行政院農業委員會水土保持局 108 年度創新研究計畫

計畫編號：SWCB-108-209

無人飛行載具(UAV)播種植生案例與技術整合彙整
Intergration of cases and techniques of the UAV seeding vegetation
成果報告書

執 行 單 位：國立中興大學

執 行 期 間：108 年 2 月 20 日至 108 年 12 月 31 日

計畫主持人 ：林信輝 兼任教授

行政院農業委員會水土保持局　編印

中華民國 108 年 12 月 24 日

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

無人飛行載具(UAV)播種植生案例與技術整合彙整

摘要

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle，UAV)播種植生工法係指以 UAV 載運植生資材，配合遙控播放裝置進行投放、噴植之植生作業工法。近年來 UAV 之相關週邊軟硬體技術已臻純熟，UAV 播種植生工法可行性提高，其工法具高機動性、即時性亦可避免非必要之人員風險等優勢。若將 UAV 的優點應用在陡地之植生基材播種上，應可達到相當的崩塌地復育成效。

本計畫工作項目包含前期無人飛行載具(UAV)播種試驗後續調查與相關文獻彙整評估、UAV 播種植生方法作業流程建置、UAV 播種植生工法成效檢討與單價分析、無人飛行載具(UAV)播種植生工法技術整合與手冊擬定、無人飛行載具(UAV)播種工法各子計畫成果整合彙整等。相關已完成工作項目之重點說明如下表：

計畫工作項目說明概要(108 年 12 月 24 日)

計畫名稱：無人飛行載具(UAV)播種植生案例與技術整合彙整
執行機關與執行人: 國立中興大學 林信輝兼任教授

工作項目	說明	頁次
一、前期無人飛行載具(UAV)播種試驗後續調查與相關文獻彙整評估	1. 前期 UAV 播種試驗之後續調查追蹤仍持續進行，三處崩塌地試驗區今年共完成 14 次調查記錄，雖部分試驗區受自然因素破壞，但仍有部分粒劑持續生長。 2. 已蒐集國內外 UAV 播種植生工法文獻，共 23 篇。 3. 完成分析彙整航空噴植暨 UAV 噴植作業案例暨可資借鏡之成果資料。	P2-1 | P2-39
二、無人飛行載具(UAV)播種植生方法與作業流程建置	1. 已擬定投放式植生粒劑播種作業之施工流程、各階段施工要項、步驟與時程規劃及植生粒劑材料驗收表格。 2. 已精進前期之植生粒劑製作方法，有效提升製作效率並酌減植生粒劑單價。 3. 彙整 UAV 噴植作業照片案例資料，加入流程建置。	P2-40 | P2-84
三、無人飛行載具(UAV)播種植生工法成效檢討與單價分析	1. 彙整前期計畫成果與本年度各子計畫之資料，精進植生粒劑製作單價及 UAV 植生粒劑播種植生工法單價分析。 2. 加入各子計畫不同施工作業方法之物料、人力、機械作業、監測等成本。	P2-85 | P2-98
四、無人飛行載具(UAV)播種植生工法技術整合與手冊擬定	1. 已初步完成無人飛行載具播種植生工法手冊章節、目次架構。 2. 手冊內容包含 UAV 類型與播種作業系統、UAV 植生作業規劃、播種所需植生基材規範及製作、植生成果驗收調查評估等。 3. 已彙整前期投放式播種作業案例、國內外 UAV 播種案例等資料入手冊。	P2-99 | P2-100、附錄一
五、無人飛行載具(UAV)播種工法案例暨各子計畫成果整合彙整	1. 已召開四次整合型計畫內部會議，建立子計畫間之互助模式。 2. 提供 UAV 播種作業內容給其他子計畫參考。 3. 研擬勞務採購驗收辦法、植生材料與粒劑成品驗收、施工作業影像記錄與監測、成果驗收原則與驗收辦法等。	P2-72 | P2-84、P2-101 | P2-105、P2-113 | P2-116
其他工作項目	1. 協助提供植生粒劑之材料，供相關子計畫之應用。 2. 協助相關子計畫試驗地勘查作業。(阿里不動溪上游右岸邊坡崩塌地、廬山國小下方崩塌地、名間崩塌地) 3. 協助相關子計畫 UAV 植生播種作業。(名間崩塌地 UAV 播種作業) 4. 提出後續尚待研究事項。	P2-106 | P2-113、P3-3

