行政院農業委員會林務局委託研究計畫 tfbc-1070403

國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生之可行性研究

Feasibility evaluation for UAV seeding vegetation pellets on The landslide of National forest

成果報告書

委託機關：行政院農業委員會林務局

執行廠商：易圖科技股份有限公司

中華民國　108　年　9　月

摘要

由於無人飛行載具技術層次及其應用，已有大幅發展，當可利用其不受空間限制之優勢，透過具有高機動性、高解像力、即時性及一定酬載能力等條件之無人飛行載具，開發無人飛行載具航空植生系統，並分析適用於無人飛行載具之植生資材，建立無人飛行載具航空植生成果評估模式，以供未來交通不可及之國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生處理之參據。

本計畫蒐集相關國內外航空植生文獻與探討作為執行研究基礎，並配合民航局之民用航空法修正，擬定無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可。因應林務局所轄崩塌地多位於海拔較高之山區，利用單旋翼無人載具並自主設計研發撒播系統進行測試，已完成羅東林管處所轄太平山事業區 77 林班、東勢林管處所轄大甲區事業區 8 林班與南投林管處所轄濁水溪事業區 22 林班，共三處各類型崩塌地作業經驗，並將執行過程與各項成果編纂「國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生參考手冊」供後續相關計畫推動之參考。

無人載具航空植生作業機制部分，作業前利用無人載具進行空中攝影，蒐集崩塌地任務區的正射影像與環境狀況，並於人力可及範圍調查現地既有植生與參考林管處建議，進行整體性的作業流程規劃與粒劑製作。本計畫研發植生資材粒劑中以草本種子為主輔以木本種子，並以團粒化的方式製作粒劑。

三處崩塌地試驗區面積各約 0.2 公頃，分別於 108 年 6 月底前完成投放 210 公斤粒劑，歷經 2~3 個月的生長期後，進行植生生長情況檢視，各試驗區約有 10%~15%之植生回覆率。然而在防汛期結束前，各試驗區仍潛在颱風豪雨的威脅，對植生回復進行考驗，後續仍應持

續觀察復育情況。關於經濟效益分析方面，本年度為初步測試，在考量粒劑資材製作成本、無人載具設備出勤與會計攤提、人員差旅等因素後，估算每公頃的施作成本約 110 萬元，較傳統人工噴植每公頃 300 萬元，具有經濟效益。

後續研究部分，建議可由環境調查、植生粒劑研發及無人機應用等面向深化評估。環境調查方面包括植生基盤與影響植生之潛勢分析，以掌握植生立地條件；植生粒劑研發方面建議未來可調查原生草本、木本植物種子之採集與適用性評估；最後考量林管處推動航空植生可行性，建議可進行多旋翼型無人載具的適用性及相關應用條件測試與分析。

Abstract

Benefiting from the high maturity of the UAV industry, revegetation of unreachable landslides in National forest land by unmanned flying vehicles become more applicable. The development of UAV-based vegetation system relies on flying platforms with characteristics such as high mobility, instantaneity, reasonable lifting capability and high camera definition. The study aimed to find out suitable pellet materials for the application and assessment method of the vegetation result.

The project was completed basing on references from the domestic and foreign studies in UAV vegetation. Meanwhile, in order to cooperate with the Civil Aviation Act amendment, the application procedures of UAV vegetating operation and flying permit have been established. Due to the high elevation of operation sites, the team utilized self-developed helicopter with specialized seed distributing system to fulfil the requirements. Three mission landslide areas picking from Luodong, Dongshih and Nantou District Office were completed. The result and experience were recorded in *'The Handbook of UAV Utilization in vegetating The landslide of National forest'* as the reference for future operation.

The overall working procedures were planned and studied by collecting orthophotos and the surrounding images of the landslide areas. Through the on-site investigation and the recommendations from the Forestry Bureau, seeding pullets were produced by combining seeds from herbaceous plants and woody plants.

The seeding operations were completed by June 2019. 210kg of

pullets were distributed in three landslide testing areas which are around 0.2 hectares respectively. The team inspected the growth rate of vegetation after 2-3 months, all areas showed 10-15% of new plant coverage. However, the situation is still under monitoring until the end of flooding period since it is threatening by typhoons and associated precipitations.

The follow-up studies can be divided into three parts. Environmental investigation, further research on pullet production and the UAV applications. The environmental investigation includes the analysis of vegetation basement and factors affecting the growth of vegetation to find out the suitable condition of site. In terms of pullet research, it is suggested that seeds from native and woody species can be collected to assess the suitability of certain area. For the future UAV application, Forestry Bureau is suggested to test the feasibility of multirotor UAV, for the operation condition and analysis

目錄

第一章　專案概述.....1
第一節　專案緣起.....1
第二節　專案目標.....2
第三節　工作項目及內容.....2
第四節　計畫流程.....4

第二章　國內外航空植生相關文獻與探討及無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定.....5
第一節　國內外航空植生相關文獻之蒐集與國內適用性初評.....5
第二節　直升機或相關飛行器應用於國內航空植生之實際案例成效與檢討.....13
第三節　比較討論無人飛行載具在航空植生與直升機之限制...17
第四節　擬定無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可.....20
第五節　原住民族常用崩塌地復育傳統技術與智慧.....29

第三章　建立開發整合無人飛行載具之崩塌地植生作業系統.....41
第一節　無人飛行載具類型評估.....41
第二節　適宜利用無人載具進行植生作業之崩塌地評估.....46
第三節　航空噴植系統整合設計.....47

第四章　無人載具航空植生之植物材料及資材配比探討.....54
第一節　適用植物類型、資材及配比評估.....54
第二節　植生粒劑設計.....68
第三節　粒劑測試.....75

第五章　國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生之可行性評估..80
第一節　測試地點之評估與選定.....80
第二節　各試驗區概述與測試投擲成果.....82
第三節　各試驗區實際投擲情形.....92
第四節　無人飛行載具影像評估分析.....93
第五節　經費預估.....103

第六章　結論與建議.....106
第一節　結論.....106
第二節　建議.....109

第七章　專案管理.....111
第一節　專案時程.....111
第二節　執行進度表.....112
第三節　成果交付.....114

附件一　專有名詞 附-1
附件二　各期會議委員意見回覆 附-3

圖目錄

圖 1-1 計畫流程圖 4
圖 2-1 日本應用直升機進行撒播作業照片 7
圖 2-2 英國 C-130 運輸機投擲育苗管種樹示意圖 8
圖 2-3 義大利航空植生作業照片 9
圖 2-4 泰國利用無人機進行種子炸彈播種照片 10
圖 2-5 MG-1 農業植保機實體照片與噴灑作業照片範例 10
圖 2-6 中國農業科學院 AF-811 小型無人植保機 11
圖 2-7 中國利用無人機進行農業撒播作業照片例 11
圖 2-8 台灣航空植生施工機具照片 14
圖 2-9 台灣航空植生之施工作業照片 15
圖 2-10 低難度類型崩塌地示意圖 18
圖 2-11 中難度類型崩塌地示意圖 19
圖 2-12 高難度類型崩塌地示意圖 19
圖 2-13 一般崩塌地處理工法選擇之流程 22
圖 2-14 航空噴植申請流程 23
圖 2-15 無人載具任務作業流程 25
圖 2-16 遙控無人機管理規則 26
圖 2-17 遙控無人機及操作證相關規定 26
圖 2-18 民航局遙控無人載具管理系統介面 27
圖 2-19 無人機操作證分類說明 29
圖 2-20 原住民主食作物栽培之戶數變化 30
圖 2-21 原住民換金作物栽培之戶數變化 30
圖 2-22 原住民不同年造林樹種之戶數變化 30
圖 2-23 台灣之原住民與国家公園出版書籍封面 31
圖 2-24 香茅草之生長與應用情況 32
圖 2-25 桂竹林之崩塌地應用與生長特性圖示 33
圖 2-26 樹豆之生長外觀與果實 35
圖 2-27 台灣赤楊之外觀與生長情形 36
圖 2-28 山胡椒之外觀型態 37
圖 2-29 羅氏鹽膚木之生長外觀與葉型 37
圖 2-30 原住民參與崩塌地整治施工作業照片(範例) 40
圖 3-1 無人載具飛行控制架構 45
圖 3-2 地面控制站架構圖 46
圖 3-3 噴植機構設計參考範例 48

圖 3-4 彈藥箱與在無人載具整合設計圖 49
圖 3-5 構型一_三孔遙控開關控制 50
圖 3-6 構型二_三孔遙控開關控制+導流槽 50
圖 3-7 構型三_橢圓形出口加大遙控閥門 51
圖 3-8 構型四_遙控螺旋推進型 52
圖 3-9 構型五_大開口閥門 53
圖 4-1 崩塌裸露地植生工程主要應用之草本植物種類 57
圖 4-2 崩塌裸露地植生工程主要應用之木本植物種類 58
圖 4-3 種子粒劑應用材料照片(範例) 61
圖 4-4 日本種子土球之製作過程 62
圖 4-5 美國種子土球製作照片例 63
圖 4-6 墨西哥種子土球製作與應用 65
圖 4-7 肯亞之生物炭種子球照片例 66
圖 4-8 台灣過去種子土球之製作過程 67
圖 4-9 UAV 投擲植生粒劑設計流程 69
圖 4-10 手工製作不同粒徑、形狀及不同材料拌合之植生粒劑 73
圖 4-11 植生粒劑空中投放作業測試情形 76
圖 4-12 粒劑飄散測試成果圖(投擲高度 50 公尺/風速 3 級風) 77
圖 4-13 植生粒劑發芽試驗情形(左：紅壤土，右：崩積土) 78
圖 4-14 植生粒劑發芽歷線圖 79
圖 5-1 太平山事業區 77 林班噴植位置圖 82
圖 5-2 大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)噴植位置圖 85
圖 5-3 濁水溪事業區 22 林班(奧萬大聯外道路 7K)噴植位置圖 89
圖 5-4 留茂安投放航線與點位規劃 94
圖 5-5 太平山事業區 77 林班撒播後正射影像(108/7/29) 95
圖 5-6 太平山事業區 77 林班撒播後 NIR 影像(108/7/29) 95
圖 5-7 太平山事業區 77 林班撒播後植生覆蓋率成果 95
圖 5-8 必坦溪投放航線與點位規劃 96
圖 5-9 大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)0520 豪雨期間土石流事件 97
圖 5-10 大甲溪事業區 8 林班撒播後正射影像(108/7/29) 97
圖 5-11 大甲溪事業區 8 林班撒播後 NIR 影像(108/7/29) 98
圖 5-12 大甲溪事業區 8 林班撒播後植生覆蓋率成果 98
圖 5-13 大甲溪事業區 8 林班撒播後近拍影像檢視 99
圖 5-14 奧萬大聯外道 7K 投放航線與點位規劃 100
圖 5-15 濁水溪事業區 22 林班撒播後正射影像(108/7/22) 101
圖 5-16 濁水溪事業區 22 林班撒播後 NIR 影像(108/7/22) 101
圖 5-17 濁水溪事業區 22 林班撒播後植生覆蓋率成果 101
圖 5-18 濁水溪事業區 22 林班撒播後成果檢視(近拍影像) 103

表目錄

表 2-1 UAV 航空植生 SWOT 強弱危機分析 12
表 2-2 過去台灣航空噴植材料之設計配方(單位：10,000 M²)..... 16
表 2-3 航空噴植種子之設計配方(單位：10,000 M²) 16
表 2-4 無人飛行載具與直升機航空噴植之差異性 20
表 2-5 空域申請表範例 24
表 2-6 單稈散生型竹類之繁殖方法..... 34
表 3-1 國內常見無人飛行載具性能諸元比較表 42
表 3-2 旋翼型無人載具相關設備..... 44
表 4-1 崩塌裸露地植生工程主要應用之草本植物種子材料..... 55
表 4-2 崩塌裸露地植生工程主要應用之木本植物種類..... 55
表 4-3 種子粒劑主要應用拌合材料..... 59
表 4-4 植生粒劑材料種類表 70
表 4-5 植生粒劑種類材料表 70
表 4-6 不同播種作業方法之播種修正..... 71
表 4-7 特殊施工基地之播種量修正..... 72
表 4-8 各崩塌地種子材料使用量(單位：公斤)..... 72
表 4-9 不同形狀粒劑之優缺點 73
表 4-10 粒劑資材配比 74
表 4-11 植生粒劑重量取樣記錄 74
表 4-12 崩塌地植生粒劑播種設計量 75
表 4-13 三處試驗區選定情形 81
表 5-1 太平山事業區 77 林班測試噴植成果說明 82
表 5-2 大甲溪事業區 8 林班測試噴植成果說明 86
表 5-3 奧萬大聯外道路 7K 測試噴植成果說明 89
表 5-4 三處試驗區投擲成果統計..... 92
表 5-5 各試驗區植生回復覆蓋率分析..... 93
表 5-6 UAV 作業成本經費表 104
表 6-1 三處試驗區投擲成果統計..... 108
表 7-1 計畫期程規劃 112
表 7-2 交付文件列表 114
表 7-3 期末報告執行進度自主檢核..... 115

第一章　專案概述

第一節 專案緣起

行政院農業委員會林務局(以下簡稱林務局)轄管國有林地多位於集水區上游較偏遠地區，因颱風、豪雨、地震等天然災害所造成崩塌災害，常由於其交通可及性極低，致無法以工程手段加以復育，少數屬人力勉強可達者，則採輕軟性「人工植生」方法，包括種子撒播、栽植造林、覆蓋稻草蓆、打樁編柵及坡面截導排水等方式穩定坡面，以加速植生覆蓋及生態演替，其餘位處交通不可及且無保全對象之崩塌地，僅能以自然復育方式，運用森林環境密集天然下種的更新機制，隨時間緩慢逐步從崩塌地恢復為自然森林林相。

然而，近年來受極端降雨影響，災害型態多為複合型災害，崩塌深且廣，大面積裸露自然復育緩慢，易發生次生災害，造成崩塌持續擴大或土砂下移情形。如何加速復育以減緩坡面沖蝕與土砂產出，即為當前應研究並予克服之課題。針對位處集水區上游國有林偏遠地區交通不可及、人力不可及但有保全對象之崩塌地，為避免再次發生災害造成民生安危，本計畫以無人飛行載具撒播種子方式復育崩塌地植生。

過去運用之航空植生多以直升機等航空機具，航空器使用費高昂且施工需精準專業技術致無法廣泛推廣，鑒於今日無人飛行載具技術層次及其應用，已有大幅發展，當可利用其不受空間限制之優勢，透過具有高機動性、高解像力、即時性及一定酬載能力等條件之無人飛行載具，開發無人飛行載具航空植生系統，並分析適用於無人飛行載具之植生資材，建立無人飛行載具航空植

生成果評估模式，並據以檢討，供未來交通不可及之國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生處理之參據。

第二節 專案目標

一、 擬定無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可。

二、 建立開發整合無人飛行載具之崩塌地植生作業系統。

三、 建議適用於無人載具航空植生之植物材料及資材配比。

四、 完成國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生之可行性研究。

第三節 工作項目及內容

壹、相關國內外航空植生相關文獻與探討及無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定

一、 國內外航空植生相關文獻之蒐集與國內適用性初評。(包含適用地點、範圍等)

二、 直升機或相關飛行器應用於國內航空植生之實際案例成效與檢討。

三、 比較討論無人飛行載具在航空植生之極限性與直升機之限制。

四、 擬定無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可。

五、 原住民族常用崩塌地復育傳統技術與智慧。

六、 以上文獻應蒐集 20 篇以上。

貳、建立開發整合無人飛行載具之崩塌地植生作業系統

一、 依無人飛行載具之飛行特性、可飛行時間於酬載能力等，選定搭載之無人飛行載具類型，並評估高、中、低不同難度之場域試區適宜之無人飛行載具及優選。

二、 評估適宜進行無人載具植生作業之崩塌地特性(如崩塌地面積大小之限制、與道路距離等)並選定適宜執行無人載具植生作業時間。

三、 依據無人載具之飛行特性、可飛行時間與酬載重量等，評估可行之航空植生系統；並與選定之無人載具型式進行整合，航空植生系統(無人載具附掛系統)包含提供設計圖說及其行為模式。

參、建議適用於無人載具航空植生之植物材料及資材配比

一、 依據無人飛行載具之性能與特性，建立無人載具航空植生作業機制。

二、 包含前期植生現況空拍分析、適用植物類型、植生資材及配比、植生作業程序與植生成效評估(或成果驗收標準)等。

肆、國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生之可行性評估

一、 依據林務局相關工作會議，進行測試地點 3 處之評估與選定。

二、 篩選原則：

(一) 交通不可及區域，飛行距離為 1 公里以上。

(二) 崩塌面積需大於 0.2 公頃。

(三) 崩塌坡度選定為崩塌地平均坡度小於 30%、平均坡度 30-55%、平均坡度大於 55%各選定 1 處，並提定高、中、低不同難度之場域試區評估或替選方案。

三、 測試過程需透過無人載具進行側拍紀錄，並提交執行成果紀錄報告，並以前述作業機制進行成果評估，其紀錄報告應包含執行地點之坐標、航空植生模式、及植生面積等，影像內容包括平面影像、斜拍全區鳥瞰影像及動態拍攝影像檔。

四、 測試完於 3 個月以上應進行航空植生成果分析，並提交分析評估報告，應包含無人飛行載具影像，影像內容包括平面影像、斜拍全區鳥瞰影像及動態拍攝影像檔。

五、 撰寫國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生參考手冊。

第四節 計畫流程

本計畫依全程計畫需求，規劃相關執行流程如圖 1-1。

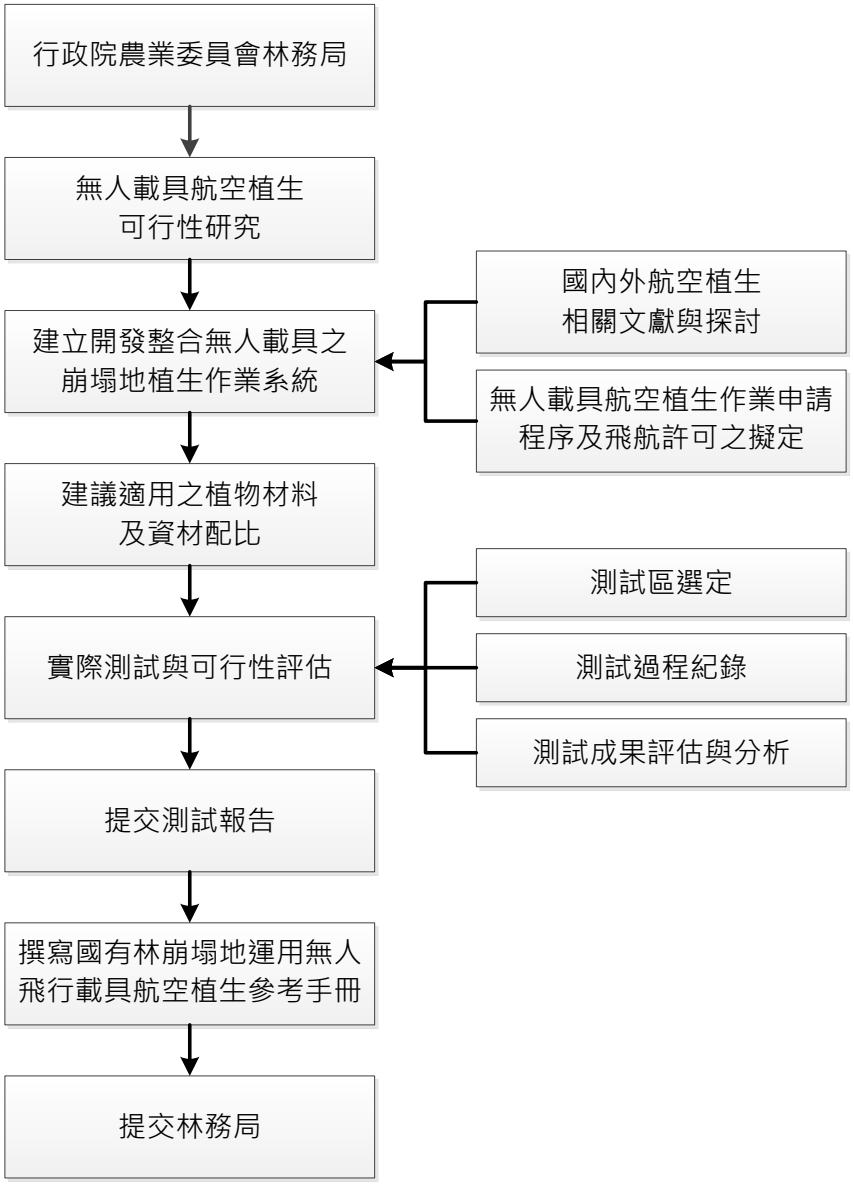


圖 1-1 計畫流程圖

第二章　國內外航空植生相關文獻與探討及無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定

第一節 國內外航空植生相關文獻之蒐集與國內適用性初評

壹、國內外航空植生相關論文文獻

由於目前台灣地區運用無人載具配合植生作業方法，尚缺乏實際操作與成果案例資料，茲參考與搜集日本航空綠化、國內崩塌地噴植植生工法與植生資材手冊等，列舉如下：

一、 行政院農業委員會水土保持局。2006。植生資材應用手冊。謝杉舟(編著)。

二、 行政院農業委員會水土保持局。2008。集水區植生群落調查應用手冊。林信輝(主編)。

三、 行政院農業委員會林務局南投林區管理處。2015。崩塌地噴植工法與應用基材手冊。

四、 行政院農業委員會水土保持局。2017。水土保持手冊—植生篇。

五、 林信輝。2012。特殊地植生工程。五南圖書公司。

六、 林信輝。2016。坡地植生工程二版。五南圖書公司。

七、 林俊男。2008。我國航空植生資源經營策略探索性研究。開南大學(空運管理學系)碩士論文。

八、 行政院農業委員會林業試驗所。2017。布農族人與臺灣赤楊。林業研究專訊 24(3):43-47。

九、 陳鵬飛。2018。无人机在农业中的应用现状与展望。浙江大学学报（农业与生命科学版）44(4): 399-406。

一〇、 曾令羚。2005。原住民植物資源永續利用機制之研究--以台

東縣達魯瑪克部落為例。台灣大學森林學系碩士論文。

一一、 經濟部水利署北區水資源局。2007。石門水庫集水區崩塌地植生工程與應用植物手冊。林信輝(主編)。

一二、 陳元陽。1999。台灣の原住民と国家公園。九州大學出版会。

一三、 羅美汴。1973。談台灣的香茅油。科學月刊 11(47)。

一四、 村井宏・湯淺保雄・若林徹。1986。航空綠化工の施工事例に關する研究。綠化工技術 11(3)：1-14。

一五、 堀江保夫。1992。航空緑化工に関する資料。日本東京農業大學擔當講師。

一六、 岩川幹夫。1979。航空実播による山地緑化工。農林水産技術研究ジャーナル 2(8)：48-52。

一七、 林野庁。1980。航空綠化工の計畫、設計、施工指針とその解說。

一八、 日本全國治山治水協會。1999。治山技術基準解說總則，山地治山篇。日本林道協會。林野庁監修。

一九、 王兆鳳、徐連魁。1985。 飛機播種造林技術的研究。林業科學， 21(1)：1-9。

二〇、 許愷岐。2019。崩塌地應用無人飛行載具(UAV)播種植生粒劑之可行性評估。國立中興大學水土保持學系碩士論文。

二一、 Unmanned Industrial Helicopter for YAMAHA First class Maintenance Training Text. Yamaha Motor CO., LTD.

貳、國內外有關航空植生相關案例

一、 日本

日本植生公司、東興建設公司(委託中日航空公司進行空中噴植)及本州綠化(朝日航空公司)等植生綠化公司，使用航空器機型主要為 KH4(一般型)與 240B(大型)。其應用直升機進行空中撒播

作業項目，包括肥料、除蟲劑、除草劑之噴灑，以及植生基材之噴灑等。

<table>
<tr><td>
日本航空垂吊式撒播作業(一)</td><td>
日本航空垂吊式撒播作業(二)</td></tr>
<tr><td>
航空噴植用直升機(KH4)</td><td>
航空噴植施工作業</td></tr>
<tr><td>
航空植生施工前</td><td>
航空植生施工後</td></tr>
</table>

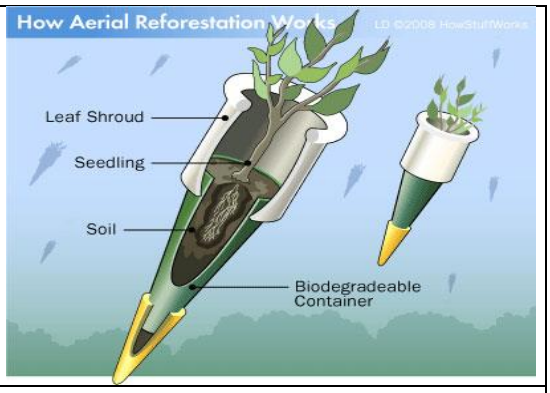
圖 2-1 日本應用直升機進行撒播作業照片

二、 英國

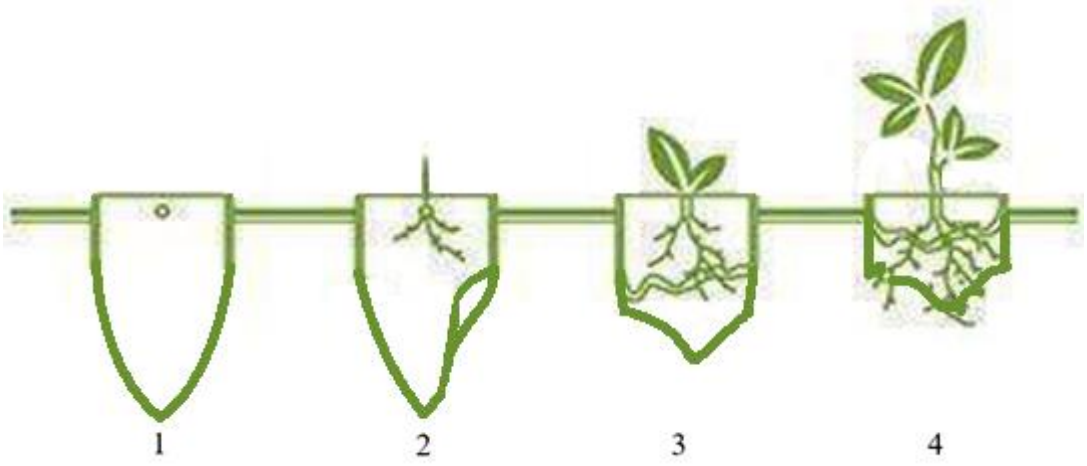
英國政府過去因電廠之開發，導致二氧化碳排放量增加，為因應全球暖化之影響，推動航空種樹。當時利用 C-130 運輸機載運錐型育苗管，育苗管內含有一棵已發芽之樹苗以及水分、肥料

等，利用高壓方式將育苗管打入土壤中，打入後之育苗管會於土壤中分解，隨後小苗之根逐漸生長入土中。當時之播種速度一天可得 900,000 棵樹。

英國 C-130 運輸機投擲種樹情形



育苗管結構示意圖



(1)育苗管內點播樹木種子　(2)育苗管內樹種發芽生長
(3)育苗管腐朽　(4)苗木根系能正常生長

圖 2- 2 英國 C-130 運輸機投擲育苗管種樹示意圖

(資料來源：https://www.theguardian.com/uk/1999/sep/02/paulbrown)

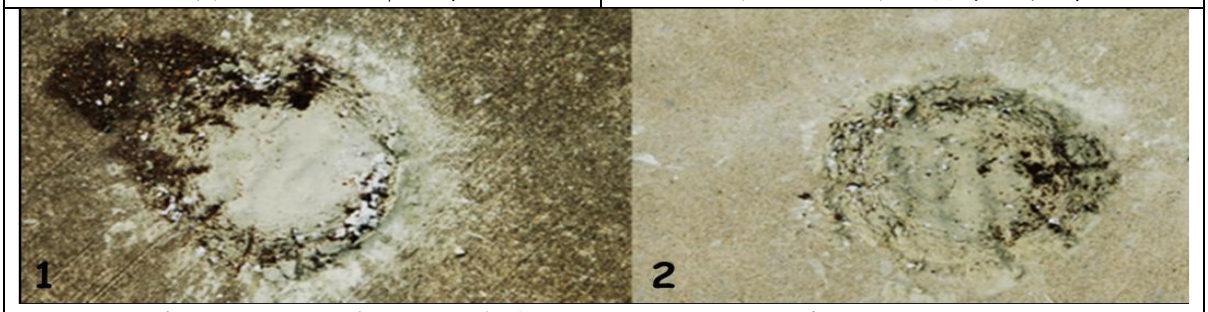
三、 義大利

義大利去經過多次航空播種試驗與播種成效評估後，決定採用 Agusta-Bell 412 直升機進行播種，並由義大利國家森林服務中心人員進行駕駛。進行航空播種時，以人力在直升機內投擲，將種子土球直接從高空投至崩塌區位或農作地區。

其土球材料之製作，係先以塑膠材質製作土球模具，之後於模具內側塗上凡士林及黏土，並將調配好之植生基材(有機土、種子、肥料)填入黏土層中，最後土球風乾後將外層塑膠膜去除。

航空播種以人力投擲之情形

種子於土球內發芽生長情形



含種子土球不會因不同高度及形狀，造成生長差異(1.圓形 2.彈頭型)

圖 2-3 義大利航空植生作業照片

四、 泰國

泰國多年的伐木，造成泰國近一半的森林面積受破壞，導致溫室效應越來越嚴重。因此於 2016 年自英國引進了種子炸彈，該技術是利用飛機或是無人機裝填利用黏土、堆肥、種子等材料所製成之種子炸彈，利用空中投擲之方式，將植物導入保護區，以解決森林砍伐之問題，及增進植被之覆蓋面積。

種子炸彈

飛機播種作業情形

種子炸彈投擲後第一天

第六天

第二十一天

圖 2- 4 泰國利用無人機進行種子炸彈播種照片

(資料來源：https://goodvertising.site/thailand-make-seed-bombs-fight-deforestation/)

五、 中國

中國大陸地區，利用無人飛行載具(UAV)進行航空噴灑農藥、追肥的技術已經相當純熟，對於適合應用於農業之 UAV 機種已有相當多之經驗與資訊。過去曾應用大疆公司所設計的農業無人機產品「MG-1 農業植保機」，進行大面積之農藥噴灑，MG-1 農業植保機為八旋翼無人機，其不僅擁有八軸動力系統，還是一款具有防塵、防水、防腐蝕的工業級設計產品。

MG-1 農業植保機

MG-1 噴灑作業情形

圖 2- 5 MG-1 農業植保機實體照片與噴灑作業照片範例

(資料來源：大疆創新科技 https://goodvertising.site/thailand-make-seed-bombs-fight-deforestation/)

中國農業科學院利用 AF-811 小型無人植保機，用於玉米螟的防治試驗研究。

圖 2-6 中國農業科學院 AF-811 小型無人植保機

中國農業公園應用珠海羽人航空公司所設計的「谷上飛 3WDM8-20」多功能農用無人機進行紫雲英綠肥植物種子之撒播，以增加後續土壤之有機肥與土壤有機質，3WDM8-20 多功能農用無人機具有撒播密度均勻、作業範圍大、性能穩定等特點。

谷上飛 3WDM8-20 多功能農用無人機	撒播材料種子投入容器內之情形

圖 2-7 中國利用無人機進行農業撒播作業照片例

(資料來源：全球無人機網)

參、航空植生相適用性初評

一、 直升機進行航空植生

早期國內外應用航空器具裝備進行植生作業，大多為較大型直升機進行航空撒播，即將種子與植生基材拌合水後，撒播於人力無法到達之崩塌裸露地等需植生復育之地點。航空植生工法之適用地點與時機如下：

(一) 深山或偏遠地區、地形陡峻等條件不佳之地點，使用其它植生工法作業較困難時。

(二) 施工地點多、零星分布或面積廣大之地區。

(三) 崩塌地、火災跡地等急需快速植生綠化地區。

(四) 勞力不足或偏遠地區施工地勞工不易取得時。

(五) 依經費、施工地條件及預期植生結果之綜合判斷，以航空植生較有利時。

二、 UAV 航空植生之優劣點

茲考量 UAV 航空植生工法之經濟性、應用性暨實際工程操作面之需待解決問題等，以 SWOT 強弱危機進行分析。如表 2- 1。

表 2- 1 UAV 航空植生 SWOT 強弱危機分析

UAV 航空植生 優勢 Strengths	UAV 航空植生 劣勢 Weaknesses
1. 可於零星崩塌地、一般工程無法進入之區域進行植生作業。 2. 植生粒劑可於施工前先行製作及儲放，備料，具有時效性。 3. UAV 機動性高，可於最適宜之季節與區域進行植生作業。	1. 施工面積較小，無法大面積施工。 2. UAV 承載物品時，耗電量較大，作業執行時間，較無法長久延續。 3. 因該工法大多用於機具無法到達之區域，且屬較粗放型之點狀撒播，暫無法進行精確之堆肥，撒水作業，須配合雨季施作，較可達有效性。
UAV 航空植生 機會 Opportunities	**UAV 航空植生 威脅 Threats**
1. 目前台灣之崩塌地變異大，多屬於局部、零星分布，因本工法可視需求分期分工作業，掌握最佳作業時機。 2. UAV 之適用機型已普遍化，加附投擲作業之設備多樣化，可依現況需要選擇配置及短期訓練即可操作。 3. 植生粒劑之配比設計可因地制宜，選取適宜之植生基材與種子材料，且粒劑之持久效性，有助於誘導演替系列之進行。	1. UAV 之附掛載重物及操作設備將有相關法定規範，後續作業將可能受到影響或限制。 2. 近年氣候變遷，導致梅雨季節等常規氣候失衡，使施工時間難以掌握。 3. 基地條件對粒劑之投擲效益，仍有不確定性，量化之成果驗收較困難。

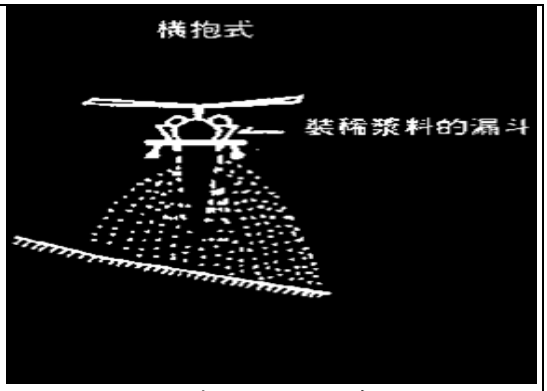
第二節 直升機或相關飛行器應用於國內航空植生之實際案例成效與檢討

壹、台灣航空植生之實際作業案例

過去，進行國內航空噴植之區域多為深山或偏遠等人力機具無法直接到達之山區，山區地勢多為不規則之山丘陵或凹形山谷，且天氣易受地形影響變化極快，尤其到午後時段，山谷地區間之下降或上升氣流容易產生，可使天氣在短時間中有明顯改變。因此在進行航空噴植時，應視其環境區域進行多方面之考量，選擇能快速達到效益與目的之材料與方法。

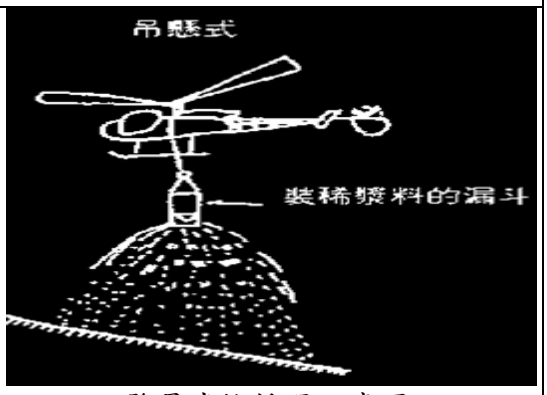
台灣過去曾應用之噴植直升機為亞太航空公司 Bell-414SP 型通用(貨送、運輸、空拍、石油探勘)直升機。此航空器之安全總重量為 11900 磅，機身自重 7500 磅，滿油重 2000 磅，每一次噴植任務需編制三人(約 450 磅)。當時撒播器自重 200 磅，裝載容量為 1950 磅。以垂吊式撒播方式將撒播器以鋼索懸吊於機腹下方撒播器可裝置 1300 磅噴植材料，噴灑前後歷經 8 秒，單次噴灑面積大約為 450 m^2。其噴植材料與種子之設計配方，如表 2-2 所示。

橫抱式撒播器



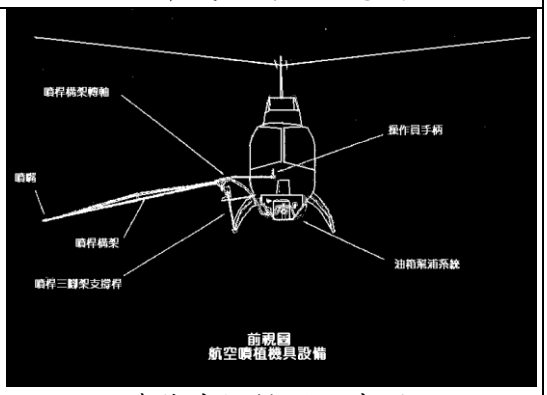
橫抱式撒播器示意圖

懸吊式撒播器



懸吊式撒播器示意圖

噴佈式撒播器



噴佈式撒播器示意圖

腹掛式撒播器

腹掛式噴植裝填作業

圖 2-8 台灣航空植生施工機具照片

航空噴植用之種子材料

拌料裝填機具與供水車

噴植用之拌合基材

噴植材料裝填情形

懸吊式液態撒佈現場拌料裝填作業

圖 2-9 台灣航空植生之施工作業照片

表 2-2 過去台灣航空噴植材料之設計配方(單位：10,000 m²)

