

計畫編號：111 保發-8.1-保-01-06-001(10)

邊坡病兆人機協作巡查方法與狀態評估模
式之研究

**Man-machine Cooperative Inspection
Method and Slope Condition Assessment
Model for Engineering Slope**

執行單位：逢甲大學

執行期間：111 年 1 月 18 日至 111 年 12 月 31 日

計畫主持人：連惠邦 特聘教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 111 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

摘要

本計畫彙整國內外相關文獻並建立邊坡評估模式，檢索常用項目並予以歸納，配合人機協作建立相關評估流程，選取大規模崩塌潛勢區「南投縣國姓鄉-T002(九份二山)」作為研究區域，並探討人機協作之可行性與成本效益等：

- 一、相關文獻蒐集：彙整交通部公路總局、交通部高速公路局、台灣鐵路管理局、高速鐵路公司、臺北市政府等國內單位邊坡評估，國外彙整香港、日本及美國等國家之模式與表單項目等，將之歸納人工、無人機適用項目，已建立邊坡評估模式。
- 二、邊坡狀況評估體系建立：利用相關文獻，建立適合人機協作之邊坡評估模式，包含邊坡本體、邊坡隱患及邊坡風險等三大方向，針對各項目給予評分標準。
- 三、人機協作方案研擬：對人機調查邊坡狀況建置相應邊坡模式及評估流程，進而提出常見病兆案例作為實際操作上之基礎與模式一一對應，以發揮人機協作調查上各自之優勢。
- 四、現地測試評估與實務應用建議：對「南投縣國姓鄉-T002(九份二山)」4處邊坡作為評估案例及邊坡狀態分析，兩處為中潛勢並建議整體規劃方案；實務成本考量上，若無特殊需求或僅需針對低位人工構造物調查建議可「純人工」，而相對重要邊坡則使用「運用人機協作」較全面。
- 五、建議未來研究之開展範圍應擴大，且針對個別樣態予以採樣，補充完整度、補充不同樣態特色等，不限於特定區域。病兆提取或辨識仰賴人工作業，仍有遺漏可能；近年影像辨識技術已可加強色碼正判樣態之能力，雖伴隨龐大資料庫之累積，但不失為一種未來發展方向。

關鍵字：人機協作、邊坡評估模式

ABSTRACT

This project collects relevant domestic and foreign literatures and establishes a slope evaluation model. It cooperates with human-machine collaboration to establish relevant evaluation procedures, and explores the feasibility of human-machine collaboration:

1. Relevant literature collection: Collect domestic and foreign models and form items, etc., and summarize them into artificial and drone applicable projects, and a slope evaluation model has been established.
2. Establishment of slope condition assessment system: establish a slope assessment model, including three major directions of slope body, slope hidden danger and slope risk, and give scoring standards for each project.
3. Development of human-machine collaboration plan: Propose common symptom cases as the basis and model for one-to-one correspondence in actual operation, so as to give full play to their respective advantages in human-machine collaboration investigation.
4. On-site test evaluation and practical application suggestions: Take the four slopes of "Guoxing Township, Nantou County-T002 (Jiufen Ershan)" as evaluation cases and analysis of slope status; for practical considerations, if there are no special needs, suggestions can be "Purely manual", while relatively important slopes use "man-machine collaboration" to be more comprehensive.
5. It is recommended that future research expand the completeness and supplement different morphological features, etc., not limited to specific regions; in recent years, image recognition technology has been able to enhance the ability of color code correction, although it is accompanied by the accumulation of a huge database, it is still a future development direction.

Keyword : UAV and human collaboration, slope assessment mode

目次

摘要	I
ABSTRACT	II
目次	III
表次	V
圖次	VII
第一章 前言	1-1
第一節 擬解決問題	1-1
第二節 計畫目標	1-1
第三節 計畫內容	1-2
第四節 工作進度及期限	1-2
第五節 計畫流程	1-2
第六節 工作進度	1-2
第二章 相關文獻蒐集	2-1
第一節 國內邊坡管理維護制度	2-1
第二節 國外邊坡維護管理制度	2-15
第三節 邊坡評估文獻歸納	2-26
第四節 邊坡調查項目	2-31
第三章 邊坡狀態評估體系建立	3-1
第四章 人機協作方案研擬	4-1
第一節 人機協作原理	4-1
第二節 無人飛行載具任務執行	4-1
第三節 人機協作巡查技術流程	4-6
第四節 圖像採集與分析	4-9
第五章 現地測試評估與實務應用建議	5-1

第一節 計畫區篩選.....	5-1
第二節 基本資料蒐集.....	5-2
第三節 現地調查彙整.....	5-27
第四節 現地圖像採集與分析.....	5-34
第五節 邊坡評估模式(SCAS)分析成果.....	5-39
第六節 實務應用建議.....	5-44
第六章 結論與建議.....	6-1
第一節 結論.....	6-1
第二節 建議.....	6-1
參考文獻.....	參-1

附錄一、審查意見處理情形

表次

表 1-1 工作執行進度表	1-3
表 2-1 山區公路邊坡防災分級管理制度(110 年 11 月).....	2-3
表 2-2 公路總局邊坡定性分級管理制度	2-6
表 2-3 邊坡危害度評估因子評分表	2-8
表 2-4 邊坡分級巡查頻率表	2-13
表 2-5 香港道路邊坡安全維護相關手冊及系統介紹表.....	2-17
表 2-6 蒐集基礎邊坡基本資料一覽	2-30
表 2-7 各單位邊坡調查項目一覽表	2-31
表 2-8 邊坡調查項目之資料取得最適表	2-32
表 3-1 病兆分項分類方法	3-2
表 3-2 邊坡狀況 SCAS 評定標準	3-8
表 4-1 無人機及其附屬設備	4-3
表 5-1 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)高程、坡度及坡向統計表	5-6
表 5-2 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)各種土地利用統計表	5-8
表 5-3 南投縣國姓鄉-T002 九份二山雨量站平均年雨量表	5-9
表 5-4 南投縣國姓鄉-T002 九份二山雨量站平均溫度表	5-10
表 5-5 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)土壤分布統計表	5-11
表 5-6 南投縣 DF101 土石流潛勢溪流資訊.....	5-15
表 5-7 南投縣國姓鄉九份二山(T002)歷年工程治理一覽表.....	5-18
表 5-8 南投縣國姓鄉九份二山(T002)歷年委託專業服務計畫.....	5-22
表 5-9 南投縣國姓鄉九份二山(T002)自動化監測站儀器配置表.....	5-23
表 5-10 南投縣國姓鄉九份二山(T002)既有鑽探孔位資料表與監測項目	5-24
表 5-11 南投縣國姓鄉邊坡編號與位置	5-34
表 5-12 邊坡評估模式(SCAS)之三大部分權重表	5-39

表 5-13 邊坡評估模式(SCAS)之統計參數	5-40
表 5-14 邊坡重要構造物災害潛勢評估分析一覽表.....	5-40
表 5-15 大規模崩塌治理之抑制工程一覽表.....	5-41

圖次

圖 1-1 計畫工作流程圖	1-3
圖 2-1 交通部高速公路局邊坡管理分級圖	2-11
圖 2-2 交通部高速公路局邊坡維護管理作業分類圖	2-12
圖 2-3 臺灣鐵路管理局邊坡確認分級處理流程圖	2-13
圖 2-4 日本砂防設施維持管理之流程圖	2-18
圖 2-5 日本砂防設施維護管理計畫之修訂原則	2-19
圖 2-6 砂防設施的點檢計畫與內容	2-20
圖 2-7 設施變狀程度參考	2-20
圖 2-8 道路邊坡結構物之點檢分類適用標準	2-21
圖 2-9 USMP 發展指導架構	2-22
圖 2-10 USMP 邊坡管理維護表單截圖	2-25
圖 4-1 無人飛行載具 (UAV) 工作執行流程圖	4-2
圖 4-2 政府機關(構)、學校或法人於紅區飛行或執行操作限制排除申請流 程	4-4
圖 4-3 研邦科技有限公司能力審查通過證明書	4-4
圖 4-4 空域通過申請	4-4
圖 4-5 遙控無人機操作證評鑑合格證明	4-4
圖 4-6 UAV 空標佈設型式	4-5
圖 4-7 航拍正射影像及 DSM 比較圖(右：正射，左：DSM)	4-6
圖 4-8 全景圖標註示意圖	4-10
圖 4-9 詳細圖標註示意圖	4-11
圖 4-10 植被枯死病兆特徵示意圖	4-12
圖 4-11 坡面沖刷病兆特徵示意圖	4-12
圖 4-12 岩土裸露病兆特徵示意圖	4-13

圖 4-13 坡面滲水病兆特徵示意圖	4-13
圖 4-14 淘空、沉陷病兆特徵示意圖	4-14
圖 4-15 鼓脹、開裂病兆特徵示意圖	4-14
圖 4-16 坍塌、地滑病兆特徵示意圖	4-15
圖 4-17 邊溝長草病兆特徵示意圖	4-16
圖 4-18 排水孔長草病兆特徵示意圖	4-16
圖 4-19 邊溝積砂病兆特徵示意圖	4-17
圖 4-20 排水孔積砂病兆特徵示意圖	4-17
圖 4-21 邊溝邊強破損病兆特徵示意圖	4-18
圖 4-22 邊溝底部破損病兆特徵示意圖	4-18
圖 4-23 混凝土表觀風化、脫落病兆特徵示意圖	4-19
圖 4-24 混凝土表觀細紋、裂縫特徵示意圖	4-19
圖 4-25 擋土牆滲水病兆特徵示意圖	4-20
圖 4-26 擋土結構物裂縫、破損病兆特徵示意圖	4-20
圖 4-27 擋土結構物位移病兆特徵示意圖	4-21
圖 4-28 擋土牆功能缺失特徵示意圖	4-21
圖 5-1 計畫區篩選示意圖	5-1
圖 5-2 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)大規模崩塌地範圍圖	5-2
圖 5-3 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)地理位置示意圖	5-3
圖 5-4 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)區域地形圖	5-4
圖 5-5 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)高程分布示意圖	5-5
圖 5-6 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)坡度分布示意圖	5-5
圖 5-7 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)坡向分布示意圖	5-6
圖 5-8 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)道路分布圖	5-7
圖 5-9 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)土地利用分布圖	5-8

圖 5-10 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)土地權屬示意圖	5-9
圖 5-11 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)土壤分布示意圖	5-11
圖 5-12 南投縣國姓鄉九份二山(T002)區域地質示意圖.....	5-14
圖 5-13 南投縣國姓鄉九份二山(T002)地層構造示意圖.....	5-14
圖 5-14 南投縣 DF101 土石流潛勢溪流位置圖.....	5-15
圖 5-15 南投縣國姓鄉九份二山(T002)自動監測站分布圖.....	5-23
圖 5-16 南投縣國姓鄉九份二山(T002) 人工監測儀器分布圖	5-24
圖 5-17 歷年衛星影像－南投縣-國姓鄉-T002.....	5-26
圖 5-18 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)蝕溝分布示意圖	5-27
圖 5-19 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)坡面崩塌區蝕溝發育	5-28
圖 5-20 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)坡面崩塌區蝕溝排水	5-28
圖 5-21 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)土石流潛勢溪流柱狀壩下游局部沖 刷淘空	5-29
圖 5-22 龍南道路上邊坡 6 座集水井位置示意圖.....	5-31
圖 5-23 投縣 DF101 支流沖淘刷現況.....	5-32
圖 5-24 邊坡編號情形－南投縣國姓鄉-T002	5-34
圖 5-25 南投縣國姓鄉邊坡編號 1 全景圖	5-35
圖 5-26 南投縣國姓鄉邊坡編號 2 全景圖	5-35
圖 5-27 南投縣國姓鄉邊坡編號 3 全景圖	5-36
圖 5-28 南投縣國姓鄉邊坡編號 4 全景圖	5-36
圖 5-29 南投縣國姓鄉邊坡編號 1 詳細圖	5-37
圖 5-30 南投縣國姓鄉邊坡編號 2 詳細圖	5-37
圖 5-31 南投縣國姓鄉邊坡編號 3 詳細圖	5-38
圖 5-32 南投縣國姓鄉邊坡編號 4 詳細圖	5-38
圖 5-33 各工法之適用崩塌深度.....	5-43

圖 5-34 崩塌地淺層整治工法圖	5-43
-------------------------	------

第一章 前言

第一節 擬解決問題

由於台灣位處歐亞板塊和菲律賓海板塊的交界帶，地質年代相對年輕，構造複雜且脆弱，每遇颱風豪雨或地震來襲，就可能誘發多種類型的邊坡破壞。事實上，邊坡破壞屬於無可避免的自然現象。然而實證經驗顯示，人類的工程行為很可能加速或加劇邊坡破壞。回顧國內工程邊坡的災害歷史，不乏住宅社區或道路發生邊坡破壞造成人民生命財產損失的重大災害。

但由於傳統的人工巡查存在種種的局限性，於是使用新技術[如無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)，以下簡稱無人機]輔助邊坡巡查，以提高檢查效率，已為時勢所趨。無人機係利用遙控設備和控制程序操作的不載人飛機，具有機動力強、即時迅速、時效性快、經費較廉、及較寬鬆天氣條件即可操作的優點。

為了因應水土保持轄管山坡地範圍眾多的邊坡巡查工作，並能取得可資應用的邊坡資訊，在人工巡查的基礎上，搭配無人機的協作，以有效提高邊坡巡查效率，降低巡查工作的危險性，盡可能全面的檢查邊坡減少漏檢病兆，是當下精進邊坡管理維護問題之一解決方案。

第二節 計畫目標

本研究係以工程邊坡為對象，將人工巡查與無人機搭配協作，以建立適於山坡地邊坡巡查技術及其狀態評估和分級方法。其中，邊坡(slope)(或稱斜坡)，主要由岩土材料組成，依其是否與人類開發行為有關，可以分為自然邊坡與工程邊坡或人工邊坡。前者係由長期地質作用自然形成的邊坡，例如山坡、岸坡；而後者則是經過人為開挖、填築而成的邊坡，例如路堤、路塹、堤壩等邊坡，以及其所構築的排水、護坡、擋土等人工設施。

第三節 計畫內容

本研究擬訂四項主要工作項目，茲分述如下：

- 一、相關文獻蒐集：相關文獻蒐集與彙整作業。
- 二、人機協作方案研擬：研擬人機協作模式之可行性、操作步驟等。
- 三、邊坡狀態評估體系建立：建置適用本計畫研究目標之邊坡評估模式。
- 四、現地測試與評估分析：以前述方法於現地調查、採樣人工邊坡，據以評估分析。

第四節 工作進度及期限

本計畫自民國 111 年 1 月 18 日至民國 111 年 12 月 31 日完成，並依據擬訂工作進度執行。

第五節 計畫流程

本研究擬以理論分析配合人跡協作巡查、邊坡破壞類型圖像採集與分析辨識，建立邊坡狀況評估模式，實施方法與步驟如圖 1-1 所示。

第六節 工作進度

本計畫期限自 111 年 1 月 18 日至 111 年 12 月 31 日內完成，各項工作進度如表 1-1。

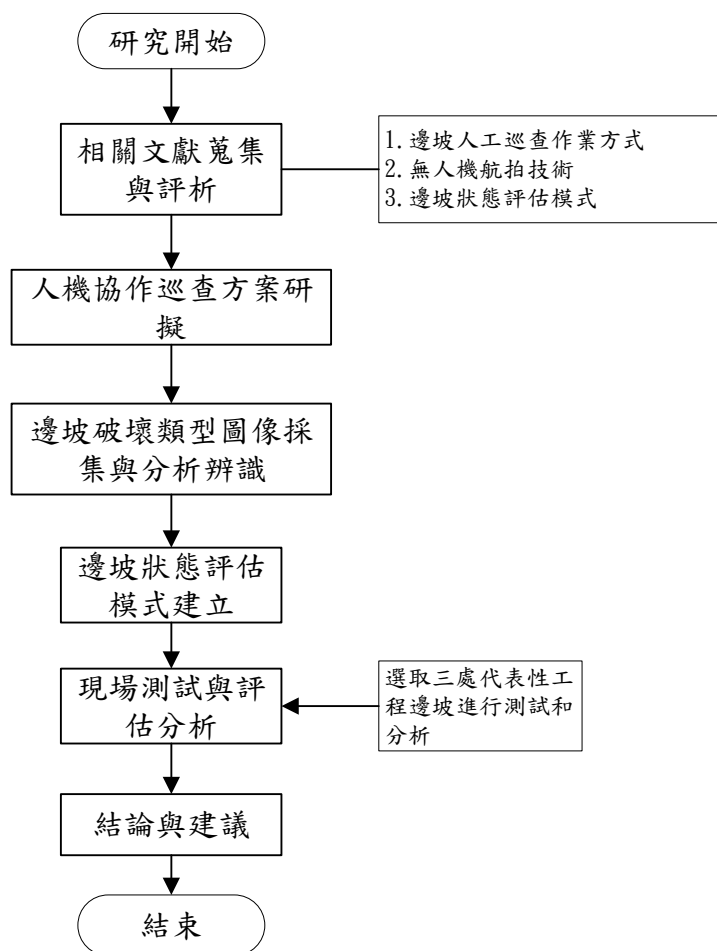


圖 1-1 計畫工作流程圖

表 1-1 工作執行進度表

重要工作項目	111 年											
	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
相關文獻蒐集												
人機協作方案研擬												
邊坡狀態評估體系建立												
現地測試評估與實務應用建議												
查核點			期 初 報 告				期 中 報 告				期 末 報 告	成 果 報 告
累積進度百分比	10	20	25	30	40	45	50	60	70	80	95	100

第二章 相關文獻蒐集

無人機已經進入民眾生活中的方方面面，在航拍攝影、農業植保、測繪勘探、新聞報導、工程措施巡查、救災搶險等各種生活、工程領域，都帶來了極大的便捷和幫助。根據 2020 年「無人機於我國交通領域之應用需求」，公路總局應用無人機克服人力巡山的困難，拍攝邊坡高處或目視所不能及的地方，協助找出裸露之地段後，再派員上去巡查，以增加作業效率。其具體推廣方式是先由無人機拍攝邊坡，再以 3D 套裝軟體進行建模，最後人工比對前後兩次飛行後之影像，判斷裸露面積是否增加。施乃慈等人(20)利用無人機及地面光達(Ground-based LiDAR)於台 20 線南橫公路邊坡，同時搭配不同時期高解析度航空影像圖資，能夠準確掌握區域地形構造位置與微變化範圍，有助於評估公路沿線區域易致災範圍、拓展目視落石監控範圍與篩選出危害用路人之高風險路段，始達到從「防止」成為「管理」，達到與災害共存的目標。

第一節 國內邊坡管理維護制度

一、交通部公路總局

省道邊坡多為自然邊坡，長約 1 千 1 百餘公里的山區公路，與新闢公路所形成有人工設施的路塹或路堤邊坡，管理方式與困難課題自是相異，在客觀條件上有影響範圍、地質、排水、植被等先天因素，在主觀條件上則有交通量、視角、緩衝空間等後天行車安全風險因素，以及部分災害復建後的殘餘風險，錯綜複雜的綜合於現今省道所遭遇的自然邊坡單元。因氣候急遽變遷所引致公路邊坡之災情，導致民眾對於公路管理之期待不再只是預置機具搶通或是通報災情而已，而是對於行車安全的管理應有更積極性、智能化的制度改變，省道邊坡養護管理制度之變革歷程

如下：

(一)民國100 年以前

依據 92 年版公路養護手冊規定，邊坡項目僅有巡查及一般簡單的注意事項，巡查時著重於從車上以目力檢視公路各種狀況，必要時以徒步或攀登方式，儘可能接近公路設施。此節於當時自有其時空背景因素，惟若現今有2 項課題可從不同角度思考其合理性；一是由管理者角度執行此條文簡易明確，對於目力檢視不到的範圍，自然無應注意而未注意之責，然若需徒步或攀登，亦載明僅限於公路設施，此類思維雖廣為公路管理者所接受且口述傳承，然對於一次又一次的公路災害致用路人傷亡的訴訟或監察院調查結論案件中，恐非如是思考。

(二)民國100 年~103 年

要正向面對自然邊坡的安全管理議題，首先面對的問題就是如何定義「邊坡單元」以及「國賠責任」。有關定義「邊坡單元」問題；因當時並未有邊坡管理系統，如要緊急建置全國省道邊坡資料亦非易事，面對即將到來的汛期，需有一套可供基層操作之準則，於是在100 年05 月串連養路管理者主觀經驗中之易致災邊坡為「重點監控路段」，律定「降雨觀測指標」、「管理值」及「預警性封路」等觀念納入標準作業程序內頒布實施並演練，建置完成公路防災預警機制，算是對於公路邊坡於災時開始有管理與控制作為。當時公路單位為防災預警之需要，依其路段特性與抗災力區分為1 級與2 級重點監控路段。特別是1 級重點監控路段表示該路段內存有較低抗災力之點位，如蘇花公路、北橫公路、中橫公路...等，其災時的管理方式如次；屬1 級重點監控路段，經研判後續仍有持續降雨趨勢路段得封閉屬2 級重點監控路段，路段原則維持通行，保全或開口契約廠商應駐點守視，

惟若路段內出現坍方、缺口、下陷等災情徵狀或在路況不明確狀況下得予以暫時封閉。首次實施防災預警機制，經過 1 個汛期的實務驗證後，再於 100 年 11 月以會議結論形式，步先將邊坡依養護管理等級分為 A~D 以利防災管理，如表 2-1 山區公路邊坡防災分級管理制度，但實質上當時養護管理面尚未有較具體的邊坡單元分級，所以當時也僅有 1、2 級重點監控路段的制度，尚未落實邊坡分級管理。

表 2-1 山區公路邊坡防災分級管理制度(110 年 11 月)

等級	分級標準	防災管理等級	應變管制機制
A	重點監控路段(依據歷史災情記錄評估致災之風險或學者專家合議篩選訂定)	1 級監控路段	災前：依所律定之降雨觀測指標門檻值執行預警及封路作業 災後：行動值解除後，持續巡查 7 日進行防治作為
B	偶有落石或有些時候似不穩定徵兆，尚未設置邊坡護坡設施	2 級監控路段	災中：達行動門檻值時，路段原則維持通行，保全駐點守視，並蒐集監控路段路況訊息回報工務段。惟若路段內出現坍方、缺口、下陷等災情徵狀或在路況不明確狀況下得予以暫時封閉。 災後：24 小時累積降雨量達 350mm 時，啟動朝巡制度 1 周
C	曾有落石坍方紀錄無明顯不穩定徵兆已設有防護措施	視需要部份列 2 級監控路段。特殊狀況：達特殊狀況：達「全面警戒」時機時。	列 2 級監控路段者依上開規定辦理，餘依養護手冊辦理達特殊狀況：達「全面警戒」時機時，全面封閉。
D	五年內未有落石坍方紀錄，無明顯不穩定徵兆之邊坡	特殊狀況：達「全面警戒」時機時。	一般依養護手冊辦理。 特殊狀況：達「全面警戒」時機時，全面封閉。

同時為因應防災需要，開始規定有「朝巡制度」，所謂朝巡制度需實際以目視巡查（跡象、徵兆），針對目視範圍內能力所及進行處理，車上影像主要用於輔助巡查、紀錄過程，並於早上 8 點前完成巡查，邊坡分級啟動標準如下：

1. A 級比照重點監控路段，行動值解除後，持續巡查 7 日進行防治作為。
2. (2)B、C 級當 24 小時累積降雨量達 350mm 時，啟動朝巡制度。
3. D 級依養護手冊辦理。

公路養護手冊迄自 101 年修訂後計有經常及特別巡查、

定期檢測及特別檢測規定，與 92 年版相較之下，增加了檢測項目，惟同樣的是仍是以目力檢視來作後續之判斷，對於邊坡單元或自然邊坡相對較少著墨。依據 101 年版養護手冊巡查之定義；公路用地或路權範圍內各類公路設施之巡視與檢查，主要係從車上以目力檢視公路各種狀況，若發現狀況下車詳查，邊坡之日間經常巡查頻率為 1 次/週，下邊坡 1 次/季。

另外檢測可依養護手冊表 A2-2 所載係以目力或輔以簡易器具，瞭解其定義，分定期檢測與特別檢測。定期檢測係一年辦一次，對設有擋土構造物之邊坡實施檢測，檢查項目計有表 A3-2~A3-10；分別為防石柵、石籠、噴凝土護坡、混凝土格框、地錨護坡、混凝土擋牆、預力地錨擋牆（預力損失、錨頭銹蝕...）、加勁擋牆、邊坡護坡與擋土設施檢測圖片等表格，綜上，不難瞭解定期檢測係為人工邊坡所規定。

另一項為特別檢測，實施頻率依養護手冊所載為必要時，其檢查項目除定期檢測所有項目外，再新增表 A3-1，也就是自然邊坡特別檢測表，此表內容比較值得關注的是，檢查項目 10：坡頂與坡面

截水、排水設施，其對應養護項目：裂縫修補、截排水設施破壞修復、淤塞清除；以及檢查項目 11：非法耕作及佔有，其對應養護項目：予以制止、排除及復舊。依其檢查與養護內容對於自然邊坡而言，已有將巡查視角，從路側擴及至上邊坡稜線，也就是坡頂，惟陡峭山壁或高聳自然邊坡，人員無法攀爬進入，檢測方法為何？檢測時機雖載為必要時，可何種情境視為必要時？此為當時邊坡管理之困難課題，尚待公路單位進一步突破。

(三)民國103 年~106 年

公路在平常時期，其因天然災害致災之風險並不高，可謂「安全」惟在劇烈天候下山區公路可能發生崩塌、泥流、水瀑、落石、路基流失...等等災情，引致用路人致災之風險提高，因此風險提高至某種管理值，公路管理單位就必須要實施所謂「風險控制」的應變作為。103 年由於防災的需求，開始導入風險管理的概念，也就是認為在特定場景下，因公路邊坡崩壞造成用路人罹災的風險，其實就是天候危害度、邊坡脆弱度及人員曝露度等 3 項指標所組成（天候危害度：災害性暴雨規模出現頻率；邊坡脆弱度：崩塌機率；人員曝露度：交通量）所以為了控制風險，開始調整邊坡安全管理控制策略：

平時降低脆弱度，發現脆弱點改善，提高抗災力；災時降低曝露度：因應情境降低交通量。為有效的發現脆弱點，早自 102 年 6 月起即開始針對全國省道山區道路之高崩坍潛勢路段，運用中央地調所環境基本地質圖、地質災害潛勢圖 加上省道公路路線圖資套疊，調查現況邊坡地質、坡度、防護設施等資料，將山區道路分為 A、B、C、D 四等級，歷時 10 個月建置完成邊坡定性分級管理制度，從先前重點監控路段經驗式的管理概念，以定性分類將之具像

化為 A~D 級，並開始推廣導入 UAV 輔助巡檢及檢視坡頂狀況，並頒訂邊坡特別檢測時機與方式。依據公路總局 103 年 4 月所訂定邊坡分級管理制度如表 2-2，並同時建立邊坡口卡管理系統滾動檢討更新資料，制度於 103 年建立之初，第 1 階段所清查之 2500 餘處中央地調所圖資顯示之高潛勢路段，經現地逐一確認並鍵入邊坡資訊管理系統歷時 10 個月，收斂為 1,817 處邊坡單元。

表 2-2 公路總局邊坡定性分級管理制度

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

資料來源：本計畫蒐集及繪製。

(四)民國 106 年迄今

當時邊坡分級管理屬定性分級，養護手冊規定定期檢測頻率每年一次，惟巡檢能力尚無法擴及更上層邊坡。106 年 6 月導入美國加州 1 號公路災害管理哲學，作法從【防止】逐步轉變到【管理】，成立「運用 UAV/S、LiDAR 等科技技術於公路養護管理，提升行車安全推動計劃」，增進山區公路邊坡巡檢的效能。並且為了讓遙感探測監控邊坡的技術能制度化的被運用，於 107 年 8 月導入邊坡定量分級管理制度，律定危害度中、高風險邊坡單元列入定期科技巡檢，並依危害度之不同律定不同之巡檢方式與頻率，大幅提升巡檢效率及擴展巡檢視角至稜線。

103 年因防災實際需要，增訂養護管理有遭遇各情境應辦巡檢事項規定；災時應即時處置事項規定，惟尚缺邊坡依其危害度之不同而應有不同日常定期或特別巡檢方式及之頻率規定。所以為利管

理更有效率，透過現行 A、B 級邊坡分屬明顯或疑似不穩定徵兆，再進入細部定量評估，而細部定量評估的方法則選定落石災害評分系統（簡稱 RHRS）為快篩方法。

落石災害評分系統採用之評分方法，係使用表 2-3 邊坡危害度評估因子評分表，評估因子主要根據交通部科技顧問室 1996 年委託臺灣大學擬訂的修正版本，再依據 2018 年於台 3、台 7、台 9、台 14、台 18、台 20 等山區公路合計 16 場次之現地專家評分會議後的修訂版（如附表 1-3），該表危害度等級則依循美國公路單位 RHRS 方法，以 110 分為分隔區間，共分為 5 級。第 5 級為危害度風險最高等級，風險度依序往前遞減。

依各危害度分級之不同，針對中高風險等級（第 4~5 級）歸類為優先關注邊坡，訂定進階巡檢方式與頻率。為落實實施公路總局於 107 年 8 月自發性的擬定「公路總局邊坡定性定量分級暨進階檢測圖資建置計畫」，其計劃目的主要以定性分級為主、定量分級為輔，落實定期檢測、發現問題、提早改善的主動式預防性養護作為。效能面的提升則是導入科技巡檢、管理更有效率；將定性分級精進為定量分級管理制度，大幅減低人為主觀判斷之分級誤差，並依危害度之不同律定不同之巡檢方式與頻率，大幅提升巡檢效率。

表 2-3 邊坡危害度評估因子評分表

邊坡危害度評估因子評分表					
評估因子		評分準則與分數			
		3 分	9 分	27 分	81 分
地形特徵(取平均)(A1)					
坡高(m)		5~14	15~24	25~34	35 以上
坡度或坡型 (取大 值)		40~49	50~59	60~69	70 度以上
		-	-	凹直形、凸嘴形	凹直形、凸窪形
地質狀況(取大值)(A2)					
岩性		結晶質岩石(如:大理岩、石英岩)	粗顆粒岩石 (如：塊狀礫岩、砂岩)	泥岩石(如：泥岩、頁岩、板岩、片岩及砂頁岩互層)	斷層帶
不連續面		塊狀	節理發達	破碎、變形	崩積(落石堆)、開裂
順向坡	層面傾角 $\leq$ 坡度	-	未見砍腳，無差異侵蝕	未見砍腳，差異侵蝕	砍腳
	層面傾角 $>$ 坡度	-	無差異侵蝕	層面差異侵蝕，無剪裂開裂	層面差異侵蝕，層間剪裂、開裂

邊坡危害度評估因子評分表				
評估因子	評分準則與分數			
	3 分	9 分	27 分	81 分
邊坡植被及水流狀況(取大值)(A3)				
植被面積(%)	80 以上	79~30	29~10	小於10
排水設施	截排水完整	截排水不完整或損壞	出現蝕溝、明顯沖刷	蝕溝已堆積落石
氣象加權(B1)				
加權乘子	1	1.1	1.2	1.3
前一年度連續降雨月份單日最高降雨量(mm)	小於130	130~199	200~349	350 以上
近三年平均落石坍方歷史(取大值)(C1)				
災害紀錄(次/年)(有搶修紀錄)	1 次以下	2~3 次	4~6 次	大於6 次
落石頻率(連續3次清理紀錄)	每季1 次以下	高於每季1 次	高於每月1 次	高於每周1 次
近三年落石尺寸及坍方規模大小(取大值)(C2)				
坍落土方量(m ³)	小於200	200~499	500~999	1000 以上
落石尺寸(m)	<0.2	0.2~0.6	0.6~2.0	>2.0
交通流量狀況(C3)				
日平均交通量(PCU)	小於5000	5000~9999	10000~19999	20000 以上
道路寬度及腹地有無(取平均)(C4)				
道路寬度	大於9m	大於9m	9m(含)以下	9m(含)以下
腹地有無	有腹地	無腹地	有腹地	無腹地
區域聯外交通影響(C 5)				
是否為風景遊憩區主要道路	非主要道路	主要道路(觀光軸線)	非主要道路	主要道路(觀光軸線)
替代道路有無	有替代道路	有替代道路	無替代道路	無替代道路

