

---

**坡地災害辨識電腦視覺開發之研究**  
**A study on the establishment of computer**  
**vision for disaster identification based on**  
**existing closed-circuit television system**  
**(成果報告)**

---

執行單位：逢甲大學

執行期間：111 年 01 月 18 日至 111 年 12 月 31 日

計畫主持人：陳柏蒼 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)



# 坡地災害辨識電腦視覺開發之研究

## 摘要

本研究以深度學習類神經網路為基礎發展電腦視覺坡地災害辨識模式，使用水保局觀測站資料展示平台、交通部公路總局智慧化省道即時資訊服務網所公開的 CCTV 及網路影音平臺之坡地災害影像建置坡地災害影像資料庫，並作為訓練、測試模式的影像來源。本研究以水保局所提供之土石流、大規模滑坡影像進行模式辨識能力驗證，再自行拍攝假設影像評估可能影響模式辨識的資訊。

根據本研究成果顯示，透過樣本調校可提升模式之辨識能力，在模式的訓練、測試與驗證結果 CNN 的表現最佳，VGG-16 與 VGG-19 次之，但透過觀注熱區影像結果顯示，CNN 在觀注熱區上較易於發散，反而較為深層的 VGG-19 模式所觀注的熱區較為聚焦且符合人類所觀注之重點。因此，於後續研究建議可分為樣本與模式兩面向進行精進，樣本面可透過影音編輯軟體進行本研究所蒐整之坡地災害樣本的災害區域聚焦處理，讓影像得以災害為主體，減少模式失焦而萃取錯誤之特徵；模式面在深度學習模式上可再測試更深度複雜之網路架構，例如 ResNet 或自行發展具備深層網路及時序特性之坡地災害辨識模式。

**關鍵詞：**電腦視覺、影像辨識、深度學習、坡地災害監測



# **A study on the establishment of computer vision for disaster identification based on existing closed-circuit television system**

## **Abstract**

This study attempt to establish a computer vision model for slope land hazard identification based on deep learning neural network with the various CCTV record from display platform of the Soil and Water Conservation Bureau observation stations and other public sectors and also short videos from social medias.

In this study, the debris flow and large-scale landslide images provided by the Soil and Water Conservation Bureau were used to verify the pattern recognition ability, and then the hypothetical images were taken to evaluate the information that might affect the pattern recognition.

According to the results of this study, the ability to identify patterns can be improved through sample adjustment. In the training, testing and verification results of patterns, CNN has the best performance, followed by VGG-16 and VGG-19. It is shown that the CNN is more likely to diverge in the observation hot area, but the hot area observed by the VGG-19 model that with more layers in a model is more focused and in line with the focus of human attention. Therefore, two aspects were suggested in the follow-up study, that the sample and the model. The samples that employ to training the model could be attempt to focused on the disaster area of the slope land disaster samples with video editing software to dominate the characteristics of a disaster and also reduce unessential information into

the model. On the other hand, more complex models can also help to increase the robustness of the model, such as the ResNet model, but the modelling time under the computing ability of given computer must be considered.

**Keywords: Computer vision, Image recognition, deep learning, slope disaster monitor**

## 目次

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 摘要.....                    | I          |
| Abstract.....              | III        |
| 目次.....                    | V          |
| 表次.....                    | VII        |
| 圖次.....                    | IX         |
| <b>第一章 前言.....</b>         | <b>1-1</b> |
| 第一節 計畫緣起與目的 .....          | 1-1        |
| 第二節 計畫目的 .....             | 1-2        |
| 第三節 計畫工作項目 .....           | 1-3        |
| 第四節 研究方法 .....             | 1-3        |
| <b>第二章 工作方法及步驟.....</b>    | <b>2-1</b> |
| 第一節 文獻探討 .....             | 2-1        |
| 第二節 影像資料蒐整 .....           | 2-6        |
| 第三節 影像特性分析與格式標準化 .....     | 2-14       |
| 第四節 電腦視覺坡地災害辨識模式架構建置 ..... | 2-15       |
| 第五節 電腦視覺地災害辨識模式評估方法 .....  | 2-19       |
| <b>第三章 預定執行工作進度.....</b>   | <b>3-1</b> |
| <b>第四章 期末成果.....</b>       | <b>4-1</b> |
| 第一節 坡地災害影像資料庫 .....        | 4-1        |
| 第二節 電腦視覺地災害辨識模式建置 .....    | 4-12       |
| 第三節 模式訓練、測試與驗證成果 .....     | 4-23       |
| <b>第五章 結論與建議.....</b>      | <b>5-1</b> |
| 第一節 結論.....                | 5-1        |
| 第二節 建議.....                | 5-3        |

|                    |   |
|--------------------|---|
| 附錄.....            | 1 |
| 附錄一、期中審查意見回覆 ..... | 1 |
| 附錄二、期末審查意見回覆 ..... | 7 |
| 參考文獻.....          | 1 |

## 表次

|        |                             |      |
|--------|-----------------------------|------|
| 表 2-1  | 水保局土石流潛勢溪流監測站資訊 .....       | 2-7  |
| 表 2-2  | 公路總局道路監視影像資訊 .....          | 2-10 |
| 表 2-3  | 網路媒體影像資訊 .....              | 2-12 |
| 表 2-4  | CCTV 影像格式截取方法對照.....        | 2-14 |
| 表 2-5  | 誤差矩陣.....                   | 2-20 |
| 表 3-1  | 預定執行工作進度表 .....             | 3-2  |
| 表 4-1  | 坡地災害資料庫影像內容 .....           | 4-1  |
| 表 4-2  | 問題類型的輸出層啟動函數與損失函數搭配建議 ..... | 4-17 |
| 表 4-3  | LRCN 各骨幹參數設定.....           | 4-20 |
| 表 4-4  | 樣本取樣頻率 .....                | 4-20 |
| 表 4-5  | 類別編號.....                   | 4-23 |
| 表 4-6  | 訓練樣本挑選歷程 .....              | 4-24 |
| 表 4-7  | 模式訓練與測試精準度評估成果 .....        | 4-25 |
| 表 4-8  | 驗證影像前影格辨識成果比較-土石流.....      | 4-28 |
| 表 4-9  | 驗證影像影格辨識成果比較-落石與滑坡.....     | 4-29 |
| 表 4-10 | 驗證影像模式觀熱區點比較-土石流.....       | 4-30 |
| 表 4-11 | 驗證影像模式觀注熱區比較-落石與滑坡.....     | 4-32 |
| 表 4-12 | 假設影像影格辨識成果比較 .....          | 4-36 |
| 表 4-13 | 假設影像模式觀注熱區-P1.....          | 4-38 |
| 表 4-14 | 假設影像模式觀注熱區-P2.....          | 4-39 |
| 表 4-15 | 假設影像模式觀注熱區-P3.....          | 4-40 |
| 表 4-16 | 假設影像模式觀注熱區-P4.....          | 4-42 |
| 表 4-17 | 假設影像模式觀注熱區-P5.....          | 4-43 |
| 表 4-18 | 假設影像模式觀注熱區-P6.....          | 4-44 |

|        |                    |      |
|--------|--------------------|------|
| 表 4-19 | 訓練樣本觀注熱區-土石流 ..... | 4-46 |
|--------|--------------------|------|

## 圖次

|       |                               |      |
|-------|-------------------------------|------|
| 圖 1-1 | 歷年坡地災害損失金額與歷年颱風侵臺次數統計圖表 ..... | 1-1  |
| 圖 1-2 | 本研究研究架構圖 .....                | 1-4  |
| 圖 2-1 | 坡地災害-落石形態示意圖 .....            | 2-5  |
| 圖 2-2 | 滑坡形態示意圖 .....                 | 2-5  |
| 圖 2-3 | 坡地災害辨識模式建置流程 .....            | 2-15 |
| 圖 2-4 | 影像前處理方法示意圖 .....              | 2-16 |
| 圖 2-5 | 落石災害事件標籤示意 .....              | 2-17 |
| 圖 2-6 | 旋積神經網路架構 .....                | 2-18 |
| 圖 2-7 | LSTM 運算單元架構.....              | 2-18 |
| 圖 2-8 | LRCN 模式應用任務種類.....            | 2-19 |
| 圖 2-9 | 電腦視覺坡地災害辨識模式架構概念 .....        | 2-19 |
| 圖 4-1 | 啟動函數及其導函數曲線 .....             | 4-15 |
| 圖 4-2 | 下採樣的池化示意 .....                | 4-15 |
| 圖 4-3 | 倒傳遞類神經網路架構 .....              | 4-16 |
| 圖 4-4 | LSTM 單一單元運作流程.....            | 4-18 |
| 圖 4-5 | Grad-CAM 運作機制.....            | 4-18 |
| 圖 4-6 | 驗證影像.....                     | 4-28 |
| 圖 4-7 | 坡地災害假設影像 .....                | 4-35 |
| 圖 5-1 | 滑坡與土石流 .....                  | 5-2  |



# 第一章 前言

## 第一節 計畫緣起與目的

根據水保局歷年天然災害對於農業及產業道路損壞與治山防洪損失統計資料顯示(如圖 1-1 所示)，以颱風災害所造成的坡地損害最大，與中央氣象局的颱風警報發布次數相比較，確實具有正相關。近年氣候極端的異常，颱風侵臺次數減少，但河川流量豐枯期變化明顯，近 50 年降雨日數呈現明顯減少趨勢，降雨強度集中，而豪雨及大雨次數則有增加趨勢，與之水災所造成的損失趨勢線相呼應，全臺各地飽受洪澇之害，各部會為了防範降雨事件可能衍生的災害，陸續建置監視器(Closed-Circuit Television, CCTV)系統監控，藉由監視錄影影像或以監控洪水水位、或以觀察洪水水位、或以監測災害潛勢區域，以達到即時災情監控與反應的目的。

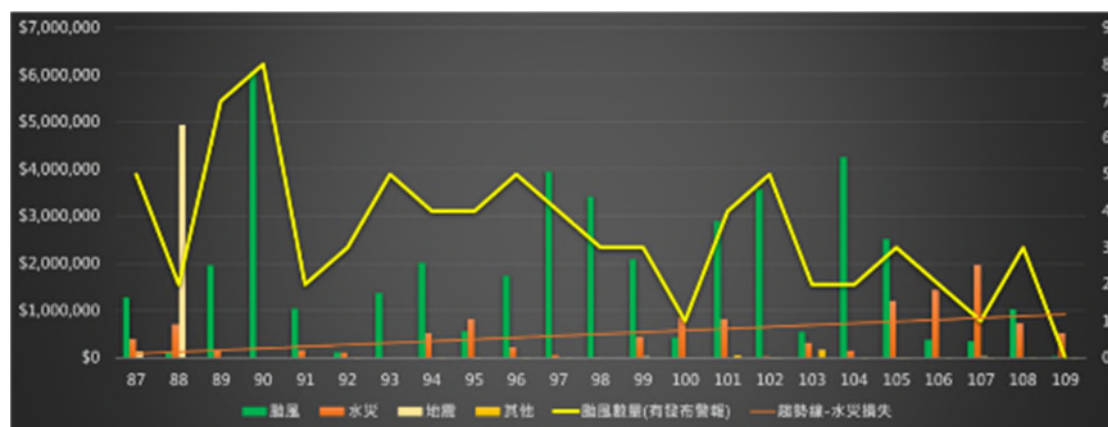


圖 1-1 歷年坡地災害損失金額與歷年颱風侵臺次數統計圖表

國內在坡地監測上硬體設備部分已有相當豐碩之成果且能夠達到及早進行預警、預防坡地災害之效益，其主要透過監測儀器進行坡地因子的監測，在儀器布設上根據任務性質可採用點、線或面的方式進配置，透過監測儀器可即時發現坡地異常進而達到預警功效，但需耗費鉅額的成本，因此本研究欲以具有低成本高效益的 CCTV 為主

體進行研究，透過目前各部會所建置之 CCTV 進行輔助坡地災害監測及警示能力與應用性探討。

## 第二節 計畫目的

根據本研究緣起提出本研究執行目的有三：

- 一、目前政府致力於打造與自然共生的「韌性城市」，當災害造成衝擊時，必須盡可能防止災損擴大，後續需以最快的速度恢復家園，因此如何有效掌握災害地區現況，以有效運用有限資源，為決策者所關切重點及當前所需。
- 二、為能防範重大災情，各重大排水渠道、橋樑、河川、國道及省道皆陸續架設CCTV監視設備以行監控，然監視錄影影像需經監測者肉眼確認，在眾多的即時影像呈現中，坡地災害發生的進程卻不易在同步的多鏡頭肉眼監控過程中被發現，並進而發出警訊，因此，若監視系統不具備影像辨識技術，往往容易忽略鏡頭所傳遞的坡地災害發生前兆、甚至擴大災害範圍，除未能有效使用國家預算所建置的監控設備其實時傳遞的寶貴訊息外，更白白錯失原先可把握的應變時間。
- 三、使用遠距傳感器易受限於外在環境，如氣候、網路、電源及機具壽命等條件影響，導致傳感器訊號無法正常回傳時，就可能錯過黃金的預警時間，在諸多限制下，使用多類傳感器於坡地災害監測是目前較有保障的作法，而多種傳感器代表傳遞的資訊愈複雜，因此對於接受資訊後的應用層面會更加廣泛，相對的也是增加資訊分析的複雜度，即難以透過單一模式完成資訊的解讀與分析。

### 第三節 計畫工作項目

依據本研究緣起及目的，本研究擬行之工作項目如下：

- 一、電腦視覺於坡地災害辨識方法探討。
- 二、蒐集公開之CCTV影像及網路媒體坡地災害影像並建置影像庫。
- 三、適用電腦視覺於坡地災害辨識之影像特性分析。
- 四、電腦視覺坡地災害辨識模式架構建置。
- 五、電腦視覺坡地災害辨識模式影像辨識能力評估與測試。

### 第四節 研究方法

本研究首先透過文獻探討，探究現有電腦視覺使用之技術與應用限制，並歸納適用於坡地監測之方法，以完成年度目標(1)之需求；同步蒐集行政院農委會水土保持局及交通部公路總局所公開之 CCTV 資訊，除了公部門所公開之 CCTV 影像外，本研究也蒐集網路媒體影像(包含社群、論壇、災害紀錄片、民眾拍攝等)資訊，以多類型之影像資訊提供模式訓練或測試使用，就所蒐集的影像內容進行挑選適用於坡地災害辨識使用之影像並分析其特性，同時進行影像資料格式標準化作業流程建置，以完成本年度目標(2)、(3)之需求；再根據文獻回顧及影像分析與建置成果，探討及建構「電腦視覺坡地災害辨識模式」之架構，以完成本年度目標(4)之需求；最後根據年度目標(3)及年度目標(4)之成果進行測試並予以實踐，以完成年度目標(5)之需求，本研究整體流程如圖 1-2 所示，各目標之實施方法茲將分述於下：

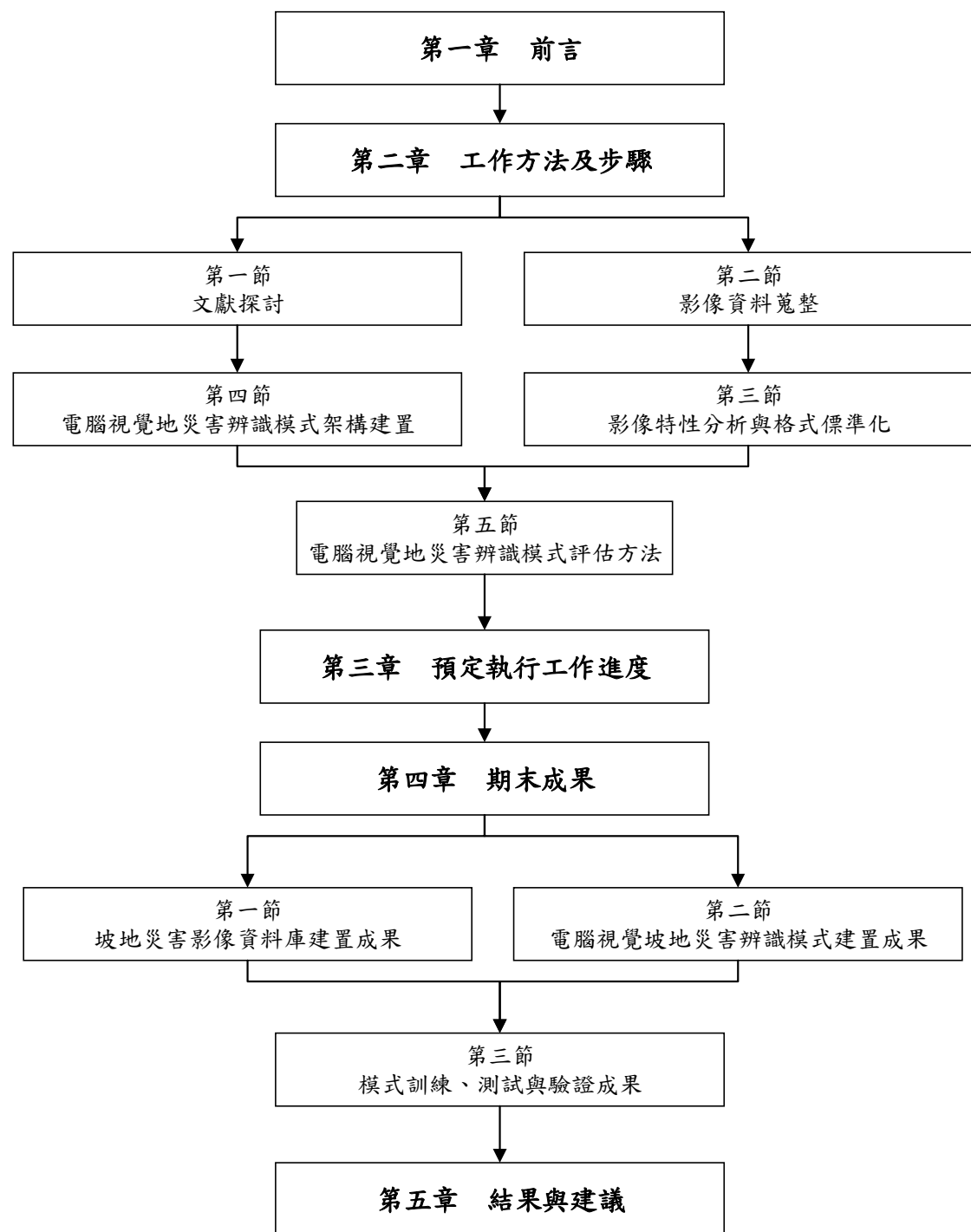


圖 1-2 本研究研究架構圖

## 第二章 工作方法及步驟

本章內容將就研究方法中所述之項目進行詳細說明，各項目之實際操作步驟分述於下：

### 第一節 文獻探討

本研究所運用之研究方法，主要以文獻分析法為主，蒐集國內、外在電腦視覺及坡地災害監測等相關文獻進行歸納與探討，藉由相關著作、學術論文、期刊、政府出版品、報章雜誌與網路資料等文獻，進行閱覽、整理、描述、分類、歸納及分析，瞭解現有電腦視覺及坡地災害監測上的應用與方法限制，從中探討電腦視覺於坡地災害辨識模式發展之方向。

#### 一、電腦視覺技術

「電腦視覺」(computer vision)係一門研究如何讓機器「看」的科學，以計算機系統的觀點結合攝影機器材，模擬人類如何透過眼睛進行目標的辨識、跟蹤和測量方法。目前在電腦視覺應用上以深度學習(deep learning)為主流技術，其以類神經網路(neural network)為基礎所發展之人工智慧(Artificial Intelligence, AI)技術之一，應用範圍相當廣泛，諸如自然語言分析、疾病辨識、品質控管、人臉辨識、安全性控管、人員出勤管控、車輛辨識與追蹤、物件偵測、行為預測等，都為其應用範疇，電腦視覺於災害監測或辨識應用上陳柏蒼等人(2020)以虛擬影像及深度學習發展無水尺區域排水水位辨識技術，其透過合成區域排水 CCTV 影像建構不同水位深度影像樣本以解決樣本數不足問題，並提供深度學習模式訓練後即可進行區域排水之水位監測任務；黃國豪等人(2020)以深度學習自動辨識 CCTV 影像內之水尺位置與水位高度；

