

114-016-7D85
MOTC-IOT-113-H1CA001d

UAV 結合深度學習輔助公路局 邊坡災防應用探討



交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

114-016-7D85
MOTC-IOT-113-H1CA001d

UAV 結合深度學習輔助公路局 邊坡災防應用探討

著者：黃宇謙、胡啟文

交通部運輸研究所

中華民國 114 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討 / 黃宇謙, 胡啟文著. -- 初版. -- 臺北市: 交通部運輸研究所, 民 114.03

面; 公分

ISBN 978-986-531-652-5(平裝)

1.CST: 公路管理 2.CST: 道路安全 3.CST: 遙控飛機 4.CST: 人工智慧

557

114001742

UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

著 者: 黃宇謙、胡啟文

出版機關: 交通部運輸研究所

地 址: 105004 臺北市松山區敦化北路 240 號

網 址: www.iot.gov.tw (中文版 > 數位典藏 > 本所出版品)

電 話: (04)2658-7200

出版年月: 中華民國 114 年 3 月

印 刷 者: 綠凌興業社

版(刷)次冊數: 初版一刷 48 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價: 200 元

展 售 處:

交通部運輸研究所運輸科技及資訊組 • 電話: (02)2349-6789

國家書店松江門市: 104472 臺北市中山區松江路 209 號 • 電話: (02)2518-0207

五南文化廣場: 400002 臺中市區中山路 6 號 • 電話: (04)2226-0330

GPN: 1011400205 ISBN: 978-986-531-652-5 (平裝)

著作財產權人: 中華民國 (代表機關: 交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利, 欲利用本著作全部或部分內容者, 須徵求交通部運輸研究所書面授權。

GPN : 1011400205
定價 200 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

| | | | |
|--|-------------------------|----------------------------|--|
| 出版品名稱：UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討 | | | |
| 國際標準書號(或叢刊號) ISBN 978-986-531-652-5(平裝) | 政府出版品統一編號 1011400205 | 運輸研究所出版品編號 114-016-7D85 | 計畫編號 MOTC-IOT-113-H1CA001d |
| 本所主辦單位：運輸技術研究中心 主管：蔡立宏 計畫主持人：黃宇謙 研究人員：胡啟文 聯絡電話：04-2658-7119 傳真號碼：04-2657-1329 | | | 研究期間 自 113 年 01 月 至 113 年 12 月 |
| 關鍵詞：公路邊坡、無人飛行載具(UAV)、人工智慧(AI)、深度學習、影像辨識、防災應用 | | | |
| 摘要： 交通部施政計畫重點項目之一為「強化智慧應用，提升運輸效率」，提出應加強結合 5G、AI 等新興科技應用，實現智慧交通數位轉型；2020 年版運輸政策白皮書提出「應用 AI、UAV 及遙測技術於鐵公路巡檢或監測」為重點之行動方案，爰此，於 111 年提出「多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探」2 年期計畫，並已完成多時期多尺度空拍影像(如衛星、航照、UAV)結合深度學習技術於公路邊坡地貌變異判識之適用性及應用性探討。 本計畫以前期研究基礎上，聚焦於UAV結合AI進行落石型邊坡破壞特徵影像判識之探討，主要研究成果計有：(1)蒐集國內外UAV結合AI於邊坡之相關研究文獻；(2)諮詢專家學者及邊坡管理實務單位；(3)調查公路局邊坡應用UAV情形及維護管理機制；(4)探討AI深度學習技術；(5)研析UAV結合AI深度學習影像判識方法。 | | | |
| 研究成果效益： 本計畫探討UAV、AI等新興科技及技術，能切合現行公路邊坡維護管理機制與防災流程，輔助公路局邊坡災防實務應用。 | | | |
| 提供應用情形： 研究成果提供公路局於公路邊坡管理及災防應用，以及本所道路邊坡及AI相關研究後續探討。 | | | |
| 出版日期 | 頁數 | 定價 | 本出版品取得方式 |
| 114 年 3 月 | 170 | 200 | 凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。 |
| 備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。 | | | |

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

| | | | |
|--|--|-----------------------------------|---|
| TITLE: Exploring the Application of UAV Combined with Deep Learning for Slope Disaster Prevention in Highway Bureau Operations | | | |
| ISBN (OR ISSN) 978-986-531-652-5 (pbk) | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1011400205 | IOT SERIAL NUMBER 114-016-7D85 | PROJECT NUMBER MOTC-IOT-113-HICA001d |
| DIVISION: Transportation Technology Research Center DIVISION DIRECTOR: Li-Hung Tsai PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yu-Cian Huang PROJECT STAFF: Chi-Wen Hu PHONE: 04-2658-7119 FAX: 04-2657-1329 | | | PROJECT PERIOD From January 2024 To December 2024 |
| KEY WORDS: Highway Slopes, Unmanned Aerial Vehicles (UAV), Artificial Intelligence(AI), Deep Learning, Image Recognition, Disaster Prevention Applications | | | |
| <p>Abstract:</p> <p>One of the key projects in the Ministry of Transportation's policy plan focuses on "enhancing intelligent applications to improve transportation efficiency," emphasizing the integration of emerging technologies such as 5G and AI to achieve digital transformation in smart transportation. The 2020 edition of the Transportation Policy White Paper identified "the application of AI, UAV, and remote sensing technologies for railway and highway inspections or monitoring" as a priority action plan. Consequently, a two-year project titled "A Preliminary Study on the Deep Learning Applied to Geomorphological Identification of Slope by Multi-Phase and Multi-Scale Images" was proposed in 2022. The project has successfully explored the applicability and feasibility of integrating multi-temporal and multi-scale aerial imagery (such as satellite, aerial photography, and UAV) with deep learning technologies for identifying geomorphological changes in highway slopes.</p> <p>Building on the foundation of previous research, this project focuses on exploring the use of UAV combined with AI for image recognition of rockfall-type slope failure characteristics. The main research outcomes include: (1) collecting domestic and international literature on the application of UAV combined with AI in slope management; (2) consulting experts, scholars, and practitioners in slope management; (3) investigating the utilization of UAV and maintenance management mechanisms for slopes by the Highway Bureau; (4) examining AI deep learning technologies; and (5) analyzing methods for integrating UAV with AI deep learning for image recognition.</p> <p>Benefits of Research Results:</p> <p>This project explores how emerging technologies such as UAV and AI can align with the current highway slope maintenance management mechanisms and disaster prevention processes, supporting the practical applications of the Highway Bureau in slope disaster prevention.</p> <p>Application Availability:</p> <p>The research outcomes provide the Highway Bureau with applications for highway slope management and disaster prevention, while also contributing to follow-up discussions on highway slope and AI-related research of our institute.</p> | | | |
| DATE OF PUBLICATION Mar. 2025 | NUMBER OF PAGES 170 | PRICE 200 | |
| The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications. | | | |

UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

目 錄

| | |
|---------------------------------|------------|
| 中文摘要..... | I |
| 英文摘要..... | II |
| 目 錄..... | III |
| 圖目錄..... | V |
| 表目錄..... | VII |
| 第一章 緒論..... | 1-1 |
| 1.1 研究動機 | 1-1 |
| 1.2 研究目的 | 1-1 |
| 1.3 研究範圍及對象 | 1-2 |
| 1.4 研究內容及工作項目 | 1-2 |
| 第二章 文獻回顧 | 2-1 |
| 2.1 UAV 應用於邊坡相關研究..... | 2-1 |
| 2.2 UAV 結合 AI 應用於邊坡相關研究 | 2-5 |
| 2.2.1 機器學習 | 2-5 |
| 2.2.2 深度學習..... | 2-9 |
| 第三章 公路局邊坡現況與維護管理機制 | 3-1 |
| 3.1 公路局邊坡現況 | 3-1 |
| 3.2 公路局邊坡維護管理機制 | 3-3 |
| 第四章 AI 深度學習技術探討 | 4-1 |
| 4.1 AI 深度學習 | 4-1 |
| 4.2 卷積神經網路(CNN) | 4-2 |
| 4.3 生成式 AI(Generative AI) | 4-8 |

| | |
|---------------------------------------|--------------|
| 4.4 小結 | 4-17 |
| 第五章 UAV 結合 AI 深度學習影像判識方法 | 5-1 |
| 5.1 影像取得 | 5-1 |
| 5.2 影像處理與加值產出 | 5-3 |
| 5.3 AI 應用之切入 | 5-11 |
| 第六章 結論與建議 | 6-1 |
| 6.1 結論 | 6-1 |
| 6.2 建議 | 6-5 |
| 6.3 成果效益與應用 | 6-5 |
| 6.4 提供政府單位應用情形 | 6-5 |
| 參考文獻..... | 參-1 |
| 附錄一 專家學者及實務單位諮詢紀錄..... | 附 1-1 |
| 附錄二 專家學者座談會會議紀錄..... | 附 2-1 |
| 附錄三 第 1 次工作會議紀要..... | 附 3-1 |
| 附錄四 第 2 次工作會議紀要..... | 附 4-1 |
| 附錄五 第 3 次工作會議紀要..... | 附 5-1 |
| 附錄六 期末報告審查意見處理情形表..... | 附 6-1 |
| 附錄七 期末報告簡報資料..... | 附 7-1 |

圖目錄

| | |
|---|------|
| 圖 2.1 地滑常見地表特徵 | 2-2 |
| 圖 2.2 比對現地岩坡四種坡壞型態於不同季節之表面溫度 | 2-4 |
| 圖 2.3 利用 RANSAC 演算法識別模型結構面 | 2-6 |
| 圖 2.4 標註海綿狀風化區域並區分成訓練和測試資料集 | 2-8 |
| 圖 3.1 UAV 飛航規劃 | 3-8 |
| 圖 3.2 多期三維影像套疊比對分析邊坡變位 | 3-8 |
| 圖 3.3 公路局 UAV 科技巡檢應用與分析 | 3-11 |
| 圖 3.4 公路局使用 UAV 搭載 LiDAR 建立邊坡 DEM | 3-12 |
| 圖 3.5 公路局落石微地動監測儀器結合 AI 於邊坡之防災應用 | 3-14 |
| 圖 4.1 深度神經網路模型分層示意 | 4-2 |
| 圖 4.2 類神經網路神經元運作模式 | 4-3 |
| 圖 4.3 卷積運算過程示意圖 | 4-3 |
| 圖 4.4 池化運算過程示意圖 | 4-4 |
| 圖 4.5 池化結果經全連接層示意圖 | 4-5 |
| 圖 4.6 R-CNN 物件偵測流程 | 4-6 |
| 圖 4.7 YOLO 物件偵測流程 | 4-7 |
| 圖 4.8 監督式學習流程示意圖 | 4-8 |
| 圖 4.9 非監督式學習流程示意圖 | 4-9 |
| 圖 4.10 一般神經網路模型和 RNN 之結構比較 | 4-11 |
| 圖 4.11 LSTM 運作原理示意圖 | 4-12 |
| 圖 4.12 Transformer 模型架構 | 4-14 |
| 圖 4.13 生成式 AI 模型應用領域 | 4-14 |
| 圖 4.14 GPT 模型架構 | 4-15 |
| 圖 5.1 相機焦距、像素、UAV 航高與 GSD 之幾何關係 | 5-3 |

| | |
|------------------------------------|------|
| 圖 5.2 編碼標與其設置情形 | 5-6 |
| 圖 5.3 邊坡影像拼接圖(左)及正射影像(右)..... | 5-7 |
| 圖 5.4 UAV 影像蒐集、處理並輸出流程..... | 5-9 |
| 圖 5.5 原始邊坡影像(左)及正射影像(右)..... | 5-10 |
| 圖 5.6 原始邊坡影像(上)及點雲模型(下)..... | 5-10 |
| 圖 5.7 邊坡正射影像(左)及 DSM(右) | 5-11 |
| 圖 5.8 由專業人員應用多時期空拍影像判識邊坡災害特徵 | 5-12 |
| 圖 5.9 由專業人員應用點雲模型判識邊坡浮石危害 | 5-13 |
| 圖 5.10 應用 DSM 判識邊坡崩塌面積與量體變異..... | 5-15 |
| 圖 6.1 應用 AI 整體流程 | 6-2 |
| 圖 6.2 進行邊坡空拍影像結合深度學習之工作流程規劃 | 6-4 |

表 目 錄

| | |
|---------------------------------------|------|
| 表 3-1 公路局各工務段曾經或正在應用 UAV 空拍之邊坡 | 3-1 |
| 表 3-2 公路局邊坡之定性分級制度 | 3-4 |
| 表 3-3 公路局邊坡之 RHRS 定量評估制度..... | 3-5 |
| 表 3-4 公路局自然邊坡特別檢測表 | 3-9 |
| 表 3-5 公路局各級邊坡不同情境處置方式 | 3-10 |
| 表 3-6 公路局 UAV 應用案例各分類適用性比較表 | 3-12 |
| 表 4-1 語意分割和實例分割之比較 | 4-6 |
| 表 4-2 生成式 AI 和分辨式 AI 差異比較 | 4-9 |
| 表 4-3 GPT 模型各版本比較..... | 4-16 |
| 表 5-1 常見攝影測量軟體比較 | 5-4 |
| 表 5-2 點雲模型和 DSM 應用比較 | 5-8 |
| 表 5-3 不同岩體類型之連續面狀況與性質 | 5-14 |
| 表 5-4 分辨式和生成式 AI 於落石型邊坡應用場景適用性整理..... | 5-16 |
| 表 6-1 UAV 影像及加值產品於邊坡應用場景適用性整理 | 6-1 |

第一章 緒論

1.1 研究動機

交通部運輸研究所(以下簡稱本所)108 年利用無人飛行載具快速取得邊坡影像資料，並透過近景攝影測量技術將影像資料轉成邊坡表面三維模型，經由多時序模型套疊，瞭解邊坡表面的變遷趨勢，提供公路邊坡維護管理單位一個簡便、快速、低成本的道路邊坡巡檢技術，並落實科技巡檢，提高邊坡巡檢效能，惟受限影像成像之特性，研究成果目前適用於裸露型(無植被覆蓋)邊坡或護坡設施之巡檢作業，有其局限性，較無法全面適用所有類型邊坡檢測使用。

本所基於過往研究基礎並配合交通部施政計畫「強化智慧應用，提升運輸效率」，揭橥應加強結合 5G、AI 等新興科技應用，實現智慧交通數位轉型；2020 年版運輸政策白皮書提出「應用 AI、UAV 及遙測技術於鐵公路巡檢或監測」為重點之行動方案，111 年開始辦理「多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探」自行研究計畫，探討多時期之多尺度空拍影像(如衛星、航照、UAV)結合深度學習技術於公路邊坡地貌變異判識之適用性及應用性，並已針對航拍技術、人工智慧應用於影像辨識技術及多時期多尺度空拍影像取得管道等完成初步探討。112 年藉由實務訪談，深入瞭解現行公路維護管理單位之邊坡維護管理流程，並蒐集各式 AI 深度學習模型應用於邊坡之相關案例及文獻，並確立合適之空拍影像類別、處理方法等，以利後續應用 AI 深度學習技術進行影像辨識。

然而，AI 訓練需龐大的資料數量，方能達到較好的精度與成效，且應用單位蒐集邊坡空拍影像及相關數位圖資後，多利用人為專業進行邊坡變異判識後產出報告，或雖有與外單位合作進行加值研究，然囿於人力資源有限和本身業務繁忙，無法長時挹注研究量能。爰此，本所考量空拍影像資料量、適用之邊坡破壞類型及地點等因素，於今(113)年提出「UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討」自行研究計畫。

1.2 研究目的

本計畫研究目的係探討公路局現已蒐整豐富之 UAV 空拍資料，其如何結合 AI 深度學習影像判識技術，輔助邊坡災防之應用，藉以提升邊坡巡檢量能及效能，並使新興科技及技術能切合現行公路局邊坡維護管理機制與防災流程，輔助公路局邊坡災防實務應用，亦達成本所支援各運輸系統技術與研發創新之目標。

1.3 研究範圍及對象

本計畫研究範圍主要為邊坡 UAV 空拍影像結合 AI 深度學習影像辨識技術，以支援邊坡維護管理與防災流程之應用，研究對象為公路局及其轄管邊坡。

1.4 研究內容及工作項目

本計畫以 1 年期程執行，期程自 113 年 1 月 1 日至 113 年 12 月 31 日止，共計 12 個月，研究內容及工作項目如下：

1. 文獻回顧

經由蒐集 UAV 結合 AI 深度學習應用於邊坡等相關案例及國內外文獻，瞭解現今發展技術進程和可支援之套裝軟體。

2. 專家學者及公路局訪談

辦理專家學者座談，以及訪談公路局管理實務單位，瞭解 UAV 結合 AI 支援其邊坡維護管理與防災流程之專業見解。

3. 邊坡維護管理機制及防災流程探討

探討公路局現有邊坡維護管理機制及防災流程，瞭解 UAV 結合 AI 實務應用之切入點。

4. 邊坡資訊調查及資料蒐集

針對公路局轄管邊坡場址進行基本資料、災害類型、監測手段等調查、蒐集及整理。

5. UAV 結合 AI 深度學習影像判識方法研析

研析 UAV 影像資料結合 AI 深度學習進行影像判識所適用之場址條件、影像解析度、控制點佈設及定位等工作，並進行實際災防應用之規劃。

第二章 文獻回顧

2.1 UAV 應用於邊坡相關研究

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)已經廣泛使用於邊坡調查及檢監測工作，相較於傳統載具，UAV 具有運用彈性大、可及性高、遠端操作和支援裝備少的優勢，雖飛手仍須具備相關操作證照，並需要於飛航前需配合當地飛行法規進行工作前置準備及範圍申請，但相比其他航測技術，其取得及操作成本和門檻相對較低，故目前大量被政府單位及個人業餘玩家進行空拍活動之使用。

目前商用 UAV 擁有航線規劃、智能飛行、避障等功能，並具備慣性測量單元(Inertial measurement unit, IMU)自動穩定機身，機上可搭載高精度光學鏡頭、熱顯像、紅外線等酬載，若為精確定位及測繪，可使用地面控制點加上即時動態定位技術(Real Time Kinematic, RTK)、動態後處理定位技術(Post Processed Kinematic, PPK)，產製高精度之邊坡空拍圖、正射影像，或可利用視覺攝影測量(Visual Photogrammetry)完成三維建模，取得數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)，以對後續邊坡管理等工作做加值應用。

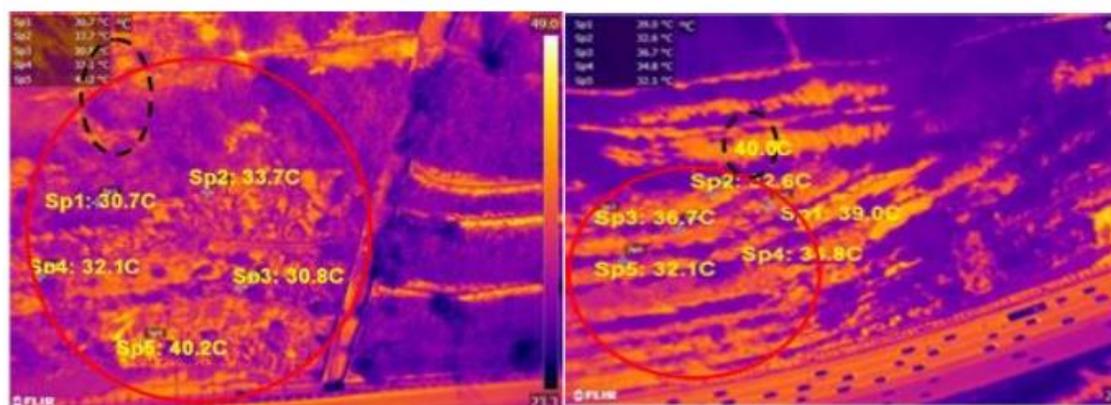
Abdulla Al-Rawabdeh 等 5 人(2016)^[1]利用 UAV 搭配半全域匹配(Semi-Global Matching, SGM)技術——一種用於從多個影像中，透過尋找像素間對應關係來重建 3D 點雲模型之處理方法。來進行邊坡影像、地形特徵取得並進行滑動識別和發展趨勢分析。

該研究用於識別的邊坡地形特徵主要包括：(1)滑坡頂(冠)部的張力裂紋；(2)坡體主坍塌半圓形之滑動痕跡及坡度變化；(3)坡趾堆積及皺褶等等(如圖 2.1)。在邊坡地形特徵之識別方法，該研究分別利用主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)、坡度變化分析和地形表面粗糙度指數進行交互驗證，最後再利用均方根誤差評估前述 3 種方法於自動識別與手動圈繪之滑坡地表特徵間的精準度，結果顯示差異皆可達公分級。

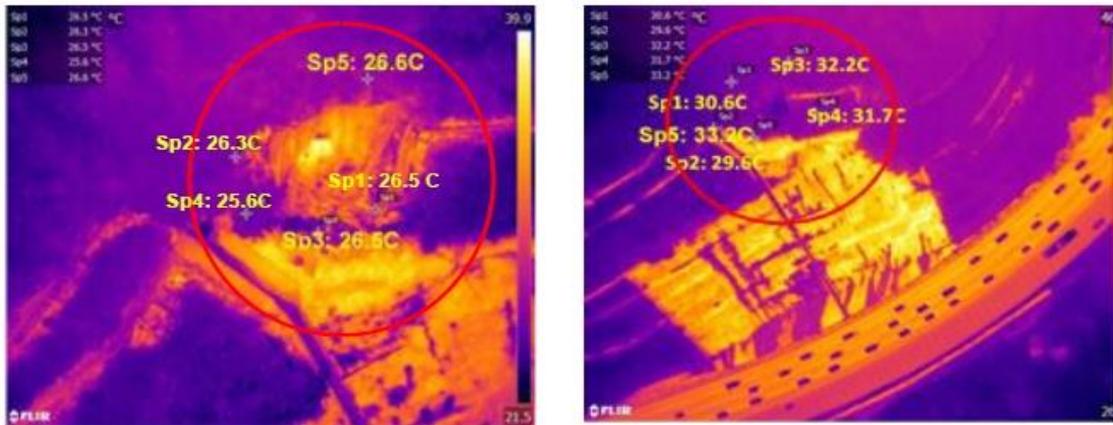
該研究說明 UAV 提供的詳細影像資料集模型，可用來確定如節理的走向、間距、開放度、粗糙度以及岩石的其它表面特徵因子，而此皆為 Q-slope 必要的評估參數。此外，該研究提及 UAV 的使用降低了地質調查的風險和成本，提高了數據收集的效率和安全性。

Muhammad Latifi Mohd Yaacob 等 11 人(2022)^[4]利用 UAV 搭載熱顯像儀來監測岩坡表面之溫度分佈，並比較兩種不同季節(乾季、濕季)藉此評估其穩定性，研究結果顯明在較冷的表面溫度下岩坡穩定性較差，較常發生岩坡破壞(研究結論表示特別為楔形和傾倒破壞)。

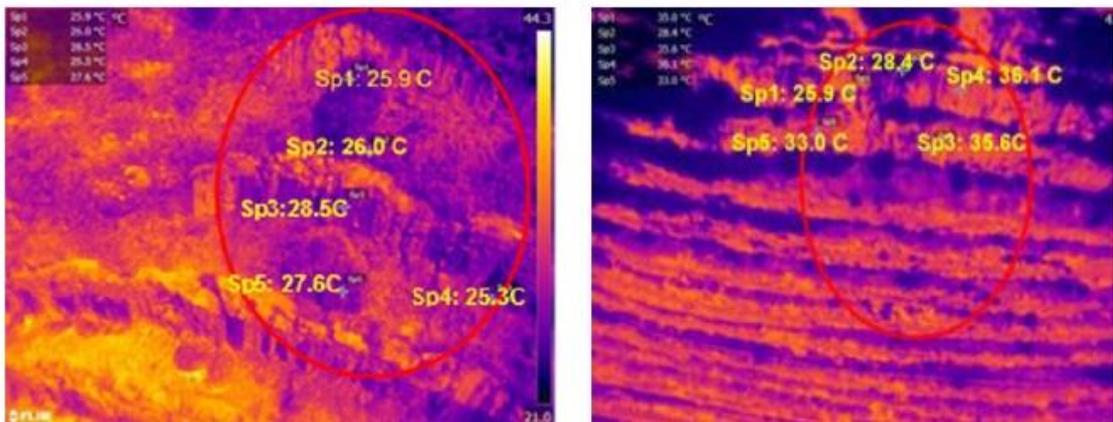
該研究進行了兩階段之岩坡資料蒐集(地點位於馬來西亞)，並將獲得之邊坡熱顯像影像經軟體生成點雲和 DSM，再進行影像處理，包含：點雲密集化、影像分組、點雲過濾和 3D 紋理網格設置等，最後，以視覺化方式呈現岩石邊坡表面之熱指數地圖。接著，針對岩坡表面的溫度範圍進行解析，該研究表示，若溫差越大，岩石可能會因膨脹收縮產生應力累積，導致不穩定，此外，溫度低亦可能係水滲入岩石導致，含水量及孔隙水壓與坡體穩定息息相關，而植被覆蓋也是造成坡面溫度差異的可能，故其將岩坡表面溫度區域進行分割並加以分析，並比對現地岩坡四種破壞型態(平面、楔形、頂部和圓形破壞)之區域(如圖 2.2，紅色圓圈標記處)，結果顯示在熱帶氣候下，涼爽的溫度更容易導致岩坡失穩。



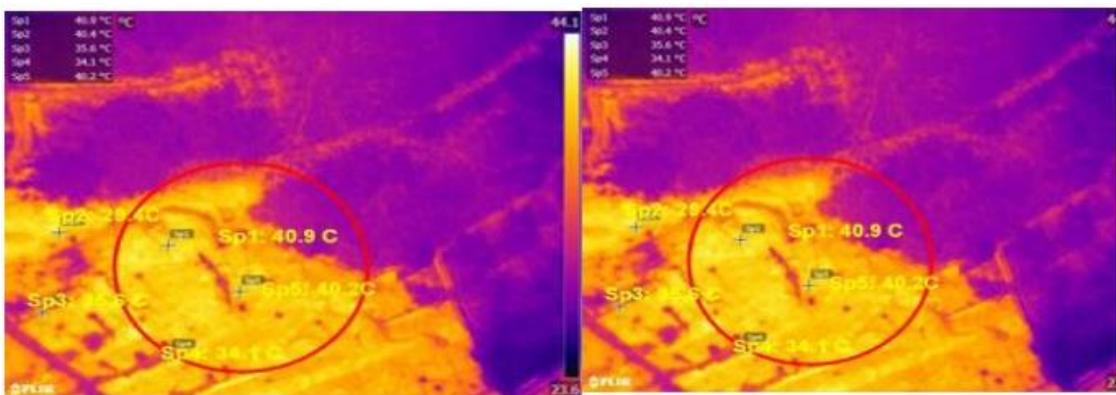
(a) 岩坡平面破壞處溫度(左)乾季(右)雨季(虛線黑圈處表示破壞時有張力裂縫之產生)



(b) 岩坡楔形破壞處溫度(左)乾季(右)雨季



(c) 岩坡頂部破壞處溫度(左)乾季(右)雨季



(d) 岩坡圓形破壞處溫度(左)乾季(右)雨季

資料來源：Investigation of Rock Slope Stability Using Drone-Based Thermal Sensor. [4]

圖 2.2 比對現地岩坡四種破壞型態於不同季節之表面溫度

2.2 UAV 結合 AI 應用於邊坡相關研究

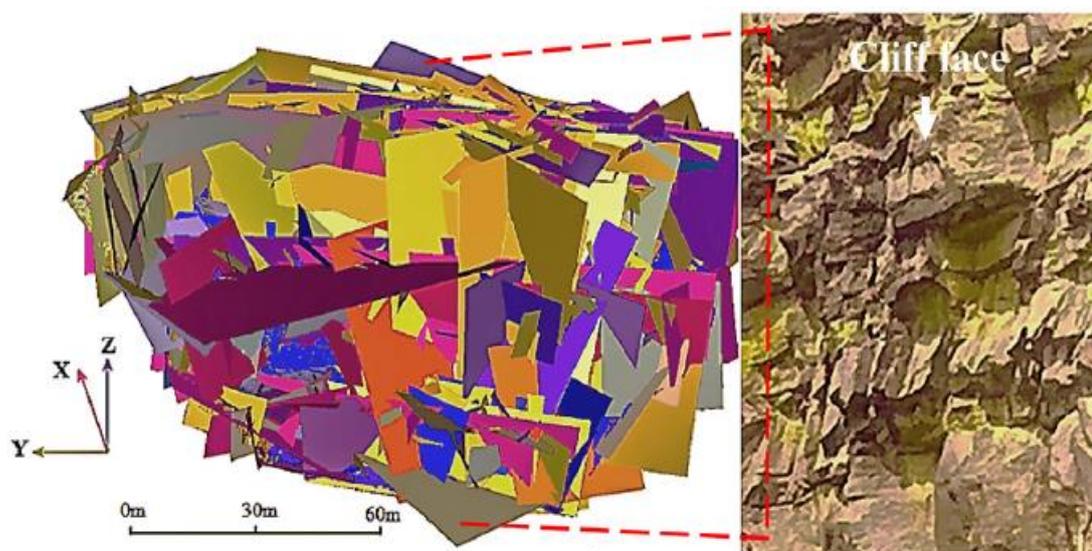
伴隨雲端儲存、邊緣運算(Edge Computing)、5G 傳輸的興起，資料之傳輸及蒐集相較於過往變得快速且容易，資料量的快速累積，使邊坡維管單位需要建置系統及伺服器來儲存和管理，促使資料庫和資料中心的建立。若該資料能藉由專家處理、解析，變成有用的資訊，並使用其來進行統計、分析及決策支援，或利用人工智慧(Artificial Intelligence, AI)來加以訓練學習，辨識影像、找出相關性或隱而未現的模式和趨勢，即能輔助達成邊坡維護管理，提升效能、節約人力。以下主要蒐整 UAV 和 AI 之機器學習和深度學習應用於邊坡相關文獻，瞭解發展之進程，引以為鏡。

2.2.1 機器學習

Carlos Becker 等 5 人(2018)^[5]提出一種透過結合顏色資訊和地表幾何特徵之點雲分類新方法，不僅提高處理具複雜紋理和顏色變化之標的分類準確性，同時也證明其在處理大規模點雲數據方面的高效率。該研究亦將點雲的幾何和顏色特徵做為訓練資料集，使用機器學習之隨機森林(Random Forest, RF)和梯度提升樹(Gradient Boosted Trees)演算法來進行訓練，使其能夠根據這些特徵來預測點雲中每一點的類別。

Shuhong Wong 等 4 人(2019)^[6]利用 UAV 進行高聳且陡峭(斜率約 89 度)的岩石邊坡進行拍攝，並進行影像處理和 3D 建模後分析其穩定性，實現一套由實地影像蒐集、處理，再到 3D 模擬和分析的完整流程。該研究首先以近景攝影取得目標邊坡高解析度影像，為保持影像品質，其律定飛航高度、速度以及相機光圈、曝光值等，並汰除模糊和重複影像後，進行進階束狀調整(Advanced Bundle Adjustment)——主要以共線方程式描述物體空間點、影像上的對應點及攝影中心之間的空間關係，據以將 UAV 取得之多張影像被統一到一坐標系統中，使影像之間的匹配點實現進行精確定位，並獲取 3D 座標的方法。該研究尚透過近景攝影測量所得座標與現場量測地面控制點座標之差值比較，藉以評估攝影測量結果的準確性，結果顯明總體平均誤差小於 0.8%，越接近中心誤差越小，於可接受範圍內。結果表明，基於進階束狀調整可實現高精度之 3D 模型。

接著，該研究利用 RANSAC 演算法，從點雲模型中識別出岩石邊坡的結構面，此法能夠有效地識別出具有代表性的結構面，該邊坡場址共識別出 491 個結構面(如圖 2.3)，進而對岩體進行更為精確的分析和模擬。在岩體穩定性分析上，則利用了自行開發之 GeoSMA-3D 軟體來進行，該軟體利用岩體傾角及方向，自行定義相關安全係數評估岩體是否滑移，並辨識出整體岩石坡中的關鍵岩塊(其失穩會造成局部或整體邊坡滑移)。



資料來源：Cliff face rock slope stability analysis based on unmanned arial vehicle (UAV) photogrammetry.[6]

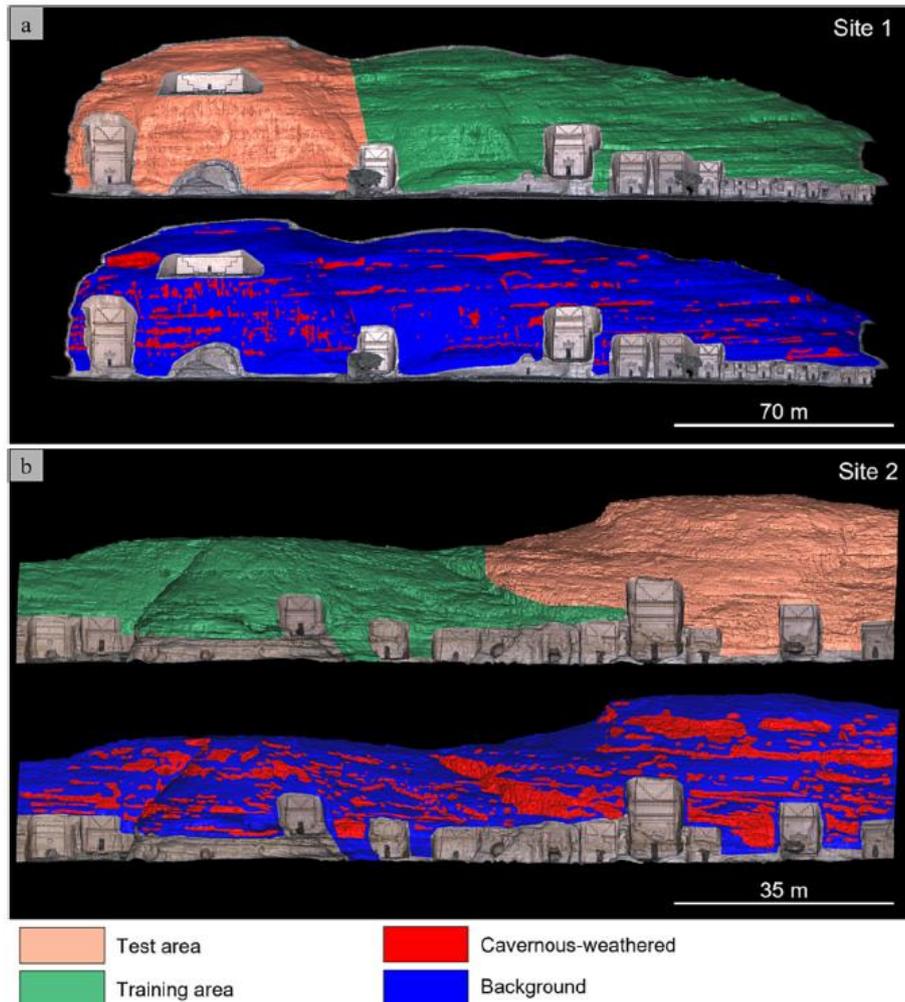
圖 2.3 利用 RANSAC 演算法識別模型結構面

Rushikesh Battulwar 等 4 人(2021)^[7]評估 UAV 結合不同三維建模技術在岩石坡之應用潛力，以及相關技術在進行自動化岩石墜落風險分析系統開發中的可行性。

該研究提到目前主流要取得高精度及高解析度之邊坡三維模型，主要可仰賴機載雷射掃描(Airborne Laser Scanning, ALS)及地面雷射掃描(Terrestrial Laser Scanning, TLS)之聯合，以及視覺攝影測量來進行，前者花費較為昂貴，且資料取得和處理時間較長，但可獲得較好的點雲解析度，惟必須注意規劃掃描計畫，以避免數據遮蔽並確保數據質量；視覺攝影測量則較便宜快速，適合大範圍岩體數據蒐集，但需要足夠圖像重疊和地面控制點來提高精度，若考量高聳陡峭型邊坡不易佈設控制點，可利用 GNSS 接收器搭配 PPK 或 RTK 技術解決。

利用 UAV 蒐集資料並獲得岩石邊坡之點雲數據後，為獲得岩石邊坡節理特徵，以進行後續自動化岩石墜落風險分析，該研究主要彙整了基於聚類(Clustering-based)之演算法，例如：隨機抽樣一致、主成分分析等。以及基於區域成長(Region Growing-based)之演算法的相關文獻並進行回顧，並針對兩者的優劣進行分析。