邊坡危害度評估因子評分表				
評估因子	評分準則與分數			
	3 分	9 分	27 分	81 分
現有防護設施加權(D1)				
加權乘子	0.7	0.8	0.9	1
防護設施 成效	有二項防護設施且成效良好，或施作完成5年以上，成效驗證良好(含預力地錨者於1年內已檢測過又有監控系統)	一項防護設施效果佳或施作完成2年以上，成效驗證良好(含預力地錨者於2年內已檢測過又有監控系統)	有防護設施但成效不佳或防護設施已施作完成尚未滿2年成效驗證(含預力地錨者於2年內已檢測過又有監控系統)	無防護設施或有防護設施但無法消除致災原因(含預力地錨者於2年內均未辦理檢測過)
			危害度評分	
			危害度等級	

資料來源：修改自陳榮河、林美聆、林銘郎，1996

二、交通部高速公路局

國道邊坡全生命週期維護管理作業的導入主要分為二進程，第一階段為自 99 年 4 月國道 3 號 3.1k 邊坡坍滑事件後至 102 年 12 月，主要為自國道 3 號 3.1k 邊坡坍滑事件後，高速公路局為確實掌握及管理國道邊坡之安全狀況與因應國道邊坡全生命週期維護管理的需求，進行「國道邊坡補強實施」計畫，主要包含國道邊坡總體檢與補強、養護手冊第五章邊坡修訂及國道邊坡全生命週期維護管理系統建置。

中國道邊坡總體檢與補強已於 102 年 8 月 31 日全部完工，達到國道邊坡皆符合規範對邊坡安全的要求，而自 103 年起則依據在 102 年 11 月函頒養護手冊第五章邊坡的規定，執行邊坡巡查、邊坡監測、地錨檢測及邊坡安全評估等工作，以即時發現邊坡異狀進行維護、補強與整治，達成國道邊坡全生命週期維護管理的目的，相關國道邊坡補強成果高速公路局亦彙編為補強案例事例集供後續邊坡業務人員參考。

第二階段為自民國 103 年 1 月起，依據 102 年 11 月高速公路局函頒養護手冊第五章邊坡的規定，國道邊坡全面進入全生命週期維護管理的實行與持續的成效追蹤及精進，該階段的邊坡作業有別於國內外針對邊坡的維護管理，主要著重於邊坡巡查作業的規定，高速公路局國道邊坡維護管理制度，除涵蓋邊坡維護相關作業規定外，並包含邊坡資料的保存及運用、人員的訓練與邊坡維護作業成效管理等，另外，邊坡的維護管理亦導入邊坡分級的模式，依據邊坡亟需處理程度予以分級，共分為 A、B、C、D 四個等級，如圖 2-1 所示，邊坡養護依據邊坡分級的不同有其相對應的頻率，並且依據邊坡定期巡查作業、邊坡監測作業與地錨檢測作業之資料綜整及結合邊坡災害潛感因子與邊坡風險規模，回饋邊坡安全評估，適時調整邊坡分級，達到滾動式管理可提供工務段維護工程優先順序之參考，邊坡分級（A、B、C 及 D）可做為邊坡維護管理作業分類參考(如分級流程及高公局轄管邊坡分級情形)，如圖 2-2 所示。

邊坡分級	A	邊坡有明顯不穩定徵兆，需立即通知採取必要措施並配合密切巡查及監測。
	B	邊坡發現有些許疑似不穩定徵兆，需進行維護、補強作業並加強巡查及監測。
	C	邊坡無明顯不穩定徵兆，僅需進行巡查或例行性維護，並視需要進行監測。
	D	邊坡處於穩定狀況，仍需進行巡查。

圖 2-1 交通部高速公路局邊坡管理分級圖



(a)邊坡維護作業流程



(b)國道邊坡巡查作業類別重點及頻率

圖 2-2 交通部高速公路局邊坡維護管理作業分類圖

三、交通部臺灣鐵路管理局

臺鐵局於 105 年參考公路總局與高速公路局邊坡安全維護管理及分級機制經驗擬定「臺鐵邊坡全生命週期維護管理計畫」。106 年起委託財團法人臺灣營建研究院編寫「鐵路邊坡養護手冊」。

於110 年1 月頒布實施，如圖 2-3 所示。邊坡巡查，其目的在於經由定期特別巡查、監測、地錨檢測、安全評估等維管作業成果，於龐大之邊坡數量中，篩選出可能有不穩定徵兆(A、B 級)之鐵路邊坡，主要透過目視檢測方式初步篩選邊坡及擋土設施出現異常徵兆者，後續配合地

錨檢測、監測、邊坡風險規模及邊坡穩定分析(視需要)等資料，評估其邊坡等級。



圖 2-3 臺灣鐵路管理局邊坡確認分級處理流程圖

確認邊坡分級後，其巡查頻率如表1-4 所示。經常巡查 由轄管工務段辦理，定期巡查將委由專業廠商辦理。

表 2-4 邊坡分級巡查頻率表

級別	說明	經常巡查	定期巡查
A 級	邊坡有明顯不穩定徵兆	每兩週	每季
B 級	邊坡有疑似不穩定徵兆	每月	每半年
C 級	邊坡無明顯不穩定徵兆	每季	每2 年
D 級	邊坡處於穩定狀況	每季	每4 年

資料來源：本計畫蒐集及繪製。

四、台灣高速鐵路公司

台灣高速鐵路公司於 2005 年對營運安全有影響之邊坡完成安全分級，於 2007 年開始定期辦理專業檢查與監測工作，其邊坡分級為 4 級，說明如下：

- (一) A 級：邊坡出現明顯不穩定徵兆，對營運安全會造成影響， 須進行整治。

- (二) B 級邊坡出現疑似不穩定徵兆對營運安全可能造成影響，須加強監測，必要時進行改善。
- (三) C 級邊坡出現疑似不穩定徵兆對營運安全應不造成影響，須加強維護及檢視。
- (四) D 級：邊坡未出現不穩定徵兆，對營運安全不造成影響，僅須進行例行維護及檢視。

五、臺北市政府工務局大地處

本計畫將臺北市政府工務局大地處之相關邊坡管理流程、系統等加以彙整，擷取與本計畫相關項目，其中包含其對人工邊坡之定義、人工邊坡調查建檔工作、維護管理系統等，分述如下：

(一)人工邊坡定義

- 1.定義：根據水土保持技術規範，舉凡為蝕溝及野溪治理、坡面保護、道路邊坡穩定等水土保持處理與維護所設置之擋土牆，或依據內政部 87 年 3 月 25 日台內營字第八七七一五〇四號函中之案由四說明「建築技術規則建築設計施工編山坡地建築專章第二百六十四條所稱『擋土牆』，係指為攔阻土石之崩塌所構築高度在 1.5 公尺以上之構造物。」之擋土牆，兩者皆屬「人工邊坡」。綜上，本書中「人工邊坡」定義泛指人為挖填整地所形成之邊坡或所構築之擋土設施與護坡，包含挖/填方坡、噴凝土護坡、型框護坡、土/岩釘護坡、噴植法護坡、掛網噴植(植生)護坡、打樁編柵、落石防護柵、重力式擋土牆、加勁擋土牆、三明治擋土牆、乾砌石擋土牆、漿砌石擋土牆、疊式擋土牆、懸臂式擋土牆、扶壁式擋土牆、半重力式擋土牆、混凝土版樁式擋土牆、排樁擋土牆、背拉地錨等。

- 2.單筆界定：臺北市政府之單筆人工邊坡之界定如下：

- (1)同一型式同一年代人工邊坡為 1 筆資料。
- (2)同一型式不同年代人工邊坡應區分為不同筆資料。
- (3)不同型式人工邊坡應區分為不同筆資料。
- (4)多階人工邊坡應區分為不同筆資料。資料來源：本計畫蒐集及彙整。

第二節 國外邊坡維護管理制度

蒐集香港特別行政區、日本及美國等國外邊坡維護管理制度，並予以比較國內主管邊坡維護管理制度差異性，提供水土保持邊坡設施維護管理制度之參考，其分述如下。

一、香港特別行政區

香港特別行政區土木工程署轄下土力工程處的主要職能包括對建築工程實施岩土方面的管制，以及鞏固不符合標準的斜坡，從而減低山泥傾瀉的危險。2001 年，該處審核了 13029 份岩土工程設計建議書，並動用合共 9.82 億元推行防止山泥傾瀉計劃。年內，該處完成鞏固工程的政府斜坡共 250 個；這些斜坡並全部進行美化工程，以融合周圍的環境。完成安全篩選研究的私人斜坡有 316 個。有系統鑑別全港斜坡維修責任”資料庫已上載互聯網，公眾人士可以即時查閱他們責任範圍內的斜坡資料。全港 54000 個大型人造斜坡和擋土牆的資料，已轉載至“斜坡資訊系統”。該系統的雙語互聯網版，登載於土木工程署“香港斜坡安全網頁”(<http://hkss.ced.gov.hk>)，如表 2-5 所示。

土力工程處全年提供 24 小時緊急服務，隨時為各政府部門提供岩土工程方面的意見，協助他們採取行動保障市民免受山泥傾瀉危險的威脅。為了進一步改善山泥傾瀉方面的緊急服務，該處加強了電腦資訊系統及通訊設施，以提高處理山泥傾瀉資料的效率，確保接獲緊急報告後

能夠盡快回應。土力工程處另外一項重要職能是視察山邊寮屋村落，並建議為最受山泥傾瀉威脅的寮屋居民給予安置。迄今，當局因應土力工程處的建議，已安置超過74750 名受山泥傾瀉威脅的寮屋居民。2001 年內，該處共視察了大約4770 間寮屋。土力工程處不斷進行研究，以增加認識天然山坡山泥傾瀉的風險，並改善作業方法。2001 年，該處為三個地點完成天然山坡風險評估，現正安排所需的風險緩減措施。該處亦正在進行天然山坡風險研究工作，勘察了青山山麓一帶逾百個天然山坡。為配合天然山坡風險研究，該處已引進採用特別設計的數碼攝影測量、遙感和流動勘測等新科技。

為推展斜坡安全的宣傳工作，土力工程處繼續推行有關斜坡維修和斜坡安全的宣傳教育運動，包括廣發宣傳小冊子和單張、接受傳媒訪問、派員出席公開座談會在大型商場舉辦巡迴展覽、在中學舉辦斜坡安全講座等。該處又繼續在電視播放宣傳短片，就私人斜坡的維修、山泥傾瀉警報發出後的人身安全措施，以及在山坡非法耕種的害處等事項，宣傳斜坡安全的信息。該處亦製作了培訓錄影帶及《斜坡維修計劃範本》宣傳維修斜坡的重要意識。有關資料已分發給私人斜坡業主和有關人士。2001 年底，該處在互聯網上推出私人斜坡維修訓練課程。為加強教育市民斜坡安全知識，該處現已完成對現行宣傳教育工作的獨立檢討，並已制定相應的長遠策略。此外，社區諮詢服務組繼續為私人斜坡業主提供意見，協助他們維修鞏固斜坡。

表 2-5 香港道路邊坡安全維護相關手冊及系統介紹表

名稱	用途簡介	初版或發展完成年
斜坡岩土工程手冊 (Geotechnical Manual for Slopes)	提供斜坡設計、施工、維修及場地整理等方面的作業標準。	英文版:1979/11 中文版:1998/3
斜坡維修指南(Guide to Slope Maintenance) *斜坡維修作業標準 原論述 於斜坡岩土工程手冊， 斜坡維修標準增訂後， 論述於本指南。	論述斜坡、擋土牆、非原狀山坡及山體災害緩減設施的系統性維修方式。本指南從發表開始，藉由實際執行經驗回饋檢討維修標準及作業需求而數次更新內容。	英文版:1995/7 中文版:1995/11
斜坡維修簡易指南 (Layman's Guide to Slope Maintenance)	教導一般市民如何維修斜坡及擋土牆，以及樓宇業主、業主協會及物業管理人員的維修責任。	英文版:1995/7 中文版:1995/7
道路斜坡手冊 (Highway Slope Manual)	道路斜坡的工程及維修項目之建議策劃、勘察、設計及施工的良好作業標準，為道路業主設立道路斜坡管理系統及山泥傾瀉緊急應變計畫提供指引。	英文版:2000/11
斜坡資訊系統 (Slope Information System)*土木工程拓展署,土力工程處	每處斜坡或擋土牆皆予編號造冊(斜坡紀錄冊)列管,同時,可透過建築物,街道,坐標及燈柱方法等方式查詢基本資料,並可查詢落石災害或歷史山泥傾洩事件等位置。	系統發展完成年:1998
斜坡維修責任信息系統 (Slope Maintenance Responsibility Information System) *地政總署	轉載自土木工程拓展署的斜坡資訊系統所載的有關人工邊坡之《斜坡紀錄冊》及相關資料。向公眾提供初步的參考資料,以協助公眾辨識紀錄冊所記錄的斜坡是由哪一地段/哪一方負責維修。	系統發展完成啟用 日:1999/12/29

資料來源：本計畫蒐集及繪製。

二、日本

日本的砂防設施(亦即台灣之水土保持設施，以下簡稱砂防 設施)之管理單位主要分為國有與地方政府，其維護管理依據各 地方特性亦皆略有差異，但其主要以國土交通省所制訂之以下兩個手冊為原則，再依據各地區特性調整。

(一)維護管理制度

日本的砂防設施維護管理流程主要為依據上述所提之

「砂防關係施設の長寿命化計画策定ガイドライン(案)」為原則，如下圖 2-4 所示之流程進行規劃執行，內容包括點檢計畫、內容、標準，再依據第一次的全面性設施點檢結果掌握各地區轄內之設施的健全度(包含設施的劣化狀況及設施的重要度等)同時對於現況設施提出短中長期的維護管理計畫等，目前日本各地方政府已完成第一次砂防設施長壽命計畫之訂定，同時進行第二次設施點檢及如圖 2-5 所示之第二次長壽命計畫之修訂作業。

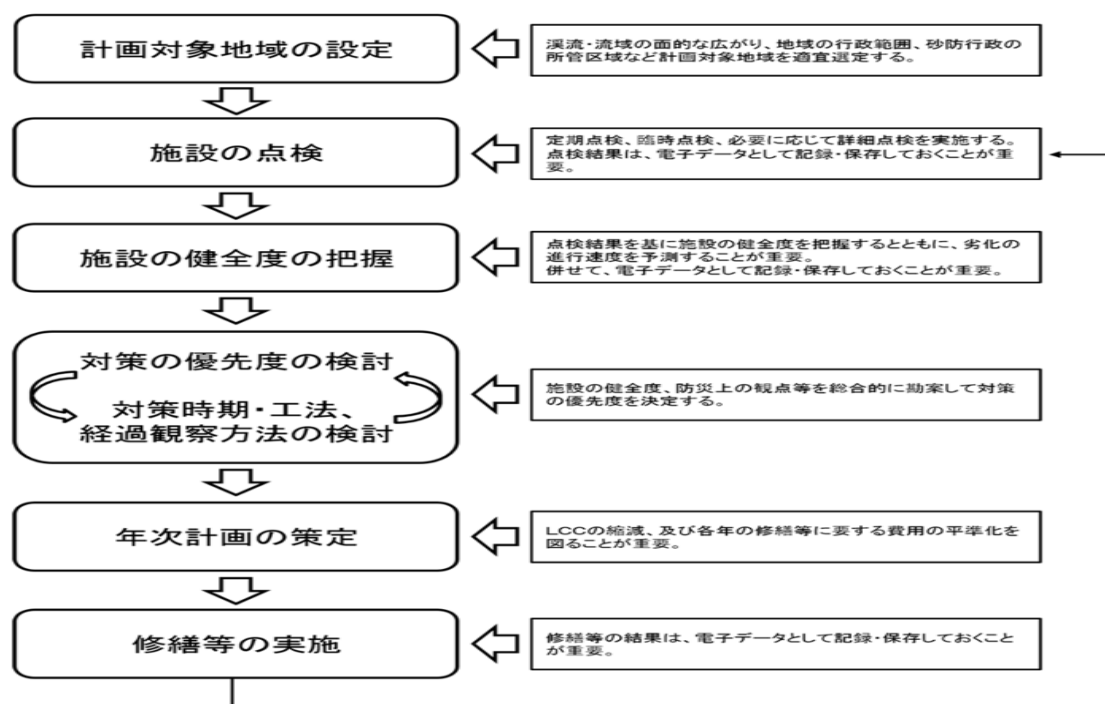


圖 2-4 日本砂防設施維持管理之流程圖

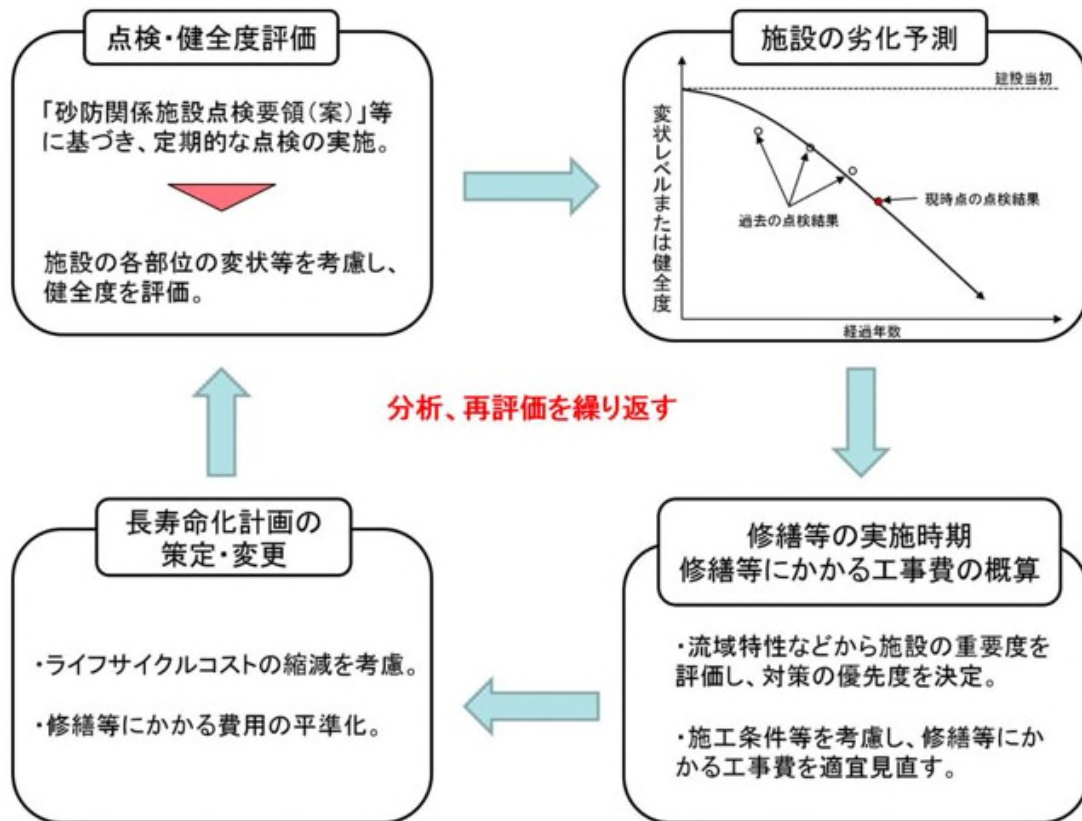


圖 2-5 日本砂防設施維護管理計畫之修訂原則

(二)詳細點檢計畫與記錄建檔

砂防設施的詳細點檢計畫主要為依據「砂防關係施設点検要領(案)」進行所有設施的點檢，其內容如圖 2-6 所示・依據前述所訂定之長壽命計畫中之點檢計畫（頻率）的定期點檢與臨時點檢進行對象設施的確認，評估設施的健全度等・同時為確保所有設施的點檢標準一致，在此要領中同時提供相關變狀程度如圖 2-7 為變狀程度的參考圖示，及各項設施的點檢標格作為建檔標準。

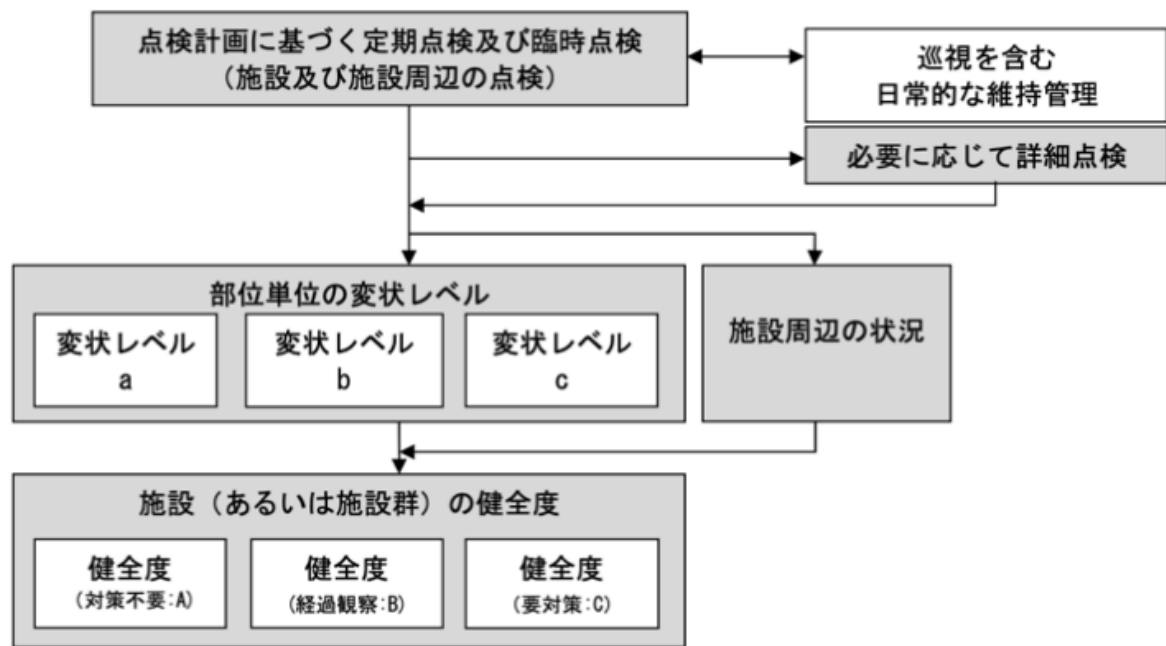


圖 2-6 砂防設施的點檢計畫與內容

変状レベル		主な部位の変状レベルの評価基準（法枠工）			
		法枠工			
		【プレキャスト法枠工】枠の破損・変形	【プレキャスト法枠工】中詰材の流出・湧水	【現場打コンクリート枠工】枠の破損・変形	【現場打コンクリート枠工】中詰材の流出・湧水
a	軽微な損傷	○変状なし	○変状なし	○変状なし	○変状なし
b	損傷があるが、機能・性能低下に至っていない	○部分的に枠の破損や変形（はらみだし・ずれ・浮き・沈下等）が認められる	○しみ出し程度の湧水、枠内中詰材（土砂）の若干の流出が局所的に認められる	○部分的に枠の破損や変形（ひび割れ・はらみ出し・浮き・沈下等）が認められる	○しみ出し程度の湧水、枠内の中詰材（土砂）の若干の流出が部分的にみられる
c	機能・性能低下あり	○広範囲に破損や変形（はらみだし・ずれ・浮き・沈下等）が認められる ○枠材の脱落が複数箇所で見られる	○顕著な湧水、枠内中詰材（土砂）の多量の流出がいたるところで認められる	○広範囲に枠の破損や変形（ひび割れ・はらみ出し・浮き・沈下等）が認められる ○ひび割れが梁を貫通している	○顕著な湧水、枠内の中詰材（土砂）の多量の流出がいたるところで認められる
評価の観点		・破損や変形が進行した場合、安定性が低下し、性能低下につながる。 ・はらみ出しがある場合、湧水等により地山が脆弱化し過度の土圧が作用していることが懸念される。 ・湧水は吸出しによる枠下の陥没につながる。	・中詰材の流出は、急傾斜地の崩壊を抑制する機能を低下させる。 ・湧水が顕著な箇所では、中詰材と共に地山土砂が流出し、枠下の陥没及び枠材の脱落等が懸念される。	・ひび割れの進行は、梁の性能低下につながる。 ・現場打ちの場合、微細なヘアクラックは部分的にみられることがあるが性能に影響はない。しかし、開口亀裂は梁の性能低下につながる。	・中詰材の流出は、急傾斜地の崩壊を抑制する機能を低下させる。 ・顕著な湧水は、中詰材の流出を助長し、ひび割れ部においては梁の劣化を進行させる。
点検留意事項		・のり面上にプレキャストや現場打ちコンクリート等による枠工を形成し、内部をコンクリートや植生等により被覆することで、のり面の風化・浸食防止を図る工法であり、法枠工の破損・変形状況および中詰材の流出状況、湧水の発生状況などについて確認する。 ・開口したひび割れや剥離が進んだ場合に表面侵食防止機能を著しく低下させるとともに、ひび割れや剥離の進行に伴う吹付け材料の脱落により家屋等に被害が発生する恐れがある。			

圖 2-7 設施變狀程度參考

另外，社團法人日本道路協會亦出版「道路土工一切土工・斜面安定工指針」，針對道路邊坡的開挖、填方邊坡的點檢內容進行建議，如圖 2-8 所示。

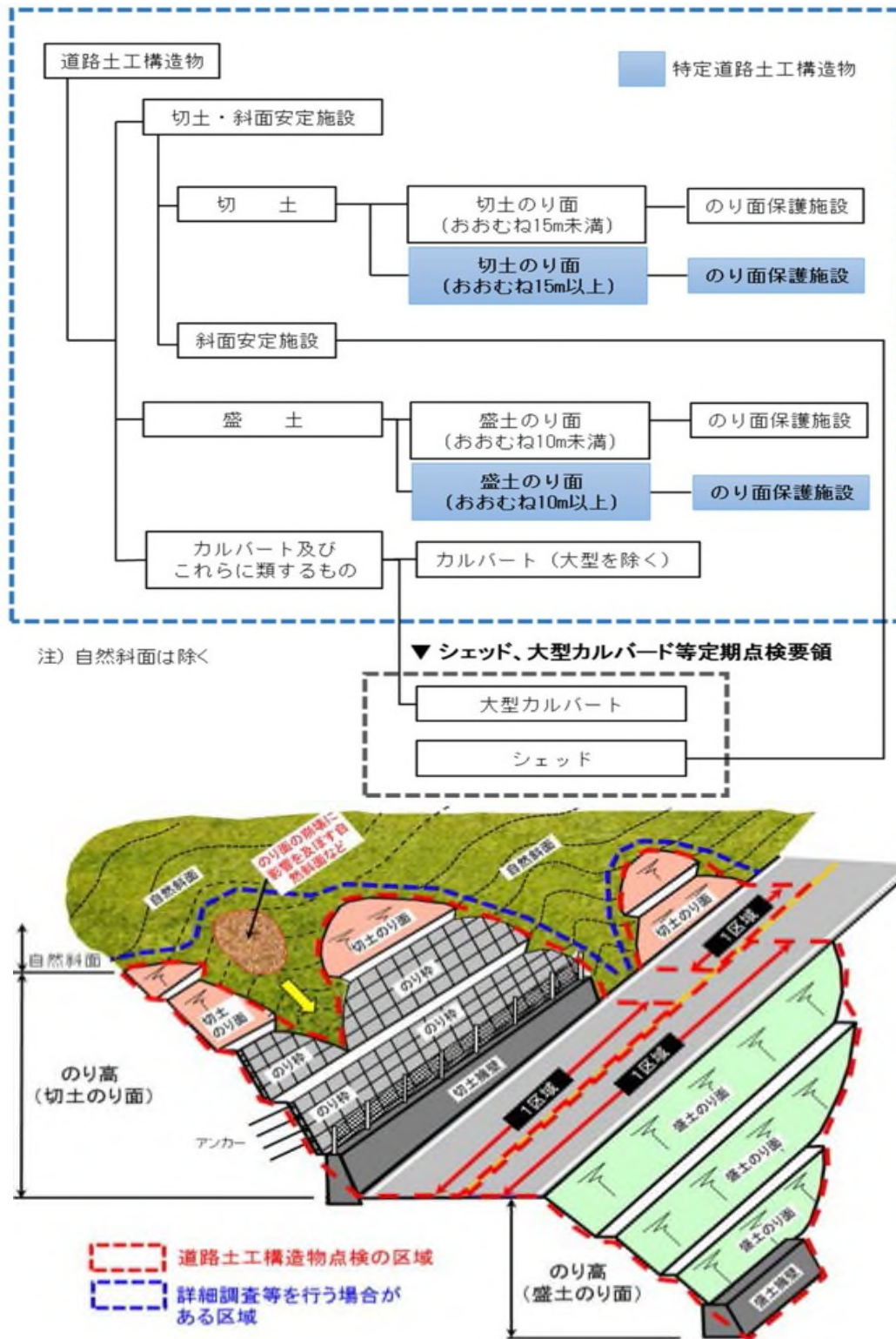


圖 2-8 道路邊坡結構物之點檢分類適用標準

三、美國 USMP(Unstable Slope Management Program)

美國聯邦公路總署(Federal Highway Administration, FHWA) 在以交通資產管理(Transportation Asset Management, TAM)著重工程技術與經濟分析的管理原則之下，發展出一套不穩定邊坡管理制度(Unstable Slope Management Program, USMP) 提供給美國聯邦政府底下許多國土管理機關 (Federal Land Management Agencies, FLAMs) 作為管理轄下不穩定邊坡的參考準則。FHWA 於 2019 年發布最新的研究報告”Unstable Slope Management Program for Federal Land Management Agencies”，並且建立 USMP 資料庫與管理平台，同時發佈了 iOS 與 Android 的行動 Apps 作為存取資料的介面。

(一)發展架構

關於邊坡維護管理，美國包括聯邦政府與各州政府長期以來都有在進行，但一直沒有統一的作法。USMP 是近幾年 FHWA 才提出統一的參考準則，供聯邦政府各國土管理單位參考並發展各單位其管理需求之制度。目前 USMP 仍然在持續發展與更新，因此其發展架構與作法，可作為本計畫與水保局後續相關制度發展之參考。



資料來源：美國聯邦公路總署(Federal Highway Administration, FHWA)

圖 2-9 USMP 發展指導架構

USMP 是以更全面的交通資產管理 (TAM) 的角度去設計發展

出來的，其整個開發架構如圖 2-9 所示。首先會訂定大地資產管理的推動計畫包括目標與工作項目，然後進行資料搜集、現勘、與建檔，並依據搜集的資料進行現況功能與致災風險等各項 KPI 指標的分析，再進行優選分析，訂出維護管理之優先順序，並據此優先順序進行短中長期之維護計畫與預算分配，最後按照計畫執行完成後，再進行成效評估，並將執行成果回饋到整體目標與作業流程的調整與修正，成為一個不斷巡迴修正精進的制度。在實務推動上，FHWA 目前仍以資料搜集、修正調整資料庫欄位架構與分析原則為重點，建議的推動步驟如下：

1. 步驟一、訂定上位主管機關的管理原則與總體目標。
2. 步驟二、依據上位主管機關之總體目標，各執行機關擬定其對應之管理目標。
3. 步驟三、彙整現有邊坡資料，如設計與施工資料、維護管理紀錄、GIS 圖資等。
4. 步驟四、依據管理目標擬定各項指標與分析方法，並訂出分析所需資料欄位。
5. 步驟五、依據步驟三與四所需建立資料庫系統與資訊平台。
6. 步驟六、進行邊坡現勘與資料搜集，並將資料輸入資料庫平台。
7. 步驟七、依據資料庫資料，進行邊坡各項指標之分析，並檢討資料欄位修正。
8. 步驟八、持續資料庫更新並從管理總目標檢討管理系統之成效並進行改善。

在 2019 年 FHWA 公布之報告中，除了載明發展歷程與目標外以及如果管理不穩定邊坡的步驟外，亦說明如何進行現勘與邊坡

分級、各機關如何制訂其管理目標並與邊坡分級資料相連結、如何進行成本效益分析來評量管理目標之成效、以及如何進行量化之風險分析等內容。

(二)表單

USMP 目前在不穩定邊坡的管理上有制定四張表單，如圖 2-10 所示，分別是邊坡評分分級表單（Slope Rating Form）、新邊坡事件表單（New Slope Event Form）、邊坡維護表單（Slope Maintenance Form），以及設計與預算估算表單（Conceptual Design and Cost Estimation Form）（參考）。以下簡單說明：