工料項目	說明	單位	數量	單價(元)	總價(元)	附　註
種　子		公斤	323	640	199,500	
鳥食忌避劑		公升	20	400	8,000	
泥炭土		公斤	2,000	30	60,000	
保水劑	細顆粒有機材	公斤	4,000	500	200,000	
有機粒肥	台肥	公斤	3,000	15	45,000	
黏著劑	可綠素	公斤	1,000	400	400,000	
噴植機具租金及油料	含噴植及相關設備	式	1		700,000	
航空器租金及油料	含保險費	式	1		1,300,000	
技術工		工	130	800	104,000	
工具搬運及損耗	約勞力的 3%	式	1		3,120	
用水費		式	1		3,000	
倉庫租金		式	1		5,000	
材料試驗費		式	1		25,000	委請中興大學水保系
包商利雜費	約 12%	式			373,120	
合計					3,425,740	
每 10,000 m² 單價計　3,425,740 元						

表 2-3 航空噴植種子之設計配方(單位：10,000 m²)

工料項目	說明	單位	數量	單價(元)	總價(元)	附　註
種子	百喜草	公斤	150	350	52,500	
種子	百慕達草	公斤	50	300	15,000	
種子	律柏草	公斤	50	400	20,000	
種子	鐵掃帚	公斤	50	1,360	68,000	
種子	山芙蓉	公斤	3	8,000	24,000	
種子	相思樹	公斤	20	1,000	20,000	
總量			323		199,500	

貳、直升機航空噴植之困難與問題

一、 天空晴朗山區背光面視線不佳飛行員無法直接飛至目標區，有時速度減至最低速亦無法目視。

二、 目標區受管線、電線不能直接目視，必須近距離才可發覺，影響正常飛行速度，耽誤時間。

三、 在午後時間受氣流影響，飛機操控不易，需花較多時間穩住飛機後始可將種子，投擲或噴植到目標區。

四、 在沙質地區作業直昇機旋翼下沈氣流將灰沙吹起遮住飛機視線，影響甚鉅。

五、 作業區若有較大樹枝阻擋，無法將種子投入樹下方。

六、 高海拔區空氣密度低，飛機滯空馬力增加，載重量減少，作業時間相對增加。

七、 山區飛機上無線電收訊不良，有時高度需爬高始可通聯，再降低高度作業，耽誤時間較長。

第三節 比較討論無人飛行載具在航空植生之極限性與直升機之限制

壹、無人飛行載具航空植生之考量因子

無人飛行載具因屬遠端操控，因此在應用與限制上與直升機航空植生有相當之差異。無人飛行載具在進行投擲作業時，會受到外在環境干擾或是機體本身設備限制，導致播種粒劑著地時之分布點位不均，甚至影響植生復育成效。因此在進行無人機機型選擇與投擲裝置設計時，應考量多方面之影響，以確保投擲作業能順利進行。

一、 無人飛行載具機型與性能

以目前較常見之電動無人載具而言，有下列須注意之事項。

(一) 飛行器載重：UAV 在飛行過程，螺旋槳除了需承載植生粒劑之重量外，更需承載飛行器本身之重量，而承載重量將會影響電池使用量及飛航距離。

(二) 飛行時間與距離：投擲區域大多為無法人力直接進入之零星崩塌區域，因此在飛行時間上須花較多時間到達，故在選擇飛航線路時，應先估算飛航時間與距離，以確保油料或電池

用量。

(三) 投擲裝置：UAV 到投擲區域後，如何使植生粒劑順利均勻分布於坡面，需靠投擲裝置的設定；而在設計裝置時更應考量投擲裝置之載重以及投擲開關設定，以確保植生粒劑能順利於目的地投擲。

(四) 電池數量/充電效率：一般而言會於任務前完成電池充電，但考量任務飛行趟數，需準備相當數量的電池，也需要考慮現地無法充電；即便現地能利用發電機充電，但仍需考慮充電的速度與效率。

二、 外部環境影響因子

(一) 崩塌地立地條件：包括合適的起降點距離、飛行路線與地形複雜度、飛行高度...等。

1、低難度類型：任務直線距離小於等於 1 公里，且航線空域通透，可目視目標區；在這樣的條件下，可考慮使用 6 軸或 8 軸多旋翼無人載具執行撒播任務。

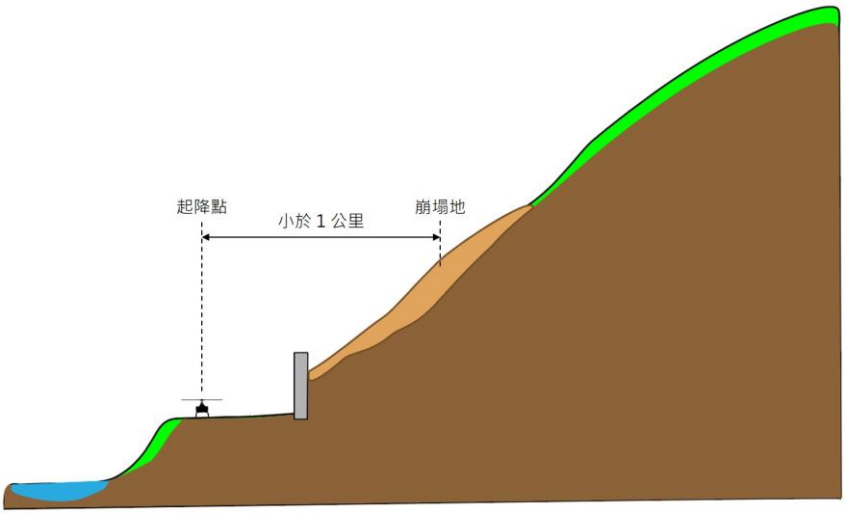


圖 2- 10 低難度類型崩塌地示意圖

2、中難度類型：任務直線距離大於 1 公里以上，航線空域通透雖可目視，但中間有許多障礙物；在這樣的條件下，雖然可考慮使用 6 軸或 8 軸多旋翼無人載具執行撒播任務，但使用載重量高、飛行距離長且續航力長的單軸無人載具似乎較合適。

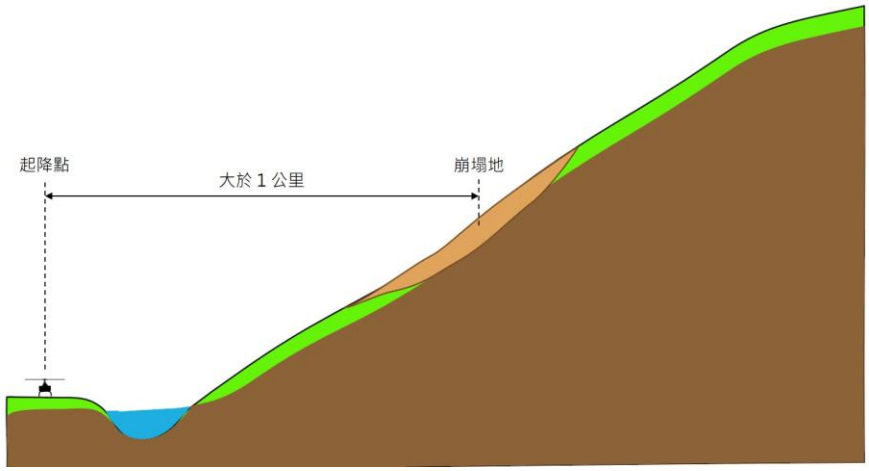


圖 2- 11 中難度類型崩塌地示意圖

3、高難度類型：任務直線距離大於 1 公里以上，航線空域須越過另一座山頭才能抵達目標區；在這樣的條件下，需考慮山區紊亂的氣流，較長的航程、較高的飛行高度以及各類型的突發狀況等因素，則以載重量高、飛行距離長、抗風能力較佳且續航力長的單軸無人載具較合適。

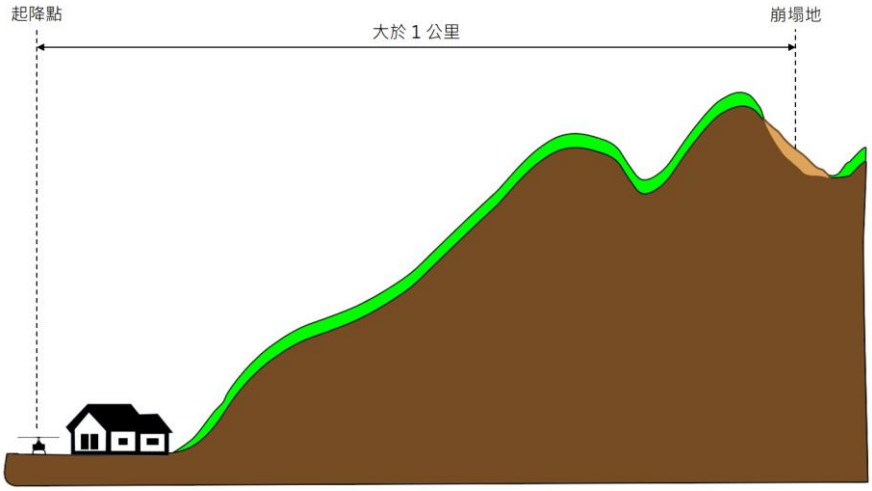


圖 2- 12 高難度類型崩塌地示意圖

(二) 風速：UAV 飛行作業時，機體會因受到風速影響，導致機體耗電量增加，更會影響粒劑投擲之方向。

(三) 投擲高度：粒劑降落地面之最終速度，會受到投擲作業時高度影響，而 UAV 在上升過程，易受到氣流干擾，承載的植生粒劑可能因此擺盪搖晃。

三、 粒劑資材之影響

(一) 粒劑形狀：植生粒劑形狀，將影響 UAV 所能承載之體積與粒劑數量，體積較大則受風面積也較大，因此需將其列入考量。

(二) 粒劑重量：植生粒劑重量，將影響 UAV 所能承載之載重，重量越重，UAV 相對耗電量越大；且植生粒劑在運載過程擺盪幅度將越大，投擲易受影響。

表 2- 4 無人飛行載具與直升機航空噴植之差異性

項目	無人飛行載具	直升機
前置作業	較簡易，作業時間較短	較複雜，作業時間較長
成本效益	小面積效益高	大面積效益高
機動性與即時性	較高	較低
適宜施工面積	較小	較大
施工安全性	較高	中等
可飛行距離	較近	較遠
機具作業操作	短期訓練即可操作	需專業人員操作

第四節 擬定無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可

壹、無人載具航空植生作業申請程序

本計畫針對國有林崩塌地之狀況，例如重大列管崩塌地與大規模崩塌潛勢區為優先等原則，由申請單位(如各林管處)進行前期評估，在整合崩塌地調查和現況調查之資料，且經檢討分析後，認為該崩塌地無法自然復育，或需要人為輔助加速其復育速度，

或是對於附近之保全對象有立即之威脅時，則須針對不同類型之崩塌地特性，研擬崩塌地處理對策。

一、 不同崩塌地對象之處理原則

崩塌地之處理對象，可依下列處理方法與原則進行：

(一) 優先處理：下游地區有民眾聚集之村落、住家或公共設施崩塌土石會造成土石災害之地區，應列為最優先處理，需於最短時間完成坡面表土之安定及配合植生工程處理，以促進有效保護植被之形成。

(二) 暫緩處理：崩塌地僅影響農產品、農地，或下游地區無村落，無立即性之危險，需俟基礎工程完工後才能處理者，可以做較長期且全面性之規劃。

(三) 無法植生處理：因崩塌地造成垂直陡坡、岩層滑動坡面之地區，以坡面安定為先，配合邊坡穩定基礎工程如打樁編柵、蛇籠等處理後，才能進行植生綠化工作。

(四) 簡易植生處理：部分堆積區下方有緩衝綠帶，且下游地區無村莊部落，而坡面尚有殘存植物生長之地區，較無產生災害之虞慮，可採行簡易之植生處理，以種子撒播及適當追肥養護處理，待當地植物之自然入侵。

(五) 道路可達之地區依各區環境特性分別進行相關基礎工程及就不同植生綠化對策及目標，進行打樁編柵、速生植物袋苗穴植，人工撒播或噴植工法等處理。

(六) 對無道路可達、地點零散或面積龐大及人員施作有危險性之區域，建議採用航空植生施作以達到爭取時效、快速植生覆蓋效果。

圖 2- 13 為崩塌地處理流程，自決定處理優先順序後，進行基本調查，再配合環境、景觀、安全性及施工經驗等參考條件，即可選出較適當之工法組合類型，再依實際狀況選擇細部工法。

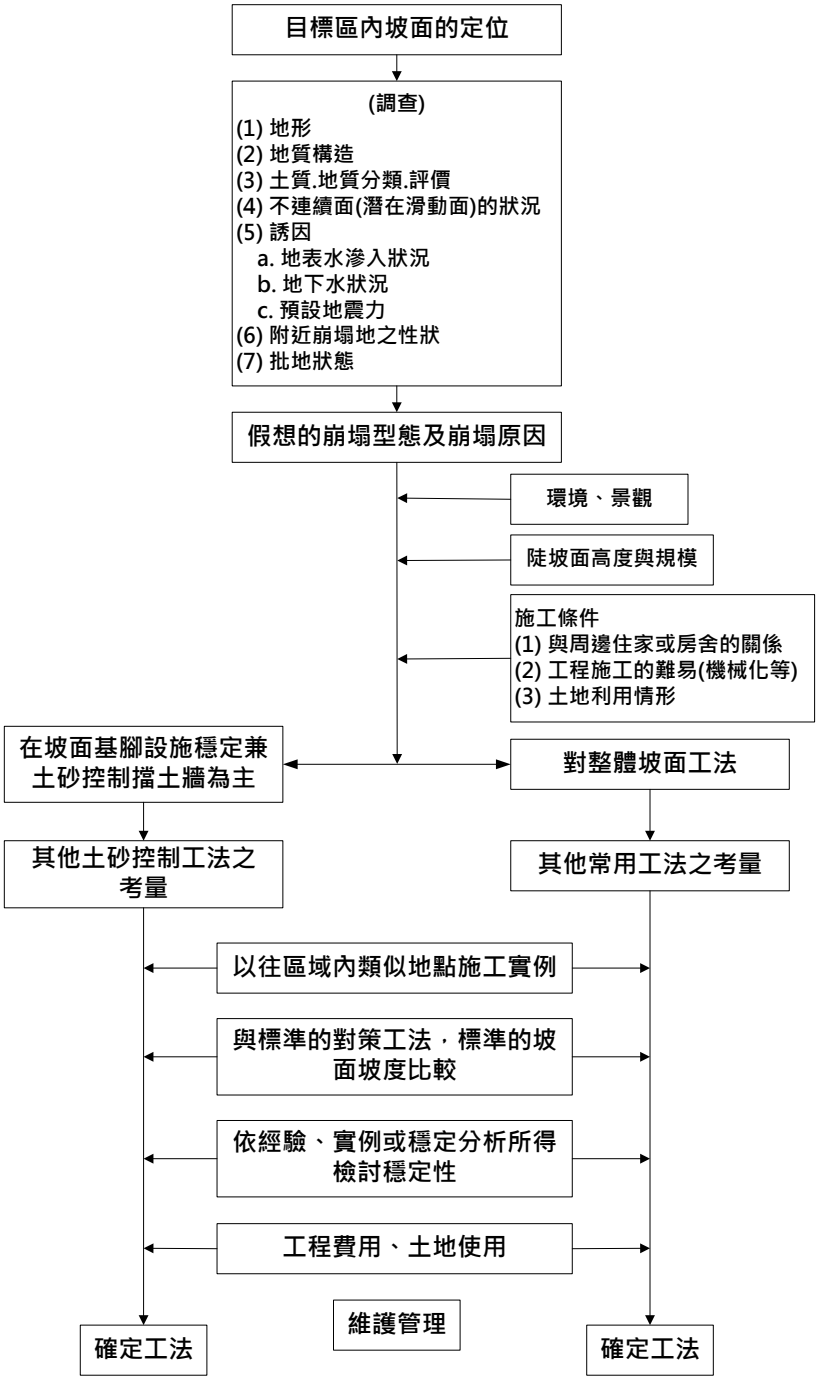


圖 2- 13 一般崩塌地處理工法選擇之流程

貳、航空噴植申請

依前述之分析原則，擬訂由優先處理或無道路可達、地點零散或面積龐大及人員施作有危險性之區域以及重大列管崩塌地與大規模崩塌潛勢區等，為考量航空噴植之申請區域。

一、 林務局內航空噴植申請程序

本計畫依前述相關評估原則，初步擬訂相關申請程序如圖 2-14，後續依據民航局相關作業規範進行申請。

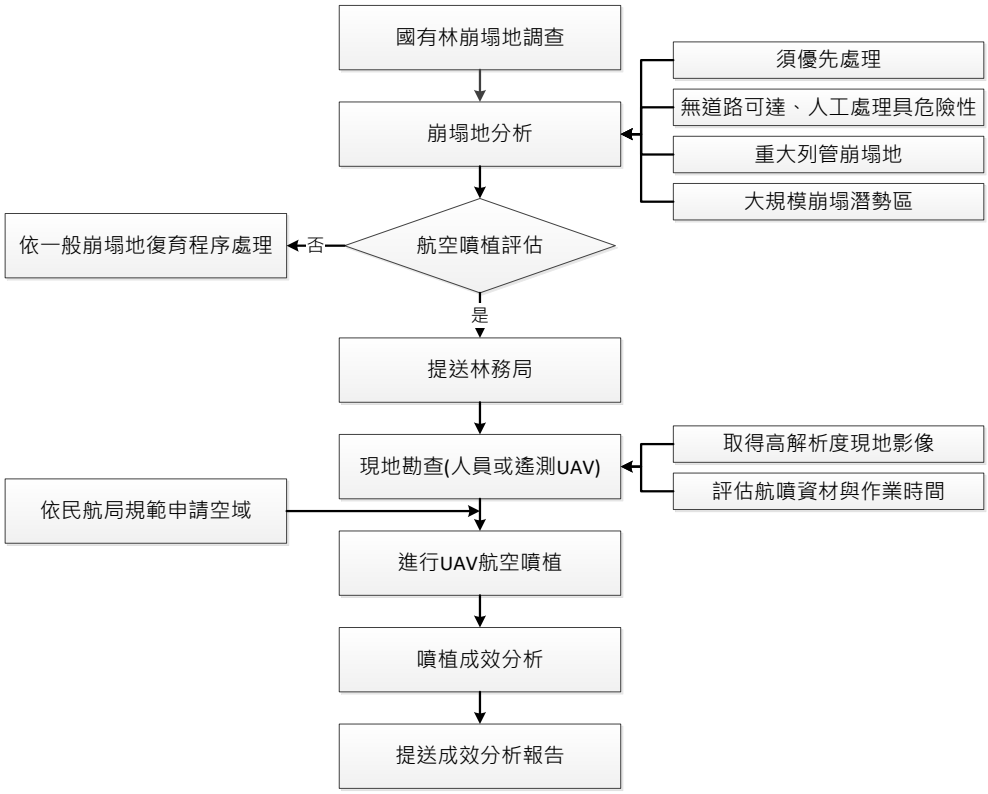


圖 2-14 航空噴植申請流程

二、 相關飛航申請

現行無人載具的飛航管理，係依照民航局發布之無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業(AIC 04/2012)規範具文申請(如表 2-5)。另立法院已於 107 年 4 月三讀通過交通部民用航空局提送之民用航空法修正案，民用航空法《遙控無人機專章》預計自明年(109 年)3 月 31 日正式實施，相關規定整理(如圖 2-16、圖 2-17、圖 2-17 所示)，未來國內之無人機相關活動均須依照相關法令規定辦理。

表 2-5 空域申請表範例

附件一　　無人航空器系統（UAS）作業申請表

作業名稱	經濟部水利署第六河川局轄區重點區空中攝影監測作業				
用途	第六河川局轄區重點區空中攝影監測				
委託單位	易圖科技股份有限公司 （承辦人：陳[redacted]）				
申請單位	經濟部水利署第六河川局				
申請單位承辦人	姓名		電話號碼		
作業現場負責人	姓名	黃[redacted]	行動電話	097[redacted]	
駕駛人員	姓名	黃[redacted]	行動電話	097[redacted]	
協調人員	姓名	陳[redacted]	行動電話	097[redacted]	
作業日期及時間（24 時制）	自	107 年 09 月 10 日起	至	107 年 10 月 31 日止	
	自	08 時 00 分起	至	17 時 00 分止	
空域範圍各點連線（WGS-84） 普文	1. 北緯	23 度 15 分 56.56 秒	東經	120 度 31 分 42.87 秒	
	2. 北緯	23 度 14 分 51.20 秒	東經	120 度 33 分 3.38 秒	
	3. 北緯	23 度 10 分 31.56 秒	東經	120 度 29 分 6.52 秒	
	4. 北緯	23 度 11 分 40.20 秒	東經	120 度 27 分 43.62 秒	
作業高度	自 0 英呎至 1500 英呎（AMSL, Above Mean Sea Level） 實際高度(平地/山區) 1500 英呎（AGL, Above Ground Level）				
UAS/RPAS 起飛/降落地點名稱與座標(WGS-84)	起飛/降落地點名稱	起飛點 1			
	北緯	23 度 13 分 10.19 秒	東經	120 度 29 分 44.95 秒	
作業範圍中心點座標(WGS-84)	北緯	23 度 13 分 8.77 秒	東經	120 度 30 分 27.58 秒	
作業半徑(海浬)	約 5.5 海浬				
空域範圍各點連線（WGS-84） 府安	1. 北緯	23 度 1 分 6.41 秒	東經	120 度 10 分 42.69 秒	
	2. 北緯	23 度 1 分 44.95 秒	東經	120 度 13 分 1.24 秒	
	3. 北緯	23 度 1 分 6.02 秒	東經	120 度 13 分 10.98 秒	
	4. 北緯	23 度 0 分 31.45 秒	東經	120 度 10 分 53.78 秒	
作業高度	自 0 英呎至 1500 英呎（AMSL, Above Mean Sea Level） 實際高度(平地/山區) 1500 英呎（AGL, Above Ground Level）				
UAS/RPAS 起飛/降落地點名稱與座標(WGS-84)	起飛/降落地點名稱	起飛點 2			
	北緯	23 度 1 分 3.76 秒	東經	120 度 11 分 7.23 秒	
作業範圍中心點座標(WGS-84)	北緯	23 度 0 分 53.28 秒	東經	120 度 11 分 59.82 秒	
作業半徑(海浬)	約 5.5 海浬				

第 1 頁，共 6 頁

空域範圍各點連線（WGS-84） 長榮	1. 北緯	22 度 55 分 26.07 秒	東經	120 度 13 分 19.89 秒	
	2. 北緯	22 度 54 分 10.03 秒	東經	120 度 20 分 35.53 秒	
	3. 北緯	22 度 52 分 31.27 秒	東經	120 度 20 分 19.91 秒	
	4. 北緯	22 度 53 分 45.11 秒	東經	120 度 13 分 3.14 秒	
作業高度	自 0 英呎至 1500 英呎（AMSL, Above Mean Sea Level） 實際高度(平地/山區) 1500 英呎（AGL, Above Ground Level）				
UAS/RPAS 起飛/降落地點名稱與座標(WGS-84)	起飛/降落地點名稱	起飛點 3			
	北緯	22 度 54 分 7.19 秒	東經	120 度 16 分 22.56 秒	
作業範圍中心點座標(WGS-84)	北緯	22 度 53 分 15.35 秒	東經	120 度 16 分 42.12 秒	
作業半徑(海浬)	約 5.5 海浬				
空域範圍各點連線（WGS-84） 喜定	1. 北緯	22 度 55 分 14.26 秒	東經	120 度 10 分 5.84 秒	
	2. 北緯	22 度 55 分 23.60 秒	東經	120 度 10 分 41.67 秒	
	3. 北緯	22 度 51 分 38.13 秒	東經	120 度 11 分 59.20 秒	
	4. 北緯	22 度 51 分 28.79 秒	東經	120 度 11 分 22.37 秒	
作業高度	自 0 英呎至 1500 英呎（AMSL, Above Mean Sea Level） 實際高度(平地/山區) 1500 英呎（AGL, Above Ground Level）				
UAS/RPAS 起飛/降落地點名稱與座標(WGS-84)	起飛/降落地點名稱	起飛點 4			
	北緯	22 度 53 分 36.42 秒	東經	120 度 10 分 54.71 秒	
作業範圍中心點座標(WGS-84)	北緯	22 度 53 分 12.85 秒	東經	120 度 11 分 2.55 秒	
作業半徑(海浬)	約 5.5 海浬				
作業概述	利用無人載具空中攝影，協助拍攝區域正射影像。				
備註	1.本申請表填寫時，請自行依實際需要調整欄位。 2.請配合完成「無人駕駛航空器系統(UAS)在臺北飛航情報區之作業」要求事項後，並於實施作業前十五天，向空通部民用航空局提出申請。				
茲聲明以上所填資料均屬實無誤，並確實遵守「國土測繪法」、「要塞堡壘地帶法」、「國家機密保護法」、「實施航空測量攝影及遙感探測管理規則」及使用國家通訊傳播委員會核准專用頻道等相關規定，保證操作組員熟悉本區飛航指南及相關飛航規則內容，已完成相關空域協調，作業期間絕不影響載人航空器飛航安全或地面人員及財產安全，並同意依交通部民用航空局、航管單位及軍方相關單位指示事項進行作業，倘有違反前述之情事，願負一切法律責任。 申請單位：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿（蓋章） 中華民國 107 年 月 日				

第 2 頁，共 6 頁

四　　UAS 作業空域附圖(含座標)

附圖

普文
1.北緯　23 度 15 分 56.56 秒　東經　120 度 31 分 42.87 秒
2.北緯　23 度 14 分 51.20 秒　東經　120 度 33 分 3.38 秒
3.北緯　23 度 10 分 31.56 秒　東經　120 度 29 分 6.52 秒
4.北緯　23 度 11 分 40.20 秒　東經　120 度 27 分 43.62 秒
起降點
北緯　23 度 13 分 10.19 秒　東經　120 度 29 分 44.95 秒

府安
1.北緯　23 度 1 分 6.41 秒　東經　120 度 10 分 42.69 秒
2.北緯　23 度 1 分 44.95 秒　東經　120 度 13 分 1.24 秒
3.北緯　23 度 1 分 6.02 秒　東經　120 度 13 分 10.98 秒
4.北緯　23 度 0 分 31.45 秒　東經　120 度 10 分 53.78 秒
起降點
北緯　23 度 1 分 3.76 秒 東經　120 度 11 分 7.23 秒

第 5 頁，共 6 頁

長榮
1.北緯　22 度 55 分 26.07 秒　東經　120 度 13 分 19.89 秒
2.北緯　22 度 54 分 10.03 秒　東經　120 度 20 分 35.53 秒
3.北緯　22 度 52 分 31.27 秒　東經　120 度 20 分 19.91 秒
4.北緯　22 度 53 分 45.11 秒　東經　120 度 13 分 3.14 秒
起降點
北緯　22 度 54 分 7.19 秒　東經　120 度 16 分 22.56 秒

喜定
1.北緯　22 度 55 分 14.26 秒　東經　120 度 10 分 5.84 秒
2.北緯　22 度 55 分 23.60 秒　東經　120 度 10 分 41.67 秒
3.北緯　22 度 51 分 38.13 秒　東經　120 度 11 分 59.20 秒
4.北緯　22 度 51 分 28.79 秒　東經　120 度 11 分 22.37 秒
起降點
北緯　22 度 53 分 36.42 秒　東經　120 度 10 分 54.71 秒

附註
1.請使用 Google Earth 衛星圖示。
2.請依序將起降場及空域各點編號標示。

第 6 頁，共 6 頁

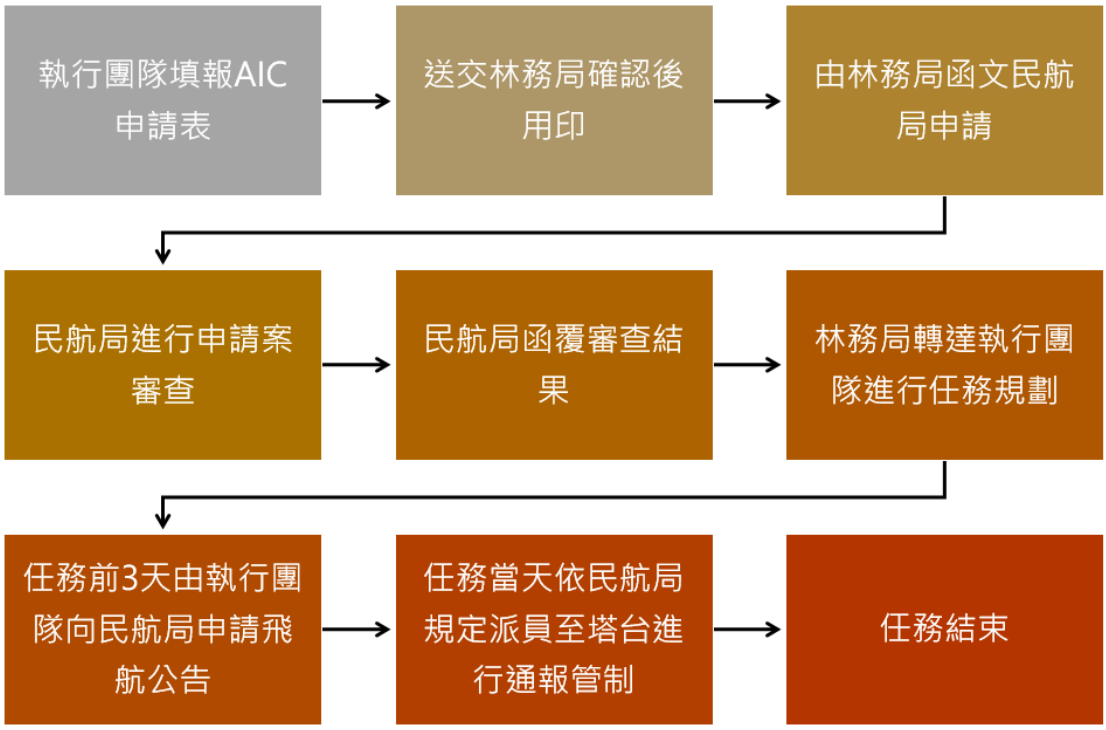
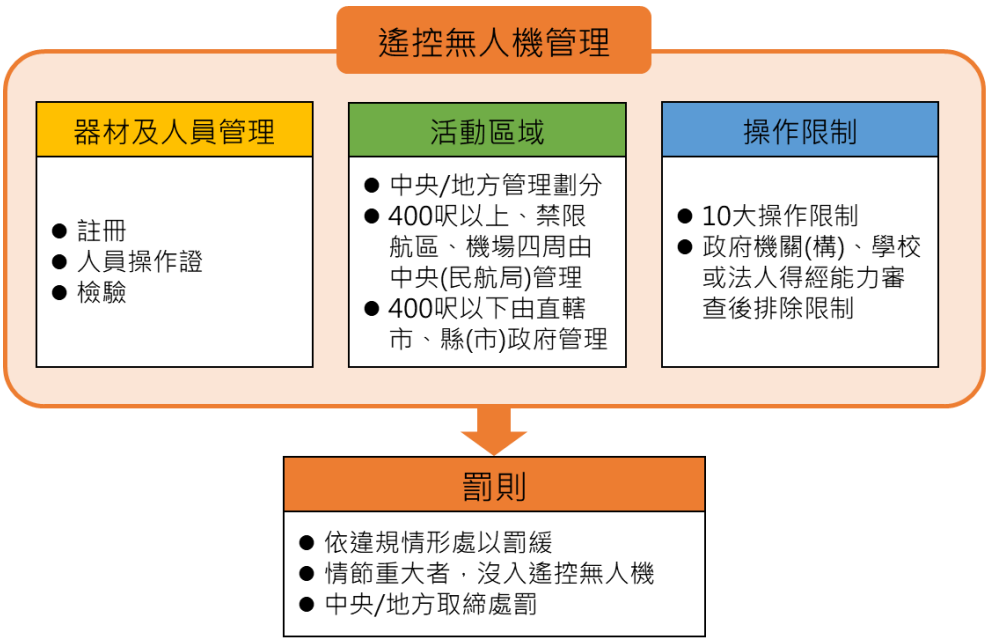


圖 2- 15 無人載具任務作業流程



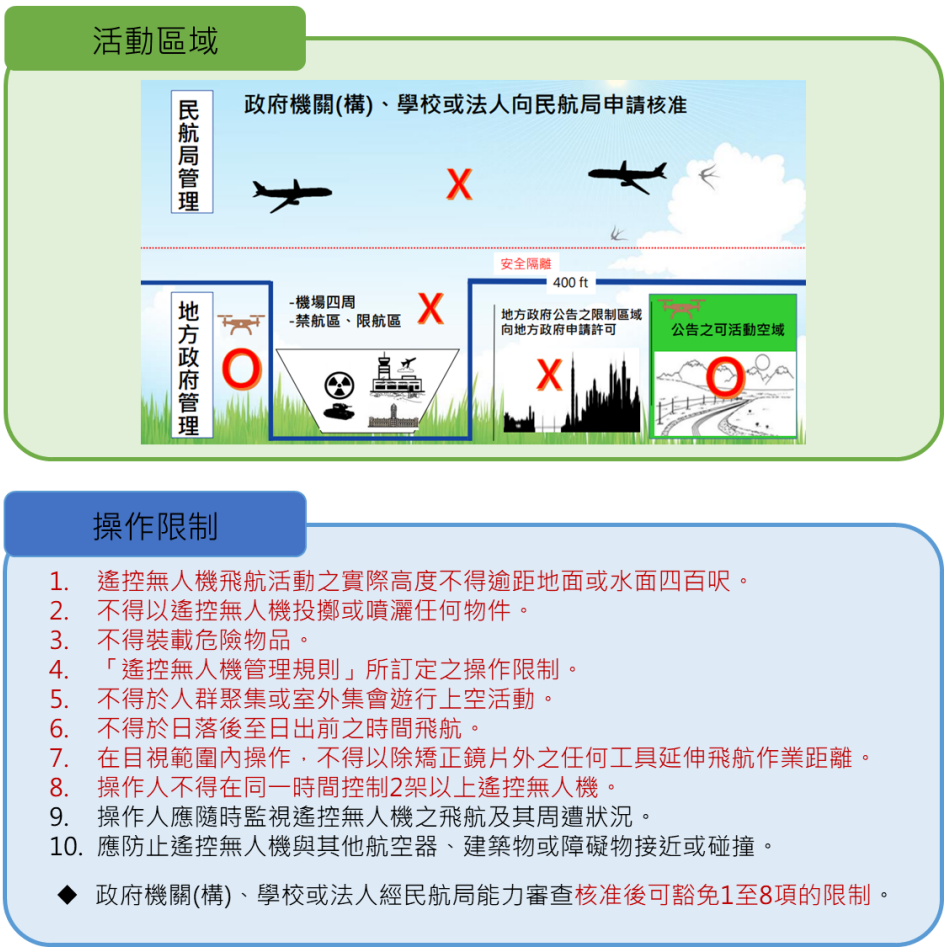


圖 2- 16 遙控無人機管理規則

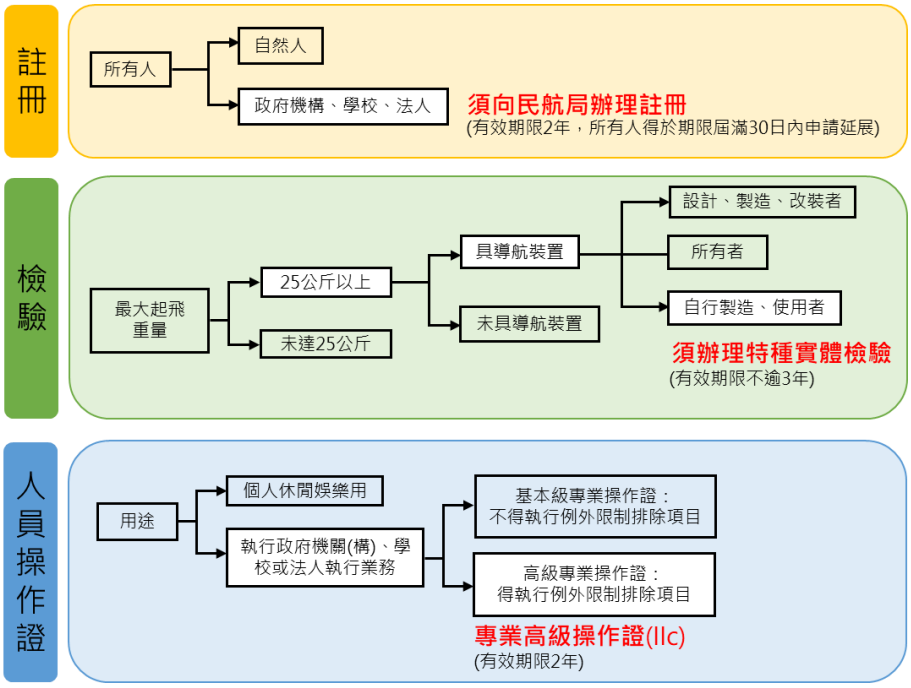


圖 2- 17 遙控無人機及操作證相關規定

民航局已於 107 年 5 月委辦遙控無人載具管理系統，本計畫參照相關法令規範與系統程序，建議相關飛航許可申請程序，供林務局參考。

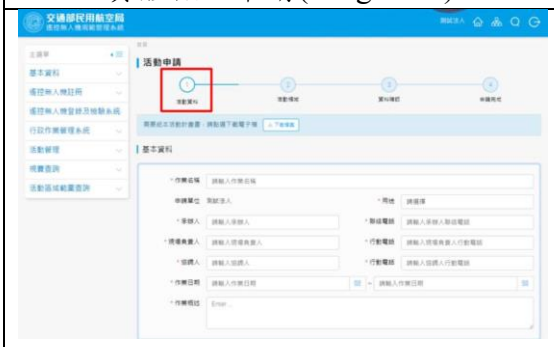
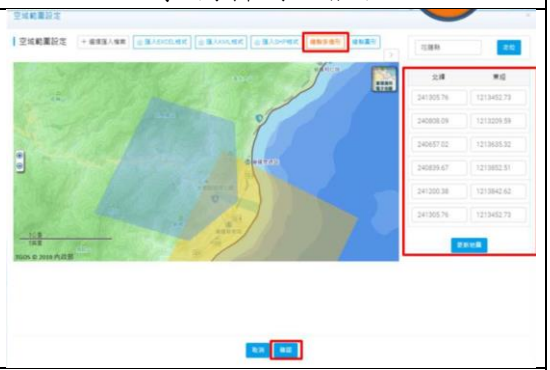
<table>
<tr><td>
</td><td> </td></tr>
<tr><td>遙控無人機規範管理系統首頁</td><td>無人機註冊</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>無人機註冊</td><td>型式認可申請(25kg 以下)</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>實體檢驗申請(25kg 以上)</td><td>學/術科測驗報名</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>活動申請</td><td>空域劃設</td></tr>
</table>