關鍵詞：無人飛行載具、播種植生工法、標準作業流程

Intergration of cases and techniques of the UAV seeding vegetation

Abstract

The UAV seeding techniques are the vegetating methods which deliver mixed vegetating materials with UAVs and disperse or hydroseed those materials with remote-controlled devices. In recent years, soft- and hard-ware related to the UAV technology are maturing so that the feasibility of the UAV seeding techniques has increased considerably. The advantages of these techniques are of high instantaneity, high mobility, and low risks to operators. Once these advantages are applied to the seeding of mixed vegetating materials on steep slopes, a considerable vegetation recovery for landslides should be achieved.

The present project's tasks include the follow-up investigation for the former UAV seeding tests, compilation and synthesis of related literature, establishment of standard operating procedures, vegetating effectiveness evaluation, cost analysis, technology integration, preparation of user's manual, result integration for every sub-project, etc.

Keywords: unmanned aerial vehicle, techniques of the seeding vegetation, standard operating procedures

目次

摘要 ..... **I**
Abstract ..... **III**
目次 ..... **V**
表次 ..... **VII**
圖次 ..... **IX**
第一章 前言 **1-1**
第一節 計畫目的 1-1
第二節 計畫工作範圍 1-2
第三節 計畫工作項目 1-2
第四節 計畫工作流程 1-3
第二章 工作構想與對策 **2-1**
第一節 前期無人飛行載具(UAV)播種試驗後續調查與相關文獻彙整評估 2-1
第二節 無人飛行載具(UAV)播種植生方法作業流程建置 2-40
第三節 無人飛行載具(UAV)播種植生工法成效檢討與單價分析 2-85
第四節 無人飛行載具(UAV)播種植生工法技術整合與手冊擬定 2-99
第五節 無人飛行載具(UAV)播種工法各子計畫成果整合彙整 2-101
第三章 工作進度與後續研究 **3-1**
第一節 工作進度 3-1
第二節 尚待解決事項與對策 3-3
第四章 工作組織與分工 **4-1**
第一節 工作小組成員與相關經歷 4-1
參考文獻 **1**
附錄 **1**
附錄一、無人飛行載具播種植生工法手冊(暫定) 1
附錄二、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形 61
附錄三、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形 64
附錄四、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形 66

表次

表 2-1 前期(107 年度)崩塌地試區點位 2-3
表 2-2Image J 分析植被覆蓋率 2-12
表 2-3 瀨頭崩塌地各樣區植生粒劑生長歷程 2-19
表 2-4 適用 UAV 播種工法常見機型之功能屬性比較 2-25
表 2-5 六軸旋翼 UAV(輕機型)播種植生操作影像畫面顯示資料 2-33
表 2-6 作業階段與應注意事項(植生粒劑播種) 2-42
表 2-7 施工作業時程規劃 2-43
表 2-8 主要應用植生資材特性概要表 2-45
表 2-9 常用化學肥料之要素含量 2-48
表 2-10 常用有機質肥料之要素含量 2-50
表 2-11 植生工程主要應用保水劑類別概要 2-50
表 2-12 植生粒劑應用之種子材料 2-57
表 2-13 粒劑製程方法比較表 2-69
表 2-14 植生粒劑應用材料進場存放規範表 2-70
表 2-15 UAV 播種植生工法停留點檢驗項目 2-71
表 2-16 植生粒劑規格驗收表 2-74
表 2-17 植生粒劑發芽驗收表 2-76
表 2-18 施工日誌紀錄表 2-80
表 2-19 每趟次作業填寫紀錄表 2-81
表 2-20 UAV 植生粒劑播種工程檢查驗收標準(暫定) 2-82
表 2-21 UAV 播種植生粒劑工法 SWOT 強弱危機分析 2-89
表 2-22 UAV 播種植生粒劑工法與其他植生工法之效益比較 2-90
表 2-23 植生粒劑之材料配比與單價分析 2-95
表 2-24 UAV 植生粒劑播種植生工法單價分析 2-96
表 2-25 阿里不動溪上游整治二期工程崩塌地概況 2-106
表 2-26 廬山國小下方崩塌地整治工程崩塌地概況 2-108
表 2-27 名間崩塌地 2-109
表 2-28 整合型計畫第一次工作會議紀錄 2-113
表 2-29 整合型計畫第二次工作會議紀錄 2-114
表 2-30 整合型計畫第三次工作會議紀錄 2-115
表 2-31 整合型計畫第四次工作會議紀錄 2-116
表 3-1 計畫預定工作進度表 3-1
表 3-2 本計畫尚待解決事項與對策 3-3
表 4-1 工作小組成員與相關經歷 4-1
表 4-3 常用有機質肥料之要素含量 25