- 1.邊坡評分分級表單（Slope Rating Form）此表單又可以區分成幾個部分，包括邊坡的基本資料表、初評評分表、詳細邊坡災害評分表（崩塌與地滑）以及風險評分表。所有 評分都是以3 的次方分級，沒一個評分項目都可以依據資料判斷給定3、9、27、81 等分數，最後進行總分加總，再區分成Good、Fair、Poor 等三個等級。
- 2.新邊坡事件表單（New Slope Event Form）：此表單是因為 發生天災人禍等事件發生後，例如颱風豪大雨或是車禍施工等事件有可能影響到邊坡時，到現場紀錄事件影響的表單。表單填畢後回到系統，可能會觸發必須回歸去修正或 重做邊坡評分分級表單。
- 3.邊坡維護表單（Slope Maintenance Form）此表單主要用來記錄邊坡的各項維護作業內容以及相關預算，包括定期的例行性維護、計畫內的維護工程，以及因為事件引發的臨時性修復工程等。
- 4.設 計 與 預 算 估 算 表 單 （ Conceptual Design and Cost Estimation Form）此表主要針對邊坡的改善工程等需要編列計畫執行的項目進行初步工程建議與預算評估。評估的 結果，將成為續選分析的重要參考依據。

SLOPE RATING FORM – SITE INFORMATION																																																																											
PROJECT: 2015-2016 COTTONWOOD RESURFACING ROADWAY																																																																											
Management Areas:					Date:																																																																						
Hazard Type (select all that apply within one of the categories):		Rockfall: Planar / Wedge / Toppling / Sliding/Undermining / Rock Avalanche / Subgrade Rock Failures / Differential Erosion			Landslide: Above, Below, or Across Roadway / Translational / Rotational / Debris Flow / Shallow Slump / Erosional Failure																																																																						
Road/Trail No.:		Free Road	Road/Trail Class:		Rating:																																																																						
Beginning Mile Marker:			Ending Marker:		Side:		Weather:																																																																				
Begin Lat. (xx.xxxxxx):			1st Coord.: Long. (xxxx.xxxxxx):	Lat. (xx.xxxxxx):		Datum:		AADT:																																																																			
Length of Affected Road/Trail (ft):				Slope Height (ft) / Axial Length (sides) (ft):			Slope Angle (°):																																																																				
Sight Distance (ft):				Usable Roadway/Trail Width (ft):			Speed Limit (mph):																																																																				
Ditch Width (ft):		Ditch Depth (ft):		Ditch Mgt (H/V):		Bk Size (ft)/Volume (cu):																																																																					
Annual Rainfall (in):		Safe Access Route:		Yes	No	Piles Present:		Yes	No																																																																		
Comments:		Photo # Range:																																																																									
PRELIMINARY RATING <table border="1"> <thead> <tr> <th>Category Rating</th> <th>3</th> <th>5</th> <th>27</th> <th>84</th> <th>Score</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A. Landslide – Roadway Width Affected</td> <td>2-5 Percent</td> <td>5-25 Percent</td> <td>25-50 Percent</td> <td>51-100 Percent</td> <td></td> </tr> <tr> <td>B. Landslide – Slide/Erosion Effects</td> <td>Visible crack or slight dip of material / minor erosion will affect travel</td> <td>3 inch offset, or 6 inch dip of material / major erosion will affect travel at 1-3 g's</td> <td>2-inch offset or 3-2 inch dip(s) / mod. erosion impacting travel possible</td> <td>4 inch offset or 24 inch dip(s) / severe erosion impacting travel considerably</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C. Landslide – Roadway Length Affected</td> <td>25 ft</td> <td>100 ft</td> <td>225 ft</td> <td>600 ft</td> <td></td> </tr> <tr> <td>D. Rockfall – Ditch Effectiveness</td> <td>Good</td> <td>Moderate</td> <td>Limited</td> <td>No Catchment</td> <td></td> </tr> <tr> <td>E. Rockfall – Rockfall History</td> <td>Few Falls</td> <td>Occasional Falls</td> <td>Many Falls</td> <td>Constant Falls</td> <td></td> </tr> <tr> <td>F. Rockfall – Block Size or Volume per Event</td> <td>1 ft or less</td> <td>2 ft or less</td> <td>3 ft or less</td> <td>4 ft or more</td> <td></td> </tr> <tr> <td>G. All – Impact on Use</td> <td>Full use continues with minor delay</td> <td>Partial use remains (use modification required, short 10 min/delay) / detour possible</td> <td>Use is blocked – short 1-2 day delay / detour available for less than 1 day</td> <td>Use is blocked – no detour available or detour longer than 1 day</td> <td></td> </tr> <tr> <td>H. All – Alter / Usage / Economic or Recreational Importance (highest rating applies)</td> <td>100</td> <td>400</td> <td>450</td> <td>800</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5"> LANDSIDE TOTAL (A+B+C+D+E) ROCKFALL TOTAL (D+E+F+G+H) </td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="6"> Preliminary Rating: Good (15-21 pts) / Fair (22-36 pts) / Poor (>36 pts) </td> </tr> </tbody> </table>										Category Rating	3	5	27	84	Score	A. Landslide – Roadway Width Affected	2-5 Percent	5-25 Percent	25-50 Percent	51-100 Percent		B. Landslide – Slide/Erosion Effects	Visible crack or slight dip of material / minor erosion will affect travel	3 inch offset, or 6 inch dip of material / major erosion will affect travel at 1-3 g's	2-inch offset or 3-2 inch dip(s) / mod. erosion impacting travel possible	4 inch offset or 24 inch dip(s) / severe erosion impacting travel considerably		C. Landslide – Roadway Length Affected	25 ft	100 ft	225 ft	600 ft		D. Rockfall – Ditch Effectiveness	Good	Moderate	Limited	No Catchment		E. Rockfall – Rockfall History	Few Falls	Occasional Falls	Many Falls	Constant Falls		F. Rockfall – Block Size or Volume per Event	1 ft or less	2 ft or less	3 ft or less	4 ft or more		G. All – Impact on Use	Full use continues with minor delay	Partial use remains (use modification required, short 10 min/delay) / detour possible	Use is blocked – short 1-2 day delay / detour available for less than 1 day	Use is blocked – no detour available or detour longer than 1 day		H. All – Alter / Usage / Economic or Recreational Importance (highest rating applies)	100	400	450	800		LANDSIDE TOTAL (A+B+C+D+E) ROCKFALL TOTAL (D+E+F+G+H)						Preliminary Rating: Good (15-21 pts) / Fair (22-36 pts) / Poor (>36 pts)					
Category Rating	3	5	27	84	Score																																																																						
A. Landslide – Roadway Width Affected	2-5 Percent	5-25 Percent	25-50 Percent	51-100 Percent																																																																							
B. Landslide – Slide/Erosion Effects	Visible crack or slight dip of material / minor erosion will affect travel	3 inch offset, or 6 inch dip of material / major erosion will affect travel at 1-3 g's	2-inch offset or 3-2 inch dip(s) / mod. erosion impacting travel possible	4 inch offset or 24 inch dip(s) / severe erosion impacting travel considerably																																																																							
C. Landslide – Roadway Length Affected	25 ft	100 ft	225 ft	600 ft																																																																							
D. Rockfall – Ditch Effectiveness	Good	Moderate	Limited	No Catchment																																																																							
E. Rockfall – Rockfall History	Few Falls	Occasional Falls	Many Falls	Constant Falls																																																																							
F. Rockfall – Block Size or Volume per Event	1 ft or less	2 ft or less	3 ft or less	4 ft or more																																																																							
G. All – Impact on Use	Full use continues with minor delay	Partial use remains (use modification required, short 10 min/delay) / detour possible	Use is blocked – short 1-2 day delay / detour available for less than 1 day	Use is blocked – no detour available or detour longer than 1 day																																																																							
H. All – Alter / Usage / Economic or Recreational Importance (highest rating applies)	100	400	450	800																																																																							
LANDSIDE TOTAL (A+B+C+D+E) ROCKFALL TOTAL (D+E+F+G+H)																																																																											
Preliminary Rating: Good (15-21 pts) / Fair (22-36 pts) / Poor (>36 pts)																																																																											
NARA – In-House Slope Management Program Field Rating Forms Developed by Landslide Technology, DTIC/USDA, USGS, BLM, BA and NPS Rev. 1/09 (2016/2017)																																																																											

(a)邊坡評分分級表單

SLOPE RATING FORM – DETAILED SLOPE HAZARD RATING									
Category Rating	3	9	27	81	Score				
I. All – Slope Drainage	Slopes drains on well drained, surface runoff well controlled	Intermittent action on slope, mod. well drained, or surface runoff moderately controlled	Slopes drains on slope, poorly drained, or surface runoff poorly controlled	Slopes drains on slope, very poorly drained, or surface runoff poorly controlled not present					
J. All – Annual Rainfall	0-32"	30-32"	30-60"	60+"					
K. All – Slope Height (rockfall) / Avail length of side (landslide)	25' or less	50' ft	75' ft	100' ft	USFS				
L. The Stability (soil conditions)	Unstable/Not Stable	Slightly Unstable	Moderately Unstable	Highly Unstable					
M. Instability Related Maint. Frequency	Every 10 years	Every 5 years	Every 2 years	Every year					
N. Movement History	Major movement or sporadic creep	Up to 1 inch annually or slide annual creep	Up to 3 inches per year or even one year	1/2" per month, or annually, more than 1 inch per year (includes all debris flows)					
O. Rockfall-Related Maint. Frequency	Normal, scheduled maintenance	Patrols after every storm event	Routine seasonal patrols	Year-round patrols					
Select the instabilities slope type (add A, B, C) Select the erosion reactions (add D, E, F) Geologic Character (add G, H)	P. Structural Condition	Variable	Random	Adverse	Adverse				
	Q. Rock Friction	Highly Irregular	Undulating	Flat	Very undulating				
	R. Structural Condition	Few differential erosion features	Occasional differential erosion features	Many differential erosion features	Major differential erosion features				
	S. Diff. in Erosion Rates	Small difference	Moderate difference	Large difference	Extreme difference				
1. LANDSLIDE HAZARD TOTAL (A+H+C+I+J+K+L+M+N)					USFS				
U. ROCKFALL HAZARD TOTAL (D+E+H+I+K+O)(Greatest of P+Q or R+S)									
DETAILED RISK RATING									
V. Route Width or Trail Width	30 ft 24 ft	20 ft 10 ft	20 ft 6 ft	20 ft 12 ft					
W. Human Exposure Factor	25-50% of value	25% of the value	10-25% of the value	20% of the value					
X. % of Decision Sight Distance (Judge evidence ability on traffic)	Adequate, 100% of 100% design value	Moderate, 80% of 100% design value	Limited, 60% of 100% design value	Very Limited, 40% of 100% design value					
Y. Right of Way (R/W) Impacts (If Left Unattended)	No R/W implications	Minor effects beyond R/W	Private property, no structures affected	Agriculture, roads, activities, or Parks					
Z. Environmental/Cultural Impacts if Left Unattended	Unaffected public or no cause effects	Likely to affect/no net affect	Up to affecting affected or no affect effect	Current adverse effects/known					
AA. Maintenance Complexity	Routine effort/In-House	In-House Maint./Special project	Specialized repair/Contract	Complex/Dangerous effort/Contract					
BB. Event Cost	\$0-2k	\$2-25k	\$25-100k	>\$100k					
CC. RISK TOTALS: (B+H+V+W+X+Y+Z+AA+BB)					USFS				
TOTAL USMP SCORE: LANDSLIDES (T+C+Q) OR ROCKFALL (U+C+Q)					USFS				
Total USMP Score Good (< 200 pts) Fair (200 – 400 pts) Poor (> 400 pts)									

USFS – Sustainable Resource Management Program, Risk Rating Form
 Prepared by Landslide Technology, WYDOT, USFS, US Army, FEMA and NCEM

Rev 10/1 (December 2017)

(b)新邊坡事件表單

NEW SLOPE EVENT FORM – OBSERVER INFORMATION			
Observer Name:			Today's Date:
Phone No.:	Email:		
Date of Event:	Altitude of Event (elevation) (e.g., Known, Approximate, Unknown)		
Observer Comments/Sketch:			
EVENT INFORMATION			
Event/Trail No.:	☐ Trail ☐ Road	State:	
Hazard Type (check all that apply): ☐ Rockfall ☐ Landslide/creep ☐ Debris flow ☐ Snow Avalanche			
Beginning slope indicator:	Ending slope indicator:	Photo # Range:	
Event Latitude (if known):	Latitude:	Length of Event/Trail (ft.) (500 – 5 ft.)	
Coord. Longitude (if known):	Longitude:		
Road/Trail Conditions after Failure: ☐ Blocked ☐ Blocked/bestems exist around failure ☐ Partially blocked but possible to cross full of debris ☐ Route threatened by unstable slope			
Size of Largest Failure Block:			
☐ Less than 3 inches (< 8 cm) – baseball size or smaller	No. of Blocks:	Estimated Volume of Debris:	
☐ Less than 3 feet (< 30 cm) – basketball size or smaller	☐ 1	☐ < 5 ft ³ (< 0.35 m ³) – wheelbarrow or less	
☐ Less than 3 feet (< 30 cm) – basketball size or smaller	☐ 2	☐ < 2.5 ft ³ (< 2 m ³) – pickup truck or less	
☐ 3 to 5 feet (20 – 150 cm) – fits through standard doorway	☐ 3 – 5	☐ < 30 ft ³ (< 8 m ³) – dump truck or less	
☐ Greater than 5 feet (> 1 m) thousands of pounds	☐ 5 – 10	☐ > 30 ft ³ (> 8 m ³) – several dump trucks	
☐ Greater than 5 feet (> 1 m) thousands of pounds	☐ 10+		
Description of Event Location (check all that apply):			
☐ Above road/trail	☐ Rain	☐ Long-term creep/slope soil cond.	
☐ Below road/trail	☐ Thunderstorm/downpour	☐ Earthquake	
☐ At a culvert	☐ Continuous rain (> 24 hours)	☐ Volcanic activity	
☐ Above river	☐ Hurricane/cyclone	☐ Leaking pipe	
☐ Above coast	☐ Flooding	☐ Mining	
☐ Burned area	☐ Snowmelt/snowmelt	☐ Construction	
☐ Deformed slope	☐ Prolonged freezing	☐ Dam embankment collapse	
☐ Urban	☐ High temperatures	☐ No obvious cause	
☐ Mine	☐ Other (Please describe in Observer Comments)	☐ Unknown cause	
☐ Miscellaneous			
☐ Natural slope			
☐ Engineered slope			
☐ Unknown			
☐ Other (Please describe in Observer Comments)			
Did deaths, injuries, or damages coincide with the landslide/rockfall?			
☐ Yes			
☐ No			
If yes, please describe:			

FLMRA - Unstable Slope Management Program User Guide Event Form
 Prepared by: Landslide Technology, 8951 NE, USDA FS, ALB, OR and RPS

Rev 1.83 (December 2002)

(c)邊坡維護表單

MAINTENANCE FORM – SITE INFORMATION			
Facility Address Code Relationship with Code Tracking [optional]:		Maintenance Type:	
Beginning Mile Marker:		☐ New Maintenance ☐ Repeat Maintenance [within 5 years]	
Maintenance Event:		Longitude [optional]:	
Coordinates:	Latitude [optional]:		
Head or Tail Number:	Site ID:	Date(s) of Maintenance:	
Type of Event:	Agency Relationship:	Notes:	
☐ Recent Unstable Slope Event ☐ Routine Maintenance ☐ Slope Mitigation/Repair			
Description of Event(s)/Activity:			
Estimated total cost of the maintenance activity:		\$	
Action		Cost [%]	
Debris, P&H:			
Removing debris from the road ditch and/or maintaining other drainage features:			
Removing debris from the roadway or trail:			
Re-leveling roadway [optional]:			
Re-leveling roadway [optional patch]:			
Constructing a drainage improvement:			
Constructing a drop patch:			
Moving debris away from the site:			
Scaling of unstable rock slopes:			
Minor shifting of roadway/trail alignment:			
Repair of eroded barrier:			
Repair of eroded cutting [or slope]:			
Sealing cracks in pavement:			
Installing, maintaining, or replacing guardrail:			
Cleaning and/or maintaining horizontal drains and associated subsurface drainage:			
Flagging and signing:			
Other [enter description]:			
Other [enter description]:			
Other [enter description]:			
Other [enter description]:			
Running total of the cost percentages:			

FLMRA - Unstable Slope Management Program Web Maintenance Event Form
Prepared by: Linda-Beth Technology, WFL182, 1515A FS, BLM, BIA and RPS

Rev 1.83 [December 2012]

(d)設計與預算估算表單

資料來源：美國聯邦公路總署(Federal Highway Administration, FHWA)

圖 2-10 USMP 邊坡管理維護表單截圖

第三節 邊坡評估文獻歸納

本節針對前述國內予以統整並擬定關鍵課題，根據本研究計畫之適應性及未來可行性，歸納計畫執行之主要原則方向，用以後續擬定相關執行方法：

一、關鍵課題

行政院公共工程委員會 2021 年 1 月 12 日「邊坡維護管理制度」研商會議紀錄：「各目的事業主管機關均依權責辦理邊坡(slope)巡查及監測工作，並提出巡查範圍不應以路權範圍或公私有地範圍為限制」，期全面緩解邊坡災害(slope disaster)問題。但是，目前邊坡巡查工作主要由人工完成，以目測為主配合簡單儀器測量，對邊坡的主體部位包括邊坡本體、防護與擋土措施、排水設施進行全面細緻的檢查與評定。其具體做法為徒步爬坡檢查，並輔以簡單的工具，如鏟刀、捲尺、噴漆、相機等，通過眼看、耳聽、敲打、觸摸等手段來確定邊坡病兆(指邊坡本體的破壞和構造物的損劣化)，同時記錄病兆的位置、規模、數量情況，並輔助以相機拍攝留下圖像資料。這種方式有著全天候、低成本的優點，但也存在著一些問題，包括：

- (一)效率低。為了看清邊坡全景和詳情病兆，需要一遠一近地移動和攀爬，有些邊坡坡高達幾十上百公尺，且在坡度陡峭、植被遮擋等因素影響下，人工爬坡檢查將要耗費大量人力和時間。病兆記錄與分析工序繁多，大量工作簡單重覆，耗時耗力，容易出錯。
- (二)危險性高。邊坡工程往往比自然斜坡更為陡峻、不易攀爬，有些邊坡甚至未設扶梯和踏階，此類情況下檢查人員只能借助有限的枝條、雜草等進行借力攀爬，危險性高，同時降雨後容易出現坡面濕滑、空洞等隱患，也會增加攀爬得危險性。
- (三)易存在漏檢區域。人工檢查邊坡只能巡查工作人員可以攀爬到達的

區域，對於一些不具備上坡條件的邊坡或無法攀爬到達的區域，只能肉眼或借助望遠鏡進行遠處觀察，這種情況下會由於觀測點位置和視角的限制，出現許多視野盲區，存在漏檢區域。

(四)不易追溯。人工巡查難以覆蓋整個坡面，容易漏檢區域。新出現或新發現的病兆可能出現在漏檢區域，導致難以溯源分析病兆歷史。

由於傳統的人工巡查存在種種的局限性，於是使用新技術[如無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)，以下簡稱無人機]輔助邊坡巡查，以提高檢查效率，已為時勢所趨。無人機係利用遙控設備和控制程序操作的不載人飛機，具有機動力強、即時迅速、時效性快、經費較廉、及較寬鬆天氣條件即可操作的優點。隨著無人機技術的發展與普及，將無人機運用到邊坡養護領域成為了可能。無人機特別適合巡檢人工巡查難以到達或覆蓋的區域，在邊坡巡查應用領域中，無人機已呈現出明顯的技術、成本優勢。但是，將無人機運用於邊坡巡查領域，一些問題如無人機航拍邊坡技術、邊坡病兆圖像及檢測方法、邊坡巡查時人機協作巡查等問題都需要進一步的研究。

將無人機巡查技術運用於水土保持工程邊坡病兆檢測，有待解決的主要問題包括：

(一)工程邊坡病兆的航拍技術

工程邊坡環境複雜多變，邊坡結構和防護方式也多種多樣，同時還伴有植被遮擋、雜物干擾等問題，會加大邊坡病兆拍攝和提取的難度。另一方面，附近還往往存在電線、電塔等障礙物，在巡查時應確保檢查人員和無人機的安全。為了得到資訊度飽滿的邊坡航拍照片，需綜合考慮邊坡結構、障礙物、病兆類型、周邊環境等對航拍路線規劃、拍攝點等參數的影響。因此，應根據邊坡巡查的特點，設計針對性的航拍技術方案，研究相應的航拍技術。

(二)邊坡病兆分類和圖像特徵

邊坡病兆種類繁多，在圖片中也有著不同的表現特徵。人工檢查邊坡的方式為先判定病兆，後拍攝病兆；不同於人工巡查，無人機巡查邊坡是先拍攝邊坡詳情圖，後提取病兆資訊。這也就意味著在後續工作中涉及到從航攝圖片中提取與判定病兆的問題。無人機航攝圖片會隨著鏡頭視角、光照強度出現變化，同時伴有枝條、樹葉等雜物干擾。因此，應分析病兆圖像特徵，用於快速準確的實現病兆的識別與提取。

(三)邊坡工程狀況評估方法

現有的邊坡評估方法，均以人工巡查方式取得各種病兆的數量、嚴重程度、分布等進行分析。因此，開發出一套適用於人機協作巡查方式之邊坡狀態評估模式，以滿足人機協作巡查取得邊坡數據之分析方法，這是評價無人機與人工巡查協作的應用價值之重要環節之一。

總之，為了因應水土保持轄管山坡地範圍眾多的邊坡巡查工作，並能取得可資應用的邊坡資訊，在人工巡查的基礎上，搭配無人機的協作，以有效提高邊坡巡查效率，降低巡查工作的危險性，盡可能全面的檢查邊坡減少漏檢病兆，是當下精進邊坡管理維護問題之一解決方案。另一方面，邊坡評估方法同樣需要精進，在實際養護過程中，發生垮塌的邊坡往往是養護中被認定為「安全」的邊坡，而被標記為「需要重點關注」的邊坡反而沒有出現問題。因此，現有邊坡巡查技術與評估方法並不能及時有效的指導後續邊坡養護工作，開展新的巡查技術與評估方法，是落實行政院邊坡養護管理制度之重要工作之一。

二、評估方法

本計畫主要重點為研究人機協作之可行性與相關案例評估，由於

行政院農業委員會水土保持局於 2021 年已有建立邊坡評估模式，故本計畫採用「水土保持邊坡設施維護管理及延壽計畫，水土保持局，2021 年」所建立之既有模式，經些許調整，將重點集中在於發展人機協作巡查方法及可行性上：

(一)邊坡單元

參考前述文獻(如臺北市政府)，本計畫為簡化及增加可行性，建議邊坡單元之劃分以地形分界(如集水井、坑溝、野溪導致人工邊坡分段者)。

(二)邊坡評估模式

根據前述文獻蒐集，各單位之邊坡評估模式多採用目測定性分級，而後再藉由邊坡環境因子具體給分，但多數邊坡模式相對複雜，例如採用岩性、坡度、氣象因子等不易採集、且不適用於本計畫目標。因此，本計畫建議邊坡環境因子以現地調查目測可取得之資訊為主，後續若有需要再進行細部分析，降低執行門檻。

本計畫主要以研究邊坡調查時之人機協作可行性為目標，由於「水土保持邊坡設施維護管理及延壽計畫，水土保持局，2021 年」已有建立之既有邊坡模式，故本計畫建議依循既有模式。

(三)基礎邊坡環境資料蒐集及評估

依據計畫目標及相關參考文獻與規定，以人工邊坡為導向，以集水區治理為主要目標，故建議應以子集水區為範圍對象進行延伸、調查作業。蒐集一般邊坡詳細調查方式，將先套疊地質、土壤等基本圖資，再比對分析附近歷史重大災害，加上以近年之相片基本圖、航空照片圖至現場進行調查紀錄，如表 2-7 所示。

- 1.基本資料：蒐集記錄邊坡地所在圖幅編號、子集水區名稱、行政區、崩塌地中心點 TWD97 座標、附近顯著地標、比對圖資土地類

別與現場情形、所在集水區屬性(野溪、土石流潛勢溪流、水庫集水區)。

2.現況調查資料：邊坡崩塌地產生營力方式、邊坡崩塌地致災原因、邊坡發生類型、邊坡發生的區為特徵、邊坡崩塌地出露岩層(或比對圖資)、崩塌地規模(由 GIS 圖資與現場比對)、周圍植生狀況、植被覆蓋程度、土地利用(由 GIS 圖資與現場比對)。

3.保全對象：可能影響建物數量、交通設施、農林用地面積、崩塌地危害度(依崩塌地危險度分級準則表)、危害程度簡述及建議。

4.崩塌地位置圖與現況照片：地理位置圖(以 1/25000 經建版地形圖製作含 GPS 座標)、現況照片與說明。

表 2-6 蒐集基礎邊坡基本資料一覽

項目	細項	資料用途	資料來源
地文資料	1.地理位置說明 2.地形地勢(含高程分布、坡度分布、坡向分布等)	瞭解規劃區之輪廓及工作範圍，及提供水土保持邊坡之基本特性。	1.農委會水土保持局 2.農林航測所 3.內政部營建署
人文資料	1.行政區域 2.人口 3.產業發展 4.交通 5.相關建設計畫	提供瞭解防災重點區位分布、區域發展型態及趨勢，作為防災設計、環境景觀營造及避難疏散規劃之基本依據。	1.農委會水土保持局 2.內政部 3.縣、市政府及鄉鎮公所 4.戶政事務所 5.觀光局
地質與土壤	1.土壤 2.地層概況 3.斷層分布	1.提供作為水土保持邊坡處理與維護之參考資料 2.提供水土保持邊坡易致災區位及設施安全評估之依據。	1.中央地質調查所
土地利用	1.土地權屬 2.土地可利用限度 3.土地利用現況 4.土地利用演變	提供研判水土保持邊坡之重要依據，且有助於瞭解集水區土地利用與災害發生之相關性，作為防災及治理之基本依據。	1.國土測繪中心 2.農委會水土保持局 3.縣、市政府及鄉鎮公所 4.其他
崩塌區分布	近年重大災害後由衛星影像判釋之崩塌分布	影響水土保持邊坡，作為後續規劃之參採。	1.農委會水土保持局 2.影像判釋
遙測影像	近年重大災害前後衛星影像或航空照片	瞭解災前、災後環境變化狀況。	1.國土測繪中心 2.農委會水土保持局 3.中央大學

第四節 邊坡調查項目

總結以上各單位邊坡管理維護制度，其中對於邊坡調查項目彙整如表 2-7 所示。表中，可以大致區分為潛在因子、誘發因子及不穩跡象等三大項，潛在因子包括地貌、地質、歷年災情及水文等，誘發因子則以天然和人為等因子為主。

表 2-7 各單位邊坡調查項目一覽表

分類		潛在因子												誘發因子					不穩跡象			
		地貌							地質		失穩歷史		水文		天然		人為					
因子		坡高	坡向	坡度	坡型、粗糙度	具崩塌地貌	具不穩地貌條件	植被覆蓋率	岩性及風化程度	不連續面特性	地表覆蓋厚度	災害類型	曾經發生與否	地下水狀況	地表滲水現象	降雨	侵蝕	開發	道路通過	坡頂集中負載	設施	坡面
營建署	坡地住宅社區	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
臺北市	各類型	◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆		◆	◆	◆				◆	◆	◆	◆	◆	◆
公路總局	邊坡	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆		◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
地調所	落石			◆		◆	◆		◆			◆	◆				◆	◆				
	淺崩			◆	◆	◆	◆		◆		◆	◆	◆				◆	◆				
	地滑			◆	◆	◆	◆		◆			◆	◆				◆	◆				
香港 GEO	削土坡	◆		◆		◆	◆	◆		◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆					◆	
	岩坡	◆		◆		◆	◆	◆	◆	◆		◆	◆		◆	◆					◆	
	填土坡	◆		◆			◆	◆			◆	◆	◆		◆	◆					◆	
	擋土牆	◆		◆			◆	◆				◆	◆		◆	◆					◆	

本計畫以人機協作之目視檢測為目標，如表 2-8 所示，如人力、無人機及人機協作調查。除非人力無法到達，人力調查著重於坡面低位，更易取得相關細節，即鄰近道路位置；無人機調查則著重於坡面中、高位，河溪狀況則兩者兼具。特別說明，若要取得去除植生後之地形狀況，則要採用光達測量(LIDAR)，則不在本計畫探討之範圍。

表 2-8 邊坡調查項目之資料取得最適表

邊坡調查項目	資料取得最適方式
擋土設施(擋土牆、駁坎等)	純人力調查
排水設施(含截水溝、集水井)	純人力調查
道路鋪面	純人力調查
邊坡狀況(淺崩、地滑)	僅無人機調查(UAV)
落石	僅無人機調查(UAV)
河溪狀況(坑溝、坡面排水)	運用人機協作
植生之下真實地形(DEM)	光達測量(LIDAR)

藉由前述文獻蒐集與彙整，本計畫擬以人機協作為出發點，建構實際可運用之邊坡評估模式，並依照邊坡本體、排水系統及人為防護設施等三部分擬定標準 SOP 檢查流程；此外，若運用其他邊坡模式時仍應考量無人機可檢視之項目，由於多數邊坡評估模式相關資訊仍採用地理資訊系統，要特別注意項目誤用之狀況。

第三章 邊坡狀態評估體系建立

關於邊坡狀態評估方法已被充分發展。但是，通過人機協作分工巡查獲取的直觀參數資訊就是邊坡各部位的病兆資訊，這些資訊包括病兆類型、數量、位置、尺寸等，而要尋找與邊坡檢查工作相匹配的邊坡狀態評估模式就必須從這些數據出發。本計畫以人機協作可行性為出發點，故採用「水土保持邊坡設施維護管理及延壽計畫，水土保持局，2021 年」所建立之既有邊坡評估模式。其採用邊坡病兆狀況(slope disease condition)、邊坡病兆隱患係數(slope disease hazard coefficient)及邊坡本體風險係數(risk factor of slope)等三部分評估邊坡狀態。

根據工程邊坡各種變形狀況(slope deformation condition)、邊坡變形危險係數(slope deformation hazard coefficient)及邊坡本體風險係數(risk factor of slope)等三大部分建立邊坡災害潛勢評估模式，而相關權重係數則建議由層級分析法(AHP)決定。

一、邊坡病兆狀況

(一)說明

主要體現邊坡病兆對邊坡的影響程度。邊坡病兆資訊由基於無人機的人機協作方法巡查邊坡取得，主要為人工巡查和無人機巡查拍攝的圖片。從圖片提取病兆資訊，將病兆資訊分成三類：邊坡本體病兆、防護與擋土結構病兆、排水系統病兆等，每一類又對應多種具體病兆，但在邊坡評估環節，為便於分析，將簡化病兆分類進行評分，如表 3-1 所示。依據病兆分類依次評分後得出邊坡三個部位的狀態評估分值：邊坡本體病兆狀況得分(slope area disease score)，簡稱為 SA、排水系統病兆狀況得分(drainage system disease score)，簡稱為 DS、防護與擋土結構病兆狀況得分 (support system disease

score)，簡稱為 SS，最後對邊坡三個部分狀況得分乘以相應權重得出邊坡病兆狀況得分(disease combine score, SDCS)為：

$$SDCS = \omega_1 \times SA + \omega_2 \times DS + \omega_3 \times SS \quad (5-1)$$

式中，SDCS=邊坡本體病兆狀況得分；DS=排水系統病兆狀況得分；DS=防護與擋土結構病兆狀況得分； ω_1 = 邊坡本體病兆得分 SA 在邊坡病兆狀況得分所 SDCS 占比重； ω_2 =排水系統病兆狀況得分 DS 在邊坡病兆狀況得分 SDCS 所占比重； ω_3 = 防護與擋土結構病兆狀況 SS 得分在邊坡病兆狀況 SDCS 得分所占比重。