圖 2- 18 民航局遙控無人載具管理系統介面

以本計畫研發之無人載具類型，再加上航噴資材之重量，其起飛總重超過 25 公斤，因此相關載具需由民航局進行實質審查，本團隊多年來在相關審查方面已有相當豐富之經驗，故本計畫所研製之載具，必符合相關適航規範之要求。

在操作人員方面，本計畫之飛行員，均有 10 年以上豐富之飛行經驗，也已具備相關飛航證照，並可由團隊之逢甲大學進行飛航訓練與考照輔導。

參、小結

未來在相關業務推行上，針對執行團隊需具備之資格條件、操作證標準、無人機(最小限制、型式、最大起飛重量、離地高度…)及責任險等，提供相關建議如下。

一、 執行團隊基本資格

執行團隊須擁有自主之無人載具，非以租用方式之設備執行任務，且於計畫中使用之設備，需依照相關法規完成認證。

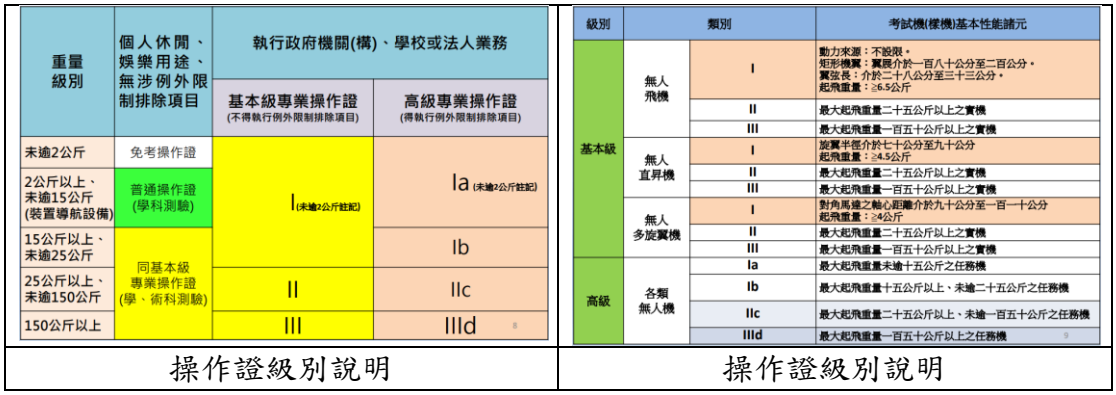
二、 操作證標準

相關操作人員，需依照執行團隊於計畫中所使用的機型，配置具備相對應等級證照的操作人員，相關證照等級如圖 2- 19。

無人機分類

學習操作證	普通操作證	專業操作證
• 年滿16歲可申請 • 須於擁有相應操作證之操作人在旁指導監護下，使得學習操作同構造且最大起飛重量未逾十五公斤之遙控無人機 • 遵守活動區域/操作限制 • 不需體格檢查合格證明	• 年滿18歲之本國國民經許可居留6個月或1年以上之外國人或陸港、澳人士可報考遙控無人機操作證 • 需經學科測驗合格 • 遵守活動區域/操作限制 • 不需體格檢查合格證明	• 年滿18歲之本國國民、經許可居留6個月或1年以上之外國人或陸、港澳人士可報考遙控無人機操作證 • 需經學、術科測驗合格 • 需符合相關經歷要求 • 需經體格檢查合格 • 得於通過能力資格審核並通過相關測驗，經申請後從事操作限制排除之項目

操作證基本分類



重量級別	個人休閒、娛樂用途、無涉例外限制排除項目	執行政府機關(構)、學校或法人業務	
		基本級專業操作證 (不得執行例外限制排除項目)	高級專業操作證 (得執行例外限制排除項目)
未逾2公斤	免考操作證	I(未逾2公斤註記)	Ia(未逾2公斤註記)
2公斤以上、未逾15公斤(裝置導航設備)	普通操作證(學科測驗)		
15公斤以上、未逾25公斤	同基本級專業操作證(學、術科測驗)		Ib
25公斤以上、未逾150公斤		II	IIc
150公斤以上		III	IIId

操作證級別說明

級別	類別		考試機(樣機)基本性能請元
基本級	無人飛機	I	動力來源：不設限。 矩形機翼：翼展介於一百八十公分至二百公分。 翼弦長：介於二十八公分至三十三公分。 起飛重量：≥6.5公斤
		II	最大起飛重量二十五公斤以上之實機
		III	最大起飛重量一百五十公斤以上之實機
	無人直昇機	I	旋翼半徑介於七十公分至九十公分 起飛重量：≥4.5公斤
		II	最大起飛重量二十五公斤以上之實機
		III	最大起飛重量一百五十公斤以上之實機
	無人多旋翼機	I	對角馬達之軸心距離介於九十公分至一百一十公分 起飛重量：≥4公斤
		II	最大起飛重量二十五公斤以上之實機
		III	最大起飛重量一百五十公斤以上之實機
高級	各類無人機	Ia	最大起飛重量未逾十五公斤之任務機
		Ib	最大起飛重量十五公斤以上、未逾二十五公斤之任務機
		IIc	最大起飛重量二十五公斤以上、未逾一百五十公斤之任務機
		IIId	最大起飛重量一百五十公斤以上之任務機

操作證級別說明

圖 2- 19 無人機操作證分類說明

三、 無人機等級

建議未來於航空撒播使用之無人機，至少須具備 5 公斤以上之資材酬載能力，但無人機形式可為單旋翼或多旋翼型無人機。

四、 責任險

依照民用航空法之規範，廠商須投保無人機專業責任險，其保額內容根據遙控無人機管理規則，若因事故造成人員死殘者，保額不得低於新台幣(以下同)300 萬元、重傷者不得低於 150 萬元；若非造成死亡或重傷者，則依實際損害計算，最高不超過 150 萬元。

第五節 原住民族常用崩塌地復育傳統技術與智慧

壹、原住民之主要造林與作物種類

依陳元陽於 1999 年所撰之《台灣的原住民國家公園》所敘，原住民主要之作物分為主食作物、換金作物以及造林樹種等三種，如圖 2- 20~圖 2- 22。

一、 主食作物：水稻、小米、玉米、芋...等。

二、 換金作物：梨、梅、香蕉、香茅草、山茶花...等。

三、 造林樹種：台灣杉、油桐、麻竹、桂竹...等。

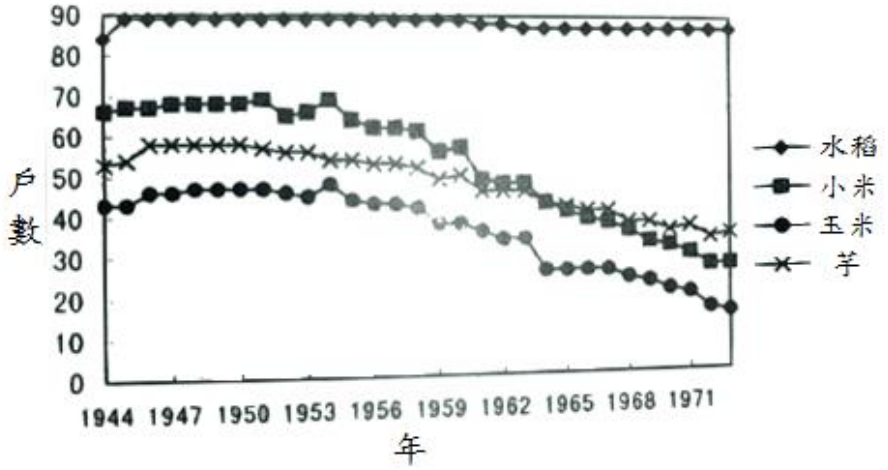


圖 2- 20 原住民主食作物栽培之戶數變化

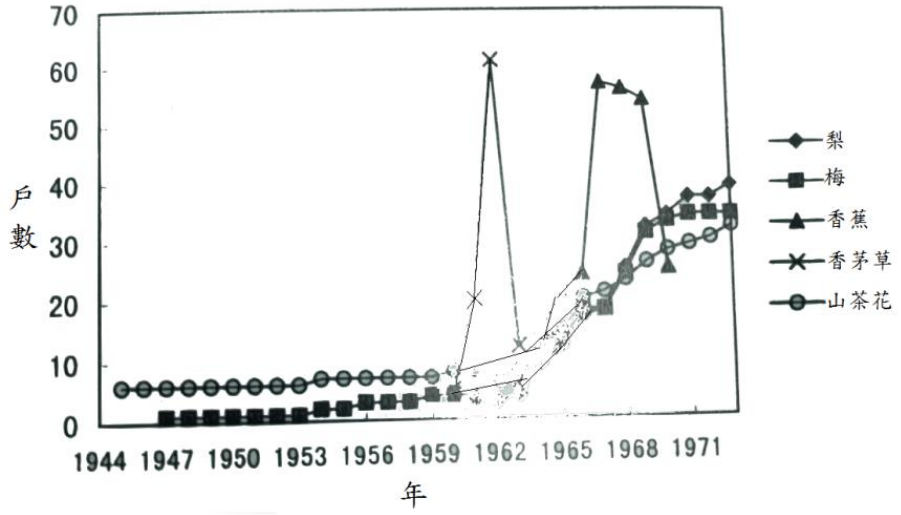


圖 2- 21 原住民換金作物栽培之戶數變化

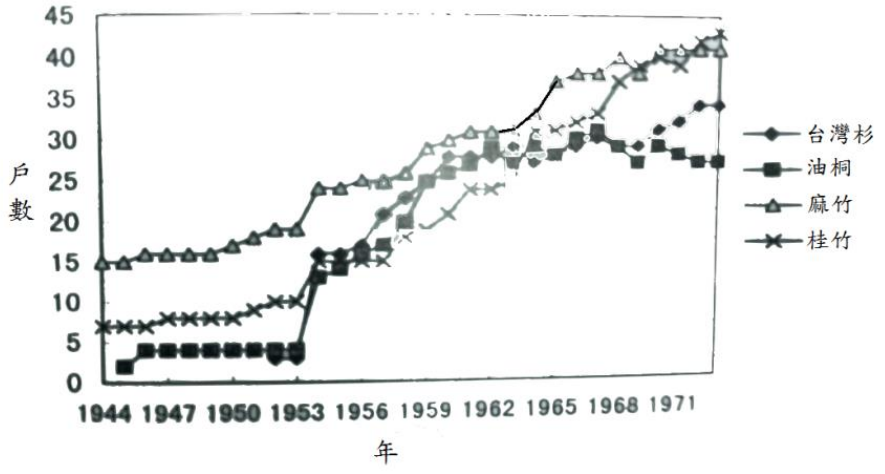


圖 2- 22 原住民不同年造林樹種之戶數變化

貳、原住民植物資源利用機制

依曾令羚於 2005 年之原住民植物資源永續利用機制之研究，以台東縣達魯瑪克部落為例。在資源有限度使用的情形之下，將採集植物行為發展成部落產業，增加居民收入，同時為部落文化重建提供資金。然而，植物產量穩定度不足以及觀光附加價值的不可預測，可能是未來發展的限制因素。部落居民對採集制度提出的意見雖以經濟效益方面最多，但居民最擔心的是資源分配是否公平。採集制度最為村人稱道的是規範化的管理，而非收入的提高，可見部落期待組織化的運作能使共有資源更加公平地被使用。採集制度在初期建立了很多維護安全的規範，但對於資源分配的議題則較少處理，重構野生植物利用系統中財產權的連結，應該是未來相關研究的重點。在現行法規限制下，植物資源永續利用是以研究計畫的方式來執行，將來該如何由部落運作，社區林業是一個可以思考的方向，但應先建立部落與基層林務機關的互信基礎。

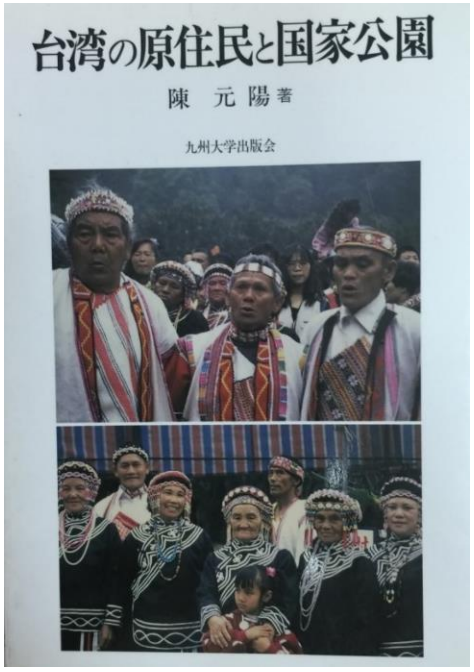


圖 2- 23 台灣之原住民與国家公園出版書籍封面

參、原住民族應用於崩塌地植栽之植物評估

依相關研究論文資料，以現地之植生調查案例及相關經驗之累積，初步評估下述之植物種類應屬原住民族傳統應用之民俗植物，且可做為崩塌地植生復育之主要植物種類。唯相關資料仍屬不足，仍需進一步探討之。

一、 香茅草

香茅草常呈叢生長，稈直立，每叢直徑最高可達約 2 公尺。香茅草葉有濃郁檸檬香，主要用途為煉製香精、人工顏料、及香水之原料。亦可用於驅除蚊蟲侵蝕等之用途。由於台灣香茅草極少開花抽穗，因此較少見到香茅草的花。

最初香茅草的種植區域是在苗栗附近，49 年以後漸發展至臺中及南部地區，59 年台東地區也開始種植，而今臺東產量佔全省總產量的 50% (羅美汴，2009)。因為臺東地區之發展較臺灣北部以及西部緩慢，人工便宜，廉價之香茅油，很適合於在此地區發展。當地原住民會把香茅草拿來泡茶喝，而香茅油主要是拿來擦拭有驅蟲、驅蚊之功效。水土保持用途上，香茅草可作為坡地農作區之草帶法或緩衝帶植草草種，因其對環境應力之廣適性, 亦作為惡地、荒地植草或崩塌地植生草種。

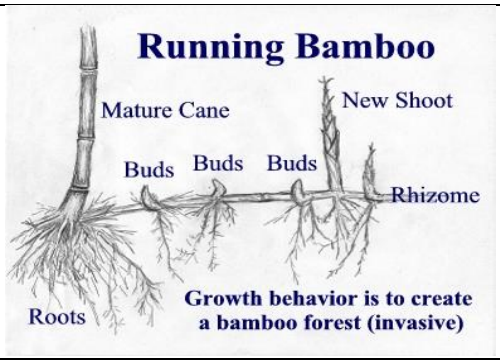
圖 2- 24 香茅草之生長與應用情況

二、 桂竹

桂竹林為台灣北部及中部地區中低海拔分布面積最廣之竹種，早期原住民最廣泛應用其竹材做為家具、支柱、住屋等用途。桂竹具發達之橫走莖，側出單桿散生，生長快速，為早期推廣之造林樹種。因其地下莖具網狀結構，能於坡地間發揮固土能力，有利於坡地地區水土保持，一般認為在易崩塌地區，因桂竹入侵生長迅速, 常見大面積群落生長情形。但坡地大面積桂竹林地，因其淺根性，常有片狀滑落與崩塌之情形，其自然因素發生之崩塌因素包括地形、地質、豪雨侵蝕、河岸侵蝕等自然因素與道路開發、坡面排水不佳、大面積竹材採伐及土地利用改變等人為因素。

石門水庫集水區桂竹林

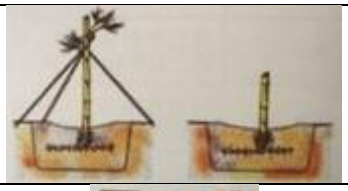
易崩塌地區常見桂竹快速入侵



桂竹之地下行走莖

圖 2- 25 桂竹林之崩塌地應用與生長特性圖示

表 2-6 單稈散生型竹類之繁殖方法

繁殖方式	說明	圖示
1. 帶有母竹之地下莖栽植	採取繁殖材料時，挖掘帶有母竹之地下莖。	
2. 地下莖不帶母竹之栽植	採取繁殖材料時，挖掘不帶有母竹之地下莖。	
3. 種子育苗法	臺灣早期竹類栽培推廣並無一次大面積栽植之情形，以種子來育苗者可說沒有。	

三、 樹豆

在傳統的泰雅部落中，『樹豆』被視為三大主食之一，有時也直接代替米飯，成為過去族人們的傳統糧食之一。樹豆在不同的族裔之間，更有著不同的傳說故事與文化內涵。相傳過去獵人到山上打獵，當筋疲力竭時，會在山中尋找樹豆的蹤跡，吃了之後便感到精力旺盛，因此樹豆在部落間也流傳著『原住民威而鋼』的風趣別名。樹豆生長之立地要求不高，可栽植與崩塌地之堆積地區或山區道路邊坡，兼具經濟作物與水土保持植物之功能。

樹豆生長於崩塌地

樹豆種子

樹豆之生長外觀與果實

圖 2- 26 樹豆之生長外觀與果實

四、 台灣赤楊

台灣赤楊主要分布於臺灣平地至海拔 3,000 m 之山區。屬半落葉大喬木，為第二期森林及開墾跡地或崩壞地之主要樹種，常形成小塊純林；分布東亞及中國大陸。其根系發達，有根瘤菌，有改良土壤之效，有助於崩塌地土質之改善。根多密集中下層，深根性，可固土護岸。

台灣赤楊是布農族生活之重要木材、薪炭材、建屋材料。相傳原住民用 I-bu(台灣赤楊)來稱呼小朋友，期盼年輕的生命能像台灣赤楊一樣，在艱困惡劣貧瘠的環境下，可以生長茁壯。(農委會林業試驗所 2017 布農族人與台灣赤楊(耆老黃泰山口述資料)。林業研究專刊 24(3): 43-47.)

台灣赤楊之外觀與生長情形

台灣赤楊全株	梨山荒廢果園種植台灣赤楊

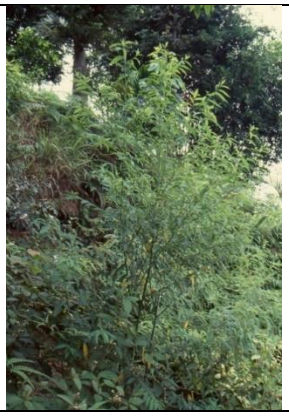
圖 2- 27 台灣赤楊之外觀與生長情形

五、 山胡椒

山胡椒(原住民稱馬告)，於台灣 1,000 m 左右之各地山區分布。屬落葉灌木或小喬木，株高 3~5 公尺。山胡椒為著名先驅樹種，台灣全島中低海拔之開曠地，路邊或新疏開林地，常見其大片群落生長。山胡椒物如其名，為天然香料，全株均具辛辣的芳香味，蒸餾出來的精油，可供配製香精，用於食品及化粧品等，亦可供醫藥製品原料；是台灣泰雅族與賽夏族傳統調味香料與日常飲品，山胡椒果實亦可用以代替食鹽。

枝葉	花

花序



全株

圖 2- 28 山胡椒之外觀型態

六、 羅氏鹽膚木

羅氏鹽膚木生長於台灣 2,000 公尺以下中、低海拔，向陽開闊地十分常見，全島各地皆可見。屬落葉性小喬木。羅氏鹽膚木為喜好陽光的陽性樹種，在道路兩旁及崩塌地區最為常見，它的木材可供作薪材使用。其果實外層含有鹽份，早期是原住民食鹽、醃漬生薑、野菜的來源，上山打獵時更是野外鹽份的「補給站」。

圖 2- 29 羅氏鹽膚木之生長外觀與葉型

七、 小結

現階段原住民族應用植物中，台灣赤楊、樹豆、山胡椒、羅氏鹽膚木等種子材料易於購得，未來在原住民保留地應可考慮作為植生粒劑之種子材料(本計畫已少量使用台灣赤楊、羅氏鹽膚木進行試驗)，進行後續試驗研究，以整合原住民之傳統智慧與落實生物多樣性保育。

肆、原住民參與崩塌地整治之在地施工

一、 背景說明

民國 88 年 921 地震後，山區坡地土石因鬆動而產生甚多之崩塌地，且其源頭地表裂縫眾多，經 89 年豪雨作用後，引發許多嚴重土石流災害。為防止崩塌再次擴大，行政院農業委員會延續 89 年 5 月 20 日起辦理之「921 災區土石災害緊急水土保持處理計畫」及「921 災區颱風季節土石災害緊急水土保持處理計畫」，特又研訂「921 重建區土石流及崩塌地源頭緊急水土保持處理計畫」，由水土保持局及林務局組成緊急處理小組，勘查診斷土石流潛勢溪流及崩塌區域，研判需緊急處理者，迅速決定處理工法。源頭處理之策略與原則包括：

(一) 從崩塌源頭開始處理並延續至下游土石流堆積區，針對崩塌地整治與水土保持防治一氣呵成，以徹底防止崩塌、減少土石來源。

(二) 僱用在地人，辦理山坡地水土保持處理工作。

(三) 聘用學者及專業技師，協助鄉鎮公所規劃及提供技術指導。

(四) 相關工程應用之資材，以生態考量、適地適用、就地取材為原則。

(五) 較大規模坡地保育處理工作，應依其發生機制與規模，選用適當處理工法，進行最有效之處理方式。

上述之僱有在地人施工之地區，在原住民保留地之施工，概由原住民部落進行，政府以點工購料之方法進行輔助。其中很多現地材料之利用與施工之作業技術與經驗智慧，提供很多解決現地施工之問題。

二、 原住民參與崩塌地整治施工作業案例

有關原住民實際參與崩塌地施工作業案例，茲以台東縣海端鄉加勒1號源頭處理工程之紀錄影片(水土保持局台東分局製作)，概要如下：

(一) 地點：台東縣海瑞鄉加樂村崩塌面積約 3 公頃

(二) 施工人數：465 人(加樂部落等原住民)

(三) 施工日期：2002/09/23-2002/12/10

施工前之祭拜	土壤袋排水工程
用於打樁編柵之竹樁劈竹	箱型石籠擋土工程

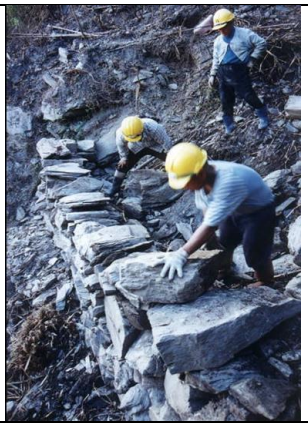
	
乾砌石擋土設施施工作業	

圖 2- 30 原住民參與崩塌地整治施工作業照片(範例)

第三章　建立開發整合無人飛行載具之崩塌地植生作業系統

第一節 無人飛行載具類型評估

壹、無人飛行載具類型需求

依無人飛行載具之飛行特性、可飛行時間、酬載能力等，選定搭載之無人飛行載具類型，並評估高、中、低不同難度之場域試區適宜之無人飛行載具及優選。

因本計畫屬可行性研究階段，故朝向規劃一款符合高難度場域使用之無人飛行載具進行應用分析，藉用其高性能同時符合高、中、低不同難度之場域試區之應用與測試。

經文獻蒐集彙整後，對於可適用於國有林崩塌地植生粒劑投擲之無人飛行載具應進行多方面的考量，並不斷評估其承載與飛行能力，才得以有良好的復育效果與安全穩定性。無人飛行載具運用需求初步建議如下：

一、 因應定點投擲需求，定翼型載具即不適合，故以旋翼型載具為優選(單旋翼或多旋翼)。

二、 具備高載重力與抗風 6 級以上效能，以因應山區作業需求。

三、 載具與投擲機件需易於取得並容易維修經簡單的訓練後，可馬上操作。

四、 載具可依投擲規模與現場環境，每趟任務負荷至少 5 公斤植生粒劑。

五、 載具可適應一般山區地形環境條件，在無強風與降雨情況下進行視距外飛行任務。

貳、旋翼型無人載具比較

一、 旋翼型載具介紹

目前國內較常見之旋翼型無人載具，包含商售機種與自組機種，以多旋翼型載具較為常見，其動力來源為電池馬達，優點為操作簡易，但缺點為飛行時間較短以及載重不高。另外亦有幾款較為大型的單軸旋翼型機種，動力為電池馬達或燃料引擎，能提供較高的酬載重量與飛行時數，單軸相較於多軸旋翼，則較難操控，需要較長的訓練時間；但以目前先進的飛行控制系統，已經可以提供非常多的操控輔助，降低操控難度。

表 3- 1 國內常見無人飛行載具性能諸元比較表

機型	六軸旋翼機	八軸旋翼機	八軸旋翼機	單軸直升機	單軸直升機	單軸直升機	單軸直升機
型號	DJI Matrice 600 Pro	DJI MG-1	LION 1200	GX9-F100	R-MAX	AXH-E230	AG-3
最大軸距	1688 mm	1520 mm	1200 mm	1770 mm (length)	3630 mm (length)	1690 mm(length)	2160 mm(length)
最大起飛重量	15 kg	22.5 kg	9 kg	28 kg	94 kg	30 kg	28 kg
動力系統	六軸	八軸	八軸	單軸	單軸	單軸	單軸
抗風性(級風)	5	5	5	6	8	6	8
續航力	15 min	10-20 min	17 min	70-100 min	60 min	40 min	60 min
相機	不含	不含	不含	不含	不含	不含	可選配
載重	6 公斤	10 公斤	4.5 公斤	13.4kg	31kg	15kg	15 kg
投擲方式	脫勾器	目前為噴灑農藥	脫勾器	需再設計	農藥或種子噴撒	需再設計	農藥或種子噴撒
防水	可	可	無	無	可	無	可
價格	20 萬	40 萬	6 萬	100 萬起	600 萬	3 萬美金	100 萬起
智能介面	有	有	無	地面站	無	地面站	地面站
說明	2016 年由 DJI 推出八軸旋翼型飛行器，操作介面已整合，主用於航拍，最大優點為可使用 DJI GO 軟體介面，可載重達 6 公斤，缺點為價格偏高。	MG-1 為大疆公司專為農作物保護領域設計，配備專屬遙控器與控制軟體，藥箱重量約 10 公斤。操控便利，但缺點為須使用專屬充電器，若需大面積作業，充電效率上需要考慮。	2010 年開始流行之組裝旋翼機，設備均為模組化，臺灣玩家自行組裝，搭配 DJI 飛控模組，平均價格較低，可做非精準性空投任務，缺點為操控設備需自行整合。	100cc GAUI GX9 植保無人直升機，為泰世科技自組發展之無人載具，單價較高，可做大載重之非精準性空投。	R-Max 為 Yamaha 研發之單軸直升機，在福島核爆後用此機型進入探測空中輻射物質，缺點單價較高，且受 FAA 管制。	AXH-E230 為田屋科技開發之無人載具，採 4 槳式高升力主旋翼設計，並搭配高效率電動無刷馬達，因中置化酬載空間配置使其具有高機動性、多用途、大酬載、低噪音、低震動等特點。	AG-3 為易圖科技自主研發設計之高載重多功能無人載具平台。具備 IP54 防水與 6 級風以上之抗風能力。加掛副油箱後可飛行 1.5 小時以上。可依照任務需求進行客製化開發與改裝。

二、 依本計畫需求之選擇建議

依相關參考文獻，建議投擲密度約 15 粒/m2，以 0.2 公頃計算，約需投擲 30,000 粒。各式材料，每公斤重量約 200 粒(於後續章節說明)，30,000 粒資材之重量約 150 公斤。建議無人機相關性能條件說明如下：

(一) 單趟次作業至少可酬載 5 公斤以上之資材。

(二) 連續作業時間可達 1 小時以上。依本計畫實際作業經驗，任務區與起降點航線距離 3 公里，單趟次飛行時間約 12~15 分鐘，一小時可執行 4 趟次投擲作業。

(三) 因應山區之不穩定氣流，抗風能力須達 6 級以上。

(四) 須具備 IP44 以上之防水能力。

依表 3-1 所列之無人機類型，綜合上述 4 項條件，符合需求的為 Yamaha R-max 機型與本團隊自製的 AG-3 機型。然而 R-max 的售價非本計畫可負擔，因此選用自製的 AG-3 無人載具進行本計畫之噴植任務。

參、本計畫採用之無人載具介紹

一、 載具基本性能簡介

(一) 巡航速度約 60～120 公里，並可於小於 8 級風力(即風速 34 kt 以下)，於離地高度 5 公尺以上空層運作。

(二) 旋翼無人飛機具垂直起降能力（可於二平方公尺內完成起降作業）。

(三) 滿載時以時速 80 公里飛行之續航力，至少 60 分鐘。

(四) 滿載起飛後實際飛行高度最高達海拔 3000 公尺；最大作業半徑 30 公里。

(五) 機體本身及油箱滿載重量不計，具額外酬載重量 12~15 公斤以上能力。

表 3- 2 旋翼型無人載具相關設備

性能諸元	元件外觀
1.無人載具系統 ➢ 引擎排氣量 80cc，汽油引擎 ➢ 長/高/重量：2.02m/0.6m/20.4kg ➢ 最大載重 12~15kg ➢ 油箱 5,000cc，最大續航時間 60min ➢ 最大飛行半徑 15~30km，最大飛行高度 3km ➢ 使用紅外線感知器與三軸陀螺儀，即時解算機身姿態並輔助旋翼 UAV 停懸。	
2.即時監控系統 ➢ 雙顯示 LCD 液晶螢幕。 ➢ 飛航資料系統：顯示航高、航速、航向、返航方位距離、引擎轉速、溫度等資訊。 ➢ 地面即時監控系統：包含飛行控制子系統、影像接收子系統、飛航情報圖台等。	
3.微波影像傳輸器 ➢ 發射頻率為 1.2GHz ➢ 發射功率 1 W ➢ 使用 12V 直流電源 ➢ 傳輸距離 10~15 公里	

二、 飛航控制設備與架構

在無人飛行載具上面搭載了 GPS/INS 結合的感測器，以及 CCD 感光耦合元件與其他模組化等設備，GPS/INS 感測器接收到資訊後，將資訊流透過轉頻器轉頻，並利用無線電裝置傳送訊號到地面，途中為了不讓訊號被外界異質物所干擾減弱訊號，需加裝強波器來增強訊號的強度，而在地面站經由天線接收器接收到訊號後，將資料透過解頻器轉換成電腦可解析的訊號，並且顯示於控制圖台上；如此一來，GPS/INS 與 CCD 所接收到的資訊即可即時傳送到地面控制站台，以供操作者更精準、更輕易的操控

無人飛行載具。飛行控制架構圖如圖 3-1 所示。

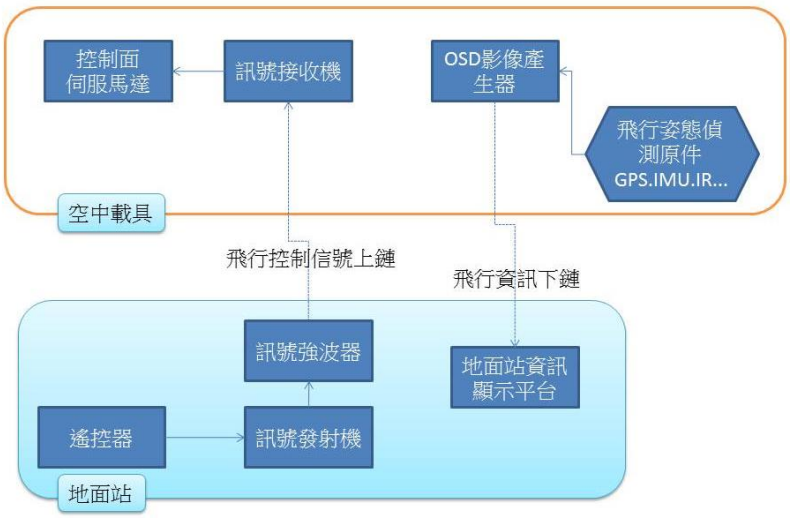


圖 3-1 無人載具飛行控制架構

地面控制站就如同一個小型的電腦，裡面存放了導引飛行系統，負責執行導引飛行的指令，將飛行指令傳輸到無人飛行載具上，無人飛行載具上的 GPS 接收機輸出訊號給地面控制站，控制站比對目前的位置、導航點的位置、目前的速度與行進方向進行計算，然後再對伺服機控制器輸出訊號，而伺服機便可驅動各個舵面、飛機的姿態與方位。

地面站為無人飛行載具之控制中樞，負責發送控制訊號至飛行載具與接收載具的感測器資料與即時影像，其架構如圖 3-2 所示。地面站主體利用天線接收模組接收與發送訊號至飛行載具，而地面主體包含相機即時影像顯示、飛行 CCD 影像顯示與儀表顯示電腦。其中儀表顯示電腦可以顯示各項飛行載具感測器資訊，包括飛行高度、姿態、空間坐標與氣壓，並負責儲存與處理。

除了飛行器本身的資訊，CCD 所傳回的即時影像經收頻器、轉頻器，轉換地面控制站可解析的影像數據，在地面控制站上顯示即時影像，以利操控無人飛行載具。

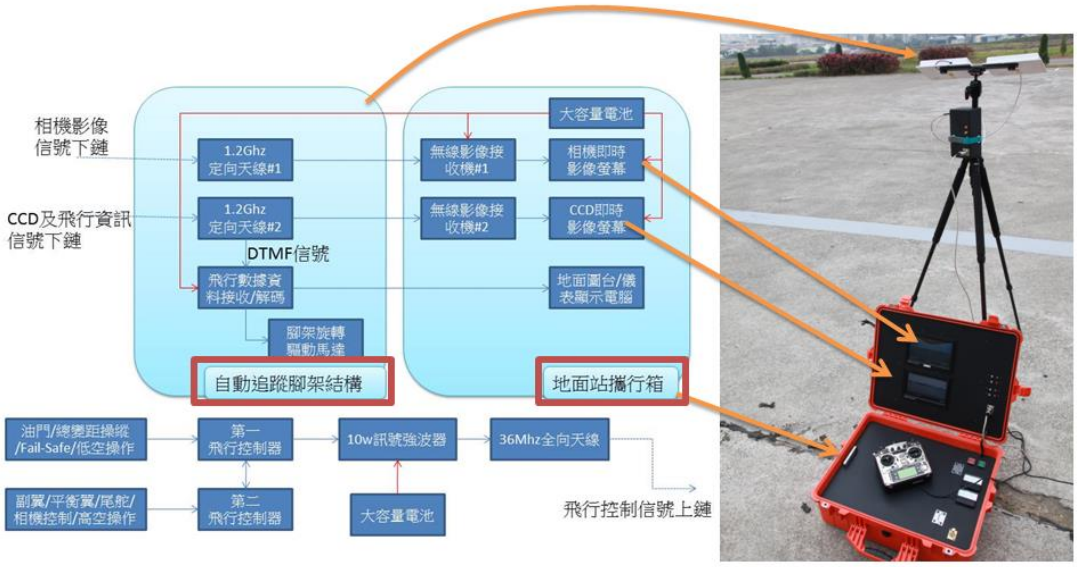


圖 3- 2 地面控制站架構圖

第二節 適宜利用無人載具進行植生作業之崩塌地評估

評估適宜進行無人飛行載具植生作業之國有林崩塌地特性(如崩塌地面積大小之限制、與道路距離等)並選定適宜執行無人載具植生作業時間。

壹、崩塌地試驗地點特性初評

依據本計畫工作目的，及配合崩塌地植生復育治理原則，適宜進行無人飛行載具植生作業之國有林崩塌地選定，分別考量以下要項：

一、 屬較具規模且零星分布之國有林崩塌區位。

二、 可直接進入進行調查之區域。

三、 現地地表裸露未達岩盤且仍有崩積土之國有林崩塌地區，可供進行 UAV 植生粒劑投擲測試之點位。

四、 林務局本局或各林區管理處推薦之試驗調查點位。

五、 最終評定仍應經過現地勘查後確認。

貳、季節與氣候因子之考量(降雨量、氣溫)