圖次

圖 1-1 計畫工作流程 1-3
圖 2-1 107 年度計畫有關不同植生粒劑之調配試驗情形相片 2-3
圖 2-2 仙湖農路崩塌地概況照片 2-4
圖 2-3 仙湖崩塌地日降雨量圖 2-5
圖 2-4 仙湖崩塌地氣溫與相對濕度圖 2-5
圖 2-5 仙湖農路崩塌地現地優勢物種 2-6
圖 2-6 前期(107 年度)仙湖農路 UAV 投擲施工照片 2-7
圖 2-7 仙湖崩塌地植生粒劑播種後後續調查相片 2-12
圖 2-8 播種前後覆蓋率分析(左：播種前，右：播種 5 個月後)..... 2-13
圖 2-9 仙湖崩塌地植生粒劑生長歷程 2-15
圖 2-10 瀨頭崩塌地概況照片 2-16
圖 2-11 瀨頭崩塌地現地調查物種 2-17
圖 2-12 瀨頭崩塌地播種後 50 日植生粒劑發芽情形觀察 2-18
圖 2-13 瀨頭崩塌地播種後 284 日後植生粒劑發芽情形觀察 2-18
圖 2-14 瀨頭崩塌地播種後 339 日原調查路線受阻現況照片 2-19
圖 2-15 小路野溪治理二期工程崩塌地概況照片 2-20
圖 2-16 小路野溪上方崩塌地現地調查物種 2-21
圖 2-17 小路野溪崩塌樣區遭破壞情形 2-22
圖 2-18 小路野溪崩塌地植生粒劑播種三個月後生長情形 2-23
圖 2-19 相關參考書籍、手冊等封面照片 2-24
圖 2-20 國內市場適用 UAV 播種工法機型常見 UAV 機型 2-27
圖 2-21 電力多軸 UAV 示意圖 2-30
圖 2-22UAV 投擲作業之情形 2-31
圖 2-23 植生粒劑撒播記錄與攝影監測 2-32
圖 2-24 六軸旋翼 UAV(輕型機)操控畫面顯示情形 2-33
圖 2-25 不同類型航空機具施工作業示意圖與施工照片 2-34
圖 2-26 日本航空植生施工相片 2-35
圖 2-27 日本種子土球之製作過程 2-36
圖 2-28 美國種子土球製作照片例 2-37
圖 2-29 墨西哥種子土球製作與應用 2-38
圖 2-30 UAV 施工作業流程圖(以投放植生粒劑作業案例) 2-41
圖 2-31UAV 播種植生工法作業流程箭線圖(工作天) 2-44
圖 2-32 前期植生粒劑製作流程圖(使用預拌桶製程)..... 2-63
圖 2-33 前期植生粒劑製作流程(使用預拌桶製程)..... 2-65
圖 2-34 精進後植生粒劑製作流程圖(使用資材切割機製程)..... 2-66
圖 2-35 精進後植生粒劑製作流程(使用資材切割機製程)..... 2-68

