

計畫編號：ARDSWC-112-029

水土保持工程構造物延壽評估方法之研究
Enhancing life extension evaluation
method of Soil and Water Conservation
Facilities

執行單位：國立雲林科技大學

執行期間：112年2月8日至112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 112 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考)

水土保持工程構造物延壽評估方法之研究

摘要

本研究計畫旨在探討與制定台灣地區水土保持工程設施的延壽策略。目前，許多台灣的水土保持設施已經超過了五十年的使用壽命，顯示出明顯的老化趨勢。面對經濟的發展和土地使用的增加，以及設施材料的老化，如何確保水土保持設施的功能並延長其使用壽命，成為了當前急需解決的問題。本計畫將延伸水土保持局之水土保持構造物維護計畫的內容提出一套以新興技術為基礎的巡查方法與適合台灣水土保持設施的延壽策略。本研究計畫的具體目的包括：探討如何使用無人飛行器（UAV）和人工智慧（AI）等技術建立防砂構造物的耐久度評估模式，提高對水保設施構造物的巡查和評估效率，選擇最有效的維護方式；建立一套完整的水土保持設施的生命週期管理模型，包括評估機制、最佳維護方案以及案例知識庫，以達成永續經營的目標。本計畫的研究範疇將主要針對使用混凝土材料的水土保持工程設施構造物。透過本計畫將有助於提升水土保持設施的耐久度，保持防災的功能性，並符合公共建設永續經營的宗旨並為公眾的生命和財產提供更多的保障。

關鍵詞：水土保持工程設施；延壽策略；無人飛行器；人工智慧；生命週期管理模型

Enhancing life extension evaluation method of Soil and Water Conservation Facilities

Abstract

This research project aims to explore and formulate strategies for the lifespan extension of soil and water conservation facilities in Taiwan. Many of these facilities in Taiwan have surpassed a service life of fifty years, exhibiting significant signs of aging. With the development of the economy and the increase in land use, coupled with the aging of facility materials, it is crucial to ensure the functionality of these facilities while extending their service life. This project will propose a series of inspection methods and lifespan extension strategies for Taiwan's soil and water conservation facilities based on emerging technologies, building upon the contents of the Soil and Water Conservation Bureau's maintenance plan for conservation structures. Specifically, the goals of this research project include: investigating how to utilize Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Artificial Intelligence (AI) technologies to establish a durability assessment model for anti-sediment structures, enhancing the inspection and assessment efficiency of water conservation structures, and selecting the most effective maintenance methods. The project also aims to establish a comprehensive life-cycle management model for soil and water conservation facilities, which includes assessment mechanisms, optimal maintenance plans, and a case-study database to achieve sustainable operations. The scope of this study will mainly focus on soil and water conservation engineering structures made of concrete. In addition to

formulating and implementing extension strategies, this research project will also construct a framework for a demonstration case-study database of the maintenance management of soil and water conservation structures. Through this project, we hope to enhance the durability of soil and water conservation facilities, maintain their disaster prevention functionality, and align with the objective of sustainable operations in public infrastructure.

Keywords : Soil and Water Conservation Facilities, Lifespan

Extension Strategies, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Artificial Intelligence (AI), Life-cycle Management Model

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 文獻與相關法規探討	2-1
第一節 文獻探討	2-1
第二節 水土保持設施相關法規探討	2-8
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 本計畫已完成項目與成果	4-4
第五章 結論與建議	5-1
參考文獻.....	參-1
附錄 期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-1

表 次

表 3-1 隨機指標 RI 表	3-7
表 4-1 計畫預定進度表	4-3
表 4-2 預測各項指標表	4-20
表 4-3 水保構造物耐久度因子權重	4-32
表 4-4 水保設施耐久度評估內容-(河道淘刷).....	4-33
表 4-5 水保設施耐久度評估內容-(崩塌地).....	4-34
表 4-6 水保設施耐久度評估內容-(土砂(石)淤積)	4-35
表 4-7 水保設施耐久度評估內容-(基礎淘空).....	4-36
表 4-8 水保設施耐久度評估內容-(剝落).....	4-37
表 4-9 水保設施耐久度評估內容-(位移或沉陷).....	4-38
表 4-10 水保設施耐久度評估內容-(磨損).....	4-39
表 4-11 水保設施耐久度評估內容-(裂縫).....	4-40
表 4-12 水土保持設施耐久度檢測評估表	4-42
表 4-13 耐久程度與維護建議表.....	4-46
表 4-14 修復方式相關定義表.....	4-54
表 4-15 異常樣態類型與修繕延壽策略對應表	4-57
表 4-16 專家訪談意見彙整表.....	4-65

圖 次

圖 3-1 影像採集流程圖	3-3
圖 3-2 影像標註框選訓練示意圖	3-4
圖 3-3 計畫整體執行流程圖	3-12
圖 3-3 水保設施耐久度環境影響因子分析流程圖	3-32
圖 4-1 本計畫甘特圖	4-2
圖 4-2 設施管理成本與設施狀況	4-9
圖 4-3 放置參考定位點	4-11
圖 4-4 現場影像收集流程	4-12
圖 4-5 影像標註框選訓練示意圖	4-14
圖 4-6 影像深度學習辨識架構圖	4-14
圖 4-7 影像辨識訓練流程架構圖	4-16
圖 4-8 以沖毀位移樣態示意畫面	4-17
圖 4-9 系統樣態分群分類結果畫面	4-18
圖 4-10 深度學習後自動分類畫面	4-21
圖 4-11 深度學習模型測試	4-21
圖 4-12 本計畫建立深度學習辨識分類訓練系統	4-23
圖 4-13 系統辨識分類異常結果本計畫產出	4-23
圖 4-14 測試校正影像分類圖	4-24
圖 4-15 崩塌樣態群狀態 A 驗證結果	4-25
圖 4-16 崩塌樣態群狀態 B 驗證結果	4-25
圖 4-17 崩塌樣態群狀態 C 驗證結果	4-26
圖 4-18 淤積樣態群狀態 A 驗證結果	4-27
圖 4-19 淤積樣態群狀態 B 驗證結果	4-27
圖 4-20 淤積樣態群狀態 C 驗證結果	4-28

圖 4-21 位移崩毀樣態群狀態 B 驗證結果	4-28
圖 4-22 位移崩毀樣態群狀態 C 驗證結果	4-29
圖 4-23 測試影像分類列表	4-29
圖 4-24 水保設施耐久度影響因子分析流程圖	4-32
圖 4-25 構造物耐久程度評估作業架構	4-43
圖 4-26 周邊環境影像辨識結果	4-48
圖 4-27 構造物現況分析影像辨識結果	4-49
圖 4-28 構造物表面現況影像辨識結果	4-50
圖 4-29 案例一 周邊環境影像樣態辨識結果	4-59
圖 4-30 案例一 構造物現況分析辨識結果	4-59
圖 4-31 案例一 構造物表面現況辨識結果	4-60
圖 4-32 案例一 耐久程度評估結果	4-61
圖 4-33 案例二 周邊環境影像樣態辨識結果	4-62
圖 4-34 案例二 構造物現況分析辨識結果	4-62
圖 4-35 案例二 構造物表面現況辨識結果	4-63
圖 4-36 案例二 耐久程度評估結果	4-64

第一章 緒論

第一節 前言

由於台灣的地理地貌和氣候特性，包括頻繁的降雨、地震和颱風等，導致「水」與「土」的互相影響引發了無數的災害加上人類對土地的密集使用，導致水土流失問題頻繁。為了因應這些混合人為和自然因素引發的災害。為了對抗這些對公眾生命和財產構成威脅的災害，行政院農業委員會水土保持局在台灣的山區實施了大量的水土保持工程。這些工程主要由混凝土組成，通常分布廣泛，數量龐大，規模小而且常常位於交通不便的地方。這些設施的主要目的是在其生命週期內，有效地執行其預定的各項功能，以保護公眾的生命財產安全並減少災害的發生。

然而，這些防災工程結構，如排水系統、洪水控制設施、沉砂設施、邊坡穩定設施和阻土結構等，位於變動不居的自然環境中，長期受到各種潛在危險的影響，例如意外的外部壓力、環境劇變、建材變質和人為破壞等。這些危險可能使結構功能損失、不足以應付現況需求，甚至可能驟然毀壞，威脅到人民的生命和財產，也影響政府的施政表現和國家經濟。水土保持工程設施，如防沙壩、固床工和護岸等，一旦建成，就開始逐漸老化。當豪雨來臨時，洪水會帶著大量的水和砂石，對這些結構造成直接的衝擊。長時間下來，這些結構可能會以各種方式受損，進一步降低其服務水平和壽命。面對這種情況，如何制定適當的維護管理工程策略，將是水土保持領域未來的重要任務。特別是從 2009 年的八八水災可以看到，這些水土保持設施在遭遇突發事件如洪水或颱風的侵襲時，可能會不同程度和方式的受損。過去的做法，常常是對功能衰退的結構進行重建，但在現今政府預算越來越緊縮的情況下，這已經不再是一個

可行的選擇。相反的更應該對現有的舊設施，專注於進行有效的維護管理，並儘可能地延長其使用壽命和維持其功能。

目前，行政院農業委員會明確要求其所屬機構定期或常規進行巡查，並根據規範和實際情況制定巡查計劃進行定期巡察與事件(非定期)巡查並將結果登錄於工程管考系統中。然而，無論是新建的還是老舊的水土保持工程設施，都可能由於災後的自然環境變化和使用時間的推移，出現裂痕、滑動、破裂或其他形式的破壞。因此，如何以科學且經濟的方法，進行有效的評估，並以此為依據提出適時的修復和加強方案，對於確保設施的正常運行，降低公眾的生命財產損失，具有極其重要的意義。

要達到這個目標，需要更有效率與更安全的方法或技術來評估水保設施構造物狀況，了解其不同時期之變化趨勢，並進行必要的維護對策。傳統的水土保持工程巡查方法面臨著許多困難和挑戰。由於台灣的地形地貌往往複雜且地處偏遠，人工巡查不僅費時費力，而且可能存在一定的風險。而且，由於災害的發生和變化具有不確定性，使得巡查工作更加困難。近年來，科技的發展為這一問題提供了新的解決方案。例如，遙感技術和無人飛行器(UAV)技術可以對廣大且地處偏遠的地區進行高效、精確的巡查，並提供視覺化的數據，有助於分析和預測災害的可能性和影響。此外，物聯網(IoT)和人工智慧(AI)技術也可以實現對設施的實時監測，並對數據進行智能分析，以提早發現潛在問題，並制定相應的對策。這些技術還可以對監測數據進行深度分析，提供關於設施損壞情況、可能的危險因素等重要資訊。此外還可以通過機器學習和人工智能技術，對這些資料進行更深度的分析，以預測可能的危險情況，提前進行防範。

同時，我們認為有必要建立一套完整的水土保持構造物生命週期管理模型，該模型應包括：對耐久度現況進行評估的機制；從生命週期成本的角度提出最佳的維護管理方案；並應用知識管理的概念，將這些評估結果和策略建立為案例知識庫。這樣的模型不僅能夠更有效地管理和維護既有的水土保持設施，延長其使用壽命，還能夠提升我們在面臨類似問題時的解決策略，達到永續經營的目的。

總結以上，利用科技手段進行災後評估，有助於更有效地管理水土保持工程設施，並將公眾的生命財產損失降到最低。然而，這些都需要相關部門和專家的努力與合作，以確保每一項工程都能得到妥善的管理與維護。

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。如何維護這些設施的功能並延長其使用壽命，是水土保持相關部門未來必須解決的重要課題。

過去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，並制定一套完整的檢測標準供相關部門參考，以防止設施老化和劣化，並將水土保持設施的管理更加規範化。

依據公共工程委員會 2002 年制定的“公共工程延壽評估作業準則”，“延壽”是一個抽象的名詞，其主要目的是透過各種方法有效地延長設施的使用壽命。因此，本研究的主要目的是定義延壽策略，

並制定一套適合台灣水土保持設施的延壽模式。我們將以水土保持設施的歷史記錄為基礎，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耐久度現況評估為主軸，並考量日後收集資料整合及觀察案例知識庫需要，內容包括水保設施構造物維護管理策略之探討、耐久度(含非破壞性現地檢測)評估作業程序訂定，以及從生命週期成本角度探討水保設施構造物維護管理策略及延壽技術，並建置「水土保持工程設施維護管理示範案例知識庫」等相關工作，以作為未來發展「台灣地區水土保持設施維護管理案例知識庫系統」之雛型，期望能夠提升水土保持設施的耐久度，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. 探討針對水土保持工程的特性，提出水土保持構造物的延壽策略，並以此為依據提出適時的修復和加強方案，以確保水土保持設施的正常運行，降低公眾的生命財產損失。
2. 探討如何利用無人飛行器（UAV）技術和人工智慧（AI）等技術建立防砂構造物耐久度評估模式，提升對水保設施構造物的巡查與評估效率，並選擇必要的維護方式。
3. 建立一套完整的水土保持設施生命週期管理模型，包括評估機制、最佳維護方案，以達成永續經營的目標。
4. 推動相關部門和專家的努力與合作，確保每一項水土保持工程都能得到妥善的管理與維護，進一步將公眾的生命財產損失降到最低。

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適合水土保持工程構造物的延壽評估方式。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。

第二章文獻與相關法規探討

第一節 文獻探討

一、台灣公共工程壽命影響因素分析與延壽策略

台灣地理位置處亞熱帶，四面環海，氣候潮濕多雨，再加上地震、颱風等大小天災頻繁，河川短小急促，洪水土石流屢屢發生，導致構造物容易遭受腐蝕劣化損傷破壞，雖然造成公共工程使用壽命減少之原因很多，然以國內公共工程破損、劣化或服務功能降低諸多案例資料發現，影響國內公共工程使用壽命主要原為腐蝕劣化、地震等破壞作用之天然環境造成外，亦有包含於規劃、設計、施工及維護過程中所涉及之缺失。以橋梁為例，目前主要影響其使用壽命縮短為腐蝕劣化、洪水沖刷與河水下降及地震災害等因素，相對而言，針對上述各項影響原因之延壽技術，例如腐蝕劣化之表面處理、注入及鈹包覆等修補、補強之工法或者洪水沖刷及河水下降之護坦、消能及排樁等工法，已有一定執行水準與具體成效，但是在某些策略或技術應用上仍有些不盡完善，經參考國外公共工程延壽策略、技術及參酌相關工程人員對現行國內延壽環境看法，發現國內公共工程延壽策略或技術推動上仍有些值得改善方向，分別如下

1、公共工程延壽經濟可行性分析：

由上述許多案例顯示，當公共工程遭受外在或人為因素破壞後，經檢測評估後便實施延壽措施，但是延壽評估是以工程人員從工程角度或本身經驗直接判斷，較少從經濟面角度判斷公共工程延壽是否具有延壽價值，例如延壽經費與重建經費比較，或許可利用生命周期成本評估方式對公共工程

延壽經濟可行性作分析。

2、公共工程延壽專業化

公共工程延壽涵蓋範圍甚廣且複雜，需從社會面、經濟面及工程面全盤思考，非單一人力或單位可獨立完成，可成立專業評估小組並視需要外聘專家學者為顧問之方式進行公共工程延壽，同時對相關工程人員也需要有定期教育訓練與培育，方能勝任此項工作。

3、公共工程延壽法規或準則周延

公共工程延壽實施時，所牽涉材料、技術或工法相當廣泛，常因使用情況、工程重要度或環境不同，而有不同選擇，實有需要訂定一套完整性延壽作業準則，作為延壽之參考依據。另一方面，由於工法、材料、技術發展快速或環境變遷，原有法規或規範標準有所不同或不夠完備，也有需要健全法規或規範之內容。

4.公共工程延壽記錄建立

每一項公共工程延壽決策與過程都是寶貴經驗，面對公共工程日趨增加與逐漸老化趨勢，若有一完整公共工程延壽案例記錄，有助於未來任何公共工程延壽，而不是任其從頭摸索與勞心勞力。依照公共工程委員會「既有公共工程延壽評估作業準則(草案)」，延壽評估流程可分為「調查檢測及分析」、「功能性及服務性評估」、「延壽技術與經濟可行性分析」及「延壽執行」等四個階段。

(1)調查、檢測與分析階段：

依照「既有公共工程延壽評估作業準則(草案)」中評估組織及任務評估小組，評估調查、檢測與分析專業技術

是否委外由專業機構執行。並篩選主要檢測對象與欲採行之安全檢測技術，針對主要檢測項目進行詳細調查與檢測分析方法。

(2) 功能性及服務性評估階段：

在調查、檢測及分析階段裡，經過安全檢測後，可以得知環境條件之變化，輔以依據專家評估或客觀事實之界定，可以獲得環境條件影響折減值，計算現存之服務水準與壽命達成率，並據以綜合殘餘功能、民意反應及未來需求等條件研判該設施存續必要性。

