
**結合模糊分級機制於水保設施災害管理影
像判讀之探討**

**Applying fuzzy set rankings for disaster
images assessing of soil and water
conservation facilities**

執 行 單 位：國立雲林科技大學

執 行 期 間：107 年 02 月 09 日至 107 年 12 月 31 日

計畫主持人：潘乃欣 教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 107 年 11 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）

結合模糊分級機制於水保設施災害管理影像判讀 之探討

摘要

隨著氣候變遷，天災頻仍，水土保持設施的狀態必須保持良好方可保障人民生命財產的安全，水保設施分佈多且位處於偏遠，不易使用精密儀器檢測以判斷其狀態，因此目視檢測成為主要檢測方式之一，但評等過程對於參數的使用與程度認定上會因不同檢測評等方式而有差異，另外同時因水保設施部分區域因環境問題不利於工程人員至現場現勘設施現況，本計畫亦將探討利用無人飛行器(unmanned aerial vehicle (UAV))或環景影像紀錄設備蒐集影像，運用記錄的影像提供水土保持區域現況評等之可行性，期望可避免因視角關係缺漏影像紀錄，將針對評等法分數與語意標準的不同而衍生評定結果上差異的問題加以改善，藉由加入模糊推論方法，將語意轉換為模糊隸屬函數再進一步以法則方式推論出結果即為現況等級，其結果可提供實務面有效運用之目的，以減少認知差異問題，以提升檢測效率之目的。

關鍵詞：模糊推論、評估機制、無人飛行器

Applying fuzzy set rankings for disaster images assessing of soil and water conservation facilities

Abstract

The majority of soil and water conservation facilities in Taiwan are located in remote areas, posing measurement difficulties involving precision instruments. Therefore, visual inspection, which provides the advantage of rapidness, is the primary assessment method used. However, standards regarding identification of the degree and relevancy parameters of damage may vary among inspectors. To overcome inspector subjectivity caused by various scoring systems, this study used fuzzy theory to define the membership function of the semantics range. Subsequently, the semantics were used to infer current facility conditions, which were classified into various functional levels. Besides, because the area where the water conservation facilities are located needs long-distance traffic, the project uses UAV with panoramic video recording equipment to collect images, and uses the recorded images to provide status assessments of soil and water conservation areas. This avoids Lack of image records due to perspective to reduce artificial differences, and can achieve rapid inspection utility.

Keywords: Fuzzy inference; inspection mechanism; UAV

目次

摘要.....	I
ABSTRACT	II
目次.....	III
表次.....	V
圖次.....	VI
第一章 緒論.....	1-1
第一節 前言	1-1
第二節 計畫目的	1-3
第二章 本計畫主要交付項目	2-1
第三章 文獻回顧	3-1
第四章 計畫執行方法與步驟	4-1
第一節 常見的水保設施介紹.....	4-1
第二節 目視檢測評等與模糊推論介紹.....	4-9
第三節 現地影像檢測評估作業介紹.....	4-14
第四節 本計畫工作執行步驟介紹.....	4-17
第五章 計畫執行工作與成果	5-1
第一節 檢測方法結合模糊推論之評等機制之建立.....	5-1
第二節 UAV 收集現場案例全景影像程序.....	5-23

第三節 水保設施維護方式探討	5-33
第六章 案例收集與討論分析	6-1
第一節 個案收集	6-1
第二節 本計畫執行效果與可行性探討	6-17
第七章 結論	7-1
參考文獻	參-1
附錄	附錄-1
附錄一、審查會議紀錄暨期初意見回覆辦理情形	附錄-1
附錄二、審查會議紀錄暨期中意見回覆辦理情形	附錄-2

表次

表 2-1 計畫進度表	2-3
表 4-1 水土保持工程設施目的說明表	4-3
表 4-2 破壞樣態編碼	4-5
表 5-1 台灣地區常用平等法的優缺	5-3
表 5-2 構造物總體檢表	5-5
表 5-3 山坡地水土保持設施自行檢查表	5-5
表 5-4 模糊問卷專家訪談年資表	5-7
表 5-5 模糊隸屬函數評估量表	5-8
表 5-6 DER 評估參考表	5-9
表 5-7 羅列出推論法則問卷	5-14
表 5-8 整合後的推論法則	5-15
表 5-9 評等分數表	5-22
表 5-10 無人機與人員實際現場評估比較表	5-24
表 5-11 工法修補與適用範圍表	5-36
表 5-12 各工法優缺評估表表	5-40
表 5-13 訪談對象基本年資	5-41
表 5-14 第一回合專家訪談結果表	5-41
表 5-15 需針對各種工法作適用範圍與分類	5-45
表 5-16 水保設施維護(maintenance)與維修(repair)說明	5-46
表 6-1 以無人機輔助巡檢可行性訪談問達彙整表	6-17
表 6-2 以無人機拍攝環景影像可行性訪談問達彙整表	6-19
表 6-3 以模糊推論改善評等可行性訪談問達彙整表	6-20

圖次

圖 2-1 計畫甘特圖	2-2
圖 4-1 周圍材料流失樣態	4-5
圖 4-2 砂石淤積形態	4-6
圖 4-3 結構物產生裂縫形態	4-6
圖 4-4 設施產生剝落形態	4-7
圖 4-5 設施產生磨蝕形態	4-7
圖 4-6 設施產生淘空破壞形態	4-7
圖 4-7 設施呈現位移之破壞形態	4-8
圖 4-8 構造物已呈現毀損崩壞形態	4-8
圖 4-9 梯形隸屬度函數示意	4-11
圖 4-10 參數 D 所定義的隸屬函數值示意圖	4-11
圖 4-11 模糊推論方式示意圖	4-12
圖 4-12 重心法示意圖	4-13
圖 4-13 平衡環架	4-15
圖 5-1 模糊推論架構	5-7
圖 5-2 參數 D 所定義的隸屬函數值示意圖	5-11
圖 5-3 參數 R 所定義的隸屬函數值示意圖	5-12
圖 5-4 參數 E 所定義的隸屬函數值示意圖	5-12
圖 5-5 推論後的輸出隸屬函數區間	5-16
圖 5-6 T-norm 運算說明圖	5-17
圖 5-7 T-conorm 運算說明圖	5-18
圖 5-8 模糊推論規則示意畫面	5-18
圖 5-9 推論系統畫面	5-19
圖 5-10 淘空案例圖	5-21

圖 5-11 為推論後所解模糊數值示意圖	5-21
圖 5-12 專案影像採集與評等流程圖	5-26
圖 5-13 俯視取景示意圖	5-27
圖 5-14 正面照取景示意圖	5-28
圖 5-15 個案特寫示意圖	5-28
圖 5-16 個案檢測資訊彙整示意圖	5-30
圖 5-17 使用一般影像軟體	5-31
圖 5-18 環景圖影像校正後縮放環繞檢視	5-32
圖 6-1 個案一個案現況資訊畫面	6-2
圖 6-2 個案一環景影像圖	6-2
圖 6-3 個案二個案現況資訊畫面	6-3
圖 6-4 個案二環景影像圖	6-4
圖 6-5 個案三個案現況資訊畫面	6-5
圖 6-6 個案三環景影像圖	6-5
圖 6-7 個案四個案現況資訊畫面	6-6
圖 6-8 個案四環景影像圖	6-7
圖 6-9 個案五個案現況資訊畫面	6-8
圖 6-10 個案五環景影像圖	6-8
圖 6-11 個案六個案現況資訊畫面	6-9
圖 6-12 個案六環景影像圖	6-10
圖 6-13 個案七個案現況資訊畫面	6-11
圖 6-14 個案七環景影像圖	6-11
圖 6-15 個案八個案現況資訊畫面	6-12
圖 6-16 個案八環景影像圖	6-13
圖 6-17 個案九個案現況資訊畫面	6-14

圖 6-18 個案九環景影像圖	6-14
圖 6-19 個案十個案現況資訊畫面.....	6-15
圖 6-20 個案十環景影像圖	6-16

第一章 緒論

第一節 前言

水土保持工程設施或稱治山防災工程構造，是達成水土保持治理成效的重要結構與設備。水土保持係以集水區為單元，進行保土蓄水之保育治理措施，以降低集水區本身及其下游河川或排水系統之土砂災害及洪水危害。然而在台灣水保設施位處偏遠山區中且數量多，加上各分區管理員人數有限，因此檢測損壞之設施無法於短時間內完成全面普查，然而對於災害防治與管理的成效有限。

所謂災害管理（Disaster Manegement），是針對危險情況的一種持續性、動態性的規劃管理過程，以減少危險情況的不確定性及降低災害發生之可能。從「管理」的觀念而言，有關災害種類、預防方法、發生時間、應變方式、復原計畫、政策檢討等，均為災害管理的範疇。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。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。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，卻是分散於台灣地區山坡地之範圍。

因此，在預防巡檢管理上確實有其實務上之困難度，又因管理區

域需長途交通往返，可建立災前或災後巡檢影像以提供水土保持安全之判斷，故可研擬一套 360 度定點紀錄影像於巡查時同步紀錄影像，以供日後有需要時進行判讀，如此可避免因視角關係缺漏影像紀錄，以至使無法判斷現況而需要再跑一趟現地，且利用 360 度全景攝影方式記錄影像，有利於巡檢紀錄提供作為區域現況評等，易於針對有受災區部份與範圍可透過直接於影像上檢視與評估，除此外目視檢測是常利用的現況評等法，但因工程人員對於語意方式進行評等，如轉換成以給量化給分方式評等，工程人員於給分認知因主觀不同有時上會有結果差異值出現，造成對於現況值評價不同的問題，因此本計畫藉由以模糊推論方法將語意與分數評等方式進行整合，再轉換為模糊隸屬函數，並藉由專家訪談收集推論法則，以利於評等在運用模糊推論出結果，其結果即為構造物現況等級，因此本計畫藉由以模糊推論方式協助將原本語意化與數字量化評等方式整合，以協助簡化評等人員的評等後的分級計算程序，而使得評等後運用模糊推論所產生結果即為結構現況功能分級。本計畫以影像可環繞檢視針對受損範圍概估全區現況，如此可提供作為管理單位災前或及災後檢視評等該區後受損現況範圍的有效工具，然後透過本計畫所提模式作設施影像判讀，並檢討其可行性，可提供對於往後進行災後復原可調閱存檔影像進行分析該區域原因推估之參考。

第二節 計畫目的

- 一、建置以目視檢測評等表作為參考依據，整合語意與數字評等方式，改以研擬出模糊推論結構現況分級模式。
- 二、探討透過 UAV 或搭配 360 度全景定點紀錄收集案例現場影像之可行性。
- 三、將巡檢影像與透過本計畫所提模式評估現況並檢討其模式之可行性，可提供相關單位作為決策參考之用。

第二章 本計畫主要交付項目

一、本計畫主要交付項目如下：

- (一)建立以模糊分級機制搭配無人機於水保設施現況影像判讀機制。
- (二)透過無人機蒐集集水區 10 項水保設施案例影像作案例測試。
- (三)透過本計畫所提模式分析影像資料，並與專家討論其效果與可行性。
- (四) 成果報告書

二、本計畫已完成之工作內容，在此各項執行進度進一步說明並以甘

特圖(圖 2-1)顯示如下：

- (一) 專案準備
- (二) 問卷及專家訪談與模糊尺度建置
- (三) 評等分級與推論法則庫建置
- (四) 利用無人機蒐集水保設施現況資料
- (五) 影像分析與專家討論效果及可行性
- (六) 成果報告撰寫

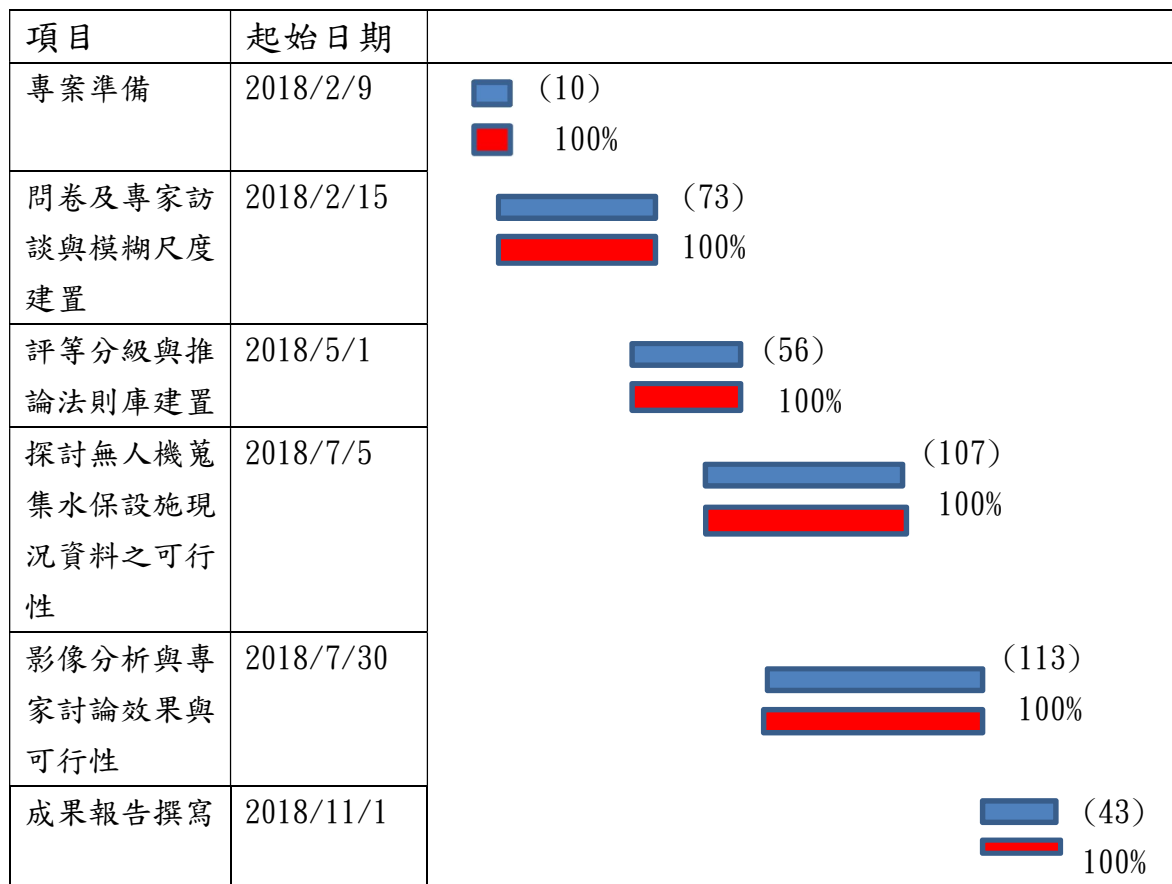


圖 2 - 1 計畫甘特圖

表 2 - 1 計畫進度表

重要工作項目	工作比重%	預定進度	107				備註
			1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	
問卷及專家訪談與模糊尺度建置	20%	工作內容	專家訪談	二次訪談	模糊尺度建置		
		累計百分比	30	60	100	100	
評等分級建置與推論法則建置	30%	工作內容		評等法建置	推論法則與現況分級建置	使用軟體建置推論系統	
		累計百分比		20	50	100	
探討無人機蒐集水保設施現況資料之可行性	20%	工作內容			蒐集區水保設施影像	蒐集區水保設施影像	
		累計百分比			50	100	
影像分析，與專家討論其效果與可行性	30%	工作內容		影像處理與分析	影像處理與分析	影像處理與分析	
		累計百分比		30	60	100	

第三章 文獻回顧

本節文獻回顧中將針對國內外有關模糊推論、無人機與影像接合等應用做相關文獻回顧。首先蒐集近年來以模糊推論應用的文章進行探討，已了解現今模糊推論應用的方向，以徐麥可 2018 模糊推論實作增強的室內定位系統，結合了模糊推論系統(Fuzzy Inference System)結合 RSSI 室內定位可以大致解決這個問題，模糊規則的定位結果成功率至少都提升 30%以上。嚴毅 2016 無線感測網路中使用人工智慧室內定位演算法，藉由人工智慧演算法讓無線感測網路之室內定位達到解析度高且辨識精確的效能。我們利用接收訊號強度指標(Received Signal Strength Indicator, RSSI)判斷室內環境中目標點與參考點之間的距離，並藉由數學模型的方式建立通道模型並模擬。Abdolreza 2014 提出了以模糊集理論為基礎的概念，於隧道施工作業評估風險事件的風險評估。結果與以往的風險評估的比較。使用模糊推理系統可精確地評估類似的問題。Ana Nieto-Morote and Francisco Ruz-Vila, 2012 提出了有系統化的資格預審程序，以模糊集理論為基礎，其主要以車型相比過程中的差異和優勢，模糊偏好關係不一致時適用於來處理該類問題，對於語意評估或定性或定量標準，提昇準確的性能評估。

以無人機應用於災害勘查影響處理等相關研究的應用，張庭韶 2018 在大規模災害發生的環境下，地形與時間的限制是目前搜救團隊所面臨的最大問題，因此也越來越多案例使用無人機來對災害環境進行勘查，情報的蒐集以及定位受災戶位置。梁中彝 2017 究研發出一套影像處理技術去偵測無人機即時回傳的影像中拍照對象的拍照

效果參數，與影像伺服控制系統來指引無人機飛行到可拍出相同效果相片的位置。Zhipeng Zhou et al. 2018 無人駕駛航空系統（UAS）越來越普遍，可以配備攝像頭，傳感器或其他智能設備，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提供有用的信息。一個可能的原因是工業從業者可能沒有充分了解其功能和潛力。為了讓從業者和學者認識到無人機系統的真正價值，本計畫調查了一系列適用於建築項目管理背景下的無人機系統應用場景。F. Khan; A. et al 2018 目前美國每年花費數百億美元來檢查基礎設施，並通常收集資料不可靠或基本主觀定性數據。檢查過程需要足夠的人員進入偏遠地區，例如適當的鷹架，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。然而，無人機系統（UAS）將被廣泛接受為實施監測和檢查程序的平台，可縮短檢查時間及檢測人員安全性的提升，目前德雷克塞爾大學的研究人員正在研究使用，其最終目標是執行橋樑狀況評估。LFang, Y.T. et al. 2017 陸地滑坡是台灣的重大自然災害。然而，傳統的通信方法僅允許“視線”僅有限的應用。文獻描述了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，因此檢查結果並不完全可以滿足，從而啟發了無人機開展低成本“非視線”通信方法以延長通信時間距離和面積。

全景影像接合部分，近年來國內外已有文獻應用無人機結合取得影像後進行影像拼接應用，以鍾駿綸 2015 使用平板電腦或手機在旋轉盤上做環景影像縫合(Image stitching)，使用縫合之方法與以往不同。提出使用對稱拼接及相關係數之原理將影像做自動化縫合，並將影像縫合時產生明顯的縫合線做邊緣平滑化及亮度調整，此影像縫合之方

法可加快縫合之速度。Ricardo Eiris Pereira 2018 理空間和材料屬性方面沒有提供真實世界環境的完整描述。可以解決這個限制的新興技術之一是全景增強現實。在文獻中，360°全景圖用於在真實施工現場對複雜情況進行可視化，並且這些全景圖可以增加不同層次的安全相關信息。全景增強現實創造真實的施工現場的高度現實和詳細的表示，同時給用戶認同感。這些功能使 360°全景增強現實成為開發專門用於施工安全的培訓材料的有力工具。在這樣的環境中，建築工人和專業人員能夠在實際建設項目的數據豐富的環境中進行導航。Duan Jie, et al 2017 隨著無人機的發展，可以在短時間內收集大量的施工現場視覺數據。利用這些數據，可以通過計算機視覺技術及時，頻繁地監測大型施工現場。提出了一種通過使用圖像拼接技術來生成施工現場的全景圖，其中側重於預處理。要創建高質量的全景圖像，會濾除模糊的視頻幀，選擇關鍵校正相機鏡頭失真。所提出的方法產生了高質量的建築場地全景圖，通過將其與航空照片進行比較並通過現有圖像拼接技術產生的全景圖進行評估。

綜合以上文獻於模糊推論部分有相關研究應用，模糊偏好關係不一致時適用於來處理該類問題，對於語意評估或定性或定量標準，提昇準確的性能評估。另外美國每年花費數百億美元來檢查基礎設施，人員進入偏遠地區，需有適當的鷹架，起重設備和其他防護設備，這將會提升檢查員的人身安全，但相對增加成本。然而，無人機系統（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機開展低成本“非視線”通信方法。全景部分以 360°全景圖用於在真實施工現場對複雜情況進行可視化，並且這些全景圖可以增加不同層次的安全相關信息。全景增強現實創造真實的施工