圖 2-36 植生粒劑種子材料撥開查驗 2-73
圖 2-37UAV 播種植生施工流程照片例 2-77
圖 2-38 施工前後覆蓋率分析範例(左：播種前，右：播種後)..... 2-78
圖 2-39 UAV 播種植生作業不同施工距離示意圖。 2-94
圖 2-40 整合型計畫內部原規劃構想 2-101
圖 2-41 本整合型創新研究計畫之子計畫項目 2-104
圖 2-42 名間崩塌地 UAV 播種作業相片(2019 年 10 月 11 日拍攝) 2-111
圖 2-43 名間崩塌地 UAV 播種作業相片(2019 年 10 月 18 日拍攝) 2-113

第一章 前言

第一節 計畫目的

臺灣地區崩塌地由於崩塌零星分布且規模差異甚大，且常位於深山或偏遠地區、地形陡峻等條件不佳之地點，無法全面予以整治及配合一般坡面植生工程作業。針對此問題過去曾應用航空植生工法進行噴植復育作業，但因直升機噴植作業需使用較多之人力、物力配合，常無法掌握時效，達到事半功倍之效果。

近年來無人飛行載具(UAV)之相關研究與技術已臻純熟，載具之可載重及穩定性增加、定位及慣性測量儀器微型化及軟硬體操作之效能大幅進步，與直升機噴植相比更加凸顯其高機動性、即時性亦可避免非必要人員風險等優勢。台灣、日本、美國、墨西哥及中國等地區皆有許多專家學者利用 UAV 進行作物的農藥噴灑、澆水或施肥等農業作業的紀錄，並且達到相當之成效，如能將 UAV 的優點應用在陡地之植生基材播種上，應可達到相當的崩塌地復育成效。

本總計畫主持人林信輝教授 107 年度曾執行農委會水土保持局委辦「坡地植生工法應用技術精進研發」計畫，就目前坡地植生技術與其衍生之生態關注問題，進行精進研究，以做為水土保持局推動十年防減災中程計畫的基礎資料。計畫內容項下之「崩

塌地應用無人機(UAV)播種植生之可行性評估」研究工作，曾進行 UAV 播種植生工法、植生粒劑製作、六軸旋翼 UAV 播種裝置之設計與現地播種作業之操作與初期評估。

本計畫主持人兼為本整合型計畫之總計畫主持人，計畫執行過程中，定期與各子計畫之計畫主持人進行相關試驗、探討與討論，並針對各子計畫之研究結果進行整合，彙整其成果以供後續崩塌地應用 UAV 植生工程規劃設計、制定標準工序、施工規範與推廣應用之參據。