(3) 延壽技術與經濟可行性分析階段：

經過檢查階段與安全檢測階段後，可將檢測結果透過服務水準指數以定量之方式呈現並找出最有利之延壽方案與財務面之延壽可行性。

(4) 延壽執行階段：

依照該設施主管機關所核定之評估報告，對延壽評估結果與分析，採取選定之技術工法以執行延壽工程。

二、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 [11]。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[12]。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，最大化網路的连接性。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[13]。在 2017 年，Al-Turjman，Hassanein 和 Ibnekahla 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[14]。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 Ibnekahla（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连接性優化[15]。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，最大化網路的连接性。同樣的，Al-Turjman，Hassanein 和 Ibnekahla（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路框架[16]。Al-Turjman，Hassanein 和 Ibnekahla（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路（Wireless Sensor Networks，WSNs）的壽命[17]。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，異質網路，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。

三、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、安全性和耐久度。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。

在橋樑的檢查過程中，手動檢查的耗時性和可能引發的安全問題，以及主觀結果，已經引起了關注[5,6]。因此，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(例如，參考文獻[7-10])。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[11]，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[12,13]。以 Khaloo 等人的木橋檢查為例，他們對 TLS 和配備不同相機的 UAS 進行了直接比較[14]。他們發現，使用 UAS 可以大大節省時間。在檢查過程中發現的異常情況被儲存在標準化的數據庫系統中，比如德國道路當局使用的 SIB-Bauwerke[15]。然而，這些數據庫系統通常是孤立的應用程序，不允許以一致的方式存儲所有原始數據和提取的信息，並且無法將損壞數據引用到結構的 3D 模型中。評估系統和矩陣通常被用來描述結構的整體狀況。最近，已經開發出狀態管理系統，用來收集一個網絡中所有橋樑的狀態數據[16]。引起人們的廣泛關注。近年來，隨著無人機技術朝向專業高端系統的迅速發展，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。Reagan 等人對基於圖像的裂縫屬性提取的準確性進行了深入的檢驗 [17]。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。

由此可見，不論是對新建或現有的橋樑進行定期的狀態檢查，或是利用先進的技術進行非接觸式的監測，都是維護我們基礎設施的重要工作。然而，這些工作並非易事，需要我們對新興技術持續關注，以確保我們能夠及時應對各種問題，並有效地管理和維護這些橋樑結構。

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，已經被一些最先進的專業領域所採用。這些領域將全畫幅傳感器相機安裝在主動穩定和補償相機支架上，並利用可調整的相機傾斜度來進行橋樑檢查。例如，英特爾 Falcon 8 系統可以實現 180° 的上下傾斜，顯示出巨大的優勢。目前，無人機系統的研究與技術發展主要聚焦於主動防撞和距離鎖定系統上。無人機系統圖像採集的飛行路徑規劃通常基於足夠數量的最低點和傾斜圖像 [28,29,30]。這些圖像數據可以透過無人機在多個視點上的飛行來獲得。然而，進行此類任務時，手動飛行控制和導航的挑戰性相當高，通常需要第二人操作相機才能獲得適合的圖像。正規化空間覆蓋的圖像分佈極為困難，而且，從相同相機姿態拍攝的幾張圖像會在深度估計時引入局部的不確定性。然而，對於大型物體或地形的掃描，無需重新處理複雜的結構細節，可以直接從無人機執行預設飛行任務時所記錄的一組重疊的天底圖像中進行自動表面重建。全球導航衛星系統（GNSS）使得無人機可以沿著一系列的視點自動飛行，從而在整個區域內進行連續而平滑的軌跡掃描。然而，此時的飛行高度和觀察方向通常是固定的，這雖然可以覆蓋到建築物的外牆以及簡單的橋樑，但對於橋樑的複雜測量任務，尤其是橋樑底部的測量，目前仍然存在技術上的困難。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 [31,32]。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 [33]。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。另外，Wu 等人提出了一種質量驅動的泊松引導掃描方法，該方法可以獲得高質量的結果[34]。

目前已有許多領域已採用創新技術，如多傳感器平台和自動化評估，進行如橋樑檢查等工作。這涉及使用英特爾 Falcon 8 系統等裝置，進行 180° 的傾斜攝影。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。

第二節 水土保持設施相關法規探討

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。

一、水土保持設施定義

根據「水土保持法」[3]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[4]。「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发展必須環環相扣，並得予自給自足[5]。

(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)」。[6]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[5]。

(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[9]，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），應定期彙整並送交給水土保持局備查。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 UAV 與搭載攝影機方式進行現場影像蒐集，主要考量 UAV 搭載相機 (drone cameras) 的廣泛應用，再者 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。

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其耐久度影響因素，並發展作為後續整體耐久度

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因素、準則與權重，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德爾菲法 (Delphi Technique) 與 ANP 分析網路程序法 (Analytic Network Process) 等研究工具，具體說明如下：

一、利用 UAV 收集案例現場影像資料

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，現場去取得影像主要目的是透過實際檢視設施或環境，如有呈現異常樣態如有可進行後續特寫拍攝。因此巡檢所檢視的面向也稍有不同，本計畫將探討巡檢過程中影像蒐集方式。

依據目前常見方式有環景影像與紀錄與 3D 影像建置兩種模式型態，一般環景影像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。其次 3D 影像模型建置，主要是針對現場收集照片進行軟體拼接，拼接照片時間高於環景影像作業時間，另針對受損部位寫照進行畫面擷取較為精準。因此 3D 影像模型具有 GPS 定位資訊，可考量用於結構體積較為巨大的水保設施範圍，主要 3D 影像建構圖像較為精準亦適合量測，因此大型設施構造如有位移或異常產生皆對於結構的功能有所影響，可運用該方式去進行巡檢。影像採集程序如下(如圖 3-1)。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。

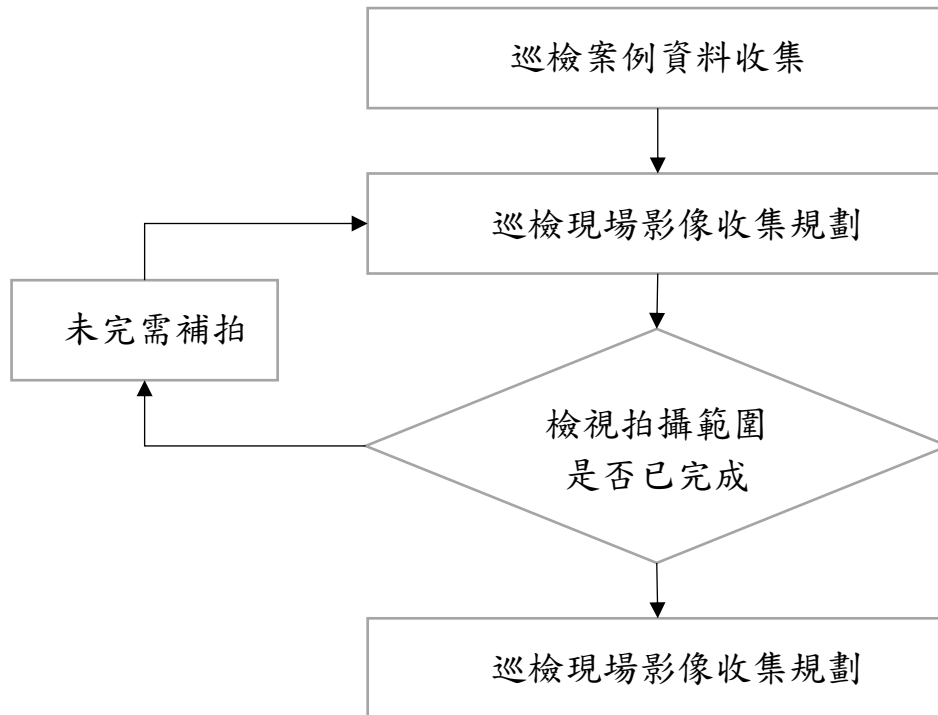


圖 3-1 影像採集流程圖

二、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 3-2 所示。



圖 3-2 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。

三、分析網路程序法(Analytical Network Process)

進行水保設施耐久度評估時，其評估因素對於整體構造物之耐久度影響程度皆為不同。因此，為解決此問題必須透過決策分析工具找出各關鍵評估要素之權重植，方可進行耐久度評估。目前常見為求取評估指標權重之決策分析方法有二，分別是 AHP 分析層級程序法 (Analytic Hierarchy Process) 與分析網路程序法 (Analytic Network Process)。本計畫採用 ANP 主要用意是在於現實生活中的問題時常存在相依(dependence)或回饋(feedback)關係，此時若再使用獨立性假設，最終將使評估結果產生偏差，所以本計畫為避免使用層級分析法 (Analytical Hierarchy Process, AHP)時，若因子間假設完全獨立情況下，其結果最終將產生偏差，故本案在此採以 ANP 法替代。本計劃應用 ANP 之方法操作，與運算水土保持工程設施破壞成因環境面向影響因子分析流程步驟如下(如圖 4-7)：

(一)專家訪談

首先我們利用專家訪談方式，先以德爾菲法收斂專家意見，最後整理出影響水保設施耐久度影響因子。一般來說，ANP 問卷沒有特別限制訪談專家的人數，但是有學者指出不宜過多也不宜過少，依據 Parente and Anderson-Parente 這兩位學者指出，專家人數無須設定上限，但是在整個研究結束前，持續參與的專家成員至少應在十位以上，以環境因素為主要考量，此外，因設施除了受環境因素影響外，尚有構造物本體的因素，本計畫將以目視檢測與非破壞檢測結果以了解該部分對於耐久度部分所佔整體

之比重，而針對非破壞檢測部分所使用之方法將在後面章節說明。第一階段訪談以德爾菲法篩選出影響因子，並使眾專家意見達到收斂後，以環境構面及構造物本體因素構面整合。

一、ANP 問卷

根據第一階段專家訪談所得之結果，設計水保設施破壞因子 ANP 問卷，並以一對一方式請專家填寫其問卷。

二、特徵向量計算

將成對比較矩陣 A 乘以求得之特徵向量 W，得到一個新的向量 W'，如公式 3-1 所示。而 W'之每一向量值分別對應除以原向量 W 之每一向量值，最後將所得之所有數值，求其算數平均數，即可求得 λ_{max} ，如公式 3-2 所示。

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W'_1 \\ \vdots \\ W'_n \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots(3-1)$$

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \left(\frac{W'_1}{W_1} + \frac{W'_2}{W_2} + \dots + \frac{W'_n}{W_n} \right) \quad \dots\dots\dots(3-2)$$

W i 為特徵向量 (e-Vector) ; λ_{max} 為矩陣 A 中的最大特徵值 (e-Value)

三、一致性檢定

ANP 法常採以一致性比率 CR 值做構面檢定，依據 CI 一致性比率值 < 0.1 時，即表示可達到問卷結果一致性計算公式如(3-3)，然而一致性的檢定係根據成對比較矩陣的一致性比率(Consistency Ratio ; CR)進行檢定，而 CR 比率值之運算

公式則如以下公式(3-4)所示：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \dots\dots\dots(3-3)$$

而在 CI 與 RI 值之一致性檢定結果分析上：

當 CI >0, CR >0 時，表示決策者之判斷前後邏輯不一致

當 CI =0, CR =0 時，表示決策者之判斷前後邏輯具完全一致性

若 CI ≤0.1 時，則表示決策者的判斷具一致性。

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots\dots\dots(3-4)$$

CI 表示一致性指標(Consistency Index ; CI)

RI 表示隨機指標(Radom Index ; RI)

建議使用 ANP 法時，其 CI 一致性比率值<0.1 時，即表示檢定結果達到一致性，依據文獻(Saaty，1996)表示一致性檢定之可容許的最大誤差門檻值為比率值<0.2。然而，隨機指標 RI 值則需以成對比較矩陣階數而定，其 RI 值則如表 3-1 所示，在 n 值小於 3 時數值則為 0。經查詢 RI 值後，可根據公式(3-4)進行 CR 值之運算，而 CR 值之檢定門檻值亦為<0.1。

表 3-1 隨機指標 RI 表

<i>n</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>RI</i>	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56	1.57	1.58

(二)超級矩陣運算

分析網路程序法被用以解決此類問題。分析網路程序法針對方案與準則間所存在的相互回饋 (feedback) 和取捨 (trade-off) 關係，運用超矩陣 (supermatrix) 的演算法確認目標、準則和各替選方案的優先權值。

公式 3-5 表示一 ANP 網狀圖，各群組（以 C_h 表示， $h = 1, \dots, n$ ）與其所包含之元素（群組 h 有 m_h 個元素，以 $e_{h1}, e_{h2}, \dots, e_{h m_h}$ ）依序列於矩陣左側與上方，形成一超矩陣以說明元素間之關係和強度。超矩陣中若有空白或 0，則表示群組或元素間彼此相互獨立而無任何交互作用，其最大的好處是可以用來評估內、外部二種不同的相依性。外部為群組與群組間相互影響之關係；內部則發生於同一群組內的各元素間。超矩陣是由數個子矩陣所組成，子矩陣則由元素與元素間彼此相互比對後的特徵向量（e-Vector）所形成。

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_N \\ e_{11} e_{12} \dots e_{1m_1} & e_{21} e_{22} \dots e_{2m_2} & \dots & e_{N1} e_{N2} \dots e_{Nm_N} \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} e_{11} & & & \\ e_{12} & & & \\ \vdots & & & \\ e_{1m_1} & & & \\ e_{21} & & & \\ e_{22} & & & \\ \vdots & & & \\ e_{2m_2} & & & \\ \vdots & & & \\ e_{N1} & & & \\ \vdots & & & \\ e_{Nm_N} & & & \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \dots\dots\dots(3-5)$$

(三)各因子權重值

經由代入超級矩陣後所產生各影響因子權重值得知之後，再進一步排序可以看出各因子間權重值，然而權重值較高也可能為主要的耐久度影響因子。

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，以及土木設施之延壽策略與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

本計劃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 UAV 空拍所拍攝收集的水保構造物設施現場影像，可讓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。

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

水保設施構造物之耐久度，目前尚無統一標準明確定義之，且為瞭解其耐久度為何，仍需仰賴非破壞性檢測技術之使用，而該技術現今大多使用於建築或其它混凝土構造物，並以檢測構造物本身的混凝土強度值與現況破壞程度，協助判斷其耐久度或現況。然而，影響水保設施耐久度因素相當繁多且複雜，若僅以上述方式進行評估，將無法反映整體之耐久度。

水保設施耐久度(含非破壞性現地檢測)評估模式之建立，由於現今的巡檢檢測過程中，水保構造物設施部分細節無法做進一步的探究，因此本計畫將非破壞性檢測機制整合成 AI 深度學習影像辨識，達成巡檢時間快速為主要考量，並依評等結果進行耐久度分級。

步驟五

最後以水保構造物設施生命週期維護及延壽技術進行探討經過耐久檢測階段後，可將檢測結果透過耐久程度指數以定量之方式呈現，並可透過分數評估其服務狀態，若其服務狀態尚可達到一定的設定之水準則進行延壽處理；則考量修補、修護處理之需求。在生命週期成本分析方面，利用新建與延壽方案相互比較與評估，進而找出最有利之延壽方案與較為經濟延壽可行性。提供一個系統化的成本分析機制，有助於水保構造物延壽評估流程的順利進行，主要內容可分為首先彙整出明確的延壽主要分析項目，分別為「環境現況」、「耐久度指標」、

與「構造物表面檢測」等三個主要項目，再依據上述之耐久度所落於的區間分析項目，將生命週期成本分析流程分為兩個主要階段，依序為「延壽需求評估」與「生命週期成本策略分析階段」，作為決策者進行延壽計畫的成本分析決策

步驟六

本計畫架構實際可用性，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 3-3 所示：

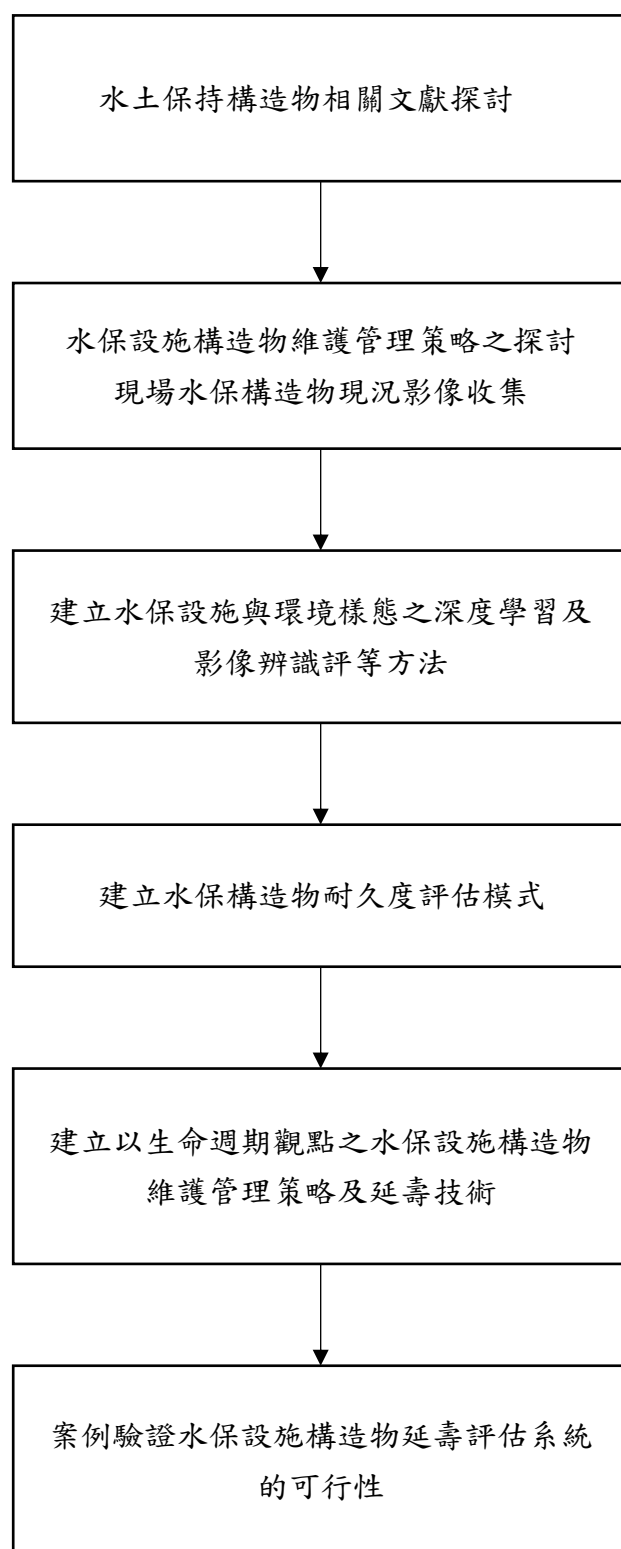


圖 3-3 計畫整體執行流程圖

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. 專案準備；
2. 水保設施構造物維護管理策略之探討；
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. 水土保持工程構造物耐久度評估模式建立；
5. 建立以生命週期觀點之水保設施構造物維護管理策略及延壽技術；
6. 以案例驗證水保設施構造物延壽評估系統的可行性；
7. 成果報告撰寫。