Tommaso Beni 等 9 人(2023)^[8]利用 UAV 近景攝影技術產製岩石邊坡 3D 點雲模型，並使用機器學習中的 RF 演算法，量化岩坡海綿狀風化程度並預估強度。該研究主要分為三個流程：資料蒐集、機器學習以及海綿狀風化評估，在資料蒐集方面利用 UAV 取得欲分析之岩坡近 400 張影像，覆蓋率設定高於 80%，地面取樣距離(Ground Sample Distance, GSD)設定約 1-2 公分，無地面控制點，再透過 Pix4D 軟體將影像加以對齊、拼貼並獲得密集點雲模型，在機器學習前，該研究利用 CloudCompare 軟體進行海綿狀風化表面幾何特徵影像前處理工作，以利後續取得較好的訓練和測試精度，接著，其將海綿狀風化區域進行手動標註工作，並區分成訓練和測試資料集(如圖 2.4)，後交付 RF 進行分類。該研究在海綿狀風化評估及影響預測，則使用全域運動指數(Global Kinematic Index, GKI)來計算岩坡穩定性，加上開源之 SHAP 模組進行劣化區域可視化，標示出風化高潛勢區域。



資料來源：Classification of rock slope cavernous weathering on UAV photogrammetric point clouds_The example of Hegra (UNESCO World Heritage Site, Kingdom of Saudi Arabia).^[9]

圖 2.4 標註海綿狀風化區域並區分成訓練和測試資料集

2.2.2 深度學習

Shuhong Wong 等 4 人(2020)^[5]利用 UAV 蒐集岩石邊坡空拍影像，並製作多期 DEM，並使用 Elman 神經網路模型結合人工魚群算法 (Artificial Fish Swarm Algorithm, AFSA)，由歷史位移數據預測未來某一時間點或者時間段內關鍵測量點的位移，驗證表明，AFSA-Elman 在預測斜坡位移方面具有較好的精度和收斂性，是一種有效的位移預測工具。

該研究利用 UAV 航線設定及利用運動回復結構 (Structure from Motion, SfM) — 基於多視角及多張影像進行場景三維重建之技術，分

析多個影像中的特徵點及其在不同影像中的位置變化來推算出這些點在三維空間中的位置，從而生成稀疏點雲，再利用多視角立體視覺算法(Patch-based Multi-view Stereo, PMVS)，從稀疏點雲中提取和匹配特徵點，進而生成高精度 3D 模型。3D 模型亦用於和設置於坡面上的光纖光柵位移傳感器所蒐集之變形數據進行比較，以驗證無人機技術在監測斜坡位移方面的效率。Elman 神經網路模型主要係用於預測關鍵測量點的位移，而為了精進 Elman 神經網路模型之權重和閾值，以便尋找最佳化的參數配置，該研究引入了 AFSA，結果顯示使用該演算法能使原先模型誤差減少了 32%。

第三章 公路局邊坡現況與維護管理機制

交通部公路局主要負責省道管養工作，省道總里程長 5,331 公里，而其中山區公路佔了 1,473 公里，為保障用路人安全，邊坡維護管理相對重要，以下針對公路局邊坡現況以及維護管理機制進行整理及說明。

3.1 公路局邊坡現況

依公路局資料^[10]統計，截至今(113)年 4 月公路局轄管邊坡為 1,708 處，其中曾有災害發生紀錄或不穩定徵兆邊坡約有 300 餘處，視為高風險邊坡，其中，經本所 113 年 4 月調查公路局各工務段曾經或正在應用 UAV 進行邊坡定時或不定時空拍(含各工務段自行辦理以及委外專業廠商協處)之數量約有 77 處，其所轄工務段、場址位置如表 3-1。

表 3-1 公路局曾經或正在應用 UAV 空拍之邊坡

| 分局 | 北分局 | 中分局 | 雲嘉南分局 | 南分局 | 東分局 |
|------------|---|--|--|---|---|
| 工務段 | 復興 | 谷關 | 曾文 | 甲仙 | 玉里 |
| 數量(處) | 6 | 16 | 2 | 6 | 11 |
| 邊坡路 線里程 | 台 7 線 19K+550~620 22K+960~ 23K+380 29K+000~600 32K+400~550 32K+600~ 33K+000 49K+550~ 50K+200 | 台 8 線 61K+100~400 77K+331~431 91K+375~ 92K+300 96K+019~069 107K+664~964 台 8 臨 37 線 2K+700~900 3K+900~ 4K+100 4K+500~800 | 台 3 線 325K+825~ 326K+025 326K+220~550 | 台 20 線 80.5K 100.1K 119.2K 132.1K 135.4K 141K | 台 23 線 7K+200~750 8K+450 12K+500 台 30 線 0K+200 2K 3K 3K+450 5K+050 7K+000 |

| | | | | | |
|------------|----------------------|--|---|------------------|--|
| | | 5K+100~400 8K+700~ 9K+000 9K+100~300 13K+300~ 14K+200 16K+200~700 17K+100~300 18K+000~500 19K+100~300 | | | 9K+600 24K+400 |
| 工務段 | 中和 | 埔里 | 阿里山 | 關山 | 南澳 |
| 數量(處) | 1 | 3 | 9 | 2 | 4 |
| 邊坡路 線里程 | 台 9 甲線 9K+350~500 | 台 14 線 96K+050~250 73K+000~ 75K+500 台 14 甲線 18K+000~730 | 台 18 線 34K+600~900 38K+500~900 41K+600~900 58K+500~ 59K+100 69K+000~500 70K+000~300 76K+700~900 77K+600~ 78K+400 79K+700~800 | 142.6K 146.7K | 台 9 線 158K+600~ 160K+330 160K+330~900 162K+760~ 163K+000 台 9 丁線 66K+400~ 67K+840 |
| 工務段 | | 信義 | | | 太魯閣 |
| 數量(處) | | 6 | | | 1 |
| 邊坡路 線里程 | | 台 21 線 115K+000~ 116K+000 116K+350~950 122K+000~ 123K+000 | | | 台 8 線 117K+250~450 |

| | | | | | |
|------------|--|-----------------------|--|--|--|
| | | 123K+000~ 124K+900 | | | |
| | | 132K+500~ 134K+000 | | | |
| | | 141K+500~670 | | | |
| 工務段 | | | | | 獨立山 |
| 數量(處) | | | | | 10 |
| 邊坡路 線里程 | | | | | 台 7 線 74K+700~780 84K+100 85K+800 86K+400 86K+600 86K+900 87K+100 97K+000~070 台 7 甲線 9K+400 10K+400 |

3.2 公路局邊坡維護管理機制

公路局邊坡維護管理上位指引為交通部頒訂之「公路邊坡大地工程設施維護與管理規範」^[11]，並依要求明訂各項邊坡巡查、檢測及監測辦理方法，此外，針對平時、災中及災後亦有相關機制進行配合，戮力進行災害風險管理，保護山區用路人和車之生命財產安全。

1. 平時邊坡管理

如同前節所述，山區公路約佔公路局總體養護路段約 20%，爰此，如何有效管理邊坡為重中之重，首先，針對各邊坡單元予以定義，並劃設出易致災之場址，此部分則會結合相關災害潛勢地圖、地質圖等進行套疊比對。公路局亦訂定邊坡定性分級制度，將邊坡依照是否具

災害歷史、不穩定徵兆和護坡設施等因素，分成 A、B、C+、C 及 D 共 5 個分級(如表 3-2)。

表 3-2 公路局邊坡定性分級制度

| 邊坡分級 | 2 年內災害紀錄 | 5 年內災害紀錄 | 護坡設施 | 不穩定徵兆 |
|------|----------|----------|---------|-------|
| A | 有 | | 復(興)建中 | 明顯 |
| B | 有 | | 無法設置 | 疑似 |
| C+ | | 有 | 復(興)建完成 | 疑似 |
| C | | 有 | | 無 |
| D | | 無 | | 無 |

其中 C+級邊坡為公路局於去(112)年所新增之分級，目的在於避免部分邊坡雖經工程手段復(興)建完成，惟仍具備以下遠端致災因素導致可能之不穩定跡象：

(1) 需持續關注之上/下邊坡

若邊坡經套繪位於「山崩與地滑地質敏感區」、農業部農村發展及水土保持署公布「土石流潛勢溪流」及「大規模崩塌」區域，檢視出現以下現象者。

- a. 有明顯蝕溝發育；
- b. 僅採低度復建工程之邊坡，如噴凝土(使用壽命僅約 4~5 年)；
- c. 外在水因素，例如：坡面出水、縱橫溝排水不良。

(2) 曲流/浪襲攻擊面邊坡

- a. 歷史災情中，路基下邊坡曾受攻擊有坍塌等災害發生；
- b. 曲流/浪襲攻擊面邊坡發生臨河(海)側下邊坡植被倒伏、邊坡裸露、既有護岸工基腳破壞或既有消波塊減損等現象。

(3) 坡頂人為開發

- a. 鄰近公路路權範圍內之邊坡，坡頂人為開發可能影響公路安全

之虞；

- b. 利用 UAV 巡檢(必要時以人工檢視)坡面已發生導排水異常、蝕溝發育、坡面裸露等破壞徵兆。

(4) 明隧道上方邊坡

- a. 明隧道設施結構破壞徵兆(如裂縫、漏水)；
 b. 上方邊坡蝕溝發育，或岩石坡面已裸露且節理發達；
 c. 上方邊坡土石堆積且外擴至明隧道範圍外。

2018 年公路局始推動「邊坡定性定量分級暨進階檢測圖資建置計畫」，在原本 A、B、C+、C、D 五個等級的邊坡分級上，再利用「落石災害評分系統(Rock-fall Hazard Rating System, RHRS)」的 10 項評估因子之總分，針對分級 A、B 之不穩定徵兆邊坡再進行 1~5 級距之細部分類，並明訂應用航拍技術輔助邊坡巡查(如表 3-3)。

表 3-3 公路局邊坡 RHRS 定量評估制度

| 評估因子 | | 評估項目 | 評分準則 | | | | |
|------|------------------------|--------------|-----------|-----------|------------|--------------|--------------|
| | | | 3 分 | 9 分 | 27 分 | 81 分 | |
| 道路現況 | 地形特徵 A1 [取平均] | 坡高(m) | 5-14 | 15-24 | 25-34 | 35↑ | |
| | | 坡度(度) | 40-49 | 50-59 | 60-69 | 70↑ | |
| | | 坡型 [取最大值] | | | 凹直形 凸嘴形 | 凸直形 凹凖形 | |
| | 地質狀況 A2 [取最大值] | 岩性 | 結晶質 | 粗顆粒 | 泥岩石 | 斷層帶 | |
| | | 不連續面 | 塊狀 | 節理發達 | 破碎、變形 | 崩積、開裂 | |
| | | 順向坡 | 傾角 ≤ 坡度 | | 未見斫腳，無差異侵蝕 | 未見斫腳，差異侵蝕 | 斫腳 |
| | | | 傾角 > 坡度 | | 無差異侵蝕 | 差異侵蝕、層間無剪裂開裂 | 差異侵蝕、層間有剪裂開裂 |
| | 邊坡植被及水流狀況 A3 [取最大值] | 植被面積(%) | 80↑ | 79-30 | 29-10 | 10↓ | |
| 排水設施 | | 截排水完整 | 截排水不完整或損壞 | 出現溝蝕、明顯沖刷 | 溝蝕已堆積落石 | | |

| | | | | | | |
|--|-----------------------------------|--|---|---|---|--------------|
| 行車 風險 評估 | 近 3 年平均落石坍方歷史 C1 [取最大值] | 災害紀錄 (次/年) | 1↓ | 2-3 | 4-6 | 6↑ |
| | | 落石頻率 | 每季 1 次以下 | 高於每 季 1 次 | 高於每 月 1 次 | 高於每 週 1 次 |
| | 近 3 年落石尺寸及坍方規模 大小 C2 [取最大值] | 坍方落石量(m ³) | 200↓ | 200-499 | 500-999 | 1000↑ |
| | | 落石尺寸(m) | 0.2↓ | 0.2-0.6 | 0.6-2.0 | 2.0↑ |
| | 交通流量狀況 C3 | 日平均交通量 (PCU) | 5000↓ | 5000- 9999 | 10000- 19999 | 20000↑ |
| | 道路寬度及腹地 有無 C4 [取平均] | 道路寬度(m) | 9↑ | 9↑ | 9↓ | 9↓ |
| | | 腹地有無 | 有 | 無 | 有 | 無 |
| | 區域聯外交通 影響 C5 | 風景遊憩區主 要道路 | 否 | 是 | 否 | 是 |
| | | 替代道路 | 有 | 有 | 無 | 無 |
| | 加權乘子 | | | | | |
| 氣象加權 B1 | 前一年度連續 降雨月份單日 最高降雨量 (mm) | *1.0 | *1.1 | *1.2 | *1.3 | |
| | | 130↓ | 130-199 | 200-349 | 350↑ | |
| 現有防護設施加權 D1 | 防護設施成效 | *0.7 | *0.8 | *0.9 | *1.0 | |
| | | 有二項 防護設 施且施 作完成 5 年以上， 成效驗 證良好 (含預力 地錨者 於 1 年內 已檢測 過且有 監控系 統) | 有一項 防護設 施效果 佳或施 作完成 2 年以上， 成效驗 證良好 (含預力 地錨者 於 2 年內 已檢測 過且有 監控系 統) | 有防護 設施但 成效不 佳或防 護設施 已施作 完成尚 未滿 2 年 成效驗 證 (含預力 地錨者 於 2 年內 已檢測 過但無 監控系 統) | 無防護 設施或 防護措 施無法 消除致 災成因 (含預力 地錨者 於 2 年內 均未辦 理檢測 過) | |
| 總分 = [(A1+A2+A3)xB1+(C1+C2+C3+C4+C5)]xD1 | | | | | | |
| 總分級距 | 0~109 | 110~219 | 220~329 | 330~439 | 440 以上 | |
| 危險度等級 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 危險度說明 | 低風險 | 中低風險 | 中風險 | 中高風險 | 高風險 | |

| | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------|------------|--|------------------------------|------------------------------|--|
| 工具 | 以目力或輔以簡單器具 | 以目力或輔以簡單器具 | 以目力或輔以簡單器具 | 以目力或輔以簡單器具 | 以目力或輔以簡單器具 | |
| | | | UAV (工務段自辦) | UAV (工務段自辦) | UAV (工務段自辦) | |
| | | | | UAV、LiDAR或其他遙測科技設備判識技術(委外辦理) | UAV、LiDAR或其他遙測科技設備判識技術(委外辦理) | |
| 項目 | 邊坡外觀及人工設施檢視 | | | | | |
| | — | — | 邊坡外觀空拍巡檢 | | | |
| | | | 邊坡分級調整建議 | | | |
| | | | — | 變異性分析(以 3D 數值模型比對) | | |
| | | | | 浮、落石分析(以 3D 點雲圖檢視) | | |
| 張力裂縫發現或檢視 | | | | | | |
| 綜合評估建議(含後續關注異狀項目、後續維護、補強與整治工法) | | | | | | |
| 頻率 | 以目力或輔以簡單器具：1次/年 | | | | | |
| | — | — | UAV(工務段自辦)：1次/季 | | | |
| | | | UAV、LiDAR或其他遙測科技設備判識技術(委外辦理)： <u>每次汛期前至少1次</u> *若評為危險度5之邊坡需要於10月前加辦1次 | | | |

此外，C+邊坡亦有明訂檢測頻率與項目，依規定至少為每年 10～12 月辦理 1 次委外定期檢測，其作業項目需進行 UAV 數位建模及多時序套疊變異分析，而若為明隧道上方之岩石邊坡，則透過 UAV 建模增加測繪節理層面位態大圓投影，進而辦理落石危害度分析，以利掌握高、中位塊體崩落動能是否高出明隧道結構設計值以及彈跳分

析是否崩落於洞口段。總結來說，公路局平時邊坡維護管理機制係從劃設易致災路段開始，並定期進行邊坡定性和定量分級檢討，且針對中高風險邊坡導入 UAV/S、LiDAR 或其他遙測科技技術和設備進行多時期之檢監測作業，獲得邊坡航拍影像及其相關資料(如：DTM)(如圖 3.1 和圖 3.2)，則用於穩定性分析、落石防治及告警等防災風險管控加值應用，保障用路人生命財產安全。

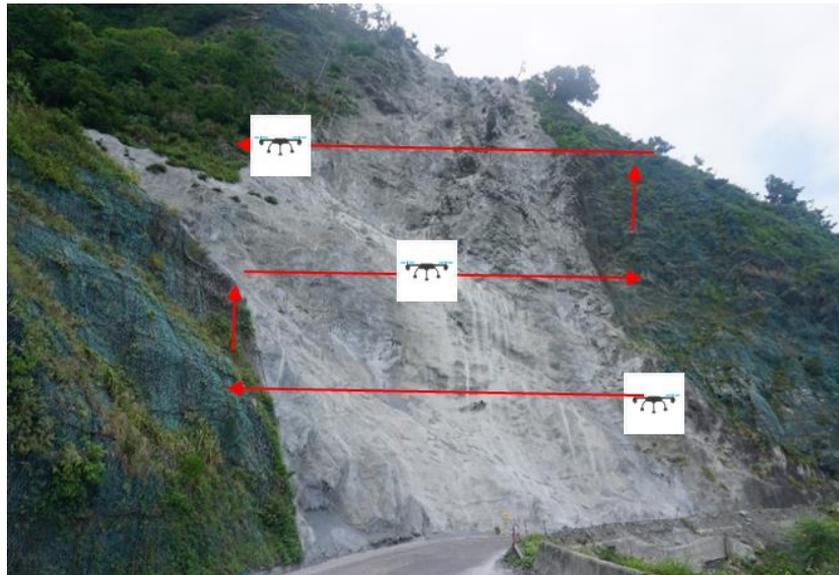


圖 3.1 UAV 飛航規劃

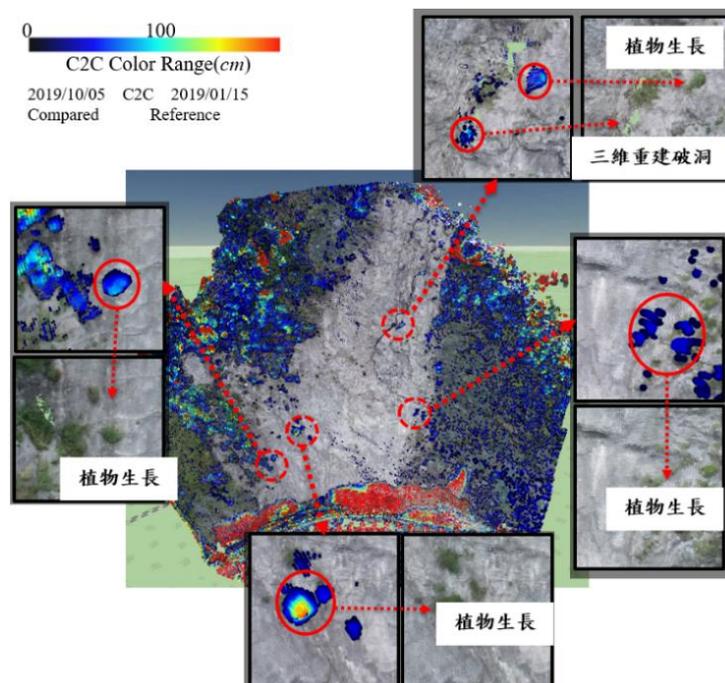


圖 3.2 多期三維影像套疊比對分析邊坡變位

| | | | | | |
|--------|---|-------------------------|-------|--|--|
| | 10. 坡頂與坡面 截水、排水 設施 | 裂縫修補、截排水設施破壞 修復、淤塞清除 | | | |
| | 11. 非法耕作及 佔有 | 予以制止、排除及復舊 | | | |
| 備 註 | 人工可及，以人工檢測為原則；人工不可及，以其它科技方法(如 UAV) 代替。 | | | | |
| 檢測人員： | | | 單位主管： | | |

資料來源：交通部公路局公路養護手冊^[12]

此外，公路局亦訂定各災害情境相對應之邊坡養護管理機制，其中亦包含於災後取得空中或衛星影像等處置作為(如表 3-5)。

表 3-5 公路局各級邊坡不同情境處置方式

| 各情境之處置方式 | A | B | C+ | C | D | 大型地滑、 順向坡 |
|----------------------------|---|---|----|---|---|--------------|
| 3 小時累積雨量達 120mm 以上 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 前期(48 小時)累積雨量達 350mm 以上 | 2 | 1 | - | - | - | 2 |
| 海上颱風警報解除後 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 震度 6 弱級以上區域 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| 無預警大規模坍方搶通後 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 臨河側上游發布土石流紅色警 戒 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

處置 1：2 日內實施特別巡查、處置 2：14 日內完成特別檢測、

處置 3：(1)7 日內完成特別檢測、(2)實施朝巡 1 週、(3)取得空中或衛星影像、

處置 4：(1)實施朝巡、暮巡 1 週、(2)取得空中或衛星影像、

備註：無預警大規模坍方 5000M³~20000M³ 者，執行處置 4 之(1)。

若該邊坡曾出現無預警大規模坍方 5000M³ 者，其各情境之處置方式比照
上表 A 級邊坡之處置方式。

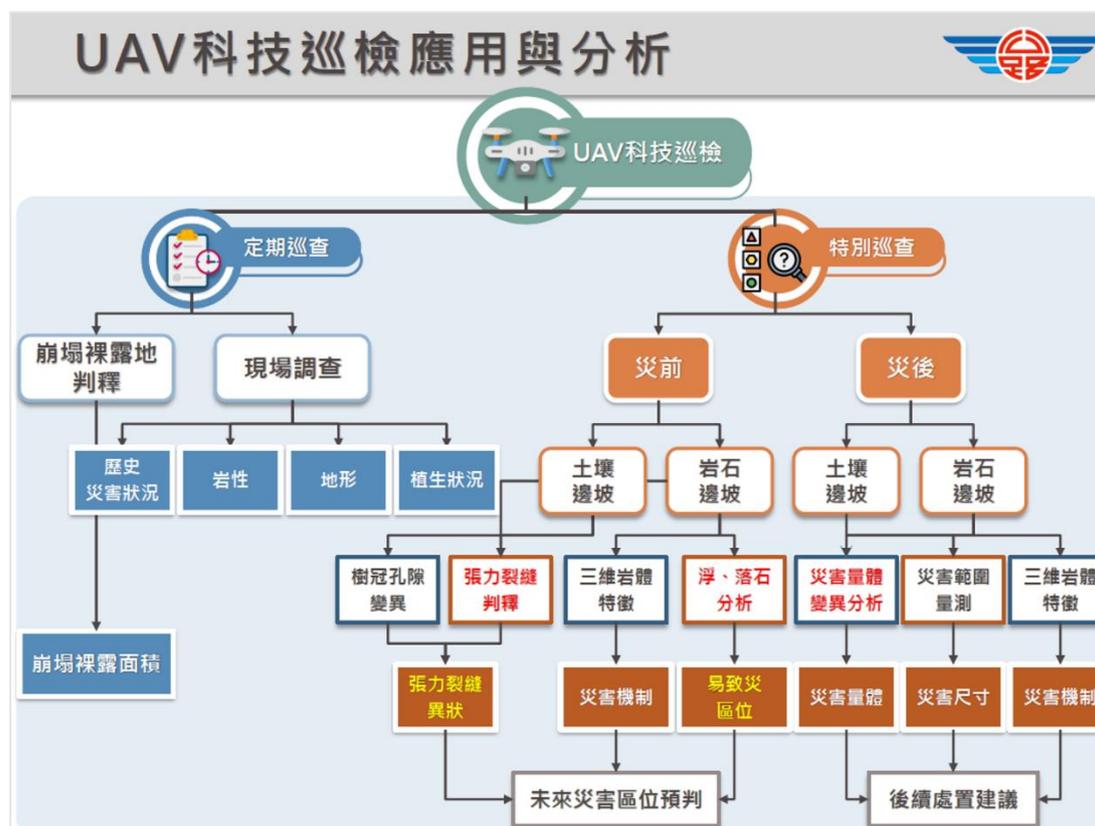
資料來源：公路局邊坡維護管理制度會議簡報^[13]

3.科技應用邊坡管理

公路局戮力朝科技應用於邊坡養護管理及數位轉型目標前進，除利用 UAV、LiDAR 和 InSAR 等持續蒐整邊坡空拍影像及產製相關數位模型，亦訂立相關資料儲存格式及標準，並利用雲、地端資料庫結合 AI 來進行加值分析和應用，以強化科技防災及邊坡治理。

(1) UAV

公路局應用 UAV 進行科技巡檢已行之有年，為配合邊坡維護管理需求，公路局鼓勵邊坡巡檢人員取得證照成為操作飛手，並採購 UAV 及相關硬體設備，平時則利用 UAV 進行各項現場調查，包含：植生狀況、浮落石位置、張力裂縫等，再利用飛航規劃及定時拍照功能，拍攝連續且重疊之影像，以進行點雲模型重建應用，災後亦能迅速取得邊坡災害影像，分析災害量體並支援各項決策(如圖 3.3)。

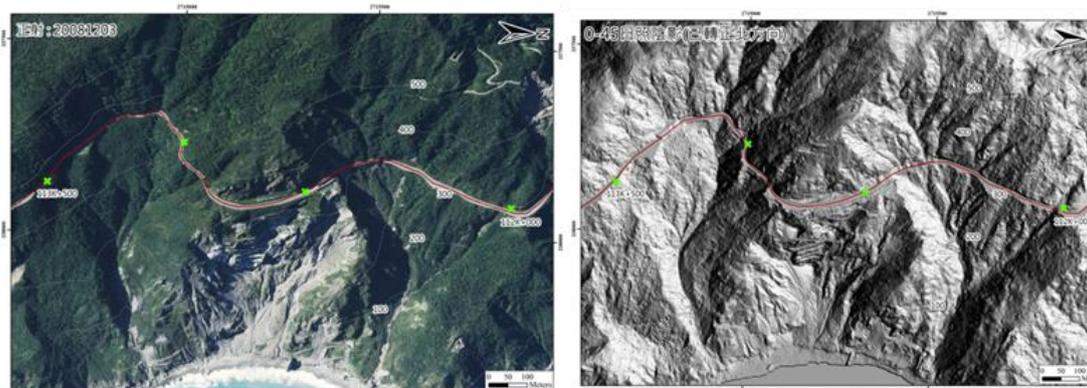


資料來源：公路局邊坡維護管理制度會議簡報^[13]

圖 3.3 公路局 UAV 科技巡檢應用與分析

(2) LiDAR

一般 UAV 主要搭配光學鏡頭，應用於邊坡表面可視徵象調查，例如：張力裂縫、倒懸孤石……等等，可良好克服人力不亦抵達巡檢及目視角度受限之情形，惟較適用於裸露邊坡，而在地表覆蓋植被下的邊坡狀態，則需搭配空載光學雷達(LiDAR)來進行，藉由 LiDAR 產製數值高程模型，以獲取地表高程變化和更細緻的災害特徵。例如：公路局於蘇花公路九宮里路段由 UAV 搭載 LiDAR 建立沿線正射影像及 3D 數值地表模型(如圖 3.4)。目前公路局應用 UAV 搭載光學鏡頭或 LiDAR 主要進行之應用類型、優點和適用條件如表 3-6。



資料來源：公路局推動科技應用於山區公路養護管理階段成果分享^[14]

圖 3.4 公路局使用 UAV 搭載 LiDAR 建立邊坡 DEM

表 3-6 公路局 UAV 應用案例各分類適用性比較表

| 類型 | 說明 | 條件 | 設備 |
|-----------|-----------------------|----------------------|-----------|
| 地表微變量測 | 由地表凹陷或隆起變化快速鎖定落石區域 | 需有前期 DSM | UAV |
| 裂縫調查 | 坡頂裂縫檢視 | 裸露無植被邊坡 | UAV |
| 浮石巡檢 | 進行 360 度環景巡檢 | 裸露無植被邊坡 | UAV |
| 落石危害度分析 | 藉由 DEM 特徵判識落石點 | 須先濾除植被 | UAV、LiDAR |
| 維生路線航攝與勘災 | 可事前規劃航線座標，於災後自動來回航攝災況 | 天氣狀況較為良好時(風速低、能見度優良) | UAV |

資料來源：無人機於防災之應用分享與 AI 應用之展望^[15](本報告整理)

(3) InSAR

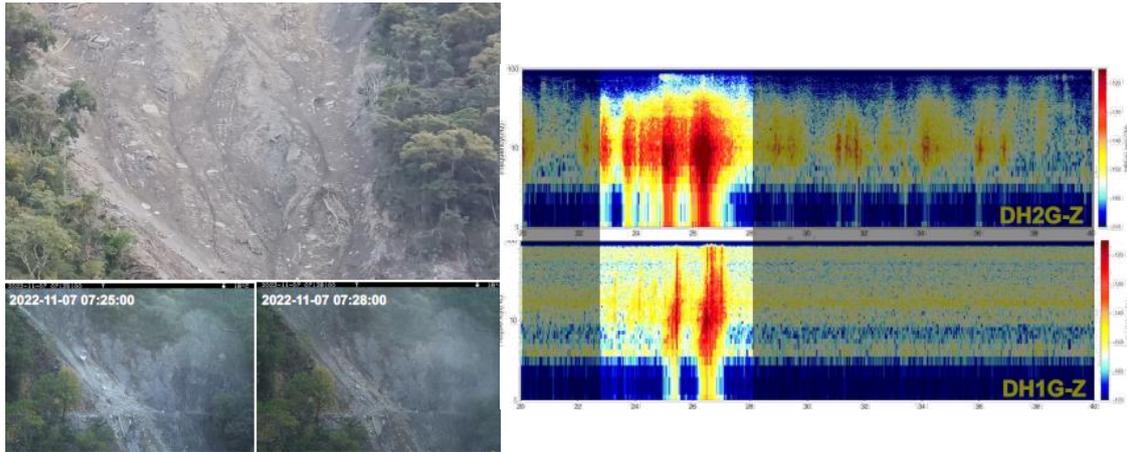
合成孔徑雷達(Synthetic Aperture Radar, SAR), 屬於一種微波成像雷達, 使用波長 1m~1mm 微波做為探測電磁波, 依國立中央大學太空及遙測研究中心網頁介紹:「SAR 為不受日夜天候影響的主動式遙測系統, 也是一種可以產生高解析度影像的機載雷達或星載雷達, 需以複雜的雷達數據合成及後處理過程, 以獲得極高的空間解析度雷達影像, 已被廣泛應用於環境與災害觀測上。」。因 SAR 可提供地面清晰的資料, 使其於遙測技術領域扮演重要角色。而利用兩個或多個 SAR, 在同個範圍和相似的制高點但不同的時間點進行拍攝, 藉此蒐集資訊並生成地表變位或數值高程地圖, 則稱為干涉合成孔徑雷達(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)。

InSAR 可用來彌補 GPS、地震儀及現場量測設備之不足, 目前國外亦廣泛採作為評估邊坡災害或舊山崩復發之活動性評估指標(李璟芳, 林士淵, 2018^[16]), 過往公路局於蘇花公路台 9 線、台 20 線梅山至向陽、台 24 線等易致災路段皆進行 InSAR 應用於地表變形量評估分析工作, 並藉以產製雷達影像模型。

(4) AI

公路局辦理邊坡全生命週期管理系統建置計畫, 將蒐集之航遙測空拍影像及相關數值模型資料儲存並建立資料庫, 未來可做為提供 AI 進行學習之用, 應用場景如: 災害特徵判識、異常影像診斷、穩定度分級輔助、崩塌風險預測模式建立等。

有關 AI 應用於公路邊坡實際案例部分, 公路局與國立陽明大學合作研發落石微地動監測儀器結合 AI 於邊坡之防災應用, 並於台 7 線高風險路段進行實域驗證, 其原理係利用建置於上下邊坡不同高程之微地動測站記錄振動訊號, 再將訊號經傅立葉轉換得到時頻譜圖, 並經人員由現場 CCTV 確認後標記落石出現之時態樣(如圖 3.5), 經訊號處理及分類後由 AI 進行判識, 並結合道路告示牌和預警燈號, 將落石資訊迅速傳遞利害關係人。



資料來源：微地動偵測邊坡滾落石事件：告警與預警之研究發展、實際應用及面臨的挑戰^[17]

圖 3.5 公路局落石微地動監測儀器結合 AI 於邊坡之防災應用

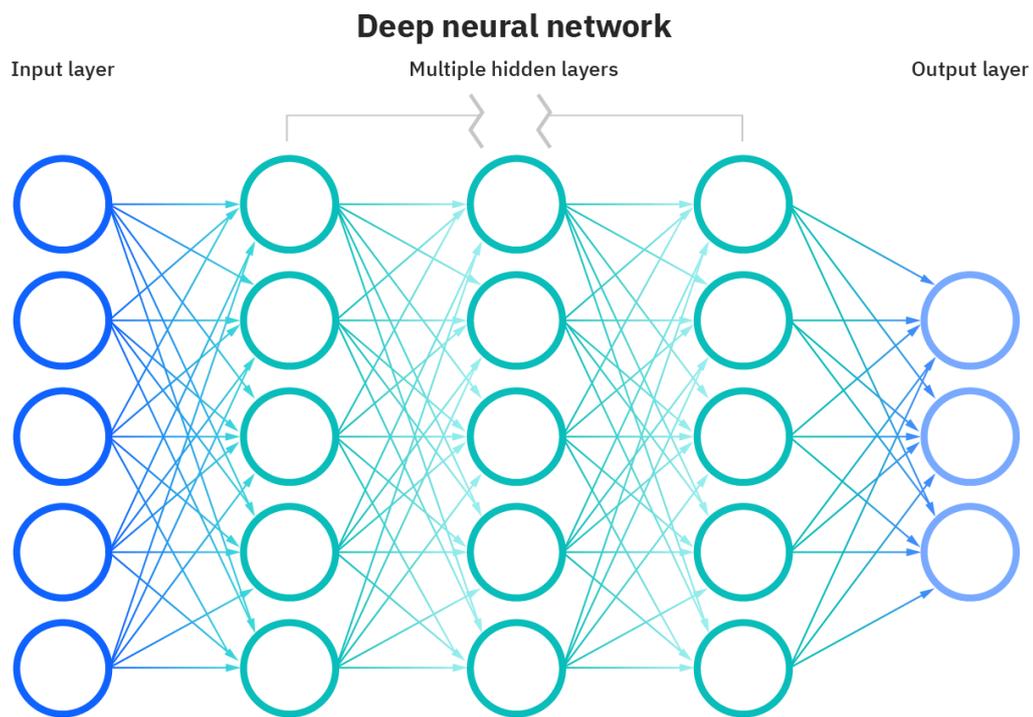
第四章 AI 深度學習技術探討

過往資料蒐集後，因運算和儲存技術受限，許多資料僅能束之高閣，無法做進一步加值應用，導致資料無法再轉變成有用之資訊，或是處理需要耗費龐大人力來進行，不敷成本，而現今雲端和地端伺服器、散熱、傳輸以及圖形處理器(Graphics Processing Unit, GPU)等關鍵技術趨向成熟，AI 之各項應用已如雨後春筍般出現，本章即針對當今主流之深度學習和分辨式、生成式 AI 進行技術探討。

4.1 AI 深度學習

人工智慧一詞在 1956 年達特茅斯(Dartmouth)會議即被提出，人稱人工智慧之父約翰·麥卡錫(John McCarthy)定義：「The science and engineering of making intelligent machines, especially intelligent computer programs.」。簡言之，AI 即是利用人為編寫電腦程式，去模擬出人類智慧行為的過程。目前 AI 應用已相當普遍及廣泛，在日常生活中隨處可見，例如：藉由網頁瀏覽紀錄，投放感興趣的廣告(例如：Meta Facebook)；預測觀眾喜好推薦影片(例如：YouTube、Netflix)；語音辨識(例如：Apple Siri、Amazon Alexa)；自駕車辨識系統(例如：Tesla)等等，早與生活密不可分，而實現 AI 應用的核心包含：資訊科學、資料科學以及相關領域的專門知識(工程、金融、心理等等)，由多門學科交互相輔而成。

深度學習為實現 AI 的一種方法，專指利用類神經網路為核心演算法的一門技術，不同於過往傳統演算法，深度學習係透過大量定型資料自行建立特徵並找出最佳化結果，惟需要花時間進行資料前處理工作並校調參數。而由多層類神經網路組成之模型，稱為「深度」神經網路模型，原則由輸入層、隱藏層、輸出層組成(如圖 4.1)，並藉由往下逐層學習、反向傳播、最佳化參數等步驟，至終達到想要的訓練結果，目前因電腦硬體效能越發強大，深度學習使用之深度神經網路模型，動輒可達數十層或百層，現深度神經網路模型已被運用解決各式問題且因應不同任務性質，例如：物件判識、即時偵測……等等，衍生出各式模型變體。