第二節 計畫工作範圍

本研究計畫暨相關子計畫 UAV 播種植生工法試驗範圍，主要為台灣中南部地區崩塌試驗區。

第三節 計畫工作項目

一、 前期無人飛行載具(UAV)播種試驗後續調查與相關文獻彙整評估

二、 無人飛行載具(UAV)播種植生方法作業流程建置

三、 無人飛行載具(UAV)播種植生工法成效檢討與單價分析

四、 無人飛行載具(UAV)播種植生工法技術整合與手冊擬定

五、 無人飛行載具(UAV)播種工法各子計畫成果整合彙整

第四節 計畫工作流程

本研究計畫之工作流程如圖 1-1 所示。

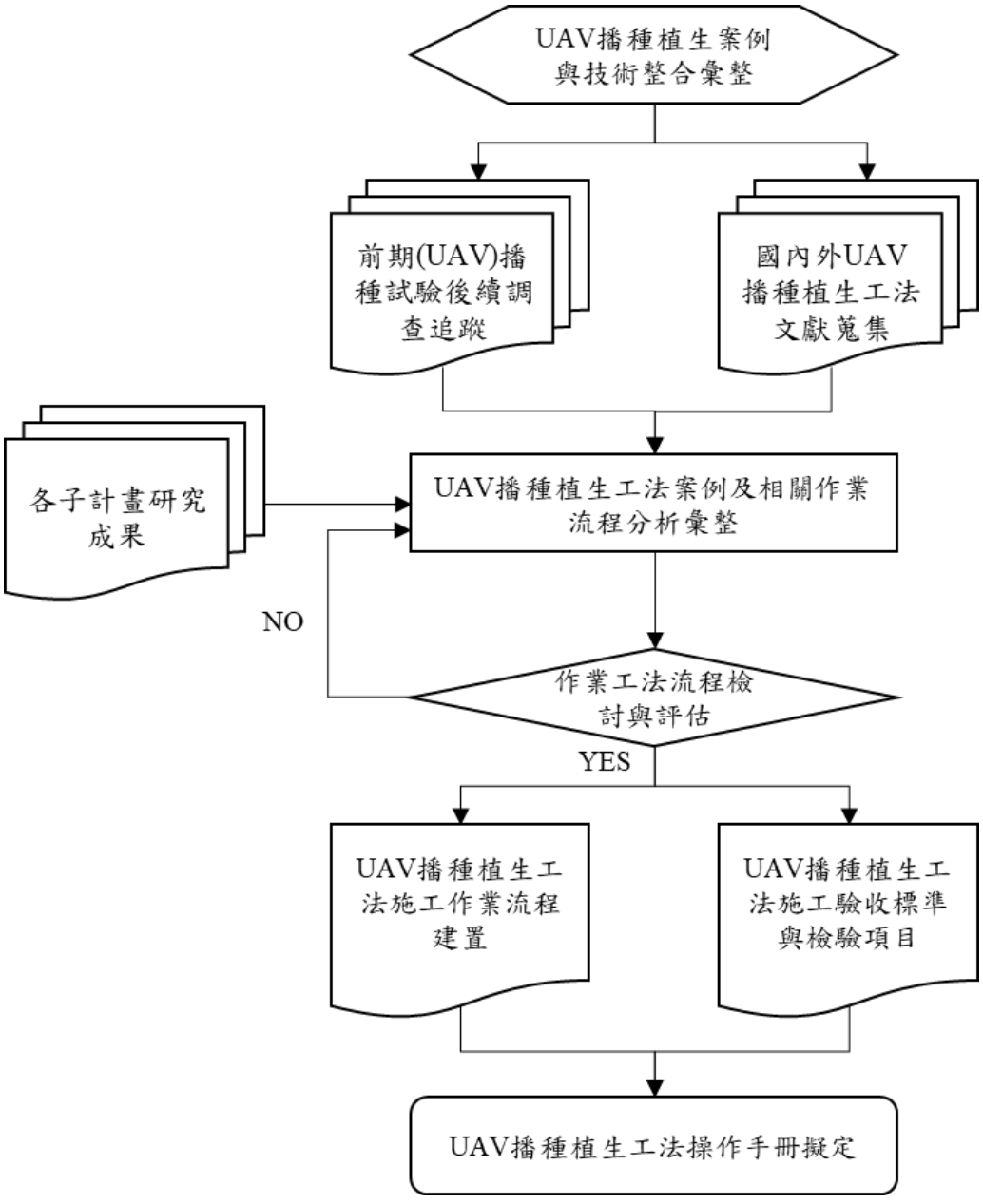


圖 1-1 計畫工作流程

第二章 工作構想與對策

第一節 前期無人飛行載具(UAV)播種試驗後續調查與相關文獻彙整評估

一、 前期無人飛行載具(UAV)播種試驗後續調查追蹤

本計畫執行人曾於 107 年度執行水土保持局委託辦理之「崩塌地無人機播種植生之可行性評估」研究計畫，曾進行不同植生資材之混合，製作不同形狀、大小、特性之植生粒劑，並於瀨頭崩塌地、小路野溪、仙湖農路等地點，於民國 107 年 9~10 月間進行 UAV 之播種試驗。故本計畫預延續前年委辦計畫，進行後續調查追蹤並列表評估植生粒劑後續之植生復育效益。後續調查之相關項目如下：