吳志泓等人(2021)發展針對特定已知比例尺之標的物影像辨識進行量測推估之方法，其先辨識出圖像中參考物件，並建立對應之比例尺，並搜尋特定標的物並依據所獲得之比例尺進行淹水深度估算。深度學習模式的主要是 2012 年由 Alex 學者所提出之 AlexNet 於 2012 年提出後，深度學習領域的研究發展極其迅速，一年中每幾個月都會出現新一代技術，新的技術往往伴隨著新的網路架構及更深的網路訓練方法，在圖像辨識領域中創造新的準確率紀錄，至今 ILSVRC 比賽和 CNN 的研究仍屬於高速發展期，CNN 的技術日新月異，其中有很大動力是擁有更快的圖形處理器(Graphics Processing Unit, GPU)計算資源，以及便利的開源工具(例如 Tensorflow、PyTorch)進行神經網路建置，讓研究人員進行研究、測試、部署乃至實用。在深度學習部分可分為影像預處理階段(data pre-processing stage)、訓練階段(training stage)、測試階段(testing stage)等三階段(2016, Kuo)，其影像預處理階段分為影像處理與資料增強處理，透過該階段測試模式對推論目標所需的特徵類別與個數，以提升模型效能；訓練階段以前置影像處理，建置 ResNet CNN 模型，以前兩階段方式重複操作，直到模型達到合理精確度完成 ResNet CNN 模型；模型建置完成後，針對未參與模式訓練的影像，亦即測試資料(testing data)，即透過建置完成的模式，就影像進行特徵提取後進行推論目標值(即為 CCTV 影像內容辨識)的推論。在電腦視覺發展上，目前以單一影像中之內容物為主要辨識標的，故需透過大量物品影像資料輔助深度學習模式進行物品特徵訓練，但在現實狀況上往往會碰到訓練影像不足問題，針對影像資料缺乏問題進而發展出各種生成對抗網路(Generative Adversarial Network, GAN)模型臨摹真實資料以擴充

訓練資料，但生成對抗網路所產製之成果一樣需使用大量樣本進行訓練，根據 NVIDIA 的經驗通常是需要 5-10 萬張影像才能夠訓練出一個高品質的 GAN 模型(2020, Salian)，其提出自適性鑑別增強技術(Adaptive Discriminator Augmentation, ADA)進行少量樣本影像的旋轉、縮放、色偏、降尺度等以擴增影像資料集，但還是需要有千張影像作為基礎，此數量對坡地災害影像而言仍是個不容易達到的目標。此外，深度學習模式已逐漸由單一影像內容物辨識提升至串流影像的行為辨識，也就是由空間尺度提升至時間與空間尺度，可透過一連串的影像內容識別人類行為(2020, Shiranthika *et al.*)或火災災害的偵測(2021, Nguyen *et al.*)，而災害的發生也具備時間與空間上的行為變異特性，綜上敘述，本研究採用串流影像辨識技術發展電腦視覺坡地災害辨識模式。

## 二、坡地災害監測

在坡地災害監測系統上，一般包含的項目有:(a)降雨量、(b)地下水壓、(c)地表滑動量、(d)滑動面深度及變量等。其中，滑動之監測直接反應規模大小，對於危險潛勢之評估甚為重要，為邊坡監測中不可或缺之觀察指標(顏呈仰，2010)。傳統的監測方法或儀器多以機械式地表傾斜儀、傾斜變動感應裝置、傾斜管、孔內傾斜計、地中伸縮計、GPS 量測法等。目前國內傳統邊坡監測多採用人工測量或半自動監測方式，其優點為安裝容易，儀器設備費用相較於自動化監測儀器為低，但其具有難即時獲取資料，缺乏自動化及預警功能，且人力需求量較大等缺點(胡舒閔等人，2014)。坡地災害中的土石流災害可直接進行時序影像二值化及水體區域辨識，並計算水體像素於指定辨識區域所佔之比例判斷監測區位是否發生洪水現象(蘇元風等人，2019)。坡地災害的形

態較其他災害來得複雜，其可因運動種類及物質種類之不同有著不一樣的災害名稱，一般發生於山坡地之災害皆可稱為坡地災害，坡地災害泛指土壤、岩石等地質材料受重力作用，而發生向下運動所造成的行為，在諸多專家學者提出的山崩分類系統中，以 1978 年 Varnes 分類最被廣為採用，其中山崩運動種類包括有墜落(falls)、傾覆(topples)、滑動(slides)、側滑(lateral spreads)、流動(flows)以及複合型運動(complex and compound)等六類；山崩物質種類則分為基岩(bedrock)及工程土壤(engineering soils)兩類。現台灣山崩分類有：經濟部中央地質調查所沿用修改自 Varnes 的分類，將岩石之墜落及傾覆合稱為落石，岩石之滑動則稱為岩體滑動，並將所有岩屑、土材料之墜落、傾覆及滑動合稱為岩屑崩滑，針對岩石、岩屑及土之流動稱為土石流；以及水土保持局則慣用山崩、地滑、潛移、土石流與沖蝕等分類。本研究主要以具有墜落、滑動、流動及複合型運動的坡地災害為偵測對象，例如：落石、滑坡、土石流，在上述的落石與滑坡的動力形態上，可透過物理模型進行模擬以瞭解邊坡崩滑的運動過程，對於具有植生之邊坡可使用絕對植分析法(Sum of Absolute Differences, SAD)進行邊坡感測(胡舒閔等人，2014)，但對於裸露的坡地並不適用此方法。而災害的發生是具有時序特性，可分為發生的前、中、後三階段，在影像上的空間分布也會有所變異，以圖 2-1 之落石災發生假設情境為例，在落石災害發生時影像中的變異會由上而下產生改變，在影像中發生的一連串改變狀態可將其集合為落石災害行為，因此可萃取影像中移動物的移動特性並透過深度學習判斷其是否為落石災害。對於滑坡與土石流部分除了移動特性之外還需考量影像中變異範圍，但在其空間上的移動形態在 Y 軸

上的變化與落石一樣，因重力拉引而會是向下滑動的形態，但與落石不同滑坡發生前坡趾可能因受到擠壓變形再向下運動，因此滑坡可能會先產生小幅度的 X、Y 軸的變量後才會產生大幅度且大面積的變量，並於下面產生堆積現象(如圖 2-2 所示)，兩類共同的特性在於都是大面積的滑動，根據上述可將影像變異之位置變化情形與變異面積作為災害行為辨識主要因子。

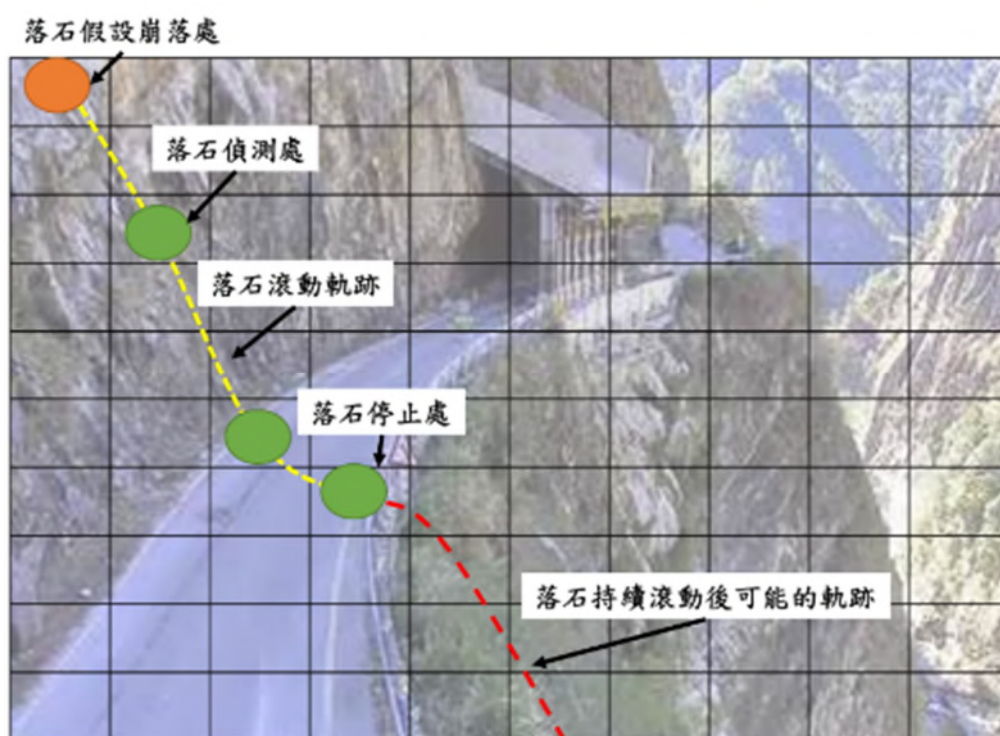
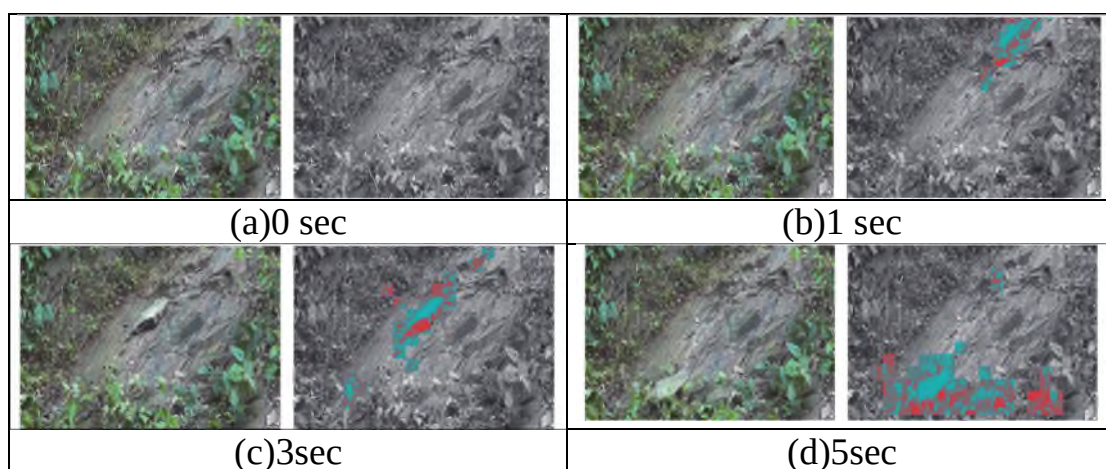


圖 2-1 坡地災害-落石形態示意圖



資料來源:胡舒閔等人，2014。

圖 2-2 滑坡形態示意圖

## 第二節 影像資料蒐整

本研究以土石流、落石及滑坡等坡地災害進行影像資料蒐整，蒐整之影像來源包含政府單位已公開之 CCTV 及網路媒體影像，本研究目前已蒐集之 CCTV 與網路媒體影像資訊分述於下：

### 三、CCTV 影像

本研究以行政院農委會水保局觀測站資料展示平台及交通部公路總局智慧化省道即時資訊服務網所公開的 CCTV 進行影像蒐集，其中農委會水土保持局觀測站資料展示平台中計有 24 處(其中明霸克露橋工區僅提供雨量計資訊)，共 60 支 CCTV，影像之解析度為 704\*480，其主要以圖片輪播方式，以約 30 秒為單位擷取 1 張影像，並播放 5 分鐘內之畫面，在影像擷取程式設計上可以 5 分鐘為間隔進行擷取與儲存，本研究蒐集之土石流潛勢溪流監測站資訊如表 2-1 所示；交通部公路土石流總局智慧化省道即時資訊服務網 CCTV 部分，主要係以臺中市轄內台 8 線與台 7 甲線延線之 CCTV 影像作為監測對象，其提供之 CCTV 為串流影像，以每秒播放現場影像，本研究擇山區路段之 CCTV 作為坡地災害監測影像來源，共計有 13 支，影像資訊如表 2-2 所示，影像資訊為同步擷取，因此情境可包含夜晚(無光源影像、車燈照亮部分區域影像、紅外線影像等)、早上(包含降雨、雲霧、汽車行駛等)。本研究將上述之 CCTV 作為長期監測範例，若於今年未能順利擷取或取得坡地災害影像，將以網路媒體影像或以水保局所提供之土石流與大規模崩塌影像進行模式之驗證。

表 2-1 水保局土石流潛勢溪流監測站資訊

| 監測站<br>(土石流潛勢<br>溪流編號) | 數量 | 影像內容                                                                                 | 適用<br>監測<br>災害 |
|------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 大粗坑<br>(新北 DF174)      | 3  |    | 土石流            |
| 蘇樂<br>(桃縣 DF035)       | 1  |     | 土石流            |
| 寒溪<br>(宜縣 DF086)       | 2  |    | 土石流            |
| 和中<br>(花縣 DF166)       | 3  |   | 土石流            |
| 火炎山<br>(苗縣 DF036)      | 1  |   | 土石流            |
| 白布帆<br>(苗縣 DF058)      | 1  |   | 土石流            |
| 松鶴<br>(中市 DF028)       | 2  |  | 土石流            |
| 南豐<br>(投縣 DF012)       | 3  |  | 土石流            |
| 九份二山<br>(投縣 DF101)     | 3  |  | 土石流            |

| 監測站<br>(土石流潛勢<br>溪流編號) | 數量 | 影像內容                                                                                 | 適用<br>監測<br>災害 |
|------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| *坪頂                    | 3  |    | 滑坡             |
| 郡坑<br>(投縣 DF167)       | 2  |    | 土石流            |
| 上安<br>(投縣 DF165)       | 1  |     | 土石流            |
| 鳳義坑<br>(花縣 DF125)      | 2  |   | 土石流            |
| 大興<br>(花縣 DF118)       | 2  |  | 土石流            |
| 豐丘<br>(投縣 DF190)       | 2  |  | 土石流            |
| 華山<br>(雲縣 DF002)       | 5  |  | 土石流            |
| 豐山<br>(嘉縣 DF039)       | 3  |  | 土石流            |

| 監測站<br>(土石流潛勢<br>溪流編號) | 數量 | 影像內容                                                                                 | 適用<br>監測<br>災害 |
|------------------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 神木<br>(投縣 DF199)       | 6  |    | 土石流            |
| 羌黃坑<br>(南市 DF048)      | 3  |    | 土石流            |
| 集來<br>(高市 DF072)       | 4  |   | 土石流            |
| 射馬干<br>(東縣 DF058)      | 1  |   | 土石流            |
| 來義<br>(屏縣 DF025)       | 3  |  | 土石流<br>滑坡      |
| 大鳥<br>(東縣 DF097)       | 4  |  | 土石流            |

備註：\*表崩塌災害監測。

表 2-2 公路總局道路監視影像資訊

| 監測站                     | 影像內容                                                                                 | 適用<br>監測   |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 台 8 線<br>30K+600        |    | 滑 落<br>坡 石 |
| 台 8 線<br>63K+500        |    | 滑 落<br>坡 石 |
| 台 8 線<br>78K+500        |    | 滑 落<br>坡 石 |
| 台 8 線臨 37<br>1k+300     |   | 滑 落<br>坡 石 |
| 台 8 線臨 37<br>便道 4k+050  |  | 滑 落<br>坡 石 |
| 台 8 線臨 37<br>便道 7K+000  |  | 滑 落<br>坡 石 |
| 台 8 線臨 37<br>便道 12k+000 |  | 滑<br>坡     |
| 台 8 線臨 37<br>便道 12k+510 |  | 滑 落<br>坡 石 |
| 台 8 線臨 37<br>便道 14K+100 |  | 滑 落<br>坡 石 |

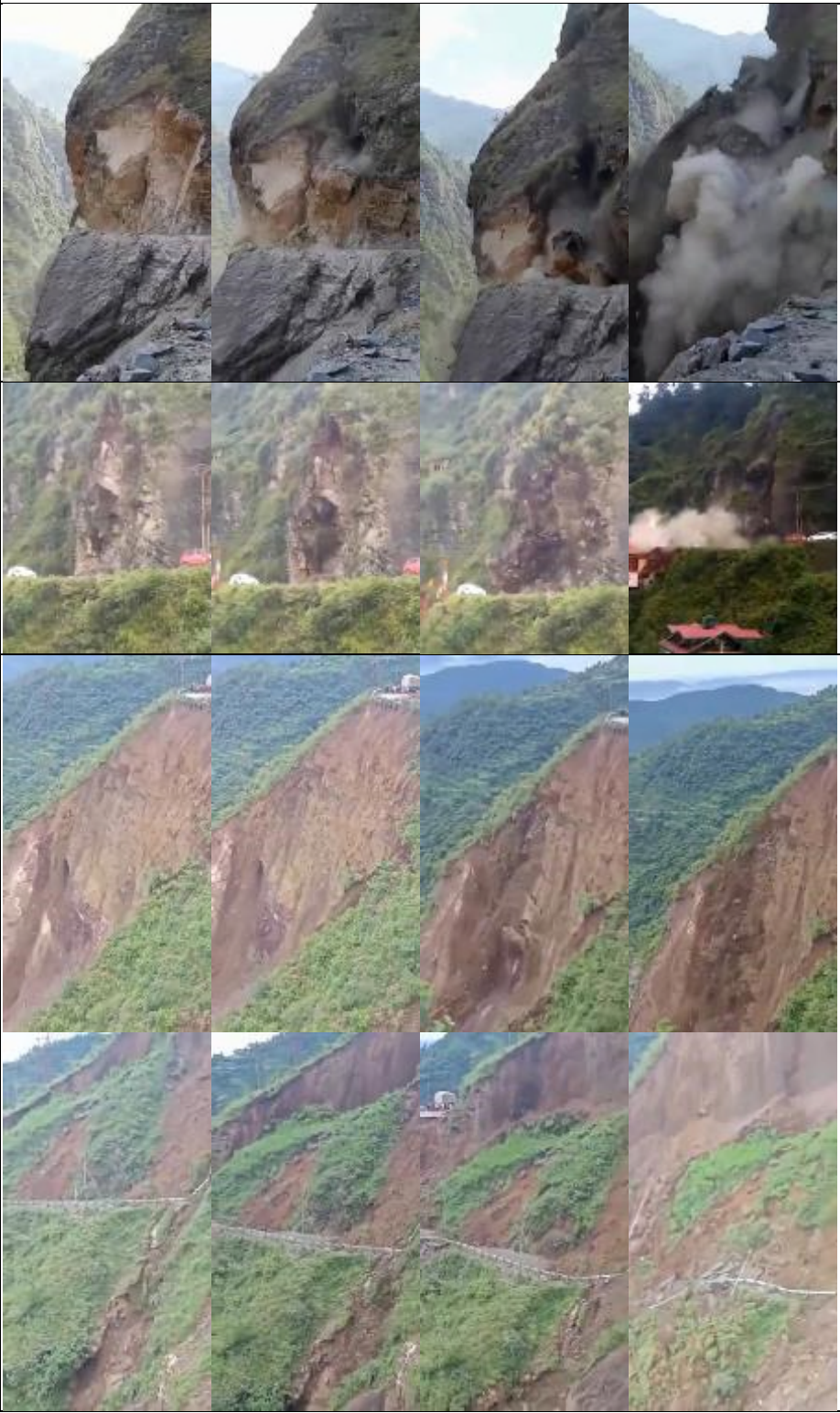
| 監測站                     | 影像內容                                                                               | 適用<br>監測   |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 台 8 線臨 37<br>便道 17K+300 |  | 滑 落<br>坡 石 |
| 台 8 線臨 37<br>便道 18K+900 |  | 滑 落<br>坡 石 |
| 台 8 線臨 37<br>便道 20K+300 |  | 滑 落<br>坡 石 |
| 台 7 甲線<br>47K+070       |  | 滑 落<br>坡 石 |