現場的高度現實，無人機的發展，可以在短時間內收集大量的施工現場視覺數據。提出了一種通過使用圖像拼接技術來生成施工現場的全景圖

第四章 計畫執行方法與步驟

第一節 常見的水保設施介紹

本小節以國內常見的水保設施作概要分類與介紹，再依據水保局提供相關資訊做為常見破壞分析，以瞭解當前水保設施所遭受到破壞類型與趨勢，調查過程中對於設施破壞的嚴重程度，範圍等相關的評等方式尚未加以分級定義，因此本計畫依據各種破壞類型整理，以目視檢測法將結合 DERU 評等法整合，透過模糊推論方式改善評等方式與分級上的落差，以提升對水保構造物檢測評等結果的一致性。

一、常見水保種類介紹

依據水保局治山防洪總體檢報告書，調查構造物大致依據溪流工程構造物區分為以下主要幾大類型：

(一)防砂設施

防砂設施包含有防砂壩、潛壩、梳子壩及丁壩等，其主要功能係於溪流兩岸之間係以構築之橫向結構物，其主要攔阻或調節河床砂石，減緩河床坡度以防止沖蝕，此外有控制留心抑制亂流，以防止橫向沖蝕，另於砂石堆積或是沖蝕地區配合整流可防止砂石二次流失。

(二)整流設施

其中包含有固床工、跌水工主要兩種，其固床工主要構成可以與河床平齊或略高於河床面，通常採多個連接構成一區段的固床設施，以擴大河床區段。主要功能為有效抑制河床面泥砂輸移及防止或減緩河床沖刷之情況發生，和調整河床坡度等功能。

跌水工係於適當地點建置垂落差之構造物，以長期控制高度消除水流之能量，減緩坡度過陡及水流速度之功用，主要功能減緩溪流水流之流速，以減少河床沖蝕並可約束流心。

(三)護岸設施

護岸為保護河岸而直接構築於岸坡之構造物，其主要功能為保護河岸及穩定坡腳，其設施直接與河床共構因此常受到河水沖蝕，大多數的構築材料多數仍以混凝土為主混合砌石或是以蛇籠等材料構築而成，經由近五年的治山防災總體檢調查成果發現該設施損壞類型多為基礎淘空，其次則為土石淹埋。

(四)水土保持工程設施之特性

水土保持工程設施，係指工程方法所施設之工程構造物。下表為水土保持工程設施目的說明表，透過此表 4-1 即可瞭解各種不同地工程設施構造物及施設主要目的。

表 4 - 1 水土保持工程設施目的說明表

設施 類型	定義	目的
防砂壩	為攔蓄河道泥砂、調節泥砂輸送、穩定河床及兩岸崩塌、防止侵蝕、沖蝕、抑止土石流所構築高度五公尺以上之橫向構造物。	1. 攔阻或調節河床砂石。 2. 減緩河床坡度，防止縱橫向沖蝕。 3. 控制流心，抑止亂流，防止橫向沖蝕。 4. 固定兩岸坡腳，防止崩塌。 5. 抑止土石流，減少災害。
梳子壩	在土石流或土砂流量較高之溪流，為減少大量土砂流出致災，而將防砂壩結構加以改良，其中壩體設計成狀似梳子型態者，謂之梳子壩。	1. 攔阻土石流或巨大岩塊，減少流出土砂量。 2. 調節土石流及高含砂流之土砂輸出量。 3. 延遲土石流或高含砂流流出扇狀地之時間。 4. 防止溪床堆積物移動。 5. 將土石流轉化為土砂流。
固床工	固床工為一個橫向構造物，可以與河床齊平或略高於河床面，同時常採用連續施設方式而構成一系列固床工，以擴大河道的保護區段。	1. 有效抑制河床面泥沙的輸移，防止河床產生嚴重沖刷現象。 2. 可以緩和床面及兩岸的流速，具有整流、導流、減緩沖刷、調整河床坡度等功能。
丁壩	由河岸向河心方向構築，藉以達到掛淤、造灘、挑流或保護河岸之構造物。	1. 改變水流流向，保護河岸。 2. 建立正常河寬，疏導河道。 3. 誘聚河灘堆積物，建立新河岸。
潛壩	為維持河床安定所構築高度在五公尺以下之橫向構造物	1. 安定河道。 2. 防止縱橫向侵蝕。 3. 保護護岸等構造物之基礎。
跌水工	溝渠坡度陡，水流流速過快，就會發生溝底沖蝕，在適當地點建造垂直落差，此種構造物稱跌水	1. 長期控制高度、消除水流能量 2. 可以減緩流速，安定渠道。 3. 減緩溝底沖蝕發生並約束流心。
護岸	為保護河岸而直接構築於岸坡之構造物。	保護河岸及穩定坡腳。

堤防	構築於河岸，防止河水氾濫，以保護田舍或導流歸槽之結構物。	豐水期防止河水氾濫，枯水期維繫河川正常使用。
----	------------------------------	------------------------

資料來源：水土保持手冊（2017）

二、水土保設施異常樣態分類

水保設施破壞形式種類，為使現場勘查所得之結果日後方便判斷與分析，本計畫依據文獻整理出水保設施常見之破壞狀況，對這些損害狀態分類常見的八大類如表 4-2 所示。

（一）暫時性現象(temporary condition)：文獻中稱為河道變化，本計畫廣泛定義為暫時現象包含泥砂淤積或掩埋，因該情況大都是因上游土石崩落而造成淤積或掩埋，其功能上有發會到期效果，因此僅需要加以部分清理，應即可恢復其原本主要設定之功能性，而周圍材料流失則主因於河道溢流造成水流過大沖刷背填材使得填材流失，常見於護岸或經大雨坡地逕流沖刷造成背填材流失，常見於擋土牆，但整體功能尚可，也可重新填補修護後即可恢復原有狀態。

（二）表面破壞(surface fracture)：本計畫定義為其破壞方式主要表面磨蝕或土沙沖蝕等相似樣態，其破壞程度因對於結構方面尚無影響，所以對於修補方面無須考量結構之問題。表面破壞型態主要涵蓋磨蝕、混凝土或砌石剝落以及混凝土裂縫等。

（三）結構受損(structural damage)：本計畫定義為對整體的結構物已產生嚴重破壞衝擊，再者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，如基礎淘空、沉陷、位移、崩毀或沖毀，因此對此類狀態檢測時需要加以評估其整體的安全性。

表 4 - 2 破壞樣態編碼

類型	樣態
暫時性現象	泥砂淤積或掩埋 周圍材料流失
表面破壞	裂縫 剝落 磨蝕
結構破壞	淘空 沉陷或位移 崩毀或沖毀

三、水土保設施異常樣態介紹

本節將說明各種破壞樣態與河道現象之簡介，以水保相關文獻採用之定義為主及相關圖片於以輔助說明。

(一) 周圍材料流失(Backfill erosion):設施結構體周圍因河水或雨水坡地逕流的沖刷，造成設施周圍砂石等材料流失，亦有可能導致設施結構體不穩稱之，如圖 4-1 所示。



圖 4-1 周圍材料流失樣態

(二) 砂石或泥砂淤積(Deposition or Blockage):水流經常夾帶許多土石、泥沙、樹木及異物等，以及因雨水沖刷造成邊坡土石崩

落，導致土砂或異物淤積於設施上方，影響水流方向，無法依照正常河道之途徑行走，導致設施功能降低但無損於結構本身，經清除即可恢復原本之功能，如圖 4-2 所示。



圖 4-2 砂石淤積形態

(三) 裂縫(Crack):因土石衝撞、水流沖刷及地震等各種破壞或劣化原因，使設施出現裂痕、裂縫及龜裂等情形，造成設施內部鋼筋裸露及鋼筋鏽蝕等損壞現象導致設施結構體減少或失去強度，如圖 4-3 所示。



圖 4-3 結構物產生裂縫形態

(四) 剝落(spalling):水保設施因長期受夾帶土石異物的水流沖刷，造成設施表面出現磨蝕產生裂縫而導致剝落，以是的結構體降低或失去原設計之功能，如圖 4-4 所示。



圖 4-4 設施產生剝落形態

(五) 磨蝕(Abrasion):水流夾帶砂石的沖擊磨蝕，使得表層破損進而降低其服務年限。混凝土受沖擊表面漸增性式擴大導致受磨損面積增加，而使得結構自身體積漸縮，導致功能降低，如圖 4-5 所示。



圖 4-5 設施產生磨蝕形態

(六) 淘空(Foundation erosion):結構體經河水及雨水的長期沖刷，造成設施部分流失、凹陷或破洞等結構體損壞情形，導致設施結構體不穩及日漸惡化等狀況，皆屬於淘空，如圖 4-6 所示。



圖 4-6 設施產生淘空破壞形態

(七) 沉陷、位移(Settlement、displacement):設施因地震、淘空、結構體承載力不足及土石崩落撞擊等各種因素，造成設施呈現傾倒、位移、沉陷和變形等部分結構體不在該設計之位置的異位情況，皆歸屬於設施結構體異位，如圖 4-7 所示。



圖 4-7 設施呈現位移之破壞形態

(八) 毀損崩壞(Collapse):設施部分結構體呈現毀損、崩塌或破壞，導致設施失去原有完整的面貌與結構體本身已失去原設計之功能，皆歸屬於毀損崩壞，如圖 4-8 所示。



圖 4-8 構造物已呈現毀損崩壞形態

第二節 目視檢測評等與模糊推論介紹

由於目視檢測使用的 DERU 評等法相關文獻指出於臺灣地區以目視檢測基礎建設中快速且應用廣泛，但須以應用的基礎設施類型，針對檢測項目加以調整或修正等級或尺度才適用於受檢測的基礎設施類型，如應用於橋梁檢測其細微程度相當注重主要需考量用路人的安全，但假若用於水保設施多處偏遠之處，對用路人之危害無立即之影響，再者水保設施所承受的破壞程度如裂縫或磨蝕遠大於橋樑，即使有部分破壞但整體的功能是不受影響的。

經由實際訪談專家所回饋結果後發現，以目視檢測所採用評等參數中，各個參數認定分數上有所落差，以原先以 4 分法使用時，反映出，每一個人所評估出的結果有差異時會造不知應以誰的認定分數為主，再者若以三個參數共同評估時，取其平均值計算的現況值會有權重問題出現，除此外以 10 分法評估時雖過程中較為複雜，但所產生結果較為細微，雖有產生分數差異情況，可在進一步作分數分區，讓整體結果較為相近，也因考量該整體情況，有鑑於此本計畫納入模糊推論來改善消彌評等時參數尺度的差異，另以用模糊推論協助簡化評等後的分數計算，使的評等三個主要因子後即可藉由推論得到結構現況分級。

本計畫依據實務上對於檢測水保設施時發現，目視檢測在進行評估時，由於考量到檢測員工作之方便及現象能夠充分表達的情況下，對於每個參數的表達級數，發現以橋梁檢測四分法有時對於判定上有時會有等級認定上頗大的差異；十分法，對於劣化現象之評估詳細程度有極大幫助，但往往會造成檢測員的分辨現象與判斷級數之困擾，不同的檢測員可能因看法不同，對於級數之給定將有不同之差異。

語意認定以及量化過程中會因檢測評定尺度所產生的差異問題，因此綜合以 10 分法為架構，再以 4 分法為參考依據並以模糊語意推論放式提供改善，因此本計畫將先行整合語義與分數認定，進一步整合後產生參考語義與分數，常見專家意見整合方式應用模糊及合為常見的方法之一，可以透過模糊偏好關係，以取的專家們的交集，所以透過訪談方式以及利用模糊理論來協助將其分數重新隸屬函數定義。

本計畫以模糊集理論主要用意之處以模糊集理論來描述不確定的邏輯問題，此外也可將語意部分透過此方式進行轉換已達到合理的區間。

一、 模糊推論應用

- (一) 模糊化:由輸入值對應到每個 fuzzy 的隸屬度
- (二) 規則評估: 決定各規則的對應程度
- (三) 解模糊化: 將整合的結果轉換成明確的輸出

本計畫將以模糊理論中常見的梯形模糊數作為應用。

1. 梯形歸屬函數(Trapezoidal Membership Function)

以梯形歸屬函數為例，可用 a_1 、 a_2 、 a_3 及 a_4 等四個值決定。 $a_3 - a_2$ 就是這個集合的核(core)； a_1 和 a_4 就是這個集合的左右邊界(left and right boundary)，左邊界點是 a_1 ，而右邊界點為 a_4 ，元素的範圍就介於 a_2 和 a_3 之間。如公式 4-1 所示。其對應之隸屬度函數如圖 4-9 所示。

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & , \quad x < a_1 \\ (x - a_1) / (a_2 - a_1) & , \quad a_1 \leq x < a_2 \\ 1 & , \quad a_2 \leq x < a_3 \\ (a_4 - x) / (a_4 - a_3) & , \quad a_3 \leq x < a_4 \\ 0 & , \quad x \geq a_4 \end{cases} \quad \text{公式 4-1}$$

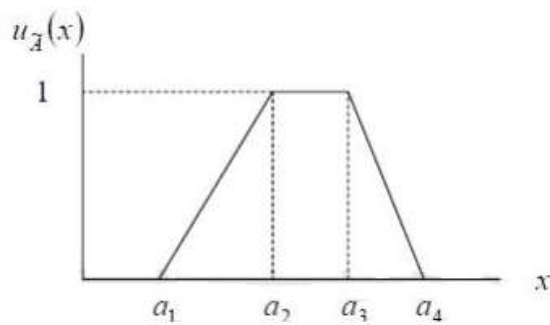


圖 4-9 梯形隸屬度函數示意

2. 模糊化

本計畫以目視檢測常用一般使用的評斷給分方式。針對水保工程經歷五年以上的專家透過訪談以訂出隸屬函數範圍。將透過專家訪談探討於水保檢測D、R參數值經語意轉換後所對應分數，再fuzzy語意分數，定義出Small、Medium、Large。參數範圍經整理後再輸入MATLAB，系統畫面示意如下圖4-10所示。

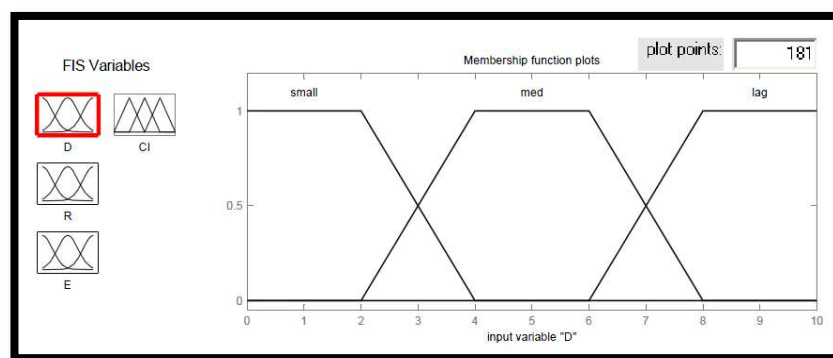


圖 4-10 參數 D 所定義的隸屬函數值示意圖

資料來源：Chen, 2015

3. 模糊法則庫及推論結果

水保設施現場檢測時，針對有受損的部分進行評估，歸納出合適於水保設施的評分，而該評估之分數值，有利於瞭解設施功能的現況。

透過推論法則後瞭解目前的狀態，來協助整個設施的現況值。推論方式示意如圖 4-11 所示。

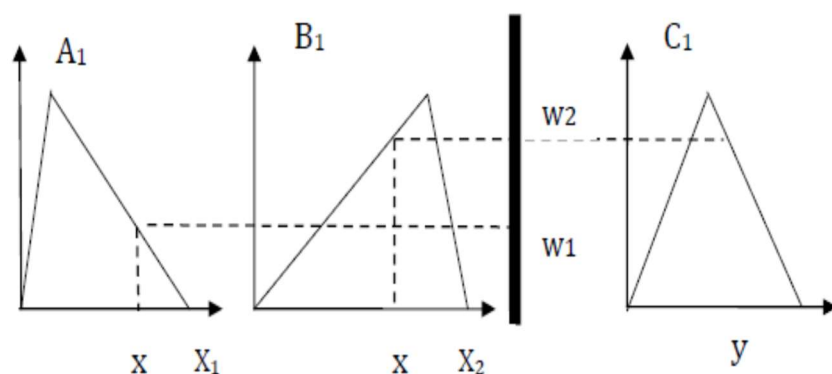


圖 4 - 11 模糊推論方式示意圖

4. 解模糊

本計畫解模糊概念，舉例說明若將檢測參數值透過系統解模糊後結果，解模糊後可以實際反映該構造物的實際現況，也可藉此讓評估值可以有效達到量化，以降低產生的偏差值也是本計畫採用fuzzy的重點，本計畫所採用解模糊是採用以常用的重心法(center of gravity method)作為計算公式。重心法是在yager(1981)的研究中所提到的解模糊化法，如公式4-2，本計畫採用常用的最大均值法：根據所定的前提滿足 α 或隸屬函數的隸屬度最大值以上的部份，對此隸屬函數作切割，其中 1 是大於或對於前提滿足度 α 或所定的隸屬度的個數(劉靜勇，2007)，如圖4-12所示。

$$Y = \frac{(Aa \cdot Ay) + (Ba \cdot By)}{Aa + Ba} \quad \text{-----} \quad \text{(公式4-2)}$$

Y: 解模糊轉換明確值

Aa, Ba: A 與 B 面積

Ay, By: A 與 A 重心

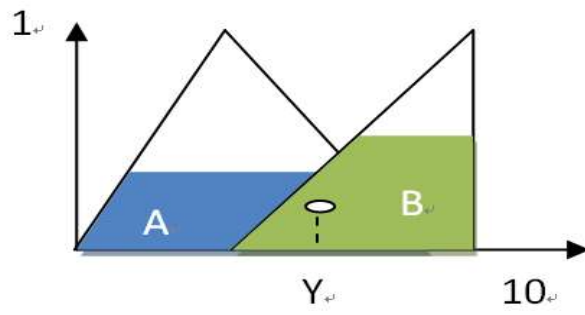


圖 4-12 重心法示意圖

第三節 現地影像檢測評估作業介紹

本計畫將採用無人機或搭配環影設備方式進行現場影像蒐集，主要考量無人飛行器相機（drone cameras）的廣泛應用，再者無人飛行器所取得影像，能夠彌補無法到達異常處得相關影像的問題，而且所捕捉到的畫面十分清楚而且視野廣泛。

一、 無人機的十大應用領域

- （一） 農業：無人機監控災害，收集作物健康與產量的即時數據。
- （二） 能源：能源公司利用無人機監控輸油管道和鑽探塔。
- （三） 地產與建築：對高爾夫球場、摩天大樓等拍照、勘察，通知地產商，也監控工程進度。
- （四） 快速響應與緊急服務：無人機利用紅外傳感器輔助從滅火到廢墟或雪崩尋人的搜救行動。
- （五） 新聞：使用無人機可比用人更快更安全地報導突發新聞/災難/戰區情況。
- （六） 包裝/供應交付：如 Matternet 建造無人機網絡向全球的偏遠農村運送食品和醫療用品。
- （七） 攝影/電影：視覺藝術家利用無人機捕捉優美畫面和拍攝角度。
- （八） 科研/保護：無人機幫助做一切事情，從計算阿拉斯加的海獅數量，到進行氣候、環境研究，乃至於跟踪非洲大草原的獸群移動等。
- （九） 執法：遭遇人質綁架、搜救、炸彈威脅等情況時刻輔助執法人員追蹤犯罪分子，監控跨境毒品走私。

二、 未來發展方向

(一) 智慧、自治：無人機會有自己的思想…。會。思考、做事、導航、規避、尋覓、發現、傳送等。

(二) 微型、廉價：設想無人機只有蒼蠅大小，能為你發送全動態的高清視頻。

隨著無人駕駛跟隨飛行器搭載相機（drone cameras）的出現，能夠彌補這些不足，所捕捉到的畫面十分清楚而且視野廣泛。其實就是利用平衡環架（gimbal）的概念，這歷史可以回溯到兩百多年前。平衡環架技術在十五世紀時被世人熟知，它為一具有樞紐的裝置，使得物體能繞著單一軸旋轉，而不會偏離軌道。彼此垂直的樞紐軸組成三隻一組的平衡環架，讓架在最內部的環物體可以維持旋轉軸不變。