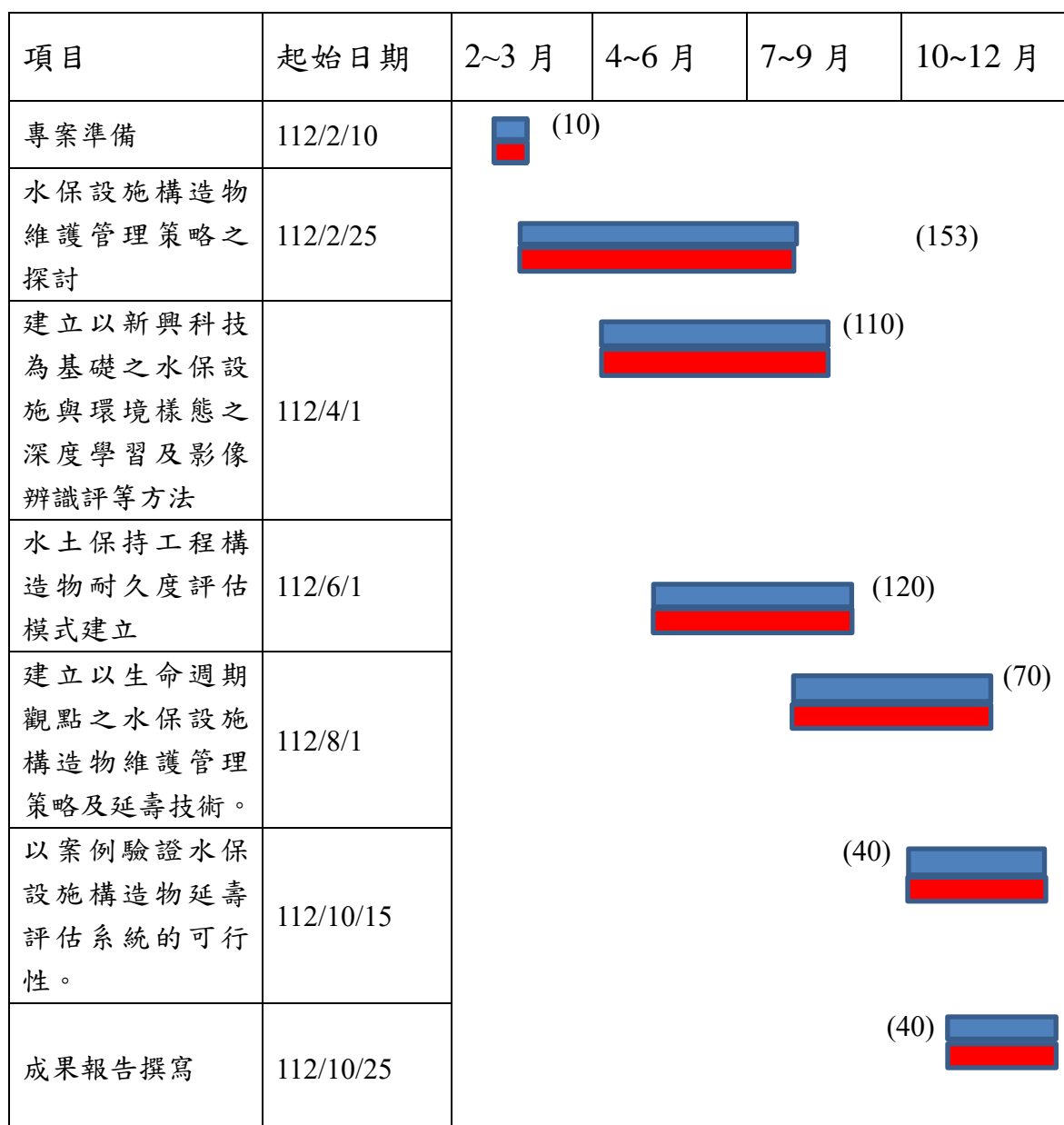


圖 4- 1 本計畫甘特圖

表 4-1 計畫預定進度表

重要工作項目	工作比重%	預定進度	112				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	20%	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。	30%	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	
建立水保設施構造物非破壞檢測模式與水保設施耐久度評估模式	30%	工作內容		耐久度評估指標之建立與分級	耐久度檢測評估作業程序		
		累計百分比		50	100	100	
建立以生命週期觀點之水保設施構造物維護管理策略及延壽技術	10%	工作內容			水保設施維護策略及延壽技術	延壽評估與維護策略擬定	
		累計百分比			50	100	
以案例驗證水保設施構造物延壽評估系統的可行性。	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 本計畫已完成項目與成果

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. 水保設施構造物非破壞檢測模式與水保設施耐久度評估模式建立。
3. 建立以生命週期觀點之水保設施構造物維護管理策略及延壽技術。
4. 以案例驗證水保設施構造物延壽評估系統的可行性。

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延壽生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成本效益分析，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。例如，管理成本、使用者成本及道路狀況之間的關聯可以參照圖 4-2。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，平衡管理成本與使用者成本，並找出一個平衡點是這個階段的重要任務。同時，我們在策略規劃中也必須要考慮預算與維護技術的限制。除此之外，維護計畫的編制，包含各維護單元的維護時間、維護方式與資源分配，以及巡查計畫與維護績效考核等，也需根據我們所訂定的維護管理策略在這個階段進行規劃。

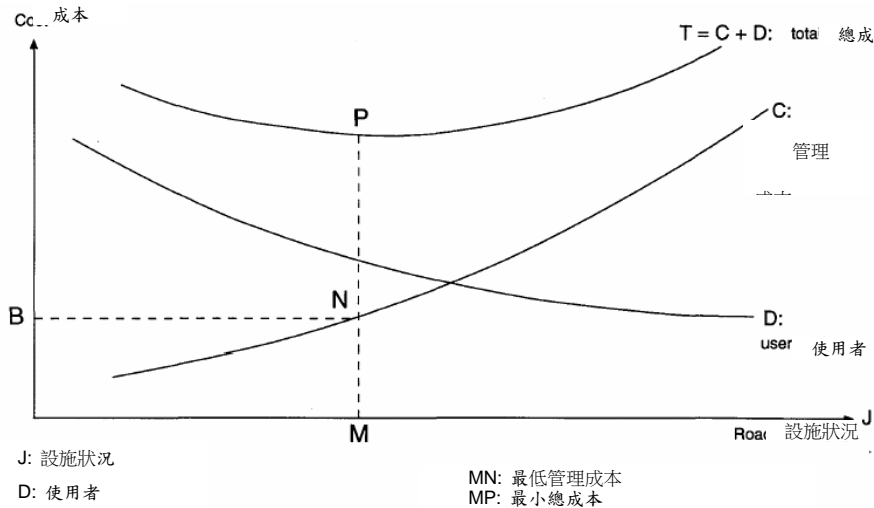


圖 4-2 設施管理成本與設施狀況（OECD 1994）

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。由於維護工程的總體困難度比傳統的新建工程高，未來需要制定相關的法規來執行維護管理工程的採購作業，包括投標、決標、驗收以及保固（包含品質控制和品質確認）。

在監測作業方面，目前國內的水土保持構造物設施維護管理並未有一個標準的功能指標(Condition Index, CI)。由於缺乏標準功能指標，各個水土保持構造物維護管理的主辦機構和區段在進行巡查作業時，標準不一，並且各個水土保持構造物維護單位為節省其巡查資源而簡化監測作業，這使得生命週期維護管理的實施上缺少設施過去可靠的維護管理資訊。在績效評估方面，應依據策略規劃階段研擬之水土保持構造物維護管理績效評估原則，分析各水土保持構造物維護管理工程之成本效益，探討各水土保持構造物維護管理工程之品質及其執行成效，並與水土保持構造物維護管理績效評估原則作差異分析，回饋修正其績效評估原則。

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）之防砂構造物耐久度評估模式。

(二)水保設施構造物非破壞檢測模式與水保設施耐久度評估模式建立

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 4-3 所示。蒐集程序如圖 4-4 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 4-3 放置參考定位點

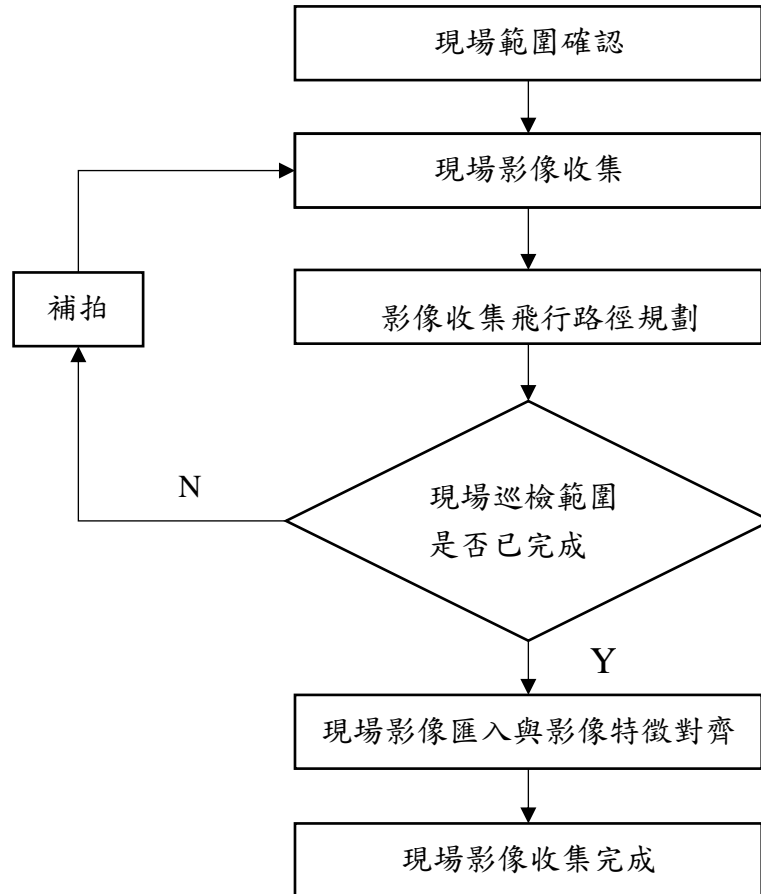


圖 4-4 現場影像收集流程

(三)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。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，以建立起二元的分類，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 4-5 所示。



