
應用深度學習與電腦視覺於人工坡面構造

物體檢新方法之研究

**Application of Deep Learning and
Computer Vision in the Study of New
Inspection Methods for Soil and Water
Conservation Engineering**

(初稿)

執行單位：國立雲林科技大學

執行期間：113年2月8日至113年12月31日

計畫主持人：潘乃欣 教授

行政院農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 113 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)



應用深度學習與電腦視覺於人工坡面構造物體檢新方法之研究

摘要

本計畫旨在探討並制定台灣地區水土保持工程設施的管理策略。傳統的目視識別和定位構造物外觀異常的方法存在缺乏客觀性、執行時間長、成本高以及難以記錄外觀異常等局限性。本計畫提出使用先進的圖像技術和人工智慧來生成輕量化的數位孿生模型，以進行快速檢查和語義資訊提取，適用於各類基礎設施的日常巡檢及災後檢查。本計畫結合深度學習和電腦視覺技術，利用多視角圖像生成 3D 數位模型，並進行語義分割和描述，以創建具外觀異常資訊的數位孿生 (DADT)。此方法的核心在於通過結構從運動 (SfM) 技術處理圖像生成相機位置和點雲，再由卷積神經網絡 (CNN) 檢測裂縫和外觀異常，最終將這些資訊映射到 LOD3 模型，生成 DADT 輸出。預期本方法能有效記錄檢查期間收集的資訊，提升水保防砂構造物設施的生命週期紀錄與巡檢效率，針對災後構造物劣化及範圍進行準確評估，掌握其變化趨勢，以實現構造物診斷及改善，達到防災與減災的災害管理目標。

關鍵詞：水土保持工程設施；無人飛行器；人工智慧；數位孿生

Enhancing life extension evaluation method of Soil and Water Conservation Facilities

Abstract

The aim of this research project is to explore and formulate management strategies for soil and water conservation engineering facilities in Taiwan. Currently, engineers visually identify and locate structural abnormalities, then determine whether the structure is fit for service, requiring further analysis. The main limitations of this traditional procedure are its lack of objectivity, long execution time, high costs, and difficulty in recording appearance anomalies. This project plans to generate a lightweight digital twin model suitable for rapid inspection, allowing the addition of semantic information extracted from image data. This approach is applicable not only to single structures but also to other types of infrastructure, useful for routine inspections and pre/post-event assessments. Advances in image acquisition devices, deep learning in artificial intelligence, and computer visualization have made it possible to use specific tasks, such as detecting appearance anomalies or creating digital twins (DT) for specific structures. The process involves generating 3D digital models from images captured in the inspection area and further integrating DT semantic segmentation and descriptions. The proposed method requires multi-view images of the structure as input, and the process outlined in this project is expected to enhance the visualization of 3D digital models. This method is anticipated to record the information collected during inspections more effectively, improve the life cycle records and inspection efficiency of soil and water conservation structures, effectively assess the deterioration and scope of conservation facilities caused by post-disaster events, and grasp the trend of changes in the

surrounding environment (such as collapses or sedimentation). The ultimate goal is to diagnose and improve the effectiveness of the governance of soil and water conservation facilities, achieving disaster prevention and mitigation objectives.

Keywords : Soil and Water Conservation Facilities, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Artificial Intelligence (AI), Life-cycle Management Model, Digital Twins



目 次

摘要.....	I
Abstract.....	II
目 次.....	IV
表 次.....	V
圖 次.....	VI
第一章 緒論.....	1-1
第一節 前言	1-1
第二章 文獻探討與相關法規	2-1
第一節 文獻探討	2-1
第二節 水土保持設施相關法規	2-9
第三章 工作執行方法與步驟	3-1
第一節 工作執行方法	3-1
第二節 研究步驟	3-8
第四章 工作進度計畫與已完成項目	4-1
第一節 工作進度計畫	4-1
第二節 本計畫目前已完成項目與預期成果	4-4
第五章 結論與建議	5-1
參考文獻.....	參-1
附錄 期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-1

表 次

表 4-1 計畫預定進度表	4-3
表 4-2 預測各項指標表	4-15
表 4-3 專家訪談意見彙整表	4-44



圖 次

圖 3-1 影像標註框選訓練示意圖	3-3
圖 3-2 影像採集流程圖	3-5
圖 3-3 影像轉至後旋轉圖	3-6
圖 3-4 數位孿生 3D 語意資訊整合	3-8
圖 3-5 計畫整體執行流程圖	3-12
圖 4-1 本計畫甘特圖	4-2
圖 4-2 影像標註框選訓練示意圖	4-10
圖 4-3 影像深度學習辨識架構圖	4-10
圖 4-4 影像辨識訓練流程架構圖	4-12
圖 4-5 以沖毀位移樣態示意畫面	4-13
圖 4-6 系統樣態分群分類結果畫面	4-13
圖 4-7 深度學習後自動分類畫面	4-16
圖 4-8 深度學習模型測試	4-16
圖 4-9 本計畫建立深度學習辨識分類訓練系統	4-18
圖 4-10 系統辨識分類異常結果本計畫產出	4-18
圖 4-11 測試校正影像分類圖	4-19
圖 4-12 崩塌樣態群狀態 A 驗證結果	4-20
圖 4-13 崩塌樣態群狀態 B 驗證結果	4-20

圖 4-14 崩塌樣態群狀態 C 驗證結果.....	4-21
圖 4-15 淤積樣態群狀態 A 驗證結果.....	4-22
圖 4-16 淤積樣態群狀態 B 驗證結果.....	4-22
圖 4-17 淤積樣態群狀態 C 驗證結果.....	4-23
圖 4-18 位移崩毀樣態群狀態 B 驗證結果.....	4-23
圖 4-19 圖位移崩毀樣態群狀態 C 驗證結果	4-24
圖 4-20 測試影像分類列表	4-24
圖 4-21 放置參考定位點	4-25
圖 4-22 現場影像收集流程.....	4-26
圖 4-23 影像載入軟體畫面	4-27
圖 4-24 稀疏點雲模型畫面.....	4-28
圖 4-25 合成密集點雲圖.....	4-28
圖 4-26 多邊形網格模型圖.....	4-29
圖 4-27 3D 數位影像模型圖	4-30
圖 4-28 數位孿生 3D 語意資訊整合.....	4-32
圖 4-29 數位孿生固床工 3D 元件	4-32
圖 4-30 數位孿生擋土牆 3D 元件	4-33
圖 4-31 數位孿生梳子壩 3D 元件	4-33
圖 4-32 檢測資訊與 3D 數位孿生影像整合.....	4-34

圖 4-33 新增個案整體流程	4-36
圖 4-34 已標定之檔案編修示意畫面	4-37
圖 4-35 巡檢範圍 3D 數位圖層	4-38
圖 4-36 3D 數位影像旋轉樣態	4-39
圖 4-37 3D 數位孿生影像巡檢歷程訊息	4-39
圖 4-38 3D 數位影像巡檢資訊連結	4-40
圖 4-39 AI 辨識評等結果畫面	4-42
圖 4-40 案例載入於 3D 數位孿生管理系統	4-43
圖 4-41 個案新增後資訊鏈結檢視	4-43



第一章 緒論

第一節 前言

水土保持設施之安全維護管理之目的，就是讓水土保持設施在生命週期內可有效地發揮其所設計預期的各種功用，並保障人民生命財產安全及減少災害之發生。為達到安全維護管理與災後復原，則是須運用適當方法或技術，明確而有效地對災後造成構造物異常原因或範圍進行評估，並掌握其變化趨勢，以期可作診斷及復原修護改善並強化原本功能。從「災害管理」的觀念而言，災害發生之過程可分為減災（mitigation）、整備（prepared-ness）、應變（response）、復原（recovery）四個階段。然而水土保持局因轄區多屬偏遠之山坡地，其興辦水土保持設施工程多數具有位置分布廣、數量多、規模小及交通可及性低等屬性，如此龐大之工程數量，並分布於台灣地區山坡地之範圍廣。因此在巡檢管理上確實有其實務上之困難度。人工坡面構造物會由工程師定期或在事件後進行體檢。妥善的評估可以防止受損結構的潛在失敗，並最小化後續影響，例如對人命的危險和經濟損失。在檢查過程中，工程師嘗試目視識別和定位構造物的外觀異常，然後確定構造物是否適合提供其服務，需要進一步分析。這種傳統程序的主要局限性是其缺乏客觀性、執行時間長、成本高，以及記錄外觀異常的困難。這些缺點凸顯了需要新的評估方法來協助其自動化，例如圖像設備和人工智能的最新進展。

目前在外觀異常評估方面的最新技術乃使用圖像數據與電腦視覺技術（包括深度學習和攝影測量方法）結合，以減少傳統檢查中的主觀性和操作時間。例如，已經進行了大量的調查，探討使用卷積神經網絡（CNN）進行外觀異常檢測、分類和劃分。用於外觀異常評估的電腦視覺技術也已被用於自動生成 3D 模型。例如，動態結構生成

(SfM) 和多視角立體目視 (MVS) 可以生成詳細的模型，作為紋理網格來重建地震事件後的 3D 場景。儘管這些模型能達到的精確度很高，但生成的檔案大小相對龐大，可能會阻礙對大量構造物的建模。因此，使用如細節層次 (LOD) 模型這類包含有關構造物的簡化幾何資訊的模型更為方便。本研究中使用 CityGML 標準 2.0 來建立人工坡面構造物的 LOD 模型。根據 CityGML 2.0，構造物模型分為五個細節層次，從 LOD0 (最不詳細) 到 LOD4 (最詳細)。

通常，LOD 模型是通過對來自光達和/或攝影測量管道的 3D 原始資訊進行後處理來生成的，並可能需要一些手動干預。一些 LOD 建模方法使用數學簡化對原始網格上的元素；將幾何基元 (或構造物模板) 適配到點雲上，或選擇它們的最佳組合，同時最小化一個目標函數；從原始模型中切割幾何屬性，例如平面和邊緣，以後來簡化網格；並結合從圖像中切割出的先前資訊以添加到模型中。與其單獨解決外觀異常檢查所需的各項任務，以達到部分自動化的目的，本計畫設想了一個端到端的流程，該流程會自動生成包含外觀異常資訊的豐富 3D 模型，形式為數位孿生 (DT) 的 LOD3。數位孿生是將物理實體對象轉為精確數位表達形式，可以根據應用程序包含不同的資訊，並通過數據和/或服務與物理實體相連接。本計畫對包含有關實體構造物幾何的詳細資訊的幾何數位孿生 (GDT) 感興趣。要形成一個外觀異常增強的數位孿生 (DADT)，這些 GDT 將與使用圖像數據檢測到的外觀異常資訊相結合，特別是與裂縫及其通過運動算法確定其傳播模式的特性有關。這種表達形式中的詳細資訊將對未來的維運和決策計劃非常有用，並將通過新的檢查和干預後更新的圖像數據與物理實體相連接。

近年來，多項研究使用數位孿生 (DT) 來監測人工坡面構造物的

結構健康狀況，並取得了有希望的結果。因此本計畫將結合了電腦視覺和機器學習，以提出一個端到端自動化的流程，用於使用構造物的多視角 RGB 圖像作為輸入，生成適用於自由站立人工坡面構造物的 DADT。本計畫的方法生成了一個輕量化的 DADT 模型，非常適合快速檢查，允許添加從圖像數據中提取的語義資訊，不僅針對單一構造物，也適用於其他類型的基礎設施，對於日常巡檢和事件前後巡檢都有用。

本計畫的 DADT 方法的輸出包括具有外觀異常和其特性的構造物的 3D 重建幾何形狀。影像獲取設備和人工智慧（包括深度學習和電腦視覺）的進步使得僅使用 RGB 圖像數據自動化此流程成為可能。儘管當前的外觀異常評估方法採用這些領域的技術，但它們僅限於特定任務，例如檢測外觀異常或為特定構造物創建 DT，這也可能需要一些人工干預。因此本計畫提出了一個框架，用於自動創建 DADT。本計畫將結合和補充了多種方法，以從圖像生成 3D 構造物模型並語義分割和描述裂縫。所提出的方法需要作為輸入的構造物的多視角圖像，這些圖像適用於結構從運動（SfM）中重建。SfM 處理圖像，生成相機位置和用於生成 LOD3 模型的點雲。一個受過訓練用於檢測裂縫的卷積神經網絡（CNN）處理用於生成 3D 模型的圖像。最後，使用 SfM 資訊，將外觀異常資訊映射到 LOD3 模型以生成所需的 DADT 輸出。由於耗時、主觀和難以記錄是當前外觀異常評估方法的主要問題。本研究的目標是通過開發一種使用多視角檢查圖像作為輸入，生成人工坡面構造物的外觀異常增強數位孿生（DADT）的方法，以實現構造物全生命週期的自動化外觀異常評估。本計畫預期這種方法將更有效地記錄檢查期間收集的資訊，增加客觀性並減少操作時間。此外，本計畫提出的流程生成的 DADT 應對更深入的外

觀異常評估活動也有所助益。本計畫提出之方法提升水保防砂構造物設施命週期紀錄與巡檢效率，有效針對災後所造成防砂構造物設施劣化及範圍評估，並掌握該區水保防砂構造物設施及周邊環境(如崩塌或淤積)其變化趨勢，以期可作水保防砂構造物設施診斷及治理改善成效，達到防災與減災之災害管理之目標。

一、計畫目的

台灣的許多水土保持設施已經超越了五十年的平均使用年限，展現出老化的趨勢。此外，隨著經濟的發展和土地使用的增加，以及材料的老化，現有的水土保持設施逐漸步入了老化和劣化的階段。如何透過快速有效的設施巡檢，並建立相關視覺化數位模型，對於水保設施功能與使用壽命延續規劃參考，是水土保持相關部門未來的重要課題之一。

近年來的大地震和極端氣候事件可以了解水土保持設施的質量對於人民的生命安全、財產保護和居住品質都有著關鍵的影響。因此需要重新定義新的設計規範，並制定一套完整的人工智慧自動檢測技術供相關部門參考，針對設施老化和劣化進行功能評估，並將水土保持設施的歷史記錄為基礎，建置視覺化數位模型以利管理單，對於水土保持設施評估維護和整治的時機，並確保水土保持設施能在使用者設定的功能門檻內達到所需的服務水準，從而達到最佳的經濟效益。本計畫即是針對水土保持設施之人工智慧和電腦視覺的人工坡面構造物外觀異常自動評估模型建置與為主軸，並考量日後收集資料整合，期望能夠提升水土保持設施的巡檢技術與視覺化數位圖形資訊完善，並維持治山防災的功能性，同時也可符合公共建設永續經營的宗旨。本計畫之目的包括：

1. 建立端到端自動化流程並對多視角 RGB 圖像進行語義分析和特徵提取，並以此作為生成 DADT 模型的基礎。
2. 發展和優化一個全自動的人工坡面構造物多視角影像處理流程，包括圖像預處理、深度學習模型訓練、以及基於最小二乘法的 2D 配準算法。
3. 在實際的人工坡面構造物中應用開發的 數位孿生(DADT)模型，進行模型輸出的量化評估，以檢驗其在外觀異常評估和預防性維護方面的實用性。
4. 運用深度學習和電腦視覺技術，自動生成具有外觀異常和其特性的構造物的 3D 重建幾何形狀，並與既有的外觀異常評估方法進行比較。
5. 為 DADT 模型添加語義資訊層，以提供更為全面和精確的構造物外觀異常評估。該語義資訊層將包括但不限於裂縫的類型、大小和發展趨勢。
6. 根據實際應用的回饋，對開發的 DADT 模型進行進一步的優化和調整，以滿足更廣泛的基礎設施維護需求。

本年度研究計畫將為基於人工智慧和電腦視覺的人工坡面構造物外觀異常自動評估提供有力的技術支持。希望能夠提升水保防砂構造物設施命週期紀錄與巡檢效率，以達到防災與減災之災害管理目標。

二、研究範疇與限制

本研究的重點是建立以新興科技為基礎之人工智慧和電腦視覺的人工坡面構造物外觀異常自動評估。因此，我們首先需要確定研究的範圍和對象，以及相關的限制。水土保持工程設施，也被稱

為防災工程構造物，是達成水土保持治理成效的關鍵。這些構造物根據治理目標的不同，使用不同的材料和類型，種類繁多。因此，本研究將以行政院農業委員會水土保持局的指導手冊中，使用混凝土材料的水土保持工程設施構造物為研究對象。因此，我們首先需要確定研究的範圍和對象，以及相關的限制。水土保持工程設施，也被稱為防災工程構造物，是達成水土保持治理成效的關鍵。這些構造物根據治理目標的不同，使用不同的材料和類型，種類繁多。因此，本研究將以行政院農業委員會水土保持局的指導手冊中，使用混凝土材料的水土保持工程設施構造物為研究對象。



第二章文獻探討與相關法規

第一節 文獻探討

一、無人機(UAVs)與人工智慧(AI)在各領域的應用

最近幾年來，無人機（Unmanned Aerial Vehicles，UAVs）和人工智慧（Artificial Intelligence，AI）在各種領域的使用已經成為研究的熱門話題。Alomari，Elmir 和 Alsukour 在 2018 年探討了開發中國家接受使用無人機進行配送服務的情況，並將安全和隱私風險因素擴展到統一的科技接受與使用理論（UTAUT2）中 [1]。在異質網路的情境下，Al-Turjman，Hassanein 和 Ibnkahla（2018）討論了無人機的使用，專注於在實際壽命限制下進行連接性優化 [2]。他們提出了一種新的方法，旨在考慮無人機能源消耗的同時，最大化網路的連接性。這些作者還就公共安全通信中使用無人機進行了全面研究，討論了將無人機整合到公共安全網路的挑戰和機會，並提出了一個新的無人機輔助異質網路框架 [3]。在 2017 年，Al-Turjman，Hassanein 和 Ibnkahla 提出了一種新的方法，延長部署在戶外環境監測中的無線傳感網路（Wireless Sensor Networks，WSNs）的壽命 [4]。他們討論了在戶外環境部署 WSNs 的挑戰，並對使用無人機提高 WSNs 的性能和壽命進行了全面研究。在另一項研究中，Al-Turjman，Hassanein 和 Ibnkahla（2017）討論了在異質網路中使用無人機，專注於在實際壽命限制下進行連接性優化 [5]。他們提出了一種新的方法，旨在考慮無人機能源消耗的同時，最大化網路的連接性。同樣的，Al-Turjman，Hassanein 和 Ibnkahla（2017）就公共安全通信中使用無人機進行了全面研究，討論了將無人機整合到公共安全網路

的挑戰和機會，並提出了一個新的無人機輔助異質網絡框架[6]。Al-Turjman, Hassanein 和 Ibnkahla (2017) 提出了一種新的方法，延長部署在戶外環境監測中的無線傳感網絡 (Wireless Sensor Networks, WSNs) 的壽命[7]。他們討論了在戶外環境部署 WSNs 的挑戰，並對使用無人機提高 WSNs 的性能和壽命進行了全面研究。

這些研究提供了對無人機和人工智能在包括配送服務，異質網絡，和戶外環境監測等各個領域的應用的寶貴見解。然而，我們需要進一步的研究來探討他們在其他領域，如土壤和水資源保護等的應用，並研發更高效和有效的管理策略。

二、土木設施狀況評估與無人機的應用

目前無人機的應用主要以橋樑的檢查和評估是維護過程的關鍵部分，目的是確保這些結構的安全與適用性。對於新建橋樑，其結構的安全性和可靠性是通過遵循如歐洲規範等設計準則來隱含確保的。這其中，DIN EN 1990 (EC 0) "結構設計基礎" 揭示了安全性的概念。近期，有些新的規範設計將這些概念轉化為針對現有結構的定量安全評估，以考慮老化和破壞過程。這就是德國的 "Nachrechnungsrichtlinie (現有公路橋樑重新計算指南)" 的起源，它讓人們能將通過監測策略得到的狀態數據納入考慮，以可能地延長橋樑的壽命。重新計算作為在假定的負載效應下對結構安全性的量化，是建立在所定義的極限狀態的基礎上的。破壞過程削弱了材料的阻力，這需要根據狀態評估來量化。例如，在德國，橋樑的檢查遵循 "DIN 1076"，該規範為工程結構的定期檢查規定了規則，從而定性評估其適用性、安全性和耐久性。這些標準設定了檢查和測試的間隔，但對於測試方法和結果解釋的規

定較為寬鬆，這導致了狀況評估的主觀性大增。由於需要無障礙設備、必要的封閉和專業人員，傳統的檢查過程通常非常耗時且成本高昂。大部分文件都是手工製作的，常常是模擬的（草圖、照片、筆記、語音備忘錄）。儘管對所有結果進行持久且明確的記錄至關重要，但記錄往往不完整且不夠全面。