平衡環架早期主要是應用在航海應用上，船員們會將羅盤放置於平衡環架上，讓羅盤不受到船身晃動的影響。現今，平衡環架的應用不只在航海上，也擴及到攝影的領域，當使用者在拍攝會錄影時，會將環架固定在相機上，讓畫面保持穩定，如圖 4-13 所示。

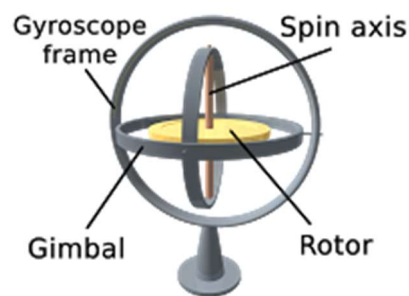


圖 4-13 平衡環架

無人駕駛跟隨飛行器的平衡環架，主要的動力來自引擎，它會控制每一根軸線。當使用者不管在海邊衝浪還是在雪地裡滑雪，只要

將相機裝置在無人駕駛跟隨飛行器上，設置好運鏡路線，相機鏡頭會自動捕捉畫面。另外，電腦程式會判斷使用者是否有下指令要相機移動位置，還是只是相機單純晃動到，如此一來可以讓影像保持在一個基準點上，不會因外力晃動到影像。

無人駕駛跟隨飛行器的缺點是十分耗電，所以使用者必須準備額外的電池隨時更換。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。

執行優勢現今無人機的使用相當廣泛，但對於使用於檢測這方面鮮少文獻，因此對於此概念運用可以提升檢測的安全性、便利性。以目視檢測法所呈現須要透過望遠鏡頭取樣或以肉眼目視，但相對產生紀錄上的問題，若距離過遠、遮蔽與高度無法克服狀態即無法有效達到目視檢測目的，再者影像紀錄則在高度與取景角度的問題上需要克服，綜合以上種種，無人機概念應可用於水保設施檢測，依據無人機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。

本計畫再規劃出有系統的檢測程序，包含影像紀錄技術、無人機飛行設定，有效建置成一套檢測模式，不僅可提供檢測上的便利性、安全性、準確性、即時性與長久性等等，檢測高度、距離的縮短，檢測影像的詳實紀錄，以及後續的判讀與維護均具備多重優勢。

第四節 本計畫工作執行步驟介紹

一、 步驟一

以目視檢測法為基礎結合模糊推論，提出本計畫所提之評等機制並利用反覆專家訪談後整合出模糊法則，並建置模糊推論法則庫，此方式作為評等分級的主要工具。問卷訪談對象以水保局工程人員及水保顧問公司進行訪談，以適合工程特性與實務需求。依據目視檢測法則加以改良，成為模糊推論分級評等法，利用反覆訪談後整合出模糊法則，並建置模糊推論法則庫，此方式作為評等分級的主要工具。

二、 步驟二

與水保局相關人員討論選取適合案例作實例測試，建議以鄰近縣市水保設施的案例，案例選擇方式以一個設施為一件案例，另考慮計畫執行時間以及交通可及性，進行定點採樣以十案例為原則收集影像資料，以無人機搭配環景攝影機所拍攝到的影像，再利用影像軟體將影像接合成 360 度環視影像或影片。

三、 步驟三

將所收集之影像資訊透過本計畫所提出之評等機制，檢視該區域環繞影像異常樣態，並作為現況評等，因此影像可以透過各種角度平移或放大來檢視所要觀察的區域或周邊環境。經由檢視評等過程，將評等出設施功能有低於原設定程級時的影像逐一擷取。

四、 步驟四

對於該區域評等受損的分級結果，可再利用影像可做進階環繞檢視，並可在藉由巡檢區鄰近環境去判讀該區域目前的災害變化趨勢，另外可以將收集影像資料帶回套入本計畫所提模式中分析以及透過

本計畫提出的評等模式所產生的判讀結果，並與專家討論其效果與可行性。

第五章 計畫執行工作與成果

第一節 檢測方法結合模糊推論之評等機制之建立

以目視檢測法為基礎結合模糊推論方法，提出本計畫所提之評等機制，並利用專家深度訪談後整合出模糊法則，並建置模糊推論法則庫，此方式作為評等分級的主要工具。問卷訪談對象以水保局工程人員及水保顧問公司進行訪談，以適合工程特性與實務需求。依據目視檢測法則加以改良，成為模糊推論分級評等法，利用訪談後整合出模糊法則，並建置模糊推論法則庫，此方式作為評等分級的主要工具。

一、評等法介紹

橋梁檢測評估方式中，主要有內政部營建署訂頒供各縣市政府使用之 A. B. C. D. 系統及交通部高速公路局與公路總局使用之 D. E. R. U. 系統。兩種系統各有其特色與優缺點。

A. B. C. D. 系統之主要精神為強調建立系統化、組織化的檢查架構，其為避免遺漏任何項目，除將橋梁結構分為八大類外，每一大類則依構件又分為許多子項目，而每個子項目則以條列方式列出其破損項目或檢測項目，直接供檢查人員參照勾選損傷等級並記錄說明文字。

優：此評等方法以條列方式列出破損項目，對於檢查員而言，可具體明確的了解應檢查的項目與重點，同時對於檢測項目可做較標準化、一致性的規定。

缺：此系統主要僅記錄構件的損傷程度，雖然 A~D 等級已包含應採取之對策原則，但對於損傷或瑕疵範圍、面積大小，以及對橋梁結構安全與服務功能的影響度，並未以量化的數值來評定記錄。

D. E. R. U. 系統強調的是大規模、快速地進行，適用於龐大數量如橋梁初步普檢與篩選評估。

優：檢測記錄方式甚為精簡、快速，因此適用於初始檢查而非深入行檢測，因此適合用於目視檢測法。此評等法不但針對劣化嚴重程度(Degree)做評估，同時亦評估劣化範圍(Extend)大小，考慮劣化對整體橋梁結構安全性之影響(Relevancy)及劣化構件維修的急迫性(Urgency)，最後還可根據 D. E. R 值，配合構件對橋梁重要性之權重，以理論模式計算橋梁之狀況指標與優選排列等指標。

缺：D. E. R. U. 系統無一具體的檢查項目與重點可茲參考，且其對於劣化程度（D 值）判斷等級之「原則性」定義不夠明確，容易遺漏某些劣化情況或流於主觀意識。另外，目前交通部高速公路局與公路總局所使用之 D. E. R. U. 系統主要為針對混凝土橋梁之檢測，除混凝土橋外，如鋼結構橋梁之檢測判定，有另訂其標準。

此外美國於 1967 年發展另一套系統全國橋梁清冊（National Bridge Inventory, NBI）系統主要步驟首先建立橋梁基本資料(SI&A)評量表，第二再對各構件先作整體（Overall）評量，分為好（good）、尚可（fair）、劣（poor）及無法評等（N/A）等四等級，係為橋梁結構部位評量（Condition Rating）之先前作業。其中對橋梁結構部位評量（Condition Rating）即（SI&A）評量表中「Condition」項目，係針對橋梁橋面版、上部結構、下部結構、河道等部份進行分級評量，評量標準分為 0、1、2...~N 等 11 級，第三進行橋梁現況之服務水準之評估(Appraisal Rating)，即橋梁基本資料與評估表中之「Appraisal」項目，對橋梁現況之服務水準是否滿足現行規範之要求，同樣評量標準也分為 0、1、2...~N 等 11 級。

NBI 與 DERU 相互比較下，NBI 並無 D.E.R.U 系統中構件維修的急迫性（U 值）之功能，假如一座橋梁經橋梁結構部位評量（Condition Ratings）或服務水準之評估（Appraisal Rating），而其評估結果低於規定值，則稱為結構缺陷（Structurally Deficient）與功能喪失（Functionally Obsolete），該橋有結構性之缺陷，則表示該橋需限重、立即行維修、甚至於需封橋。如何判定為結構缺陷或功能喪失，則需作進一步 S. R.（Sufficiency Rating）值之評量，以作為橋梁維修（S. R= $\leq 80\%$ ）或改建（S. R= $\leq 50\%$ ）之優先順序之參考及美國聯邦政府預算經費編列及核撥之依據。（陳永銘, 2007）

針對 A. B. C. D. 系統之主要精神為強調建立系統化、組織化的檢查架構，其為避免遺漏任何項目，除將橋梁結構分為八大類外，每一大類則依構件又分為許多子項目，而每個子項目則以條列方式列出其破損項目或檢測項目，直接供檢查人員參照勾選損傷等級並記錄說明文字。另外 D. E. R. U. 系統上強調的是大規模、快速地進行龐大數量橋梁的初步普檢與篩選評估。針對兩種評等法的優、缺簡要整理如下表 5-1 所示。

表 5 - 1 台灣地區常用評等法的優缺

種類	優	缺
A. B. C. D	此評等法以條列方式列出破損項目。對於檢查員而言，可具體明確的了解應檢查的項目與重點對於檢測項目可做較標準化、一致性的規定。	A. B. C. D. 系統主要僅記錄構件的損傷程度，雖然 A 至 D 等級已包含應採取之對策原則，但對於損傷或瑕疵範圍、面積大小，以及對橋梁結構安全與服務功能的影響度，並未以量化的數值來評定記錄。
D. E. R. U	檢測記錄方式甚為精簡、快速。適宜初始檢查而非深入行檢測，因此適用於目視法 此評等法針對劣化嚴重程度	D. E. R. U. 系統無一具體的檢查項目與重點可茲參考。 對於劣化程度（D 值）判斷等級之「原則性」定義不夠明確，故恐怕容

	(Degree)做評估，同時亦評估劣化範圍(Extend)，考慮劣化對整體橋梁結構安全性之影響(Relevancy)及劣化構件維修的急迫性(Urgency)。根據 D. E. R 值，配合構件對橋梁重要性之權重，以理論模式計算橋梁之狀況指標與優選排列等指標。	易遺漏某些劣化情況或流於主觀意識。 目前交通部高速公路局與公路總局所使用之 D. E. R. U. 系統主要為針對混凝土橋梁之檢測，其中並無提供鋼結構橋梁之檢測判定標準，故不適用於鋼結構橋梁。
--	---	---

資料來源：(陳永銘, 2007)

水保檢測法常見的有兩種，一為初始檢測以概略宏觀方式檢測，因此適用直接目視法，即透過直接目視檢測整體時程短，有文獻指出 D. E. R. U 系統只考量結構體本身劣化之缺陷之評估，對於構造物水準之評估 (appraisal rating)，但每一評估因子需要有完整定義尺度或分數。因此目視檢測需考使用量語意法與量化法評等差異。以量化法而言對於四分法評估尺度會因人、構造物不同以及分數認定也有所不同認定標準。因此可採用分數評定包含損壞程度，影響範圍大小等。另外依水土保持構造物總相關檢查表進行評等。經檢視兩種檢測方式後，發現多為語意方式進行檢測，例如以裂縫為例，以輕微、中度、嚴重，或是健康程度以 A、B、C、D 方式進行勾選(如表 5-2、5-3 所示)，尚無量化數據，因此評等結果有時會有差異情況，建議以 DERU 評等方式進一步改良並將語意與量化評等方式整合，運用模糊化方式將其語意及量化整合，並依據語意分轉化成為隸屬函數作分數量化，有鑑於此本計畫納入模糊推論來改善語意與量化兩類的評估認定差異，經由運用模糊推論以使得評等後利用推論引擎來協助進行結構現況分級。

表 5 - 2 構造物總體檢表

健康檢查結果	功能評估	☐ C 級：構造物受損，影響功能 ☐ D 級：構造物損毀 ☒ A 級：構造物狀況良好
	環境衝擊	☒ 低 ☐ 中 ☐ 高

表 5 - 3 山坡地水土保持設施自行檢查表

路面癥兆檢查		
檢查項目名稱	是/否	評量說明
1. 路面是否出現新裂縫?	☐ 是 ☐ 否	長度____公尺、寬度____公分
2. 路面是否出現變形?	☐ 是 ☐ 否	☐ 輕微、 ☐ 中度、 ☐ 嚴重

二、模糊推論之評等機制

本計畫採用針對目視檢測，整合模糊推論評等的主要問題點，語意與量化方式認定過程會使檢測人員不同有評等方式數時會產生的評等結果差異問題，因此綜合以 10 分法為架構，採以模糊語意尺度設定，再進一步以推論方式產生整個構造物評定出現況分級，再運用該分級找尋合適的維護方式，達到整體評等過程的改善，因此本計畫將先行整合語義與分數認定，進一步整合後產生參考語義與分數，常見專家意見整合方式應用模糊及合為常見的方法之一，可以透過模糊偏好關係，以取的專家們的交集，所以透過訪談方式以及利用模糊理論來協助將其分數重新隸屬函數定義。採以模糊理論主要用意之處以

模糊理論來描述不確定的邏輯問題，此外也可將語意部分透過此方式進行轉換已達到合理的區間。本節針對模糊理論應用部分加以說明。

(一)模糊推論(Fuzzy inference)

許多模糊系統相關研究，包括模糊集理論，模糊邏輯，模糊推理(論)。目前，模糊控制是最有效和最發達的領域。模糊推論解決了傳統控制理論無法解決的問題。模糊推論系統的一個關鍵組成部分是模糊推理機制。

(二)模糊化(Fuzzification inference)

在數據模糊化，語意變量用於分類變量。可分為 3-7 級。的水平可以由專家選擇的隸屬函數的範圍，是適合每一個變量，或人工選擇。輸入的數據或狀態變量是通過從控制部件在模糊化界面，並轉換成其相應的隸屬函數和隸屬函數值。推理，然後在後續階段實施。這種機制模糊法則庫的基礎上，從給定的事實推斷的結論。許多推理機制，模糊推理方法是其中最常見的。

(三)模糊法則庫(Fuzzification inference of rule base)

藉由 IF-THEN 的模糊規則，描述系統的輸入與輸出，作為核心的模糊推理機制和基礎，此方法規則是建構以人類的經驗或學習方法訓練而來。根據模糊法則庫的規則來推論，產生相關模糊集合。模糊法則庫和去模糊化 interface. show 在圖 3 的模糊推理架構。

(四)解模糊化(Defuzzification inference)

去模糊化轉換到一個特定的值中生成的模糊推理的結論。的各種解模糊的方法，最常用的是加權平均解模糊化，平均極大值去模糊化和中心的重心解模糊化。重心解模糊，是最常用的方法。

模糊法則庫和去模糊化在圖 5-1 的模糊推理架構。

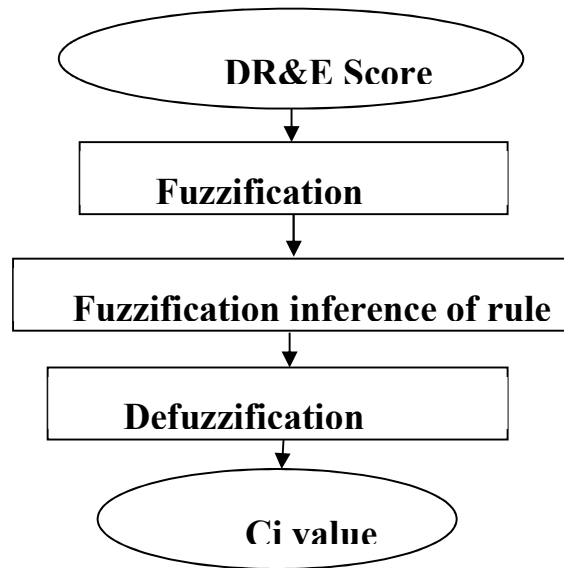


圖 5 - 1 模糊推論架構

針對 D 與 R 值評分準則，對於常見的十分法或是四分法使用上透過訪談及計算後發現，四分法因為給定分數時級距小，所以有時候分數差異上會產生結果的極大落差出現，再者因設施檢測主要是評定遭破壞的狀態為主，分以下類別包含大、中、小明確部分，但針對模糊重疊部分定義為近似中、近似大兩種，並給予各分類參考範圍，加上 10 分法較能夠明確顯示破壞現狀，針對 8 位水保工程經歷 6 年以上的專家透過訪談並以實際照片進行問卷填寫後訂出隸屬函數範圍。如下表 5-4 所示。

表 5 - 4 模糊問卷專家訪談年資表

職稱	工程年資	人數
水保工程師	20 年以上	1
顧問公司資深工程師	16~20 年	1
水保技師	11~15 年	2
公部門承辦人員	6~10 年	4

模糊尺度問卷量表架構如下表 7 所示模糊尺度問卷評估表，建議填寫數字區間 0~10 分別填寫於各區間。舉例，如程度，類別小，填

寫 0~2，程度近似中則填寫 3~5，以此類推。

表 5 - 5 模糊隸屬函數評估量表

類別 語意	小	近似中	中			近似大	大
程度(D)			0 1 2 3 4 5	6 7 8 9 10			
	小	近似中	中			近似大	大
範圍(E)			0 1 2 3 4 5	6 7 8 9 10			
	小	近似中	中			近似大	大
功能影響(R)			0 1 2 3 4 5	6 7 8 9 10			

以 D 為例說明十分法為 0-10 分，那左邊邊界設為 0 右邊邊界設為 10，中間值設為 5，依據公式 1 運算，將邊界 2 至 8 分成 3 等份。那所選擇等份後依據大、中、小所提供的範圍去選擇分數。再將 10 分法化為 3 個主要區間，再以訪談結果透過模糊方式將兩區間重疊模糊部分提供參考值，並定出各區間參考值，來協助評估人員的使用。

以結構破壞程度小 (small) 的所訪談後參數值落於為 [0, 4]，但是 small 的程度不同，此時邊界小於 2 所對應的隸屬函數為定值 1，但 [2, 4] 之間的隸屬函數有部份專家有填寫有部分捨棄，因此該部分模糊範圍與中度的部分重疊該部分則定義為近似中度，該部採斜線公式取得模糊數值。損壞程度中等 (Medium) 問卷後所取得範圍參數值為 [2, 4, 6, 8]，4-6 分範圍均屬同意因此設定值 1，[2, 4] 及 [6, 8] 區間所對應隸屬函數與大的部分範圍重疊，因此重疊部分定義為近似大，採以斜線公式取得模糊數值。

損壞程度大 (Large) 的參數值所取得範圍為 [6, 10]，對損壞程度

大來說，此時邊界大於 8 以上所取得一致隸屬函數為 1，而 $[6, 8]$ 之間的隸屬函數對應值與中有重疊模糊部分，以斜線公式取得如公式 (5-1)-(5-3)。功能影響性 R 值推算方式亦同 D 參數。如公式 (5-4) 至 (5-9)。E 值因橋梁檢測使用時已有量化區間，因此本計畫在經調整適用水保檢測下 0-30% 為一區間，30%-60% 為一區間，60%-100% 為一區間，設部分也是採以梯形隸屬函數，損壞參數值 small 為 $[0, 4]$ ，而 $[2, 4]$ 之間的隸屬函數如上 D 值設定有點近似中，以斜線公式取得。損壞範圍 Medium 的參數值為 $[2, 4, 6, 8]$ ， $[2, 4]$ 及 $[6, 8]$ 區間所對應之隸屬函數以斜線公式取得與大的重疊區域 $[6, 8]$ 定義為近似大。損壞參數值 large 為 $[6, 10]$ ，對損壞程度 large 來說，此時邊界大於 10 所對應的隸屬函數為 1，而 $[6, 8]$ 之間的隸屬函數對應值以斜線公式取得。

表 5 - 6 DER 評估參考表

類別	0-2	2~4	4~6	6-8	8~10
程度(D)	輕	近似中	中	近似大	重
範圍(E)	短	近似中	中	近似長	長
功能影響(R)	小	近似中	中	近似大	大

本計畫整理以公式(5-1~5-9)參數D推算結果如下：

1. 參數D推算結果

$$\mu_{D\text{-small}}(X) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 2 \\ \frac{4-x}{3}, & 2 \leq x \leq 4 \\ 0, & 4 < x \end{cases} \dots\dots\dots (5-1)$$

$$\mu_{D\text{-Medium}}(X) = \begin{cases} 0, & x \leq 2 \\ \frac{4-x}{3}, & 2 \leq x \leq 4 \\ 1, & 4 \leq x \leq 6 \\ \frac{8-x}{3}, & 6 \leq x \leq 8 \\ 0, & 8 \leq x \end{cases} \dots\dots\dots (5-2)$$

$$\mu_{D\text{-Large}}(X) = \begin{cases} 0, & x < 6 \\ \frac{x-6}{3}, & 6 \leq x \leq 8 \\ 1, & 8 \leq x \end{cases} \dots\dots\dots (5-3)$$