利用無人飛行載具進行投擲之地點，大多為地表裸露之崩塌區域，因此地面易受陽光直射，且蒸發散旺盛，而植生粒劑因內部含有種子，因此為了使植生效果發揮至最大，此項工法建議配合須依季節之變化進行施作。

臺灣北部地區夏季會受到梅雨及颱風影響產生豪大雨，而冬季則受到東北季風產生低溫影響，應選擇以 2~6 月或 9~11 月施工，以避免植物不利生長；中部地區主要受到梅雨及颱風影響，因此應避開 5~9 月施工；而南部因夏季高溫多雨且炎熱，冬季乾冷，因此適合於 4~6 月及 9~10 月期間進行施工，已增加植生粒劑之發芽與生長機會。而作業前，應了解現地崩塌地之相關氣象因子，以作為植生粒劑初期生長環境考量要點。

依計畫期程，本計畫於 108 年 4 月底前完成測試區之測試噴植作業，初步評估為合適之時段，於噴植完成後，大致上進入雨季，有利於種子生長。惟實際之噴植時間仍須視當時之天候條件評估。

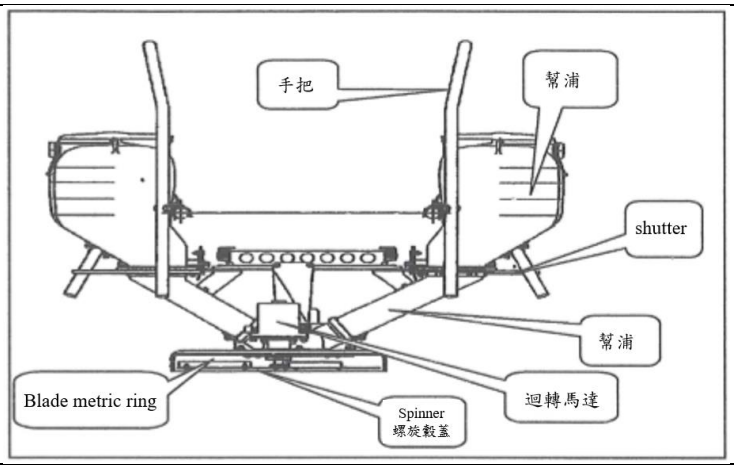
第三節 航空噴植系統整合設計

本計畫配合撒播粒劑的測試，研發相對應的噴植系統，並與前述之無人載具進行整合，可同步由地面控制站進行航線規劃與噴植控制。

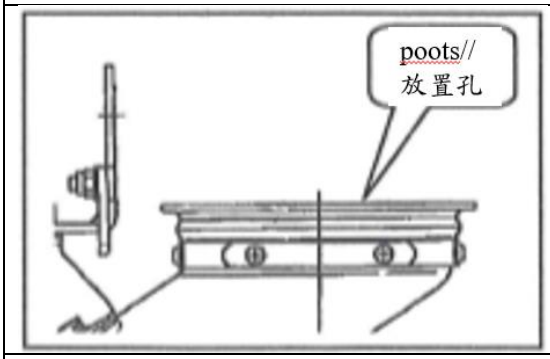
一、 噴植系統設計參考

目前全球最先進之民用無人載具系統中，日本 YAMAHA 公司所生產的 R-MAX 系列，為箇中翹楚。在日本 R-MAX 無人機之用途相當廣泛，除農業用的資材噴植外，更可應用於粒劑之撒

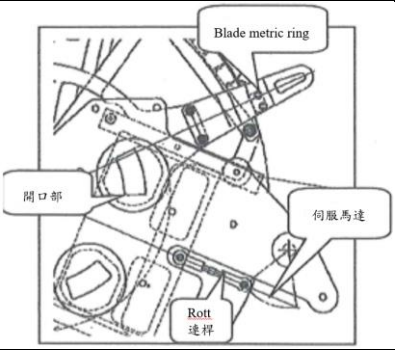
播，本計畫參考 R-MAX 系列之粒劑撒播設計，進行相關研發，並配合計畫中之測試成果所決定之種子粒劑種類(粒徑尺寸、乾濕度等)進行噴植系統之設計。



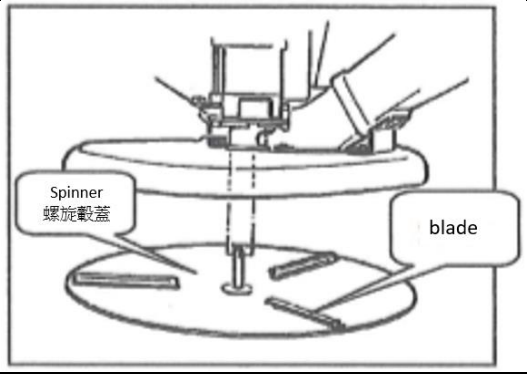
整體構件



Shutter 細部構件



作動機構設計



螺旋穀蓋機構設計

圖 3- 3 噴植機構設計參考範例

本計畫依據資材之原型研發掛載系統(如：彈藥箱)，掛載系統會在飛機二側，正下方設計撒播系統，讓粒劑可以從彈藥箱補充到系統裡再擴散撒播，並因應粒劑尺寸會有微幅的不同，管徑出口設計上會加以考慮。

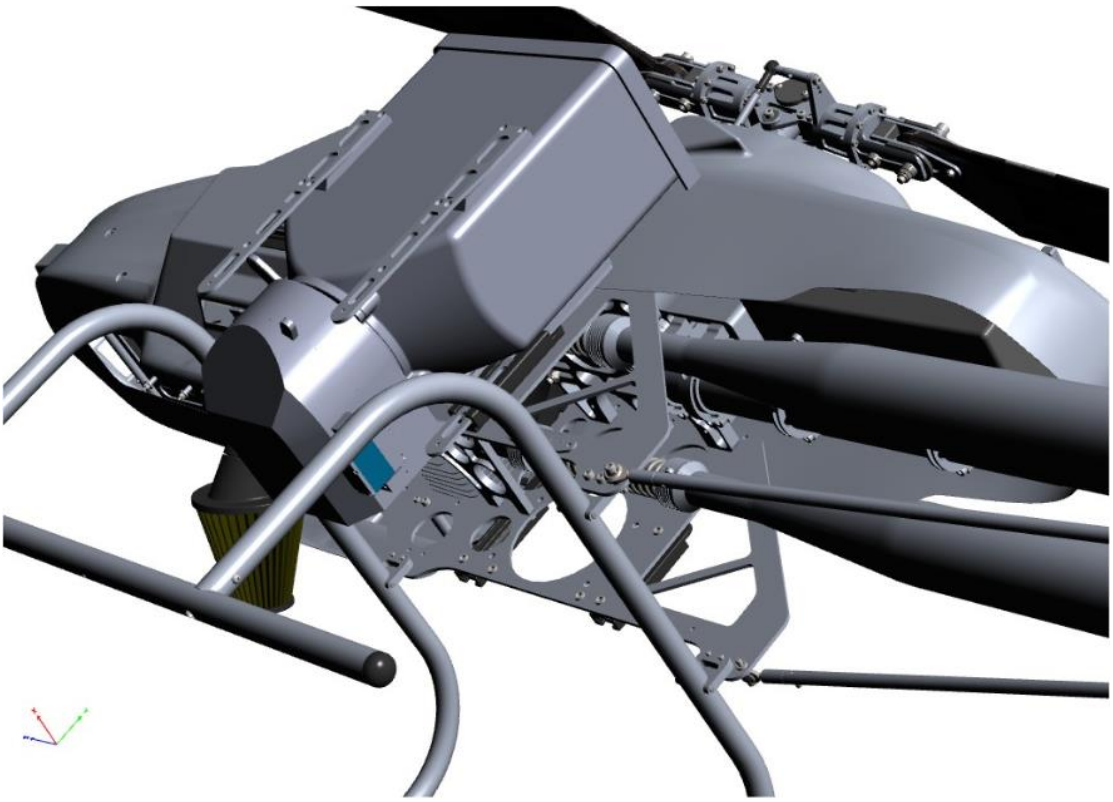


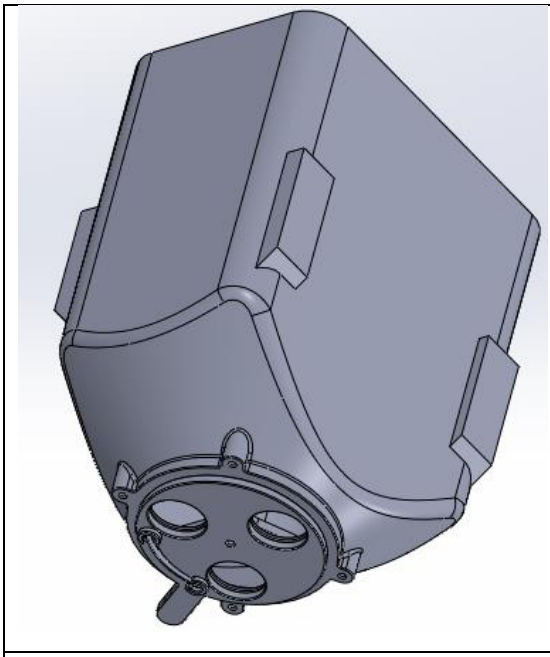
圖 3-4 彈藥箱與在無人載具整合設計圖

二、 撒播器設計

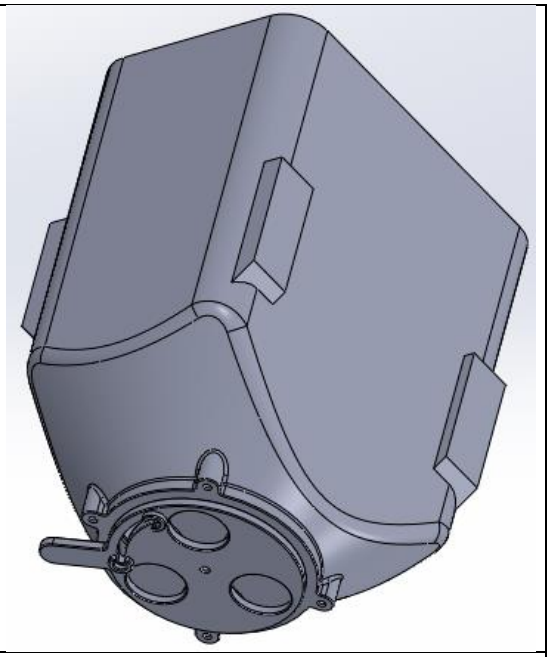
配合粒劑尺寸約 1.5~3 公分，進行撒播器設計研發。

(一) 構型一與構型二(三孔遙控開關控制)

本構型在彈藥箱下方開口設計一個三孔式出口，孔徑可容納 3 公分直徑粒劑通過，下方透過遙控開關控制粒劑撒出。經測試後，發現前 1/3 桶粒劑可以順利通過，並依照設定方式撒出，但 1/3 桶後，因粒劑會產生相互推擠而卡彈。



彈藥箱三孔出口設計

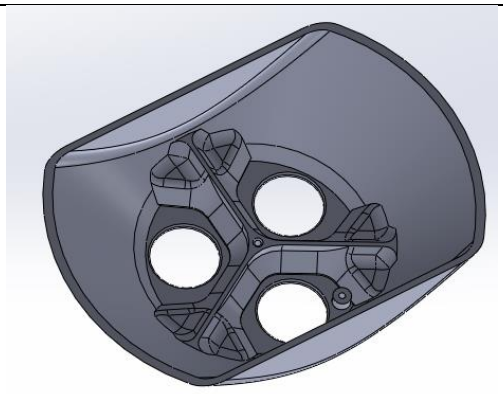


遙控開關控制

圖 3- 5 構型一_三孔遙控開關控制

參照前構型，在三孔出口內側，加上導流條，嘗試將粒劑在進入三孔出口前，透過導流槽進行動線調整，降低卡彈情況。經實際測試，可順利撒出至 1/2 桶，但之後仍會卡彈。因此放棄構型一與構型二的研發使用。

但研發團隊討論後，認為這樣的設計仍有其適用的方式。如果是單純的撒播種子，無包覆其他資材，應該是合適的裝置。



設計圖

實體圖

圖 3- 6 構型二_三孔遙控開關控制+導流槽

(二) 構型三_橢圓形出口加大遙控閥門

本構型在彈藥箱下方加大開口為橢圓形閥門，一樣透過遙控開關控制閥門啟閉；經實際測試後，大約在 1/2 桶後，也會發生卡彈情形。因此放棄該構型的研發使用。

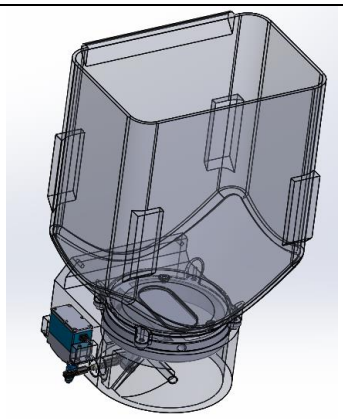
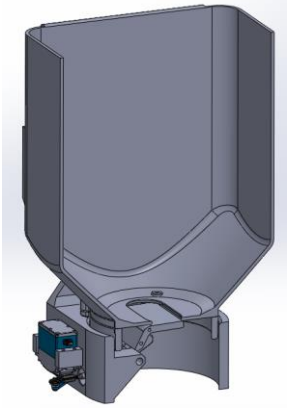
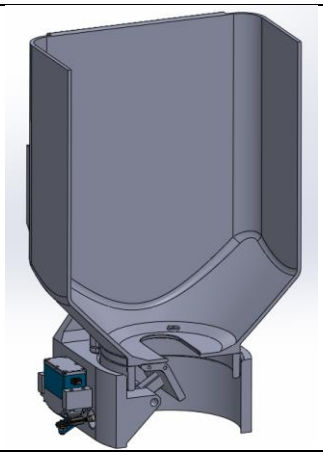
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>設計圖</td><td>閥門關閉</td></tr>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>閥門開啟</td><td>實體圖</td></tr>
</table>

圖 3- 7 構型三_橢圓形出口加大遙控閥門

(三) 構型四_遙控螺旋推進型

本構型透過遙控螺旋推進裝置，將粒劑由彈藥箱推出進行撒播，並在螺距上設計二款不同螺距齒比的推進器。經實際測試後，二款螺距齒比的螺旋推進器，都可以順利將粒劑帶出；但都遭遇同樣的問題，在 1/2 桶後，粒劑會在進入螺旋推進器之前就卡彈。因此放棄該構型的研發使用。

但研發團隊討論後，認為這樣的設計仍有其適用的方式。如果是單純的撒播種子，無包覆其他資材，應該是合適的裝置。

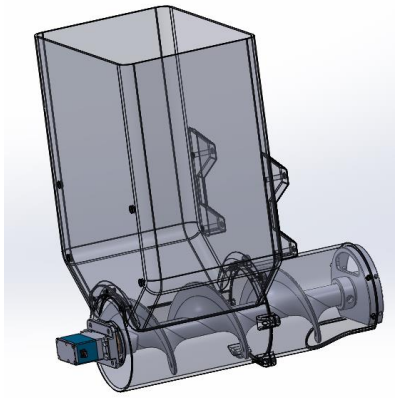
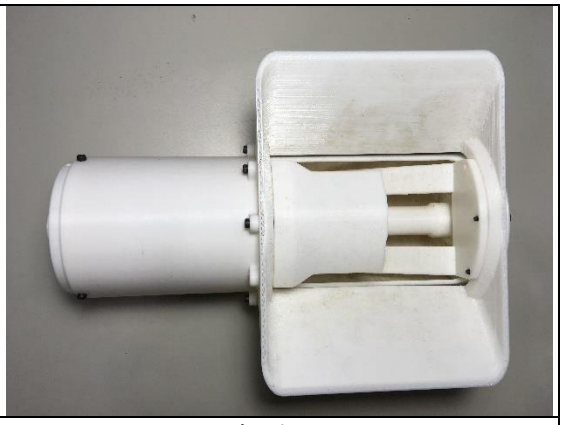
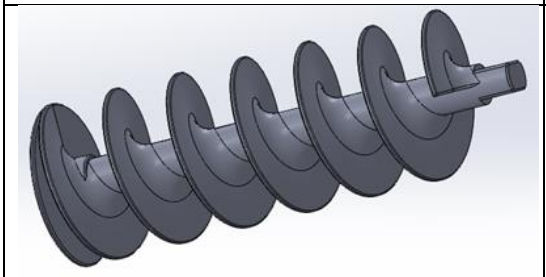
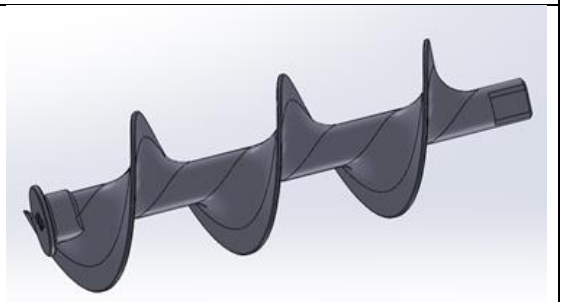
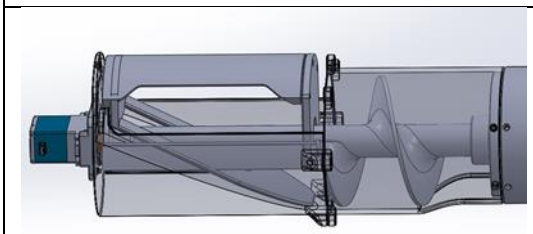
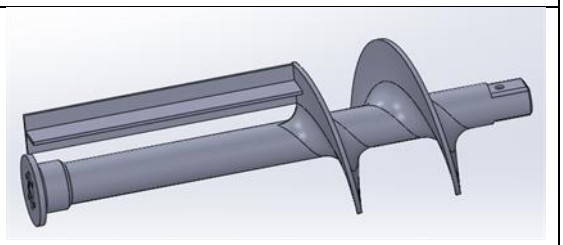
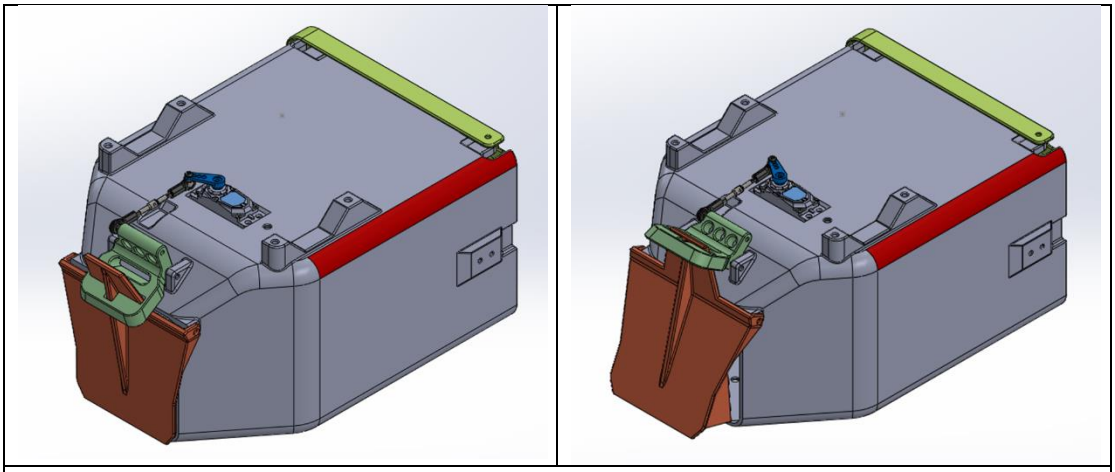
	
設計圖	實體圖
	
密螺距推進器	寬螺距推進器
	
前端無螺距型設計	前端無螺距型設計

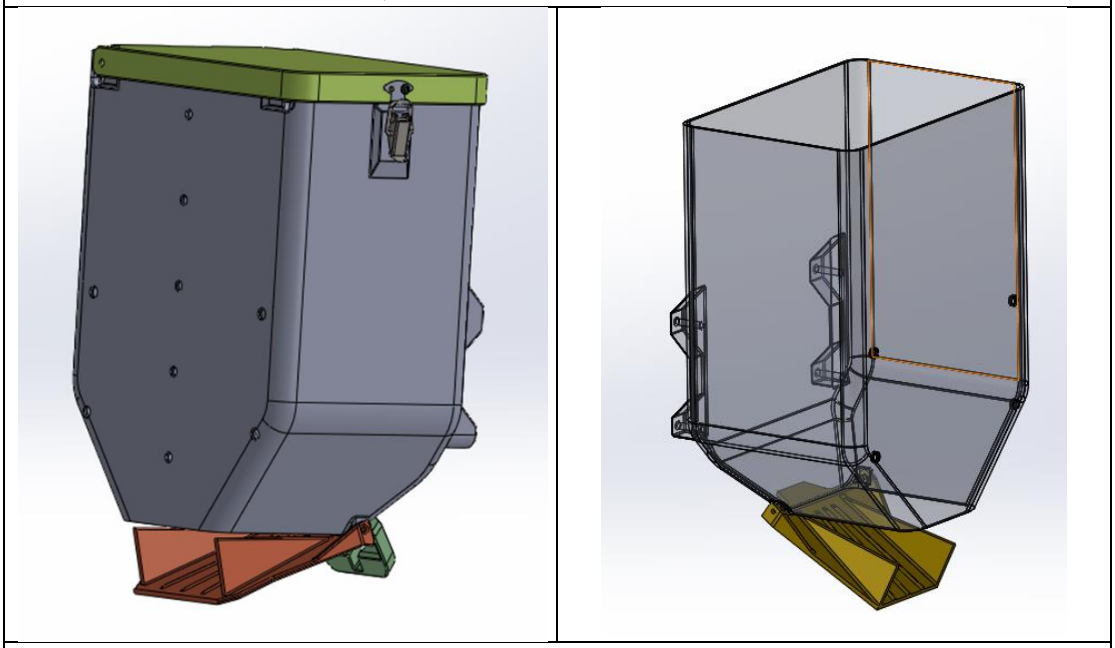
圖 3- 8 構型四_遙控螺旋推進型

(四) 構型五_大開口閥門(最終採用)

本構型透過遙控閥門設計，並在閥門片上設計斜度，讓粒劑順利導向設定的墜落方向。經測試後，此一構型撒播相當順暢，最終以此構型作為本計畫實際執行使用。



背側俯視圖與機構作動裝置



側視圖與作動模擬

圖 3-9 構型五_大開口閥門

第四章　無人載具航空植生之植物材料及資材配比探討

第一節 適用植物類型、資材及配比評估

壹、應用植物材料之評估

在植物材料之選擇方面，可以下列各因素考量綜合判斷之：

一、 植物種類之選擇以鄉土(原生)植物為主，外來馴化種植物為輔，並考量種子取得及適應性問題。

二、 崩塌地自然演替之先驅草本與優勢植物，易於採種，繁殖且生長快速者。

三、 屬荒廢地造林適宜樹種，有充裕種子供應者。

四、 防災功能較強或水土保持推廣應用之木本植物種子，適於國有林崩塌地植生施工或生長者。

五、 水土保持推廣應用草類或豆科草本植物，可大量獲得種子、快速植生覆蓋，且其長期推廣不致生態危害之植物。

六、 木本植物以現地植物材料為主(需依據現地植被調查與植生演替推測資料)。

七、 先驅覆蓋草類種子之選用，以可大量供應之本地草類；可外購之本地草種種子；或台灣地區長期使用(20 年以上)且未具侵略、生態干擾現象之治山防災用草類為主。

應用於國有林崩塌地植生粒劑投擲之物種，除了需考量其復育效益及演替外，更需考慮植物種子大小，以方便粒劑製作與航空器具飛行及承載。綜合上述條件，臺灣地區目前較適合用於國有林崩塌地航空植生之物種如下：

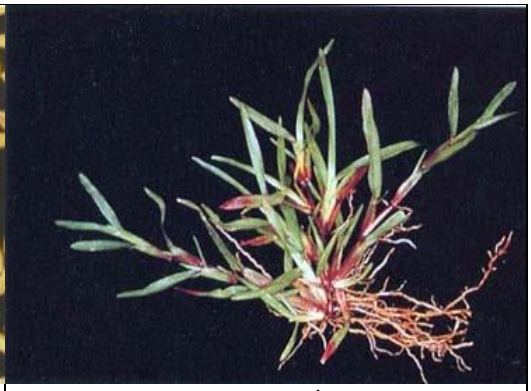
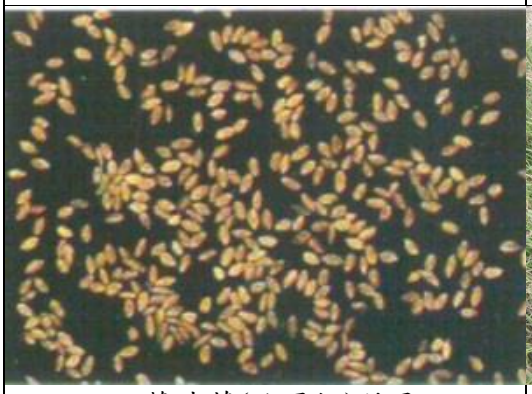
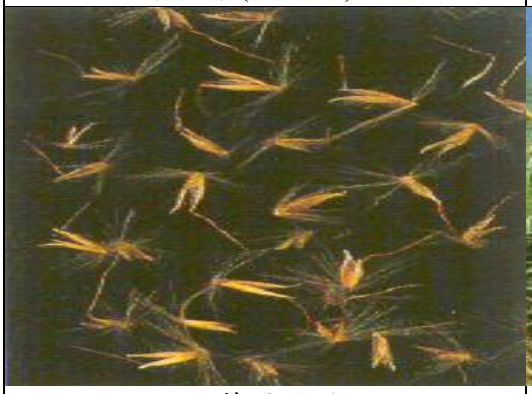
表 4-1 崩塌裸露地植生工程主要應用之草本植物種子材料

編號	俗　名	學名	科別	生長海拔高	性狀、習性	繁殖方法	種子粒數/公克	主要用途
1	類地毯草 Carpet grass	*Axonopus affinis*	禾本科	低海拔 (200 m 以下)	0.1-0.3m 多年、走莖	扦插	3,000	邊坡植生 草皮草種
2	狗牙根 (百慕達草) Bermuda grass	*Cynodon dactylon*	禾本科	低海拔 (600 m 以下)	0.05-0.4 m 多年、走莖、宿根	扦插、播種	3,800	路面植草 草皮草種 噴植草種
3	葦狀羊茅 (K31F 或綠柏草品系) Tall fescue	*Festuca arundinacea*	禾本科	中、高海拔 (3,000 m 以下)	0.5-0.8 m 多年、深根、叢生	播種	400	荒地植生 噴植草種
4	黑麥草* Perennial rygrass	*Lolium perenne*	禾本科	高海拔 (1,500-2,500 m)	0.2-0.4 m 短期、叢生	播種	460	噴植草種 果園覆蓋
5	五節芒 Japanese silver grass	*Miscanthus floridulus*	禾本科	中、低海拔 (2,500 m 以下)	2-4 m 多年、叢生	播種、分株	1,250	荒坡植生 先驅優勢植物
6	百喜草 A33(小葉品系)* Small-leaved Bahia grass	*Paspalum notatum*	禾本科	中、低海拔 (1,500 m 以下)	0.3-0.5 m 多年、分蘗	分株、播種	350	草帶、草溝 噴植草種 邊坡植生

*：引進植物，非臺灣地區原生植物

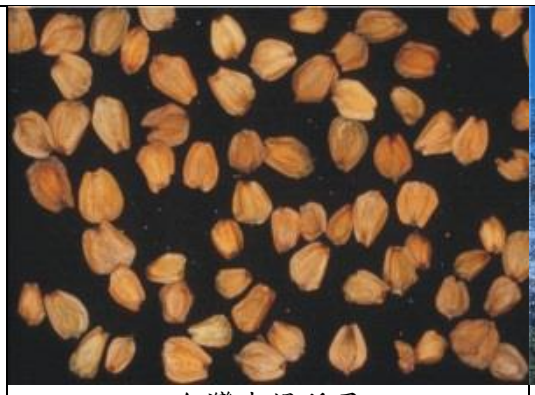
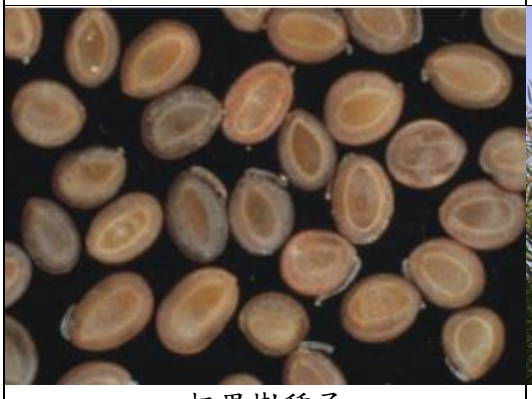
表 4-2 崩塌裸露地植生工程主要應用之木本植物種類

編號	俗　名	學名	科別	生長海拔高	性狀、習性	繁殖方法	種子粒數/公克	主要用途
1	臺灣赤楊 Formosan alder	*Alnus formosana*	樺木科	中、低海拔 (3,000 m 以下)	10 m 常綠喬木	播種	1,250	優勢先驅植物 崩塌地植生
2	櫸樹 Taiwan zelkova	*Zelkova serrata*	榆科	300-1,400 m	落葉喬木	播種	45-50	固土防塌造林樹種 優勢林型植物
3	相思樹 Taiwan acacia	*Acacia confusa*	豆科	中、低海拔 (1,600 m 以下)	5 m 常綠喬木	播種	350	邊坡植生 荒地植生 優勢先驅
4	山胡枝子 Shrub lespedeza	*Lespedeza bicolor*	豆科	低海拔	0.5~1 m 常綠灌木	播種	160	噴植樹種 荒山植生
5	臺灣欒樹 Flamegold	*Koelreuteria henryi*	無患子科	低海拔	落葉喬木	播種	25	邊坡植生 園景樹種
6	羅氏鹽膚木 Roxburgh sumac	*Rhusjavanica* var. *roxburghiana*	漆樹科	中、低海拔 (1,900 m 以下)	4 m 半落葉喬木	播種	100-150	先驅植物 荒地植生

草本植物		
	類地毯草種子	類地毯草
	小葉百喜草種子	小葉百喜草
		
	百慕達草(狗牙根)種子	百慕達草(狗牙根)
		
	五節芒種子	五節芒

草本植物		
	高狐草種子	高狐草
	黑麥草種子	黑麥草

圖 4-1 崩塌裸露地植生工程主要應用之草本植物種類

木本植物		
	台灣赤楊種子	台灣赤楊
		
	相思樹種子	相思樹

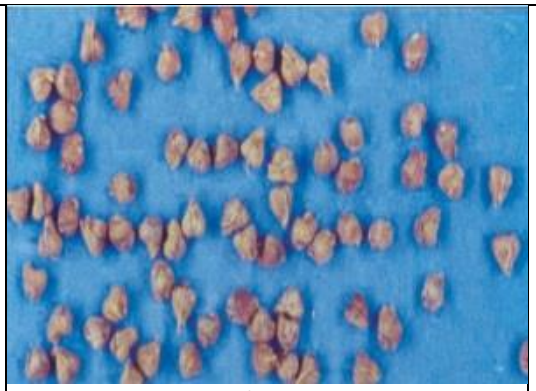
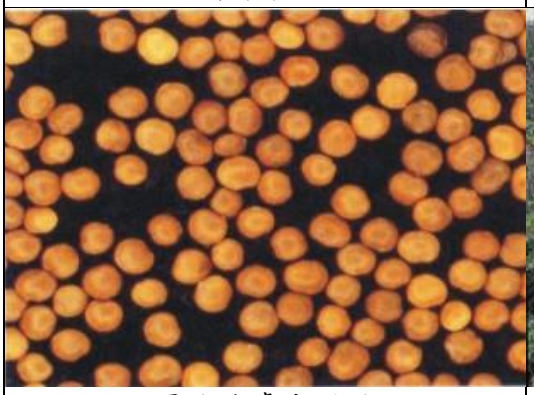
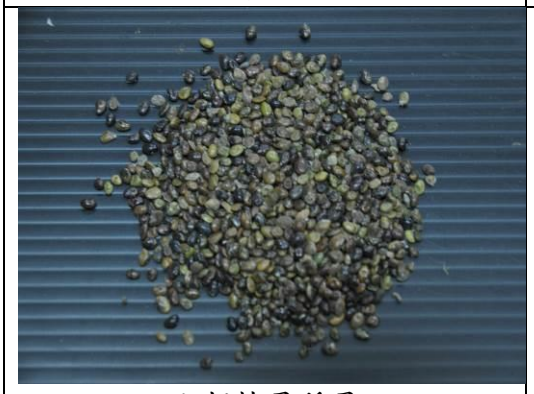
木本植物		
	櫸木種子	櫸木
		
	羅氏鹽膚木種子	羅氏鹽膚木
	臺灣欒樹種子	臺灣欒樹
		
	山胡枝子種子	山胡枝子

圖 4-2 崩塌裸露地植生工程主要應用之木本植物種類

貳、植生粒劑資材特性與應用

植生粒劑所應用之區域大多為崩塌裸露地，土壤貧瘠且土層較淺薄，因此選用的拌合資材應盡量以具輕質、保水、經濟…等特性之材料為優選，使 UAV 在承載過程不受影響，且給予植物良好的生長初始環境，以快速達到植被覆蓋。資材選擇應具備以下特性：

一、 比重不宜過重，應以輕質材料為主。

二、 具保水性，可於降雨或予以水分後，維持一定含水量，使植物得以生長。

三、 酸鹼度不宜過高，pH 值應盡量接近 5.5~7.5 之材料較適合種子生長。

四、 具膠結性，可使種子與材料團粒化。

五、 乾溼收縮性不宜過大。

六、 取得容易，具經濟性。

根據上述資材特性選擇，本計畫使用團粒化劑、保水劑、泥炭土等材料進行拌合。各資材特性說明如下表所示：

表 4- 3 種子粒劑主要應用拌合材料

	種類	特性
基底材料	發泡煉石	經特殊方法煉製燒結而成的膨鬆石礫狀產品，具良好的保水性和通氣性，無菌、無臭，為優秀的介質，可使粒劑保持透氣通風。取得容易，可於一般園藝花卉店面購得。
	花泥磚	又稱吸水海綿，利用酚醛塑料發泡製成的一種插花用品，形似長方形磚塊，質輕如泡沫塑料，吸水前比重較水小，浸泡水中後，將逐漸吸水，最終沉入水中，重如鉛塊。其 pH 值約 7.0。取得容易，可於一般花卉店面購得。
	赤玉土	赤玉土由火山灰堆積而成，材料取得容易，且其形狀有利於蓄水和排水，是目前台灣運用相當廣泛的一種土壤介質。是運用最廣泛的一種土壤介質。為高通透性的火山泥，

	種類		特性
			暗紅色圓狀顆粒，無有害細菌。其形狀有利於蓄水和排水。一般與其他物質混合的百分比是 30-35%，高於泥炭、效果可與泥炭媲美。pH 值約 6.9，電導度 0.052ms/cm。常見於許多園藝、花卉店面販售。
生長基材	土壤		土壤為植物生長之基礎介質。本研究所使用之土壤以黏質壤土為主，分析結果，土壤之黏粒含量達 30%以上、坋粒含量在 40%左右，土壤比重 2.39，總體密度 1.08 g/cm3，孔隙率 75.2%，水力傳導度介於 2.44 x 10-3 ~ 9.94 x 10-3 cm/sec，pH 值 4.2。
	緩效性肥料		利用樹脂將高單位速效水溶性肥料包裹成顆粒，遇到水時，水份滲入顆粒內，將肥料溶解；然後受溫度影響，將肥份釋出，故肥料較為緩慢而延遲，但肥效持久，且施用後較不易產生肥害。其成分含量：氮 14%、磷 11%、鉀 13%。
	纖維材料	培養土(台灣)	培養土是由植物腐爛或椰殼碎屑經過加工製成，質地較為細輕，具有良好的保水性、保肥性。有機質：58%、全氮(N)：1.0%、全磷酐(P2O5)：1.0%、全氧化鉀(K2 O)：0.9%，pH 值 7.2，電導度 1.6 ds/m。
		泥炭土(德國)	泥炭土為苔蘚類等植物殘株腐爛後所製成，泥炭土纖維結構較長具相當之吸附能力，故具有優異的排水性。泥炭土含有植物所需之微量元素氮：4.4%、有機質 94.3%，pH 值約 5.5-6.5，電導度 0.2ds/m，保水率 75%。因取得容易，又具良好物化性，目前應用於台灣作物、花卉栽植上。
包覆材料	木質纖維		由天然樹皮經加工粉碎而成。可做種子之敷蓋物、具保溫、保濕及防鳥食之功能。可改良土壤物理特性，增加保水性與養分。於小苗時覆蓋效果佳，多量使用亦不影響種子之發芽。
	碎紙纖維		為含有乾強劑(丙烯醯)的聚合物，使植生粒劑外多一層具防止粒劑鬆散之保護層(纖維抗拉力強度 0.18~0.3kg/25mm)，避免粒劑落於坡面後崩解。碎紙纖維易溶於水，基重 12~14 g/m2，吸水速率 12~20 mm/min，pH 值 2.7。
膠結材料	團粒化劑		係來自日本琉球之團粒化劑材料。由主劑 B 與副劑 L 混合，其具有吸取局部水分與排除表面多餘水分之效果，可使水分入滲至土壤內不隨水分蒸發，並在土壤表面結膜，使土壤顆粒團粒化，因此可增加土壤通氣性、透水性等功能。