表 3-1 病兆分項分類方法

分項	病兆分類	病兆細項
邊坡本體	坡面沖刷	植被枯死
		坡面沖刷
		岩土裸露
	坡面滲水	坡面滲水
		坡面結晶
	局部破損	淘空、沉陷
		鼓脹、開裂
排水系統	局部坍塌	坍塌
		地滑
	排水設施堵塞	排水管、邊溝、截水溝長草堵塞
		排水管、邊溝、截水溝積砂或積石堵塞
	排水設施破損	排水管、邊溝、截水溝邊牆破損
		排水管、邊溝、截水溝底部破損
防護與擋土結構	表觀破損	混凝土風化、脫落
		混凝土表觀裂縫
	滲水	各防護面及擋土結構物滲水
		各防護面及擋土結構物結晶
	局部破損	平台裂縫、平台破損
		各防護面及擋土結構物裂縫、破損
		各防護面及擋土結構物變形、位移
	結構失效	防護結構及擋土結構出現大面積的嚴重功能性病兆，繼續發展危及邊坡穩定性

(二)評分建議

1.邊坡本體

評分 0~3 分。根據上表，若有坡面沖刷、坡面滲水、局部破損、局部坍塌、地滑等其一即可加以評分；考量目測為主，達邊坡本體範圍八成以上則為 3，五成以上則為 2，二成以上則為 1，無則為 0。

2.排水系統

評分 0~3 分。根據上表，若有排水設施堵塞或破損等其一即可加以評分；考量目測為主，達排水設施範圍八成以上則為 3，五成以上則為 2，二成以上則為 1，無則為 0。

3.防護與擋土結構

評分 0~3 分。根據上表，若有表觀破損、滲水、局部破損、結構失效等其一即可加以評分；考量目測為主，達防護與擋土結構範圍八成以上則為 3，五成以上則為 2，二成以上則為 1，無則為 0。

二、邊坡病兆隱患係數

(一)說明

主要考慮病兆發展速度、病兆群、病兆位置聚集對邊坡的潛在影響。邊坡病兆對邊坡的影響已於「邊坡病兆狀況」陳述，但這只是從直觀的角度論述本次檢查所發現的病兆，考慮病兆類型、數量的不同對邊坡的影響，並未考慮病兆引發災害的潛在影響。病兆的影響主要考慮三方面的因素，即病兆的持續發展、病兆的組合及病兆的位置。這三者均需綜合考慮邊坡病兆情況，不能機械的簡單評分得出，這也是相比傳統評估方法的改進之處。

1.病兆的持續發展

主要考慮病兆的發展速度，這也意味著在邊坡評估時，將考慮病兆的時間因素。在實際的邊坡中，若無歷年檢查資料對比，則所有的病兆都是認為是新統計的病兆，以結果的形式展現給檢查人員，工作人員並不能了解病兆的出現時間、發展速度，這也是傳統邊坡檢查工作的盲點。而有歷年資料做對比資料，並將對比結果引入邊坡評估，即可發現病兆在時間上的發展情況，這將使邊坡評估更加深入。因此，在評估邊坡時，還應將本期巡查結果與歷年資料進行對比。一方面，會發現有些病兆往年已經紀錄，經過一兩年後，病兆依然保持原狀，並未繼續發展擴大影響層面，此時應認為該病兆對邊坡威脅性較小，但其後續依然有發展的可能性，存在威脅。另一方面，與歷年資料對比之後，發現病兆存在發展，即病兆規模加大，如裂縫寬度加大、淘空體積加大、沖刷面積增大等，或是同種病兆數量明顯增加，如由少數裂縫、滲水病兆發展為多處裂縫、滲水病兆等，發現此類情況時，應當認為病兆在持續惡化發展中，對邊坡穩定有較大威脅，應降低其評分。對於那些無歷年資料的邊坡，則採取正常評估即可。

2.病兆的組合

主要考慮病兆群的出現，即考慮同一邊坡中病兆與病兆之間的關聯性及相互影響。在邊坡檢查時，檢查人員不能獲知邊坡內部的發展情況，也不能很好的確定病兆與病兆之間的相互影響和發展機制，只能從外在的結果推測後續可能發展的情況。因此，病兆群只作為一種可能影響邊坡穩定性的參考因素，表示病兆群的出現是一種潛在威脅，可能對邊坡穩定性造成影響。常見的病兆群有：滲水+裂縫、鼓脹+變形、變形+裂縫、淘空+裂縫等。如

在一處邊坡中，發現邊坡底部出現多處滲水，上方坡體或防護與擋土結構出現裂縫，隨著坡體地下水活動的不斷侵蝕，裂縫可能進一步發展，進而影響坡面土體的穩定性。因此，出現該種情況時可認為其存在破壞潛勢，將其認定為病兆群。同樣的，若邊坡坡腳出現鼓脹變形，鄰近上方出現裂縫，或是坡體空洞和裂縫鄰近聚集出現時，都應認為其存在安全威脅，進而認定為病兆群。

3.病兆的位置

主要考慮一些病兆出現在某些位置時的潛在影響。前面已敘述過，同一種病兆，其出現在不同的位置影響是不同的。而不同的病兆，其位置敏感性也不盡相同。因此，邊坡評估時將病兆所處位置的隱患影響作為參考因素是有必要且有意義的。邊坡病兆種類的多樣性、病兆位置的多變性、病兆後續發展的不確定性、以及邊坡結構與環境的複雜性，導致目前並不能深入的探究所有病兆類型及其所處任意位置與邊坡狀態的關係。因此，本研究只是簡單的對一些病兆在局部位置的影響性進行了定性探討。如危岩病兆，其位置在邊坡高處，破壞後肇災的威脅性應是更大的；同樣的，防護與擋土結構的破損脫落、坡體局部滑動、崩塌等病兆出現在邊坡高處，其肇災威脅性是更大的；而對於橫向的結構性裂縫、坡面滲水、坡體變形鼓脹等病兆出現在邊坡底部時，其肇災威脅性是較大的。

總結上述，邊坡病兆潛在威脅係數(slope disease ，SDHC)可表為：

$$SDHC = \eta_1 \times S_1 + \eta_2 \times S_2 + \eta_3 \times S_3 \quad (5-2)$$

式中， S_1 =病兆發展速度； S_2 =病兆群； S_3 =病兆位置； η_1 =病兆發展速度所占權重； η_2 =病兆群所占權重； η_3 =病兆位置所占權重。

(一)評分建議

1.變形的持續發展

評分 0~3 分，主要端看主要考慮變形的發展速度；若有歷史災害可與本次體檢比對，無則可考量下次滾動式體檢時加以比對。評分方面，僅一處變形有持續發展情形即可評分，考量以目視為主。若變形程度較大於原範圍八成以上則評為 3；五成以上則評為 2；二成以上則評為 1；無則為 0。

2.變形的組合

評分 0~3 分。若變形的組合四處以上則評為 3；三處則評為 2；二處則表示有組合存在，即評為 1；無則為 0。

3.變形的位置

評分 0~3 分。A.防護與擋土結構的破損脫落、坡體局部滑動、崩塌等變形出現在邊坡高處，此情形若位於邊坡高處則評為 3，位於邊坡中位則評為 2，位於邊坡底部則評為 1，無則為 0。B.對於橫向的結構性裂縫、坡面滲水、坡體變形鼓脹等變形出現在邊坡底部時則評為 3，位於中位則評為 2，位於邊坡高處則評為 1，無則為 0。

三、邊坡本體風險係數

(一)說明

邊坡本體風險係數主要考慮邊坡的先天不利因素，邊坡在這些因素作用下，更容易失去穩定性，即相同條件下，這些邊坡更容易受損引發病兆。完整的邊坡穩定性評估，應確定邊坡的地質條件，包括地層岩性和地質構造，邊坡的破壞機制、作用因素等，再以經典土力學靜力計算、數值模擬等方式分析算出。在養護中的邊坡評估只是從病兆結果對邊坡做出分選，指導後續養護工作，同時考慮到數據的可獲取性，將過程簡化，從邊坡先天不利因素、地下水兩

個方面計算邊坡本體風險係數。

1.先天不利因素

主要指邊坡處在一些複雜的環境中，使得邊坡環境先天條件存在不足，容易受這些不利因素的影響，進而引發病兆影響邊坡的穩定性。邊坡不利因素包括但不限於以下情況：邊坡處於地滑地形或處於古老地滑的遺址、邊坡附近存在構造斷層或地層破裂帶、邊坡附近存在軟土或軟弱地層等。該判定結果為「有」和「無」兩種，若是有任何一類出現，則將其判定為存在先天不利因素。這些先天不利因素若是經過人為工程的治理修復，則可認為已經消除其肇災威脅性，結果記錄為無即可。

2.地下水

地下水的存在會不斷侵蝕邊坡內部，進而影響邊坡內部原本的結構穩定，對邊坡造成威脅。因此，將地下水列為邊坡不利的隱患參考因子。應當指出，在上述評分邊坡基本狀況時，已對邊坡的本體坡面及防護與擋土結構部位的滲水進行過一次評分，這裡不進行重複評分，針對的是除去目標邊坡之外的地下水活動以及滲水、滲流情況。實際檢查中，對於不出露地表的地下水，無從觀察，暫不做討論。對於出露地表的檢查人員可以觀察到的，包括邊坡周邊部位的結晶、滲水、滲流、泉眼、渠溝等應紀錄並加以評價。

總結上述，邊坡本體風險係數(RFS)可表為：

$$RFS = \beta_1 \times R_1 + \beta_2 \times R_2 \quad (5-3)$$

式中， R_1 =先天不利因素； R_2 =地下水； β_1 =先天不利因素所占權重；

β_2 =地下水所占權重。

(二)評分方式

1.先天不利因素

評分 0~1 分；邊坡不利因素包括但不限於以下情況：邊坡處於地滑地形或處於古老地滑的遺址、邊坡附近存在構造斷層或地層破裂帶、邊坡附近存在軟土或軟弱地層等，即為有，評為 1 分，無則為 0。

2.地下水

評分 0~1 分；出露地表可直接觀察到者，如結晶、滲水、滲流、泉眼、渠溝，則評為 1 分，無則為 0。

四、邊坡狀態評分與分級

本計畫擬採用邊坡病兆狀況(SDCS)、邊坡病兆肇災威脅係數(SDHC)及邊坡本體風險係數(RFS)等三大部分，建立其邊坡狀態評估模式，即

$$SCAS = SDCS + SDHC + RFS \quad (5-4)$$

根據邊坡狀況評定結果，暫以其得分劃分為優、佳、中、次、差等五各等級，如表 3-2 所示。

表 3-2 邊坡狀況 SCAS 評定標準

項目	邊坡狀態等級評定		
	低病兆潛勢	中病兆潛勢	高病兆潛勢
SCAS	$SCAS \leq x_1$	$x_1 < SCAS \leq x_2$	$x_2 < SCAS$
	註： x_1 、 x_2 (由樣本統計而定)		

第四章 人機協作方案研擬

第一節 人機協作原理

對於人機協作巡查邊坡，首先是任務分配，即哪些部位由無人機巡查，哪些部位由人工巡查。經實際測試探討，初次巡查中，無人機巡查高位病兆，人工巡查坡脚病兆為較適宜的方式。其次是功能互補，或稱人機交互，對於植被覆蓋率大的邊坡或植物遮擋的區域，無人機並不能穿透遮擋物或取病兆資訊，此時應由人工巡查完成；而對於人工不能巡查到的區域，或巡查到但面積較大的病兆區域，此時由無人機巡查拍攝較為方便。歸結而言，通過人機優勢互補，盡可能提高巡查質量與效率。

第二節 無人飛行載具任務執行

一、天候條件

完整的航拍任務，需根據拍攝目的進行相關前置準備作業，以提升空拍作業之執行效率。選擇晴朗無風的天氣進行拍攝作業，若因測區範圍較大(至少 2 平方公里以上)，若需分不同架次進行拍攝時，則每架次的拍攝天候環境應相仿，避免因天候不同所拍攝影像色調不一致，造成軟體自動匹配計算上的偏誤或建物模型成果外牆顏色差異過大並於飛行作業執行之前進行現地勘查作業，確定拍攝標的地上物可能影響飛行作業之電塔位置、電塔線路走向、電信基地台位置、山嶺線位置、遷急線及遷緩線位置，將飛行安全以及飛行成果提升至最高層級。本計畫選用 UAV 詳細規格如表 4-1 所示。

二、拍攝精度、儀器與流程

大型六軸飛行器搭載拍攝採用 Nikon D3200，有效畫素 2,400 萬，

而小型飛行器四軸則採用法國四軸多旋翼機 Parrot Anafi 4K HDR 空拍機，有效畫素 2,100 萬，對於飛行任務有莫大幫助，所搭配多樣 APP 導航系統能沿地表飛行進行拍攝，坡面產製之地表模型成果精度也大為提高，不會有高處解析度佳、低處解析度差情形發生，如圖 3-48 所示，坡面產製之地表模型成果精度也大為提高，不會有高處解析度佳、低處解析度差情形發生，航拍整體規劃流程如圖 4-1 所示。

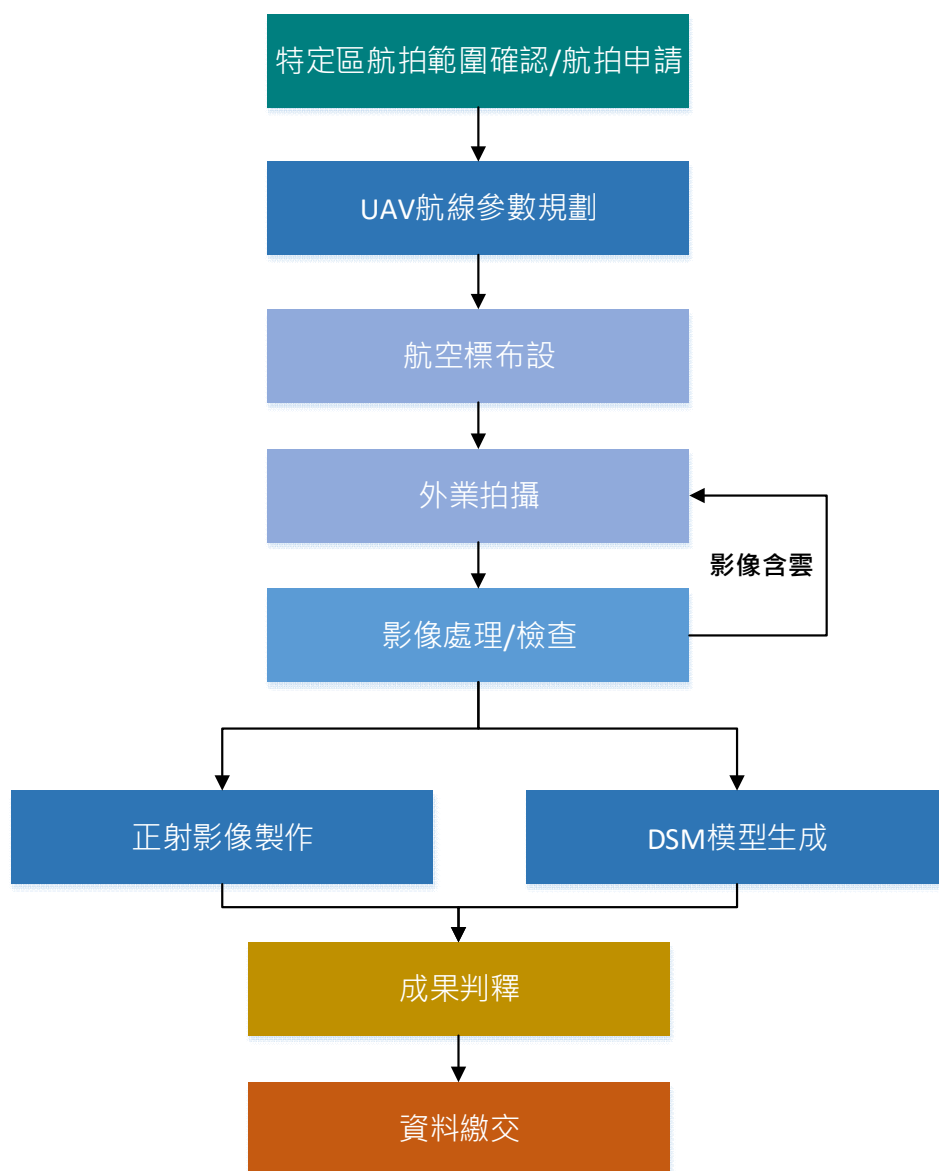


圖 4-1 無人飛行載具（UAV）工作執行流程圖

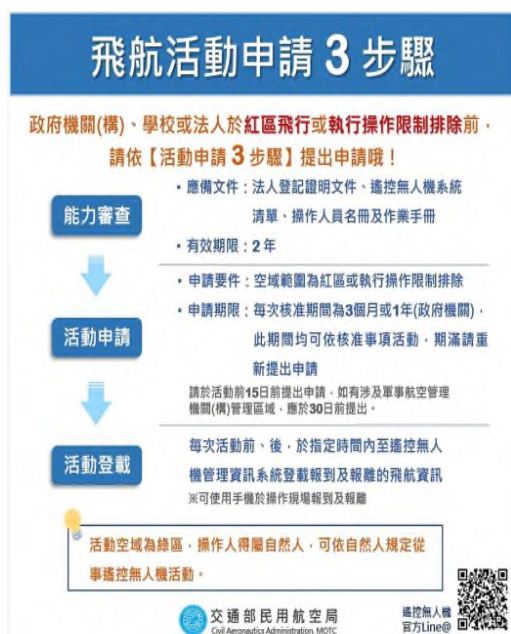
表 4-1 無人機及其附屬設備

設備外觀	性能諸元
	自組六軸多旋翼機 航程 1~2 公里、GPS 導航、可定點停旋拍攝、無需起降跑道、可搭載數位相機與數位攝影機
	單眼相機 拍攝採用 Nikon D3200 拍攝相片尺寸：6016 x 4000pixel 有效畫素：2416 萬 快門時間：1/4000 至 30 秒 ISO 感光度：100-6400
	法國四軸多旋翼機 Parrot Anafi 4K HDR 空拍機 4K HDR/21MP 攝相機、2.8X 無損變焦、180 度雲台、25 分鐘飛行時間、4 公里圖傳距離、TYPE C 充電 (24W)、安靜、耐受極端天氣條件(風速 50km/h)
	可顯示航高、航速、航向、返航方位距離、電壓回傳等資訊，包含飛行控制系統、影像接收系統、飛航情報圖台。
	人性化的界面設計 根據實時飛行需求，設置編輯航線，超視距自主飛行，觸屏點擊，飛行控制體驗就在一“點”之間。支持返航點設置、自主返航、一鍵起飛及降落

三、航拍作業申請與資格

實施 UAV 空拍作業前必須先行了解預定拍攝區域性質、排定 UAV 拍攝日期、拍攝範圍規劃及瞭解座落區位是否為限航或禁航區域，並且針對其安全性進行考量，擬定空中停機或其他緊急事故發生之預定迫降區位，以利進行人員緊急閃避應變。其中，政府機關(構)、學校或法人於紅區飛行或執行操作限制排除，應依民航局規定之申請流程進行申請，其申請程序如圖 4-2 所示，進行空拍之前，應對於 UAV 進軟硬體設備安全檢查評估，民航局即針對飛行前擬定 UAV 飛行前自我檢查表，確認 UAV 硬體、傳輸鏈路、酬載穩固性…等進行檢視，以確保飛行安全，本計畫已通過能力審查如圖 4-3 所示，空域申請通過，如圖

4-4 所示。工作人員劉益誠領有遙控無人機操作證之學科與術科評鑑合格證明，可執行相關 UAV 操作任務，如圖 4-5 所示。



資料來源:交通部民航局

圖 4-2 政府機關(構)、學校或法人於紅區飛行或執行操作限制排除申請流程

I. 中華民國 交通部民用航空局 REPUBLIC OF CHINA CIVIL AERONAUTICS ADMINISTRATION, MOTC		
II. 類別 Title of Licence	遙控無人機 專業操作證	
III. 證號 Number	M121760280	
IV. 姓名 Name of Holder	劉益誠	
IVa. 出生日期 Date of Birth	08 Aug 1982	
VI. 國籍 Nationality	中華民國 TAIWAN(ROC)	
X. 局長 Director General 林國顯		IX. 發證日 Date of Issue 09 Mar 2022 屆期日 Date of Expiry 30 Mar 2024

資料來源：本計畫成員

圖 4-5 遙控無人機操作證評鑑合格證明

交通部民用航空局
遙控無人機能力審查核准證明

系統申請號碼 AA2004100002

研邦科技有限公司
申請遙控無人機飛航活動能力審查，依遙控無人機管理規則第30條第1項，發給此證明。

操作限制排除事項：
 ■飛航高度逾地面或水面四百呎(民航法第99條之14第1項)
 ■夜間作業或目視範圍外作業(民航法第99條之14第6項及第7項)
 □投擲或噴灑作業及裝載危險物品(民航法第99條之14第2項及第3項)
 □人群聚集或室外集會進行上空活動(民航法第99條之14第5項)
 □同一時間控制二架以上遙控無人機(民航法第99條之14第8項)
 ■其他操作限制(民航法第99條之14第4項)
 ■距高速公路、快速公路(道)、鐵路、高架鐵路、地面或高架之大眾捷運系統、建築物及障礙物30公尺以內作業
 □於移動中之航空器、車輛或船舶上操作
 □最大起飛重量未達25公斤且裝置導航設備之遙控無人機最大飛行速度每小時超過87海里或160公里
 ■延伸視距飛航

效期自 2020年 05月 15日 至 2022年 05月 14日
 管理事項：請依作業手冊從事遙控無人機飛航活動。
 註記：
 1. 政府機關(構)、學校或法人於作業期間不得影響飛航安全、地面人員及財產之安全與侵害個人隱私，如有違反者，民航局得依行政程序法第123條規定，廢止本核准證明全部或一部之核准事項。
 2. 作業手冊內容如有異動，應依遙控無人機管理規則第30條第4項規定，於事實發生起15日內申請民航局核准後，始得從事遙控無人機活動。

資料來源：本計畫能力審查資料

圖 4-3 研邦科技有限公司能力審查通過證明書

遙控無人機活動申請			
申請號碼 AR203150010		申請日期 2022/03/15	
審核狀態 審核完成		同意期限 2022/03/30-2022/06/29	
作業名稱	生態友善工作深化培力暨南縣市管河川效益評估、廢機磁能透水處理試驗、野溪治理 UAV		
用途	空拍		
申請單位	研邦科技有限公司		
申請單位承辦人	姓名 劉益誠	電話號碼	0919055071
作業現場負責人	姓名 劉益誠	行動電話	0919055071
駕駛人員	姓名 白智成	行動電話	0975852780
	姓名 劉益誠	行動電話	0919055071
協調人員	姓名 劉益誠	行動電話	0919055071
遙控無人機	註冊號碼 B-AAA03365, B-AAA14967, B-AAA14996		
作業日期及時間	自 2022年03月30日	至 2022年06月29日	
(24 小時)	每日自 06時00分	至 18時00分	
空域 1-1 範圍各點連線 (WGS-84/可視需要增加欄位) 座標點如超過4點，以前面4點顯示，實際座標點請至空域測量內查詢	1. 北緯 23度30分41.87秒	東經 120度35分43.89秒	
	2. 北緯 23度30分45.86秒	東經 120度35分44.57秒	
	3. 北緯 23度30分49.82秒	東經 120度35分45.88秒	
	4. 北緯 23度30分53.84秒	東經 120度35分53.23秒	
空域 1-1 作業高度	400英尺以下 (AGL, Above Ground Level)		
空域 2-1 範圍各點連線 (WGS-84/可視需要增加欄位) 座標點如超過4點，以前面4點顯示，實際座標點請至空域測量內查詢	1. 北緯 24度09分50.47秒	東經 120度48分34.71秒	
	2. 北緯 24度10分06.51秒	東經 120度48分31.81秒	
	3. 北緯 24度10分06.66秒	東經 120度48分44.97秒	
	4. 北緯 24度09分29.46秒	東經 120度49分02.17秒	
空域 2-1 作業高度	400英尺以下 (AGL, Above Ground Level)		
空域 3-1 範圍各點連線 (WGS-84/可視需要增加欄位) 座標點如超過4點，以前面4點顯示，實際座標點請至空域測量內查詢	1. 北緯 24度30分59.55秒	東經 120度43分26.48秒	
	2. 北緯 24度31分26.77秒	東經 120度43分39.96秒	
	3. 北緯 24度31分06.91秒	東經 120度44分14.25秒	
	4. 北緯 24度30分54.57秒	東經 120度44分40.28秒	
空域 3-1 作業高度	400英尺以下 (AGL, Above Ground Level)		
空域 4-1 範圍各點連線	1. 北緯 24度29分35.40秒	東經 121度50分10.80秒	

圖 4-4 空域通過申請

四、無人飛行載具拍攝前置作業佈設固定/移動空標

為提高製作之正射影像及數值地形資料，將本工項 UAV 影像拍攝

作業產製之成果能有效率定空間準確率，預計佈設空標型式如圖 4-6 所示，將拍攝成果與真實地表進行匹配校正，使拍攝成果能達到多期比對成效。佈設控制點時，為確保計畫範圍空間精度穩定，佈標形式以外圍佈設，建議佈標上大於 6 點，其為在進行平差計算時，有多餘觀測進行解算。



資料來源：本計畫製作

圖 4-6 UAV 空標佈設型式

五、以無人飛行載具(UAV)利用攝影量測技術製作數值地表模型(DSM)

本項工作主要利用拍攝近正攝照片資料，透過專業影像製圖軟體 Pix4Dmapper 進行 DSM 製作及鑲嵌正射影像，各工作分述如下：

(一)DSM 製作

無人載具(UAV)因飛行高度有限，其拍攝範圍小於大型飛機，因此必須藉由航線規劃及多張照片才能涵蓋整個拍攝範圍，而拍攝之影像需接近垂直正射照片，前後兩照片資訊內容需重疊 70~80% 以上、側向航線重疊需 50% 以上。本計畫採用國內最新影像建模 DSM 生成軟體-Pix4dmapper 軟體進行 DSM 生成，其原理為利用多重影像匹配技術，透過相鄰影像彼此間之共軛點位、特徵線段，利用大量的多餘觀測數資訊計算出該區域 DSM。

若地形屬於特徵不明顯之均調區(如水體)，可能因此會造成特

徵匹配失敗，使用者可自行以手動方式加入特徵點進行匹配，藉由互動式三維編輯預進行模型生成之區域，以進行局部編修得到最終成果，如圖 4-7 為利用多重影像密匹配方式產製之 DSM 成果。

(二)正射影像製作

利用 UAV 航拍影像除製作 DSM 外，並可完成優於 25cm 正射影像製作，正射影像之製作需要考量航攝影像之方位參數及地表之起伏。使用 Pix4dmapper 影像匹配軟體，可逐點糾正成正射投影，消除像片上投影誤差，製作數值正射影像資料檔，如圖 4-7(右)所示。



資料來源：本計畫製作

圖 4-7 航拍正射影像及 DSM 比較圖(右：正射，左：DSM)

第三節 人機協作巡查技術流程

據實際巡查經驗，人機協作的邊坡病兆巡查工作流程可以劃分為三階段七個工序，包括：

一、階段一、圖像採集

(一)邊坡核對

在實際的邊坡檢查中，對於特定邊坡只要通過衛星定位就能準確判斷其位置，位於山坡地公路上下行兩側都會存在大量路塹邊坡，且鄰近路段的邊坡地形和結構往往不會出現較大差異，因此鄰近的邊坡所具有的防護結構和外觀也具有一定的相似性，同時工作人員

在邊坡坡腳處的視角限制(不能觀察邊坡全貌)、植被遮蓋邊坡原貌以及邊坡里程的模糊判斷等外在因素都會對邊坡的準確定位造成影響。如果在檢查工作中，未能準確定位邊坡而直接進行檢查，就會出現張冠李戴的情況，因此需要邊坡核對。

邊坡檢查中，工作人員抵達邊坡後，需根據邊坡所在路線的里程、上下行、邊坡級數、擋土設計、地層岩性、歷年圖像等資訊核對邊坡，必要時還可輔助以無人機高空全貌觀察邊坡，以此來確定邊坡。邊坡確定之後，方可進行邊坡檢查。若檢查人員發現實際邊坡與已有資訊存在出入，如邊坡里程細微差異、級數變動、防護措施更改等，還應及時更新邊坡資訊，盡可能的完善邊坡資訊，以便後續養護工作之進行。

(二)人工巡查坡脚病兆

人工巡查坡脚病兆，需走動巡查、覆蓋整個坡脚。巡查過程對可能出現的病兆進行排查，同時應採集病兆圖像，記錄病兆資訊(包括病兆規模、數量、走向、位置等特徵)。

走動巡查時，應關注常見的坡脚病兆類型，特別是需要重點關注的類型，如坡脚滲水、坡脚隆起、擋土結構剪切裂縫、坡體局部塌陷、空洞位移等；記錄病兆時，對於新出現的邊坡病兆，應詳細記錄病兆類型、尺寸等資訊，並拍照取證留待進一步分析；對於以往已經出現的病兆是否進一步發展，周邊是否出現次生或衍生病兆，應適時更新病兆資訊。

(三)無人機巡查高位病兆。

飛手起飛無人機飛向邊坡高位，獲取邊坡的全景圖，包括邊坡的正射圖及側面圖。接著拉近無人機靠近邊坡拍攝邊坡詳情圖，為節省無人機電力，採用從邊坡高位往下的“之”字形路線拍攝邊坡病

兆。拍攝應確保角度距離合適、圖像畫質清晰，便於後期病兆識別與判定。拍攝邊坡病兆時，對於顯著的、危害面大的邊坡病兆，可飛近病兆區域，進行特寫拍攝。確保獲取邊坡完整的圖像資訊之後即可返航，結束飛行巡查。

二、階段二、圖像分析

(一)初步處理圖像，判斷邊坡病兆情況和是否需要複查，人工或無人機複查邊坡

對於病兆發展嚴重、植被覆蓋率高，或是根據首次拍攝的圖像資訊不能判定病兆、存在疑問的邊坡，則需進行邊坡的二次檢查。不同區域的嚴重病兆類型往往不同，與岩土體條件、施工質量、養護標準等有關，可根據實際情況確定其嚴重程度判別標準。

對於單個病兆來說，嚴重病兆係指邊坡本體或擋土工程的結構破壞，如邊坡本體變形開裂、局部位移坍塌，或擋土設施出現結構性破壞；對於多個病兆，當大面積成群、組合出現且可能發展至影響邊坡穩定性，即重大隱患病兆群，也將其歸為嚴重病兆。如錨頭滲水成群出現，或坡腳滲水與平台裂縫組合出現。這種情況出現時需要進行二次人工或無人機複檢。

無人機拍攝邊坡時，受光照強度、拍攝角度、拍攝距離、植被遮擋、鏡頭抖動等多種因素的影響，會使無人機拍出的部分照片出現一定模糊，此類照片並不能準確的顯示資訊。對一些微小病兆，如混凝土裂縫、局部破損、局部鼓脹，若圖片放大後不夠清晰或缺少其他細節來判定病兆。此類情況亦需要人工或無人機複檢。

(二)病兆圖片處理，全景圖標記病兆位置，詳情圖讀取病兆參數。

病害圖像的處理分為全景圖和詳情圖的處理，基於無人機的邊坡檢查會產生大量圖片，因此，輔助以邊坡軟體會讓工作更加高效

的進行。

三、階段三、分析與統計

(一)基於病兆情況評估邊坡狀態

採用邊坡系統預先確定的狀態評估模型，基於病害情況評估邊坡狀態。邊坡狀態評估遵循的基本原則如下：病害品質越嚴重、數量越多、發展越快（時間），狀態越差。採用扣分加權演算法，滿分 100 分值，對邊坡三大部位不同病害進行扣分，不同類型的病害對應不同分值，扣去後乘以相應權重，得出邊坡總體評分，最後根據邊坡環境、病害隱患因素等修正邊坡評分。按得分情況將邊坡分為重點(高)、關注(中)、持續觀察(低)等三種類型，以此確定邊坡的總體養護方案建議。

(二)統計病兆參數。

統計所有巡查邊坡的病兆參數給定評分等，邊坡定檢結果分述則講述了本次檢查每一處邊坡的詳細情況，包括邊坡全景圖、地質概況、工程概況、歷史病害、本次病害詳情圖與數量、規模、養護建議等資訊。