(1) 區域現地環境資料收集調查

(2) 粒劑特性與後續發芽效益試驗

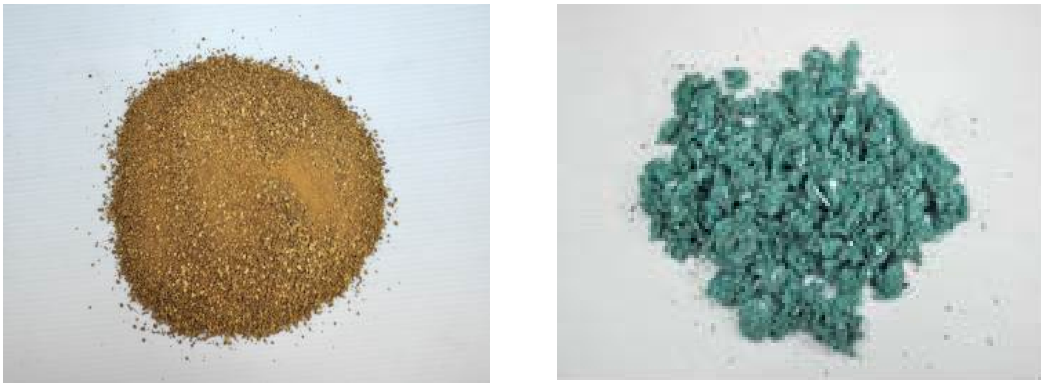
(3) 崩塌地植被調查與影像分析

(4) 立地條件與植生粒劑發芽生長之關聯性分析

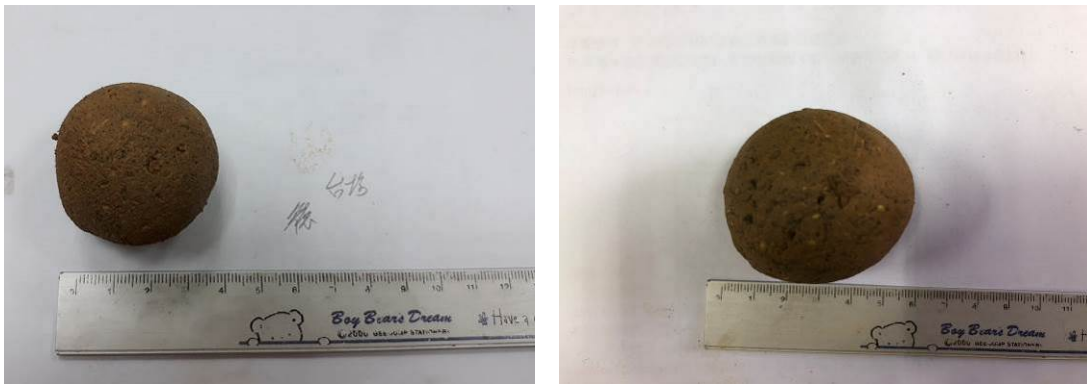
後續調查追蹤，除至現場以樣區調查外，本計畫利用無人飛行載具搭載近紅外光相機(NIR)進行投擲前與投擲後之航空拍攝，並利用 NDVI（Normalized Difference Vegetation Index；NDVI）指數進行分析，藉以評估投擲前後之植生復育比率。

(一) 前期不同材料配比之植生粒劑設計

前期(107 年度)計畫曾利用不同植生資材、不同大小與不同形狀特性進行調配試驗，以及以簡易攪拌桶進行量化製粒劑之方法，經初期試驗觀察後發現，粒劑之設計除需考慮植生粒劑水分及團粒效果外，亦需考慮種子使用量、粒劑大小形狀，及考慮如何量化製作與植生粒劑之儲存等，以確保植生粒劑在投擲後能有良好的發芽率及施工效率。