◎心材：

發泡煉石

花泥磚

赤玉土

◎生長材料：

緩效性肥料

黏質壤土

培養土

泥炭土(德國-粗纖維)

泥炭土(德國-細纖維)

◎包覆材料：

碎紙纖維

木質纖維

膠結材料：

團粒化劑

圖 4-3 種子粒劑應用材料照片(範例)

參、國內、外粒劑製作過程與方法

一、 日本

日本福岡正信曾製作種子土球，種子土球是將腐植質、堆肥、土壤參入棉花纖維與紙漿等材料所設計直徑約10mm~80mm之土球，種子在土球中能於惡劣環境下順利生長，並達帶快速的發芽，其製作過程如下：

<table>
<tr><td>
1.將土球材料拌合</td><td>
2.加入水分，使材料結團粒</td></tr>
<tr><td>
3.先將材料用手搓成小土球</td><td>
4.將小土球投入拌合桶中</td></tr>
<tr><td>
5.拌合桶拌合過程加入適當水分與土壤</td><td>
6.拌合至土球完成</td></tr>
</table>

圖 4-4 日本種子土球之製作過程

二、 美國

美國紐約地區過去為了改善空氣汙染及廢氣排放之環境問題，於荒廢土地或嚴重沖蝕裸露地區，仿照日本福岡正信的種子土球，應用黏土、堆肥材料包覆種子，以抵禦乾旱環境，其種子材料之選擇以該區原生物種為主。製作方式係先將種子放入堆肥材料中，先搓成小球體，後利用泥土或黏土將混合的材料包覆，以避免種子土球受到鳥類或是嚙齒動物啃食。當種子土球投放於目標地點後，經歷過三至五次的降雨，種子土球會自然裂開而發芽生長，逐漸達到環境改善之植生效果。

將堆肥材料與種子包覆於黏土中

以人力揉成之種子土球

製作出之種子土球

圖 4-5 美國種子土球製作照片例

(資料來源：https://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=103129515。)

三、 墨西哥

墨西哥因環境乾燥，且種子易受昆蟲、動物、鳥類啃食。因設計了種子土球，土球之材料配比為紅土(黏土)：堆肥：種子：水之比例為(5：3：1：1~2)。由於先利用黏土製作之外殼讓種子於土球內進行休眠，等到降雨來臨時，再投擲種子土球，使種子順利發芽生長。種子土球之撒播作業，概以每平方公尺最少 10 顆之種子球散射分布，使覆蓋達到良好效果。其製作流程如下

(一) 準備材料：黏土、堆肥、種子、水(5：3：1：1~2)。

(二) 將乾燥之黏土經過篩，去除大塊黏土，並秤取 1/4。

(三) 秤取有機堆肥 3/4 以及 1/4 種子。

(四) 將有機堆肥、種子進行拌合。

(五) 於將拌合後之混合物中加入乾燥黏土，並逐漸加入水，使材料膠結。

(六) 取部份拌合好之材料，以手掌滾動成圓球。

(七) 將種子球放置陽光下徹底晾乾一至兩天。(曬乾或風乾)

(八) 將種子球預播於施工區域，進行澆水或等自然降雨，使種子球發芽生長。

墨西哥製作種子球之情形

墨西哥種子球之外觀

播種種子土球之情形

種子球之發芽覆蓋情形

圖 4-6 墨西哥種子土球製作與應用

四、 肯亞

肯亞因氣候乾燥炎熱，植物生長不易，其利用生物炭之技術，將生物炭結合養分、黏著劑與種子製作出生物炭種子土球，在需森林再造與牧場地區進行空中播種。種子材料係應用合歡屬植物種子，未經預措處理。播種後生物炭種子土球在雨季情況下快速發芽，據其初期觀察所得資料顯示，雖有些種子球於投擲後受到動物踩踏、啃食或是沿著溪床、溝谷滾落，但經一段時間後，種子球依舊有發芽之情形，生物炭之保護層可保護種子，較不受外在環境或是動物之影響，且可提供種子初步之營養。

種子土球構造

生物炭材料

種子球發芽情形

圖 4- 7 肯亞之生物炭種子球照片例

(資料來源：http://chardust.com/seedballs/4593306541)

五、 台灣

台灣過去曾在南投林區管理處與屏東林區管理處等轄區地點，利用團粒化劑混合紙漿、有機質土、種子等植生基材，以定量體積（0.25 公升、0.5 公升或 1 公升）之種子團粒點狀播種於坡面。其作業情形與配方處理，如圖 4- 8 及以下說明：

(一) 團粒化劑 B 劑 18kg/l/+L 劑 1kg/l=19kg/l (B 劑約 15-18 比 L 劑 1)。

(二) 合成團粒化劑 30kg/l 稀釋 6 倍至 10 倍水。

(三) 再混合樹種或草種攪拌。

(四) 混合紙漿 45kg 充分攪拌。

(五) 再混合培養土 300kg 攪拌。

(六) 依需求面積點狀或條狀播植。

1.將基材攪拌均勻

2.混入水、團粒化劑等攪拌

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>3.每點 0.5 L 之處理</td><td>4.初期草本植物發芽</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>5.木本植物發芽</td><td>6.一年生草本衰退，木本植物繼續生長</td></tr>
</table>

圖 4-8 台灣過去種子土球之製作過程

六、 小結

植生粒劑或種子土球係應用於特殊地區，或特殊植生目的所用之植生材料。其所用之資材種類設計各國雖有不同，但大體上均以較粗放型之撒播作業及可助於種子發芽生長為主。粒劑之型態大小概以直徑 1-5 cm 圓形為主，其原因為易於大量製作與操作方便之考量。本計畫之植生粒劑亦據以作為相關的研發考量。

第二節 植生粒劑設計

壹、UAV 投擲植生粒劑設計流程

本計畫依照相關需求進行植生粒劑設計，考量因素包含前述植物種子材料適用性、輔助資材特性、無人機承載重量...等以及參考國內外之經驗進行設計。設計考量要點與設計流程如下所示。

一、 植生粒劑生長環境氣候條件

進行投擲作業前，應了解現地崩塌地之相關氣象因子，以作為植生粒劑設計之考量要點。其相關考量之氣象因子為包括：季節性、降雨量、氣溫、環境濕度、風向、風速等因子。

二、 植生粒劑之大小與形狀

植生粒劑之大小與形狀除了影響投擲作業外，更會影響到整體水分蒸發量以及落於坡面後的貼附能力。因此在設計過程應多方面考量與試驗。

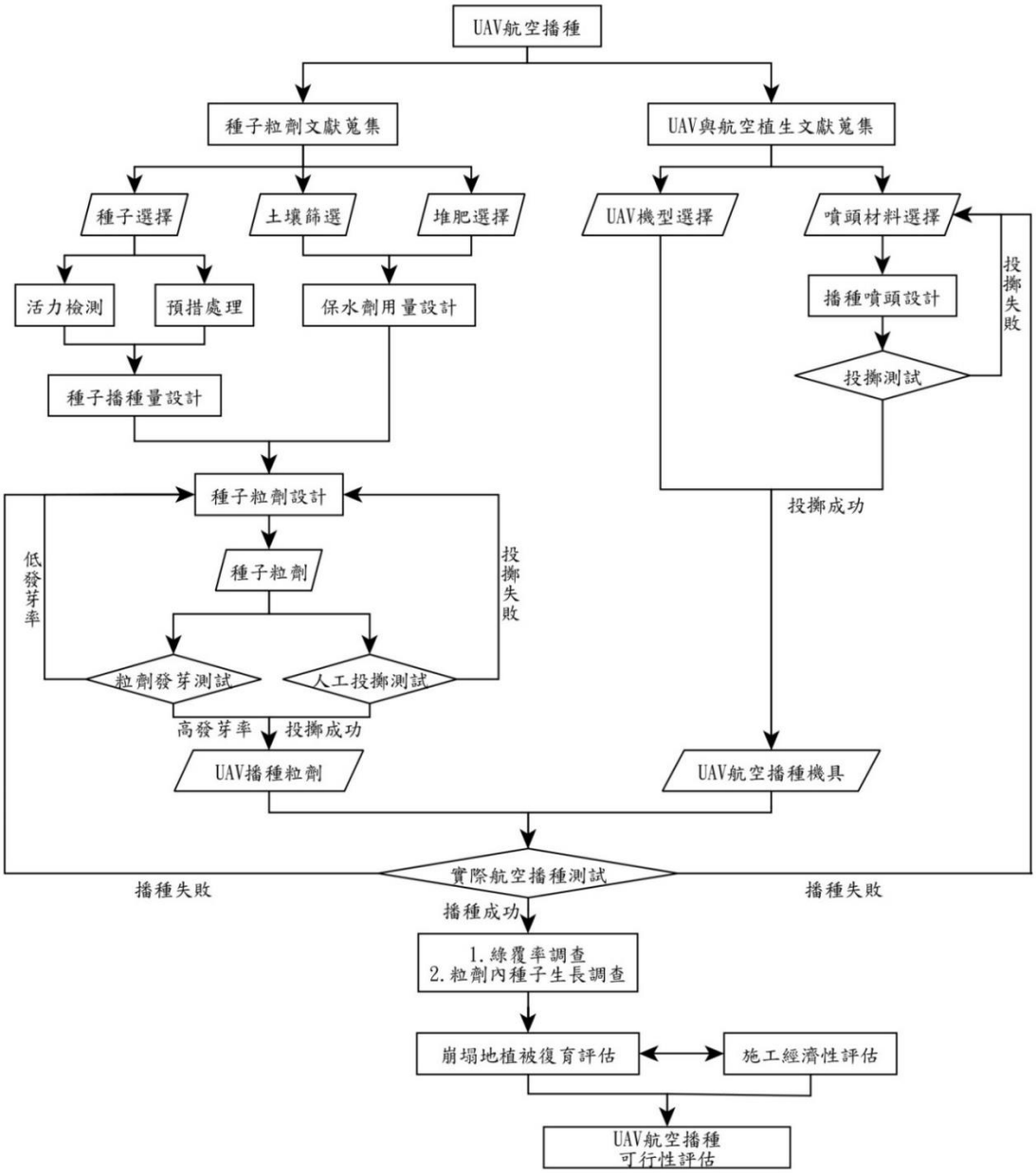


圖 4- 9 UAV 投擲植生粒劑設計流程

貳、現階段適用之植生基材

一、 植生基材

經上述文獻回顧以及應用上之評估，本計畫建議現階段可應用於植生粒劑之植生基材如下：

表 4-4 植生粒劑材料種類表

基材類別	材料種類	說明
基底材料	赤玉土	以中粒、大粒較為合適
生長基材	黏質土	黏質土壤並須經過#10 號篩，進行篩選以瀝除雜質
	緩效性肥料	如：好康多
	培養土	如：有機植栽培介質 7-03
包覆材料	紙漿纖維	如：紙漿纖維素
膠結材料	團粒化劑	團粒化劑需與水稀釋 6~8 倍

二、 應用物種

植生粒劑應用之物種除了上述崩塌地建議物種外，亦須針對不同崩塌現地，經現地調查後，選擇屬該區域原生或不影響後續演替困難之物種。因此，經本團隊現地勘查後評估，本次計畫，各崩塌地適宜應用物種如表 4-5 所示，其中因植生粒劑播種後之最終目的是以台灣本地的木本植物，如台灣赤楊、羅氏鹽膚木、相思樹等物種達到植生覆蓋效果，草本則是輔助木本植物生長，避免前期雨滴沖蝕，而現階段因台灣本土草種之種子不稔性(Sterility)，及種子群落缺乏，採種不易，導致難以應用，因此本計畫之草本是選擇目前國際通用之水保草種，亦是臺灣過去二、三十年來應用且無入侵現象之坡面植生保育草種為主。

表 4-5 植生粒劑種類材料表

項目		奧萬大聯外道路 7K	大甲溪事業區 8 林班	太平山事業區 77 林班
現地原生物種	草本	高狐草、百喜草 狼尾草、五節芒	少量草本	因無法近距離觀看，難以判視物種
	木本	羅氏鹽膚木、山黃麻、相思樹	台灣赤楊	
粒劑應用物種	草本	高狐草、百喜草	高狐草、百喜草	高狐草、百喜草
	木本	山胡枝子、鐵掃帚、相思樹、羅氏鹽膚木	山胡枝子、鐵掃帚、相思樹、羅氏鹽膚木、台灣赤楊	山胡枝子、鐵掃帚、相思樹、羅氏鹽膚木

參、植生粒劑種子量計算

本計畫依據水土保持手冊標準「外來草種播種設計量各約1,000~2,000 粒/m^2，木本植物共約為 300~600 粒/m^2」以期待發芽株數進行播種量計算。但因 UAV 播種植生粒劑工法是藉由植生粒劑將種子導入目標地後，透過粒劑的分散與基材逐漸使種子向外生長並促進植生誘導以達到復育效益。故該工法施工後之期待發芽株數與過去噴植有所差異，因此以日本綠化技術規定的 50%進行估算。

本計畫供試種子經「種子純度」、「單位重粒數」與「發芽試驗」後，草本種子百喜草、高狐草預期發芽株數各以 1,800 株/m^2 計算，而木本種子則依播種區域使用之物種以 300~600 粒/m^2 進行設計。因植生粒劑生長環境大多為礫石含量較多、土壤貧瘠等惡劣區域，且於播種過程可能受到風吹或是坡面陡峭導致滾動影響以致無法落於目標範圍內。故於設計時依水土保持手冊播種量修正如表 4-5、4-6 之建議計算。

表 4- 6 不同播種作業方法之播種修正

播種作業	修正值(%)	備註
A.可能造成發芽障礙之工法	+20~50	如植生袋工法等
B.可能造成播種超出方施工區域之損失	+10~30	如航空噴植等
C.播種面積太小或種子易被沖蝕流失之情形	+20~50	如坡面撒播、點播

(資料來源：「坡地植生工程二版」，2016)

表 4-7 特殊施工基地之播種量修正

環境條件	修正值(%)
A.岩塊礫石含量多之地區	+20
B.土壤硬度較大之地區	+10
C.乾燥或貧瘠之土地	+20
D.強酸、鹼性之地區	+20
E.陡坡地區	+20
F.非適宜施工季節時	+30
G.特殊易沖蝕地質環境區域(如泥岩地區)	+30～+50
H.含肥沃土質地區	-30
I.氣候濕潤地區	-20
J.平地或緩坡地區	-10

(資料來源：「坡地植生工程二版」，2016)

各崩塌地經修正評估後之種子材料使用量如下表。

表 4-8 各崩塌地種子材料使用量(單位：公斤)

特性	物種	奧萬大聯外道路 7K	大甲溪事業區 8 林班	太平山事業區 77 林班
草本	百喜草	15	15	15
	高狐草	9	9	9
木本	山胡枝子	4.5	4.5	4.5
	鐵掃帚	4.5	4.5	4.5
	相思樹	10	9	7.5
	羅氏鹽膚木	5	6	7.5
	台灣赤楊	-	2.5	-

肆、植生粒劑之製作

一、 粒劑構型

本計畫曾嘗試以手工製作數種不同材料之植生粒劑，透過製作工作性、發芽率、附著能力之優缺點，做為較適宜粒劑材料及形狀製作之依據，評估其優缺評估如下：

表 4- 9 不同形狀粒劑之優缺點

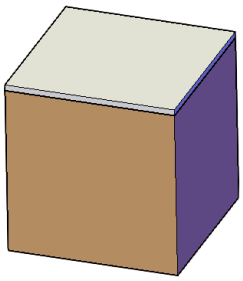
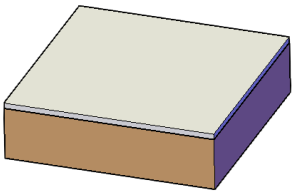
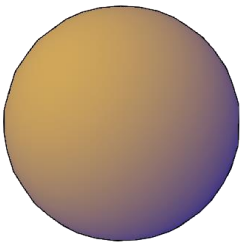
	優點	1.體積大小較平均 2.植生粒劑種子含量較大
	缺點	1.體表面積大，蒸發散快 2.投擲後之坡面附著能力較差 3.製作之植生粒劑較大，承載量較少 4.僅能手工製作，不易量產
	優點	1.體積大小較平均 2.植生粒劑種子含量較大 3.投擲後之坡面附著能力較佳
	缺點	1.體表面積大，蒸發散快 2.製作之植生粒劑較大，承載量較少 3.僅能手工製作，不易量產
	優點	1.機器大量製作容易，量產容易 2.體表面積小，蒸發散慢 3.體積較小，投擲後容易卡入坡面隙縫中
	缺點	1.圓球體投擲坡面後易滾動於坡腳 2.植生粒劑種子含量較小 3.體積大小差異較大

圖 4- 10 手工製作不同粒徑、形狀及不同材料拌合之植生粒劑

二、 粒劑資材配比

本計畫植生粒劑應用之資材為緩效性肥料、培養土、黏質土與團粒化劑，種子材料則分為草本(百喜草、高狐草)、灌木(山胡枝子)和喬木(相思樹)。但實際配比仍會依據不同崩塌區域環境條件選擇較適宜之物種與材料，如東勢處必坦溪崩塌地，根據以往經驗，台灣赤楊在現地生長情況良好，因此增加台灣赤楊種子(0.5%)。現階段應用之各項資材與使用配比如表 4- 10。

表 4- 10 粒劑資材配比

資材	每平方公尺材料量(g/m^2)	重量百分比(%)
緩效性肥料	1.00	0.27
培養土	116.67	31.28
黏質土	116.67	31.28
團粒化劑(稀釋後)	91.67	24.57
種子材料	47.00	12.60

*備註：各材料配比，仍應視崩塌現地條件進行調整

三、 粒劑重量

植生粒劑之重量，本計畫隨機選取十顆粒劑，秤取其重量並記錄(如表 4- 11)。重複該方法取樣十次，獲取共十組之數據後取平均，得知粒劑單顆重量約為 4.5~5 g。

表 4- 11 植生粒劑重量取樣記錄

取樣次數	重量(g)	取樣次數	重量(g)
1	48.1	6	46.3
2	45.7	7	47.2
3	46.0	8	48.9
4	58.5	9	49.4
5	49.3	10	45.6
平均單顆重(g/顆)		48.5±3.6	

伍、植生粒劑播種量設計

本計畫經崩塌現地勘查評估後發現，各崩塌地坡度皆為 30°以上之陡峭坡面，且因 UAV 播種植生粒劑工法為初步試驗階段，因此僅以三處崩塌地選取 0.2 公頃進行播種。

而經本團隊評估，若欲於 0.2 公頃面積內達到上述植生粒劑播種量之期待發芽株數，現階段三區各以 150 公斤粒劑量為較適宜之播種量。倘若以該設計量進行播種，在均勻撒播情形下，每平方公尺應有近 15 顆植生粒劑散佈落下，而因每顆粒劑內含有近 300~400 顆草本種子與 30~50 顆木本種子，故播種後粒劑隨時間逐漸生長，並促進周遭之植生進入，以達到植生覆蓋效果。本次計畫三處崩塌地植生粒劑播種量如下表所示：

表 4- 12　崩塌地植生粒劑播種設計量

項目		奧萬大聯外道路 7K	大甲溪事業區 8 林班	太平山事業區 77 林班
播種面積(ha)		0.2	0.2	0.2
粒劑播種量(kg)		150	150	150
粒技數量(顆)		≒30,000	≒30,000	≒30,000
種子量	草本	300~400	300~400	300~400
	木本	30~50	30~50	30~50

第三節 粒劑測試

壹、不同高度破碎測試

另模擬實際投放作業投擲高度，分別於離地面高度 50 公尺、100 公尺、200 公尺、300 公尺投擲測試，測試結果顯示，粒劑自離地高度 300 公尺投擲後，大多數皆仍保持原狀，僅少數有碎裂之情形(如圖 4- 11)。

戶外模擬投擲試驗場地	300 公尺著地(局部碎裂)

圖 4- 11 植生粒劑空中投放作業測試情形

貳、飄散測試

為測試在特定飛行高度上，粒劑落後的飄散情況，本計畫利用台中市豐原區花博展區的停車場進行測試。將飛行高度設定在 50 公尺，50 公尺高度的風速為 3 級風(約 3.4 - 5.4 m/s)，從空中撒落後一架次的投擲量 8 公斤的粒劑，集中散落半徑約 3 公尺，覆蓋面積約 30 平方公尺；最大擴散半徑約 5.5 公尺，覆蓋面積約 95 平方公尺。

另 8 公斤粒劑約有 1600 顆粒劑，經現地檢視後，集中範圍內約有 53 顆粒劑/m^2；而擴散範圍內約有 17 顆粒劑/m^2，符合計畫需求(15 顆粒劑/ m^2)。

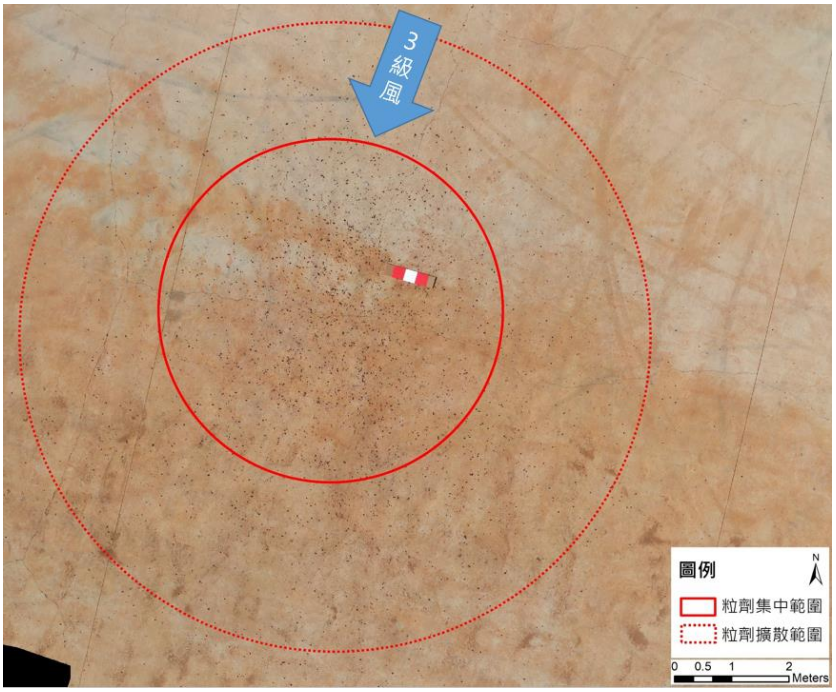
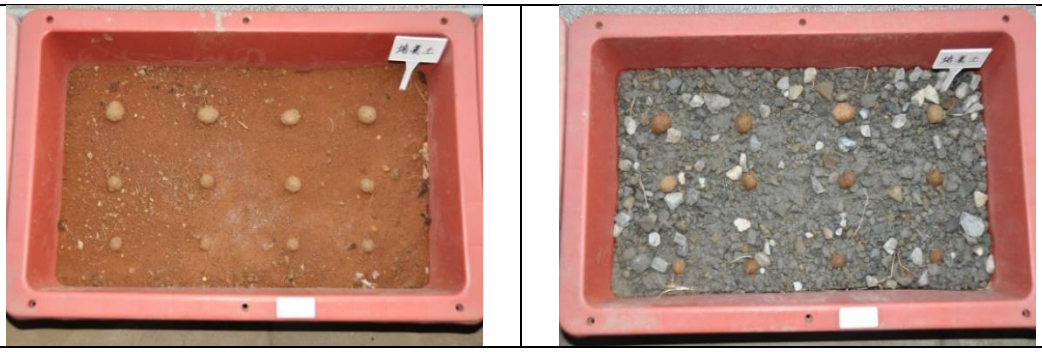


圖 4- 12 粒劑飄散測試成果圖(投擲高度 50 公尺/風速 3 級風)

參、植生粒劑發芽測試(不同土壤之發芽試驗)

本計畫製作 1.5cm、2cm、3cm 三種粒劑大小，每個大小製作四顆共 12 顆，將粒劑置於紅壤土盆與崩積土盆中進行發芽試驗。並定期澆予水分與觀察記錄，至第 28 天為止。

試驗結束後將四顆粒劑中選取發芽情形較較相近之粒劑取其平均，得到不同大小之植生粒劑平均發芽率。植生粒劑發芽試驗情形如圖 4- 13。



植生粒劑發芽試驗第一天

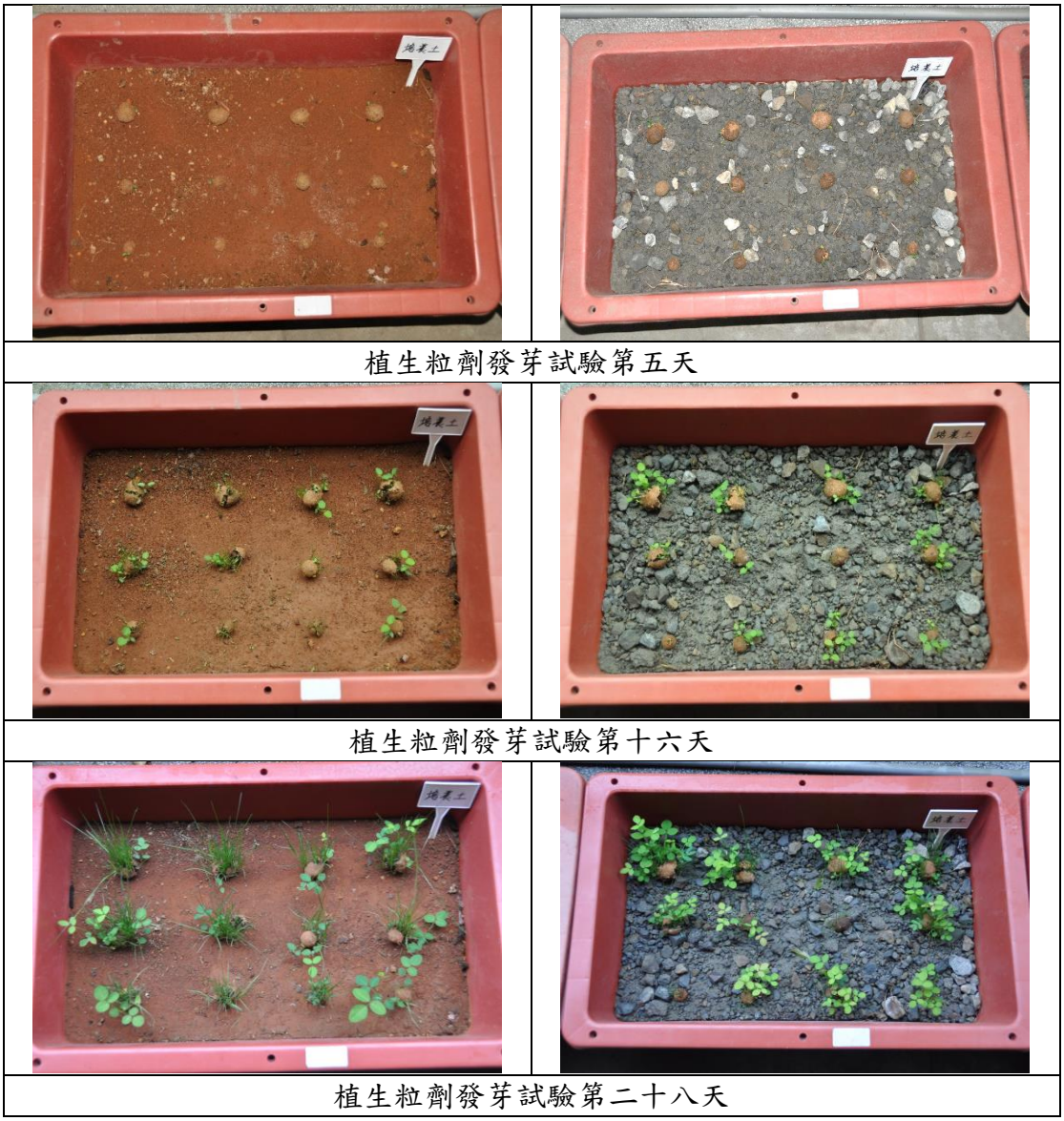


圖 4- 13 植生粒劑發芽試驗情形(左：紅壤土，右：崩積土)

觀察發現，置於紅壤土盆之植生粒劑，其草本種子約於 9 天開始發芽；而置於崩積土盆之粒劑約 6 天開始發芽，此外，兩種土盆中之植生粒劑草本皆可於播種後 30 天達到 30~50 株之發芽數。木本種子，則於粒劑播種後 7 天開始發芽，但因木本種子種子數較少且需較長時間發芽，因此於 28 日之播種試驗中發現，至第 28 天時，每顆粒劑約有 5 株木本種子發芽生長。

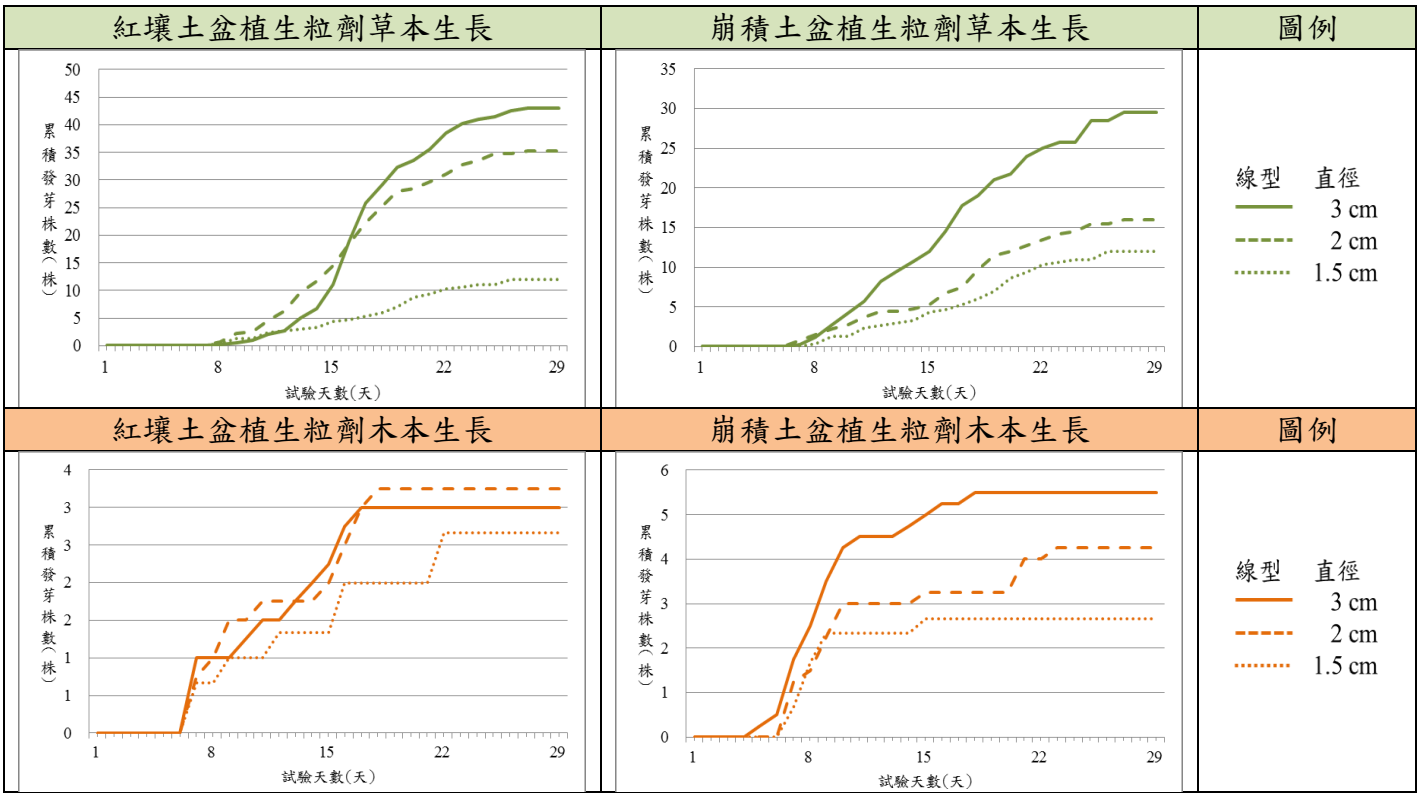


圖 4- 14 植生粒劑發芽歷線圖

第五章　國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生之可行性評估

第一節 測試地點之評估與選定

壹、測試地點選擇條件

依據計畫工作目的，及配合治理原則，選擇適宜試驗區域 3 處，並進行試驗地點之環境調查與記錄，以了解投擲地點環境概況對於植生粒劑之發芽生長影響以及試驗適用性。

故在進行無人飛行載具投擲前，應先對預定投擲之崩塌區域進行基本資料蒐集與現況的調查，包括海拔高度、坡度、坡向、土壤、植生狀況及崩塌面積規模...等性質，以了解區域之環境應力及後續植生粒劑發芽生長與復育之差異性比較。

原先所設定篩選原則為：

1、交通不可及區域，飛行距離為 1 公里以上。

2、崩塌面積需大於 0.2 公頃。

3、崩塌坡度選定為崩塌地平均坡度小於 30%、平均坡度 30-55%、平均坡度大於 55%各選定 1 處，並提定高、中、低不同難度之場域試區評估或替選方案。

貳、測試區與篩選

經期初與第一次期中審查會議中，依照審查委員之建議，調整篩選原則。

本計畫主要重點為所研發的粒劑在現地的生長情形，目前在研究階段，應配合人力可及，以便於現地實際評估發芽與生長情形。因此，由審查委員建議適度放寬篩選條件，調整為(1)交通可及亦可；(2)坡度的條件不一定要分三種等級，若有合適地崩積區域，仍以合適生長條件之區域為主。

依據林務局 107 年 10 月 9 日之第一次工作會議紀錄，三處測試地點，第一處為羅東林管處太平山事業區 77 林班，另二處分別由東勢林管處與南投林管處各擇定一處辦理。

另分別與東勢林管處與南投林管處進行測試地點篩選(如表 4- 13)，並針對選定之三處測試區進行現地踏勘。並依照期初審查會議委員之建議，亦可將交通可及、便於觀察的條件為優先選擇考量。而測試區亦可選擇原始崩塌面積大於 1 公頃以上之崩塌地，利用其中 0.2 公頃進行噴植測試，便於比對觀察有噴植與自然復育的差異。

表 4- 13 三處試驗區選定情形

編號	轄管林管處	試驗區篩選區域	備註
1	羅東林管處	太平山事業區 77 林班	由林務局指定辦理，並同步進行乾料撒播測試
2	東勢林管處	大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)	勘查後選定，並同步進行乾料撒播測試
未選		大甲溪事業區 15、16 林班	立地條件不佳
3	南投林管處	濁水溪事業區 22 林班 (奧萬大聯外道路 7K)	勘查後選定；亦因為重要交通路線，具較高的測試效益
未選		濁水溪事業區 22 林班 (奧萬大聯外道路 7.6 K)	立地條件不佳
未選		國姓鄉清德寺旁崩塌地	可由其他工法施作

第二節 各試驗區概述與測試投擲成果

壹、太平山事業區 77 林班

本區於 2012 年蘇拉颱風襲台，受到連續降雨的影響導致宜蘭縣大同鄉茂安村蘭陽溪支流志航橋野溪上游一處崩塌產生破壞而崩落，崩塌土體挾帶流木而形成土石流向下游流出，至谷口後受版橋阻塞通水斷面不足而致溪水與土砂溢流，溢流水砂造成版橋與右岸民宅遭受土砂堆積的災情。本計畫於本試驗區進行粒劑撒播與種子撒播測試。