圖 4-5 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 4-6 所示。

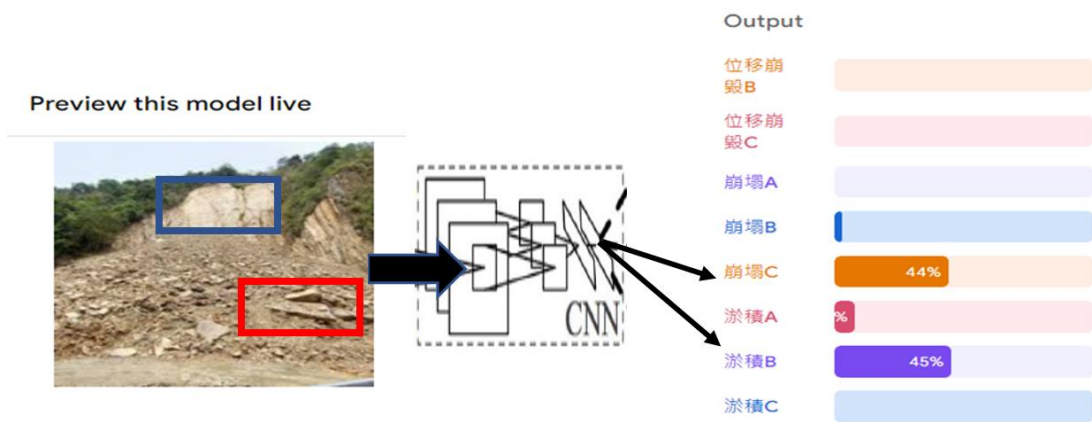


圖 4-6 影像深度學習辨識架構圖

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 4-7 所示。

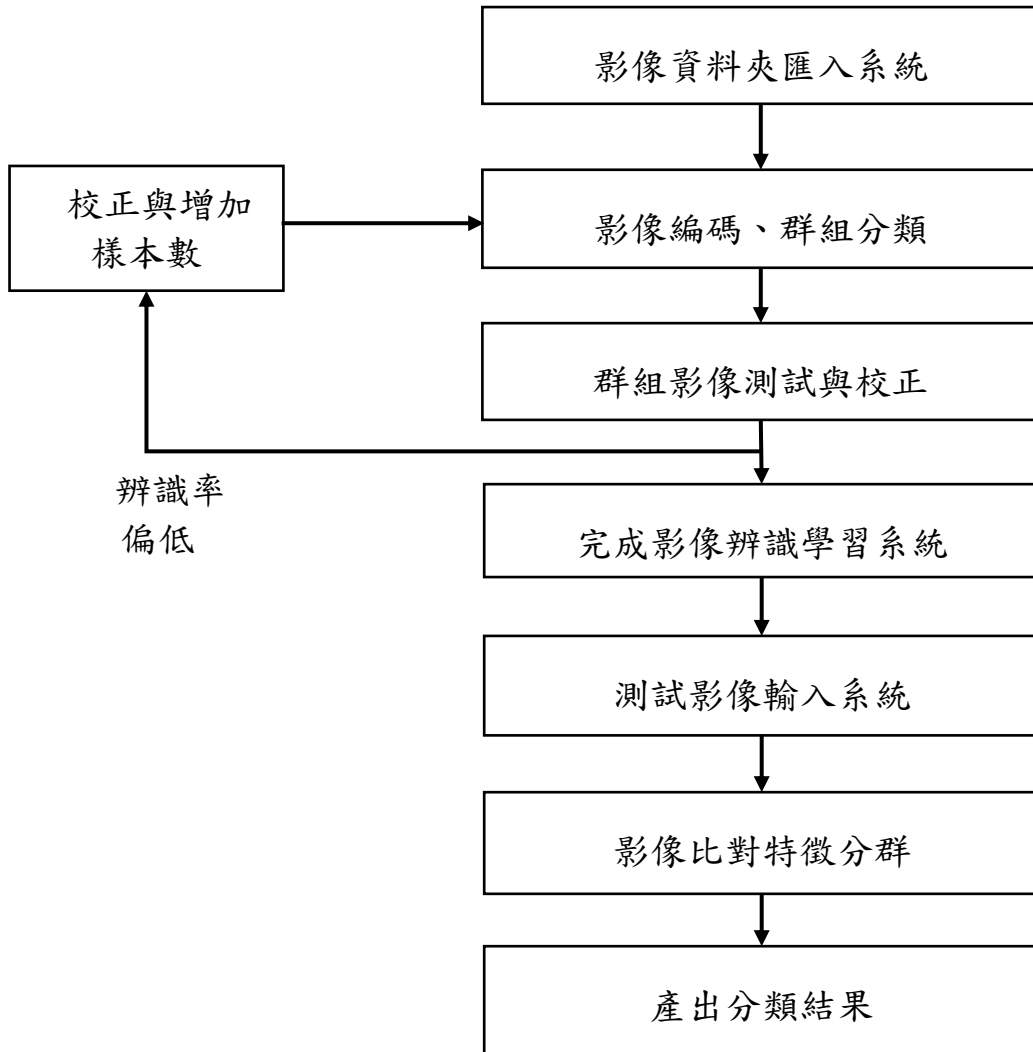


圖4-7 影像辨識訓練流程架構圖

首先將進行水保異常各樣態類型影像收集，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 4-8 所示。

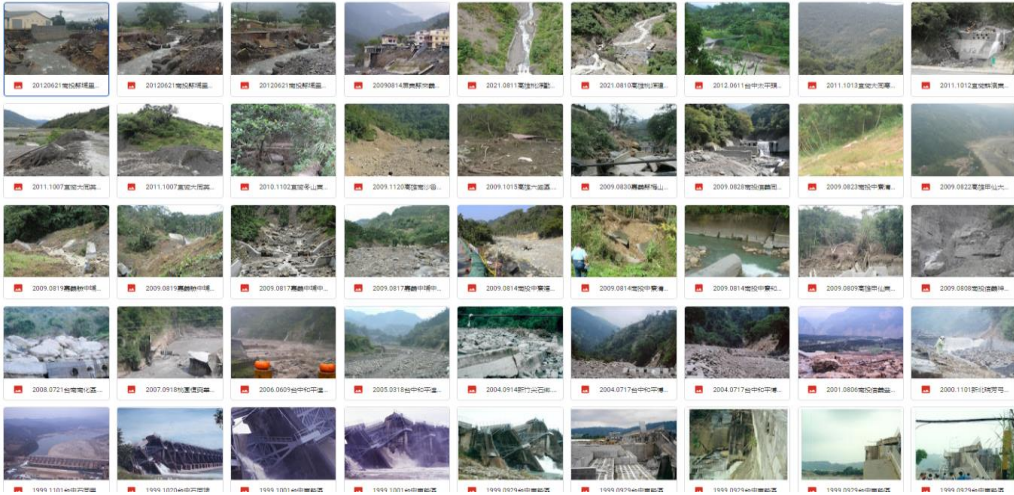


圖4-8 以沖毀位移樣態示意畫面

2. 異常樣態分類深度學習校正

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 4-9 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	河壩淤積	DJI_0028	DJI_0028.JPG	4945640	4000	3000	0.07
2	河壩淤積	DJI_0029	DJI_0029.JPG	5235465	4000	3000	0.27
3	河壩淤積	DJI_0067	DJI_0067.JPG	5202532	4000	3000	0.30
4	河壩淤積	DJI_0076	DJI_0076.JPG	5222478	4000	3000	0.27
5	河壩淤積	DJI_0077	DJI_0077.JPG	5023716	4000	3000	0.18
6	河壩淤積	DSCN2131	DSCN2131.JPG	1023513	2592	1944	0.18
7	河壩淤積	DSCN2132	DSCN2132.JPG	1098475	2592	1944	0.10
8	河壩淤積	DSCN2133	DSCN2133.JPG	1132134	2592	1944	0.34
9	河壩淤積	DSCN2134	DSCN2134.JPG	1077723	2592	1944	0.08
10	河壩淤積	DSCN2135	DSCN2135.JPG	1065354	2592	1944	0.16
11	壩體位移崩毀	DSCN2136	DSCN2136.JPG	1051224	2592	1944	0.08
12	壩體位移崩毀	DSCN2137	DSCN2137.JPG	1058792	2592	1944	0.12
13	壩體位移崩毀	DSCN2138	DSCN2138.JPG	1138902	2592	1944	0.11
14	山體崩塌	DSCN2139	DSCN2139.JPG	1089502	2592	1944	0.07
15	河壩淤積	DSCN2140	DSCN2140.JPG	1101778	2592	1944	0.14
16	壩體位移崩毀	DSCN2141	DSCN2141.JPG	1032562	2592	1944	0.28
17	河壩淤積	DSCN2142	DSCN2142.JPG	1095271	2592	1944	0.35
18	壩體位移崩毀	DSCN2144	DSCN2144.JPG	1114515	2592	1944	0.24
19	河壩淤積	DSCN2145	DSCN2145.JPG	938825	2592	1944	0.63
20	河壩淤積	DSCN2146	DSCN2146.JPG	1069231	2592	1944	0.06
21	河壩淤積	DSCN2147	DSCN2147.JPG	1108905	2592	1944	0.23
22	河壩淤積	DSCN2149	DSCN2149.JPG	1134324	2592	1944	0.15
23	河壩淤積	DSCN2150	DSCN2150.JPG	1133917	2592	1944	0.14
24	河壩淤積	壩子壩結構比對1	壩子壩結構比對...	362791	1266	712	0.03
25	河壩淤積	壩子壩結構比對2	壩子壩結構比對...	355210	1266	712	0.05

圖 4-9 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 4-10 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 4-11 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 4-4 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。

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

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

$0.9 \leq AUC \leq 1.0$ (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。

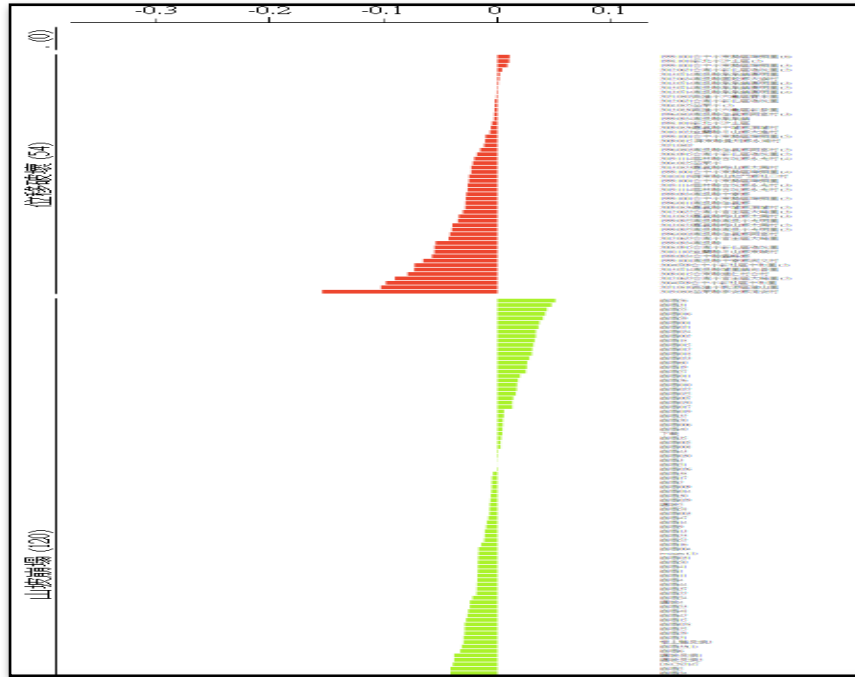


圖4- 10深度學習後自動分類畫面

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- 11 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進函式，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 4-12 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 4-13 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，因該部分有兩種樣態存在，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。

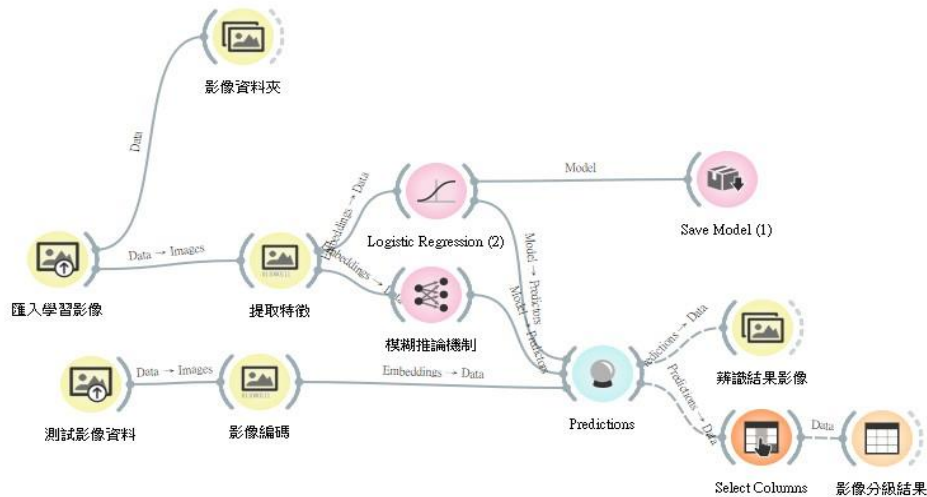


圖 4-12 本計畫建立深度學習辨識分類訓練系統

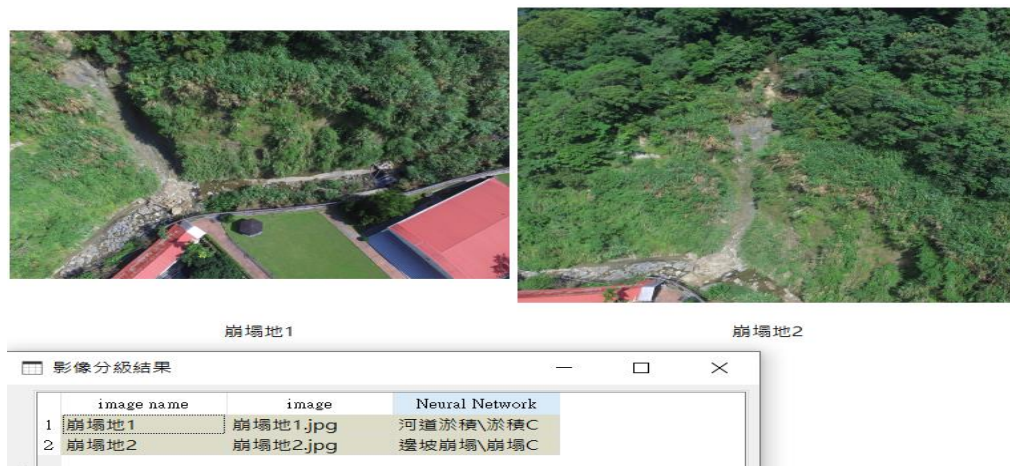


圖 4-13 系統辨識分類異常結果本計畫產出

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 4-14 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

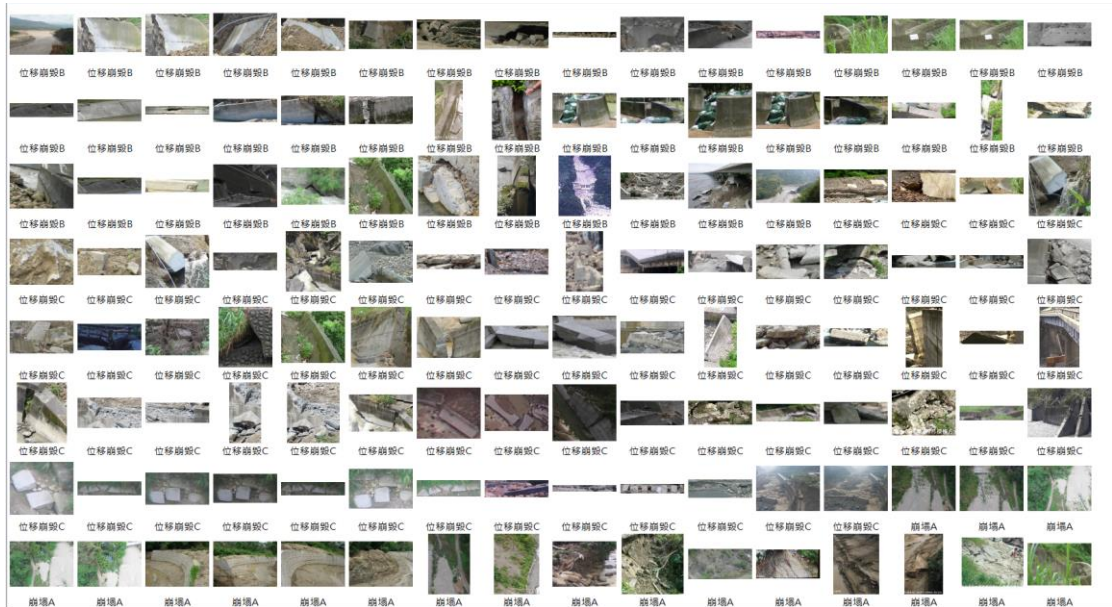


圖 4- 14 測試校正影像分類圖

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。

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

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

$0.9 \leq AUC \leq 1.0$ (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 4-15 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 4-16 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 4-17 所示。

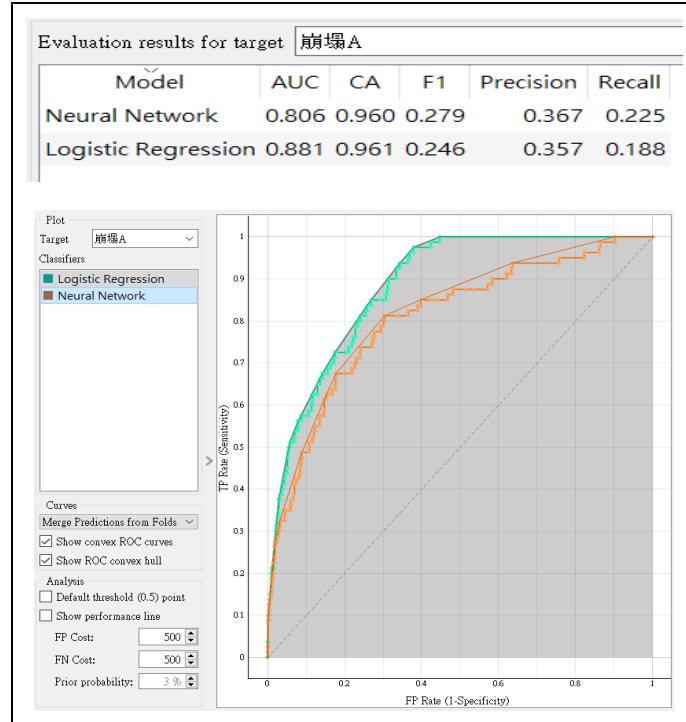


圖 4- 15 崩塌樣態群狀態 A 驗證結果

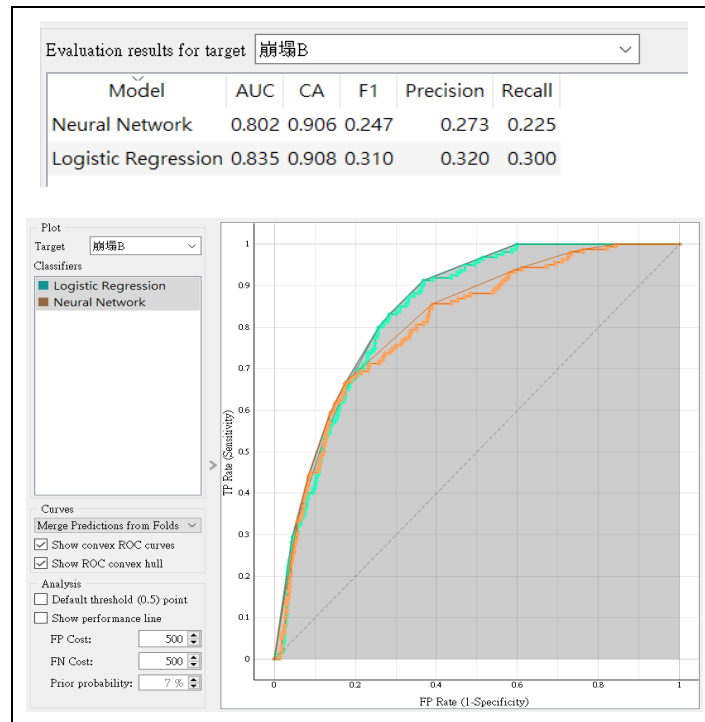


圖 4- 16 崩塌樣態群狀態 B 驗證結果

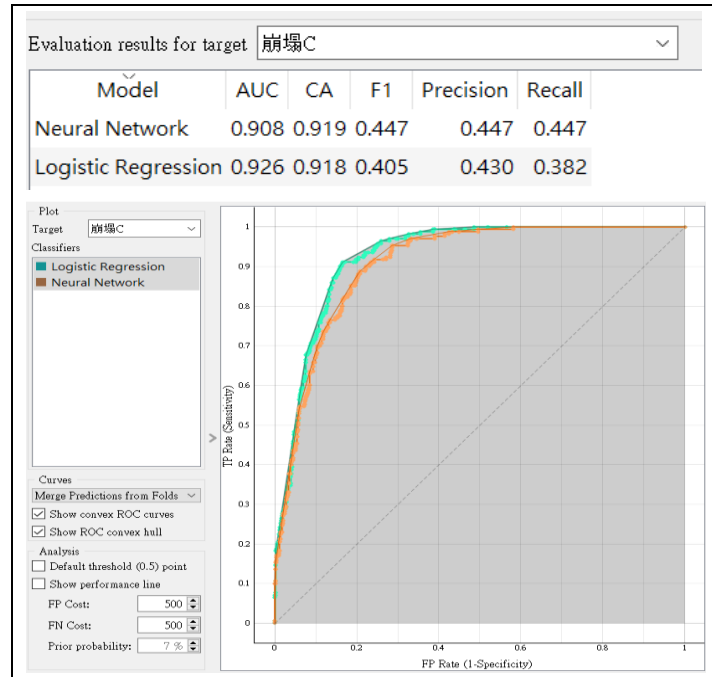


圖 4-17 崩塌樣態群狀態 C 驗證結果

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 4-18 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 4-19 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 4-20 所示。