不同之植生資材拌合試驗



不同大小之植生粒劑製作試驗




不同形狀、特性之植生粒劑製作試驗




植生粒劑量化製作

圖 2-1 107 年度計畫有關不同植生粒劑之調配試驗情形相片

(二) 崩塌地播種試驗後續生長調查

1. 崩塌地試區點位

表 2-1 前期(107 年度)崩塌地試區點位

崩塌地點位	瀨頭崩塌地	小路野溪	仙湖農路
行政區域	嘉義縣番路鄉	屏東縣滿州鄉	嘉義縣中埔鄉
WGS84 座標	23°23'59.45"N 120°39'07.61"E	22°03'31.0"N 120°48'35.9"E	23°23'09.5"N 120°32'59.9"E
試驗樣區點位	防砂壩右側壩翼下方碎石堆置區	護岸 0K+152.4~0K+260 處上坡面	仙湖農路旁野溪上邊坡
崩塌地面積	0.2~0.5 ha	>0.5 ha	0.06 ha
播種粒劑數量	15kg，約 27000 粒	20kg，約 36000 粒	10kg，約 18000 粒
UAV 播種日期	2018 年 08 月 17 日	2018 年 09 月 27 日	2018 年 10 月 10 日
第一次調查日期	2018 年 08 月 31 日	2018 年 10 月 21 日	2018 年 10 月 29 日
第二次調查日期	2018 年 10 月 04 日	2018 年 12 月 20 日	2019 年 2 月 23 日
第三次調查日期	2019 年 02 月 20 日		2019 年 3 月 13 日
第四次調查日期	2019 年 04 月 22 日		2019 年 6 月 1 日

崩塌地點位	瀨頭崩塌地	小路野溪	仙湖農路
第五次調查日期	2019 年 05 月 28 日		
最近一次調查日期	2019 年 07 月 22 日	2019 年 5 月 3 日	2019 年 7 月 17 日

2. 仙湖農路崩塌地試區試驗與調查結果

(1) 環境特性與植物之調查

仙湖農路崩塌地試區位於嘉義縣中埔鄉仙湖農路旁野溪上邊坡，WGS84 座標為 23°23'09.5"N、120°32'59.9"E，崩塌面積約 0.06 ha，周遭工程項目包含護岸、潛壩、固床工、稻草蓆、土袋包。



仙湖農路崩塌地裸坡面



上方坡面百喜草生長情形



崩塌地上方仍有不穩定坡面



下方坡面泥岩與砂岩崩積土堆積

圖 2-2 仙湖農路崩塌地概況照片

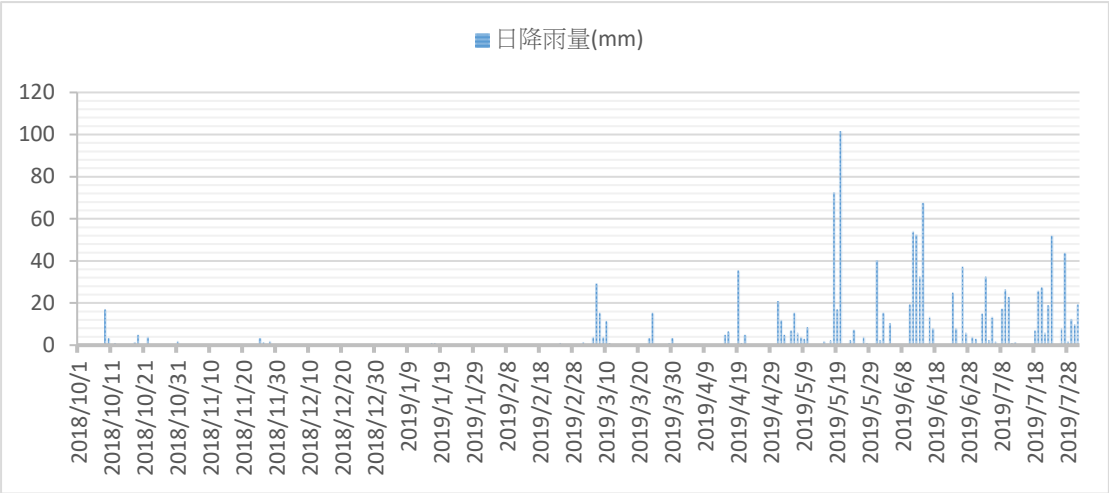


圖 2-3 仙湖崩塌地日降雨量圖

(2018 年 10 月至 2019 年 7 月)