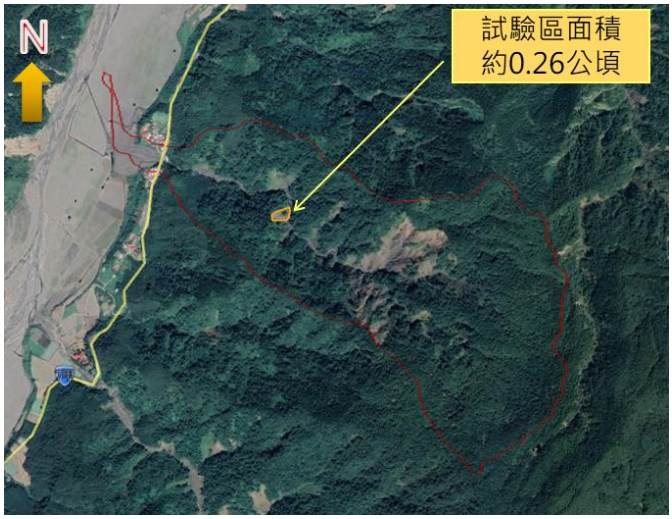
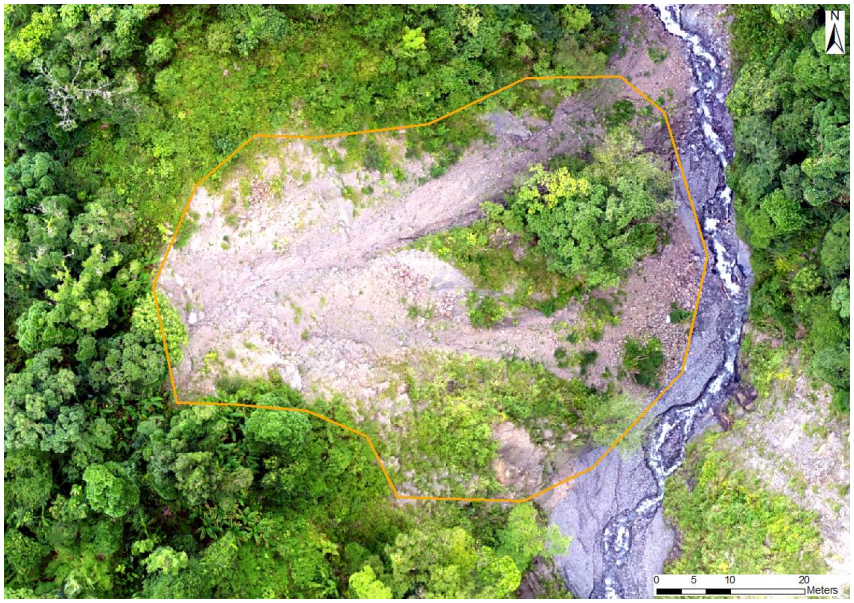
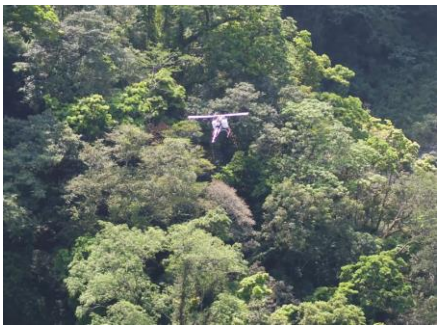


圖 5- 1 太平山事業區 77 林班噴植位置圖

表 5- 1 太平山事業區 77 林班測試噴植成果說明

測試噴植紀錄報告_羅東林管處				
執行編號	2019_C01	行政區域	宜蘭縣大同鄉茂安村	
出勤人數	6 人	執行天氣	晴	
抵達時間	2019 年 4 月 26 日 8 點 30 分			
執行期間	2019 年 4 月 26 日 8 點 30 分至 11 點 30 分，共計 3 小時			
植生模式	■粒劑撒播 ■乾料撒播 □純種子撒播			
植生面積	0.26 公頃			
崩塌地坡度	45.1 度			
執行地點	X 坐標(97)	295728.825	Y 坐標(97)	2714012.901
崩塌地點	X 坐標(97)	296399.284	Y 坐標(97)	2713613.057
執行趟次	3 趟			

投放高度 (離地高度)	60~70 公尺
撒播總量	20 公斤
鄰近道路	泰雅路五段
溪流名稱	蘭陽溪
作業範圍	
作業照片	

平面影像	
斜拍影像	

貳、大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)

本區因 2004 年 7 月 2 日之敏督利颱風引進強盛西南氣流，連日大雨造成邊坡崩塌，形成土石流，造成臨 37 便道(台 8 線)中斷，大量崩落土石淤積必坦溪河床及德基水庫排洪隧道口，嚴重影響德基水庫排洪隧道等發電設施之安全。

本計畫於編號 1 進行乾料撒播，編號 2 進行粒劑撒播。

圖 5- 2 大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)噴植位置圖

表 5-2 大甲溪事業區 8 林班測試噴植成果說明

測試噴植紀錄報告_東勢林管處				
執行編號	2019_B01	行政區域	臺中市和平區梨山里	
出勤人數	6 人	執行天氣	晴	
抵達時間	2019 年 4 月 23 日 13 點 00 分			
執行期間	2019 年 4 月 23 日 13 點 00 分至 17 點 00 分，共計 4 小時			
植生模式	■粒劑撒播 ■乾播撒播 □純種子撒播			
植生面積	0.24 公頃			
崩塌地坡度	30.9 度			
執行地點	X 坐標(97)	266546.055	Y 坐標(97)	2682859.352
崩塌地點	X 坐標(97)	266703.286	Y 坐標(97)	2682479.659
執行趟次	15 趟			
投放高度(離地高度)	60~70 公尺			
撒播總量	100 公斤			
鄰近道路	台 8 線			
溪流名稱	必坦溪			
作業範圍				
作業照片				

<table>
<tr><td></td><td> </td></tr>
<tr><td>平面影像</td><td>
 </td></tr>
</table>

斜拍影像	

參、濁水溪事業區 22 林班(奧萬大聯外道路 7K)

本區於 2009 年莫拉克颱風時，造成嚴重的崩塌災害，導致奧萬大聯外道路交通中斷，為維護用路人安全，管理單位曾投入多項整治工程與監測系統進行復建工作。

本計畫於黃色框選區域進行粒劑撒播與乾料撒播，並可與周邊的掛網植生復育區域進行比對分析。

圖 5- 3 濁水溪事業區 22 林班(奧萬大聯外道路 7K)噴植位置圖

表 5- 3 奧萬大聯外道路 7K 測試噴植成果說明

測試噴植紀錄報告_南投林管處				
執行編號	2019_A01	行政區域	南投縣仁愛鄉親愛村	
出勤人數	6 人	執行天氣	晴	
抵達時間	2019 年 4 月 23 日 6 點 30 分			
執行期間	2019 年 4 月 23 日 6 點 30 分至 10 點 00 分，共計 3.5 小時			
植生模式	■粒劑撒播 ■乾播撒播 □純種子撒播			
植生面積	0.23 公頃			
崩塌地坡度	35.8 度			
執行地點	X 坐標(97)	265312.362	Y 坐標(97)	2650421.562
崩塌地點	X 坐標(97)	265392.282	Y 坐標(97)	2650491.418
執行趟次	15 趟			
投放高度(離地高度)	50 公尺			
撒播總量	100 公斤			
鄰近道路	大安路			
溪流名稱	萬大溪			

作業範圍	
作業照片	

平面影像	
斜拍影像	

第三節 各試驗區實際投擲情形

依前述計算原則，於 0.2 公頃面積內達到植生粒劑播種量之期待發芽株數，三試驗區各以 150 公斤粒劑量較為適宜。依各試驗區實際執行之任務成果統計如表 5- 4，各試驗區都進行三次投擲，每一個試驗區都投擲 210 公斤的粒劑。

表 5- 4 三處試驗區投擲成果統計

試驗區	航線距離(趟)	作業時間(每趟)	投放高度(離地高)	作業日期	飛行趟次	總投放量(kg)
羅東林管處太平山事業區 77 林班(留茂安)	3 km	12 min	60~70 m	108/4/26 108/6/21 108/6/26	3 趟 18 趟 12 趟 (共 33 趟)	20 kg 110 kg 80 kg (共 210kg)
東勢林管處大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)	1 km	6 min	60~70 m	108/4/23 108/6/27 108/6/28	15 趟 8 趟 9 趟 (共 32 趟)	100 kg 50 kg 60 kg (共 210kg)
南投林管處濁水溪事業區 22 林班(奧萬大聯外道 7K)	0.1 km	3 min	50 m	108/4/23 108/5/16 108/6/15	15 趟 7 趟 8 趟 (共 30 趟)	100 kg 50 kg 60 kg (共 210kg)

第四節 無人飛行載具影像評估分析

本計畫作業完成後，利用無人載具進行投擲前與投擲後之影像拍攝，並利用投擲後之正射影像與 NIR(Near-Infrared)影像進行分析，藉以求得植生粒劑投擲前後之植生覆蓋率與復育率，評估撒播後粒劑生長與植生演替之情形。

一、 植生指數分析

本計畫作業完成後，利用無人載具搭載近紅外光相機(NIR)拍攝投擲後之影像，並利用 NDVI 指數（Normalized Difference Vegetation Index；NDVI）進行比對與分析，藉以確認投擲後的植生生長情況，評估投擲前後之植生復育比率。

二、 覆蓋率(cover rate)

指植株垂直投影於坡面上面積之比率，常做為人工整坡之含土層坡面植生工程施工成果之驗收依據。

三、 植生粒劑大面積崩塌地施作之成效評估

植生成效之判定係由使用植物、施工時期、施工目的等，在經過一定時間後進行確認(如：木本類植物之發芽確認，必須經過最少 3 個月)。施工標的種子之發芽成長數目不足時，經確認其原因後，需探討其原因，包括是否因氣象因子影響、或基材配方所致等。各試驗區施作成效評估說明如下。

表 5- 5 各試驗區植生回復覆蓋率分析

地區	投擲面積(m^2)	植生面積(m^2)	覆蓋率(%)
太平山事業區 77 林班(留茂安)	2500	254.36	10.17
大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)	2400	293.16	12.21
濁水溪事業區 22 林班(奧萬大聯外道 7K)	2300	359.59	15.63

(一) 羅東林管處太平山事業區 77 林班(留茂安)

1、投擲狀況概述

本計畫分別於 108/4/26、108/6/21 與 108/6/26 分三批次，各投放 100kg、50kg 與 60kg，合計 210 公斤之資材(含粒劑與種子乾播)，投放高度約 60~70 公尺。

原先規劃 4 條航線，因 108/4/26 第一次投放時，配合現地風勢，進行航線微調；後將第一次規劃的航線，作為第二次補投放的航線。

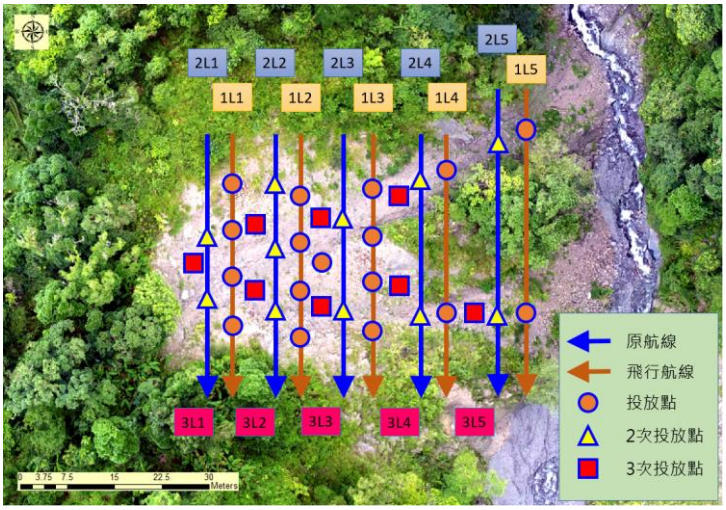


圖 5- 4 留茂安投放航線與點位規劃

2、成果檢視說明

本計畫於 108/7/29 利用 RGB+NIR 相機，進行可見光影像與 NIR 影像拍攝，並以 NDVI 指數輔助確認，進行植生復育分析；成果顯示，留茂安試驗區植生回復覆蓋面積約 254.36m^2，覆蓋率約 10.17%。

圖 5- 5 太平山事業區 77 林班撒播後正射影像(108/7/29)

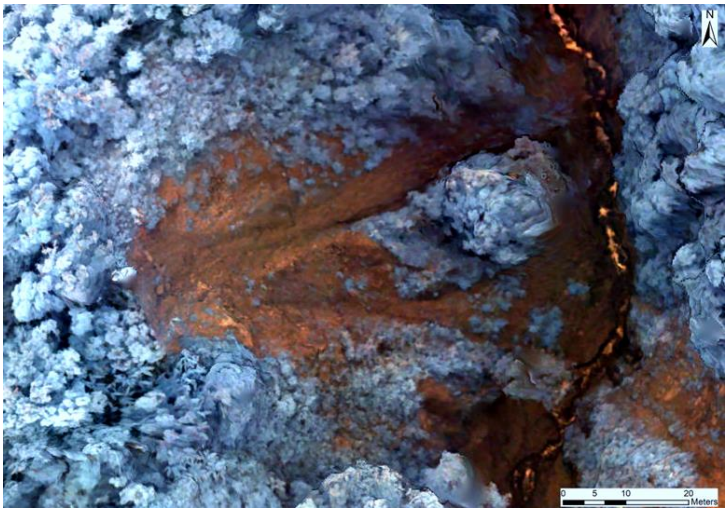


圖 5- 6 太平山事業區 77 林班撒播後 NIR 影像(108/7/29)

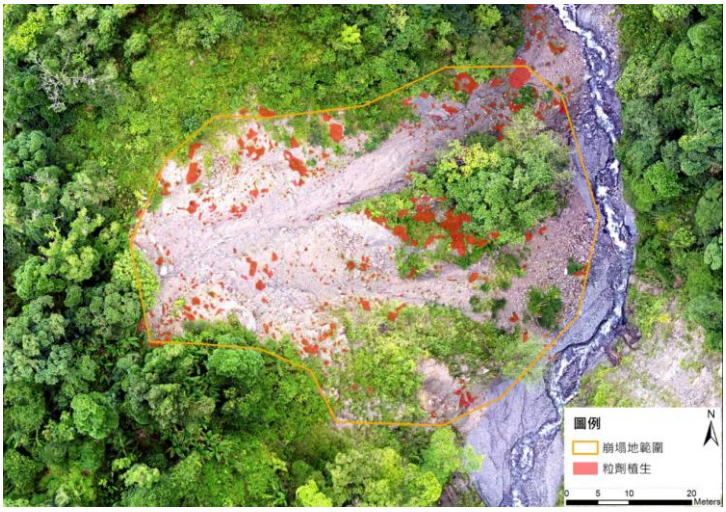


圖 5- 7 太平山事業區 77 林班撒播後植生覆蓋率成果

3、小結

本區域分三批次撒播後，約歷經 1~2 個月的生長期後，進行植生生長情況檢視；該區域因人力無法到達，無法確認現地原有的植生物種與立地條件狀況，因此在投放規劃上，除了盡量均勻撒播粒劑外，亦盡量利用現地條件，例如原有的植生、不平整的坡面以及蝕溝等，盡量為粒劑創造容留的條件。

經覆蓋率分析成果顯示，在局部區塊，因粒劑容留條件較佳，因此也創造較明顯的覆蓋情況，整體覆蓋率約 10.17%；因計畫期程關係，未來仍建議持續利用植生指數進行調查，持續監控復育情況。

(二) 東勢林管處大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)

1、投擲狀況概述

本計畫分別於 108/4/23、108/6/27 與 108/6/28 分三批次，各投放 100kg、60kg 與 50kg，合計 210 公斤之資材(含粒劑與種子乾播)，投放高度約 60~70 公尺。

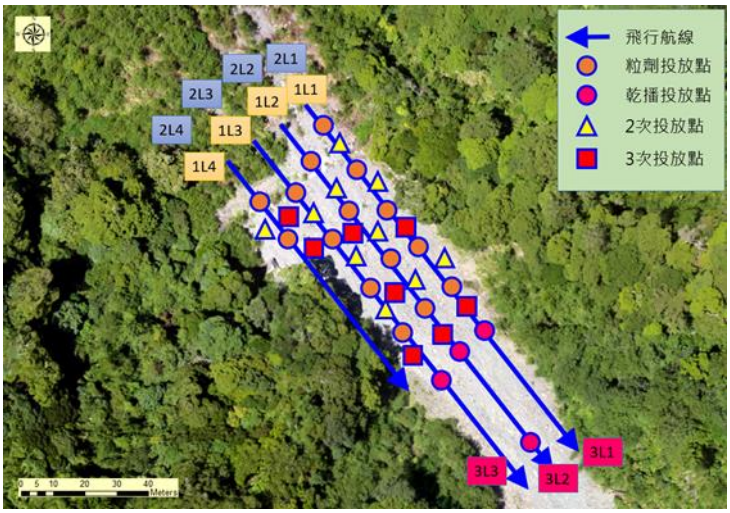


圖 5- 8 必坦溪投放航線與點位規劃

另本區 108/4/23 撒播後，於 108/5/23 日豪雨期間，遭逢土石流侵襲，影響撒播效果，因此於 108/6/27 與 108/6/28 進行追播。

圖 5- 9 大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)0520 豪雨期間土石流事件

2、成果檢視說明

本計畫於 108/7/29 利用 RGB+NIR 相機，進行可見光影像與 NIR 影像拍攝，並以 NDVI 指數輔助確認，進行植生復育分析；成果顯示，必坦溪試驗區植生回復覆蓋面積約 293.16m^2，覆蓋率約 12.21%。

圖 5- 10 大甲溪事業區 8 林班撒播後正射影像(108/7/29)

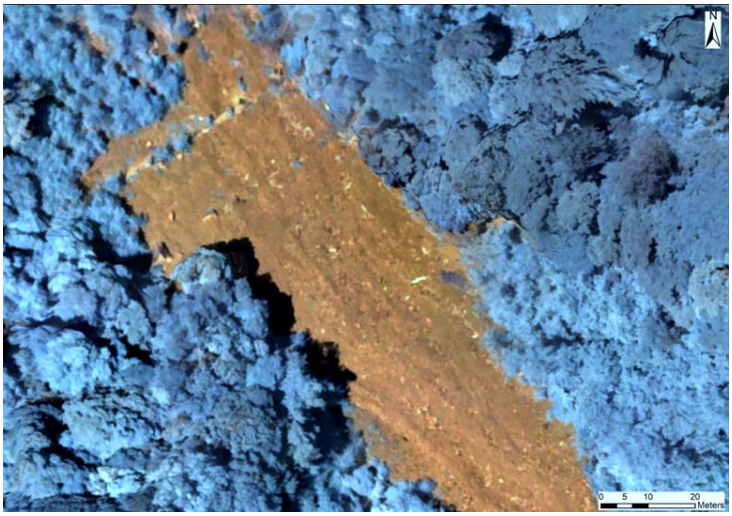


圖 5- 11 大甲溪事業區 8 林班撒播後 NIR 影像(108/7/29)

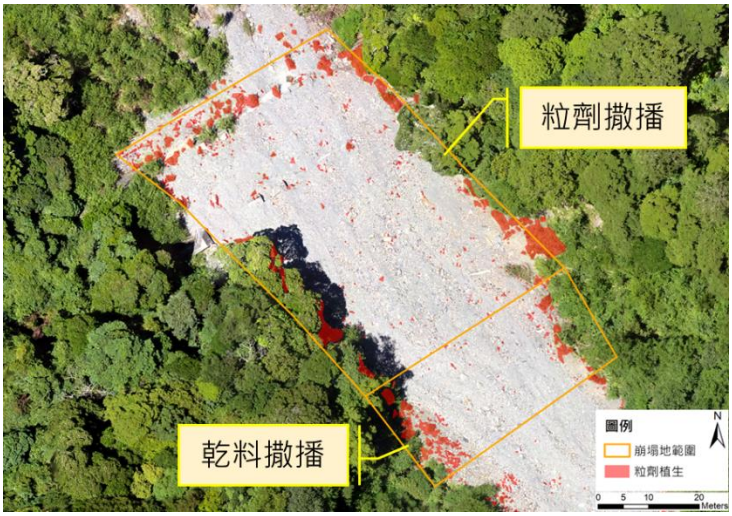


圖 5- 12 大甲溪事業區 8 林班撒播後植生覆蓋率成果

3、小結

本區域分三批次撒播後，約歷經 1~2 個月的生長期後，進行植生生長情況檢視；該區域視實際需可以人力方式至現場再確認投擲區域現地原有的植生物種，藉由東勢林管處多年在現地推行相關工作的經驗，木本的台灣赤楊有相當良好的復育情況；另現地上游仍有持續崩塌的情形，因此多為崩積岩屑與崩積土壤，因此在投擲規劃上，除了盡量均勻撒播粒劑外，亦盡量利用現地條件，例如原有的植生與不平整的坡面等，盡量為粒劑創造容留的條件。

多年來該處並未遭受重大颱風豪雨的侵襲，無奈第一次撒播後，於 108 年 5 月遭受遭受 0518 豪雨侵襲，引發邊坡土砂災害事件，因此第一次撒播的粒劑遭受影響，故於 108 年 6 月進行追播。

該區域雖較難以人力抵達，但空域通透條件可容許小型空拍機進行成果檢視。本計畫於 108/7/29 利用小型空拍機進行貼地飛行，離地高約 5 公尺，拍攝近地影像，配合 NDVI 指數輔助辨識。經覆蓋率分析成果顯示，在局部區塊，因粒劑容留條件較佳，因此也創造較明顯的覆蓋情況，整體覆蓋率約 12.21%；因計畫期程關係，未來仍建議持續利用植生指數進行調查，持續監控復育情況，相信部分被崩積土與岩屑覆蓋的粒劑，仍有發芽生長的機會。

圖 5- 13 大甲溪事業區 8 林班撒播後近拍影像檢視

另本區域有配合進行乾播方式進行測試，於粒劑測試區往上游區域進行乾播(如圖 5- 12)。成果顯示，因乾播方式較難精準投放於目標區域，且草本與木本種子外部沒有其餘資材保護，較難為種子提供保護與生長的條件，因此效果不佳。故於未來在乾播的任務區域選擇上，需再進行考慮，並配合投放方式與投放時間另案進行研究討論。整體而言，粒劑仍是較佳的航空撒播方式。

(三) 南投林管處濁水溪事業區 22 林班(奧萬大聯外道 7K)

1、投擲狀況概述

本計畫分別於 108/4/23、108/6/27 與 108/6/28 分三批次，各投放 100kg、60kg 與 50kg，合計 210 公斤之資材(含粒劑與種子乾播)，投放高度約 60~70 公尺。

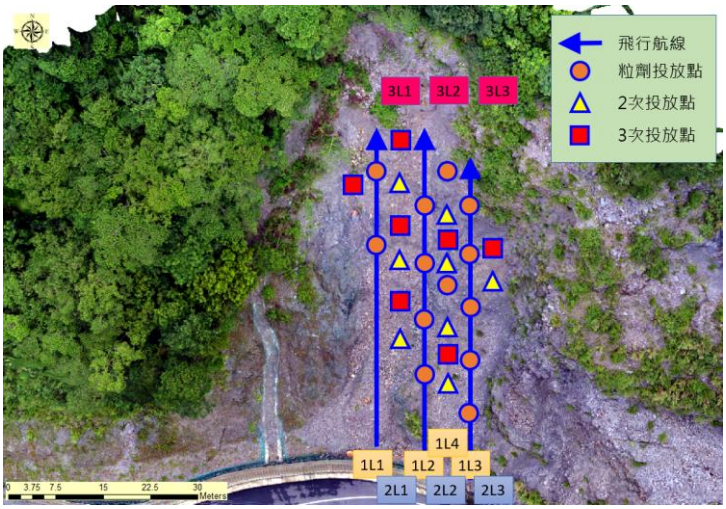


圖 5- 14 奧萬大聯外道 7K 投放航線與點位規劃

於 108/4/23 第一次撒播後，因試驗區現地有持續崩落情況，故於 108/6/27 與 108/6/28 再各追播 60kg 與 50kg。

2、成果檢視說明

本計畫於 108/7/22 利用 RGB+NIR 相機，進行可見光影像與 NIR 影像拍攝，並以 NDVI 指數輔助確認，進行植生復育分析；成果顯示，濁水溪事業區 22 林班試驗區植生回復覆蓋面積約 359.59m^2，覆蓋率約 15.63%。

圖 5- 15 濁水溪事業區 22 林班撒播後正射影像(108/7/22)

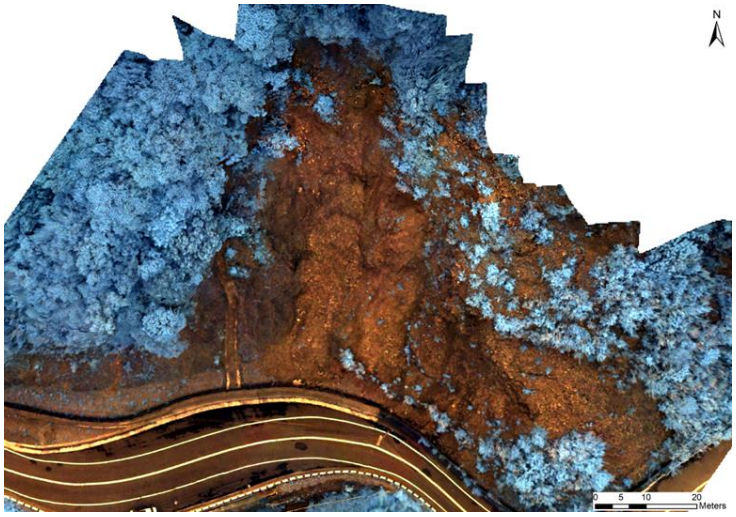


圖 5- 16 濁水溪事業區 22 林班撒播後 NIR 影像(108/7/22)

圖 5- 17 濁水溪事業區 22 林班撒播後植生覆蓋率成果

3、小結

本區域分三批次撒播後，約歷經 1~2 個月的生長期後，進行植生生長情況檢視；現地局部區域人力可達，因此團隊進行現地既有物種檢視，發現有草本的高狐草、百喜草、狼尾草與五節芒以及木本的羅氏鹽膚木、山黃麻與相思樹，作為粒劑製作的參考。另現地上游仍有持續崩塌的情形，因此多為崩積岩屑與崩積土壤。

在投擲規劃上，除了盡量均勻撒播粒劑外，亦盡量利用現地條件，例如原有的植生與不平整的坡面等，盡量為粒劑創造容留的條件。

本計畫於 108/7/22 利用小型空拍機進行貼地飛行，離地高約 3 公尺，拍攝近地影像，配合 NDVI 指數輔助辨識。經覆蓋率分析成果顯示，在局部區塊，因粒劑容留條件較佳，因此也創造較明顯的覆蓋情況，整體覆蓋率約 15.63%；另在人力可達區域，進行現地檢視，成果顯示除了草本種子發芽狀況良好外(約 20~30 公分)，木本種子亦有相當程度的生長(約 5~10 公分)，顯示本計畫選用的種子，製成粒劑後，在現地可被環境所接受。

因計畫期程關係，未來仍建議持續利用植生指數進行調查，持續監控復育情況，相信部分被崩積土與岩屑覆蓋的粒劑，仍有發芽生長的機會。

圖 5- 18 濁水溪事業區 22 林班撒播後成果檢視(近拍影像)

第五節 經費預估

本計畫參照計畫執行過程中，相關粒劑研發、載具設備成本及人力投入，估算崩塌地利用無人載具進行航空植生的經費，供未來相關工作推動的參考。

壹、資材成本分析

一、 以目前所設計的資材，15 公斤約 3,000~3,500 粒。相關材料成本約 4,000 元。

二、 以每平方公尺約 15 粒算，0.2 公頃約需 30,000 粒，合計約 150 公斤。若換算為每公頃的成本，每公頃約需 750 公斤，合計材料成本約 200,000 元。

三、 現階段，每公頃植生粒劑製作相關工資成本與材料耗損成本約 250,000 元。

上述粒劑資材之材料費及製作相關工資與材料耗損等支出計算每公頃成本**約 450,000 元。**

貳、UAV 作業成本分析

一、 含噴植系統研發及製造，無人機設備攤提與相關人事成本。以本年度任務區 0.2 公頃估計工期需 3~6 天，故作業成本以工期 5 日計算，詳細各項經費計算如表 5- 6。

表 5- 6 UAV 作業成本經費表

項目	原始總價	一單位單價	說明
無人機硬體	1,000,000	550 元/天	以 5 年財產(1,825 天)換算每天攤提成本。
保險	200,000	550 元/天	以 1 年(365 天)進行攤提
人力		1,500 元/人/天	以 5 人出勤小組平均日薪 1,500 元計算，並含勞健退成本
住宿		2,000 元/晚	
差旅		500 元/人/天	早餐 100 元/天，午晚餐 200 元/天
車輛油料		2,000 元/天	以每次出勤 2 部車計算 95 汽油
發電機租借		2,000 元/天	現地發電充電用
飛機油料		1,800 元	以 0.2 公頃飛行 30 趟次計算，需 60 公升

二、 每公頃作業成本分析如下：

(一) 無人機硬體: 550 元/天*25 天=13,750 元

(二) 保險: 550 元/天*25 天=13,750 元

(三) 人力: 1,500 元/人/天*25 天=187,500 元

(四) 住宿: 2,000 元/晚*3 房/晚*24 天=144,000 元

(五) 差旅費: 500 元/人/天*5 人*25 天=62,500 元

(六) 出勤車輛油料: 1,000 元/車/天*2 車*25 天=50,000 元

(七) 發電機租用: 2,000 元/天*25 天=50,000 元

(八) 無人載具油料: 60 公升/0.2 公頃*30 元/公升*5=9,000 元

項次(一)~(八)項支出小計為 530,500 元，含稅、無人機保養維修雜支等計算，每公頃作業**成本約 650,000 元**。

參、小結

前述粒劑資材製作成本 450,000 元及 UAV 作業成本 650,000 元，合計約 1,100,000 元。以 UAV 航空植生費用約 110 萬/公頃，較現行人工噴植費用約 300 萬/公頃節省成本。不僅可以在人工噴植機具不可及且有保全對象的崩塌地施作，作業人員的安全考量面也較安全。

實際的施作成本，仍會因施作區域、難易度、資材成本...等因素而有變動。

第六章　結論與建議

第一節 結論

壹、相關國內外航空植生相關文獻與探討及無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定

一、 相關國內外航空植生相關文獻與探討

完成至少 20 篇航空植生文獻蒐集與探討，國內外以往在航空植生應用上，多以載人直升機為主，無人載具的相關應用相當少。本計畫的研究成果，除了為國內首例外，亦是國際間少見的研究案例。

二、 無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定

本計畫完成根據崩塌地治理探討為前導的流程分析，據以擬定可以供林務局參考的內部分析程序，以決定是否適用無人載具進行航空植生。

另也配合民航局在民用航空法修正後，對於無人載具相關管理的程序研析，對於未來在無人載具航空植生的應用上，除了施作空域的申請、操作人員的認證以及載具重量的規範，均需要依法進行申請、登錄與檢驗。

貳、建立開發整合無人飛行載具之崩塌地植生作業系統

本計畫首先針對各類型無人載具的效能進行探討，然因林務局所轄的崩塌地大多位於海拔較高的山區，考量海拔、飛行距離、酬載重量、撒播系統研發...等相關因素，本年度首先利用單旋翼無人載具進行測試，該載具使用汽油引擎，可以提供 10~15 公斤

載重，飛行距離最大為半徑 30 公里，抗風能力為 8 級風。

並利用本年度的測試經驗以及各類型無人載具的特性、優缺點及限制條件等，對於高中低三種不同施做難度的崩塌地類型，提出載具類型選擇的建議。

另為配合撒播作業進行，本計畫自主設計研發一款撒播系統，已跟無人載具完成系統整合，可透過遠端遙控進行撒播作業，本年度亦於 3 處試驗區完成撒播測試與撒播任務。本撒播系統未來可提供相關設計藍圖與林務局及所屬各林管處共享，未來可應用於相關業務的推動工作。

參、建議適用於無人載具航空植生之植物材料及資材配比

本計畫完成無人載具航空植生作業機制，配合無人載具性能、特性以及植生粒劑研發的成果，進行整體性的作業流程規劃，可以供作未來相關業務推動上的參考依據。

本年度選定 3 處試辦區域，包含羅東林管處太平山事業區 77 林班(留茂安)、東勢林管處大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)與南投林管處濁水溪事業區 22 林班(奧萬大聯外道 7K)。前期利用無人載具進行空中攝影，蒐集任務區的正射影像與現地環境狀況；另奧萬大聯外道 7K 崩塌地，因人力可及，所以前期作業除了影像蒐集外，亦進行現地既有的植生物種調查，調查成果顯示，現地可以觀察到的物種，包含草本的高狐草、百喜草、狼尾草與五節芒以及木本的羅氏鹽膚木、山黃麻與相思樹，作為粒劑製作的參考。

本計畫植生粒劑應用之資材為緩效性肥料、培養土、黏質土與團粒化劑，種子材料則分為草本(百喜草、高狐草)、灌木(山胡枝子)和喬木(相思樹)，另在必坦溪區域，有加入東勢林管處建議

的台灣赤楊。經 1~2 個月的生長期後進行觀察，現地發芽的情況良好，植生覆蓋率約在 10~15%之間，後續仍應持續進行觀察。

肆、國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生之可行性評估

本年度選定 3 處試辦區域，包含羅東林管處太平山事業區 77 林班(留茂安)、東勢林管處大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)與南投林管處濁水溪事業區 22 林班(奧萬大聯外道 7K)。

各試驗區均分三梯次，各投撒 210 公斤的粒劑，各區域作業情形蓋如表 6- 1。

表 6- 1 三處試驗區投撒成果統計

試驗區	航線距離(趟)	作業時間(每趟)	投放高度(離地高)	作業日期	飛行趟次	總投放量(kg)
羅東林管處太平山事業區 77 林班(留茂安)	3 km	12 min	60~70 m	108/4/26 108/6/21 108/6/26	3 趟 18 趟 12 趟 (共 33 趟)	20 kg 110 kg 80 kg (共 210kg)
東勢林管處大甲溪事業區 8 林班(必坦溪)	1 km	6 min	60~70 m	108/4/23 108/6/27 108/6/28	15 趟 8 趟 9 趟 (共 32 趟)	100 kg 50 kg 60 kg (共 210kg)
南投林管處濁水溪事業區 22 林班(奧萬大聯外道 7K)	0.1 km	3 min	50 m	108/4/23 108/5/16 108/6/15	15 趟 7 趟 8 趟 (共 30 趟)	100 kg 50 kg 60 kg (共 210kg)

歷經 1~2 個月的生長期後，進行植生生長情況檢視；分別於 108/7/22(奧萬大聯外道 7K)及 108/7/29(留茂安、必坦溪)進行復育情況調查；成果顯示，粒劑於現地均有良好的發芽情況，各試驗區的植生回復覆蓋率分別為留茂安地區 10.17%、必坦溪地區 12.21%以及奧萬大聯外道 7K 有 15.63%。

在本年度防汛期結束前，各試驗區仍潛在颱風豪雨的威脅，對植生回復進行考驗，後續仍應持續觀察復育情況。

第二節 建議

壹、環境調查方面

本年度雖於執行前有進行正射影像蒐集，且在奧萬大聯外道 7K 任務區有進行現地物種勘查，但建議未來在相關工作的推動上，應**納入植生基盤與影響植生之潛勢分析**。較能完整掌握任務區的植生立地條件。

貳、植生粒劑研發方面

一、 建議未來可針對**原生草本、木本植物種子之調查、採集與適用性**進行評估，降低對於境外種子的疑慮。

二、 以本年度的經驗為基礎，進行植生粒劑應用與資材製程之精進試驗。

參、無人機應用方面

本年度以單軸無人載具進行撒播作業，未來相關工作若持續推動或推行到各林管處時，極有可能會採用多旋翼型無人載具進行作業。

因此建議，下一階段可針對多旋翼型無人載具的適用性及相關應用條件進行測試與分析。

肆、綜合性建議

一、 未來建議可將粒劑製作的標準程序以及無人機現地作業的標準程序，利用影片紀錄的方式進行拍攝，將相關完整的標準化程序進行錄製，可供做未來相關業務推動上的參考。

二、 本年度測試過程中，發現粒劑材料在已經施做過人工掛網噴植但效果不佳或是被天然災害破壞的區域(例如奧萬大聯外道7K)，仍有相當不錯的效果，未來針對類似區域，或許可以考慮利用無人機航空植生進行補強，可以發揮一定的功效。

三、 建議未來可建置一套管理系統，若相關工作持續推動亦或通行到各管理處時，可擴大管理各個施作的區域，包含區域位置、立地條件、粒劑材料配比、無人載具應用類型、應用成果與效益...等，透過管理系統，可以進行資料共享，也可以進行進一步的研究分析，了解粒劑種子在不同區域的應用效果，或是分析各種不同立地條件的粒劑需求等，強化應用效益，也能讓林務局完整掌握各林管處的推動情形。

第七章　專案管理

第一節 專案時程

由於專案時程之控制與專案品質之保證，往往直接影響到專案之成敗，因此本專案團隊特別訂定一套完整之問題管理措施，由品質控制小組依計畫進度實施，以便及早發現未盡事宜隨時修正，而能順利完成本專案，同時本專案團隊也會訂定專案進度查核點，在查核日期檢視專案進度及執行情況，如有發現進度落後，立即檢討及改進，務使本專案能如期完成。

本計畫履約期限自 107 年 6 月 22 日起至 108 年 9 月 30 日止執行完成，並依交付項目所規定之期限提送相關資料；共分為 5 階段，各期期程如下：

一、 期初工作執行計畫書：廠商應於決標日起 20 個日曆天內，交付工作執行計畫書一式 20 份，說明本計畫工作項目執行內容、程序與時程、組織與權責、人力配置、工作協調等規劃內容，機關據以召開審查會議，並由廠商簡報及說明，經會中審核通過後，撥付契約金額 15% (第 1 期款)。

二、 第 1 次期中報告書：廠商應於 107 年 10 月 30 日前交付第 1 次期中報告書一式 20 份，機關據以召開審查會議，並由廠商簡報及說明，經會中審核通過後，撥付契約金額 30% (第 2 期款)。

三、 第 2 次期中報告書：廠商應於 108 年 4 月 10 日前交付第 2 次期中報告書一式 20 份，據以召開審查會議，並由廠商簡報及說明，經會中審核通過後，撥付契約金額 30% (第 3 期款)。

