂箱試驗規標中心點 Z 軸方向變化量

(二)、雙目視覺測距實驗

對於空間裡的景物距離量測，另一種非規標式之光學測量方式為立體視覺法，是一種人工智慧電腦視覺式學技術且實用的方法，其原理是透過兩台平行的攝影機同時照準同一物體，由於兩台平行攝影機之間距會造成物體在影像上的位置不同，形成了視差。視差較大者其距離攝影機較近，而視差較小者則離攝影機較遠。透過三角測量法來計算出兩張影像間的視差，再求出景深。如圖 2-2-56，O 為空間中之景物，B 為兩台攝影機之間距，f 為焦距，即攝影機鏡頭至感光元件距離，D 為測距。而 XL 和 XR 為物體 O 在影像上景物和影像中心線之間距。視差 $\triangle X$ 是 XL 和 XR

之差值，透過視差、焦距以及兩台攝影機之間距可以計算出景物和兩台攝影機的距離 D 。

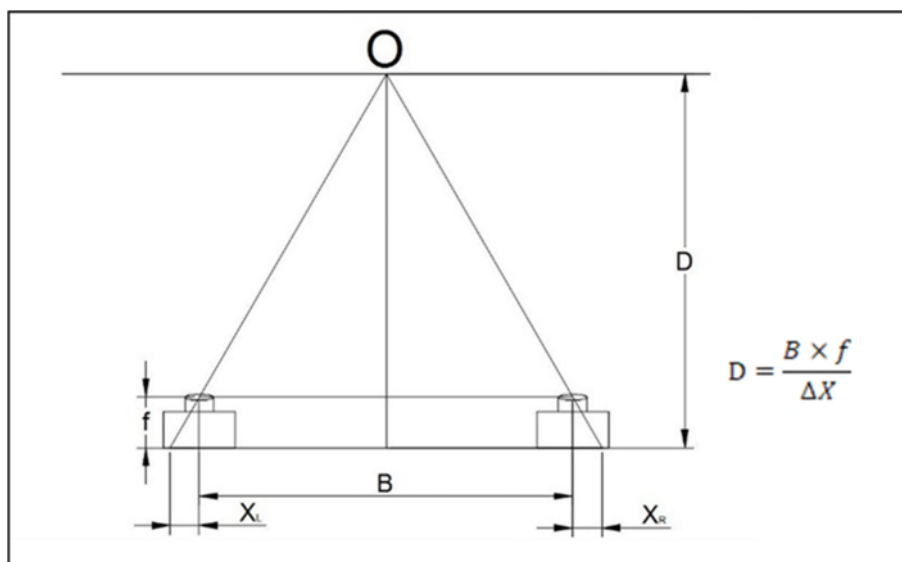


圖 2-2-11 視差與景深示意圖

本試驗透過兩台自動校正影相之攝影機所拍攝出來的照片，配合 OpenCV 的 find_obj.py 程式來模擬左右相機所拍攝出來的影像視差。初始之影相校正與距離校正採用中間相機對位預設 3*3 規標，其原因在於規標上的特徵點較利於程式中視差之判讀，而透過相同規標測距來立體定位距離，以瞭解實驗室中之規標立體相對對於程式判讀之影響。另一方面，透過不同測距來拍攝相同規標，藉此了解是否可利用視差來反算測距。進而評估利用視差解算立體相對和量測距離可行性。

立體相機校正之轉換關係包含旋轉(Rotation)以及平移(Translation)，透過 OpenCV 的 Camera Calibration 和 3D

Reconstruction 公式予以校正。就原理來說，任何合適的物體都可以作為校正物體，而大多都是選用類似棋盤格這樣的類型。因此，本研究利用 OpenCV 之 calibration 函示庫解算此左右各約 100 張之圖片，獲取兩相機之立體參數以及 Q 矩陣。立體參數以及 Q 矩陣都將應用於轉換成深度圖，以求得測量點位之 XYZ 座標。以透視投影方式將 3D 座標系統轉換成影像平面， (X,Y,Z) 表示全域座標系， (x,y,z) 為攝影機座標系，如圖 2-2-57 所示。其中 O_l 投影至左相機之原始座標，利用樹莓派外掛 BerryGPS-IMU 擴充版，得到左相機之現地座標與方位，經由 OpenCV 得到測量點位 P 的 Z 值深度與 Q 矩陣之參數，換算即可得到 P 點之實際 XYZ 座標值。

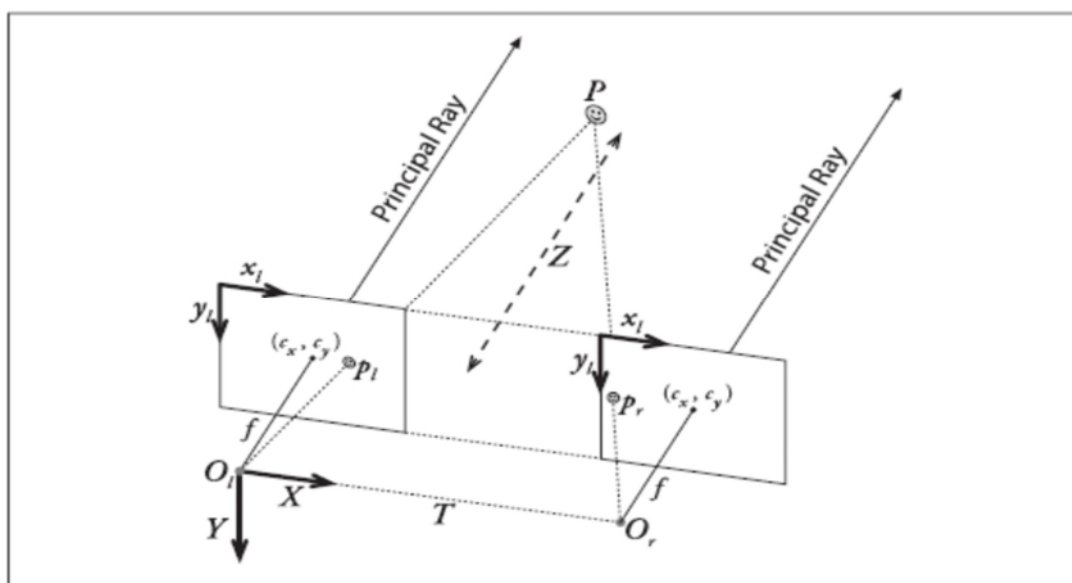


圖 2-2-12 真實座標相對於左攝像機的投影中心與像素座標關係圖

利用兩組可調式工業級光學鏡頭，以及 Pi HQ Camera 攝影

鏡頭模塊模擬人眼視覺獲取 50~100 組雙目視覺照片，接著利用 Matlab 內建的 Stereo Camera Calibrator 校正模組進行雙鏡頭校正，然後利用自寫的 Python 程式讀取校正後的相機內外參數進行視差圖的產生，最後利用視差與一開始校正所獲得的參數進行距離計算獲得目標物與鏡頭的距離。

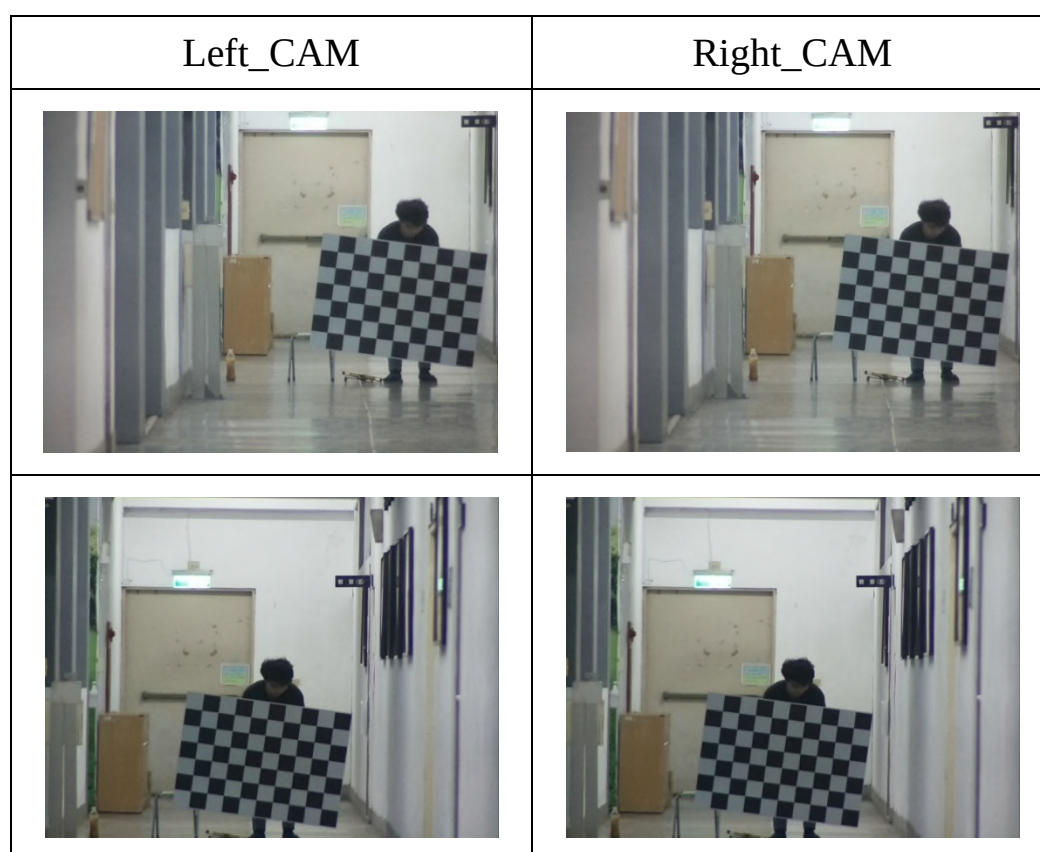


圖 2-2-13 黑白棋盤格校正板示意圖

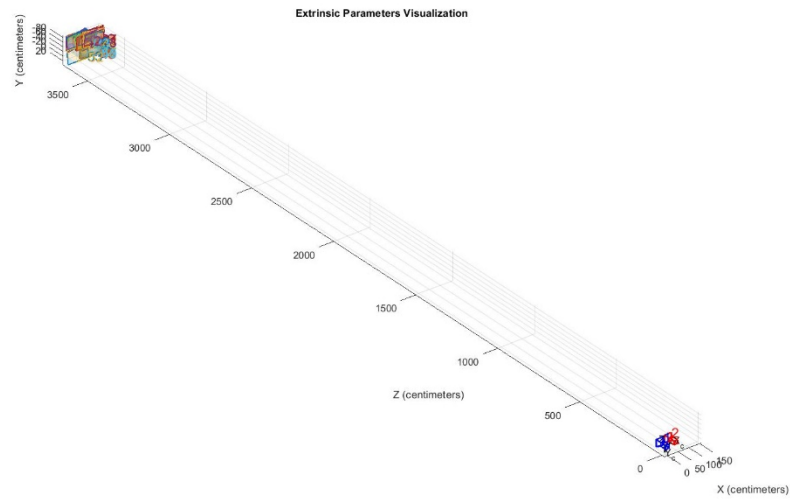


圖 2-2-14 Extrinsic Parameters Visualization 圖

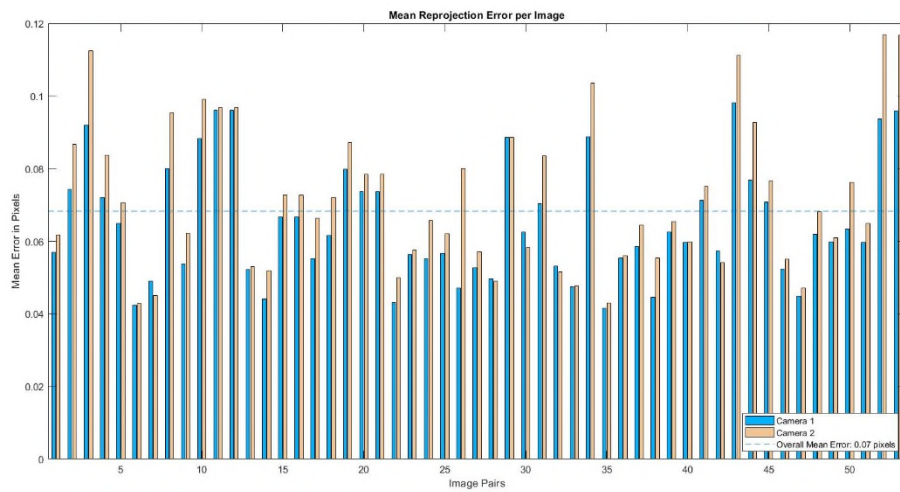


圖 2-2-15 Mean Reprojection Error per Image 圖

Camera 1 Intrinsics

Focal length (pixels):	[7068.6988 +/- 93.2949	7063.0400 +/- 93.3049]
Principal point (pixels):	[299.0521 +/- 23.6942	261.3425 +/- 14.0149]
Skew:	[0.8152 +/- 1.2056]	
Radial distortion:	[-0.1057 +/- 0.1552	-181.5632 +/- 63.3074]
Tangential distortion:	[-0.0066 +/- 0.0012	0.0071 +/- 0.0020]

Camera 2 Intrinsics

Focal length (pixels):	[7154.8377 +/- 93.8894	7153.7737 +/- 94.1807]
Principal point (pixels):	[14.5058 +/- 7.6739	642.6048 +/- 7.4784]
Skew:	[-80.5940 +/- 1.2369]	
Radial distortion:	[0.0493 +/- 0.0684	15.1455 +/- 3.5179]
Tangential distortion:	[0.0397 +/- 0.0023	-0.0388 +/- 0.0015]

Position And Orientation of Camera 2 Relative to Camera 1

Rotation of camera 2:	[0.0394 +/- 0.0021	0.0245 +/- 0.0034	0.0052 +/- 0.0001]
Translation of camera 2 (centimeters):	[-45.0333 +/- 1.9504	0.5840 +/- 2.2949	-6.5471 +/- 44.8190]