第四節 圖像採集與分析

病兆圖像的處理分為全景圖和詳情圖的處理，基於無人機的邊坡檢查會產生大量圖片，故應確實編號整理會讓工作更加高效的進行。另外，由於空拍影像精度可達公分等級，若採用高精度衛星影像(僅公尺等級)，本計畫主要標的如裂縫、排水堵塞等樣態將相對難以捕捉。

一、全景圖

全景圖的處理主要為將發現的病兆分類型標記在邊坡全景圖中，涉及病兆圖例與病兆位置的處理。病兆圖例包含標記符號、病兆名稱

和簡寫符號等資訊，病兆位置標記點包含標記符號、病兆序號和簡寫符號等。病兆位置標記點宜按照從下到上、從左到右順序逐級標記。養護建議的編寫可參照當地的養護標準及慣例編寫，如圖 4-8 所示。



圖 4-8 全景圖標註示意圖

二、詳細圖

詳情圖的處理是指工作人員從邊坡詳情圖中檢測病兆，發現病兆後，從詳情圖截取病兆圖片，並在病兆圖片添繪病兆圖線，在資料處理系統中編輯病兆類型、位置、尺寸和養護建議等資訊，病兆圖片截取時以能夠清楚顯示病兆情況及周邊環境為宜，如圖 4-9 所示。

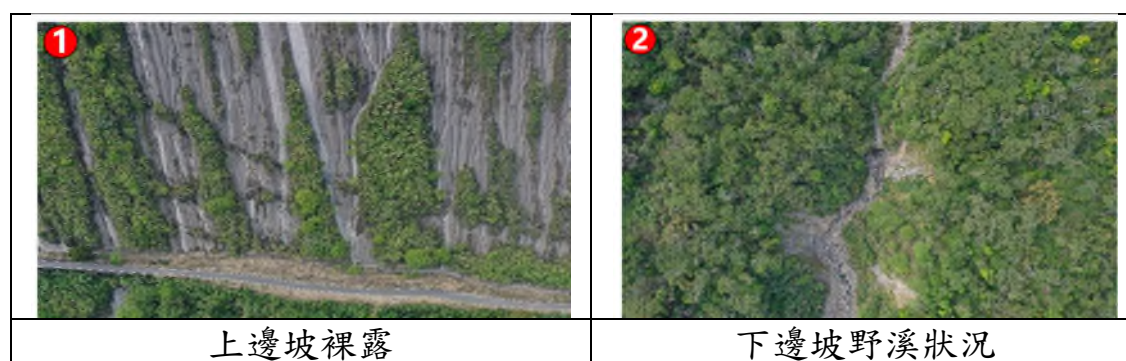




圖 4-9 詳細圖標註示意圖

三、邊坡病兆狀況特徵

人工巡查產生的圖片經過檢查員的現場判定，無須再次判定病害，而無人機巡查邊坡的模式為先拍照，後判定病害。無人機航攝將會產生大量圖片，因此，根據圖像特徵從大量圖片中提取所需的病害資訊就顯得尤為重要。圖像特徵主要有圖像的顏色特徵、紋理特徵、形狀特徵和空間關係特徵，根據前述邊坡評估，主要分為邊坡本體、排水系統及防護與擋土結構等三大類，詳述如下：

(一)邊坡本體

人工邊坡係由山區道路開闢時開挖山體所形成，除了本身的土體外，正常邊坡設計方案並不會將工程覆蓋全部邊坡，因此邊坡歷經多年後常出現病兆。根據病兆的嚴重程度和破壞類型把邊坡本體病害分為以下幾類；植被枯死、坡面沖刷、岩土裸露、坡面滲水、掏空、沉陷、鼓脹、開裂、坍塌及地滑等。

1.植被枯死

植被恢復緩慢，大面積枯死或脫落發生，最終導致岩土裸露，稱植被枯死，常表現為草皮發黃、枯萎，草皮稀疏，如圖 4-10 所示。



本計畫攝於高雄六龜 2022.8.3

圖 4-10 植被枯死病兆特徵示意圖

2.坡面沖刷

當邊坡排水不良或植被生長恢復不良時，邊坡受到雨水持續沖刷，造成植被和土體的流失。常表現為多道紋溝的出現，坡面下方排水設施堵塞，如圖 4-10 所示。



本計畫攝於高雄六龜 2022.8.3

圖 4-11 坡面沖刷病兆特徵示意圖

3. 岩土裸露

當雨水沖刷或地震等因素對邊坡上的土體造成影響，通過重力作用，邊坡土體失去穩定使岩土裸露，如圖 4-12 所示。



本計畫攝於高雄六龜 2022.8.3

圖 4-12 岩土裸露病兆特徵示意圖

4. 坡面滲水

當邊坡所處區域的地下水或逕流活動頻繁，邊坡無法及時將之集流排出時，即會沿邊坡滲出，如圖 4-13 所示。



本計畫攝於嘉義阿里山 2022.9.13

圖 4-13 坡面滲水病兆特徵示意圖

5. 淘空、沉陷

隨著水流下滲到土體內部，水流會持續對土體內部進行沖刷，使土體沉陷與流失，在邊坡表面形成空洞、凹陷等現象，稱淘空、沉陷，如圖 4-14 所示。



本計畫攝於南投仁愛 2022.8.12

圖 4-14 淘空、沉陷病兆特徵示意圖

6. 鼓脹、開裂

坡體表層失去平整性，坡面局部出現鼓脹凸起，或坡面開裂，出現狹長的黑縫，如圖 4-15 所示。



來源：西南某機場高填方邊坡滑塌機制分析與處理措施研究，2017，工程地質學報

圖 4-15 鼓脹、開裂病兆特徵示意圖

7. 坍塌、地滑

當雨水沖刷或地震等因素對邊坡上的土體或岩體造成影響，通過重力作用，邊坡失去穩定，土體向下塌陷的現象，如圖 4-16 所示。



本計畫攝於高雄六龜 2022.8.3

圖 4-16 坍塌、地滑病兆特徵示意圖

(二) 排水系統

排水關係到坡體的穩定及路基的安全，邊坡地表排水設施主要包括：排水溝(邊溝)、排水管、截水溝等。常見病兆有排水設施長草堵塞或破損等。

1. 排水管、邊溝、截水溝長草堵塞

排水設施堵塞，植物生長茂盛，導致長苔、長草堵塞排水溝、排水孔等排水設施，如圖 4-17 及圖 4-18 所示。



本計畫攝於嘉義阿里山 2022.9.13

圖 4-17 邊溝長草病兆特徵示意圖



本計畫攝於嘉義阿里山 2022.9.16

圖 4-18 排水孔長草病兆特徵示意圖

2.排水管、邊溝、截水溝積砂或積石堵塞

坡面沖刷脫落的岩土體堆積在排水溝中，堵塞排水溝或長草後堵塞排水溝，導致其排水不暢。排水孔流泥堆積後堵塞排水孔，從而影響排水功能，如圖 4-19 及圖 4-20 所示。



本計畫攝於嘉義阿里山 2022.7.18

圖 4-19 邊溝積砂病兆特徵示意圖



本計畫攝於嘉義中埔 2022.8.17

圖 4-20 排水孔積砂病兆特徵示意圖

3.排水管、邊溝、截水溝邊牆、底部破損

在水流的衝擊與侵蝕下，排水設施如排水溝、邊溝等底部或邊牆出現破損、開裂。主要表現為排水設施混凝土結構出現開裂、破損，嚴重時底部土體裸露，排水結構缺失、位移等，圖 4-21 及圖 4-22 所示。



本計畫攝於高雄六龜 2022.8.3

圖 4-21 邊溝邊強破損病兆特徵示意圖



本計畫攝於高雄桃源 2022.7.27

圖 4-22 邊溝底部破損病兆特徵示意圖

(三)防護與擋土結構

防護結構常見的病兆主要是防護結構的相應問題，如結構出現變形、破損、裂縫、鼓脹等，此要為表觀磨蝕、脫落或滲水之情事。

1. 混凝土表觀風化、脫落

混凝土表觀受損、風化或脫落。主要表現為原有防護面出現剝落、粗糙面，如圖 4-23 所示。



圖 4-23 混凝土表觀風化、脫落病兆特徵示意圖

2.混凝土表觀裂縫

混凝土表觀受損，初步產生裂隙。屬於病兆的前兆表現，主要為表觀出現細紋、縫隙，如圖 4-24 所示。



圖 4-24 混凝土表觀細紋、裂縫特徵示意圖

3.各防護面及擋土結構物滲水

當所處區域的地下水或逕流活動頻繁，無法及時排出時，即會沿擋土牆或邊坡滲出，如圖 4-25 所示。



資料來源：台北市政府工務局大地工程處

圖 4-25 擋土牆滲水病兆特徵示意圖

4.各防護面及擋土結構物裂縫、破損

擋土設施裂縫或破損，相對表觀細紋圍巨，但仍不失原有功能性，如圖 4-26 所示。



圖 4-26 擋土結構物裂縫、破損病兆特徵示意圖

5.各防護面及擋土結構物變形、位移

由邊坡土體產生的重力作用，或背填土流失等各類因素。擋土設施產生變形或位移，但仍不失原有功能性者，如圖 4-27 所示。



圖 4-27 擋土結構物位移病兆特徵示意圖

6.功能缺失

防護結構及擋土結構出現大面積的嚴重功能性病兆、繼續發展將危及邊坡穩定性，如圖 4-28 所示。



圖 4-28 擋土牆功能缺失特徵示意圖

第五章 現地測試評估與實務應用建議

本計畫篩選大規模崩塌潛勢區「南投縣國姓鄉-T002(九份二山)」範圍內適當場址進行無人機輔助邊坡巡查之現地測試，主要針對人工構造物地區，從航拍試驗與人工巡查病兆，檢驗人機協作方法巡查邊坡的成效，發現並解決人機協作巡查的技術問題，以滿足當前的養護要求，從而形成一套完整的基於無人機的人機協作巡查技術和評估模式。

第一節 計畫區篩選

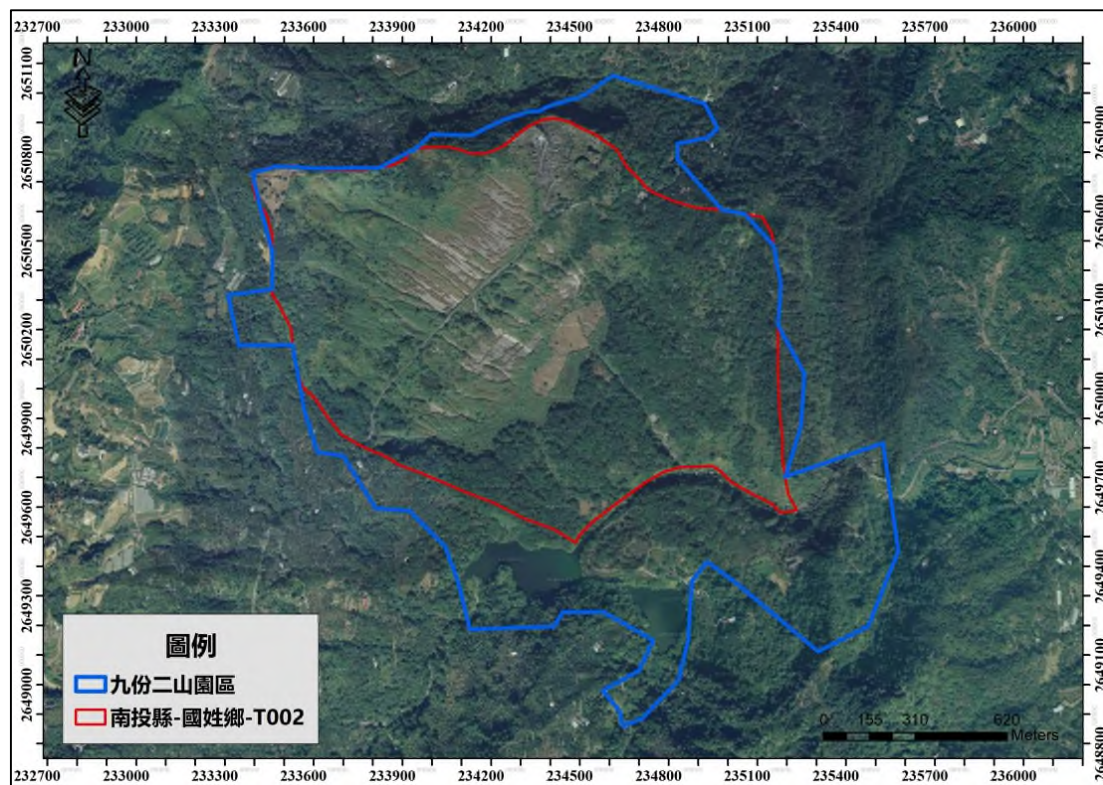
本計畫欲利用已有初步病兆之坡面進行模式評估，且未延伸管理維護之效益，亦須考量歷年工程治理之地點，故篩選大規模崩塌潛勢區(水土保持局圖資，2022)，且其中已經有發生零星崩塌或裸露(林務局崩塌目錄圖資，2022)，此外曾具有工程治理者(水土保持局工程管考系統，2022)，取三者之交集，如圖 5-1 所示，其中南投縣國姓鄉(921 地震)相對具有代表性，且歷史資料較多，故選定此處作為工作地點。



圖 5-1 計畫區篩選示意圖

第二節 基本資料蒐集

南投縣國姓鄉-T002(九份二山)大規模崩塌地面積 179.09 公頃，如圖 5-2 所示。該區主要是於 1999 年 9 月 21 日凌晨 1 時 47 分 12 秒發生芮氏規模達 7.3 之 921 集集大地震，因靠近震央，導致崁斗山發生大規模順向坡崩塌，其滑動長度超過 1.0 公里，其崩塌面積約 198.3 公頃，造成約 3,500 萬立方公尺之土石崩塌與地表拱起，崩塌下來的土石堵塞北山坑溪(木屐欄溪)支流韭菜湖溪及澀子坑溪，分別形成韭菜湖溪堰塞湖(面積 272.80 公頃，37.5 公尺深)與澀子坑溪堰塞湖(面積 382.14 公頃，29 公尺深)。

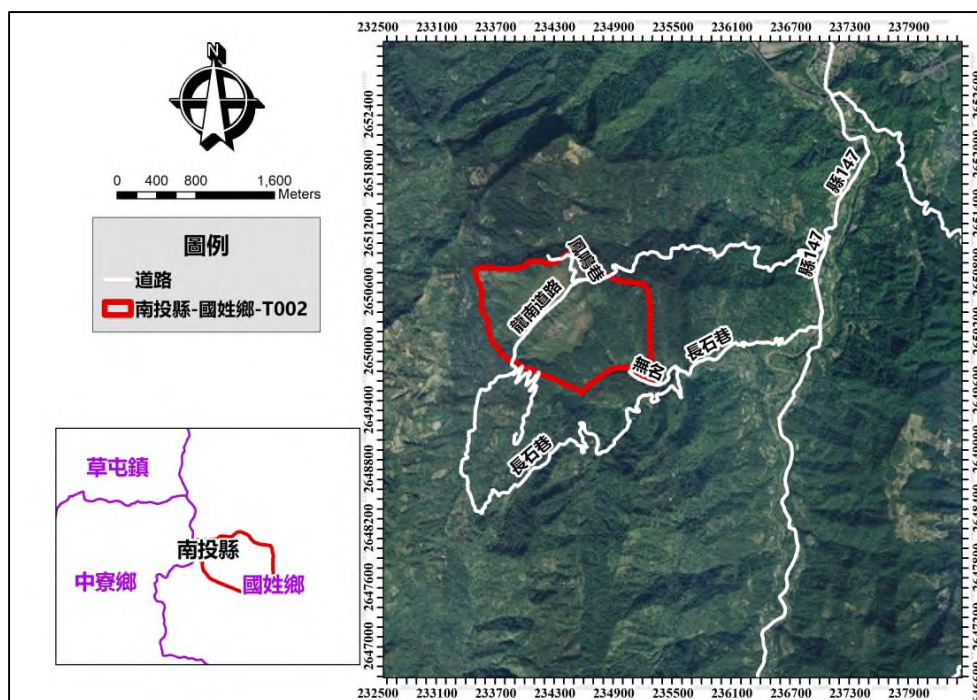


資料來源：本計畫製作

圖 5-2 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)大規模崩塌地範圍圖

一、地理位置

國姓鄉-T002(九份二山)位於南投縣國姓鄉崁斗山山麓澀仔坑一帶，地處國姓鄉、中寮鄉及草屯鎮之交接處，其位置如圖 5-3 所示。崩塌地範圍北起大平角海拔 650 公尺至崁斗山南稜海拔 1,040 公尺順向坡向東南崩塌，南界韭菜湖溪堰塞湖海拔 530 公尺(南港七號農路附近)，東起崁斗山南稜，西迄中興橋前，全區呈西北向東南傾斜約 24 度。



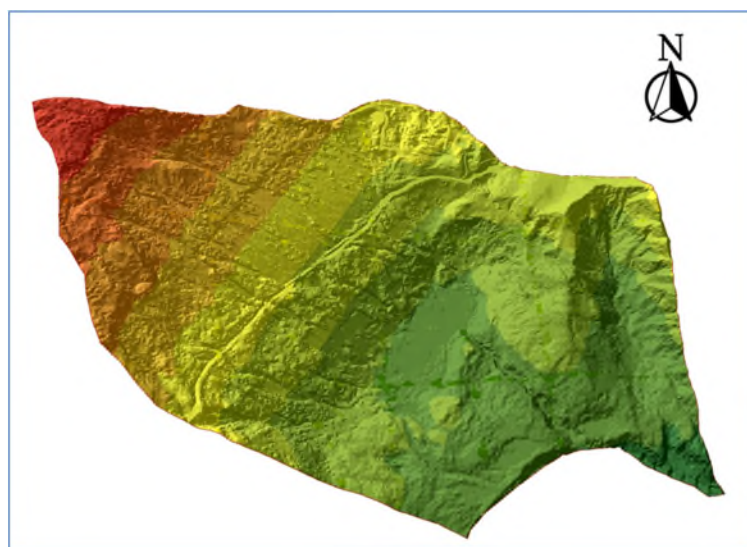
資料來源：本計畫製作

圖 5-3 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)地理位置示意圖

二、地形地勢

本區位於烏溪南岸支流北坑溪之上游支流澀仔坑溪及韭菜湖溪的西側邊坡上。澀仔坑溪於計畫區邊坡下方匯入韭菜湖溪後，韭菜湖溪再於南港附近匯入北坑溪，最終併入烏溪。在臺灣地形分區上，屬於烏溪及濁水溪間的西部衝上斷層山地上之丘陵山地，以東有埔里盆地，西則為台中盆地；此地區地質係由一連串覆瓦

狀排列的斷層和褶皺所構成，並形成大致呈南北走向之平行山列及丘陵區，如圖 5-4 所示。



資料來源：102 年藤枝林道 3.5K 及九份二山崩塌地監測與潛在崩塌地簡易監測研析計畫

圖 5-4 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)區域地形圖

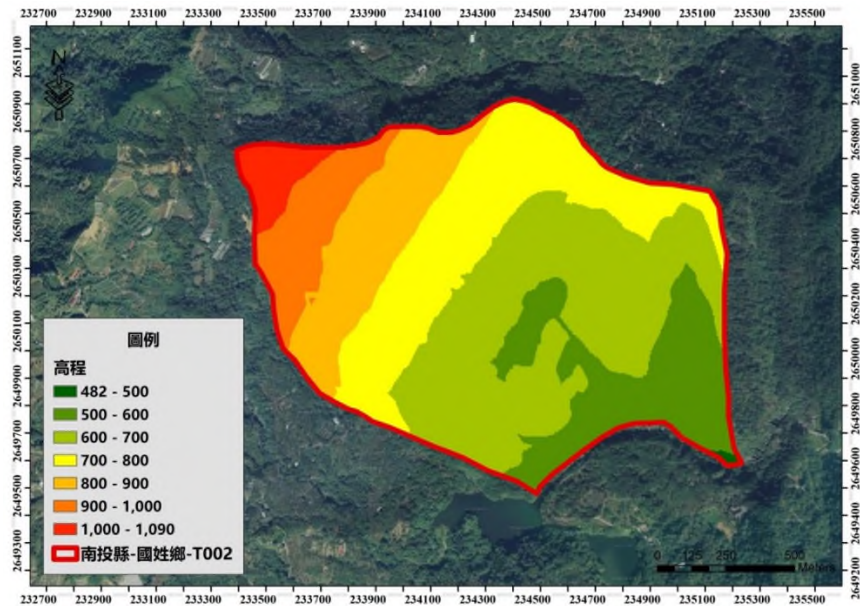
本區現況地形多由 921 地震時由崁斗山崩滑土體堆積而成，因土體鬆散易遭降雨侵蝕塑造而改變地形，使得災害初期地形演變速度極為快速，惟經過十餘年的演化過程，植生逐漸恢復，坡面亦漸趨穩定，除了表土侵蝕外，未有大面積的邊坡土體崩塌問題整體地形已趨穩定。圖 5-5、圖 5-6 及圖 5-7 為現況坡度、坡向及高程等分布特徵。圖中顯示，本區整體地形由東北向東南，高程 500-600m 間占全區域面積 29.75%，全區以五級坡之分布為主，五級坡以下(含五級坡)之區域占全區域面積之 82.58%，其分布狀況詳如下述：

(一)高程分布：本區內最高高程僅為 1,000m，平均高程為 678.20m，以 600m 至 700m 所占面積最多，達 36.08%，其分布如圖 5-5 所示，而各級高程統計如表 5-1 所示。

(二)坡度分布：坡度主要集中於 40%~100 %之五級坡，占總面積

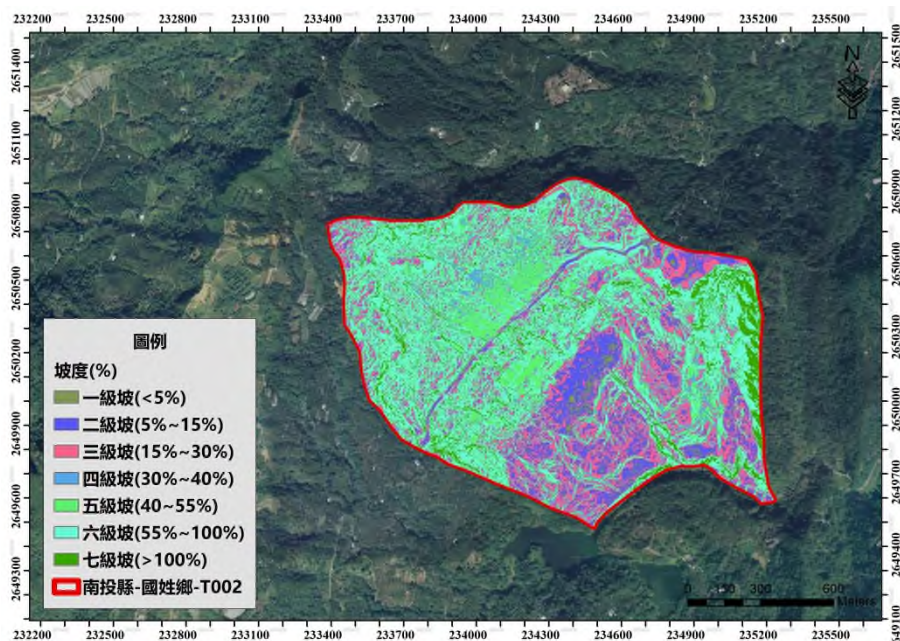
的 48.38%。坡度東北向東南呈現遞減的趨勢，其分布如圖 5-6 所示，而各級坡度統計如表 5-1 所示。

(三)坡向分布：本區內坡向以東南向及東向為主，其中以東南向為多，占總面積的 30.87%，其分布如圖 5-7 所示，而各種坡向統計如表 5-1 所示。



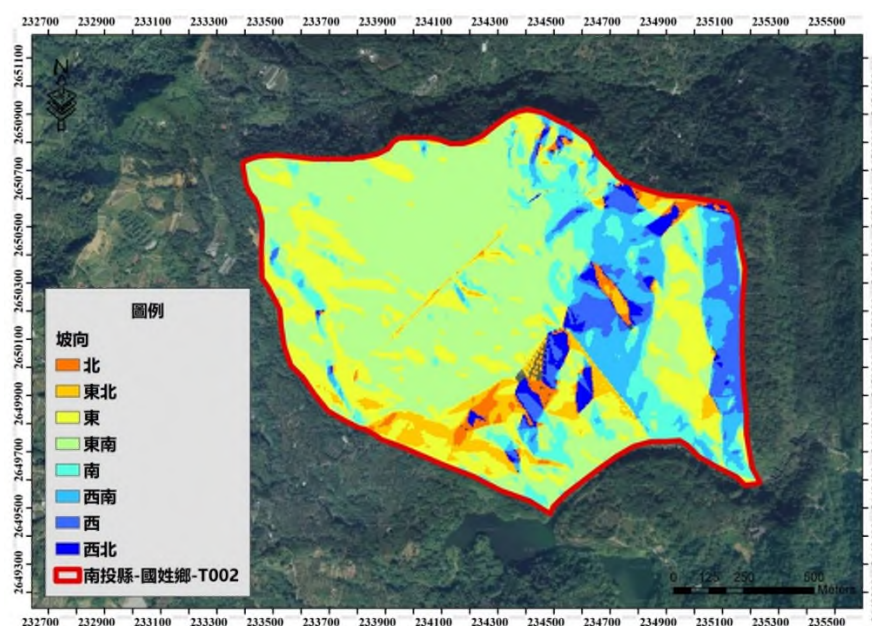
資料來源：本計畫製作

圖 5-5 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)高程分布示意圖



資料來源：本計畫製作

圖 5-6 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)坡度分布示意圖



資料來源：本計畫製作

圖 5-7 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)坡向分布示意圖

表 5-1 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)高程、坡度及坡向統計表

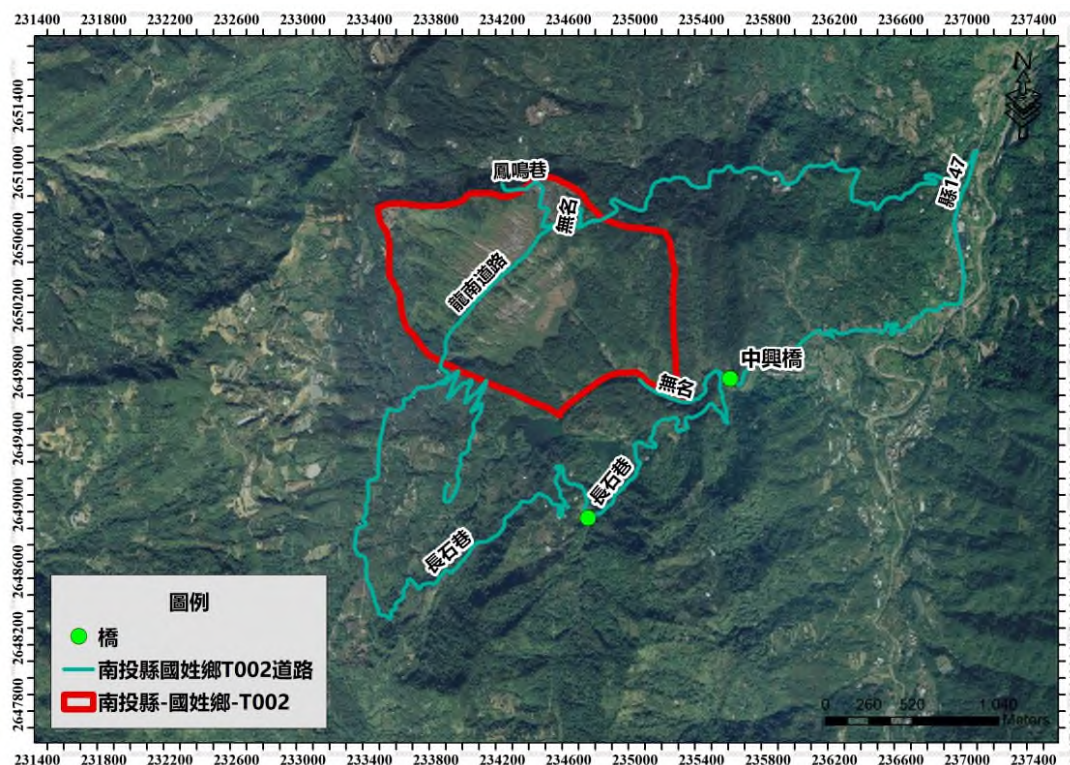
分類		面積(公頃)	百分比(%)
高 程 (m)	482-500	0.43	0.24
	500-600	26.54	14.82
	600-700	64.62	36.08
	700-800	42.91	23.96
	800-900	24.03	13.42
	900-1,000	15.17	8.47
	1000-1,090	5.39	3.01
坡 度 (%)	一級坡(<5%)	3.98	2.22
	二級坡(5%~15%)	20.34	11.36
	三級坡(15%~30%)	31.86	17.79
	四級坡(30%~40%)	23.50	13.12
	五級坡(40%~55%)	37.34	20.85
	六級坡(55%~100%)	49.30	27.53
	七級坡(>100%)	12.77	7.13
坡 向	北	5.87	3.28
	東北	14.81	8.27
	東	42.01	23.46
	東南	55.29	30.87

分類		面積(公頃)	百分比(%)
	南	27.17	15.17
	西南	17.43	9.73
	西	10.94	6.11
	西北	5.52	3.08
	平地	0.05	0.03

資料來源：本計畫製作

三、道路交通

本區道路以貫穿崩塌區之龍南道路為主，為計畫區內主要的聯外道路，往東可通往南投及中寮，往西可沿路通達震爆點、紀念園區與傾斜屋及南港村，其位置如圖 5-8 所示。本區計畫區交通動線，可經由國道 3 號接國道 6 號往東，於北山交流道下接省道台 14 線於北山社區銜接縣道 147 線，其對外聯繫尚屬便利。

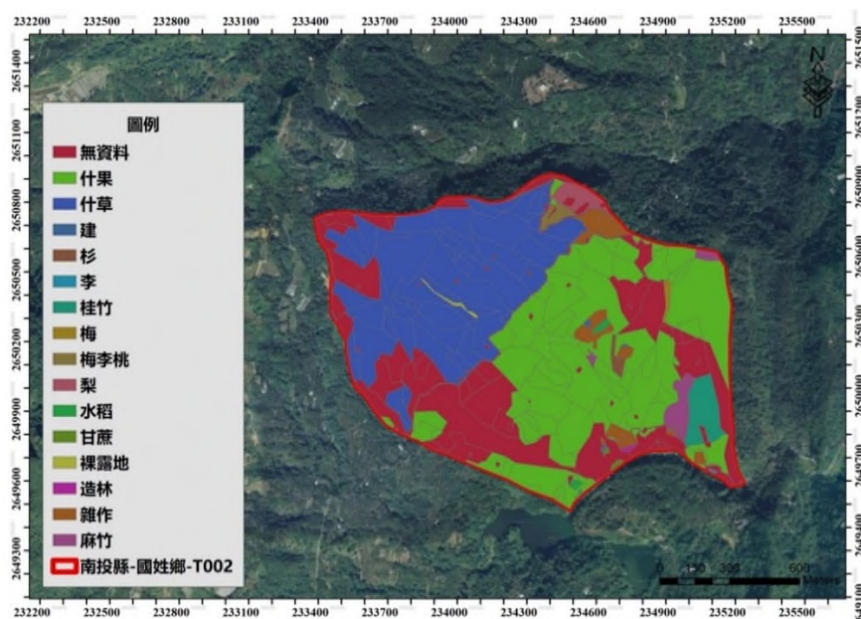


資料來源：本計畫製作

圖 5-8 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)道路分布圖

四、土地利用及權屬

根據水土保持局 109 年各縣市山坡地地籍圖層，本區內土地利用現況以什果和什草為主，其所占比例分別約為總面積 66.4%，面積為 118.9 公頃，如圖 5-9 及表 5-2 所示。本區土地權屬皆為行政院農業委員會水土保持局，如圖 5-10 所示。