近年來大量研究著力於非接觸式的橋樑監測方法，以協助檢查員對結構狀態的評估。此外，還有一些橋樑檢查的描述和建模方法，這些方法考慮到在 3D 橋樑幾何形狀上映射異常數據，但沒有考慮定義、準備和規劃檢查任務的部分。雖然地面激光掃描（TLS）仍然是一種強大而成熟的替代方法，但基於無人機（UAS）的測量技術正引起越來越多的關注。對於各種結構，已經進行了大量研究和成功的實驗，證明基於 UAS 的檢查具有潛在的狀態評估能力，使用 UAS 可以大大節省時間。引起人們的廣泛關注。近年來，隨著無人機技術朝向專業系統的迅速發展，高效的圖像數據採集變得可能，這為我們所討論的信息提取提供了基礎。基於圖像的裂縫屬性提取的準確性進行了深入的檢驗。這些系統為監控橋樑等大型複雜結構提供了潛在的應用前景。這不僅顯示出當前技術的進步，更提醒我們必須繼續開發和優化這些方法，以更好地保護我們的基礎設施，確保其安全與適用。

在技術創新的推動下，例如具有靈活性的多傳感器平台、數位化技術，以及自動化狀態評估流程，目前市面上已有數種商業飛行規劃工具如 AscTec 導航器和 Pix4D 捕獲等，能夠對攝影測量 3D 重建提供協助。然而，這些工具目前只能支援簡單的 3D 形狀，並無法充分利用所有可用的場景信息。因此，若在空中自動生成傳統的飛行路徑，可能會產生不準確或不完整的 3D 模

型。適合無人機攝影測量測量的無人機飛行路徑通常是通過兩步程序獲得的。首先，需要找到一組合適的候選視圖集，這些視圖集需要能夠以穩定的圖像質量覆蓋整個表面。然後，計算出一條最佳的飛行路徑，使得無人機可以按照這條路徑按順序經過所有的視點。目前的候選視圖選擇方法可以分為基於模型和無模型兩種。基於模型的方法主要差異在於模型表示的不同，例如可見性矩陣、方面圖或平面圖等。例如，Freimuth 和 König 根據 BIM 數據確定了有效的 UAS 視圖。然而，這些方法中只有少數考慮了攝影測量約束在多視圖立體 (MVS) 重建中的影響，即依賴於對象的質量標準或相鄰視圖之間的足夠重疊[8]。

Zhipeng Zhou et al. (2018) 以無人駕駛航空系統 (UAS) 可搭配攝影機、傳感器或其他設備，可作為環境監測、野生動物調查、航空攝影和交通監控等各種非軍事應用[9]。F. Khan; A. et al (2018) 美國以每年花費數高額經費來檢查基礎設施，檢查過程需要足夠的人員進入偏遠地區，架設鷹架、起重設備和其他防護設備，這可能會增加檢查員的人身安全風險並增加成本。無人飛行機系統 (UAS) 廣泛於監測和檢查程序的平台中，可縮短檢查時間及提升檢測人員安全性，目前目標是執行橋樑現況評估[10]。LFang, Y.T. et al. (2017) 提出陸地滑坡是台灣的重大自然災害之一，然而傳統檢測方法僅以目視進行檢測，使用最先進的技術應用於實際工程現場，進行施工前的土地滑動檢測；由於某些地區由於地形的困難而無法實時檢查，從而啟發了無人飛行機開展低成本以非目視方式進行檢測[11]。

目前已有許多無人機研究目前重點在防撞和距離鎖定系統，而飛行路徑規劃則依賴圖像數據。全球導航衛星系統 (GNSS)

實現了無人機的自動飛行，但覆蓋複雜結構，如橋樑仍有困難。現有工具如 AscTec 導航器和 Pix4D 捕獲等能助於 3D 重建，但只能支援簡單的 3D 形狀。為規劃無人機的飛行路徑，需找出穩定的視點集並計算最佳路徑。視點選擇方法分為基於模型和無模型兩種。儘管有了一些進展，但自動生成飛行路徑和在複雜任務中使用無人機進行攝影測量仍面臨挑戰，需要進一步的研究和發展以實現更精確的檢測和評估。

三、影像辨識應用

深度學習是為了能夠得到有助於理解圖片、聲音、文本等的資料所表述的意義而進行的多層次的表示和抽取的學習。用簡單的機器學習，例如用含 2 個或 3 個隱含層的神經網路，是不可能達到與人類類似的判別決策。因此需要多層的學習器，逐層學習並把學習到的知識傳遞給下一層，以便下層能夠得到更高級別的表述形式，期望可以得到與人類類似的結論。最常見的應用，包括影像識別、語音辨識、自然語言處理等，各種和生活相關的領域都可以看到深度學習的應用。

呂景羣(2014)以演算法開發訓練一套裂縫影像辨識軟體用於橋梁檢測工作，針對影響辨識技術準確率的主要因素為原始影像的取得方法及辨識前的處理步驟，藉由紀錄橋梁異常構件部份拍攝裂縫影像供此程式訓練，減少傳統上人為因素的判斷誤差以及可以大幅減少判識時間和成本[12]。李樹璇(2012)以崩塌地、林地、河道、河道寬度因災損而造成的改變，且針對此部分開發一個影像辨識系統以供使用，用以判斷災損嚴重程度。能夠清楚的表明災前災後遙測影像的變化及變化程度，並利用災前災後河道套疊了解河道改道狀況。以此資訊幫助受損橋梁周遭災害範圍辨

識[13]。王翌瑄(2020)使用影像處理之技術來辨識淹水範圍。先將 RGB 影像經過雙邊濾波器處理後並應用色彩空間轉換為 HSV 色彩空間，並對飽和度(S)影像進行二值化 Otsu 法。為了使影像清晰再次使用雙邊濾波器後輸出影像，輸出影像為黑白二元影像，找出淹水範圍之黑色像素數。建立一套快速淹水影像判釋之系統，提升大量影像分析之可行性[14]。韓佑聰(2019)，利用 resnet101 模型對訓練集進行訓練，接著輸入空拍原始圖片，並標示圖像上有在訓練的類別之目標物，針對 SIFT(尺度不變特徵轉換)局部描述的影像匹配，以及 SURF(加速穩健特徵)，等兩種至今仍被廣泛用於影像辨識的演算法，進行其辨識率與辨識速度之比較[15]。

Y Guo 等人(2016)提出以深度學習算法來解決傳統的人工智慧問題，藉由深度學習方法發展以簡要描述了各種視覺任務中的應用，如圖像分類、對象檢測、圖像檢索訓練[16]。Wu Liu 等人(2017)利用深度學習的散列方法，來實現即時移動視覺搜索二進位碼的自動學習能力。在受限的移動設備中以實現深度學習哈希的應用，並應用深度學習來優化加速計算，可以顯著提升準確率[17]。Jie Dou 等人(2015)提出了一種自動檢測滑坡的方法，該方法使用面向包括對像圖像分析 (OOIA)、遺傳算法 (GA) 以及案例推理 (CBR) 方法，利用圖像處理、多圖像分割與特徵優化以應用於崩塌地檢測[18]。Ali Louati 等人(2021)運用卷積神經網絡 (CNN) 在檢測緊急情況和預測可能中斷交通流量的事件方面的潛力。然後利用基於案例的推理 (CBR) 對檢測到和預測的事件做出反應[19]。鐘佩瑋(2018)使用本體論(Ontology)來表述並記錄機構異常之案例，藉由設定與異常相關之產品零組件為節點，再以實體接觸做為節點間關聯之基礎，註記且區分影響型態與程度，

並藉助專業人員之經驗定義出零件間造成異常之因果關係，使完成本體之建構。無人飛行機系統（UAS）可被廣泛實施監測和檢查程序。也有文獻提到啟發了無人飛行機開展低成本“非視線”通信方法[20]。現況 3D 圖用於在真實現場對複雜情況進行可視化，提出以 3D (三維)建物模型取代傳統二維圖籍表達建物的空間資訊，可完整且直覺地呈現建物的外貌，其呈現方式由僅具建物主體概念應用。

四、數位孿生於工程上應用

數位孿生或稱為數位對映、數位分身、數位雙生，顧名思義，其所指的即是在數位世界當中，創造一個現實世界的數位模擬分身，而模擬分身當下呈現的狀況，完全映射至數位環境中。

其實數位孿生，就是一種模擬技術，不過其在即時反饋當下樣態或能力，卻是過往模擬技術無法達到的其技術起源於 David Gelernter 於 1991 年時所撰寫的鏡像世界（Mirror World）一書所提到，並展示了該技術應用於產品生命週期管理（PLM）的方法與其效益。然而 NASA 的 John Vicker 在 2010 年時發布的 Nasa Roadmap 提出了數位孿生（Digital Twin）這一詞，並以此代表了在數位環境中，去映射現實環境的狀況這一概念。然而現在，數位孿生技術在整個工業中的產品開發週期，從產品設計、生產過程以及產品後追蹤等都有其應用領域，並且已然在許多高科技產業中頻繁的受應用。不止於製造，數位孿生在不同產業當中都有其應用場景，像是預測性維護、實體的互動環境模擬等等。

Liang(2020)研究中對於物體幾何特徵偵測用於系統數位孿生的實踐。對於數位環境中的實體環境建模，提出了一種元素-行為-規則三層虛擬建模方法。分別定義了元素模型、行為模型和規

則模型，並給出了三級模型之間的關係，以實現即實體空間與虛擬空間的即時映射，數位孿生技術為做為檢測系統的後端監控提供了可行的途徑[21]。Kunze2021 太陽能電池的測量影像包含電流-電壓特性以外的與材料和製程相關的品質資訊。因此設計了一種卷積神經網絡，透過將樣本的各種測量數據與品質參數相關聯來組合它們。數位孿生是卷積神經網絡的中形式，用於從影像中捕獲與品質相關的缺陷特徵。以識別與不同過程錯誤相關的缺陷簇，顯示出品質檢查的排序標準最後示範如何使用經驗數位孿生和排序方案來分割缺陷，而無需額外的標註[22]。Voordijk(2023)隨著數位孿生的出現，營建業正在尋求改善橋樑、道路和公用設施等各種基礎建設的檢查和維護方式。透過用互動式數位孿生的開發技術，運用作為管理者監測基礎設施方法[23]。Slavenko (2022)針對如何重現模型的多維資訊來提高建模效率，本文提出了一種數位孿生模型的快速建模方法。該方法資訊模型為基礎統一呈現實體和數位對映模型，可快速將實例數位化產出孿生模型。包括資訊模型使用、特徵查詢和生成、資料驅動機制和數位領域的呼應[24]。Cheng 2023 提出的基於 HBIM 的數位模型流程可以成為計算流體動力學 (CFD) 模擬的有效 3D 模型。為了研究加熱器對遺產建築變形的影響，開發了一種將 CFD 與結構模擬相結合的新方法來分析遺產建築的熱性能和建築變形。由加熱器的功率設定和位置引起的遺產建築變形被識別和量化。此外，使用所提出的數位孿生平台，可以自動控制加熱器。在整個生命週期中自動監測和記錄熱性能、建築裂縫和變形。這項研究有助於定量無損檢測對遺產建築的診斷。[25]。

第二節 水土保持設施相關法規

隨經濟快速發展，使得部份產業與活動往山坡地移動，及部份開發改變地形、地貌及破壞水文及自然環境，相對坡地災害等威脅與日俱增，因此水土保持之重要性與日俱增。故「水土保持法」〔1〕第1條『為實施水土保持之處理與維護，以保育水土資源，涵養水源，減免災害，促進土地合理利用，增進國民福祉，特制定本法』，開宗明義即揭櫫「水土保持法」制定之目的及精神。[26]

一、水土保持設施定義

根據「水土保持法」[26]第12條規定：『水土保持義務人於山坡地或森林區內從事下列行為，應先擬具水土保持計畫，送請主管機關核定，如屬依法應進行環境影響評估者，並應檢附環境影響評估審查結果一併送核……。』即說明在山坡地或森林內特定情況下之開發、整地等行為，須擬具水土保持計畫書及此計畫書可委託相關機關、機構或團體審查[27]。「水土保持計畫」是山坡地開發的重要步驟，透過事前審查機制以及專業技師的專業設計，促進土地合理利用與開發安全。任何山坡地開發或維護行為都必須先擬定此計畫，經主管機關核定後才能進行施工。水土保持計畫的制定必須符合水土保持技術規範，並由專業技師或技術顧問機構規劃、設計及監造。工程施作需取得施工許可證和雜項執照，並受水土保持計畫審核監督辦法的監督與管理，並可由主管機關查核工程進度與品質。

二、永續發展

「永續發展」顧名思義，具有促進成長及保障永續性，是一個多向度及時空性的概念，如何持續且達到永續境界，便是目前政府與世界各國組織極力推行的工作。

(一) 永續觀念發展起源

1960 年已發展國家在非洲及南美大量收購農地種植咖啡和甘蔗，將所得金錢換成糧食給予當地居民。由於土地發展過度及缺乏規劃，使咖啡和糖的期貨價值在短時間內急跌，南美各國經濟及時崩潰；再加上水土流失、濫用農藥，使非洲的土地變得貧脊、甚至沙漠化，引致飢荒。永續發展強調經濟體系內的發展必須環環相扣，並得予自給自足[28]。

(二) 永續發展定義

1987 年，世界環境暨發展委員會（WCED）發布了「我們共同的未來（Our common future）」報告：「發展，滿足社會的當前需要，而不損害子孫後代的需要。（Development which satisfies the current needs of society without compromising the needs of future generations）」。國際衡量永續發展的系統分成經濟、社會、環境三構面。永續發展評估系統主要包含環境、社會與經濟三構面。環境要素強調盡可能降低對環境的影響，儘管各種議題上可能存在分歧，如核電站的環保性。社會要素關注滿足人類需求，永續發展並不意味著返回原始社會。經濟要素則主張開發必須經濟上有利可圖，才能保證其持續性。公共工程發展也漸漸導入永續概念，除了結構安全性外，維護自然環境的重要性也被提升。因此，設計永續發展的評估指標並將其實施，是一個關鍵的步驟[28]。

(三) 水土保持工程永續指標

參考水土保持工程永續指標評估系統之研究[29]，針對水土保持工程彙整之八大指標：

1. 安全指標強調水土保持工程的安全性與舒適性，並關注施

工區位、使用者安全、減少交通影響等因素。

2. 效益指標著重於評估工程必要性與成本效益，並進一步活化既有設施，以最小規模設計為原則。
3. 生態指標推動生態工法，重視生物多樣性、綠美化與滲透涵水能力，尊重與維護既有生態。
4. 節能指標注重施工與使用階段的能源效率，以及多採用再生能源以降低碳排放量。
5. 減廢指標專注於廢棄物的減量及再利用，提高廢棄物的潛在利用價值，並減少原生物料的開採。
6. 耐久指標要求高效能、易維護的設計原則，延長工程壽命，確保施工品質與安全性。
7. 人文指標重視社區參與、社會公義，保存既有文化景觀，並考慮對地方文化的影響。
8. 創意指標鼓勵採用新工法與新材料，並透過創新管理提高效率與節能環保成效，評估項目包括創新、節能、環保設計或技術以及提供額外價值如觀光、遊憩等。

三、水土保持局推行構造物巡查計畫

目前，行政院農業委員會水土保持局正在推行「整體性治山防災(中程)計畫 110 至 113 年度(第四期)」的「工程維護及再生活化」工作項目，該計畫的主要目標是對水土保持工程構造物進行體檢、巡查和修復，以維持和改善其現有的防災功能。這些構造物包括重要農路邊坡構造物、重要水土保持邊坡構造物、集水井、築壩式農塘以及集水井與築壩式農塘。

在進行體檢時，本計畫將使用外觀目視或量測作為主要的檢測方式，對重要防砂構造物進行體檢。必要時，也可使用簡易儀器進

行檢測，以提供可追蹤的量化檢測數據。根據檢測結果，構造物將被分為 A、B、C、D 等四個等級。

- A 級表示構造物狀況良好，功能健全；
- B 級表示些微磨損，仍可維持原功能；
- C 級表示部分受損，分為 C1 和 C2 級。C1 級表示部分受損，影響功能性，且工程重要性屬一般者；C2 級表示部分受損，影響功能性，且工程重要性屬重要者。在判斷可能影響功能性時，可以依照附件二進行非破壞性檢測作業輔助；
- D 級表示全部損毀或功能喪失，分為 D1 和 D2 級。D1 級表示全部損毀或功能喪失，且工程重要性屬一般者；D2 級表示全部損毀或功能喪失，且工程重要性屬重要者。

如果構造物被評定為 C 或 D 級，在經過評估後，並且具有保全對象、影響安全或無替代工程的情況下，建議優先進行修復工作。

在巡查方面，構造物巡查的時機分為定期巡查和事件巡查兩種情況定期巡查是按照集水區劃分，以年份和區域為基礎進行。對於重要的巡查集水區，每年進行一次巡查；對於一般的集水區，則以每五年進行一次巡查的原則進行。

而事件巡查則是在遭遇重大颱風、土石流、地震等自然災害時，根據水土保持局的指示，啟動巡查作業。對於被評定為 C 或 D 級的構造物，根據巡查作業後續的建議表單（如附件四），應定期彙整並送給水土保持局備查。並且在當年度或下一年度優先編列相應經費進行構造物的修復工作。這個計畫的目的是確保水土保持工程構造物的正常運作，提高其防災功能。通過定期體檢、巡查和修復工作，確保構造物的安全性和功能性，同時加強對自然災害的應對能力，維護農業環境的穩定性和可持續性。

第三章 工作執行方法與步驟

第一節 工作執行方法

本計畫將先採用無人機(UAV)與搭載攝影機方式進行現場影像蒐集，並以手持式攝影器材為輔助(數位相機、單眼相機、行動電話)，主要考量 UAV 搭載相機 (drone cameras) 的拍攝設範圍廣泛，UAV 所取得影像，能夠強化無法以人力無法到達之處或至高點處並取得相關影像，而且所捕捉到的畫面十分清楚而且視野廣泛。為 UAV 的應用優點之處領域。任何一架 UAV 的標準作業方式至少應該包括預設航線、自動駕駛和衛星導航，也就是飛機以遙控方式起飛之後，同時將飛行資訊回傳到地面控制中心。抵達目標上空之後，地面控制人員再透過無線電遙控 UAV 機上所載的設備，執行預定任務。而現今 UAV 的使用相當廣泛，依據 UAV 目前飛行穩定性與易於操控性可提升影像紀錄過程詳實度，本計畫使用 UAV 於檢測，主要對於現場影像蒐集效率改善及現場取得影像可及性問題，並且可以提升現場檢測的安全性、便利性，故本計畫採用 UAV 為現場影像資料收集的主要工具並另以手持式攝影器材為輔助可做部分局部特寫。

針對影像處理操作方法的選擇，常見操作模式包含影像過濾(images filtering)、型態學運算(morphological operation)、幾何變化(geometric transformation)、色彩轉換(color conversion)、形狀分析(shape analysis)、特徵檢測(feature detection)等等。運用影像處理操作作為影像辨識方法，本計畫採用計算式攝影概念，主要透過高等影像處理技巧改善由相機取得的影像，計算攝影透過軟體操作視覺資料，而不是專注於光學處理與影像捕捉的方法上，此部分包含影像補光(images relighting)與光場相機(light field cameras)等。本計畫探

討水保構造物設施建置視覺化數位孿生模型，針對其整體檢測評估模式之架構主體。但是，該如何決定適合用於本計畫對象之評估則是分別應用了人工智慧之影像辨識之深度學習方式以及數位孿生等研究工具，具體說明如下：

一、影像辨識之深度學習

深度學習是為了能夠得到有助於理解圖片、聲音、文本等的資料所表述的意義而進行的多層次的表示和抽取的學習。用簡單的機器學習，例如用含 2 個或 3 個隱含層的神經網路，是不可能達到與人類類似的判別決策。因此需要多層的學習器，逐層學習並把學習到的知識傳遞給下一層，以便下層能夠得到更高級別的表述形式，期望可以得到與人類類似的結論。最常見的應用，包括影像識別、語音辨識、自然語言處理等，各種和生活相關的領域都可以看到深度學習的應用。

深度學習訓練過程係將樣本資料進行人工分類，透過直接標示特徵，使後續資料可藉由人工給予定義特徵進行分類，藉由上述灰階、強化、去雜訊等過程提取出特徵，再利用深度學習的神經框架辨識出結果。目前較常用於影像辨識之演算法為監督式學習的支援向量機 SVM(Support Vector Machine)、非監督式學習的卷積神經網路 CNN(Convolutional Neural Network)等方式。SVM 演算法係利用特徵將樣本資料區隔出不一樣的分類，以建立出二元的分類，並持續透過新的案例訓練出更精準的類別；而 CNN 則是透過大量資料中的特性反覆操作學習，此種演算法的訓練案例需要相當龐大的量，以擷取出特徵正所謂的標記特徵值，其運作原理是利用切割圖片獲得特徵圖包含外觀形狀表面的紋路等，