資料來源：IBM Cloud Education

圖 4.1 深度神經網路模型分層示意

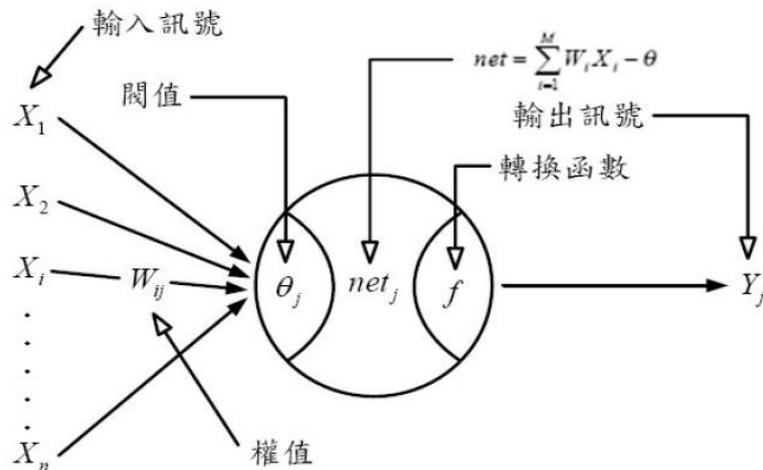
4.2 卷積神經網路(CNN)

卷積神經網路簡稱 CNN，因其在處理影像辨識任務上的高準確性，故目前常應用於影像辨識相關演算法，此外，像是：語言處理、影像分析、分類等等應用，亦可見 CNN 活躍的身影。CNN 結構除了有輸入層及輸出層以外，中間隱藏層主要由卷積層(Convolution Layer)、池化層(Pooling Layer)及全連接層(Fully Connected Layer)所組成。

1. 卷積層

卷積層主要的功能是影像的特徵擷取，其運作方式是以一個方形矩陣—卷積核(Kernel)，對影像逐一掃視及進行卷積運算，並得到影像之特徵地圖(Feature Map)，特徵地圖輸出的大小及效果會受卷積核矩陣的大小(Kernel Size)、權重值(Weight)、單次滑動步伐(Stride)、補值(Padding)等所影響，卷積核邊長通常為奇數(常見為 3 x 3)，以利尋找中心點。實務上，會利用多個卷積核對影像進行卷

積運算，多面向的擷取影像特徵，並利用激發函數(Activation Function)(或稱轉換函數)(如圖 4.2)來強化特徵地圖之擷取，最後再將全部的特徵地圖疊合一塊後輸出至下一層。



資料來源：Development of a Displacement Prediction System for Deep Excavation Using AI Technology.^[18]

圖 4.2 類神經網路神經元運作模式

簡要說明卷積運算的過程，如圖 4.3。假設影像的大小為 8 x 8，其每一個畫素上都有該影像的特徵，並設定卷積核大小為 3 x 3，單次移動步伐為 1 步，經過卷積運算從左上方滑動至右下方後，逐一掃過，即可得 6 x 6 的特徵地圖。

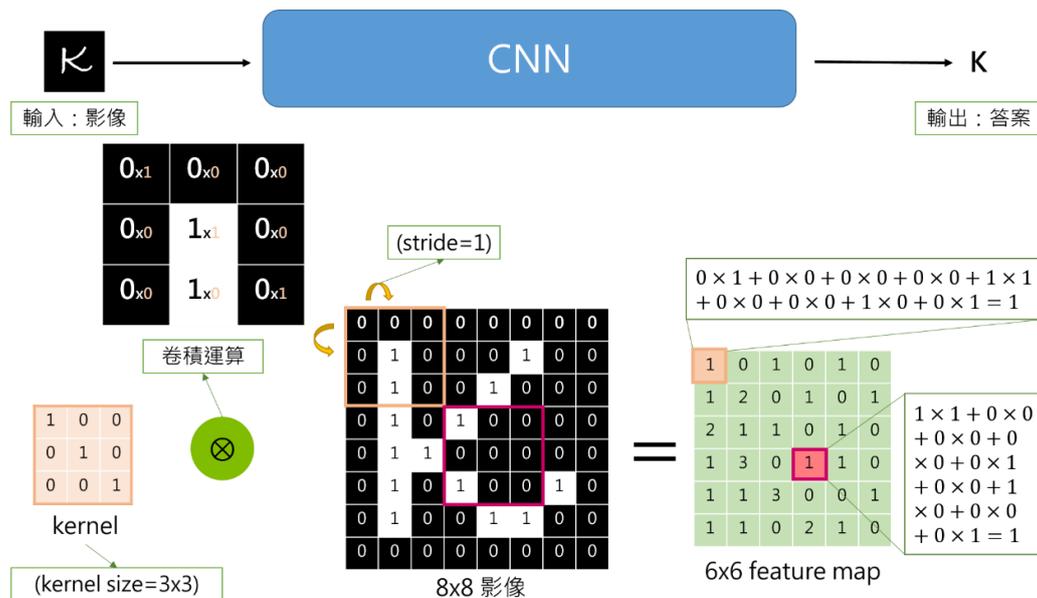


圖 4.3 卷積運算過程示意圖

2. 池化層

池化層主要的功能是壓縮影像以減少資料量，同時能保有該影像重要資訊，使 CNN 能專注判斷影像特徵而不受特徵位置所干擾，此過程亦稱次取樣 (Subsampling)，常見方法有最大池化 (Max Pooling) 或平均池化 (Average Pooling)。

假設卷積層輸出之特徵地圖大小為 6×6 ，以最大池化方式取 2×2 範圍進行池化運算，可有效將影像再縮小成 3×3 (如圖 4.4)，有效減少運算量並一定程度保留了選取範圍的特徵，此外池化後會降低參數量，較不易造成過擬合 (Overfitting)。池化運算完成後，會再進行整平 (Flatten)，把二維影像轉成一維陣列後，成為全連接層的輸入。

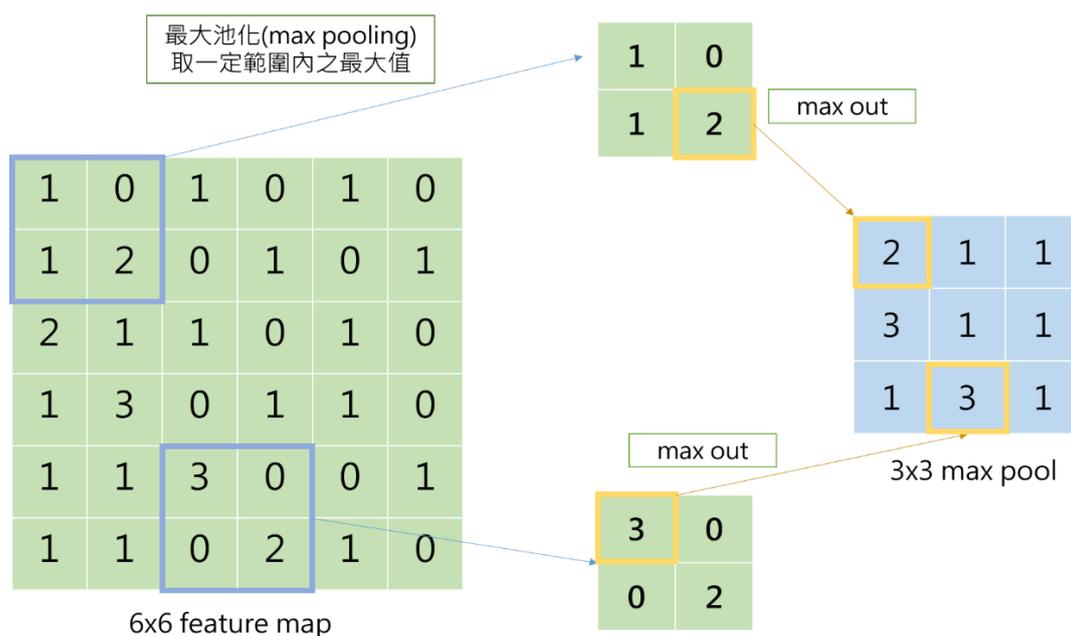


圖 4.4 池化運算過程示意圖

3. 全連接層

全連接層為一般深度神經網路，主要功能是輸入影像，藉由隱藏層中大量神經元進行聯結及計算，最後輸出分類、預測結果(如圖 4.5)。另外，於實務上在 CNN 層與層之間，還會進行 Dropout 技術，來隨機切斷某些比例(通常為 25% 或 50%)的神經元連接，使神經網路模型平均化，以減少過擬合的問題(Nitish Srivastava et al., 2014)。

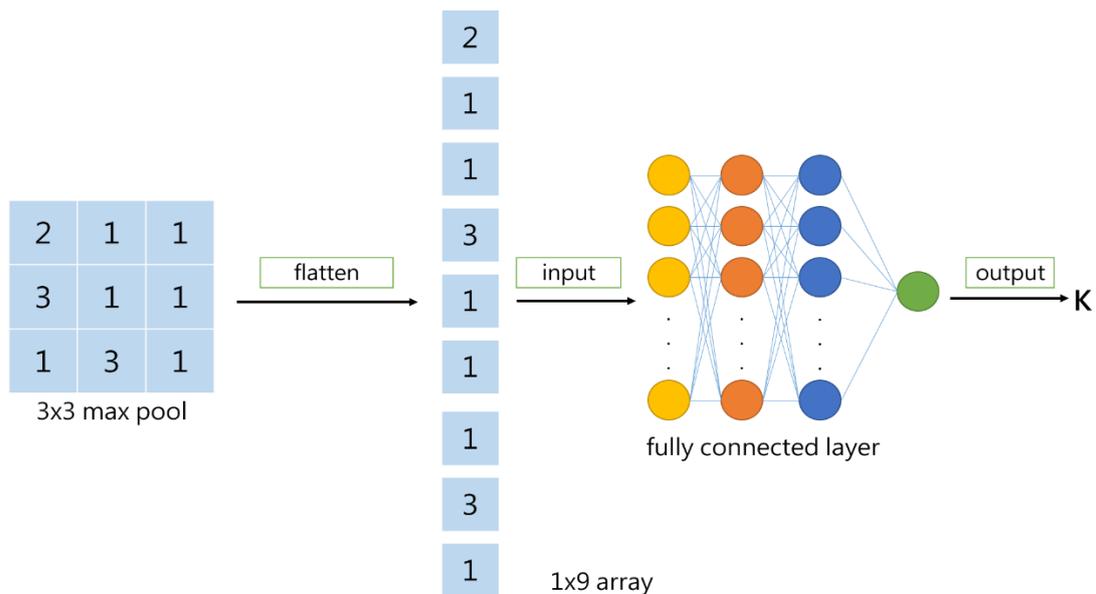


圖 4.5 池化結果經全連接層示意圖

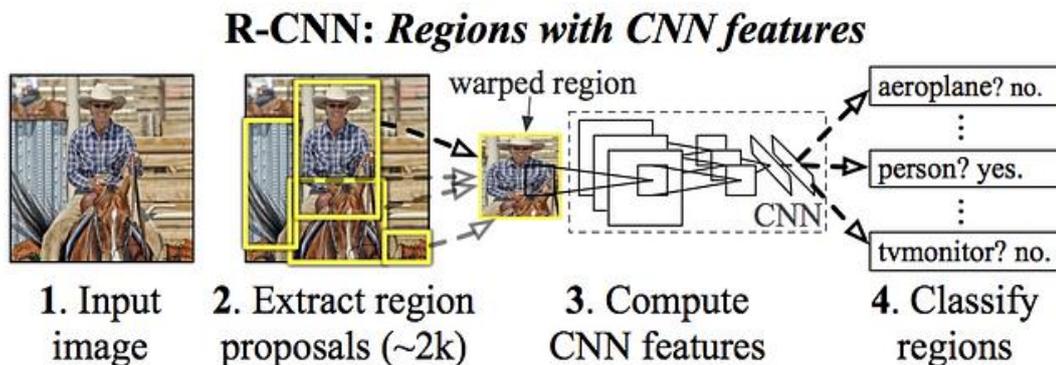
目前分辨式(Discriminative)AI 模型，許多皆是利用 CNN 或以它的架構為基礎進行變體，來處理各式任務，例如：基於區域之卷積神經網路(Region-based Convolutional Neural Networks, R-CNN)、YOLO，以下進行簡要介紹。

1. R-CNN

利用電腦進行影像辨識相關任務主要包含兩大重點—物件偵測及分類，在物件偵測中為了能在影像中快速找出標的，Ross Girshick 等 4 人(2014)^[20]發表一應用候選區域(Region Proposal)的方法，首先，利用選擇性搜索(Selective Search)演算法生成約 2000 個大小矩形找出影像中可能包含關鍵物件的候選區域，接著再對前揭候選區域進行正規化(原論文將每一候選區域歸一為 227 x 227 大小)後輸出至 CNN 後取得特徵，並藉此評估該影像代表某分類的可能性(機率)，以實現快速偵測影像中的物體(如圖 4.6)。

後來，為改善 R-CNN 的效率，其他變形如：Fast R-CNN、Faster R-CNN、Mask R-CNN 等被提出，尤其由 Kaiming He 等 4 人(2017)^[19]所提出的 Mask R-CNN，已不僅只是框選影像中欲辨識物件所在，更可定位出影像中該物件的精確像素所在，並從原本的語意分割(Semantic Segmentation)更進一步實現所謂的實例分割(Instance

Segmentation)(如表 4-1)，然而 Mask R-CNN 屬於龐大的深度學習模型，對於硬體運算需求較高，若需辨識高解析度影像且場景複雜、類別眾多時都會導致運算不夠迅速，較不利於實務上的應用。



資料來源：Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation Tech report.^[19]

圖 4.6 R-CNN 物件偵測流程

表 4-1 語意分割和實例分割之比較

| | 物件偵測 | 語意分割 | 實例分割 |
|----|-------------------------|----------------------|----------------------------------|
| 說明 | 將影像中經過模型學習過的所有物件類別加以偵測。 | 可偵測影像中的每個像素其所屬的類別屬性。 | 融合物件偵測及語意分割，可針對影像中同一種類但不同實例再予區別。 |
| 舉例 | | | |

資料來源：<https://blog.roboflow.com/difference-semantic-segmentation-instance-segmentation/>

2. YOLO

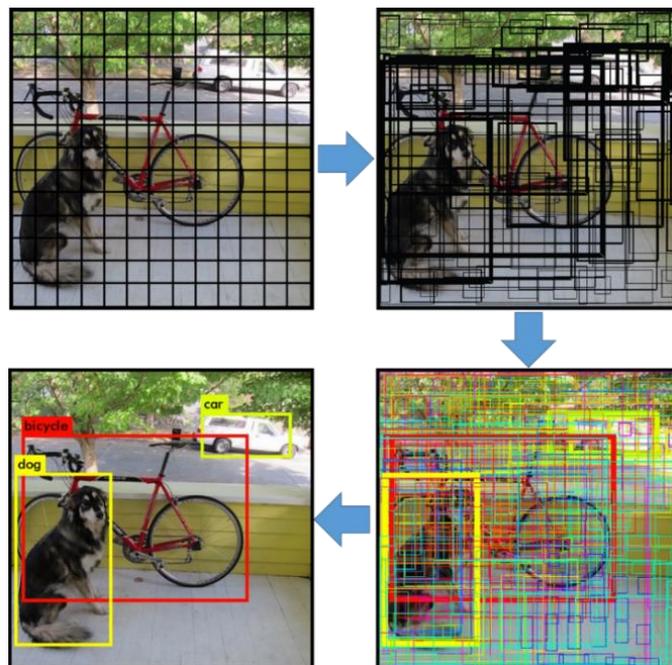
YOLO 為 You Only Look Once 的縮寫，最初版本由 Joseph Redmon 等 4 人(2015)^[20]提出，其與 R-CNN 一樣皆是常見用於物件偵測的深度學習神經網路模型，然而與 R-CNN 系列模型不同的是它運行原理並非基於區域，而是先使用一個含有 24 個卷積層外加 2 個全連接層的 CNN 模型來預測物件邊界框的所在區域及機率，

如此使它擁有整體模型架構輕巧、計算速度快的優勢，此外，YOLO 開放的程式碼使產學業界等社群間都能依照自己任務目的來調整、改善並提出精進後的版本。

YOLO 首先將原始影像劃分成均等大小的網格單元(Grid Cell)，每個網格單元利用預設參數來預測邊界框(Bounding Boxes)位置，包含描述邊界框中心點位置(x,y)及邊界框寬高大小(w,h)，並利用信心分數(Confidence Score)來說明其屬於哪個類別的機率高低，若信心分數為 0 則表示這個邊界框對於物件偵測幫助微不足道，最後提出式(4-1)來計算該組合後的信心分數以及類別預測是否有超過設定的閾值(閾值可依任務需求調整)，有通過的話代表該邊界框含欲偵測物件種類的機率高並予以保留，最後得到物件偵測的預測結果。

$$IOU = \frac{A \cap B}{A \cup B} \quad (4-1)$$

假設 YOLO 將圖像分成 $13 \times 13 = 169$ 個網格單元，每個網格單元負責預測 5 個邊界框，故總共有 $169 \times 5 = 845$ 個邊界框，所預測的邊界框若信心分數越高則邊界被繪製的越粗，接著利用 IOU 公式進行各個邊界框計算後得到信心分數最高的物件偵測類別(如圖 4.7)。



資料來源：You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection.^[20]

圖 4.7 YOLO 物件偵測流程

2. 非監督式學習

非監督式學習則完全相反，即不需要人類在旁監督，不利用或利用極少量標註後的資料告訴 AI 模型何為正確答案，而是讓 AI 模型自行利用輸入資料去發現特徵值並歸納後完成任務(如圖 4.9)，適合應用在無法大規模標註的數據集上，而生成式 AI 則多利用非監督式學習進行。

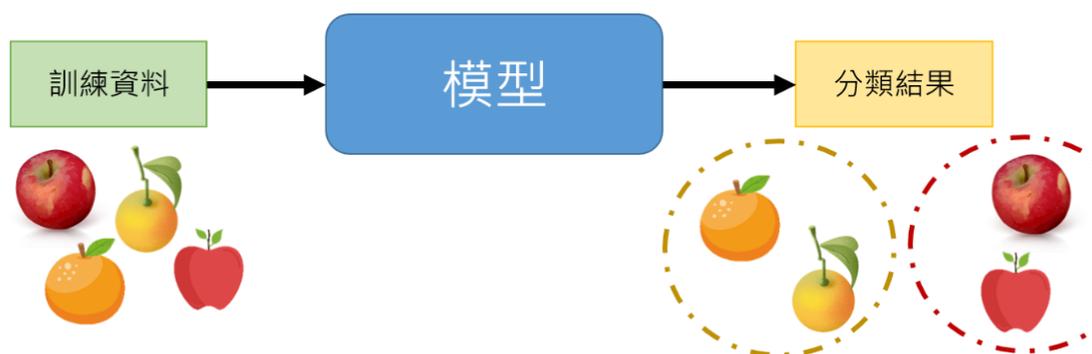


圖 4.9 非監督式學習流程示意圖

表 4-2 分辨式和生成式 AI 差異比較

| 比較 | 生成式 AI (Generative AI) | 分辨式 AI (Discriminative AI) |
|------|-----------------------------|----------------------------|
| 目的 | 生成新數據(如圖片、文字、音訊等) | 判斷或分類已存在的數據 |
| 輸出 | 依據輸入項生成新的內容，例如創建新圖片、文本等 | 對輸入項進行分類、回歸 |
| 任務 | 生成逼真的數據，提升資料數量(如 GAN 生成影像) | 決定輸入項屬於哪個類別(如分類器、檢測器) |
| 應用 | 文本生成、影像生成、語音合成 | 影像分類、語音識別、自然語言處理 |
| 代表模型 | 生成對抗網絡(GANs)、自編碼器(VAEs)、GPT | 支持向量機(SVM)、邏輯回歸、決策樹、CNN |
| 資料要求 | 通常需要大量資料來學習生成新數據 | 需要標記資料來進行分類和判別 |
| 資源需求 | 訓練和生成過程通常較複雜，計算資源要求高 | 通常訓練較為簡單，但依賴於數據的品質和標記成果 |

不同於分辨式 AI 側重於分門別類之任務，生成式 AI 著重在「創造」的工作上，例如：圖像、影片、聲音等，依據給定條件產生不同內容，然而，要完成此任務，首先必須讓 AI 模型讀懂人類語言，即

所謂自然語言處理(Natural Language Processing, NLP),藉由資料中上下文之間的脈絡及意義進行學習,並能依照所下的指令或稱提示詞(Prompt)進行生成,其中 2017 年由 Google 提出之 Transformer 模型,可視為所有生成式 AI 模型之基礎,像是目前熟知之 GPT 模型,即是 Generative Pre-trained Transformer 的縮寫。

Transformer 模型的開發原先以處理自然語言等順序輸入資料,應用於翻譯、文字摘要等任務,並逐步取代過往之遞迴神經網路(Recurrent Neural Network, RNN)、長短期記憶模型(Long Short-Term Memory, LSTM),而現在也逐漸應用到圖像分類、物體檢測等電腦視覺(Computer Vision)領域,與本計畫研究目的息息相關,以下簡要介紹各模型之原理。

1. RNN

John Joseph Hopfield(1982)^[21]提出霍普菲爾網路(Hopfield Network)模型,被認為是 RNN 的前身,如前節介紹,當資料輸入神經網路後,每層神經元會依達成條件與否,決定輸出的結果,而此結果又再變成下一層神經元的輸入值,層層傳遞下去直至最後的輸出。然而因為每層神經元皆為固定之激發函數,所以同筆資料無論輸入多少次,皆會獲得相同答案,而 RNN 即是從此部分進行改進,改進方法為加入 hidden state(隱藏態),其目的為儲存當前資料特徵,使未來的輸入可以共享該特徵後預測輸出,若以函式表示,一般神經網路為 $f(X) = Y$, 而 RNN 為 $f(X_t, H_{t-1}) = (Y_t, H_t)$ (如圖 4.10)。

然而 RNN 缺點就是隨著時序資料越來越多,較早出現的資訊對後續影響甚微,進而無法很好的進行通盤考量,且在反向傳播時故容易出現梯度消失(Vanishing Gradient)的問題,導致神經網路參數更新緩慢,甚至不再繼續學習,難以達到理想結果。

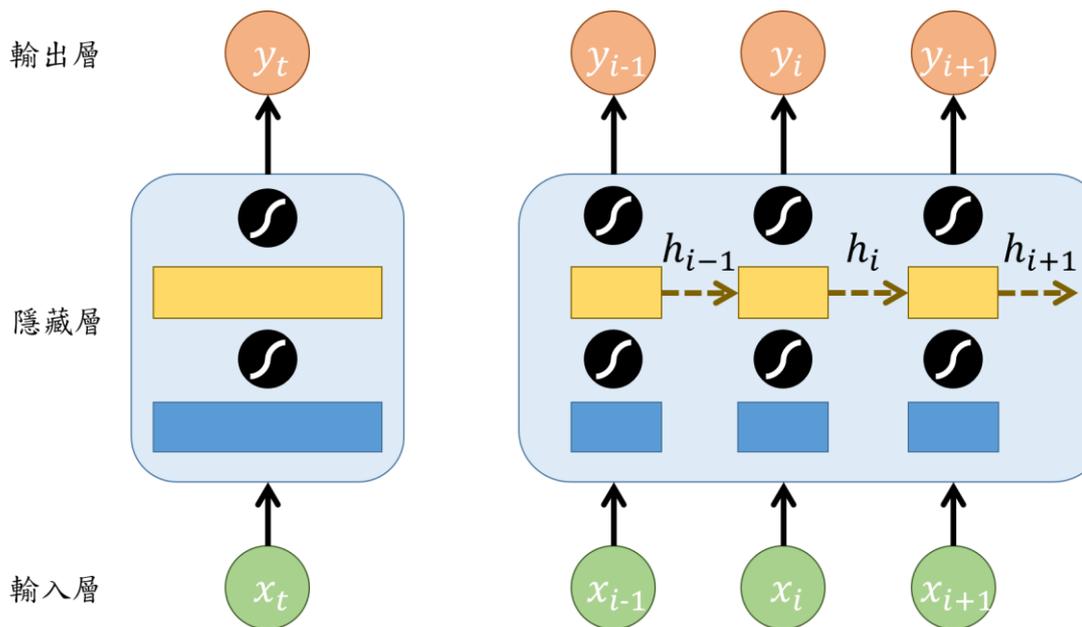


圖 4.10 一般神經網路模型和 RNN 之結構比較

2. LSTM

LSTM 模型為一種遞迴神經網路(Recurrent Neural Networks, RNN)，由 Sepp Hochreiter 和 Jürgen Schmidhuber(1997)^[22]提出，為了改善前述 RNN 的缺點，LSTM 模型設有隱藏態(Hidden State)以及單元態(Cell State)，目的為儲存當前資料特徵，使未來的輸入可以共享該特徵後預測輸出，而隱藏態主要負責儲存短期的記憶，單元態則主要負責長期的記憶。此外，LSTM 中還加入了輸入閥(Input Gate)，遺忘閥(Forget Gate)和輸出閥(Output Gate)，輸入閥、遺忘閥作用在於決定原始輸入值需不需要被儲存及需要儲存多少，輸出閥作用在於決定何為需輸入給隱藏態的值。LSTM 模型的其中一層如圖 4.11，主要會分成 4 個路徑，每條路徑皆乘載一完整向量，並且彼此間透過各種計算相互作用。

首先，在遺忘閥的路徑會連同上一層隱藏態的輸出 h_{t-1} 和輸入值 x_t 一同被考量，在經過激發函數(Sigmoid)後輸出 f_t ，如式(4-2)。 f_t 此時為 0~1 之間的數值，若 $f_t = 0$ 代表不會記憶任何資訊； $f_t = 1$ 則代表全部記憶。相同地，在輸入閥路徑上一層隱藏態的輸出 h_{t-1} 和輸入值 x_t 亦一同被考量，如式(4-3)。

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (4-2)$$

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (4-3)$$

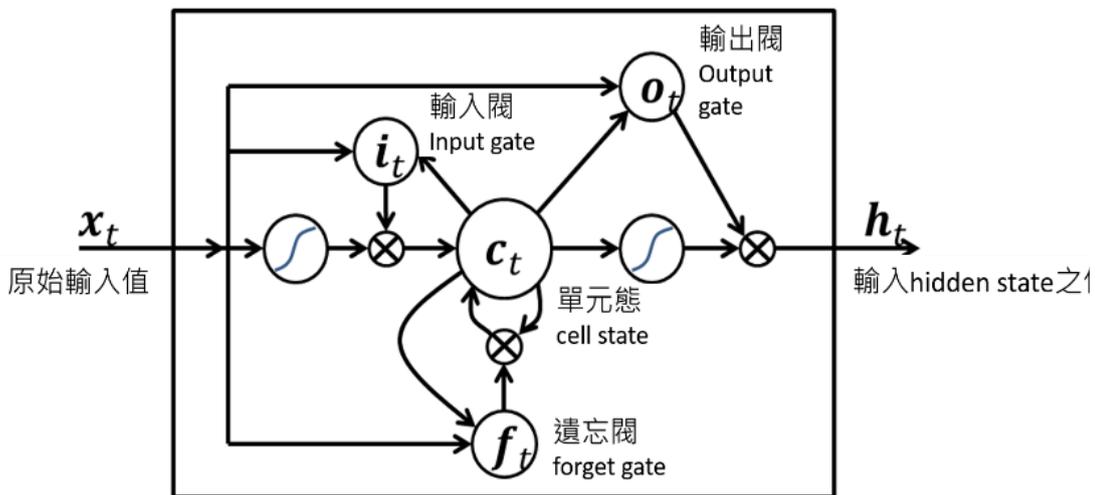
輸入閥路徑的輸出會併同新值的路徑輸出，如函式(4-4)，與遺忘閥路徑的輸出共同決定是否需更新單元態，如函式(4-5)，最後，在輸出層路徑會基於前述單元態狀態決定輸出什麼至下一層隱藏態，如函式(4-6)和(4-7)。

$$N_t = \tanh(W_t \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_t) \quad (4-4)$$

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * N_t \quad (4-5)$$

$$O_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (4-6)$$

$$h_t = O_t * \tanh(C_t) \quad (4-7)$$



資料來源：<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43992484>

圖 4.11 LSTM 運作原理示意圖

3. Transformer

Transformer 為一種採用「自注意力(Self-Attention)」機制之模型，即模仿人類對於一事物或一段句子描述有輕重之分(例如：主詞可能是句型當中最重要)，而將注意力更多的放在重要部分，並依照資料序列中不同之重要性來決定權重，故可避免像 RNN 在學習到後面資料時卻遺忘前面重要資訊的問題，亦不必像 RNN 及 LSTM 等模型須逐步處理資料，Transformer 模型架構能夠一次性處理所有輸入資料，允許更多的平行計算，並以此減少訓練時間，也

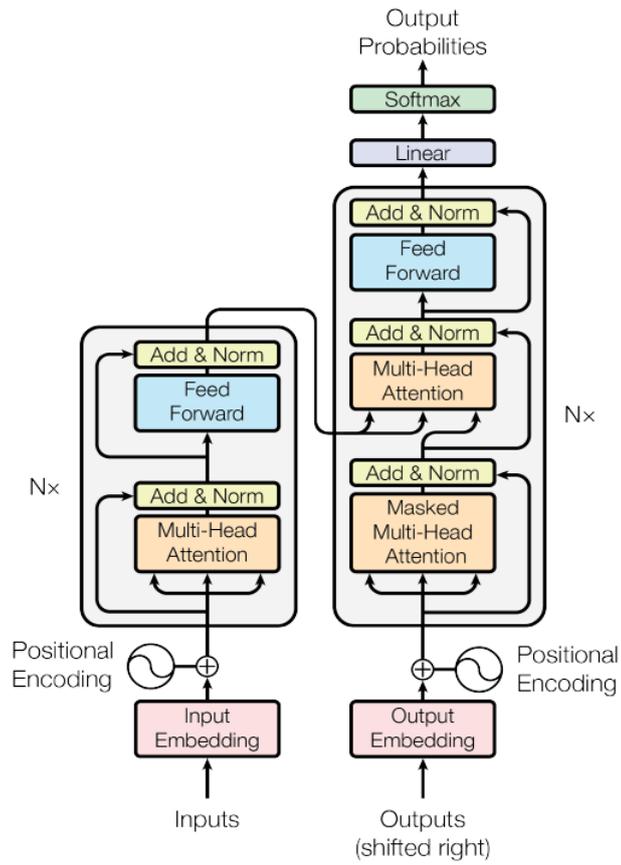
使模型能快速運行。

依 2017 年 Google 團隊提出之原始模型^[23]，Transformer 由編碼器-解碼器(Encoder-Decoder)架構組合而成(如圖 4.12)，編碼器主要由前面提到之自注意力機制和前饋(Feed Forward)神經網路組成，負責讀取和理解輸入數據。自注意力機制運作方式為當一段資料以序列方式輸入時，其可使模型關注序列中每一個位置的關鍵部分，藉由向量之間的運算來實現序列間之信息交換，處理步驟大致為：

- (1) 將輸入序列中的每一部分拆分為查詢(Query)、鍵(Key)和值(Value)向量。
- (2) 利用 $Attention(Q, K) = Q \cdot K^T$ 計算注意力分數。
- (3) 通過 Softmax 激發函數進行正規化，使得所有分數之和為 1。
- (4) 生成輸出： $Output = Softmax(Q \cdot K^T) \cdot V$ 。

透過自注意力機制產生之輸出，會再輸入前饋神經網路進行非線性轉換，用來強化和調整每一層的輸出，以提高模型表達能力。而在解碼器部分會根據編碼器的輸出來生成新的數據，解碼器的組成與編碼器相似，亦有加入自注意力機制和前饋神經網路。

雖然比起傳統之 CNN、RNN，Transformer 之參數量為他們的數倍之多，使其被稱為大語言模型(Large Language Model, LLM)，然而，隨著現今硬體效能的快速迭代，Transformer 模型架構被提出後，即掀起了一波生成式 AI 變革，也造就了各式能處理不同複雜任務之生成式 AI 模型被提出，文字處理(含翻譯、摘整、分析、問答)、程式碼編程、影像及語音生成等等(如圖 4.13)。



資料來源：Attention is all you need.[23]

圖 4.12 Transformer 模型架構

| The Generative AI Application Landscape | | | | | | | |
|---|-----------------------|--------------------|---------------------|-----------------|----------------------------|--------------------|---------------------|
| APPLICATION LAYER | TEXT | CODE | IMAGE | SPEECH | VIDEO | 3D | OTHER |
| Marketing (content) | | | | | | | |
| Sales (email) | | Code generation | Image generation | | | | Gaming |
| Support (chat / email) | | Code documentation | Consumer / Social | | | | RPA |
| General writing | | Text to SQL | Media / Advertising | | | | Music |
| Note taking | | Web app builders | Design | Voice Synthesis | Video editing / generation | 3D models / scenes | Audio |
| Other | | | | | | | Biology & chemistry |
| MODEL LAYER | OpenAI GPT-3 | OpenAI GPT-3 | OpenAI Dall-E 2 | OpenAI | Microsoft X-CLIP | DreamFusion | TBD |
| | DeepMind Gopher | Tabnine | Stable Diffusion | | Meta Make-A-Video | NVIDIA GET3D | |
| | Facebook OPT | Stability.ai | Craiyon | | | MDM | |
| | Hugging Face Bloom | | | | | | |
| | Cohere | | | | | | |
| | Anthropic | | | | | | |
| | AI2 | | | | | | |
| | Alibaba, Yandex, etc. | | | | | | |

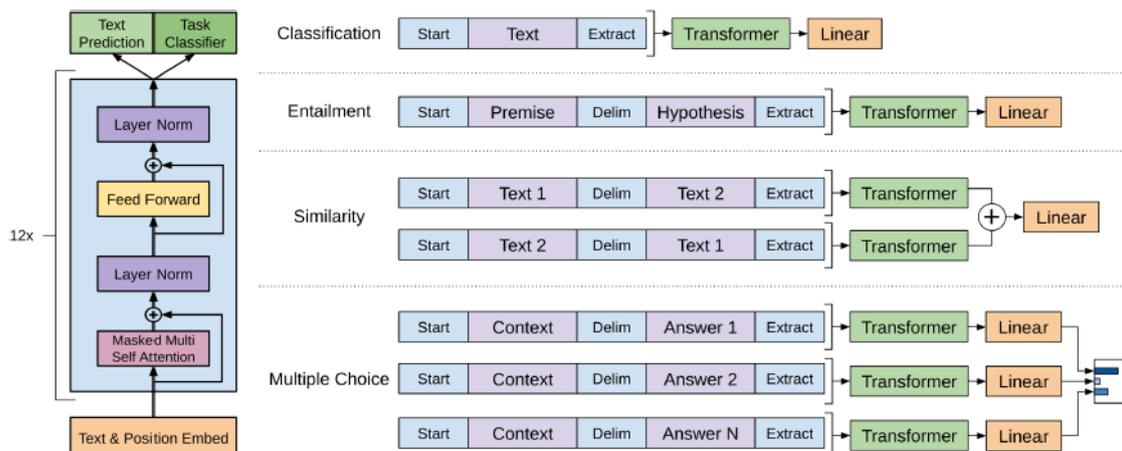
資料來源：https://reurl.cc/xvADp4

圖 4.13 生成式 AI 模型應用領域

4. GPT

如同前節所提到，Transformer 模型可視為所有生成式 AI 模型之基礎模型，諸多模型透過其基本架構，再進行改良和精進，其中最廣為人知的生成式 AI 模型之一即為：「生成預訓練(Generative Pre-trained)Transformer 模型」，簡稱 GPT，由 OpenAI 公司於 2018 年發表論文^[24]，為精準處理生成或總結自然語言、對話和翻譯等任務目的而生。

GPT 基於 Transformer 架構，使用自注意力機制和前饋神經網絡，並且依賴於位置編碼來處理序列順序，然而，GPT 和 Transformer 最大不同係在架構上只使用解碼器(如圖 4.14)，並主要應用於生成任務，故兩種模型在具體應用上的選擇取決於任務需求，例如：需生成連貫的語言，GPT 更為合適；而對於需要同時理解和生成的任務(如翻譯)，Transformer 會更具優勢。



資料來源：Improving Language Understanding by Generative Pre-Training.^[24]

圖 4.14 GPT 模型架構

GPT 訓練過程分為兩個階段，首先會進行預訓練階段，此部分為無監督式學習，透過輸入大量的文本資料來學習語言的基本結構和知識，再通過自回歸方式進行預測，即從當前詞來預測下一個詞；微調階段(Fine-tuning)則為監督式學習，GPT 會在特定的標註資料集上進行訓練，並學習如何在特定場景中生成正確的文本或答案。

自 2018 年發表 GPT 第一代後，OpenAI 公司持續精進該模型並於 2019 年推出 GPT 第二代(GPT-2)，除了參數規模大幅提升達到第一代 10 倍以上，GPT-2 已經不需要針對特定任務進行微調，僅通過提供幾個示例即可完成任務；2020 年推出 GPT 第三代(GPT-3)，參數量比起前代達到 100 倍之多，並開始具備適用不同應用場景之靈活性，例如：程式碼生成、文案撰寫等；2023 年推出 GPT-4、GPT4o 和 GPT-4 Turbo，開始能處理多格式(圖片、影像、聲音等)檔案，提升了模型在理解不同資料類型上的能力，並能夠進行更深層次的推理和上下文分析，此外，更調整了模型架構，大幅降低運行成本，使其能在行動裝置上進行應用(如表 4-3)。