圖 2-2-16 左右鏡頭參數示意圖

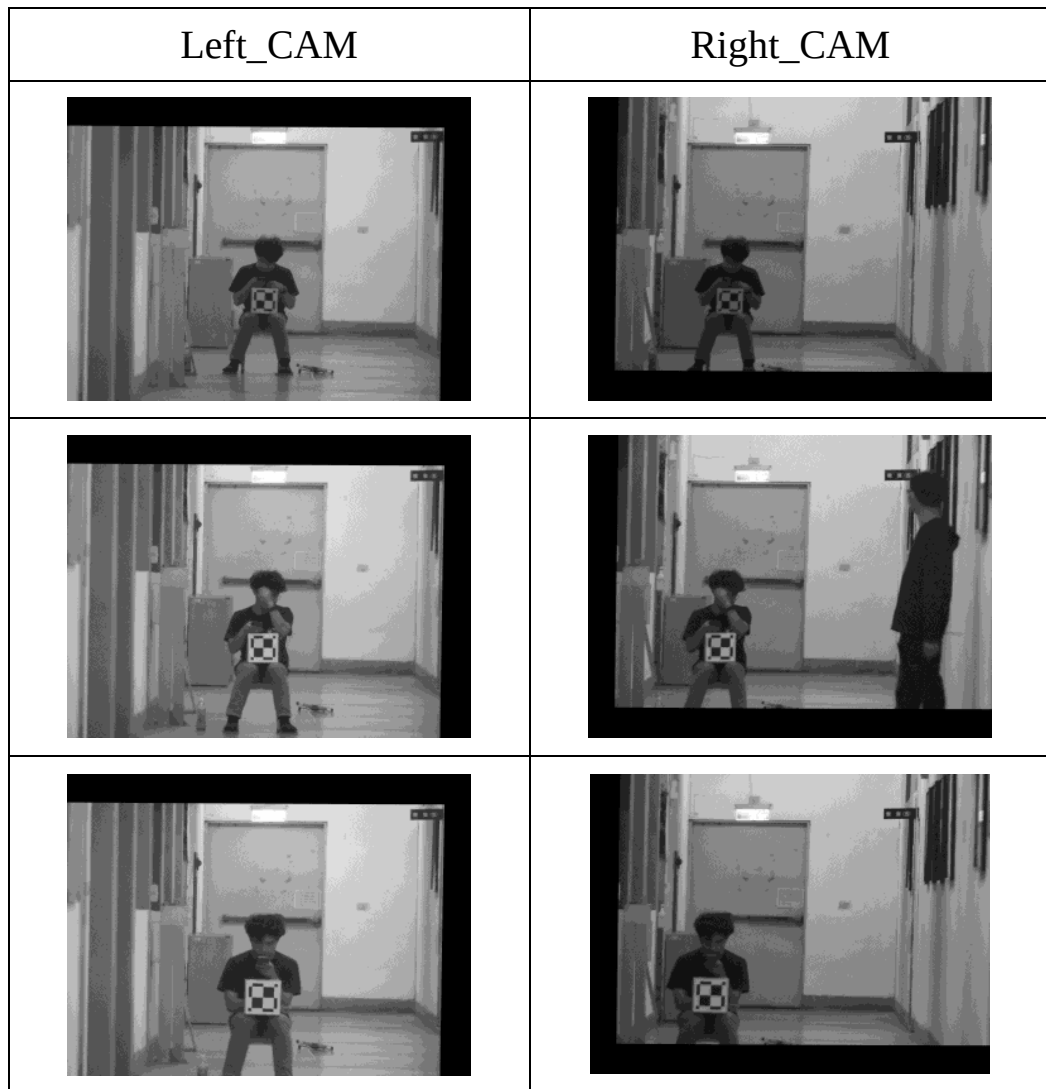


圖 2-2-17 雙目校正照片示意圖

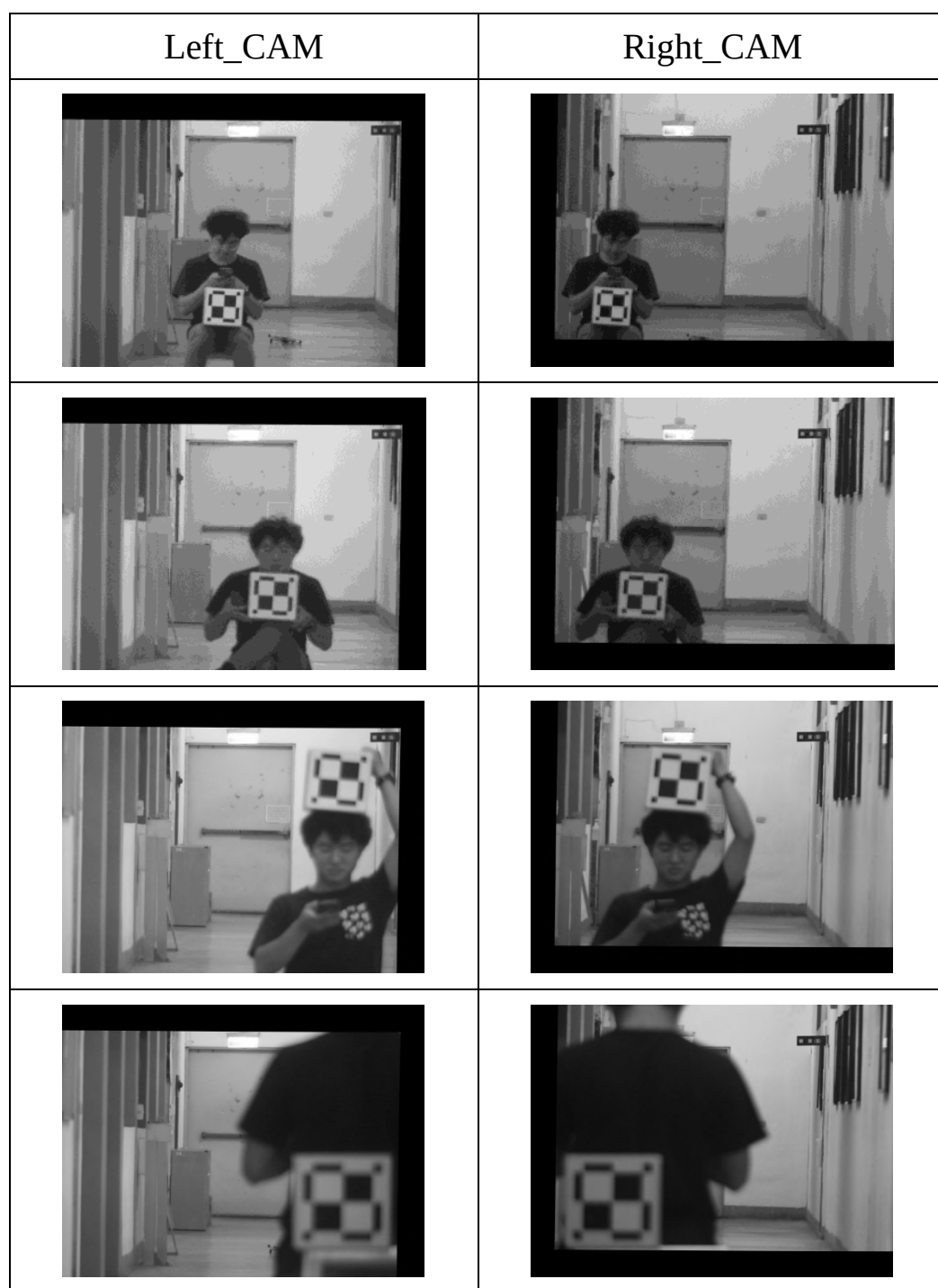


圖 2-2-18 雙目校正照片示意圖

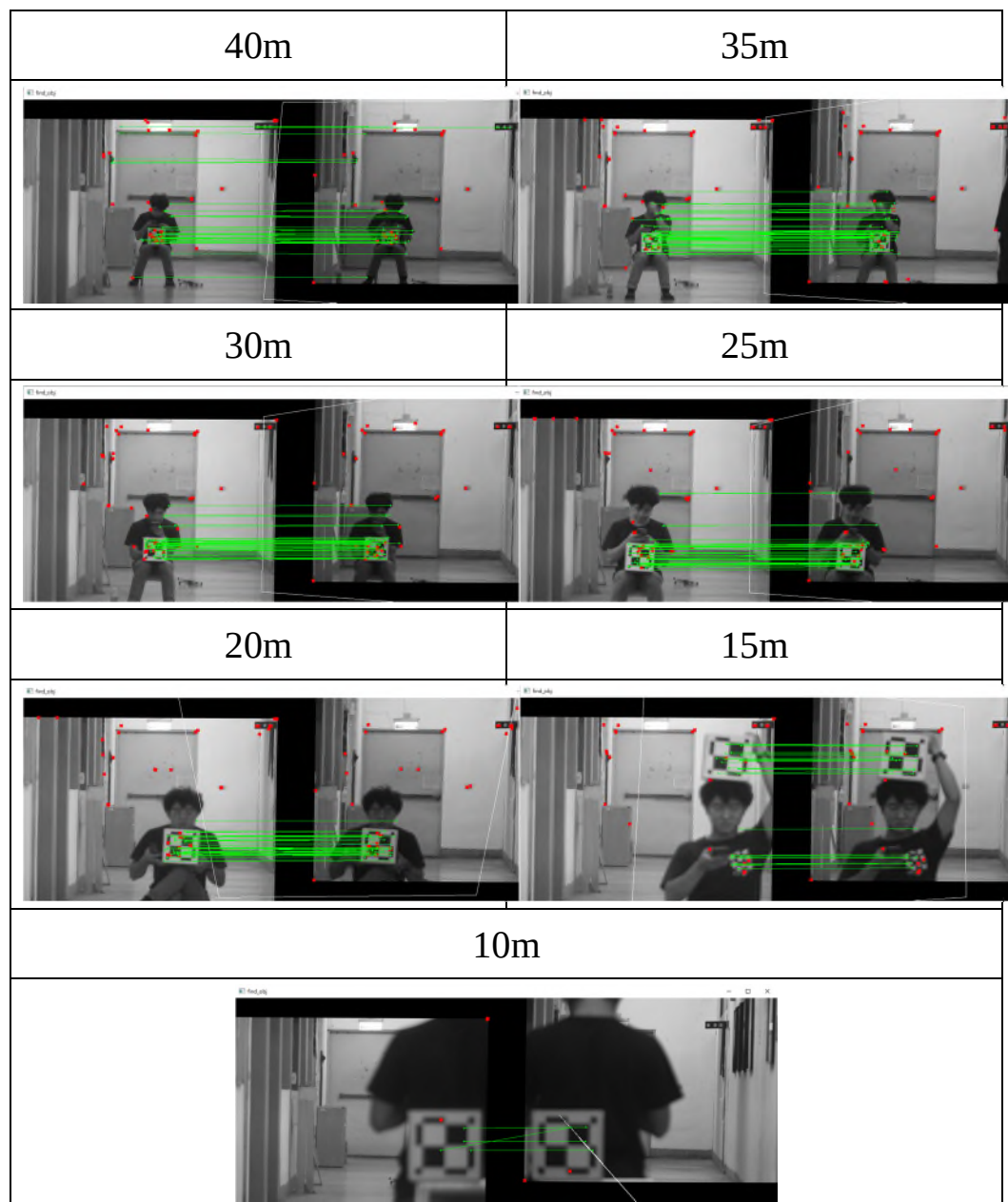


圖 2-2-19 40m 到 10m 雙目視差示意圖

雙目視覺測距實驗，量測距離從 4000 公分到 1000 公分如下圖所示，平均誤差大約落在 22.5 公分如下圖所示，誤差百分比為 2.25%如下圖所示。

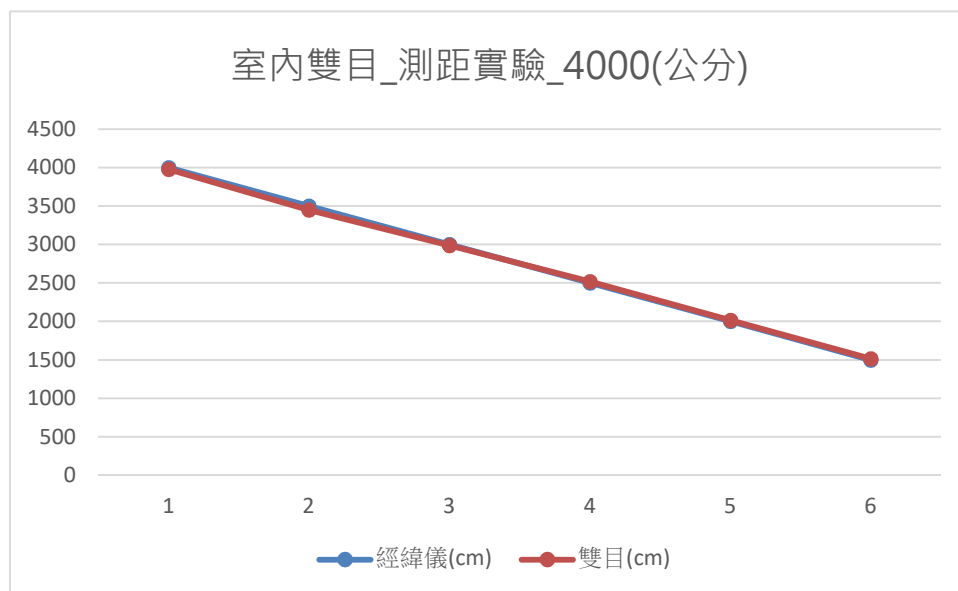


圖 2-2-20 雙目視覺測距距離圖

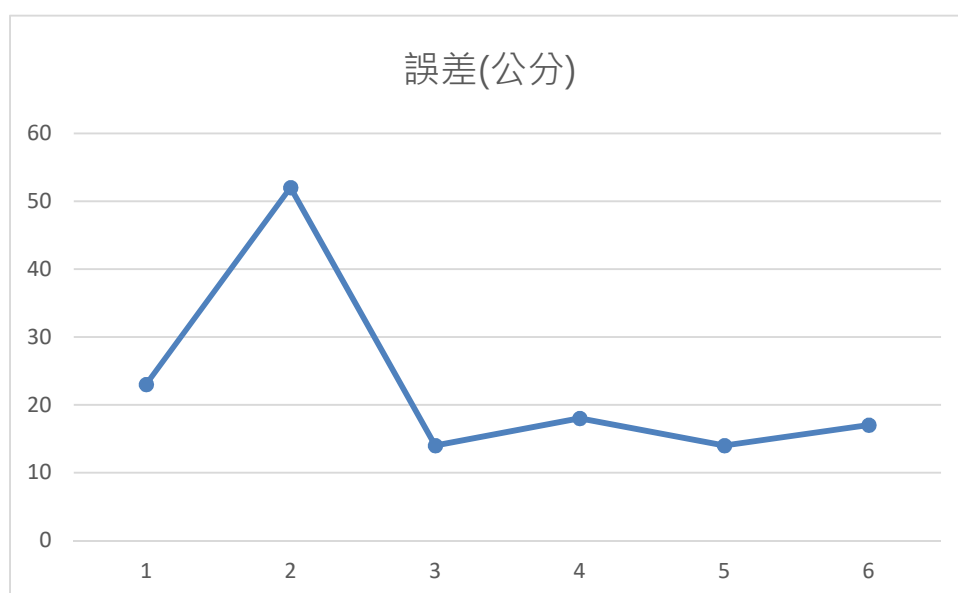


圖 2-2-21 雙目視覺測距距離誤差圖

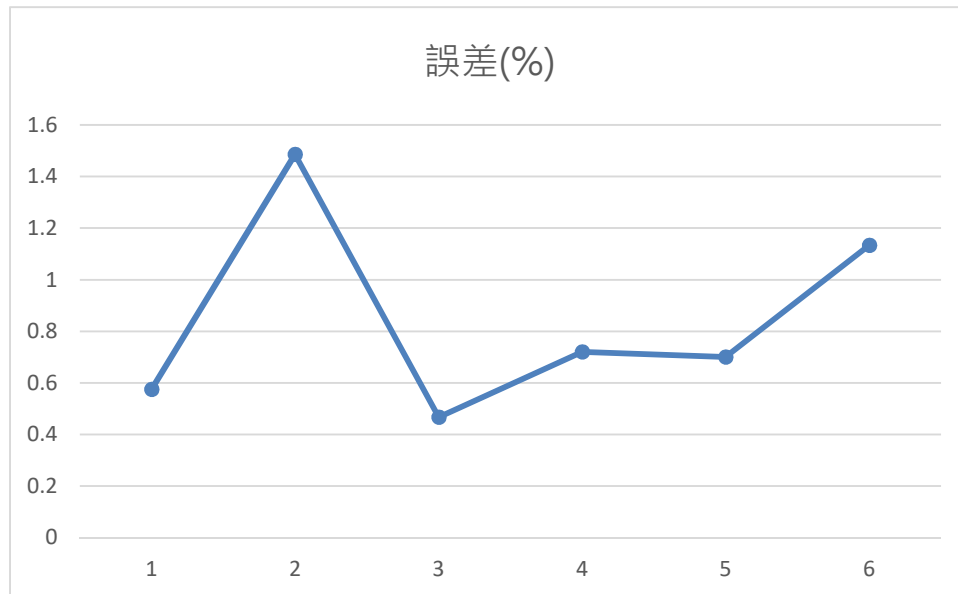


圖 2-2-22 雙目視覺測距實驗誤差百分比圖

(三)、定點精度實驗

本研究以(7*7)公分之方形規標架設於自製(X,Y,Z)三軸雲台上，以 Raspberry Pi 4B 和 HQ 鏡頭模組所構成的光學規標辨識監測系統來進行定點觀測，利用兩點皆為不動點的實驗方式測試自製光學規標辨識監測系統的穩定度(如圖 2-2-11 之實驗配置圖)。

本研究採用 OpenCV 撰寫程式搭配 XYZ 軸之手動微調平台，可以取得水平及垂直的實際位移量，在透過前後期水平垂直之影像 Pixel 值變化，再換算像元尺寸得絕對位移量(測量值)，初步室內實驗結果如表 2-2-1。



圖 2-2-23 定點監測實驗器材架設示意圖

本研究創新研發之三目鏡頭之電腦視覺式變位監測儀(雙鏡頭加望遠鏡頭),後續簡稱三目電腦視覺式變位監測儀(圖 2-2-24),在架設儀器前,必須進行率定,以確保在現地量測之結果為可行性,試驗方式為攝影機對準規標讀取數據,距離分別取 15、20、25m、50m,各取 500 筆數據當中的距離、 Scx 、 Scy 、 Scz 三樣做離散圖和常態分佈圖了解儀器觀測值的跳動範圍。

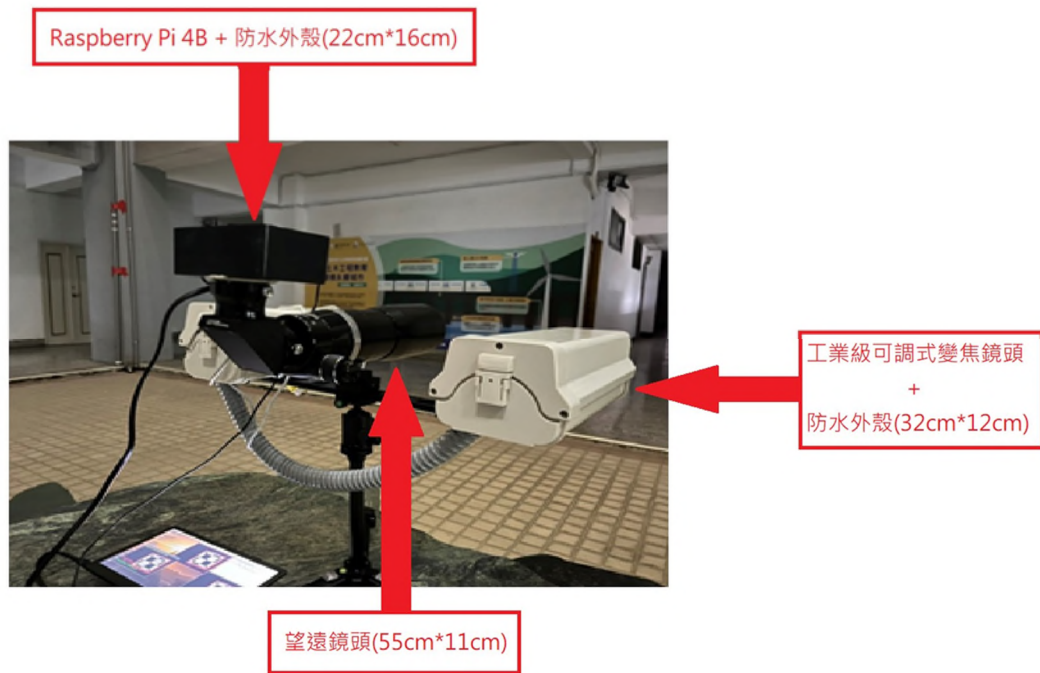


圖 2-2-24 變位移率定試驗(A)



圖 2-2-25 變位儀率定試驗(B)