特徵圖會經由池化及平均化的降維計算，得到以數字為主的陣列圖，陣列圖上會呈現數字，而數字差異就可使其辨別圖片，經由將圖片轉換成數字模型，儘管圖片是以變形、旋轉等形式運行辨識，都能夠派上用場。池化 (pooling) 是仿照人的視覺系統進行降維，用更高層的抽象表達來表示影像特徵。

特徵標示訓練首先選出並開啟預定標註的圖像檔，先觀察整張圖中概略的特徵點，接續再依據須要標註的特徵進行框選標註，並給輸入標的名稱資訊後儲存並以 XML 格式來儲存標註資訊，即完成一張圖片的標註訓練程序，如圖 3-1 所示。



圖 3-1 影像標註框選訓練示意圖

所有標註物件，使用開啟照片時，會自動檢查是否有對應的 XML 標註檔，如果它發現同目錄下有對應的 XML 標註檔，就會自動載入它並顯示出來，所以一般來說，將標註的 XML 與照片放在一起會比較方便。經過一定數量收集標註訓練後，就可以進行後續的深度學習引擎訓練了。

二、利用 UAV 收集影像資料建置數位模型

本計畫利用現場採樣俯視取景，主要利用 UAV 於上空 25~30 公尺進行構造物區域俯視，可概觀構造物週遭的地形樣貌，如有坡地時可利用概觀方式檢視，是否有崩塌地情勢產生，亦可檢視水流範圍與取景的難易度，取得現場影像主要目的是透過實際檢視設施或環境，如有呈現異常樣態有利於進行後續特寫拍攝。因此巡檢所檢視的面向除以手持式攝影器材如智慧型行動電話、平板、數位相機均以地面平視拍攝，因此與 UAV 所取得影像視角也稍有不同，本計畫將探討巡檢過程中影像蒐集方式。

依據目前常見影像取得方式有環景攝影與手持式紀錄以及透過空拍機取的影像後再進一步建置出現場影像模型，一般環景與手持式攝影裝置著重於環境紀錄與快速紀錄方式，因此對於範圍大或是數量多較合適作為快速巡檢的概念方式。本研究採用空拍機作為主要影像取的來源，手持式攝影裝置為輔助，本計畫空拍機取得影像，主要是針對現場影像收集進行影像拼接，拼接到照片時須透過相片中的 GPS 定位參照資訊，因此除透過影像重疊與 GPS 雙重複合確認以達到影像準確呈現數位影像模型，再者考量用於水保設施結構體積較為巨大的水保範圍廣。影像採集程序如下(如圖 3-2)。採集程序中於檢視拍攝範圍是否已完成主要確認是否已完成設定的巡檢範圍與路徑，如未完成則需再補足未完成範圍。另針對受損部位寫照進行畫面擷取較為精準，再以手持式攝影裝置為輔助。

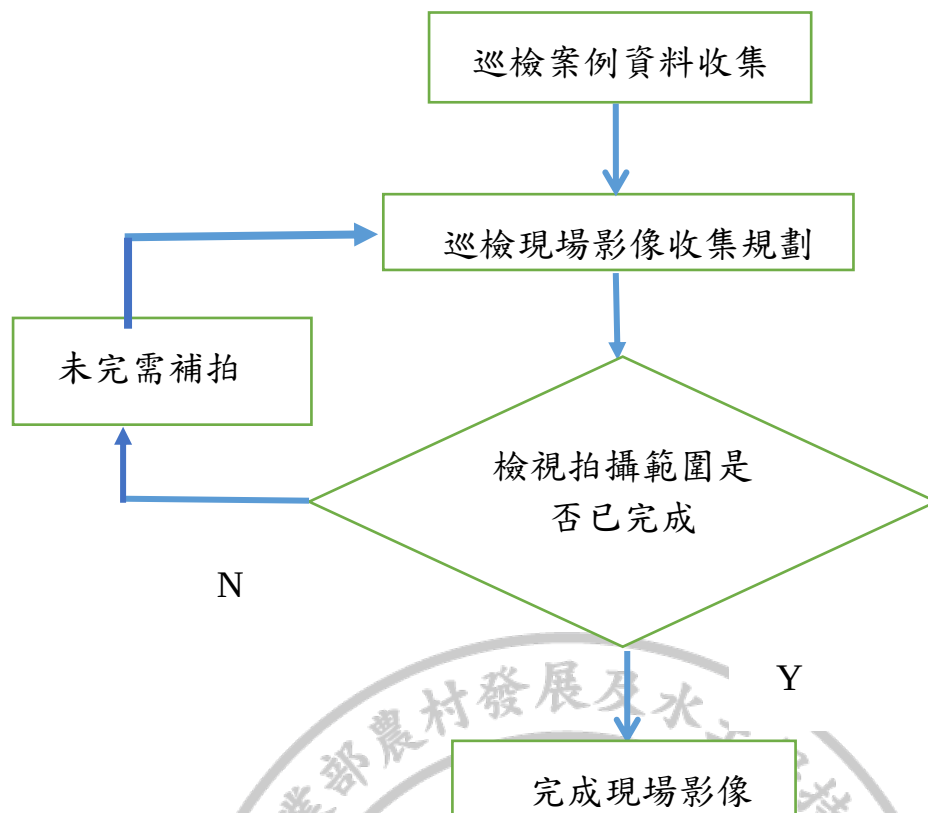


圖 3-2 影像採集流程圖

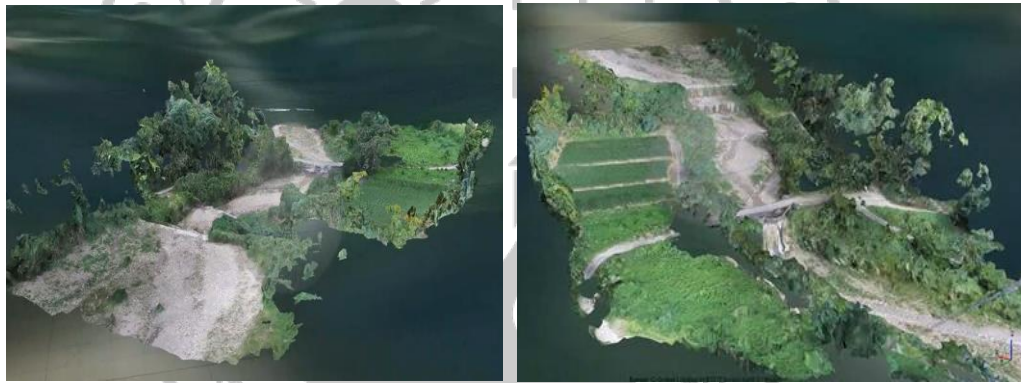
三、數位影像模型建置程序

本計畫於模型建置過程，首先將 UAV 從現場取得的案例範圍的大量影像蒐集回來後，整合成為一個資料夾，並匯入軟體中。3D 模型經由所集的影像照片進行影像拼接轉製，接著對於所建置的 3D 模型，由彙整影像後的資料夾，匯入軟體中再進行影像對齊透過軟體選擇設定，選定建置品質此一階段影像會找到重疊圖像之間的匹配點，並計算相機每張照片的位置，進行稀疏點雲模型構建，後續再進行密雲圖建構，利用資訊重疊程序組成密集點雲圖並執行「影像對齊」及「建構密雲圖」兩步驟，後即可轉置 3D 數位影像模型雛形，最後建構網格在建置密集點雲圖之後，可以依照密集點雲的數據，生成多邊形網格模型後即完成 3D 模

型的轉置。

第二選定影像建置品質，運用 PhotoScan 找出重疊圖像之間的匹配點，進行稀疏點雲模型建構。第三利用軟體計算出每張影像的位置及高度與距離資訊，利用資訊重疊程序組合成高密度點雲圖。本計畫將應用 3D 數位影像模型建置過程中每張圖片的定位，藉由 3D 數位影像模型等比例縮放後，如水保結構有大型破壞進行面積的檢視。

3D 影像環繞影像拼接，利用多張影像以疊放方式，利用軟體進行拼接，以完成 3D 圖像環繞模式，運用現場不同角度檢視，由 Agisoft 影像旋轉以固定速率將度旋轉，去除黑色區塊，最後產出影像旋轉架構，以利於系統中檢視 3D 數位影像模型，並將模型以影片模式轉出結果如下圖 3-3 所示。本計畫將選取適合案例作實例測試。



旋轉起始 0 度

旋轉 180 度後

圖 3-3 影像轉至後旋轉圖

四、數位孿生影像模型建置程序

本計畫所建構之水保構造物設施數位孿生模型，乃將語義資訊或現況轉至數位模型並以視覺化呈現，數位孿生已盛行的工業界且廣為運用，使用範圍仍著重於以工業製程層面的應用建置數

位孿生影像模型的程序主要步驟：

1.影像資料收集與影像彙整：

使用現代影像設備（如數位相機、行動電話、UAV 等）在現場進行影像資料的收集。這些影像可能包括不同視角和解析度的影像，用於後續的建模和分析。將收集到的影像進行處理和匯整，可能包括影像的對齊、校正和清晰化，以確保影像資料的準確性和一致性。

2.生成現場 3D 數位影像模型：

利用影像處理軟體或專用的 3D 建模工具，根據收集到的影像資料生成現場的 3D 數位影像模型，模型解析度視具體應用需求而定。讓管理者能夠直觀地查看設施的運行狀況，技術的應用讓管理者在實際操作中能夠深入了解設施的各個部分。

3.語義資訊的匯入與模型建置：

收集現場巡檢數據參數，這些結構模型將成為數位孿生的基礎，語義資訊（如設施構造物類型、特徵、狀態等）匯入到 3D 模型中。這些語義資訊可以來自人工標記或使用自動化工具中提取，根據預先建立的構造物元件數位孿生圖庫，將語義資訊和 3D 模型進行整合，以利後續的分析和模擬。

4.系統整合與水保設施檢測資訊：

建立的數位孿生影像模型整合至系統資訊中，並設置相應的維護資訊流程。比對建立的數位孿生模型與實際現場資料的差異，同時，通過視覺化的方式將模型呈現(如圖 3-4 所示)，使管理者能夠直觀地了解構造物的現況和特徵。以利模型與後續

維護規劃和評估的流程相結合，以提供完整的管理和決策支援。正是本計畫主要目的之一，以數位孿生技術能夠有效結合水保設施現況監測概念。

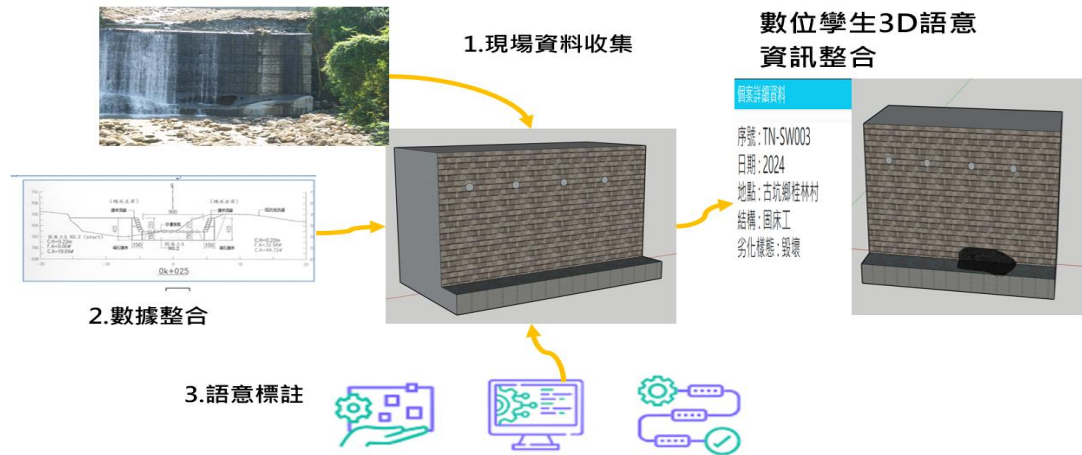


圖 3-4 數位孿生 3D 語意資訊整合

第二節 研究步驟

步驟一

相關文獻收集與分析，並透過文獻、研究報告或相關次級資料收集水保設施種類，以及土木設施之維護管理內容等相關資訊收集，同時為確認前步驟之資料之正確性，進而進行專家訪談。在此一階段，並將確認適合之平台開發工具，目的在於其未來實際使用之普及性與相容性。

步驟二

本計畫將以水保設施案例作為測試對象，案例範圍中將包含水保設施，另考慮計畫執行時間以進行定點採樣原則收集影像資料，先以定位點設置再以相機、行動電話以及 UAV 所拍攝收集的水保構造物設施現場影像，使用者可透過影像進行概

略檢視，另將對於水保構造物設施影像資訊進行檢視篩選，以利後續 AI 影像辨識學習分類與判讀，並擷取出現況影像以利 3D 數位模型建置。

步驟三

本計畫加入深度學習模式藉以分類出辨識物的群組也就是辨識結果，將樣本資料進行人工分類直接標示特徵如常見水保設施或周邊環境異常樣態，所標註特徵圖會經由池化、平均化的降維計算，得到數字為主的陣列圖，陣列圖上會呈現數字，而數字差異就可使其辨別圖片，經由將圖片轉換成數字模型，儘管圖片是以變形、旋轉等形式運行辨識。訓練影像來源主要包含自行蒐集水保巡檢影像以及水保局公開影像資料，搜尋合適之影像下載分類再由人工進行特徵標註學習訓練後，保留部分影像作為後續測試與檢定使用。將標註訓練完成影像資料轉入自行開發程式作為特徵辨識資料，後續再進行系統分群學習，並透過效能衡量指標相關檢定以 ROC (Receiver operator characteristic) 特徵曲線與 AUC (Area Under the Curve) 曲線下面積比較曲線下面積做為模型優劣的指標，評估所開發程式的效能，完成檢定測試後再進行影像特徵辨識結果測試。

步驟四

目前於水保相關資訊化應用尚未建置完善，且為提升數位孿生概念於水保設施構造物上應用，仍需仰賴現場影像取得，而數位孿生技術使用於建築中視為一種以模擬為基礎的工程，並以實際影像建構模擬映射出構造物的數位模型，而水保設施

構造物在數位孿生的環境中，同樣也是將設施構造物的實際狀況建立出數位資訊檔案，建立一個完整的數位複製模型稱數位孿生，利用檢測水保設施現況監測結果，轉譯成數位資訊或現況連結至數位模型中。除此之外為結合 AI 自動辨識檢測技術之使用，於水保設施現地檢測評估模式之建立，由於現今的巡檢檢測過程中繁瑣，水保構造物設施部分細節無法做進一步的探究，因此本計畫將測機制整合成 AI 深度學習影像辨識，達成巡檢時間快速為主要考量，並依 AI 辨識評等功能劣化現況分級結果給予相關維護模式建議。

步驟五

本計畫建立水保構造物設施的數位孿生模型乃利用先進的影像設備如數位相機、行動電話及無人飛行載具(UAV)等，首先收集現場的影像資料，生成現場的 3D 數位影像模型。隨後導入相應的語義資訊，利用 3D 建模生成實體的數位孿生模型，並確保模型的細節，運用數據整合將水保相關的數據，包括位置、尺寸、功能等數據整合到數位孿生模型中，對模型進行語意標記，將特定的資訊（如維護建議等）與模型的不同部分進行連結，可以使用標籤或註解的方式。透過創建的水保構造物元件數位孿生圖庫，根據類型和樣態進行選擇，進入系統整合維護資訊流程。利用電腦 AI 進行自動辨識和評估現況分級功能。根據評等結果，提供相關的維護修繕策略建議。將水保數位孿生模型整合至系統資訊中，數位模型並以視覺化方式呈現。除了利用數位孿生資料，比對與模型的差異，後續可

用於維護規劃和評估。數位孿生模型能夠幫助管理者全面了解水保設施構造物的現狀，有助於災害防治和重建規劃。

步驟六

為確認本計畫之成果實際可用性，擬與局內相關人員探討計畫之可行性，再根據訪談回饋意見修改為確認本計畫所提出方法之可行性，擬在圖像基本架構測試平台建置完成後，請主辦人員或有水保工程經歷之工程顧問公司協助測試，並以專家訪談模式提供回饋意見，因系統測試需要較長時間使用才會發現實際需要改進之問題，在使用本平台後是否可助於提升設施管理效率，於測試後對管理單位人員，以訪談方式請相關人員提供改善建議與實際操作心得，並針對這些問題做適當修正與改進，以期能讓本執执行程序更符合管理人員的使用需求，增加本計畫之使用效益。本計畫整體執行流程圖如下圖 3-5 所示：



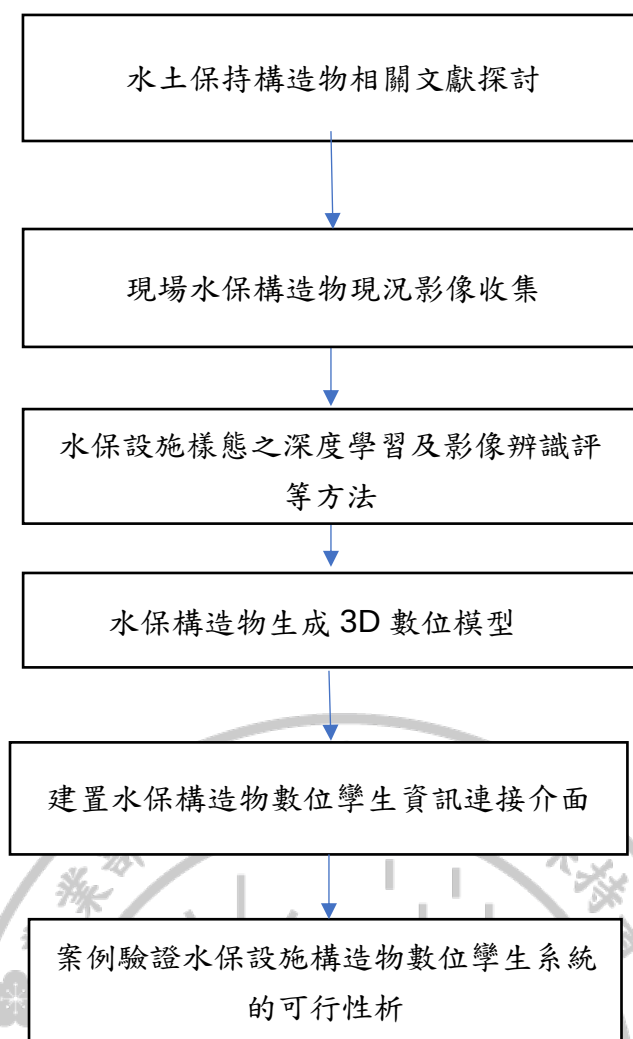


圖 3-5 計畫整體執行流程圖

第四章 工作進度計畫與已完成項目

第一節 工作進度計畫

預定之工作內容如表 4-1 所述，在此各項執行進度進一步說明並以甘特圖顯示如下(如圖 4-1):

1. 計畫執行前準備；
2. 水保設施構造物維護管理策略之探討與現場影像收集；
3. 建立以新興科技為基礎之水保設施與環境樣態之深度學習及影像辨識評等方法；
4. 建立水保設施構造物巡檢區域生成 3D 數位模型；
5. 建立水土保持工程構造物 3D 數位孿生資訊連結程序；
6. 以案例驗證水保設施構造物 3D 數位孿生資訊的可行性；
7. 成果報告撰寫。