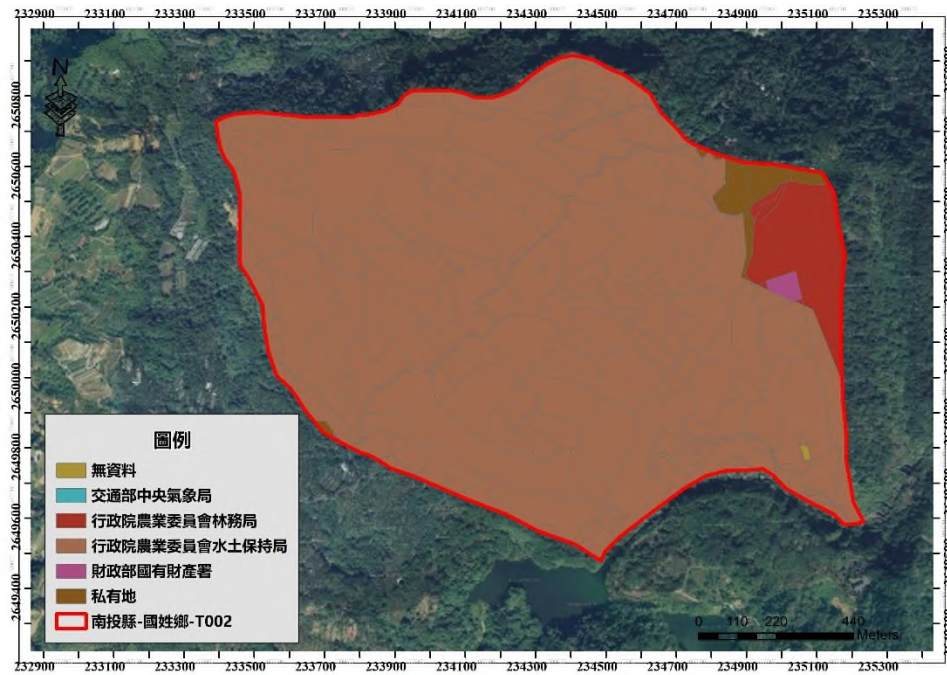
資料來源：本計畫製作

圖 5-9 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)土地利用分布圖

表 5-2 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)各種土地利用統計表

土地利用類別	面積(公頃)	百分比(%)
什果	64.83	36.20
什草	54.09	30.20
水稻	0.43	0.24
甘蔗	0.18	0.10
杉	0.54	0.30
李	0.04	0.02
建	0.16	0.09
桂竹	3.51	1.96
梅	0.38	0.21
梅李桃	0.79	0.44
梨	1.54	0.86
造林	0.13	0.07
麻竹	2.53	1.41
裸露地	0.27	0.15
雜作	4.51	2.52
無資料	45.18	25.23
總計	179.09	100.00

資料來源：本計畫製作



資料來源：本計畫製作

圖 5-10 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)土地權屬示意圖

五、氣象水文

本區雨量參考鄰近中央氣象局設置之九份二山雨量站(站號 C1I230；經度 120.8450 度，緯度 23.9619 度；標高 837 公尺)，統計 2015~2021 年近年雨量資料，年平均降雨量約為 2,341 mm，區域每年降雨多集中在 5~9 月梅雨季節與夏季颱風影響期間，該期間平均累計雨量約 1,678 mm，約占全年總雨量之 72%；而 10 月~翌年 4 月期間，降雨量則明顯較少，如表 5-3 所示；年平均氣溫約 23.0°C，平均溫度最高與最低月份，依序分別為 7 月之 27.2°C 及 2 月的 16.9°C，如表 5-4 所示。

表 5-3 南投縣國姓鄉-T002 九份二山雨量站平均年雨量表

年	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	年雨量
2015	15.5	11.0	22.0	86.0	637.5	219.0	74.0	-	-	-	-	-	1065.0
2016	300.0	48.5	276.5	303.0	154.0	663.5	235.5	173.0	320.0	65.5	76.5	15.5	2631.5
2017	5.5	14.5	61.0	177.0	268.0	1503.0	455.5	213.0	215.0	84.5	74.5	21.5	3093.0
2018	159.0	76.5	57.5	103.5	167.5	746.5	535.5	299.0	27.0	4.0	23.0	1.0	2200.0
2019	12.0	7.0	158.0	125.5	611.5	807.5	236.0	604.0	126.5	13.0	0.0	90.0	2791.0

2020	16.5	19.5	18.0	41.5	297.5	321.0	373.0	235.0	123.0	1.0	3.5	50.5	1500.0
2021	14.0	27.0	15.0	21.5	447.5	847.5	300.5	1096.5	260.0	29.0	23.0	21.5	3103.0
平均雨量	74.6	29.1	86.9	122.6	369.1	729.7	315.7	187.2	76.5	14.1	14.3	14.3	2340.5

資料來源：中央氣象局竹崎雨量站

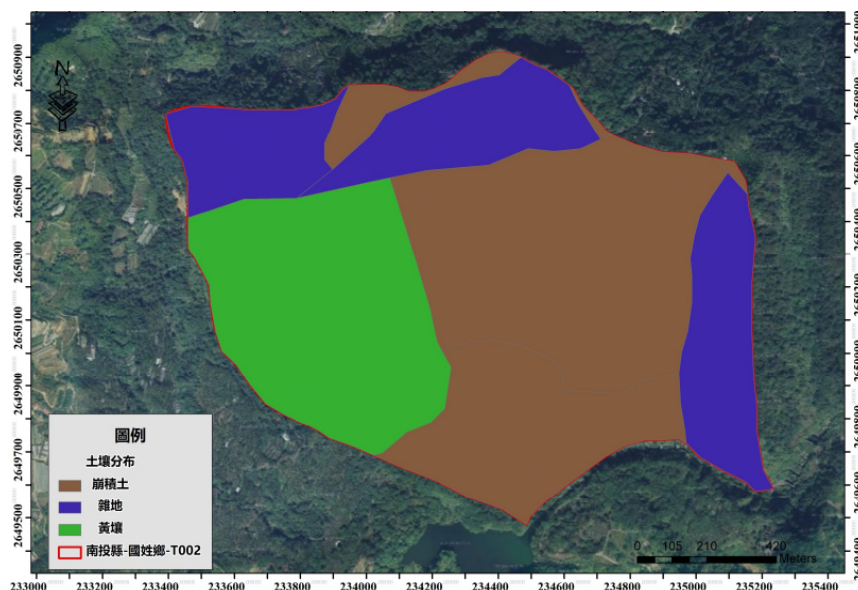
表 5-4 南投縣國姓鄉-T002 九份二山雨量站平均溫度表

年	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	年平均
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	26.1	24.9	23.0	18.5	23.1
2016	16.0	15.5	17.4	23.4	25.6	26.4	27.2	27.4	26.2	25.9	22.1	19.2	22.7
2017	18.0	17.0	19.7	22.1	25.4	25.7	27.1	27.8	27.7	25.1	22.7	17.6	23.0
2018	16.6	16.0	19.5	22.8	26.8	26.8	27.1	26.6	27.0	23.9	22.4	20.1	23.0
2019	18.8	20.6	20.4	23.6	24.0	25.9	27.0	26.7	26.3	24.8	21.8	18.0	23.2
2020	17.0	17.9	21.2	21.3	25.7	27.0	27.3	26.8	26.7	25.5	22.9	18.9	23.2
2021	14.7	18.1	21.1	23.5	27.4	25.8	27.7	26.5	27.6	25.7	21.6	17.6	23.1
平均氣溫	16.9	17.5	19.9	22.8	25.8	26.3	27.2	27.0	26.8	25.1	22.4	18.6	23.0

資料來源：中央氣象局竹崎雨量站

六、土壤分布

本區土壤以崩積土占 49.93%為最高，雜地占 26.89%為次之，如圖 5-11 所示。區內之土壤為暗色崩積土，此類土壤多為發育較新之土壤，主要由砂頁岩、泥岩風化物之崩積化育所成之崩積土，如表 5-5 所示。南部地區多為崩積土，地質鬆軟，加上 921 大地震後地表崩積土多，以及桃芝颱風的摧殘，形成相當多之崩坍與土石流堆積區。該區亦是由砂岩、頁岩、泥岩等風化物崩積化育而成，土色多為黃色至灰黃色，石礫含量相當豐富。



資料來源：本計畫製作

圖 5-11 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)土壤分布示意圖

表 5-5 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)土壤分布統計表

土壤分類	面積(公頃)	百分比(%)
崩積土	0.86	0.48
雜地	0.47	0.26
黃壤	0.47	0.26
總計	179.09	100.00

資料來源：本計畫製作

七、區域地質

九份二山崩塌地位於西部麓山帶地質區內，根據經濟部中央地質調查所(2000)出版之埔里圖地質圖幅所示，九份二山崩塌地位於大岸山向斜之西翼，東距水里坑斷層約 2 公里。附近區域出露之地層以中新世之地層為主，由老而新包含炭寮地頁岩、石門層、樟湖坑頁岩、深坑砂岩等，另大岸山向斜的軸部附近則有上新世的桂竹林層出露。水里坑斷層以東之區域，則有始新世至漸新世的白冷層及水長流層分布。

大岸山向斜軸線呈南北向延伸，軸部由桂竹林層所構成，其

下與樟湖坑頁岩以不整合相接觸，再下依序為石門層、炭寮地頁岩等中新世地層。向斜東翼岩層呈南北走向，向西傾斜約 50° ；西翼岩層呈北東走向，向東傾斜約 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，因此為一不對稱向斜，東翼較陡，西翼較平緩，同時向斜軸微向南傾沒。區域地質圖詳如圖 5-12 所示，3D 地質構造如圖 5-13 所示，各主要地層及地質構造描述如下：

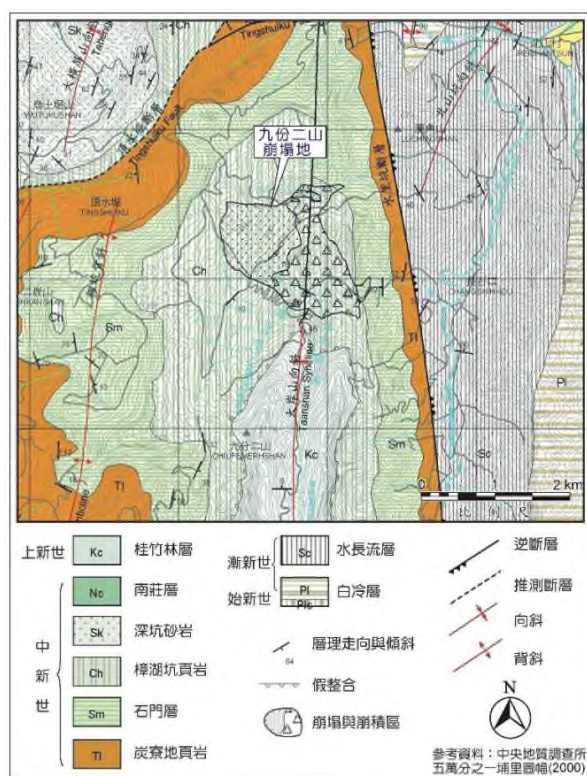
(一)地層

- 1.炭寮地頁岩(Tl)：以灰至深灰色純淨厚層頁岩為主要岩性，偶間夾薄層細砂岩，當砂岩層增多時，可以構成砂頁岩薄互層，含多量海綠石。在標準地單層砂岩之最厚者可達 1 公尺。本層含多量海相有孔蟲、貝類等化石，為外淺海之沈積環境。
- 2.石門層(Sm)：本層以三層堅緻白灰至淺灰色細至中粒厚層砂岩，間夾深灰色頁岩或砂頁岩薄互層為主要岩性。此三層厚砂岩在野外極易辨認，常常造成懸崖、山稜或瀑布，為極重要之指準層，在航空照片的立體鏡下追蹤尤其迅速而有效。此三層砂岩之厚度，在標準剖面所見為：下層 30 公尺，中層 15 公尺，上層 40 公尺，但不同地點間變化頗大。
- 3.樟湖坑頁岩(Ch)：以厚層暗灰色頁岩為主要岩性，偶夾薄層砂岩，頁岩為厚層或塊狀，極純淨，野外有時甚難與炭寮地頁岩區分；砂岩夾層較少，單層厚度一般小於 3 公尺，愈往頂部所夾砂岩層漸多，最後厚砂岩出現時即進入深坑砂岩層。
- 4.深坑砂岩(Sk)：由厚層塊狀砂岩及暗灰色頁岩組成。砂岩通

常為灰至淡灰色，細粒泥質或粉砂質，常連續出現而構成巨厚累層，造成陡峻之懸崖。砂岩部分為石灰質，常含多量之貝類及有孔蟲化石。頁岩為灰色或青灰色，常與薄層砂岩構成互層

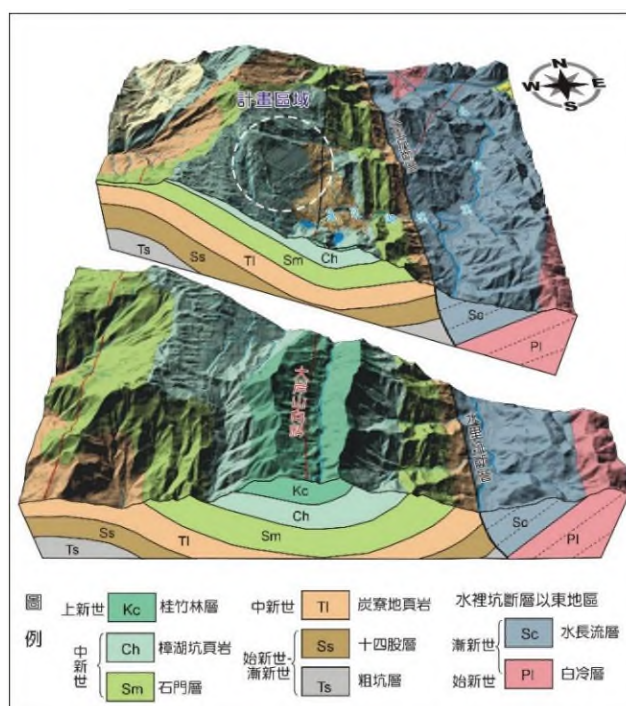
(二)地質構造

- 1.大岸山向斜：本向斜南北延伸，軸線大致通過大岸山，為一不對稱向斜構造，東翼較陡，岩層傾角從 10 至 70 度，西翼傾角較平緩，自 10 至 50 度，且由軸部往兩側岩層傾角逐漸變陡。向斜延長超過 13 公里，褶軸北段向南傾沒，南段亦微向北傾，至中間部位復恢復水平延展。
- 2.粗坑背斜：本背斜略作南北延伸，長約 11 公里，軸部通過中寮鄉粗坑村，於大坑附近呈向北傾沒現象，但向北延至二崁山之北段則恢復水平延展，兩翼則較平緩開展。背斜南段之西翼連接仙洞坪向斜之東翼，軸部出露最老之粗坑層，向兩翼分別出露十四股層、炭寮地頁岩、石門層、樟湖坑頁岩等。
- 3.水里坑斷層：本斷層為一重要縱向大斷層，約呈南北向，東側為雪山山脈輕度變質岩區域，西側為第三紀未變質區域，斷層野外甚難發現斷層直接露頭，但地形線型極為明顯，除了直線狀河道，地形鞍部特徵外，地形坡度的突變處最為明顯。本斷層東側上盤岩層由白冷層及水長流層所構成，西側下盤大部分由樟湖坑頁岩與炭寮地頁岩構成，兩側岩層岩性、變質度、構造型態及地形發育期等皆有極大差異，且由地面斷線略呈直線現象可推測為一高角度逆衝斷層，斷面傾向東。



資料來源：110 年度國姓鄉 T002 崩塌地及隙頂村(番路鄉 D004) 潛在大規模崩塌調查監測

圖 5-12 南投縣國姓鄉九份二山(T002)區域地質示意圖



資料來源：110 年度國姓鄉 T002 崩塌地及隙頂村(番路鄉 D004) 潛在大規模崩塌調查監測

圖 5-13 南投縣國姓鄉九份二山(T002)地層構造示意圖

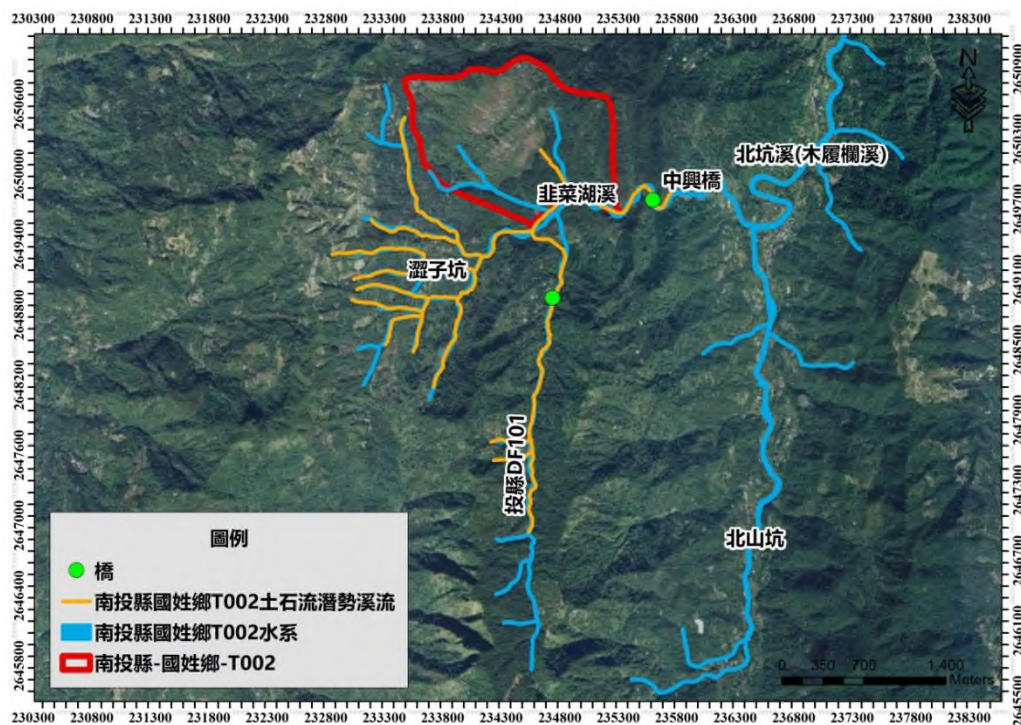
八、水系與土石流潛勢溪流

經查詢行政院農業委員會水土保持局「土石流防災資訊網」，本區崩塌區下方河道為投縣 DF101 土石流潛勢溪流，如表 5-6 及圖 5-14 所示。表中，該潛勢溪流集水面積達 993.97 公頃，屬於中等潛勢。

表 5-6 南投縣 DF101 土石流潛勢溪流資訊

地標	中興橋	型式	溪流型
警戒值(mm)	350	集水面積(公頃)	993.97
土地類別	山坡地	岩性	厚層砂岩、頁岩、砂頁岩互層
風險潛勢等級	中	初估保全對象	5 戶以上
鄰近道路	長石巷	歷史災害	90 年桃芝颱風、96 年豪雨

資料來源：行政院農業委員會水土保持局「土石流防災資訊網」，2022



資料來源：行政院農業委員會水土保持局「土石流防災資訊網」，2022

圖 5-14 南投縣 DF101 土石流潛勢溪流位置圖

九、歷年治理情形

本區主要問題在於堆積土體本身的邊坡穩定問題及地表排

水可能引發的淘刷向源侵蝕，表 5-7 為本區歷年工程治理情形。

表中，本區重大工程項目有崩塌地緊急處理與水土保持處理之分。

(一)崩塌地緊急處理

1.開挖溢洪道：由於崩塌地下端距下游南港社區僅約 1,200 公尺，為防止堰塞湖之崩塌土石潰決，導致崩塌土石二次災害，於 1999 年 10 月 10 日發包施工挖掘寬度 20 公尺、深度 2 公尺、長 1,450 公尺緊急排水道，作為排除堰塞湖之溢流水，並將挖出之部分土石填入湖內，降低堰塞湖容量減小其危險性。另，為避免溢流道因堰塞湖水嚴重沖刷而發生災害，隨後於 2000 年 06 月完成溢洪道加強工程，以現場採取之大塊石，排砌、加固溢流道兩岸及底床，達到穩定溪床及美化景觀之目的。

2.坡趾壓重工程：經研判崩塌地可能發生二次災害，且可能危及居民之生命財產安全或公共設施，隨即採行可消除誘因，增加抵抗力且具即效性之方法，如阻止地表水滲入崩塌區內、臨時排水、坡趾加載等緊急處理。堰塞湖水位升高後，堆積體內之地下水壓亦逐漸升高，且末端坡趾發現湧水等不穩定現象，經檢討以空貨櫃內填現場採取之砂石材料，迅速完成全國第一座具排水功能的貨櫃壩加載工程。

(二)水土保持處理

1.梳子壩工程：為降低土砂災害發生之規模及增加崩塌地坡趾之穩定性，規劃設計特殊透水性防砂壩，於 2000 年 08 月完成堰塞湖下游梳子壩及潛壩興建工程；梳子壩主壩長 131 公尺、高 14 公尺；副壩長 84 公尺、高 8 公尺；潛壩長 30 公尺、高 5 公尺。

2.柱狀透過性潛壩工程 2001 年桃芝颱風肆虐，堰塞湖溢洪道發生向源侵蝕現象，南投分局立即針對溢洪道脆弱地質特性，陸續規劃設計柱狀透過性潛壩，於 2003 年 01 月止完成 20 座柱狀透過性潛壩。相較於傳統防砂壩透水性集中於接近溢水口階段，本壩透水性是從底部開始整座壩體兼具透水性，適用於九份二山特殊地質。柱狀透過性潛壩單一構體壩長 42 公尺有效壩高 5 公尺，圓柱直徑 1 公尺三排間格排列距離 1 公尺，工程基座底部夯打三排 40 公斤/公尺，6 公尺長鋼軌樁三排，圓柱均以鋼筋完整銜接，空隙排放現場大塊石。

(三)歷年委託專業服務計畫

從 921 地震後，九份二山地區地質條件變得極微脆弱，為事先預警投縣 DF101 土石流潛勢溪流發生土石流情事，因此水土保持局在 2002 年 07 月間完成九份二山觀測站建置，以進行土石流潛勢溪流現場動態的即時觀測，確實掌握土石流發生之現象與時間，作為土石流警戒基準值調整之參考依據。2002 年 11 月，崩塌區順向坡趾部再度發現上拱及張口裂隙等異常現象，水土保持局為掌握九份二山崩塌地是否繼續活動，隨即於 2003 年辦理「九份二山崩塌地觀測計畫」，進行地質鑽探、地表變動觀測、孔內傾斜及地下水觀測等監測，以了解地表及地下變動情形，作為颱風豪雨來臨時，緊急應變之參考。表 5-8 為歷年委託專業服務計畫一覽表。

表 5-7 南投縣國姓鄉九份二山(T002)歷年工程治理一覽表

年度	計畫名稱	子計畫	工程編號	工程名稱	執行機關
88-89	～	～	～	澀仔坑崩塌地緊急排水道工程	南投分局
88-89	～	～	～	澀仔坑排水道緊急處理工程	南投分局
88-89	～	～	～	金瓜寮農路緊急搶修工程	南投分局
88-89	～	～	～	金瓜寮農路修復工程	南投分局
88-89	～	～	～	斗山野溪災修工程	南投分局
88-89	～	～	～	九份二山災害治理工程	南投分局
88-89	～	～	～	九份二山裸露地植生綠化	南投分局
88-89	～	～	～	澀仔坑大崩坍地深坑整平緊急處理工程	南投分局
88-89	～	～	～	澀仔坑排水道砌塊石緊急處理工程	南投分局
88-89	～	～	～	澀仔坑崩坍土體坡趾緊急處理工程	南投分局
88-89	～	～	～	澀仔坑土體坡趾緊急處理工程	南投分局
88-89	～	～	～	金瓜山農路復建工程	南投分局
88-89	～	～	～	金瓜寮便道復建工程	南投分局
88-89	～	～	～	九份二山崩坍地處理二 工程	南投分局
90	農村新風貌	九二一震災農村聚落重建規劃及建設計畫	SC04-015	九份二山九二一震災紀念地景新建工程	國姓鄉公所
90	加強山坡地水土保持計畫	治山防災	CF33-997	九份二山陳寶山宅前土石疏通工程	南投分局
90	九二一重建區土石流及崩塌地源頭緊急水土保持處理計畫	土石流及崩塌地源頭緊急水土保持處理計畫	ES3-335	九份二山溢洪水道邊坡植生工程	南投分局
90	加強山坡地水土保持計畫	治山防災	TZ3-006	九份二山中興橋下游河道疏通工程	南投分局
90	加強山坡地水土保持計畫	九二一震災復建工程	TZ3-109	九份二山排水道緊急疏通工程	南投分局
91	加強山坡地水土保持計畫	九二一震災復建工程	91EG05-001	九份二山崩塌地加強工程	南投分局
91	加強山坡地水土保持計畫	九二一震災復建工程	91EG05-002	九份二山中興橋下游維護工程	南投分局
91	九二一震災重建特別預算(剩餘款)	農村聚落重建	SC06-38	九份二山傾斜屋至山茶巷道路改善工程	南投縣政府
91	九二一震災重建特別預算(剩餘款)	土石流災害防治	SS05-765	九份二山崩坍地處理三期工程	南投分局
92	加強山坡地水土保持計畫	區域性水土保持處理與維護	92AS02-22	九份二山加強環境改善 工程	南投分局

年度	計畫名稱	子計畫	工程編號	工程名稱	執行機關
92	特定水土保持區劃定與治理計畫	特定水土保持區劃定與治理	92EZ05-10	國姓鄉南港村九份二山之一崩塌地處理	南投分局
92	特定水土保持區劃定與治理計畫	特定水土保持區劃定與治理	92EZ05-11	國姓鄉南港村九份二山之二崩塌地處理	南投分局
92	加強山坡地水土保持計畫	崩塌裸露地植生復育	92LR01-029	九份二山國家地震紀念地—原生植物展示區營造工程	南投分局
92	九二一震災重建特別預算(剩餘款挹注振興計畫)	農村聚落重建	92RC1-001	九份二山紀念碑及石門觀景點環境改善工程	南投分局
92	九二一震災重建特別預算(剩餘款挹注振興計畫)	農村聚落重建	92RC1-002	九份二山參觀動線改善工程	南投分局
92	九二一震災重建特別預算(剩餘款挹注振興計畫)	農村聚落重建	92RC1-003	九份二山解說設施工程	南投分局
92	九二一震災重建特別預算(剩餘款挹注振興計畫)	農村聚落重建	92RC1-131	九份二山公共設施及美化工程	國姓鄉公所
92	九二一震災重建特別預算(剩餘款挹注振興計畫)	農村聚落重建	92RC1-142	九份二山生態教育中心什項設施工程	南投分局
92	九二一震災重建特別預算(剩餘款挹注振興計畫)	土石流災害防治(二特)	92SS-143	九份二山崩塌地處理四期工程	南投分局
93	加強山坡地水土保持計畫	治山防災	93B-0721	九份二山石門觀景點旁 小堰塞湖積水排除	南投分局
93	更新基金重建區流域整體治理	源頭處理	93ERC-020	九份二山斜屋之二	南投分局
93	農村新風貌	農村新生活圈規劃及建設	93ERE-087	九份二山柱狀壩緊急處理工程	南投分局
93	九二一震災重建特別預算(振興計畫剩餘款增辦)	源頭處理(一特)	93ESC-018	九份二山斜屋前崩塌地工程	南投分局
93	加強山坡地水土保持計畫	崩塌裸露地植生復育	93LR01-032	九份二山中興橋周邊裸露地植生工程	南投分局
93	加強山坡地水土保持計畫	崩塌裸露地植生復育	93LR01-036	九份二山原生植物展示區二期工程	南投分局
93	更新基金重建區農村聚落重建	農村聚落重建	93RC1-056	九份二山傾斜屋補強工程	南投分局
93	更新基金重建區農村聚落重建	農村聚落重建	93RC1-073	九份二山紀念園區維護管理工程	國姓鄉公所
94	農村聚落重建 93 年執行後賸餘款增辦九份二 山土地管理維護計畫	特別預算(二期)	94EM-001	九份二山參觀動線土方 清除工程	南投分局
94	農村聚落重建 93 年執行後賸餘款增辦九份二 山土地管理維護計畫	特別預算(二期)	94EM-002	九份二山參觀動線排水 改善工程	南投分局

年度	計畫名稱	子計畫	工程編號	工程名稱	執行機關
94	農村聚落重建 93 年執行後賸餘款增辦九份二山土地管理維護計畫	特別預算(二期)	94EM-003	九份二山石門窪地排水 工程	南投分局
94	農村聚落重建 93 年執行後賸餘款增辦九份二山土地管理維護計畫	特別預算(二期)	94EM-004	九份二山道路及公共設施修復工程	南投分局
94	農村聚落重建 93 年執行後賸餘款增辦九份二山土地管理維護計畫	特別預算(二期)	94EM-005	九份二山苗圃蓄水池及灌溉設施工程	南投分局
94	農村聚落重建 94 年增辦剩餘款挹注重建區振興計畫(第二期特別預算)	農村聚落重建(94 增辦)	94EMA-001	九份二山龍南產業道路修復工程	南投縣政府
94	天然災害復建復育計畫	天然災害復建復育計畫	94ND-039	九份二山災害復建工程	南投分局
94	鄉村新風貌	重建區農村聚落重建-農村聚落建設	94RC11-04	九份二山窪地填土工程	南投分局
94	鄉村新風貌	重建區農村聚落重建-農村聚落建設	94RC2-017	九份二山道路改善工程	南投分局
94	加強山坡地水土保持計畫	環境綠美化	94WE36-002	九份二山綠美化環境改善工程等 5 件委託測設工程	南投分局
94	加強山坡地水土保持計畫	治山防災	94WS01-029	九份二山整治五期工程	南投分局
95	鄉村新風貌-營造農村新風貌計畫	改進鄉村環境品質	95RL3-005	九份二山公共設施維護 工程	南投分局
95	國土復育策略方案暨行動計畫	建構土石流高潛勢溪流安全防護網	95WS202-009	九份二山綠美化及環境改善工程	南投分局
95	加強山坡地水土保持計畫	治山防災	95WS363-010	九份二山邊坡緊急處理 工程	南投分局
95	易淹水地區水患治理計畫	治山防洪	95-WS-3- M09-081	九份二山整治六期工程	南投分局
96	鄉村新風貌-營造農村新風貌計畫	改進鄉村環境品質	96RL04-11	九份二山公共設施維護 二期工程	南投分局
96	加強山坡地水土保持計畫	治山防災	96WS2075- 002	九份二山野溪旁緩衝綠帶工程	南投分局
96	加強山坡地水土保持計畫	治山防災	96WS3041- 012	九份二山緊急處理工程	南投分局
97	坡地水土資源管理	水土資源保蓄公共設施	97AC04-01	九份二山蓄水池工程	南投分局
97	鄉村新風貌-營造農村新風貌計畫	改進鄉村環境品質	97RL08-11	九份二山及大旗村公共設施維護工程	南投分局
97	易淹水地區水患治理計畫	治山防洪	97S-WF-3-M04-004	九份二山整治七期工程	南投分局
97	加強山坡地水土保持計畫	治山防災	97WS2017- 001	九份二山溢洪道緊急處理工程	南投分局