#### 四、網路媒體影像

本研究除了使用 CCTV 作為主要研究外，網路媒體也是災害影像主要來源之一，因此本研究也同步蒐整網路上社群、新聞媒體或民眾所拍攝之坡地災害影像資訊，本研究蒐集之國內、外坡地災害影像如表 2-3 所示，影片長度會根據災害發生階段，以 10~30 秒左右擷取災害發生之片段影像，本研究除了使用影像片段外進行，亦可以幀(frame)為單位進行影像擷取，藉以此取得大量影像樣本。由於網路媒體影像多為手持拍攝錄影，因此影像品質的穩定度對於模式於坡地災害辨識之影響，也將於本研究中進行探討。

表 2-3 網路媒體影像資訊

| 類型  | 來源     | 影像內容                                                                                                                                                                      |
|-----|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 土石流 | TikTok |      |
|     |        |   |

| 類型 | 來源      | 影像內容                                                                                |
|----|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 崩滑 | Youtube |  |
|    |         |                                                                                     |
|    |         |                                                                                     |
|    |         |                                                                                     |

### 第三節 影像特性分析與格式標準化

在 CCTV 影像格式上，由於使用的機器設備有所差別，因此所提供的影像大小與格式也會有所差異，本研究針對各類 CCTV 所提供之影像格式發展擷取方法(如表 2-4 所示)，基本上可分為串流與格放兩種類型，串流影像部分可使用 OpenCV 影像擷取功能取得以秒為單位之影像資訊；格放影像是以圖片方式使用定時器逐張播放某時間區段內之影像，因此在擷取上可透過網路爬蟲(web crawler)進行本文分析後取得圖片資訊，再由腳本程式將個別圖片載至本機進行儲存作業。本研究將所蒐整之 CCTV 影像以 JPEG 或 PNG 檔案格式進行儲存，所儲存之單幅影像可根據任務需求組成 MP4 影像格式，可用以模擬串流影像，根據蒐集成果建置坡地災害影像資料庫，提供本研究所提出之「電腦視覺坡地災害辨識模式」使用。

表 2-4 CCTV 影像格式截取方法對照

| 類型   | 影像擷取方法                               |
|------|--------------------------------------|
| 輪播影像 | 使用腳本程式剖析本文資訊，自動化擷取單幅影像資訊並儲存為 PNG 格式。 |
| 串流影像 | 使用 MJPEG 格式接收串流影像，並轉換為 JPEG 影像。      |

#### 第四節 電腦視覺坡地災害辨識模式架構建置

根據坡地災害特性作為後續坡地災害監測模式的主要參考要素，並透過影像處理技術與深度學習方法取得影像變異處與內容辨識，本研究所提之「電腦視覺坡地災害辨識模式架構」如圖 2-3 所示，各方法如下所述：

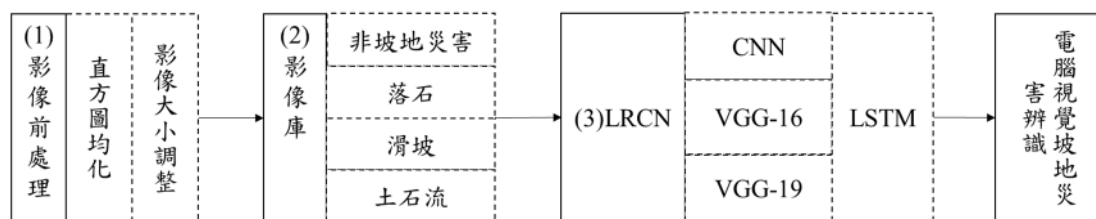


圖 2-3 坡地災害辨識模式建置流程

##### 一、影像前處理

在進行深度學習前，通常會進行影像前處理，主要目的在於穩定輸入的影像品質及將影像調整至符合深度學習模式所需之影像大小，在提高影像品質部分常見的處理方式有灰階轉換、直方圖均化處理，其中影像灰階轉換主要目的在於縮減資料維度及降低資料運算複雜度；直方圖均化處理在於提高對比度，增強影像細節及穩定影像品質，透過直方圖均化運算，也能夠去除部分的霧霾影響，上述之影像處理方式如圖 2-4 所示。在影像大小調整部分，有影像拉伸、裁切等運算，影像拉伸主要目的在於將影像調整至適合模式輸入之大小，常見的方式有等比拉伸並進行空白填充或非等比拉伸，本研究以非等比拉伸進行；裁切目的在於去除不必要的影像區域，可讓特徵萃取著重於必要的細節上及重點監測範圍內，本研究採用限制對比度自適應直方圖均衡化方法(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, CLAHE)作為影像前處理程序。

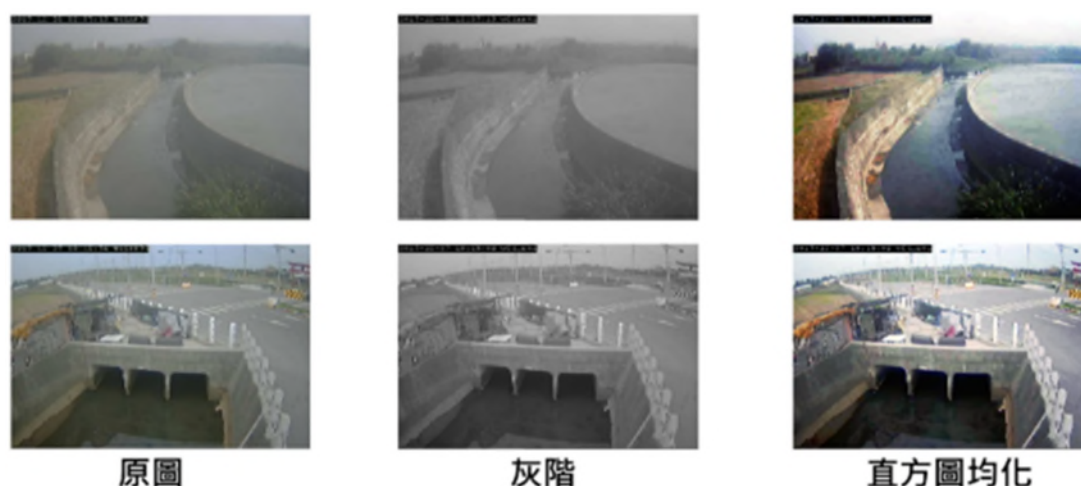


圖 2-4 影像前處理方法示意圖

## 二、影像標籤

在影像標籤設定上可分為靜態影像與動態影片兩類，在靜態影像的標籤設定上可設定在影片某時間區段內所擷取之圖片自動給予標籤，以 9 秒之落石影片為例，將第 3 秒前所擷取之圖片給予「正常」(代碼為 0)的標籤，3 秒後所擷取之圖片給予「落石」(代碼為 1)的標籤，標示示意如圖 2-5 所示，標示完之成果可作為深度學習模式的訓練資料；動態影片的標籤較靜態圖片簡單，僅需給予影片之標籤即可，故本研究以動態影像作為模式的輸入資料，在實作方式主要透過具備影片剪輯功能之軟體進行坡地災害影像片段的擷取並另存為片段影像，後續再透過程序自動擷取影格影像便可完成訓練樣本之建立。

|    |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 影像 |  |  |  |
| 秒數 | 1                                                                                   | 2                                                                                    | 3                                                                                     |
| 標籤 | 正常(0)                                                                               | 正常(0)                                                                                | 落石(1)                                                                                 |

|    |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 影像 |  |  |  |
| 秒數 | 4                                                                                 | 5                                                                                  | 6                                                                                   |
| 標籤 | 落石(1)                                                                             | 落石(1)                                                                              | 落石(1)                                                                               |
| 影像 |  |  |  |
| 秒數 | 7                                                                                 | 8                                                                                  | 9                                                                                   |
| 標籤 | 落石(1)                                                                             | 落石(1)                                                                              | 落石(1)                                                                               |

圖 2-5 落石災害事件標籤示意

### 三、深度學習模式

本研究採用深度學習技術中可進行時序影像學習的旋轉神經網路(Convolutional Neural Network, CNN)結合長短期記憶模型(Long Short-Term Memory, LSTM)作為本研究所提出「電腦視覺坡地災害辨識模式」架構核心，以 CNN+LSTM 進行坡地災害時序影像之特徵萃取與模式訓練，其中 CNN 是深度學習的基礎架構，其架構如圖 2-6 所示，其特點是簡單且速度快但在多類別的辨識準確度上會有所限制，因此陸續有學者提出各種架構如 VGG-16、VGG-19、ResNet-18、ResNet-50 等，各架構以深化網路為主，透過深化的類神經網路以萃取出更複雜的影像特徵並得到更好的辨識準確度；LSTM 是一種時間循環神經網路，其運算

單元如圖 2-7 所示，LSTM 適用於時間序列資料的處理和預測，進行空間特徵的聚合運算，LSTM 適用於序列資訊。CNN+LSTM 的概念是由 Jeff Donahue 等學者於 2015 年所提出，其將兩類型網路進行整合並提出長期循環卷積網路(Long-term Recurrent Convolutional Networks, LRCN)或稱為 CNN+LSTM，主要可應用於行為識別、影像內容描述及影片內容描述等任務(示意如圖 2-8 所示)，在本研究以 LRCN 模式建構電腦視覺坡地災害辨識模式並以蒐集的坡地災害影像作為模式的訓練與測試資料，模式整體架構概念如圖 2-9 所示。

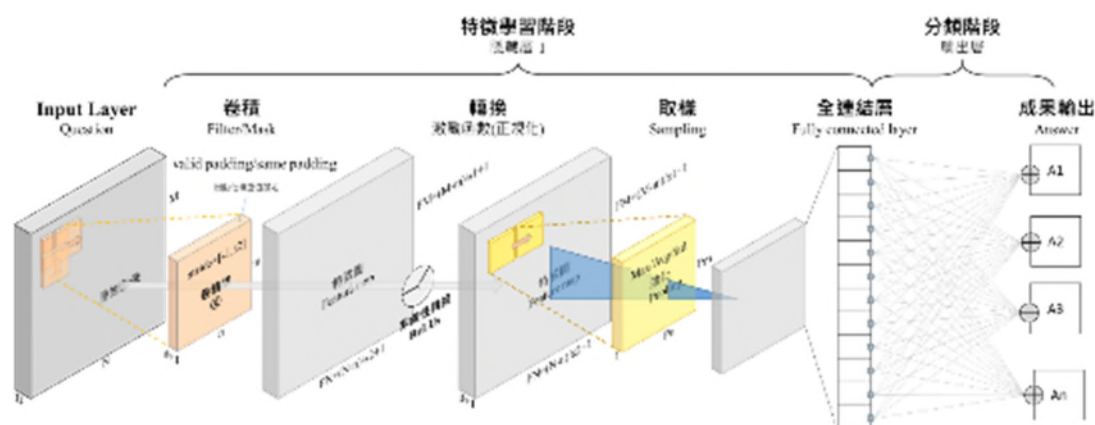
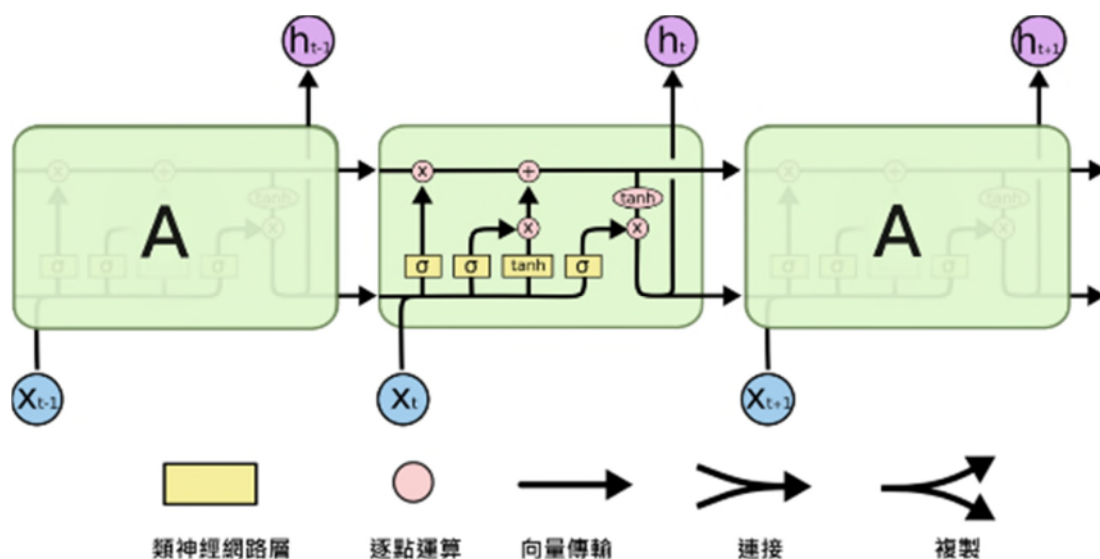
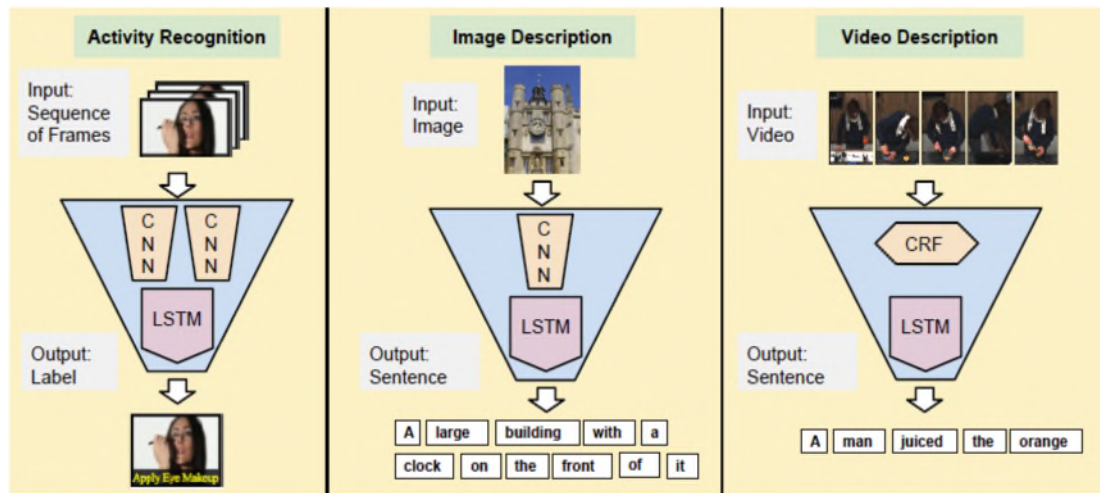


圖 2-6 卷積神經網路架構



圖片修改自：<https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>。

圖 2-7 LSTM 運算單元架構



圖片擷取自:2015, Long-term Recurrent Convolutional Networks for Visual Recognition and Description。

圖 2-8 LRCN 模式應用任務種類

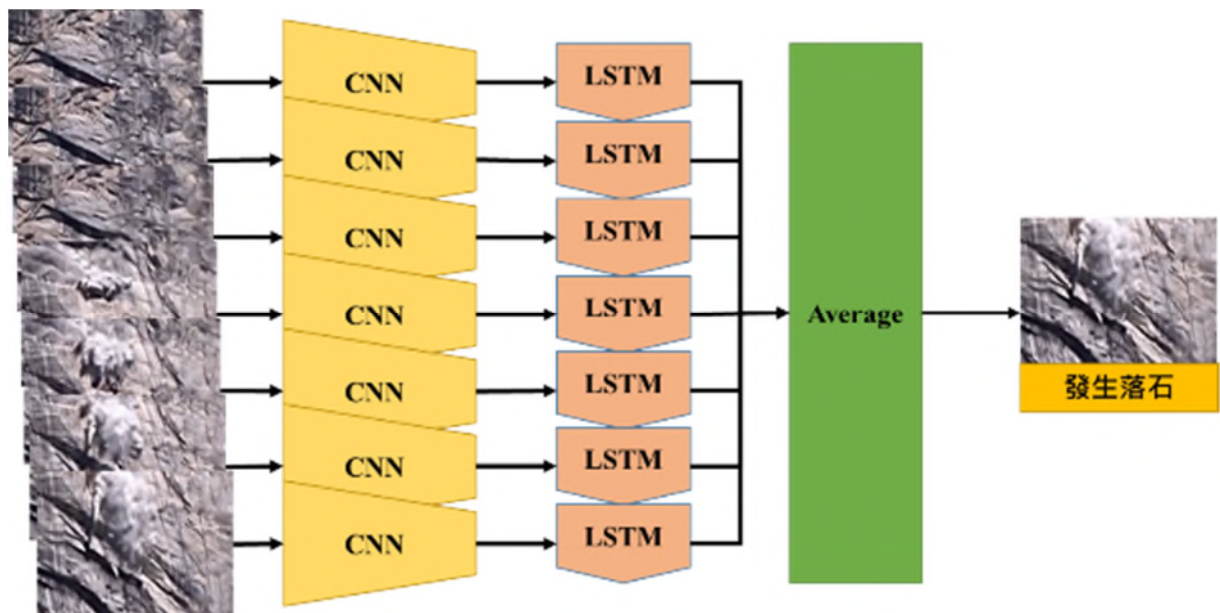


圖 2-9 電腦視覺坡地災害辨識模式架構概念

## 第五節 電腦視覺地災害辨識模式評估方法

本研究為評估坡地災害模式的準確度與適用性，本研究將使用各種圖像，包含道路、河流、風景、坡地、動物、植物、都市等圖像進行混合式的辨識，透過不同類型的影像內容可充分瞭解辨識模式對於何種事物可能造成誤判(Type I Error)或漏判(Type II Error)，本研究使用誤差矩陣(confusion matrix)進行模式的精度與誤差率的評估，評估

方式如表 2-5 所示，誤差矩陣主要使用二維度的列聯表(contingency table)進行表示，透過誤差矩陣表可清楚瞭解模式在正確判斷與錯誤判斷之統計數，其中準確率(Accuracy Rate, ACR)的計算方式為所有正確的判斷總和除以所有樣本數即可得知，其餘的真陽性率(True Positive Rate, TPR)又稱為召回率(Recall)，主要在於衡量正確預測真值為真的準確率，反之真陰性率(True Negative Rate, TNR)為衡量預測為真值為假的準確率，又稱為明確度(Specificity)；偽陽性率(False Positive Rate, FPR)及偽陰性率(False Negative Rate, FNR)為真陽性率與真陰性率的倒值；陽性預測率(Positive Predictive Value, PPV)與陰性預測率(Negative Predictive Value, NPV)為評估模式在辨識上的準確率，可個別針對某一類別的辨識率進行評估，如果要瞭解模式整體的精度，的話，可以透過準確率(Accuracy Rate, ACR)計算。

表 2-5 誤差矩陣

|               | 真值為真<br>True                               | 真值為假<br>False                             | 評估                                        |
|---------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 預測為真<br>True  | 真陽性<br>True Positive(TP)                   | 偽陽性<br>False Positive(FP)<br>Type I Error | 陽性預測率<br>$PPV = \frac{TP}{TP + FP}$       |
| 預測為假<br>False | 偽陰性<br>False Negative(FN)<br>Type II Error | 真陰性<br>True Negative(TN)                  | 陰性預測率<br>$NPV = \frac{TN}{TN + FN}$       |
| 評估            | 假陽性率<br>$TPR = \frac{TP}{TP + FN}$         | 假陰性率<br>TNR<br>$= \frac{TN}{TN + FP}$     | 準確率 Accuracy<br>$ACR = \frac{TP + TN}{N}$ |

### 第三章 預定執行工作進度

自民國 111 年 01 月 18 日起至民國 111 年 12 月 31 日止，各項期程安排如表 3-1 所示，本研究已完成坡地災害影像資料庫建置與電腦視覺地災害辨識模式之建置，其中模式根據所使用之骨幹可分為 CNN、VGG-16、VGG-19 三種，各模式皆以 15、20、25、30、40 及 50 等樣本取樣頻率進行模式訓練、測試與驗證，為瞭解模式的能力，本研究額外進行假設影像的測試，本研究所列之各項目至期末報告為止皆已完成，與提案時所規劃之進度提早 1 個月完成所有項目，本研究成果將作為未來模式精進方向之參考。