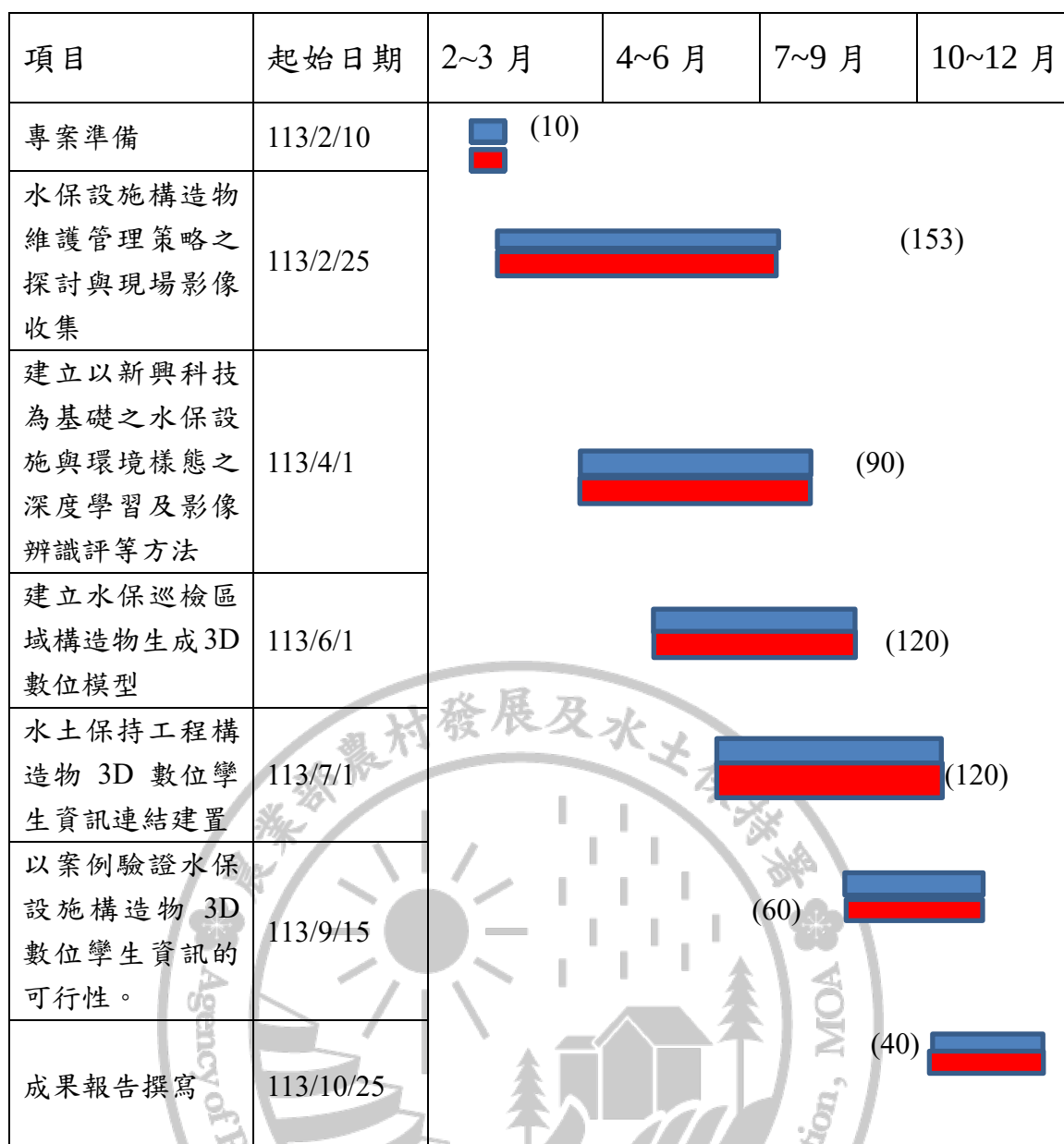


圖 4-1 本計畫甘特圖

表 4-1 計畫預定進度表

重要工作項目	工 作 比 重%	預定進度	113				備 註
			1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	
水保設施構造物維護管理策略之探討與現場影像收集	10%	工作內容	收集國內外土木設施維護管理策略與延壽策略資料		水保設施現場影像收集		
		累計百分比	20	50	90	100	
建立水保設施與環境樣態之深度學習及影像辨識評等方法。	20%	工作內容		深度學習特徵標註。	深度學習特測試。		
		累計百分比		50	100	100	
建立水保巡檢區域構造物生成 3D 數位模型	30%	工作內容		巡檢區域構造物 3D 數位模型建置	巡檢區域構造物生成 3D 數位模型		
		累計百分比		50	100	100	
水土保持工程構造物 3D 數位孿生資訊連結建置	30%	工作內容		水土保持工程構造物 3D 數位孿生資訊連結建置		3D 數位孿生資訊連結建置除錯	
		累計百分比		20	50	100	
以案例驗證水保設施構造物 3D 數位孿生資訊的可行性。	10%	工作內容			個案探討	專家討論可行性	
		累計百分比			50	100	

第二節 本計畫目前已完成項目與預期成果

一、本計畫主要交付項目如下：

1. 水保設施構造物維護管理策略之探討。
2. 建立以新興科技為基礎之水保設施與環境樣態之深度學習及影像辨識評等方法；
3. 建立水保巡檢區域構造物 3D 數位模型；
4. 水土保持工程構造物 3D 數位孿生資訊連結建置；
5. 以案例驗證水保設施構造物 3D 數位孿生資訊的可行性；

二、本計畫目前完成工作如下：

(一)水土保持構造物維護管理策略之探討

本計畫將經由收集相關國內外土木設施延壽與維護策略，再蒐集國內外各種土木設施有關之設施特性以及常見破壞型態，針對土木常用之維護方式及改善對策等相關文獻。透過專家訪談後加以調整為適合水土保持工程構造物使用之策略。水土保持構造物生命週期維護管理是一種全面的維護流程，涵蓋從巡查、評估到修復和保養的各個階段。這個過程需要由相關的維護管理單位進行，該單位將定期檢查和評估轄區內的水土保持構造物，並根據其現狀和實際需求制定相應的維護管理計劃。具體的維護管理工作將依賴於適當的設備和人力資源，針對不同的設施執行基本的維護管理原則和方法此外，這種生命週期維護管理還需考慮到環境因素。尤其是在極端天氣條件，如颱風、地震或豪雨，以及人為破壞的情況下，水土保持構造物的功能可能會受到威脅，維護管理單位需要迅速地報告並進行修復，以確保這些構造物能夠持續提供良好的服務。在進行維護管理工作時，還需盡量避免對

空氣、水質造成污染，或者產生噪音等環境問題，並追求與周邊環境的共存。

過去，我們的國內對於水土保持構造物的維護管理措施，是依據檢查或檢測數據來分析其現狀和功能，並將其安全等級劃分為安全、可能有危險、危險、立即危險等四級，然後依據安全等級進行定期保養或補強修復。但近年來，國外相關研究指出，這種方式已經無法滿足水土保持構造物日益複雜的維護管理需求。因此，我們需要參考國外的經驗和研究，將安全等級進行調整和更新，以滿足更高的管理標準。這可能包括將安全等級修正為：(1)定期維護（routine），(2)預防維護（preventive），(3)反應維護（breakdown），(4)升級維護（upgrade）。這四種維護等級可以更細緻地反映水土保持構造物的安全狀況和維護需求，並可以指導更具效能的維護管理行動(表 3.1)。目前台灣的大型基礎設施，如捷運工程、高速鐵路和公路的生命週期維護管理流程，基本上和水土保持構造物的維護流程相似。在維護管理中，水土保持構造物的延壽工程是一個關鍵的環節。因此，以水土保持構造物為例，我們將探討生命週期維護管理。

目前，先進國家如美國和加拿大的土木設施維護管理都採用了生命週期維護管理的理念。他們從設施運營目標的訂立，例如提升水土保持構造物的安全性和服務性，結合設施現況評估、危害評估和風險分析，來決定設施維護的優先順序和維護方式。接著，根據這些優先順序和維護方式來規劃設施維護管理，從而產出所需的資金。這些資金的產出需要經過成本效益分析來合理化設施維護管理的資金。然後，他們透過公聽會來確保設施維護管理資金的獲取和分配過程是透明的。

美國和加拿大地區的設施維護管理資金編列流程已經採取了"取之於民，用之於民"的理念。但是，水土保持構造物維護管理資金的決定方法和國外的方法有所不同。例如，台灣的公共建設每年的維護管理資金多年來採用固定的預算編列方法。這種制度是先決定預算，然後才規劃維護管理策略。根據美國 NCHRP 於 2004 年對 26 個美國州交通部和加拿大省交通部的調查，發現沒有任何一個交通部以這種方式運作。分析我國和國外水土保持構造物維護策略和資金決定過程的差異，我們可以看出，我國目前缺乏一個完整的水土保持構造物生命週期維護管理制度。

進一步分析國內外的差異，提升對水土保持構造物生命週期維護管理的理解和實踐有其必要性。在資源的分配和使用上可以借鑑國外的經驗，採取"取之於民，用之於民"的理念，並通過公開透明的方式來確保資源的公平分配和有效使用。為此，從設施運營目標的設定來看，可從提升水土保持構造物的安全性和服務性，開始著手。再來就是結合設施現況評估、危害評估和風險分析，決定維護的優先順序和方式。接著，根據這些優先順序和方式來規劃維護管理，進而計算出所需的資金。本計畫提出之水土保持構造物維運延壽生命週期維護管理之流程由四個主要步驟組成一迴路式作業流程，此四個主要步驟為：

- (1) 資料收集與建檔：蒐集並整理設施的基本資訊以及維護相關的資料，並做好文件建檔。
- (2) 優先性分析：根據設施的現況以及預期達成的目標，來決定維護工作的先後順序。
- (3) 策略規劃：綜合優先性分析的結果與效益分析，來訂定適當

的維護策略。

- (4) 執行與效果驗證：實地進行生命週期維護管理的作業，並驗證其成效。

1. 資料建檔

資料建檔是水土保持構造物維護管理的開端，包括了訂定維護管理目標以及建立設施設計、施工、運營、維護管理和環境資訊的資料庫。精確地說，設定維護管理目標的程序來自於頂層管理者對設施未來運作的目標訂定，像是增強設施運作的安全性和提升服務水平等，並以這些營運目標作為參考，訂出相應的維護操作目標。收集設施狀態和基本資訊是設施維護管理的重要一環，利用設計、施工資訊以及現場情況資訊，並結合視覺巡查、檢查、監控等數據，才能分析出設施的功能狀態並確定其維修的程度。此外，設施的運營資訊和環境資訊對於設施維護管理也是必要的。因為在高科技發展的時代，環境變遷的速度很快，許多工程設施剛開始運作不久就出現設計功能不足的情況，這是導致設施維護效果不佳和服務年限縮短的主要原因。所以，考慮設施的運營資訊和環境狀況，並以此為基礎對設施進行危害度分析，在水土保持構造物維護中具有其必要性。此外，收集設施的維護管理資訊可以幫助我們分析設施潛在的問題，以及維護的頻率和工法的效果等，亦需考量整個造冊及資料庫建檔之結構，如水土保持構造物系統如何切割成個別構造物進行階層式的維護管理等。

2. 序選分析

序選分析包括四個關鍵步驟，分別是設施現狀評估、設施功能分析、設施危害度分析，以及設施維護管理的優先排序。序

選分析的主要目標就是確定設施維護管理的優先次序。操作流程則是根據在資料建檔階段所設立的設施維護管理目標作業，結合環境與設施的現況調查資料，進行環境與設施的功能分析和危害度分析（包括風險評估、災害損失評估，以及災害衝擊影響等），從而確定環境與設施進行維護管理的優先次序。

3. 策略規劃

在策略規劃階段，主要工作涵蓋設施生命週期管理、巡查監測與維護計畫的擬定，以及制定維護管理的績效評估原則。在進行生命週期維護管理時，我們必須要考量到水土保持構造物設施的整體維護成本（包含管理成本與使用者成本）的最佳化。隨著設施狀況惡化，使用者成本將逐步升高，而隨著構造物狀況功能值的提升，管理成本也會隨之增加。因此，在設施維護管理策略中也必須要考慮預算與維護技術的限制

設施生命週期管理之另一重要之項目為對設施維護後進行功能行為及劣化模式之預測，劣化之預測不僅需設施結構方面資訊，需先對未來設施的使用情形包括環境資訊、交通資訊及未來天災等進行推估，之後綜合所有相關資訊推測未來設施劣化情形，以為未來維護管理策略（即維護時機及維護工法等）訂定之依據。功能行為及劣化模式推估之執行，應由監檢測資料分析或歷史維護管理資訊而來。在訂定水土保持構造物設施短、中、長期之維護目標，其長期目標為水土保持構造物主管機關規劃之目標，中期目標則由各主管機關之次級單位依據長期目標規劃，短期目標則由次級單位之下屬單位根據中長期目標進行規劃，各層級之目標與維護管理策略應需相互呼應，因此養護績效考核亦需分別對水土保持構造物維護管理不同層級

進行績效考核，且績核次序由下往上，必要時需根據績核結果修正維護管理策略。

4. 執行驗效

驗效執行的重點作業包括巡查作業的實施、維護作業的實施、維護管理績效評估以及維護績效考核的執行。巡查作業的實施將包含常態巡查、定期巡查以及特殊巡查。除了目視檢測外，巡查方式還需要包含生命週期維護管理所需的監測作業。維護作業的實施包括定期的保養以及修復維護。藉由專家協助給予各影像評分，以提升系統對於影像辨識樣態後所進行分級訓練之準確性，然而透過系統辨識與評等分級主要有利於瞭解水保設施功能及周邊環境的現況。

最後，水土保持構造物維護管理單位於上述四步驟循環後，應將相關資料回饋至「資料建檔」步驟，以持續更新資料，作為日後水土保持構造物工程維護管理各步驟之分析參考依據。建立以無人飛行器（UAV）技術和人工智慧（AI）之防砂構造物分級評估模式。

（二）水保設施構造物非破壞檢測影像辨識之深度學習

深度學習是為了能夠得到有助於理解圖片、聲音、文本等的資料所表述的意義而進行的多層次的表示和抽取的學習。用簡單的機器學習，例如用含 2 個或 3 個隱含層的神經網路，是不可能達到與人類類似的判別決策。

深度學習訓練過程係將樣本資料進行人工分類，透過直接標示特徵，使後續資料可藉由人工給予定義特徵進行分類，藉由上述灰階、強化、去雜訊等過程提取出特徵，再利用深度學習的神經框架辨識出結果。特徵標示訓練首先選出並開啟預定標註的圖

像檔，先觀察整張圖中概略的特徵點，接續再依據須要標註的特徵進行框選標註，並給輸入標的名稱資訊後儲存並以 XML 格式來儲存標註資訊，即完成一張圖片的標註訓練程序，如圖 4-2 所示。



圖 4-2 影像標註框選訓練示意圖

以一張圖為例說明，載入圖片後會針對各特徵框選，利用切割圖片獲得特徵圖包含外觀形狀表面的紋路等，特徵圖會經由池化以及平均化的降維計算，最後在提供依解碼後所辨識出的結果，如果有所差異表示對於訓練的標註上再進行調整再強化訓練，架構如下圖 4-3 所示。

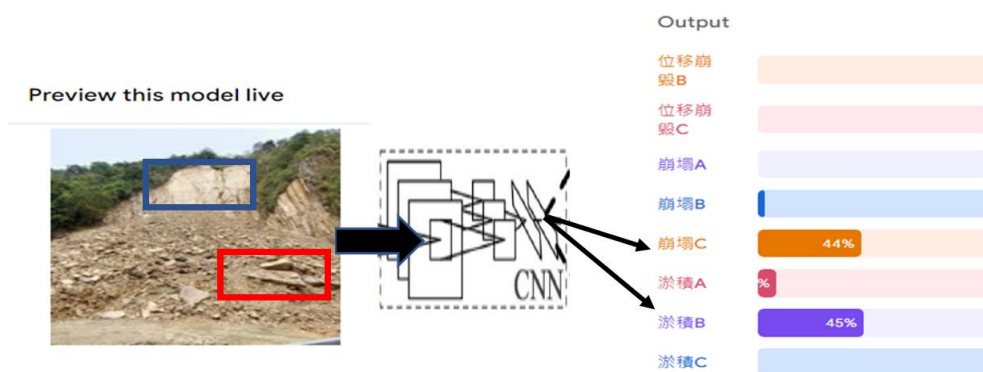


圖 4-3 影像深度學習辨識架構圖

1. 水保設施與環境常見異常樣態說明

常見異常樣態主要以河道變化淤塞為暫時現象的一種，如土砂淤積或植生覆蓋，因該情況大都是因上游土石崩落而造成淤積，但其結構功能已有發揮預期功能，但需要加以清理，應可恢復其原本主要設定之功能狀態。

崩塌地滑主要是邊坡材料因受重力作用，發生向下滑動或崩落之塊體運動之現象稱之為崩塌(landslide)，其中包含山崩、落石、崩坍、地滑等。

沖毀位移主要對整體的結構設施已產生嚴重破壞衝擊，已影響到整體的實際功能運作，並對未來使用上的安全性有著巨大的風險存在，如結構位移及沖毀，因此對此類狀態檢測時需要加以評估其整體的安全性。

本計畫影像辨識採用水保構造物設施異常樣態學習，有效利用深度學習方式辨識出水保設施異常樣態特徵，本計畫主要針對水土保持環境觀察整體現象，透過深度學習影像辨識輔助以演算法辨識特徵觀察整體現況，能使水土保持相關工作人員更加速判讀目前水保結構設施及周邊環境現況。本計畫以 PYTHON 語言作為軟體開發基礎平台，所建置影像辨識學習系統運作流程圖如下圖 4-4 所示。

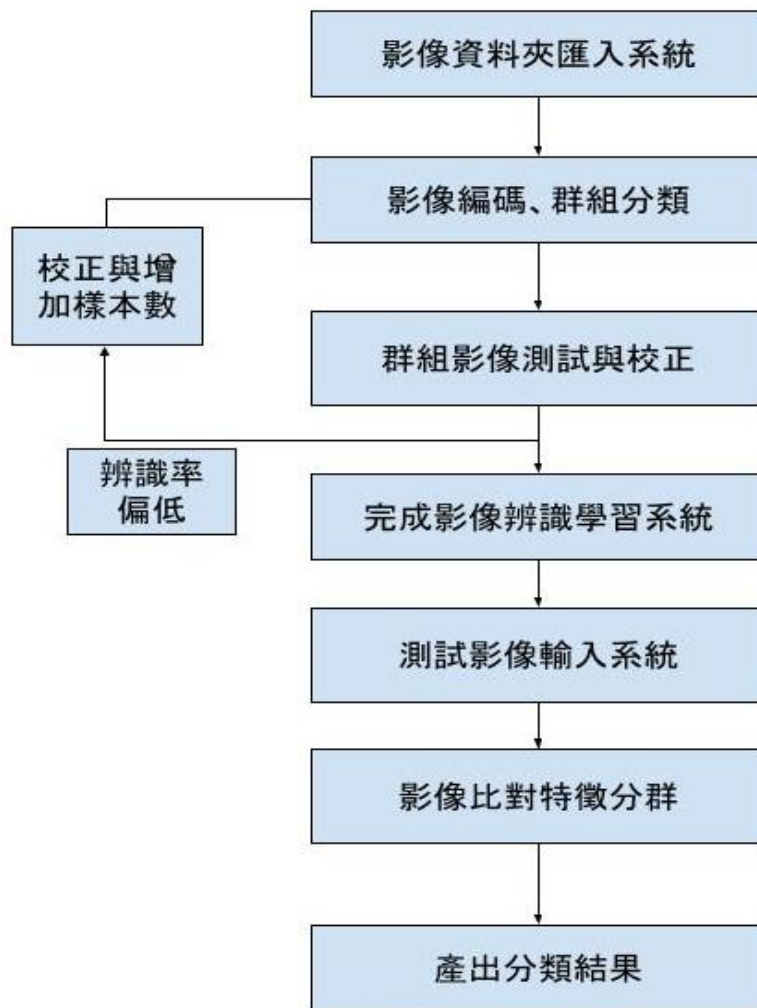


圖4-4 影像辨識訓練流程架構圖

首先將進行水保各異常樣態類型影像收集，再依據各類型樣態進行逐一標註訓練，本計畫主要以針對水保異常樣態包含土砂淤積、崩塌地滑以及沖毀或位移幾類，建置過程首先以人工初始概要分類，再透過人工方式進行第一次標註或將影像進行特徵分割再反覆重新檢視後標註，各類型樣態影像訓練數量約 100 張影像為基本量，下一步將所彙整影像以資料夾方式匯入，載入於系統中，依據所開發之系統以卷積神經網路方式進行自我深度學習，經由系統反覆比對自行分類，最後依分類統計所分析輸出系統訓練結果，再由產出結果評估是否達預訂目

標值，因此撰寫外掛軟體進行測試輸出結果樣態比對是否趨於一致，如預期辨識結果率偏低，需進行樣態圖片重檢視分類並編修調整校正，或是以透過樣本數再增加方式，透過反覆學習訓練將提升系統自動分類訓練結果準確率，訓練樣態圖片匯集示意如下。如下圖 4-5 所示。

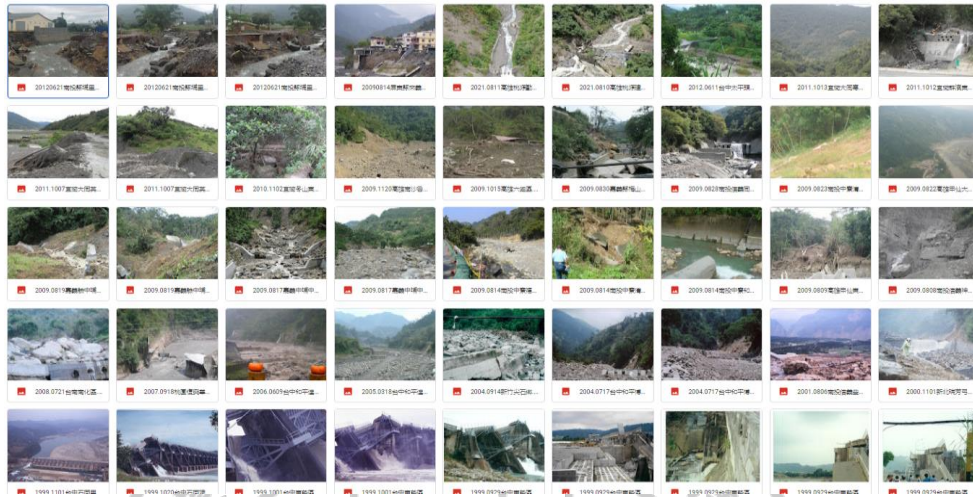


圖4-5 以沖毀位移樣態示意畫面

2. 深度學習之異常樣態分類校正

於前一步驟對於測試過程中仍有誤差偏多情事，表示整個標註錯誤或分類分群不一致(如下圖 4-6 所示)，訓練資料重新檢視並將不適宜的部分剔除或重分類，再透過反覆學習訓練將系統自動分類訓練結果的準確率提升。