年度	計畫名稱	子計畫	工程編號	工程名稱	執行機關
97	加強山坡地水土保持計畫	治山防災	97WS3025- 070	九份二山崩塌地緊急處理工程	南投分局
97	加強山坡地水土保持計畫	治山防災	97WS3034- 149	九份二山崩塌地緊急處理工程	南投分局
98	振興經濟擴大公共建設	農村聚落規劃與重建(農村社區設施修復)	98CR3-003	九份二山觀景台安全維護工程	國姓鄉公所
98	振興經濟擴大公共建設	重劃區外緊急農路設施改善計畫	98FR3002-017	九份二山 7 號農路周邊農路改善工程	南投分局
98	振興經濟擴大公共建設	加速山坡地土砂災害緊急處理(資本門)	98S-ADE-09- 3-315	九份二山柱狀壩緊急維護工程	南投分局
98	整體性治山防災計畫	治山防災及水庫集水區保育	98WS3002- 027	九份二山整治八期工程	南投分局
99	振興經濟擴大公共建設	重劃區外緊急農路設施改善計畫	99FR3008-001	九份二山園區第一期農路改善工程	南投分局
99	推動農村再生計畫	農村基礎生產條件改善	99RL03-01	九份二山傾斜屋及石門觀景點週邊設施維護工程	南投分局
100	農村再生建設及發展計畫	重劃區外緊急農路設施改善計畫	100FR3342-009	九份二山路面排水改善工程	國姓鄉公所
100	莫拉克颱風災後重建	水土保持防災與復建-水土保持復建	100MSS4002- 1	九份二山園區降雨警戒之道路管制設施	國姓鄉公所
102	整體性治山防災計畫	治山防災(土砂災害防治)	102-ADE-01- 3-016	九份二山柱狀壩補強工程	南投分局
102	農村再生社區發展及環境改善計畫	農村再生社區發展及環境改善(農村社區建設)	102RFI3-09-018	九份二山地震園區修繕工程	南投分局
103	農村再生社區發展及環境改善計畫	農村再生社區發展及環境改善(農村社區建設)	103RFR-14-001	九份二山地震園區公共設施改善工程	南投分局
104	重劃區外緊急農路設施改善計畫	重劃區外緊急農路設施改善計畫	104FR3311-010	九份二山 7 號農路改善工程	南投分局
	農村再生社區發展及環境改善計畫	農村再生社區發展及環境改善(農村社區建設)	104RFR-15-001	九份二山休憩設施改善工程	南投分局

資料來源：110 年度國姓鄉 T002 崩塌地及隙頂村(番路鄉 D004) 潛在大規模崩塌調查監測

表 5-8 南投縣國姓鄉九份二山(T002)歷年委託專業服務計畫

年份	報告名稱
2001 年	九份二山堰塞湖規劃及防災演計畫
2003 年	九份二山崩塌及堰塞湖治理報告
2005 年	九份二山觀測計畫
2005 年	應用生態指數探討九份二山、華山及草嶺地區植生復育空間分布調查分析
2006 年	九份二山崩塌地觀測計畫
2007 年	九份二山崩塌地地形變動觀測計畫
2008 年	九份二山崩塌地地表變動觀分析及成果展示
2009 年	九份二山崩塌地觀測及警戒機制整合平台建立
2012 年	101 年藤枝林道 3.5K 及九份二山崩塌地監測計畫
2013 年	102 年藤枝林道 3.5k 及九份二山崩塌地監測與潛在崩塌地簡易 監測研析計畫
2014 年	103 年藤枝林道 3.5k 及九份二山崩塌地監測與後續因應措施研 究計畫
2015 年	104 年度萬山、寶山、來義、藤枝林道 3.5k 及九份二山等崩塌地區監測系統維運與擴充計畫(跨年)
2017 年	106 年度萬山、寶山、來義等八處大規模崩塌地區監測計畫
2018 年	107 年度萬山、寶山、來義等八處大規模崩塌地區監測計畫
2019 年	108 年度萬山、寶山、來義等八處大規模崩塌地區監測計畫
2020 年	109 年度萬山、寶山、來義等八處大規模崩塌地區監測計畫
2021 年	110 年度國姓鄉 T002 崩塌地及隙頂村(番路鄉 D004)潛在大規模崩塌調查監測

資料來源：110 年度國姓鄉 T002 崩塌地及隙頂村(番路鄉 D004) 潛在大規模崩塌調查監測

十、監測儀器

(一)監測類型及站址分布

本區已實施長期之邊坡滑動監測。其中，自動監測站區分可分為 7 區，如圖 5-15 所示。圖中，B01 與 B02 監測站位於堰塞湖旁，B03 與 B05 監測站位於石門觀景台旁，B04 與 B06 監測站位於龍南道路旁，B07 監測站位於坡頂處，各站儀器名稱及數量表 5-9 所示。另，人工監測站包括 4 處 TDR 地層觀測系統，2 處水位觀測井，2 處孔內傾斜管及 2 處孔內伸縮計等，如表 5-10 所示，其位置分布如圖 5-16 所示。



資料來源：110 年度國姓鄉 T002 崩塌地及隙頂村(番路鄉 D004) 潛在大規模崩塌調查監測

圖 5-15 南投縣國姓鄉九份二山(T002)自動監測站分布圖

表 5-9 南投縣國姓鄉九份二山(T002)自動化監測站儀器配置表

站名	儀器名稱	數量(處)	設置年份	現況
B01	韭菜湖溪湖面水位計	1	2014 年	使用中
B02	澀子坑溪湖面水位計	1	2014 年	
B03	地下水位計	1	2014 年	
	地表傾斜儀	1	2019 年	
B04	地下水位計	1	2013 年	
	地表傾斜儀	1	2013 年	
	雨量計	1	2019 年	
B05	地表伸縮計	2	2013 年	
	地表雙軸傾斜儀	2	2020 年	
	CCD 攝影機	1	2013 年	
B06	地表傾斜儀	1	2020 年	
	孔內伸縮計	1	2021 年	
B07	孔內伸縮計	1	2021 年	

資料來源：110 年度國姓鄉 T002 崩塌地及隙頂村(番路鄉 D004) 潛在大規模崩塌調查監測



資料來源：110 年度國姓鄉 T002 崩塌地及隙頂村(番路鄉 D004) 潛在大規模崩塌調查監測

圖 5-16 南投縣國姓鄉九份二山(T002) 人工監測儀器分布圖

表 5-10 南投縣國姓鄉九份二山(T002)既有鑽探孔位資料表與監測項目

監測點	鑽探深度 (m)	有效深度 (m)	設置儀器	設置年份	現況
N1 TDR	50	50	TDR	2012 年	使用中
N2-1 TDR	50	22.65	TDR	2012 年	
N4 TDR	50	50	TDR	2016 年	
N5 TDR	50	50	TDR	2016 年	
B03-GW	50	50	自動化水位計	2014 年	
B04-GW	50	50	自動化水位計	2013 年	
BH-7	50	50	傾斜管	2012 年	
BH-8	50	50	傾斜管	2012 年	
B06-EM-1	40	40	孔內伸縮計	2021 年	
B07-EM-1	30	30	孔內伸縮計	2021 年	

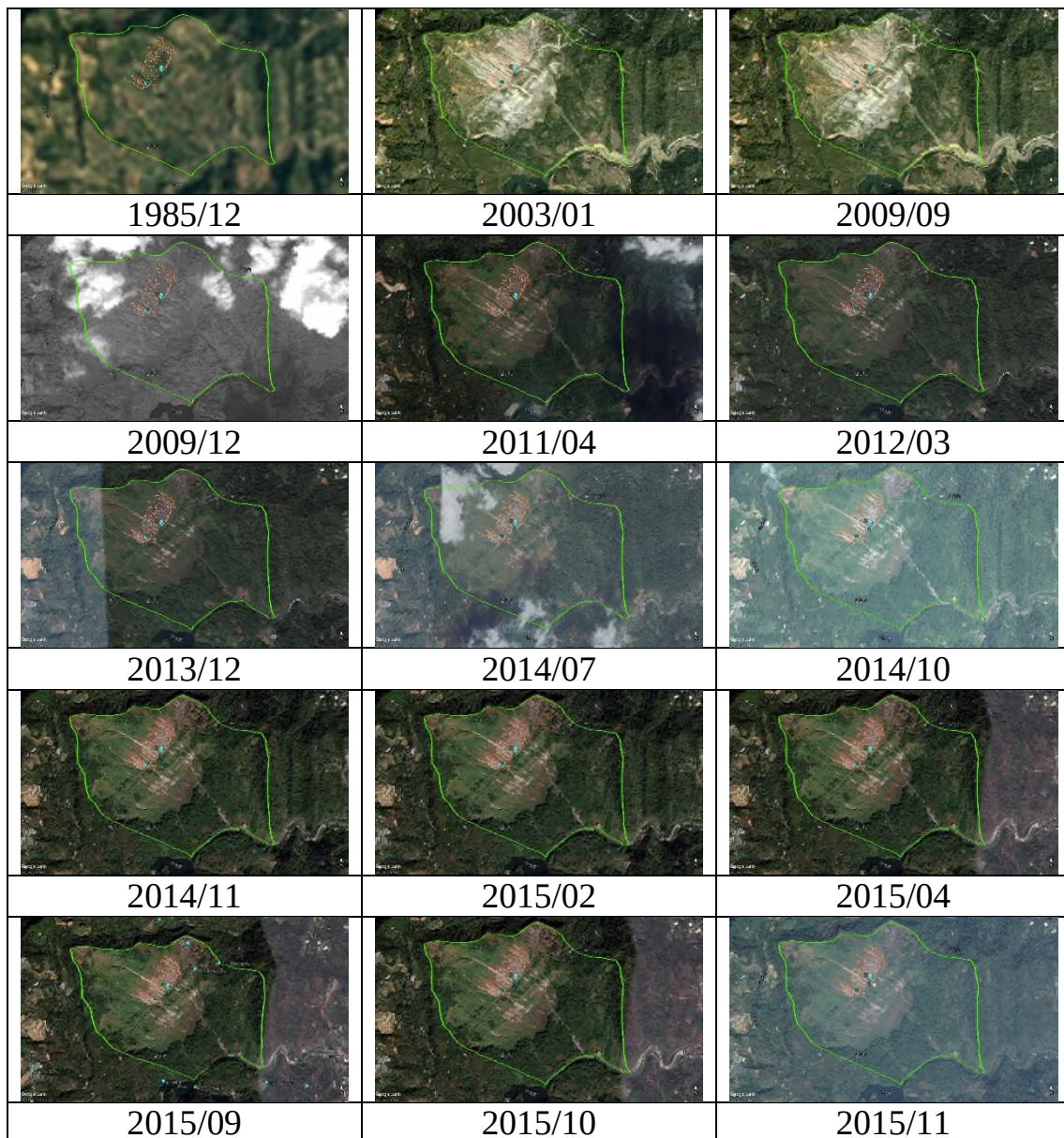
資料來源：110 年度國姓鄉 T002 崩塌地及隙頂村(番路鄉 D004) 潛在大規模崩塌調查監測

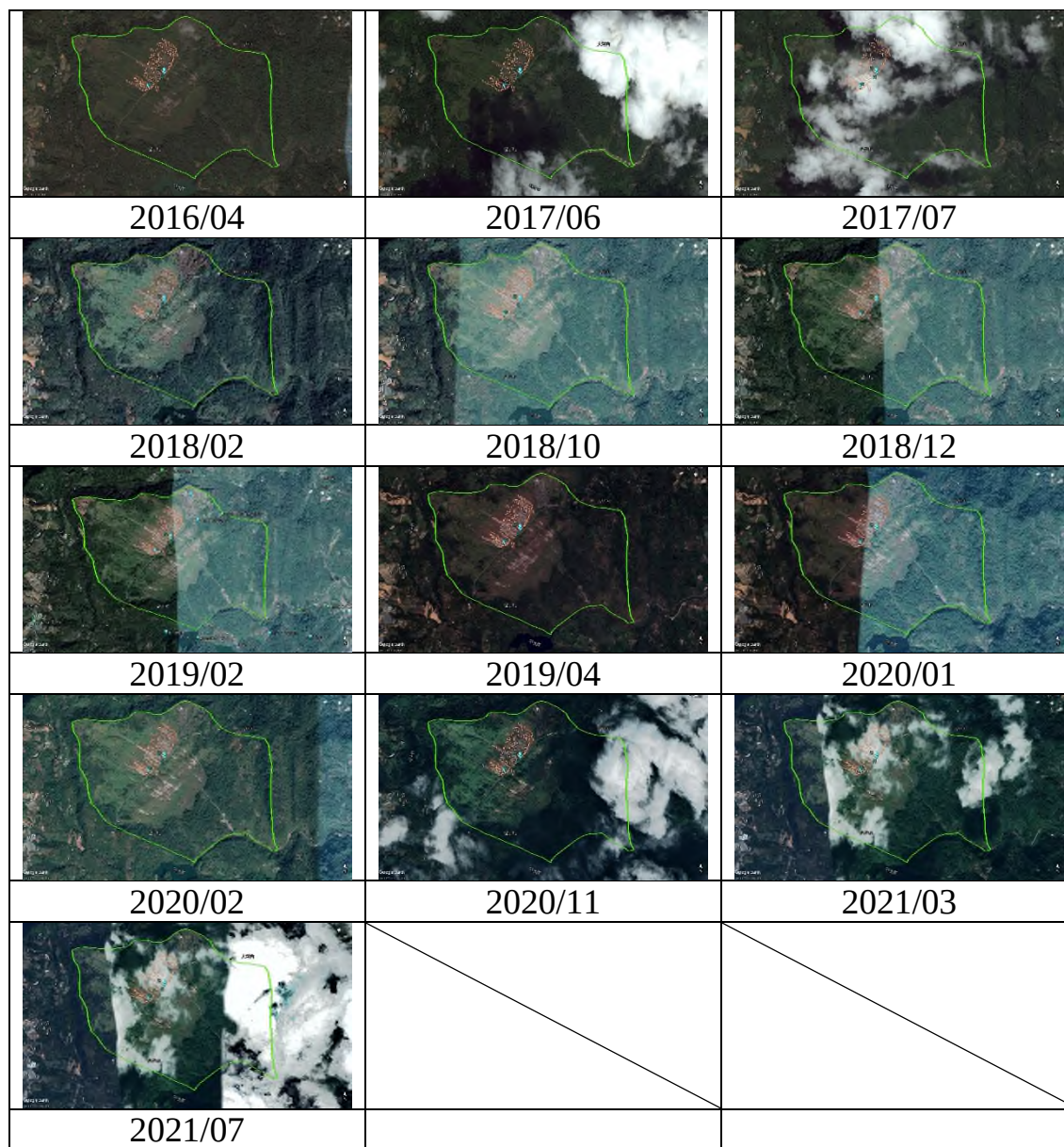
(二)前期監測成果

根據 110 年度現場監測數據，各監測儀器數據無明顯變化，現場亦無土砂危害產生，惟國姓鄉-T002(九份二山)地區位於龍南道路上 B06-TM 地表雙軸傾斜儀，在經歷 08 月盧碧颱風降雨期間 24 小時最大累積降雨量 342.5 mm，兩軸約有 0.3 度之變化，而位於同一站之 923- EL-6 孔內伸縮計則呈現穩定狀態，並無明顯變位，因此推測地表雙軸傾斜變化屬於局部地表變位。

十一、衛星影像

本計畫首先收集歷年衛星影像，用以初判各區之病兆發展情形，也作為後續參考依據；其中蒐集年份由 1985 年至 2022 年，惟 1985 年影像礙於當時科技限制，較為模糊。特別說明，部分影像由於當時天候環境等影響，可能有所遮蔽，但由於仍是該時間點唯一資料，故仍予以保留，經由 Google Earth 平台進行影像採集作業，如圖 5-17 所示。





資料來源：Google Earth

圖 5-17 歷年衛星影像－南投縣-國姓鄉-T002

第三節 現地調查彙整

一、坡面蝕溝

本區坡面蝕溝分布可概分為兩大區塊，一是龍南道路上邊坡崩塌區，另一是龍南道路下邊坡土石堆積區，如圖 5-18 所示。

(一)上邊坡崩塌區：該區出露岩層上有數條之蝕溝，如圖 5-19 所示，部分蝕溝有地表水流下，推測為坡頂殘留土層中流出的水體(參見圖 5-20)，順著蝕溝流至龍南道路，再經過龍南道路上邊坡排水溝排至下方土石堆積區。由於蝕溝底床為出露岩層，且坡度高達 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ，故無法實施蝕溝整治。

(二)土石堆積區：該區發育的蝕溝係由龍南道路上邊坡排水溝渠經 6 處靜水井流入土石堆積區所形成，這些蝕溝最終都匯入投縣 DF101 之支流。該區蝕溝寬深約在 1.0 m 以下屬於小型蝕溝，考量整治時必須新闢施工便道，對環境和生態的破壞可能更甚於治理成效，故建議暫緩處理。



圖 5-18 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)蝕溝分布示意圖



拍攝日期：111 年 04 月 12 日

圖 5-19 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)坡面崩塌區蝕溝發育



拍攝日期：111 年 04 月 12 日

圖 5-20 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)坡面崩塌區蝕溝排水

二、土石流潛勢溪流

位於本區內投縣 DF101 為韭菜湖堰塞湖下游之溢洪道。該溢洪道位於大量崩塌土石堆積區之上方，經開挖引流營造深槽，並施作系列柱狀壩、防砂壩、固床工等相關治理措施，基本上已取得一定的固床穩坡效果。但是，由於通過韭菜湖堰塞湖溢出的水流，水中泥砂含量經澀子坑及韭菜湖堰塞湖的沉砂作用而形成水多砂少的未飽和水流，再因橫向構造物抬高水流動能，經年累月地水流沖刷作用，最終導致橫向構造物下游溪床泥砂發生顯著的局部沖刷和基礎淘空現象，嚴重影響構造物之安定，如圖 5-21 所示。



資料來源：110 年度國姓鄉 T002 崩塌地及隙頂村(番路鄉 D004) 潛在大規模崩塌調查監測，南投分局

圖 5-21 南投縣國姓鄉-T002(九份二山)土石流潛勢溪流柱狀壩下游局部沖刷淘空

三、道路(含橋涵)水土保持

龍南道路貫穿本區，為本區主要道路。龍南道路位於本區範圍長度約 1,396m，路幅約 3.5 m，雖從監測資料部分路段有沉陷約 0.3 m，但整體路況維持良好。緊鄰上邊坡有堆置 3-5 層土包袋，阻隔來自上邊坡的水流灌入，土包袋後方為截取上邊坡崩塌區水流之橫向排水溝渠，並沿著龍南道路設有 6 座集水井。如圖 5-22 所示。

- (一)集水井 1：該集水井長度 2.85 m，寬度 2.9 m，深度 1.8 m，涵管直徑 1.7 m，現況維護良好。
- (二)集水井 2：該集水井長度 2.38 m，寬度 3 m，深度 1.85 m，涵管直徑 1.6m，現況維護良好。
- (三)集水井 3：該集水井長度 3.15 m，寬度 4.1 m，深度 2.4 m，涵管直徑=1.0 m，現況外觀尚稱良好，惟雜草叢生，應適時清理。
- (四)集水井 4：該集水井長度 4.5 m，寬度 4.8 m，深度 3.2 m，涵管直徑 1.0 m，現況維護良好。
- (五)集水井 5：該集水井長度=3.2 m，寬度=3.8 m，深度=2.3 m；涵管直徑=1.7 m，現況外觀尚稱良好，惟雜草叢生，且涵管下游出口有廢棄物堆置，應適時清理。
- (六)集水井 6：該集水井長度 3.9 m，寬度 4 m，深度 1.9 m；涵管直徑 1.2 m，現況外觀尚稱良好，惟雜草叢生，應適時清理。



資料來源：本計畫製作

圖 5-22 龍南道路上邊坡 6 座集水井位置示意圖

四、裸露地、崩塌地、不穩定土砂量

以龍南道路為界，其上邊坡為崩塌區，高程在海拔 500~1,000 m 間，崩塌面積約 102.5 公頃，崩塌深度 30~50 m，而下邊坡土石堆積區面積約 92.5 公頃，堆積土石以黃棕色之表土及風化岩，以及其下之新鮮灰色頁岩及砂岩層為主。

(一)崩塌區：由於該崩塌區冠部至分水嶺尚有 2.5 公頃的殘留土砂量，推估不穩定土砂量高達數拾萬立方公尺。由於坡度陡峭，此不穩定土砂殘仍有崩滑風險，不僅直接影響龍南道路之安全，也衝擊下邊坡土石流堆積區坡面排水及投縣 DF101 之排洪能力，從而引發坡面土砂災害。不過，存在實際治理的困難，故除了在豪大雨過程管制龍南道路通行外，亦應加強不穩定土砂的安全監測，例如設置全自動化孔內伸縮計，以即時了解可能之地層滑動。

(二)土石堆積區：該區雖屬鬆散的堆積材料，但因坡度較為平緩，其土

石材料運移的主要機制係以蝕溝發育為主。根據現地調查，該區蝕溝寬深均在 1.0 m 以下，屬於小型蝕溝，但這些蝕溝匯入投縣 DF101 支流之後，造成支流周界嚴重的沖淘刷現象，其裸露溪床和兩岸存在一定的不穩定土砂，必須予以整治，如圖 5-23 所示。



拍攝日期：111 年 04 月 12 日

圖 5-23 投縣 DF101 支流沖淘刷現況

五、安全排水

本區通過地表逕流所形成之蝕溝，為坡面的安全排水系統，如圖 5-22 所示。圖中，緊鄰龍南道路上邊坡邊溝為攔截崩塌區上之地表逕流，對下邊坡土石堆積區而言，該邊溝屬具有截水效能之橫向排水，再經由六座集水井及過路涵管匯入土石堆積區上的蝕溝，此為縱向排水，最終將地表逕流匯入投縣 DF101。受限於坡度及其他因素，除了緊鄰龍南道路上邊坡邊溝略有人為治理跡象外，其餘蝕溝皆未經排水治理。表中，該溝渠屬於不規則形狀之土質溝，溝長約 704m，寬度介於 1-3m，深度介於 1-2m，按排水分區計設置 6 處集水井及涵管，引導水流進入土石堆積區。

六、南投縣國姓鄉-T002(九份二山)現地調查成果

經過通過現地調查及 UAV 影像可歸納出下列重點，包括：

- (一)投縣 DF101(溢洪道)主流兩岸邊坡植生恢復良好，植生覆蓋完整，已無明顯之崩塌裸露地。但是，左岸支流因未實施治理，現況溪床及兩岸有明顯沖刷現象，應加速處理。
- (二)投縣 DF101(溢洪道)部分橫向構造物下游存在明顯的局部沖刷及淘空現象，雖然對壩體安定未有立即危險，惟仍應持續監測其發展趨勢，適時提供處理措施。
- (三)龍南道路上邊坡邊溝為不規則斷面土質溝，溝渠多有侵蝕裸露現象。因此，建議採用土包袋或其他柔性材料作為內面工，並調整其斷面以利排水。

第四節 現地圖像採集與分析

本計畫彙整藉由人力及無人機調查之相關影像，並藉由全景圖標示位置予以編號，再行陳列詳細圖，而後歸納本區調查成果：

一、全景圖

根據前述方法，將邊坡利用地形分界予以區隔，本計畫區共劃分 4 處邊坡，如表 5-11 所示，本區主要地形分界為土質坑溝及集水井(6 處)。

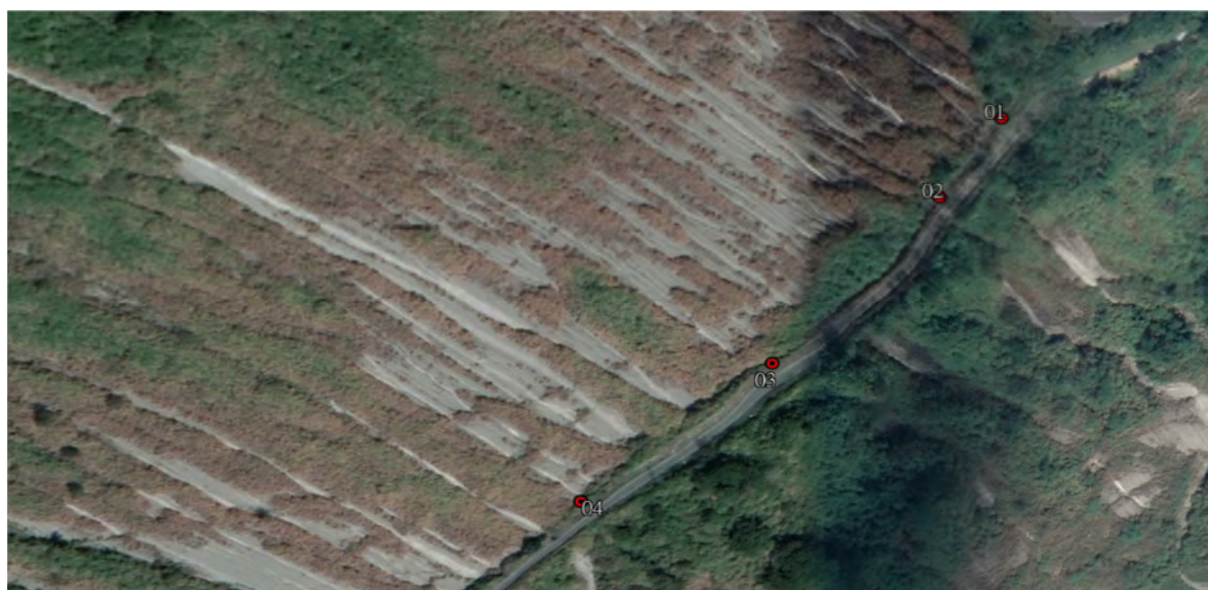


圖 5-24 邊坡編號情形－南投縣國姓鄉-T002

表 5-11 南投縣國姓鄉邊坡編號與位置

邊坡編號	X(TWD97)	Y(TWD97)
南投 01	234349	2650557
南投 02	234318	2650510
南投 03	234234	2650411
南投 04	234081	2650277

二、詳細圖

彙整藉由人力及無人機調查相關影像，將邊坡單元予以編號、影像彙整與編號，如圖 5-25 至圖 5-32 所示。



圖 5-25 南投縣國姓鄉邊坡編號 1 全景圖



圖 5-26 南投縣國姓鄉邊坡編號 2 全景圖

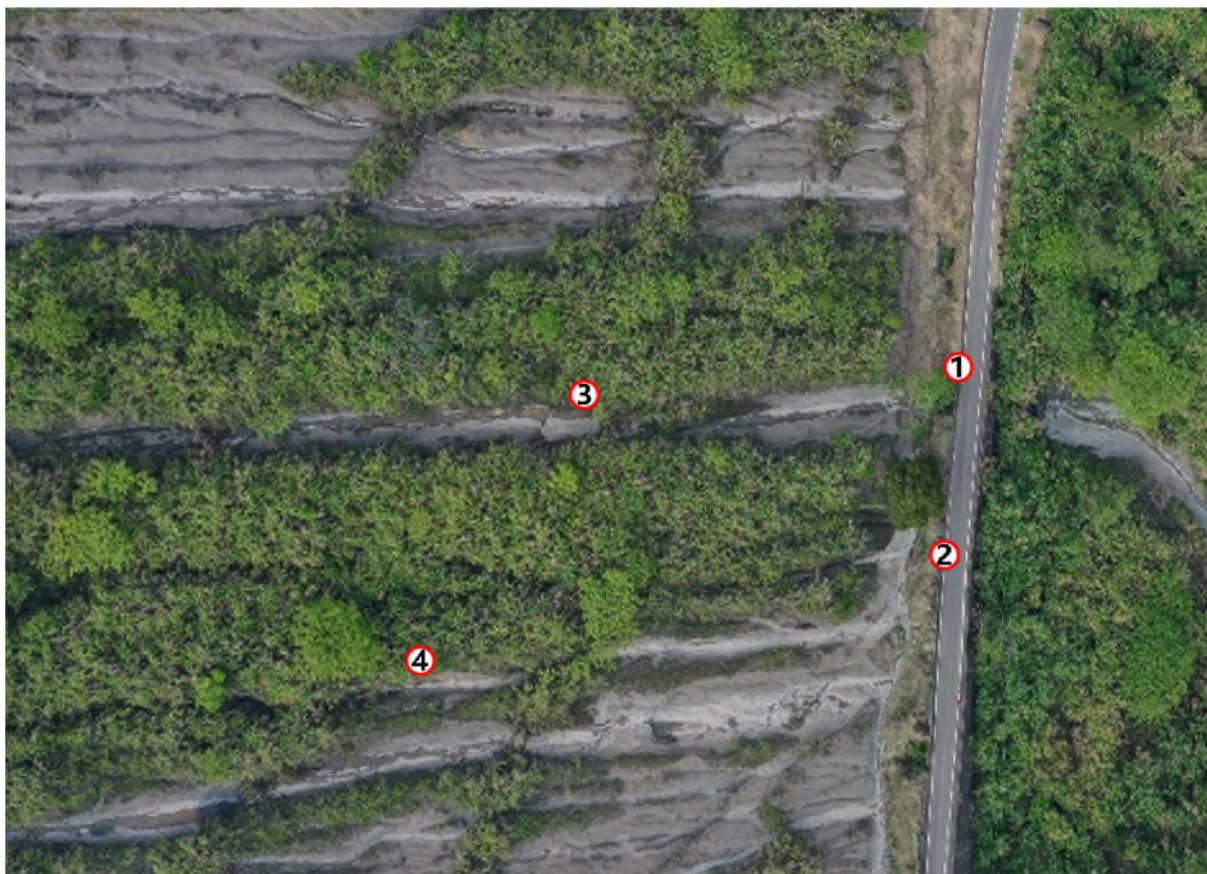


圖 5-27 南投縣國姓鄉邊坡編號 3 全景圖



圖 5-28 南投縣國姓鄉邊坡編號 4 全景圖

1 坡面裸露	2 土質溝
	
3 土質溝	4 植被枯萎
	

圖 5-29 南投縣國姓鄉邊坡編號 1 詳細圖

1	2
	
3 坑溝	4 植生旺盛
	

圖 5-30 南投縣國姓鄉邊坡編號 2 詳細圖

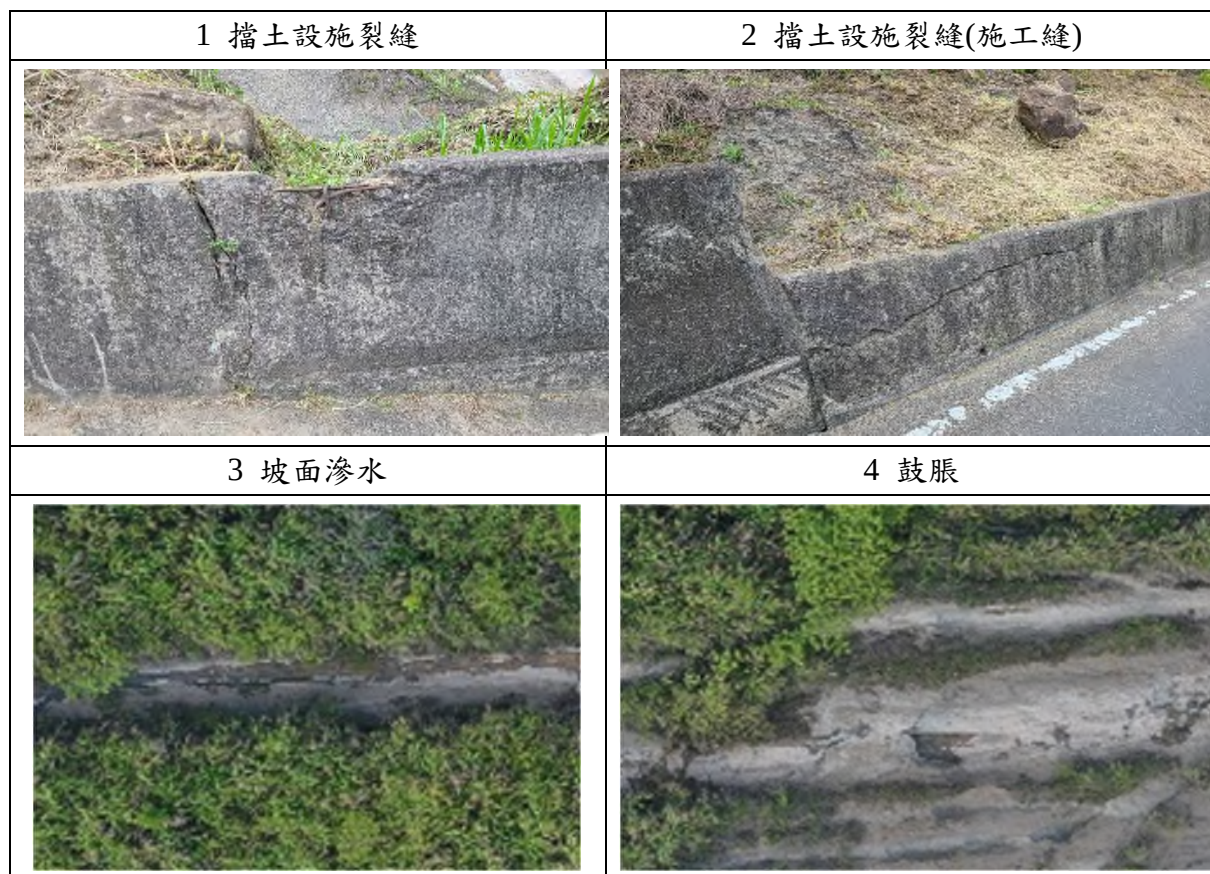


圖 5-31 南投縣國姓鄉邊坡編號 3 詳細圖

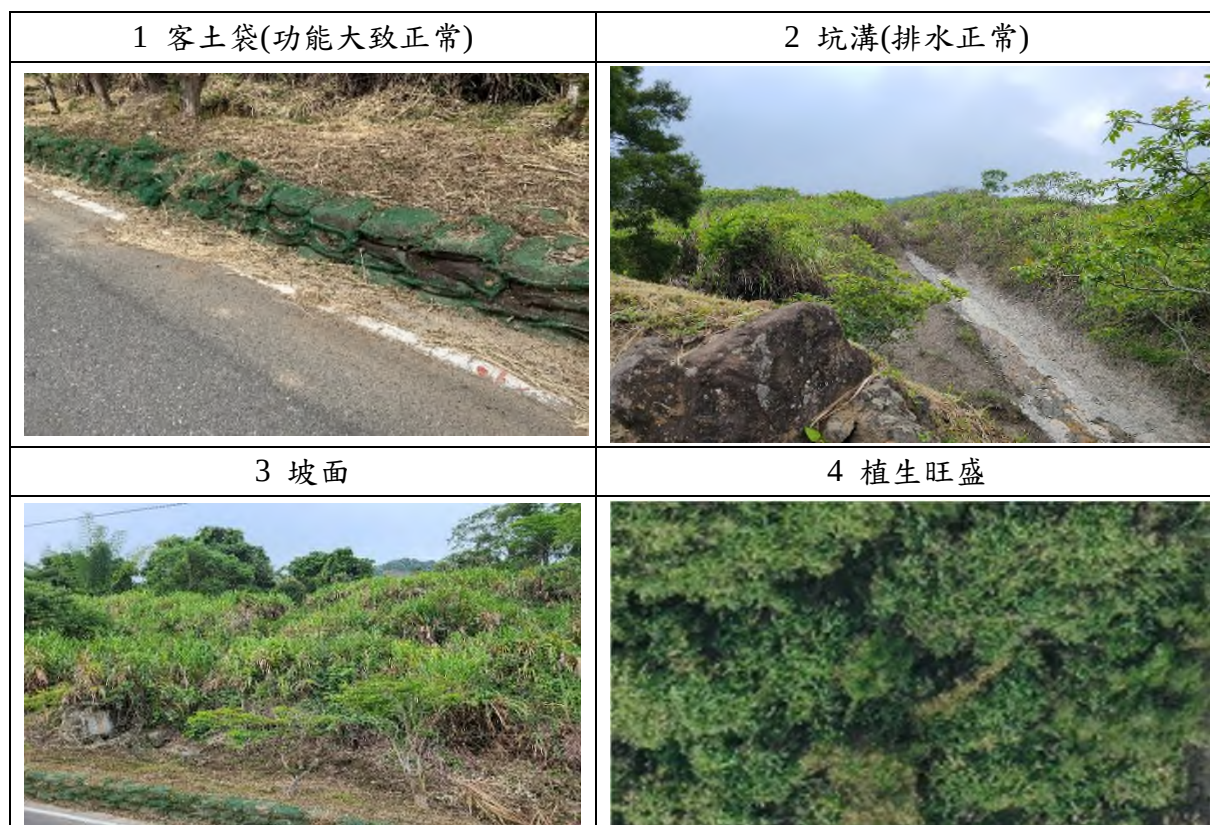


圖 5-32 南投縣國姓鄉邊坡編號 4 詳細圖

第五節 邊坡評估模式(SCAS)分析成果

根據前述邊坡評估模式(SCAS)評估方法，本計畫以「南投縣-國姓鄉-T-002」為例，擬定模式之相關係數，根據上述採樣之五處邊坡，定量評估各項因子數值，分為 SDSS(邊坡本體變形狀況)、DSDS(排水系統變形狀況)及 SSDS(防護與擋土結構變形狀況)三大部分：