表 3-1 預定執行工作進度表

| 工作項目           | 開始        | 完成        | 民國 111 年 |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
|----------------|-----------|-----------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
|                |           |           | 1 月      | 2 月 | 3 月 | 4 月 | 5 月 | 6 月 | 7 月 | 8 月 | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 |
| 文獻探討           | 111/01/18 | 111/03/30 | ■        | ■   | ■   |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
| 資料蒐整           | 111/04/18 | 111/08/30 | ■        | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■    | ■    | ■    |
| 電腦視覺坡地災害辨識模式開發 | 111/01/18 | 111/09/30 | ■        | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■    | ■    | ■    |
| 工作執行計畫書        | 111/02/21 | 111/03/11 |          | ■   | ■   |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
| 期中報告           | 111/07/01 | 111/07/17 |          |     |     |     |     | ■   | ■   |     |     |      |      |      |
| 期末報告           | 111/11/01 | 111/11/13 |          |     |     |     |     |     |     |     |     | ■    | ■    | ■    |
| 成果報告           | 111/11/01 | 111/12/25 |          |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      | ■    |
| 當月預定進度(%)      |           |           | 6%       | 11% | 11% | 7%  | 7%  | 8%  | 18% | 12% | 6%  | 5%   | 4%   | 3%   |
| 累積預計進度(%)      |           |           | 6%       | 17% | 28% | 35% | 42% | 50% | 68% | 82% | 88% | 93%  | 97%  | 100% |
| 實際累計進度(%)      |           |           | 8%       | 23% | 29% | 39% | 45% | 63% | 74% | 85% | 88% | 95%  | 100% | 100% |

## 第四章 期末成果

根據本研究之目標與執行成果，本研究完成坡地災害影像資料庫之建置與電腦視覺坡地災害辨識模式，茲將就各項目成果分述於下：

### 第一節 坡地災害影像資料庫

本研究就電腦視覺災害辨識模式(以下以本研究模式稱之)之需求建構動態與靜態兩種影像資料庫，其中動態資料庫主要為網路多媒體影像資料，本研究就 Youtube、Twitter 等影音社群網站中所取得之坡地災害相關影片，根據本研究模式訓練之需求，擷取災害事件之片段內容並依滑坡、土石流及落石進行分類，各影像數分別為 21、28、20，共計 69 支，影像分別來自於 Youtube 或 Twitter 等網路影音平台，多為一般民眾拍攝所上傳之影像，各影像內容詳如表 4-1 所示。

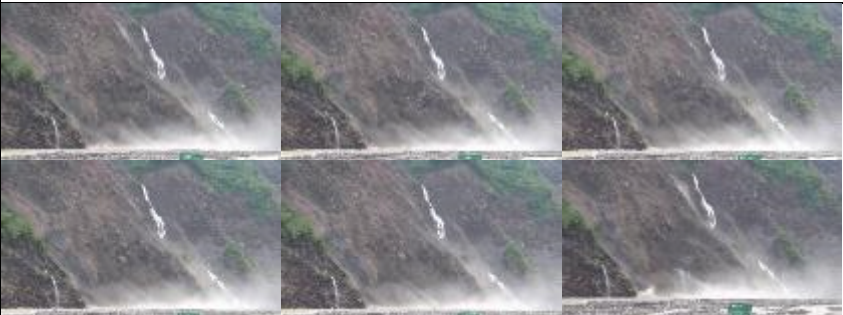
表 4-1 坡地災害資料庫影像內容

| 標籤       | 序號  | 影像內容                                                                                                                          |
|----------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Collapse | C01 | <br>寬度:406px、高度:720px、影片長度：5 秒、fps：29.97  |
|          | C02 | <br>寬度:406px、高度:720px、影片長度：11 秒、fps：29.97 |

| 標籤 | 序號  | 影像內容                                                                                                                               |
|----|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | C03 |  <p>寬度:406px、高度:720px、影片長度：6 秒、fps：29.97</p>     |
|    | C04 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：15 秒、fps：30.00</p>   |
|    | C05 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：9 秒、fps：23.98</p>   |
|    | C06 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：9 秒、fps：23.98</p>  |
|    | C07 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：12 秒、fps：23.98</p> |

| 標籤 | 序號  | 影像內容                                                                                                                               |
|----|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | C08 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：9 秒、fps：30.00</p>    |
|    | C09 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：10 秒、fps：30.00</p>   |
|    | C10 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：11 秒、fps：30.00</p>  |
|    | C11 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：16 秒、fps：30.00</p> |
|    | C12 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：8 秒、fps：30.00</p>  |

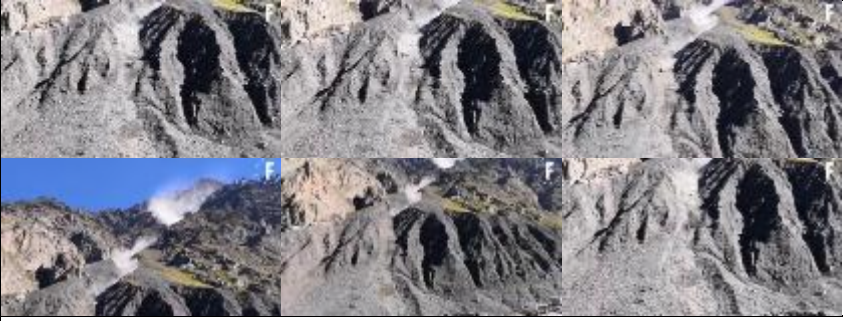
| 標籤 | 序號  | 影像內容                                                                                                                               |
|----|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | C13 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：11 秒、fps：30.00</p>   |
|    | C14 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：9 秒、fps：30.00</p>    |
|    | C15 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：7 秒、fps：30.00</p>   |
|    | C16 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：10 秒、fps：29.97</p> |
|    | C17 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：12 秒、fps：29.97</p> |

| 標籤         | 序號  | 影像內容                                                                                 |
|------------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|
|            | C18 |    |
|            |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：10 秒、fps：29.97                                               |
|            | C19 |    |
|            |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：10 秒、fps：29.97                                               |
|            | C20 |   |
|            |     | 寬度:480px、高度:360px、影片長度：18 秒、fps：30.00                                                |
|            | C21 |  |
|            |     | 寬度:352px、高度:640px、影片長度：14 秒、fps：30.00                                                |
| DebrisFlow | D01 |  |

| 標籤 | 序號  | 影像內容                                                                                 |
|----|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：13 秒、fps：30.00                                               |
|    | D02 |    |
|    |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：12 秒、fps：23.98                                               |
|    | D03 |    |
|    |     | 寬度:408px、高度:720px、影片長度：11 秒、fps：30.00                                                |
|    | D04 |   |
|    |     | 寬度:408px、高度:720px、影片長度：10 秒、fps：30.00                                                |
|    | D05 |  |
|    |     | 寬度:408px、高度:720px、影片長度：9 秒、fps：30.00                                                 |
|    | D06 |  |
|    |     | 寬度:408px、高度:720px、影片長度：9 秒、fps：30.00                                                 |

| 標籤 | 序號  | 影像內容                                                                                                                               |
|----|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | D07 |  <p>寬度:720px、高度:1280px、影片長度：17 秒、fps：29.00</p>   |
|    | D08 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：25 秒、fps：25.00</p>   |
|    | D09 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：8 秒、fps：25.00</p>   |
|    | D10 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：11 秒、fps：25.00</p> |
|    | D11 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：24 秒、fps：25.00</p> |

| 標籤 | 序號  | 影像內容                                                                                 |
|----|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    | D12 |    |
|    |     |    |
|    |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：33 秒、fps：30.00                                               |
|    | D13 |    |
|    |     |    |
|    |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：13 秒、fps：30.00                                               |
|    | D14 |   |
|    |     |  |
|    |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：8 秒、fps：30.00                                                |
|    | D15 |  |
|    |     |  |
|    |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：10 秒、fps：23.98                                               |
|    | D16 |  |
|    |     |  |
|    |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：8 秒、fps：23.98                                                |

| 標籤       | 序號  | 影像內容                                                                                 |
|----------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------|
|          | D17 |    |
|          |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：15 秒、fps：29.70                                               |
|          | D18 |    |
|          |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：10 秒、fps：29.70                                               |
|          | D19 |   |
|          |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：7 秒、fps：29.70                                                |
|          | D20 |  |
|          |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：9 秒、fps：29.70                                                |
| Rockfall | R01 |  |
|          |     | 寬度:1280px、高度:720px、影片長度：12 秒、fps：29.97                                               |

| 標籤 | 序號  | 影像內容                                                                                                                               |
|----|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | R02 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：6 秒、fps：29.97</p>    |
|    | R03 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：11 秒、fps：29.97</p>   |
|    | R04 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：15 秒、fps：29.97</p>  |
|    | R05 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：11 秒、fps：29.97</p> |
|    | R06 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：14 秒、fps：29.97</p> |

| 標籤 | 序號  | 影像內容                                                                                                                              |
|----|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | R07 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：5 秒、fps：29.97</p>   |
|    | R08 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：6 秒、fps：29.97</p>   |
|    | R09 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：11 秒、fps：30.00</p> |
|    | R10 |  <p>寬度:202px、高度:360px、影片長度：12 秒、fps：30.00</p> |
|    | R11 |  <p>寬度:1280px、高度:720px、影片長度：16 秒、fps：25</p>   |

## 第二節 電腦視覺地災害辨識模式建置

電腦視覺災害辨識模式的建置上，本研究使用由 Google 公司針對深度學習所發展的 Tensorflow 開源軟體庫及 OpenCV 影像處理庫，再透過 python 語法進行模式的實踐。本研究假設災害具備時序之特性，故採用具備可進行時序及空間學習特性之長期循環卷積網路 (Long-term Recurrent Convolutional Networks, LRCN) 或稱為 CNN+LSTM 模式進行電腦視覺地災害辨識模式的建置，其中 CNN 主要進行影像特徵萃取，而 LSTM 主要將時序特徵進行串聯，將其結合為一序列特徵值並進行類別辨識，以此可達到空間與時間特徵之結合。

### 一、卷積神經網路

在本研究中以 CNN 作為模式的主要骨幹(Backbone)，任何深度學習模式的價值核心在於模式訓練後的卷積核參數與全連接層數據，而神經網路架構是用於優化、調整模式參數的流程，傳統卷積核是由人工透過數理、統計、推導後所設計出來的，例如在電腦視覺領域中的邊緣偵測演算法中常見的 sobel 算子、Laplacian 算子、Canny 算子等都是一種人工卷積核的設計。簡單來說 CNN 基本上就是透過電腦不斷地進行卷積核的迭代更新與運算，從資料中自動推導出卷積核的參數值。除了卷積核之外，CNN 中重要的還有啟動函數、池化及全連結層，以下將就卷積核、啟動函數、池化及全連結層分述於下：

#### 1.卷積核

卷積核為一個 2 維矩陣，其大小一般使用奇數值進行設定，常用的設定為 1\*1、3\*3、5\*5，基本上卷積核愈大代表所需的參數愈多，計算複雜度會愈高，所需花費的學習成本也相對愈

高，在本研究中使用 8 個 (filters=3)3\*3 大小的卷積核 (kernel\_size=5) 進行步幅為 1 (strides=1) 的卷積運算，卷積核與啟動函數兩者的運算過程一般稱之為卷積層，卷積層在數學表示上，若以輸入圖像位置定為 (i,j)，而有 k 個 kernel 計算如公式 4-1、4-2 下所示：

$$z_{i,j,k}^l = W_k^{lT} X_{i,j}^l + b_k^l \dots \dots \dots (4-1)$$

$$a_{i,j,k}^l = a(z_{i,j,k}^l) \dots \dots \dots (4-2)$$

其中  $z_{i,j,k}^l$  為特徵映射，由卷積核上的權重向量 ( $W_k^l$ ) 與輸入圖像值相乘產生，加上  $b_k^l$  偏差值，指數 l 為輸入圖像的維度，再透過轉換函數  $a(\cdot)$  即為卷積層輸出資料  $a_{i,j,k}^l$ 。

## 2. 啟動函數

一般深度學習主要在於解決非線性問題，因此啟動函數多以非線性轉換函數為主，啟動函數應用於卷積層與輸出層兩個地方，最常使用的啟動函數有 ReLU、Sigmoid、Tanh，其中 Sigmoid 函數與 Tanh 函數應用於二元分類，透過非線性轉換函數可強化模式的學習能力。茲將就各啟動函數分述於下：

### a. ReLU

ReLU (Rectified Linear Unit) 函數在影像辨識中是最被廣為使用的，此因 AlexNet 神經網路以 ReLU 取代 Sigmoid 並在圖片辨識辨識率上獲得大幅提升所至，ReLU 函數在輸入值小於 0 時，輸出 0；大於 0 時為線性函數，輸出值等於輸入值，其數學表示式如公式 4-3 所示。

$$f(x) = \max(0, x) \dots \dots \dots (4-3)$$

### b. Sigmoid

將資料轉換成 0 至 1 之間的數值，其數學表示式如公式

4-4 所示，而 Sigmoid 函數經微分後的最大值為 1/4，只能往回更新淺層的神經網路權重，因此當模式過深時會產生「梯度消失」(Vanishing Gradient Problem)問題，導致模式無法深化。

$$f(x) = \frac{1}{(1+e^{-x})} \dots\dots\dots (4-4)$$

#### c.Tanh

為一雙曲線函數也是三角函數，輸出值的範圍限定於-1 至 1 之間，可處理具有負值的深度學習模式，其數學表示式如公式 4-5 所示。

$$f(x) = \frac{\sinh(x)}{\cosh(x)} \dots\dots\dots (4-5)$$

上述各啟動函數及其導函數圖形如圖 4-1 所示，從可清楚看出各啟動函數及其導數之曲線情形，更容易去瞭解每一啟動函數的特性，就常用的 ReLU 而言，當  $x=0$  時其神經元將會形成壞死現象(Dead ReLU Problem)，即神經元不會被啟動且參數不會被更新，所以當訓練率設定過高時會導致訓練過程中參數調整幅度過大，不利於模式的收斂。

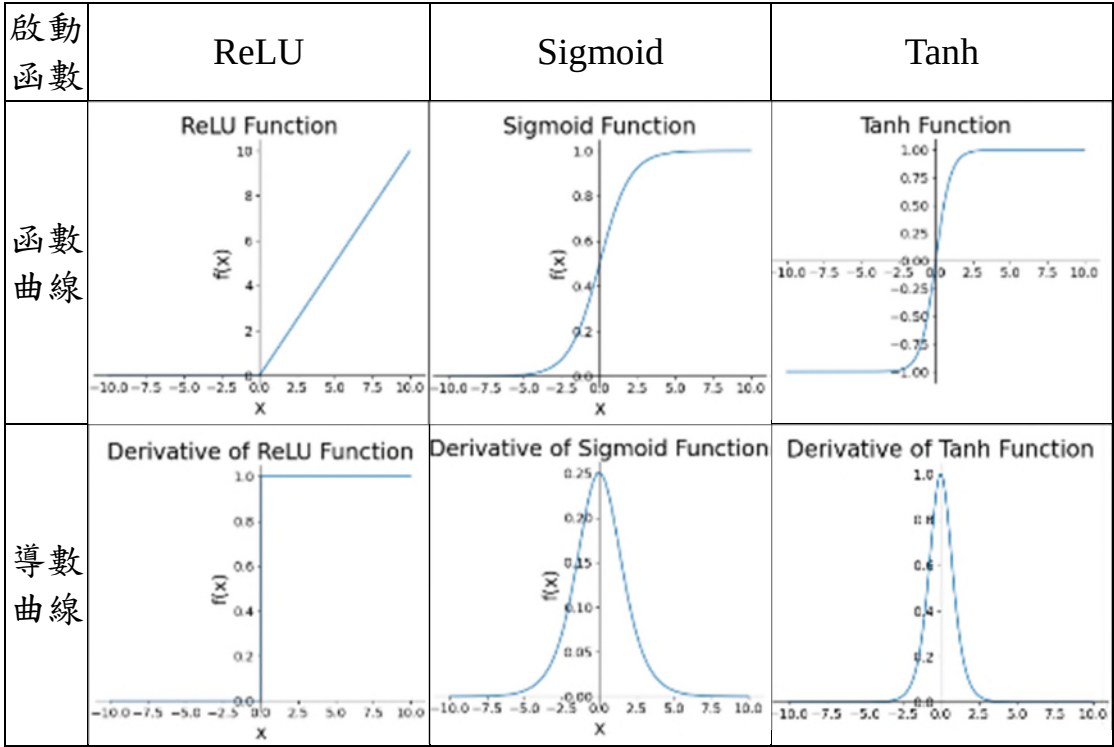


圖 4-1 啟動函數及其導函數曲線

3.池化

池化的目的在於進行特徵圖的採樣，一般常用的池化運算有最大池化(Max pooling)、最小池化(min pooling)與平均池化(Average Pooling)，池化基本上就是根據所設定的規則以移動視窗方式進行視窗內值的遍歷運算過程，示意如圖 4-2 所示，經過池化運算後的特徵圖會小於原本的大小，一般常用的大小為 2\*2，步行距離則為 1 或 2，若步行距離為 2 時，其所池化之成果會是原資料的一半。

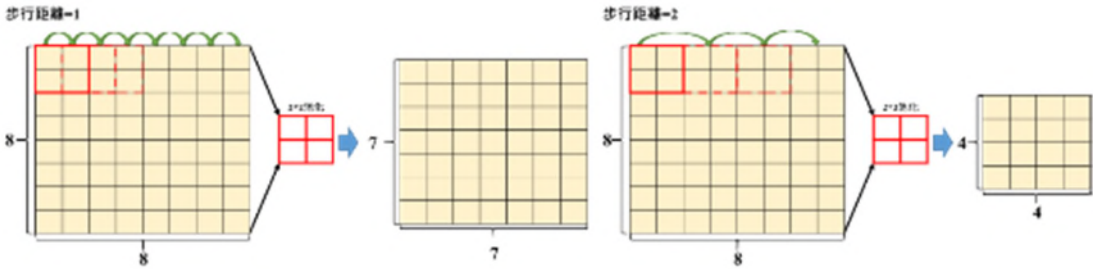
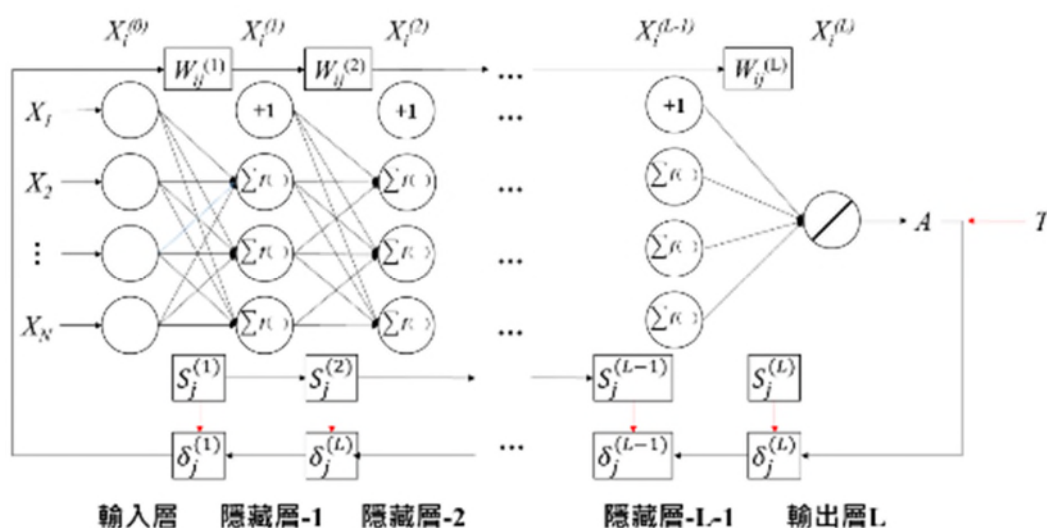