表 4-3 GPT 模型各版本比較

| 版本 | 發佈時間 | 簡介 | 應用場景 |
|-------------|---------|--|-----------------------------|
| GPT-1 | 2018.6 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 利用 Transformer 解碼器架構 2. 以預訓練和微調過程進行訓練 3. 1.17 億參數 | 基本的文本生成和自然語言處理任務 |
| GPT-2 | 2019.2 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 無監督學習能力增強 2. 強化文本生成與連貫性 3. 15 億參數 | 文本及摘要生成、對話系統、機器翻譯等 |
| GPT-3 | 2020.6 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 能執行多工任務 2. 生成與理解能力提升 3. 1750 億參數 | 文本及原始碼生成、文案撰寫、對話系統、問答等 |
| GPT-4 | 2023.3 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 多資料型態處理能力 2. 強化語言推理 | 艱澀對話系統、法律分析、多模態應用 |
| GPT-4o | 2023.9 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 提升模型在低資源環境中的表現 2. 精進多語言處理 | 資源受限的應用(如手機、邊緣設備)、跨語言對話系統 |
| GPT-4 Turbo | 2023.11 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 成本降低、性能優化、速度提升 2. 提供更多自定義選項，更能貼近使用端需要 | 大規模商業部署、快速響應的應用，如虛擬助理、實時翻譯等 |

4.4 小結

依照本計畫應用 AI 深度學習結合 UAV 空拍影像輔助影像判識之目的，本章簡要介紹分辨式 AI 及生成式 AI 兩大分類及其各自代表之模型，並說明以影像檢測、分類等電腦視覺領域相關任務，許多係以 CNN 和 Transformer 為基礎架構下，再進行精進改良而生，除了前揭較具代表性之經典 AI 模型外，目前各大科技巨擘亦戮力開發最新且熱門應用之模型如下：

1. Vision Transformer(ViT)

- (1) 發佈時間：2020 年；
- (2) 發佈人/團隊：Google；
- (3) 應用場景：圖像分類、物體檢測、影像處理；
- (4) 技術原理：

ViT 是將 Transformer 引入電腦視覺領域的開創性模型，成為後續許多相同任務目的之 Transformer 模型的基礎，主要將圖像切分為塊狀，並使用自注意力機制進行特徵學習。

2. Swin Transformer

- (1) 發佈時間：2021 年；
- (2) 發佈人/團隊：Microsoft；
- (3) 應用場景：圖像分類、物體檢測、圖像分割、影片理解；
- (4) 技術原理：

Swin Transformer 將圖像分割為小窗口，並且在不同層次進行自注意力計算，此方法證實在相關領域中表現良好。

3. ConvNeXt

- (1) 發佈時間：2022 年；
- (2) 發佈人/團隊：Meta/Facebook AI；
- (3) 應用場景：圖像分類、物體檢測、圖像分割、影片理解；
- (4) 技術原理：

ConvNeXt 以 CNN 為基礎架構，並借鑒 Vision Transformer 部分設計理念融合而成。

綜上，針對影像辨識等相關領域，分辨式 AI 和生成式 AI 模型皆有千秋，並無孰優孰劣之分，故使用者應從應用場景、資料數量、運行設備等進行綜合考量後來選用模型，而於研究上，常會藉由同一資料集交付不同 AI 模型進行訓練後，利用各式指標來進行表現判定，藉以找出相對適用之 AI 模型。

第五章 UAV 結合 AI 深度學習影像判識方法

經第三章整理公路局邊坡現況與維護管理機制，已了解公路局現行應用 UAV 於邊坡之場景主要包含：(1)前後期變異判識；(2)落石危害度分析；(3)災害範圍量測及量體估計。而邊坡影像取得主要利用 UAV 搭載光學相機進行航攝，少部份會使用搭載 LiDAR 之機型協助，用以濾除植被，取得邊坡 DEM，並將原始 UAV 空拍影像轉製成正射影像，或利用近景攝影技術產製邊坡三維點雲模型，以進行多時序套疊比對分析等加值應用。本章重點討論 UAV 如何取得較為精良之資料成果、影像處理方式以及可結合第四章探討 AI 深度學習影像判識之方法。

5.1 影像取得

運用 UAV 航拍取得影像，其成像清晰度主要影響因素如下：

1. 環境因素

在不同天氣以及地理條件下，對 UAV 之拍攝成果有直接影響，以山區常見因素如：風速與氣流、GPS 信號不穩、光線及陰影、霧氣和降雨、地磁異常及電磁干擾等。

天氣部分，山谷間之複雜多變地形可能引致突來的強風或亂流使 UAV 飛行不穩定，造成拍攝時鏡頭抖動而失焦，甚至偏離原始規劃航線路徑；光照可能受其他山壁遮擋，導致拍攝標的曝光不足而過暗；濃霧和降雨則會降低可見度，影響影像清晰度。爰此，為減低天氣之影響，於飛航計畫執行前須提前查詢當地之氣象預報，若發現有不利之天氣因素則暫停或延後航拍時間，並因應山區天氣變化迅速，隨時警覺及查詢最新天氣資訊，並儘量於固定時間(例如：清晨或傍晚)進行拍攝，以維光線和陰影於成像表現之一致性，俾後續影像能減少色差，影像處理和判識工作較為容易，而使用較高階之 UAV，其避障與雲台穩定化功能，亦能顯著提升航拍成果。

地理條件部分，山谷地形可能阻擋衛星信號，使 GPS 定位不

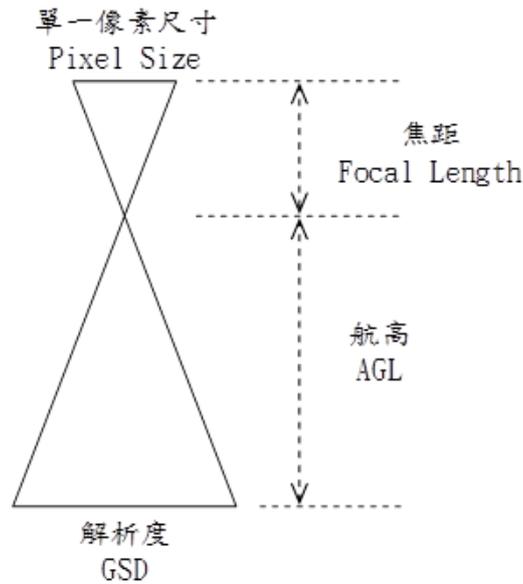
準，山區內亦可能存在天然的地磁異常，如富含磁性礦物的岩層，或基地台和高壓電塔產生電磁干擾，皆會導致 UAV 飛行路徑偏移或是迷航。解決方法為起飛前先觀察 UAV 衛星擷取狀況，及利用 UAV 內建羅盤校正等功能，在良好的情形下執行航拍任務，定位精準度則可考量應用雙頻 GPS 或 RTK 定位提升。

2. 設備因素

最直接影響 UAV 影像品質好壞即為搭載之鏡頭像素，高像素鏡頭(如 2000 萬像素)可呈現較多拍攝標的之細節，並獲得高解析度原始影像，且對於後續之影像編修及加值應用亦更加有靈活度和準確性，然而解析度並非越高越好，高解析度影像會影響後續儲存之檔案格式、儲存空間和傳輸速度等，此外，尚需考慮感光元件尺寸的影響，若感光元件面積小，卻擠入過多像素，會導致每個像素尺寸縮小，降低進光量，影像容易出現噪點和動態範圍不足的問題，故在光線不足或陰影狀態下，像素較大的感光元件(如 1 英寸感光元件)即使解析度略低，也能提供更好的噪點控制和色彩還原。故於資料蒐集前，應針對拍攝場景和目的進行權衡，選擇適合之解析度能確保影像既具細節又不過度增加處理負擔，達到品質與效率的平衡。

另外以 UAV 航拍而言，地面取樣距離(Ground Sample Distance, GSD)直接影響成像之精度，GSD 為每一像素中代表的地面實際距離(如圖 5.1)，其計算公式如式(5-1)，例如：GSD 為 2 cm/px 表示影像中每個像素代表 2 公分，GSD 越小，解析度需求越高，對於大面積或農業監測，一般 GSD 在 5~10 cm/px 應可滿足任務需求，而需精確之地形測繪或建模，GSD 約需降低至 1~2 cm/px。GSD 之計算，網路上皆有現成之計算機，整理常見之商用無人機的相機參數，使用者僅需選擇機型並鍵入飛航高度，即可獲得 GSD 結果。目前商用無人機在飛航高度為 50 公尺的狀況下，大致都能達到測繪需求之精度。

$$\frac{\text{Pixel Size(單一像素尺寸)}}{\text{Focal Length(相機焦距)}} = \frac{\text{GSD}}{\text{AGL(航高)}} \quad (5-1)$$



資料來源：近景攝影測量雲端服務系統開發與應用之研究-以公路邊坡為例^[25]

圖 5.1 相機焦距、像素、UAV 航高與 GSD 之幾何關係

3. 飛行操作因素

雖然目前 UAV 之自動返(巡)航、飛航軌跡設定及各式智能飛行模式等功能已相當全面，且多整合至 UAV 搭配之 APP 或遙控器內即能完成設定，惟僅能在傳輸信號良好的狀況下實現，若身處於前段提到之地形遮蔽及電磁干擾的環境，則需由飛手採用無 GPS 飛行(或稱姿態模式)，此時可能因人為操縱不當，例如：飛行姿態與速度不穩定、相片拍攝覆蓋率不足、過度晃動等，進而影響後續成像品質。

若在飛航環境允許使用自動巡航設定下，可於飛航設定時固定 UAV 飛航高度、速度及相機角度，並採用重疊拍攝(Overlap Rate)策略，設定快門間隔，提高影像間的重疊比例(建議 70~80%以上)，增加影像拼接及建模之精度，並維持每次拍攝品質之一致性。

5.2 影像處理與加值產出

在蒐集 UAV 原始影像後，除直接利用原始影像輔助確認人力不易抵達之邊坡狀況外，常會再利用軟體進行影像校準、對齊、重建、調色等處理工作，並生成正射影像、三維點雲模型或 DSM，以進行

後續套疊分析及其他增值應用。

1. 影像匯入

首先將無人機拍攝的影像導入攝影測量軟體，常見如：Pix4D、DroneDeploy、Agisoft Metashape 及 CloudCompare。這些軟體皆支援影像批量匯入及相關處理，Pix4D 和 DroneDeploy 適合需要自動化和多重功能(如測繪、監測等)之應用，Pix4D 對精度要求更高，而 DroneDeploy 則易於操作，Agisoft Metashape 較著重於專業 3D 建模，而 CloudCompare 為免費開源工具，專注於點雲分析(如表 5-1)，使用者可依自身需求選擇相應軟體。

表 5-1 常見攝影測量軟體比較

| 軟體 | 費用 | 重點功能 | 特點 |
|-------------------|----------|--|---|
| Pix4D | 需付費 | 用於 2D 和 3D 影像處理，專為測繪、農業、建築應用設計 | 支援地面控制點 (GCP)，提供自動化航線規劃工具，適合專業應用，如高精度正射影像生成 |
| DroneDeploy | 需付費(訂閱制) | 多功能平台，包含正射影像、NDVI、3D 模型生成，特別適合建築、農業及公共工程 | 易於使用，具有 App，支持第三方應用程式整合，適合初學者及企業 |
| Agisoft Metashape | 需付費 | 支援高精度 3D 建模，應用於測繪、考古學、建築和文化遺產保護 | 強調高細節 3D 建模，支援多光譜影像和熱成像，適合需要高精度的專業應用場景 |
| CloudCompare | 免費 | 基於點雲的 3D 點雲處理、可視化和分析，主要應用於研究和工程設計 | 支援多種點雲處理工具，如表面重建和體積計算，開源且支持擴充功能 |

2. 影像特徵點檢測及匹配

匯入影像後，軟體多可達成自動過濾出模糊或曝光異常之無效影像的功能，避免其對最終結果造成干擾，接著根據每張影像之可交換圖檔格式(Exchangeable Image File Format, EXIF)獲取飛行高度、拍攝時間、焦距，若影像有記錄 GPS 或 RTK 數據，軟體會自動將影像對應到地理坐標上，然而，由於 UAV 自身 GPS 精度通常

在 1~3 公尺，影像拼接時可能無法達到高準確性，此時若現場有佈設地面控制點(Ground Control Points, GCPs)，其座標資訊(通常以 CSV 或 TXT 格式儲存)可匯入軟體並根據 GCPs 的地理坐標系來定義影像的空間參考系，可有效輔助 UAV 影像處理中的精確定位和校正，校正影像中的誤差，確保生成的 2D 和 3D 模型具備更高的地理精度，並減少偏移和扭曲現象，且能生成具有地理參考的影像或 3D 模型，以確保影像拼接結果能準確映射到真實世界。

軟體首要工作是檢測每張影像中的特徵點，特徵點是影像中具有獨特圖案和顏色變化的區域，通常使用特徵檢測演算法，如 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform)、SURF(Speeded-Up Robust Features)或 ORB(Oriented FAST and Rotated BRIEF)等來提取特徵點。於各影像中檢測到特徵點後，軟體將嘗試找到不同影像間的共視區域，這一過程稱為「特徵點匹配」，通常以暴力匹配(Brute-Force Matching)或 FLANN(Fast Library for Approximate Nearest Neighbors)等演算法進行，匹配過程中可能會出現錯誤匹配，特別是在地形單調或特徵不足的區域，為此，可使用隨機抽樣一致性(Random Sample Consensus, RANSAC)等方法濾除不正確的匹配點，以提升結果的穩定性和準確性。

若欲針對單一邊坡場域進行多時期監測任務，可考量於邊坡進行航空編碼標之佈設(如圖 5.2)，編碼標於近景攝影之邊坡監測中主要做為後續輔助特徵點檢測使用，在多張影像中可被清晰識別和匹配，有助於降低誤匹配率，編碼標可辨識的範圍介於垂直傾斜角度小於 50 度且中心圓的直徑必須大於 10 個像素^[25]。以拍攝 GSD 為 1cm 為例，成像中心圓最小須為 10cm(1cm×10 倍的 GSD)。另外，佈設航空編碼標的位置通常會對應到已知的 GCPs 坐標，因此可以將編碼標用作輔助 GCPs 的工具，在後期數據處理時將影像準確地定位到真實地理位置，提升影像的地理參考精度。



資料來源：近景攝影測量雲端服務系統開發與應用之研究-以公路邊坡為例^[25]

圖 5.2 編碼標與其設置情形

3. 影像對齊、拼接及色彩校正

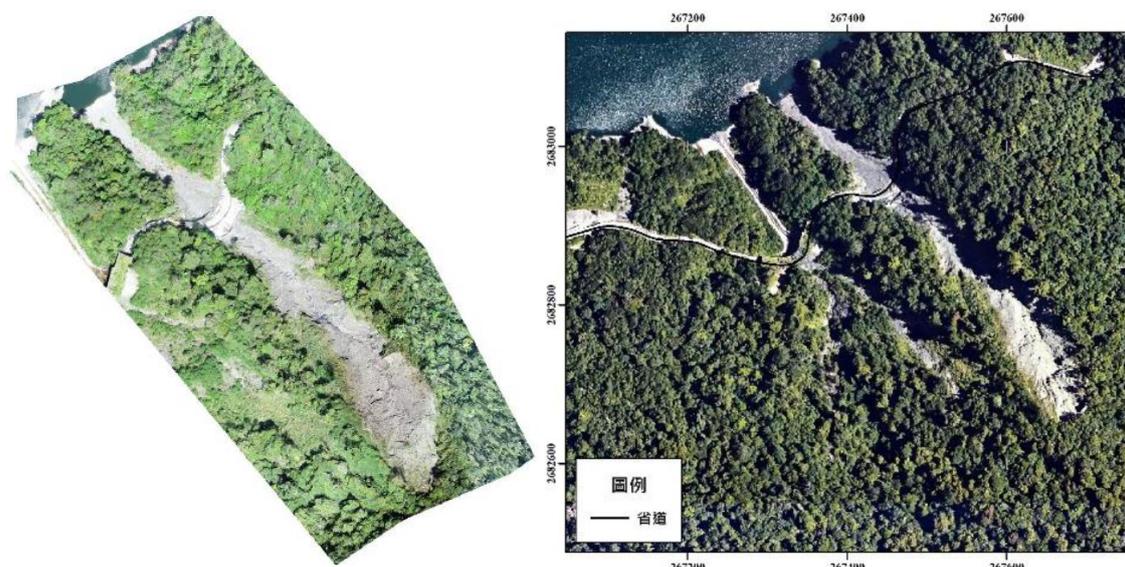
在特徵點匹配完成後，軟體接著會計算出影像間的變換矩陣，通常透過估計影像間的單應性矩陣(Homography)或基於三角測量來完成，進行校正後使影像之間能夠合理對齊，對齊後的影像將被疊加並進行拼接，生成無縫的合成影像，此一步驟會考慮亮度和顏色校正，以減少影像接縫的明顯性，此外，也可能通過多頻道拼接和梯度融合等技術來進行圖像平滑處理，最終生成平滑、連續的影像。

4. 輸出正射影像、點雲模型或 DSM

(1) 正射影像

在原始影像中，UAV 相機用之廣角鏡頭通常會導致影像產生畸變，故生成正射影像關鍵在於透視校正並去除地形起伏和視角影響，目前攝影測量軟體可以協助分析 UAV 相機之內參數(如焦距、光學中心、像素尺寸及畸變係數等)、外參數(如相機三維空間中的位置(X、Y、Z)和旋轉角度(俯仰、翻滾、偏擺)，針對畸變進行自動校正，以修正影像邊緣的拉伸或壓縮，使影像比例更均勻，且能消除影像偏移，使地物之位置在影像中保持正確的幾何關係，讓空拍影像進行精確之應用，例如：正射

影像可輸出為 GeoTIFF 格式，具有地理編碼的影像文件便於應用於 GIS 系統中(如圖 5.3)。



資料來源：信義工務段-108 年度優先關注邊坡及易致災路段(巡)檢測委託服務工作^[26]

圖 5.3 邊坡影像拼接圖(左)及正射影像(右)

(2) 點雲模型

為清楚了解邊坡地形變化，或由不同視角查看地貌特徵，可於攝影測量軟體中利用影像對應的多視角資訊生成稠密點雲，以重建三維空間，故點雲模型即為諸多三維點(x, y, z)的集合，用以描述空間中物體的幾何位置。

影像經由特徵點匹配完成後，軟體利用視差(parallax)計算相機與場景中點之間的距離，生成每個像素的深度資訊，並基於前揭資訊，利用多視圖立體重建(Multi-View Stereo, MVS)技術，將影像分區，針對每個區域提取高精度的三維點，而 MVS 演算法依賴影像重疊度，低重疊影像會產生空洞或不連續的點雲，故在飛行規劃時才須注意影像重疊率，以達到較好之成果呈現。生成的稠密點雲會進行濾波，通常使用 SOR(Statistical Outlier Removal)或 ROR(Radius Outlier Removal)演算法，以去除噪點和冗餘數據，生成點雲後，尚能經處理進行表面重建、平滑和紋理貼圖，以生成高解析度 3D 模型。點雲模型可導出為

LAS 或 PLY 格式，用於 3D 分析、地形建模或進一步工程設計中，在測繪或建築應用，後處理時還可添加測量和計算功能。

(3) DSM

DSM 通常基於點雲，將點雲中的最高點投影到網格上，以獲得 DSM。其原理係利用插值方法，例如：最近鄰插值(Nearest Neighbor Interpolation)、反距加權插值(Inverse Distance Weighting, IDW)、三角網格插值(Triangulated Irregular Network, TIN)，或基於多視圖影像的深度融合(特別針對 UAV 影像)等。將點雲模型中不規則分佈的高度值轉換為具規則之網格數值，故點雲模型和 DSM 差別在於前者為較原始的數據展現，而後者為經過處理以展現高度分布值之模型，其他差異比較如下表 5-2。

表 5-2 點雲模型和 DSM 應用比較

| 應用 | 點雲模型 | DSM |
|------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 數據結構 | 三維點的集合，描述空間中物體的幾何位置，通常為(x, y, z)。 | 一種網格化數據，以網格的高度值(z)表示物體的高度。 |
| 內容 | 包括所有物體的三維坐標，如地面、建築物、植被等。 | 表示地面及其上方物體(例如樹木、建築物)的最高點。 |
| 分辨率 | 通常稠密且不規則分佈，每個點具有精確的空間坐標。 | 固定網格分辨率，提供規則的高度數據分佈。 |
| 輸出格式 | 常見格式如 LAS、PLY、XYZ 等。 | 常以網格形式儲存，如 GeoTIFF 或 ESRI ASCII 格式。 |
| 應用場景 | 提供細節豐富的三維數據，適合點對點分析，例如：三維建模、地形測量。 | 適合進行地形坡度、高度差異和地表物體影響的整體分析。 |

5. 小結

本計畫設定之影像取得來源為 UAV 搭載光學鏡頭，而依前兩節之整理，在 UAV 影像蒐集、處理並輸出成可加值應用之產品流程大致如圖 5.4 所示。以下並針對利用 UAV 拍攝的原始影像，以及經處理生成之正射影像(如圖 5.5)、點雲模型(如圖 5.6)和 DSM(如圖 5.7)，於邊坡的應用場景和適用性進行總結。

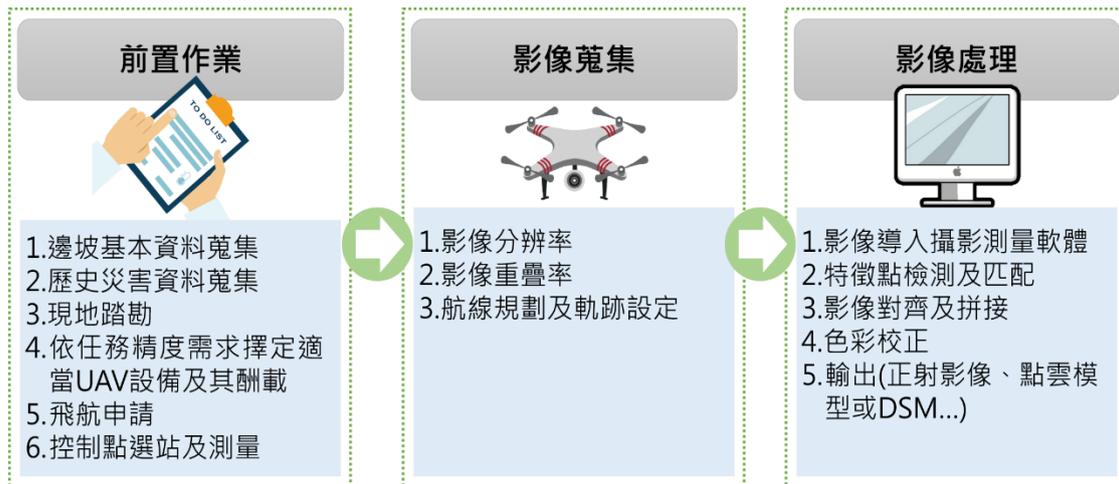


圖 5.4 UAV 影像蒐集、處理並輸出流程

(1) 原始影像

除做為後續正射影像、點雲模型和 DSM 等生成基礎外，適合於平時及災後等初步調查，可快速獲取邊坡的實時影像，檢查是否存在明顯的滑動、裂縫或其他表面異常。

(2) 正射影像

提供具有地理參考之影像，以進行邊坡地表形態和結構的分析，並可通過高分辨率影像檢測邊坡表面的裂縫或滑動跡象，且可透過多時相正射影像的對比，分析邊坡的變形(位)趨勢。

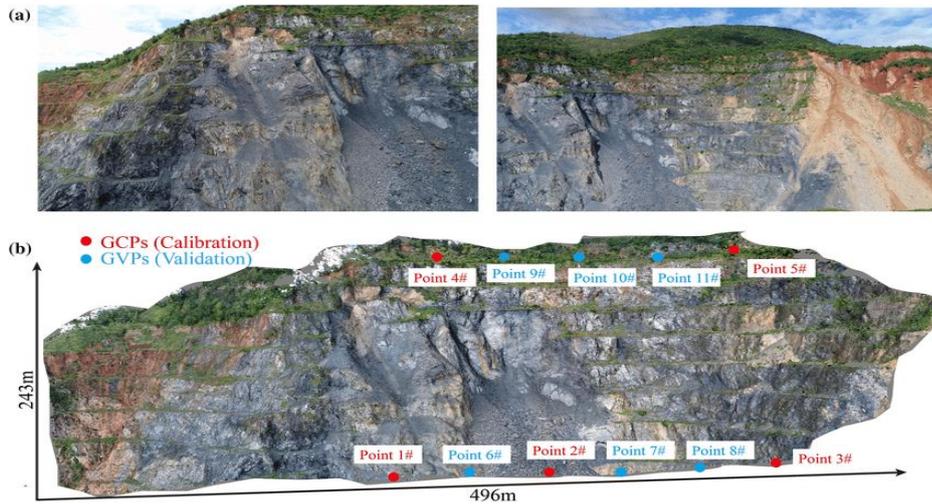


資料來源：農業部農村發展及水土保持署 BigGIS 巨量空間資訊系統(111 年 7 月 1 日新竹尖石鄉秀巒村邊坡崩塌影像)

圖 5.5 原始邊坡影像(左)及正射影像(右)

(3) 點雲模型

適合需三維分析的應用，如精密測量、邊坡重建和結構風險評估，邊坡高密度點雲三維模型，可計算邊坡的角度、體積及形狀特徵；點雲模型與地質數據結合，進行邊坡穩定性分析。

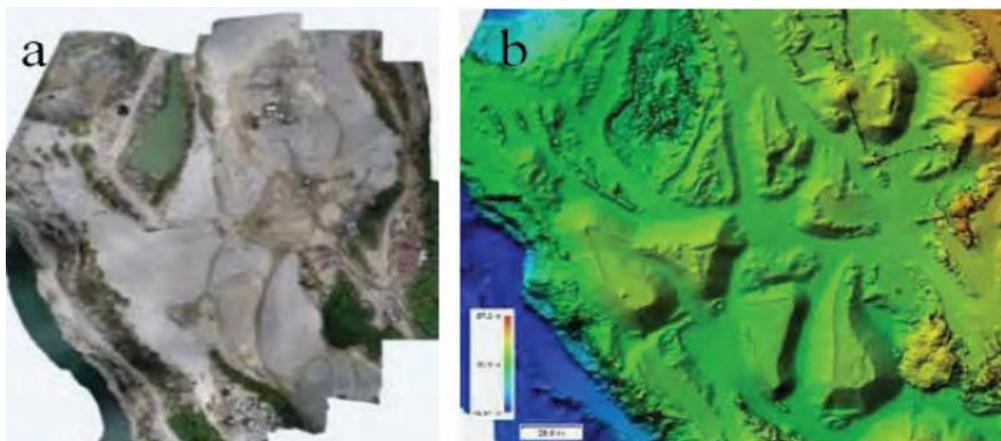


資料來源：Multistep Rocky Slope Stability Analysis Based on Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. [27]

圖 5.6 原始邊坡影像(上)及點雲模型(下)

(4) DSM

DSM 可提供規則的高度數據，用於大範圍地形分析與排水設計和路徑規劃，另有相關研究使用其進行邊坡滑動模擬，計算滑坡體積及影響範圍，或透過多時相 DSM 比對，精確計算邊坡變形量。



資料來源：Application of UAV Photogrammetry for Quarry Monitoring. [28]

圖 5.7 邊坡正射影像(左)及 DSM(右)

5.3 AI 應用之切入

經由本計畫執行過程蒐整之文獻，並與公路邊坡第一線實務單位之諮詢及訪談後，落石型破壞之裸露邊坡相對合適利用 UAV 影像協助進行調查，因其常具有高聳及坡度超過 45 度之陡峭岩壁，致使人車不易抵達使目視效果有限，且植生密度低，災害特徵不易受植被影響導致辨識困難，加上災害範圍相對於各項邊坡破壞類型例如：地滑、大規模崩塌等較小等等理由，故落石型邊坡相對適用 UAV。而 UAV 原始影像經處理成正射影像、點雲模型或 DSM 後，可依邊坡維護管理及防災需求進行多時期套疊及變異分析或災害範圍量測及量體估計等作業，惟目前相關工作係交由土木、大地工程實務專家，本專業及經驗進行成果判識後，提出建議予維管單位進行參考。故本節針對 UAV 於落石型邊坡相關應用場景，整理 AI 可能之輔助及切入點。

1. 前後期變異判識

依國家災害防救科技中心定義：「岩塊或岩屑自斜坡或陡峭的懸崖上由空中落下稱為落石。落石常由於振動或偶因根楔作用(植物的根將岩石中的裂隙撐開)而誘發。」；潘國樑(2005)^[29]：「夠發生落石的岩土體一般是被節理密切切割的堅硬岩層、大小石塊與細粒砂泥混雜的礫石層或崩積土、砂岩與頁岩互層等，因為地震、降雨或應力釋放所造成的。」；吳淵洵、周南山(2006)^[30]說明易產生落石的岩層必然具有不良地質材料及地質構造，例如：膠結不良、節理發達，造成弱面發育進而切割岩體，導致落石之發生。由前敘述可知邊坡落石災害多因自身地質及所處環境條件不佳，加上地震或強降雨等外部因子引致，而其致災前較為明顯之特徵為：(1)張力裂縫產生、(2)岩屑及浮石堆積、(3)植被傾倒且塌面持續發展(如圖 5.8)。而除了邊坡本身，亦可由固坡設施或其他人工設施之變位來協助判斷變異。

現地勘巡-邊坡現況空拍(112.08) 現地勘巡-邊坡現況空拍(112.10)



資料來源：埔里工務段、信義工務段優先關注邊坡光達應用暨進階檢測圖資建置計畫(第五期)教育訓練簡報^[31]

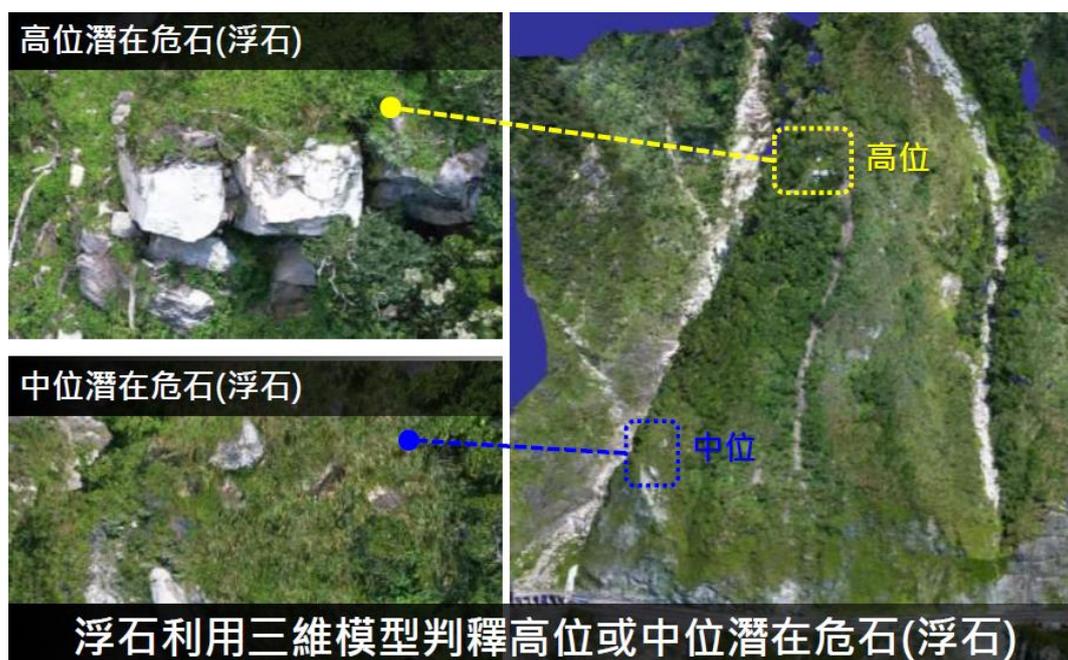
圖 5.8 應用多時期空拍影像判識邊坡災害特徵

因相關災害特徵可由專業人員以單一或多期影像，或利用前後期 3D 點雲模型、DSM 等進行判識並圈繪，故可由人員先針對欲分析之災害特徵進行標註，並運用深度學習之語意分割或實例分割演算法(例如：Mask R-CNN)予以訓練，利用 AI 模型實現高解析度影像中災害類型之自動檢測，例如：識別張力裂縫大小、位置和方向；分析樹冠孔隙變異；影像自動分類為植被覆蓋區、裸露區或侵蝕區，並藉由多時序影像來預測其各區域發展趨勢等。

而生成式 AI 模型則可應用於資料增強(Data Augmentation)，生成以假亂真之影像協處拓展資料集，提升訓練樣本，或補充劣化影像不足的問題，更甚者，加入地質數據、降雨量、地表加速度等各式因子，生成在某特定條件下之模擬邊坡情況，協助進行影像展示及風險分析，另此部分公路之 RHRS 評分系統皆針對相關中高風險之優先關注邊坡進行評定，相關數值可參採使用。

2. 落石危害度分析

目前公路局亦常使用 UAV 針對倒懸孤石進行多面向拍攝，並生成點雲模型，針對人力難以抵達之處，以間接目視調查孤石的倒懸狀態，分析崩塌量體可能之大小、方向與落點(如圖 5.9)。而 AI 模型能經由學習輔助標記倒懸孤石，並分析其特徵，藉以判斷孤石之倒懸狀態，以評估掉落路面風險並預為進行噴漿或掛網等防護作為，化被動為主動。



資料來源：公路局無人機於防災應用分享與 AI 應用之展望簡報^[15]

圖 5.9 應用點雲模型判識邊坡浮石危害

或基於岩石力學和工程地質專家之豐富學識經驗協助檢視岩體類型、節理、固結狀況，進行不連續面分割(如表 5-3)以找出關鍵弱面之所在。而 AI 可輔助之部分在於協助識別出岩石邊坡的粗糙度與其結構面幾何，找出具有代表性的結構面，以判斷岩塊滑移或破裂模式，供危石偵測和穩定性模擬方面相關研究應用參採。

表 5-3 不同岩體類型之連續面狀況與性質

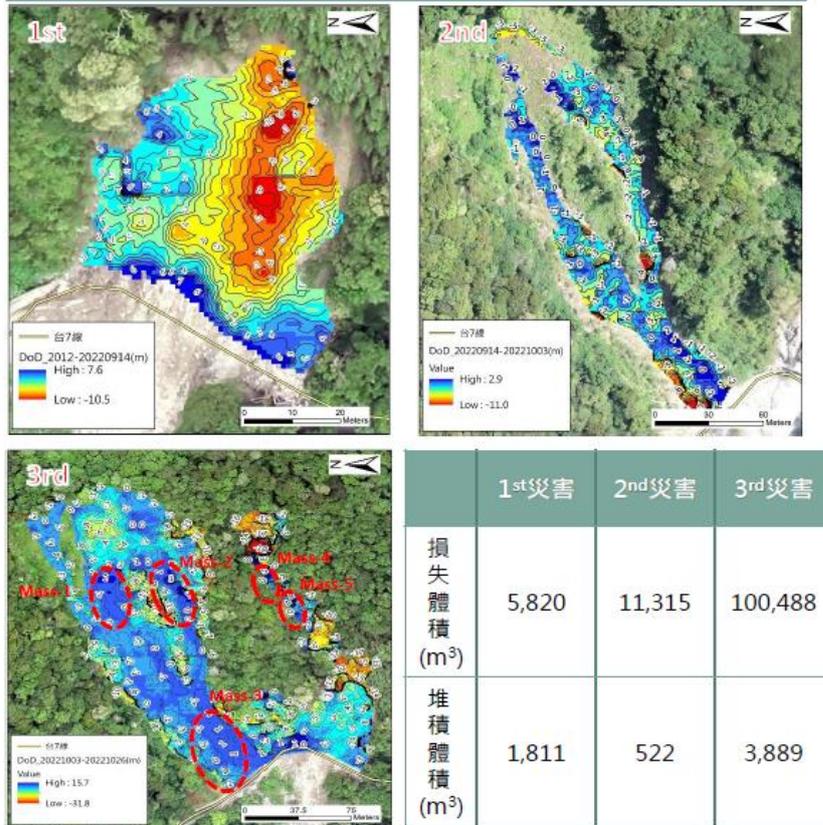
| 岩體類型 | 不連續面間距(m) | 每公尺不連續面數(條) | 不連續面組數 | 性質 |
|------|-----------|-------------|--------|--|
| 整體 | >1 | <1 | 1~2 | <ul style="list-style-type: none"> ● 可視為均質彈性體 ● 岩體力學性質主要取決於岩性 ● 透水性不佳 ● 不連續面摩擦角>30 度 |
| 塊狀 | 0.5~1 | 1~2 | 2~3 | <ul style="list-style-type: none"> ● 岩體力學性質受岩性及完整性控制 ● 透水性弱至中等 ● 不連續面摩擦角約在 22~30 度之間 |
| 層狀 | <0.5 | >2 | 主要為 1 | <ul style="list-style-type: none"> ● 岩體力學性質取決於岩性、岩性組合、層厚及層間摩擦力 ● 岩屑及不連續面位態對岩體穩定性有重要影響 ● 不連續面摩擦角約在 17~27 度之間 |
| 破碎 | <0.5 | >2 | >3 | <ul style="list-style-type: none"> ● 岩體強度低易變形 ● 地下水不良作用明顯 ● 不連續面摩擦角約在 11~22 度之間 |
| 散體 | - | - | 雜亂無序 | <ul style="list-style-type: none"> ● 鬆散、強度低、塑性變形明顯 ● 地下水不良作用突顯 ● 不連續面摩擦角約在 11 度上下 |