2. 參數R推算結果

$$\mu_{R\text{-small}}(X) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 2 \\ \frac{4-x}{3}, & 2 \leq x \leq 4 \\ 0, & 4 < x \end{cases} \dots\dots\dots (5-4)$$

$$\mu_{R\text{-Medium}}(X) = \begin{cases} 0, & x \leq 2 \\ \frac{4-x}{3}, & 2 \leq x \leq 4 \\ 1, & 4 \leq x \leq 6 \\ \frac{8-x}{3}, & 6 \leq x \leq 8 \\ 0, & 8 \leq x \end{cases} \dots\dots\dots (5-5)$$

$$\mu_{R\text{-Large}}(X) = \begin{cases} 0, & x < 6 \\ \frac{x-6}{3}, & 6 \leq x \leq 8 \\ 1, & 8 \leq x \end{cases} \dots\dots\dots (5-6)$$

3. 參數E推算結果

$$\mu_{E\text{-small}}(X) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 2 \\ \frac{4-x}{3}, & 2 \leq x \leq 4 \\ 0, & 4 < x \end{cases} \dots\dots (5-7)$$

$$\mu_{E\text{-Medium}}(X) = \begin{cases} 0, & x \leq 2 \\ \frac{4-x}{3}, & 2 \leq x \leq 4 \\ 1, & 4 \leq x \leq 6 \\ \frac{8-x}{3}, & 6 \leq x \leq 8 \\ 0, & 8 \leq x \end{cases} \dots\dots (5-8)$$

$$\mu_{E\text{-Large}}(X) = \begin{cases} 0, & x < 6 \\ \frac{x-6}{3}, & 6 \leq x \leq 8 \\ 1, & 8 \leq x \end{cases} \dots\dots (5-9)$$

經語意轉換後所對應分數做說明，fuzzy語意分數，那參數D、R、E與定義出Small、Medium、Large。參數定義出範圍如下。經整理後再輸入MATLAB，系統畫面如下圖5-2所示。

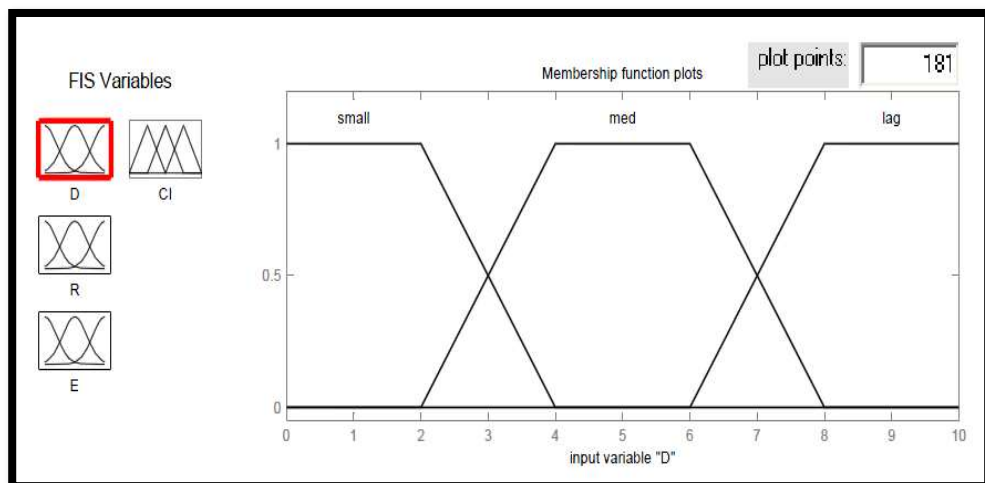


圖 5 - 2 參數 D 所定義的隸屬函數值示意圖

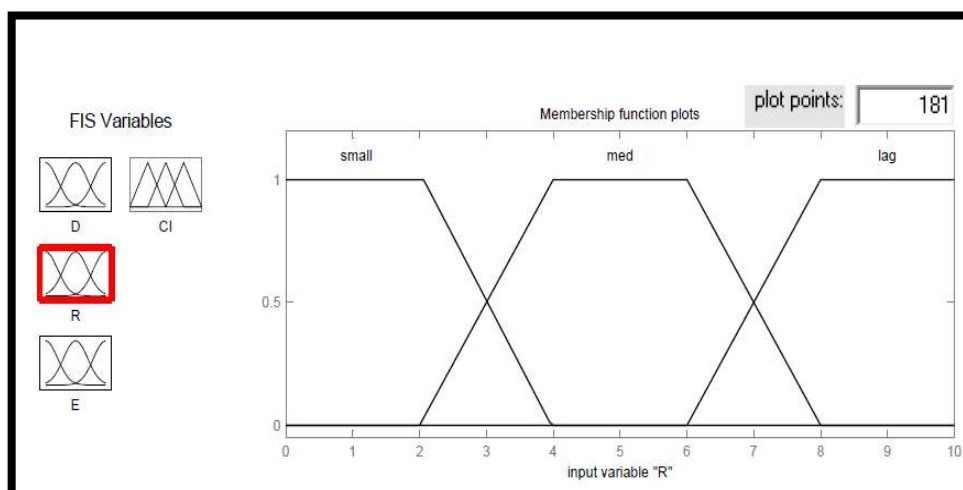


圖 5 - 3 參數 R 所定義的隸屬函數值示意圖

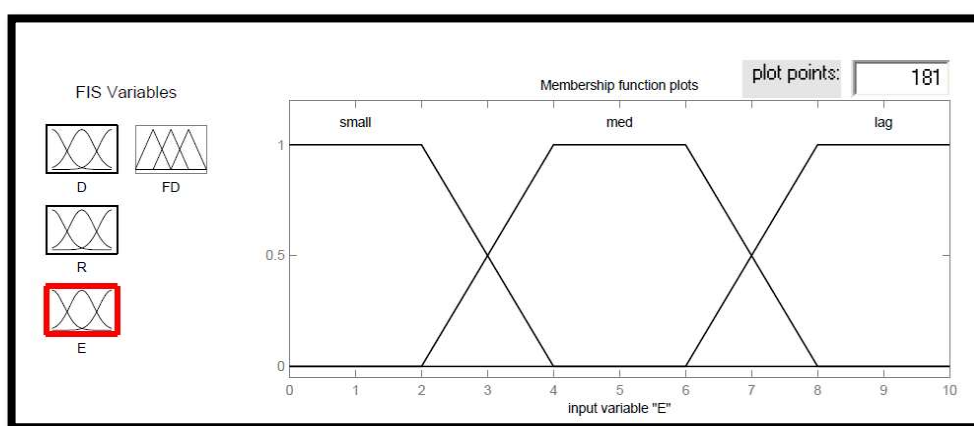


圖 5 - 4 參數 E 所定義的隸屬函數值示意圖

以語意定義，破壞程度以面積或深度認定，輕微狀態、近似中度、中度、近似重度、重度五種，功能影響方面認定構造物本身功能使用上影響程度考量，對結構物穩定及本身功能運作影響性，認定上也是分以下幾種，小、近似中、中、近似大、大影響。DERU評等法計算現況值是採DRE三個值進行公式計算，再推算出現況指標。本計畫考量所用的計算公式是否適用於水保設施，因此本計畫採用模糊推論方式利用D、R、E因子進行評等，並利用三個評等因子的綜合值進行推論

所產生的結果，即作為該造物目前現況指標，可簡化分數計算問題。並可於輸入評等值後即可得到現況等級。

檢測評分後現況程度各分為 A、B、C 三級，主要考量是後續維護的運用，利用模糊推論出結果與現況值，以值分成三個參考區間，第一區間為 0~0.29 為等級 A，區間第二區間為 0.3~0.59 為等級 B，第三區間為 0.6~1 為等級 C，分數越高代表等級越高本身功能性越佳，相對的第三區間代表功能性不佳，這些參考區間將依分數高低。依據上述案例推論出現況值經計算後功能區間為第二區間。

因此本計畫也將整理出常見的受損維護方式，再運用訪談方式，請專家協助填寫個等級的處置方式，以利後續評等結果進一步運用至維護階段處置建議。

三、模糊法則庫及推論結果

水保設施現場檢測時，針對有受損的部分進行評估，歸納出合適於水保設施的評分，而該評估之分數值，有利於瞭解設施功能的現況。透過推論法則後瞭解目前的狀態，來協助整個設施的現況值。

(一)推論法則庫問卷

本計畫於法則庫部份首先運用模糊語意進行組合法則庫，再經由專家訪談過程中進行不適用的法則進行刪除。推論法則庫初始羅列出 27 條推論法則如下表所示。

表 5 - 7 羅列出推論法則問卷

	D	R	E	結果
1	小	小	小	
2	小	小	中	
3	小	小	大	
4	小	中	小	
5	小	中	中	
6	小	中	大	
7	小	大	小	
8	小	大	中	
9	小	大	大	
10	中	小	小	
11	中	小	中	
12	中	小	大	
13	中	中	小	
14	中	中	中	
15	中	中	大	
16	中	大	小	
17	中	大	中	
18	中	大	大	
19	大	小	小	
20	大	小	中	
21	大	小	大	
22	大	中	小	
23	大	中	中	
24	大	中	大	
25	大	大	小	
26	大	大	中	
27	大	大	大	

經問卷訪談後將不適用的推論法則先進行刪除，再進行填寫後的彙整結果，並依據推論結果分級整合後如下表所示。經彙整後法則庫則依據轉換輸入到推論系統中。

表 5 - 8 整合後的推論法則

	D	R	E	結果(等級)
1	小	小	小	A
2	小	小	中	A
3	小	中	小	A
4	小	中	中	B
5	中	小	小	A
6	中	小	中	B
7	中	中	中	B
8	中	中	大	B
9	中	大	中	B
10	中	大	大	C
11	大	中	中	B
12	大	中	大	C
13	大	大	中	C
14	大	大	大	C

模糊化是一個工具，用於輸入數據進行模糊化。模糊隸屬函數轉換後，數據所表達的語義描述。這項研究認為，實際的情況。本計畫將語意變數轉化輸出為一個變數值，三變數定義為 X_1 、 X_2 與 X_3 分別代表 D、R 與 E 值，那所對應的語意 {small, moderate, large}, {small, moderate, large}, {small, moderate, large} 為 CI-level 為輸出結果為 C_i 為輸出結果 {normal, bad, very damage}, CI 值語意定義區分為三個等級我們還必須現場設施狀況指數的隸屬函數的模糊推理過程的目標後。隸屬函數的目標範圍在 0-10 的分數。C 級接近 10，表示嚴重破壞指數，換句話說，反映病情指數函數遞減設施。以三角形分佈表示 normal, bad, very damage 範圍定義，定義方式如下 normal 擇取 [0, 0, 0.5] Bad 範圍 [0, 0.5, 1], very damage [0.5, 1, 1]，此方式定應以用推論結果所分數越高表是損毀情況越嚴重，並以 5 取其中心點劃分。

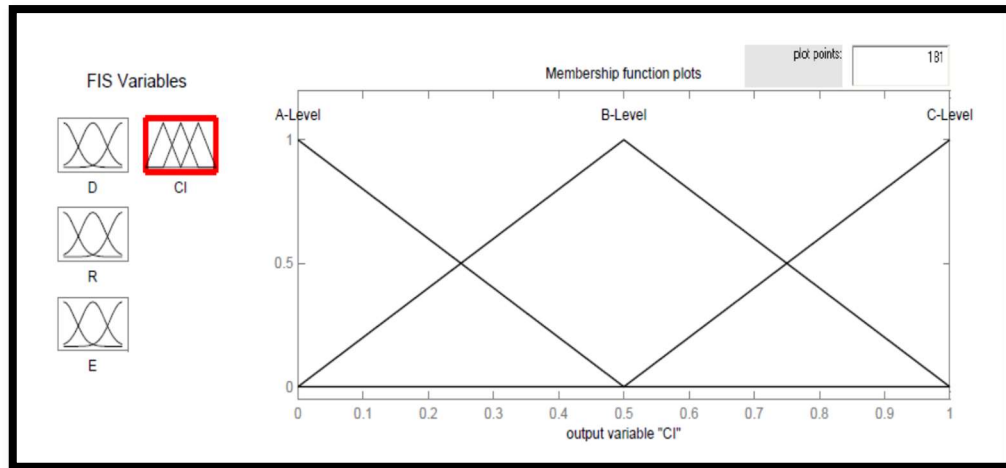


圖 5 - 5 推論後的輸出隸屬函數區間

模糊推論引擎是模糊系統的核心，它將模糊輸入集合利用模糊法則庫來得到模糊輸出集合。推論的運算有許多種運算的方式，其中考慮到運算之方便性，以T-norm運算和T-conorm運算最為普遍。公式如(5-10)至(5-14)

A和B的交集記作 $A \cap B$ ，亦為 X 中的一個模糊集合，其隸屬函數為：

$$\mu_{A \cap B}(x) = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) \text{ ----- (5-10)}$$

其中 $T(.)$ 稱為 T- 範圍 (T-norm)，是一個從 $[0, 1] \times [0, 1]$ 映射至 $[0, 1]$ 的函數。常用的T-norm函數如：

模糊交集(fuzzy intersection)： $T(a, b) = \min(a, b)$

A和B的聯集記作 $A \cup B$ ，亦為 X 中的一個模糊集合，其隸屬函數為：

$$\mu_{A \cup B}(x) = C(\mu_A(x), \mu_B(x)) \text{ ----- (5-11)}$$

其中 $C(.)$ 稱為 T- 共範圍 (T-conorm)，是一個從 $[0, 1] \times [0, 1]$ 映射至 $[0, 1]$ 的函數。

常用的T-conorm函數如：

模糊聯集(fuzzy union)： $C(a, b) = \max(a, b) \text{ ----- (5-12)}$

在模糊規則 IF 中的前件部，T-norm運算是屬於模糊交集運算，

運算子選取最小值法。而 T-conorm之模糊聯集運算，其運算子選取最大值法。假設輸入變數維度為 2，模糊法則庫之資料如下：

$R1: \text{If } X1 \text{ is } A1 \text{ and } X2 \text{ is } B1, \text{ then } y = C1; \text{-----}(5-13)$

$R2: \text{If } X1 \text{ is } A2 \text{ and } X2 \text{ is } B2, \text{ then } y = C2; \text{-----}(5-14)$

推論引擎將前提部分與模糊法則庫先行配對，可獲得輸入變數 $X1$ 對應於模糊集合 A 集合，輸入變數 $X2$ 對應於模糊集合 B 集合，以及輸出變數 y 對應於模糊集合 C 集合，當 $X1$ 與 $X2$ 之值均為 x 時，在 A 集合中對應到 $w1$ ，在 B 集合中對應到 $w2$ ，是採用 T-norm 運算結果，因為 T-norm 之運算是屬選取最小值法，所以輸出的的隸屬度為 $w1$ 。若採用 T-conorm 運算，因為 T-conorm 運算是選取最大值法，因此輸出的隸屬度為 $w2$ ，如圖 5-6 所示。(張斐章等人 2003)(方 豪 2006)

推論引擎將前提部分與模糊法則庫先行配對，可獲得輸入變數 $X1$ 對應於模糊集合 A 集合，輸入變數 $X2$ 對應於模糊集合 B 集合，以及輸出變數 y 對應於模糊集合 C 集合，當 $X1$ 與 $X2$ 之值均為 x 時，在 A 集合中對應到 $w1$ ，在 B 集合中對應到 $w2$ ，是採用 T-norm 運算結果，因為 T-norm 之運算是屬選取最小值法，所以輸出的的隸屬度為 $w1$ 。若採用 T-conorm 運算，因為 T-conorm 運算是選取最大值法，因此輸出的隸屬度為 $w2$ ，如圖 5-6 所示。(張斐章等人 2003)(方 豪 2006)

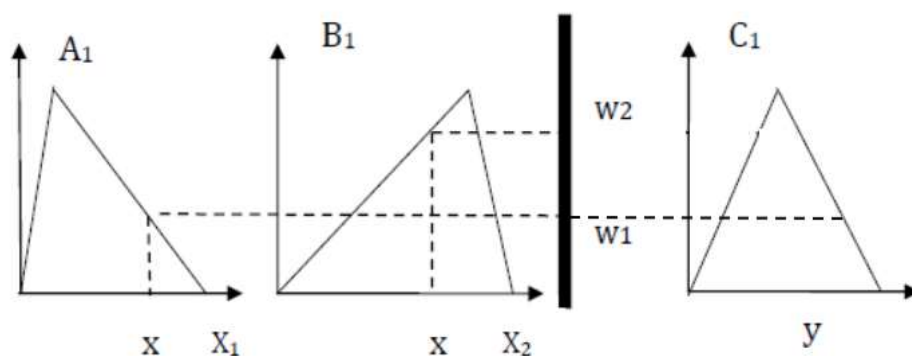


圖5 - 6 T-norm 運算說明圖

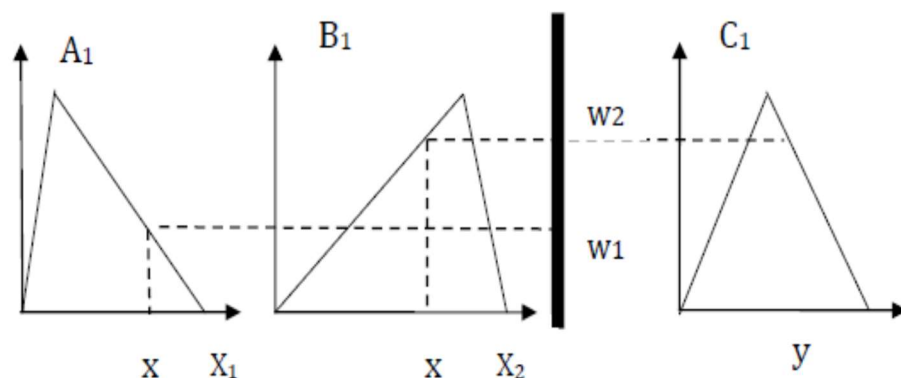


圖 5 - 7 T-conorm 運算說明圖

本計畫採以模糊交集(and)運算，運算子選取最小值法，因此系統設以該方式為模糊推論引擎。其推論法則如下共有 14 條法則如下圖 5-8 所示。

1. If (D is low) and (R is small) and (E is short) then (CI is A-Level) (1)
2. If (D is low) and (R is small) and (E is medium) then (CI is A-Level) (1)
3. If (D is low) and (R is small) and (E is long) then (CI is A-Level) (1)
4. If (D is low) and (R is medium) and (E is short) then (CI is B-Level) (1)
5. If (D is low) and (R is medium) and (E is medium) then (CI is B-Level) (1)
6. If (D is low) and (R is medium) and (E is long) then (CI is B-Level) (1)
7. If (D is low) and (R is large) and (E is short) then (CI is B-Level) (1)
8. If (D is low) and (R is large) and (E is medium) then (CI is C_Level) (1)
9. If (D is low) and (R is large) and (E is long) then (CI is C_Level) (1)
10. If (D is medium) and (R is small) and (E is short) then (CI is A-Level) (1)
11. If (D is medium) and (R is small) and (E is medium) then (CI is A-Level) (1)
12. If (D is medium) and (R is small) and (E is long) then (CI is A-Level) (1)
13. If (D is medium) and (R is medium) and (E is short) then (CI is B-Level) (1)
14. If (D is medium) and (R is medium) and (E is medium) then (CI is B-Level) (1)

圖 5 - 8 模糊推論規則示意畫面

(二)解模糊

本計畫解模糊概念，舉例說明若將DRE三個參數值透過系統解模糊後結果如圖20所示，解模糊後可以實際反映該構造物的實際現況(CI)等級，也可藉此讓評估值可以有效達到量化，以降低所產生的偏差值也是本計畫採用fuzzy的重點，本計畫所採用解模糊是採用以常用的重心法(center of gravity method)作為計算公式(4-2)。重心

法是在yager(1981)的研究中所提到的解模糊化法，本計畫採用常用的最大均值法：根據所定的前提滿足 α 或隸屬函數的隸屬度最大值以上的部份，對此隸屬函數作切割，其中 α 是大於或對於前提滿足度 α 或所定的隸屬度的個數(劉靜勇，2007)。以圖5-9所示