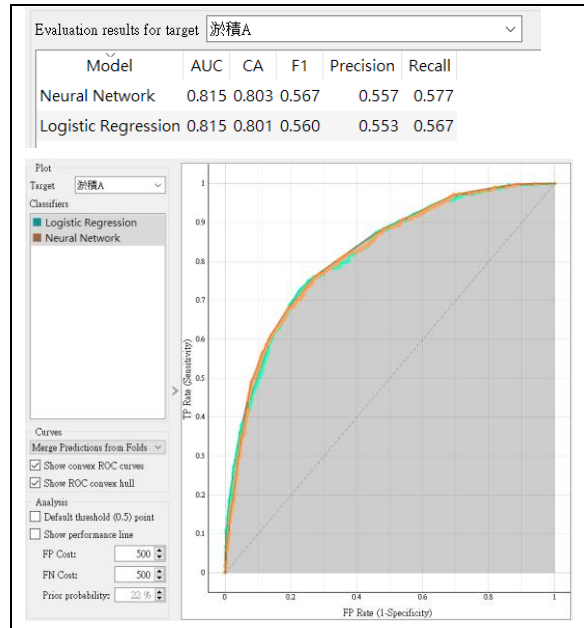


圖 4- 18 淤積樣態群狀態 A 驗證結果

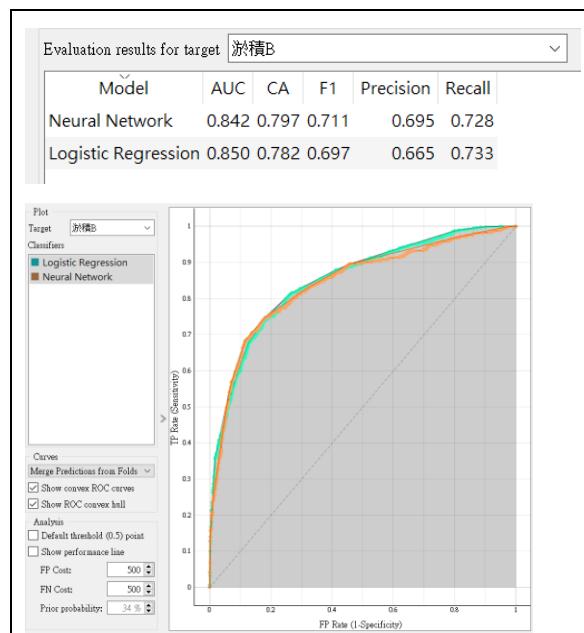


圖 4- 19 淤積樣態群狀態 B 驗證結果

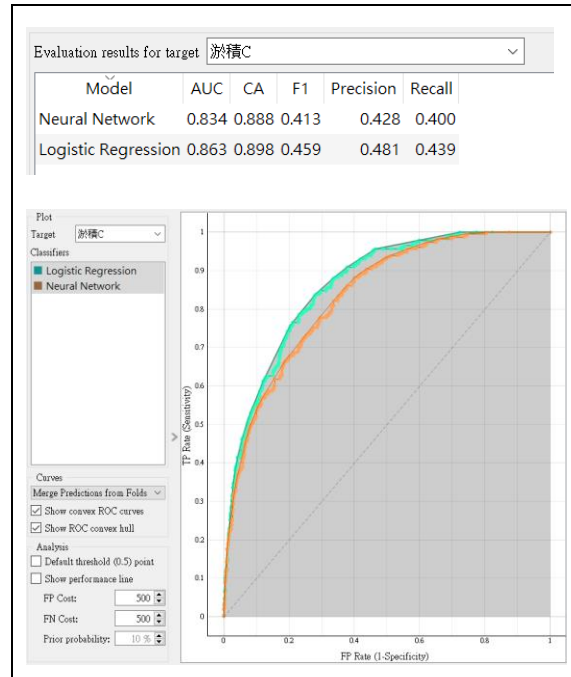


圖 4- 20 淤積樣態群狀態 C 驗證結果

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 4-21 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 4-22 所示。

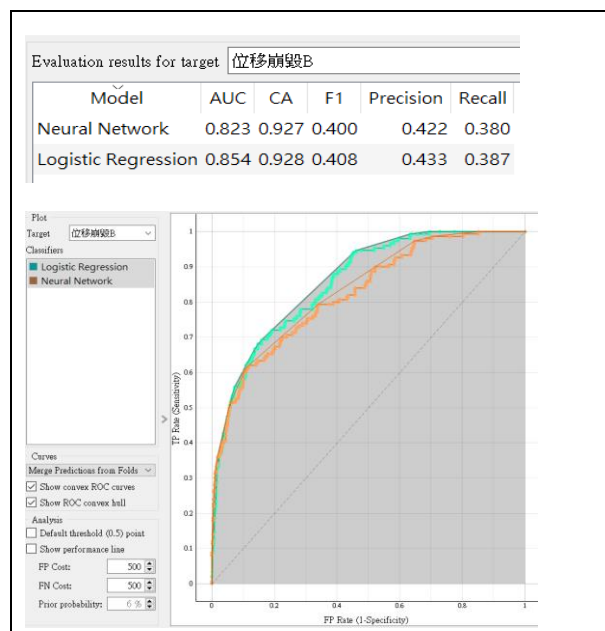


圖 4- 21 位移崩毀樣態群狀態 B 驗證結果

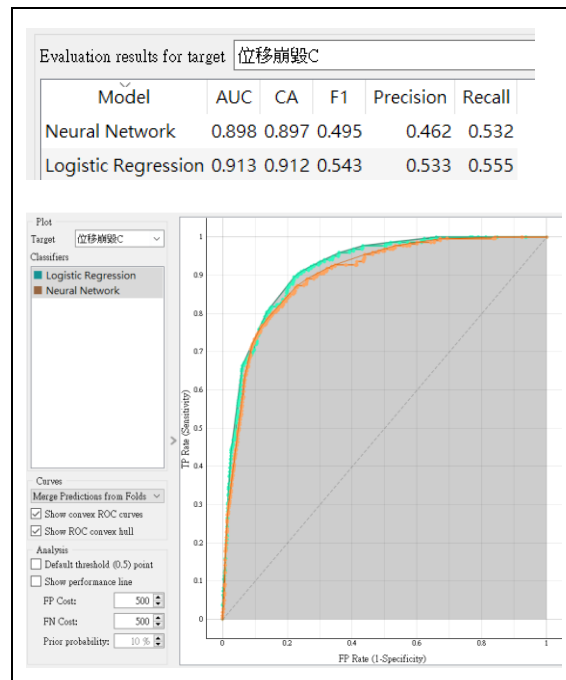


圖 4-22 位移崩毀樣態群狀態 C 驗證結果

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 4-23 所示。



圖 4-23 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。

(四) 水保設施耐久度影響因子分析

進行水保設施耐久度評估時，其評估因素對於整體構造物之耐久度影響程度皆為不同。因此，為解決此問題必須透過決策分析工具找出各關鍵評估要素之權重值，方可進行耐久度評估。目前常見為求取評估指標權重之決策分析方法為分析網路程序法 (Analytic Network Process)。

本計畫採用 ANP 主要用意是在於現實生活中的問題時常存在相依(dependence)或回饋(feedback)關係，此時若再使用獨立性假設，最終將使評估結果產生偏差，所以本計畫為避免使用層級分析法 (Analytical Hierarchy Process, AHP) 時，若因子間假設完全獨立情況下，其結果最終將產生偏差，故本案在此採以 ANP 法替代。本計畫應用 ANP 之方法操作，與運算水土保持工程設施破壞成因環境面向影響因子分析流程如圖 4-24 所示，ANP 方法的操作步驟包括：首先，收集並整理文獻中的因素，並通過專家訪談篩選主要因子並判斷其相互關係。接著，根據訪談結果設計 ANP 問卷，分析問卷得出的權重關係，並製成對比較矩陣。然後，計算指標間的特徵向量，並利用一致性指標和一致性比率進行構面檢定，若未達一致性則需進行修正。最後，透過超級矩陣評估內外部的相依性，瞭解獨立或相依關係並得出各因子間的權重。本計畫採用分析網路程序法的步驟如下：

1. 專家訪談: 利用德爾菲法收集專家意見, 並整理出影響水保設施耐久度的因子。訪談專家人數參考 Parente 和 Anderson-Parente 的建議, 保持在十位以上。此外, 我們也將進行目視檢測和非破壞檢測以瞭解構造物本體因素對耐久度的影響。
2. ANP 問卷: 根據訪談結果設計問卷, 專家以一對一方式填寫。
3. 特徵向量計算: 通過成對比較矩陣與特徵向量的運算, 計算出最大特徵值 λ_{\max} 。
4. 一致性檢定: 利用 CI 和 CR 值進行檢定, 若 CI 和 CR 均為 0, 代表完全一致。CI 值若 ≤ 0.1 , 則判斷具一致性。依據 Saaty 的建議, 當 CI 值 < 0.1 時, 可以認為達到一致性。
5. 超級矩陣運算: 利用超級矩陣處理目標、準則和各替代方案的相互影響關係, 確定其優先權值。
6. 各因子權重值: 代入超級矩陣後得出各影響因子的權重值, 權重較高的因子可能是主要影響耐久度的因素。

水保設施耐久度評估因素與方法

由於影響水保設施耐久度因素相當繁多且複雜, 故本計畫首先透過文獻回顧與專家訪談, 並以德爾菲法收斂專家意見, 歸納整理出環境現況、構造物現況評估、構造物表面耐久度現況評估因素, 依據 9 項關鍵評估因素與準則, 以 ANP 分析網路程序法及回饋方式以專家訪談酌已調整部分之權重值, 計算求取出這些評估因素對於水保設施耐久度的相對影響權重。水保設施整體耐久度評估架構如圖 4-24 所示, 下面將逐一說明。經由蒐集水土保持工程設施破壞樣態文獻與實地探查研究結果, 將其歸納, 並以環境因素與現況因素為主要考量影響因子共有以下以個子項之權重值, 如下表 4-3 所示:

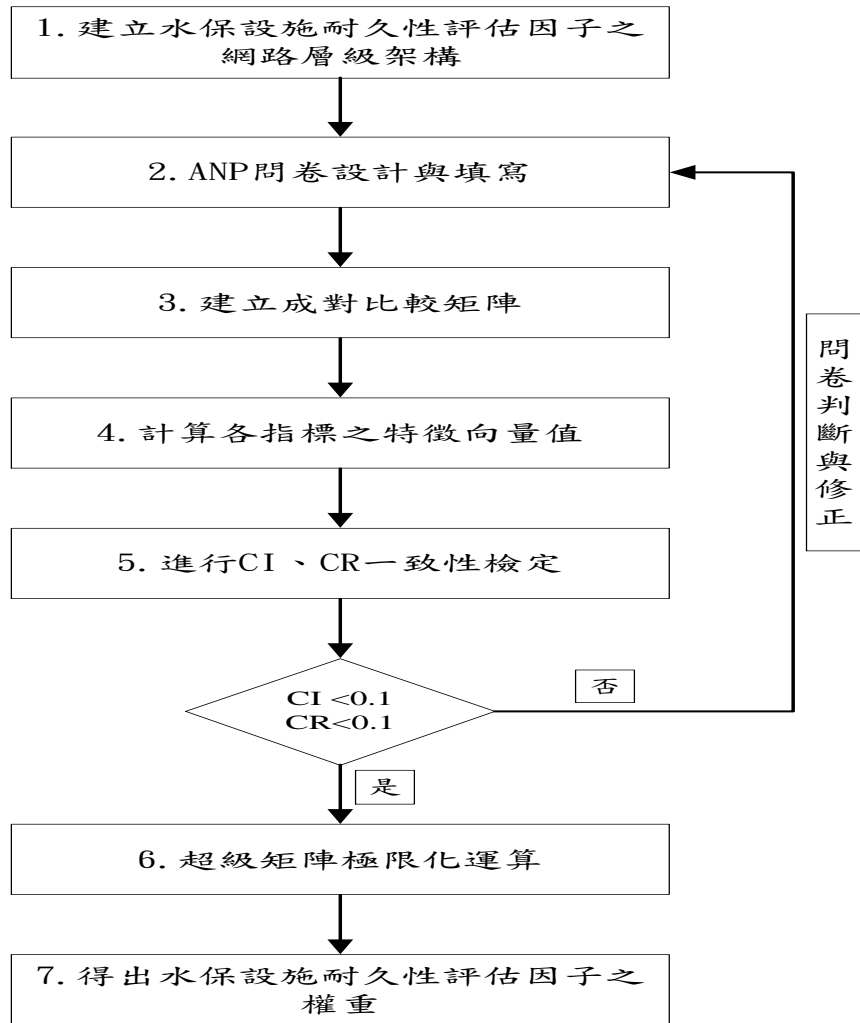


圖 4-24 水保設施耐久度環境影響因子分析流程圖

表 4-3 水保構造物耐久度因子權重

項 目		權重	
環境現況 (AI 影像辨識)	30	植被不佳	15
		崩塌地	15
現況非破壞性分析 (AI 影像辨識)	55	土砂(石)淤積	15
		淘空	5
		剝落	10
		位移或崩毀	25
構造物表面耐久度現況	15	裂縫	5
		磨損	10

1. 水保設施周邊環境現況

(1) 植被現況

植被是地球表面所覆蓋的植物的總稱。它是一個植物學、生態學、農學或地球科學的名詞。植被兩個字拆開來說就是以植物來形成的鋪蓋面，指的是同一個時間，相同地區共同生長在一起的植物。代表植被評估面對邊坡崩塌之影響係因坡面，除會導致邊坡土石滑落外，也容易造成水土保持工程設施周圍產生不同程度的劣化現象，進而造成設施服務性能與耐久度降低。

表 4-4 水保設施耐久度評估內容-(河道淘刷)

評估因素	權重	準則
植被不佳	15	□無此樣態(0)□A 級(0.3)□B 級(0.7)□C 級(0.1)

資料來源:本計畫整理

本計畫是以美國農業部林務署所發展之溪流穩定評估法(USDA Forest Service, 1975)作為判定設施所處位址，其植被現況等級，其評估準則之判定方法，採現場影像透過 AI 深度學習自動辨識判定，其標準如表 4-9 所示，分別如下：

無此樣態：意即該地區植被良好樣態。

潛勢狀態：將欲進行植被現況樣態評估區分為 A 級(低潛勢)、B 級(中潛勢)、C 級(高潛勢)三個等級，即可依查詢結果作為判定標準。

(2) 崩塌現況

崩塌，係指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，並且依其所運動之方式、材

料組成、以及移動速度的不同，所以有許不同的分類，惟至目前尚無統一之分類標準。因此，目前因上述現象所發生之地區，常因其特殊性而有不同之稱謂或分類，包括山崩、落石、崩坍、地滑等名詞。總括來說，要是發生此現象之地區，即稱之為崩塌地，評估內容如表 4-5 所示。

台灣地區因其地理條件特殊，致使有大範圍的崩塌地，並且依其特性與規模有不同的防治工程，但是每當災害發生後，這些興建於此之水土保持工程設施，將有可能會因發揮其功能而降低其耐久度，或是服務年限終止。

表 4-5 水保設施耐久度評估內容-(崩塌地)

評估因素	權重	準則
崩塌地	15	□無此樣態(0)□A 級(0.3)□B 級(0.7)□C 級(0.1)

資料來源:本計畫整理

崩塌地資料查詢辦法，以及本計畫評估準則之判定標準如表 4-8 所示，說明如下：

無此樣態：意即該地區無崩塌地樣態。

潛勢狀態：將欲進行崩塌地樣態現況評估區分為 A 級(低潛勢)、B 級(中潛勢)、C 級(高潛勢)三個等級，即可依查詢結果作為判定標準。

多仍是以該地區周遭保全對象為主要考量。而本計畫係興建於該地區之設施周邊，是否有崩塌現象之發生，進而使得水土保持工程設施服務性能與耐久度降低，故應以其發生之等級為主。

2. 構造物現況分析

主要是針對構造物現況如外觀、保護層厚度等進行判斷，如外觀是否造成局部的剝落，則以該構造物現況外觀及形體進行判斷，透過 AI 深度學習自動辨識，目前的樣態是否所帶來對自身功能影響程度，如果影響程度越嚴重所給予分數越低，影響程度越低給予分數則越高。綜合常見的損壞樣態有土砂淤積、淘空、剝落、位移或沉陷。

(1) 土砂(石)淤積

水土保持工程設施興建之目的為抑制土砂運動或攔阻土砂，並有效阻滯水流、涵蓄水源等，故土砂淤積現象可視為設施發揮其原始設計功能，但若淤積情況致使設施無法發揮其原始設計功能，則應予以適時清除淤積。

表 4-6 水保設施耐久度評估內容-(土砂淤積)

評估因素	權重	準則
土砂(石)淤積	15	□無此樣態(0)□A 級(0.3)□B 級(0.7)□C 級(0.1)

資料來源:本計畫整理

針對土砂(石)淤積，國內目前對此多是採河道上游土石堆積或水流含沙量，對防沙壩、梳子壩等進行預估土砂(石)攔阻量，惟其是針對設施最終所攔阻之數量，且尚須進行嚴謹之計算分析，無資料庫可供查詢，也無法判定其淤積之潛勢等級，故本計畫對此仍是採美國農業部林務署所發展之溪流穩定評估法(USDA Forest Service, 1975)作為判定設施所處位址，其砂(石)淤積等級，其評估準則之判定方法，採現場目視判定且配合集水區規畫調查報告，其標準如表 4-10 所示，分別如下：