圖 4-2 下採樣的池化示意

#### 4.輸出層

在輸出層中包含了全連接層及分類，全連接層部份為倒傳遞類神經網路(Back Propagation Neural Network, BPN)架構(如圖 4-3 所示)，其中最後的誤差函數定義如公式 4-6 所示，在 CNN 輸出層中是將深度學習模式訓練後所取得的特徵資訊所建立而成的 1 維特徵向量作為倒傳遞演算法之輸入值，以計算誤差與更新權重，在全連接層中的反向傳遞運算過程中使用了損失函數(Loss Function)，主要為反饋時之權重調整參考，若啟動函數或損失函數選擇不當可能產生學習梯度消失問題(vanishing gradient problem)或梯度爆炸問題(exploding gradient problem)，所以啟動函數與損失函數的選擇需就問題類型與資料特性進行選擇，根據 Keras 創始者針對不同問題類型所給予的輸出層啟動函數與損失函數搭配如表 4-2 所示，本研究以 Softmax 為分類器，其數學表示式如公式 4-7 所示。



$X_N$ ：輸入值，CNN 架構中為最後的特徵值； $X_i^{(l)}$ ：為正向傳遞(Forward Pass Term)函數，其值為下一層的輸入值； $W_{ij}^{(L)}$ ：隱藏層權重值，初始值為系統隨機設定； $S_j^{(L)}$ ：為權重與上一層輸入值的加乘結果； $\delta_j^{(L)}$ ：為反向傳遞(Backward Pass Term)的導函數，其值為前一層權重的調整參考。  
資料來源：本研究繪製。

圖 4-3 倒傳遞類神經網路架構

$$E = \frac{1}{2} \sum (T - A)^2 \dots\dots\dots(4-6)$$

$$f_j(z) = \frac{e^{z_j}}{\sum_k e^{z_k}} \dots\dots\dots(4-7)$$

表 4-2 問題類型的輸出層啟動函數與損失函數搭配建議

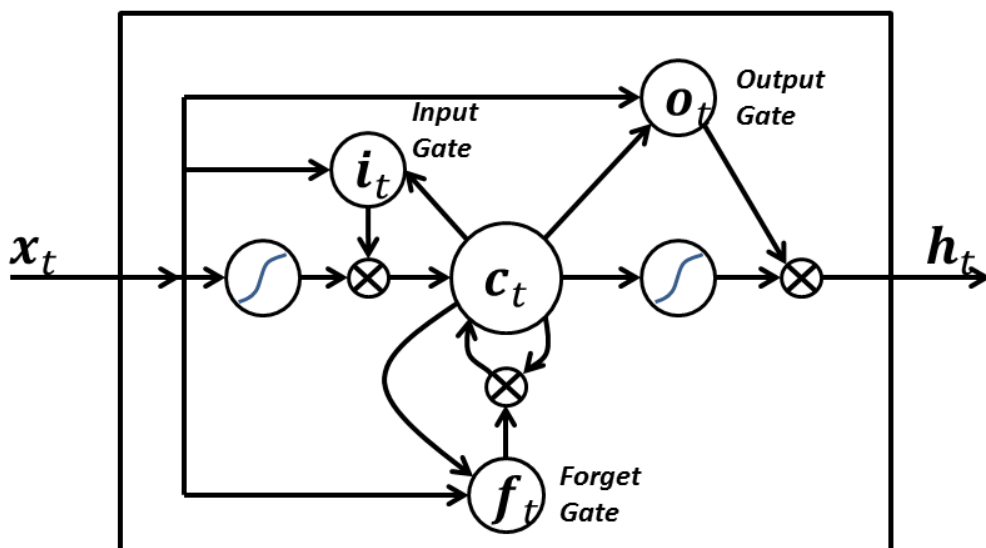
| 問題類型         | 輸出層的啟動函數 | 損失函數                      |
|--------------|----------|---------------------------|
| 二元分類         | Sigmoid  | Binary_Crossentropy       |
| 多元分類、單一標籤    | Softmax  | Categorical_Crossentropy  |
| 多元分類、多元標籤    | Sigmoid  | Binary_Crossentropy       |
| 迴歸至任意值       | None     | Mse                       |
| 迴歸至 0~1 之間的值 | Sigmoid  | Mse 或 Binary_Crossentropy |

二、長短期記憶網路

當完成 CNN 之空間上之特徵萃取後，再透過 LSTM 進行時序特徵的整合與訓練，LSTM 為一種時間循環神經網路(Recurrent Neural Network, RNN)，適用於處理和預測時間序列中間隔和延遲非常長的事件，其主要由輸入閘(Input Gate)、遺忘閘(Forgot Gate)及輸出閘(Output Gate)所組成，數學表達示如公式 4-8 所示。

$$\begin{aligned}
 f_t &= \sigma_g(W_f x_t + U_f h_{t-1} + b_f) \\
 i_t &= \sigma_g(W_i x_t + U_i h_{t-1} + b_i) \\
 o_t &= \sigma_g(W_o x_t + U_o h_{t-1} + b_o) \\
 c_t &= f_t \cdot c_{t-1} + i_t \cdot \sigma_c(W_c x_t + U_c h_{t-1} + b_c) \\
 h_t &= o_t \cdot \sigma_h(c_t) \dots\dots\dots(4-8)
 \end{aligned}$$

其中 $x_t$ 為輸入特徵向量； $h_t$ 為輸出的特徵向量； $c_t$ 為單元狀態； $W$ 、 $U$ 及 $b$ 為參數矩陣和向量； $i_t$ 、 $f_t$ 及 $o_t$ 分別為輸入閘、遺忘閘與輸出閘，各別的功能在於進行資料的輸入、記憶體的清空與是否進行輸出，各閘的權重值是經過網路訓練過來自行學習，整體的 cell 運作程序如圖 4-4 所示。

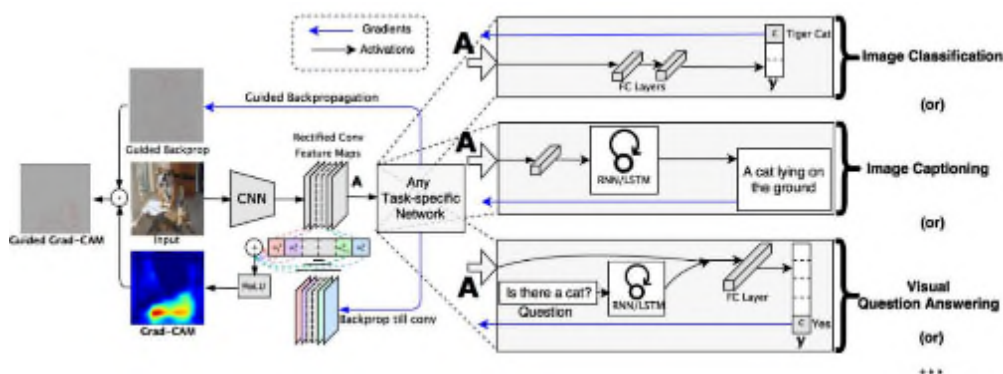


資料來源：[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Long\\_Short\\_Term\\_Memory.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Long_Short_Term_Memory.png)

圖 4-4 LSTM 單一單元運作流程

### 三、模式可視化

為能夠瞭解模式在進行影像內容辨識之觀注熱區，本研究採用 Selvaraju 等 (2017) 所提出之 Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM) 演算法取得模式的觀注熱區，其運作機制如圖 4-5 所示，其主要使用梯度的全局平均(如公式 4-9)來計算權重，以該權重對最後一層特徵圖進行線性組合的加權運算，最後以 ReLU 激活函數得到推算的辨識觀注熱區(如公式 4-10)。



圖片來源：2017, Selvaraju。

圖 4-5 Grad-CAM 運作機制

$$\alpha_k^c = \frac{1}{z} \sum_i \sum_j \frac{\partial y^c}{\partial A_{ij}^k} \dots \dots \dots (4-9)$$

$$L_{Grad-CAM}^c = ReLU(\sum_k \alpha_k^c A^k \dots \dots \dots (4-10)$$

其中A為特徵層(Feature Layer)，一般採用最後一卷積層所輸出的特徵層、k為特徵層中的第k個通道(channel)、c代表為類別c、 $\alpha_k^c$ 為 $A^k$ 的權重值。

#### 四、LRCN網路建構

本研究除了採用 CNN 作為骨幹外，也使用 VGG-16 與 VGG-19 進行測試，其中 VGG 為英國牛津大學 Visual Geometry Group 的縮寫，其所提出的架構使用更多的隱藏層並進行大量的圖片訓練，將影像辨識度提升至 90%，VGG-16 與 VGG-19 的差別在於卷積層的數量，VGG-16 使用 13 個卷積層、VGG-19 使用了 16 個卷積層。本研究使用多種骨幹主要目的在於瞭解不同網路深度對於坡地災害的辨識能力與解釋能力，其中辨識能力為對於坡地災害特徵萃取的準確性；解釋能力為針對輸入影像的通用性，包含了拍攝角度、環境情境等影響。在各骨幹的參數設定上，除了 CNN 由本研究進行測試與調整外，其他骨幹維持其原本所設計之架構與參數設定，各骨幹之參數設定如表 4-3 所示，其中除了輸入不同外，其輸出皆為 4(非坡地災害、滑坡、土石流及落石)，訓練時使用之影格長度為 15、20、25、30、40 及 50 幀，各樣本根據影格長度之取樣頻率如表 4-4 所示，其中非坡地災害影像係以本研究所擷取之 CCTV 圖像，擇 300 張圖像以秒為單位所組成之 5 分鐘影像，故其每秒顯示影格數(Frame Per Second, FPS)為 1，餘坡地災害影像為網路影音，FPS 分佈為 23 至 30 左右，取樣頻率皆低於 10 毫秒，但不影響模式的學習。

表 4-3 LRCN 各骨幹參數設定

| CNN            | VGG-16                           | VGG-19                                       |
|----------------|----------------------------------|----------------------------------------------|
| 5 個權重層         | 16 個權重層                          | 19 個權重層                                      |
| 輸入層(128*128*3) |                                  |                                              |
| conv3-8        | conv3-8<br>conv3-8               | conv3-8<br>conv3-8                           |
| Maxpool-4      |                                  |                                              |
| conv3-16       | conv3-16<br>conv3-16             | conv3-16<br>conv3-16                         |
| Maxpool-4      |                                  |                                              |
| conv3-32       | conv3-32<br>conv3-32<br>conv3-32 | conv3-32<br>conv3-32<br>conv3-32<br>conv3-32 |
| Maxpool-2      |                                  |                                              |
| conv3-64       | conv3-64<br>conv3-64<br>conv3-64 | conv3-64<br>conv3-64<br>conv3-64<br>conv3-64 |
| Maxpool-2      |                                  |                                              |
|                | conv3-64<br>conv3-64<br>conv3-64 | conv3-64<br>conv3-64<br>conv3-64<br>conv3-64 |
|                | Maxpool-2                        |                                              |
| FC             |                                  |                                              |
| LSTM-12        |                                  |                                              |
| softmax        |                                  |                                              |

表 4-4 樣本取樣頻率

| 影像  | 影片長度(秒) | 影格數 | FPS | 取樣頻率(張/秒) |         |         |         |        |        |
|-----|---------|-----|-----|-----------|---------|---------|---------|--------|--------|
|     |         |     |     | 15        | 20      | 25      | 30      | 40     | 50     |
| N01 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N02 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N03 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N04 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N05 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N06 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N07 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N08 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N09 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N10 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |

| 影像  | 影片長度(秒) | 影格數 | FPS | 取樣頻率(張/秒) |         |         |         |        |        |
|-----|---------|-----|-----|-----------|---------|---------|---------|--------|--------|
|     |         |     |     | 15        | 20      | 25      | 30      | 40     | 50     |
| N11 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N12 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N13 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N14 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N15 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N16 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N17 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N18 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N19 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N20 | 292.00  | 292 | 1   | 19.4667   | 14.6000 | 11.6800 | 9.7333  | 7.3000 | 5.8400 |
| N21 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N22 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N23 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N24 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N25 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N26 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N27 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N28 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N29 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N30 | 150.00  | 150 | 1   | 10.0000   | 7.5000  | 6.0000  | 5.0000  | 3.7500 | 3.0000 |
| N31 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N32 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N33 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N34 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N35 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N36 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N37 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N38 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N39 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N40 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N41 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N42 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N43 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N44 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N45 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N46 | 296.00  | 296 | 1   | 19.7333   | 14.8000 | 11.8400 | 9.8667  | 7.4000 | 5.9200 |
| N47 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N48 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N49 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| N50 | 300.00  | 300 | 1   | 20.0000   | 15.0000 | 12.0000 | 10.0000 | 7.5000 | 6.0000 |
| C01 | 5.59    | 162 | 29  | 0.0128    | 0.0096  | 0.0077  | 0.0064  | 0.0048 | 0.0039 |
| C02 | 11.48   | 333 | 29  | 0.0264    | 0.0198  | 0.0158  | 0.0132  | 0.0099 | 0.0079 |
| C03 | 6.41    | 186 | 29  | 0.0147    | 0.0111  | 0.0088  | 0.0074  | 0.0055 | 0.0044 |
| C04 | 15.43   | 463 | 30  | 0.0343    | 0.0257  | 0.0206  | 0.0171  | 0.0129 | 0.0103 |
| C05 | 10.13   | 233 | 23  | 0.0294    | 0.0220  | 0.0176  | 0.0147  | 0.0110 | 0.0088 |
| C06 | 10.52   | 242 | 23  | 0.0305    | 0.0229  | 0.0183  | 0.0152  | 0.0114 | 0.0091 |

| 影像  | 影片長度(秒) | 影格數 | FPS | 取樣頻率(張/秒) |        |        |        |        |        |
|-----|---------|-----|-----|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     |         |     |     | 15        | 20     | 25     | 30     | 40     | 50     |
| C07 | 12.87   | 296 | 23  | 0.0373    | 0.0280 | 0.0224 | 0.0187 | 0.0140 | 0.0112 |
| C08 | 9.63    | 289 | 30  | 0.0214    | 0.0161 | 0.0128 | 0.0107 | 0.0080 | 0.0064 |
| C09 | 10.53   | 316 | 30  | 0.0234    | 0.0176 | 0.0140 | 0.0117 | 0.0088 | 0.0070 |
| C10 | 11.13   | 334 | 30  | 0.0247    | 0.0186 | 0.0148 | 0.0124 | 0.0093 | 0.0074 |
| C11 | 14.23   | 427 | 30  | 0.0316    | 0.0237 | 0.0190 | 0.0158 | 0.0119 | 0.0095 |
| C12 | 8.37    | 251 | 30  | 0.0186    | 0.0139 | 0.0112 | 0.0093 | 0.0070 | 0.0056 |
| C13 | 8.97    | 269 | 30  | 0.0199    | 0.0149 | 0.0120 | 0.0100 | 0.0075 | 0.0060 |
| C14 | 6.23    | 187 | 30  | 0.0139    | 0.0104 | 0.0083 | 0.0069 | 0.0052 | 0.0042 |
| C15 | 5.47    | 164 | 30  | 0.0121    | 0.0091 | 0.0073 | 0.0061 | 0.0046 | 0.0036 |
| C16 | 8.38    | 243 | 29  | 0.0193    | 0.0144 | 0.0116 | 0.0096 | 0.0072 | 0.0058 |
| C17 | 8.17    | 237 | 29  | 0.0188    | 0.0141 | 0.0113 | 0.0094 | 0.0070 | 0.0056 |
| C18 | 6.03    | 175 | 29  | 0.0139    | 0.0104 | 0.0083 | 0.0069 | 0.0052 | 0.0042 |
| C19 | 7.07    | 205 | 29  | 0.0163    | 0.0122 | 0.0098 | 0.0081 | 0.0061 | 0.0049 |
| C20 | 18.67   | 560 | 30  | 0.0415    | 0.0311 | 0.0249 | 0.0207 | 0.0156 | 0.0124 |
| C21 | 14.00   | 420 | 30  | 0.0311    | 0.0233 | 0.0187 | 0.0156 | 0.0117 | 0.0093 |
| D01 | 11.47   | 344 | 30  | 0.0255    | 0.0191 | 0.0153 | 0.0127 | 0.0096 | 0.0076 |
| D02 | 13.04   | 300 | 23  | 0.0378    | 0.0284 | 0.0227 | 0.0189 | 0.0142 | 0.0113 |
| D03 | 10.33   | 310 | 30  | 0.0230    | 0.0172 | 0.0138 | 0.0115 | 0.0086 | 0.0069 |
| D04 | 9.07    | 272 | 30  | 0.0201    | 0.0151 | 0.0121 | 0.0101 | 0.0076 | 0.0060 |
| D05 | 9.27    | 278 | 30  | 0.0206    | 0.0154 | 0.0124 | 0.0103 | 0.0077 | 0.0062 |
| D06 | 7.60    | 228 | 30  | 0.0169    | 0.0127 | 0.0101 | 0.0084 | 0.0063 | 0.0051 |
| D07 | 16.86   | 489 | 29  | 0.0388    | 0.0291 | 0.0233 | 0.0194 | 0.0145 | 0.0116 |
| D08 | 21.20   | 530 | 25  | 0.0565    | 0.0424 | 0.0339 | 0.0283 | 0.0212 | 0.0170 |
| D09 | 5.76    | 144 | 25  | 0.0154    | 0.0115 | 0.0092 | 0.0077 | 0.0058 | 0.0046 |
| D10 | 6.36    | 159 | 25  | 0.0170    | 0.0127 | 0.0102 | 0.0085 | 0.0064 | 0.0051 |
| D11 | 22.84   | 571 | 25  | 0.0609    | 0.0457 | 0.0365 | 0.0305 | 0.0228 | 0.0183 |
| D12 | 31.37   | 941 | 30  | 0.0697    | 0.0523 | 0.0418 | 0.0349 | 0.0261 | 0.0209 |
| D13 | 10.37   | 311 | 30  | 0.0230    | 0.0173 | 0.0138 | 0.0115 | 0.0086 | 0.0069 |
| D14 | 3.50    | 105 | 30  | 0.0078    | 0.0058 | 0.0047 | 0.0039 | 0.0029 | 0.0023 |
| D15 | 6.30    | 145 | 23  | 0.0183    | 0.0137 | 0.0110 | 0.0091 | 0.0069 | 0.0055 |
| D16 | 5.04    | 116 | 23  | 0.0146    | 0.0110 | 0.0088 | 0.0073 | 0.0055 | 0.0044 |
| D17 | 14.45   | 419 | 29  | 0.0332    | 0.0249 | 0.0199 | 0.0166 | 0.0125 | 0.0100 |
| D18 | 10.24   | 297 | 29  | 0.0235    | 0.0177 | 0.0141 | 0.0118 | 0.0088 | 0.0071 |
| D19 | 4.93    | 143 | 29  | 0.0113    | 0.0085 | 0.0068 | 0.0057 | 0.0043 | 0.0034 |
| D20 | 7.41    | 215 | 29  | 0.0170    | 0.0128 | 0.0102 | 0.0085 | 0.0064 | 0.0051 |
| R01 | 12.72   | 369 | 29  | 0.0293    | 0.0219 | 0.0176 | 0.0146 | 0.0110 | 0.0088 |
| R02 | 6.79    | 197 | 29  | 0.0156    | 0.0117 | 0.0094 | 0.0078 | 0.0059 | 0.0047 |
| R03 | 11.59   | 336 | 29  | 0.0266    | 0.0200 | 0.0160 | 0.0133 | 0.0100 | 0.0080 |
| R04 | 16.38   | 475 | 29  | 0.0377    | 0.0282 | 0.0226 | 0.0188 | 0.0141 | 0.0113 |
| R05 | 11.48   | 333 | 29  | 0.0264    | 0.0198 | 0.0158 | 0.0132 | 0.0099 | 0.0079 |
| R06 | 15.38   | 446 | 29  | 0.0354    | 0.0265 | 0.0212 | 0.0177 | 0.0133 | 0.0106 |
| R07 | 3.76    | 109 | 29  | 0.0086    | 0.0065 | 0.0052 | 0.0043 | 0.0032 | 0.0026 |
| R08 | 2.90    | 84  | 29  | 0.0067    | 0.0050 | 0.0040 | 0.0033 | 0.0025 | 0.0020 |
| R09 | 6.53    | 196 | 30  | 0.0145    | 0.0109 | 0.0087 | 0.0073 | 0.0054 | 0.0044 |
| R10 | 13.17   | 395 | 30  | 0.0293    | 0.0219 | 0.0176 | 0.0146 | 0.0110 | 0.0088 |
| R11 | 16.80   | 420 | 25  | 0.0448    | 0.0336 | 0.0269 | 0.0224 | 0.0168 | 0.0134 |