四、 期末階段：廠商應於 108 年 8 月 10 日前交付期末報告書一式 20 份，機關據以召開審查會議，並由廠商簡報及說明，經會中審核通過後，撥付契約金額 15% (第 4 期款)。

五、 成果報告：

(一) 廠商應於期末審查會議之日起 15 日曆天內依照期末審查會議意見修正，提出成果報告初稿一式 2 份，送機關審核，如未依審查意見及結論修改，應限期再修正，並經徵得機關同意後，再提送相關成果文件及資料(詳成果交付內容)。經機關辦理正式驗收完成後，撥付契約金額 10% (第 5 期款)。

(二) 成果交付內容：

1、成果報告書一式 20 份：須含中英文摘要，且報告中重要照片、影像或須以彩色方能辨識者，應以彩色印刷。

2、國有林崩塌地運用無人載具航空植生參考手冊一式 20 份。

3、隨身碟一式 20 份：應包含完整成果報告電子檔(MS-Word：.doc、.docx 及.pdf 格式檔)、簡報檔(以 PowerPoint 製作，含各期會議及工作會議之簡報)等資料。

4、外接式儲存裝置 1 份（USB3.0，容量 2TB 以上），應包含下列內容：

(1) 完整成果報告電子檔(MS-Word：.doc、.docx 及.pdf 格式檔)。
(2) 簡報檔(以 PowerPoint 製作，含各期會議及工作會議之簡報)。
(3) 計畫執行所拍攝之相關影像檔(.jpg 或其他影像相容格式)。
(4) 重要成果資料之原始數值檔(包含執行地點之座標及飛行影像檔案等)。
(5) 航空植生系統(無人載具附掛系統)設計圖說及其行為模式之原始數值檔。

第二節 執行進度表

本計畫整體專案時程進度如表 7- 1：

表 7- 1 計畫期程規劃

項次	項目	107 年度								108 年度								
		5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
一	**航空植生相關文獻探討及航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定**		◆	———	———	———	———	◆										
1	相關文獻探討		◆	———	———	———	———	◆										
2	國內航空植生之實際案例成效與檢討			◆	———	———	———	◆										
3	探討無人載具在航空植生之極限性與直升機之限制			◆	———	———	———	◆										
4	擬定無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可			◆	———	———	———	◆										
5	原住民族常用崩塌地復育傳統技術與智慧			◆	———	———	———	◆										
二	**建立開發整合無人飛行載具之崩塌地植生作業系統**			◆	———	———	———	———	———	———	———	———	◆					
1	評估適用之無人載具類型			◆	———	———	———	◆										
2	評估適合本計畫之崩塌地類型與作業時間			◆	———	———	———	◆										
3	航空植生系統設計						◆	———	———	———	◆							
4	航空植生系統整合與測試								◆	———	———	◆						
三	**植物材料及資材配比評估**			◆	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	◆		
1	建立無人載具航空植生作業機制					◆	———	———	◆									
2	前期植生現況空拍分析								◆	———	———	◆						
3	適用植物類型、植生資材及配比、植生作業程序		◆	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	◆		
4	植生成效評估													◆	———	———	◆	
四	**國有林崩塌地運用無人載具航空植生之可行性評估**					◆	———	———	———	———	———	———	———	———	———	———	◆	
1	測試地點之評估與選定							◆	———	———	———	◆						
2	現地噴植測試與側拍記錄											◆	———	———	◆			
3	航空植生成果分析												◆	———	———	◆		
4	國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生參考手冊編撰									◆	———	———	———	———	———	———	◆	
五	**期初簡報**		◆	◆														
六	**期中簡報**							◆	◆				◆	◆				
七	**期末簡報**																◆	◆

第三節 成果交付

壹、成果交付內容

本專案各項作業成果應繳交之項目、日期及方式，如表 7-2。

表 7-2 交付文件列表

階段項目	提送期程	應完成項目
期初工作執行計畫	決標日起 20 日曆天內提出	1. 研提本計畫所列工作項目之工作方法、構想、進度與人力配置、預期成果等。 2. 其他工作內容，擬請本局配合事項。
第 1 次期中報告	107 年 10 月 30 日前提送	1. 完成國內外航空植生相關文獻與探討及無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定。 2. 完成初步無人飛行載具之崩塌地植生作業系統，應包含初評適宜無人飛行載具及優選，初評適宜作業之崩塌地特性。 3. 選定 3 處崩塌地測試地點。
第 2 次期中報告	108 年 4 月 10 日前提送	1. 完成建立開發整合無人飛行載具之崩塌地植生作業系統 2. 完成建議適用於無人載具航空植生之植物材料及資材配比 3. 完成 3 處崩塌地測試。
期末報告	108 年 8 月 10 日前提出	1. 完成所有工作項目。 2. 國內外航空植生相關文獻與探討及無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定。 3. 完成建立開發整合無人飛行載具之崩塌地植生作業系統 4. 完成建議適用於無人載具航空植生之植物材料及資材配比 5. 完成國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生之可行性評估 6. 完成 3 處崩塌地測試地點成果分析。 7. 完成國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生參考手冊。
成果交付	108 年 9 月 30 日前交付	1. 成果報告書一式 20 份。 2. 成果資料隨身碟一式 20 份。 3. 成果資料碟外接式儲存裝置 1 份。 4. 編印國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生參考手冊。

階段項目	提送期程	應完成項目
		5. 各項交付內容詳成果報告交付內容。

貳、期末執行進度自主檢核

各工作項目執行進度，均符合執行進度規劃。

表 7-3 期末報告執行進度自主檢核

項次	項目	執行狀況說明	進度百分比
一	**航空植生相關文獻探討及航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定**		**100**
1	相關文獻探討	已完成相關文獻分析探討	100
2	國內航空植生之實際案例成效與檢討	已完成國內航空植生之實際案例成效與檢討	100
3	探討無人載具在航空植生之極限性與直升機之限制	已完成無人載具在航空植生之極限性與直升機之限制	100
4	擬定無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可	1.已依照目前法令規範完成申請程序擬定與建議。 2.後續依照民航法修訂之施行細則進行修改與調整。	100
5	原住民族常用崩塌地復育傳統技術與智慧	已完成原住民族常用崩塌地復育傳統技術與智慧之文獻蒐集	100
二	**建立開發整合無人飛行載具之崩塌地植生作業系統**		**100**
1	評估適用之無人載具類型	1.已完成適用之無人載具類型評估與建議 2.後續於操作手冊進行編纂	100
2	航空植生系統設計	已完成航空植生系統設計	100
3	航空植生系統整合與測試	已完成航空植生系統整合與測試	100
三	**植物材料及資材配比評估**		**100**
1	建立無人載具航空植生作業機制	1.已完成作業機制建立。	100

項次	項目	執行狀況說明	進度百分比
		2.已依照執行狀況進行調整與修正。	
2	前期植生現況空拍分析	已完成 3 處測試區前期影像資料拍攝。	100
3	適用植物類型、植生資材及配比、植生作業程序	1.已完成植生粒劑研發及各項資材配比及相關作業程序。 2.已依照執行狀況進行調整與修正。	100
4	植生成效評估方式	已完成各任務區成效評估驗收方式建議	100
四	**國有林崩塌地運用無人載具航空植生之可行性評估**		**100**
1	測試地點之評估與選定	已完成測試地點選定	100
2	現地噴植測試與側拍記錄	1.測試區噴植作業規劃完成 2.已於 4 月底前完成噴植作業 3.已於 6 月份進行追播作業	100
3	航空植生成果分析	已完成噴植後影像蒐集與噴植成效分析	100
4	國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生參考手冊編撰	已完成手冊草案編纂。	100

附件一 專有名詞

- 無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)：是一種無搭載人員的載具，通常使用遙控、導引或自動駕駛來控制。除常見掛載攝影鏡頭之「空拍機」，亦可配合任務需求掛載設備應用於科學研究、場地探勘等用途。
- 原生物種(Native species)：指生長在自然分布範圍內的種或亞種或已下的分類群。
- 不稔性(Sterility)：指植物雖開花但不結實之情形。其原因包括花粉或胚發育不正常、雌雄開花期不一致、胚的行程不完全等所致。不稔性較常見於熱帶、亞熱帶等氣候地形變化較大之地區。
- 團粒化劑(Aggregating agent)：指合成高分子系列的土壤改良劑，主要成分為聚乙烯醇(Polyviny lalcohol)、酸鹽、樹脂(Melamine resin)或者是陽離子性合成高分子等。有聚集土壤顆粒促進土壤團粒畫之成效。同時，可改善土壤通透性與透水性的功能。
- 追播(Reseeding)：播種後發芽不良或發芽後一部分枯死時，就其部分重新播種之施工作業。
- 近红外光(Near Infrared，NIR)影像：近紅外光波長在 0.75－1.4 微米，在這個區域的波長對影像的增強非常敏銳。透過無人載具搭載近紅外光相機拍攝之 NIR 影像，可用於 NDVI 分析植物裸露及綠覆率。
- 常態化差異植生指標(Normalized difference vegetation index,NDVI)：為近紅外光波段與紅光波段反射值之差與這兩波段之和的比值，可以用來判別植生反射量之多寡及監測植生變化。其計算式如下：

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

NIR：近紅外光反射值

R：紅光反射值

- 植生基材(Vegetation)：植物生長介質組合物(包括泥炭苔、樹皮、纖維、肥料等)之總稱。如應用在厚層噴植工等工法施工時，有時也將未含肥料、種子的其他噴植材料一併稱呼之。
- 發芽率(Germination percentage)：發芽率係指在指定的期限和條件下，正常發芽種子數目之比率。用來估計種子的發芽比率，一定時間內之發芽總粒數與測定種子粒數之比值，以百分率表示。

$$發芽率 = \frac{發芽之種子數}{測定之種子數} \times 100\%$$

- 覆蓋率(Cover rate)：指自坡面垂直土方之植株投影面積之比率。常作為人工整坡之含土層坡面植生工程施工成果之驗收依據。
- 裸地率(Uncovered rate)：係指崩塌裸露地或預定植生施工之基地範圍內，去除土木構造物、岩石、浮石、極陡坡地區等植物無法生長之區域，即植物可能生長之地點或可施作播種植生之點位，播種植物種子或植生粒劑後仍呈現裸露情況之面積比率。
- 植生粒劑(Vegetation pellet)：將種子、土壤、肥料、黏著劑等材料配方，經由人力、機械等方式拌合，製成之顆粒體，以作為應用於崩塌地或惡劣環境條件下播種植生導入作業之植生資材。
- 正射影像(Orthophoto)：是一種經過幾何糾正的航攝影像，將單張中心投影之航空像片配合數值地形模型資料糾正成正射投影，修正由於影像傾斜、高差移位所造成之比例尺的不一致，並將糾正後正射影像鑲嵌成全區正射影像。

附件二 各期會議委員意見回覆

一、 期初會議

(一) 開會地點：林務局 7 樓會議室

(二) 開會時間：107 年 8 月 10 日下午 14 時 00 分

(三) 主持人：楊副局長 宏志

委員意見	辦理情形
一、楊委員宏志	
1.P16 作業申請程序及飛航許可擬定，應敘明達到此目的的方式及手段，並非寫「將與林務局討論後定案」。	謝謝委員，已修正如 p.19~p.21。
2.P17 將參照相關法令與系統程序，訂定飛航許可申請程序…並納入國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生參考手冊中，相關法令及程序應敘明清楚。	謝謝委員，其中所指之程序為圖 2-10 之崩塌地航噴適用評估；以及航噴前應依照民航法無人載具專章進行空域申請，如表 2-4。
3.崩塌地植生系統，載具應進行最適性評估。	謝謝委員，已補充如 p.29~p.31。
4.本案執行計畫書中敘明 3 個技術人員操作，其每日執行時間是多少?未來計畫是否可支撐，每日可執行面積?及植生粒數?是否應敘明，或納入未來評估。	謝謝委員，相關內容將依照本期計畫之執行成果，撰寫於操作手冊中。
二、孫委員明德	
1.可行性評估須做成本及經濟效益分析(包含直升機及不同無人飛行載具之比較)。	謝謝委員，相關內容將依照本期計畫之執行成果，撰寫於操作手冊中。
2.崩塌地因經濟及技術考量，無法全面植生時，研究最適宜航空植生區位、方式。	謝謝委員，將透過後續計畫執行過程，進行記錄、研究與分析後，加以探討。
3.航空植生成果分析除再以 UAV 檢視外，應佐以人工現地檢視，確實驗證成效，瞭解地被植物生長勢；本案執行期程 1 年，試區宜每季拍攝一次，若遇颱風帶來豪雨，則應再增拍影像，了解植生復育進度。	謝謝委員，試驗區之選擇，將適度納入人力可及之條件，以利噴植後之人工檢視；另拍攝記錄之時間點，將參照委員建議進行規劃。
4.國外航空植生僅列日本及義大利，且資料過於欠缺，建議再蒐集英、德、法、歐盟、美國等先進國家之詳細資料供參考。	謝謝委員，已補充如第二章第一節。

委員意見	辦理情形
5.無人飛行載具之發展日新月異極為迅速，載具勘選為本計畫最重要項目，所列最新電動旋翼機為 2016 年推出，計畫執行應再尋找最新、最適合機種；引擎式僅列一種，亦請再做勘選或研發。	謝謝委員，相關載具評估已補充如表 3-1。
6.請說明圖 3-3 噴植機構設計與植物材料資材配比探討之關聯性；P.36 戶外測試是否以此機構測試求得最佳作業高度及效果。	謝謝委員，圖 3-3 僅為機構設計參考用，後續將依照資材規格進行機構設計；機構設計完成後，將依照各測試區現地條件，規劃最佳作業高度與航線，以求最佳效果。
7.崩塌地全面植生費用較為高昂，植生會自然復育，可試驗在某種條件下不須做全面植生，可由崩塌地上部或下部，做多少的植生面積即可達到成效。	謝謝委員，已補充說明如 p.57。
三、賴委員維祥	
1.大疆會回傳地理圖資，公務機關多不使用，請說明利用情形。	謝謝委員，本計畫優規提供之大疆空拍機，僅供崩塌與林班地調查用，未涉及國安機敏資訊，較不受相關情形影響。
2.無人機涉及農用多為平面型農用，無人飛行載具運用山坡地涉及不同風向及下沉氣流問題，地形地貌在操作較具風險，可再增強馬力及可用性。	謝謝委員，後續將依照測試情況，進行引擎馬力評估，若有需要，可更換較大馬力之引擎。
3.噴灑物質使用螺旋葉片灑覆較合適，倘使用球狀粒劑，直徑約 3-5cm，滾動性較佳，可能較不合適。	謝謝委員，初期以球狀粒劑進行評估，主要為量產之考量，後續將依照現地測試狀況進行調整。
四、林委員穎宏	
1. 108 年 7 月 1 日起，無人機操作者需要證照及訓練，本案無人機飛行須到視距外，貴公司人員是否可達到要求。	謝謝委員，本公司相關操作人員均符合規範，後續將配合民航局規定進行考證。
2.本案無人機是否有裝圖傳系統，沿著坡面噴灑，是否有裝圖傳系統以利操作。	謝謝委員，本計畫使用之機型可配置圖傳系統進行監測。
3.載具是否有避障系統及風險評估，測試完是否擬定使用規範，在甚麼情況下可以使用。	謝謝委員，相關使用規範將於參考受測進行編撰。
五、王委員昭堡	
1.水土保持局有做類似計畫，是否請團隊協助了解並納入計畫內分析差異性。	謝謝委員，將待水保局相關計畫結案後，索取相關成果進行評估。
2.林管處已提出幾處地點，請團隊協助評估其適宜性再擇期召開工作會議討論決定之。	謝謝委員，已於 107/10/9 進行工作會議探討。
3.可行方法評估部分，倘經評估可行，林	謝謝委員，相關內容將納入參考手冊

委員意見	辦理情形
管處後續須編製預算書，由工程發包方式執行，細節部分如單價分析、經費估算、驗收方式等，請團隊協助納入評估，另拋投機構設計應可複製使用。	進行編撰。
六、黃委員群修	
1.可行性具有 3 個層次，法規、技術及財務可行性評估，法規面：民航法規修正草案請納入；技術面及財務面：技術可行上，因應不同載具會有不同適用範圍，請納入最適距離考量評估及財務可行考量。	謝謝委員，相關內容將納入參考手冊進行編撰。
2.地點的選擇，並非用本案去做過去無法解決的崩塌地(現場可能崩至岩盤，植生並無顯著效果)，而是去評估可行性，應有無撒播對照，撒播時須搭配側拍空拍機。	謝謝委員，測試地點會經過現地勘查後再行定案選定合適之區域；撒播過程亦將進行側拍記錄。
3.這個案子較複雜是否將變數設定少一點，樹種選擇不需要那麼多並儘量選擇本土植物，本土植物可用赤楊在配其他的配比。	謝謝委員，資材選取上將參照建議進行評估。
七、農林航空測量所	
1. P11 表 2-2 之建議植生與 P34 表 4-4 建議不一致。	謝謝委員，表 2-2 為當年載人直升機所使用之資材分析；表 4-4 為團隊於無人機使用之評估。
2. P14 不同崩塌地處理原則是哪個單位訂定，還是貴單位自行整理。	謝謝委員，相關原則為林信輝教授依多年之植生復育相關經驗所研擬。多年來各單位均參考使用。
3.P19 本次使用為單軸直昇機建議亦將多軸納入。.	謝謝委員，各類型載具評估已補充如 p.29~p.31。
4.P24 噴植機對於土球是採用彈射、拋射還是投擲方式。另其重量如何?	謝謝委員，投擲方式仍在設計中；資材之比重將小於 0.5。
5.P25 如果直接採用喬木及灌木種子，不採用草種是否可行。	謝謝委員，可行性需要視現地條件決定，但仍需草本輔助。
6.P26 表 4-2 均為闊葉樹建議採用針葉樹，如二葉松。	謝謝委員，將視測試區現地條件進行評估。
7.P32 提到南投林管處及屏東林管處製作種子，並未提到其目的為何?	謝謝委員，其目的為崩塌地點播復育。
8.P40 用 NDVI 評估成效如含草種當然可以明顯分出，但對於木本植物幼苗要如何確認?	謝謝委員，將適度配合人工調查輔助評估。
9.簡報提及無人機優於有人機，並無明確成本分析，根據本所針對航照製圖應用無人機並沒有成本較低。	謝謝委員，相關內容將納入參考手冊進行編撰。

委員意見	辦理情形
10.有關 P40 利用 NDVI 指數進行植生分析，評估投擲前後之植生復育比率一段，前提為搭載之相機須具有可見光及紅外光波段，惟文中未提供所用之感測器型式，且所提優規欲交付林務局之 P4 Pro 本身亦無此功能，未來本計畫將如何達成 NDVI 植生指數分析，林務局又該如何進行植生復育比率之確認?應於計畫中說明清楚。	謝謝委員，本團隊之機隊具有近紅外光感測器機型，可供 NDVI 分析使用。
11.計畫預定試辦地區之條件為深山偏遠地區，如何克服地形引起之遮蔽斷訊問題?以及如何視距外控制 UAV 精確投擲?其間應注意之航速、風速及相應投擲落點之掌握，建議應在計畫落實於 SOP 中。	謝謝委員，將配合計畫執行之過程、成效，透過相關紀錄與分析進行探討，擬定最終之 SOP，並納入最終之參考手冊中。
12. P39 錯字修正：並利用影像處”理”系統。	謝謝委員，已修正如 p.57。
八、羅東林區管理處	
1.就目前所研發之植生粒劑，可能無法停留於陡坡之崩塌地上，故請考慮是否有適用性之問題。	謝謝委員，粒劑完成後，亦將進行現地測試，評估適用性，並進行調整。
2.航空植生不像空中測繪可全自動工作，至崩塌地上方時可能有手動操作問題(如微調位置高度)加上山區微氣流影響，地形之遮蔽，以及高空電纜等接近崩塌地時操控會愈加困難，還請承攬單位注意。	謝謝委員，實際作業時將特別留意現地環境情況。
九、新竹林區管理處	
1.噴植材料有 3 種方式是否可再對不同坡面環境分析。	謝謝委員，將依照現地條件進行微調。
十、東勢林區管理處	
1.有關本計畫要進行測試地點 3 點之評估，篩選原則中有關崩塌地平均坡度各為小於 30%、30~55%及 55%以上之條件，似乎無符合本局國有林班地之立地條件，建議再評估適合之條件。	謝謝委員，將配合現地調查進行確認。
2. P10 表 2-1 及表 2-2 採用之計算單位不同，請說明之，可否採一致性?各項是否合理及估價依據?	謝謝委員，已修正如表 2-1 與表 2-2。
3.有關植物材料及資材的種類，建議考慮本局歷年造林樹種成效良好的種子，例如本處在梨山地區撒播赤陽種子的成效	謝謝委員，將配合現地條件，納入參考。

委員意見	辦理情形
很好。	
4.航空植生是否可利用 GPS 地定位，並定點定量空投種子，俾利達成崩塌地平均(均勻)植生。	謝謝委員，GPS 可提供輔助，但實際執行時仍需配合現地環境進行調整。
十一、南投林區管理處	
1.建議 UAV 試飛測試地點奧萬大 7K 處。	謝謝委員，將納入參考，並請協助現勘。
2.工作執行報告內 P18 所提每趟任務負荷 1~6 公斤植生粒劑，建議單趟概估可植生多少面積?	謝謝委員，依目前粒劑規格，單趟約可覆蓋 60m^2。
十二、嘉義林區管理處	
1.計畫書 20 頁參、一、(三)款飛行續航力至少 60 分鐘，但於列表 3-2 寫到最大續航時間 60 分鐘，兩者差異甚大，建議統一修正。	謝謝委員，已修正如表 3-1。
2.55 頁表 6-3 交付文件列表第 1 次期中報告提到 107 年 10 月 30 日前提送完成國內外航空植生相關文獻與探討，與 54 頁表 6-2 計畫期程規劃的相關文獻探討期程只排到 107 年 8 月計畫內容只提到日本與義大利，建議再多增加國內外文獻及修正 54 頁表 6-2 相關文獻探討延長至 10 月，以符合相關內容。	謝謝委員，相關文獻已補充如第二章第一節；另已修正表 6-2。
3.54 頁表 6-2 第 5 項有列出原住民族常用崩塌地復育傳統技術與智慧，但是於目錄及內容皆無，若能將原住民老祖宗智慧融入搭配高科技 UAV 及投擲撒播系統，或許能激發不一樣的創新與思維，所以建議補充之。	謝謝委員，相關文獻已補充如第二章第五節。
十三、屏東林區管理處	
1.P16 圖 2-6 航空噴植申請流程中，有關航空噴植評估是否再前置作業就應先確定，另建議申請程序及評估程序應分開擬定，使程序為完備。	謝謝委員，將先依圖 2-10 程序評估是否適合航空噴植，再依圖 2-11 進行申請。
2.航空噴植成果及植生覆蓋成果如何量化。	謝謝委員，相關量化方式如第五章第二節。
3.計畫可行的話，過去作業標準、施作品質及驗收標準等是否可請團隊提出建議規範。	謝謝委員，將配合計畫執行之過程、成效，透過相關紀錄與分析進行探討，擬定最終之 SOP，並納入最終之參考手冊中。
十四、花蓮林區管理處	
1.飛行載具因成本問題，建議應配合飛行搭載重量時間及植生面積等，提出(2 或	謝謝委員，已補充如 p.29~p.31。

委員意見	辦理情形
3)種載具搭配撒播資材粒徑選擇。	
十五、臺東林區管理處	
1.有關本處提供”關山 55 林班崩塌地”供本計畫進行篩選相關書面資料，會後提供委辦單位參考。	謝謝委員，相關資料將納入參考。
2.建議於本計畫結案前辦理無人飛行載具植生作業員工教育訓練，讓各管理處有更多的同仁能對這樣新的開發作業有進一步的認識與運用。	謝謝委員，目前計畫內容尚無相關項目，將與林務局進行討論。
3.針對無人飛行載具航空植生參考手冊，是否可增列預算編列(各施工項目)及施工品質檢驗、驗收等，林管處執行階段相關報表參考。	謝謝委員，將配合計畫執行之過程、成效，透過相關紀錄與分析進行探討，擬定最終之 SOP，並納入最終之參考手冊中。

二、 第一次期中審查

(一) 開會地點：林務局 5 樓會議室

(二) 開會時間：107 年 12 月 18 日上午 10 時 00 分

(三) 主持人：王組長 昭堡

委員意見	辦理情形
一、許委員中立	
1.有關執行進度之檢核及達成情形請於各期報告中說明符合狀況。	謝謝委員，已補充如表 6-3。
2.P.13 與 P.14 之單價是否相關，若有請核對一致。	謝謝委員，因粒劑種子的設計配方會依據各崩塌地的特性，以種子的總重量調整配比，故單價會略有差異。
3.P.21 有關原住民族常用傳統技術與智慧建議多考量一些訪查或文獻資料蒐集；調查結果應可前後對應。	謝謝委員，已補充如第二章第五節。
4.P.31 相當支持團隊在自行開發載具，若工程達某種規模 R-MAX 之載重可多一倍亦是效率因子之一，且已開發多年；另 8 級抗風能力如何考量，請補充說明。	謝謝委員，R-max 早年為輸出管制產品，近年有修正相關輸出規範，但其售價與維護費用相當高，較不建議計畫採用。另因考量山區地形風勢影響，先前建議抗風 8 級，目前已修正建議為 6 級。
5.P.38 建議表 4-1 與表 4-2 之植物在 P.39 與 P.40 均可出現說明。	謝謝委員，目前說明已計畫採用為主，後續將再蒐集與補充。
6.P.52 粒劑之製作比較相當有意義，此會與撒噴設備有關?建議說明彼此相關性。	謝謝委員，撒噴設備設計研發與撒出方式，需參考粒劑構型進行設計。
7.P.55 材料(粒劑)掉落若有坡度可能有一些滾移情形，可再補充。	謝謝委員，因考量粒劑撒播在崩塌地會有滾移情況，本計畫另外製作種子相關資材混合乾播材料，針對三處試驗區的坡度特性，配比崩塌地的粒劑與乾播數量。
二、孫委員明德	
1.請補附摘要，除敘述計畫辦理目的、內容，請說明至期中獲致之成果、後續推動方式及建議。	
2.請檢附完成進度檢核表，條列合約規定工作項目、完成項目及百分比。	謝謝委員，已補充如表 6-3。
3.P.3「測試過程需透過無人載具進行側拍紀錄」，請說明側拍記錄使用機具及方式。	謝謝委員，本計畫預計使用 DJI PHANTOM 4 Pro 系列空拍機進行測拍，為顧及撒播作業安全，將與撒播無人載具保持安全距離，由側方跟拍

委員意見	辦理情形
	作業機以觀察航線粒劑撒播擴散情形，亦從側面拍攝粒劑滾移狀況。
4.已蒐集各國航空植生案例，請加強說明其限制條件、成本、效率及成果等。	謝謝委員，因文獻內容上並未多所著墨，後續將再嘗試蒐集與補充。
5.圖 2-2 投擲育苗管之上、下圖示不符，請檢覈或說明。	謝謝委員，上圖為作業方式示意，下圖為作物生長示意。
6.表 2-1、表 2-2 請加註何時施作，以利參考修正單價；表列 1 公頃計價，若面積增加，相關機具租金降低比率為何。	謝謝委員，因粒劑種子的設計配方會依據各崩塌地的特性，以種子的總重量調整配比，故單價會略有差異。表 2-1、表 2-2 為參考資料；機具租金議會因作業難度而有所差異。
7.各流程圖請依據流程圖製作方式，重新檢視修正。	謝謝委員，已重新檢視。
8.P.21 操作人員訓練，請說明受訓對象。	謝謝委員，文中所提操作人員為團隊之資深飛手；未來將參照民航局施行細則，於操作手冊中建議考照規範。
9.P.31 選擇條件 UAV 抗風能力需達 8 級以上，惟依 P.30 各式無人載具說明，均無一款符合；且 8 級風已達輕度颱風等級，其風速 17.2 - 20.7(m/s)風壓 35-52kgf/m2，如此條件對無人載具造成威脅、噴植材料無法著床，需停止施作。且本案係做可行性，建議另增輕量型載具，做為比較，而非僅用團隊既有之載具。	謝謝委員，因崩塌地多位於山區，易受地形和氣流影響，需具有抗風性能較強的無人載具以維持穩定性。另輕量型載具多為電池馬達之多旋翼機型，載重量低且不適合設計掛載撒播器，故本計畫仍建議選擇以單軸直升機執行航噴作業。
10.請就三處測試地點，考量最佳氣候因素，列出預定試播時間，供林管處安排時間，共同參與。	謝謝委員，本計畫已完成無人載具撒播器試驗，預計在 4 月底前完成三處試驗區的撒播作業。因粒劑撒播後需配合水份澆灌才能有較佳的生長狀況，故團隊持續在觀測天氣預報，評估天氣預報降雨機率大前執行作業，目前規劃以南投林管處試驗區為第一處執行撒播地點。
11.本案為研究型計畫，為探求研究之可行性，建議先以交通可及之區域做為試驗區。	謝謝委員建議，本計畫三處試驗區，僅羅東林管處試驗區地點較為偏遠，另外二處南投林管處及羅東林管處皆為交通可及性高的區域，利於後續觀察植生狀況。
三、葉委員堃生：	
1.文獻應與後續之設計有關聯，另本次應完成進度之文獻蒐集與探討部分，依 P.2 規劃應達 20 篇以上，惟於報告書中	謝謝委員，已補充如 p.5~p.6。

委員意見	辦理情形
並未具體呈現其論述與數量，包括引用來源、分析比較等，以及文獻列表等，應補充說明。	
2.執行進度部分，「建立無人載具航空植生作業機制」並無明顯論述；「適用植物類型、資材及配比…」，配比部分似乎沒有寫清楚；又測試地點評估與選定部分，確切地點僅一處，其他都還要由林管處配合提供，是否符合進度?建議說明清楚。	謝謝委員，三處試驗區已選定羅東林管處轄內「太平山事業區 77 林班—留茂安崩塌地」、東勢林管處「大甲溪事業區 8 林班—必坦溪崩塌地」及南投林管處「濁水溪事業區 22 林班—奧萬大聯外道路 7k 崩塌地」，並陸續完成各崩塌地之空拍影像資料分析，以供執行作業評估。
3.P.14 之直升機航空噴植困難與問題論述之第八點、第九點，語意邏輯不易被理解其困難及問題在 UAV 也會發生，建議再評估相關敘述是否洽當?	謝謝委員，已修正如 p.16。
4.請問本案 UAV 規劃作業高度為多少?山區崩塌地多為坡度較陡之區域，如採非目視飛行噴植，對於地形障礙之因應措施為何?建議可設計於模擬測試中。	謝謝委員建議，作業高度將視現場封場與風速進行調整；地形障礙部分採儀器飛行方式克服。
5.P.41 有關植生粒劑資材特性與應用，提到酸鹼度應盡量接近 PH6.5，以及乾溼收縮性不宜過大等敘述，能否更具體提供容許範圍?	謝謝委員，將視計畫測試結果進行補充。
6.P.54 實際測試部分，建議應敘明各項測試項目應達標準，如滾動性、耐受度、活性等。	謝謝委員，滾動性將在執行過程側拍記錄中檢視；耐受性與活性目前的測試如第四章第三節。
7.錯字：P.21 工林務局，應為「供」林務局；P.57 圖 5-1「無」人載具。	謝謝委員，已更正誤植錯別字。
8.P.20 申請範例上之個資應遮除。	謝謝委員，已將申請範例個資遮蔽處理。
四、羅東林管處	
1.本次期中報告暫未能概要提出植生載具之架構及作業方法，未來請可以聚焦為宜。	謝謝委員，已補充如圖 3-4。
2.請問羅東處選定之樣區究竟為太區 77 林班或是太區 54 林班?報告書與簡報所載內容並不一致，考慮交通可及性及便利性，建議先選定 54 林班。	謝謝委員，依據後續工作會議討論，已確認選定太平山事業區 77 林班為航噴撒播試驗區。
五、邱委員	
1.請問測試區選定投擲，貴公司 AG-3 單軸直升機是否會開啟錄影功能?記錄植生粒劑落地附著情形影像是否清晰?是否可考慮再出動一台空拍機專門錄影記錄粒	謝謝委員，AG-3 單軸直升機之機身可掛載攝影機設備，因先前團隊試行撒播投擲作業，攝影機會隨撒播器開口粒劑滾落而晃動，導致影像成效不

委員意見	辦理情形
劑落地情形，可供日後粒劑形狀、配比製作之參考修正。	佳，故本計畫將在作業過程中以另一架空拍機進行影像紀錄。
六、花蓮林管處	
1.UAV 飛到 1 公里外在崩塌的斜坡上，如何控制 UAV 與地面的高度，達到作業的需求高度(30 公尺或 60 公尺)。	謝謝委員，本計畫執行撒播作業前會先規劃飛行航線，並依據各崩塌地之地形差異調整飛行高度，以保持與地面高度維持等距。
2.國內外航空植生相關文獻資料，其植生的效果分析分別是如何?	謝謝委員，因文獻內容上並未多所著墨，後續將再嘗試蒐集與補充。
3.撒播高度 30 公尺，如何控制每平方公尺能平均的撒播資材?	謝謝委員，實際作業時受現場地形風影響，僅能透過定點停旋與風壓，盡量讓資材撒播在設定的位置。
七、臺東林管處	
1.P.13 表 2-1 航空噴植材料設計配方每公頃單價約 342 萬，實際加總各工料項目為 523 萬，請檢視其正確性，另對照表 2-3 無人飛行載具與直升機航空噴植施工成本比較，顯示無人載具成本較低，可否說明其無人載具噴植成本，二者價差。	謝謝委員，已修正如表 2-2；初步估算無人載具成本較低，詳細的成本分析，將於完成噴植後提出。
2.本期工作項目有擬定無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可程序擬定，於報告書中僅呈現表 2-4 空域申請表範例，未具體飛航許可程序。	謝謝委員，飛航許可部分，將視民航局施行細則提出建議。
3.P.21 第五節敘述原住民族常用崩塌地復育傳統技術及智慧，報告書僅見植物種類，未見其原住民族之智慧及傳統技術論述。	謝謝委員，已補充如第二章第五節。
4.P.59 運用無人飛行載具航空植生參考手冊，建議增加驗收標準、方法及施工中如何查驗等。	謝謝委員，將參照執行過程與成效於操作手冊中提列。
5.錯字修正：P.14 電線不能「自」接目視，目標區受「線」、P.21「工」林務局參考。	謝謝委員，已更正誤植錯別字。
八、屏東林管處	
1.P.23「原住民地區崩塌地植栽之植物評估」有關常用植物種類台灣赤楊、青楓、山胡椒等適應不同海拔高度樹種，並未列入 P.51 粒劑種子材料建議表中，後續是否納入粒劑種子試驗，以比較並提升 UAV 撒播之效益。	謝謝委員，先前東勢林管處必坦溪崩塌地有撒播台灣赤楊種子，目前植生狀況良好。故本計畫協請東勢林管處提供原先播種之赤楊種子，針對必坦溪崩塌地團隊將另外撒播赤楊種子與相關資材混合之乾播材料，並持續觀察植生狀況。

委員意見	辦理情形
2.P.31 本計畫擬採用之無人載具規格(巡航速度 60-120 公里、滿載時速 80 公里、續航力 60 分鐘)較一般 UAV 規格高，為提升各林管處 UAV 撒播運用自主性，是否增加與一般常見 UAV(或自行組改裝之 UAV)撒播草仔及成本費用之比較，以利實務運用參考。	謝謝委員，將參照執行過程與成效於操作手冊中提列。
3.P.56 實地試驗坡度三種<30%、30-50%、平均坡度>55%，惟大部分國有林崩塌地之坡度>70%以上，可否蒐集國外相關撒播草仔試驗報告供參。	謝謝委員，目前國內外相關文獻相當少，將再嘗試搜尋。
九、南投林管處	
1.報告提到 4 月份進行投擲，但計畫到 9 月份，建議投擲時間提早，較能看出投擲成果(P.3 提及投擲完 3 個月以上應進行成果分析)。	謝謝委員建議，因種子發芽需要水分，而台灣氣候於 3 月份後較易有降雨，所以選定該區間執行撒播作業。
2.報告書內團粒化劑 P.48 B 劑(主)及 L 劑(副)之藥劑因遂敘明清楚，及其他材料購買出處(如：發泡煉石、花泥磚、赤玉土、泥炭土、碎紙纖維等)。	謝謝委員，將於操作手冊中提列。
十、東勢林管處	
1.首先感謝大局選定本處轄管為測試區，本處全力配合團隊辦理測試噴植，初步規劃在梨山地區之德基水庫集水保護區內，具有指標性示範。因德委會委員長期關注林務局的創新作為(崩塌地治理)，俾利本局展示研發成果。	謝謝委員，本計畫亦將全力配合東勢林管處試驗區相關業務所需之影像資料拍攝。
2.有關作業系統中建議增加噴植基地測量(放樣)，並以雷達資料建立 3D 模組，俾利了解坡面凹凸面因地形不同而有不同的植生成果。	謝謝委員，將以無人機空拍 DSM 資料進行分析。
十一、新竹林管處	
1.請再補充國外無人載具植生相關案例。	謝謝委員，目前國內外相關文獻相當少，將再嘗試搜尋。