無此樣態：意即構造物設施所處之該河道級配良好，緊密堆積。

A 級(輕微)：意即構造物設施位處河道之溪床質，中等程度緊密堆積。

B 級(中等)：意即構造物設施位處河道之溪床質排列較鬆無重疊。

C 級(嚴重)：意即構造物設施位處河道之溪床質顆粒鬆散，易被搬運。

(2) 淘空

淘空係指設施構造物基礎水流之淘刷，所造成構造物之基礎裸露，如已發現基礎淘空現象且未加以處理者，將致使該現象惡化，且將危及構造物本身之穩定性、安全性與耐久度。

表 4-7 水保設施耐久度評估內容-(基礎淘空)

評估因素	權重	準則
淘空	5	□無此樣態(0)□A 級(0.3)□B 級(0.7)□C 級(0.1)

資料來源:本計畫整理

國內現行針對基礎淘空現象所採之補強方式，若是輕微，多數皆未進行，亦或是採混凝土填補之方式，採 AI 深度學習自動辨識設施劣化範圍進行判定，其評估準則之判定標準如表 4-16 所示，分別如下：

無此樣態：意即構造物設施無淘空之現象。

A 級(輕微)：意即構造物設施之淘空狀態，對設施服務性能有輕微影響。

B 級(中等)：意即構造物設施之淘空狀態，對設施服

務性能有中等影響。

C 級(嚴重)：意即構造物設施之洶空狀態，對設施服務性能有嚴重影響。

(3) 剝落

水土保持設施可能因長期受環境或施工品質等各種損壞因素，造成設施表面出現剝落的損壞現象，導致設施結構體減少或失去設計之功能，稱之為剝落。且該現象容易使腐蝕物質進入混凝土內部，減少其耐久度。

表 4-8 水保設施耐久度評估內容-(剝落)

評估因素	權重	準則
剝落	10	□無此樣態(0)□A 級(0.3)□B 級(0.7)□C 級(0.1)

資料來源:本計畫整理

本計畫主要是採 AI 深度學習自動辨識設施劣化範圍進行判定，其評估準則之判定標準如表 4-12 所示，分別如下：

無此樣態：意即設施表面混凝土骨材剝落無影響。

A 級(輕微)：意即構造物設施之表面混凝土骨材剝落影響程度為輕微狀態。

B 級(中等)：意即構造物設施之表面混凝土骨材剝落影響程度為中等狀態。

C 級(嚴重)：意即構造物設施之表面混凝土骨材剝落影響程度為嚴重狀態。

(4) 位移或沉陷

位移係指設施因地震、側向土壤壓力推擠、河水衝擊

等各種因素，造成設施水平移動，未處於設計之位置的情況，導致設施結構體減少或失去設計之功能。沉陷係指因設施底部土壤遭河水沖刷或土壤承载力不足等各種因素，造成設施往下沉陷、滑動等情況，導致設施結構體減少或失去設計之功能。基礎承载力不足或本身撓度不夠，造成不均勻沉陷。上述兩種現象，皆會造成水保設施之服務性能無法有效地發揮，並降低其耐久度。

表 4-9 水保設施耐久度評估內容-(位移或沉陷)

評估因素	權重	準則
位移或沉陷	25	□無此樣態(0)□A 級(0.3)□B 級(0.7)□C 級(0.1)

資料來源:本計畫整理

本計畫主要是採 AI 深度學習自動辨識對設施服務性能之受損程度進行判定，其評估準則之判定標準如表 4-13 所示，分別如下：

無此樣態：意即構造物設施無位移或沉陷狀態。

A 級(輕微)：意即構造物設施之位移或沉陷狀態，對設施服務性能有輕微影響。

B 級(中等)：意即構造物設施之位移或沉陷狀態，對設施服務性能有中等影響。

C 級(嚴重)：意即構造物設施之位移或沉陷狀態，對設施服務性能有嚴重影響。

3. 構造物表面現況檢測

構造物表面現況檢測著重於磨損、裂縫所產生情況若有所疑慮時，可以透過目視檢測構造物是否有洶空或是裂縫情況，再配合第一階段的強度判斷，若強度不足時或有構造物本身裂縫時，則建議以人員協助判斷構造物內部是否產生空洞之狀態是否為結構性裂縫。

(1) 磨損

水流中夾帶如砂、礫石、沈泥、岩塊及其他碎片等，對混凝土表面進行磨、刮、削、擦、割、淘及撞等破壞作用，使混凝土構造物表面突出部分被壓平及片狀剝落，甚至使表面混凝土磨損而形成坑洞，稱之為磨損。且該現象容易使岩塊及其他碎片敲擊混凝土骨材，減少其保護層。

表 4-10 水保設施耐久度評估內容-(磨損)

評估因素	權重	準則
磨損	15	□無此樣態(0) □中等(0.5) □嚴重(1.0)

資料來源:本計畫整理

本計畫主要是人員進行設施劣化範圍判定，其評估準則之判定標準如表 4-11 所示，分別如下：

無此樣態：意即構造物設施之混凝土表面磨損無影響。

中等：意即構造物設施之混凝土表面磨損面積影響設施功能性達中等狀態。

嚴重：意即構造物設施之混凝土表面磨損面積影響設施功能性達嚴重狀態。

(2) 裂縫

裂縫基本上可視為固體材料中某種不連續

(Discontinuity)之現象，混凝土一發生裂縫後，將會使外界腐蝕物質更易進入混凝土內部，造成鋼筋鏽蝕，降低其耐久度。且混凝土是一種多孔隙脆性材料，在外力或外界環境的作用下，普遍皆會產生裂縫。一般而言，大多數的裂縫對於混凝土之結構承载力並不造成危害，而是提供給原本外界的有害物質侵入之路徑，使內部混凝土及鋼筋產生腐蝕後，因而影響其耐久度。

而混凝土裂縫形成的因素很多，如乾縮、溫度效應、外力超載或施工不當等皆會產生裂縫，不但影響構造物美觀，更可能使主要結構發生嚴重損害，而損害的程度則要視構造物的種類及裂縫性質而定。

表 4-11 水保設施耐久度評估內容-(裂縫)

評估因素	權重	準則
裂縫	5	□無此樣態(0) □中等(0.5) □嚴重(1.0)

資料來源:本計畫整理

水保設施構造物產生裂縫是一常見現象，且在初期容易忽略，其成因有許多，如變形與基礎沉陷等引起的裂縫，一般來說，裂縫寬度小於 0.05mm 對於構造物無明顯危害，但大於 0.05mm 即有可能加大腐蝕物質進入混凝土內部，造成鋼筋鏽蝕，或是降低構造物承載能力、防水性能與耐久度，嚴重的話甚至會因強大水流致使構造物遭沖毀。

目前國內針對水土保持工程設施之裂縫寬度尚無統一之分類標準，且一般是以儀器量測深度為主，而本計畫將採美國混凝土協會 ACI Committee 224 規範，構造物位處含有水分之土壤，其裂縫最大容許寬度 (mm) 為 0.3mm，現場

以裂縫可視做為評估準則之判定標準，如表 4-15 所示，分別如下：

無此樣態：意即設施無裂縫現象。

中等：意即構造物設施之裂縫，表面混凝土骨材無剝落情形。

嚴重：意即構造物設施之裂縫，表面混凝土骨材有剝落情形。

4. 耐久度評估作業架構

針對水保構造物耐久度評估，主要針對 3 個影響結構面向的因子做評估表(如下表 4-12 所示)，第一環境現況面相包含植被是否良好以及周邊坡地是否有崩塌情形影響，第二針對結構本身所產生的樣態進行評估分級，包含土砂淤積、淘空、剝落、位移或沉陷對於構造物有直接影響主要因子，本計畫將透影像並以 AI 自動辨識來判斷，主要以深度學習為系統架構，以降低檢測評估時間，最後是以構造物表面是否有影響耐久度因子如裂縫或磨損，雖對於構造物無直接衝擊，但也會間接影響。評估耐久程序如下圖 4-25 所示。

透過系統依構造物現有功能狀態評估，以功能狀態分級結果提供後續維護模式建議，透過不同等級給予不同程度的建議，包含定期巡檢、建檔加強注意、建檔加強監測管理、預防性維護(另行規畫配置)、反應式維護(緊急處理工程提報及執行)，但其中一項評估，須依據現況針對該構造物是否屬於該區域重要工程項目進行勾選評估，以決策否須採用預防式維護方式以另行規畫方式處理或是緊急及式維護進行緊急提報及執行該構造物的改善。

表 4-12 水土保持設施耐久度檢測評估表

水土保持設施耐久度檢測評估表				
項 目		權重	評估準則	小計
周邊環境 現 況	植被不佳	15	<input type="checkbox"/> 無此樣態(0) <input type="checkbox"/> A 級(0.3) <input type="checkbox"/> B 級(0.7) <input type="checkbox"/> C 級(0.1)	
	崩塌地裸露	15	<input type="checkbox"/> 無此樣態(0) <input type="checkbox"/> A 級(0.3) <input type="checkbox"/> B 級(0.7) <input type="checkbox"/> C 級(0.1)	
構造物 現況分析	土砂淤積	15	<input type="checkbox"/> 無此樣態(0) <input type="checkbox"/> A 級(0.3) <input type="checkbox"/> B 級(0.7) <input type="checkbox"/> C 級(0.1)	
	淘空	5	<input type="checkbox"/> 無此樣態(0) <input type="checkbox"/> A 級(0.3) <input type="checkbox"/> B 級(0.7) <input type="checkbox"/> C 級(0.1)	
	剝落	10	<input type="checkbox"/> 無此樣態(0) <input type="checkbox"/> A 級(0.3) <input type="checkbox"/> B 級(0.7) <input type="checkbox"/> C 級(0.1)	
	毀壞	25	<input type="checkbox"/> 無此樣態(0) <input type="checkbox"/> A 級(0.3) <input type="checkbox"/> B 級(0.7) <input type="checkbox"/> C 級(0.1)	
構造物 表面現況	裂縫	5	<input type="checkbox"/> 無此樣態(0) <input type="checkbox"/> B 級(0.5) <input type="checkbox"/> C 級(1.0)	
	磨損	10	<input type="checkbox"/> 無此樣態(0) <input type="checkbox"/> B 級(0.5) <input type="checkbox"/> C 級(1.0)	
評分方式=100-(評估項目之權重 X 評估內容之權重)				合計
耐久程度	極佳 -構造物狀況良好 尚可 -些微受損功能正常 差 -部分受損影響功能性 <input type="checkbox"/> 屬重要性工程 極差 -全部受損 <input type="checkbox"/> 屬重要性工程	維護模式	<input type="checkbox"/> 定期巡檢 <input type="checkbox"/> 建檔加強注意 <input type="checkbox"/> 建檔加強監測管理 <input type="checkbox"/> 預防性維護(另行規畫配置) <input type="checkbox"/> 反應式維護(工程提報及執行) <input type="checkbox"/> 反應式維護(緊急處理工程提報及執行)	

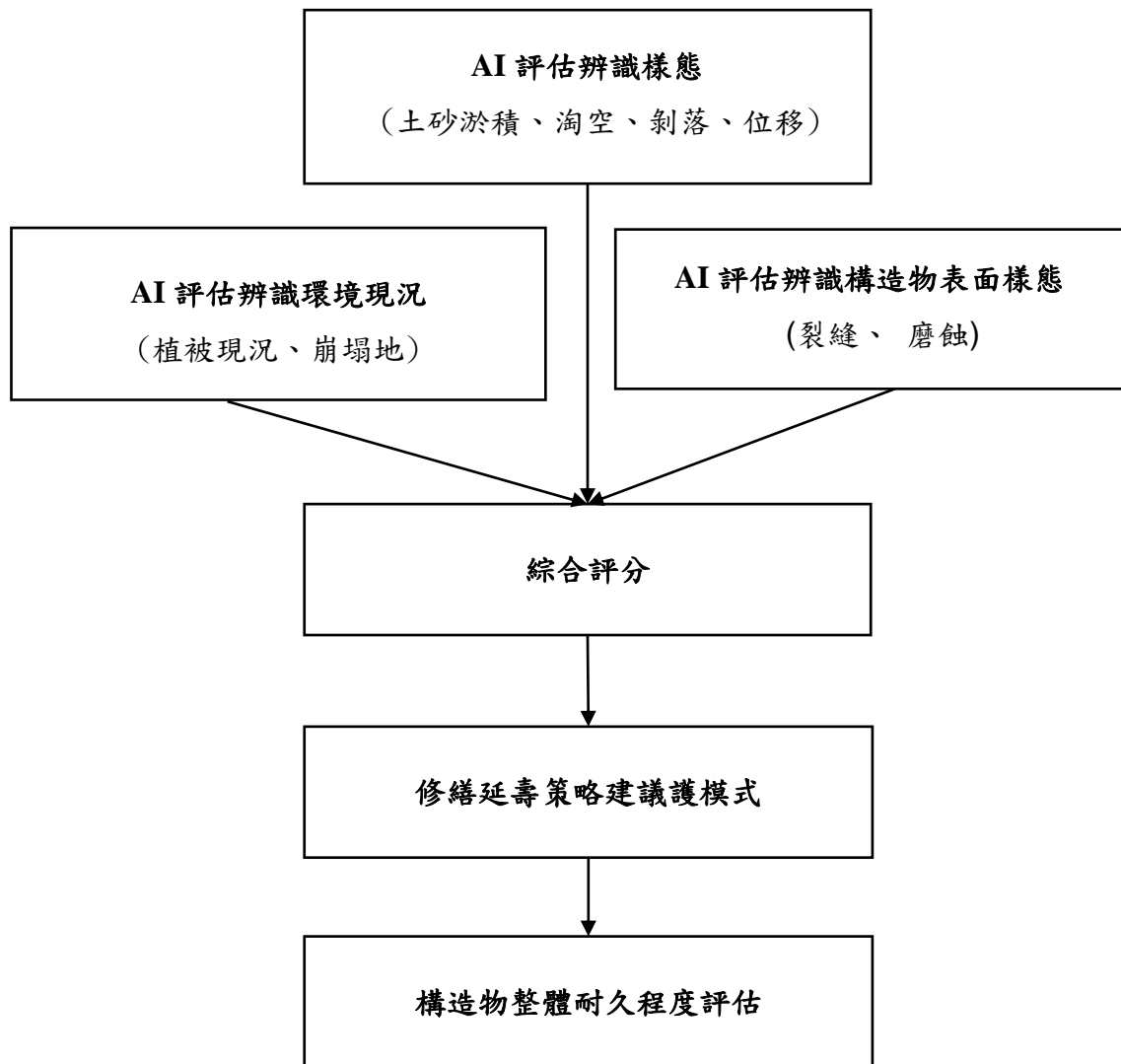


圖 4-25 構造物耐久程度評估作業架構

(1) 耐久指標 DI(Durable indicators)分級與定義

耐久度分級，依據本計畫所擬定的耐久度評估表，藉由各項評定分數乘上權重後所得之分數。其分數區分為以下四個等級區間，透過耐久度文獻探討其評定分級區間，本計畫進一步將分級及擬定維護方式整合，以專家訪談方式取統合出合適極具與維護方式。

首先文獻分級部分，以橋樑檢測耐久度評估以及水利構造物評估方式做為參考，每一級以 25 分為一個級距，各等級相關定義說明如下：

耐久度極佳 $DI > 75$

耐久度評估結果其構造物本身亦無損害及任何不穩定之狀態顯示構造物狀況良好，耐久度無疑慮，建議仍須定期巡檢。

耐久度尚可 $52 < DI \leq 74$

耐久度評估結果其構造物為中等以下裂縫或磨損損害但無任何不穩定之狀態，耐久度無疑慮，建議建檔加強注意或是建檔加強監測管理。

耐久度差 $26 < DI \leq 51$

耐久度評估後結果構造物部分有傾向不穩定之狀態，部分受損影響功能性，耐久度略有疑慮建議建檔加強監測管理。

另進行評估是否為屬重要性工程，如有重要性工程建議應對於有疑慮之構造物進行預防式維護或另行規畫配置。

耐久度極差 $0 < DI \leq 25$

構造物本身有不穩定之狀態或全部受損，設施耐久度評估差的等級建議採反應式維護。

另進行評估是否為屬重要性工程，如有重要性工程此情

況建議採優先反應式維護以緊急處理工程提報及執行。

(五)建立以生命週期觀點之水保設施構造物維護管理策略及延壽技術。

耐久度分級，依據本計畫所擬定的耐久度評估表，藉由各項評定分數乘上權重後所得之分數。其分數區分為以下幾個級距區間，透過耐久度文獻探討其評定分級區間，本計畫進一步將分級及擬定處理建議整合，以專家訪談方式統整出合適級距與處理建議以及判斷流程。如表 4-13 及圖 4-26 所示。

(1) 定期巡檢：

檢測後結構屬於耐久度極佳，顯示構造物亦無損壞或劣化之傾向，其構造物現況程度極佳狀態，因此僅需一般性例行檢測即可。

(2) 建檔加強注意：

檢測後構造物耐久度或穩定性為尚可狀態時，建議採用建檔加強監測式管理方式進行，並依一般性巡檢執行。

(3) 建檔加強監測管理：

檢測後構造物耐久度或穩定性為差的狀態時，建議採用建檔加強監測式管理方式進行，並以不定期巡檢方式追蹤以加強監測結構整體耐久度與穩定性。

(4) 預防式維護：

檢測後構造物耐久度或穩定性略為差的狀態時，且屬該地區重要工程，建議採用預防式管理方式進行，如有崩塌或河道淤積處建議採河道清疏。或以適當材料修補，減緩該情況持續擴大，以提升該地區的保全性。