1、15m 常態分佈和離散圖

15m，距離平均值為 15.903，標準差為 0.021，數據資料落在二倍標準差機率為 95.59%。

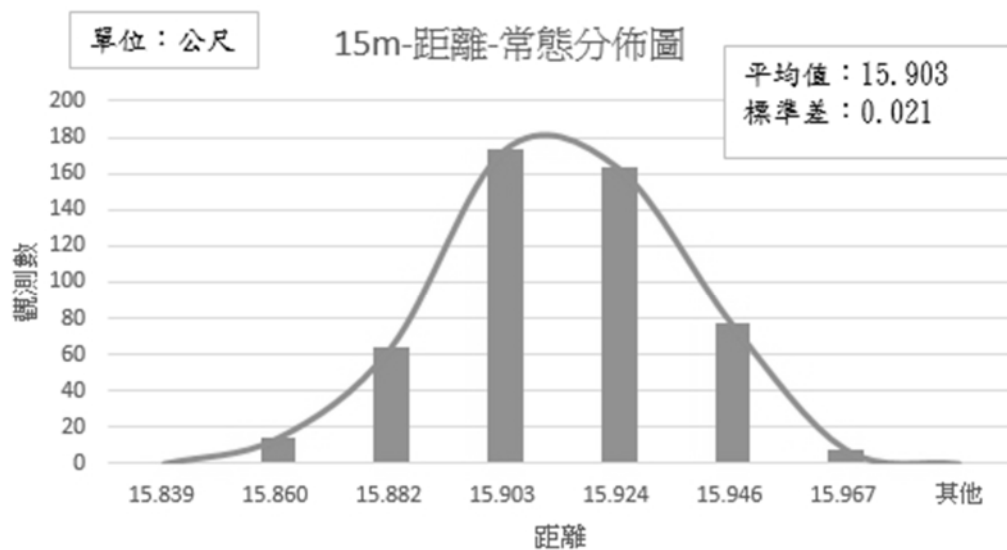


圖 2-2-26 15m-距離-常態分佈圖

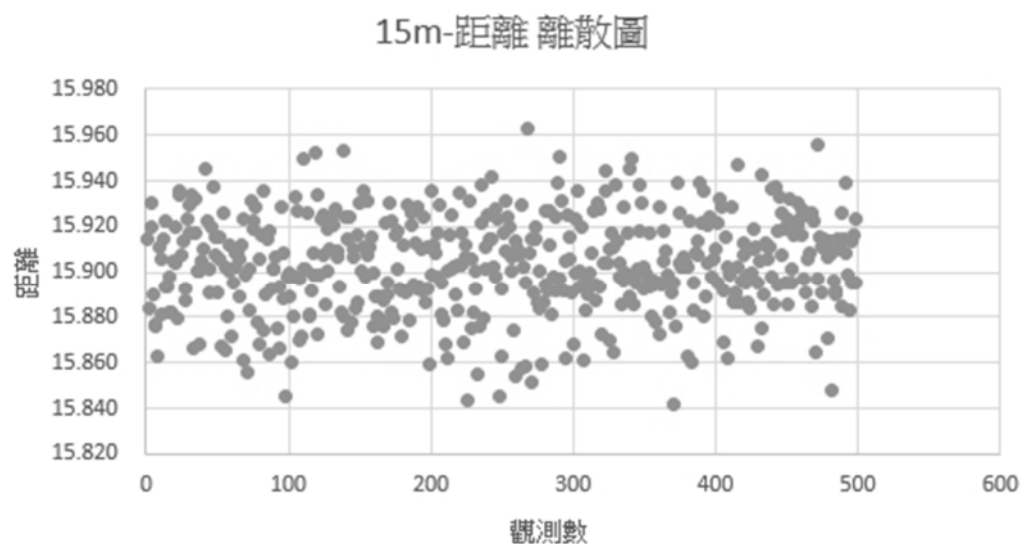


圖 2-2-27 15m-距離-離散圖

15m，Scx 平均值為 390.022，標準差為 0.027，

數據資料落在二倍標準差機率為 95.59%

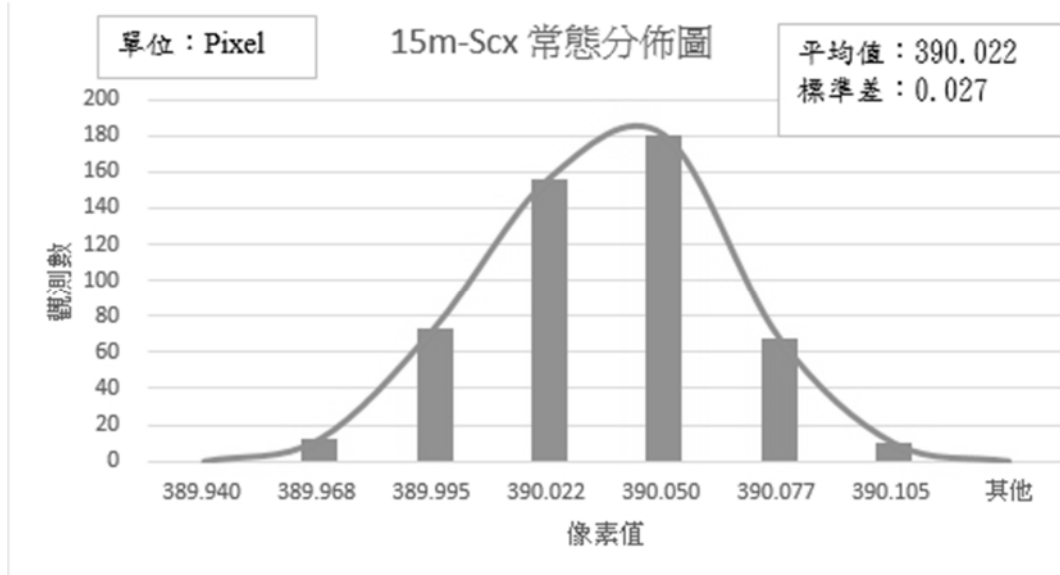


圖 2-2-28 15m-Scx-常態分佈圖

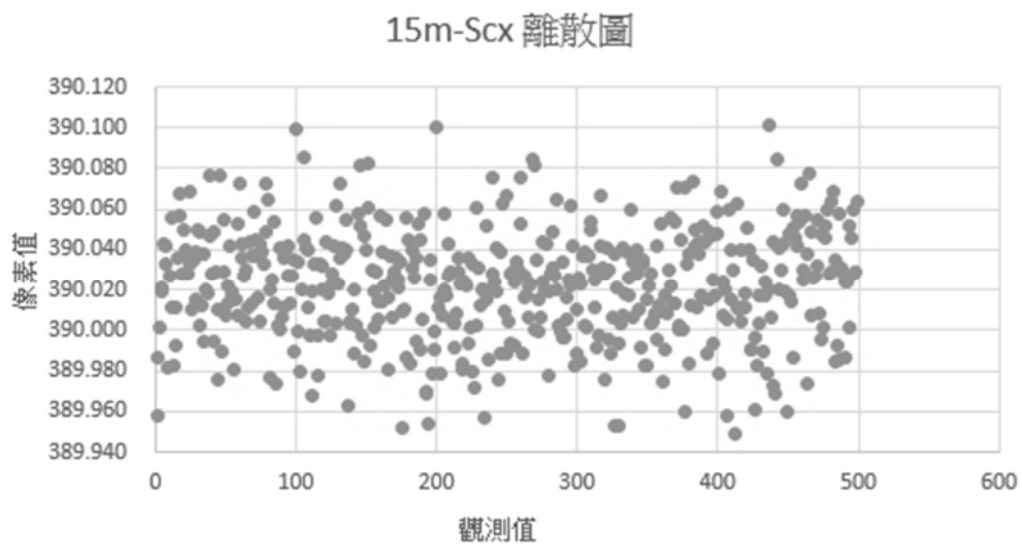


圖 2-2-29 15m-Scx-離散圖

15m，Scy 平均值為 259.592，標準差為 0.032，

數據資料落在二倍標準差機率為 95.99%

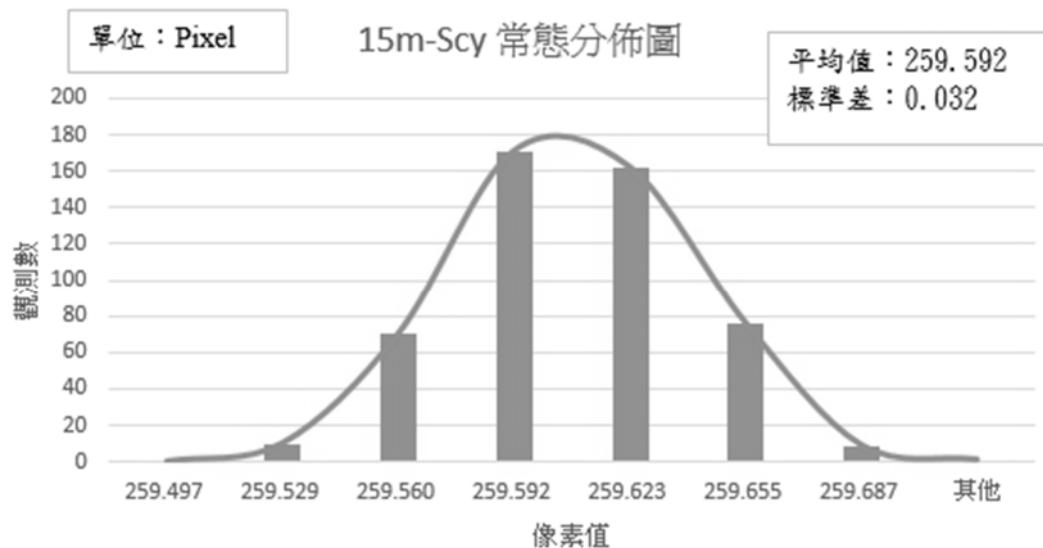


圖 2-2-30 15m-Scy-常態分佈圖

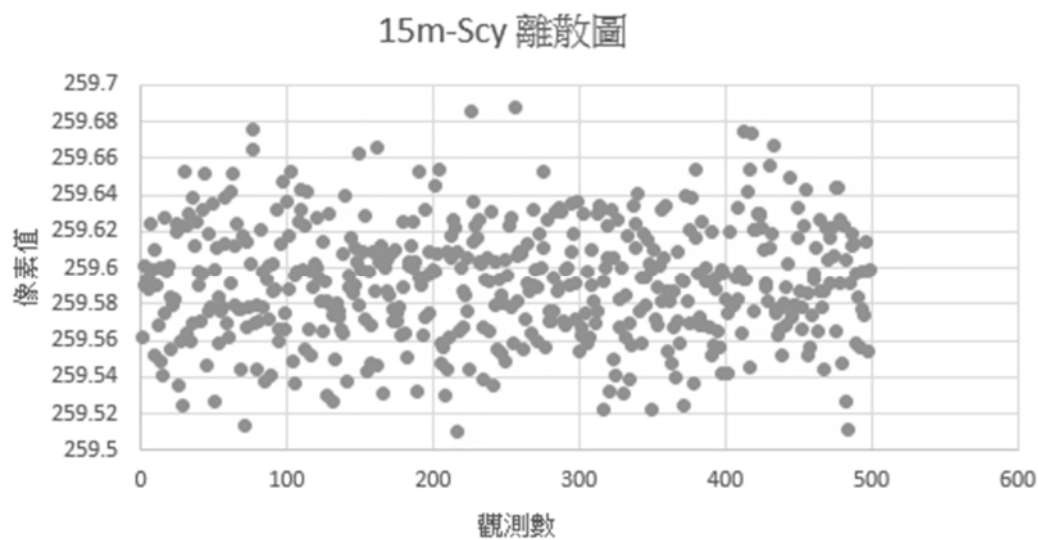


圖 2-2-31 15m-Scy-離散圖

2、20m 常態分佈和離散圖

20m，距離平均值為 20.847m，標準差為 0.013，

數據資料落在二倍標準差機率為 94.59%。

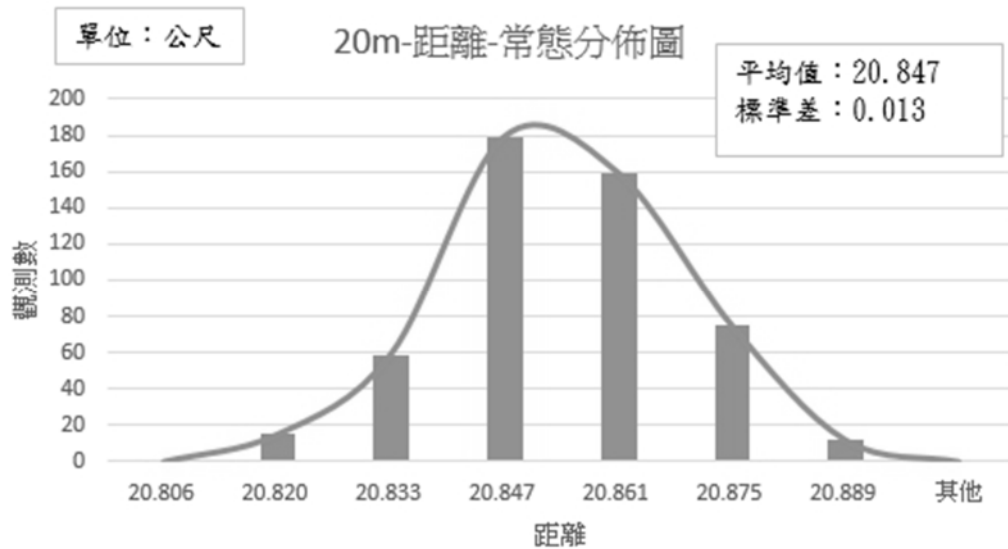


圖 2-2-32 20m-距離-常態分佈圖

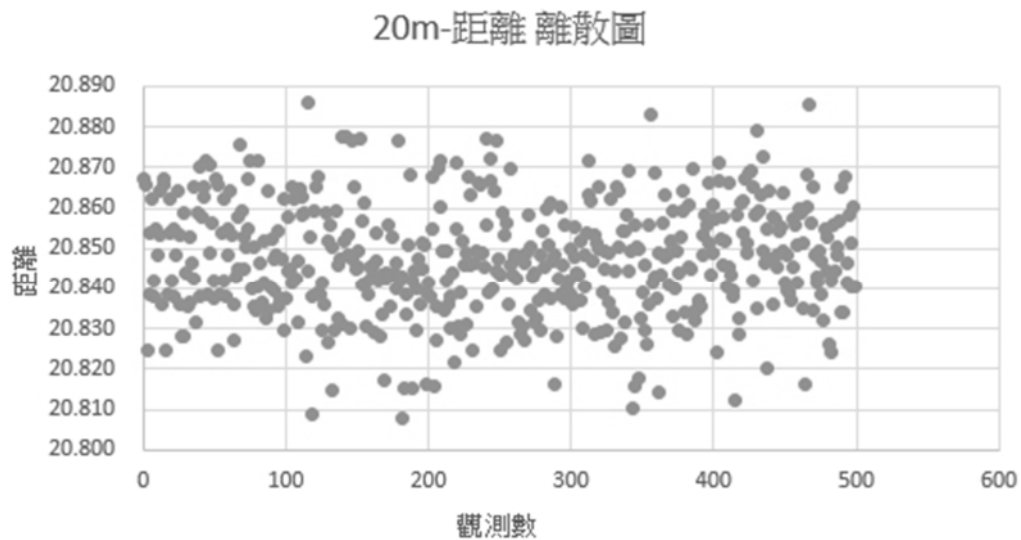


圖 2-2-33 20m-距離-離散圖

20m，Scx 平均值為 389.139，標準差為 0.042，

數據資料落在二倍標準差機率為 95.78%。

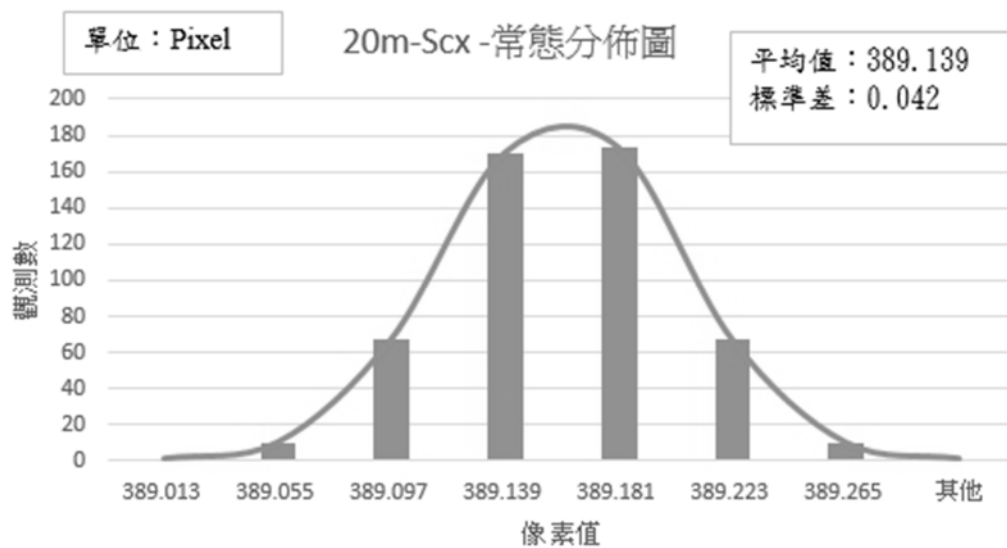


圖 2-2-34 20m-Scx-常態分佈圖

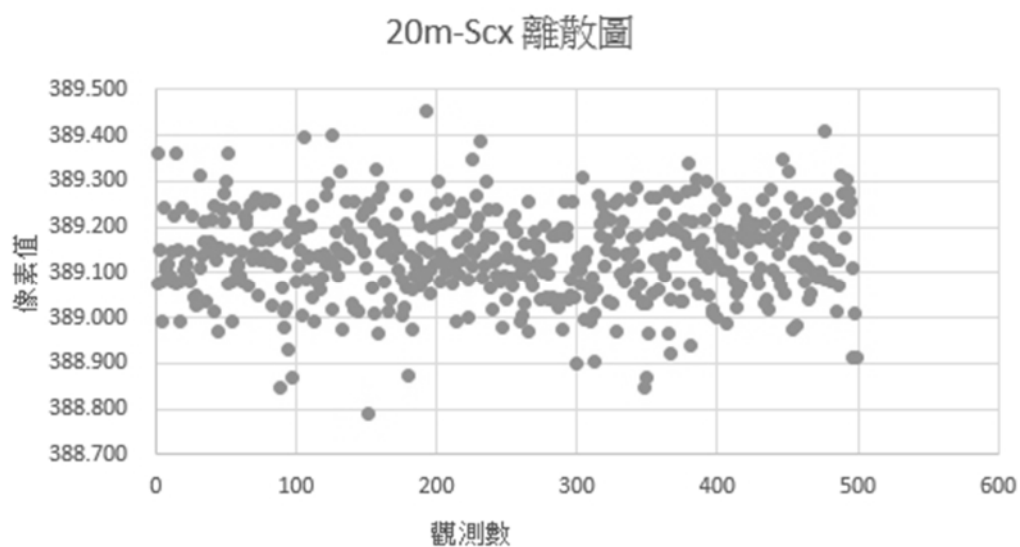


圖 2-2-35 20m-Scx-離散圖

20m，Scy 平均值為 234.847，標準差為 0.311，

數據資料落在二倍標準差機率為 93.00%。

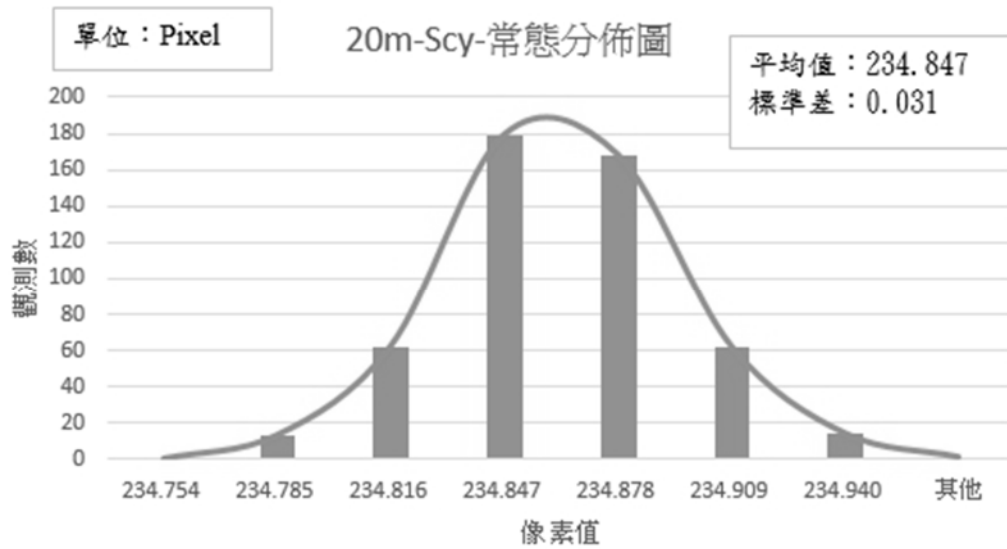


圖 2-2-36 20m-Scy-常態分佈圖

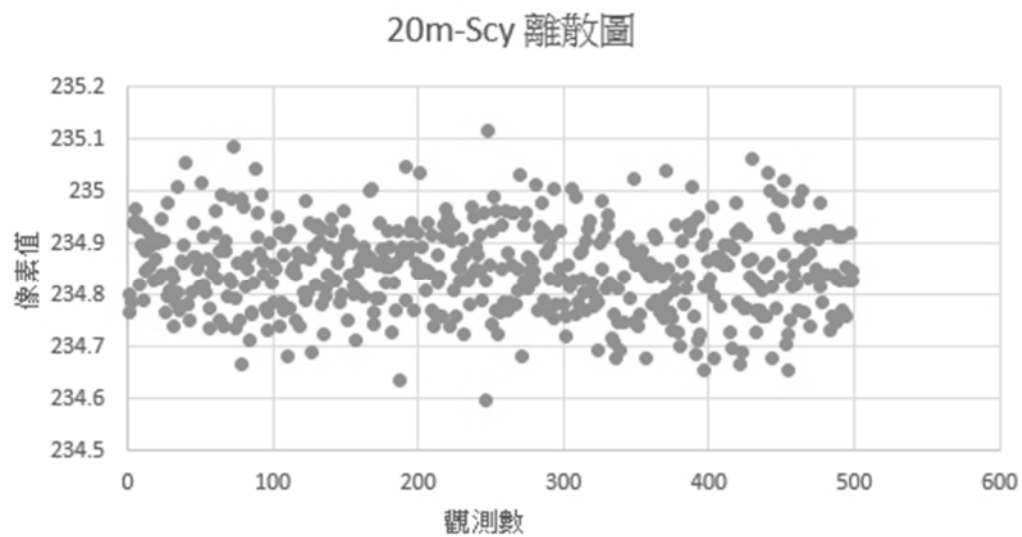


圖 2-2-37 20m-Scy-離散圖

3、25m 常態分佈和離散圖

25m，距離平均值為 25.433，標準差為 0.026，數

據資料落在二倍標準差機率為 95.79%。

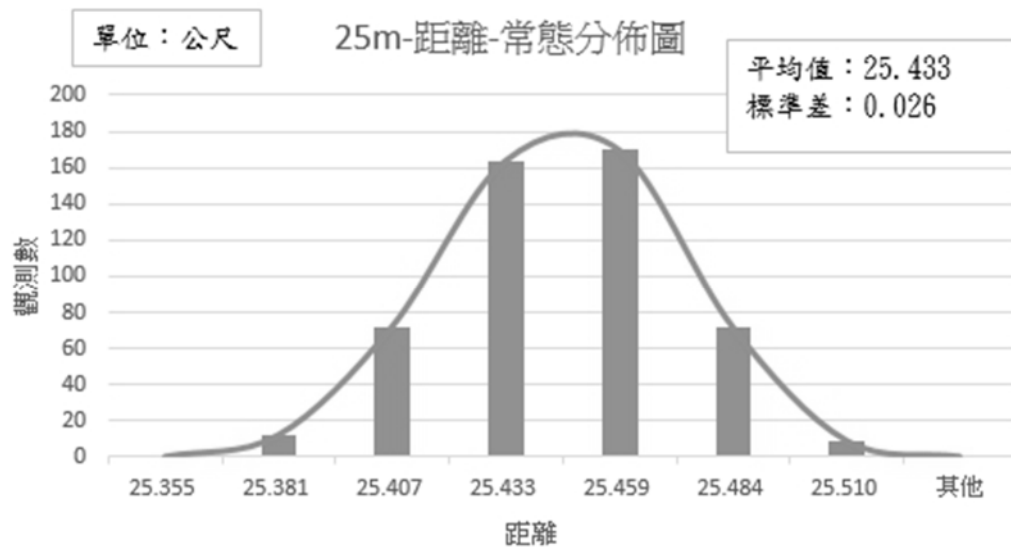


圖 2-2-38 25m-距離-常態分佈圖

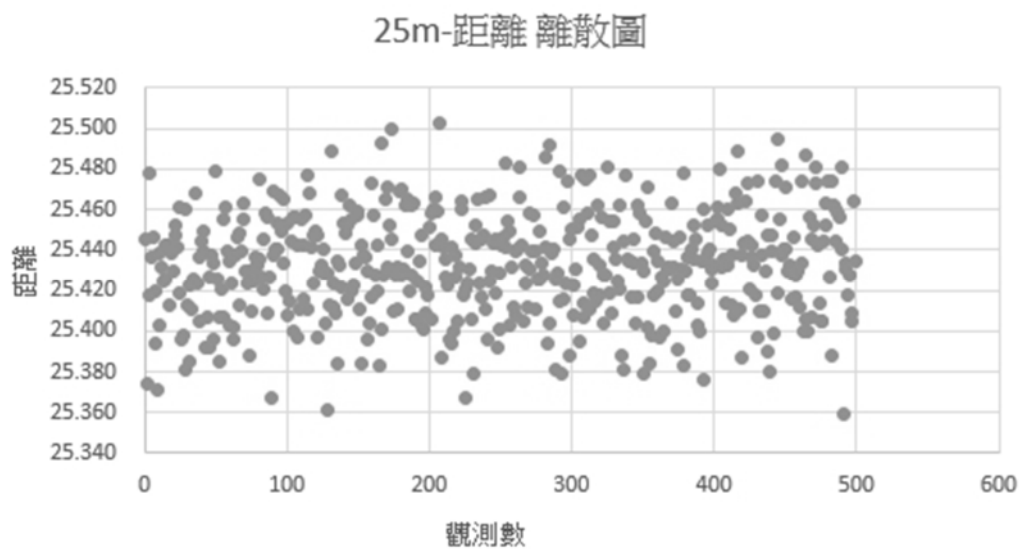


圖 2-2-39 25m-距離-離散圖

25m，Scx 平均值為 390.437，標準差為 0.032，

數據資料落在二倍標準差機率為 94.79%。

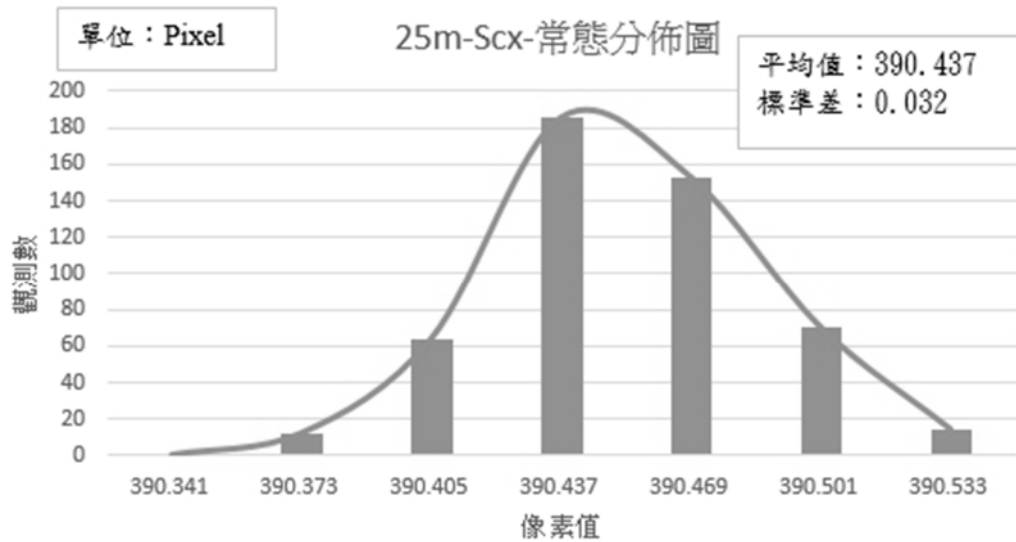


圖 2-2-40 25m-Scx-常態分佈圖

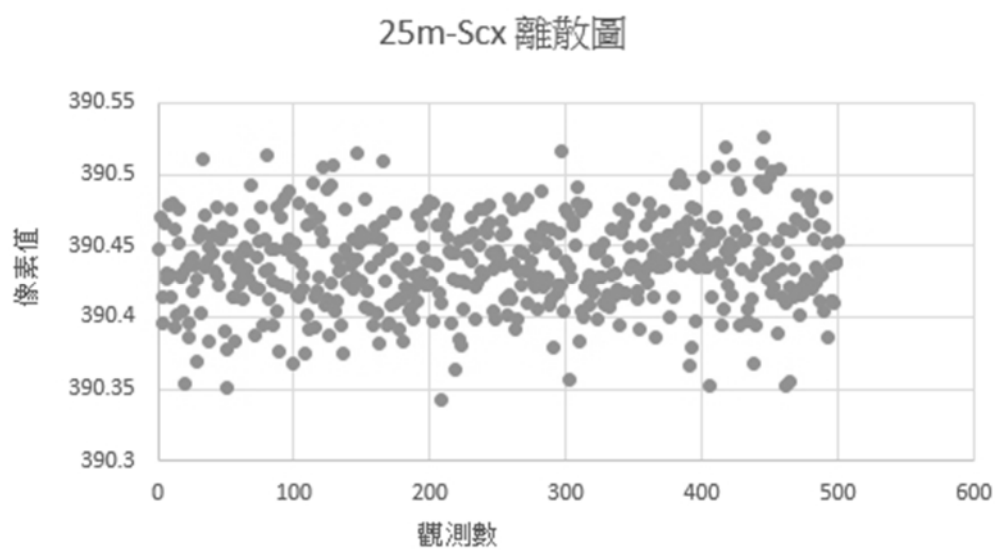


圖 2-2-41 25m-Scx-離散圖

4、56.8m 常態分佈和離散圖

56.8m，距離平均值為 56.79 m，標準差為 0.19m，

距離誤差跳動百分比為 0.34%。