資料來源：潘國樑-不連續面對岩體穩定性的影響^[32]

3. 災害範圍量測及量體估計

目前公路局 UAV 於邊坡之應用場景中，亦常見以正射影像進行崩塌範圍圈繪，應用點雲模型和 DSM 進行災害範圍量測及量體估計(如圖 5.10)，主要係以高程差分計算來進行變異值估算。

UAV測量建模 → 崩塌面積與量體變異數值



資料來源：公路局三維數值模型在邊坡管理與科技防災之應用簡報^[33]

圖 5.10 應用 DSM 判識邊坡崩塌面積與量體變異

AI 應用部分，處理方式和變異區判識近似，通過 AI 深度學習影像分割技術，準確判別受災和未受災區域，使後續的災損量體估計更加精確，以便估算清運量及研擬改善或加固方案。而生成式 AI 模型，可用於模擬並生成不同災害條件下的影響範圍，幫助維管單位分析邊坡可能之演變過程和次生災害，以供預想在不同災害情境下之影響，俾決策者快速理解。

綜上，經本計畫整理，針對以 UAV 空拍影像為資料集，分辨式 AI 和生成式 AI 於落石型邊坡應用場景適用性分析如表 5-4。

表 5-4 分辨式和生成式 AI 於落石型邊坡應用場景適用性整理

| 應用場景 | 分辨式 AI 應用 | 生成式 AI 應用 |
|-------------|---|---|
| 前後期變異判識 | <ul style="list-style-type: none"> ● 影像中災害類型之自動檢測(例如：張力裂縫大小及位置標記) ● 樹冠孔隙變異分析 ● 植被覆蓋區、裸露區等區域劃分 ● 區域發展趨勢及範圍預測 | <ul style="list-style-type: none"> ● 資料樣本數量提升 ● 闕漏影像補全 ● 邊坡各種災害情況及影響時間之範圍模擬及生成 |
| 落石危害度分析 | <ul style="list-style-type: none"> ● 潛在危石圈選及標記 ● 崩塌量體之大小、方向與落點分析 ● 岩體不連續面分割並找出關鍵弱面所在 | |
| 災害範圍量測及量體估計 | 提升災損量體估計量精確度 | |

第六章 結論與建議

本所配合交通部重大施政方針及支援各運輸系統技術與研發創新任務目的，於 111 年提出「多期多尺度影像結合深度學習於邊坡地貌變異判識之初探」2 年期計畫，並已完成多時期多尺度空拍影像(如衛星、航照、UAV)結合深度學習技術於公路邊坡地貌變異判識之適用性及應用性探討。今(113)年再以前期研究基礎上，聚焦於 UAV 結合 AI 進行落石型邊坡破壞特徵影像辨識之探討，並已完成：(1)蒐集國內外 UAV 結合 AI 於邊坡之相關研究文獻；(2)諮詢專家學者及邊坡管理實務單位；(3)調查公路局邊坡應用 UAV 情形及維護管理機制；(4)探討 AI 深度學習技術；(5)研析 UAV 結合 AI 深度學習影像判識方法。並提出以下結論與建議，期望 UAV、AI 等新興科技及技術能切合現行公路邊坡維護管理機制與防災流程，輔助公路局邊坡防災實務應用。

6.1 結論

1. 經與公路局工務段邊坡調查人員訪談，獲悉其除取得原始 UAV 空拍影像外，亦會應用專業軟體轉製成正射影像，或利用近景攝影技術產製邊坡三維點雲模型，以進行多時序套疊比對分析等加值應用。其 UAV 影像及其加值產品於邊坡應用場景綜整如表 6-1。

表 6-1 UAV 影像及加值產品於邊坡應用場景適用性整理

| UAV 產品 | 原始影像 | 正射影像 | 點雲模型 | DSM |
|--------|--|---|--|---|
| 應用場景 | <ul style="list-style-type: none"> ● 建立基本圖資 ● 後續各式加值應用產製基礎 ● 初步調查 | <ul style="list-style-type: none"> ● 具有地理參考價值 ● 可透過多時正射影像套疊及對比，分析邊坡的變形(位)趨勢 | <ul style="list-style-type: none"> ● 適合需三維分析的應用及展示 ● 邊坡量測及災害量體分析 | <ul style="list-style-type: none"> ● 提供具規則的邊坡高度數據 ● 大範圍地形分析與排水設計和路徑規劃 |

2. 經第二章歸納相關文獻可知欲進行 AI 深度學習影像辨識或目標偵測及分類等任務，除利用邊坡高解析度影像外，尚加入邊坡空間特

徵資料(例如：點雲模型、DSM)，並配合環境因子(例如：邊坡坡度、坡向、地質等)共同分析，以達較好之判識效果。

3. 依照本計畫 AI 深度學習結合 UAV 空拍影像輔助影像辨識之應用目的，其自資料蒐集、處理至 AI 模型挑選及後續工作之整體流程大致如圖 6.1。而針對第四章整理各類 AI 相關影像辨識模型及應用，使用者需從應用場景、資料數量、運行設備等進行綜合考量後來選用模型，並可依蒐集之資料量數量及品質，決定運用單一或多支 AI 模型，針對不同階段來予以協處。

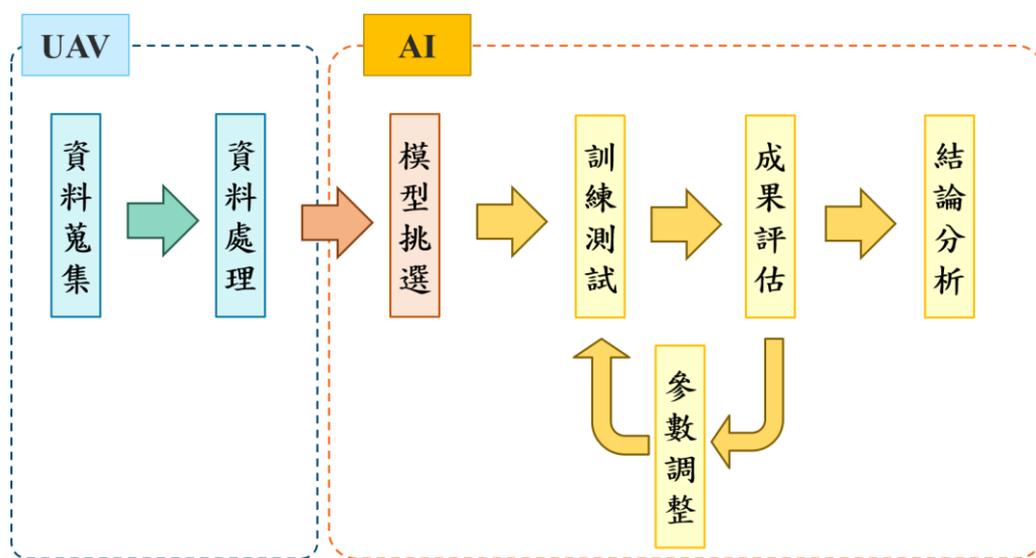
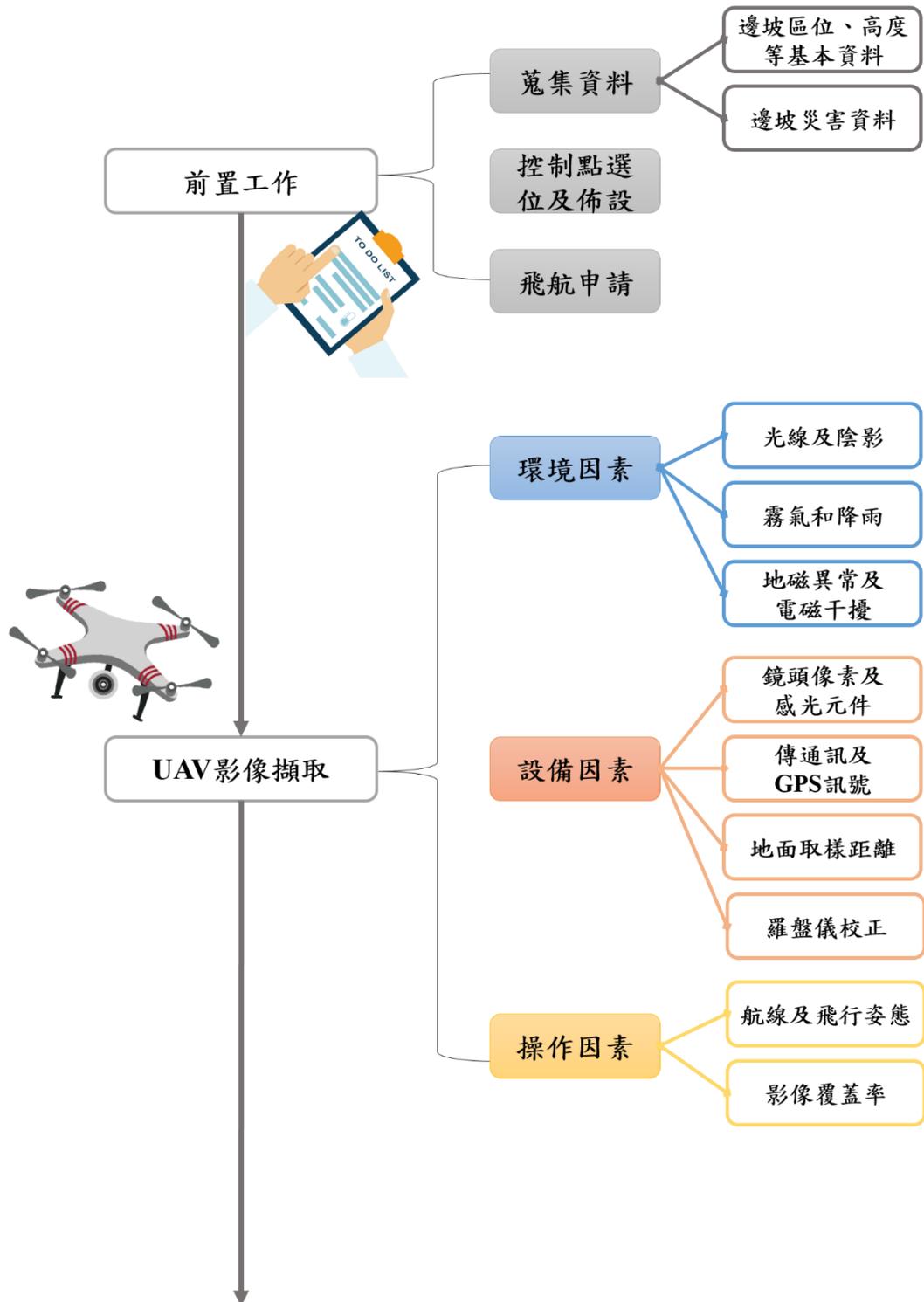


圖 6.1 應用 AI 整體流程

4. 依第五章總結欲以 UAV 結合 AI 進行相關應用，首先必須針對目標邊坡進行基本屬性、災害歷史等資料蒐集，並進行相關飛航前置工作，例如：前往民航局平台進行飛航申請、佈設控制點並進行測量等。而在 UAV 影像擷取環節，若要獲取高解析度及高品質之空拍影像，尚需注意環境、設備及飛手操作等因素；影像處理部分則依需求選用適當且專業之軟體，其內建功能多能滿足影像特徵點檢測、匹配、對齊及拼接工作，必要時還可調整曝光值、色彩校正等，並輸出正射影像、點雲模型及 DSM 加值產品，以做為 AI 訓練之初始資料集。AI 模型之建構主要以 Python 程式語言進行編程，可利用深度學習框架實現快速佈署及訓練測試，而依前述分辨式 AI 和生成式 AI 模型於落石型邊坡應用場景適用性，生成式 AI 可用於

資料數量擴張及協助標註等，分辨式 AI 則用於處理影像檢測、分類及圈繪等。綜上，整理大致工作流程規劃如圖 6.2。



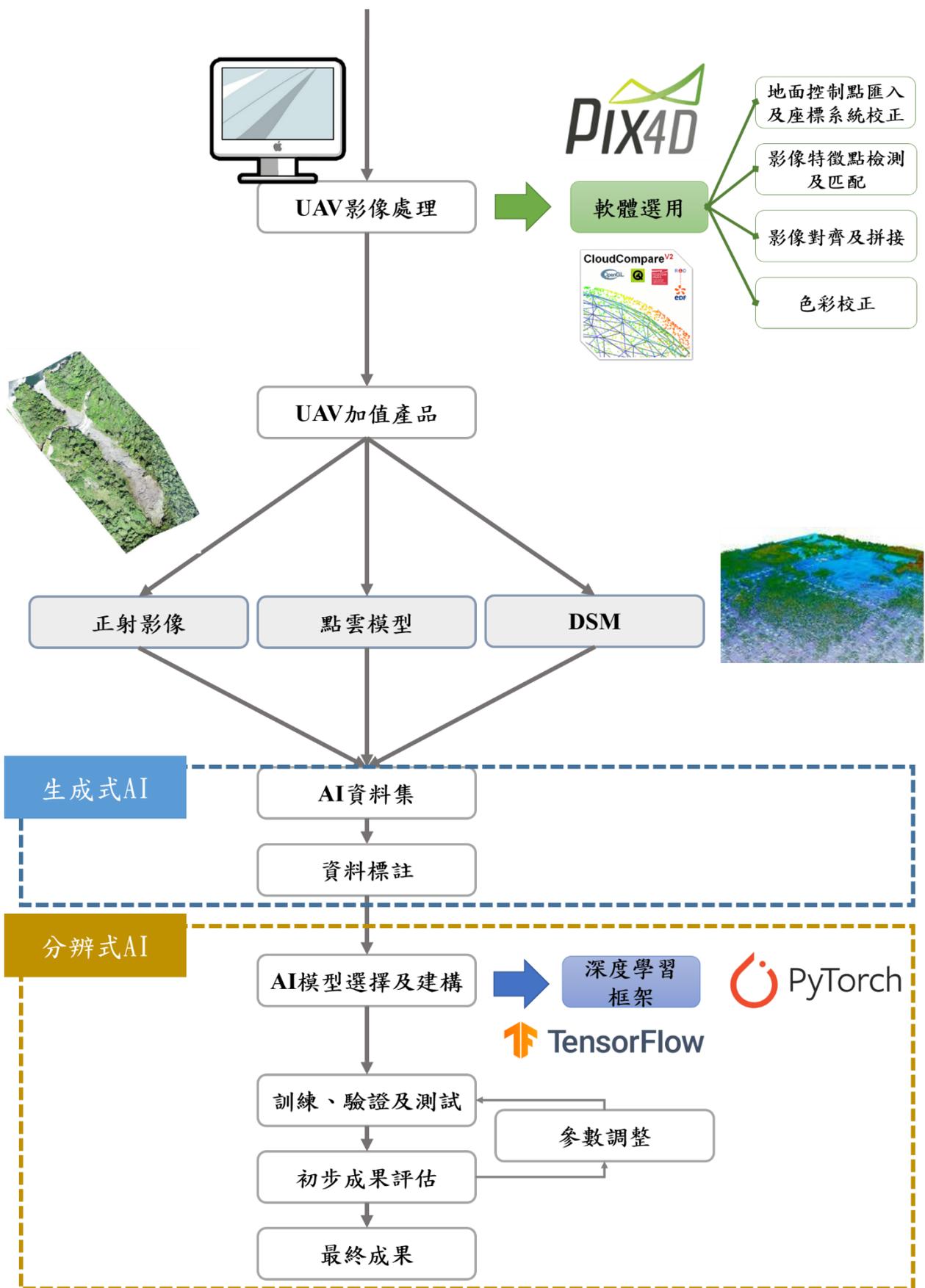


圖 6.2 邊坡空拍影像結合 AI 深度學習之工作流程規劃

6.2 建議

1. 公路局除利用 UAV/S 進行邊坡科技巡檢工作外，尚因應各式邊坡狀況及災害類型，應用空載和地面 LiDAR、InSAR 及衛星影像等，建議持續蒐集並產製各類公路邊坡數值影像及模型資料，建立邊坡資料庫，未來相關資訊可進行大數據決策輔助資料庫、AI 訓練及災害預測等後續智慧化加值應用。
2. AI 於邊坡之應用不僅是影像辨識，以地表聲音或震動等做為 AI 學習之資料集，達成邊坡減(防)災之效用，皆有相關研究探討，故考量以邊坡相關地表及地底監測數據做為 AI 訓練樣本，用以探討其數據變化對於邊坡變異之關聯程度，以達災害預測及預警之可能，亦是後續可考量切入公路邊坡 AI 應用方向。
3. 邊坡災害類型眾多，若要深入探討 AI 於邊坡防災上的應用，建議可先依照不同特性邊坡及破壞類型，例如：落石、地滑、土石流等，進行剖析後先選擇其一進行，以利聚焦。

6.3 成果效益與應用

1. 本計畫可提供公路局轄管邊坡 UAV 結合 AI 應用之參採。
2. 本計畫可做為本所 AI 技術研發後續相關研究探討與應用。

6.4 提供政府單位應用情形

本計畫屬初步探討性質，尚無提供予政府單位應用情形。

參考文獻

1. Al-rawabdeh, A., He, F., Moussa, A., El-sheimy, N., & Habib, A. (2016). Using an Unmanned Aerial Vehicle-Based Digital Imaging System to Derive a 3D Point Cloud for Landslide Scarp Recognition. *Remote Sensing*, 8(2).
2. United States Geological Survey. (2016). *Landslide Types and Processes*.
3. N, Bar, L, Borgatti, D, Donati, M, Francioni, R, Salvini, & M, Ghirotti. (2021). Classification of Natural and Engineered Rock Slopes Using UAV Photogrammetry for Assessing Stability. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 833(1).
4. Muhammad Latifi Mohd Yaacob, Abdul Wahid Rasib, Zulkepli Majid, Khairulnizam Idris, Ahmad Safuan A.Rashid, Rozilawati Dollah, Radzuan Sa'ari, Mushairry Mustaffar, Nor Hamizah Idgihat, Norbazlan Mohd Yusof, & Norisam Abd Rahaman. (2022). Investigation of Rock Slope Stability Using Drone-Based Thermal Sensor. *Journal of Advanced Geospatial Science & Technology*, 2(1), 67–91.
5. C.becker, E. rosinskaya, Häni, N., & D'angelo, E. (2018). Classification of Aerial Photogrammetric 3D Point Clouds. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 84(5), 287–295.
6. Wang, S., Zulkifl , A., Hashmi, M. Z., & Wang, P. (2019). Cliff Face Rock Slope Stability Analysis Based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry. *Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources*, 5, 333–344.
7. Battulwar, R., Zare-naghadehi, M., Emami, E., & Sattarvand, J. (2021). A State-of-the-Art Review of Automated Extraction of Rock Mass Discontinuity Characteristics Using Three-Dimensional Surface Models. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(4), 920–936.
8. Beni, T., Nava, lorenzo, Gigli , giovanni, Frodella, william, Catani, F., Casagli, N., Gallegoar, J. I., Margottini, C., & Spizzichinoyusof, D. (2023). Classification of Rock Slope Cavernous Weathering on UAV Photogrammetric Point Clouds: The Example of Hegra (UNESCO World Heritage Site, Kingdom of Saudi Arabia). *Engineering*

- Geology*, 325.
9. Wang, S., Zhang, zishan, Ren, yipeng, & Zhu , C. (2020). UAV Photogrammetry and AFSA-Elman Neural Network in Slopes Displacement Monitoring and Forecasting. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24, 19–29.
 10. 交通部公路局，(民 113)，省道橋梁、邊坡安全管理與防災(含 0403 震後檢測)部務會報。
 11. 交通技術標準規範公路類公路工程，(民 104)，公路邊坡大地工程設施維護與管理規範。
 12. 交通部公路局，(民 112)，公路養護手冊。
 13. 交通部公路局，(民 110)，公路局邊坡維護管理制度簡報。
 14. 陳進發，(民 107)，公路總局推動科技應用於山區公路養護管理階段成果分享，*臺灣公路工程*，44(5)，26–39。
 15. 交通部公路局，(民 112)，無人機於防災之應用分享與 AI 應用之展望簡報。
 16. 李璟芳、林士淵，(民 107)，星載干涉合成孔徑雷達觀測技術於大地工程之應用，*土工技術 No. 157*，97–100。
 17. 交通部公路局、國立陽明交通大學，(民 113)，微地動偵測邊坡滾落石事件：告警與預警之研究發展、實際應用及面臨的挑戰簡報。
 18. Hsu, C. F., Wu, C. Y., & Li, Y. F. (2023). Development of a Displacement Prediction System for Deep Excavation Using AI Technology. *Symmetry*, 15(11), 2093.
 19. Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation. *2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.
 20. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2015). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*.

21. J. J. Hopfield. (1982). Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 79(8), 2554–2558.
22. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). LONG SHORT-TERM MEMORY. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780.
23. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (n.d.). Attention Is All You Need. *31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS 2017)*.
24. Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., & Sutskever, I. (2018). Improving Language Understanding by Generative Pre-Training. *OpenAI*.
25. 交通部運輸研究所、經緯航太科技股份有限公司，(民 108)，近景攝影測量雲端服務系統開發與應用之研究-以公路邊坡為例。
26. 公路局中區養護工程分局，(民 108)，108 年度優先關注邊坡及易致災路段(巡)檢測委託服務工作期末總報告書。
27. Wang, S., Zhang, Z., Wang, C., Zhu, C., & Ren, Y. (2019). Multistep Rocky Slope Stability Analysis Based on Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry. *Environmental Earth Sciences*, 78(8).
28. Nagendran, S. K., & Mohamad ismail, M. ashraf B. (2020). Application of UAV Photogrammetry for Quarry Monitoring. *Warta Geologi*, 46(2).
29. 潘國樑，(民 94)，從發生機制分辨崩塌、滑動、落石與傾翻之區別，*地工技術 No. 106*，85–86。
30. 吳淵洵、周南山，(民 95)，台灣山區道路邊坡災害及搶修處理工法之探討，*臺灣公路工程*，32(12)，2–32。
31. 乾坤測繪科技有限公司，(民 112)，埔里工務段、信義工務段優先關注邊坡光達應用暨進階檢測圖資建置計畫(第五期)教育訓練簡報。
32. 潘國樑，(民 87)，不連續面對岩體穩定性的影響，*地工技術 No. 69*，107–110。
33. 交通部公路局，(民 112)，三維數值模型在邊坡管理與科技防災之應用部務會報。

附錄一

專家學者及實務單位諮詢紀錄

1. 公路局 陳貽嗣副段長

時間：113 年 5 月 27 日(星期一)上午 10 時~12 時

地點：交通部公路局中區養護工程分局信義工務段

紀錄：黃宇謙 副研究員

壹、計畫緣由說明：(略)

貳、重點紀要

一、針對以下表格所列貴段轄下重點關注邊坡，是否有分級調整、更新或資料誤繕處？

| 貴段轄下重點關注邊坡(邊坡分級 A、B 級) | | | | | | |
|------------------------|---------------------------------|------|----------------------|------|---|--------------------------|
| 序號 | 邊坡位置 | 邊坡分級 | 災害類型 | RHRS | 保護工 | UAV 資料 |
| 1 | 台 21 線 115K+000~ 116K+000 | A | 岩石(屑)墜 落+落石坍 方 | 4 | 噴凝土+型框 植生+隧道 | 自飛 20 筆 2019.1-2024.3 |
| | | | | | | 委外 7 筆 2019.1-2024.3 |
| 2 | 台 21 線 116K+350~ 116K+950 | A | 岩石(屑)墜 落 | 4 | 防石柵+噴凝 土 | 自飛 9 筆 2021.10-2024.3 |
| | | | | | | 委外 5 筆 2021.10-2024.3 |
| 3 | 台 21 線 122K+000~ 123K+000 | A | 岩石(屑)墜 落+落石坍 方 | 4 | 噴凝土+型框 植生+明隧道 | 自飛 19 筆 2019.1-2024.3 |
| | | | | | | 委外 5 筆 2019.1-2024.3 |
| 4 | 台 21 線 123K+000~ 124K+900 | A | 落石坍方 | 4 | 型框植生 | 自飛 4 筆 2022.10-2024.3 |
| | | | | | | 委外 2 筆 2022.10-2024.3 |
| 5 | 台 21 線 132K+500~ 134K+000 | A | 岩石(屑)墜 落+落石坍 方 | 4 | 防石柵+噴凝 土護坡+RC 擋 土牆+預力地 錨擋土牆+型 框植生護坡+ 明隧道 | 自飛 17 筆 2019.1-2024.3 |
| | | | | | | 委外 7 筆 2019.1-2024.3 |
| 6 | 台 21 線 141K+500~ 141K+670 | A | 岩石(屑)墜 落+落石坍 方 | 4 | 噴凝土+型框 植生 | 自飛 1 筆 2023.10-2024.3 |
| | | | | | | 委外 3 筆 2023.10-2024.3 |

上述表格據去(112)年「埔里工務段、信義工務段優先關注邊坡光達應用暨進階檢測圖資建置計畫(第五期)」標案，邊坡分級台 21 線 141K+500~141K+670 維持為 A 級邊坡(RHRS 為 4)，並調整台 21 線 132K+500~134K+000 為 C+級邊坡，其餘優先關注邊坡皆調降為 C 級邊坡，故本段目前僅 1 處重點關注邊坡。

公路局於去(112)年已新增邊坡分級「C+級」，目前定性分級為 A、B、C+、C、D 共 5 級，C+級邊坡定義為有災害紀錄並經復健完成，但具遠端致災因素之邊坡，遠端致災因素係經「C+級邊坡快篩調查表」篩選，具「需持續關注之上/下邊坡」、「曲流/浪襲攻擊面邊坡」、「坡頂人為開發」及「明隧道上方邊坡」4 種型態，其致災因素持續發育可能對邊坡穩定造成影響，而「C+級」邊坡不需經 RHRS 定量分析。

二、針對上述表格所列貴段轄下重點關注邊坡，除利用 UAV 自飛或委外監測外，是否有利用其他監控手段(例如：傾斜管、雨量計、地面光達等...)取得邊坡資料？

本段台 21 線 133K+800 處設有自動化地錨荷重元，可分析地錨預力之變化，另委託顧問公司進行地錨檢測，並利用邊坡地面光達、UAV 光達取得邊坡數位資料，而本段亦於今(113)年自主編列控制點設備，利用建模及 CLOUDCAMPARE 軟體分析邊坡變異性及變位情形，進行影像取得後之加值應用。

三、針對 UAV 所蒐集之空拍影像結合 AI 支援，依貴段實務經驗，AI 從何處切入較具實務應用效益及可行性？

針對山區邊坡，其影響有：豪雨、颱風、地震等諸多因子，變化快速，造成連人力也時常有難以判斷的情況。考量 AI 技術於國內外邊坡應用尚在前期發展階段，建議先探討 AI 進行潛在滑動區塊、浮石堆積處、坡面植生變化之判釋及前後期變位分析等可行性，俟 AI 發展較為成熟後，再切入實際應用層面。

四、AI 除了利用空拍影像進行邊坡地表災害特徵辨識外，針對貴段日常邊坡巡查及維護管理機制，AI 能輔助之課題為何？

不僅在邊坡巡檢上，舉凡邊坡範圍調查、分級制度至後面資料歸納和分類、上傳資料庫等等，皆需相當人力資源來進行邊坡管理養護工作，若由輔助或減輕人力的觀點切入 AI 應用，像是發展協助整理災點照片、資料或自動歸納建檔機制之 AI 模型，如此，人工僅需負責檢核其成果，並將大部分心力投入重要課題上，相信即能有效幫助邊坡相關工作並減少人力資源之浪費。

五、貴段針對各項新興科技應用於邊坡巡檢及養護管理有何擘劃及展望？

本題分兩前線工作及後端應用階段研討，以邊坡巡查為例，現在尚需人工赴現場進行勘查，並以步巡、車巡及 UAV 方式進行巡查作業，希望藉由科技進步，未來能使用低軌衛星、AI 及雲端科技等新興科技執行，例如：無人機自動化巡檢航線或低軌衛星即時回傳道路狀況，以減少現場人力使用，轉而投入後續處理資料即可。再者，管理層面現在面臨課題為各類邊坡相關資料皆需紙本審核，並需人工於線上系統填列，希望未來藉由科技可以進行全面線上自動化資料建置，人員只需依照 SOP 執行，其餘皆由科技輔助自動判釋並鍵入電子系統內保存。

2. 公路局 洪詩齊副段長(書面資料)

時間：113 年 11 月 1 日(星期五)上午 9 時

地點：交通部公路局東區養護工程分局獨立山工務段

紀錄：黃宇謙 副研究員

壹、計畫緣由說明：(略)

貳、重點紀要

一、針對以下表格所列貴段轄下重點關注邊坡，是否有分級調整、更新或資料誤繕處？

| 貴段轄下重點關注邊坡(邊坡分級 A、B 級) | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------|------|----------------|-----------------------------|
| 序號 | 邊坡位置 | 邊坡分級 | 災害類型 | RHRS | 保護工 | UAV 資料 |
| 1 | 台 7 線 84K+100 | A→C 113 年 1 月 8 日轉 C | 岩石(屑)墜落 | 5 | 噴凝土+框 形植生護坡 | 委外 6 筆 2023.3-2024.3 |
| 2 | 台 7 線 74K+700~+780 | A | 岩石(屑)墜落 | 4 | 噴凝土+框 形植生護坡 | 委外 2 筆 2023.6-8 |
| 3 | 台 7 線 85K+800 | A | 岩石(屑)墜落 | 5 | 噴凝土+框 形植生護坡 | 委外 3 筆 2023.6-2024.3 |
| 4 | 台 7 線 86K+400 | A | 岩石(屑)墜落 | 5 | 自然邊坡 | 委外 3 筆 2023.6-2024.3 |
| 5 | 台 7 線 86K+600 | A | 岩石(屑)墜落 | 5 | 自然邊坡 | 委外 4 筆 2023.6-2024.3 |
| 6 | 台 7 線 86K+900 | A | 岩石(屑)墜落 | 5 | 噴凝土+框 形植生護坡 | 委外 3 筆 2023.6-2024.3 |
| 7 | 台 7 線 87K+100 | A | 岩石(屑)墜落 | 5 | 噴凝土+框 形植生護坡 | 委外 2 筆 2023.6-8 |
| 8 | 台 7 線 97K+000~+070 | A→C 112 年 12 月 25 日轉 C | 岩石(屑)墜落 | 3 | 噴凝土+框 形植生護坡 | 委外 2 筆 2023.6-8 |
| 9 | 台 7 甲線 10K+400 | A→C 113 年 5 月 29 日轉 C | 岩石(屑)墜落 | 4 | 噴凝土+框 形植生護坡 | 委外 4 筆 2023.6- 2024.3 |
| 10 | 台 7 甲線 9K+400(下邊坡) | A | 岩石(屑)墜落 | 5 | 噴凝土+框 形植生護坡 | 委外 1 筆 2023.10 |

二、貴段轄下重點關注邊坡，除利用 UAV 自飛或委外監測外，是否有利用其他空拍(衛星、機載航拍)或地面監控手段(例如：傾斜管、雨量計、地面光達等...)取得邊坡資料？

地面監控手段在邊坡非有立即性危險時，辦理委外設計，並為設計需求進行鑽探瞭解地質狀況，欲進行地滑調查分析及建議整治方案時，則設置傾斜管、水位計短期(6 個月)瞭解邊坡狀態後辦理設計。

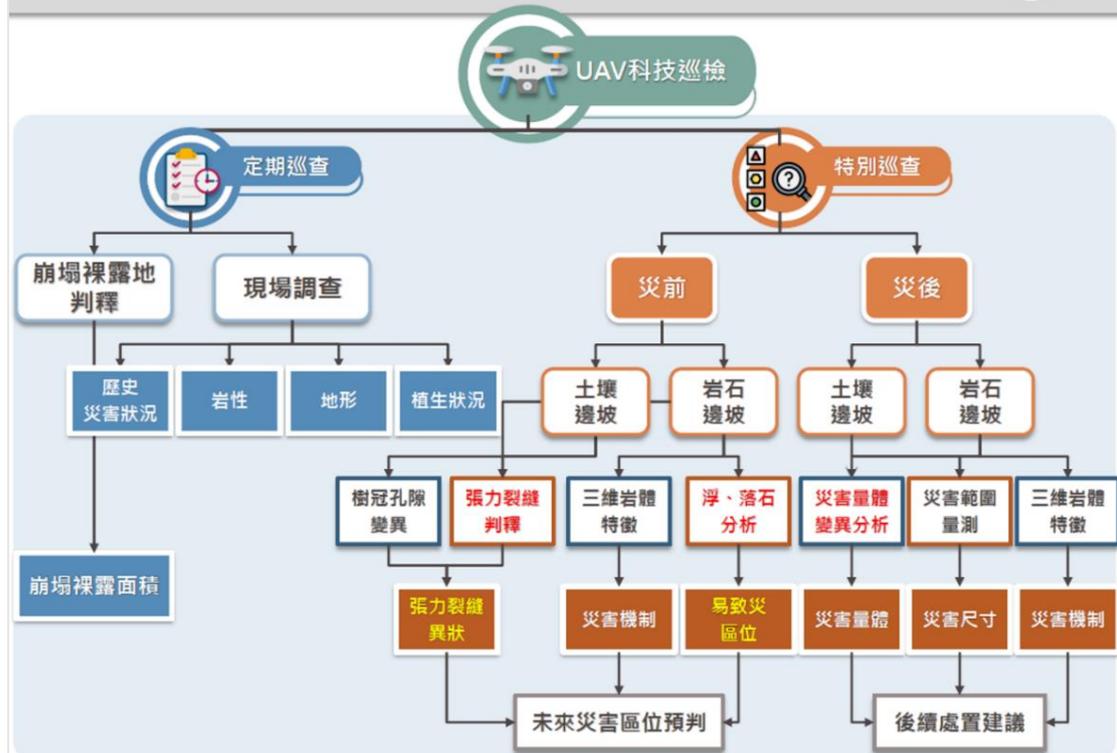
三、貴段轄下重點關注邊坡於取得 UAV 空拍資料後，是否有利用該資料進行增值應用(例如：製作成三維模型、DEM 等...)？

目前本段 UAV 空拍執行邊坡航空攝影，主要用於邊坡「外觀三維模型建置」，採用 Bentley iTwin Capture 實景建模軟體，其程序已高度自動化，產出成果包含實景建模、高解析數值地表模型(DSM)、高解析正射影像。

災害量體分析有賴控制(含特徵點)測量及數值地表模型之建立，且需災前、災後嚴謹相同之套疊基礎下，方能進行地形變異分析及災害量體之計算，短期間暫時無法以 AI 取代。

四、公路局應用 UAV 進行科技巡檢已行之有年，相關邊坡平時及災防應用例如：地表變異比對，張力裂縫判識、浮落石危害分析、災害量體分析等(如下圖)，請問針對 UAV 所蒐集之空拍影像結合 AI 支援，依貴段實務經驗，AI 從何處切入較具實務應用效益及可行性？