(5) 反應式維護:

檢測後構造物呈現穩定性或耐久度極差之狀態，進而影響該地區保全性不佳時建議以工程提報執行處理。

(6) 優先反應式維護:

檢測後構造物呈現穩定性或耐久度極差之狀態，且屬該地區重要工程，進而影響該地區保全時建議工程採緊急提報處理，經通報緊急進行修復或補強，若情況嚴重再行評估覓地重建。

表 4-13 耐久程度與維護建議表

耐久程度	處理建議
耐久度極佳-構造物狀況良好	<input type="checkbox"/> 定期巡檢
耐久度尚可-一些微磨損功能正常	<input type="checkbox"/> 建檔加強注意
耐久度差-部分受損影響功能性	<input type="checkbox"/> 建檔加強監測管理
耐久度差-屬重要性工程	<input type="checkbox"/> 預防性維護(另行規畫配置)
耐久度極差-全部受損	<input type="checkbox"/> 反應式維護(工程提報及執行)
耐久度極差-屬重要性工程	<input type="checkbox"/> 優先反應式維護(緊急處理工程提報及執行)

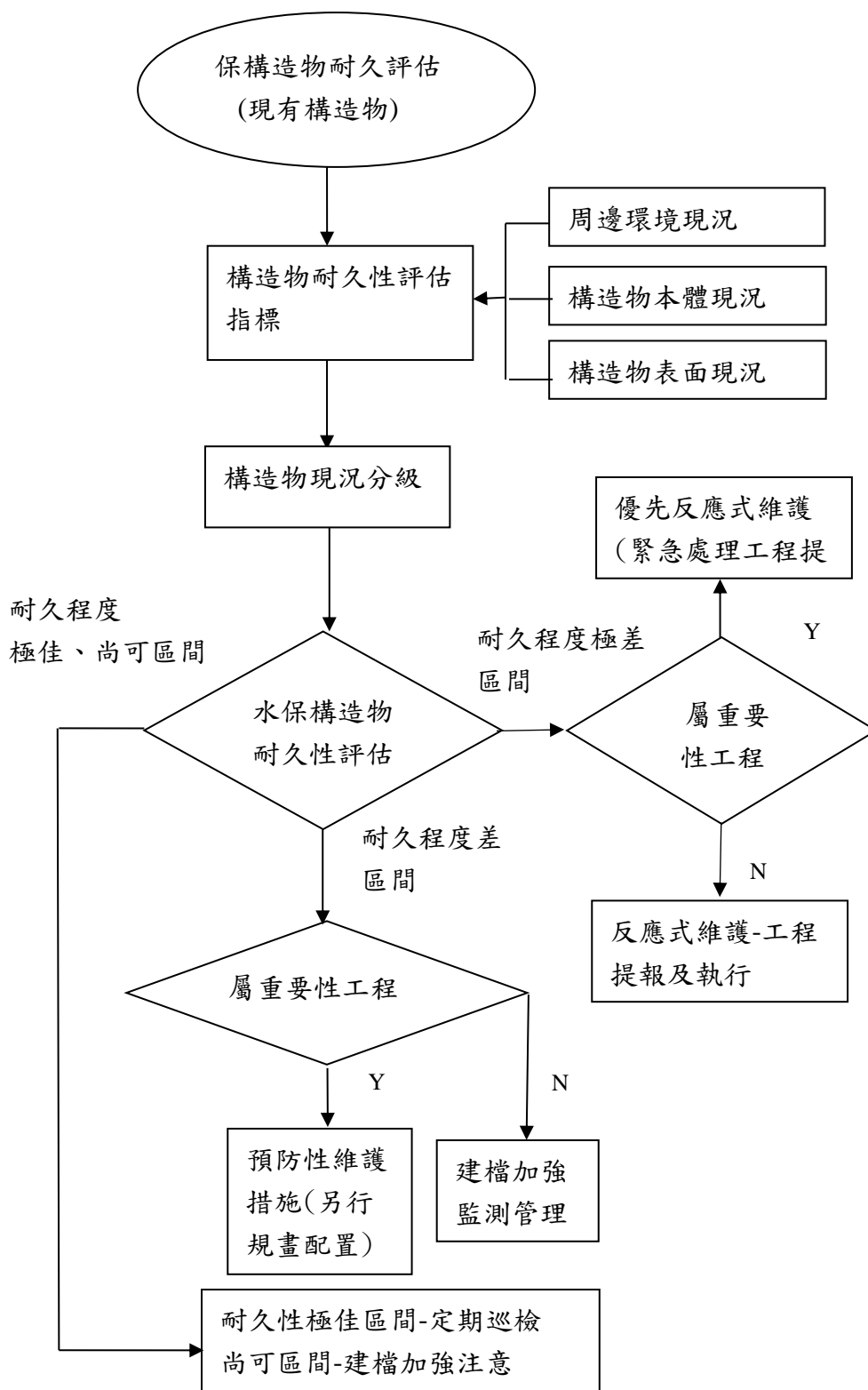


圖 4-26 水保構造物延壽策略流程圖

以人工智慧辨識取代人力判讀，因此本計劃將採用三大面向進行，第一周邊環境現況屬遠距離大範圍，第二再以構造物現況分析屬中距離檢視構造物本體，第三以構造物表面現況屬近距離檢視。透過無人機採集現場影像過程中，依據遠距離的周邊環境現況、中距離的構造物現況以及近距離的構造物表面現況三個面向以無人機替代人力由高處往下俯視進行取樣。

首先以大範圍視角以周邊環境現況採樣，以大範圍如周邊坡地是否有植被不佳及崩塌地裸露，以飛行高度約 50 公尺進行周邊環境影像紀錄如圖 4-27 所示。依據下圖案例進行辨識後結果崩塌地為 B 等級 0.7*權重值分數為 10.5，辨識結果無植被不佳樣態因此為 0 分重值 15，因此總計該面向區間得分為 10.5 分。



圖 4-27 周邊環境影像辨識結果

其次以中距離的構造物現況分析，此部分則是以中距離飛行高度 30 公尺左右進行環繞式拍攝，並以河道及構造物為主

要對象並針對有異常樣態部份紀錄，依據土砂淤積、掏空、剝落、位移或崩毀進行樣態辨識及分級如圖 4-28 所示。以下圖為例辨識結果，淤積部分屬區其比例高得為主要計分因此 B 等級為 $0.7 \times$ 權重值 10 為 7 分，掏空部分無此樣態為 $0 \times$ 權重值 15 為 0 分，剝落部分無此樣態為 $0 \times$ 權重值 15 為 0 分，崩毀部分極低以 A 為 $0.3 \times$ 權重值 20 為 6 分總計該區間得分為 13 分。



圖 4-28 構造物現況分析影像辨識結果

最後以近距離的構造物表面現況檢測，是以構造物整體表面並以近距離方式紀錄異常影像部分，主要以裂縫及磨損進行樣態辨識及分級如圖 4-29 所示。以下圖片辨識結果為例，磨

損屬於比較嚴重等級，因此該區間裂縫為無此樣態 0*權重值 5 得分 0 分，磨損部分樣態為 C 為 1*權重值 5 得分為 5，因此該區間得分為 5 分。



圖 4-29 構造物表面現況影像辨識結果

綜合以上三個面向評等分數總計再以公式計算後結果為 71.5 分，代表該區環境與構造設施整體現況良好屬於耐久度等級為尚可的狀態，因此後續維護建議建檔加強注意或是建檔加強監測管理。

5. 建立以混凝土結構延壽維護修繕策略

延壽災損分析之策略面，此階段即將災損分析討論的策略面轉換為務實面，也就是根據討論評估後之結論對症下藥。根據水土保持構造物歷史資料、災害潛勢與災損機制分析後，詳細因應對策，並對構件嚴重危害到整體安全性與功能性之水土保持構造物，做進一步詳細檢測，如結構分析、承載力評估分

析等。經過現況掌握之後，建議出不同之解決方法與對策，其考慮的項目有：結構本體是否無誤、構件之修補工法及成本、維護管理預算之經費是否足夠、是否符合水土保持構造物規範，以及歷史維修記錄的成效等。

本計畫將經由收集相關國內外土木設施維護策略，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設施使用之策略。本節參考國內外相關維修補強資料，考慮水土保持構造物異常樣態類型，分別就以下結構物修復方法來說明：

(1) 磨損修繕

結構物表面磨損為常見的破壞缺失，屬於範圍較小、嚴重性不高或無立即性危險的破壞類型，其表面缺陷修繕目的為避免磨損處持續擴大、改善結構外觀及汙染滲入導致混凝土破壞情形發生，一般修補材料應與原結構相同強度與級配之混凝土為主，首先將原先範圍鑿除構造物表面及品質不良之混凝土並予以清理，接著打毛後可修補較大範圍以維持新舊介面較佳的鏈結效果。

(2) 基礎補強修繕

水保設施結構物基礎長期處於水中加上水流方向的沖蝕，水土保持設施基礎出現淘空情形最為嚴重，而基礎之維修及補強工法一般建議如下：

I. 基礎擴大加固法：

因沖刷可能引起基礎承载力不足之顧慮時，可於基礎四周澆置混凝土予以加固，藉以恢復承载力之工法。此工法施工時應特別注意新舊混凝土接觸部位並確認其接著性能與結構之整體性。

II. 增設基樁、基腳加固法：

若基樁有損傷或變位時，在原基礎週遭增設基樁及基腳以提昇基礎承载力之工法，且在河槽易刷深處，尤其是在凹岸或水勢強烈之處及重要地區，基腳應加設保護工程如混凝土塊、蛇籠或潛壩等防止局部護岸基礎被刷深，導致護岸崩壞。

(3) 裂縫之修繕

台灣於 921 大地震後，各學者、專家與建材商所舉辦之抗震修繕補強工法會議及書籍不勝枚舉，參考混凝土裂縫容許寬度之規定，綜其抗震修繕補強工法，均認為鋼筋混凝土

梁或柱構材破裂縫之在 0.3mm 寬度以下者，不計為破裂縫，可以粉飾法塗抹防水塗料；0.3mm 以上者，可用環氧樹脂注入法，填實破裂縫之孔隙。在中國土木工程學會所出版之既有混凝土結構物維修及補強技術手冊中一提，結構物使用性之裂縫寬度查核係以結構物使用性所定之裂縫寬度限制值與在載重作用及環境作用下所產生裂縫寬度值加以比較，而水土保持設施不似一般橋樑或建築物有立即性破壞的危險，因此結構物仍需以當時設計之裂縫寬度容許範圍比較較佳。

裂縫一般係以環氧樹脂材料並施加低壓灌注至混凝土裂縫或其內部孔洞中，當混凝土本身性質良好，其內部鋼筋僅輕微銹蝕或沒有銹蝕，此時僅需以灌注工法修繕裂縫即可。唯混凝土表面已有銹斑及剝落現象時，則應先將破壞的混凝土清除，並將鋼筋除銹及骨材清理後再灌注樹脂。（資料來源：國內既有鋼筋混凝土結構物補強之現況檢討）

維修的處理主要是針對混凝土構造物安全性或破壞部分，因此在選用修復工法或材料時，就地取材避免複雜度高的維護方式與昂貴的材料花費，以如何修復混凝土的破壞部分為主要考量，以使修復後的結構物方可達到功能正常狀態。造成水保構造物損害不外乎是撞擊、沖刷、磨損與裂縫等因素，

因此產生破壞的位置也以接合處居多，對構造物的維修應盡量避免再度遭到破壞或延緩破壞，保護構件安全性，延長構造物使用年限。中國水利水電科學研究院及南京水利科學研究院分別研發用於水下修補施工的接縫材料 GBW 遇水膨脹止水劑、水下可快凝堵漏材料、PU/EP、IPN 水下灌漿材料、水下彈性快速封堵材料等。

本團隊蒐集相關於公共工程中國內相關維護文獻中提及策略，對於(維修、整建、改建或重建)做相關的定義如下表 4-14 所示：

表 4-14 修復方式相關定義

修復方式	修復內容	參考文獻
維修或整建	結構加固補強與修理等項目。	徐耀賜，2000
改建或重建	結構受到大規模破壞，已失去結構應有之穩定性與安全性，必須拆除就有結構另建新結構體	
維修	維持結構物現有之強度，防止繼續劣化，適用時機為結構有輕微損壞情況	翁明全，2005
補強	有效提高結構物之強度，適用時機為結構中度會嚴重損壞。	
拆除重建	無法修復及補強兩種方式進行修補時。	

依據所評定的耐久程度結果，再評斷承受的破壞類型，提供相關維護修繕延壽策略給予參考，藉由上表可看出，耐久度落於極佳原則上採行一般性維護，而等級極差區間大都已屬於耐久度狀態極差的程度甚至已不堪用，因此建議採以重建或整建進行，耐久度尚可與耐久度差時則需評估取捨是否進行延壽的策略。本計畫蒐集國內外各種有關水土保持工程設施之維護方式及延壽對策等相關文獻，再經專家訪談後，歸納出水保設施之延壽方案如下表，相關定義分別如下說明，相關整理如下表 4-15 所示，延壽方式選擇上建議以生命週期成本為考量後再依管理單位可接受之方案作為決選方案。

(1) 裂縫灌注

於既有混凝土構件發生裂縫處，注入低粘滯性之環氧樹脂或超微粒水泥漿，以填塞裂縫並與鋼筋二度膠結，以達恢復粘裹力之作用，使裂縫不再延伸。

(2) 修補水泥砂漿

當結構物表層有缺陷、剝落、磨損等輕微破壞，需先將已損壞或不良之部分敲除，再重新粉刷水泥砂漿，使龜裂不再發生或提升原構件之品質，主要適用於小面積的缺陷，或是損壞程度較輕微的部位。以水泥為基礎的維修材料其物化性與混凝

土相似，因此與混凝土的相容性較佳，以水泥系的材料對混凝土進行修補，自然是最佳選擇。

(3) 修補混凝土

當結構物基礎發生淘空現象、護岸破裂範圍過大等此種破壞情形，其修繕方式需先組立模板再進行澆置混凝土，待澆置完成後如同一般混凝土澆置需進行養護動作，以達到改善之功能。

(4) 雜物或淤塞清理

河道常見土石淤積現象、排水孔堵塞或雜草叢生等情形，若淤積堵塞程度嚴重，會影響水流方向，導致河道改變等狀況發生，此時以人工處理方式或藉由各類機械方式來進行清除動作稱之。

(5) 材料填補

需將結構物填材料流失部分先行開挖整平，進行地錨施工或排水材料鋪設之基面處理，再將原背填材料回填其部份，最後以混凝土版工法、邊坡穩定工法或植生工法等手法來保護鋪面等作業稱之。

(6) 破壞範圍重新施作

將破壞部份先行打除，再重新以原結構設計施作此部份，如當漿砌塊石護岸上的砌石剝落時，這時僅需將小範圍的石塊打除，重新再以水泥砂漿填補，並嵌入石塊已改善剝落情形稱之，或像是某段護岸出現沉陷情形，但其他鄰近護岸皆為完好時，僅將此沉陷段打除重新施作之意思，破壞類型與延壽技術對應表如表 4-15 所示。

表 4-15 異常樣態類型與修繕延壽策略對應表

異常樣態	級別	修繕類別	修繕方法說明
混凝土裂縫	極佳	定期檢查	顯示構造物亦無損壞或劣化情況
	尚可	建檔加強注意	以不定期巡檢方式追蹤以加強監測結構整體
	差	裂縫灌注	以環氧樹脂灌注入裂縫中。
剝落	極佳	定期檢查	顯示構造物亦無損壞或劣化情況
	尚可	修補水泥砂漿	以水泥砂漿材料填補已剝落範圍。
	差	破壞範圍清除重做	將嚴重剝落處或已破壞部份打除後，再重新施作。
掏空	極佳	定期檢查	顯示構造物亦無損壞或劣化情況
	尚可	修補混凝土	掏空部分組立模板，再澆置混凝土灌滿。
	差	破壞範圍清除重做	將嚴重磨損處或已破壞部份打除後，再重新施作。
毀壞 (沉陷、位移)	尚可	定期檢查	顯示構造物亦無損壞或劣化情況
	差	破壞範圍清除重做	將沉陷範圍或位移部分打除後，再依原結構設計重新施作。
	極差	破壞範圍清除重做	將嚴重沉陷範圍或位移打除後，再重新施作。
填材料流失	極佳	定期檢查	顯示構造物亦無損壞或劣化情況
	尚可	修補混凝土	沿著流失部分週圍填入之混凝土。

異常樣態	級別	修繕類別	修繕方法說明
	差	填材料填補破壞範圍清除重做	需將此結構物基礎擴大或重做，穩固基礎後，再以相似填材料重新回填。
土砂淤積	極佳	定期檢查	顯示構造物亦無損壞或劣化情況
	尚可	建檔加強注意	以不定期巡檢方式追蹤以加強監測
	差	雜物或淤塞清理	以機械式清除淤積處。
磨損	極佳	定期檢查	顯示構造物亦無損壞或劣化情況
	尚可	修補水泥砂漿	將磨損處打除後修補水泥砂漿
	差	破壞範圍清除重做	將嚴重磨損處或已破壞部份打除後，再重新施作。