### 第三節 模式訓練、測試與驗證成果

本研究使用所蒐整的網路坡地災害影像(滑坡、落石及土石流)及本研究所蒐集 CCTV 拍攝之道路無坡地災害影像，共計 4 種行為進行坡地災害模式的訓練與測試，在訓練與測試部分，由於坡地災害影像數量稀少，故本研究透過調樣來逐步增加樣本，以漸進方式提升模式辨識能力，每次訓練迭代次數為 100，每次迭代的批次運算大小根據影格長度進行調整，本研究中以 15、20、25、30、40 及 50，共計 6 種影格長度進行模式的訓練、測試與驗證，本研究將辨識類別分為非坡地災害(None)、滑坡(Collapse)、土石流(DebrisFlow)及落石(Rockfall)，如表 4-5 所示，以下本研究使用訓練與測試影像、大局所提供之驗證影像及本研究所拍攝之假設影像進行模式的測試，茲將各述於下：

表 4-5 類別編號

| 代號 | 對應行為  |            |
|----|-------|------------|
| N  | 非坡地災害 | None       |
| C  | 滑坡    | Collapse   |
| D  | 土石流   | DebrisFlow |
| R  | 落石    | Rockfall   |

#### 一、訓練與測試成果

本研究在訓練中採用調樣策略來進行模式的訓練，初步隨機挑選樣本，再以各類別的測試樣本中擊中數(Hit)最低之樣本作為下次模式訓練之樣本，其中 Hit 數為各模式(CNN、VGG-16 及 VGG-19)與影格長度(15、20、25、30、40 及 50)的組合，共計有 18 種，即樣本最高的擊中數為 18，本研究在樣本的挑選過程如表 4-6 所示，本研究總共進行了 5 次的樣本調整及 6 次的模式訓練與測試，共得到 108 種(6 種影像序列長度乘上 6 次模式訓練

與測試再乘上 3 種模式)模式成果，成果如表 4-7 所示，各模式經過 5 次的調樣後在辨識度皆獲得提升，CNN 由原 59.76%提升至 84.91%、VGG-16 由原本 52.44%提升至 75.47%、VGG-19 由原本 52.44%提升至 66.04%，其中以 CNN 的成長幅度最大，VGG-19 的成長幅度最小。

表 4-6 訓練樣本挑選歷程

| 類別 | 調樣次數 | 樣本                                                                                                            |
|----|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| N  | 1    | N01、N03、N05、N13、N22、N26、N31、N35、N41、N48                                                                       |
|    | 2    | N01、N03、N05、N13、N22、N26、N31、N35、N41、 <b>N43</b> 、N48                                                          |
|    | 3    | N01、N03、N05、N13、N22、N26、N31、N35、N41、N43、N48                                                                   |
|    | 4    | N01、N03、N05、N13、N22、N26、N31、N35、N41、N43、N48                                                                   |
|    | 5    | N01、N03、N05、 <b>N06</b> 、N13、 <b>N17</b> 、N22、N26、N31、 <b>N34</b> 、N35、 <b>N36</b> 、N41、N43、N48               |
|    | 6    | N01、N03、N05、N06、N13、N17、N22、N26、N31、N34、N35、N36、N41、N43、 <b>N46</b> 、N48                                      |
| C  | 1    | C01、C08、C11、C20                                                                                               |
|    | 2    | C01、C08、C11、 <b>C16</b> 、C20                                                                                  |
|    | 3    | C01、C08、C11、C16、C20                                                                                           |
|    | 4    | C01、 <b>C05</b> 、 <b>C07</b> 、C08、 <b>C10</b> 、C11、 <b>C14</b> 、C16、 <b>C18</b> 、 <b>C19</b> 、C20             |
|    | 5    | C01、C05、C07、C08、C10、C11、C14、C16、 <b>C17</b> 、C18、C19、C20                                                      |
|    | 6    | C01、C05、C07、C08、C10、C11、 <b>C12</b> 、C14、C16、C17、C18、C19、C20                                                  |
| D  | 1    | D01、D04、D09、D16                                                                                               |
|    | 2    | D01、 <b>D03</b> 、D04、D09、 <b>D14</b> 、D16                                                                     |
|    | 3    | D01、D03、D04、D09、D14、D16                                                                                       |
|    | 4    | D01、 <b>D02</b> 、D03、D04、D09、 <b>D10</b> 、D14、D16                                                             |
|    | 5    | D01、D02、D03、D04、 <b>D07</b> 、D09、D10、D14、D16                                                                  |
|    | 6    | D01、D02、D03、D04、D07、D09、D10、D14、 <b>D15</b> 、D16                                                              |
| R  | 1    | R06、R10                                                                                                       |
|    | 2    | <b>R05</b> 、R06、R10                                                                                           |
|    | 3    | <b>R01</b> 、 <b>R02</b> 、 <b>R03</b> 、 <b>R04</b> 、R06、R10、 <b>R07</b> 、 <b>R08</b> 、 <b>R09</b> 、 <b>R11</b> |
|    | 4    | R01、R02、R03、R04、R06、R10、R07、R08、R09、R11                                                                       |
|    | 5    | R01、R02、R03、R04、R06、R10、R07、R08、R09、R11                                                                       |
|    | 6    | R01、R02、R03、R04、R06、R10、R07、R08、R09、R11                                                                       |

備註：底色標註為新增之樣本。

表 4-7 模式訓練與測試精準度評估成果

| 調樣<br>次數 | 模式     |    | 序列長度    |         |         |         |         |         | 最佳值     |
|----------|--------|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|          |        |    | 15      | 20      | 25      | 30      | 40      | 50      |         |
| 1        | CNN    | 訓練 | 90.00%  | 95.00%  | 60.00%  | 50.00%  | 75.00%  | 50.00%  | 95.00%  |
|          |        | 測試 | 57.32%  | 59.76%  | 52.44%  | 50.00%  | 42.68%  | 48.78%  | 59.76%  |
|          |        | 時間 | 18.0161 | 17.1366 | 20.0916 | 23.1846 | 26.5094 | 33.2807 | 17.1366 |
|          | VGG-16 | 訓練 | 60.00%  | 50.00%  | 60.00%  | 50.00%  | 55.00%  | 70.00%  | 70.00%  |
|          |        | 測試 | 52.44%  | 48.78%  | 40.24%  | 48.78%  | 52.44%  | 51.22%  | 52.44%  |
|          |        | 時間 | 17.2498 | 19.4707 | 23.4320 | 26.3437 | 32.2737 | 40.8342 | 17.2498 |
|          | VGG-19 | 訓練 | 50.00%  | 50.00%  | 65.00%  | 50.00%  | 50.00%  | 65.00%  | 65.00%  |
|          |        | 測試 | 39.02%  | 50.00%  | 39.02%  | 48.78%  | 48.78%  | 52.44%  | 52.44%  |
|          |        | 時間 | 17.1508 | 19.2511 | 22.4166 | 25.3222 | 31.2977 | 39.5230 | 17.1508 |
| 2        | CNN    | 訓練 | 96.88%  | 100.00% | 100.00% | 93.75%  | 96.88%  | 87.50%  | 100.00% |
|          |        | 測試 | 58.57%  | 71.43%  | 65.71%  | 72.86%  | 71.43%  | 61.43%  | 72.86%  |
|          |        | 時間 | 34.0039 | 35.6903 | 42.0214 | 48.0200 | 58.8600 | 69.5311 | 34.0039 |
|          | VGG-16 | 訓練 | 46.88%  | 65.63%  | 37.50%  | 37.50%  | 75.00%  | 68.75%  | 75.00%  |
|          |        | 測試 | 50.00%  | 54.29%  | 54.29%  | 54.29%  | 50.00%  | 45.71%  | 54.29%  |
|          |        | 時間 | 34.6563 | 41.8901 | 50.4257 | 57.5624 | 70.9685 | 87.0625 | 34.6563 |
|          | VGG-19 | 訓練 | 37.50%  | 37.50%  | 84.38%  | 37.50%  | 43.75%  | 71.88%  | 84.38%  |
|          |        | 測試 | 54.29%  | 44.29%  | 52.86%  | 54.29%  | 51.43%  | 44.29%  | 54.29%  |
|          |        | 時間 | 34.8775 | 42.1873 | 49.3322 | 57.1256 | 70.5156 | 84.4958 | 34.8775 |
| 3        | CNN    | 訓練 | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 46.88%  | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
|          |        | 測試 | 42.86%  | 44.29%  | 68.57%  | 18.57%  | 52.86%  | 57.14%  | 68.57%  |
|          |        | 時間 | 32.7579 | 37.1632 | 43.9584 | 48.0512 | 58.4707 | 67.9844 | 32.7579 |
|          | VGG-16 | 訓練 | 100.00% | 100.00% | 59.38%  | 31.25%  | 100.00% | 96.88%  | 100.00% |
|          |        | 測試 | 51.43%  | 51.43%  | 50.00%  | 1.43%   | 62.86%  | 47.14%  | 62.86%  |
|          |        | 時間 | 34.5856 | 42.0839 | 50.1445 | 58.7050 | 71.1865 | 85.2968 | 34.5856 |
|          | VGG-19 | 訓練 | 34.38%  | 34.38%  | 34.38%  | 34.38%  | 34.38%  | 34.38%  | 34.38%  |
|          |        | 測試 | 55.71%  | 55.71%  | 55.71%  | 55.71%  | 55.71%  | 55.71%  | 55.71%  |
|          |        | 時間 | 35.9290 | 41.6153 | 48.3949 | 56.2212 | 70.2029 | 83.9844 | 35.9290 |
| 4        | CNN    | 訓練 | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 97.50%  | 100.00% |
|          |        | 測試 | 59.68%  | 64.52%  | 61.29%  | 72.58%  | 53.23%  | 66.13%  | 72.58%  |
|          |        | 時間 | 39.0845 | 30.5002 | 40.5028 | 47.9848 | 57.0024 | 63.6591 | 30.5002 |
|          | VGG-16 | 訓練 | 100.00% | 95.00%  | 100.00% | 97.50%  | 100.00% | 92.50%  | 100.00% |
|          |        | 測試 | 58.06%  | 45.16%  | 54.84%  | 46.77%  | 54.84%  | 64.52%  | 64.52%  |
|          |        | 時間 | 34.6013 | 37.7657 | 48.9378 | 57.0178 | 65.6405 | 80.6872 | 34.6013 |
|          | VGG-19 | 訓練 | 30.00%  | 95.00%  | 77.50%  | 27.50%  | 75.00%  | 97.50%  | 97.50%  |
|          |        | 測試 | 20.97%  | 58.06%  | 40.32%  | 62.90%  | 40.32%  | 48.39%  | 62.90%  |
|          |        | 時間 | 34.7373 | 37.3278 | 46.1453 | 55.6119 | 65.4248 | 79.2034 | 34.7373 |

| 調樣<br>次數 | 模式     |    | 序列長度    |         |         |         |         |         | 最佳值     |
|----------|--------|----|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|          |        |    | 15      | 20      | 25      | 30      | 40      | 50      |         |
| 5        | CNN    | 訓練 | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 82.61%  | 100.00% |
|          |        | 測試 | 82.14%  | 76.79%  | 71.43%  | 73.21%  | 71.43%  | 80.36%  | 82.14%  |
|          |        | 時間 | 34.3776 | 36.0521 | 42.6737 | 49.1004 | 58.5938 | 67.9406 | 34.3776 |
|          | VGG-16 | 訓練 | 32.61%  | 32.61%  | 86.96%  | 93.48%  | 60.87%  | 95.65%  | 95.65%  |
|          |        | 測試 | 62.50%  | 64.29%  | 62.50%  | 50.00%  | 57.14%  | 76.79%  | 76.79%  |
|          |        | 時間 | 37.9688 | 44.3129 | 51.7497 | 59.8903 | 72.3592 | 87.6405 | 37.9688 |
|          | VGG-19 | 訓練 | 32.61%  | 34.78%  | 50.00%  | 43.48%  | 23.91%  | 60.87%  | 60.87%  |
|          |        | 測試 | 62.50%  | 35.71%  | 30.36%  | 41.07%  | 3.57%   | 42.86%  | 62.50%  |
|          |        | 時間 | 38.3745 | 44.7183 | 51.3749 | 59.1561 | 72.0934 | 85.9840 | 38.3745 |
| 6        | CNN    | 訓練 | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% | 100.00% |
|          |        | 測試 | 73.58%  | 84.91%  | 71.70%  | 73.58%  | 67.92%  | 62.26%  | 84.91%  |
|          |        | 時間 | 39.5632 | 31.0249 | 39.0533 | 48.3931 | 58.5662 | 67.7397 | 31.0249 |
|          | VGG-16 | 訓練 | 65.31%  | 59.18%  | 73.47%  | 93.88%  | 75.51%  | 97.96%  | 97.96%  |
|          |        | 測試 | 50.94%  | 52.83%  | 54.72%  | 69.81%  | 64.15%  | 75.47%  | 75.47%  |
|          |        | 時間 | 37.0935 | 41.5933 | 49.7540 | 59.1871 | 73.2811 | 87.7498 | 37.0935 |
|          | VGG-19 | 訓練 | 32.65%  | 63.27%  | 46.94%  | 36.73%  | 48.98%  | 77.55%  | 77.55%  |
|          |        | 測試 | 64.15%  | 52.83%  | 43.40%  | 39.62%  | 66.04%  | 26.42%  | 66.04%  |
|          |        | 時間 | 36.0627 | 41.7402 | 47.7530 | 57.3435 | 74.2343 | 85.9172 | 36.0627 |

## 二、實例驗證

本研究使用水保局所提供之大規模崩塌影像與土石流監測影像(如圖 4-6 所示)進行模式的實例驗證，在驗證上本研究使用影格方式進行評估，表 4-8、表 4-9 為實證影像土石流與大規模滑坡影像從啟動辨識 50 格至後 130 影格之各模式最佳成果的辨識比較，從表格中可瞭解各模式在相同影格內容資訊下所辨識之類別為何，由於 VGG-16 模式最佳結果是以 50 張開始進行辨識，為統一故本研究以第 50 張開始進行比較。在土石流影像辨識上，CNN 第 20 格即辨識出影像內容為土石流情境至影片結束，VGG-16 一開始至影片結束都將其辨識為落石、VGG-19 一開始至影片結束都將其辨識為滑坡，若以是非分類狀況下，三種模式皆能辨識出影像情境為坡地災害；本模式再透過 Grad-CAM 所計算出之模式觀注熱域，透過觀注熱域(如表 4-10、表 4-11 所示)可瞭解模式所觀注之重點區域與人所認知的觀注區域差異，在土石流部分 CNN、VGG-16 與 VGG-19 等模式在相同影格上辨識的觀注熱區確實有其差異性，在 CNN 模式部分的觀注熱區主要分布於河道、道路與路旁之樹叢區域，其涵蓋範圍與人所認知有重疊之處(即河道部分)；VGG-16 模式部分則有少部分涵蓋河道，但強度較 CNN 模式來得弱些，與 CNN 相同有觀注邊緣的樹叢區域；VGG-19 模式部分觀注重點則位於影像上半部的山坡處，在河道部分是 3 個模式中最低的。在落石與滑坡影像上，3 種模式的主要觀注區域皆於影像下半部分，但觀注熱區的範圍不同( $CNN > VGG-19 > VGG-16$ )，其中 CNN 與 VGG-19 主要觀注於域皆位於影像底部，而 VGG-16 則位於下半部之中間區域，CNN 含蓋了 VGG-16 與 VGG-19 的範圍。



圖 4-6 驗證影像

表 4-8 驗證影像前影格辨識成果比較-土石流

| 影格     | 50  | 51  | 52  | 53  | 54  | 55  | 56  | 57  | 58  | 59  |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 60  | 61  | 62  | 63  | 64  | 65  | 66  | 67  | 68  | 69  |
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 70  | 71  | 72  | 73  | 74  | 75  | 76  | 77  | 78  | 79  |
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 80  | 81  | 82  | 83  | 84  | 85  | 86  | 87  | 88  | 89  |
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 90  | 91  | 92  | 93  | 94  | 95  | 96  | 97  | 98  | 99  |
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 |
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 |
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 120 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 |
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 |
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 |

|        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 |
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 | 169 |
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 170 | 171 | 172 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 | 178 | 179 |
| CNN    | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   | D   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |

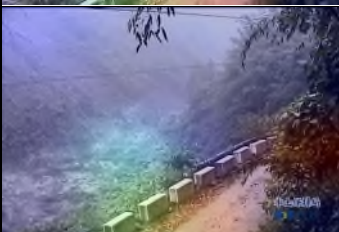
表 4-9 驗證影像影格辨識成果比較-落石與滑坡

|        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 影格     | 50  | 51  | 52  | 53  | 54  | 55  | 56  | 57  | 58  | 59  |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | N   | N   | N   | N   | N   | N   | N   | N   | N   | N   |
| 影格     | 60  | 61  | 62  | 63  | 64  | 65  | 66  | 67  | 68  | 69  |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | N   | N   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 70  | 71  | 72  | 73  | 74  | 75  | 76  | 77  | 78  | 79  |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | N   | N   | C   | C   |
| 影格     | 80  | 81  | 82  | 83  | 84  | 85  | 86  | 87  | 88  | 89  |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 90  | 91  | 92  | 93  | 94  | 95  | 96  | 97  | 98  | 99  |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| 影格     | 120 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| 影格     | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | C   |
| 影格     | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 127 | 148 | 149 |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |

|        |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | R   | R   | R   | R   | C   | C   | R   | R   | R   | R   |
| 影格     | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| 影格     | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 | 169 |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| 影格     | 170 | 171 | 172 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 | 178 | 179 |
| CNN    | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |
| VGG-16 | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   | R   |
| VGG-19 | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   | C   |

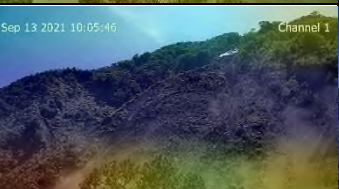
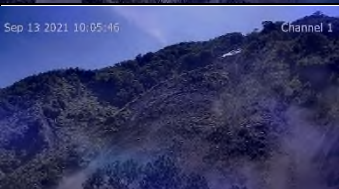
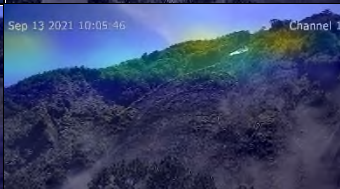
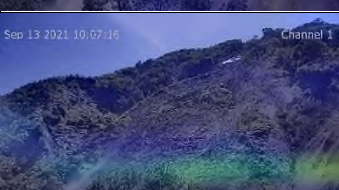
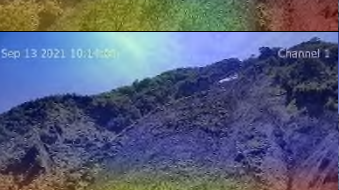
表 4-10 驗證影像模式觀熱區點比較-土石流

| 影格 | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 50 |   |   |   |
| 60 |  |  |  |
| 70 |  |  |  |
| 80 |  |  |  |
| 90 |  |  |  |

| 影格  | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 100 |    |    |    |
| 110 |    |    |    |
| 120 |    |    |    |
| 130 |   |   |   |
| 140 |  |  |  |
| 150 |  |  |  |
| 160 |  |  |  |

| 影格  | CNN                                                                               | VGG-16                                                                             | VGG-19                                                                              |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 170 |  |  |  |