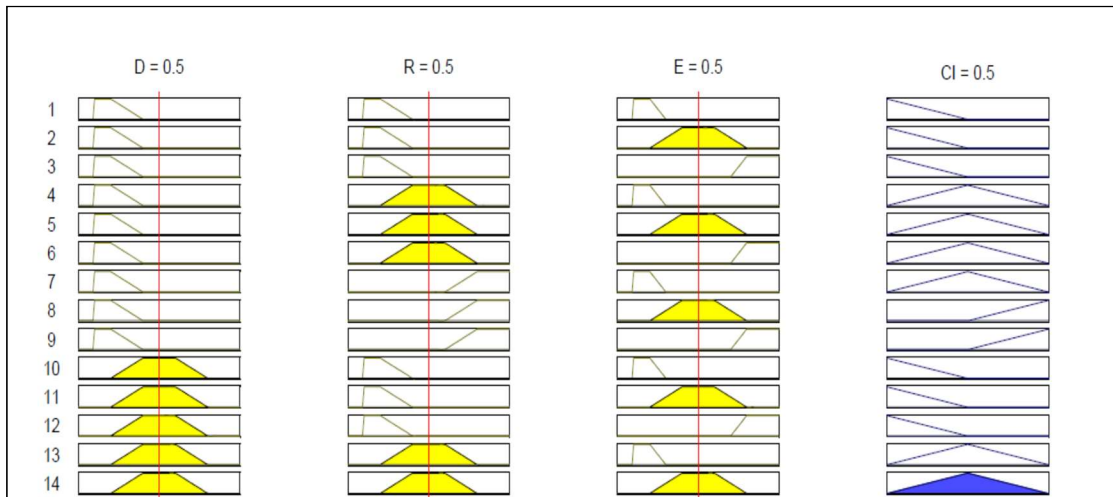


圖 5 - 9 推論系統畫面

本計畫以淘空深度 40 公分各案為例如圖 5-10 所示，依據訪談問卷結果共 5 位水保專業人士，分數認定破壞程度參數 D 均有上符合中等為 3-5 分隸屬函數區間，影響性參數 R 部分，較為一致性認為 2 分，範圍參數 E 值依據構造物本身大小計，屬於小範圍僅占 1/15，因此認定 2-3 分小範圍，最後依據評等取其最大值作為輸入值，使得模糊推論所對應位置，結果區間內表示解模糊後取小值 $CI=0.192$ ，推論出結果為正常結果如下圖 5-11 所示。上述簡易測試模糊推論產出結果是否符合預期，以下表 19 評等分數表中第 6 個案所示，可看出所鑑測評定出的分數均可落於本計畫所定義出的隸屬函數區間，期所推論出的結果是符合預期，因此模糊推論設定上應可屬合理。

橋梁檢測中所使用評等法，有兩個指標為橋梁現況指標 (Condition Index, CI) 與優先指標 (Priority Index, PI)，然

而 CI、PI 值皆是依 D、E、R 值算出，其著重於考量橋梁結構體之缺陷評量因素，因此採其概念直接用於模糊推論結果，再者現況值計算過程中主要是以 R 為主要參數，也因如此若 R 值偏高則整體分數就會被拉升，為避免於此狀態發生則先針對評等區間給於模糊界定，經過先前程度、範圍與影響性參數評定再由模糊推論後所產生的現況指標 CI 值與推論後所觸發得規則結果作驗證，本計畫為了驗證構造物所呈現的等級與原先使用案例相似度比較，因此以 CI-level 為現況等級，利用模糊推論出結果與現況值，以 CI-level 值分成三個參考區間，第一區間為 0~0.29 為等級 A，區間第二區間為 0.3~0.59 為等級 B，第三區間為 0.6~1 為等級 C，分數越高代表等級越高本身功能性越佳，相對的第三區間代表功能性不佳，這些參考區間將依分數高低。依據上述案例推論出現況值經計算後功能區間為第二區間。

驗證程序是以隨機方式取 5 個歷史案例來與推論結果作驗證，依據先前檢測評等後得 CI 值分數轉換成本計畫的現況分級，再與本次模糊推論各取極大與極小值後的結果比對，檢視結果是否一致。因此先將歷史案例結果作分級，再另請使用者填寫檢測評等分數，再依據所回收的問卷取參數 D、R、E 參數的極大與小值。經由表格中可看出，檢測後 CI 值計算後等級均可落於推論後的等級區間內。如表 5-9 所示。

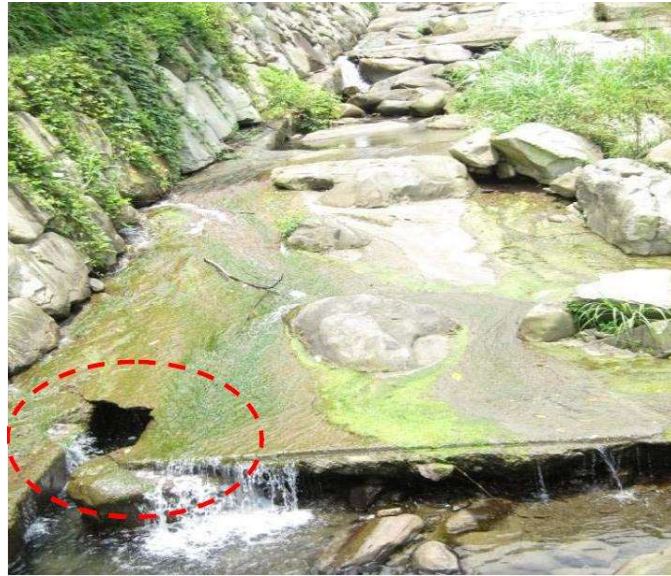


圖 5 - 10 淘空案例圖

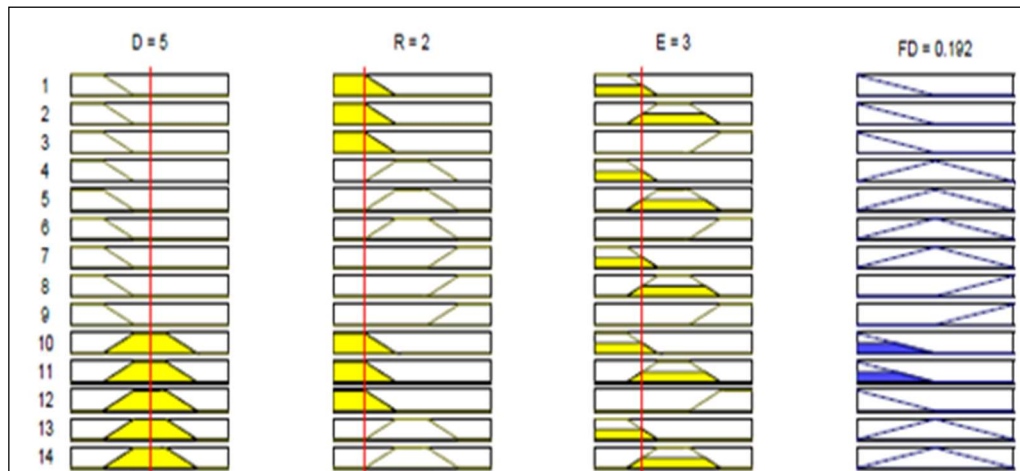


圖 5 - 11 為推論後所解模糊數值示意圖

表 5 - 9 評等分數表

項 目	極小值(min)					極大值(max)					before
NO.	D-	R	E	CI	Level	D	R	E	CI	Level	Level
1	2	1	2	0.18	A	3	2	4	0.21	A	A
2	8	7	9	0.81	C	9	8	10	0.86	C	C
3	4	3	4	0.47	B	7	5	7	0.5	B	B
4	5	4	6	0.5	B	8	6	7	0.5	B	B
5	8	7	7	0.81	C	10	8	9	0.84	C	C
6	3	2	2	0.19	A	5	2	3	0.19	A	A

第二節 UAV 收集現場案例全景影像程序

本計畫另一目的為測試 UAV 或搭配 360 度全景定點紀錄於水保設施本體與周遭環境影像收集之可行性，本計畫將選取適合案例作實例測試，案例選擇方式以一個設施為一項案例，另考慮計畫執行時間以及交通可及性，進行定點採樣以十案例為原則收集影像資料，以無人機或環景攝影機所拍攝到的影像，再利用影像軟體將影像接合成 360 度環視影像或影片。

一、影像搜集介紹

首先影像搜集部份，本計畫採用無人機方式空拍影像，主要考量是可以由無人機飛至河道上方進行拍攝，以往取樣大多以河道兩側拍攝，如遇有水或無法下至河中央時，會有取要角度或遮避問題，再者拍攝範圍廣時則會有路行困難或取景角部問題，透過空拍現場取錄影像包含空照俯視、正面照、側面、背後以及受損處特寫等等，另藉由空拍機懸停模式，以高約 20M 鏡頭採用 360 度角環拍連拍約 30 圖像，再利用影像環接軟體協助進行影像拼接，該部份是提供有關現場繞影像，有助於構造物周圍環境檢視。充份克服以往取樣問題，也可利用該方式針對構造物受損處進行近距離拍攝，或利用蒐集影像檢視構造物外環境是否有崩塌現象產生或是有住家農作等，關係到構造物本身的壞是否會對於臨的居民或農作影響有所影響。另空拍機與人員實際至構造物正面與背面觀測的比較，如下表所示。經比較後，考量可及性與取景廣域性考量，因為如現場有水以及無便道可到達處較為不易巡檢或取樣，另外如有破壞處可利用空拍搜尋也可近距離方式紀錄壞處的特寫，為本計畫使用空拍機的主要動機。

本計畫採用是飛機型號為DJI-phantom-3-standard，相機為無人

機標準配備，相機採用1/2.3寸傳感器搭配f/2.8鏡頭，1200萬像素靜態照片拍攝(無變焦功能)，可支持JPEG和DNG RAW格式。

表5-10 無人機與人員實際現場評估比較表

	以人員實際現場 勘查	以空拍機協助現 場勘查	備註
現場可及性	有水或無可行道 路不易到達	範圍廣可至構造 物正上方	考量有水狀態
全區可視性	無法空視	可空拍全區	
影像收集範圍與 角度	有限	廣域	有無阻隔物
現場干擾	低	視現場狀況	
人力	約 2-3 位	約 2-3 位	
控制經驗	需教育訓練	需教育訓練與空 拍機飛行訓練	
影像檢視	可立即檢視	可先由圖傳檢 視，再由記憶卡 存取	

資料來源:本研究整理

二、整個影像採集執行程序如下：

- (一) 紀錄現場資料包含地點(縣市鄉鎮)，檢測的日期、天氣、構造物種類、破壞類型。
- (二) 利用空拍機須續採樣照片上空俯視照、正面、背面、兩側、受損處特寫拍攝以及錄影，運用空拍機懸停方式定點，以環繞方式拍攝 15~20 張照片，後續影像處理再進行影像拼接，依據現場所收集照片利用筆電進行瀏覽檢視是否需要再補拍。
- (三) 影像處理，主要是針對現場收集照片進行軟體拼接，拼接完成照片即成為環景影像，另針對受損部位寫照進行畫面擷取。
- (四) 所收集影像依序整理成網頁，以便於瀏覽，包含正面、背面、兩側、受損特寫照以環景影像，環景影像因檢視上會有彎曲狀況，因此會以用開放軟體進行環景影像的調整，以便於以矩形方式檢視。
- (五) 進行利用影像評等作業，給予 D、R、E 三個評等因子進行評等，再利用模糊推論方式所產生結果為功能分級，利用破壞類型與分級結果，進一步查閱維護方式好做為後續維護參考建議。

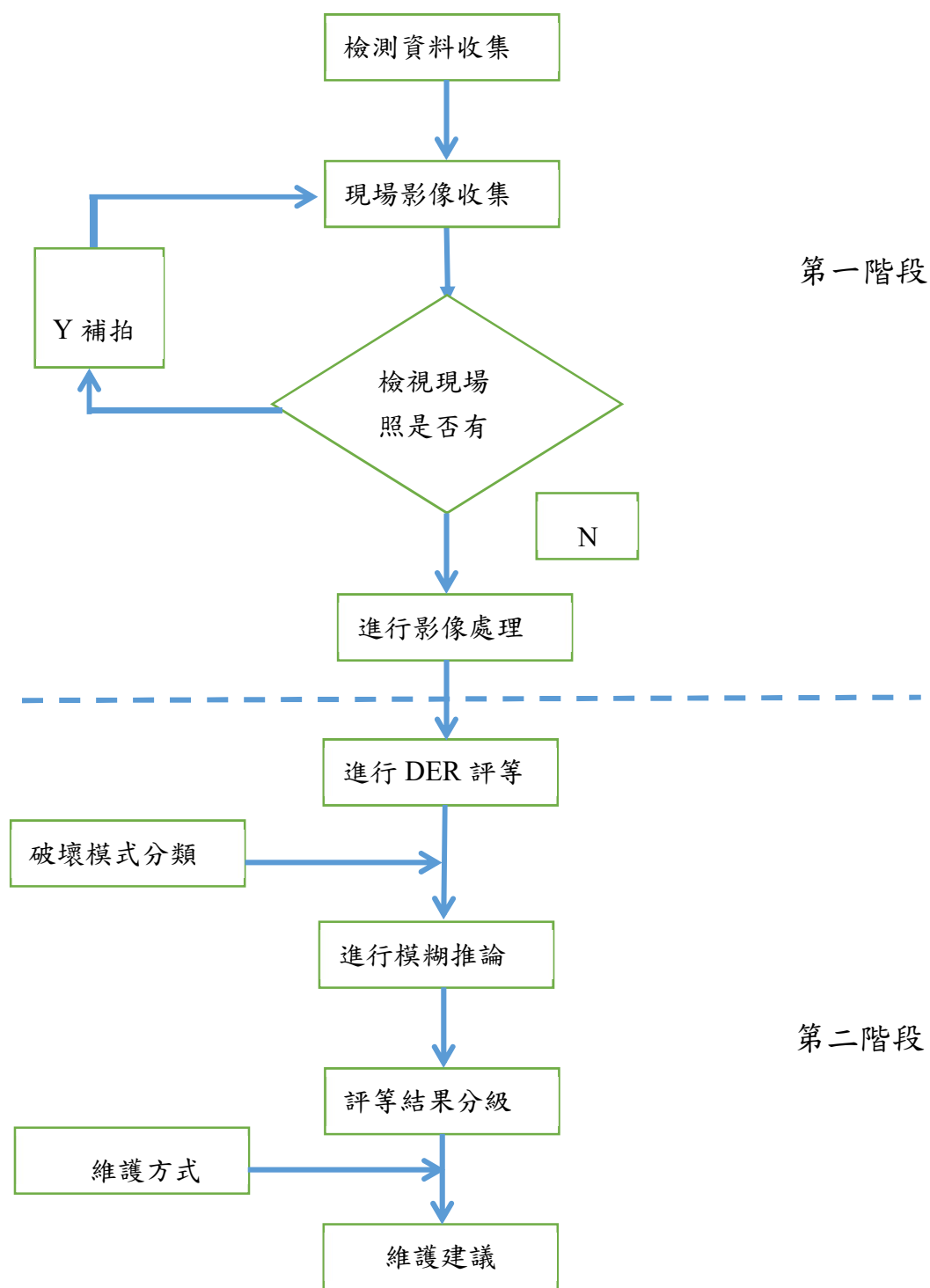


圖 5-12 專案影像採集與評等流程圖

三、現場取樣目的進行說明

(一) 首先現場取樣俯視取景，主要利用無人機於上空 50~100 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，俯視取景示意圖如下圖所示：



圖 5-13 俯視取景示意圖

(二) 現場去取景正面照，主要目的是透過實際正面檢視造物是否有呈現破壞樣態，如有可進行後續特寫拍攝，另外可檢視出構造物所涵蓋的部分，如固床工於河床面及高於河面取樣，如圖 5-14。



圖 5-14 正面照取景示意圖

(三) 特寫照取景主要目的，是針對破壞部位，由無人機以近距離方式拍攝，一方面可克服原本以人工透過望遠鏡頭進行拍攝，但有時以人工拍攝會因角度及現場環境干擾如雜草或地形因河道有水時，因而無法到達取得影像時，另外以無人機拍攝特寫可運用高度或距離的調整，有助於取得破壞樣態的全貌，可改善近距離取景問題，更可呈現確實的破壞樣態。



圖 5-15 個案特寫示意圖

(四) 側拍取景，主要目的是透過兩側檢視來協助判斷是否有異狀，以結構物與護岸連結處，常因兩側經長期河水沖刷導致連結處有被填材掏空狀態，連帶的時間依舊會導致構造物崩壞。

(五) 環景影像取景主要目的，則因正面、側面僅單一畫面，而無法以環視方式進行現場瀏覽，如以無人機懸停於構造物約 15 公尺上方再以定點環拍，所蒐集照片經由影像加工拼接，可達到後續環視的效果，如此一來有利於後續影像紀錄，假若現場檢視不全時可再藉由環景、正面與特寫交互檢視來協助構造物的評等作業。

環景影像，包含影像拼接，利用多張影像以疊放方式，利用軟體進行拼接，以完成環景的圖像，因環景影像於一般圖像軟體檢視時會有球狀或影像扭曲變形狀態，本計畫以利用開放軟體進行影像較正，有利於影像拉動過程中依然以矩形檢視狀態呈現影像，本計畫採用網頁方式呈現影像考量主要可透過網頁方式直接呈現，不用再透過圖像軟體分別檢視。

所在縣市	雲林縣古坑鄉
檢測日期	2018-06-18
-----	-----
TWD67	X-274546 Y-2730781
個案編號	1
結構種類	固床工
破壞類型	基礎掏空
破壞-嚴重程度D	[微]1
破壞-範圍E	[短]1
破壞-安全影響性R	[小]1
功能等級推估	
備註	*****
維護方式建議	
*****	test
案例照片	正面照 背面照 左側照 右側照 全景照



全區俯視圖



圖 5-16 個案檢測資訊彙整示意圖

四、環景影像製作程序

環景影像，包含影像拼接，利用多張影像以疊放方式，利用軟體進行拼接，以完成環景的圖像，步驟如下：

(一) 拼接程序

1. 現場以空拍機環繞一圈，並以 0 度、30 度、60 度、90 度等方式環繞拍攝，約需 30~50 張影像。
2. 利用現場不同角度與影像放入拼接軟體，利用影像相同重複套疊原理，進行拼接。
3. 由拼接軟體進行校正，去除黑色區塊，最後產出環繞影像。

因環景影像於一般圖像軟體檢視時會有球狀或影像扭曲變形樣態，本計畫利用開放軟體(open source)語法置入網頁，再運用網頁

開啟方式再將全景圖檔載入，另可運用拼接軟體所提供全景顯示方式，運用兩種方式進行影像調校，有利於影像拉動過程中依然以矩形檢視狀態呈現影像，本計畫採用網頁方式呈現影像考量主要可透過網頁方式直接呈現，不用再透過圖像軟體分別檢視，並可於業面中直接進行縮放檢視。



圖 5-17 使用一般影像軟體



圖 5-18 環景圖影像校正後縮放環繞檢視

第三節 水保設施維護方式探討

本計畫主要為從「管理」的觀念而言，有關災害種類、預防方法、復原計畫等，均為災害管理的範疇。災害發生之過程可分為減災、整備、應變、復原（recovery）四個階段。因水保設施屬於防災設施，因此本計畫希望透過空拍環境瞭解水保構造物周遭環境，可以藉由有預防整備來達到預防災害，利用現場檢測影像再依據受損壞的水保構造物分級，另進一步依據水保構造物原設計功能，採用應變與復原方式來協助回復原有功能，以達到河流、野溪的防災管理目的，因此利用環景與現場檢測影像先預知周遭環境。

一、維護與修繕類別介紹

首先本計畫蒐集目前工程常用的修復方式，以混凝土構造物為主，所產生劣化或破壞情況時所採用維護修繕工法，對象包含一般建築物、橋梁、港灣以及水利設施等蒐集文獻並彙整出共通的維護方式並針對各種工法的施工步驟與使用範圍作說明，作為下一部分水保設施的維護修繕參考。

（一） 表面破壞修復工法探討

先前提到表面破壞，包含裂縫、磨蝕與剝落依序討論。首先對於結構的修復與補強部分，經過文獻定義修復係指將構造物維持原有功能及強度，防止繼續劣化，而補強定義則是除回復原來情況外，提升

結構強度之行為。

有關裂縫樣態發生時，對於混凝土結構中的住宅結構、橋梁等等的處置方式包含，修補、填注修補兩大類，修補包含塗刷工法、噴塗工法，填注部分包含注入工法與填充工法，注入工法中常見的有環氧樹脂(Epoxy)，填充工法常見的有水泥砂漿(Mortar)等等，住宅、橋梁等結構物，牆、樑、柱多數採以環氧樹脂做為修復的主要選擇(何明錦 1999)(李有豐 1998)，於邊坡穩定手冊中所針對擋土牆裂縫處理包含上述噴塗工法，也包含有注入與充填工法，主要使用材料包含環氧樹脂(Epoxy)，填充工法常見的有水泥砂漿(Mortar)除上述幾種外另有噴凝土，纖維強化高分子複合材料(FRP)等方式(中國土木水利工程學會 2005)