(六)以案例驗證水保設施構造物延壽評估系統的可行性。

一、案例探討

本計劃以周邊環境檢測、水保構造物主體檢測、水保構造物表面檢測三面向進行樣態辨識，本計畫將三組影像辨識程式整合成單一介面系統，以利使用者方便現場取得影像後即可透過介面進行辨識與判讀，系統將以判讀中最高百分比值做為結果顯示。系統綜合計算評估耐久程度，各耐久區間對應出處理方式，最後將依異常樣態類型對應修繕延壽策略表，提供個案合適的後續處理與修繕延壽策略的建議參考。

(1) 案例一

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。環境檢測、主體檢測以及表面檢測三面向進行影像辨識頁面結果如圖 4-30 至 4-32 所示。



圖 4-30 案例一 周邊環境影像樣態辨識結果



圖 4-31 案例一 構造物現況分析辨識結果



圖 4-32 案例一 構造物表面現況辨識結果

案例分析

依據巡檢結果報告如下圖 4-33 所示，在畫面中可看到以環境檢測、主體檢測以及表面檢測三面向進行樣態辨識與評等結果，再對應各級到維護方式與後續處理建議，首先以環境檢測為崩塌地 B 等級表示有周邊有中度崩塌的潛勢區域，修繕延壽策略因應處理方式以建檔加強注意處理，其次主體檢測部分結果為土砂淤積 B 級，表示構造物上半部土砂雖淤積但已影響到構造物的部分功能，修繕延壽策略處理方式建議以不定期巡檢追蹤加強監測，最後針對表面檢測部分結果為磨損 B 級，顯示構造物表面因土砂而有磨損之情事，修繕延壽策略處理方式建議將磨損嚴重部分打除後再以水泥砂漿填補。綜合以上整體耐久評估分數計算後落於耐久程度為尚可等

級，屬正常狀態並開始有劣化樣態呈現，系統建議檢測後構造物耐久程度為穩定且為尚可狀態時，處理方式建議採用建檔加強監測式管理方式進行。

國立雲林科技大學
案件列表 系統設定 計算器 AI判讀 資料管理後台

個案詳細資料
實地照片

序號：TN-SW001
日期：2023/08/15
地點：古坑鄉桂林村
檢測單位：國立雲林科技大學



電腦判定

環境檢測(遠)



崩塌地B: 0.72

等級：B

說明：中潛勢

建議處理方式：
建檔加強注意

主體檢測(中)



土砂淤積B: 0.80

等級：B

說明：意即設施位處河道之溪床質排列較鬆無重疊，

建議處理方式：
以不定期追蹤，加強鑑測

表面檢測(近)



磨損B: 0.73

等級：B

說明：意即設施之混凝土表面磨蝕面積影響設施功能性達中等狀態

建議處理方式：
將磨蝕嚴重部分打除，再以水泥砂漿填補

耐久度評估結果:
耐久度極佳

構造物為中等以下磨蝕損害但無任何不穩定之狀態，耐久度無疑慮，建議建檔加強注意或是建檔加強監測管理

耐久程度及處理方式

<p>耐久程度</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 極佳-構造物狀況良好 <input checked="" type="checkbox"/> 尚可-些微磨損功能正常 <input type="checkbox"/> 差-部分受損影響功能性 <input type="checkbox"/> 差-部分受損影響功能性，屬重要性工程 <input type="checkbox"/> 極差-全部受損 <input type="checkbox"/> 極差-全部受損，屬重要性工程 	<p>處理方式</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 定期巡檢 <input checked="" type="checkbox"/> 建檔加強注意 <input type="checkbox"/> 建檔加強監測管理 <input type="checkbox"/> 預防性維護(另行規畫配置) <input type="checkbox"/> 反應式維護(工程提報及執行) <input type="checkbox"/> 反應式維護(緊急處理工程提報及執行)
---	---

圖 4-33 案例一 耐久程度評估結果

(2) 案例二

案例二地點位於雲林縣古坑鄉華山村，水保巡檢範圍中的設施型態包含有一座梳子壩、五座固床工以及單側邊坡以及單側護岸。環境檢測、主體檢測以及表面檢測三面向進行影像辨識結果頁面如圖 4-34 至 4-36 所示



圖 4-34 案例二 周邊環境影像樣態辨識結果



圖 4-35 案例二 構造物現況分析辨識結果



圖 4-36 案例二 構造物表面現況辨識結果

案例分析

依據檢測結果報告如下圖 4-37 所示，在畫面中可看到以環境檢測、主體檢測以及表面檢測三面向進行影像辨識與評等結果，再對應到各級維護方式與後續處理，以環境檢測結果為崩塌地 B 等級表示有周邊有中度崩塌的潛勢區域，修繕延壽策略因應處理方式以建檔加強注意處理，於主體檢測部分影像辨識結果為土砂淤積 A 級，表示構造物上半部土砂雖淤積但不影響到構造物的現有功能，修繕延壽策略處理方式以定期巡檢，表面檢測部分結果為磨損 A 級，顯示構造物表面因土砂而導致輕微有磨損之情事，修繕延壽策略處理方式建議採定期巡檢，綜合以上整體耐久評估為極佳，構造物屬

正常狀態，處理方式系統建議建定期檢測構造物管理方式進行。

國立雲林科技大學 案件列表 系統設定 計算器 AI判斷 資料管理後台


個案詳細資料 **實地照片**

序號: TN-SW002
 日期: 2023/8/11
 地點: 古坑鄉華山村
 檢測單位: 國立雲林科技大學



電腦判定

環境檢測(遠)



崩塌地B: 0.8


等級: **B**

說明: 中潛勢

建議處理方式:

建檔加強注意

主體檢測(中)



土砂淤積A: 0.91


等級: **A**

說明: 意即設施位處河道之溪床質排即設施位處河道之溪床質，中等程度緊密堆積。

建議處理方式:

定期巡檢

表面檢測(近)



磨損A: 0.75

等級: **A**

說明: 意即設施之混凝土意即設施之混凝土表面磨蝕無影響

建議處理方式:

定期巡檢

耐久度評估結果: 耐久度極佳

構造物本身亦無損害及任何不穩定之狀態顯示構造物狀況良好，耐久度無疑慮

耐久程度及處理方式	
<p>耐久程度</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> 極佳-構造物狀況良好 <input type="checkbox"/> 尚可-些微磨損功能正常 <input type="checkbox"/> 差-部分受損影響功能性 <input type="checkbox"/> 差-部分受損影響功能性，屬重要性工程 <input type="checkbox"/> 極差-全部受損 <input type="checkbox"/> 極差-全部受損，屬重要性工程 	<p>處理方式</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> 定期巡檢 <input type="checkbox"/> 建檔加強注意 <input type="checkbox"/> 建檔加強監測管理 <input type="checkbox"/> 預防性維護(另行規畫配置) <input type="checkbox"/> 反應式維護(工程提報及執行) <input type="checkbox"/> 反應式維護(緊急處理工程提報及執行)

圖 4- 37 案例二 耐久程度評估結果

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 4-16 所示。專家訪談供二位包含一位水保技師與工程師、一位水保管理人員，三位均從事水保工作年資達 10 年以上。

表 4-16 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，且巡檢面向以遠、中、近三重面向進行查檢，並由電腦以 AI 方式辨識劣化樣態，綜合評估結構耐久程度，對於使用本計畫所提之方法，可加快巡檢過程。並且可於結果報告中直接對應到合適的修繕延壽策略處理方式，有利於使用者對後續執行的參考建議。
2 辨識異常樣態類型與評等效用	依據現場檢測僅需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。有效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 人力成本改善	以往巡檢以書面文字報告及平面配置圖的紙本記錄，強化了視覺化的圖像資訊再透過截取影像進一步辨識樣態並自動計算改結構之耐久程度參考，並依樣態提供相對應的修繕

問 項	綜合意見
	延壽策略處理方式有效提供後續維護參考，更有助於改善巡檢實務上人力成本的問題。
4 請對於本計畫之概念與可行性。	本計畫以異常樣態影像進一步以深度學習，運用影像辨識進行判定與及評等，並依據以環境檢測、主體檢測以及表面檢測三個面向樣態與評等，最後進一步綜合估算分數後給予耐久程度等級並對應後續管理建議。
5 認為本計畫於實務是否仍有改善空間	本計畫所呈現結果已具可行性產出。計畫缺少以不同期的巡檢測前、後現況差異比較，如加入該不同時期比較會讓整巡檢效用更加顯著呈現，可納入後續研究方向。

本計畫經由以上專家所提供的建議，專家認為本計畫能夠給予實務上的幫助且可行性極高但仍有改善空間，因以往現場巡檢需要專家到現場勘查，並依調查與拍攝為重點，但因現場所記錄的文字訊息並無法依據現場構造物樣態與耐久程度給予量化分級來反映水保構造物實際現況，在這無法當下進行現況樣態分析評比。本計畫所開發以 AI 深度學習之影像辨識架構，將所拍攝的影像進行解析分類以及評等，而本計畫主要研究方法以各劣化樣態影像資料進行 AI 影像辨識訓練學習，可自動化辨識出土保持設施的破壞樣態，並整合非接觸式耐久程度的評估方式，達到 AI 應用於水保設施耐久程度管理範疇，

並納入並已有達改善人力與時間成本的目的，再透過外自行開發系統加入自動化評等語法，並透過專家學者的初期影像評等分數做為參考值，再整合於辨識系統中以提升整體系統的產出效能，如此一來不僅可節省專家判讀時間更提升現場檢測的效率。

本計畫首先依據以環境檢測、主體檢測以及表面檢測三個面向去針對異常樣態進行影像辨識，經由三個面向影像辨識自動分類整合綜合計算後產出改構造物之耐久程度結果，再進一步依結果所對應之建議維護處置方式，最後將系統所產出結果以回饋方式經專家學者給覆核是否一致，以促使系統產出結果更為趨於符合專家所評斷之結果。未來可再納入整合不同時期異常類型以使得的整體系統更為完善。

三、小結

本計畫透過巡檢面向以周邊環境、構造物主體以及構造物表面，遠、中、近三個面向進行巡檢，並針對異常範圍以影像辨識來協助評等與分級構造物目前狀態，最後系統綜合自動估算出構造物耐久程度，再進一步由系統提供合適之維護建週期以及各劣化樣態處理建議，讓整體巡檢過程更去符合以專家角度評等結果，以 AI 機制整合耐久度的評估納入巡檢評等，突破

以往人力巡檢過程，最後以視覺化及文字訊息整合方式呈現結果案檔。透過自動影像辨識與評等結果來再依系統所提供修繕延壽策略處理方式處理，可做為管理單位之參考建議。本系統執行過程改善了傳統人力評等，並且可以加快辨識時間和降低人力成本以及提供修繕延壽策略處理建議。

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，藉由探討構造物之耐久程度評估的適用性探討，有助於瞭解水保工程周圍環境以及構造物現況劣化情形對於整體構造物耐久程度影響，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，並綜合計算推估構造物耐久程度如此可有效減少傳統上人力時間與成本。視覺化與文字資料整合有助於後續巡檢影像紀錄調閱，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. 以周邊環境、構造物主體以及構造物表面，遠、中、近三重面向進行查檢，並針對異常範圍以影像辨識來協助評等與分級構造物目前狀態，最後系統綜合自動估算出構造物耐久程度，提出水土保持構造物的延壽策略，並以此為依據提出適時的修復和加強方案，以確保水土保持設施的正常運行。
2. 本計畫所建置自動化影像辨識之系統，有助於水保構造物設施與週邊環境，針對異常範圍經辨識劣化樣態分類及同步評等分級，以達到改善人力判讀時間和成本，並依系統所建置維護週期建議做為參考。

3. 建立一套以水土保持設施生命週期管理模型，包括評估機制、最佳維護方案，以達成永續經營的目標。推動相關部門和專家的努力與合作，確保每一項水土保持工程都能得到妥善的管理與維護，並改善以往目視辨識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模式的可行性，以及專家所回饋提供的改善建議做為參考。

參考文獻

1. 行政院農業委員會水土保持局與中華水土保持學會，2017，水土保持手冊。
2. 張庭韶，2018，UAV 以動態飛行協助搜尋與救援行動，國立臺灣師範大學，資訊工程學系，碩士論文
3. 梁中彝，創新 UAV 自拍系統和技術實現，國立臺灣科技大學，械工程系，碩士論文
4. 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
5. F. Khan; A. Ellenberg; M. Mazzotti; A. Kontsos，2018，Investigation on Bridge Assessment Using Unmanned Aerial Systems，Structures Congress 2015
6. 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)
7. <http://technews.tw/2015/08/15/drone-cameras/>
8. 陳宜鴻，《以多軸 UAV 之空拍影像評估由 SFM 建構》，逢甲大學土木工程學系，2016。
9. 黃品彰、楊偉盛、張國楨，結合空中與地上影像之傾斜攝影建模成效及精度評估，國立台北科技大學土木工程系，2017。
10. 邱健瑋，UAV 傾斜攝影於三維模型重建及單像量測之應用，國

- 立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所，2016。
11. 陳益鳳；曾義星，應用多時段衛星影像辨識水稻田之研究航測及遙測學刊；4卷3期(1999/09/01)，P1-15
 12. 李天翔，以影像辨識為基礎之停車場車位管理之研究，大同大學資訊工程學系所學位論文，2010。
 13. 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。
 14. 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。
 15. 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。
 16. 蔡承祐，以影像辨識為基礎之智慧茶園管理平台，國立屏東科技大學資訊管理系所，2018。
 17. 溫庭寬，以影像辨識為基礎之植栽異常偵測及成長履歷系統，國立屏東科技大學資訊管理系所，2016。
 18. 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。
 19. 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>
 20. 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)
 21. 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>
22. 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)
 23. 鐘佩璋，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。
 24. 行政院農委會水土保持局土石流防災應變系統網站 http://fema.swcb.gov.tw/main/index_01.asp
 25. 行政院農委會水土保持局網站公告資料 <http://www.swcb.gov.tw/>
 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. 古鴻坤，「建立永續公共工程評鑑準則之研究」，國立中央大學土木工程學系，博士論文，民國 99 年。
 30. 98 年永續公共工程—節能減碳講習資料，民國 98 年。
 31. 湯志生，「利用永續發展指標建立野溪整治評估準則」，國立中央大學土木工程學系，碩士論文，民國 100 年。
 32. 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。
 33. 行政院公共工程委員會，「公共建設之永續思維與做法：從綠色

內涵到節能減碳」，台灣，民國 100 年。

34. Gupta, L., Jain, R., & Vaszkun, G. (2016). Survey of Important Issues in UAV Communication Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(2), 1123-1152.
35. 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)*.
36. 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.
37. 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
38. Al-Turjman, F., Hassanein, H. S., & Ibnkahla, M. (2017). Towards Prolonged Lifetime for Deployed WSNs in Outdoor Environment Monitoring. *IEEE Access*, 5, 27021-27031.
39. 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.
40. 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
41. 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.
42. Al-Turjman, F., Hassanein, H. S., & Ibnkahla, M. (2017). UAV-Aided Heterogeneous Networks for Public Safety Communications. IEEE Wireless Communications and Mobile Computing, 2018.
 43. Al-Turjman, F., Hassanein, H. S., & Ibnkahla, M. (2017). Towards Prolonged Lifetime for Deployed WSNs in Outdoor Environment Monitoring. IEEE Access, 5, 27021-27031.

附錄 期中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	台灣地區氣候條件適合植生，故水土保持構造物常受植被覆蓋，於 UAV 調查如何辨識、排除植被影響，請於期末報告予以探討。	感謝建議，首先在辨識部分，有將植被狀況納入評估項目；建議於防汛期後或是秋季後進行航拍，可排除受植被影響情況更可強化辨識效果。
2	於地面下之部分(例如基樁)、構造物被泥沙淤積後掩埋之部分,或是設置於水面之構造物(例如丁壩、固床工等等),建議補充說明。	感謝建議，首先辨識部分主要以高於河床面上構造設施並利用枯水期進行檢測，另影像辨識包含有淤積樣態納入評估項目；構造設施除非遭遇土石流，土砂淤積屬常態，表示丁壩、固床工構造物設施暫時無法發揮設定功能，後續維護可採清除淤積後方能回復原設定之功能狀態。
3	報告書第 4-21 頁,第 2 段落第 9 行,『部分有兩中樣態存在』為誤植,應為「部分有兩種樣態存在」。	感謝建議，誤植已完成修改。
4	報告書第 4-29 頁開始內文之圖表編碼錯亂:(一)第 4-29 頁第 3 段落第 7 行,圖	感謝建議，已依建議完成行修改。

項次	審查意見	回覆辦理情形
	<p>4-7 為誤植,應為圖 4-22 (二)第 4-30 頁倒數第 4 行 圖 4-8 為誤植,應為圖 4- 22,倒數第 1 行表 4-24 為 誤植,應為表 4-3。(三) 第 4-33 頁第 7 行,表 4-6 為誤植,應為表 4-5,建議重 新編排第 4-29 頁後之內 文圖表編號。</p>	