Logistic Regression (Z)	image name	image	size	width	height	
1 河壩崩塌	DJI_0028	DJI_0028.JPG	4945640	4000	3000	0.07
2 河壩崩塌	DJI_0029	DJI_0029.JPG	5235465	4000	3000	0.27
3 河壩崩塌	DJI_0067	DJI_0067.JPG	5202532	4000	3000	0.30
4 河壩崩塌	DJI_0076	DJI_0076.JPG	5222478	4000	3000	0.27
5 河壩崩塌	DJI_0077	DJI_0077.JPG	5023716	4000	3000	0.18
6 河壩崩塌	DSCN2131	DSCN2131.JPG	1023513	2592	1944	0.18
7 河壩崩塌	DSCN2132	DSCN2132.JPG	1098475	2592	1944	0.10
8 河壩崩塌	DSCN2133	DSCN2133.JPG	1132134	2592	1944	0.34
9 河壩崩塌	DSCN2134	DSCN2134.JPG	1077723	2592	1944	0.08
10 河壩崩塌	DSCN2135	DSCN2135.JPG	1065354	2592	1944	0.16
11 壩體位移崩裂	DSCN2136	DSCN2136.JPG	1051224	2592	1944	0.08
12 壩體位移崩裂	DSCN2137	DSCN2137.JPG	1058792	2592	1944	0.12
13 壩體位移崩裂	DSCN2138	DSCN2138.JPG	1138902	2592	1944	0.11
14 山體崩塌	DSCN2139	DSCN2139.JPG	1089502	2592	1944	0.07
15 河壩崩塌	DSCN2140	DSCN2140.JPG	1101778	2592	1944	0.14
16 壩體位移崩裂	DSCN2141	DSCN2141.JPG	1032562	2592	1944	0.28

圖 4-6 系統樣態分群分類結果畫面

所訓練出之系統模型，並於校正後建立一個影像辨識模型檔，再依所預留影像進行辨識與驗證。另外所收集影像匯入系統模型中，系統則會將所輸入影像進行編碼再與所標示樣態之訓練圖庫進行壓縮比對輪廓，在非監督式學習的優點是不需要事先以人力標籤，只給定特徵讓機器想辦法會從中找出規律。在訓練過程中沒有所謂的標準答案，故機器會自己從資料群中找出一套分群的法則，常見的非監督式的分群演算法有 K-means，它根據物以類聚的原理目標是根據特徵把資料樣本分為 K 群。其中在訓練模型時僅須對機器提供輸入的特徵，並利用分群演算法自動從這些特徵中找出鄰近的集群中心作為該類別。進行訓練會後將比對個輪廓特徵分群如圖 4-7 所示。

經過訓練學習特徵之辨識模型需再進行驗證測試，因此保留部分檔案進行後續模型驗證測試準確率，依所收集影像中未納入訓練之影像匯入，經由系統模型依據訓練學習後特徵與相近的分群樣態比對再將相似結果輸出如圖 4-8 所示。於一般常生物統計以及應用在臨床上篩檢的量表，需找出關鍵的切截點分數(cut-off score)，以正確篩檢出高風險族群的分析方式，此時會進行「ROC 曲線法分析 (ROC curve, receiver operating characteristic curve)」，ROC 曲線下面積 (area under the ROC curve, AUC)，其功能在於告訴我們了解新量表或預測模型所具備準確的篩檢能力結果是否為準確率高，因此 ROC 曲線下面積越大，表示新量表篩檢的結果準確度越高，(以下均簡稱為 ROC) 的分析。ROC 曲線的橫軸和縱軸標題。如表 4-2 所示。

橫軸為「錯誤接受率」：

被錯誤篩檢出為高風險個案的人數占所有低風險個案人數的比率。

為 1－特異度：「 $FP \div (FP + VN)$ 」

縱軸為「正確接受率」：

正確地篩檢出高風險個案的人數占所有高風險個案人數的比率。

例如 100 個人當中，有 40 個人是高風險個案，而用新量表某個切截點分數可篩檢出 30 個人是高風險個案，其正確接受率為 $30/40 = 0.75$ 。

為敏銳度：「 $VP \div (VP + FN)$ 」

命中率

正確接受和正確拒絕的個案人數佔整體篩檢人數的比率。

計算公式為：「 $(VP + VN) \div (VP + FN + FP + VN)$ 」

錯誤拒絕率

高風險個案未被篩檢人數占所有高風險個案人數的比率。

計算公式為：「 $FN \div (VP + FN)$ 」

表 4-2 預測各項指標表

實際情況	根據新量表所做出來篩檢結果		預測效度指標
	高風險	低風險	
高風險族群	正確接受的人數 (valid positive, VP)	錯誤拒絕的人數 (false negative, FN)	敏銳度 $VP \div (VP + FN)$
低風險族群	錯誤接受的人數 (false positive, FP)	正確拒絕人數 (valid negative, VN)	特異度 $VN \div (VN + FP)$

資料來源:蘇宜芬、張祐瑄、李孟峰、黃鈺茜(2016)

AUC 數值的範圍從 0 到 1，數值愈大愈好。以下為 AUC 數值一般的判別規則：

AUC=0.5 (no discrimination 無鑑別力)，ROC 剛好是對角線。

$0.7 \leq \text{AUC} \leq 0.8$ (acceptable discrimination 可接受的鑑別力)

$0.8 \leq \text{AUC} \leq 0.9$ (excellent discrimination 優良的鑑別力)

$0.9 \leq \text{AUC} \leq 1.0$ (outstanding discrimination 極佳的鑑別力)

在本計畫系統分群結果以羅吉斯迴歸模型的顯著性檢定結果可以看出 AUC 數據 0.863，落於 0.8-0.9 間優良的鑑別力。

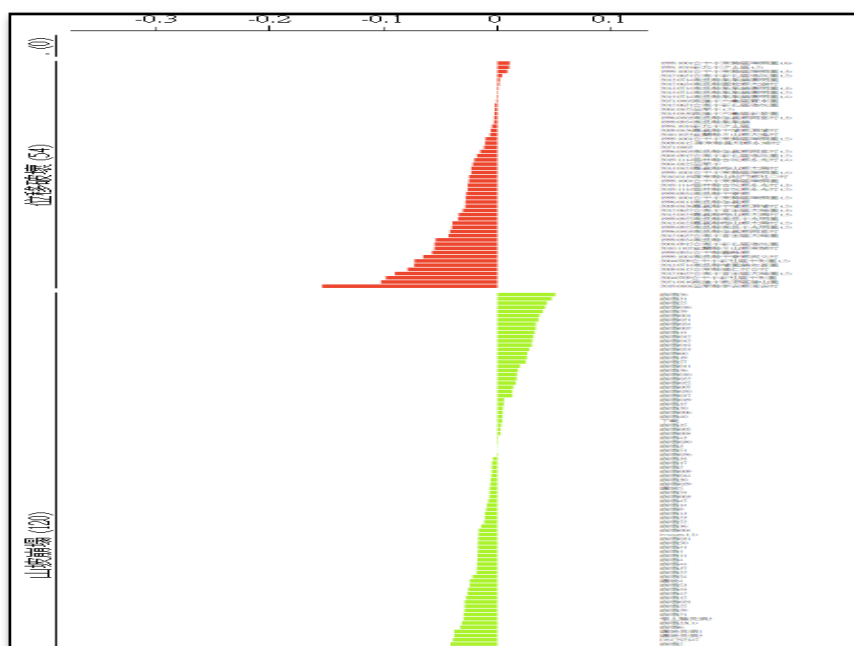


圖4-7深度學習後自動分類畫面

Evaluation results for target (None, show average over classes)						
Model	AUC	CA	F1	Precision	Recall	
Logistic Regression	0.863	0.567	0.555	0.549	0.567	
Naive Bayes	0.759	0.362	0.373	0.505	0.362	
Neural Network	0.842	0.556	0.549	0.545	0.556	
Random Forest	0.701	0.407	0.376	0.369	0.407	

圖4-8 深度學習模型測試

3. 異常樣態進階分級訓練

本計畫所建立之平台乃採用 python 程式語言自行開發，透過監督式學習的卷積神經網路 CNN(Convolutional Neural

Network)語法架構，並以特徵圖經由池化仿照人的視覺系統進行降維及平均化的降維計算，經由將圖片轉換成點矩陣模式，所以一張影像就是將相片在空間中分割成一點一點整齊排列的像素，再給予每一點一個整數數值表示該點的灰階。一張影像的結構可視為一個矩陣，矩陣的行列定義像素的位置，儘管圖片是以變形、旋轉等形式運行辨識，系統中加入模糊推論語法強化樣態辨識與分級結果一致性。資料進行模型訓練跟結果驗證(verify)，我們將500筆資料分成兩個部份，前400筆做為訓練資料，後100筆當成驗證用的資料。把訓練資料和驗證資料放入，經過一些時間訓練，就可以得到深度學習模型的結果。本計畫對分群成果所蒐集圖像分群為邊坡崩塌、河道淤積、及結構崩毀位移，再經專家分類2-3等級，每一樣態影像經分級後數量至少維持約100張，因此每一樣態經抽樣保留約20張做為測試驗證。

首先依本計畫執行樣態分群，之後再請專家協助評等分類再依序上傳訓練系統如圖4-9所示，經系統影像學習後進行測試結果達8成為可辨識，但仍有部分樣態呈現錯誤樣態情況，代表需再進行樣態校正，經測試結果分析有以幾種原因產生，包含有標註結果過多、影像品質不佳、訓練資料太少、訓練世代太少以及標示錯誤情況，測試異常結果如下圖4-10所示。於案例測試中發現兩圖像均為崩塌地形，經AI辨識後卻有兩種樣態結果，崩塌地因有河道部分因坡地崩塌導致有明顯河道淤積情況，因該部分有兩中樣態存在，因此需再進行特徵分割，或是重新定義該樣態影像的分類與分級。並在回歸至系統中再強化特徵學習，再捲積與池化後最為後續學習樣態之一。

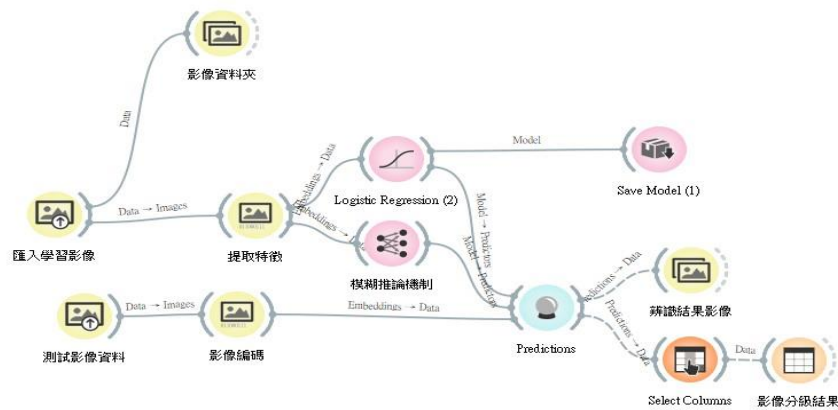


圖 4-9 本計畫建立深度學習辨識分類訓練系統

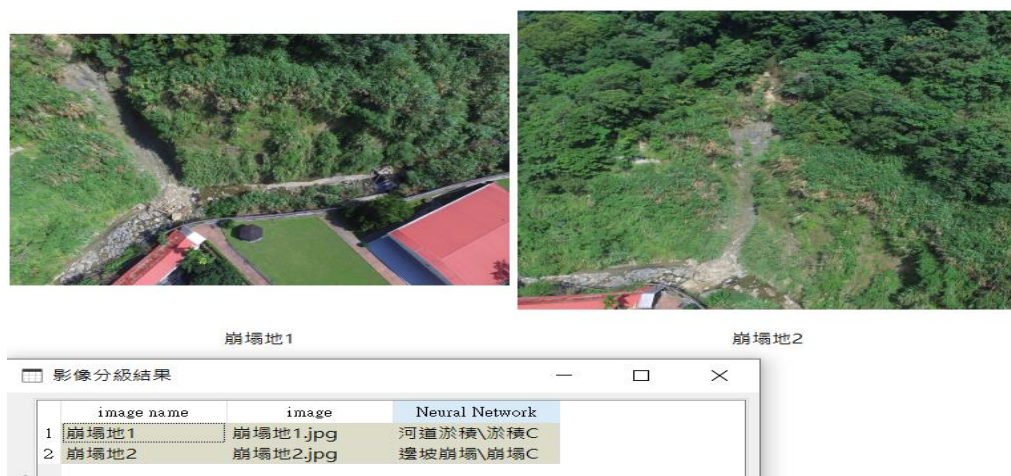


圖 4-10 系統辨識分類異常結果本計畫產出

系統執行中樣態影像分群與分級後藉由羅吉斯回歸驗證測試結果是否達一致性，作為本計畫後續的校正參考，另外需逐一針對影像畫質不佳部分、模擬兩可標示進行剔除，再將資料轉置回到本計畫所開放系統進行學習，並依原預定 100 張基本訓練數量再增加，並於系統執行世代增加訓練次數以強化辨識的準確性，相關參數設定如下訓練世代(Epoch)為 60，批次訓練大小(Batch_Size)為 10，學習率為 0.001。系統強化訓練結果如下圖與 4-11 所示。最佳的訓練次數大約在 7 到 10 次之間，效果就能達到上限準確率約 0.98

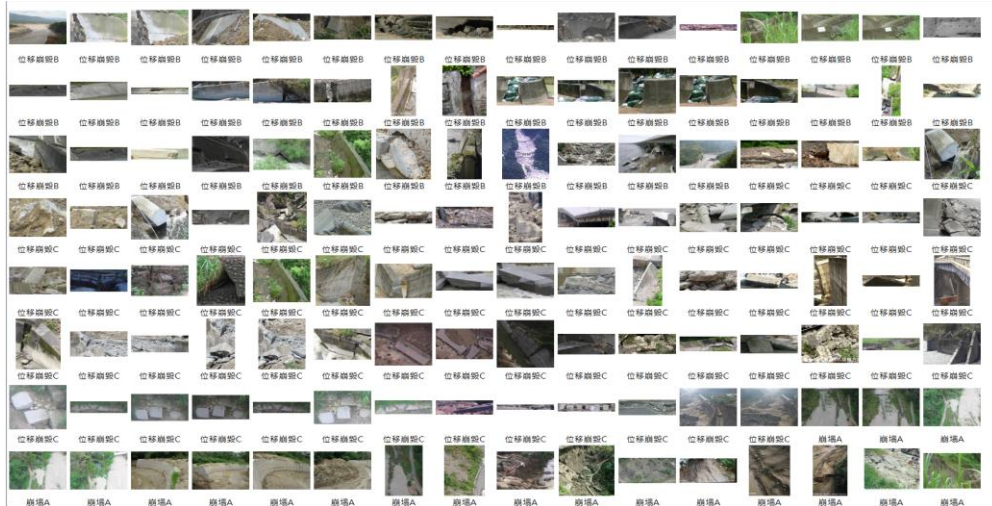


圖 4-11 測試校正影像分類圖

對於計劃所開發系統訓練學習特徵之辨識模型的分類結果是否達效用，常見以羅吉斯迴歸模型與類神經網路判別深度學習辨識檢驗分類工具的結果，除了看曲線的圖形之外，另可以利用曲線下的面積(Area Under Curve; AUC)來判別受試者工作特徵曲線(Receiver operating characteristic curve; ROC)曲線的鑑別力，AUC 數值的範圍從 0 到 1，數值愈大愈好。以下為 AUC 數值一般的判別規則：

AUC=0.5 (no discrimination 無鑑別力)，ROC 剛好是對角線。

$0.7 \leq \text{AUC} \leq 0.8$ (acceptable discrimination 可接受的鑑別力)

$0.8 \leq \text{AUC} \leq 0.9$ (excellent discrimination 優良的鑑別力)

$0.9 \leq \text{AUC} \leq 1.0$ (outstanding discrimination 極佳的鑑別力)

在崩塌樣態群狀態 A 曲線下的面積(AUC)數值為 0.881 與 0.806，顯著性檢定結果為有為極佳的鑑別有優良的鑑別力 ROC 曲線如圖 4-12 所示，樣態群狀態 B 曲線下的面積(AUC)數值為 0.835 與 0.802，顯著性檢定結果為有優良的鑑別力 ROC 曲線如圖 4-13 所示，樣態群狀態 C 曲線下的面積(AUC)數值為 0.926 與 0.908 依狀態判定顯著性檢定結果為極佳的鑑別力 ROC 曲線如

圖 4-14 所示。

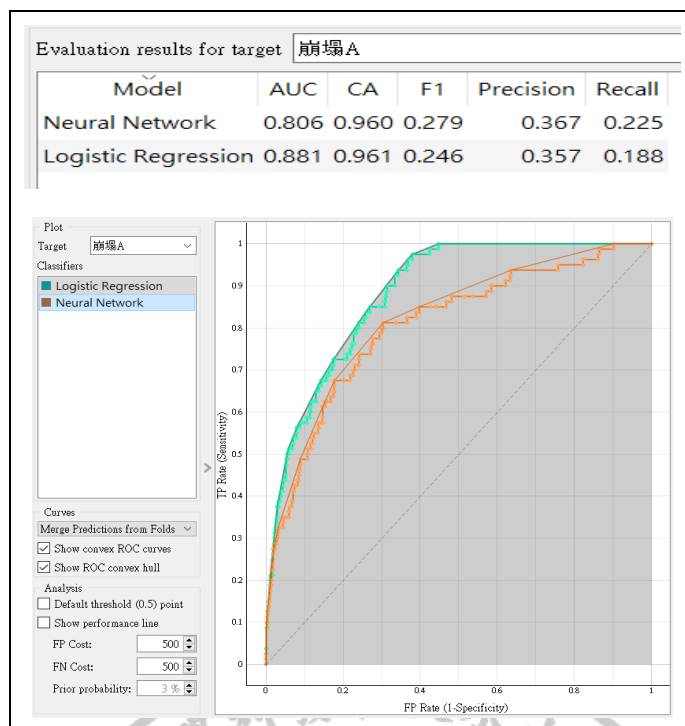


圖 4-12 崩塌樣態群狀態 A 驗證結果

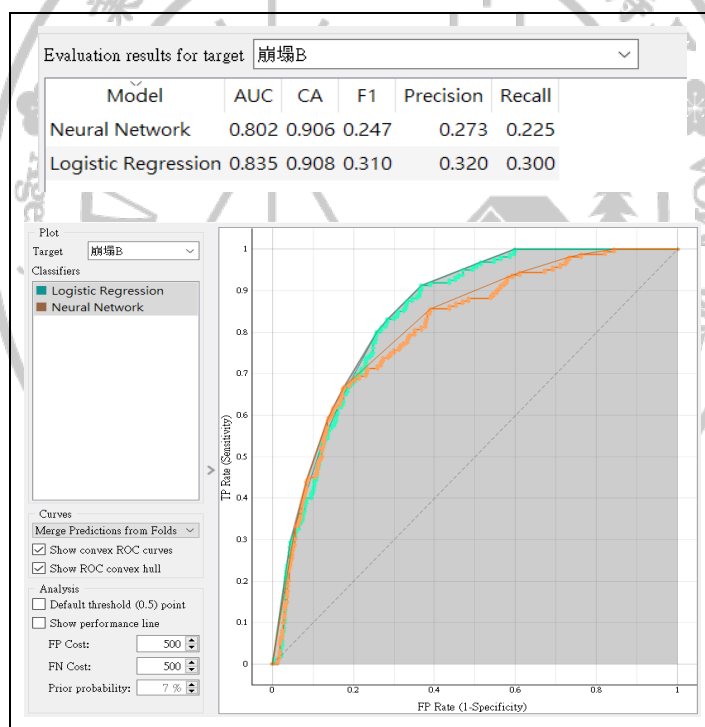


圖 4-13 崩塌樣態群狀態 B 驗證結果

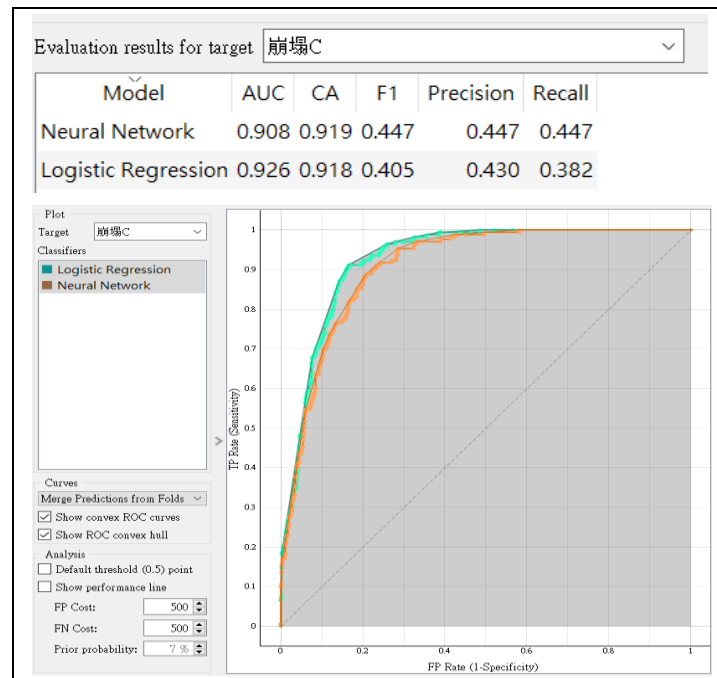


圖 4-14 崩塌樣態群狀態 C 驗證結果

在淤積樣態群狀態 A 曲線下的面積(AUC)數值為兩模式結果暈為 0.815，顯著性檢定結果為有優良的鑑別力 ROC 曲線如圖 4-15 所示，樣態群狀態 B 曲線下的面積(AUC)數值為 0.850 與 0.842，顯著性檢定結果為有優良的鑑別力 ROC 曲線如圖 4-16 所示，樣態群狀態 C 曲線下的面積(AUC)數值為 0.863 與 0.83 依狀態判定顯著性檢定結果為有優良的鑑別力 ROC 曲線如圖 4-17 所示。