混凝土磨蝕樣態，肇因於水流中夾帶如砂、礫石、沉泥、岩塊及其他碎片等，對混凝土表面進行磨、刮、削、擦及衝撞等破壞作用，稱之為水中磨蝕作用。發生時常見的處理方式，環氧樹脂為一種常用之熱固性高分子材料。環氧樹脂內添加不同成分，進而達到傳統混凝土所無法輕易到達之極佳工作性，環氧樹脂藉由添加物可適用於潮濕環境施作，鋼板因具有耐衝的特徵，故早期國內常用於水工結構物之護面材料，鋼軌部分優點為抗推移，因此按裝上較於鋼板容易，但鋼軌間需有填充料，填充料一但遭冲刷淘空即鋼軌易

被沖毀。(中國土木水利工程學會 2005)

混凝土剝落樣態發生時，依據港灣混凝土構造物的修護(2010)方式有包含，以水泥基才為主的修護方式包含有水泥砂漿，優點高的工作性、可自由流動(free-flowing)、有凝聚性、並有自充填性(self-compacting)減少在水下被沖刷流失的抗分散性、減少泌水還有減少收縮。許多的水泥基材料都是袋裝配好的材料，它們可以在水中進行澆注。以樹脂為基材的修復方式包含有灌注樹脂(injection resin)、可澆注砂漿(porable mortar)，環氧樹脂相較於水泥基材料而言，其楊氏模數較低且潛變較大，因此比較不適合使用在結構性修補。當使用環氧樹脂修補較厚斷面時，在養護期間所產生的高熱，可能導致材料受到高應力作用，而產生開裂，另外尚有噴凝土(Gunite)的使用之選擇，當修補的面積很大或者樑柱需要重新建構時，此時或許使用噴凝土是最佳的選擇之一。一般是使用乾式噴凝土，先將砂與水泥在運送管內混合，然後再噴嘴處再與水混合。噴凝土達到 30 MPa 的抗壓強度，並與基材間具有良好的黏結力，又有不錯的抗磨耗特性。噴凝土的厚度控制在 50 mm 以內，若需要更厚，則應施作第二層。(交通部運輸研究所 2012)

綜合以上維修工法總分為三大類表面塗佈工法、灌注工法與填充工法修補工法中整理如 13 所示，水保設施所產生裂縫、磨蝕、剝落

樣態發生時居已呈現，一定程度的劣化，再者適用情況需 0.3mm 以內之裂縫穩定型裂縫不會漏水之裂縫網狀大範圍之裂縫，因此表面塗佈工法尚不適用，因此於以剷除該類工法使用。

表 5-11 工法修補與適用範圍表

修補工法	工法概要	適用情況
噴塗工法	乾式噴凝土，先將砂與水泥在運送管內混合，然後再噴嘴處再與水混合。	表面磨蝕、剝落
灌注工法	1. 從混凝土表面裂縫注入高分子聚合物材料以防止混凝土劣化及鋼筋鏽蝕 2. 注入材料除高分子聚合物外，若裂縫較大時亦可用水泥漿、水泥砂漿	裂縫 0.3mm 以內，對耐久性造成影響之裂縫
充填工法	1. 在裂縫表面或混凝土劣化的地方，以環氧樹脂、樹脂砂漿、水泥砂漿等材料填充	裂縫 0.5mm 以上混凝土裂縫、剝落與磨蝕之修補
鋼板、鋼軌	鋼板通常焊於預埋的 I-beam 上經二次混凝土澆築後完成。	表面磨蝕、剝落

資料來源：本計畫整理

(二) 結構破壞與暫時現象修復工法探討

淘空樣態發生代表基礎已開始有點呈現裸空趨勢之態勢，一般會有使用直接基礎法、常見的有擴大基礎法，主要是針對該基礎施以植筋再將該處礎擴大，常見於橋梁墩柱使用，另外一方式為穩定基礎法，就是針對先有狀態進行處理，穩定目前基礎，使其功能可以再維持並可延長使用，常見有混凝土包覆法，就是採用混凝土並以填注方式將產生淘空位置進行填補，此外尚另有處理方式，就是先進行拋石再將

剩餘孔洞部分用混凝土填滿，以上狀態主要是讓水流後續不會直接沖蝕基礎，以延續該構造物的功能與基礎的穩定，以上處理方式可統稱為基礎處理。(交通部運輸研究所，2009)

沈陷或位移，建築物之容許沉陷量視地層狀況、基礎型式、載重大小、構造物種類、使用條件等因素而異。建築物沉陷量又可分為最大沉陷量與差異沉陷量，獨立基腳位於土砂層最大的容許值為 5 公分，差異沉陷為 3 公分，若位於黏土層最大沉陷量為 10 公分，若是筏式基礎位於沙土層最大沉陷量為 8 公分，差異沉陷量為 3 公分，黏土層最大沉陷量容許到 30 公分，差異沉陷量 5.6 公分(97 北縣鑑定手冊)，以水保的構造基礎皆為連續基礎，可採用筏式基礎的最大沉陷量容許值，因此若發生沉陷此樣態產生，容許值內則不需處理，若產生超過容許值沉陷或位移時會有毀壞的疑慮，因此多數發生時也都會針對基礎進行改善，強化基礎以避免情況持續惡化，以橋梁、港灣、水保常見使用有鋼板樁加上混凝土來穩定基礎，此外也有使用拋石加上混凝土灌漿，也就是所謂的基礎補強方式處理，若樣態已呈現嚴重則需考量是否拆除重建。(內政部建築研究所 2000) (台灣省土木技師公會 2008)，

崩壞樣態該構造物幾乎已經毀損以無法回復原有功能，甚至以部分尚失功能，顯示構造成此一樣態均面臨拆除重建方式進行，因此對

此文獻蒐集方面尚無其他修復工法使用，依據邊坡穩定補強操作手冊(2003)中所述，傾倒或崩壞時也是採部分或全部重新施作為主。有鑑於此本計畫採用直接透過訪談及依據水保每年所呈報的修復案件匯整，可發現多數都是因為崩壞而須重新施作或部分施作方式處置。

周圍材料流失，該樣態常見有擋土牆、橋台、護岸或堤防等，因此所蒐集到的方式，主要以填補相似材料如土沙粒料、或以就近取得的填補材進行修復，另有使用混凝土修補方式直接針對流失的部分進行填封。以減低在次的樣態發生。(內政部建築研究所 2000)

淤積或掩埋，該狀態屬於河道正常情況，目前水保局所提供常用的方式大都採用機械式清淤，另一方式擇採用以監控不疏浚，除非該區尚未達土石流潛式條件，但嚴重淤積時會採用機械疏浚，其疏濬的土時會就近填補護岸或土砂淘空處。其於採用監測或巡檢方式。

本計畫對於維護與維修工法使用，以著重於結構的修復為主，補強部分係因須針對各種結構進階檢測才能擬定補強計畫，然而本計畫僅以使用目視檢測為主無法做細部檢測，因此以目視結果提供作為補強的決策參考較為不妥，再者，補強所呈現的成本相對高於修復的費用，有鑑於此本計畫彙整各工法於劣化或破壞樣態所使用修復方式做簡要的有劣評估表如下表所示，並進一步篩選出合適的

維護工法，以作為後續的問卷選項。

表 5-12 各工法優缺評估表

項 目	優	缺	適用情形
水泥系列	較經濟 材料易施工掌握 度較高	1. 反應及養護時間較長 2. 外在條件限制致塗層厚度 有限時，其不透水性較差 3. 不利於修補薄邊緣之狀況	1. 一般狀況之修 補 2. 一次需大量拌 合
樹脂系列	緊急時可快速修 復 不透水性較佳 具較佳抗張力 養護期較短	1. 無法一次作大量拌合 2. 部分材料不適合狹窄 4. 形成的不透水層無法逸散 至外界，聚集在維修材料下 方	1. 外在條件限制 塗層厚度 2. 薄邊緣之修補 3. 無法提供足夠 養護期時
鋼板、鋼 軌	具有耐磨、耐衝 的特徵	須施作在混凝土層之上，故 其施工過程較為繁雜。 單價高致使施作成本高昂。 鋼板面中間常會產生隆起現 象，即鋼板與下部混凝土 脫。 鋼軌間需要填充料	適用於線性幾何 形狀 水工結構物沖磨 的保護區域。
擴大基礎	較耐久	費用高。 施工及養護時間長	適用無高低差且 較為規則構造
拋石+混 凝土	較經濟 施工容易 材料易取得	不利於修補薄邊緣之狀況 養護時間較長	適用各型態基礎 修補，可水中施 作
鋼板樁+ 混凝土	具有耐衝的特徵	鋼板樁與基礎間需要以混凝 土填充料。 不適用於礫石或巨石地質	水工結構物沖磨 的保護區域。

資料來源：本計畫整理

二、修復工法使用範圍

本計畫以問卷透過面對面的直接問卷訪談，並將問卷整合相關意見，下表表 5 - 13 為訪談對象主要資料，平均工程資歷均達 5 年以上，對於常用於水保修復工法悉知，透過問卷訪談結果經過彙整

後的內容如下表 5 - 14 所示。

表 5-13 訪談對象基本年資

職稱	工程年資	人數
水保工程師	20 年以上	1
顧問公司資深工程師	16~20 年	1
水保技師	11~15 年	2
公部門承辦人員	6~10 年	1
公部門承辦人員	1~5 年	2

表 5-14 第一回合專家訪談結果表

問題	專家意見
請問各位專家依本計畫依據文獻整理出常見的裂縫維護與修復方式，是否尚有其它常見的修復工法？	專家均認為無其它常用工法，其中 1 位專家則建議裂縫超過一定程度時仍須考量拆除或重建的方式較為恰當。另有指出以 FRP 作為修復方式成本過高。
請問各位專家依本計畫依據文獻整理出常見的磨蝕維護方式或修復工法，是否尚有其它常見修復工法？	多位專家均認同維護方式。但有三位專家指出鋼板修復需二次施工，若施工品質不良反而容易再次破壞，且成本偏高，建議剷除該選項。有一位專家指出，鋼軌施工會因填才流失，易產生損壞，可考量以其他工法使用。
請問各位專家依本計畫依據文獻整理出常見的剝落維護方式或修復工法，是否尚有其它常見修復工法？	專家均認為洽當，其中 2 位專家則建議剝落超過一定程度時拆除或重建的方式較為恰當。
請問各位專家依本計畫依據文獻整理出常見的淘空維護方式或修	有專家認為，基礎擴大法，需要再補強鋼筋等等花費，對於實質面尚不適用。

復工法，是否尚有其它常見修復工法？	另有專家指出鋼板加上混凝土修復需二次施工，若施工品質不良反而容易再次破壞，且成本偏高，採該工法機率低。
請問各位專家依本計畫依據文獻整理出常見的沈陷或位移維護方式或修復工法，是否尚有其它常見修復工法？	同淘空建議，鋼板加混凝土修復剷除，原因相同。另有專家建議位移或沉陷量超過一定程度時，以拆除或重建的方式較為恰當。
請問各位專家依本計畫依據文獻整理出常見的周圍材料流失維護方式或修復工法，是否尚有其它常見修復工法？	有專家建議噴凝土於填補材料，厚度低時可使用，多用於邊坡穩定的披覆材料，但若量大且厚度大，則建議以其成本的替代材料為佳。因此不建議使用於材料填補。
請問各位專家依本計畫依據文獻整理出常見的淤塞與掩埋維護方式或修復工法，是否尚有其它常見修復工法？	多數專家認為人工清除除非是水流斷面積小的河道適用，若於山區大斷面河道仍以機械清除為首選。 有一位專家建議若為土石流區建議不清運，以監測方式進行。
請問各位專家依本計畫依據文獻整理出常見的毀損崩壞維護方式或修復工法，是否尚有其它常見修復工法？	全數專家均認同維護方式。依據原類型設施重新施作。

資料來源：本計畫整理

綜合蒐集的修復工法與問卷結果，發現主要修復時著重易於環境衝擊、施工性、耐久維持以及成本經濟為首要重點考量，對於施工複雜、成本偏高或耐久性較低的維修方式於應酌以刪選。本計畫針對適用於水設施的主要維護維修方式依各工法適用範圍與問卷結果加以分類整理如下表所示。以混凝土裂縫使用維修方式與材料幾乎大同小

異，以水泥砂漿以及環氧樹脂為主，纖維強化高分子複合材料(FRP)使用上因為成本高與施工性複雜，加上水保構造大多處於水中，還需有承受水與砂石之衝擊，其 FRP 較不適用於水保構造物的修復使用上。混凝土磨蝕，以環氧樹脂、鋼板、噴凝土為主，目前鋼板適用上雖有耐衝擊的特性但因鋼材成本高，施工方式需二次施工，因此修復使用上也較少見，混凝土剝落，使用混凝土、水泥砂漿、環氧樹脂、噴凝土，也是常見的幾類方式，基礎淘空以擴大基礎、混凝土包覆、拋石+混凝土為選項，對於構造物擴大基礎方式較為少見，主因是針對該有基礎再施以植筋或與模板架設，或打設基樁施工成本偏高，養護時間也長以往較常見是用於橋梁位於河道上基礎居多，因此水保多數採以另外兩種，以就地取材與混凝土填注為主，沉陷、位移若在一定程度內就是所謂的最大容許值，以參考建築檢測筏式基礎的最大沉陷差異與沉陷容許值，作為依據，因此於容許值可採用內拋石加混凝土或是鋼板樁加混凝土來穩定，若超過容許值時，仍須建議進行部分整修重建，周圍材料流失，如同擋土設施的背填材流失，目前常見的修復方式多以回填土石為主，除此外橋台的背填材流失時有採用，拋石合併混凝土使用另有以鋼板樁打設後再以混凝土填補其流失的背填材，以使結構可以穩固並延續使用。

以上劣化或破壞樣態的修復使用尚未包含部分整修重建、全部

拆除重建，則要考量視該破壞部分的現況種類，再者若已達差除重建程度表示不適合維修，因此於後續重建仍用原規劃設計的結構尺寸。

針對暫時現象，主要以河道淤塞為主，先前章節以引用文獻定義，在此尚不加以贅述，其中有提及河道淤塞表示該構造物暫時失去功能而尚未損毀，因此會因降雨經水流沖刷回復該構造物的樣貌，然而為維護該河道正常運作使其構造物可以正常發揮功能，採用建議須進行河道疏通作業，但若遇該區為土石流災區，表示該淤設的土砂量已超過清運負荷，因此受訪專家表示，該土石流災區多以監測進行，主因是土砂尚未達到平衡狀態，即使清運或重新設置構造物仍會再次發生沖毀或大量土石淹埋情形。將訪談後建議去除的工法刪除後再加以彙整分類，綜合出適用於各劣化樣態下使用，詳細見下表 15 所示。

表 5-15 需針對各種工法作適用範圍與分類

類型	維修方式	常見使用範圍
混凝土裂縫	環氧樹脂、水泥砂漿	港灣、橋梁、住宅、邊坡
混凝土磨蝕	環氧樹脂、鋼板、噴凝土、鋼軌、水泥砂漿	水力堤防、橋墩
混凝土剝落	混凝土、水泥砂漿、環氧樹脂、噴凝土	港灣、橋梁、住宅，邊坡擋土牆
基礎淘空	混凝土包覆 拋石+混凝土	水利堤防、住宅、橋梁結構基礎
沉陷、位移	拋石+混凝土 鋼板樁+混凝土	水利、住宅、橋梁結構基礎，擋土牆
周圍材料流失	填補相似材料 拋石+混凝土 鋼板樁+混凝土	水利、港灣堤防碼頭，邊坡擋土牆
淤塞與掩埋	淤塞清理	防砂與固床工設施

資料來源：本計畫整理

三、水保設施維修方式探討

水保設施造成損害者不外乎是遭到撞擊、沖刷、磨蝕與破裂等因素，而水保構造物的大部分是分次澆置接合，因此產生破壞的位置也以交接處居多，針對構件的維修與更新應盡量避免構件修復補強後再度遭到破壞，並以其他防護措施保護構件安全性，延長構造物使用年限。

維修方式為綜合相關參考文獻後分類所得，那主要依據破壞樣態大小給予編碼適合的修繕方式，對於使用材料相同但有部分差異之處本計畫則進一步在分成兩小類，大致仍以混凝土修繕為主體上為，分為以下幾大項，表面填補、結構處理維修方式，依據大項再進一步細分。編碼部分則依據種類給予 CM (clear and maintenance) 清理維護 FR(filling of repair)填注修補及 SR (structure of repair) 結構整修。依據前面所提到三種主要破壞樣態屬於外觀或淺層劣化、結構劣化及暫時性現象以相互對應至維修方式的三大類，因此本計畫於下表 5 - 16 定義各種維護與維修方式。

表 5-16 水保設施維護(maintenance)與維修(repair)說明

維護方式	編碼	定義說明
追蹤檢測 (Flood Examination)	CM1	設施維護相關單位，颱風、豪大雨季季節前後，時間約為四月份時檢查設施功能是否正常。
淤積清除 (Cleaning)	CM2	因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請設施業務承辦人員及設施維護相關單位，於水保設施掩遭異物掩埋或淤積之部分進行清除整理，確保回復此設施原有設計之功能。
材料填補或 灌注 (Material Grouting)	FR1	設施結構體周圍出現凹陷、空隙和材料流失等情形，影響設施漸已影響功能，設施維護相關單位，於設施破壞之部分酌以合適材料(如：環氧樹脂、水泥砂漿和混凝土等)進行填補或灌注修復，減緩設施繼

		續劣化之情況。
混凝土修補 (Concrete repair)	FR2	設施結構體因部分缺失為維持該構造物目前強度與耐用性，以混凝土為主的修復方式以達到構造物的可維持目前的狀態持續使用。
損壞部位整修重作(Part Rebuilding)	SR1	設施僅部分呈現損壞等情形，其它部分未遭受影響功能之損壞，請設施維護相關單位，於損壞之部分進行整修，再以原設計方式進行重新施作，確保此設施回復正常之功能。
重新施作 (All Rebuilding)	SR2	設施損壞部分已嚴重影響其設施功能，請設施維護相關單位，評估此受破壞設施前、後位址重新規劃設計施工以符合此功能需求之設施。

資料來源：本計畫整理

四、維護與修復工法分類

破壞樣態所採用工法諸多可應用，依先前章節作部份歸納後，再進一步匯整分類使用方便維護上的選擇，因此本想小節會依據每所訂出的六個維護方式中所包含的工法作說明。

(一) 追蹤檢測，定義所中描述設施維護相關單位，颱風、豪大雨季季節前後，時間約為四月份時檢查設施功能是否可正常使用，表示構造檢測後有破壞樣態容許範圍於輕度以下可採用該方式追蹤即可。

(二) 淤積清除，因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請設施維護管理相關單位，於掩埋或淤積之部

分進行清除整理，因此主要是針對，在河道或臨時現象發生下所採用選項。

(三) 材料填補或灌注，定義結構體周圍出現凹陷、空隙和材料流失等情形，影響設施功能已降低，依據前面所述之工法多數是以環氧樹脂、水泥砂漿和混凝土為主要修復材料及施工方法，因此若發生，如裂縫、磨蝕與剝落以及周圍材料流失情形其視程度若在結構容許範圍內可採此方式修補。

(四) 混凝土修補，主要使用的工法大多以混凝土為主要材料，或是再附加鋼板樁或拋石混合的複合式修復，主要是以維持該構造物可以維持現況功能延續使用，對於如磨蝕與剝落以及周為材料流失情形若有要嚴重趨勢可採此方式處理，除此之外另可適用於基礎淘空或是沉陷位移之情形視嚴重程度為中度使用的修復方式，以延緩劣化狀態的擴大，若結構已呈現嚴重狀態建議以部分整修重做較為合適。

(五) 局部整修重做，設施僅部分呈現損壞等情形，設施維護單位採用方式，將損壞之部分整修，再依原設計方式進行重新施作，主要是使設施得以回復正常功能，通常對於結構呈現部分良好而部分則有劣化嚴重程度才會施以該方式進行，包含前面所述之所有劣化或破壞狀態。

(六) 全部重新施作，綜合上述維護方式之外若設施破壞部分已嚴重影響其設施功能，因此可考量該區的構造物是否已全部重新施為選項，但若該區是土石流災區則較不建議選以該方式進行維護，主要是該地去再次遭受土石流衝擊機率高。