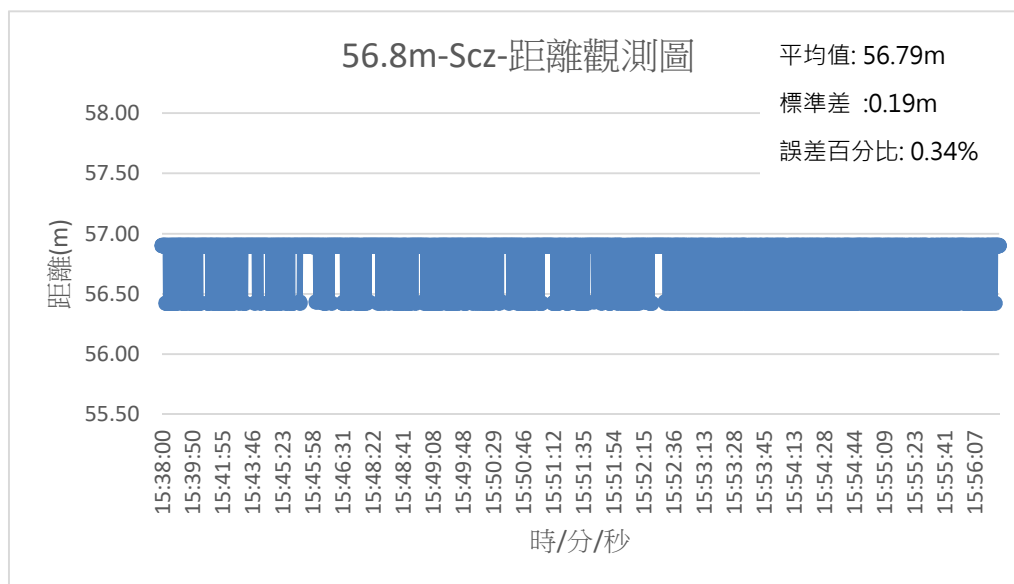


圖 2-2-42 56.8m-距離-觀測圖

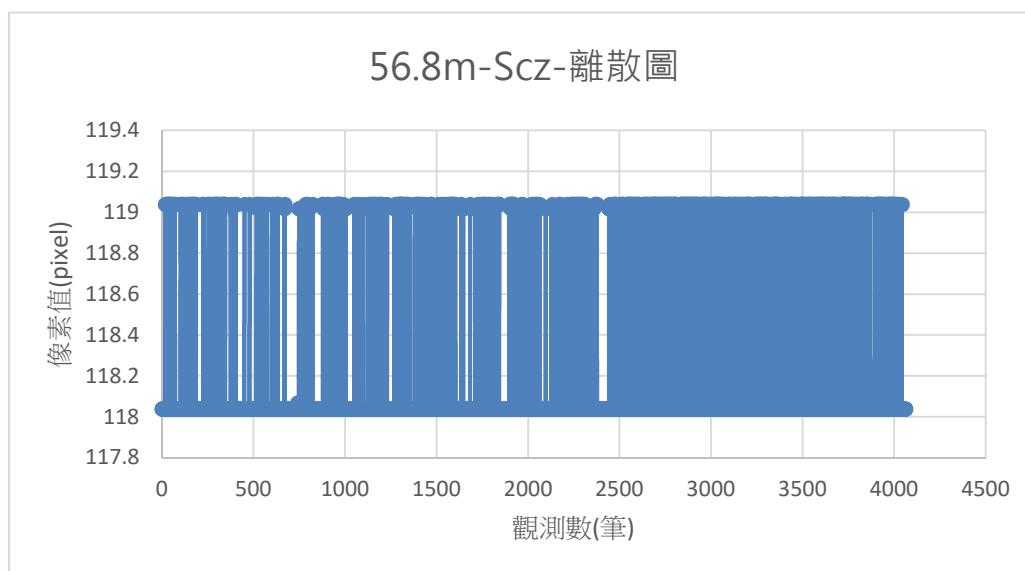


圖 2-2-43 56.8m-距離-離散圖

56.8m, Scx 平均值為 155.43 pixels, 標準差為 0.06,

數據資料落在二倍標準差機率为 98.10%。

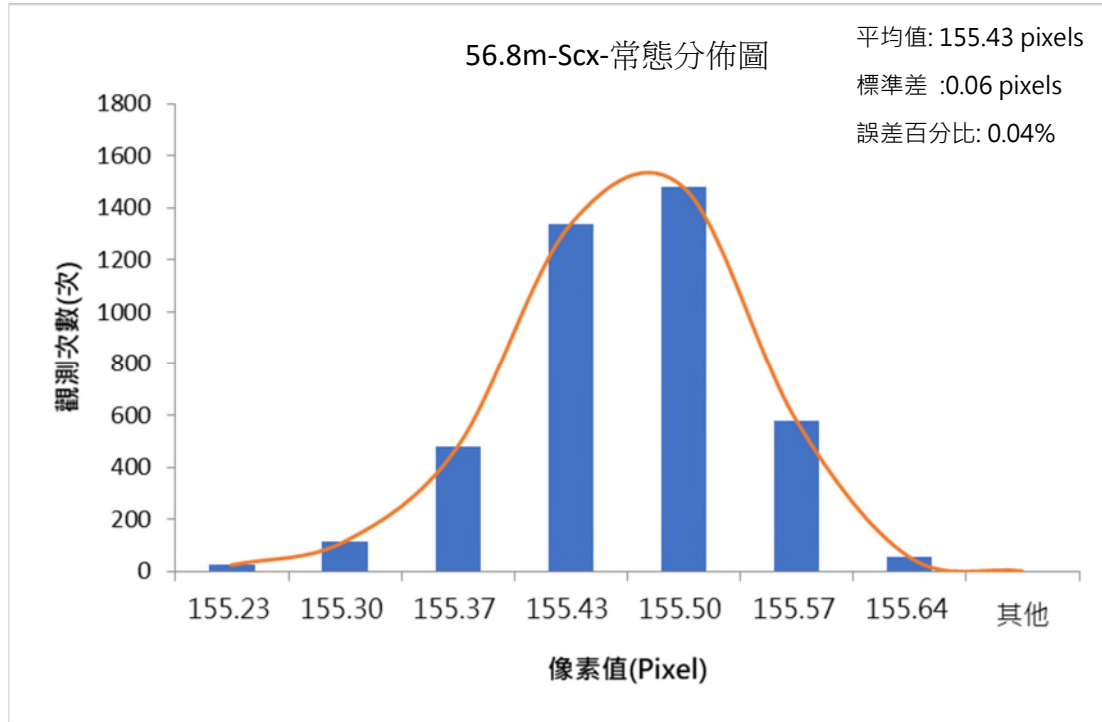


圖 2-2-44 56.8m-Scx-常態分佈圖

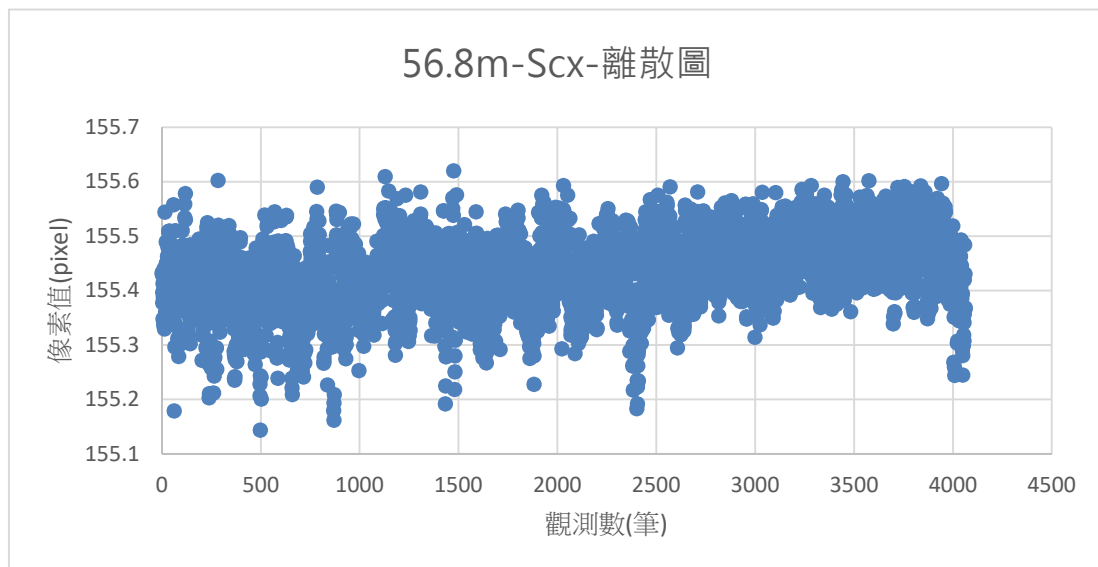


圖 2-2-45 56.8m-Scx-離散圖

56.8m, Scy 平均值為 266.42 pixels, 標準差為 0.08

pixels, 數據資料落在二倍標準差機率為 98.42%。

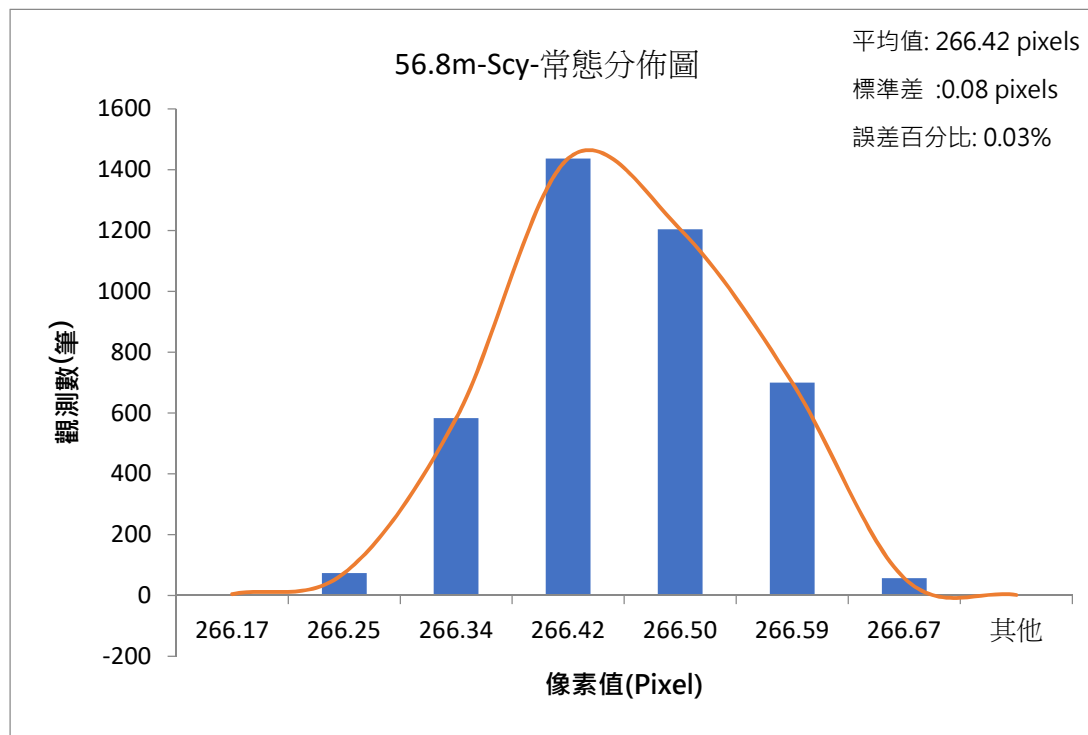


圖 2-2-46 56.8m-Scy-常態分佈圖

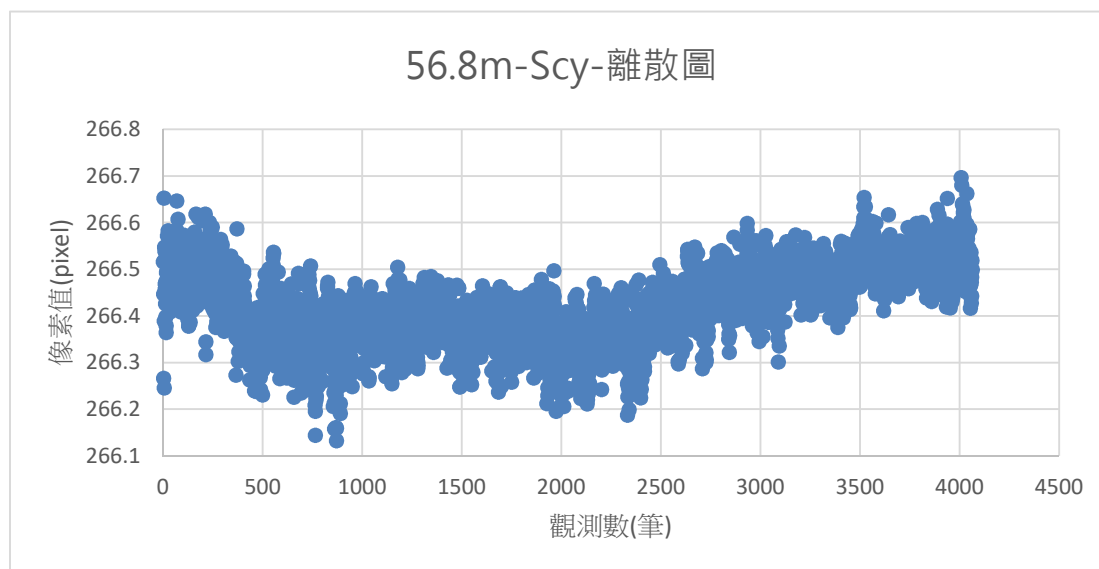


圖 2-2-47 56.8m-Scy-離散圖

本研究儀器之使用設備規格如下表所示：

表 2-2-1 XYZ 可調式工業級光學鏡頭

型號	WP-VM12120-C
焦距	12mm-120mm
靶面尺寸	1/8"
分辨率	300M
光圈	F1.8-F16
可視角度	32.4 度~3.7 度
總重量	0.272kg
接口類型	C mount

表 2-2-2 XYZ 燈光模組

型號	335 白光 LED 側發光燈條 1M
燈光類型	LED 亮白燈珠
伏特數	5V
長度	1 公尺

數量	1 條
----	-----

表 2-2-3 XYZ 定焦式望遠光學鏡頭

型號	WENFANG 肖特螢石玻璃鏡片 ED80/500
物鏡焦距	500mm
口徑	80mm
焦比	F/6.25
有效倍數	20 倍、60 倍
管重量	2kg
總重量	2.7kg
尺寸	460x100(mm)

進行變位試驗，對 15、20、25、50m 距離進行觀測各取至少 500 筆資料進行分析，結果可知落在兩倍誤差內的觀測值皆有 93% 以上最高可達 98%，離散圖也顯示大部分落點也在 ± 1 Pixel 以內。

另針對測定規標進行微小變動量測試，如下表 2-2-1 所示，當 XY 軸變動 1 公分時，電腦視覺裝置分析結果之誤差約為 0.009 和 0.004 公分。當 Z 軸之距離變動 2 公分時，距離量測誤差約在 0.07 公分。

分析展示圖如圖 2-2-33~圖 2-2-38。

表 2-2-4 XYZ 三軸位移精度實驗

XYZ 三軸位移精度實驗			
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

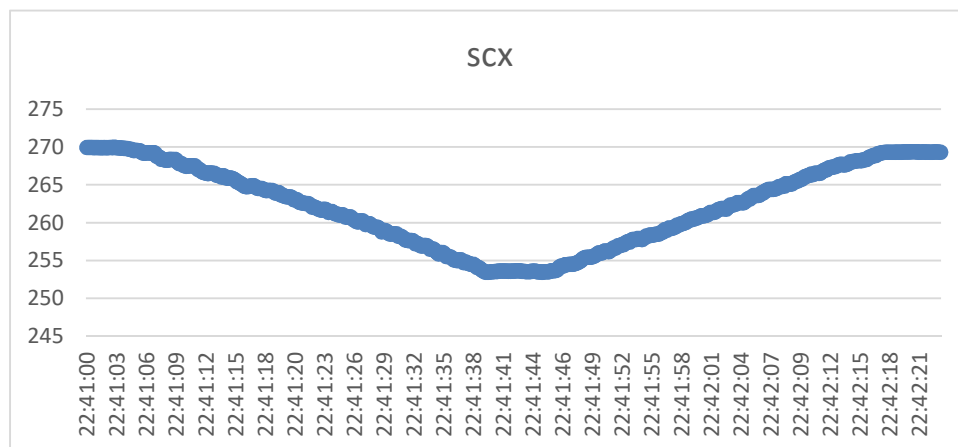


圖 2-2-48 規標中心點 X 軸方向像素變化量(pixel)

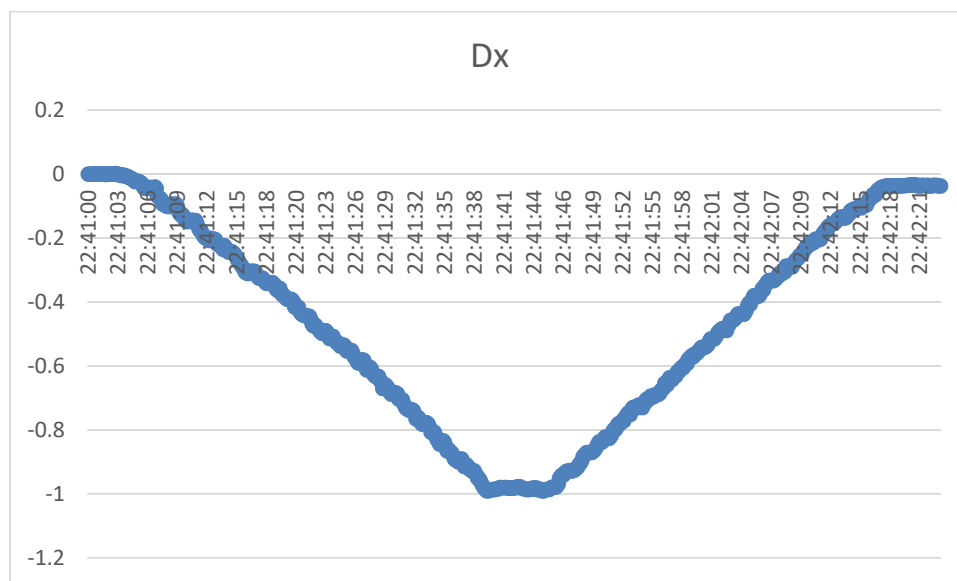


圖 2-2-49 規標中心點 X 軸方向位移變化量(cm)

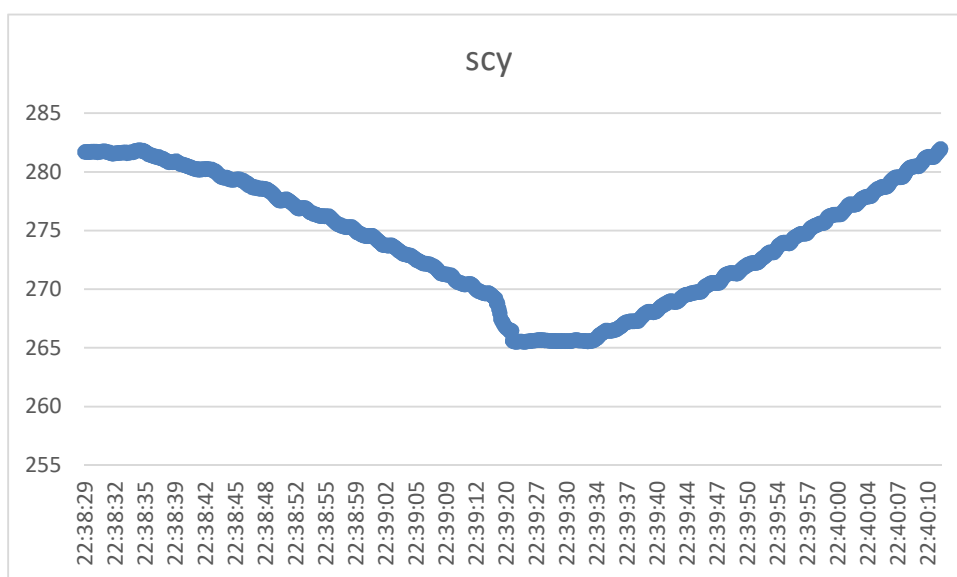


圖 2-2-50 規標中心點 Y 軸方向像素變化量(pixel)

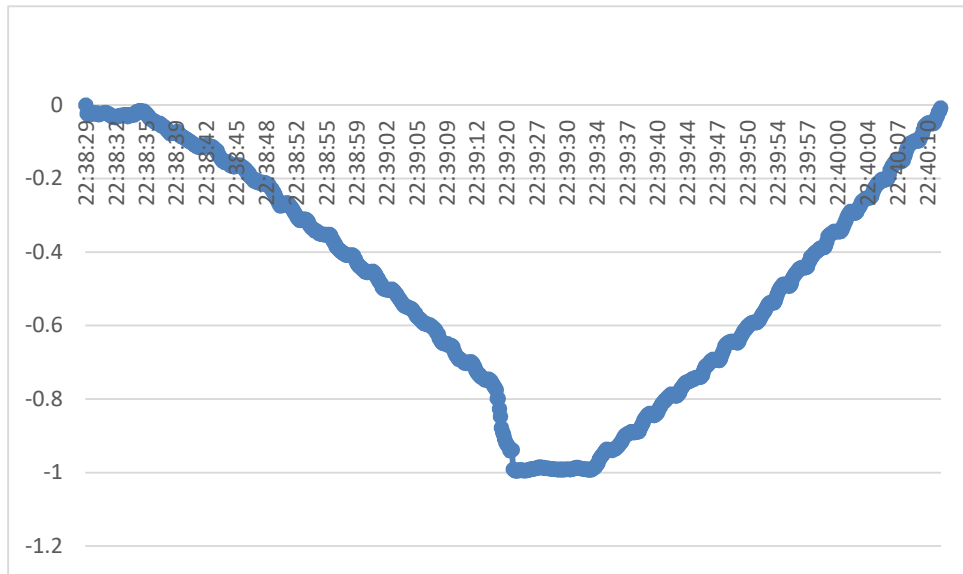


圖 2-2-51 規標中心點 Y 軸方向像位移變化量(cm)

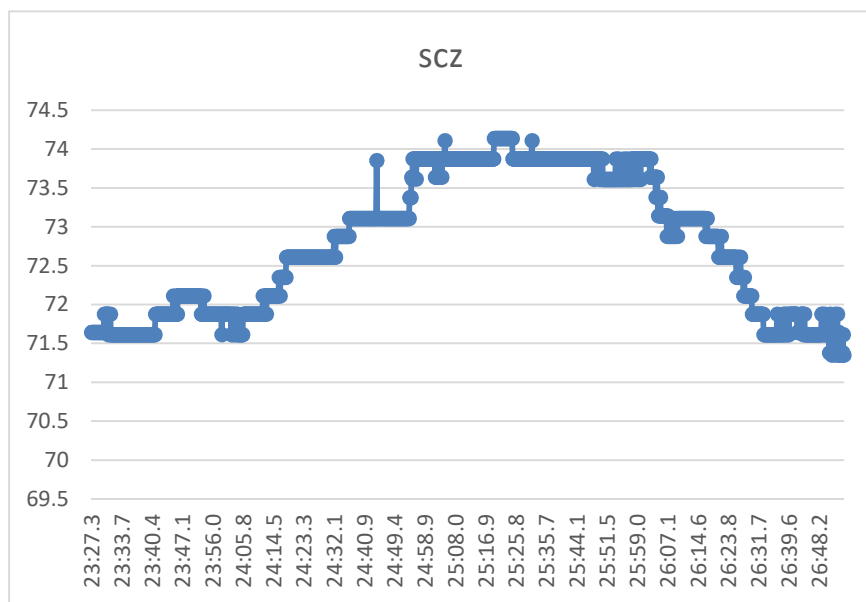


圖 2-2-52 規標中心點 Z 軸方向像素變化量(pixel)