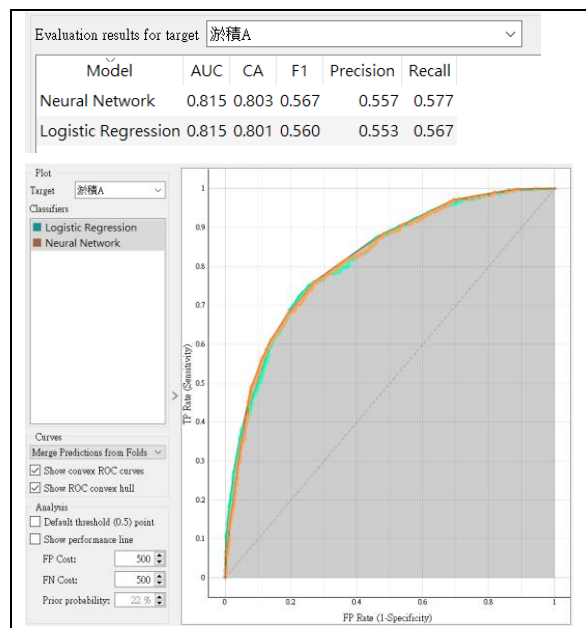


圖 4-15 淤積樣態群狀態 A 驗證結果

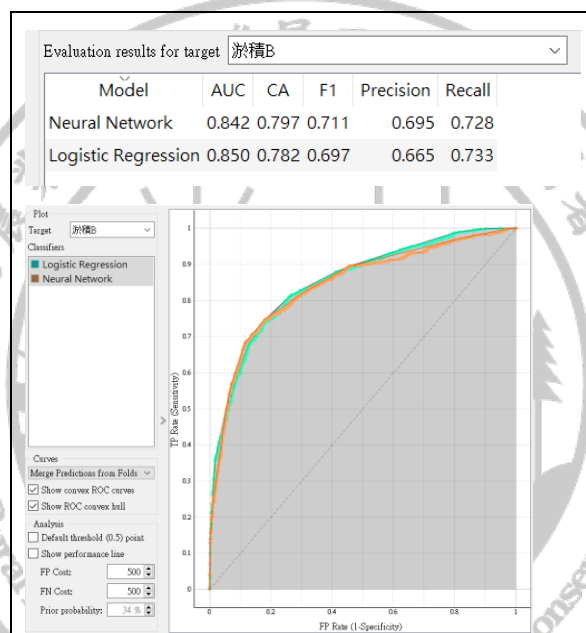


圖 4-16 淤積樣態群狀態 B 驗證結果

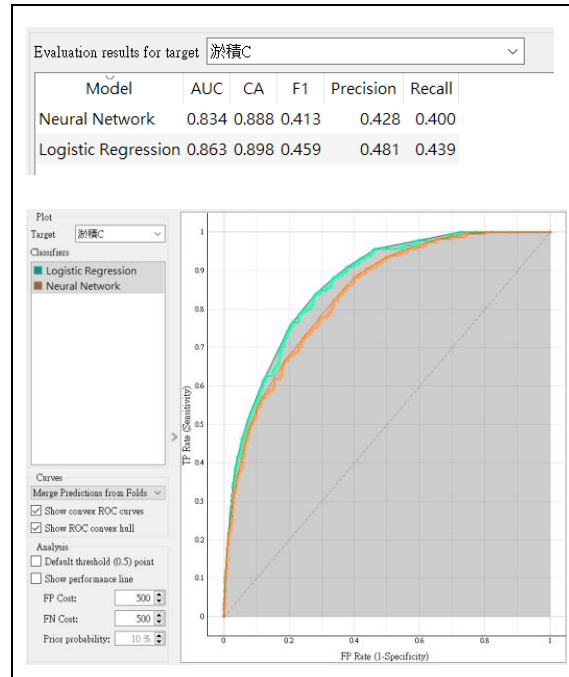


圖 4-17 淤積樣態群狀態 C 驗證結果

在位移崩毀樣態群狀態 B 曲線下的面積(AUC)數值為 0.854 與 0.823，顯著性檢定結果為有優良的鑑別力 ROC 曲線如圖 4-18 所示，樣態群狀態 C 曲線下的面積(AUC)數值為 0.913 與 0.898 依狀態判定顯著性檢定 0.898 已接近 0.9 因此結果可視為極佳的鑑別力 ROC 曲線如圖 4-19 所示。

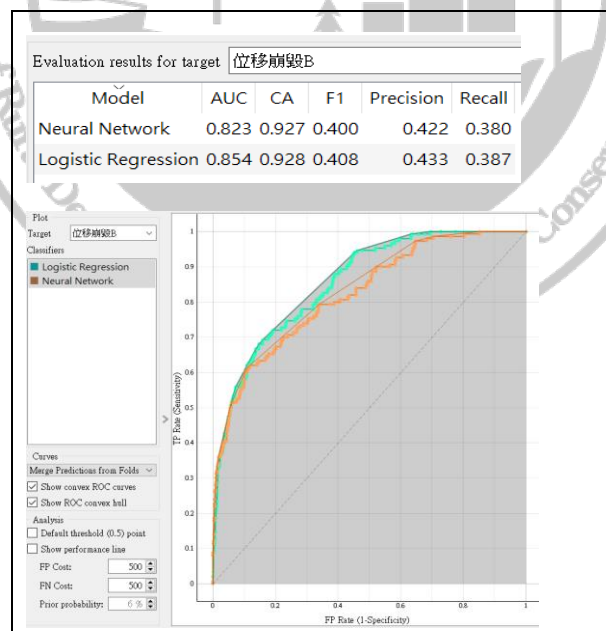


圖 4-18 位移崩毀樣態群狀態 B 驗證結果

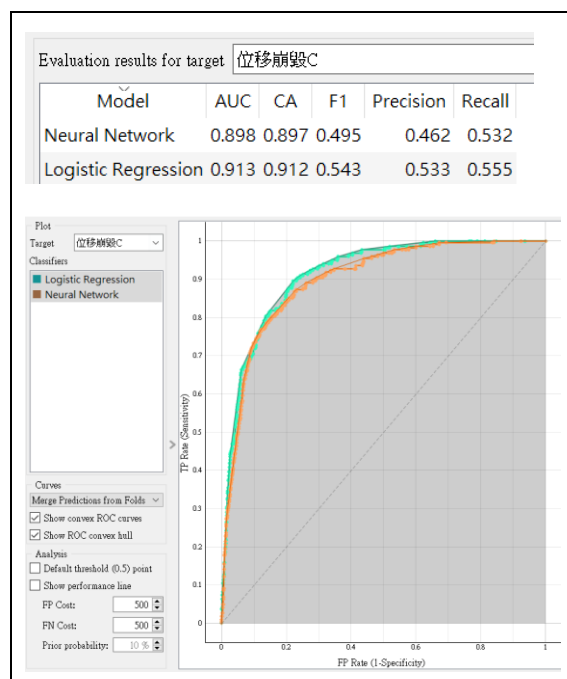


圖 4-19 圖位移崩毀樣態群狀態 C 驗證結果

透過預留之影像做為測試之用，並擷取部分特徵，經輸入 40 組測試影像，所系統產出樣態分類及評等成果均符合預期，正確率達 99.5%，僅一結果分類正確評等上有些微偏差但仍然在可接受範圍，整體測試後結果如圖 4-20 所示。

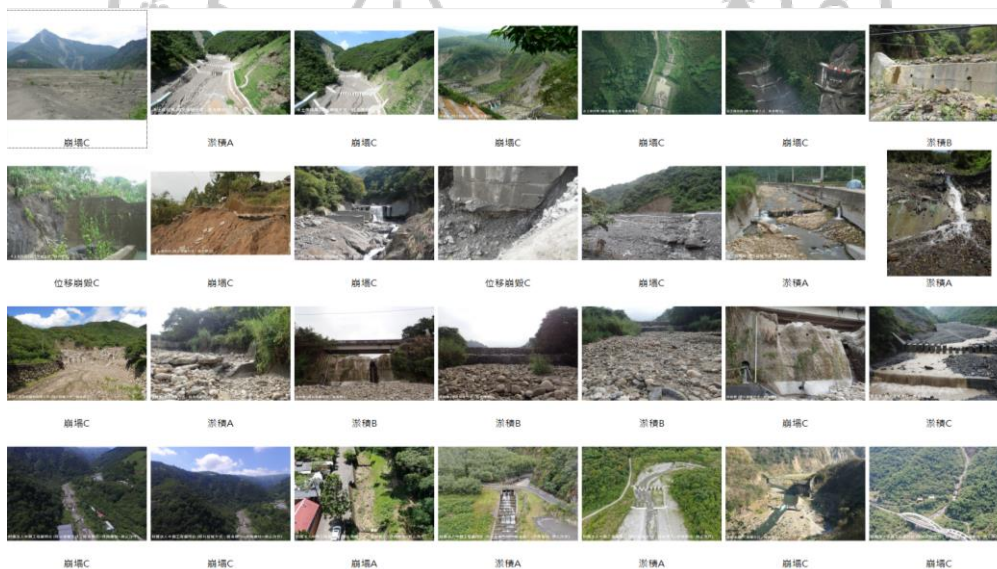


圖 4-20 測試影像分類列表

針對影像樣態辨識及評等結果，經由分析單一個案擷取多個異常影像進行樣態辨識與評等及維護建議，若同一張影像中

同時擷取多樣態容易造成判斷誤差以及評等混淆，因此辨識樣態適合使用。單一區域樣態擷取辨識評等準確率高，評等結果也趨近於專家評等結果。

(三) 水保巡檢區域設施構造物 3D 數位模型建置

1. 現場影像收集

本計畫於影像蒐集採用自動飛行模式(Auto)，以無人飛機(UAV) 設定於自動模式下執行，首先需依據現場環境進行評估，再規劃拍攝路徑，於影像開始收集前需先進行現場環境測試飛行，主要目的為量測鄰近的樹林或建築的高度，以避免採自動巡航時因高度不足導致無人飛機撞擊而墜落，併查看適合擺放參考點位置如下圖 4-21 所示。蒐集程序如圖 4-22 所示。後續檢視成果需先確認是否已完成設定的巡檢範圍與路徑，如未完成則需再補足未完成範圍。



圖 4-21 放置參考定位點

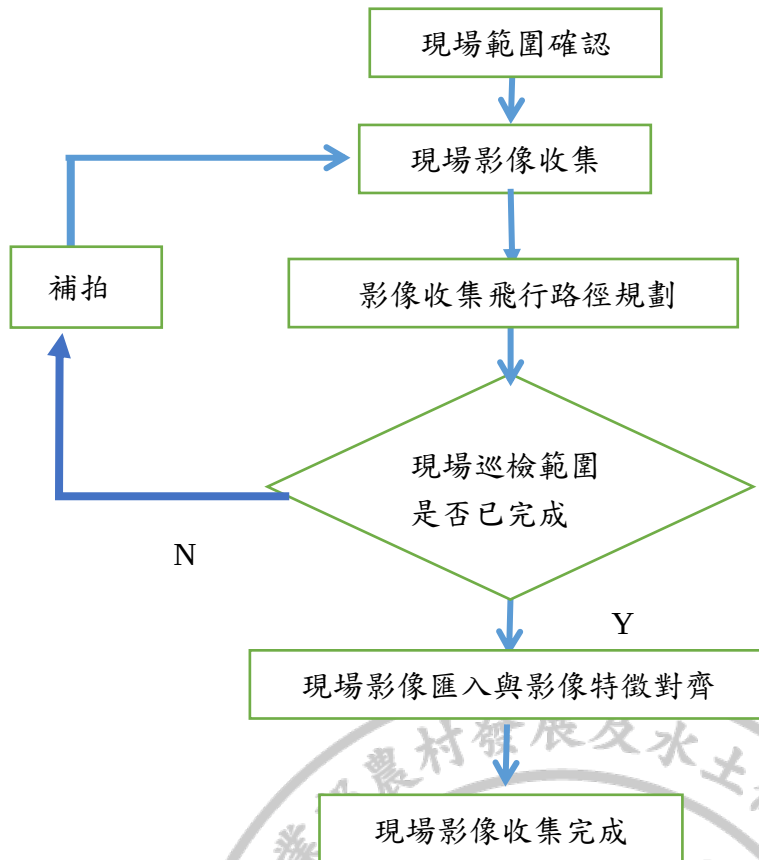


圖 4-22 現場影像收集流程

2. 巡檢區域 3D 數位影像模型建置

本計畫使用的影像載入軟體(Agisoft)可用於圖像轉置 3D 數位影像模型方式之一，主要是以同一標的物多張影像建置成 3D 影像成果。以多視點 3D 影像重建技術，可以任意圖像進行影像旋轉放大縮小等操作。照片可以從任何位置拍攝，但須至少兩張以上照片必須都有要重疊的標的物體。另外影像對齊拼接與 3D 數位影像模型建置，需透過電腦軟體進行影像特徵點對齊、特徵點拼接、轉置輸出。體操作程序如下圖 4-23 所示。

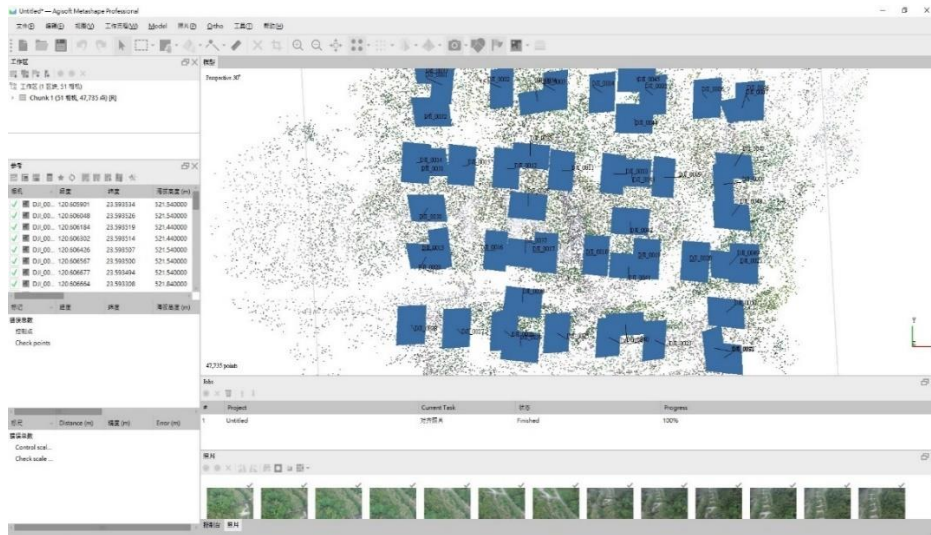


圖 4-23 影像載入軟體畫面

(1) 建置巡檢區域 3D 模型流程

本計畫於模型建置巡檢區域 3D 數位影像模型過程中由於影像處理軟體與硬體規格間所需搭配的處理時間均有所不同，依軟體之執行步驟依序完成匯入與轉置(Work Flow)，完成模型建置。

- i. 匯入影像資料夾(Add Folders):將 UAV 從現場收集取得案例的大量影像，利用暫存記憶體下載影像於電腦後，並整合成為一個資料夾，再一併匯入影像處理軟體中。
- ii. 影像對齊(Align Photos):透過影像處理軟體選擇一般設定選定置品質，於此一階段影像處理軟體會找到圖像重疊之間的匹配點，並計算每張照片的位置，下一步則進行構建出稀疏點雲模型完成後如下圖 4-24 所示。經測試以中階組成影像時間短，並有助於可以提升辨識過程中灰階化所產生的效果，以助於兩不同時期的影像差異辨識分析。

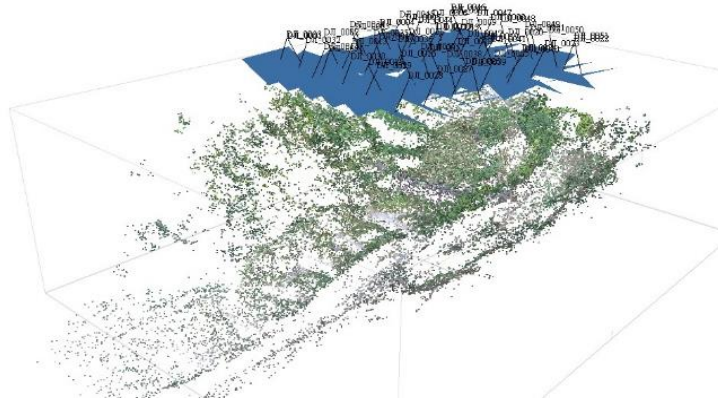


圖 4-24 稀疏點雲模型畫面

- iii. 建構密雲圖(Build Dense Cloud):完成稀疏點雲模型後進行此一步驟，於影像處理軟體中選擇建置品質，選擇過程須考量依據影像位置，利用程序計算每張影像的位置及相機的景深距離資訊，利用資訊重疊程序組合成密集點雲圖。如下圖 4-25 所示。

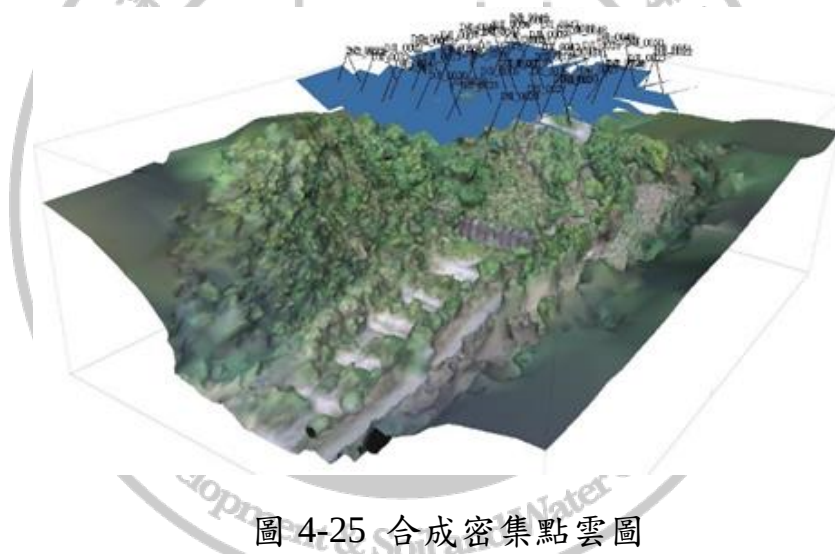


圖 4-25 合成密集點雲圖

- iv. 建構網格(Build Mesh):完成密集點雲圖後執行「影像對齊」及「建構密雲圖」兩步驟，此步驟於影像轉置 3D 數位影像模型中最耗時的過程，但也是最為關鍵的兩個步驟，因此模型首次建置，會優先使用較低的品質，再生成密雲圖。先使用低品質的原因在於，較低的品質所花費建置的時