三、 第二次期中審查

(一) 開會地點：林務局 5 樓會議室

(二) 開會時間：108 年 5 月 16 日上午 10 時 00 分

(三) 主持人：王組長 昭堡

委員意見	辦理情形
一、孫委員明德	
1.摘要所列預計 4 月底前完成測試噴植作業，完成進度請修正。	謝謝委員，已修正更新進度內容。
2.表 6-3 完成進度檢核表，合約規定工作項目請儘可能量化完成項目。	謝謝委員，已補充如表 8-3 進度檢核表。
3.已蒐集之各國航空植生案例，請加強說明其限制條件、成本、效率及成果等，詳列相關資料，若資料甚多，則請列於附錄。	感謝委員，現階段所能蒐集之航空植生相關案例，多以現場施作為主，較無詳細成本、限制條件等資訊。
4.圖 2-2 投擲育苗管之上、下圖示不符，雖經說明為示意，仍請修正使其更為合理。	感謝委員，已修正如 P.8 圖 2-2 所示。
5.本計畫之原住民族常用崩塌地復育傳統技術與智慧章節，已蒐集之資料偏重於生活面，崩塌地復育傳統技術描述過少，請再蒐集整理，並增加說明此章節與本計畫之關聯性。	感謝委員意見，本計畫之原住民族常用崩塌地復育傳統技術與智慧章節所提及之物種，主要是現階段山區偏遠處，原住民可採集應用之物種，部分可供未來植生粒劑上物種選擇之參考依據，其相關說明已補充於 P.33 內容。
6.UAV 定點撒播高度可能會受風力影響，粒劑撒播以求越均勻越好為目標，有效高度如何決定?考慮飛行安全問題，載重量限制及安全高度建議也應納入操作手冊。	謝謝委員，本計畫已經三處崩塌地撒播執行經驗之相關建議補充於報告書內容。
7.建議不需要到現地使用量尺量測粒劑生長高度，可以透過不同期拍攝照片以比例尺概略比對即可。	感謝委員建議，團隊後續以 NDVI 影像分析配合人工輔助判釋物種調查。
8.表 3-1 六軸及四軸旋翼機之動力系統為何列為八軸，誤植或機構認定不同。	謝謝委員，已修正表 3-1 誤植內容。
二、許委員中立	
1.P.12 SWOT 分析中機會第 3 項“職務”有誤請更正，另優點、劣勢與威脅都寫到氣象與 UAV 的關係，請確認究竟如何。	感謝委員，已修正錯字，並補充說明於 P.12 表 2-1 內容。
2.P.15 與 P.16 種子的總價分別為 197,000 及 199,500 元，請檢核。	感謝委員，相關內容已修正於 P.16。

委員意見	辦理情形
3.P.17 第一段寫到會影響種子發芽的部份請補充說明。	感謝委員，已補充說明於 P.16 內容。
4.P.26 至 P.34 提出原住民族植物且介紹而計畫中並未真的大量採用。	感謝委員意見，本計畫提出之原住民族植物，主要是現階段山區偏遠處，原住民可採集應用之物種，部分可供未來植生粒劑上物種選擇之參考依據，相關說明已補充於 P.33。。
5.P.37 所提防水能力標準在 P.36 中並未都列出。	謝謝委員，大部分無人載具，多為防潑水設計，本計畫使用構型因有噴農藥應用，故在防水設計上有進行強化，故進行相關條件論述。
6.P.46 文中用“灑”或“撒”請統一，兩個字應不同意思。	謝謝委員，報告書內容已統一使用「撒播」描述。
7.P.68 與 P.69 圖 4-14 之崩積土縱座標標註有誤，由試驗結果顯示團粒大小對發芽天數影響不大，主要還是立地條件，當土地貧瘠時是否建議要有一定的大小可以供應一段時間生長。	感謝委員意見，已修正，並增加後續發芽生長調查內容於 P.71~P.73。
8.P.72 與 P.73 編號 1 與 2 及 3 與 4 是否有差異，另圖名均用噴植的寫法是否再考慮。	謝謝委員，已重新調整圖資編號及相關說明。
9.P.81 圖名缺“無”字。	謝謝委員，已修正內容。
10.為加速航空植生的推動，採用的植生團粒建議可以特別提出添加劑不同而比較撒播後的效果者。	謝謝委員，本計畫製作之植生粒劑除參考崩塌地適宜性植生，並於崩塌地可及性範圍內觀察現地原有植生，以納入參酌。
11.國外用大型載具之於國內考量費用與機動性以 UAV 來推動是創舉，林務局或水保局在一些險惡劣地使用是一種選擇。	謝謝委員，後續團隊會依據三處崩塌地撒播植生成果分析其適用性。
12.UAV 在遠運及連續操作是否有限制，例如此次使用載具或商用載具有什麼可提出建議的請補充完整。	謝謝委員，本計畫已將今年度三處崩塌地撒播之建議補充於報告書內容。
13.投擲高度是指相對高度或固定高度？撒播後之分佈範圍如何？目標區之命中情形可否說明。	謝謝委員，本計畫投擲高度為相對高度，依據崩塌地之地形特性，調整離地高距離以確保飛行安全，並依平地測試擴散面積分佈規劃定點撒播。
三、林委員穎宏：	
1.建議補充執行時遇到緊急狀況的處理以及飛行決策等 SOP，如斷訊、油料不足如何找緊急的降落點?	謝謝委員，不同載具之安全設計規範不同，難以概括論述，僅能建議在每一趟次落地後進行安全檢查；另因崩塌地作業位於山區的特性，較難有緊急的備降場地。
2.投擲過程中，氣候風向似乎會影響是否正確投擲到預定投擲點，是否可擬訂	謝謝委員，本計畫執行粒劑投擲前皆會預先規劃定點撒播航線，待於現地作業時再

委員意見	辦理情形
操作建議表?如在不同的風力、風向條件下應該要怎麼樣投擲？撒播器的開口設計，是否可以調整開口大小?	確認風向及風速以評估航線調整，相關說明已補充於報告書內容。本計畫使用之撒播器設計無法調整開口大小，為單次定點投放。
3.是否有無人機評估方法，未來若要採購無人機作業，可以視作業需求建議挑選？	謝謝委員，本計畫已將今年度執行作業相關經驗內容補充於報告書。
四、彭委員兆仲	
1.作業過程、細節及參數設定應納入，才能後續重製與評估參考。	謝謝委員，已將作業過程相關內容補充於報告書說明。
2.機載上面是否有相對高度的測地的 sensor？以及投擲時機檢測方式？投完之後的 cover rate 有沒有辦法即時監控、或即時估測？建議先在平地以不同高度投擲，依據不同機種及載重量之 measurable 分佈範圍，作為崩塌地作業的 reference。	謝謝委員，載具上酬載有氣壓高度計，進行高度量測。另 cover rate 的部分已補充平地飛行高度 50 公尺，風速 3 級的測試內容如 p.72。
3.請補充說明採用無人機是否有油料偵測、油料不足自動返航等感測器配置。以及飛行過程是完全全自動還是需要半自動？應把操作過程與人員需具備的 domain knowledge 於報告中說明。	謝謝委員，本計畫採用無人機雖無油料相關偵測裝置，掛載油箱容量可足夠連續飛行一小時。飛行過程為半自動，無人載具起飛降落為操作員手動控制，搭配航線規劃連接飛控地面站自動飛行。
4.無人機飛控是機載電腦上面有控制，還是全部為地面控制站?如果是在地面站的話萬一訊號不佳飛機可能就會失控。	謝謝委員，相關飛控電腦為機載設備。
5.P.72 作業紀錄報告，有寫播灑的重量 18 公斤，請補充撒播的重量、飛行次數、油耗量之數據，建議將經驗轉換成可套用的公式，利於後續作業評估。	謝謝委員，已將相關執行作業報告補充於報告書內容。
6.P.82 NDVI 評估，能否在投灑完就先行評估 cover rate 是否足夠。	謝謝委員建議，因投擲粒劑顏色與崩塌地土壤顏色相近，較不易分辨，故本計畫於執行過程中掛載攝影鏡頭，以確認航線規劃之投擲粒劑落點於目標區範圍內。
7.飛機操作需有一定的技術門檻，建議補充飛行過程萬一遇到一些突發狀況或是網子，是否有什麼防範措施？為後續推廣應用，使用手冊編撰應多從使用者角度出發。	謝謝委員，不同載具之安全設計規範不同，難以概括論述，僅能建議在每一趟次落地後進行安全檢查；承包廠商須將相關風險納入承攬考量。未來並不建議由林管處操作執行。
五、王委員昭堡	
1.應該提出三處執行作業報告，把執行過程經驗納入後續手冊。	謝謝委員，已經相關執行作業經驗補充於報告書內容。
2.另在成本考量允許情況下，建議搭配	謝謝委員，本計畫於崩塌地執行粒劑投擲

委員意見	辦理情形
影片記錄剪輯成紀錄片，讓操作人員可以參考更能夠理解。	過程皆有影像紀錄，提供操作人員參考。
六、農林航空測量所	
1.本案所進行之可行性評估中，較缺乏實際人力運用以及相關評估，是以，在報告書第三節所擬定之參考手冊初稿，僅敘明適用對象(P.85)，對完成無人飛行載具航空植生所需之各項人力、能力、編組，以及執行時間成本等，則缺乏具體架構與說明，建議補強研究。	謝謝委員，未來在相關業務推動上，使用載具類型相當多元，相關 SOP 程序、人力編組等，建議可遵照各承攬廠商依照自身人員經驗與任務編組進行配置。
2.依報告書 P.46 所敘，本研究最終採用之撒播器型式為構型五_大開口閥門，因粒劑撒播速率(粒/秒)與開口大小有關，是否有撒播速率及範圍之推論及實測？又為使粒劑均勻分布，飛航速度與粒劑撒播速率應有搭配，是否有控制粒劑撒播速率之設計？其航速又應如何搭配？應屬本可行性研究之範疇，建議補充研究，以利最終參考手冊之編寫。	謝謝委員，已將粒劑撒播擴散分佈範圍之內容補充於報告書，並依據崩塌地面積規劃航線，以定點投擲粒劑，使粒劑均勻分佈。
七、羅東林區管理處	
1.請說明「正式」於各植生預定執行區要使用之植生用量有多少？	感謝委員意見，已將各崩塌地試驗區撒播粒劑量內容補充於報告書。
2.留茂安的執行成效難以用人工量測，因崩塌地不可及。使用 NDVI 指數評估時，勢必要以多光相機近距拍攝，又因為試驗區之面積太小，請考量成果之展現方式。	謝謝委員，因留茂安崩塌地無法現地觀察，本計畫以無人載具掛載 NIR 相機鏡頭拍攝，並使用 NDVI 指數評估植生綠覆率。
3.現地試飛算是成功完成任務，然而可能因為負載的關係，看起來幾乎在 YAW 軸有震動的情況，是否會影響飛行安全？另外投擲落高是否過高？	謝謝委員建議，單軸無人載具震動為正常現象，投擲高度於現地試飛後調整為離地高度 60~70 公尺撒播，以保持飛行安全距離。
4.依目前規劃團隊的操作和執行方式，除了人工操作起降外，亦包含地面站之自動控制(UGCS)此類操作和相關設定，極需專業，未來操作者應具備之基本能力為何？操作手冊是否會納入說明？	謝謝委員建議，本計畫執行投擲之無人載具飛手皆為經驗十年以上之資深操作員，此款機型雖有載重量高之優勢，但操作較為複雜，建議由委辦執行。未來考量林務局同仁若需自行操作，後續建議可評估使用多軸無人機於崩塌地撒播之可行性。
八、東勢林區管理處	
1.建議崩塌地植生作業系統的標準 SOP 程序，俾利執行操作。	謝謝委員建議，本計畫已將相關作業程序於報告書內容補充說明。
2.請易圖公司儘速確定東勢處第二次作業噴植時間，利用梅雨季節雨水增加苗木草種發芽率，並評估投擲成效，以利	謝謝委員建議，團隊已於 6 月完成三處崩塌地投擲作業，配合雨季各再追補投放 60 公斤粒劑。粒劑生長成效分析亦補充

委員意見	辦理情形
後續執行依據。	於報告書內容。
九、南投林區管理處	
1.關於南投處試噴植區域於 108 年 4 月 23 日噴植，然此次未於報告書羅列初期噴植成果，建議在噴植早期時，可較密集前往勘查噴植成果。	謝謝委員建議，已將現地觀察成果補充於報告書內容。
十、嘉義林區管理處	
1.P.66 建議戶外模擬投擲能增加有坡度之斜面，較能更貼進崩塌地坡度較陡之環境。	感謝委員意見，未來若有延續相關計畫，本團隊可針對現地坡面與斜面之相關性進一步試驗。
2.P.66 植生粒劑發芽測試之紅壤土與崩積土測試建議可新增一組戶外測試組，以利於比較。	感謝委員意見，未來若有延續相關計畫，本團隊亦針對現地多種土壤環境區域進行測試，以了解不同植生粒劑適用區域。
十一、屏東林區管理處	
1.查輕量型無人飛機(電池型)載重量，部分機種可達 20KG(EX：大疆植保機)，高於本計畫採用直升機之最高載重，且一般型 UAV 普為一般顧問公司及各機關使用，建議後續單位面積之噴植成本加入比較，以提供各處實際運用參考。	謝謝委員建議，因本計畫粒劑投擲作業區需長時間連續飛行，電池型無人載具相較於本計畫使用機型會有電池續航力問題，以致作業效率不彰，因此未納入考量。
2.P.76 及 P.79 測試噴植之投擲高度非定值，是否影響噴植成效？另噴植成效因植生粒劑、種子、風力、投擲高度等控制因子不同而產生差異，是否再予補充說明。	謝謝委員，報告書內容所列之投擲高度為依據現地作業測試評估之飛行安全距離。本計畫於執行作業前除預先規劃定點撒播航線，於現地作業前亦先行確認風向、風速等數據以評估調整航線。
十二、花蓮林區管理處	
1.是否針對較可行、適用之無人機，以及不同地形、地質、土質等崩塌地條件，撰寫植生參考手冊。	謝謝委員，本計畫已將今年度執行撒播相關經驗補充於報告書內容。
2.未來無人機操作執行投擲，貴團隊建議由委外操作還是林務局同仁操作？(需考量預算、操作人實際經驗等)	謝謝委員，本計畫操作粒劑投擲之無人載具飛手皆為經驗十年以上之資深操作員，此款機型雖有載重量高之優勢，但操作較為複雜，建議由委辦執行。若考量林務局同仁自行操作，後續亦可評估使用多軸無人機於崩塌地撒播之可行性。
3.目前無人機或是撒播器都是特別組裝的，會不會有專利等問題，往後若要普及使用會不會有困難。	謝謝委員，相關撒播系統之設計成果，會與林務局共享，未來相關業務之推動均可使用。
4.第五章實際撒播高度為 70~300 公尺，粒劑撒播密度如何控制。(需考量風力、方向等)	謝謝委員，已補充粒劑撒播擴散分佈結果以及崩塌地定點撒播航線規劃內容於報告書。
5.無人機裝置上是否有風力、相對高	謝謝委員，目前執行撒播作業之無人載具

委員意見	辦理情形
度、風向等顯示，有利於現場執行投擲前之較精確判斷。	裝置上無相關設備，因此於現地作業前團隊會先行使用其他器材設備確認風向、風速等數據。
十三、台東林區管理處	
1.簡報試驗區坡度有部分達 45°，無人載具撒播之覆蓋率如何較精準控制？目前已空成三處試驗區投擲，投擲高度約 280m、250m、70m，是如何決定？其高度是否影響團粒化劑履蓋率，另報告書 P.65 指出前已完成 50m 至 300m 墜落測試，粒劑均保持原本構型並未破碎與擴散，請問經實際高 280m 投擲，粒劑實際狀況如何？	謝謝委員，原報告書內容所列高度為無人載具與地面控制站相對高度，已重新調整補充無人載具與崩塌地之相對高度。投擲高度為依據現地作業測試評估之飛行安全距離。
2.報告書表 2-2 單價分析之數量、單價乘積有誤。	感謝委員，已修正於 P.16，表 2-2。
3.報告書錯字修正：P.12 表 2-1 良好之「職務」，P.16 倒數第 8 行投「植」或噴植到目標區，P.33 倒數第 6 行加「勒」1 號，P.105 第 1 行「常」壽種子。	感謝委員，已修正誤植內容。
4.報告書 P.49 表 4-2 台灣欒樹、車桑子種子數/公克為何？	感謝委員，已修正於報告書 P.50 表 4-2 內容。

四、 期末審查

(一) 開會地點：林務局 7 樓會議室

(二) 開會時間：108 年 9 月 6 日下午 2 時 30 分

(三) 主持人：廖副局長 一光

委員意見	辦理情形
一、孫委員明德	
1.摘要請以林務局立場撰寫，將已獲取之可行性、經濟性分析以概要方式描述，並提供具體建議。	謝謝委員，已調整並補充摘要內容。
2.本案已屆期末，內文敘述用語仍採“擬於、將參考、將依據、將以”等期望語，請予確認修正。	謝謝委員，已重新檢視修正內文。
3.各圖表於期末報告定稿時，請以彩色印製。	謝謝委員，遵照辦理。
4.圖 2-8、9 之“範例”請刪除，並請加註施作日期。	謝謝委員，已修正。
5.請說明 P17 無人飛行載具外在環境干擾項目、解決對策等。	謝謝委員，無人飛行載具外在環境干擾說明如 P18 外部環境影響因子標題之內容。
6.圖 2-10~圖 2-12 之“範例”請修正為“示意圖”。	謝謝委員，已修正。
7.P29 台東地區香茅草產量佔全省產量 50%，請註明數據來源、依據。	謝謝委員，已補充說明如報告書 P30 內容。
8.P39 需求請統計每單趟次之作業時間、每天可工作趟次等基本資料。	謝謝委員，已補充說明如報告書 P41 內容。
9.本案以三處林班崩塌地做為撒播研究試驗區，其中東勢及南投試區，因崩塌地人力無法到達，試驗結果不詳，以影像評估植生覆蓋率 12%，究係自然植生入侵復育或係航空植生撒播成果，無從得知。本案為研究性質，建議類此計畫選用人力可及試區，方能仔細觀察獲取有用、足量資訊。	謝謝委員建議，後續相關計畫將會考量選用人力可及地點作為試驗區以利觀察。本計畫植生覆蓋率計算係以粒劑撒播後之 NDVI 分析結果，比對撒播粒劑前之空拍影像，剔除撒播前現地原有植生區域。
10.請說明 P97 之資材明細；每公斤 200 粒與 P39 指每公斤 500 粒，差距甚鉅，請說明或修正。	謝謝委員，已修正如 P41、P101。
11.成本分析 30 萬元/0.2 公頃，每公頃費用直接以乘 5 倍方式估算，應採變動成本及固定成本分離方式估算。	謝謝委員，已補充成本分析計算至報告書第五章第五節內容。
12.建議可將今年計畫施作過程影像剪輯，做為後續推動人員施作參考。	謝謝委員建議，本計畫將於成果報告時整理相關作業影像提供參考。

委員意見	辦理情形
二、黃委員群修	
1.書面報告 P34，提及「原住民保留區」一詞，所指為何，請再釐清。	謝謝委員，已將原住民保留區修正為「原住民保留地」。
2.P68 表 4-8 所載種子材料使用量(kg)，三處試驗場域之各物種種子重量總計均約 100kg，惟以表 4-10，種子材料占粒劑之重量比 12.60 計，表 4-12 粒劑播種量 150kg 中，種子重應僅 150x12.6% =18.9g，建議再予釐清(表 4-10“角平方公尺材料量(g/m2)”是否應為“角立方公尺材料量(g/m3)？)。	謝謝委員，已進行修改，但應製作過程種子會有損耗，因此植生粒劑實際種子所佔重量百分比與設計播種量有所差異。
3.成本分析與選用 UAV 機型有關，本次計畫成果未必適用於林管處現普遍使用之多旋翼機型，建議後續選定機型，可嘗試發展不同航高、風向、風速及地形下之擴散模擬，提供操作者最適投擲地點之建議。	謝謝委員建議，後續本計畫將以較常用之多旋翼型無人載具試驗模擬。
4.報告書提及諸多本土植生材料，如樹豆、山胡椒、山黃麻等，惟未見於 P142 表 7-12 中，另表中所提之相思樹，其育林實務上為打破厚實種皮對種子發苗影響，常採沸水浸泡等預處理，可建議納入。	因原住民應用物種之相關資料較少，且尚未進行實際試驗，因此本計畫未列入建議物種，帶未來完成相關試驗後，可斟酌列入。
三、林委員穎宏：	
1.結論與建議執行團隊提出後續可再針對多旋翼型無人載具的適用性探討是因為今年度作業以單旋翼型無人載具遇到什麼問題或發現缺點嗎?	謝謝委員，本計畫選用之單旋翼型無人載具相較於多旋翼型無人載具雖單趟次酬載量較大，但需資深操作員才能操作。考量未來林務局推行由各林管處自行操作難易度，建議使用較易操作之多旋翼型無人載具作業。
2.三個試驗區的投放高度都在 50 公尺左右，若於地形較為平坦的作業區，是否可降低投放高度以降低粒劑飄散?	謝謝委員，本計畫執行粒劑投擲之無人載具飛手皆為經驗十年以上之資深操作員。投放高度 50 公尺係實地操作後評估三處試驗區崩塌地坡面與飛機之安全距離，當飛機發生緊急熄火時尚有足夠高度迫降。
3.撒播器的設計，是否可因應不同風向、風速的情況而調整開口?	謝謝委員，本計畫使用之撒播器設計無法調整開口大小，為單次定點投放。故需於執行作業前預先規劃航線，作業前再依現地風速及風向狀況評估是否需調整航線。
4.因今年度使用無人載具起降重量約 25 公斤，操作具有難度與限制，後續可能委外施作為宜。建議可再評估更小型之多旋翼機型，提供後續林務局同仁自行	謝謝委員建議，後續計畫將會再以多旋翼機型無人載具進行施作評估。

委員意見	辦理情形
施作較小面積之崩塌地用。	
四、王委員昭堡	
1.計畫緣起請補充說明施作地點為人力不可及且有保全對象的崩塌地，故使用UAV撒播植生。	謝謝委員，已補充說明於P1專案緣起內容。
2.說明本土草種的可行性為何?以及補充常見水土保持使用草種、本計畫粒劑草種之選用，說明草種之特性是否具入侵性?或是造成生態危害等疑慮之釐清。	相關文獻資料及本次計畫粒劑選用草種特性已於報告內說明如P52、P68。本土草種現階段因植物不稔性且無群落分布，故採種上具相當難度，未來可進一步研究探討。
3.成本分析部分目前僅以人工噴植與UAV撒播工法比較，建議可再加入人力撒播比較，如人工噴植無法施作地點，用人力撒播的費用為何?分析內容除成本費用，也要包括成果之比較。	謝謝委員建議，就國內目前所掌握的文獻與資訊，鮮少提及人力撒播的工法，因此難以針對其相關成本與執行成效進行分析與比較。
4.目前手冊內容尚需補充，如今年設計的6款撒播器型式之限制、無人載具類型、未來驗收之方式、成本參考與分析等。	謝謝委員，本計畫已將相關內容補充於植生參考手冊。
5.成果調查分析目前只觀察到撒播後三個月，建議後續可持續觀察生長成效。	謝謝委員建議，本計畫將於明年春季持續觀察試驗區植生成效。
五、農林航空測量所	
1.有關本案無人飛行載具影像評估分析部分(報告書P87開始)，依報告內容所敘，係以撒播後之空拍多光譜影像進行NDVI分析評估，惟未提供撒播前NDVI成果，較難具體呈現復育情形，本案如有撒播前空拍多光譜影像，建議可增加撒播前、後NDVI變化分析，以獲得更佳之呈現效果。	謝謝委員建議，因本次未於撒播前拍攝多光譜影像，故以粒劑撒播後之NDVI分析結果，比對撒播粒劑前之空拍影像，剔除撒播前現地原有植生區域計算植生覆蓋率。後續計畫將遵照辦理，拍攝撒播前後多光譜影像，利於NDVI變化分析。
2.報告書中P89、P92、P95等所附撒播後NIR圖片，採用之假色配賦皆不相同，建議調整一致以利影像判讀。	謝謝委員，已調整報告書內容NIR圖片。
3.報告書P91有關NDVI敘述段，利用RGB+NIR相機所為者應為“進行可見光與NIR影像拍攝”，而非拍攝“正射影像”，請修正。	謝謝委員，已修正報告書內容敘述。
4.本案因期程緣故，尚無法獲得完整的監測結果，是否能建議足以確認成效之監測期程(如3~5年)，供林管處採取相應之監測措施？	現階段因UAV播種植生粒劑屬初期試驗階段，實際監測期程仍有待試驗後確認，但以過去植生工法之監測期程而言，木本植物種子發芽生長之確認，至少需要四至六個月，可供後續參考。

委員意見	辦理情形
六、林業試驗所	
1.建議未來作業前應做撒播前的 NDVI 分析，就目前 NDVI 分析成果，無法瞭解為既有植生或是粒劑撒播後植生，後續研究可在同一個區塊用對照組比較生長成效。	謝謝委員建議，後續計畫將遵照辦理，拍攝撒播前後多光譜影像，利於 NDVI 分析成果。今年度三處試驗區植生覆蓋率係以粒劑撒播後之 NDVI 分析結果，比對撒播粒劑前之空拍影像，剔除撒播前現地原有植生區域計算。
2.目前林試所內有以生態方式復育崩塌地植生與追蹤研究，後續可再參考報告及討論。	謝謝委員提供寶貴資訊參考，後續本計畫將持續與林業試驗所討論相關研究內容。
3.建議補充蒐集國外航空植生驗收方式及標準，做為後續委外施作參酌。	謝謝委員，已補充於參考手冊內供後續施工參酌。
七、羅東林區管理處	
1.太區 77 林班 UAV 撒播地點與原構想崩塌地撒播有差異是何原因？	謝謝委員，依合約規範選定 0.2 公頃的面積進行測試，因此於工作會議討論後，選定該處執行。
2.表 5-1、5-4，執行趟數，與本次派去現場了解次數均不一樣是何原因？(例 4 月 26 日本處派員現場了解回報只有 3 次，但表 5-1 有 17 趟、表 5-4 有 13 趟、P13 記載 3 趟)，另試驗面積表 5-1 0.26 與 0.32 公頃有差，請了解更正。	謝謝委員，原報告書所列趟次誤植為預計飛行趟次，因當日午後氣象不佳故停止作業，已確認並修正執行趟次及試驗區面積資料。
3.執行成效建請明確展示，是否可繼續推展？是否有地形限制？以及更明顯圖片可參考？	謝謝委員，因太平山事業區 77 林班地形阻隔因素，無法使用小型空拍機貼地飛行拍攝觀察植生復育狀況。本計畫以 NIR 影像進行 NDVI 分析，輔以解析度 8 公分之正射影像比對剔除撒播前既有植生，經 3 個月生長期植生回復率約 10.17%，建議可持續推展並觀察試驗區植生生長狀況。
八、東勢林區管理處	
1.P92 3.小結…該區域因人力無法到達，無法確認…請修正為「該區域視實際需可以人力方式至現場再確認…」。	謝謝委員，已修正報告書如 P93 小結內容。
2.P93 108/05 遭受豪雨侵襲，引發土石流事件…請修正為「遭受 0518 豪雨侵襲，引發邊坡土砂災害事件…」。	謝謝委員，已修正報告書如 P94 小結內容。
3.P93 甲區 8 林班(必坦溪)整體覆蓋率約 10.17%，請團隊依據成果，檢討改進對策，俾利提供未來執行能更提高復育率。	謝謝委員，報告書誤植甲區 8 林班覆蓋率為 10.17%，已修正為 12.21%。今年度試驗區遭受重大颱風豪雨的侵襲且成果僅以 3 個月生長期分析，後續建議再持續監測觀察。
4.P97 經費預估已將資材及 UAV 作業成本分析，請團隊將成本轉化為單價分析，	謝謝委員，已補充成本分析計算至報告書第五章第五節內容。

委員意見	辦理情形
俾利未來編列預算表參考，並請一併考量保險費、管理費及廠商利潤之百分比，供本局未來發包業務需求。	
5.P123 圖 7-6 維護管理 3.後續追肥、補水，請修正為補播或追播。P124 表 7-7 4.植生養護 2.承包商應隨時「補植」請修正為「補播」；3.植生綠覆率應符合規範？	謝謝委員，已經修正於參考手冊內容，植生後續綠覆率之驗收標準，也已列入手冊供後續施工參酌。
九、南投林區管理處	
1.建議分別計算三個實驗區的成本及效益分析，成本需包括人力、機具及材料等費用，並非僅以材料費計算，藉此方可得知單位面積下之無人載具進行航空噴植及現行一般人工噴植費用之差異性。	謝謝委員，已補充相關費用成本計算至報告書第五章第五節內容。
2.目前噴植後之監測時程較短，無法完整展現植生復育成果，建議後續可長期觀察，以確認此工法之可行性。	謝謝委員建議，今年度粒劑植生回復率成果僅以三個月生長期分析，本計畫建議可於明年春季時再次觀察植生回復成果。
3.報告書 P94 成果檢視說明中，將濁水溪 22 林班試驗區誤植為必坦溪，請修正。	謝謝委員，已修正誤植敘述如報告書 P98 內容。
十、新竹林區管理處	
1.第 7 章是否可以單獨獨立撰寫，避免手冊內容與報告內容混肴。(例：P110 使用至表 2-5)。	謝謝委員，目前第七章參考手冊內容僅為草案，依據本計畫於三處試驗區作業經驗撰寫。經與主辦單位討論後，決議把參考手冊部分獨立撰寫。
2.粒劑飄散測試是否可以繪製成圖表(例：粒劑重量、高度、散落半徑、風向位移等關聯性)。	謝謝委員，現地最難掌握為陣風而非平均風速，目前建議以離地高 50 公尺為最佳作業高度，因此以此做為未來相關作業規劃之參考依據。
十一、嘉義林區管理處	
1. 期末報告書章節前，建議編列一篇專有名詞(或關鍵字詞)，以利閱讀。例如：UAV、NIR 影像、正射影像、3 級風、8 級風(V=m/S)、植生粒劑、種子粒劑等。	謝謝委員建議，已補充專有名詞說明至報告書附件一。
2.目錄 P(III)頁章節之文字段落需美編，期末報告書應有校稿動作。	謝謝委員，本計畫已重新調整目錄編排方式。
十二、屏東林區管理處	
1.P109 手冊(草案)說明 50 公尺投擲高度時粒劑擴散情形，是否可推估不同高度(例：75m、100m)對擴散或覆蓋面積的影	謝謝委員，現地最難掌握為陣風而非平均風速，建議以離地高 50 公尺為最佳作業高度，因此以此做為未來相關作業規劃之

委員意見	辦理情形
響？	參考依據。
2.P113 表 7-2 植生資材特性概要表，最下面其他材料有一款好年冬(鳥類忌食劑)是一種「系統性農藥」，進入植物體內後，會逐漸滲透果實、莖到根，毒性強，建議以其他的材料取代。	謝謝委員，手冊內已刪除該項材料並補充其他建議材料。
3.同仁意見：(1)推平價機種，作單價分析，同一機具能夠執行多種功用，普遍推行。(2)目前直昇機，可改用多軸UAV，穩定性佳，價格便宜。(3)灑播粒劑可委由學術單位或專業廠商製作，研究平價化材料。	(1)、(2)謝謝委員建議，因本計畫試驗區之崩塌地限制需求，有些崩塌地無法以多軸UAV作業(如：羅東林管處留茂安試驗區)，故以單軸無人載具進行。後續考量林務局推行由各林管處自行操作難易度，本計畫亦建議使用較易操作之多旋翼型無人載具作業。 (3)現階段植生粒劑應用之物種已盡量以容易取得且價格較低之材料製作，但未來仍可針對量化粒劑之方式及更多資材試驗以減少施工單價。
十三、花蓮林區管理處	
1.有關參考手冊的內容，未來是提供各林管處執行的依據，建議相關評估的項目可以量化，例如P122倒數第6行「植生作業區域的選定」、「依照各業務單位需求，選定施作任務區域與範圍，再依照任務區的環境與條件，擇定無人載具類型。」依這樣的指示林管處可能還是不知道怎麼選，建議可以附一張對照表。	謝謝委員建議，本計畫今年度以崩塌地面積0.2公頃以上選定作業區，並僅針對單一機型(單旋翼型無人載具)之操作成果撰寫參考手冊。後續建議以多旋翼型無人載具評估試驗，並將相關操作成果補充手冊相關評估項目，俾利各林管處使用UAV粒劑植生之參據。
2.P23圖2-14「航空噴植申請流程」內的「崩塌地分析」有4項指標，若未來是由林管處提報，建議製定統一表格供林管處填寫。	謝謝委員建議，航空噴植申請流程內之4項「崩塌地分析」分類係由林務局及各林管處定義作業區之崩塌地屬性類別。本計畫亦參照民航局相關法令規範提出空域申請表格及遙控無人載具管理系統之範例。
十四、台東林區管理處	
1.表5-1、5-3與表5-4成果統計執行趟數前後不一致，請檢視修正。	謝謝委員，原報告書所列趟次誤植為預計飛行趟次，已確認並修正報告書之實際執行趟次內容資料。
2.P87“覆蓋率”與“回復覆蓋率”有何不同？宜加說明，表5-5表頭以回復覆蓋率表示，內容以覆蓋率表示，是否相同？	謝謝委員，「覆蓋率」係指試驗區範圍內所有植生之綠覆率，因本計畫未於撒播前拍攝多光譜影像，故以粒劑撒播後之NDVI分析結果，比對撒播粒劑前之空拍影像，剔除撒播前現地原有植生區域計算植生覆蓋率，故報告書內容以植生「回復覆蓋率」一詞與「覆蓋率」區隔說明。

委員意見	辦理情形
3.三處試驗區其前期植生狀況可否簡略說明。如長期植生自然復育不佳之地點，經試驗後覆蓋率有明顯成長，則可顯示其成效良好。	謝謝委員，本計畫試驗區皆為長期植生自然復育不佳之地點，且有持續崩落情形，為加速崩塌地植生回復選定為 UAV 植生試驗區。經撒播後約 3 個月生長期觀察，植生回復率約 10%~15%。
4.投擲的時機與地表的溼潤程度是否會有影響？何時較佳？	謝謝委員，播種時機與地表濕潤程度經本次現地播種後，發現具有相當之影響，但實際影響程度與情形仍須未來深入研究。
十五、主辦單位	
1.行政院已於 108 年 6 月 10 日核定民用航空法關於遙控無人機專章及管理規則訂於 109 年 3 月 31 日起施行，就無人機之註冊、實體檢驗、不同級別操作證之取得、飛航活動申請等均有詳盡規範，例如距地表高度 400 英尺以上或「投擲或噴灑物件」之飛行，屬「執行例外限制排除項目」，操作員資格依規除需具備 15 公斤以上無人機操作所需具備之基本級操作證之外，尚需具備高級專業操作證(第一組或第二組)等國有林航空植生執行實務上可能課題，建議將相關內容納入手冊，以做為各林管處後續訂定崩塌地航空植生招標文件及審查投標廠商資格時之參據。	謝謝委員建議，本計畫依據民用航空法《遙控無人機專章》之相關規範彙整至報告書 P23 第二章相關飛航申請內容，並納入參考手冊，以提供後續林務局、各林管處訂定崩塌地航空植生招標文件及審查投標廠商資格時之參據。
2.由於崩塌地立地條件的諸多不利限制，航空植生之綠覆率是否符合預期之變數較多致難以掌握，因此工作成果驗收之標準不宜以綠覆率為依據，工作過程之完整書面或電子記錄，例如飛行趟次、載重與投擲、綠覆率追蹤等之工作日誌及相關書面記錄與成果報告(植物種子規格配比之書面與現場審驗、粒劑拌合過程紀錄、伴飛影像紀錄)，顯得格外重要，建議提供以上完整紀錄之範例，以做為後續各林管處辦理驗收時之書面檢查項目。	針對 UAV 植生現地撒播作業各試驗區皆有伴飛影像紀錄、歷次撒播航線規劃，飛行趟次、投擲粒劑重量等書面表格紀錄及植生粒劑之相關驗收標準與程序，已列於手冊中供未來施工參酌。
3.相關飛航申請民航局已於 108 年 7 月 23 日訂定「遙控無人機管理規則」於 P24、P111 應有更詳細說明申請流程、限制及所需證照等。	謝謝委員，本計畫依據民用航空法《遙控無人機專章》訂定之相關規範內容補充於報告書 P23 及參考手冊說明。
4.P43 氣候因子團隊應依本計畫執行情形提出 UAV 植生適宜之作業時間，以供後	謝謝委員，已增加相關說明與建議時機於 P45。

委員意見	辦理情形
續作業參考。	
5.錯字請修正 P29 一「班」為「般」、P32 年「經」為「輕」。	謝謝委員，已修正報告書內誤植文字。
6.應補充依「遙控無人機管理規則」如投標廠商需具備之資格條件、操作證標準、無人機(最小限制、型式、最大起飛重量、離地高度…)及責任險等。	謝謝委員，本計畫依據民用航空法《遙控無人機專章》訂定之相關規範內容補充於報告書及參考手冊說明。
7.報告書內未說明乾播分析。	感謝東勢林管處試驗區提供本計畫台灣赤楊種子製作粒劑及乾料撒播材料，評估種子用量後本計畫另規劃於試驗區上方約 800 平方公尺面積撒播乾料，植生回復成果如報告書 P93 圖 5-12 所示。