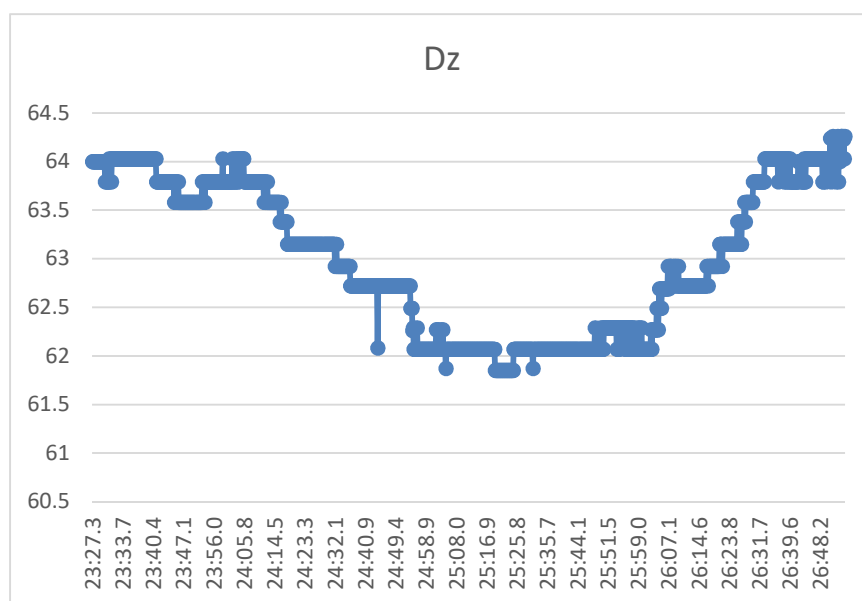


圖 2-2-53 規標中心點 Z 軸方向像位移變化量(cm)

二、校園戶外試驗

本系統結合了多尺度距離的觀測，若規標與鏡頭之距離在 100m 的尺度以內，以可調式工業級光學鏡頭進行規標辨識，若規標之距離超過 100m 則使用定焦式望遠光學鏡頭進行規標辨識之作業。



圖 2-2-54 規標示意圖

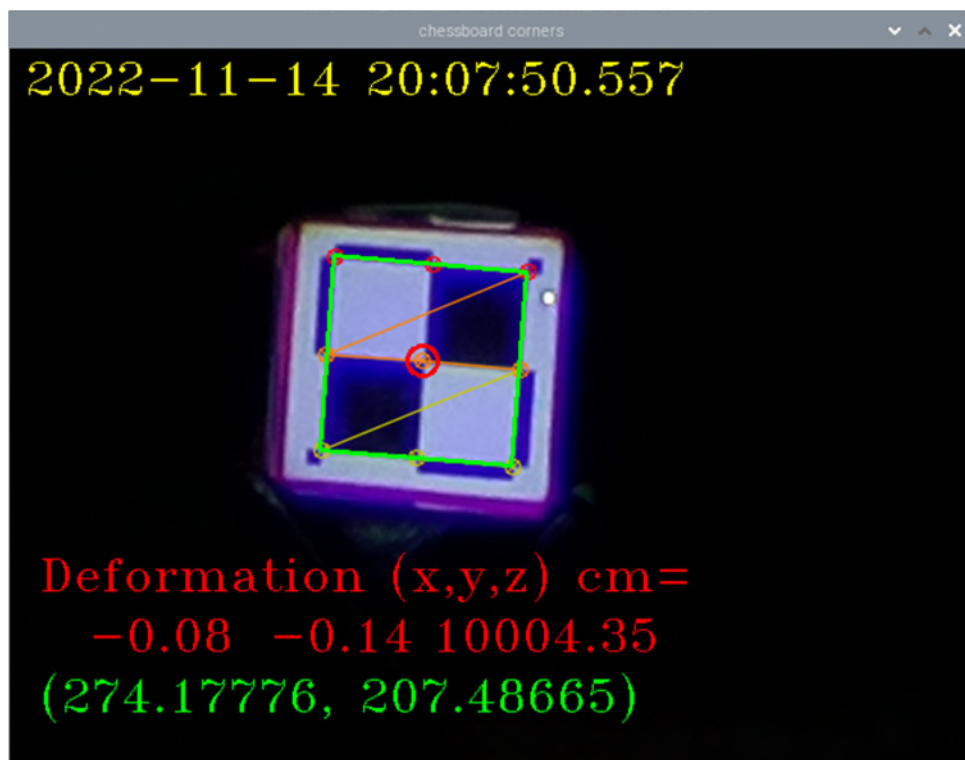


圖 2-2-55 100m 定點規標辨識

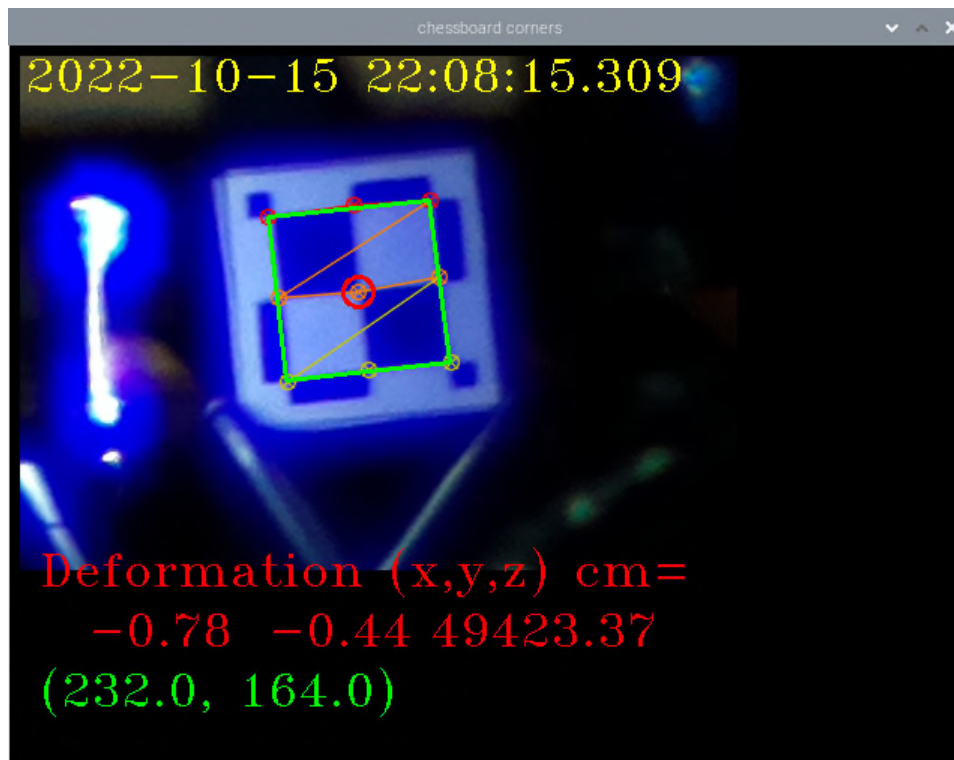


圖 2-2-56 500m 定點規標辨識

三、現地實驗

本計畫選定南投九份二山現地現地實驗，此區為 921 地震造成龍南道路上邊坡大量土砂崩塌，目前現地仍持續有大規模潛在崩塌監測執行，本計畫擬於龍南道路兩側架設儀器。本計畫使用 AIOT 電腦視覺裝置架設於現地進行資料比對作業，比對儀器包括全測站雷射經緯儀以及光達（LiDAR）雷射掃瞄系統。本 AIOT 電腦視覺裝置之攝影機拍攝得到數據所解算之深度距離與全測站雷射經緯儀以及 LiDAR 所測之距離進行分析比較，透過不同測距重複進行上述作業，藉此討論本裝置之實驗 3D 變位量測的精度。

九份二山之地理位置與安裝儀器之示意圖，如下圖 2-2-57~2-2-59 所示，本次先至九份二山做定點之初步監測實驗，架設於現地進行初步 5V LED 燈光模組測試，本次實驗所使用的規標尺寸大小為 20 公分*20 公分，其內部可供辨識之尺寸為 13 公分*13 公分如下圖所示，後續裝設方式將以圖 2-2-60 的方式進行。

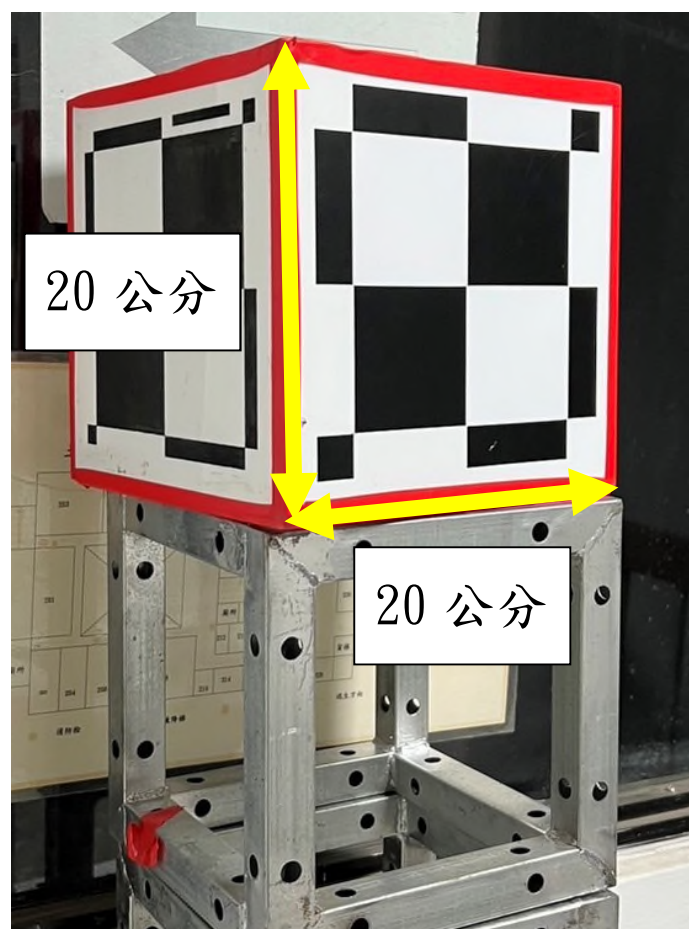


圖 2-2-57 六面立體光學規標示意圖



圖 2-2-58 九份二山現地示意圖



圖 2-2-59 現地安裝圖

試驗方法與原理如圖 2-2-60 所示，在坡地邊坡上佈設多個規標，並於道路另一側架設電腦視覺裝置，並與全測站裝置做一比較分析。

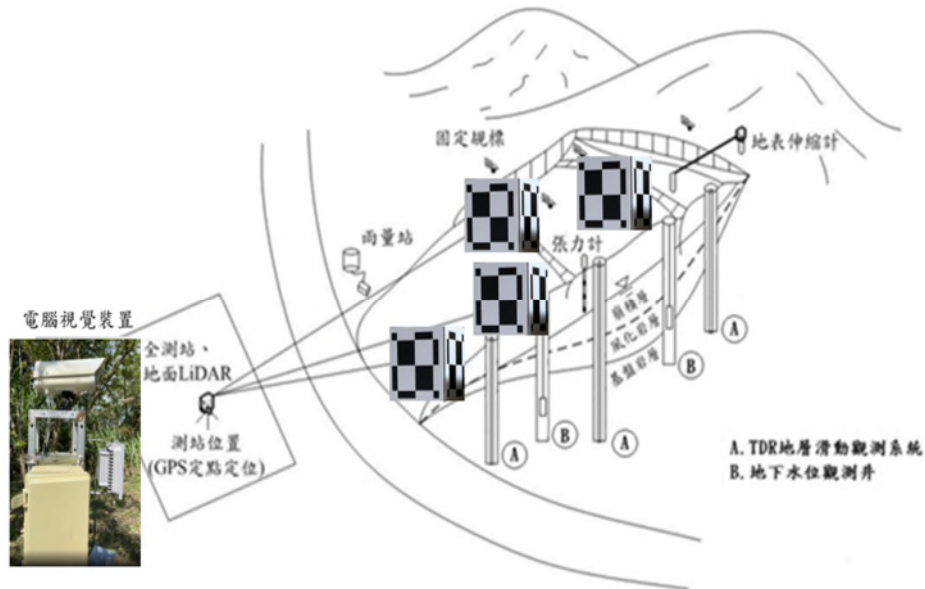


圖 2-2-60 現地裝置模擬示意圖

(一)、定點觀測實驗

1、九份二山雙目視覺測距實驗

利用兩組可調式工業級光學鏡頭，以及 Pi HQ Camera 攝影鏡頭模塊模擬人眼視覺獲取 50~100 組雙目視覺照片，接著利用 Matlab 內建的 Stereo Camera Calibrator 校正模組進行雙鏡頭校正，然後利用自寫的 Python 程式讀取校正後的相機內外參數進行視差圖的產生，最後利用視差與一開始校正所獲得的參數進行距離計算獲得目標物與鏡頭的距離。

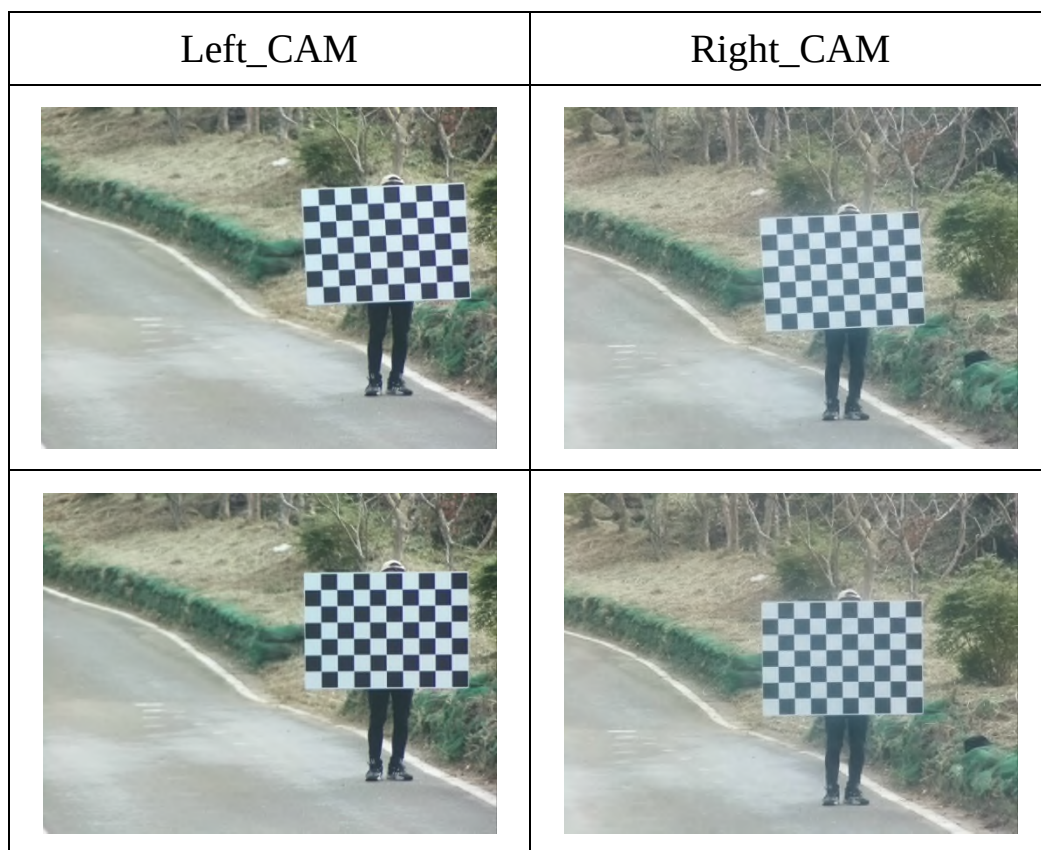


圖 2-2-61 黑白棋盤格校正板示意圖

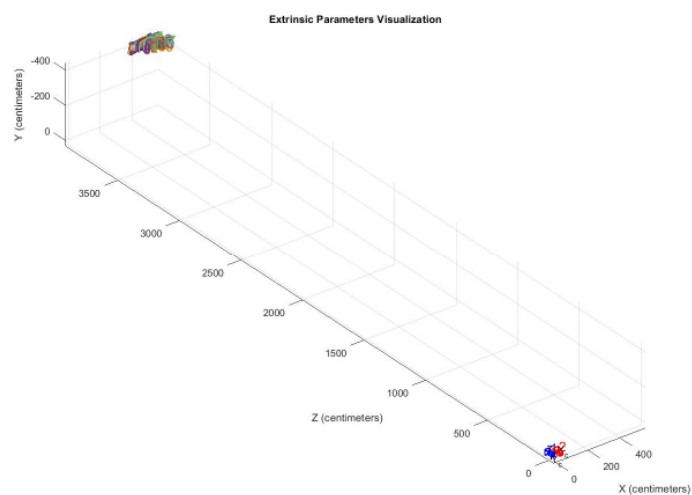


圖 2-2-62 Extrinsic Parameters Visualization 圖

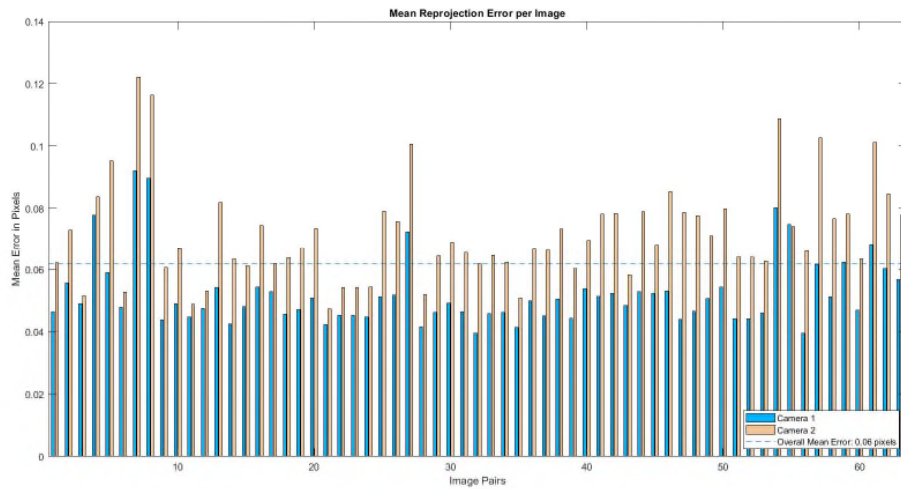


圖 2-2-63 Mean Reprojection Error per Image 圖

Camera 1 Intrinsics

```

-----
Focal length (pixels): [ 8088.8785 +/- 105.2317  7972.0646 +/- 99.4370 ]
Principal point (pixels): [ -533.8190 +/- 39.8301  959.8451 +/- 34.7756 ]
Skew: [ -482.2431 +/- 41.5976 ]
Radial distortion: [ 1.0769 +/- 0.0782  -1.7721 +/- 0.3233 ]
Tangential distortion: [ 0.1186 +/- 0.0079  -0.1448 +/- 0.0094 ]

```

Camera 2 Intrinsics

```

-----
Focal length (pixels): [ 7625.5363 +/- 88.1944  7622.2201 +/- 87.9123 ]
Principal point (pixels): [ -96.6787 +/- 33.3548  674.3458 +/- 31.0472 ]
Skew: [ -167.9324 +/- 25.7125 ]
Radial distortion: [ 2.1252 +/- 0.1117  -19.5050 +/- 3.3793 ]
Tangential distortion: [ 0.1071 +/- 0.0088  -0.1050 +/- 0.0106 ]

```

Position And Orientation of Camera 2 Relative to Camera 1

```

-----
Rotation of camera 2: [ -0.0398 +/- 0.0035  -0.0548 +/- 0.0050  0.0158 +/- 0.0023 ]
Translation of camera 2 (centimeters): [ -36.2797 +/- 2.7525  3.7931 +/- 2.5546  19.0671 +/- 42.231 ]