間短，因此顯示的品質會低於中高品質非常多，雖然建置出的成果品質低，但能夠讓使用者用比較少的時間，檢視可能發生的錯誤，完成後再往更高的影像品質進行模型建置。在建置完成密集點雲圖之後，可以依照密集點雲的數據，生成多邊形網格模型，完成畫面如下圖 4-26 所示，有助於對 3D 數位影像模型進行尺寸量測。

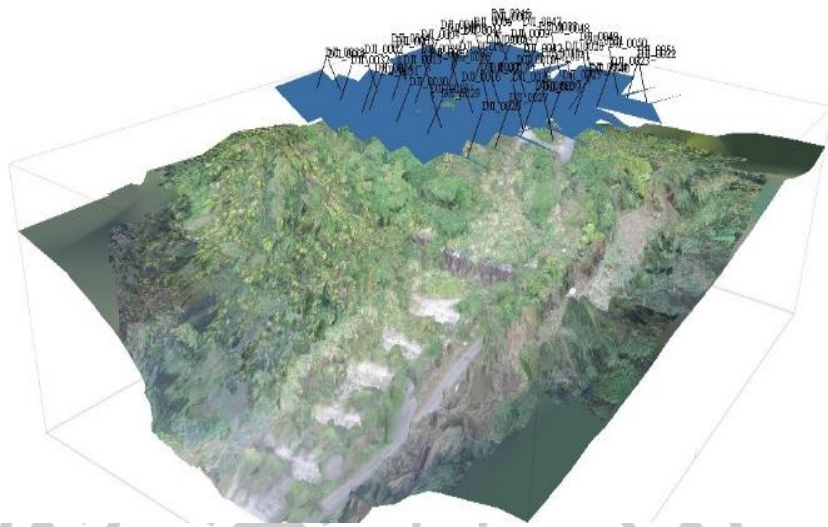


圖 4-26 多邊形網格模型圖

- v. 完成 3D 數位影像模型建置:透過建置 3D 數位影像模型程序完成再轉置成的 3D 模型(如圖 4-27 所示)，此模型可協助檢測人員藉由電腦即可觀察檢測區的水保構造設施現況，並能多以角度檢視設施。如有異常可放大特定位置檢視，此一模型也可提供後續的構造設施評等主要參考。



圖 4-27 3D 數位影像模型圖

(四)水土保持工程構造物 3D 數位孿生資訊連結建置

數位孿生是個技術框架，利用混和雙生來創造實體環境中的數位真實，藉由決策者解釋在實體環境中所發生的事情，有甚麼原因造成甚麼影響，可透過此方式來研究來達到特定目標因子，防止意外發生，透過紀錄整合人工智慧可有效達設施維護並有效到災害預防。

1. 水保 3D 數位孿生模型語義整合

數位孿生技術在工業界已普及並廣泛應用，然而目前大多集中在工業或建築應用。CAD 軟體的標準化使得將語義資訊整合至模型中變得更加容易，這有助於不同工種之間的圖層整合，並透過 3D 數位影像有效地解析問題點，使相關資訊能夠延伸應用至結構體的維護階段。

利用 3D 建模軟體創建實體物品的數位孿生模型，並標註模型的細節整合所收集與水保相關的數據，包括位置、尺寸、功能等，並將資訊整合到數位孿生模型中，運用語意標記對模型進行語

意標記，將特定的資訊（如維護建議等）與模型的不同部分進行連結，可以使用標籤或註解的方式。

本計畫採用 3D 建模軟體考量，主要在於資訊其取得容易且便於建模的特性。目前水保相關結構缺乏現有的圖庫可供應用，然而 2D 表示則無法提供足夠真實的效果，因此為求繪製 3D 數位影像的快速便利性成為重要考量。為此計畫利用 CAD 竣工圖作為基礎並轉換生成 3D 模型，這樣不僅可以針對受損範圍進行語意標註，還能透過 3D 模型的協助，亦可將尺寸、型式和空間等資訊完整地結合進模型中，同時匯入相關的語義資訊如尺寸和材質，以彌補 2D 擬真的不足。3D 模型圖庫的引入顯著提升了案例的後續應用和修改便捷性，達到資訊整合便利性，以下是數位孿生程序如下：

- (1) 影像處理與現場 3D 建模：利用光達掃描或無人機航拍技術獲取水土保持設施的高精度三維空間信息，並生成數字化的 3D 模型。
- (2) 水保設施數據 3D 建模：取得 2D 圖像或 CAD 圖檔，新增圖型並進行基本型繪製，透過軟體生成水保設施的數位 3D 影像模型，對模型各部分進行標示結構材質，同時亦可透過標示方式顯示出各部位的具體尺寸，並確保模型的細節將設施的結構特徵（如壩體的樣態、形狀等）進行建模，收集現場巡檢數據參數，這些結構模型將成為數位孿生的基礎。
- (3) 數據整合語意標記：收集與水保相關的數據，包括位置、尺寸、功能等，並將這些數據整合到數位孿生模型中，對模型進行語意標記，將特定的資訊（如劣化樣態）與模型的不同部分進行整合，模型上進行調整標記。

(4) 可視化平台開發：基於建構的 3D 模型與數據，開發可視化平台，讓管理者能夠直觀地查看設施的運行狀況，視覺化互動呈現，使用動態網頁、虛擬實境（VR）或擴增實境（AR）技術，讓使用者可以與數位孿生進行互動，深入了解其各個方面。相關數據以可視化的方式呈現。如圖 4-28 所示。



圖 4-28 數位孿生 3D 語意資訊整合

建立基本圖庫以常見的水保設施如固床工、擋土設施及梳子壩為對象，建建置相應的 3D 數位模型資訊，作為 3D 模型的基礎和案例參考。如圖 4-29、4-30 和圖 4-31 所示。

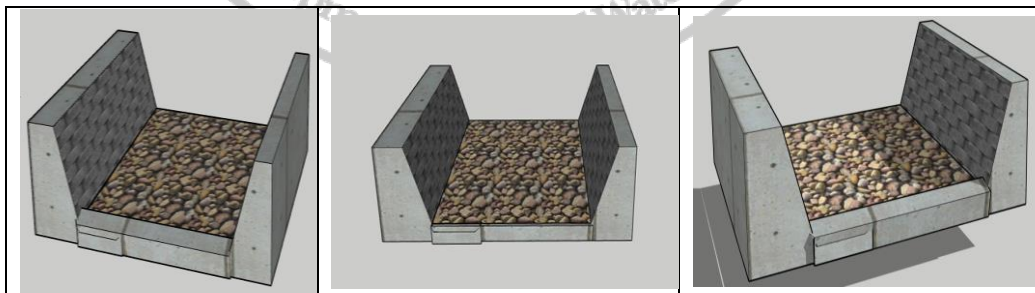


圖 4-29 數位孿生固床工 3D 元件

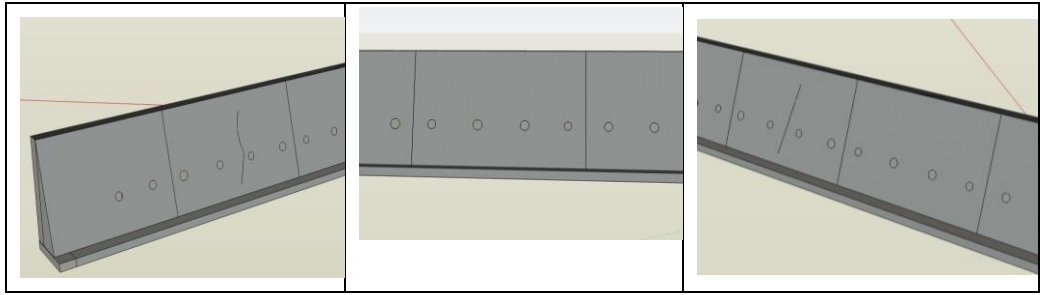


圖 4-30 數位孿生擋土牆 3D 元件

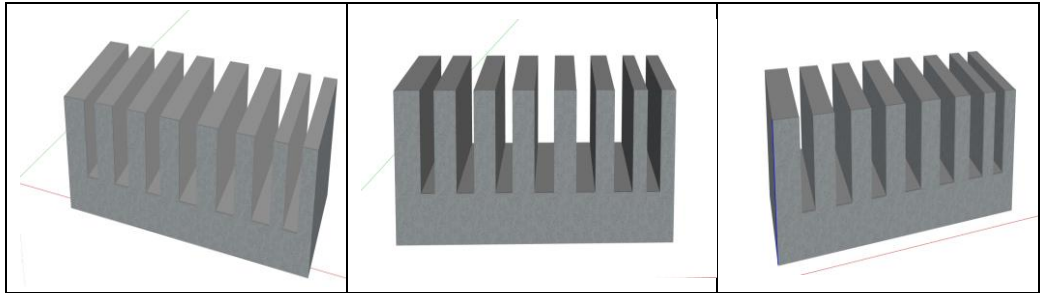


圖 4-31 數位孿生梳子壩 3D 元件

2. 數位孿生圖層資訊連結

首先可藉由點選後會帶入圖層資訊，會開啟新的頁面進入到基本 3D 影像，再將檢測結果資訊帶入圖層中，因此會將以往的檢測履歷資訊以新開頁面顯示，另外利用 3D 數位影像模擬受損圖，利用模擬受損位置，方便於後續維修上參考應用。點選資訊欄位則會連結至該次檢測個案的檢測資訊，便於資訊的連結。該圖層則會將透過資料庫的參照，將附加於圖層的相關資訊帶入於圖層下方資訊欄位中，左方檢測資訊欄位中，包含檢測日期、AI 辨識評等分級、以及受損範圍、維護方式，並與 3D 數位孿生影像相呼應。檢測資訊如下 4-32 所示。

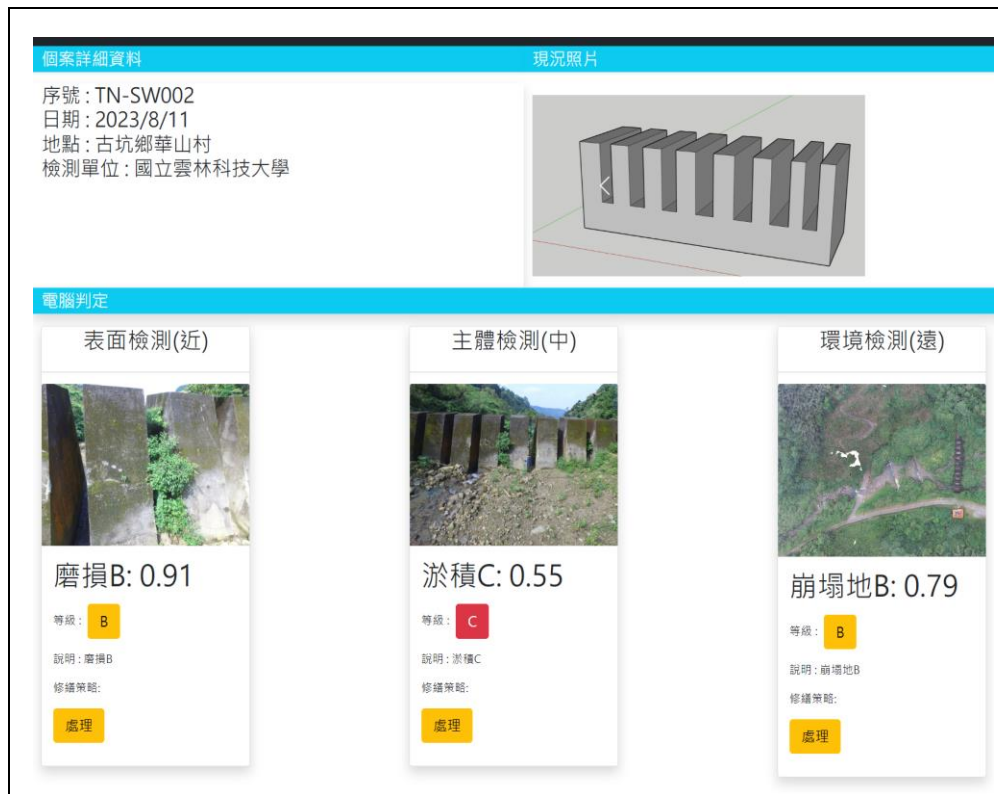


圖 4-32 檢測資訊與 3D 數位孿生影像整合

3. 數位孿生新增案例流程

隨著科技的進步，將個案管理逐漸融入深度學習和人工智慧的應用數位孿生導入及語意整合，經由 3D 模型影像將其資訊經行串聯並以視覺化呈現，以達到改善傳統巡檢紀錄的繁瑣性並提升效率和評等結果準確性，以及有利於管理者的使用性。以下是個案新增的具體流程，將分步驟進行詳細說明，以幫助管理者了解每一環節的操作程序。

第一階段：AI 與現況評等

首先，管理者需進入新增表單的畫面，這是整個流程的起點。在此一階段，使用者將現場檢測的影像上傳至系統。根據歷史影像數據與實時數據，利用機器學習和數據挖掘技術，構建預測模型，對水土保持設施的風險進行劣化樣態辨識學習。

以人工智慧系統進行分析，系統將根據影像內容進行樣態判讀和現況分級，並針對所得到的判讀結果，提供後續的維護建議。結合水保設施巡檢監測技術，透過 AI 辨識分析水保設施現況與樣態指標，來評估設施的現況等級。

第二階段：數位孿生模型語意標記與資訊生成

根據第一步的人工智慧判讀，顯示個案的樣態判讀結果，以及數位孿生的示意 3D 模型圖鏈結及語意標記樣態，藉由樣態模擬調整，整合語意資訊生成 3D 先況樣態數位孿生模型，不僅能使個案信息更加直觀，也有助於後續的數據整合。選擇完成後，系統即生成個案資訊表，並將其寫入案例庫中，這一步驟確保所有資料都有條不紊地保存，方便日後的查詢和管理。

第三階段：新增個案位置標定

個案生成樣態評等資訊表後，管理者需進入新增介面，針對先前採集의影像於 3D 數位孿生度介面中尋找相對區間。這一過程要求使用者對檢測現場有一定的認知，以便精確定位每個案例的具體位置。當找到對應的位置後，使用者可以新增點選，正式進入新增個案位置的環節，進一步確保每一個案例的信息都能準確記錄。

第四階段：巡檢歷程檢視

在新增個案位置後，管理者可以透過 3D 載體連結進入到 3D 數位影像巡檢的歷程檢視。管理者需要確認所新增的個案是否正確顯示於畫面中，這樣能有效避免任何遺漏或錯誤的發生，確認完成的個案巡檢資訊。爾後一般使用者可透過網路載體可點選相關的資訊如圖 4-33。展示操作者界面，使用者可以快速找到定位。

第五階段：後台管理

最後，在所有步驟完成後，管理者可通過後台管理系統，登入和管理所有相關檔案，對已完成標定的檔案進行編修或刪除，這一功能使得管理者在管理個案時更具靈活性，能隨時調整和優化資料，確保數據的準確性和完整性。界面如圖 4-34 所示。

透過以上五個階段，本計畫所創建系統功能不僅提高了檢測便利性與準確性，還有效簡化了管理的複雜性。數位孿生的語意整合與視覺化應用，使得整個過程極簡化人工作業，提升了使用者工作效率，管理者對於個案系統管理將更加智能化和直觀化。

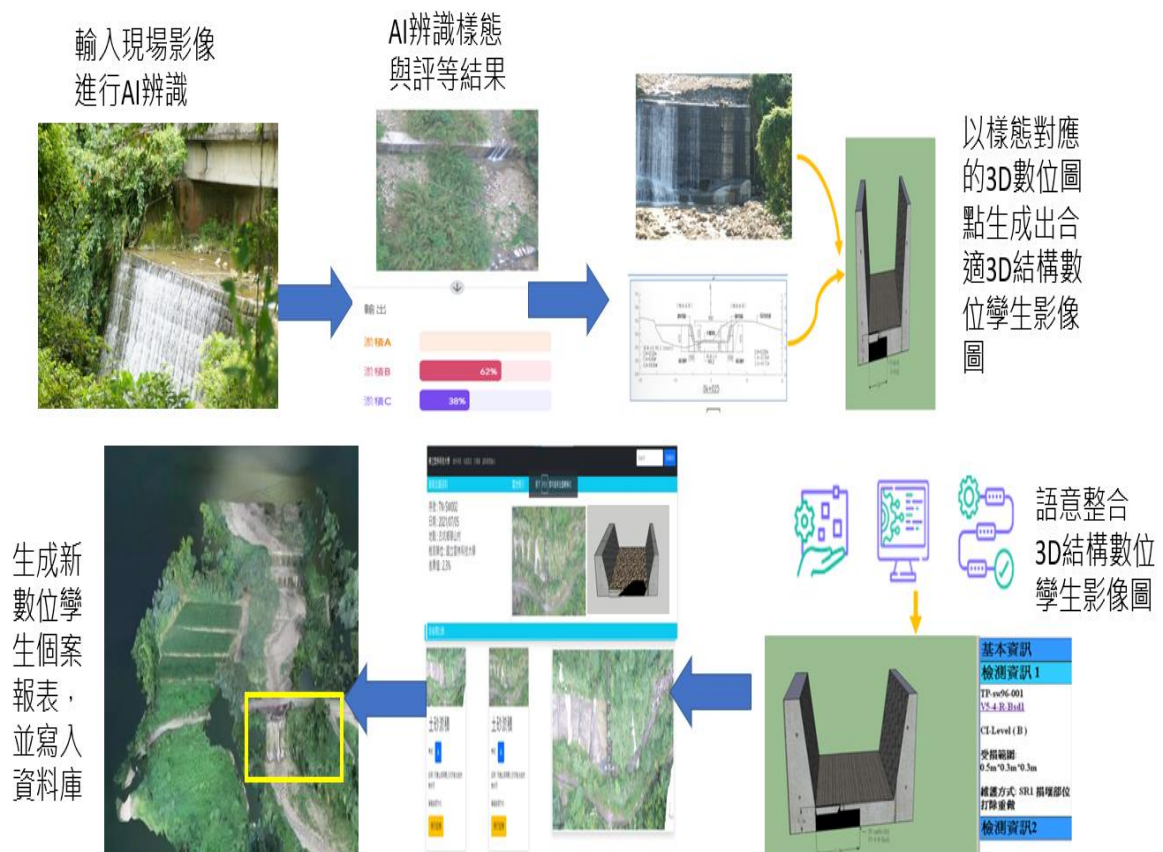


圖 4-33 新增個案整體流程

數位學生標記資料管理						
回地圖介面 新增資料						
索引	x軸	y軸	照片角度	標題	說明	檢測連結索引
51	312	348	10	固床工	後方淤積	2
53	307	336	11	固床工	壩體腐蝕	2
64	290	678	22	113年固床工檢測	113年9月	1

圖 4-34 已標定之檔案編修示意畫面

4. 數位學生 3D 視覺化應用

隨著電腦資訊管理界面設計的演進，3D 視覺化技術已成為提升管理者或使用者的體驗和視覺吸引力的重要媒介。這種設計技術通過在不同深度上創建視覺效果，使得訊息呈現元素不僅僅是平面的，而是呈現出層次感和立體感。3D 視覺化在資訊管理設計中的應用及其帶來的優勢。

運用數位學生 3D 視覺化設計優勢

提升資訊的識別度，視覺化設計元素可以有效地提升使用者的注意力，將他們的焦點引導至的特定部分，透過層次分明的設計，可以確保關鍵文本和信息不會被忽略，3D 視覺化設計元素不僅能夠吸引注意，視覺上的創新使得使用者容易記住，進而提升資訊的識別度。在當今的數位時代，資訊設計不僅需要傳遞信息，數位學生 3D 視覺化技術為管理者提供了豐富的工具來創建介面，透過數位學生 3D 視覺化排版、圖像、動畫和視差滾動等技術的應用，使管理者能夠帶來更佳的視覺和交互體驗，因此將數位學生 3D 視覺化深度融入到水保巡檢資訊設計是提升資訊檢索的重點之一。

本計畫透過以動態方式呈現巡檢區域數位學生 3D 影像，因此採用動態互動式來達到介面友善之目標，以 PHP (Hypertext Preprocessor) 為主要建構基底，匯入動態頁面透過 3D 數位影像

的動態呈現，達到全面性地檢視。

有研究表明整合數位孿生 3D 內容具有令人印象深刻的影響，透過整合動態視覺效果並使訪客能夠與文案或產品進行虛擬互動，可以創建身臨其境的體驗，有效展示其獨特的功能和優勢。

然而透過數位孿生 3D 模型所創建平台很重要，因為 3D 模型檢視介面是使用專用軟體建立的物件或場景的虛擬呈現。將其視為逼真的數位複製，可以從各個角度進行操作和查看，這些模型的範圍從簡單的幾何形狀到複雜、精細的設計，能提供真實感物件展。然而透過 3D 模型所創建網站可帶來優點，包括提高使用者參與度、增強視覺化以及透過提供互動式和身臨其境的體驗。圖層如下圖 4-35 所示。