第六章 案例收集與討論分析

本小節針對本計畫所蒐集的案例進行個案建置，依據個案的所在地點資訊，結構形式、破壞樣態、模糊評等結果分級、維護方式以及包含檢測過程中所包含的影像，有空拍的正面圖、側面、背面及環景圖，藉由以上資訊與影像的蒐集，確切瞭解構造的壞形式樣態，也可利用所收集的影像協助評等作業，可提供後續維護時的整備或復原參考依據，另外藉由計畫所建置的環景影像，由空拍方式克服了因高度無法觀看的區域，可有助於瞭解鄰近的地形與上下游坡地是否有受破壞情形，以提供維護單位作為應變或減災的一個參考。

第一節 個案收集

一、個案一

個案現況資訊:個案地點古坑鄉、構造為固床工、破壞樣態為部份基礎沉陷，由模糊推論評等結果為 A 等級，代表構造物尚屬功能正常狀態，維護方式經建議採用追蹤檢測即可，結果如下圖 33 所示。

環景影像分析:因構造物雖有些微破壞，但對於整體功能尚不至於會有影響，另外利用空拍環景影像中瞭解河道附近有農田與住家，於備註部份註明，環景影像如下圖 6-1 所示。因無急迫狀況，對維護方式建議會利用定期追蹤檢測即可。



行政院農業委員會水土保持局

Soil and Water Conservation Bureau
Council of Agriculture, Executive Yuan

所在縣市	雲林縣古坑鄉	 全區俯視圖  特寫圖
檢測日期	2018-07-09	
TWD67	X-207746 Y-2612316	
個案編號	1	
結構種類	固床工	
破壞類型	沉陷	
破壞-嚴重程度D	2~4- [近似中]	
破壞-安全影響性R	0~2 - [小]	
破壞-範圍E	0~2 - [短]	
功能等級推估	A	
現況值Ci	0.192	
檢測日期	2018-07-09	
備註	河道旁有農田與住家	
維護方式建議	追蹤檢測 CM1 設施維護相關單位，颱風、豪大雨季季節前後，時間約為四月份時檢查設施功能是否正常。	

案例照片	正面照 背面照 左側照 右側照 環景照	

圖 6 - 1 個案一個案現況資訊畫面



圖 6 - 2 個案一環景影像圖

二、個案二

個案現況資訊與分析:個案地點古坑鄉、構造為固床工、破壞樣態為磨蝕，由模糊推論評等結果為 A 等級，代表構造物尚屬功能正常狀態，維護方式經建議採追蹤檢測即可，結果如下圖 6-3 所示。

環景影像分析:構造物功能雖有磨蝕現象，屬正常情況，利用空拍影像看出河道旁有農田與個案一相似，環景圖如下圖 6-4 所示。維護無急迫性，因此採用追蹤檢測即可。

 行政院農業委員會水土保持局 Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan	
所在縣市	雲林縣古坑鄉
檢測日期	2018-07-05
TWD67	X-207746 Y-2612316
個案編號	2
結構種類	固床工
破壞類型	磨蝕
破壞-嚴重程度D	0~2- [輕]
破壞-安全影響性R	0- [小]
破壞-範圍E	0~2- [短]
功能等級推估	A
現況值Ci	0.163
檢測日期	2018-07-05
備註	河道旁農田
維護方式建議	追蹤檢測 CM1 設施維護相關單位，颱風、豪大雨季季節前後，時間約為四月份時檢查設施功能是否正常。
*****	test
案例照片	正面照 背面照 左側照 右側照 環景照



全區俯視圖



特寫圖

圖 6 - 3 個案二個案現況資訊畫面



圖 6 - 4 個案二環景影像圖

三、個案三

個案現況資訊與分析:個案地點古坑鄉、構造為固床工、破壞樣態為淤積，由模糊推論評等結果為 A 等級，代表構造物尚屬功能正常狀態，維護方式經建議採清除淤積方式，結果如下圖 6-5 所示。

環景影像分析:構造物功能有淤積現象，屬暫時情況，也代表構造物正常發揮功能，利用空拍影像看出河道上方有一處崩塌情況，也因如此較有淤積情況發生，環景圖如下圖 6-6 所示。維護無急迫性，採用淤積清除，因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請設施業務承辦人員及設施維護相關單位，於水保設施掩遭異物掩埋或淤積之部分進行清除整理，確保回復此設施原有設計之功能。

 行政院農業委員會水土保持局 Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan	
所在縣市	雲林縣古坑鄉
檢測日期	2018-07-09
TWD67	X-207746 Y-2612316
個案編號	3
結構種類	固床工
破壞類型	淤積
破壞-嚴重程度D	2~4- [近似中]
破壞-安全影響性R	0~2- [小]
破壞-範圍E	4~6- [中]
功能等級推估	A
現況值Ci	0.192
檢測日期	2018-07-09
備註	上游處有崩場地
維護方式建議	淤積清除 CM2 因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請設施業務承辦人員及設施維護相關單位，於水保設施掩埋異物掩埋或淤積之部分進行清除整理，確保回復此設施原有設計之功能。

案例照片	正面照 背面照 左側照 右側照 環景照



全區俯視圖



圖 6 - 5 個案三個案現況資訊畫面



圖 6 - 6 個案三環景影像圖

四、個案四

個案現況資訊與分析:個案地點古坑鄉、構造為固床工、破壞樣態為淤積，由模糊推論評等結果為 A 等級，代表構造物尚屬功能正常狀態，維護方式經建議採清除淤積方式，結果如下圖 6-7 所示。

環景影像分析:構造物功能有淤積現象，屬暫時情況，也代表構造物正常發揮功能，依據破壞程度與面積雖屬近似中等，無影響到鄰近住家的安全，因此依據模糊推論結果為 A，與上一個案相鄰河道上方有一處崩塌情況，也因如此較有淤積情況發生，環景圖如下圖 6-8 所示。維護無急迫性，採用淤積清除，因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請設施業務承辦人員及設施維護相關單位，於水保設施掩遭異物掩埋或淤積之部分進行清除整理，確保回復此設施原有設計之功能。

行政院農業委員會水土保持局		Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan	
所在縣市	雲林縣古坑鄉	 全區俯視圖  局部特寫圖	
檢測日期	2018-07-09		
TWD67	X-207746 Y-2612316		
個案編號	4		
結構種類	固床工		
破壞類型	淤積		
破壞-嚴重程度D	2~4- [近似中]		
破壞-安全影響性R	0~2- [小]		
破壞-範圍E	2~4- [近似中]		
功能等級推估	A		
現況值Ci	0.192		
檢測日期	2018-07-09		
備註	河道雜草叢生會影響水流，旁有住家		
維護方式建議	淤積清除 CM2 因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請設施業務承辦人員及設施維護相關單位，於水保設施掩遭異物掩埋或淤積之部分進行清除整理，確保回復此設施原有設計之功能。		
*****	test		
案例照片	正面照 背面照 左側照 右側照 環景照		

圖 6 - 7 個案四個案現況資訊畫面



圖 6 - 8 個案四環景影像圖

五、個案五

個案現況資訊與分析:個案地點古坑鄉、構造為固床工、破壞樣態為掏空，由模糊推論評等結果為 B 等級，代表構造物功能有部份異常狀態，維護方式經建議混凝土修補方式，結果如下圖 6-9 所示。

環景影像分析:構造物功能有掏空情況，也代表構造物雖正常發揮功能，但依據破壞程度近似中等但掏空面積中等以上，因此如構造物破壞會響到鄰近住家的安全，依據模糊推論結果為 B。利用空拍影像看出河道上方有幾處崩塌情況，此河道淤積雜草叢生會有影響水流另外河道旁有住家，環景圖如下圖 6-10 所示。維護無急迫性，採用混凝土修補，設施結構體因部分缺失為維持該構造物目前強度與耐用性，以混凝土為主的修復方式以達到構造物的可維持目前的狀態持續使用。

 行政院農業委員會水土保持局 Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan		
所在縣市	雲林縣古坑鄉	 全區俯視圖  特寫圖
檢測日期	2018-07-07	
TWD67	X-207746 Y-2612316	
個案編號	5	
結構種類	固床工	
破壞類型	掏空	
破壞-嚴重程度D	2~4- [近似中]	
破壞-安全影響性R	2~4- [近似中]	
破壞-範圍E	6~8- [近似大]	
功能等級推估	B	
現況值Ci	0.396	
檢測日期	2018-07-07	
備註	河道雜草叢生會影響水流，旁有住家	
維護方式建議	混凝土修補 FR2 設施結構體因部分缺失為維持該構造物目前強度與耐用性，以混凝土為主的修復方式以達到構造物的可維持目前的狀態持續使用。	

案例照片	正面照 背面照 左側照 右側照 環景照	

圖 6 - 9 個案五個案現況資訊畫面



圖 6 - 10 個案五環景影像圖

六、個案六

個案現況資訊與分析:個案地點古坑鄉、構造為固床工、破壞樣態為淤積，模糊推論評等結果為 B 等級，代表構造物尚屬功能正常狀態，維護方式經建議採清除淤積方式，結果如下圖 6-11 所示。

環景影像分析:構造物功能有淤積現象，屬暫時情況，也代表構造物正常發揮功能，依據破壞程度近似中等與範圍則近似長，鄰近有產業道路，無住家，因範圍較為廣大依據模糊推論結果則為 B，利用空拍影像看出河道上方有一處崩塌情況，也因如此較有淤積情況發生，環景圖如下圖 6-12 所示。維護無急迫性，採用淤積清除，因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請設施業務承辦人員及設施維護相關單位，於水保設施掩遭異物掩埋或淤積之部分進行清除整理，確保回復此設施原有設計之功能。

行政院農業委員會水土保持局		Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan	
所在縣市	雲林縣古坑鄉	 全區俯视图	
檢測日期	2018-07-09		
TWD67	X-207746 Y-2612316		
個案編號	6		
結構種類	固床工		
破壞類型	淤積		
破壞-嚴重程度D	2~4- [近似中]		
破壞-安全影響性R	2~4- [近似中]		
破壞-範圍E	6~8- [近似長]		
功能等級推估	B		
現況值Ci	0.396		
檢測日期	2018-07-09		
備註	鄰近有產業道路		
維護方式建議	淤積清除 CM2 因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請設施業務承辦人員及設施維護相關單位，於水保設施掩遭異物掩埋或淤積之部分進行清除整理，確保此設施還發揮原有設計之功能。		

案例照片	正面照 背面照 左側照 右側照 環景照		

圖 6 - 11 個案六個案現況資訊畫面



圖 6 - 12 個案六環景影像圖

七、個案七

個案現況資訊與分析:個案地點古坑鄉、構造為固床工、破壞樣態為淤積，模糊推論評等結果為 B 等級，代表構造物尚屬功能正常狀態，維護方式經建議採清除淤積方式，結果如下圖 6-13 所示。

環景影像分析:構造物功能有淤積現象，屬暫時情況，也代表構造物正常發揮功能，依據破壞程度近似中等，淤積範圍長已有點影響構造物本身功能，鄰近有產業道路，因範圍較為廣大依據模糊推論結果則為 B，利用空拍影像看出河道本身淤積情況嚴重，兩側又有雜草有部分影響構造物兩側檢視，環景圖如下圖 6-14 所示。維護無急迫性，採用淤積清除，因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請設施業務承辦人員及設施維護相關單位，於水保設施掩遭異物掩埋或淤積之部分進行清除整理，確保回復此設施原有設計之功能。

 行政院農業委員會水土保持局 Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan	
所在縣市	雲林縣古坑鄉
檢測日期	2018-07-07
TWD67	X-207746 Y-2612316
個案編號	7
結構種類	固床工
破壞類型	淤積
破壞嚴重程度D	4~6- [中]
破壞安全影響性R	2~4- [近似中]
破壞範圍E	8~10- [長]
功能等級推估	B
現況值Ci	0.396
檢測日期	2018-07-07
備註	鄰近有產業道路
維護方式建議	淤積清除 CM2 因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請該施養務承辦人員及設施維護相關單位，於水保設施掩埋異物掩埋或淤積之部分進行清除整理，確保此設施還發揮原有設計之功能。

案例照片	正面照 背面照 左側照 右側照 環景照




全區俯視圖
特寫圖

圖 6 - 13 個案七個案現況資訊畫面



圖 6 - 14 個案七環景影像圖

八、個案八

個案現況資訊與分析:個案地點竹崎鄉、構造為固床工、破壞樣態為沖毀，由模糊推論評等結果為 C 等級，代表構造物功能已完全尚失，維護方式建議重新施作，結果如下圖 6-15 所示。

環景影像分析:構造物完全損毀，功能無法發揮，依據破壞程度為嚴重，範圍長，影響程度近似大，因此構造物受到破壞將會響到鄰近住家的安全，依據模糊推論結果為 C。利用空拍影像看出河道上方及構造物右側有崩塌情況，此河道淤積雜草叢生會有影響水流，環景圖如下圖 6-16 所示。維護方式採構造物採用重新施作，設施損壞部分已嚴重影響其設施功能，設施維護相關單位，評估此設施功能，重新規劃設計施工以符合此功能需求之設施。

 行政院農業委員會水土保持局 Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan	
所在縣市	嘉義縣竹崎鄉
檢測日期	2018-07-25
TWD67	X-202740 Y-2601143
個案編號	8
結構種類	固床工
破壞類型	沖毀
破壞-嚴重程度D	8-10- [重]
破壞-影響性R	6-8- [近似大]
破壞-範圍E安全	10- [長]
功能等級推估	C
現況值Ci	0.808
檢測日期	2018-07-25
備註	上游山坡地崩塌情況
維護方式建議	全部重新施作 SR2 設施損壞部分已嚴重影響其設施功能，設施維護相關單位，評估此設施功能，重新規劃設計施工以符合此功能需求之設施。

案例照片	正面照 背面照 左側照 右側照 環景照




全區俯視圖

圖 6 - 15 個案八個案現況資訊畫面



圖 6 - 16 個案八環景影像圖

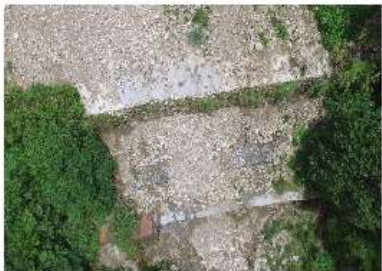
九、個案九

個案現況資訊與分析:個案地點竹崎鄉、構造為固床工、破壞樣態為淤積，模糊推論評等結果為 B 等級，代表構造物尚屬功能正常狀態，維護方式經建議採清除淤積方式，結果如下圖 6-17 所示。

環景影像分析:構造物功能有淤積現象，屬暫時情況，也代表構造物正常發揮功能，依據破壞程度中等，淤積範圍近似長已有點影響構造物本身功能，影響程度達近似中的程度，鄰近有農田與產業道路，因範圍較為廣大依據模糊推論結果則為 B，利用空拍影像看出河道本身淤積情況嚴重，河道左側有崩塌處加上雜草會影響構造物水流，河道上方處也有小型崩塌情況，環景圖如下圖 6-18 所示。維護無急迫性，採用淤積清除，因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請設施業務承辦人員及設施維護相關單位，於水保設施掩遭異物掩埋或淤積之部分進行清除整理，確保回復此設施原有設計之功能。

 行政院農業委員會水土保持局 Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan	
所在縣市	嘉義縣竹崎鄉
檢測日期	2018-07-25
-----	-----
TWD67	X-202740 Y-2601143
個案編號	9
結構種類	固床工
破壞類型	淤積
破壞-嚴重程度D	4~6- [中]
破壞-安全影響性R	2~4- [近似中]
破壞-範圍E	6~7- [近似大]
功能等級推估	B
現況值Ci	0.396
檢測日期	2018-07-25
備註	上游山坡地崩塌情況
維護方式建議	淤積清除 CM2 因異物掩埋或淤積，影響水保設施無法正常發揮排水功能，請設施業務承辦人員及設施維護相關單位，於水保設施掩埋異物掩埋或淤積之部分進行清除整理，確保此設施還發揮原有設計之功能。

案例照片	正面照 背面照 左側照 右側照 環景照



全區俯視圖



特寫圖

圖 6 - 17 個案九個案現況資訊畫面



圖 6 - 18 個案九環景影像圖

十、個案十

個案現況資訊與分析:個案地點竹崎鄉、構造為護岸、破壞樣態

為沖毀，由模糊推論評等結果為 C 等級，代表構造物功能已完全尚失，維護方式建議重新施作，結果如下圖 6-19 所示。

環景影像分析:構造物完全損毀，功能無法發揮，依據破壞程度為嚴重，範圍長，影響程度近似大，因此構造物維護岸受到破壞，考量如有大雨出現會有河水漫流情況，將會響到鄰近住家的安全，依據模糊推論結果為 C。利用空拍影像看出河道上方有山坡地崩塌情況，此河道因淤積雜草叢生會有影響水流，環景圖如下圖 6-20 所示。維護方式採用構造物採用重新施作，設施損壞部分已嚴重影響其設施功能，設施維護相關單位，評估此設施功能，重新規劃設計施工以符合此功能需求之設施。

行政院農業委員會水土保持局 Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan	
所在縣市	嘉義縣梅山鄉
檢測日期	2018-07-25
TWD67	X-202740 Y-2601143
個案編號	10
結構種類	護岸
破壞類型	沖毀
破壞-嚴重程度D	8~10- [重]
破壞-安全影響性R	6~8- [近似大]
破壞-範圍E	10- [長]
功能等級推估	C
現況值Ci	0.837
檢測日期	2018-07-25
備註	上游有山坡地崩塌情況
維護方式建議	全部重新施作 SR2 設施損壞部分已嚴重影響其設施功能，設施維護相關單位，評估此設施功能，重新規劃設計施工以符合此功能需求之設施。

案例照片	正面照 背面照 左側照 右側照 環景照



全區俯視圖



特寫圖

圖 6 - 19 個案十個案現況資訊畫面

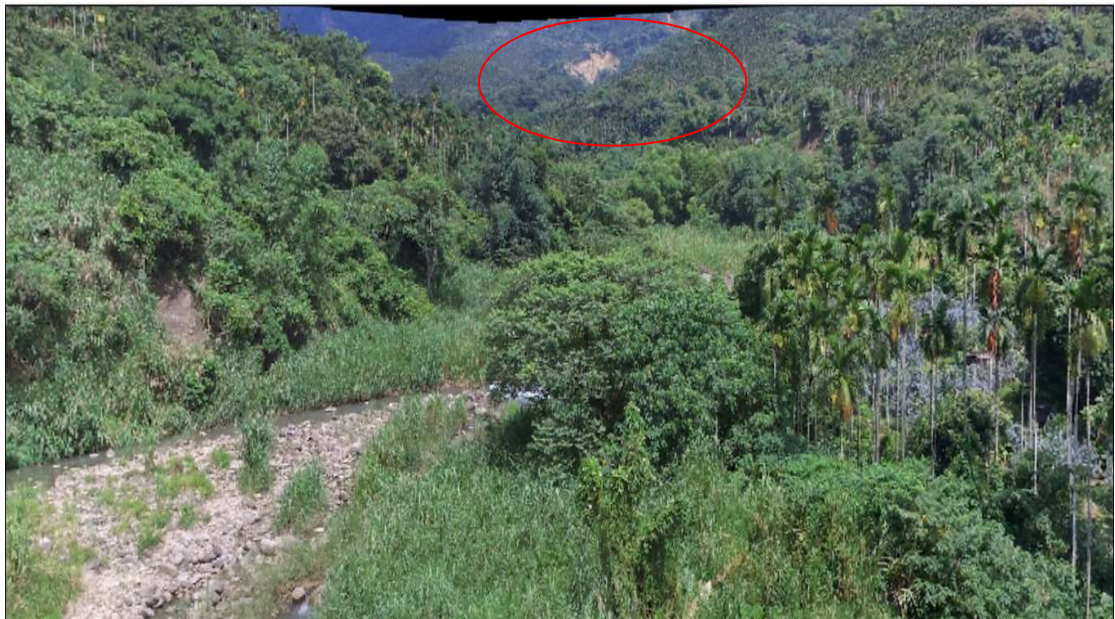


圖 6 - 20 個案十環景影像圖

第二節 本計畫執行效果與可行性探討

本小節將利用專家訪談方式協助瞭解於計畫中所採用無人機空拍全景影像效果以及模糊推論評等可行性探討，因此問卷將以執行過程中所遇困難及解決方式進行訪談。以開放性問題進行專家訪談，以瞭解本計畫執行過程，採用無人空拍機能否有效改善提升巡檢效率及可及性。