```

圖 2-2-64 左右鏡頭參數示意圖



圖 2-2-65 雙目校正照片示意圖

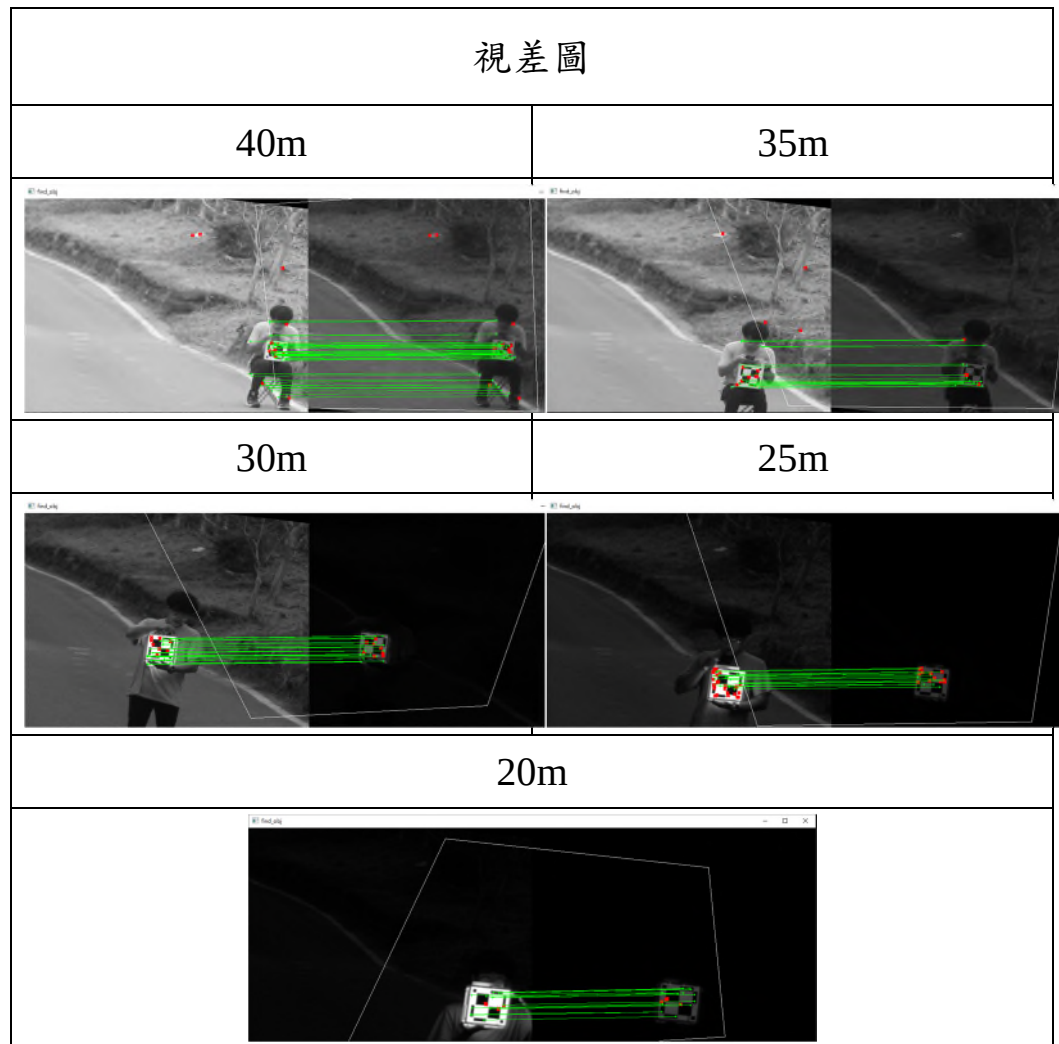


圖 2-2-66 40m 到 10m 雙目視差示意圖

雙目視覺測距實驗，量測距離 從 4000 公分(40 公尺)
到 2000 公分(20 公尺)，平均誤差大約落在 79 公分，誤
差百分比為 7.9%

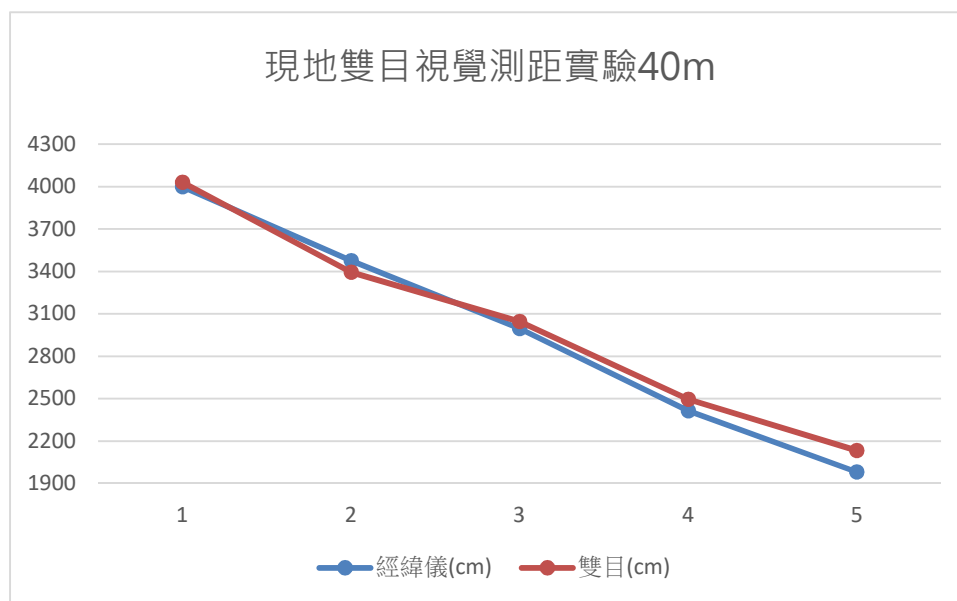


圖 2-2-67 雙目視覺測距距離圖

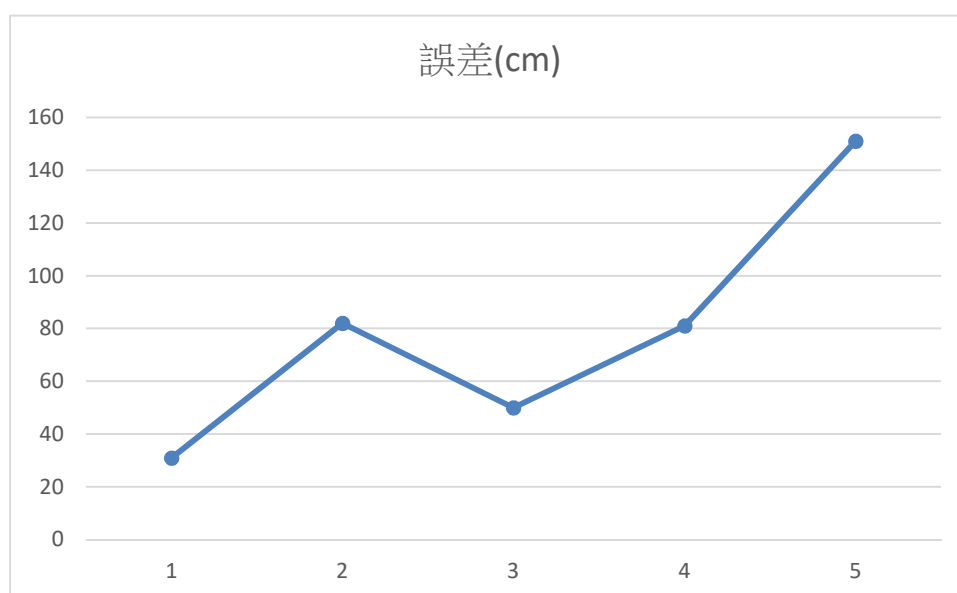


圖 2-2-68 雙目視覺測距距離誤差圖

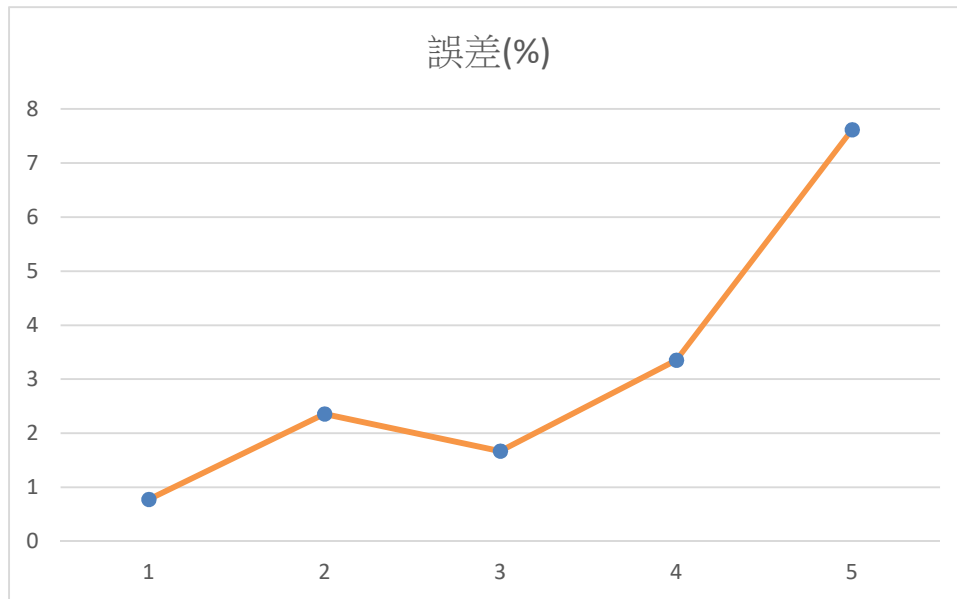


圖 2-2-69 雙目視覺測距距離誤差百分比圖

2、九份二山日間定點監測實驗

本計畫將自製 20 公分乘 20 公分的方形規標設立於距離鏡頭 23 公尺外的崩塌地邊坡蝕溝上，使用自行撰寫 (Opencv + Python)開發的軟體，加上樹梅派(Raspberry Pi 4B + HQ camera)所組成的三目電腦視覺式變位監測儀，利用光學自動辨識規標變位方式進行一系列點對點相對變位的監測實驗。實驗過程如下圖圖 2-2-70~圖 2-2-73 所示。相機與規標距離約為 23 公尺，並初步對 XY 軸進行現地位移 1.0 公分之精度測試。

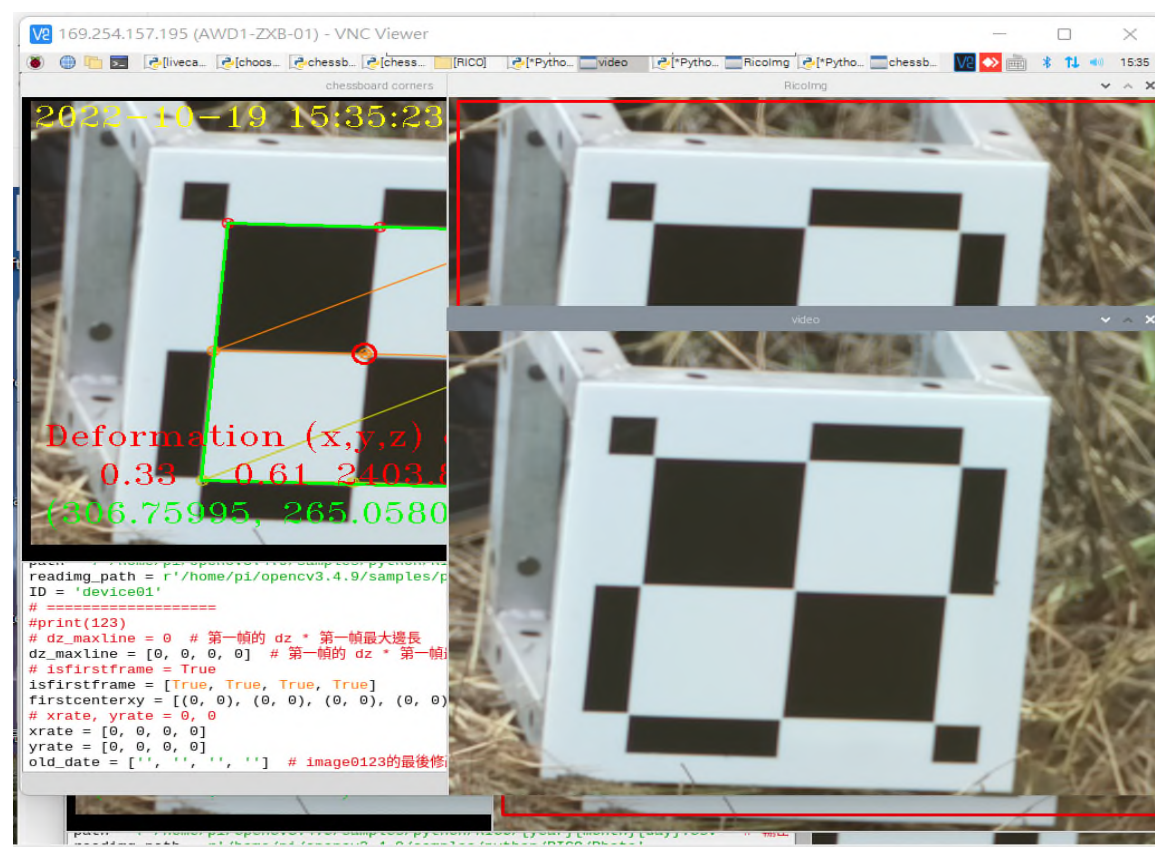


圖 2-2-70 日間監測時實鏡頭

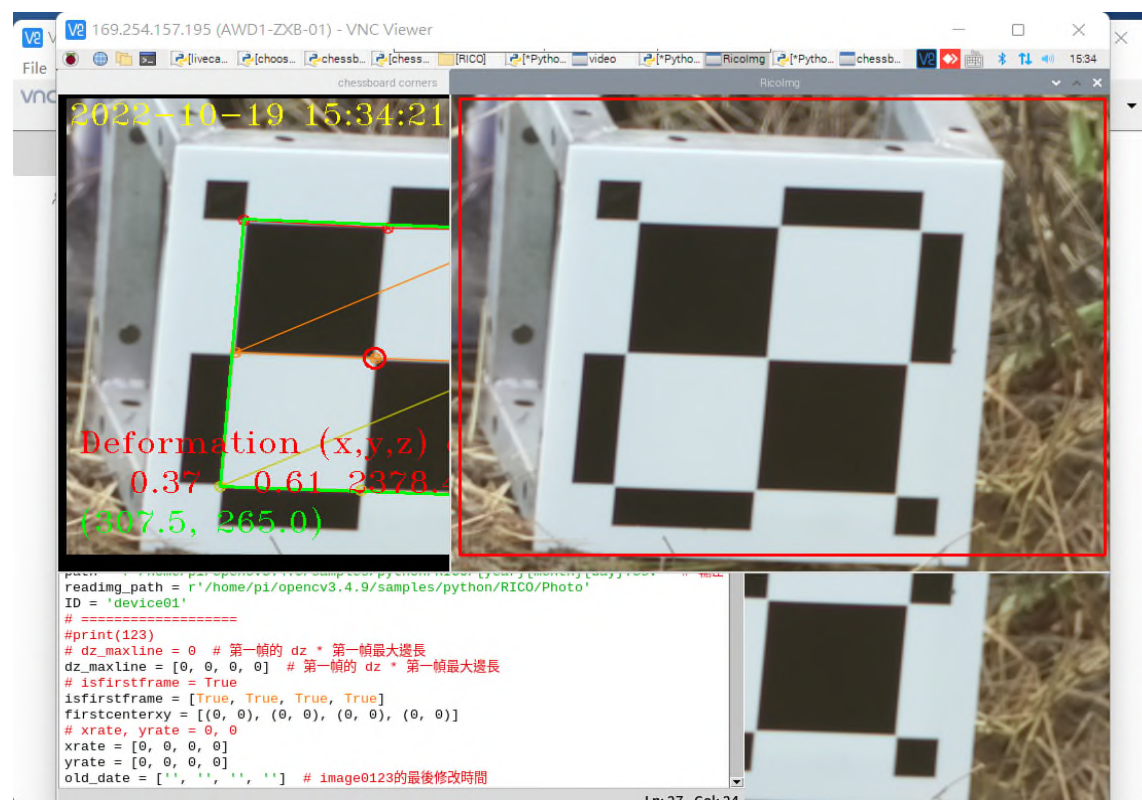


圖 2-2-71 日間監測框選辨識範圍

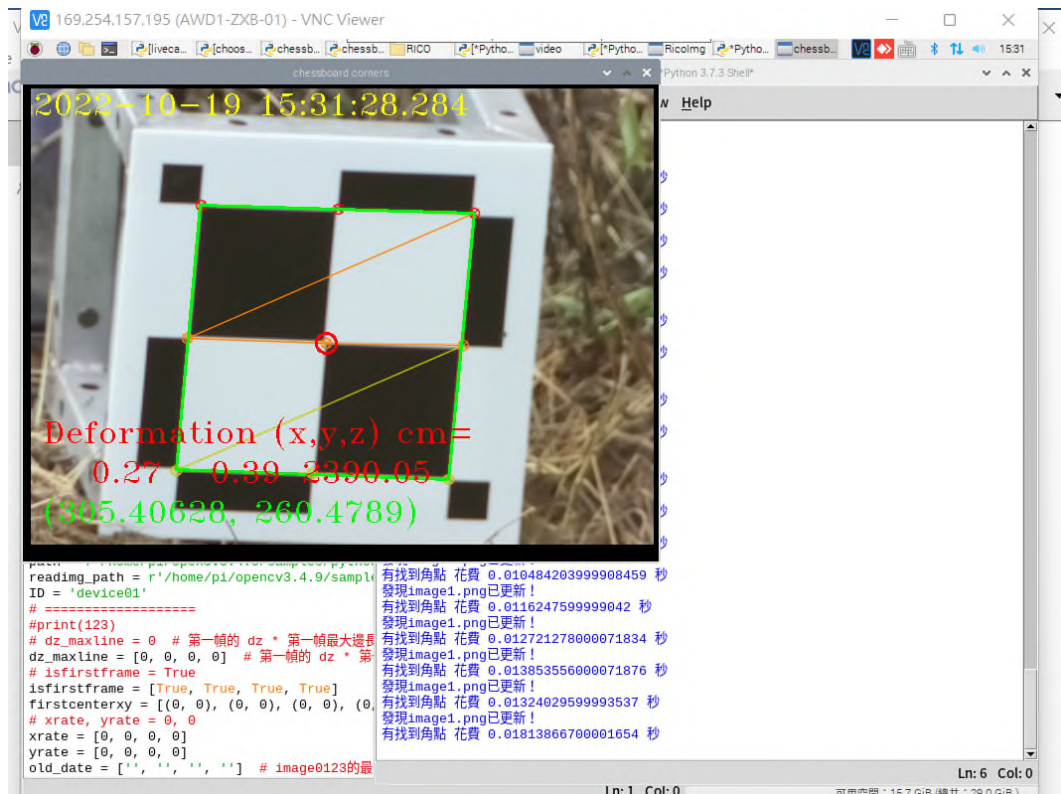


圖 2-2-72 日間監測規標辨識



圖 2-2-73 日間監測連續自動辨識

3、九份二山夜間定點監測實驗

由於本次實驗是採 24 小時不間段的連續觀測所以會遇到夜晚因無陽光而辨識不到規標的問題，所以本實驗特別加入了 5V LED 燈光模組、20000mAh 小米行動電源做為夜晚觀測的光線來源，實驗過程如下圖圖 2-2-74~圖 2-2-77 所示。



圖 2-2-74 夜間監測時實鏡頭



圖 2-2-75 夜間監測框選辨識範圍

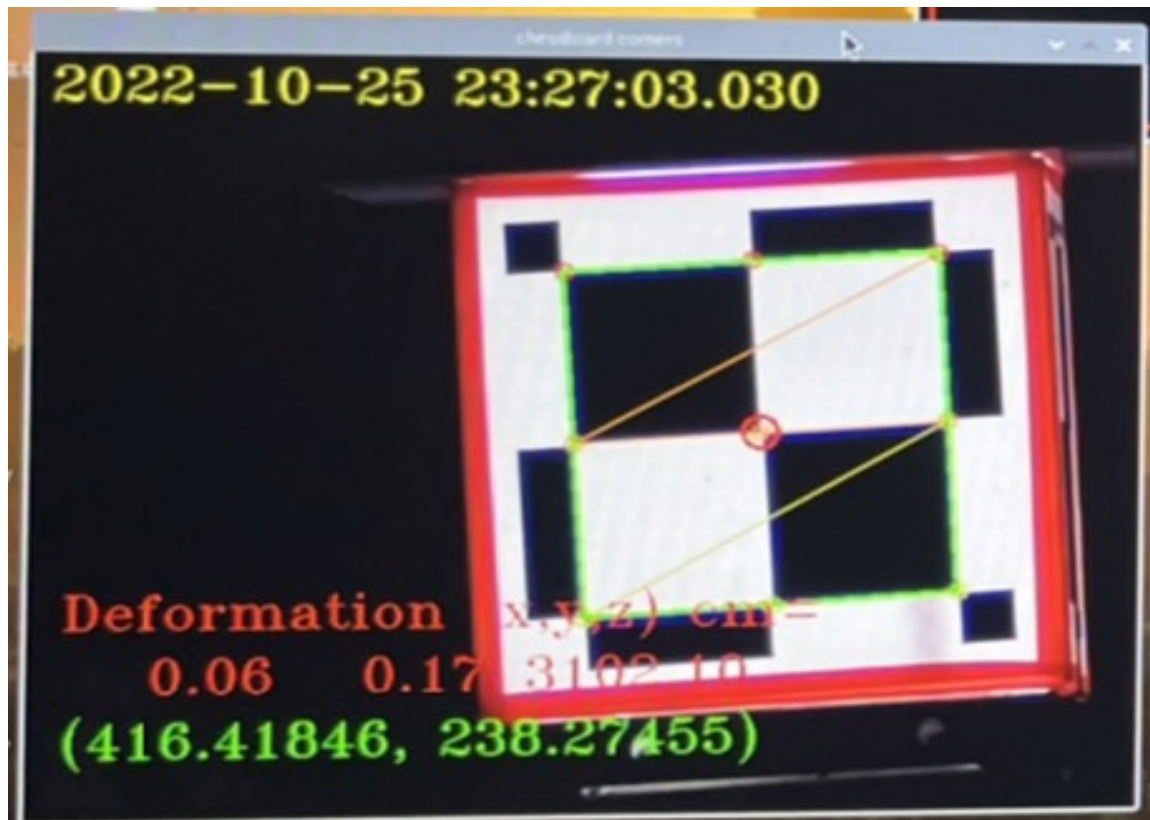


圖 2-2-76 夜間監測規標辨識

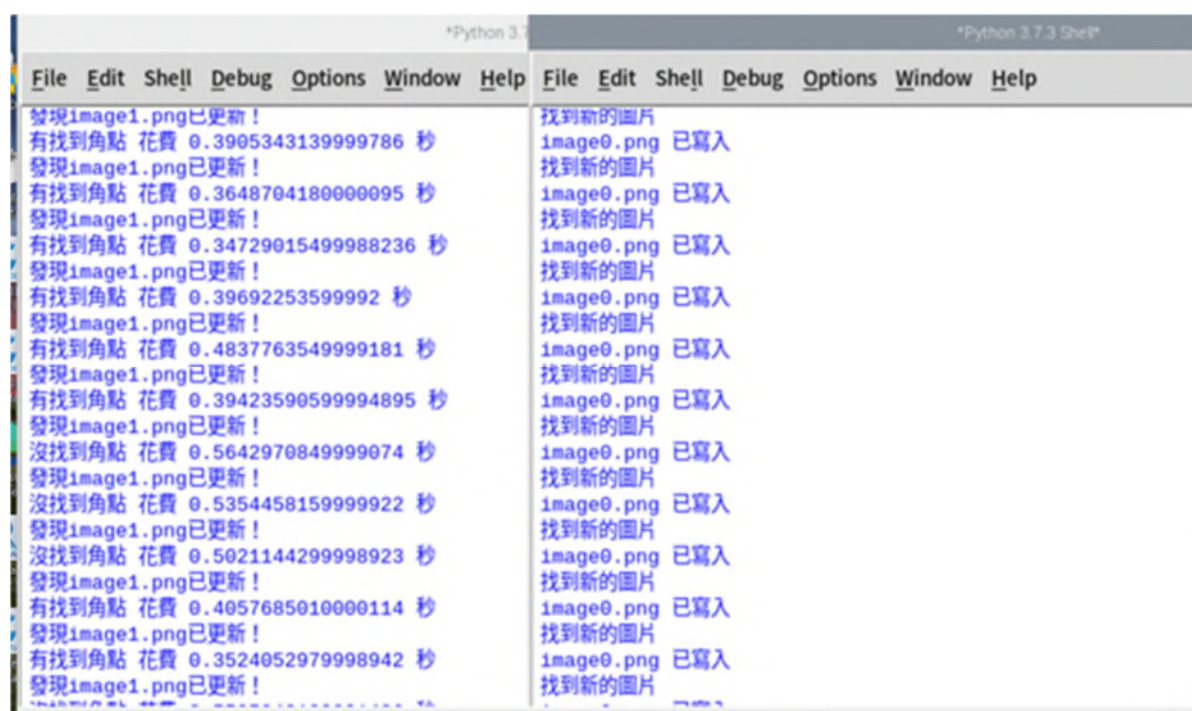


圖 2-2-77 夜間監測連續自動辨識

4、九份二山定點監測實驗數據分析

九份二山日間定點觀測實驗之初步結果，相機與規標初始距離約為 23.84 公尺，進行現地精度之測試，初步分析圖如下圖 2-2-78~圖 2-2-83。圖 2-2-78 為原始資料之像素值(pixel)，圖 2-2-79 為換算成公分單位之圖形，由圖形可看出，規標中心 X 軸觀測到的平均位移量為 0.029 公分，圖 2-2-80、圖 2-2-81 的 Y 軸位移量在 0.06 公分其 XY 軸方向平均誤差約在 0.07 公分左右。另圖 2-2-82、圖 2-2-83 的 Z 軸並無位移變動，其觀測數據為 9000 筆;平均值為 23.86 公尺;標準差為 0.08 公尺;跳動誤差百分比為 0.16%，後續仍將持續精進與改善現地儀器架設問題。