表 4-11 驗證影像模式觀注熱區比較-落石與滑坡

| 影格  | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 50  |    |    |    |
| 60  |   |   |   |
| 70  |  |  |  |
| 80  |  |  |  |
| 90  |  |  |  |
| 100 |  |  |  |
| 110 |  |  |  |

| 影格  | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 120 |    |    |    |
| 130 |    |    |    |
| 140 |    |    |    |
| 150 |    |    |    |
| 160 |   |   |   |
| 170 |  |  |  |

### 三、假設影像測試

本研究為瞭解模式在面對假設影像時可能之誤判情形，故本研究透過人為方式拍攝假設坡地災害影像(如圖 4-7 所示)，其中因材料與場地限制，故本研究以滑坡與落石兩種進行假設影像之拍攝與測試，其中滑坡具有多種角度與距離，落石則參雜於其中，以此來評估模式對於假設影像的行為辨識，本研究將其分為 P1 至 P6，每一影像大小皆為 640\*480、fps 為 29.97，此測試成果有助於未來在進行模式改進方向之參考。在測試成果中(如表 4-12 所示)顯示結果，就模式而言，CNN 在各種假設影像中皆辨識為土石流；VGG-16 在 P2 與 P3 判定為落石外，其餘皆分辨為土石流；VGG-19 在 P1、P2、P3 辨識為土石流，但其中 P2 於第 104 影格開始辨識為非坡地災害，P4、P5 則辨識為非坡地災害影像，P6 辨識為滑坡，CNN 在假設影像的辨識表現上具有一致性，而 VGG-16 與 VGG-19 則有不一致的表現，若以此表示網路訓練成果的穩健性，在類似的影像下則以 CNN 最佳，VGG-16 次之，最後為 VGG-19。就影像而言，P1 在 3 種模式中皆判定為土石流；P2 與 P3 被 CNN 與 VGG-19 模式判定為土石流，但於 VGG-16 則辨識為落石；P4、P5 及 P6 被 CNN 與 VGG-16 模式判定為土石流，VGG-19 則將 P4、P5 辨識為非坡地災害影像，P6 辨識為滑坡。

透過模式觀注熱區的觀察(如表 4-13 至表 4-18 所示)，在各模式於各影像中所觀注熱區皆有不同，在不同的影格下所觀注之熱區也有所不一，以 P1 影像為例，在 CNN 與 VGG-19 的觀注熱區主要位於草皮部分，而 VGG-16 所觀注之熱區雖有在所認知的假設的三角滑坡區域，但其觀注熱區較其他兩者多，最後 3 種模式皆判定為土石流，為瞭解原因本研究就模式於訓練樣本中之觀注重點呈現結果(如表 4-19 所示)，主要土石流訓練影像在部分的訓練樣本中對於拍攝內容

較廣時，CNN 與 VGG-16 模式主要著重於相對靜態的景物上(例如草皮、房屋或邊坡)，但也有少部分觀注熱區與人之認知相符(例如 D03)。

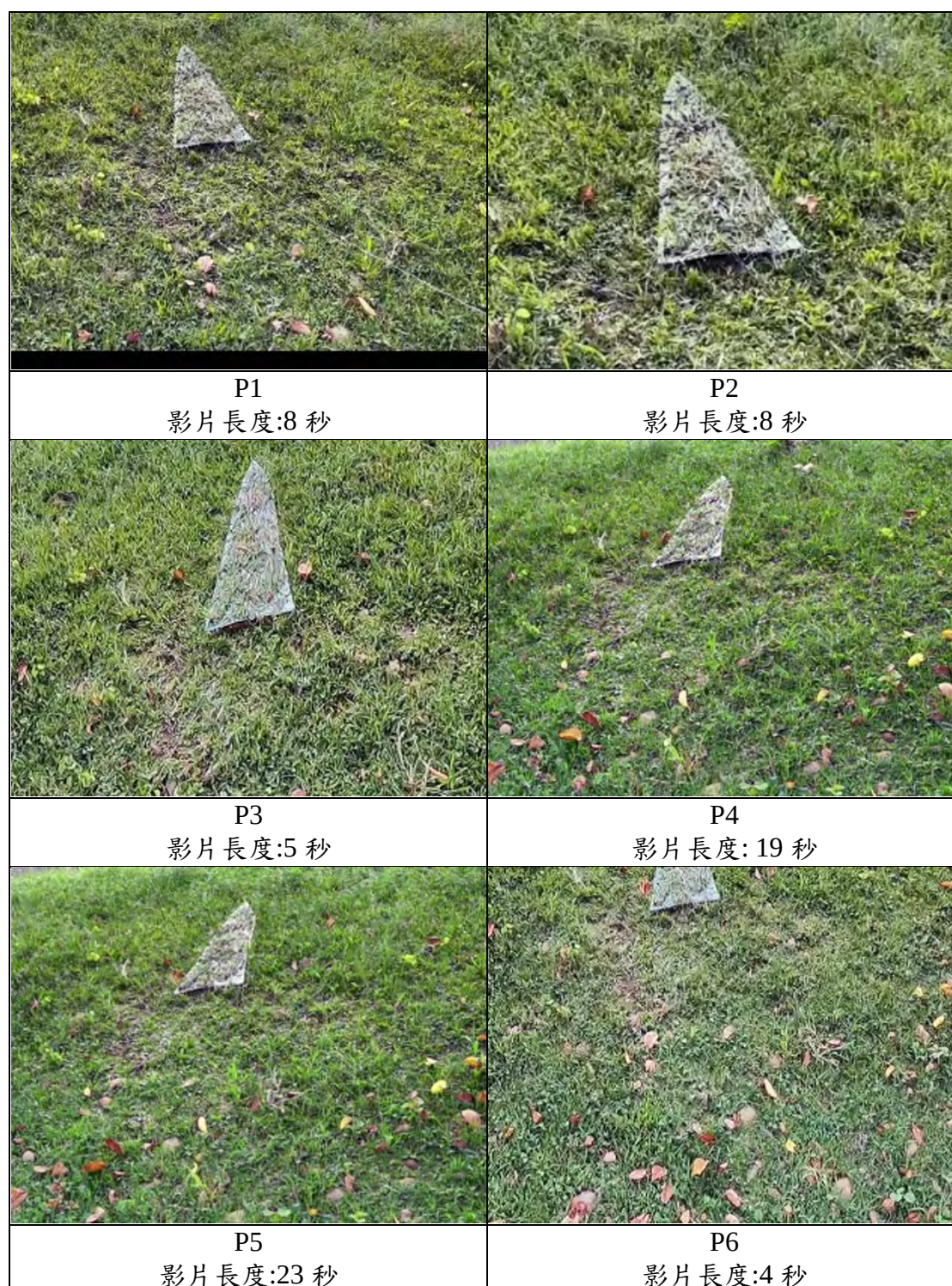


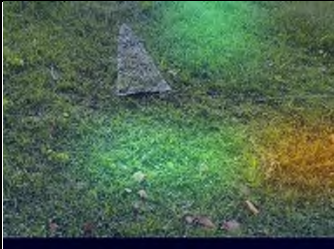
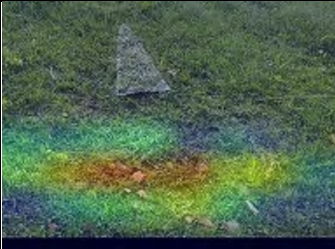
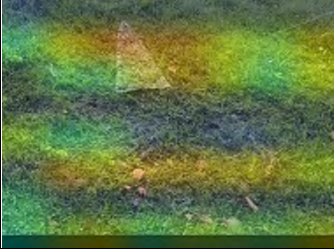
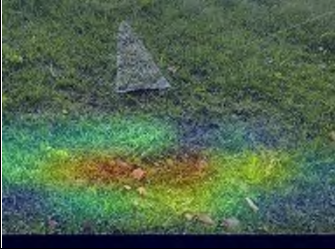
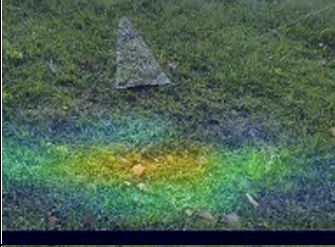
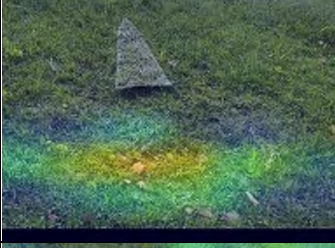
圖 4-7 坡地災害假設影像

表 4-12 假設影像影格辨識成果比較

| 模式 | CNN |    |    |    |    |    | VGG-16 |    |    |    |    |    | VGG-19 |    |    |    |    |    |
|----|-----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|
| 影格 | P1  | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P1     | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P1     | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| 50 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 51 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 52 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 53 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 54 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 55 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 56 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 57 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 58 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 59 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 60 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 61 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 62 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 63 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 64 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 65 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 66 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 67 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 68 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 69 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 70 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 71 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 72 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 73 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 74 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 75 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 76 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 77 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 78 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 79 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 80 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 81 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 82 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 83 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 84 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 85 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 86 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 87 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 88 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 89 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 90 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 91 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 92 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 93 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |

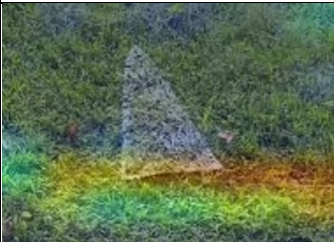
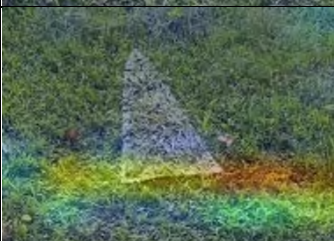
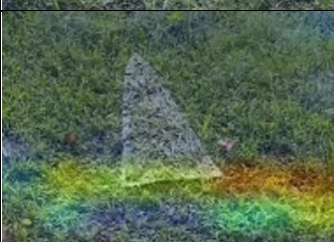
| 模式  | CNN |    |    |    |    |    | VGG-16 |    |    |    |    |    | VGG-19 |    |    |    |    |    |
|-----|-----|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|--------|----|----|----|----|----|
| 影格  | P1  | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P1     | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P1     | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 |
| 94  | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 95  | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 96  | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 97  | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 98  | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 99  | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 100 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 101 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 102 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 103 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | D  | D  | N  | N  | C  |
| 104 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 105 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 106 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 107 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 108 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 109 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 110 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 111 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 112 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 113 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 114 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 115 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 116 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 117 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 118 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 119 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 120 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 121 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 122 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 123 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 124 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 125 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 126 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 127 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 128 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 129 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |
| 130 | D   | D  | D  | D  | D  | D  | D      | R  | R  | D  | D  | D  | D      | N  | D  | N  | N  | C  |

表 4-13 假設影像模式觀注熱區-P1

| 影格  | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 50  |    |    |    |
| 60  |    |    |    |
| 70  |   |   |   |
| 80  |  |  |  |
| 90  |  |  |  |
| 100 |  |  |  |

| 影格  | CNN                                                                               | VGG-16                                                                             | VGG-19                                                                              |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 110 |  |  |  |
| 120 |  |  |  |

表 4 - 14 假設影像模式觀注熱區-P2

| 影格 | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 50 |   |   |   |
| 60 |  |  |  |
| 70 |  |  |  |
| 80 |  |  |  |

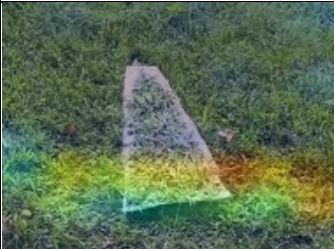
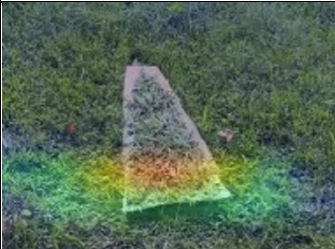
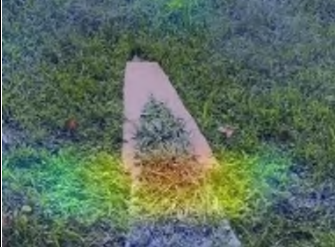
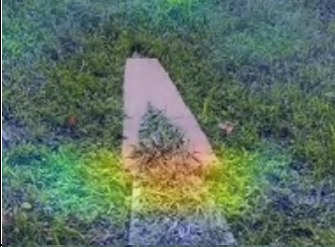
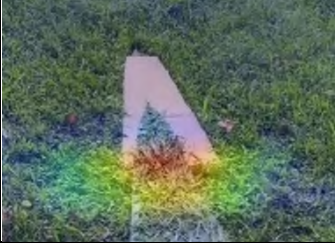
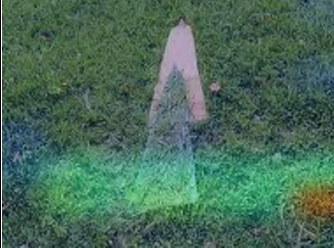
| 影格  | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 90  |    |    |    |
| 100 |    |    |    |
| 110 |    |    |    |
| 120 |  |  |  |

表 4 - 15 假設影像模式觀注熱區-P3

| 影格 | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 50 |  |  |  |
| 60 |  |  |  |

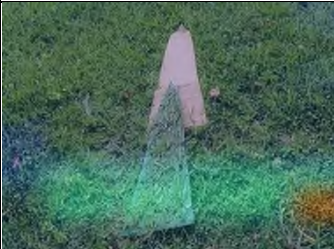
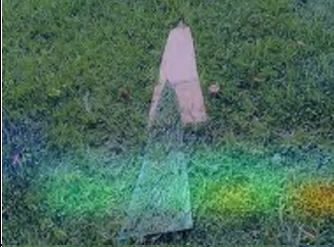
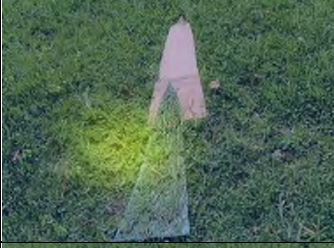
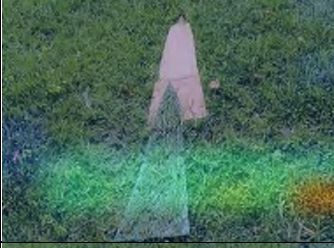
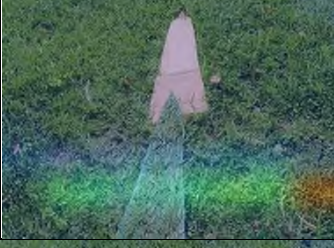
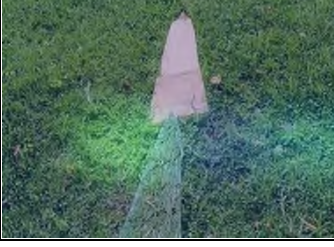
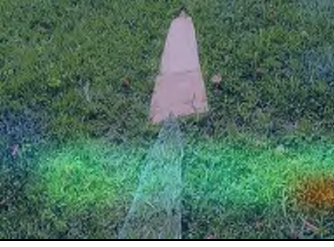
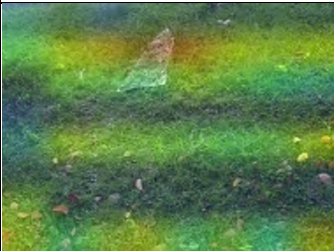
| 影格  | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 70  |    |    |    |
| 80  |    |    |    |
| 90  |    |    |    |
| 100 |  |  |  |
| 110 |  |  |  |
| 120 |  |  |  |

表 4-16 假設影像模式觀注熱區-P4

| 影格  | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 50  |    |    |    |
| 60  |    |    |    |
| 70  |   |   |   |
| 80  |  |  |  |
| 90  |  |  |  |
| 100 |  |  |  |

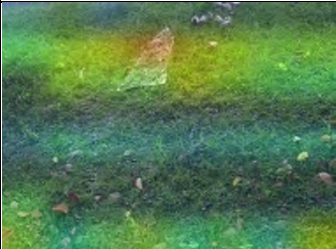
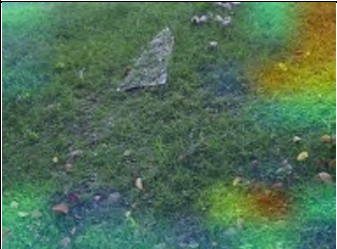
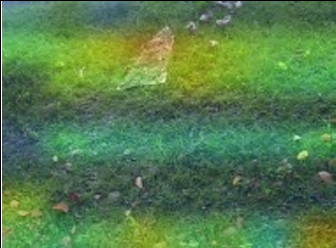
| 影格  | CNN                                                                               | VGG-16                                                                             | VGG-19                                                                              |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 110 |  |  |  |
| 120 |  |  |  |

表 4 - 17 假設影像模式觀注熱區-P5

| 影格 | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 50 |   |   |   |
| 60 |  |  |  |
| 70 |  |  |  |
| 80 |  |  |  |

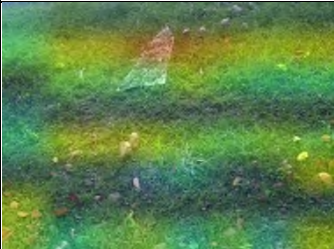
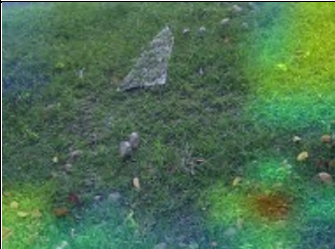
| 影格  | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 90  |    |    |    |
| 100 |    |    |    |
| 110 |    |    |    |
| 120 |  |  |  |

表 4 - 18 假設影像模式觀注熱區-P6

| 影格 | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 50 |  |  |  |
| 60 |  |  |  |

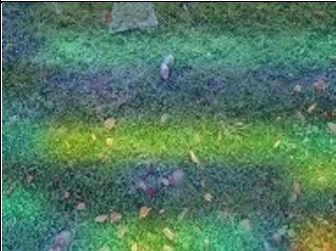
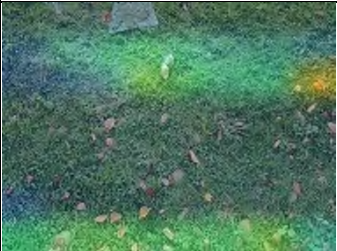
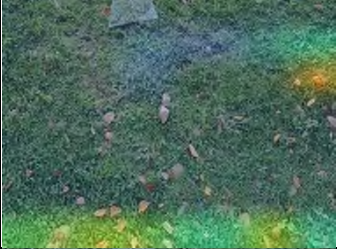
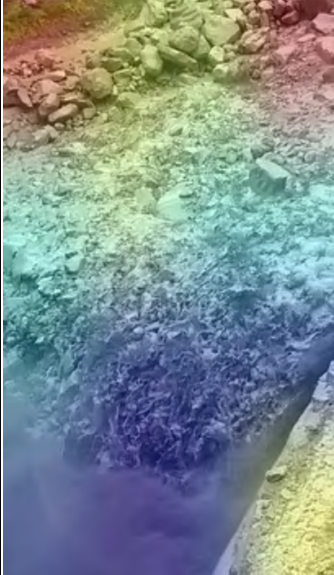
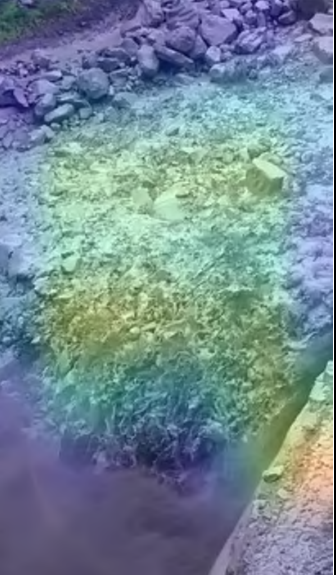
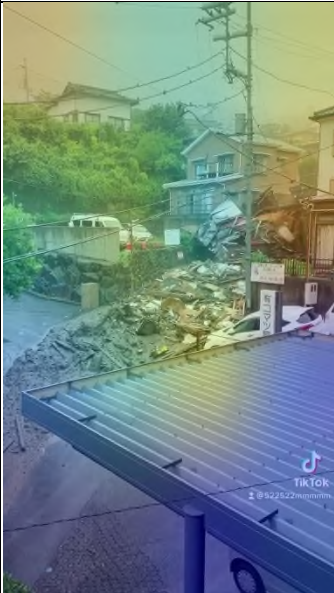
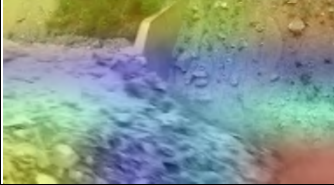
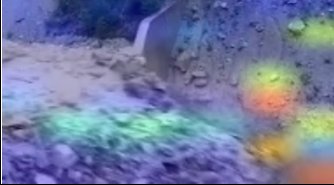
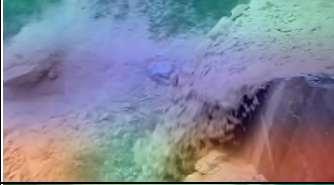
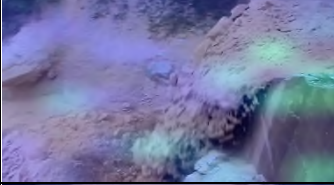
| 影格  | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 70  |    |    |    |
| 80  |    |    |    |
| 90  |    |    |    |
| 100 |  |  |  |
| 110 |  |  |  |
| 120 |  |  |  |