圖 4-35 巡檢範圍 3D 數位圖層

本計畫首先透過數位影像互動平台以轉動隨著巡檢區域 3D 數位影像轉動並配合影像中的方向標示，讓使用者了解目前相對位置，以利於後續現場會勘時的巡檢。使用者操作過程可逐步轉動 3D 數位影像圖層樣態如下圖 4-36 所示。檢視過程中

根據使用者需求可進行順轉或逆轉的動態呈現，轉動過程中會顯示出先前檢測過的水保設施紀錄資訊，這主要是透過伺服器端傳遞參數至指令碼，並結合資料庫資料回傳資訊至動態平台，並以視覺化方式呈現資訊，如圖 4-37 所示。3D 視覺化結合動態顯示及游標互動，方便使用者檢視。此外，影像中的資訊點可連結至先前的巡檢語意資訊，以了解是否有採取維護措施，如圖 4-38 所示。管理者可通過後台管理系統，對已現存檔案進行編修或刪除，管理所有相關檔案，確保數據的準確性和完整性能隨時調整和優化資料。



圖 4-36 3D 數位影像旋轉樣態



圖 4-37 3D 數位孿生影像巡檢歷程訊息



圖 4-38 3D 數位影像巡檢資訊連結

5. 水保 3D 數位孿生模型包含以下特點

- (1) 數位孿生模型資訊整合便利，CAD 軟體的標準化使得語義資訊的整合變得更加容易，有助於不同工種之間的圖層協作。
- (2) 數位孿生 3D 模型，視覺化提升真實感，3D 數位影像能有效提供真實的視覺效果，克服 2D 表示的不足，使問題點的解析更加直觀。透過 3D 圖形的協助，能輕鬆修改受損部分的示意範圍，並完整結合尺寸、型式和空間等資訊。
- (3) 水保設施監測與災害預警分析：數位孿生技術結合水保設施巡檢監測技術，透過 AI 辨識分析水保設施現況與樣態指標，來評估設施的現況等級，應用數位孿生模型於災害預警，當經由水保設施巡檢監測技術設生成報告建議，如設施現況異常時，能及時提供維護急迫性建議，提醒相關部門進行處理。提升災害防治與重建規劃應用價值，整合的數位孿生技術在災害防治及重建規劃中，能有效提高應用的價值與效益，將幫助管理者掌握水保構造物設施的管理與維護，並提升其在災害防治和重建規劃中的應用價值。

(五)以案例驗證水保設施構造物 3D 數位孿生資訊的可行性

本計畫以水保構造物主體檢測進行樣態辨識，並以新增檔案至本計畫建置的數孿生程式中，整合自動生成個案檢測資訊至系統中，以利使用者於數位孿生系統時中點選的個案歷程以檢視個案資訊。

一、案例探討

案例一地點位於雲林縣古坑鄉桂林村，水保巡檢範圍的設施型態包含有一座三座固床工以及兩側護岸。

步驟一透過本計畫所創建構建 AI 巡檢模型對水土保持設施的風險進行劣化樣態辨識學習，透過 AI 辨識分析水保設施現況與樣態指標，來評估設施的現況等級進行新個案樣態辨識與判讀。AI 辨識評等結果如下圖 4-39 所示。

步驟二系統將顯示判讀後樣態結果。經由水保設施巡檢監測技術設生成報告建議，其中資訊包含有所評估水保構設施樣態現況，對應出處理方式，以及應修繕策略，作為提供個案合適的後續處理與修繕策略的建議參考。另外經由測量數據，將設施的結構特徵（如堤防的坡度、壩體的高度、渠道的形狀等）透過模型生成軟體進行 3D 設施模型生成，並依據收集現場巡檢數據參數，案例中包含磨損與損壞樣態，以語意整合方式投射到設施結構 3D 模型中，成為數位孿生 3D 圖層，並以動態旋轉方式呈現。

步驟三透過 AI 辨識結果生成為數孿生系統個案資訊鏈結增檢測個案連結。在標定個案概要的位置後，系統會自動生成圖面的三軸座標。接著，寫入標題並標註個案連結，即可將該資料生成為 3D 數位孿生，並存儲於頁面中的歷史資料區域。

步驟四使用者經由點擊歷史資料位置，透過資訊鏈結即將

該個案的歷程資料調閱檢視，內容包括現況影像、樣態現況的評估圖像，以及文字說明。操作畫面如下圖 4-40 所示，新增完成後資訊鏈結檢視如下圖 4-41 所示。



圖 4-39 AI 辨識評等結果畫面



圖 4-40 案例載入於 3D 數位孿生管理系統



圖 4-41 個案新增後資訊鏈結檢視

二、與專家討論其可行性

進行專家訪談之目的為透過以水土保持相關專家之試用計畫所創建軟體與訪談，以探討本計畫之可行性及優缺點，綜合專家意見進而得到改善建議並可了解本計畫之效用與可行性，如下表 4-3 所示。專家訪談供三位包含一位水保技師與工程師、兩位水保管理人員，三位均從事水保工作年資達 10 年

以上。

表 4-3 專家訪談意見彙整表

問 項	綜合意見
1 本計畫是否有改善傳統檢測判讀方式	可觀測範圍廣並可克服較險峻的位置，且巡檢面向多面向進行查檢，並由電腦以 AI 方式作為辨識劣化樣態，綜合評估結構現況樣態與程度，對於使用本計畫所提之方法，可加快巡檢過程。並且可自動生成報告，在生成的報告中會提供合適的修繕處理方式，有利於管理者對後續執行的參考建議。
2 視覺化辨識異常樣態類型與評等	依據現場檢測進行擷取專家所需之圖像先以進行影像比對，截取影像進一步異常辨識樣態並分級，有助於巡檢結果判定參考。運用深度學習的辨識成效大幅改善至現場觀察評等的時間與成本成效以及可及性等問題。
3 以數位孿生提升改善人力成本效用	這種 3D 數位孿生的視覺化資訊，有助於降低巡檢實務中的人力成本，並提升作業效能。以往巡檢主要依賴書面報告或紙本記錄，然而，3D 視覺化技術的應用顯著增強了圖像呈現效果。透過影像截取，不僅能精確辨識劣化樣態，還能自動評估結構現況的參考等級。此外，案例可以新增至 3D 數位孿生頁面，便於後續維護時檢視相關資料。此類 3D 數位孿生的視覺化資訊，不僅提升了數據的可讀性和直觀性，還能有效降低巡檢實務中的人力成本，提升作業效能，進一步促進決策的科學性

問 項	綜合意見
	與準確性，確保水土保持設施的長期穩定運行。
4 請對於本計畫之概念與可行性。	本計畫利用影像辨識技術對異常樣態影像進行判定和評估，並依據程度等級生成後續管理建議及新個案檢測資訊。這些資訊將新增至 3D 數位孿生頁面，進一步生成視覺化的歷史個案資料，強化後續針對該區域的狀況 3D 視覺化的檢視。此概念可提供做為防災修復的規劃重要參考資訊。
5 認為本計畫於實務是否仍有改善空間	本計畫的成果已具可行性，且具備實際應用價值。若進一步引入人工智慧技術，用於圖像辨識和自動生成專業檢測報告，將能顯著減少人力巡檢的時間消耗，並提升評估效能。此外，透過視覺化比對不同時期的變化，可更有效運用影像數據，進一步提升管理效能及擴展視覺化應用。這些改進可作為未來研究的參考方向。

根據專家建議，本計畫展示了高度可行性，並為實務應用提供顯著幫助，但仍有改進空間。目前現場巡檢仍需專家實地勘查，主要依賴調查與拍攝記錄資料。然而，現場記錄的文字資訊無法依據構造物的樣態進行量化分級，導致無法即時進行現況分析與評等。

為解決此一問題，本計畫開發了一個以 AI 深度學習的影像辨識架構系統。該系統能透過深度學習解析所拍攝的水保設施影像，對其進行劣化樣態分類與現況評等。研究方法主要包

括利用劣化樣態影像資料進行 AI 訓練，從而自動識別水土保持設施的破壞情況，並結合非接觸式的現況評等方法，使 AI 能應用於水保設施的巡檢管理，從而減少人力和時間成本優化巡檢流程。

此外，本計畫還開發了一個 3D 數位孿生系統，用於視覺化呈現資訊。該系統將自動生成的報告與 3D 數位孿生的視覺化數據整合，不僅將報告整合至 3D 數位孿生平台中，若於災害預警，可經由水保設施巡檢監測技術生成報告建議，如設施現況異常時，能及時提供維護急迫性建議這突破了傳統文字報表的限制，通過 3D 視覺化的方式呈現結果。

經過專家審核後，能更有效地提升資訊化效益，滿足使用者需求。未來計畫將納入不同時期的異常數據，進一步提高影像數據的應用與管理效能，從而持續完善整體系統。

三、小結

本計畫導入數位孿生（Digital Twin）在水保設施，對於圖像收集，針對構造物主體及其表面進行拍攝，可運用空拍、行動裝置、一般相機等取得現場影像，目前各裝置所取得畫素均屬於中高等級影像畫素，均有助於 AI 影像特徵學習與辨識。本計畫藉由 3D 數位孿生的模型建構以及取樣遠、中、近三中距離運用不同的攝影工具，3D 數位孿生的模型以及遠距離主要以空拍機為主，考量高度與範圍廣，手持行動裝置用在中或近距離，主要都過互補取樣以達到影像的擬真及特徵突顯，因此 AI 影像辨識可針對影像中的異常樣態進行分析評等分級。依據現場圖像與相似結構圖透過自動生成 3D 數位孿生模型，運用語意標記對模型進行標註包含所收集與水保相關的數據，

包括位置、尺寸、功能等，將特定的資訊（如維護建議等）與模型的不同部分進行連結，可以使用標籤或註解的方式，並將資訊整合到數位孿生模型中，將分析結果轉化為視覺化圖像和文字訊息，生成詳細的檢測報告。

此外經由本計畫實際運用 3D 圖生成過程發現於擋土設施運用上較呈現上部分限制性，因擋土設施多為以面呈現，因此於轉換成 3D 數位孿生過程中其背面紋理擬真上有顯著落差，因此生成 3D 數位孿生模型紋理效果反而精細度不佳，遜於河道構造物，因此本計畫採用河道構造作為主要成果應用與呈現來探討其可行性。

本計畫導入數位孿生（Digital Twin）在水保設施領域效益主要有以下幾點：

1. 數位孿生可於設計與規劃階段導入數位孿生可以在工程結構或水保設施設計階段進行虛擬模擬，幫助規劃人員可視化工程結構或水保設施物的外觀、結構和功能，促進更高效的設計決策。
2. 監控與維護應用可藉由感測裝置和物聯網技術結合，數位孿生模型能夠實時監控工程結構或水保設施物的狀態，提供即時的樣態，幫助及時發現和解決問題。
3. 可依據常態巡檢歷程作為預測性維護參考，透過數位孿生可以分析水保設施的樣態與評等分級，預測維護需求，數位孿生能夠工程維護程序模擬，協調各方資源，減少浪費，從而降低運營成本，延長設備壽命。
4. 強化協作平台，數位孿生提供了一個共享的平台，讓各個相關者（如管理者、業主和承包商）能夠於協作平台

中作資訊的整合。

5. 防災預警與歷程管理層面應用，災害預警於發生災害前，以數位孿生所提供工程結構或水保設施物的巡檢歷程詳細信息，提醒相關部門進行處理，幫助管理人員快速做出反應，提升安全性。

6. 環境影響評估運用，可利用數位孿生評估不同生產方案對環境的影響模擬，進而制定更可持續的維運策略。

總結，本計畫所研擬數位孿生在水保設施管理，提供了巡檢優化評等過程，以 3D 數位孿生技術鏈結生成報告降低了人力時間與成本，並提供了針對性的修繕策略，最終結果可作為管理單位的重要參考，並進一步提升整體資料的數位化與可視化，從而有助於提高維護和管理的效率。



第五章結論與建議

水土保持設施位置分布廣、數量多及交通可及性低等屬性，藉由探討應用深度學習與電腦視覺於人工坡面構造物體檢的適用性探討，有助於瞭解水保工程構造物現況劣化情形對於整體構造物程度影響，另外所建置的影像辨識系統，包含劣化樣態分類辨識及同步評等分級，並綜合計算評等構造物現況程度如此可有效減少傳統上人力時間與成本。3D 數位孿生視覺化圖像呈現標註與文字資料整合有助於後續巡檢影像紀錄查閱，透過專家訪談評估及分析本計畫之可行性及改善建議，經本計畫整理提出以下結論；

1. 多面向查檢與 AI 評估，本計畫通過多重面向對周邊環境、構造物主體及其表面進行詳細查檢，結合 3D 數位孿生視覺化圖像平台提供了強大的工具，幫助管理人員可視化工程結構或水保設施物的外觀、結構和功能，使水保管理層面上維運更有效能。
2. 本計畫建立的 3D 數位孿生視覺化圖像平台，成功整合了水保構造物設施及其周邊環境的巡檢資訊，系統提升了區域巡檢歷程的視覺化效果，並通過文字生成說明，可使檢閱過程更為直觀和便捷，以強化防災預警資訊的整合。
3. 建立了一套以 AI 為核心的水土保持設施評估機制，並整合維護方案，生成了 3D 數位孿生視覺化檢視平台，實現了 AI 與視覺化管理的結合，有效推動了相關部門和專家的合作，確保每一項水土保持工程都能得到妥善的管理與維護，並使用 AI 辨識改善以往巡檢與評等人力時間與成本的主要目標，最後並透過專家訪談方式檢討本計畫所執行 3D 數位孿生視覺化模式的可行性，以及專家所回饋提供的改善建議做為參考，確保系統能夠更好地滿足實際需求，將進一步提升系統的效能和準確性，持

續優化水土保持設施的管理和維護策略。

後續建議：

1. 實施長期監測計畫，建議建立水土保持設施的長期監測計畫，以便於及時發現問題並進行維護。透過定期巡檢和數據更新，能及早發現潛在的劣化情況，降低未來維護成本。
2. 擴展視覺化應用，探索將 3D 數位孿生技術應用於其他相關領域，如災害預警系統或防災修復的規劃，提升整體資源管理的智能化程度。



參考文獻

1. Alomari, E., Elmir, A., & Alsukour, O. (2018). Predicting the Acceptance of UAV Delivery in Developing Countries: Extending UTAUT2 with Security and Privacy Risk. 2018 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT).
2. Al-Turjman, F., Hassanein, H. S., & Ibnkahla, M. (2018). Connectivity Optimization with Realistic Lifetime Constraints in UAV-Aided Heterogeneous Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 67(5), 4082-4096.
3. Al-Turjman, F., Hassanein, H. S., & Ibnkahla, M. (2018). UAV-Aided Heterogeneous Networks for Public Safety Communications. IEEE Wireless Communications and Mobile Computing, 2018. Link
4. Al-Turjman, F., Hassanein, H. S., & Ibnkahla, M. (2017). Towards Prolonged Lifetime for Deployed WSNs in Outdoor Environment Monitoring. IEEE Access, 5, 27021-27031.
5. Al-Turjman, F., Hassanein, H. S., & Ibnkahla, M. (2017). Connectivity Optimization with Realistic Lifetime Constraints in UAV-Aided Heterogeneous Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 67(5), 4082-4096.
6. Al-Turjman, F., Hassanein, H. S., & Ibnkahla, M. (2017). UAV-Aided Heterogeneous Networks for Public Safety Communications. IEEE Wireless Communications and Mobile Computing, 2018. Link
7. Al-Turjman, F., Hassanein, H. S., & Ibnkahla, M. (2017). Towards Prolonged Lifetime for Deployed WSNs in Outdoor Environment Monitoring. IEEE Access, 5, 27021-27031.
8. Henk Freimuth, Markus König, 2019, A toolchain for automated acquisition and processing of as-built data with autonomous UAVs,

Proceedings of the 2019 European Conference on Computing in Construction.

9. Zhipeng Zhou, A.M.; Javier Irizarry, M.; and Ying Lu , 2018 , A Multidimensional Framework for Unmanned Aerial System Applications in Construction Project Management , Journal of Management in Engineering , Volume 34, Issue 3
10. F. Khan; A. Ellenberg; M. Mazzotti; A. Kontsos , 2018 , Investigation on Bridge Assessment Using Unmanned Aerial Systems , Structures Congress 2015
11. LFang, Y.T. Wang; Y. Du; J.W. Qui; Z.J. Shen; Y.C.Chen; C.H.Kuo, C.Kuo , 2017 , Unmanned Aerial Vehicle for landslide investigation in difficult terrain with low cost relay communication network 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)
12. 呂景羣，應用影像辨識技術於橋梁裂縫之研究，國立中央大學營建管理研究所，2014。
13. 李樹璇，應用 RGB 影像處理模式於辨識地理環境變異之研究，中央大學營建管理研究所學位論文，2012。
14. 王翌瑄，應用影像辨識於淹水範圍之計算，國立台北科技大學土木工程系土木與防災碩士班，2012。
15. 韓佑聰，無人機空拍影像辨識之效率探討，國立屏東科技大學資訊管理系所，2019。
16. Y Guo, Y Liu, A Oerlemans, S Lao, S Wu, MS Lew, 2016, Deep learning for visual understanding: A review, Neurocomputing, Volume 187, 26 April 2016, PP.27-48. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.09.116>
17. Wu Liu, Huadong Ma, Heng Qi, Dong Zhao & Zhineng Chen, Deep learning hashing for mobile visual search, EURASIP Journal on

- Image and Video Processing, volume 2017, Article number: 17 (2017)
18. Jie Dou, Kuan-Tsung Chang, Shuisen Chen, Ali P. Yunus, Jin-King Liu, Huan Xia and Zhongfan Zhu, 2015, Automatic Case-Based Reasoning Approach for Landslide Detection: Integration of Object-Oriented Image Analysis and a Genetic Algorithm Remote Sens. 2015, 7(4), 4318-4342; <https://doi.org/10.3390/rs70404318>
 19. Ali Louati, Hassen Louati & Zhaojian Li, 2021, Deep learning and case-based reasoning for predictive and adaptive traffic emergency management The Journal of Supercomputing, volume 77, pages4389–4418 (2021)
 20. 鐘佩瑋，建構三層式本體論之智慧型診斷系統——以工具機為例，朝陽科技大學，工業工程與管理系，2018。
 21. Liang, Yu Zheng, Chen, Xiaoyan Lu, Yang Sen & Huanchong Cheng, 2021, Digital twin for geometric feature online inspection system of car body-in-white, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Volume 34, 2021 - Issue 7-8
 22. Philipp Kunze, Stefan Rein, Marc Hemsendorf, Klaus Ramspeck, Matthias Demant, 2022, Learning an Empirical Digital Twin from Measurement Images for a Comprehensive Quality Inspection of Solar Cells, Volume 6, Issue 5 Special Issue: EU PVSEC
 23. Voordijk, H., Vahdatikhaki, F. and Hesselink, L., (2023), "Digital twin-based asset inspection and user-technology interactions", Journal of Engineering, Design and Technology, DOI:10.1108/JEDT-03-2023-0121
 24. Slavenko M. Stojadinovic, Vidosav D. Majstorovic, M. Durakbasa, Dusan Stanic, 2022, Contribution to the development of a digital twin based on CMM to support the inspection process, Measurement:

- Sensors, Volume 22, <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100372>
25. Cheng, Jack C. P., Zhang, Jiaying, Kwok, Helen H. L., TongArup Jimmy C. K. 2023, Thermal performance improvement for residential heritage building preservation based on digital twins, Journal of Building Engineering 82(2)
26. 水土保持法，民國 83 年 5 月 27 日公布
27. 水土保持計畫審核監督辦法，民國 93 年 8 月 31 日公布
28. 維基百科，永續發展
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8F%AF%E6%8C%81%E7%B%AD%E5%8F%91%E5%B1%95>
29. 姚字徽、蘇紫婕、黃宏斌，「水土保持工程永續指標評估系統之研究」，水土保持學報 45(1)，民國 102 年。



附錄 期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1	因現地既有構造物多被植被掩蓋，利用 UAV 可能會影響 AI 辨識結果，是否有其他較經濟的黑科技能彌補此不足的部分？	感謝建議，針對現地既有構造物被植被掩蓋而影響 UAV 拍攝和 AI 辨識結果的問題，可以考慮採用多光譜成像技術，利用不同波長的光譜資訊穿透植被覆蓋；或使用熱成像技術，通過檢測物體散發的熱能來區分結構物和植被。多源數據融合也是一個值得考慮的方向，結合 UAV 影像、衛星圖像和地面調查數據可以彌補單一數據源的不足。但是目前遇到的問題主要還是成本高的問題，若未來相關技術成本若下降，可望改善此問題。