UAV科技巡檢應用與分析

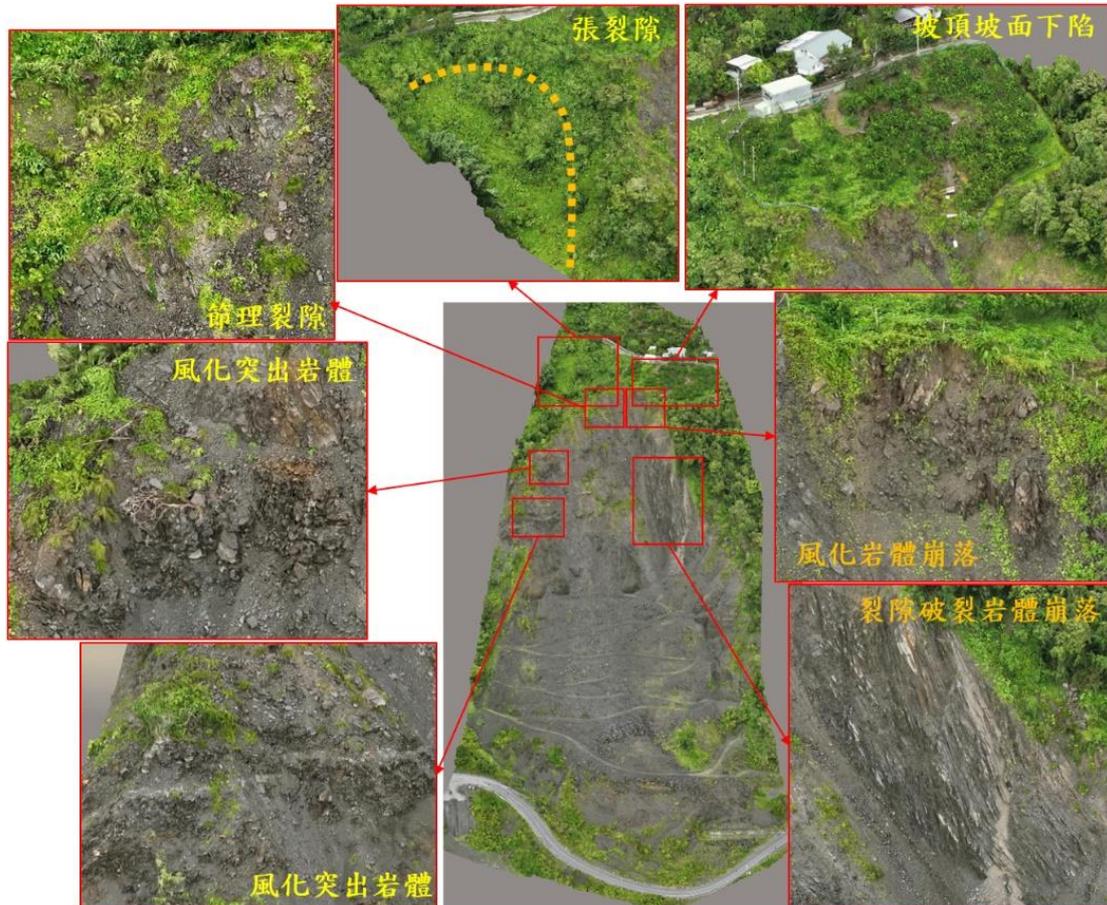


張力裂縫判釋及浮落石分析：目前以專業人員(大地技師或工程師)由空拍實景建模、現場拍照記錄、空拍照片進行判讀。

張力裂縫判釋及浮落石 AI 辨識之可行性：AI 應用在影像辨識上，目前有相關應用在橋梁裂隙巡檢、堤防、道路等「無遮蔽」之建造物上，透過 UAV 影像(不須建模)進行，邊坡 UAV 飛行方式應改為連續傾斜側拍，故推斷在裸露之建造物、道路上之裂縫、浮石可能透過 AI 進行辨識，但邊坡經常有植生覆蓋無法判讀或造成干擾。

另外，相較於橋梁、堤防等成功案例為平整之 RC 建造物，邊坡除了植生以外仍有各種岩體、土壤混合，在邊坡張力裂縫樣態上，亦有夾雜風化土壤、岩石互層、層理等非節理、裂隙之近似外觀(如圖)，且 AI 技術需先有大量相同樣態之訓練資料，訓練模型之耗時，惟臺灣邊坡地質豐富，不同地質是否能套用仍為未知，且 AI 影像辨識在較成熟之地物分類領域仍有

一定比例之錯誤，需專業人員修正，對於工務段需快速了解現況之業務實行上能縮短或反增時間，皆有待相關研究之成果方能導入實務。



五、AI 除了利用空拍影像進行邊坡地表災害特徵辨識外，若將範圍擴大至貴段日常和災防時之邊坡巡查及維護管理工作，有何應用適合 AI 切入來協助解決問題、減輕人力、提升效率...等等，以達實務發揮空間？

AI 辨識成熟應用大範圍崩塌檢視、植生變化之辨識、道路裂隙等，有賴於道路影像、空拍定期拍攝或衛星影像之採購或建置。建議可定期透過 UAV/UAS 建置權管路段全線空拍照片，可透過 AI 影像辨識崩塌裸露區、邊坡防護工(擋土牆建造物)張裂隙、道路破損及裂隙等樣態。

六、貴段針對其他新興科技(InSAR、5G、邊緣運算、機器人.....等等)應用於邊坡防災、巡檢及養護管理有何擘劃及展望？

UAV-Lidar(光達)技術相較空載光達(有人機)，其具備無人機之機動性高，無需置機場跑道起降，且航高低能獲取之點雲密度高，每平方公尺達 100~600 點，空載光達一般規劃僅能每平方公尺 10 點以內。目前 UAV 空拍僅能取得數值地表模型(DSM)，光達技術在邊坡上能濾除植被，取得數值高程模型(DEM)，可提供邊坡規劃、設計、災害量體計算上高精度之地形資料建置。

附錄二

專家學者座談會會議紀錄

交通部運輸研究所運輸技術研究中心會議紀錄

壹、會議名稱：本所運技中心第一科113年度自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：113年4月23日(星期二) 下午2時

參、地點：本所運輸技術研究中心2樓簡報室

肆、主持人：蔡立宏主任

紀錄：黃宇謙

伍、出單位及人員：如簽到表

陸、與會委員意見：

一、王委員錦榮

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 橋基保護是維持橋梁結構安全最重要的一環，本研究利用土工織布鋪設與鼎型塊結合，既可保護橋基，也可減少鼎型塊之流失，效益顯著，應可推廣應用，建議建立長期觀測，進一步驗證使用性及探討後續如何再精進。

2. 本工法是否可運用於港區橋梁？建議後續可評估。

(二) 113年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究
臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究，對臺灣結構物之防蝕工法具有指導性之指標，可提供公共工程金屬結構物防蝕設計、延長使用壽齡及降低維護成本之應用，故本案有其推動的必要性及可行性。

(三) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

港灣構造物巡檢作業是港口管理機構日常工作之一，如何利用新興科技來進行實有必要性。

(四) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 港區土地碼頭大部分均由填海造陸而成，故地震時土壤液化有其風險性，例如：0403花蓮地震，花蓮港確實產生土壤液化，並對碼頭造成破壞，爰此，針對港區地震液化風

險的評估研究，確有必要性。

2. 建議本研究可長期進行，並建立臺灣各商港液化風險模式及高液化風險資料庫為最終目標。

二、何委員鴻文

- (一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

本案研究成果對於橋梁維管單位未來辦理橋基保護工作有助益，後續建議能依國3大甲溪橋試辦成效提出適用河段、織布規格、鋪設及固定綁紮方式等指南。

- (二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 本案研究成果有助於檢測空間受限之橋梁檢測工作，未來申請專利建議需對目前已實際使用之檢測設備差異性及未來專利使用原則慎予評估。

2. 本工法是否可運用於港區橋梁？建議後續可評估。

- (三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

運用透地雷達於道路養護巡查並應用AI辨識將為未來趨勢，本案擬整合常用廠牌之資料前處理問題，將對後續AI辨識影像資料庫建置有助益。

- (四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

臺灣地區颱風、地震、豪雨頻繁，UAV 應用於邊坡防災之研議建議除公路主管單位外，亦可結合其他單位，例如：農業部農村發展及水土保持署、林業及自然保育署等。

三、吳委員松旺

- (一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 大甲溪近年較無劇烈沖刷，相關驗證成果仍需視未來降雨規模持續進行追蹤。

2. 本年度公路管理單位仍將繼續進行橋墩鼎塊保護，後續可配合研究討論相關現地鋪設，以達理論及實務合作。

- (二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

建議可配合定期橋檢作業，持續研討合適之工具與方式，例如：鋼箱梁內部檢測。

(三) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

公路管理單位使用 UAV 多是針對路權內邊坡，針對單一場址路權外邊坡非屬公路單位管養，然若需整體分析建議可一併納入資料蒐集。

四、林委員鎮華

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

橋梁監測資料，例如：水位、流速等，建議回饋數值模擬進行驗證，另可考量不同環境情境之模擬。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

建議蒐集開放式橋梁及封閉式橋梁之比例，藉以思考後續工具的研發或如何搭配其他檢測工具。

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

建議可調查各式相關軟體的通用性，並取得不同單位的透地雷達使用資料，以增加資料量和 AI 學習之相容性。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

建議可針對有監測儀器之邊坡進行探討，以和 UAV 影像辨識結果進行比較及相互驗證。

(五) 113年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

建議納入在該環境中公共設施材料進行比對，探討其腐蝕速率變化以及如何回饋至防蝕和延壽，降低維護成本。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

建議建立防波堤透地雷達資料庫，並比對震後或其他災害發生時之變化。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

建議配合鑽探報告資料，未來可於地震前後進行比對。

五、張委員欽森

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

1. 本研究計畫共分111~114年共4年執行，之前尚有107~110年的相關研究，運輸技術研究中心(以下簡稱運技中心)同仁前前後後耗費8年時間進行本項研發工作，其中包括水工模型試驗、現場實作測試、數值模擬等作業，值得肯定，也希望本項研究最後能有良好成效，並實際推廣到相關政府單位來引用。
2. 有關採用鼎型塊做為橋基保護工雖為一般橋梁河川慣用型式，惟因後續機關執行時，依政府採購法規定需有同等品之規定，以避免有綁標之嫌，因此，建議研究成果分析儘量可以較通則參數訂定此工法之材料型式，以利後續機關執行。
3. 相關文獻及資料收集僅提到河道地形、歷年沖刷變化及流速等資料，建議應再增加相關河川流量、輸沙量及水位等水文資料，並進行必要之極值統計分析，以利試驗結果可對應後續設計所需採用之回歸期條件。
4. 運技中心前往華光工程顧問股份有限公司(以下簡稱華光公司)推廣本研究成果時，曾提到本保護工法適用於卵礫石層，對砂質地形較不適用，在建置數值模式時對卵礫石層之模擬及試驗地形之重現合理性應是模式較為困難之處，也將攸關模式未來推測之成果，希望運技中心同仁多多費心思考相關議題，必要時可拜訪業界或學術界，共同討論研究。
5. 建議本計畫可納入相關國內外經驗公式分析結果比較，如中興大學林呈教授對此領域有許多研究成果，除可進一步驗證國內適用之經驗公式之可行性外，亦可做為該工法量化評估成效之參考。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 感謝運技中心蔡主任率領研究團隊到華光公司來分享本

項研發成果，會中雙方進行相關技術及意見交流，希望對雙方都能有所助益。近期華光公司將爭取公路局橋梁檢測及耐震評估工作，以及鐵道局高架橋梁檢測業務，若能順利取得標案，將會適時與運技中心協商，應用此項研究成果在實際檢測工作之可行性。

2. 前次推廣會議中，華光公司同仁曾建議鏡頭影像納入尺寸之可行性，以便在檢測時可即時判斷構件之劣化情形，及是否需再進一步仔細檢測之必要性。
3. 在簡報中，辦理方式之推廣活動提到「評估本橋檢工具後續精進方向，或研發新型橋檢工具之可行性」，依以往工作經驗，港埠棧橋碼頭面板底部及港外碼頭連絡棧橋底部之檢測，各有其檢測之難處與限制，例如：棧橋碼頭面板底部或空間狹小，易受潮汐漲退影響，或碼頭縱深較深等；港外碼頭棧橋底部以往係以搭船並配合施工架方式進行檢測，需克服潮汐及風浪之影響，檢測作業都十分不方便，除耗時外，成果亦不易掌握。建議可思考納入後續研究之方向。
4. 水管橋之檢測作業，沒有行車動線，如何考量應用於此類橋檢工作？

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 目前運用透地雷達檢測辨識地下管線及孔洞等的位置正確率僅60%，且與雷達波長有關，探測深度約2~5米，因此，如何蒐集及整理成正確的訓練樣本，提供後續人工智慧進行AI辨識，應是關鍵課題。
2. 透地雷達影像如若受到干擾訊號，都需要利用處理軟體進行消除，增益等方式處理，各廠牌透地雷達的分析應用軟體，可能有所差異，透過與業界或學者等訪談瞭解，應是正確之方向，可藉此加強後端由AI判別之能力。
3. 各道路面層、基層、底層及下方土層等層面及材料的差異所造成的圖像特徵不盡相同，是否能夠針對此差異分類蒐集，以利後續研究之進行。

4. 未來人工智慧辨識 AI 成果，建議應與實地資料比對，建立檢核方法及標準。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 針對裸露型落石邊坡之浮落石、張力裂縫之 AI 深度學習之訓練樣本，建議可先找開源資料集，並納入本地訓練樣本，一起進行模型訓練，以提升 AI 判識之成效。
2. 邊坡防災之危險因子多，且非常複雜，建議可以納入：坡度、坡向、地質條件等其它因素進行整體性之判斷，其中坡度、坡向可利用 UAV 成果進行 DEM 計算取得。
3. 未來建議評估利用 Insar 之資料進行 AI 訓練之可能性。

(五) 113年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 本研究包含大氣腐蝕及水下腐蝕，自96年開始執行大氣腐蝕、104年加入水下腐蝕，應累積足夠多資料可做比對，目前研究是否都是針對該年度的腐蝕進行分析，建議可加入歷年分析，以瞭解大氣腐蝕環境及水下環境的長年趨勢。
2. 建議補充試驗對應之腐蝕因子，如螺旋金屬暴露試驗主要所得之腐蝕因子為何？
3. 簡報35頁有辦理大氣腐蝕環境調查取樣維護作業，但並無辦理水下腐蝕環境調查作業說明。
4. 計畫有說明大氣腐蝕因子，但是否針對水下腐蝕因子進行調查並分析，請補充說明。另建議補充目前所研析之腐蝕因子有哪些？是否有針對流速及水溫對水下腐蝕之影響？

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 建議可與臺灣港務股份有限公司(以下簡稱港務公司)討論調整防波堤劣化度判定標準，依據「港灣構造物維護管理手冊」，部分判定標準過於嚴苛，例如：沉箱部分劣化判定標準2及3是規定3mm之裂紋；而沉箱量體大，3mm之裂紋判定為缺損尺度有失比例原則、差異過大，且沉箱大部分位於水下，透過水下攝影判斷3mm之裂紋難度高。另外，上部工亦有類似之規範，1cm之裂紋可能為施工所致，且

並不影響防波堤功能，建議可適度調整。

2. 建議防波堤進行檢修時，將檔案蒐整及歸類可納入應辦工作項目中，以利後續5年一次結構安全檢核之正確性及延續性。
3. 相關資料中均未提及新興科技是哪些項目，是否有預想項目？
4. 拋石防波堤之破壞通常由堤腳沖刷開始，導致消波塊移動及滑落，然人工巡檢僅能執行水面上之目視，初步判斷是否有異常情形，而水面下部分則需由潛水俠下水檢查，但因水流及波浪影響，潛水俠基於安全不容易接近防波堤檢視，因此，多音速測量應可被納入考量進行水面下結構物是否移動之佐證工具，提供參考。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 研究名稱所指精進定義是否僅為納入新建工程增加之地質資料，建議定義清楚是否僅為新增液化分析資料？
2. 研究項目及內容中，除液化潛能之評估及推估液化後沉陷量外，是否能增加其他可能造成碼頭損害之評估？

六、游委員中榮

(一) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

1. 發明專利之標的較廣，通常是物質、物品、方法、材料及其用途的描述，新型專利之標的則僅及於物品之形狀、構造或組合的創作，建議可以發明專利為主。
2. 取得專利後，建議供我國研究機構或企業在我國管轄區域內製造或使用為優先，並鼓勵於橋檢相關專案推廣使用，提升國內橋檢技術發展。

(二) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 提醒應用 AI 需要辨識者對於異徵的知識，並且樣本和基礎圖資需標準化。
2. 透地雷達管線資料或許比較容易取得，就個人所知已經有數個地方政府，例如：臺北市、新北市、桃園市、臺中市

等，有利用透地雷達調查管線，並與管線資料庫做比對，或許有機會可以取得透地雷達斷面資料提供 AI 訓練，惟縣市政府應無圖像前處理的經驗。

3. 是否可以取得適當的地下孔洞模式以做為 AI 訓練？據悉臺北市新工處似有相關資料，資訊供參。

(三) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 建議明確定義判釋標的，例如：落石坡、緩坡、人工邊坡，因其破壞機制皆有所不同。另外欲判釋的邊坡特徵，例如：坡面植生、坡頂坡面裂縫、浮石、岩石解理、人工邊坡構造設施等，亦需考量。
2. UAV 影像取得並非一定是由機關自行拍攝，有可能是委外辦理，不同 UAV 影像取得則需要標準化，建議可評估設定航線自行飛行取得影像。
3. 建議提出 UAV 影像取樣率、航高、路線、拍攝角度、是否有參考比例(地面控制點)、取樣範圍(公路維管單位的關注範圍)和影像製作方式等建議。

(四) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

據悉港務公司有委託臺灣大學利用 UAV 結合 AI 進行港區設施自動化調查，建議可以蒐集資料參考。

(五) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 液化潛勢評估方式有好幾種，據悉新版的基礎設計規範有數種液化潛勢分析方法，現行港灣設計規範似乎只有 Seed 法，或許不同的研究成果可以提供給港務公司，提供設計規範修改的參考依據。
2. 本計畫是否有包含液化後地盤沉陷的分析？是 Ishihara & Yoshimine 法或是 Tokimatsu and Seed 法？

柒、結論：

感謝各位委員提供本所相當寶貴之專業建議，請案關業務同仁將委員意見納入參採，以符合實際應用面，並提升研究成果之廣度及實用性。

捌、散會：下午4時30分。

會議簽到表

壹、會議名稱：本所運技中心第一科 113 年度自行研究計畫專家學者座談會議

貳、時間：113 年 4 月 23 日(星期二)下午 2 時

參、地點：本所運輸技術研究中心2樓簡報室

肆、主持人：蔡主任立宏 蔡立宏

伍、出席單位及人員：

| 所外委員 | 簽名 |
|----------------------|-----------------------------------|
| 王委員錦榮 | 王錦榮 |
| 何委員鴻文 | 何鴻文 |
| 吳委員松旺 | 吳松旺 |
| 林委員鎮華 | 林鎮華 |
| 張委員欽森 | 張欽森 |
| 游委員中榮 | 游中榮 |
| 本所運輸技術研究中心 柯副主任正龍 | 柯正龍 |
| 第一科 | 賴瑞豐 許松海 胡哲文 蔡登鍵 張道光 曾文偉 黃宇謙 |
| 第二科 | 李信穎 |
| 第三科 | 林雅雯 |

(註：簽到表請掃描成 pdf 檔，若欲與會議紀錄整併成 1 個 pdf 檔，可至「https://www.ilovepdf.com/zh-tw/merge_pdf」，將會議紀錄與簽到表上傳後進行合併，再上傳至公文系統附件區供陳核)

附錄三

第 1 次工作會議紀要

113 年 6 月工作會議紀要

會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

時間：113 年 6 月 26 日(星期三)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

- 1.數值水理分析及文獻蒐集。
- 2.數值模型分析流程及檢定與驗證事件選取。
- 3.階段性成果應用。

(二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

- 1.相關智慧財產權及專利法規、專利申請程序，及專利地圖分析之相關研究文獻彙整。
- 2.各構件之研發設計內容盤點，評估專利申請之可行性。
- 3.本橋檢工具推廣應用工作執行進度。
- 4.推廣活動回饋意見彙整。

(三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

- 1.國內常用透地雷達廠牌、型號及其資料處理軟體彙整。
- 2.支援相容各廠牌透地雷達分析應用軟體(第三方軟體)之基本資訊彙整。
- 3.專家學者訪談，訪談對象包括國內透地雷達代理商、業界專家

及學界專家。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

- 1.UAV 結合 AI 於邊坡之相關研究文獻蒐集。
- 2.公路局訪談摘要。
- 3.邊坡維護管理機制及防災流程探討。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- 1.完成第 1、2 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗取樣維護作業，完成 112 年第 4 季、全年與 113 年第 1 季，大氣腐蝕劣化因子化學分析及金屬試樣酸洗工作。
- 2.完成 112 年度試驗資料綜整分析工作，並將資料擴增於資料庫，公開於本中心網站供外界查詢。
- 3.完成撰寫及出版「2023 年臺灣大氣腐蝕劣化因子調查研究資料年報」工作，提供相關單位選用金屬材料與防蝕工法應用。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- 1.各港區防波堤之巡檢項目與維護管理制度彙整與研析。
- 2.防波堤常見之劣化項目探討。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

- 1.液化評估法相關文獻彙整。
- 2.高雄港近 10 年新建工程之地質鑽探資料蒐集。
- 3.完成高雄港地質鑽探資料盤點。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

- 1.討論文獻相關數據之引用應確認其適用性。
- 2.討論數值模擬分析流程與檢定與驗證事件選取。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

- 1.討論國內橋梁檢測相關設備專利發明現況。

2. 討論推廣活動各橋檢廠商之回饋意見。
3. 討論本橋檢工具後續精進方向及實務需求。

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1. 討論蒐集透地雷達檢測數據資料之方式，及蒐集過程中會遇到的困難。
2. 討論透地雷達檢測數據資料儲存格式，及如何讀取並顯示人員可以判釋之訊號圖像。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1. 討論現行公路邊坡維護管理機制及防災流程。
2. 討論已蒐集之公路邊坡基本資料、分級、災害類型及監測手段。
3. 討論公路局實務單位針對 UAV 結合 AI 進行增值應用之想法。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1. 討論去年新增之十八王公橋試驗點的腐蝕情況與取樣事宜。
2. 討論腐蝕試驗點之氣鹽試架安裝工作。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1. 討論防波堤維護管理機制、巡查檢測項目與劣化判定標準。
2. 討論各港之防波堤構件劣化項目。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1. 討論土壤液化評估相關方法。
2. 討論地質鑽探資料建置後，如何盤點及篩選。
3. 討論後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

- (一) 梅雨季甫過，請視現場水位條件，安排於合適時間進行今年度現場試驗區第 1 次 UAV 觀測航拍，以觀測並記錄現場地形變化情形。

(二)大甲溪石岡壩下游河段水理分析屬大範圍分析，請以二維模擬為宜；試驗橋址局部沖刷屬小範圍分析，請以三維模擬為宜，以有效率及合理分析評估本計畫工法之成效。

二、公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

(一)橋檢人員回訓課程進行推廣時，設計調查問卷提供回訓學員填寫，持續蒐集第一線橋檢實務人員對本橋檢工具之專業意見及後續精進建議，並調查橋檢工作之實務需求。

(二)依所蒐整推廣活動回饋意見，評估橋檢工具後續精進方向，並依實務需求，研擬後續研究計畫研發新式橋檢工具之可行性。

三、人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

(一)對可能蒐集到之透地雷達檢測數據資料進行分類，如：訊號圖像(圖片檔案)、原始資料(Raw Data，二進位檔案格式)等，並分析不同類別數據資料對於訓練 AI 之助益。

(二)後續報告中對於透地雷達儲存格式(二進位檔案格式)進行相關說明。

四、UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

(一)依所蒐整之公路局優先關注邊坡曾經或正在應用 UAV 之狀況資料，釐清其邊坡災害類型及空拍影像數量，並以國內外文獻為借鏡，持續研析合適公路局之 UAV 結合 AI 切入課題及方法。

(二)UAV 可實現酬載更換，以達更廣泛之情境使用。除蒐集 UAV 搭載光學鏡頭產製高解析度影像後進行之加值應用研究外，可擴大蒐集 UAV 搭載熱顯像、紅外線及 LiDAR 等結合 AI 之文獻。

(三)依公路局提供轄下各分局管理之中高風險邊坡資訊，針對邊坡維護數量較多之山地工務段，安排後續訪談，並藉以瞭解實務需求和研究著力點，達以終為始之目的。

五、113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

(一)研究成果後續可整理成論文，投稿防蝕研討會或港灣季刊。

(二)新增之十八王公橋試驗點腐蝕數據可提供維管單位參採。

六、港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施
巡查檢測作業

- (一)統計並分類各防波堤構件之劣化項目，以瞭解防波堤常見損壞構件，提供後續防波堤維護之參考數據。
- (二)水下之防波堤構件之檢測診斷項目可以探討用多音束與 ROV 來進行相關劣化度的判釋。

七、港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

- (一)報告中呈現高雄今年新增港區之地質鑽探資料，應包含其新、舊資料之分佈區域，以利瞭解其分佈是否能滿足高雄港區液化評估之需求。
- (二)今年度進行高雄港模式精進，除增加地質鑽探資料外，建議運用國內、外之液化分析方法，推估高雄港液化範圍及震陷量，提供地震速報簡訊之應用。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 1 次工作會議

貳、時間：113 年 6 月 26 日(星期三) 上午 9 時

參、地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

| 出席單位 | 職稱 | 姓名 |
|---------------|---|--|
| 本所運輸技術研究中心第一科 | 副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 助理研究員 | 張道光 謝妙屏 周啟 曾文序 鄭登鍊 黃子謙 賴俊呈 王培源 |
| 本所運輸技術研究中心第二科 | 科長 | 李信穎 |
| 本所運輸技術研究中心第三科 | 科長 | 林雅雯 |

附錄四

第 2 次工作會議紀要

113 年 8 月工作會議紀要

會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

時間：113 年 8 月 26 日(星期一)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：鄭登鍵

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

(一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

- 1.現場觀測成果說明。
- 2.數值模型分析流程及二維模型檢定成果說明。
- 3.階段性成果應用說明。
- 4.後續研究項目說明。

(二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

- 1.鐵道橋梁及箱涵橋梁檢測國內外文獻蒐集彙整。
- 2.橋檢工具專利申請評估結果說明。
- 3.橋檢工具推廣應用工作執行進度說明。
- 4.推廣活動回饋意見彙整。

(三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

- 1.探討數據資料前處理方法(程序)及前處理過程中會遭遇之問題及困難，並初步研擬解決對策。
- 2.辦理專家訪談針對國內外應用 AI 辨識透地雷達訊號圖像，及數據資料之前處理方法，詢問相關專業看法及意見。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

- 1.公路局邊坡資訊調查及蒐集情形說明。
- 2.公路局邊坡維護管理機制及防災流程探討。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- 1.完成第 1、2 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗的取樣維護、化學分析及金屬試樣酸洗工作，第 3 季工作辦理中。
- 2.構建鋅金屬腐蝕速率與主要大氣腐蝕因子間的迴歸模式。
- 3.後續工作項目說明。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- 1.各港區防波堤經常及特別巡查設施之劣化項目之探討。
- 2.多音束水深測量與行動應用程式應用於防波堤巡檢作業。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

- 1.建置高雄港地質鑽探資料，並盤點、篩選可用資料共 891 筆地質鑽探資料。
- 2.完成不同地震情境下液化潛勢比較。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

- 1.今年度凱米颱風帶來可觀之降雨量，對於本計畫試驗區成效驗證有相當的幫助，對於整體量化成效之數據亦可藉此事件更新。
- 2.對於本次凱米颱風事件下，石岡壩放流量及試驗區河床水位高之物理量，可建立通用性詞語或對等概念，便於對外說明使用。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

- 1.討論博大公司協助本橋檢工具專利申請評估結果。
- 2.討論本橋檢工具於橋檢人員回訓課程推廣之問卷回饋意見。

3.討論本橋檢工具於鐵道橋梁應用之可行性。

(三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

1.討論蒐集透地雷達數據資料時，透地雷達的原始資料(Raw Data)要如何取得。

2.討論若蒐集的透地雷達數據資料不足給 AI 進行訓練學習時，利用「生成對抗網路 (GAN)」生成 AI 訓練學習資料的可能性。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

1.討論現行公路局邊坡維護管理機制及防災流程。

2.討論公路局邊坡應用 UAV、LiDAR 等科技巡檢實際案例。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

1.討論迴歸模式之模式構建、解釋變數選定。

2.討論後續迴歸模式之模式精進、解釋與預測工作。

(六)港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

1.討論防波堤巡查檢測劣化項目與水下定期檢測劣化度探討。

2.討論新興科技應用於防波堤巡檢作業。

(七)港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

1.討論高雄港不同地震情境下液化潛勢分析。

2.討論後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

(一)凱米颱風事件後可驗證設置織布之保護效果，其中 P23 橋墩恰為左右各半採用傳統及織布保護工法之區域，相當適合做為本計畫工法效果之說明。

(二)請依所規劃之後續工作項目執行。

二、公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

- (一)鐵道橋梁之交通可及性與公路橋梁不同，應考量執行橋檢工作相關設備運送及人員之交通方式，以完整評估本橋檢工具於鐵道橋梁應用之可行性，建議接洽鐵道橋梁維管單位，並安排現場橋檢工作觀摩，以瞭解鐵道橋梁檢測實務之進行概況。
- (二)本橋檢工具之後續精進方向，應以滿足橋檢公司及橋檢人員之實務需求，並請瞭解相關客製化所需成本，以利後續推廣工作之說明。

三、人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

- (一)蒐集透地雷達數據資料時，透地雷達的原始資料(Raw Data)雖然大多由乙方掌握，請探討函請甲方要求其廠商(乙方)提供檢測的透地雷達原始資料(Raw Data)之可行性。
- (二)後續請探討利用「生成對抗網路(GAN)」生成AI訓練學習資料的可行性。

四、UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

- (一)依現況調查資料，公路局各工務段邊坡曾經或正在應用 UAV 進行空拍之數量約有 77 處，本計畫過往已訪談公路局北分局、中分局等轄下工務段，建議再安排其他分局進行訪談，以廣泛瞭解不同區域之實務需求。
- (二)本計畫已整理公路局科技應用邊坡案例，並提出目前使用 UAV 搭載光學鏡頭或 LiDAR 主要進行之應用場景、優點和適用條件，後續於進行研析 UAV 結合 AI 深度學習影像辨識方法之工作項目時，請以相關應用場景如何搭配 AI 輔助為切入點進行探討。

五、113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- (一)後續可運用構建的迴歸模式進行金屬腐蝕速率預測。
- (二)在選擇解釋變數時，可檢視腐蝕速率與腐蝕因子之散佈圖。

六、港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- (一)多音束水深測量在防波堤水下定期檢測劣化度判定(護面塊與護基塊)問題，建議可再探討其適用性。

(二)防波堤水下與水上沉箱壁體與消波塊構件之檢測診斷項目，可以探討用 UAV 與 ROV 新興科技來進行相關劣化度的判釋。

七、港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

(一)請補充液化風險評估之機率分析與定值分析之差異處。

(二)高雄港洲際二期(倉儲物流區及散雜貨碼頭)由於地質鑽探資料太少，建議高雄港不同地震情境下液化潛勢比較圖中，洲際二期暫時不要分析液化潛勢。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 2 次工作會議

貳、時間：113 年 8 月 26 日(星期一) 上午 9 時

參、地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

| 出席單位 | 職稱 | 姓名 |
|---------------|---|--|
| 本所運輸技術研究中心第一科 | 副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 助理研究員 副研究員 | 胡哲 謝外屏 蔡登鍵 王浩源 賴俊呈 張道光 黃宇瑞 曾文傑 顏震杰 |
| 本所運輸技術研究中心第二科 | 科長 | 李修穎 |
| 本所運輸技術研究中心第三科 | 科長 | 林瑞雯 |

附錄五

第 3 次工作會議紀要

113 年 10 月工作會議紀要

會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

時間：113 年 11 月 4 日(星期一)上午 9 時至 12 時 30 分

地點：本所運輸技術研究中心 5 樓第一會議室

主持人：賴瑞應科長

出席者：如後附簽到表

紀錄：黃烟宏

壹、討論議題/計畫名稱

一、工作進度說明

- (一)鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估
 - 1.113 年度前 3 季現場試驗觀測結果。
 - 2.二維數值模型建置情形。
 - 3.階段性成果應用。
 - 4.後續研究項目。
- (二)公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣
 - 1.本案橋檢工具專利申請作業進度。
 - 2.本案橋檢工具推廣工作執行狀況及進度。
 - 3.推廣活動回饋意見彙整。
 - 4.研發新型橋檢工具需求及規劃。
- (三)人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探
 - 1.透地雷達數據資料前處理過程遭遇之問題及初步解決對策。
 - 2.草擬合作研究計畫「應用深度學習輔助辨識透地雷達道路潛在孔洞訊號圖像之研究」研究主題與重點。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

- 1.AI 深度學習技術探討。
- 2.UAV 結合 AI 深度學習影像判識方法。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- 1.完成第 1~3 季大氣腐蝕劣化因子調查與現地暴露試驗的取樣維護、化學分析及金屬試樣酸洗工作，第 4 季工作辦理中。
- 2.構建鋅金屬腐蝕速率與主要大氣腐蝕因子間的迴歸模式，並應用模式進行鋅金屬腐蝕速率預測及腐蝕環境分類等級預測。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- 1.依維護管理制度執行防波堤巡檢作業時所遭遇之問題。
- 2.新興科技 UAV、多音束水深測量與水下無人載具應用於防波堤巡檢作業。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

- 1.高雄港不同地震情境下液化潛勢分析結果。
- 2.高雄港不同地震情境下地震沉陷潛勢分布結果。

二、針對目前研究方向與執行情形進行討論

(一) 鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

- 1.二維模型參數率定選用。
- 2.河床大斷面資料導入。
- 3.三維模式參數率定及驗證。

(二) 公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

- 1.本案橋檢工具授權及推廣模式。
- 2.推廣活動回饋意見及本案橋檢工具功能精進方向。
- 3.新型橋檢工具研發需求及後續規劃。

(三) 人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

- 1.保存數據資料、資料庫以及資料庫的不同及其必要性。

2.對於透地雷達的訊號圖像而言，採用標註異常訊號特徵與標註正常訊號特徵做為 AI 訓練學習方式之優缺點。

(四) UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

- 1.分辨式 AI 及生成式 AI 之基本原理、代表模型及資源需求等。
- 2.生成式 AI 應用於影像辨識之適用性及切入點。

(五) 113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- 1.迴歸模式的 R^2 值、以模式進行預測時的預測區間信賴水準。
- 2.港區腐蝕因子調查數據的分析與應用，以及後續模式的精進方向。

(六) 港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- 1.防波堤水下與陸上巡檢作業時所遭遇問題。
- 2.應用新興科技強化防波堤之巡查與檢測作業。

(七) 港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

- 1.高雄港不同地震情境下地震沉陷潛勢。
- 2.後續報告內容的加強與補充。

貳、重點紀要/主要結論

一、鼎型塊織布橋基保護工法之現地試驗與成效評估(3/4)-試驗場址數值模型建置及評估

- (一) UAV 航拍勞務案，於完成康芮颱風事件之地形紀錄後，於 11 月下旬著手辦理相關結案驗收事宜，以利年度會計結算作業執行。
- (二) 請依所規劃之後續研究事項積極辦理，並如期於 11 月底前提交期末報告初稿。

二、公路橋梁梁底狹小空間檢測工具專利申請與推廣

- (一) 如未來本案橋檢工具有精進或客製化之規劃，應將本案彙整之實務需求建議提供予本工具精進改良之執行單位或廠商，提升本橋檢工具應用價值，且符合應用單位之實際需要。
- (二) 如未來規劃針對箱型橋梁內部檢測研發新式橋檢工具，應先完

整調查箱型橋梁內部構造樣態及橋梁環境狀況，並充分瞭解檢測作業需求。

三、人工智慧辨識透地雷達訊號圖像之前處理初探

本計畫所探討蒐集透地雷達數據資料的 2 種方式，其中蒐集他人已完成之探(檢)測或試驗數據資料這個方式，不論是在蒐集的過程還是在進行資料前處理的過程，都會產生困難和問題，雖然這些問題本計畫有初步研擬相關解決的對策或建議，但是並沒有實際的執行經驗，建議將蒐集他人已完成之探(檢)測或試驗數據資料這個方式納入後續的合作研究計畫實際執行，以確認是否能透過這個方式蒐集到質量都適合訓練 AI 的數據資料。

四、UAV 結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討

- (一)依照本研究應用 AI 深度學習結合 UAV 空拍影像輔助影像判識之目的，可依蒐集之資料量及品質，決定運用單一或多個 AI 模型，針對不同階段來予以協處。
- (二)建議針對 UAV 如何取得較為精良之資料成果、影像處理方式以及可結合 AI 深度學習影像判識之課題進行梳理，呈現一套架構流程圖，俾供應用單位及本所後續參採。

五、113 年臺灣地區金屬材料腐蝕環境調查與鋅金屬關聯性研究

- (一)後續可因應不同區域特性，構建相對應的關聯模式，並將風速、風向、雨量等氣象因子的影響納入模式。
- (二)後續可就特定地區的二氧化硫、氯鹽調查結果做進一步的深入分析。

六、港灣構造物巡查檢測作業精進(3/4)-新興科技應用於防波堤設施巡查檢測作業

- (一)建議加強新興科技應用於防波堤設施構件劣化項目對應於檢測項目的表單。
- (二)建議補充新興科技 UAV 與多音束水深測量應用於巡檢案例的說明。

七、港區地震液化風險評估模式精進(3/5)-高雄港模式精進

請依據觸發門檻加速度及高潛勢區面積分析成果，推估高雄港區之分區地震沉陷量，俾更新高雄港地震簡訊災況初評內容，並說明與原來地震簡訊災況初評內容之差異。

會議簽到表

壹、會議名稱：「本所運輸技術研究中心第一科 113 年自行研究計畫」第 3 次工作會議

貳、時間：113 年 10 月 31 日(星期四) 上午 9 時

參、地點：本所運輸技術研究中心5樓第一會議室

肆、主持人：賴瑞應科長 賴瑞應

伍、出席單位及人員：

| 出席單位 | 職稱 | 姓名 |
|---------------|--|--|
| 本所運輸技術研究中心第一科 | 副研究員 副研究員 副研究員 副研究員 助理研究員 副研究員 助理研究員 副研究員 | 曾文傑 謝幼屏 張道光 蘇登健 賴俊呈 胡啟文 黃炳宏 黃牙瑤 |
| 本所運輸技術研究中心第二科 | 科長 | 李信穎 |
| 本所運輸技術研究中心第三科 | 科長 | 林雅雯 |