表 4-19 訓練樣本觀注熱區-土石流

| 樣本  | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| D01 |    |    |    |
| D02 |    |    |    |
| D03 |   |   |   |
| D04 |  |  |  |

| 様本  | CNN                                                                                 | VGG-16                                                                               | VGG-19                                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| D07 |    |    |    |
| D09 |   |   |   |
| D10 |  |  |  |
| D14 |  |  |  |
| D15 |  |  |  |
| D16 |  |  |  |



## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

本節將就本研究成果進行樣本面與模式面之總結，茲將分述於下：

#### 一、樣本面

由於本研究樣本多取自於網路影音，雖樣本內容具備多樣性，但在角度、距離、色彩等因素影響可能造成模式在學習時產生誤差，也就導致後續於驗證影像或假設影像時可能之誤判，這些誤判主要來自於模式所觀注之熱區特徵與學習時所建立之啟動特徵相仿，就容易產生誤解，但都還是能判定為坡地災害類別而非坡地災害。由此可知因拍攝時之角度、距離或色彩，都可能讓滑坡、土石流在某種層面上讓模式覺得是相似的，例如近距離拍攝的滑坡影像與土石流影像（如圖 5-1 所示）其所發生之影像區位、土石運動過程所產生的紋理特性對模式而言都具備了相似特性，因此易於混淆，這也是影像辨識中常遇到之問題，故通常會進行前處理進行影像資訊的轉換(例如小波轉換)再結合各式紋理特徵(例如灰階共伴隨矩陣)或邊緣偵測(SOBEL、CANNY)等資訊提升模式之辨識能力。

坡地災害影像具有稀少性，因此在樣本取得上較為困難，故本研究透過調樣的方式提升模式辨識能力，透過本研究結果證實其為可行，但本研究目前以較為簡易的擊中率作為訓練樣本挑選策略且受限於訓練樣本的質與量，故模式能力提升有限，後續可針對樣本內容與調樣策略上進行更進一步的研究與探討。



圖 5-1 滑坡與土石流

## 二、模式面

在本研究中以淺層(CNN)與深層(VGG-16、VGG-19)網路的卷積模型進行測試與比較，根據比較結果顯示淺層網路在訓練與測試的收斂速度最佳，在假設影像上的觀注熱區表現具有一致性且多著重於假設變異區位；深層網路在假設影像的觀注熱區表現上較無一致性且觀注熱區較淺層網路不穩定，此主要由於深層網路所萃取之特徵更細且更為敏感所導致。在訓練與測試評估中，以 CNN 最佳 VGG-16、VGG-19 次之，但就土石流的觀注熱區結果(如表 4-19)呈現，CNN 較與 VGG-16 較著重於靜態區域，而 VGG-19 較著重於動態區域，透過比較也可發現網路深度與其觀注範圍(或稱為專注力)是有差別的，CNN 的觀注熱區較為廣，但 VGG-19 則較觀注於某一區域，此主要說明網路深度對於影像細節的萃取程度差異性，此也證明模式的深度影響特徵的萃取能力與專注力，深淺度各有所優缺，因此後續可再測試其他更深層的(例如 ResNe)或是自行發展以坡地災害辨識為主之深度學習網路。

## 第二節 建議

本節就後續於坡地災害之樣本、模式精進方法及後續發展應用進行說明，茲將各分述於下：

### 一、樣本面

在樣本的建置上可分為多媒體影像與 CCTV 兩類，其中多媒體影像會因拍攝者所使用之器材、所在區域、氣候、安全性等因素影響其拍攝角度、穩定度，故如欲採用此類影像時建議在影像前處理穩定影像品質，將拍攝之內容聚焦於災害發生的區域，如此有易於模式的訓練；而 CCTV 影像雖也受限所在地區環境、使用之器材規格之影響，但其拍攝角度、距離固定，相較於多媒體影像所需之前處理幅度較少，缺點是樣本影像極為稀少且易受氣候、網路影響，故在樣本建置上建議透過網路影音為主、CCTV 為輔，兩者所拍攝之影像皆可提供模式訓練使用。

### 二、模式面

模式建置上，若採用現有深度學習架構可使用更深層模式(例如 ResNet)進行測試，若欲自行發展坡地災害模式，亦建議朝深層架構進行設計，在本研究中以單一網路進行多種坡地災害類別辨識，後續可將坡地災害類別進行各別訓練，即滑坡、落石、土石流各別進行網路訓練，再進行坡地災害類別的判斷，也是可發展之方向。

### 三、後續應用面

在後續應用上，由於本研究使用網路媒體影像及 CCTV 兩種，因此除了可針對 CCTV 進行監測外，對於網路媒體影像亦可達到一樣的功能。在 CCTV 應用上可透過網頁服務提供 CCTV

的線上即時監測，只要透過影像介接方式，將影像資訊導入模式之中即可完成，例如介接水土保持局觀測站資料展示平台中之觀測站影像，並即時給予辨識；在網路媒體上應用可更加廣泛，舉凡線上新聞、民眾上傳影像識別、大規模影像蒐整皆可應用，例如於颱風災害期間之線上新聞畫面內容監視，自動判斷新聞影像內是否具有坡地災害影像並自動顯像或擷錄、民眾上傳於各大論壇或媒體時，可進行初步過濾內容並予以篩選、承上兩者之結合應用可進行自動化坡地災害影像蒐集程序發展。

## 附錄

## 附錄一、期中審查意見回覆

| 委員    | 意見                                                             | 回覆                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 江介倫委員 | 1. 本案於期中進度已完成災害辨識模式之建立，且測試資料精準度可達90%以上，其中誤差矩陣之錯誤樣態可否歸納出可能誤判原因。 | 關於期中成果部分，本研究係以深度學習開發中常用之自由軟體機器學習庫 SKlearn 所提供之資料分割方法 (train_test_split) 進行系統隨機取 80% 樣本訓練與 20% 樣本測試，此方法以統計基礎進行樣本選取，在選取成果輸出中僅提供選取的樣本值及標籤，故較難以掌握訓練與測試樣本，也較難以進一步進行評估。因此本研究於期末成果中改以少量樣本的調樣方法，透過人工選樣進行樣本的選擇，此方法能夠更清楚瞭解所選擇的訓練樣本對於測試樣本的解釋能力，在誤判部分，本研究以 Grad-CAM 可視化模式訓練成果，對於模式訓練後的觀注區域進行探討，詳細探討如第四章所示，在探討中發現模式誤判與模式之觀注區域有密切關係，例如 CNN 與 VGG-16 模式主要著重於靜態區域，而 VGG-19 著重於動態區域，以假設滑坡影像為例，各模式所著重之區域有所 |

| 委員 | 意見                                                            | 回覆                                                                                                                             |
|----|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                                               | 異同，而觀注內之特徵與訓練所學之特徵相似時就可能產生誤判，因此如有後續研究將精進樣本的建立及模式特徵萃取能力。                                                                        |
|    | 2. 未來建議針對動態、靜態影像之品質(如解析度、光線、角度...等)條件對正確率的影響加以分析說明，以利後續之推廣應用。 | 感謝委員建議，由於本研究使用之影像多為民眾所拍攝，在拍攝角度上並非固定，因此難以歸納，但於後續研究可針對較固定之影像或係能夠取得更多由 CCTV 所拍攝之坡地災害影像時，便可進一步進行影像特性之歸納、比較與分析。                     |
|    | 3. 目前訓練樣本及測試樣本之來源是否屬於同一影片擷取出來?若是，建議測試不同影像來源，避免實際應用時之落差。       | 本研究模式所使用之影像片段有部分屬於同一影像，但大多來自於不同影像之來源所擷取下之片段，對於訓練影像之多樣性是足夠的，在本研究的測試成果中確實能夠達到一定的辨識能力，但若欲提升模式的穩健性仍需蒐集更多由 CCTV 所拍攝之坡地災害影像來進行模式的強化。 |
|    | 4. 欲正確判釋時，影像擷取之畫面是否有最低數量限制?                                   | 關於影像擷取頻率部分，在本研究成果中使用 15、20、25、30、40 及 50 進行測試，數字愈低表現取樣頻率愈低，在本研究成果所建置之模式中以最低 15 張影像為限，即影像至少要能擷取                                 |

| 委員    | 意見                                                         | 回覆                                                                                                                                                                                 |
|-------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                                                            | <p>15 張影像，而影像可擷取的影像張度，基本上可由每秒播放張數與影像長度相乘後取得，例如 10 秒影像，每秒播放速度為 30 張，即可擷取之影像為 300 張。在經過本研究測試後 CNN 最佳的辨識序列長度為 20 張、VGG-16 為 50 張、VGG-19 為 40 張，基本上需視模式與訓練資料而定，需多次測試才能取得適合模式的序列長度。</p> |
| 黃效禹委員 | <p>1. 表 3-1 開始及完成之日期年份錯誤；另建議增加已完成百分比之欄位，俾利瞭解工作進度。</p>      | <p>1.感謝委員的指正，已修正完畢。<br/>2.於表 3-1 下方原先已有標註當月預定進度(%)及累積預計進度(%), 本研究再加列實際累積進度，本研究已於期中繳交時完成之進度已達 74%，於期末報告繳交時本研究進度已達 100%且提前 1 個月完成所有項目。</p>                                           |
|       | <p>2. P4-25，提及落石與滑坡之辨識較有影格辨識跳動的情形，是否跟其發生規模、運動形態不易區分有關？</p> | <p>關於期中成果所述之影格辨識跳動情形，根據本研究觀察結果主要係因災害發生的過程可能具有不同的形態轉換，以本研究為例在滑坡發生過程可能先產生落石再進行滑坡運動，待主體運動趨緩後會再有零星之落石發生，至完全穩定則回至非坡地災害運動形態，當模式可正確辨識時就會在</p>                                             |

| 委員    | 意見                                                   | 回覆                                                                                                                                                                              |
|-------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                                                      | <p>落石、滑坡與正常的類別間跳動，因此屬正常現象，也是證明模式的可行性。</p> <p>另，災害規模或運動形態不明而產生之誤漏辨也是有可能的，本研究多使用民眾所拍攝的坡地災害時序影像，在拍攝角度、距離、光線等不確定因子的影響下，可能導致模式在特徵萃取上會與定點拍攝之測試影像有所差異，因此會產生誤漏判之情形。</p>                 |
|       | 3. 利用現有各單位產製 CCTV 影像來做影像判釋，其品質參差不齊，未來如何使其判釋得到較一致準確性？ | <p>關於 CCTV 影像品質部分，在本研究所取用之 CCTV 影像基本上都超過本研究模式所需之 128*128 之大小，因此只要取得之 CCTV 影像大於模式所需影像大小，基本上對模式的訓練影響程度不大，但若所取得之影像小於模式所需之需求時，在進行尺度伸縮運算時運用內差運算放大會導致影像失真或產生鋸齒狀時，對於模式的訓練會產生一定的影響。</p> |
| 陳振宇委員 | 1. 本研究採用之模式在判識時至少需 20 格影格方能啟動辨識運算，惟水保局觀測站之影像         | <p>在本研究中模式的辨識運算確實需在累積一定的影格數後方才啟動，其主要是指在模式初始狀態下所需的資料前置作業，但在實際操作上模式是持續性的在進行影像蒐集與監測，因此</p>                                                                                         |

| 委員 | 意見                                                               | 回覆                                                                                                                                                                                                                                           |
|----|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>係 30 秒 1 張，輪播 5 分內之影像，亦即總計才 10 張，是否表示無法使用此計畫之成果？</p>          | <p>在模式開始啟算後除非中止監測，不然都是處於啟算狀態。根據本研究解析水保局所提供之監測系統係能夠持續性取得 30 秒 1 張之影像資訊，30 秒 1 張影像對於土石流此類較長延時之坡地災害而言係足以提供辨識所需之影格量，但在滑坡或落石部分等較短延時災害的辨識較難以達到模式需求，當初設計已有考量水保局與公路總局所提供之 CCTV 影像特性(如表 2-1、表 2-2 所示)，水保局所提供之 CCTV 主要進行土石流監測，而落石與滑坡部分，主要係以公路總局為主。</p> |
|    | <p>2. P2-16，圖片標籤係 1 秒一張方式，惟有些落石事件前後可能不到 5 秒，如此是否也能作為訓練或辨識運算？</p> | <p>關於 P2-16 所提供之影格資訊為靜態影像模式所需設定之標籤範例，在本研究中落石影像主要多為民眾所拍攝之影片，其每秒的影格數(FPS)多大於 20，因此在訓練或測試樣本影格的擷取上是沒有問題的，但於實際應用上會因受限 CCTV 影像發布單位所提供之頻率，此非本研所能控制，故僅能進行設備提升上的建議，本研究後續也將持續進行較長延時影像的研究，在硬體設備與軟體模式之間取得平</p>                                           |

| 委員 | 意見                                           | 回覆                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                                              | 衡，以符合實際應用需求。                                                                                                                                                                                                                                         |
|    | 3. 本研究成果屬「事發型」偵測，未來的應用情境建議於結論與建議章節，可再多加具體描述。 | 感謝委員建議，本研究根據成果於結論與建議中具體描述模式其限制與可應用情境，由於本研究目前所使用的樣本多來自於網路所擷錄之影像，因此除了可應用於 CCTV 影像外，對於網路媒體影像亦可進行是否為坡地災害影像的辨識。在模式穩健前題之下，此應用可於平時或防汛期間大規模進行網路爬蟲，自動辨識民眾所發布之影像是否具有坡地災害特徵並予以儲存，必要時可由人工或自動化歸類於坡地災害資料庫，另一方面也可應用於土石流防災資訊網中，提供民眾上傳所拍攝之坡地災害影像並藉由影像辨識機制初步過濾非坡地災害影像。 |

## 附錄二、期末審查意見回覆

| 編號 | 意見                                                                      | 回覆                                                                                                                                                     |
|----|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 建議持續精進，俾未來納入相關業務應用。                                                     | 感謝委員肯定，本研究團隊定全力發展並精進，使本研究成果得以實踐應用現。                                                                                                                    |
| 2  | 因災害發生影像取得不易，可否以室內實驗模擬土石流或崩塌影像，大量增加影像資料。                                 | 在本研究操作經驗上並不建議實驗模擬方式取得影像，其一成本高，其二取得樣本數有限。本研究建議持續蒐整線上影音多媒體及側錄現有 CCTV 影像，藉以取得真實坡災影像及擴充現有影像資料庫。                                                            |
| 3  | 土石流災害發生通知在夜間，影像大多呈現黑白，在辨識上是否會影響結果？                                      | 在未來可透過明亮度調整並測試模式的物理極限，落石部分可區分為滾/崩落與飛落兩種，惟飛落類型在現有 CCTV 影像上是較難以補捉。                                                                                       |
| 4  | 受限網路訊號，現場監測之 CCD 影像回傳影像時距較長，是否有建議最低的影像回傳時間間距？另影像之 fps 是否有最低限制，對於 AI 辨識？ | 在影像回傳時間間距部分，對於長延時災害(土石流)較無影響，但對於短延時之災害(落石、滑坡)可能會有遺漏判的問題，在理想狀況下建議以 1 秒為佳。同上回應，本研究模式在 fps 上無限制，但要能補捉落石等短延時災害建議至少每秒能有 1 格畫面。未來可朝軟、硬體整合進行終端系統設計，以減少影像傳輸需求。 |



## 參考文獻

1. 吳志泓、曾建濤、林孟緯、葉庭瑄、蕭一豪、羅世瑋、林芳邦、林信宏、常若愚，” 針對特定已知比例尺之標的物影像辨識進行淹水深度估算之方法” ，中華民國發明專利，專利字號：發明第 I720644 號，專利權期間自 2021 年 3 月 1 日至 2039 年 10 月 7 日止。
2. 胡舒閔、陳明源、羅佳明，2014，” 影像感測技術於邊坡運動監測之適用性初探” ，中華水土保持學報，第四十五卷，第一期，27-35 頁。
3. 陳柏蒼、李彥德，” 利用圖形辨識量測水位之方法及其系統” ，中華民國發明專利，專利字號：發明第 I690859 號，專利權期間自 2020 年 4 月 11 日至 2038 年 9 月 9 日止。
4. 黃國豪、黃效禹、林建良，2020，” 智慧型水位辨識結合物聯網應用於土石流防災監測” ，土木水利，第四十七卷，第三期。
5. 顏呈仰，2010，” TDR 監測系統與傳統監測方式應用於邊坡坡體滑動之比較” ，三聯技術雜誌，第 2-6 頁。
6. 蘇元風、張志新、陳宏宇，” 山區洪水偵測方法” ，專利證號：I650529，2019 年 2 月 11 日取得。

7. A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, “ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks”, in F. Pereira; C. J. C. Burges; L. Bottou & K. Q. Weinberger, ed., 'Advances in Neural Information Processing Systems 25' , Curran Associates, Inc., , pp. 1097—1105, 2012.
8. C. Shiranthika, N. Premakumara, H. -L. Chiu, H. Samani, C. Shyalika and C. -Y. Yang, "Human Activity Recognition Using CNN & LSTM," 2020 5th International Conference on Information Technology Research (ICITR), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICITR51448.2020.9310792.
9. D.J. Varnes, “Slope movement types and processes”. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) Landslides, analysis and control, special report 176: Transportation research board, National Academy of Sciences, Washington, DC., pp. 11–33, 1978.
10. I. Salian, NVIDIA Research Achieves AI Training Breakthrough Using Limited Datasets , <https://blogs.nvidia.com/blog/2020/12/07/neurips-research-limited-data-gan/>, 2020.
11. J. Donahue et al., "Long-term recurrent convolutional networks for visual recognition and description," 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2015, pp. 2625-2634, doi: 10.1109/CVPR.2015.7298878.
12. C.H. Kuo, Y.H. Chou, and P.C. Chang, “Using Deep Convolutional Neural Networks for Image Retrieval,” Electronic Imaging, 2016. 2016(2): p. 1-6.
13. M. D. Nguyen, H. N. Vu, D. C. Pham, B. Choi and S. Ro,

- "Multistage Real-Time Fire Detection Using Convolutional Neural Networks and Long Short-Term Memory Networks," in IEEE Access, vol. 9, pp. 146667-146679, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3122346.
14. R. R. Selvaraju, M. Cogswell, A. Das, R. Vedantam, D. Parikh and D. Batra, "Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization," 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017, pp. 618-626, doi: 10.1109/ICCV.2017.74.