一、權重係數

權重係數初採平均值，即各因子在三大項目中權重係數相同，如三項者給予各三分之一，如表 5-12 所示。後將採用層級分析法(AHP)藉由評估各項因子之權重係數，以便有相對合理之依據。

表 5-12 邊坡評估模式(SCAS)之三大部分權重表

SDSS(邊坡本體變形狀況)

ω_1	ω_2	ω_3
0.33	0.33	0.33

DSDS(排水系統變形狀況)

η_1	η_2	η_3
0.33	0.33	0.33

SSDS(防護與擋土結構變形狀況)

β_1	β_2
0.5	0.5

資料來源：「水土保持邊坡設施維護管理及延壽計畫，水土保持局，2021 年」

二、分級門檻

藉由分析統計結果以決定高中低之分級門檻，經相關邊坡計畫採用 46 處統計資料決定分級標準。而在評估後之 SCAS 值藉由平均值(累積分布 50%)作為中、低之分界，而累積分布 90%之 SCAS 則作為高、中之分界，如表 5-13 所示。

表 5-13 邊坡評估模式(SCAS)之統計參數

項目	數值	備註
樣本數	46	
平均值 μ (累積分布 50.0%)	1.373	
母體標準差 σ	1.089	
$\mu + \sigma$ (累積分布 84.1%)	2.462	(中過多)
$\mu + 1.281\sigma$ (累積分布 90.0%)	2.768	(中過多)
$\mu + 1.644\sigma$ (累積分布 95.0%)	3.163	較為合理
$\mu + 2\sigma$ (累積分布 97.7%)	3.550	(沒有高的)

資料來源：「水土保持邊坡設施維護管理及延壽計畫，水土保持局，2021 年」

三、分析成果

根據前述評分方式將 4 處邊坡進行評分，如下表 5-14 所示，最高 SCAS 為 2.83，共有 2 處暫評估為中等病兆潛勢(南投 01、南投 03)，而由於本區為九二一震爆點已歷年較久，仍需端看邊坡未來的穩定狀況而定。

特別說明，執行仍有時間成本上之考量，由於可觀看視角與範圍相對人工已產生極大化，導致很多病兆仍需要多次回訪該地。另外，因需要相對靠近邊坡中、高位之病兆點，又受到植生覆蓋，有無人機墜落之顧慮。

表 5-14 邊坡重要構造物災害潛勢評估分析一覽表

邊坡編號	坐標 X(TWD97)	坐標 Y(TWD97)	SDSS(邊坡本體變形狀況)	SDSS(排水系統變形狀況)	SSDS(防護與擋土結構變形狀況)	S1	S2	S3	R1	R2	SDCS(邊坡變形狀況)	SDHC(邊坡變形肇災威脅係數)	RFS(邊坡本體風險係數)	SCAS
南投 01	234349	2650557	0	0	1	1	1	3	0	0	0.33	1.67	0.00	2.00
南投 02	234318	2650510	0	0	0	0	0	0	1	0	0.00	0.00	0.50	0.50
南投 03	234234	2650411	1	0	1	1	1	3	1	0	0.67	1.67	0.50	2.83
南投 04	234081	2650277	0	0	1	0	0	0	0	0	0.33	0.00	0.00	0.33

四、整體治理策略

根據邊坡斜面滑動、龜裂、錯動等變形程度，可以區分為大規模崩

塌與淺層崩塌兩種處理類型。其中，大規模崩塌地危險邊坡之處理有兩個途徑：一是改變邊坡之地形或地下水等自然環境條件來穩定邊坡，如整坡、排水等，此種工程設施稱為抑制工程；另一種是以工程構造物來制止邊坡滑動的各種工程設施，如打樁、擋土牆等，此種設施稱為抑止工程。如表 5-15 為抑制及抑止工程之工法種類，而工法之選擇主要是依據滑動體主斷面之穩定分析結果來決定的。一般，治理工法之組合，除了應考慮其經濟因素外，整個計畫的即效性亦不容忽視。治理功效的顯現常隨著對策工法或自然環境之不同而會有快慢的差異，例如欲降低滑動體整個斷面的地下水位，在其他條件都相同的情形下，則含水層厚度及其透水係數即可影響排水時間。因此，邊坡滑動體保育治理調適策略之研擬，必須先依據調查結果，瞭解其發生機制後，再選擇最有效而經濟之工法組合。

表 5-15 大規模崩塌治理之抑制工程一覽表

工程類型	目的	工法與說明	
阻排地表水	一方面是攔截地表水滲入滑動體內，以防助長滑動；另一方面是將地下水排除工程所排出的地下水迅速誘導至滑動區外。	截水溝	沿著近似等高線方向，橫跨於滑動體後緣裂縫 5.0m 以外的穩定斜坡面上。
		縱橫向排水	斜坡滑動體內的排水溝，除充分利用自然溝谷排水外，應設置必要的人工排水溝。人工排水溝一般設置在呈槽形的縱向谷地中間，平面多呈縱、橫向分布。
		滲透防止工程	係針對裂隙、窪地、沼澤、溼地等積水加以處理，以防其滲入地下而助長滑動，屬於緊急工法。
地下水排除工程	一是阻止或減少滑動體外地下水排入量；二是排除滑動體表層滯水，降低地下水位。	暗渠	排除接近地表之遺層地下水並收集入滲水。於設置於滑落崖下部之地形變化處及坡面凹陷部等易於蓄集表水處。設置深度不大於 2.0m，以採用柔性材料為佳。
		排水孔或鑽孔暗渠	係利用鑽孔以排除挖掘式暗渠所無法排除之遺層及較深層地下水，施工容易，惟必須能確實掌握住含水層方能奏效，故建議監測資訊應以即時監控為宜。
		集水井	係針對僅採用橫向排水孔而無法發揮排水功效所設計之工法，它是一座比地下水層還要深的豎井，匯集由集水孔或排水孔所排出之地下水，再利用其它排水孔排出地表，故建議監測資訊應以即時監控為宜。
		排水隧道	對於規模較大或滑動速率較快的地滑，集水井可能遭受破壞或施工困難，則可考慮採取本工法，惟因造價高昂，採用前必須審慎評估。

工程類型	目的	工法與說明	
		立體排水	係以排水隧道為主，而由地表鑽垂直孔通入排水隧道內，或由隧道內向上鑽集水孔，或以這些工法增配集水井與由井內打鑽垂直孔通入隧道等組合而成，主要應用於欲排除多層之地下水。
		地下水截斷工程	係將來自滑動區以外之淺層地下水加以攔截遮斷，且利用暗渠將其引導至地表排水系統。
挖方工程	係切除地滑頭部的土體，以減低其下滑力。		多應於滑動面上僅為單一滑動體所構成之地滑地，並採取階段式調整坡面，截短逕流。
填方工程	係於地滑趾部堆土，以阻擋滑動體之下滑力。		一般，填方邊坡之坡腳宜施作擋土牆而坡面，則以植生保護。
河川構造物	旨在防止地滑地趾部土體遭水流淘刷流失，達到類似填方工程之功效。		包括防砂壩、護岸、固床工、丁壩等(參考野溪保育治理措施)。
擋土工程	旨在穩固地滑趾部的坡面。		包括各式擋土牆。
佈樁工程	抗滑樁是穿過滑動體深入滑動面下，藉由樁前後的彈性抗力平衡滑動體推力的一種樁柱；多根抗滑樁組成的樁群，共同支撐滑動體的下滑力，阻止其滑動，這就是抗滑樁穩定滑坡的原理。		抗滑樁是抑止工程中最常用之工法其施工法有利用打樁機將樁材打入地下亦有利用大口徑鑽掘機鑽孔再差入樁材者，依其採用的材料可區分為含木樁、鋼樁(鋼管樁、鋼軌樁、鋼筋樁)、混凝土樁及鋼筋(鋼軌)混凝土樁等。
深基礎樁	係於地滑地上建造大口徑的場鑄樁，以達抵抗滑動推力之目的，可分為鋼襯版與鋼筋混凝土兩種類型。		深基礎樁又稱沉基礎樁或沉箱基樁主要用於：(1)因受地形限制，打樁機無法搬入現場；(2)由於使用大口徑的鑽機而將水灌入地下，有助長滑動之虞；及(3)以一般佈樁工程無法達到預期的安全係數等三種情況。
岩錨工程	係將地滑之滑動體與穩定的基盤連結在一起，將拉力傳遞至堅實的地層中，藉以抵抗地滑下滑力。		岩錨工程不僅與滑度面形狀無關，亦不受滑動體厚度限制，同時也較佈樁工程為價廉，它主要的費用在於鑽孔深度、岩錨工程抗張材料及其附屬品等。

此外，淺層崩塌處理可以參考水土保持局「水土保持保育治理成效之定量評估及觀測計畫(1/3)」(2008)，對於不同破壞模式及崩滑深度研提適用之工法(詳圖 5-33)。近期規劃治理仍以水庫庫容、道路、聚落為主要保護標的，其餘崩塌地視其影響規模或採間接處理(調整溪流坡度減少土砂下移)，或採自然復育方式處理，如圖 5-34 所示。

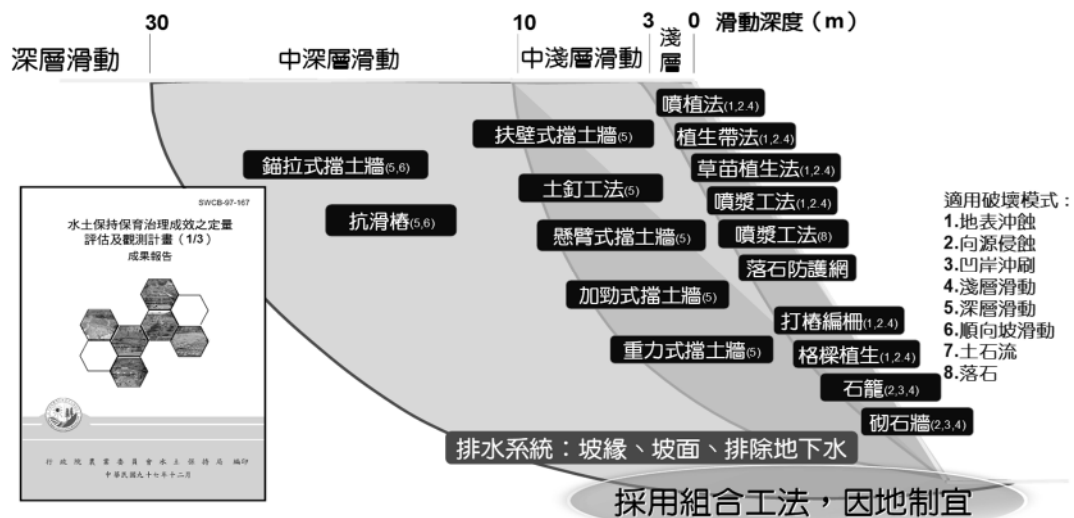


圖 5-33 各工法之適用崩塌深度

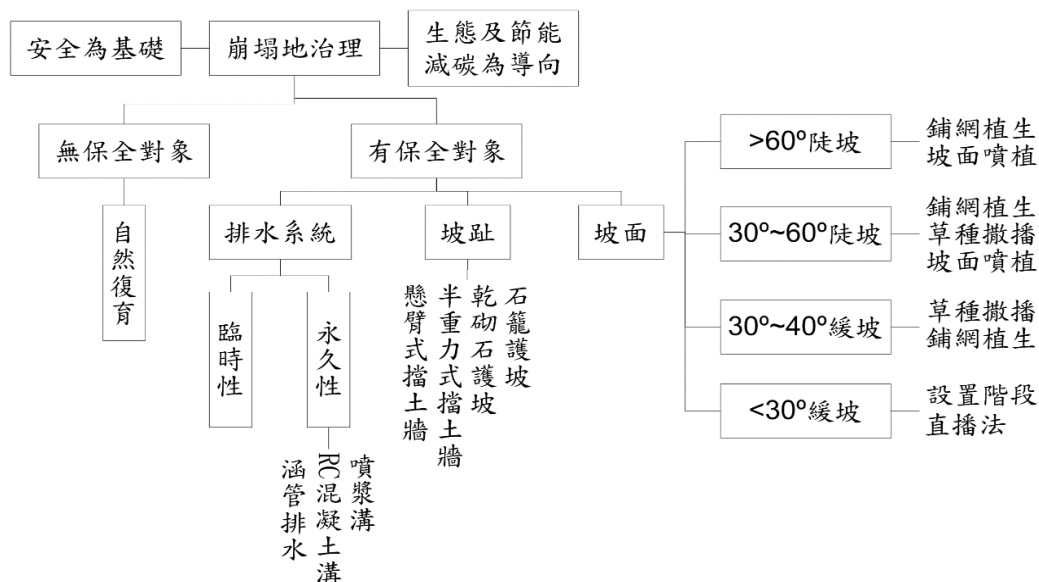


圖 5-34 崩塌地淺層整治工法圖

第六節 實務應用建議

本項就純人工、僅用無人機及運用人機協作，其所獲得資訊差異、正確性、完整性、時間、成本、風險等加以比較，據以評估人機協作之可行性。另針對本計畫提出評估流程方案，進行通案成本效益之完整評估，並提出具體建議，提供水土保持後續規劃參考。

一、可行性評估

綜合評估上，「運用人機協作」能夠涵蓋最高資訊及正確性，但所花費時間及成本較高、「僅用無人機」則相對風險最低、「純人工」調查時間較短等，如下說明：

- (一)資訊差異：「純人工」相對低腳位資料、視點受到地形限制，「僅用無人機」包含高及低腳位；「運用人機協作」則涵蓋雙向優點。
- (二)正確性：「純人工」由於移動緩慢、距離較親且多為親眼所見，正確性相對較高，不易誤判。「僅用無人機」距離視角不固定、影像與攝影儀器高度相關，一般而言其像素已相對足夠，但正確性或辨識度仍仰賴人為；「運用人機協作」則涵蓋雙向優點。
- (三)時間：「純人工」時間消耗相對最少，配合車行規劃，到達勘查地點後進行拍攝與紀錄，通常所移動範圍並不會太大，「僅用無人機」調查由於受邊坡地形高度、植被影響，仍需要一定時間才能夠拍攝、勘查完成；「運用人機協作」則會耗時最多。
- (四)成本：「純人工」成本不外乎車輛與人員，通常邊坡調查人員基本具備水利、水保等專業知識，即可進行相關勘查作業，而「僅用無人機」則需要額外具備無人機操作能力、執照、授權等，並且要能夠透過空拍影像判別相關資訊，要求較高；而「運用人機協作」則兩者兼有。
- (五)風險：「純人工」風險最高，若要調查鄰近河溪狀況、邊坡較高位狀

況則皆需要人員深入、地形多變且需要穿戴防護設備，有受傷等風險。「僅用無人機」調查則須承擔無人機折損風險，無人機探查仍有訊號不穩定、穿越樹林、障礙等風險需要考慮，惟通常使用下無人機較少發生墜毀情況；「運用人機協作」時，由於人工與無人機各司其職，人員反而減少相對深入風險，而低位資訊也能發揮高效率。

二、成本效益評估

如上述各項評估，「純人工」、「僅用無人機」、「運用人機協作」成本效益各有不同。綜合評估上建議因地制宜，若無特殊需求或僅需針對低位人工構造物進行調查等，建議可「純人工」調查。而面臨相對重要之邊坡，則「運用人機協作」能取得的資訊量遠超過多帶一台無人機或相關專業人員之調查時間及成本，以下提出相關評估說明：

(一)純人工

原則上車行、人員成本大同小異，「純人工」在資訊上受地形影響無法直接深入，且受限於人員視點，其資訊相對低腳位，針對常見邊坡動輒高達十公尺至數十公尺的規模，其能取得之資訊有限。

(二)僅用無人機

「僅用無人機」對於人工邊坡構造物等低腳位細節效率較低，在近距離捕捉這類特徵，則方便容易得多，但對於高位資訊之涵蓋性極高，除非邊坡邊緣(嶺線)位置超過無人機訊號極限，否則邊坡全範圍原則上都可拍攝相關資訊，其中較為明顯之缺點為植生遮蔽處是否能深入飛行，但不論是純人工還是無人機都將面臨此類問題。

(三)運用人機協作

「運用人機協作」能夠達到前述兩種優勢、在缺點上能夠相互補足，取得之資料完整度最高，但所需要的時間成本最高，且人員需要足夠溝通與專業知識。

第六章 結論與建議

第一節 結論

- 一、對人機調查邊坡狀況建置相應邊坡模式及評估流程，進而提出常見病兆案例作為實際操作上之基礎與模式一一對應，以發揮人機協作調查上各自之優勢。
- 二、藉由無人機拍攝，通過空拍全景圖標記各類型病兆的位置，快速分析各病害的演變狀況、聚集情形，有別於傳統人工調查之低腳位視點，更容易探得邊坡高位容易被忽視的病兆。
- 三、評估邊坡調查使用人機協作之可行性及提出操作方案，進而估計純人工、僅用無人機及運用人機協作，其所獲得資訊差異、正確性、完整性、時間、成本、風險等加以比較，建議根據調查需求選定其方案。

第二節 建議

- 一、本計畫以南投縣國姓鄉-T002(九份二山)作為研究區域，再另外蒐集、彙整病兆案例；建議未來相關研究之開展範圍應擴大，且針對個別樣態予以採樣，補充完整度、補充不同樣態特色等，不應限於一特定區域內。
- 二、評估方法僅簡易蒐集常見樣態，且並無特別評估個別樣態影響程度或不同因子類別之權重等，在定量評估上仍有所欠乏。此外，本計畫雖有考量病兆的發展時間與位置等，但時間因子仍長期資料蒐集與驗證，未來相關研究可探討邊坡病兆發展狀態與其監測數據之關係。
- 三、病兆提取或辨識很大程度上仰賴人工作業，辨識上仍有遺漏之可能；近年影像辨識技術已開始採用機械學習或深度學習等方式，加強對色碼之正判及提高判釋準確率，雖需要龐大資料庫之累積，但不失為一種未來發展方向。

參考文獻

1. 日本高速道路調查會，「危險地動態觀測施工相關研究(3)報告書」，日本道路公團，1986。
2. 王昭雯，『山腹邊坡斜面土體崩壞及其土石流化模式之研究』，逢甲大學土木水利系研究所碩士論文。2005
3. 田永銘、孫思優、吳柏林、何明錦，陳建忠，「山坡地災害緊急應變及安全監測」，地工技術，第 87 期，第 39~48 頁，2001。
4. 田坤國、李德河、黃士昌、楊智堯，楠梓地區邊坡破壞調查研究，第八屆大地工程學術研究討論會，第 953-968 頁，1999。
5. 吳輝龍，「梨山地區地層滑動整治計畫圖表與解說彙編」，行政院農業委員會水土保持局，2003。
6. 李德河、方世杰、林宏明，「颱風引致公路邊坡之破壞特性探討-以阿里山公路為例」，防災與國土永續發展研討會論文集，國科會工程處工程科技推展中心，第 115~136 頁，2004。
7. Atkinson, P.M.; Massari, R. ,Generalized linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy,Computers&Geosciences, 24, 373-385,1998
8. Bishop, A.W., , “The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes”, Geotechnique, Vol.5, No.1, p.7-17,1955
9. Brabb, E.E., Pampeyan, E.H., Bonilla, M.G ,Landslide Susceptibility in San Mateo County, California. U.S. Geol. Surv., Misc. Field studies Map, MF-360,1978
10. Carrara, A., M. Cardinali, R. Detti, F. Guzzetti, Uncertainty in Assessing Landslide Hazard and Risk, ITC Journal, 2 : 172~183,1992

附錄一、審查意見處理情形

邊坡病兆人機協作巡查方法與狀態評估模式之研究

期初報告書 審查意見處理情形

審 查 意 見	辦 理 情 形	答覆說明納入報告	
		章 節	頁 次
一、陳昭旭委員			
1. 圖像採集與分析，此影像資料如何收集，取像時間要求，對解析度之要求為何。	感謝委員意見，已補充無人機相關精度說明。	第三章	P3-1 ~P3-3
2. 取得影像之範圍、區域、數量，請補充說明，UAV 之使用時間為何。	感謝委員意見，已補充無人機要求、佈標相關說明。	第三章	P3-4 ~P3-6
3. 邊坡狀態之評估模式，公式 5-4 此模式之適用性，源由，使用狀況請補充說明。	感謝委員意見，本計畫採用「水土保持邊坡設施維護管理及延壽計畫，水土保持局，2021 年」所建立之既有邊坡評估模式，經些許調整，集中重點在於發展人機協作巡查方法上。	第四章	P4-3 ~P4-10
4. 某些病兆會受影像取得時間氣候之影響，未來這些評估因子係數如何取得。	感謝委員意見，已補充相關論述，在所蒐集的歷年邊坡影像中，確實有許多受到時間氣候影響之狀況，本計畫已補充論述。	第三章	P3-1
5. CH6 現地測試評估，內容看不到重點，如何測試、評估。	遵照辦理，已補充詳細作法及流程圖及執行案例，以南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)為例說明。	第五章	P5-36 ~P5-44
二、洪耀明委員			
6. 計畫確實可行，但建議找幾處作完整測試。	遵照辦理，本計畫經過歷年工程、歷史崩塌紀錄及大規模崩塌潛勢區等三者交集，選出三處計畫區，分別為南投縣-國姓鄉-T002、新竹縣-尖石鄉-D097 及嘉義縣-中埔鄉-T002。	第五章	P5-1 ~P5-2
7. 第三章人機協作方案及第四章圖像採集分析，僅用文字說明，不易了解其流程與方法。	遵照辦理，已補充詳細作法及流程，並於第五章提出相關案例。	第三章 第五章	P3-7 ~P3-8 P5-36 ~P5-44
8. 邊坡病兆之定義，計畫書為	遵照辦理，已列出各項邊坡基本	第二章	P2-33

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節	頁次
Slope Condition，是否能進一步分類，同時無人機是否優先應用於人力無法達到之地點，宜清楚分類。	調查項目表及其最適合之調查方式(作業)、成本等，如純人工、僅用無人機及運用人機協作、甚至 LIDAR 方式，補充相關論述評估其可行性。		
9. 計畫建議有所取捨，例如評估體系是否要加入，還是先依循既有評估模式，發展人機協作巡查方法。	遵照辦理，本計畫採用「水土保持邊坡設施維護管理及延壽計畫，水土保持局，2021 年」所建立之既有邊坡評估模式，經些許調整，集中重點在於發展人機協作巡查方法上。	第四章	P4-3 ~P4-10
三、孫明德委員			
10. 請確認修正表 2-1 山區公路邊坡防災分級管理制度係於 100 或 110 年建立；若制度係於 100 年建立，請說明近 10 年公路局運用、操作之成效。	遵照辦理，已補充其他管理單位資料等相關文獻，如 103 年~106 年、107 年至今等。	第二章	P2-5 P2-7
11. 選定三處樣區做邊坡巡查，請就純人工、僅用無人機及運用人機協作，其所獲得資訊差異、正確性、完整性、時間、成本、風險等加以比較，據以評估人機協作之可行性。	遵照辦理，已列出各項邊坡基本調查項目表及其最適合之調查方式(作業)、成本等，如純人工、僅用無人機及運用人機協作、甚至 LIDAR 方式，補充相關論述評估其可行性。	第二章	P2-33
12. 報告書封面空拍斜拍相片倒置，請確認修正。	感謝委員指教。已確認為正北無誤，本計畫之正攝空拍照原則上皆屬正北方向，由於該處上邊坡水系依然旺盛，故較易產生誤解。	封面	-
四、詹連昌委員			
13. 資料蒐集公路，鐵路單邊坡，邊坡病兆發生後相關影像，歸納病兆樣態特徵，但資料是否包括病兆發生前、後之影像，包括 UAV 及詳細照片。	感謝委員寶貴意見，由於本研究主要著眼對象在於 UAV 之影像解析，衛星影像解析度不足以達到本計畫探討之標準。如病兆特徵的細微變化等。亦另外補充研究區域之歷年衛星影像。	第五章	P5-25 ~P5-26
14. 現地邊坡選三區調查，邊坡病兆	感謝委員指教，已列出相關評分	第四章	P4-3

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節	頁次
特徵類型多，如何判定整體邊坡狀態分級。	方式及相關標準。		~P4-10
15. P5-8 邊坡狀態由三個係數相乘，三個係數內各有權重，權重決定有何依據。	感謝委員指教 1. 本計畫採用「水土保持邊坡設施維護管理及延壽計畫，水土保持局，2021 年」所建立之既有邊坡評估模式。 2. 權重係數屬於建議值，以擬定分析成果，惟後續相關研究若有專家學長座談或評估機會，建議採用層級評估法決定權重為佳。	第四章 第五章	P4-3 ~P4-10 P5-43 ~P5-44
16. 簡報內容詳細部分，報告本文無資料，落差大。	感謝委員指教 1. 本計畫採用「水土保持邊坡設施維護管理及延壽計畫，水土保持局，2021 年」所建立之既有邊坡評估模式。 2. 後續相關進度已加以補充，方法論等亦有所加強。	全文	-

邊坡病兆人機協作巡查方法與狀態評估模式之研究

期中報告書 審查意見處理情形

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節	頁次
1. 本計畫報告書請補附中、英文摘要。	已補充中、英文摘要。	摘要	-
2. 報告書中第二章若干圖表解析度不足，請修訂。	已修正。	第二章	-
3. 依據報告書表 2-7 中，請具體說明如何使用無人機空拍影像據以檢視表 2-7 中各項邊坡調查因子，以判別邊坡有潛在的風險，同時針對不同風險程度提出後續維運管理的措施。	感謝委員指教，已補充各類病兆樣態參考案例，由於本計畫主要探討方向為人機協作對於病兆之探查，故針對維護策略方面較無深入探討且相關治理方案已行之有年，故本計畫另補充彙整相關整體治理策略提供參考。	第五章	P5-42 ~P5-43
4. 建議針對本計畫提出之方法，進行成本效益之完整評估，並提出具體建議，提供水保持後續規劃參考。	遵照辦理，已補充人機協作與空拍機成本效益分析及相關建議。	第五章	P5-44 ~P5-45
5. 請增加摘要，列出計畫目的、工作項目；至期中已完成項目、獲致之初步成果、待完成項目及時程、遭遇困難及解決對策。	已補充中、英文摘要。	摘要	-
6. 已屆期中階段，表 1-1 進度仍停滯於期初，應予更新。	遵照辦理，已更新。	第一章	P1-3
7. 本案重點在[人機協作]，但以 UAV 拍攝影像後，其影像如何分析、運用，請予強化說明。	感謝委員指教，本計畫於第四章已補充各類病兆樣態參考案例，並與本計畫第三章擬定之邊坡模式項目一一對應，即利用人機找尋相關樣態，即可進行評分作業，惟各類相關權重因子仍有待深入探討。	第三章 第四章	P3-2 P4-11 ~P4-21
8. 表 2-8 仍請就純人工、僅用無人機及運用人機協作，其所獲得資訊差異、正確性、完整性、時間、成本、風險等加以比較，據以評估人機協作之可行性。	已針對各項目補充比較論述。	第五章	P5-44 ~P5-45

邊坡病兆人機協作巡查方法與狀態評估模式之研究

111 年度創新研究計畫期末成效評核表 期末評核結果處理情形

審查意見	辦理情形	答覆說明納入報告	
		章節	頁次
1. 計畫目前仍需大量人工及專家作業協助始能完成巡查作業，未來影像應結合機械學習等人工智慧方式提高判釋準確率，其他資料蒐集評估可利用相關評估模式或建立 SOP，加速評估作業進行。	感謝委員指教： 1.未來影像應結合機械學習等人工智慧方式提高判釋準確率，已於結論建議中補充相關論述。 2.已補充論述，若運用其他邊坡模式時仍應考量無人機可檢視之項目，由於多數邊坡模式相關資訊仍採用地理資訊系統，要特別注意項目誤用之狀況。	摘要 第六章 第二章	I P6-1 P2-32
2. 因無人機並非隨時都適合取像，高精度衛星影像是否有作為替代方案可能性？或是作為資料比較時回溯或補遺之用。	已補充相關論述，由於空拍影像精度可達公分等級，高精度衛星影像僅公尺等級，因此在本計畫主要標的，如裂縫、排水堵塞等樣態較難以捕捉。	第四章	P4-9