附錄六

期末報告審查意見處理情形表

期末報告審查意見處理情形表

| 項次 | 委員意見 | 處理情形 |
|--------------|--|--|
| 陳貽嗣委員 | | |
| 1 | <p>公路局養護工務段在邊坡維管已廣泛應用 UAV 自辦空拍巡檢，如屬優先關注邊坡 A-4 級、A-5 級則委託專業顧問公司辦理變異性(3D 建模)及浮落石分析(3D 點雲圖)。</p> <p>UAV 空拍成果目前最常用於邊坡前後期變異分析、災害範圍之量測，未來能導入 AI 自動判識，確實對邊坡災防及修復實務應用有實質助益，也能輔助基層工程人力不足的困境。</p> | <p>感謝委員支持。</p> |
| 2 | <p>公路局目前邊坡定性分級 D 級為無 5 年內災害紀錄或不穩定徵兆之邊坡，基本上並不會特意去辦理 UAV 巡檢，但當邊坡發生災害後，雖然可利用 UAV 完成災中、災後及完成修復之影像記錄，但往往缺乏最初始之邊坡資訊，僅能透過衛星影像、航拍等大尺度圖資比對差異。未來如何建立山區公路全部邊坡 UAV 圖資，是可嘗試的方向，才能充分掌握尚未致災前邊坡之樣貌與致災後精準比對，致災成因及研擬搶災和復健策略。</p> | <p>感謝委員建議，針對未有災害歷史之穩定邊坡，如何在有限之人力及預算下，完整蒐集未致災前之 UAV 等圖資，更甚者，如何更有效進行邊坡單元之劃分，以精準打擊，皆是相當龐大且困難之議題，依目前公路局邊坡維護管理機制，亦是利用定性和定量分級制度將有限資源做劃分並投入。爰此，是否需建立山區公路全部邊坡 UAV 圖資，應還是回歸公路局權衡後判斷是否有其必要性較為妥適。</p> |
| 3 | <p>運輸研究所在智慧橋檢 AI 辨識模型的研究已採用不同演算架構來提升辨識結果的正確性及準確率，本案未來如有持續推動規劃，可參考或結合，以突顯運輸研究所對公路設施研發成果。</p> | <p>感謝委員建議，據悉智慧橋檢 AI 辨識模型主要以混凝土橋劣化樣態，(裂縫、白華...)和鋼橋劣化樣態(鏽蝕為主)。與邊坡災害類型及項目有所差異，然以相關模型做為預訓練(pre-training)模型，利用其初始參數再微調成新網路模型，提升正確性</p> |

| | | |
|--------------|--|--|
| | | 及準確率，確為可考量方向。 |
| 4 | 目前 AI 自動判識樣態種類有限，無法涵蓋邊坡所有災害樣態，仍需由邊坡人員覆核自動判識成果及補足無法自動之部分，未來可研議邊坡人員如何補足 AI 自動判識無法執行並須目視處理之方式，避免重複性作業。 | 感謝委員建議，本計畫研究目的即為探討和發想 AI 可輔助人員減輕現行作業負擔之議題，未來會持續透過專家學者諮詢及實務單位訪談，瞭解 AI 可介入及補足之處。 |
| 呂正安委員 | | |
| 1 | 本文就 UAV 結合 AI 深度學習影像判識之方法詳加綜整，脈絡清晰、內容充實，可供公路局等相關邊坡管理機關應用參考。 | 感謝委員肯定。 |
| 2 | 綜觀本報告，就實際應用面而言，或許以 UAV 結合 AI 來快速進行 RHRS 之評分，抑或落石危害度分析等，似對常時巡檢及災前預防，以及第一線執行邊坡管理之工務段會有較大效益，建議後續可進一步著手。 | 感謝委員建議，下(114)年度計畫將參照委員意見，針對公路局 RHRS 各項因子評估結合 AI 輔助之可行性探討。 |
| 3 | 承上，就 RHRS 而言，倘能快速掌握邊坡定性評估分數，即可知悉邊坡分級，進而採取邊坡管理相應作為。而 RHRS 評估中，較難處理的部分係外業邊坡調查，如 A1(坡高、坡度、坡型)及 A3(植披面積、排水設施)，應有機會利用 UAV 結合 AI 學習來評分，以利聚焦應用內容。至於其他評估因子，例如：地質、落石紀錄、氣象……等，可查閱既有內業資料，如此，可快速完成邊坡 RHRS 評估，供第一線續辦相應作為。 | 感謝委員建議，下(114)年度計畫將參照委員意見，針對公路局 RHRS 各項因子評估結合 AI 輔助之可行性探討。 |
| 4 | 落石危害是第一線公路邊坡管理單位能否保全用路安全的關鍵因素。本文對於落石危害度分析提及：「…AI 模型能經由學習輔助標 | 感謝委員建議，經本報告整理現行公路局之邊坡維護管理機制以及相關科技應用於邊坡巡檢案例後，知曉落石災害對於公路設施及用 |

| | | |
|---|---|--|
| | <p>記倒懸孤石，並分析其特徵，藉以判斷孤石之倒懸狀態，以評估掉落路面風險…。」；以及「基於岩石力學和工程地質專家之豐富學識經驗協助檢視岩體類型、節理、固結狀況…而 AI 可輔助之部分在於協助識別出岩石邊坡的粗糙度與其結構面幾何，找出具有代表性的結構面，以判斷岩塊滑移或破裂模式…。」。倘能評估出落石掉落之風險及滑移模式，則養護單位即可預為因應處置，儘早排除可能對用路人之威脅。</p> | <p>路人造成之威脅及危害，並了解公路局針對落石危害度分析之努力。目前 UAV、空載及地面光達等已廣泛蒐集及監測邊坡資訊，後續發展應用大數據及 AI 預測災害模式，並利用 5G 等高速傳輸技術將訊息即時傳送工務段及用路人，以進行決策支援及緊急應變措施，係公路局未來擘劃，抑是本所擬定研究計畫，支援運輸部門之目的所在。</p> |
| 5 | <p>多時序套疊比對分析加值應用，除比對崩塌面積與體積變異外，尚能掌握滑動弧面(3 點成 1 弧)、滑動速率變化等，再結合區域地質評分(如 RHRS 方式)，或可探求大型崩塌之風險評估或建立相應管理模式。</p> | <p>感謝委員建議，惟經前期研究，大面積崩塌如：地滑等邊坡破壞模式，較適用大尺度之監測工具來進行，例如：衛星、InSAR。本期研究聚焦於 UAV，故並無過多篇幅進行著墨，未來若有相關研究計畫開展，會再納入委員建議做考量方向。</p> |
| 6 | <p>報告 p.2-6，文中提及：「…比對現地岩坡四種破壞型態(平面、楔型、頂部和圓形破壞)之區域(如圖 2.3，紅色圓圈標記處)，結果顯示在熱帶氣候下，涼爽的温度更容易導致岩坡失穩。」。由圖 2.3 中似難判識各圖破壞機制和涼爽温度易導致邊坡失穩之論述，建議稍加補充；另請補充說明圖 2.3(a)左圖中黑圈代表意義為何？</p> | <p>已依委員建議補充相關研究論證內容於報告 p.2-3，另針對圖 2.2(a)(原為圖 2.3(a))之虛線黑圈處，其代表觀察岩坡發生平面破壞處上方，有張力裂縫產生之情況，已補充說明。</p> |
| 7 | <p>報告 p.5-9，原始影像、正射影像、點雲模型和 DSM，建議可補充相應圖片，除可瞭解各影像之特性及差異性外，亦有利本節小結之完整性。</p> | <p>已依委員建議補充相關圖片於報告 p.5-10~11(圖 5.5~5.7)。</p> |
| 8 | <p>報告 p.5-10，文中提及：「…惟目前相關工作…以自身經驗進行成果</p> | <p>已依委員建議適當斷句並酌修冗詞，以利閱讀(報告 p.5-11)。</p> |

| | | |
|--------------|--|---|
| | 判識後提出專業建議予維管單位進行策略擬定參考…。」。建議適當斷句，以利閱讀。 | |
| 吳松旺委員 | | |
| 1 | 部分國道邊坡多屬砂礫岩，且多為植生茂密之情形，最常受外水及地下水等影響，進而產生沖蝕溝及排水溝兩側滲流掏空等問題，然本報告所載目前 UAV 結合 AI 深度學習輔助應用多在已產生坍塌之裸露邊坡或有明顯落石型邊坡，建議未來探討在初期邊坡發生張力裂縫或於國道邊坡狀況能否有相關應用(例如：UAV 搭載 LiDAR 結合 AI)。 | 感謝委員建議，前期研究針對公路局和高速公路局現行公路邊坡維護管理制度及轄管邊坡型態進行整理比較，據悉公路局有高聳及落石型邊坡，人力難以企及，故常以 UAV 拍攝並取得影像，高速公路局則較無此類型邊坡。然而，高速公路局針對其所轄管邊坡佈設多類型監測儀器，並包含自動量測、儲存及回傳功能的設備，若考量以邊坡相關地表及地底監測數據做為 AI 訓練樣本，用以探討其數據變化對於邊坡異變之關聯程度，以達預測後預警之可能，亦是後續高速公路局轄管邊坡可考量切入 AI 應用之研究方向。 |
| 2 | 承上，國道邊坡皆定期辦理總體檢，包含檢點邊坡水系、排水設施、斷層、地質、坡向甚至歷年巡查缺失等重要資料，是否能併入評估因子以利探討，建議再行評估。 | 感謝委員建議，若後續年度有開展國道邊坡相關研究計畫，會再深入探討並評估。 |
| 3 | InSAR 屬於長期之資料蒐集，亦須進行後端數值修正，建議評估其是否可應用於本案。 | 感謝委員建議，若後續年度有開展應用 InSAR 資料結合 AI 之相關研究計畫，會再深入探討並評估。 |
| 4 | 水土保持署山坡地開挖稽查影像有無相關應用案例？建議可再去瞭解。 | 感謝委員建議，過往研究多針對自然邊坡災害，而人為開發造成之邊坡災害課題似較無著墨，若後續年度有開展相關研究計畫，會再深入瞭解並評估。 |
| 賴瑞應科長 | | |
| 1 | 本計畫有諮詢專家學者及邊坡管理實務單位，建議能補充相關諮詢 | 已依委員建議補充於附錄一、專家學者及實務單位諮詢紀錄。 |

| | | |
|--------------------|---|--|
| | 內容。 | |
| 2 | 部分報告格式建議調整修改，如報告 p.1-3 之表 1-1 預定進度甘特圖，因計畫已完成，建議刪除。 | 已依委員建議刪除原報告初稿 p.1-3 之表 1-1 預定進度甘特圖，並重新檢視並調整報告格式及版面。 |
| 3 | 第二章文獻回顧部分，建議能針對回顧的文獻分節說明。 | 已依委員建議分節：2.1 UAV 應用於邊坡相關研究；2.2 UAV 結合 AI 應用於邊坡相關研究(2.2.1 機器學習、2.2.2 深度學習)。 |
| 4 | 第六章結論部分，一般結論為摘整各章節的精華，爰此，第六章 6.1 結論內容若非摘整至其它章節，建議調整至相對應的章節來論述說明，再於此節摘要說明。 | 已依委員建議將較為詳細之論述移至第五章 5.3 節(p.5-16)，並僅摘整前面各章節之精要於第六章 6.1 結論部分說明。 |
| 李俊穎科長(書面意見) | | |
| 1 | 本計畫研擬提出針對 UAV 於落石型邊坡相關應用場景，整理 AI 可能之輔助及切入點，成果具參考應用價值。 | 感謝委員肯定。 |
| 2 | 建議將第六章 6.1 結論內分析情形可提至第五章 5.3 節做說明，並可對應前面章節公路單位現況納入討論如何增補現有不足之處。 | 已依委員建議將較為詳細之論述移至第五章 5.3 節(p.5-16)，並僅摘整前面各章節之精要於第六章 6.1 結論部分說明。另針對公路局可努力之方向已於 6.2 建議做說明(p.6-5)。 |
| 3 | 建議後續研究可再就本案探討項目做更深入討論，例如：拍攝方式、精度要求、儲存及處理、分析應用、AI 模型等。 | 感謝委員建議，下一年度計畫將參照委員意見，針對公路局 RHRS 各項因子評估結合 AI 輔助之可行性探討。若有涉及相關議題會再更深入著墨及討論。 |
| 林雅雯科長 | | |
| 1 | 第二章文獻回顧使用的技術如 AFSA、RF、RANSAC...等，建議後續年度更進一步能研究說明。 | 本研究主要針對 AI 深度學習技術之應用進行探討，原理及相關演算法已於報告第四章說明，於第二章文獻回顧相關演算法多係利用機器學習技術，故未針對技術細節多加著墨，若後續年度有應用相關技 |

| | | |
|---|---|--|
| | | 術會再詳加論述。 |
| 2 | 報告 p.3-5，建議後續年度瞭解 AI 辨識 RHRS 植被面積、坍方落石量及落石尺寸情形。 | 感謝委員建議，下一年度計畫將參照委員意見，針對公路局 RHRS 各項因子評估結合 AI 輔助之可行性探討。 |
| 3 | 報告 p.3-13，公路局除利用落石微地動監測結合 AI 案例，是否有影像或點雲結合 AI 案例？若有，建議補充。 | 於本計畫研究過程中，未有聽聞公路局目前有影像或點雲結合 AI 案例，與實務單位訪談過程亦無聽說，未來會持關注並蒐集相關案例，俾瞭解最新發展動態。 |
| 4 | 報告 p.4-5，圖 4.5 中 3 x 3 矩陣轉成 1 x 9 陣列，數值是否誤植？請再檢視修訂。 | 已更新於報告 p.4-5 之圖 4.5。 |
| 5 | 建議將簡報新增內容適當納入報告中，以利完整論述。 | 感謝委員建議，已將期末簡報之內容納於第一章 1.1 及 1.2 節(p.1-1~1-2)，以利動機和目的論述完備。 |

附錄七

期末報告簡報資料

UAV結合深度學習輔助公路局 邊坡災防應用探討

113年度自辦研究計畫期末審查會議

報告人：黃宇謙 副研究員
日期：113.12.26



大綱

- 01 前言
- 02 文獻回顧
- 03 公路局邊坡現況與維護管理機制
- 04 AI深度學習技術探討
- 05 UAV結合AI深度學習影像判識方法
- 06 結論與建議

前言

- 1— 研究動機與目的
- 2— 工作項目



研究動機與目的

- ✓ 交通部年度施政計畫重點項目之一為「強化智慧應用，提升運輸效率」
- ✓ 2020運輸政策白皮書提出「應用AI、UAV及遙測技術於鐵公路巡檢或監測」為重點之行動方案。



本所為配合交通部重大施政方針及支援各運輸系統技術與研發創新任務目的，111~112年完成多尺度空拍影像(如衛星、航照、UAV)結合AI於公路邊坡地貌變異判識之適用性及應用性探討，並針對常見邊坡破壞類型(落石、地滑及土石流)之災害特徵進行分析，確立其相對合適之空拍影像取得手段，過程亦藉由與實務單位(公路局、高速公路局等)訪談過程瞭解現行公路邊坡維管及防災機制及實務需求。

研究動機與目的

- ✓ AI訓練需龐大的資料數量，方能達到較好的精度與成效。
- ✓ 應用單位蒐集邊坡空拍影像及相關數位圖資後，多利用人為專業進行邊坡變異判識後產出報告，或雖有與外單位合作進行加值研究，然囿於人力資源有限和本身業務繁忙，無法長時挹注研究量能。

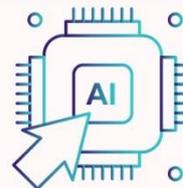


於前述研究過程知悉公路局於107年始推動「邊坡定性定量分級暨進階檢測圖資建置計畫」，針對轄管邊坡利用「落石災害評分系統(Rock-fall Hazard Rating System, RHRS)」進行風險分級，並明訂中高風險邊坡應利用航拍技術輔助邊坡巡查，由各工務段培育飛手或委請專業廠商協助蒐集邊坡空拍資料，以建立空拍影像資料庫，並提出UAV相關科技巡檢應用擘劃。

2

研究動機與目的

爰此，基於過往之研究基礎，考量空拍影像資料量、適用之邊坡破壞類型及地點等，於今(113)年提出「UAV結合深度學習輔助公路局邊坡災防應用探討」計畫，期望在公路局已蒐整豐富之UAV空拍資料下，探討結合AI深度學習影像判識技術輔助邊坡災防之應用，以提升實務單位巡檢效率，使新興科技及技術能切合現行公路邊坡維護管理機制與防災流程，輔助公路局邊坡災防實務應用。



3

工作項目

(1)文獻蒐集及回顧

經由蒐集UAV結合AI深度學習應用於邊坡等相關案例及國內外文獻，瞭解現今發展技術進程和可支援之套裝軟體。

(2)專家學者及公路局訪談

辦理專家學者座談，以及公路局管理實務單位訪談，瞭解UAV結合AI支援其邊坡維護管理與防災流程之專業見解。

(3)邊坡維護管理機制及防災流程探討

探討公路局現有邊坡維護管理機制及防災流程，瞭解UAV結合AI實務應用之切入點。

(4)邊坡資訊調查及資料蒐集

針對公路局轄管邊坡場址進行基本資料、災害類型、監測手段等調查、蒐集及整理。

(5)UAV結合AI深度學習影像判識方法研析

研析UAV影像資料結合AI深度學習進行影像判識所適用之場址條件、影像解析度、控制點佈設及定位等工作，並進行實際防災應用之規劃。

4

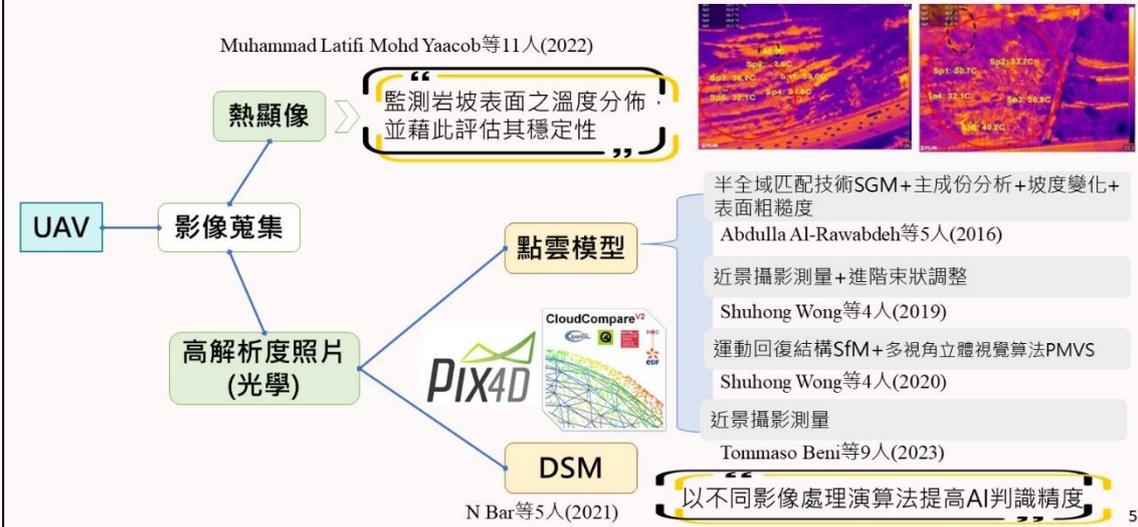


文獻回顧

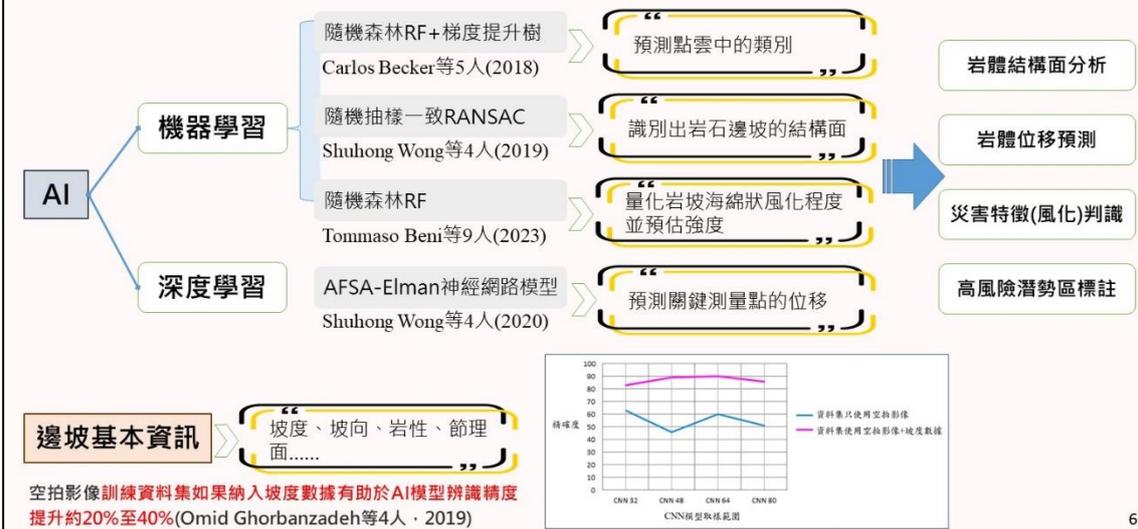
無人飛行載具(UAV)

- ✓ UAV具有運用彈性大、可及性高、遠端操作和支援裝備少的優勢。
- ✓ 目前商用UAV擁有航線規劃、智能飛行、避障、自動穩定機身等功能，可搭載高精度光學鏡頭、熱顯像、紅外線等酬載，若為精確定位及測繪，可使用地面控制點(GCPs)加上即時動態定位技術(RTK)或動態後處理定位技術(PPK)，產製高精度之邊坡空拍圖、正射影像，或可利用視覺攝影測量技術完成三維建模，取得點雲模型、數值高程模型(DEM)，便於對後續邊坡管理等工作做加值應用。

文獻回顧



文獻回顧

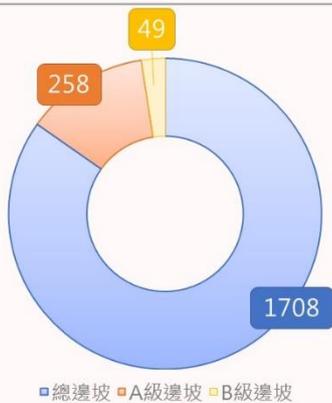


公路局邊坡現況與維護管理機制

- 1 — 邊坡現況
- 2 — 邊坡維護管理機制
 - A — 平時邊坡管理
 - B — 災中後邊坡管理
 - C — 科技應用邊坡管理



邊坡現況



統計至今(113)年4月，公路局轄管邊坡共為1,708處，其中曾有災害發生紀錄或不穩定徵兆邊坡有307處(A級邊坡258處、B級邊坡49處)。

統計至今(113)年4月，公路局各工務段曾經或正在應用UAV進行邊坡定時或不定時空拍(含各工務段自行辦理以及委外專業廠商協處)之數量約有77處。

資料來源：省道橋梁、邊坡安全管理與防災(含0403震後檢測)-公路局部務會報簡報

邊坡維護管理機制-平時

◆ 山區公路約佔公路局總體養護路段約20%。首先定義各邊坡單元，結合災害潛勢地圖、地質圖等套疊比對，劃設出易致災之場址，並定期進行邊坡定性和定量分級檢討。

◆ 邊坡定性分級：

1. 公路局於去(112)年已新增邊坡分級「C+級」，目前定性分級為A、B、C+、C、D共5級，C+級邊坡定義為有災害紀錄並經復健完成，但具遠端致災因素之邊坡。
2. C+級邊坡定檢頻率為至少每年於10月~12月辦理1次，定檢項目包含利用UAV數位建模及多時期套疊變異分析。

| 邊坡分級 | 2年內災害紀錄 | 5年內災害紀錄 | 護坡設施 | 不穩定徵兆 |
|------|---------|---------|---------|-------|
| A | 有 | | 復(興)建中 | 明顯 |
| B | 有 | | 無法設置 | 疑似 |
| C+ | | 有 | 復(興)建完成 | 疑似 |
| C | | 有 | | 無 |
| D | | 無 | | 無 |

定性評估

✓ 需持續關注之上/下邊坡：
 a. 有明顯蝕溝發育、b. 僅採低度復建工程之邊坡，如噴凝土(使用壽命僅約4~5年)、c. 外在水因素，例如：坡面出水、縱橫溝排水不良
 ✓ 曲流/浪襲攻擊面邊坡
 ✓ 坡頂人為開發
 ✓ 明隧道上方邊坡

8

邊坡維護管理機制-平時

◆ 邊坡定量分級：

公路局2018年始推動「邊坡定性定量分級暨進階檢測圖資建置計畫」，在原本A、B、C+、C、D五個等級的邊坡分級上，再利用「落石災害評分系統(Rock-fall Hazard Rating System, RHRS)」的10項評估因子之總分，針對分級A、B之不穩定徵兆邊坡再進行1~5級距之細部分類，並明訂應用航拍技術輔助邊坡巡查。

10項評估因子：

- 定量評估
- (1)地形特徵、(2)地質狀況、(3)邊坡植被及水流狀況、(4)氣象加權、(5)近3年平均落石坍方歷史、(6)近3年落石尺寸及坍方規模大小、(7)交通流量狀況、(8)道路寬度及腹地有無、(9)區域聯外交通影響、(10)現有防護設施加權。



9

| | | | | | |
|-------|--|------------|----------------|--|--|
| 總分級距 | 0~109 | 110~219 | 220~329 | 330~439 | 440以上 |
| 危險度等級 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 危險度說明 | 低風險 | 中低風險 | 中風險 | 中高風險 | 高風險 |
| 工具 | 以目力或輔以簡單器具 | 以目力或輔以簡單器具 | 以目力或輔以簡單器具 | 以目力或輔以簡單器具 | 以目力或輔以簡單器具 |
| | | | UAV (工務段自辦) | UAV (工務段自辦) UAV、LiDAR或其他遙測科技設備判識 (委外辦理) | UAV (工務段自辦) UAV、LiDAR或其他遙測科技設備判識 (委外辦理) |
| 項目 | 邊坡外觀及人工設施檢視 | | | | |
| | 邊坡外觀空拍巡檢 | | | | |
| | 邊坡分級調整建議 | | | | |
| | 變異性分析(以3D數值模型比對) 浮、落石分析(以3D點雲圖檢視) 張力裂縫發現或檢視 綜合評估建議(含後續關注異狀項目、維護、補強與整治工法) | | | | |
| 頻率 | 以目力或輔以簡單器具：1次/年 | | | | |
| | UAV(工務段自辦)：1次/季 UAV、LiDAR或其他遙測科技設備判識技術(委外辦理)：每次汛期前至少1次 *若評為危險度5之邊坡需要於10月前加辦1次 10 | | | | |

邊坡維護管理機制-災中後

- ◆ 公路局依公路養護手冊規定辦理特別巡查，在颱風來臨前後、豪雨、洪水、地震震度達5弱以上之震區需立即巡查邊坡，另震度4級則立即巡查震區內之優先關注邊坡，而必要時可進行特別檢測。
- ◆ 訂定各災害情境相對應之邊坡養護管理機制，其中亦包含於災後取得空中或衛星影像等處置作為。

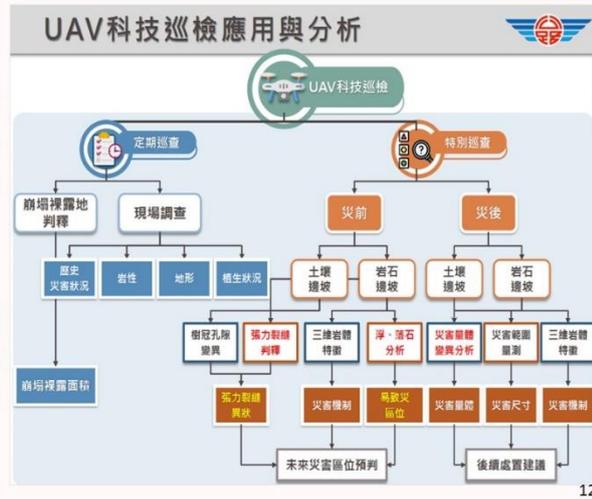
| 各情境之處置方式 | A | B | C+ | C | D | 大型地滑、順向坡 | 處置1 | 處置2 | 處置3 | 處置4 |
|----------------------|---|---|----|---|---|----------|-----------|------------|---|-------------------------------|
| 3小時累積雨量達120mm以上 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2日內實施特別巡查 | 14日內完成特別檢測 | (1)7日內完成特別檢測、 (2)實施朝巡1週、 (3)取得空中或衛星影像 | |
| 前期(48小時)累積雨量達350mm以上 | 2 | 1 | - | - | - | 2 | | | | |
| 海上颱風警報解除後 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| 震度6弱級以上區域 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | | | | |
| 無預警大規模坍方搶通後 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | | | | |
| 臨河側上游發布土石流紅色警戒 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | (1)實施朝巡、暮巡1週、 (2)取得空中或衛星影像 |

11

科技應用邊坡管理

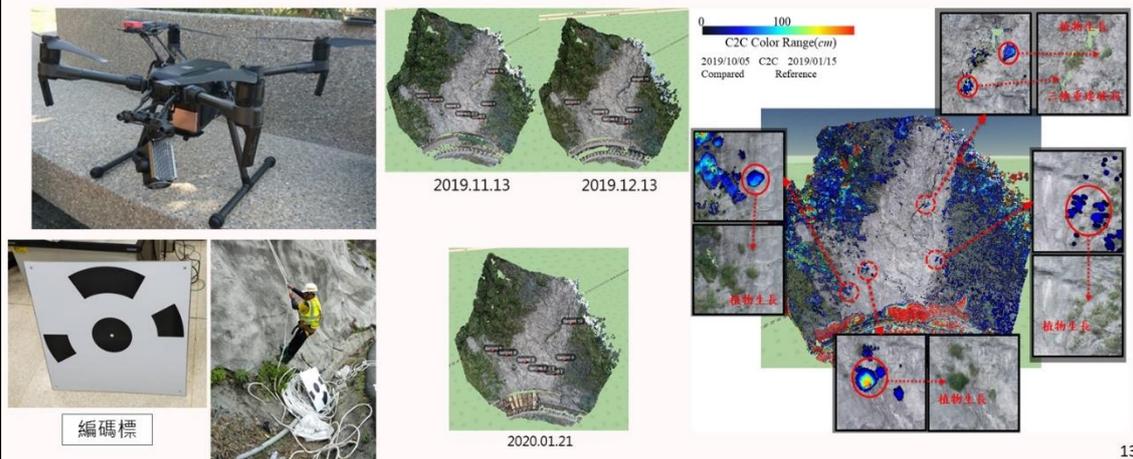
◆ UAV

公路局應用UAV進行科技巡檢已行之有年，為配合邊坡維護管理需求，公路局鼓勵邊坡巡檢人員取得證照成為操作飛手，並採購UAV及相關硬體設備，平時則利用UAV進行各項現場調查，包含：**植生狀況、浮落石位置、張力裂縫等**，再利用飛航規劃及定時拍照功能，**拍攝連續且重疊之影像，以進行點雲模型重建應用**，災後亦能迅速取得邊坡災害影像，分析災害量體並支援各項決策。



科技應用邊坡管理

◆ UAV實際應用案例1：本所、經緯航太與公路局東區養護工程分局



科技應用邊坡管理

◆ UAV實際應用案例2：公路局北區養護工程分局

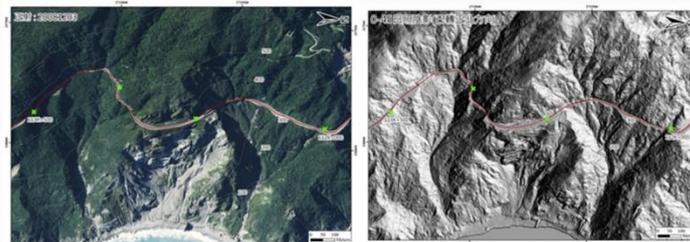


資料來源：公路局北區養護工程分局-台7線49.7K大曼路段落石微地動監測於公路防災之應用(112年10月12日)

科技應用邊坡管理

◆ LiDAR

一般UAV主要搭配光學鏡頭，應用於邊坡表面可視徵象調查，例如：張力裂縫、倒懸孤石.....等等，可良好克服人力不亦抵達巡檢及目視角度受限之情形，惟較適用於裸露邊坡，而在地表覆蓋植被下的邊坡狀態，則需搭配空載光學雷達(LiDAR)來進行，並藉由LiDAR產製數值高程模型，以獲取地表高程變化和更細緻的災害特徵。



資料來源：公路局推動科技應用於山區公路養護管理階段成果分享(地點：蘇花公路九宮里路段)

科技應用邊坡管理

- ◆ 目前公路局應用UAV搭載光學鏡頭或LiDAR主要進行之應用類型、優點和適用條件，如下表。

| 類型 | 說明 | 條件 | 設備 |
|-----------|---------------------------|--------------------------|-----------|
| 地表微變量測 | 由地表凹陷或隆起變化快速 鎖定落石區域 | 需有前期DSM | UAV |
| 裂縫調查 | 坡頂裂縫檢視 | 裸露無植被邊坡 | UAV |
| 浮石巡檢 | 進行360度環景巡檢 | 裸露無植被邊坡 | UAV |
| 落石危害度分析 | 藉由DEM特徵判識落石點 | 須先瀟除植被 | UAV、LiDAR |
| 維生路線航攝與勘災 | 可事前規劃航線座標，於災 後自動來回航攝災況 | 天氣狀況較為良好時 (風速低、能見度優良) | UAV |

資料來源：公路局無人機於防災之應用分享與AI應用之展望

16

科技應用邊坡管理

- ◆ InSAR

InSAR可用來彌補 GPS、地震儀及現場量測設備之不足，目前國外亦廣泛採用為評估邊坡災害或舊山崩復發之活動性評估指標。公路局於蘇花公路台9線、台20線梅山至向陽、台24線等易致災路段皆進行InSAR應用於地表變形量評估分析工作，並藉以產製雷達影像模型。

- ◆ AI

公路局與國立陽明大學合作研發落石微地動監測儀器結合AI於邊坡之防災應用，並於台7線高風險路段進行實域驗證，其原理係利用建置於上下邊坡不同高程之微地動測站記錄振動訊號，再將訊號經傅立葉轉換得到時頻譜圖，並經人員由現場CCTV確認後標記落石出現之時頻態樣，經資料處理及分類後由AI進行判識，並結合道路告示牌和預警燈號，將落石資訊迅速傳遞利害關係人。

17

科技應用邊坡管理

◆ AI實際應用案例：公路局北區養護工程分局



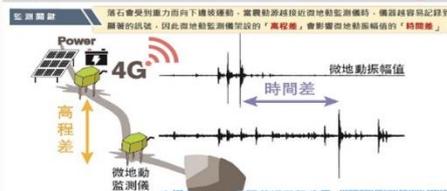

測站位置

DH1G 測站位置

DH2G 測站位置

| 碎石類型 | 描述 | 微地動訊號特徵 | DH2G | DH1G |
|------|------------------|---|------|------|
| 類型一 | 碎石材料僅停留於路面上之填土層 | DH2G因距離碎石之震動源較近，將感應到強烈且高頻之震動訊號反應，但隨著傳播距離增加，震動訊號會衰減，所以DH1G未必能接收到路面上之填土層之震動訊號。 | | |
| 類型二 | 碎石材料連續沉積於路面上之填土層 | 一、DH2G及DH1G的訊號皆有強烈震動反應，DH1G的高頻訊號PSD量值，顯示出材料沉積於路面上且有較大之PSD，也顯示碎石材料之動態響應。 二、DH2G的訊號有強烈震動反應，但DH1G僅有顯著震動訊號，代表碎石沉積於路面上之填土層，並非碎石之反應。 | | |
| 類型三 | 碎石材料於路面上長時間停留 | 兩測站皆會接收到碎石之震動訊號，但碎石量值可能為類型一或類型二，但震動訊號較長。 | | |

落石微地動監測建置 儀器架設相對位置



空對地射：落石會受到重力而向下墜落震動，震動訊號經由微地動監測儀器，儀器將資料記錄到最靠近的訊號，因此微地動監測儀器所設的「高程差」，會影響微地動訊號的「時間差」。