訪談對象以水保工程顧問公司及公部門人員總計 5 名，年資均達 5 年以上。分兩大部分，首先以無人機進行巡檢方式的可行性，地二順針對所取的影像，並建置成環景影像方式協助檢視的可行性。經題目與問達整合如下表所示：

表 6 - 1 以無人機輔助巡檢可行性訪談問達彙整表

以無人機輔助巡檢可行性	回答
請問在傳統人力巡檢設施的過程中，是否會遇到無法以肉眼清楚目視也無法拉近距離檢視設施的狀況？如遇到此種狀況是如何處置	1. 時常遇見肉眼無法目視的狀況 2. 勘查時先用無人機做初步的巡視 3. 再依照蒐集的資料規劃細部的巡檢
請問曾經在您的巡檢過程中，遇到路程崎嶇無法到達時，大多都如何處置	1. 想辦法繞道而行，空拍機可克服這問題。
以下兩張圖一張為手機拍攝，另一張則是使用空拍機拍攝，您認為哪張照片能幫助你做出較為明確的評等？您認為以無人機拍攝相片是否可以取代傳統相機拍攝之效果？請簡述原因	1. 空拍機拍攝的比傳統相機清楚 2. 現今在初步勘查空拍機已幾乎完全取代傳統相機
遇到地形較難徒步行走的水保設施檢查，利用空拍機拍攝水保設施影像，其影像可視效果與現場人工目視	1. 認同，可有高處往下拍，也可以近距離方式拍攝，有需要進一步現場觀察再前往。

比較，空拍機拍攝相較於現場人工拍攝安全性更高，您認同嗎？如無法認同請簡述原因	
研究過程實測，連續檢視同一條河流鄰近之兩設施(會把空拍範圍給受訪人看)，蒐集照片完成的時間大約落在 20~25 分鐘左右，請問您認為此效率是否優於傳統人力巡檢？請簡述原因	1. 在初步勘查空拍機較傳統人力有效率。 2. 大範圍的巡檢會更加便利，取的影像也更加明顯。
在大範圍的巡檢，利用空拍機拍攝水保設施影像，空拍機拍攝相較於傳統人力節省時間及成本，您認同嗎？如無法認同請簡述原因	1. 認同，居高臨下，可視範圍廣。
請問您認為無人機是否能取代傳統人力進行勘查？如無法請簡述原因	1. 無法完全取代，但已讓巡檢過程省下許多時間，於執行上有效的輔助工具。

資料來源：本計畫整理

表 6 - 2 以無人機拍攝環景影像可行性訪談問達彙整表

以無人機拍攝環景影像可行性	回答
此攝環景影像是否比傳統攝像照片更清楚表達周遭地理環境之條件(保護對象、周遭地形…等)，是否可提昇參考性？如果沒有請簡述原因	1. 能提供很好的參考性 2. 清楚的顯示周邊農舍(保護對象)，農田及邊坡是否有崩落等
以無人機拍攝環景影像包含前、後、左、右、俯視及受損特寫影像是否足夠，如不足會建議拍攝那些影像？	1 實務上拍攝不會刻意拍攝特定部位。 2. 能以有效的飛行時間盡力取的影像多拍，直到電池耗盡。
請問您認為無人機擁有哪些優點是有助於巡檢設施的？以及有哪些缺點或限制可能是不利於巡檢水保設施甚至是不及傳統人力巡檢的？	1. 無人機的優勢在於大範圍的巡檢。 2. 在面對較崎嶇地形的初步勘查相當省時。 3. 無人機無法看到水面下的掏空以及細部劣化或雜草叢生狀態時，故細部巡檢上，傳統人力優於無人機。
以下是我們研究過程中以無人機拍攝取得的環景影像，請問此影像是否足夠取代或協助你作為現場的評等的依據？如無法取代請簡述原因	1. 可部分取代。 2. 能有效輔助，並有極高的參考利用價值。

資料來源：本計畫整理

表 6 - 3 以模糊推論改善評等可行性訪談問達彙整表

以模糊推論改善評等的可行性	回答
以模糊推論方式填寫是否有改善以文字或量化方式評等的過程?	經由人員進行測試，了解進行檢測時，調整本計畫之檢測評估隸屬函數後，有改善語意或量化轉換問題。
以模糊推論方式評等出的構造物功能分級是否有效改善量化計算或語意計算的便利性?	減少許多評等項目的計算公式，合乎實用準則。
以空拍機取的影像結合模糊推論方式評等出的構造物功能分級及維護方式是應用否有助於巡檢的紀錄?	環景照片及文字可輔助檢測員辨識現況，並可判斷水保設施劣化狀況及給予初步的修繕建議，有助於巡檢的個案紀錄方式。

資料來源：本計畫整理

一、分析與討論

依據訪談過程發現無人機目前應用相當便利，但所應用對象各有不同，有些是採大範圍影像建加以拼置成 3D 圖形，但相對細部的部分則無法有效顯示，本計畫所提出以中、小範圍巡檢，並以收集環景影像，有助於現場環境檢視，以及水保設施的劣化顯示，可有效協助評等。綜合以上專家訪談後的可行性分析如下：

(一)可行部分：

1. 空拍機確實有助於初次的巡檢勘查，有效改善人力徒步的時間，克服無路可行或地形不佳狀況，並可有大範圍全檢視的效果，由高處往下取的影像可視角度較為寬廣，可替代部份以人力傳統相機拍攝過程。
2. 以環景影像建置，建置雖需以都張影像拼接，但可有效提供河道鄰近環境如住家、農田、產業道路或是崩塌地等等環境，有助於巡檢的現場環境認知，有助於現場評等的影像參

考價值。

3. 模糊推論部分，有效改善對於使用語意或量化評等模式，簡化評等結果推論出設施的功能分等級，也可以找出初步建議維護方式。

(二)考量不足部分：

1. 需考量飛行器的電池使用時間，目前已備用多個電池以彌補飛行時間問題，如遇雜草茂密以及水下掏空，相對細部檢測無法有效採及影像，仍建議以人力現場取樣。
2. 模糊推論程序，仍需以教育訓練方式提升對於檢視評等的過程才能更有效的運用。

第三節 本計畫成果

- 一、以 360 度影像建立水保巡檢影像協助評等模糊推論分級機制。運用巡檢過程蒐集管理區域中水保設施與周遭環境影像，有利於提升巡檢效率。
- 二、利用模糊推論方式以有效改善評等過程中的語意或量化方式，另運用模糊推論方法協助簡化評等後現況分級過程。
- 三、運用本計畫所提出之影像收集與分析技術來改善災前及災後巡檢過程的影像收集程序，除此之外也可轉化成分區的影像檔，有助於災害後現場比對。
- 四、透過 UAV 巡檢收集的影像檔，有助於了解環境現場損壞趨勢，亦可依影像紀錄分析該周遭環境是否有地滑或是土石崩塌處，以及有助於災後復建參考依據。
- 五、以專家訪談以瞭解使用 UAV 收集現場影像以多視角概念之可行性與限制性。充分改善現場視角不足情況及現場路況問題，但相對的所執行的過程序仍需有飛行器操作訓練，並建議以兩人一組為適合。

第七章 結論

本計畫之主要目的是以無人機作為現場檢測的取樣儀器，改變由原本平面方式取樣方式，改以空中俯瞰方式，並以建置環景影像為概念提供影像紀錄與檢測影像，另外目視評等法有常見的文字語意或數字評等，對於數字或文字轉換上會有部分認定結果不一致，再者評等結果另需計算，因此本計畫藉由模糊推論來協助整合語意或數字評等的問題，在利用推論來協助分級結果的產生，如此可減少後續計算的困擾，最後本計畫另外提供維護上的參考建議，主要是透過常見維護文獻回顧與專家協助，來提供維護建議的參考依據。希望提供局內日後相關工作時的之參考，將這些知識價值有效發揮，本計畫執行重點結論如下：

- 一、本計畫透過現場無人機的影像取樣建置以 360 度影像建置，好提供水保巡檢過程蒐集管理區域中水保設施與周遭環境影像，有利於提升巡檢效率。
- 二、本計畫所提出之影像收集與分析技術來改善災前巡檢或災後巡檢過程的影像收集程序，除此之外本計畫也運用網頁瀏覽器方式建置影像讀取介面，方便讀取環景影像，也可免除需特定影像軟體開起影像檔的困擾，再依個案分區影像檔，有助於檔案分類讀取。

三、透過無人機(UAV)巡檢收集的影像檔，有助於了解鄰近環境現場

否有住家或視農地，以及該周遭環境是否有地滑或是土石崩塌處，

均有助於災前防範或災後復建參考依據。

四、本計畫利用模糊推論方式來協助評等方式，以語意或數字量化方

式不易統一的狀況，因此運用模糊推論方法來協助簡化評等後過

程與構造現況分級程序，對於評等過程可獲改善。

五、本計畫最後以專家訪談方式探討本計畫的可行性，以瞭解使用 UAV

收集現場影像時之困難與限制性，訪談過程中環景建置以及藉由

網頁方式流覽最為認可，有助於瞭解臨近環境也容易檢視，另外

模糊推論也有實質改善對於評等採用模式不一的狀態，可以有效

達到整合評等程序。

參考文獻

1. 劉靜勇，2007，結合 AI 技術運用於動態模擬系統多目標最適化之研究：以支撐先進工法施工流程為例，國立雲林科技大學，營建工程研究所，碩士論文。
2. 方 豪 2006，應用模糊理論於學童補救教學成效評估，國立成功大學，工程科學系
3. 張斐章，張麗秋，黃浩倫，“類神經網路理論與實務”，東華書局，台灣，2003
4. 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。
5. 徐麥可，2018，基於模糊推論實作增強的室內定位系統，國立臺北大學 通訊工程研究所 碩士論文
6. 嚴毅，2016，無線感測網路下基於二階段模糊推論室內定位法之研究，國立虎尾科技大學，電機工程系，碩士論文
7. 張庭韶，2018，無人機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
8. 梁中彝，創新無人機自拍系統和技術實現，國立臺灣科技大學，機械工程系，碩士論文
9. 鍾駿綸，2015，架在旋轉盤上的環景拍攝，中華科技大學，電子

工程研究所，碩士論文

10. 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
11. F. Khan; A. Ellenberg; M. Mazzotti; A. Kontsos , 2018 ,
Investigation on Bridge Assessment Using Unmanned
Aerial Systems , Structures Congress 2015
12. 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)
13. icardo Eiris Pereira; Masoud Gheisari; and Behzad
Esmaeili , 2018 , Using Panoramic Augmented Reality to
Develop a Virtual Safety Training Environment ,
Construction Research Congress 2018
14. Duan Jie, Sun Xiangyang, Xue Kejuan , 2017 , Design of

- dynamic resolution detecting device for film type
panoramic aerial camera , Optik - International Journal
for Light and Electron Optics , Volume 130, February
2017, Pages 1462-1468.
15. Nai-Hsin Pan, Kuei-Yuen Chen, “Applying fuzzy theory
to develop a model for inspecting and assessing soil
and water conservation facilities” , Journal of Civil
Structural Health Monitoring September, Vol. 5, No.4 pp
441 - 455 (2015), DOI 10.1007/s13349-015-0127-6 (EI)
16. Nieto-Morote, A. and Ruz-Vila, F., “A fuzzy multi-
criteria decision-making model for construction
contractor prequalification.” Automation in
Construction, Vol.25, pp: 8-19. (2012). DOI:
10.1016/j.autcon.2012.04.004

附錄

附錄一、審查會議紀錄暨期初意見回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	工作執行計畫之內容文仍有亂碼，請修正。	感謝建議，將修改。
二	模糊推論如何應用於目測檢測評等宜有完整之論述及其合理性說明。十分法、四分法之外，有無其他作法？	經文獻收集目視檢測有常見有3~4個評等因子，評等方式包含有語意型式另有四分法、十分法及ABCD分級法，本次研究將試著將語意與量化法進行整合，運用專家訪談方式轉化成隸屬函數，一般評等後需藉由公式進行計算，本計畫利用專家協助將評等因子隸屬函數模糊化及專家提供推論法則庫，以藉由3~4個評等因子評等後進行該構造物功能現況分級推論以簡化整個評等的程序。
三	巡檢現地之好壞，在人員到達時即可當場反映，而採影像分析是否一事二做，浪費人力、經費資源？	巡檢時最佳方式即將現場進行評等與狀態記錄下來，但礙於現場有些因路行困難無法近距離檢視，另外也無法以空中檢視，如將空拍影像取回，在針對全區樣態及破壞部位特寫以分析整體破壞型態，將也助於後續的個案報告紀錄，將來可另可製作成個案履歷。
四	本工作執行計畫書之內容空洞，無法瞭解具體工作內容之執行如何？	將於期末報告時將本計畫執行方式加以說明。

項次	審查意見	回覆辦理情形
五	360°影像有扭曲畫面之情形，可能造成誤判，宜考慮。	有關 360 度影像檢視時所產生的扭曲畫面，本計畫試著採用開放軟體方式進行畫面調整成一般圖像檢視型態
六	試驗研究方法、目的與預期成果不甚具體。	將於期中報告時將本計畫研究方法、目的與預期成果加以補充。
七	模糊理論通常用在景觀、官能鑑別或人文科學等不易量化之研究，應用在水保工程構造物管理，如何具體呈現現況。	以模糊推論方式應用主要考量評等過程，以目視檢測方式進行評等，並利用推論方式得到構造物現況功能等級，以方便做為下一階對後續維護方式的參考依據。
八	專家訪談或專家問卷如何建置模糊尺度、等級等？	目視檢測評等方式常見有四分法亦有語意方式，經整合兩類評等式，再請專家依據語意方式填寫隸屬函數尺度，分級部分則理用設定法則庫請專家協助檢視邏輯以及合理性。作為評等後的推論分級結果。
九	請說明哪九項檢測項目需要建立模糊化之隸屬函數。	九項檢測項，依據目視檢測常用評等因子，另考量適合水保的評等因子則僅有3個評等因子需進行隸屬函數建立。
十	空拍機與模糊分級二者應用於本計畫二者間是否有關連性？	主要分兩階段，首先由空拍影像取得影像，再由目視判讀後進行評等與模糊推論，再藉由模糊推論方式來協助了解構造物目前現況等級。
十一	圖傳之必要性為何？可否飛行結束再由記憶卡取得影像？	感謝建議，圖傳主要是飛行器的控制影像拍攝連結訊號，另外現場將會備有筆電來協助空拍後的影像檢視。

項次	審查意見	回覆辦理情形
十二	UAV 影像判讀結合模糊理論是否適合？	空拍影像主要是提供後續影像判讀分析使用，再由影像判讀後進行評等，最後運用模糊推論方式協助了解構造物目前現況等級。本計畫探討該方式結合是否可行。
十三	如何應用在減災、整備、應變、復原之執行？	本計畫主要是針對整備、應變與復原，先運用空拍取得該區的影像以及構造物各區位的畫面包含環景影像，再進一步針對構造物進行評等，再運用模糊推論得到現況分級，另本計畫將收集相關結構物修復的文獻，整理並進一步協請專家藉由問卷方式進行分級，最後可依據檢測模糊推論分級結果，找出受損結構的修復方式作為參考。讓結構回復到原本該發揮的功能。
十四	若是應用管理，可否長期拍攝監控偏遠地區，電源、圖傳影像網路如何克服？	目前因考量到電池的持久性建議對備電池數量，僅適合不定期巡檢時使用，圖傳影像連結是採用飛機發射訊號與平板使用的單獨網路連結，不須透過網際網路連結。
十五	以無人機或環景攝影機進行影像拍攝，如何排除植生之影響？植生茂密是否會影響判讀。	經實際取樣時發現，確實會影響到判讀，目視檢測相同會遇到該問題。
十六	影像係針對表面進行判斷，對於野溪治理工程之構造物，如固床工、護岸等位於水下之部分，可否進行分析。	經實際取樣時發現，現場影像取得主要會考量豐水期與枯水期的取樣，於枯水期時巡檢，可易於看露出水面的狀態。若無法檢視將無法進行分析。
十七	收集的影像檔如何分析周遭環境是否為潛勢地滑或土石流潛勢地區，影像資料需要相當多大的範圍？	目前依據飛行器及飛行器須於可視範圍內，建議約50-100M內，加上以高度100M左右空拍俯視圖來協助檢視。

項次	審查意見	回覆辦理情形
十八	計畫預計執行十個案例(一個設施一個案例)是否足夠？	本計畫主要是以實驗性質探討目視檢測的評等方式導入模糊推論，以及利用空拍機進行現場取樣的兩個主要目的可行性。

附錄二、審查會議紀錄暨期中意見回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	模糊規則之建立過程中專家的判斷準則是極重要的參考，建議說明問卷內容及對象如哪幾位專家或其專業背景。	感謝建議，本計畫問卷專家包含有水保顧問公司(含技師與現場執行人員)、公部門水保人員(水保局分局駐地人員)，共計為 8 位，年資均達 6 年以上資歷。如下表所示。

表 附錄-1

職稱	工程年資	人數
水保工程師	20年以上	1
顧問公司資深工程師	16~20年	1
水保技師	11~15年	2
公部門承辦人員	6~10年	4

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
二	影像拍攝之距離、角度、解析度皆會影響判釋結果，建議儘量固定變因，並應述明採用之空拍機及相機型號。	感謝建議，將此相關規格寫入於計畫本文 5.2.1 影像搜集介紹中，內容如下：本計畫採用是飛機型號為 DJI-phantom-3-standard，相機為無人機標準配備，相機採用 1/2.3 吋傳感器搭配 f/2.8 鏡頭，1200 萬像素靜態照片拍攝(無變焦功能)，可支持 JPEG 和 DNG RAW 格式。
三	P2-6，有關本局水土保持手冊請更新至最新版本(2017年)。	感謝建議，將更新手冊部分。
四	1. 文字請再檢視校對。(P.2-4，(一)“防砂”設施；防砂壩、潛壩、“梳”子壩。P.2-5，“水”土保持工程設施，係指…；。P.2-7，1.“水”保設施異常樣態介紹；或經大”雨”坡地逕流冲刷造成背填材流失，常見於”擋”土牆)	錯字與缺漏字已修正。
五	P.2-18，第2段與第4段重複，”無人機駕駛跟隨…因外力晃動到影像”。	感謝建議，已將第4段重複部分刪除。
六	P.3-28，圖4及表19無相關對應，請修正。	感謝建議，已完成修正 圖4已刪除，表19已修正為表11
七	P.3-35，流程圖中”檢視現場照是否有缺漏”，該流程顛倒？(有缺漏則進行影像處理，無缺漏則進行補拍)	感謝提醒，流程中文字錯置部分已完成修改。
八	P.3-39，以網頁方式檢視拍攝之環景影像，資料上傳方式為何？是否需建立專用網站？	環景影像檢視以網頁方式建置影像瀏覽，考量瀏覽器取得使用上較環景看圖軟體方便也通用，因此無須建置網站，僅須以資料夾分類個案，以HTML語法建置，利於環景檢視語法可以附加於網頁上。

項次	審查意見	回覆辦理情形
九	取得影像後之處理與構造物災損評等分析等過程，需要人工處理或由軟體自動處理？影像處理軟體是否有版權問題？	(1.)取得現場影像後可由後端人員依據影像判斷，由matlab軟體所建置系統輸入數字或模糊文字進行模糊推論。 (2)影像處理軟體是有版權問題，另可由網路免費軟體做部分替代。

附錄三、審查會議紀錄暨期末意見回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	D. E. R. U(分級)評估因子須客觀、標準、量化原則。	感謝建議，考量量化與語意的落差及改善主觀因素，因此本計畫採模糊推論來簡化評等結果。為本研究主要目的之一。
二	以 UAV 影像判釋，山區工程大多植生茂密，構造物實際狀況較難探視。	感謝建議，針對植生茂密的確對於檢測上有所影響，因此如遇該情形仍需以人力配合現場察看
三	颱風過後判釋構造物情形，為一恰當時機，宜考量。	感謝建議，考量以風災後進行影像採集對於檢測時機正合宜，但因計畫執行時間有限，可考量後續於研究中納入。
四	專家問卷之評估結果宜再檢視合理性。例如固床工淤滿為破壞？顯不合理。	感謝建議，固床工淤滿係屬暫時性狀態，對於此部分再做文字上修正。
五	後續能否由 UAV 影像自動快速辨識初步評估，而非仍需由人工辨識。	感謝建議，但因計畫執行時間有限，可考量後續於研究改以影像辨識。