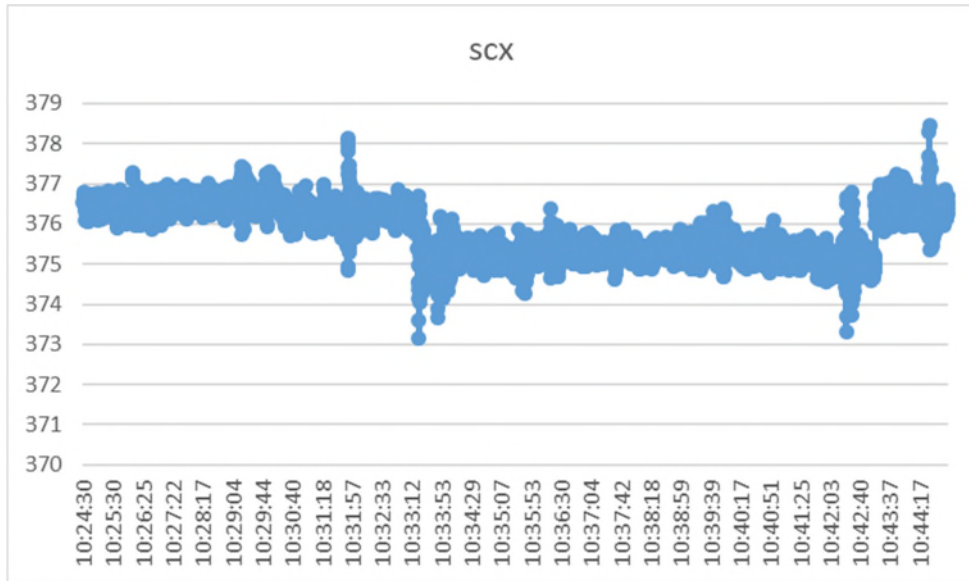


圖 2-2-78 規標中心點 X 軸方向像素變化量(pixel)

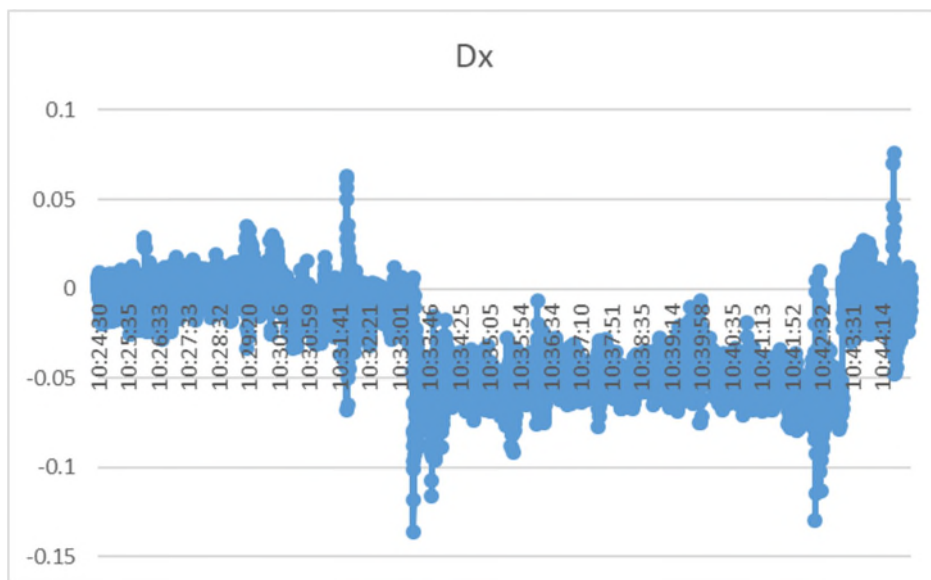


圖 2-2-79 規標中心點 X 軸方向位移變化量(cm)

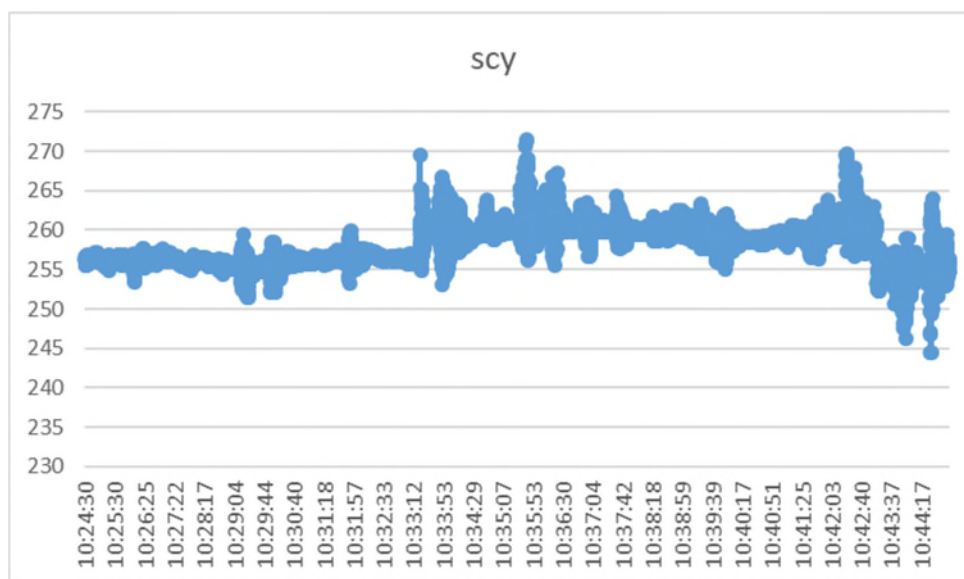


圖 2-2-80 規標中心點 Y 軸方向像素變化量(pixel)

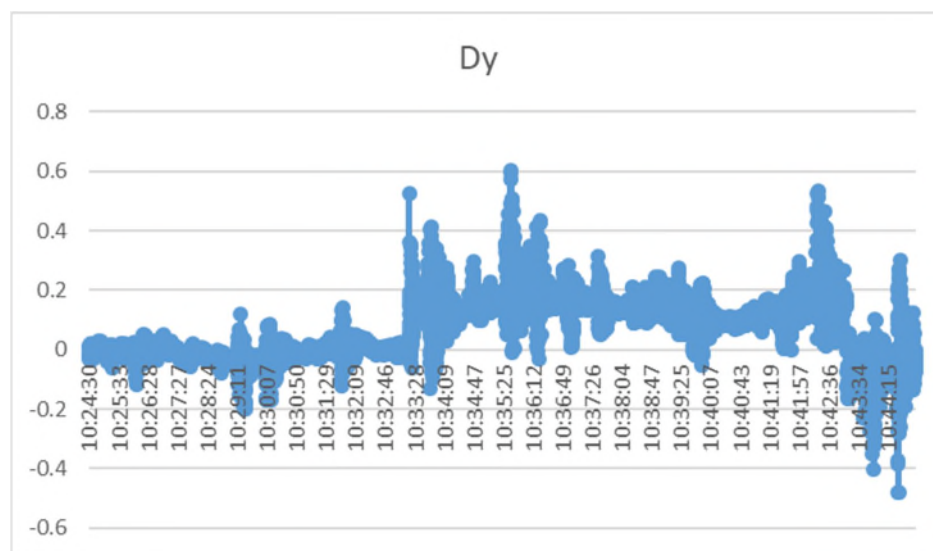


圖 2-2-81 規標中心點 Y 軸方向像位移變化量(cm)

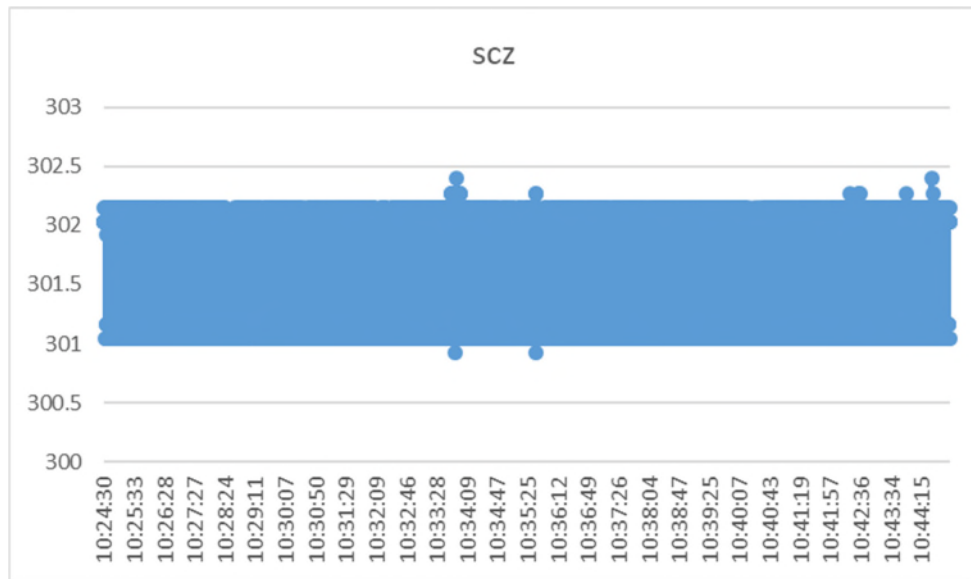


圖 2-2-82 規標中心點 Z 軸方向像素變化量(pixel)

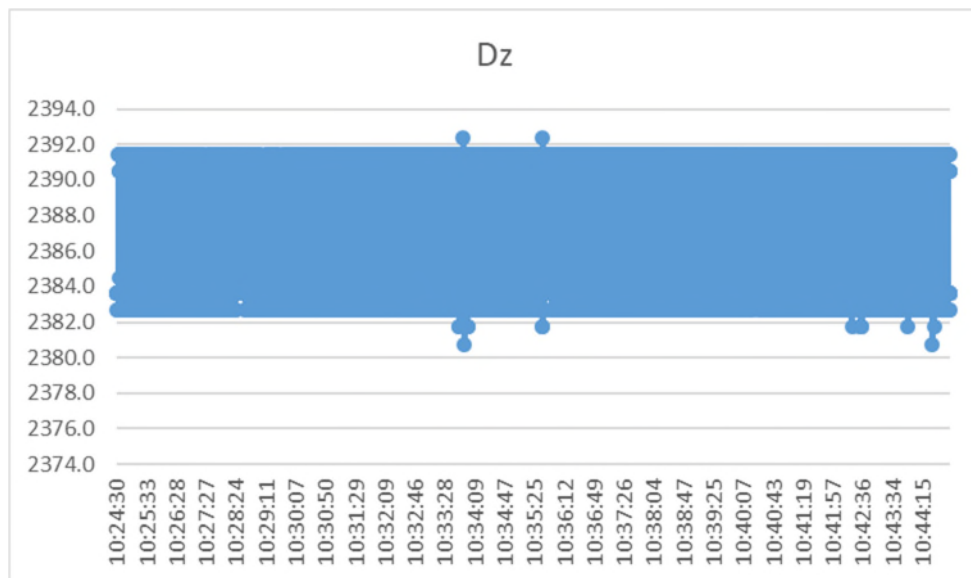


圖 2-2-83 規標中心點 Z 軸方向像位移變化量(cm)

(二)、儀器比對

1、三目電腦視覺式變位監測儀(雙鏡頭加望遠鏡頭)

本研究創新對於空間裡的景物距離量測，一種非接觸式光學測量方式，是一種人工智慧電腦視覺式學技術且實用的方法，其原理是透過兩台平行的攝影機同時照準同一物體，由於兩台平行攝影機之間距會造成物體在影像上的位置不同，形成了視差。視差較大者其距離攝影機較近，而視差較小者則離攝影機較遠。透過三角測量法來計算出兩張影像間的視差，再求出景深，而得到初步遠距離量測，如圖 2-2-84。



圖 2-2-84 三目電腦視覺式變位監測儀



2-2-85 現地照片之儀器與規標

2、現地資料之比對

本計畫使用 AIOT 電腦視覺裝置架設於室外研究進行資料比對作業，比對儀器包括全測站雷射經緯儀以及光達 (LiDAR) 雷射掃瞄系統，本研究預計使用之全測站儀將採用 TOPCON 自動追蹤全測站儀 (Auto Tracking Total Station GPT-9001A)，儀器本身由機械式伺服馬達結構搭配進紅外光雷射測距儀，距離量測精度 $5\sim 10\text{mm}+10\text{ppm}$ 。光達 (LiDAR) 使用 Zenmuse L1 (測量距離 450 公尺，有效點雲資料率 240,000 點/秒，測距精度 3 公分 @ 100 公尺)。本 AIOT 電腦視覺裝置之攝影機拍攝得到數據所解算之深度距離與全測站雷射經緯儀之距離以及 LiDAR 所測地形進行分析說明，藉此比較本裝置之實驗 XYZ 三軸變位量測的實用性與應用於崩塌地變位監測之優勢。



圖 2-2-86 全測站雷射經緯儀之現地照片

表 2-2-5 現地經緯儀測試之結果比較表

	距離	誤差
經緯儀量測坡面覘標	23.836 m	5~10 mm+10 ppm
三目電腦視覺式變位監測儀	24.625 m	0.789 m



圖 2-2-87 LiDAR(Zenmuse L1)九份二山現地施作照片

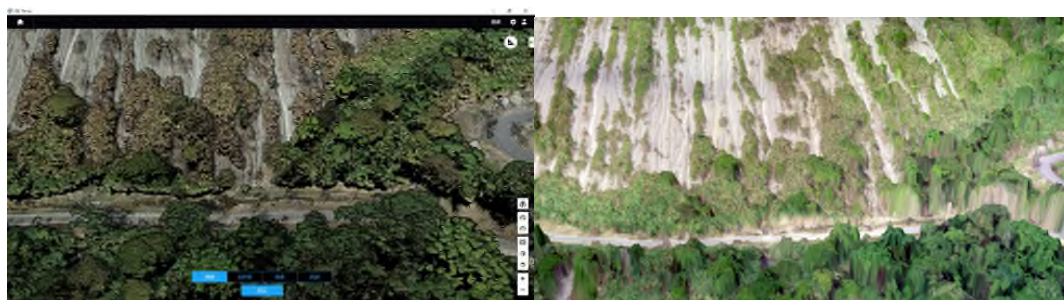


圖 2-2-88 LiDAR(Zenmuse L1)九份二山現地施作照片

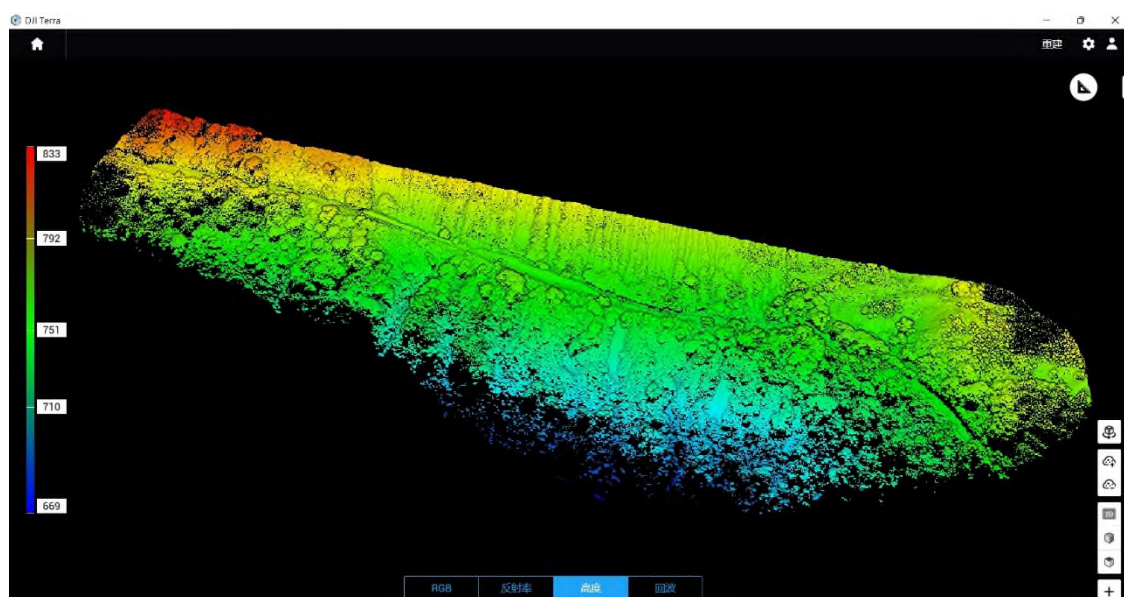


圖 2-2-89 LiDAR(Zenmuse L1)九份二山點雲圖成果

表 2-2-6 現地 LiDAR 測試之結果比較表

儀器	距離	誤差
LiDAR 所測地形之距離	100 公尺	XY 座標 5 公分 H 座標 10 公分
三目電腦視覺式變位監測儀(Z 軸)	100.28 公尺	XY 軸方向 0.22 公分 Z 軸方向 28.11 公分

3、成本分析與後續研究議題

從經濟上來比較，本研究以一組樹莓派加上 2 台攝影機與 WIFI、4G 模組等，一組 AIOT 電腦視覺裝置之硬體費用約可控制在 5 萬元左右，然而電子式全測站雷射經緯儀之設備就達 30 萬元以上，光達（LiDAR）雷射掃瞄系統更達 50 萬元以上。且本裝置可以同步自動化監測崩塌區之特徵點 XYZ 三維變位，又有省電、經濟與物聯網功能之優勢，適合做緊急防災應變與長期、即時的坡地安全監測。

表 2-2-7 Total Station &LiDAR&三目電腦視覺式變位監測儀比較表

	價格 (萬元)	精度	可量測距離 (公尺)
電子式全測站 (Total Station)	30	5~10mm+10ppm	免稜鏡測距 (300~500)
光達雷射掃瞄系 (LiDAR)	50	3 公分 @ 100 公尺	450
三目電腦視覺式 變位監測儀	5	0.01 公分	500

AIOT 電腦視覺裝置之原理為光學影像改變分析規標變位造成影像上的變化量，因此光線之充足性會影響影像辨識的重要因素，室內燈光較無疑慮，但是戶外光線與夜間照明將是必須克服之要項，氣候條件之影響亦為重要之

課題，但仍有值得研究非接觸性監測儀器的即時掌握邊坡位移變化情形之必要性。後續將利用戶外式防水 LED 六面體規標進行長期夜間模式監視，並研擬各種崩塌面破壞情形與惡劣天氣監測，以緊急配置儀器與長期安全監測之最佳辦法。

第三章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

主要工作項目	111 年			
	1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月
電腦視覺式 3D 變位儀器裝置				
電腦視覺技術之坡地監測軟體開發				
坡地監測即時資料傳輸與雲端資料庫建置				
經緯儀儀器與光達雷射掃瞄儀器之租用與資料分析				
現地儀器硬體配置開發與測試				

第二節 計畫交付項目

一、 計畫執行項目

執行項目	單位	數量
電腦視覺式 3D 變位儀器裝置	組	2
電腦視覺技術之坡地監測軟體開發	式	1
坡地監測即時資料傳輸與雲端資料庫建置	式	1
經緯儀儀器與光達雷射掃瞄儀器之租用與資料分析	式	1
現地儀器硬體配置開發與測試	式	1

二、 期中報告、期末報告、成果報告書期程

(一) 期中報告：111 年 7 月

(二) 期末報告：111 年 11 月

(三) 成果報告書：111 年 12 月

第四章 結論及建議

第一節 結論

- 一、 本研究創新研發三目電腦視覺式變位監測儀，進行邊坡安全之穩定性監測分析，現階段可工作之距離已達 500 公尺，解決邊坡危險不易到達之問題，其觀測精度為 0.01 公分，XY 軸平均觀測誤差為 0.07 公分。
- 二、 崩塌地邊坡位移監測需要即時、長期與可預警式的安全監測，對於坡面變位的監測設備期望能夠達到符合精度需求又須具備簡易裝置之功能，運用電腦視覺技術達到全測站經緯儀與 LiDAR 之功能。
- 三、 坡地發生土砂災害時，需要緊急應變、安全且可靠度高的坡面變位監測系統。設計具省電、經濟與物聯網功能之優勢，適合做緊急防災應變之功用。
- 四、 應用非接觸式電腦視覺裝置達到工程結構或崩塌坡面的安全性監測，並能長期架設於現場提供 24 小時之監測數據與影像資料。

第二節 建議

- 一、 「立即可行建議」：一組戶外非接觸式電腦視覺裝置能針對工程結構物或崩塌坡面提供安全性監測，可以全面性推廣。
- 二、 「中長期建議」：坡地發生土砂災害時，需要緊急應變、安全且可靠度高的坡面變位監測系統。未來系統可採用 5G 的傳輸系統，成為 5G 雲端大數據之防災監測與人工智慧應用的先驅。

參考文獻

1. Ahmmed P, Ahmed Z, Jahan-Rafee MI, Awal MA, Choudury SM (2014) Self-localization of a mobile robot using monocular vision of a chessboard pattern. 8th International Conference on Electrical and Computer Engineering. Dhaka, Bangladesh, 20-22 December 2014, IEEE 2014 753-756. <https://doi:10.1109/ICECE.2014.7026828>
2. Bradskia G, Kaebler A (2008) Learning OpenCV: computer vision with the OpenCV library. O'Reilly Media, Inc, USA, pp 370-401 ISBN:978596516130
3. Chen IH, Lin YS, Su MB (2020) Computer vision–based sensors for the tilt monitoring of an underground structure in a landslide area. Landslides 17:1009-1017 <https://doi.org/10.1007/s10346-019-01329-x>
4. Chen ST, Lin SS, Lan CW, Hsu HY (2018) Design and Development of a Wearable Device for Heat Stroke Detection. Sensors 18(1): 17 <https://doi.org/10.3390/s18010017>
5. Dunnicliff J (1988) Geotechnical instrumentation for monitoring field performance. Wiley, New York, USA, pp.199-219. ISBN: 0471096148.
6. Ferri M, Mancarella F, Yan J, et al (2009). Design and prototyping of a MEMS-based crackmeter for structural monitoring. TRANSDUCERS 2009 - 2009 International Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference, Denver, USA, 21-25 June 2009. doi:10.1109/sensor.2009.5285501
7. Intrieri, E., Gigli, G., Mugnai, F., Fanti, R., & Casagli, N. (2012). Design and implementation of a landslide early warning system. Engineering Geology, 147, 124-136.