Power 4G 微地動監測儀

時間差 微地動振幅值

高程差

交通部公路局北區養護工程分局

即時感知

告預警

輔助決策

展示回溯



資料來源：公路局北區養護工程分局-台7線49.7K大曼路段落石微地動監測於公路防災之應用(112年10月12日)



AI深度學習技術探討

人工智慧(AI)

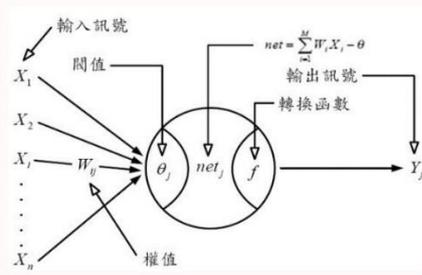
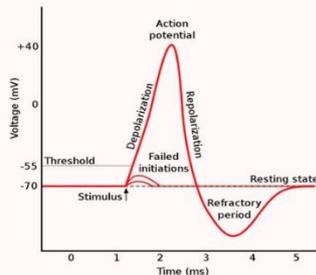
✓ 人工智慧之父約翰·麥卡錫(John McCarthy)：「AI即是利用人為編寫電腦程式，去模擬出人類智慧行為的過程。」。

深度學習(Deep Learning)

✓ 深度學習為實現AI的一種方法，專指利用類神經網路為核心演算法的一門技術，不同於過往傳統演算法，深度學習透過大量定型資料自行建立特徵並找出最佳化結果。

類神經網路

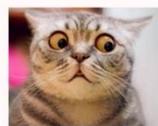
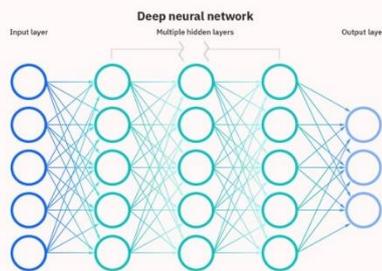
- ◆ 生物的神經元基於所謂的「**全有全無定律**」，若神經元**遭遇刺激但低於作動門檻值或稱閾值(Threshold)**，則**不會有動作電位激發**；若**達到閾值**，則必**激發出一完整動作電位**。
- ◆ Walter Pitts和Warren S. McCulloch(1943)創造一種**基於數學和閾值邏輯的演算法**，可謂最早的神經網路模型，而在**類神經網路中**，**閾值就是每層神經元中的激發函數(Activation Function)**，當一個輸入進來，**透過激發函數判定達成條件與否**，計算輸出的結果。



19

深度神經網路模型

- ◆ 由**多層類神經網路組成之模型**，稱為「**深度**」神經網路模型，通常由**輸入層、隱藏層、輸出層組成**，其反覆進行不同階層與架構的多次運算和訓練，找出最佳化的解。
- ◆ 目前因電腦硬體效能越發強大，深度學習使用之深度神經網路模型，**動輒可達數十層或百層**，現深度神經網路模型**已被運用解決各式問題**且因應不同任務性質，例如：物件辨識、即時偵測.....等等，衍生出各式模型變體。

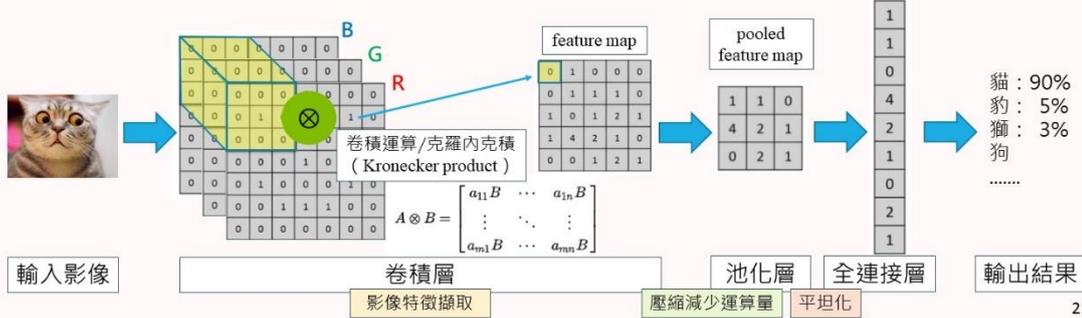


→ $F(\theta) = \text{"貓"}$

20

卷積神經網路(CNN)

- ◆ CNN結構除了有輸入層及輸出層以外，中間隱藏層由卷積層+池化層+全連接層組成，並廣泛用於影像辨識等任務。
- ◆ 卷積層主要的功能是影像特徵之擷取，獲取影像之特徵地圖。
- ◆ 池化層主要的功能是壓縮影像以減少資料量，同時能保有該影像重要資訊。



CNN之延伸與精進

- ◆ R-CNN(基於區域的卷積神經網路)
 - 影像辨識之兩大重點—物件偵測及分類，Ross Girshick等4人(2014)為了在物件偵測中為了能在影像中快速找出標的而發表，以實現快速偵測影像中的物體。

◆ Mask R-CNN

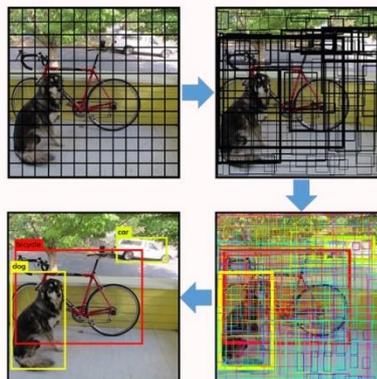
由 Kaiming He 等 4 人 (2017) 發表，已不僅只是框選影像中欲辨識物件所在，更可定位出影像中該物件的精確像素所在。

| | 物件偵測 | 語意分割 | 實例分割 |
|----|------------------------|---------------------|----------------------------------|
| 說明 | 將影像中經過模型學習過的所有物件類別加以偵測 | 可偵測影像中的每個像素其所屬的類別屬性 | 融合物件偵測及語意分割可針對影像中同一種類但不同的實例再予以區別 |
| 舉例 | | | |

CNN之延伸與精進

◆YOLO(You Only Look Once)

1. 最初版本由Joseph Redmon等4人(2015)提出。與R-CNN系列模型不同的是它運行原理並非基於區域，而是將影像劃分成均等大小的網格單元，再利用CNN來預測物件邊界框的所在區域及機率，如此使它擁有整體模型架構輕巧、計算速度快的優勢。
2. YOLO開放的程式碼使產學業界等社群間都能依照自己任務目的來調整、改善並提出精進後的版本。至今已釋出YOLO第8代(2023)。



23

分辨式AI vs 生成式AI

◆分辨式AI

1. 主要是由給模型特定輸入值，並對輸入值進行偵測、分類或回歸等工作，通常訓練過程較為簡單，惟依賴於數據之品質和標註(Labeling)。
2. 廣泛用於影像辨識任務之卷積神經網路CNN、YOLO等皆屬分辨式之AI模型。

◆生成式AI

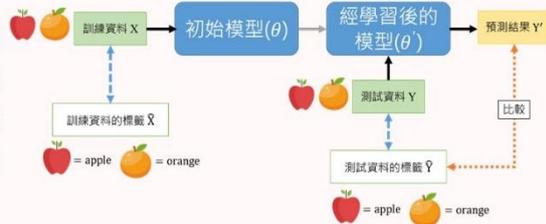
1. 生成式AI著重在「創造」的工作上，首先必須讓AI模型讀懂人類語言，即所謂自然語言處理(NLP)，藉由資料中上下文之間的脈絡及意義進行學習，並能依照所下的指令或稱提示詞(Prompt)進行生成。
2. 目前熟知之GPT即屬生成式之AI模型。

24

監督式學習 vs 非監督式學習

◆ 監督式學習

係由人類做為AI模型的老師，把標準答案直接告訴AI模型，提供它在訓練及測試時能判斷輸出的值是否正確或有多少誤差，故監督式學習有較能準確預測的優勢，分辨式AI多以監督式學習來進行。



◆ 非監督式學習

不利用或利用極少量標註後的資料告訴AI模型何為正確答案，而是讓AI模型自行利用輸入資料去發現特徵值並歸納後完成任務，生成式AI則多利用非監督式學習進行。



25

生成式 AI 和分辨式 AI 差異比較

| 比較項 | 生成式AI | 分辨式 AI |
|------|----------------------------------|---|
| 目的 | 生成新數據(如圖片、文字、音訊) | 判斷或分類已存在的數據 |
| 輸出 | 依據輸入項生成新的內容，例如創建新圖片、文本等 | 對輸入項進行分類、回歸 |
| 任務應用 | 生成逼真的數據、提升資料數量，例如：文本生成、影像生成、語音合成 | 決定輸入項屬於哪個類別(如分類器、檢測器)，例如：影像辨識、語音識別、自然語言處理 |
| 代表模型 | 生成式對抗網絡(GANs)、自編碼器(VAEs)、GPT | 支持向量機(SVM)、邏輯回歸、決策樹、CNN |
| 資料要求 | 通常需要大量資料來學習生成 | 需要標記資料來進行分類和判別 |
| 資源需求 | 訓練和生成過程通常較複雜，計算資源要求高 | 通常訓練較為簡單，但依賴於數據的品質和標記成果 |

26

Transformer

- ◆ Transformer模型由Google於2017年提出，原先以處理自然語言等順序輸入資料，應用於翻譯、文字摘要等任務，並逐步取代過往之遞迴神經網路(RNN)、長短期記憶模型(LSTM)，而現在也逐漸應用到圖像分類、物體檢測等電腦視覺領域。
- ◆ Transformer為一種採用「自注意力(Self-Attention)」機制之模型，即模仿人類對於一事物或一段句子描述有輕重之分(例如：主詞可能是句型當中最重要)，而將注意力更多的放在重要部分，並依照資料序列中不同之重要性來決定權重。
- ◆ Transformer參數量之多，使其被稱為大語言模型(Large Language Model, LLM)，然而，隨著現今硬體效能的快速迭代，Transformer模型架構被提出後，即掀起了一波生成式AI變革。



27

GPT

- ◆ GPT(Generative Pre-trained Transformer)，由OpenAI公司於2018年發表。
- ◆ GPT和Transformer最大不同係在架構上只使用解碼器，並主要應用於生成任務，故兩種模型在具體應用上的選擇取決於任務需求，例如：需生成連貫的語言，GPT更為合適；而對於需要同時理解和生成的任務(如翻譯)，Transformer會更具優勢。
- ◆ GPT訓練過程分為兩個階段，首先進行預訓練階段，此部分為無監督式學習，透過輸入大量的文本資料來學習語言的基本結構和知識，再通過自回歸方式進行預測，即從當前詞來預測下一個詞。微調階段(Fine-tuning)則為監督式學習，GPT會在特定的標註資料集上進行訓練，並學習如何在特定場景中生成正確的文本或答案。

28

GPT各版本比較

| 版本 | 發佈時間 | 簡介 | 應用場景 |
|-------------|---------|--|-----------------------------|
| GPT-1 | 2018.6 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 利用Transformer解碼器架構 ✓ 以預訓練和微調過程進行訓練 ✓ 1.17億參數 | 基本的文本生成和自然語言處理任務 |
| GPT-2 | 2019.2 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 無監督學習能力增強 ✓ 強化文本生成與連貫性 ✓ 15億參數 | 文本及摘要生成、對話系統、機器翻譯等 |
| GPT-3 | 2020.6 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 能執行多工任務 ✓ 生成與理解能力提升 ✓ 1750億參數 | 文本及原始碼生成、文案撰寫、對話系統、問答等 |
| GPT-4 | 2023.3 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 多資料型態處理能力 ✓ 強化語言推理 | 艱澀對話系統、法律分析、多模態應用 |
| GPT-4o | 2023.9 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 提升模型在低資源環境中的表現 ✓ 精進多語言處理 | 資源受限的應用(如手機、邊緣設備)、跨語言對話系統 |
| GPT-4 Turbo | 2023.11 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 成本降低、性能優化、速度提升 ✓ 提供更多自定義選項，更能貼近使用端需要 | 大規模商業部署、快速響應的應用，如虛擬助理、實時翻譯等 |

29

小結

- ◆ 針對影像辨識等相關領域，分辨式AI和生成式AI模型皆有千秋，無孰優孰劣之分，目前各大科技巨擘亦戮力開發最新且熱門應用之模型，故**使用者應從應用場景、資料數量、運行設備等進行綜合考量後來選用模型。**
- ◆ 常會藉由同一資料集交付不同AI模型進行訓練後，**利用各式指標來進行表現判定，藉以找出相對適用之AI模型。**

30

UAV結合AI深度學習影像判識方法

- 01 影像取得
 - 環境因素
 - 設備因素
 - 飛行操作因素
- 02 影像處理與增值產出
 - 影像匯入
 - 影像特徵點檢測及匹配
 - 對齊、拼接及色彩校正
 - 輸出正射影像、點雲模型或DSM
- 03 AI應用之切入
 - 前後期變異判識
 - 落石危害度分析
 - 災害範圍量測及量體估計



UAV結合AI深度學習影像判識方法

- ◆ 經本研究整理邊坡現況與維護管理機制，現行應用UAV於邊坡之場景主要包含：(1)前後期變異判識(裂縫、植被)；(2)落石危害度分析(岩體特徵、倒懸孤石)；(3)災害範圍量測及量體估計。
- ◆ 公路局邊坡影像取得主要利用UAV搭載光學相機進行航攝，少部份會使用搭載LiDAR之機型協助，用以濾除植被，取得邊坡DEM，並將原始UAV空拍影像轉製成正射影像，或利用近景攝影技術產製邊坡三維點雲模型，以進行多時序套疊比對分析等增值應用。
- ◆ 本研究針對UAV如何取得較為精良之資料成果、影像處理方式以及可結合AI深度學習影像判識之方法進行探討。

影像取得

◆ UAV航拍取得之影像，其**成像清晰度**主要受到以下幾個因素影響。

1. 環境因素

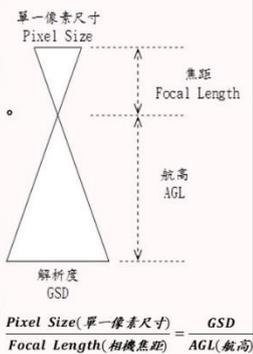
- ✓ 以山區常見因素如：**風速與氣流**、**光線及陰影**、**霧氣和降雨**、**地磁異常**、**電磁干擾**致GPS信號不穩等。
- ✓ 於飛航計畫執行前須提前**查詢當地之氣象預報**，若發現有不利之天氣因素則暫停或延後航拍時間，並警覺山區多變天氣，隨時查詢最新天氣資訊。
- ✓ 儘量於**固定時間**(例如：清晨或傍晚)**進行拍攝**，以維光線和陰影於成像表現之一致性，俾後續影像能減少色差，影像處理和判識工作較為容易。
- ✓ 起飛前先**觀察UAV衛星擷取狀況**，及利用UAV內建羅盤校正等功能，**在收訊及傳訊良好的情形下執行**航拍任務。

32

影像取得

2. 設備因素

- ✓ 最直接影響UAV影像品質好壞即為**搭載之鏡頭像素**，高像素鏡頭(如2000萬像素)可呈現較多拍攝標的之細節，並獲得高解析度原始影像，且對於後續之影像編修及增值應用亦更加有靈活度和準確性。
- ✓ 尚需考慮感光元件尺寸的影響，在光線不足或陰影狀態下，**像素較大的感光元件**(如1英寸感光元件)即使解析度略低，也能提供更好的噪點控制和色彩還原。
- ✓ 使用**具避障與雲台穩定化**功能之UAV，能顯著提升航拍成果，**定位精準度**則可考量應用**雙頻GPS**或**RTK定位**來提升。
- ✓ 以UAV航拍而言，**地面取樣距離(Ground Sample Distance, GSD)**直接影響**成像之精度**。GSD越小，解析度需求越高，對於大面積或農業監測，一般GSD在5~10 cm/px應可滿足任務需求，而需**精確之地形測繪或建模**，**GSD**約需降低至**1~2 cm/px**，目前商用無人機在飛航高度為50公尺的狀況下，大致都能達到測繪需求之精度。

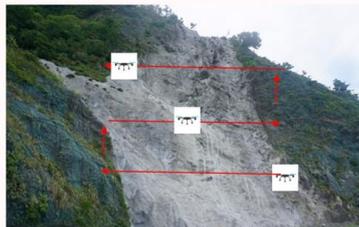


33

影像取得

3. 飛行操作因素

- ✓目前UAV之自動返(巡)航、飛航軌跡設定及各式智能飛行模式等功能已相當全面，且多整合至UAV搭配之APP或遙控器內即能完成設定，惟僅能在傳輸信號良好的狀況下實現，若身處於前段提到之地形遮蔽及電磁干擾的環境，則需由飛手採用無GPS飛行(或稱姿態模式)，此時可能因人為操縱不當，例如：飛行姿態與速度不穩定、相片拍攝覆蓋率不足、過度晃動等，影響後續成像品質。
- ✓在飛航環境允許使用自動巡航設定下，可於飛航設定時**固定UAV飛航高度、速度及相機角度**，並採用**重疊拍攝(Overlap Rate)策略**，設定快門間隔，**提高影像間的重疊比例(建議70~80%以上)**，增加影像拼接及建模之**精度**，並維持每次拍攝品質之一致性。



34

影像處理與加值產出

- ◆在蒐集UAV原始影像後，除直接利用原始影像輔助確認人力不易抵達之邊坡狀況外，常會再利用軟體進行影像校準、對齊、重建、調色等處理工作，並生成**正射影像、三維點雲模型或DSM**，以進行後續套疊分析及其他加值應用。

1. 影像匯入

- ✓將拍攝影像導入攝影測量軟體：Pix4D、DroneDeploy、Agisoft Metashape及CloudCompare。

| 軟體 | 費用 | 重點功能 | 特點 |
|-------------------|----------|---|--|
| Pix4D | 需付費 | 用於2D和3D影像處理，專為測繪、農業、建築應用設計 | 支援地面控制點(GCP)，提供自動化航線規劃工具，適合專業應用，如高精度正射影像生成 |
| DroneDeploy | 需付費(訂閱制) | 多功能平台，包含正射影像、NDVI、3D模型生成，特別適合建築、農業及公共工程 | 易於使用，具有App，支持第三方應用程式整合，適合初學者及企業 |
| Agisoft Metashape | 需付費 | 支援高精度3D建模，應用於測繪、考古學建築和文化遺產保護 | 強調高細節3D建模，支援多光譜影像和熱成像適合需要高精度的專業應用場景 |
| CloudCompare | 免費 | 基於點雲的3D點雲處理、可視化和分析，主要應用於研究和工程設計 | 支援多種點雲處理工具，如表面重建和體積計算，開源且支持擴充功能 |

35

影像處理與加值產出

2. 影像特徵點檢測及匹配

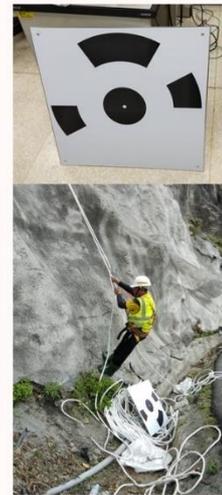
- ✓ 匯入影像後，軟體多可達成自動過濾出模糊或曝光異常之無效影像的功能，避免其對最終結果造成干擾。
- ✓ 每張影像之可交換圖檔格式(Exchangeable Image File Format, EXIF)能獲取飛行高度、拍攝時間、焦距，若影像有記錄GPS或RTK數據，軟體會自動將影像對應到地理坐標上。
- ✓ UAV自身GPS精度通常在1~3公尺，影像拼接時可能無法達到高準確性，此時若現場有佈設地面控制點(GCPs)，其座標資訊(通常以CSV或TXT格式儲存)可匯入軟體並根據GCPs的地理坐標系來定義影像的空間參考系，可有效輔助UAV影像處理中的精確定位，校正影像中的誤差，確保生成的2D和3D模型具備更高的地理精度，並減少偏移和扭曲現象，且能生成具有地理參考的影像或3D模型，以確保影像拼接結果能準確映射到真實世界。

36

影像處理與加值產出

2. 影像特徵點檢測及匹配(續)

- ✓ 軟體首要工作是檢測每張影像中的特徵點，特徵點是影像中具有獨特圖案和顏色變化的區域，通常使用特徵檢測演算法，例如：SIFT、SURF及ORB等來提取特徵點。
- ✓ 檢測到特徵點後，軟體將嘗試找到不同影像間的共視區域，這一過程稱為「特徵點匹配」，通常以暴力匹配、FLANN等演算法進行，匹配過程中可能會出現錯誤匹配，特別是在地形單調或特徵不足的區域，為此，可使用隨機抽樣一致性等方法濾除不正確的匹配點，以提升結果的穩定性和準確性。
- ✓ 針對單一邊坡場域進行多時期監測任務，可考量於邊坡進行航空編碼標之佈設，做為後續輔助特徵點檢測使用，在多張影像中可被清晰識別和匹配，有助於降低誤匹配率。佈設航空編碼標的位置通常會對應到已知的GCPs坐標，因此可以將編碼標用作輔助GCPs的工具，在後期數據處理時將影像準確地定位到真實地理位置，提升影像的地理參考精度。

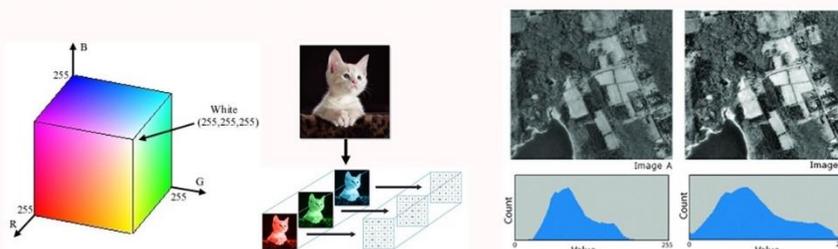


37

影像處理與加值產出

3. 對齊、拼接及色彩校正

- ✓ 在特徵點匹配完成後，軟體接著會計算出影像間的變換矩陣，通常透過估計影像間的單應性矩陣或基於三角測量來完成，進行校正後使影像之間能夠合理對齊，對齊後的影像將被疊加並進行拼接，生成無縫的合成影像。
- ✓ 合成影像過程會考慮亮度和顏色校正，以減少影像接縫的明顯性，此外，也可能通過多頻道拼接和梯度融合等技術來進行圖像平滑處理，最終生成平滑、連續的影像。



38

影像處理與加值產出

4. 輸出正射影像、點雲模型或DSM

a. 正射影像

- ✓ 原始影像中，UAV相機用之廣角鏡頭通常會導致影像產生畸變。
- ✓ 目前攝影測量軟體可以協助分析UAV相機之內參數(如焦距、光學中心、像素尺寸及畸變係數等)、外參數(如相機三維空間中的位置(X、Y、Z)和旋轉角度(俯仰、翻滾、偏擺)，針對畸變進行自動校正，以修正影像邊緣的拉伸或壓縮，使影像比例更均勻，且能消除影像偏移，使地物之位置在影像中保持正確的幾何關係，並生成正射影像。
- ✓ 正射影像可輸出為GeoTIFF格式，具有地理編碼的影像文件便於應用於GIS系統中。



資料來源：公路局信義工務段-108年度優先關注邊坡及易致災路段(巡)檢測委託服務工作

39

影像處理與加值產出

b. 點雲模型

- ✓ 為清楚了解邊坡地形變化，或由不同視角查看地貌特徵，可於攝影測量軟體中利用影像對應的多視角資訊生成稠密點雲，以重建三維空間，故點雲模型即為諸多三維點(x, y, z)的集合，用以描述空間中物體的幾何位置。
- ✓ 軟體利用視差(parallax)計算相機與場景中點之間的距離，生成每個像素的深度資訊，並基於前揭資訊，利用多視圖立體重建(MVS)技術，將影像分區及提取高精度的三維點。MVS演算法依賴影像重疊度，低重疊影像會產生空洞或不連續的點雲，故在飛行規劃時才須注意影像重疊率，以達到較好之成果呈現。
- ✓ 生成的稠密點雲會進行濾波，通常使用SOR或ROR演算法，以去除噪點和冗餘數據。生成點雲後，尚能經處理進行表面重建、平滑和紋理貼圖，以生成高解析度3D模型。
- ✓ 點雲模型可導出為LAS或PLY格式，用於3D分析、地形建模或進一步工程設計中，在測繪或建築應用，後處理時還可添加測量和計算功能。

40

影像處理與加值產出

c. DSM

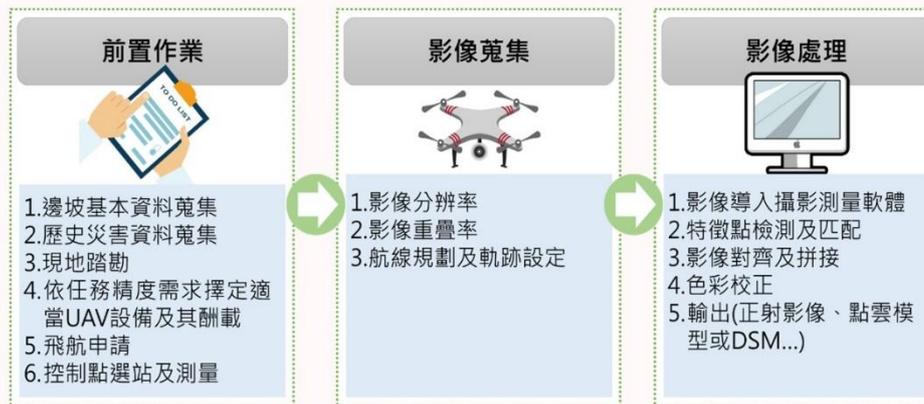
- ✓ DSM通常基於點雲，將點雲中的最高點投影到網格上來獲得。
- ✓ 原理係利用插值方法，例如：最近鄰插值、反距加權插值(IDW)、三角網格插值(TIN)，或基於多視圖影像的深度融合(特別針對UAV影像)等。
- ✓ 將點雲模型中不規則分佈的高度值轉換為具規則之網格數值，故點雲模型和DSM差別在於前者為較原始的數據展現，而後者為經過處理以展現高度分布值之模型，其他比較如下表：

| 應用 | 點雲模型 | DSM |
|------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 數據結構 | 三維點的集合，描述空間中物體的幾何位置，通常為(x, y, z)。 | 一種網格化數據，以網格的高度值(z)表示物體高度 |
| 內容 | 包括所有物體的三維坐標，如地面、建築物、植被等 | 表示地面及其上方物體(例如樹木、建築物)的最高點 |
| 分辨率 | 通常稠密且不規則分佈，每個點具有精確的空間坐標 | 固定網格分辨率，提供規則的高度數據分佈。 |
| 輸出格式 | 常見格式如LAS、PLY、XYZ等。 | 常以網格形式儲存，如GeoTIFF或ESRI ASCII格式。 |
| 應用場景 | 提供細節豐富的三維數據，適合點對點分析，例如：三維建模、地形測量。 | 適合進行地形坡度、高度差異和地表物體影響的整體分析。 |

41

小結

- ◆ 本研究整理UAV影像蒐集、處理並輸出成可加值應用之產品流程如下：



42

小結

- ◆ 原始影像：除做為後續正射影像、點雲模型和DSM等生成基礎外，適合於平時及災後等初步調查，可快速獲取邊坡的實時影像，檢查是否存在明顯的滑動、裂縫或其他表面異常。
- ◆ 正射影像：提供具有地理參考之影像，以進行邊坡地表形態和結構的分析，並可通過高分辨率影像檢測邊坡表面的裂縫或滑動跡象，且可透過多時相正射影像的對比，分析邊坡的變形(位)趨勢。
- ◆ 點雲模型：適合需三維分析的應用，如精密測量、邊坡重建和結構風險評估，生成之邊坡高密度點雲三維模型，可計算邊坡的角度、體積及形狀特徵；點雲模型與地質數據結合，進行邊坡穩定性分析。
- ◆ DSM：可提供規則的高度數據，用於大範圍地形分析與排水設計和路徑規劃，另有相關研究使用其進行邊坡滑動模擬，計算滑坡體積及影響範圍，或透過多時相DSM比對，精確計算邊坡變形量。

43

AI應用之切入

- ◆經由本計畫執行過程蒐整之文獻，並與公路邊坡第一線實務單位之諮詢及訪談後，**落石型破壞之裸露邊坡相對合適利用UAV影像協助進行調查。**
- ◆因其常具有高聳及坡度超過45度之陡峭岩壁，致使人車不易抵達使目視效果有限，且植生密度低，災害特徵不易受植披影響導致辨識困難，加上災害範圍相對於各項邊坡破壞類型例如：地滑、大規模崩塌等較小等等理由。
- ◆本節**針對UAV於落石型邊坡相關應用場景**：(1)**前後期變異判識**；(2)**落石危害度分析**；(3)**災害範圍量測及量體估計**。整理AI可能之輔助及切入點。

44

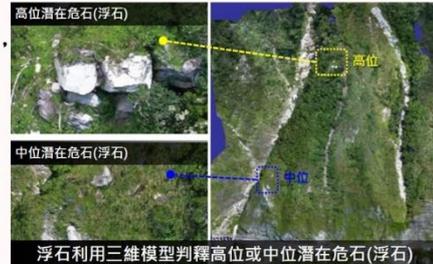
前後期變異判識

- ◆**邊坡落石災害多因自身地質及所處環境條件不佳**(潘國樑(2005)、吳淵洵、周南山(2006))，**加上地震或強降雨等外部因子引致**，而其致災前較為明顯之特徵為：(1)張力裂縫產生、(2)岩屑及浮石堆積、(3)植披傾倒且塌面持續發展。
- ◆因相關災害特徵可由專業人員以單一或多期影像，或利用前後期3D點雲模型、DSM等進行判識並圈繪，故**可由人員先針對欲分析之災害特徵進行標註**，並**運用深度學習之語意分割或實例分割演算法**(例如：Mask R-CNN)予以訓練，利用AI模型**實現高解析度影像中災害類型之自動檢測**，例如：識別張力裂縫大小、位置和方向；分析樹冠孔隙變異；**影像自動分類**為植被覆蓋區、裸露區或侵蝕區，並藉由多時序影像來**預測其各區域發展趨勢**等。
- ◆生成式AI模型則可應用於**資料增強(Data Augmentation)**，**提升訓練樣本**，或**補充劣化影像不足**的問題，或加入地質數據、降雨量、地表加速度等各式因子，**生成在某特定條件下之模擬邊坡情況**。

45

落石危害度分析

- ◆ UAV可針對倒懸孤石進行多面向拍攝，並生成點雲模型，針對人力難以抵達之處，以間接目視調查孤石的倒懸狀態，分析崩塌量體可能之大小、方向與落點。
- ◆ AI模型能經由學習輔助標記倒懸孤石，並分析其特徵，藉以判斷孤石之倒懸狀態，以評估掉落路面風險並預為進行噴漿或掛網等防護作為。
- ◆ 基於岩石力學和工程地質專家之豐富學識經驗協助檢視岩體類型、節理、固結狀況，進行不連續面分割，AI可學習協助識別出岩石邊坡的粗糙度與其結構面幾何，找出關鍵弱面之所在，並判斷岩塊滑移或破裂模式，供危石偵測和穩定性模擬方面相關研究應用參採。



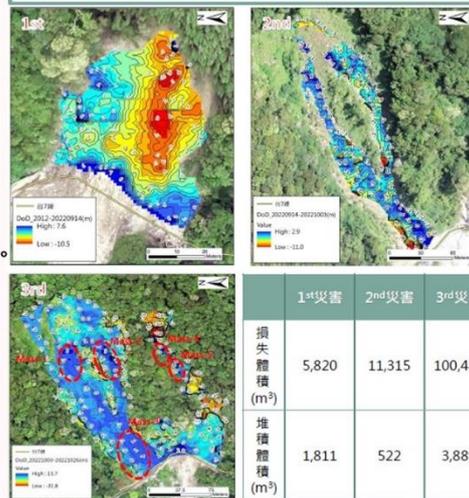
資料來源：公路局無人機於防災應用分享與AI應用之展望簡報

46

災害範圍量測及量體估計

- ◆ UAV於邊坡之應用場景中，亦常見以正射影像進行崩塌範圍圈繪，應用點雲模型和DSM進行災害範圍量測及量體估計，主要係以高程差分計算來進行變異值估算。
- ◆ 通過AI深度學習影像分割技術，可準確判別受災和未受災區域，使後續的災損量體估計更加精確，以便估算清運量及研擬改善或加固方案。
- ◆ 生成式AI模型可用於模擬並生成不同災害條件下的影響範圍，幫助維管單位分析邊坡可能之演變過程和次生災害，以供預想在不同災害情境下之影響，俾決策者快速理解。

UAV測量建模 → 崩塌面積與量體變異數值



資料來源：公路局三維數值模型在邊坡管理與科技防災之應用簡報

47



結論與建議

結論

- ◆ 公路局運用UAV科技巡檢並建立龐大且豐富之邊坡影像資料庫，為未來AI應用立下良好基礎。
- ◆ 歸納相關文獻可知欲進行AI深度學習影像辨識或目標偵測及分類等任務，除利用邊坡高解析度影像外，尚可使用邊坡空間特徵資料(例如：點雲模型、DSM)，並配合環境因子(例如：邊坡坡度、坡向、地質等)共同分析，以達較好之判識效果。公路局針對轄管邊坡利用RHRS的10項評估因子進行評比，可於AI學習過程中納入相關環境因子考量。
- ◆ 針對應用AI模型進行影像辨識等相關應用，使用者需從應用場景、資料數量、運行設備等進行綜合考量後來選用模型，並可依蒐集之資料量數量及品質，決定運用單一或多支AI模型，針對不同階段來予以協處。

結論

- ◆ 針對以UAV空拍影像為資料集，分辨式AI和生成式AI模型於落石型邊坡應用場景適用性分析如下表。

| 應用場景 | 分辨式AI應用 | 生成式AI應用 |
|-------------|---|---|
| 前後期變異判識 | <ul style="list-style-type: none"> ● 影像中災害類型之自動檢測(例如：張力裂縫大小及位置標記) ● 樹冠孔隙變異分析 ● 植被覆蓋區、裸露區等區域劃分 ● 區域發展趨勢及範圍預測 | <ul style="list-style-type: none"> ● 資料樣本數量提升 ● 缺漏影像補全 ● 邊坡各種災害情況及影響時間之範圍模擬及生成 |
| 落石危害度分析 | <ul style="list-style-type: none"> ● 潛在危石圈選及標記 ● 崩塌量體之大小、方向與落點分析 ● 岩體不連續面分割並找出關鍵弱面所在 | |
| 災害範圍量測及量體估計 | <ul style="list-style-type: none"> ● 提升災損量體估計量精確度 | |

49

結論

- ◆ 總結若欲以UAV結合AI進行相關應用之流程規劃

| | |
|--|------|
| 1. 針對目標邊坡進行基本屬性、災害歷史等資料蒐集。 | 前置作業 |
| 2. 進行相關飛航前置工作，例如：前往民航局平台進行飛航申請、佈設控制點並進行測量等。 | |
| 3. 於UAV影像擷取環節，若要獲取高解析度及高品質之空拍影像，需注意環境、設備及飛手操作等因素。 | 影像取得 |
| 4. 影像處理則依需求選用適當且專業之軟體，其內建功能多能滿足影像特徵點檢測、匹配、對齊及拼接工作，必要時還可調整曝光值、色彩校正等，並輸出正射影像、點雲模型及DSM加值產品，以做為AI訓練之初始資料集。 | 影像處理 |
| 5. AI模型之建構主要以Python程式語言進行編程，可利用深度學習框架實現快速佈署及訓練測試。 | AI應用 |
| 6. 依前述分辨式AI和生成式AI模型於落石型邊坡應用場景適用性，生成式AI可用於資料數量擴張及協助標註等，分辨式AI則用於處理影像檢測、分類及圈繪等。 | |
| 7. 進行AI模型訓練、驗證及測試，並依成果進行評估、參數微調，最終獲得理想之成果。 | |

50

建議

- ◆ 公路局除利用UAV/S進行邊坡科技巡檢工作外，尚因應各式邊坡狀況及災害類型應用空載和地面LiDAR、InSAR及衛星影像等，建議持續蒐集並產製各類公路邊坡數值影像及模型資料，建立邊坡資料庫，未來相關資訊可進行大數據決策輔助資料庫、AI訓練及災害預測等後續智慧化加值應用。
- ◆ AI於邊坡之應用不僅是影像辨識，以地表聲音或震動等做為AI學習之資料集，達成邊坡減(防)災之效用，皆有相關研究探討，故考量以邊坡相關地表及地底監測數據做為AI訓練樣本，用以探討其數據變化對於邊坡變異之關聯程度，以達災害預測及預警之可能，亦是後續可考量切入公路邊坡AI應用方向。
- ◆ 邊坡災害類型眾多，若要深入探討AI於邊坡防災上的應用，建議可先依照不同特性邊坡及破壞類型，例如：落石、地滑、土石流等，進行剖析後先選擇其一進行，以利聚焦。

51

簡報結束 敬請指教



運輸技術研究中心