8. Krull B, Patrick J, Hart K, White S, Sottos N (2016) Automatic optical crack tracking for double cantilever beam specimens. *Exp. Tech* 40: 937-945 doi:10.1111/ext.12148
9. Luhmann T, Robson S, Kyle S, Harley I (2007) *Close Range Photogrammetry: Principles, Techniques and Application*. Wiley. ISBN: 0470106336.
10. Lee JJ, Shinozuka M (2006) A vision-based system for remote sensing of bridge displacement. *NDT & E International* 39:425-431
11. Li C, Fernandez ST, Link J, May M, Azzam R (2014) Use of MEMS accelerometers/inclinometers as a geotechnical monitoring method for ground subsidence. *Acta Geodyn. Geomater* 11:337–349 <https://doi.org/10.13168/AGG.2014.0015>
12. Miura S, Yamamoto T, Kuronuma I, Imai M (2005) Vision metrology applied for configuration and displacement. *International Journal of the JCRM* 1: 1-6
13. Nelson LS (1983) The deceptiveness of moving averages. *J. Qual. Technol* 15:99–100 <https://doi.org/10.1080/00224065.1983.11978852>
14. OpenCV API Reference. OpenCV Team; c2011-2014 [updated 2014]. Available from: <https://docs.opencv.org/3.1.0/>
15. Open Source Computer Vision Library. GitHub Inc.; c2016 [updated 2016]. Available from <https://github.com/opencv/opencv/tree/3.1.0>
16. Polonelli T, Brunelli D, Guermandi M, Benini L (2018) An accurate low-cost Crackmeter with LoRaWAN communication and energy harvesting capability. 2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). Turin, Italy, 4-7 September 2018, doi:10.1109/etfa.2018.8502592

17. Roy E (2006) Geotechnical investigation methods: a field guide for geotechnical engineers. CRC Press, Florida, USA, pp259-268. ISBN: 1420042742.
18. Tung K, Necatil FC (2017) Computer vision-based displacement and vibration monitoring without using physical target on structures. Structure and Infrastructure Engineering 13:505-516.
19. Valente M, Silva H, Caldeira JML, Soares VNG, Gaspar, PD (2019) Detection of Waste Containers Using Computer Vision, Appl. Syst. Innov 2: 11 doi:10.3390/asi2010011.
20. Wei D, Wei X, Liu Y, Jia L, Zhang W (2019) The Identification and Assessment of Rail Corrugation Based on Computer Vision. Appl. Sci 9: 3913 doi:10.3390/app9183913.
21. Zhang Z (2000) A flexible new technique for camera calibration, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 22:1330-1334 <https://doi:10.1109/34.888718>.
22. 齊藤迪孝 (1987) , 斜面崩壊時刻予測のためのクリープ曲線の適用について (坡面崩塌時刻予測時的潛變曲線應用) , 地滑 , Vol.24 , No.1 , pp.30-38 。

附錄一 審查會議記錄暨回覆辦理情形

行政院農業委員會水土保持局

「111 年度創新研究計畫(新興科技應用-場次二)」

期初審查會議紀錄

壹、 時間：111 年 4 月 20 上午 9 時 30 分

貳、 地點：本局府西辦公室第三會議室

參、 主持人：陳副總工程司振宇 紀錄：高百毅

肆、 出(列)席單位人員：詳簽到簿。

伍、 受委託單位簡報：略。

陸、 審查意見：如后附件。

柒、 報告事項：

案由一:111 年度創新研究計畫(新興科技應用)期初審查會議，報請公鑒。

決定：

一、本場次審查之 4 案計畫，各計執行單位所提工作執

行計畫書，經審查原則可行，請依據與會人員相關意

見辦理，並於期中報告書回覆辦理情形。

二、各執行單位請於 111 年月 15 日前以公文提送期中

報告書 5 份，俾利後續審查作業推展。

捌、 臨時動議：無

玖、 散會(中午 12 時 10 分)

附錄一 審查會議記錄暨回覆辦理情形

行政院農業委員會水土保持局

「111 年度創新研究計畫(新興科技應用-場次二)」

期初審查會議紀錄

計畫名稱: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

	委員意見	辦理情形
一、余騰鐸委員	(一) 方法距離與溫度造成的誤差值應先討論與率定	感謝委員意見，本次期中報告針對室內試驗之不同距離進行定位點測試，其跳動範圍在1pixel 內。室內位移試驗誤差約 0.04cm。 另溫度造成誤差，因尚未進行完整之野外試驗，待期末報告前完成野外之溫度效應造成之週期性變動誤差探討。
	(二)IR 距離限制是多少, 降雨或是濕度對於 IR 能力的影響如何率定及校正。	目前使用 100 公尺 DC 12V LED 陣列式紅外線補光器。
	(三) 標靶移動還是相機本身位移, 如何確認?	本研究採用相對座標位移理論，僅能假設相機本身為不動點，標靶規標假設為動點之測試方式。
	(四) 本案是採固定 FOV 還是相機旋轉?這兩者涵蓋範圍與量測準確度將有明顯差異, 請註明並說明對策。	本研究採用固定焦距，相機部會旋轉，若相機移動，必須重新校正焦距與重新計算變位量。
	(五) 本案研發程式是否需要對單一相機與標靶率定?如何對應不同鏡頭畸變造成的光學位移偏差?	同上，本研究相機每次固定後必須重新校正率定與重新計算變位量。
	(六) 本方法的是用限制應該加以討論系統妥善率, 例如霧氣, 背光, 鏡頭結霧等。	感謝委員意見，因尚未進行完整之野外試驗，待期末報告前完成野外之妥善率探討。

二、江介倫委員	(一) 若規標位移過大或旋轉,其最大可偵測位移等限制,建議測試並說明,供後續實應用。	感謝委員意見,規標之量測範圍為相機畫面解析,目前為640*480 pixel,未來朝向1280*720之目標量測。
	(二) 相機鏡頭若非定焦而是變焦鏡頭相機,對精度之影響為何?本計畫採用之相機是否為定焦,及其規格如何?	本研究採用固定焦距,若相機移動,必須重新校正焦距與重新計算變位量。目前相機使用規格為焦距:12mm~120mm、光圈:F1.8~F16、支援 IR 功能。
	(三)在天候條件不佳時發生坡面變位的可能性較高,請評估天候不佳如陰雨、霧氣等影響下,精度的範圍。	感謝委員意見,因尚未進行完整之野外試驗,待期末報告前完成野外之天候因素探討。
三、蘇文瑞委員	(一) 邊坡位移速率常較緩慢,本計畫使用之方法預期達到之精度為多少,建議可與其他方式進行比較。	感謝委員意見,目前進行之室內試驗,精度達0.5公分以下,且每一秒即可判讀一張影像辨識,以室內實驗砂箱試驗,可以成功抓取到邊坡破壞之規標軌跡。
	(二)若運用在長期監測,過程中天氣因子是否會影響精度?	光學儀器皆會到光線與溫度之影像,因尚未進行完整之野外試驗,待期末報告前完成野外之天候因素探討。
	(三) 建議律定未來使用之情境、使用限制(如距離)等。	感謝委員意見,目前進行之室內之砂箱試驗,可以成功抓取到邊坡破壞之規標軌跡。目前野外試驗之限制主要為夜間之監測,計畫採購之遠紅線裝置為100公尺,將後續進行野外試驗,加以探討使用限制。
四、孫明德委員	(一) 本項變位即時監測系統,運用於梨山地區邊坡滑動及排水廊道已近10年,建議說明本研究與前項設備之差異、創新性及後續強化運用範圍。	感謝委員意見,過去之梨山監測主要是針對工程構造物。本計畫目的為緊急應變時之邊坡崩塌或滑動時,可即時偵測變為與影像之防災預警。本研究之室內砂箱試驗可以成功抓取到邊坡破壞之規標軌跡,精度達0.5公分以下,且每一秒即可判讀一張影像辨識。
	(二) 於無道路或有安全疑慮之崩塌坡面,其規標如何固定或運用無規標方式以利監測,應列入研究範疇。	感謝委員意見,本研究將嘗試用無人機空載放置本研究首創之六面體規標。將後續進行野外試驗,加以探討使用限制。

	(三) 本系統光學性判識,採外部光源則涉及電源供應、光源布設固定等問題,請研究規標自有光、電源之可行性,並探究非光學感測之可能性。	目前野外試驗之限制主要為夜間之監測,計畫採購之遠紅外線裝置為 100 公尺,將後續進行野外試驗,加以探討使用限制。
	(四) 雙相機觀測精度與相機間距 T 關係甚大,請一併探討 T 值之有限性。	感謝委員意見,雙相機之間距 T 確實影響量測之距離與精度,本研究將後續進行野外試驗,加以探討雙相機之間距使用限制。但本研究將採雙鏡頭量測距離,單鏡頭量測規標變位,單鏡頭量測規標應可達到公分級以下之精度,將持續探討。
五、陳振宇委員	(一) 室內試驗對於光線、機械是否需遮陽等條件,是否有特別之限制?	本研究之室內試驗並不需要遮陽或補光線,因為使用遠紅外線燈。詳如本報告的室內實驗,只要調整好焦距,可以清楚於有燈光與黑暗中得要規標影像辨識之成果。
	(二) 依學校外試驗之結果,100m 計算距離誤差達 14.5cm,其適用情境為何?	本研究採雙鏡頭量測距離,主要為先簡易量測無法到達區域之距離,依此距離得到單鏡頭量測規標變位之相對變化值,單鏡頭量測規標應可達到公分級以下之精度,將於期末報告有完整成果與說明討論。
六、尹孝元委員	(一) 若要達成坡面位移即時監測之目的,相機及系統運算主機須 24 小時設置於現,如何確保其安全性?另請說明如何因應室外惡劣環境(潮濕、高溫及低溫)之影響,維持系統正常運作。	感謝委員意見,相機及系統運算主機其體積小,皆放置於防水攝影機殼中,然後鎖定於鋼架上,尚屬安全。 另室外惡劣環境確實會影響光學之量測,因尚未進行完整之野外試驗,待期末報告前完成野外之天候因素探討。
	(二) 請說明系統在夜間光源不足、起霧及大雨之情形下,相機系統(紅外線、夜視…)如何能持續進行坡面即時監測。	目前光源問題採用遠紅外線裝置,但起霧及大雨之情形下可能會影響光學影像辨識之功能,待期末報告前完成野外之天候因素探討並構想因應策略。
	(三) 請說明現場系統之供電輸相關模組之運作。	目前供電採用市電供應,未來朝向太陽能供電之目標邁進。

七、黃效禹委員	(一) 利用非接觸式監測,確實是已發生破壞之崩塌較佳之選擇,參考 P.2-14 實驗室結果測距誤差落在 1%大約 300 公尺有 3 公分差,如比較 GPS 監測地表位移設定為 5cm/day,是否僅能用在較大位移地區。	感謝委員意見,本研究採雙鏡頭量測距離,主要為先簡易量測無法到達區域之距離,依此距離得到單鏡頭量測規標變位之相對變化值,單鏡頭量測規標應可達到公分級以下之精度,將於期末報告有完整成果與說明討論。
	(二) 有關崩塌地常有傳輸困難狀況,尤其本案影像判識,即時監測傳輸量可能很大,宜先考量如何克服。	目前採用 ADSL 提供變位量與影像傳輸,未來可用 4G 傳輸,但 4G 傳輸對於大量影像傳送費用較多,若純以數據傳輸是可行方案。

行政院農業委員會水土保持局

「111 年度創新研究計畫(新興科技應用-場次二)」

期中審查會議紀錄

計畫名稱: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

	委員意見	辦理情形
一、蘇文瑞委員	(一) 本研究之砂箱試驗主要以正常天候下偵測崩塌位移，建議也模擬在惡劣天候下如大雨起霧等環境下其監測之效果。	謝謝委員的建議。本研究裝置已可以偵測夜間模式。未來針對極端氣候下的可行性將持續努力。
	(二) 本研究使用之紅外線輔助夜間監測，其是否有距離之限制？	紅外線補光燈已於此次計畫改由 LED 燈代替。
	(三) 建議評估設置本監測儀器其所需之電力需求，並評估在現地電力中斷下需使用多大之 UPS 維持其幾天之基本電力。	目前已配置市電方式加設，未來朝向太陽能設備供電。
	(四) 建議評估本研究使用上可能面臨之限制並於期末報告中專節說明之。	謝謝委員的建議，本報告以加入本儀器誤差與距離之限制。
	(五) 建議評估現地監測時其資料影像傳輸所需成本及其頻寬需求。	目前以 4G 傳輸數據資料室相當足夠，未來朝向傳輸影像目標研究。
二、黃效禹委員	(一) 建議室內及室外測試增加降雨情形之效果測試，因未來應用需要解決惡劣天候狀況。	謝謝委員的建議。本研究裝置已可以偵測夜間模式。未來針對極端氣候下的可行性將持續努力。
	(二) 有關應用無人機載具佈設硯標(P2-31)，其如	本年度研究計畫是以人工方放置於崩塌地坡面。將研擬應用無人機吊掛

	何在坡面上固定用以觀測，請說明。	硯標，定點放置後，脫繩投放，類似無人機投放物資方式，理論上可行，未來將持續研究。
三、陳振宇委員	(一) P2-1，本計畫之運算是否為現地(邊際)運算？如是，為何需要 WSN 及雲端數據分析？	謝謝委員的建議，本計畫之運算可以視為邊際運算，利用現地樹莓派微電腦系統直接辨識成果，將 xyz 座標數據紀錄後，可直接展示，也可以上傳至雲端(架設於中興大學資料庫)，提供備份與文字及影像儲存。
	(二) P2-14~P2-28，定點精度試驗，15、20、25m 之距離平均值誤差分別為 0.903、0.847、0.433m，是否太大？且距離近之誤差反而大，何故？	本計畫之先利用 25 公尺定點雙目鏡頭校正，進而量測近距離 15、20 公尺之運算距離成果座比較誤差。 本計畫之定點雙目鏡頭量測，目的在求得無法達到坡面之大概距離，才設定本系統之初始 xyz 座標，但之後是利用望遠鏡頭照準坡面硯標，可以得到公釐等級之精度。
	(三) P2-31~P2-40，於九份二山日間定點監測實驗，其中圖 2-2-43~2-2-49 之時間，似與圖 2-2-50~圖 2-2-55 對不上？且硯標位移 $X=5\text{cm}$ ， $y=8\text{cm}$ ，P2-37 說明觀測誤差約 1cm，但圖 2-2-51 之結果，其誤差似乎不止 1cm，請確認。	謝謝委員的建議，本期末報告以全面修正實驗數據。
	(四) 未來實際應用時，硯標之設置如使用 UAV，是否已經過驗證？例如有無坡度限制等？	本年度研究計畫是以人工方放置於崩塌地坡面。將研擬應用無人機吊掛硯標，定點放置後，脫繩

		投放，類似無人機投放物資方式，理論上可行，未來將持續研究。
四、技研小組(蔡宗賢)	(一) 本案以 AIOT 進行坡面監測，與以往採沖蝕釘之性質相似，但具備更自動化判讀，而目前有其他衛星影像判釋或是 UAV 空拍亦可達到本案之目的，是否將相關技術納入比較其優勢。另，本案關鍵之一為選定坡面特徵點，請問特徵點選定原則為何，建議宜有詳細說明。	謝謝委員的建議，本期末報告已比較傳統測量之優缺點。另，目前選定坡面特徵點是以三目鏡頭可以看到之地點為投放目標。
	(二) 利用無人機於坡地置放規標，如何確定放置點位是否合宜？建議增加規標放置點位，以減少規標受干擾而有偏估情形。另，就規標誤差因素及範圍宜有說明。	本年度研究計畫是以人工方放置於崩塌地坡面。將研擬應用無人機吊掛規標，定點放置後，脫繩投放，類似無人機投放物資方式，理論上可行，未來將持續研究。
	(三) 以全站儀及 LiDAR 做檢驗應可行，但精度可否符合要求？採 AIOT 觀測時，精度不宜由全站儀及 LiDAR 量測結果比對討論。應由測量原理配合相機攝像原理求得，文中所提到三者之比較僅可視為釐清本案方法使用的可行性。	謝謝委員的建議。 與傳統測量之比較，可視為本案方法使用的可行性與優勢性，後續仍將努力研究。

行政院農業委員會水土保持局「111 年度創新研究計畫」案

期末暨成果發表會審查會議紀錄

- 壹、 時間：111 年 12 月 7 日(星期三)上午 9 時 0 分
- 貳、 地點：本局府前辦公室第一會議室、第三會議室、應變小組會議室及會客室
- 參、 主持人：林副局長長立(陳副組長明賢代)、王副局長晉倫、陳主任秘書重光、陳總工程司振宇 紀錄：高百毅
- 肆、 出席(列席)者：略。
- 伍、 受補助單位簡報：略。
- 陸、 審查意見：如后附件(期末成效評核表)。
- 柒、 討論事項：
案 由：「111 年度創新研究計畫」案期末報告書，提請討論。
決 議：
一、通過評核之計畫，請參照期末成效評核表之審查意見修正，並於成果報告書內回覆辦理情形。
- 二、受補助單位請於 111 年 12 月 26 日(星期一)前繳交成果報告書(5 冊)及會計報告(非屬公私立學校之民間團體，尚需檢附原始憑證)，俾辦理結案作業。
- 三、成果報告書電子檔(Microsoft Office WORD 相容文件格式及*.pdf)請上傳本局補助計畫管理作業系統(成果上傳)；農再相關計畫，請逕 e-mail 至承辦人信箱(baiyi96@mail.swcb.gov.tw)。
- 四、計畫結束後有賸餘款者請辦理繳還，繳還帳戶說明如下：
(一)計畫編號為「111 保發-8.1-保-01-06-001(○)」者：
1. 金融機關：中央銀行國庫局(代號：0000022)。
2. 戶名：行政院農業委員會水土保持局。
3. 帳號：24510302129004。
- (二)計畫編號為「111 農再-1.1.1-1.1-保-003(○)」者：
1. 金融機關：中央銀行國庫局(代號：0000022)。
2. 戶名：農村再生基金-水土保持局。
3. 帳號：24519201016011。
- 捌、 臨時動議：無
- 玖、 散會(下午 4 時 10 分)

行政院農業委員會水土保持局「111 年度創新研究計畫」案

期末暨成果發表會審查會議紀錄

計畫名稱: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

委員意見	辦理情形
(一) 覘標在大雨中的辨識度如何？另目前實驗是否有其他影響觀測因素？均應考量並說明。	謝謝委員的建議，以本研究計畫目前的實驗結果來看，對於覘標判視的影響因子包括光線、氣候，以及非因自然情況所造成的振動干擾，本團隊持續精進以及改善。
(二) 5G 訊號在山區短期內可能無法普及，作為中長期目標是否合適？是否有其他替代方案？ (三) 要5G 網路來做為訊號傳遞恐短期內尚無法普及。	謝謝委員的建議，5G 以目前來講確實是一項非常新穎的技術，在尚未確定其可行性之前，本團隊將採用無線 4G 網路傳輸的方式，將現地的觀測資料即時的傳至雲端(FTP)，以供監測端查閱以及下載，形成具有即時性的遠端監控。 5G 網路的主要應用，能大量即時傳輸現地影像資料，本團隊持續精進。
(四) 建議未來否嘗試架設於本局重點之大規模崩塌潛勢區，進一比對判釋的準確度，並提出後續可能遭遇的問題與如何改善，以利在推廣本技術前，瞭解本技術之相關限制。	謝謝委員的建議，目前已嘗試在南投縣九份二山的龍南道路邊坡架設光學監測儀器，進行現地觀測的可行性相關研究，至於其他重點觀測之大規模崩塌潛勢區，本團隊可視相關單位的配合，安裝於重點之大規模崩塌潛勢區。