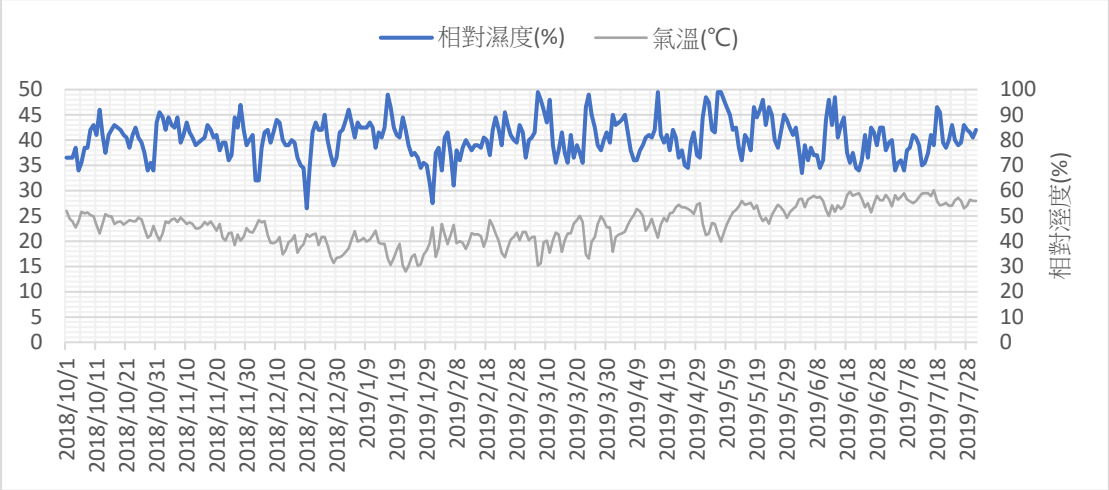


圖 2-4 仙湖崩塌地氣溫與相對濕度圖

(2018 年 10 月至 2019 年 7 月)

仙湖農路崩塌現地物種經調查後，因其崩塌坡面相當陡峭，故除了少數五節芒與蕨類生長外，其餘幾乎呈裸露狀態，周遭植被則有原生之山黃麻、血桐、構樹、山芙蓉、月桃、大花咸豐草與人工種植之檳榔樹，以及過去工程治理摻有百喜草之土包袋。

該樣區於 2018 年 10 月 10 日進行播種試驗，當日氣溫約 24.9 度，相對濕度 86%，天氣多雲，時有微量飄雨，但無強風。



坡面五節芒與蕨類植物生長



山黃麻



山芙蓉



構樹



人工栽植之檳榔樹



內容百喜草種子之土包袋

圖 2-5 仙湖農路崩塌地現地優勢物種

(2) UAV 播種作業施工方法



1.投放口之大小調整



2.植生粒劑之秤取



3.植生粒劑裝填



4.投擲目標地確認



5.投擲任務出動



6.植生粒劑投擲情形



植生粒劑於中下邊坡停留之情形



植生粒劑於蝕溝停留

(2018 年 10 月 10 日拍攝)

圖 2-6 前期(107 年度)仙湖農路 UAV 投擲施工照片

(3) 播種後追蹤調查

A. 播種後第一次追蹤調查(2018 年 10 月 29 日)

仙湖崩塌地試區播種後 19 天，於 2018 年 10 月 29 日進行第一次追蹤調查，經現地調查配合降雨資料發現，本區於 10 月 10 日播種至 29 日間，降雨甚少，但因該崩塌地位於濛水溪上方，坡面上方及周邊植被良好，且晨間具有露水，相對濕度皆可達 70%以上，因此該試驗區之植生粒劑發芽生長相當良好。蝕溝內之植生粒劑茂密生長，草本已生長 3~5 公分，而山胡枝子及相思樹已 70%～80%發芽，有些相思樹假葉已逐漸生長。

B. 播種後第二次追蹤調查(2019 年 02 月 23 日)

播種後超過約四個月後，進行第二次追蹤調查，經現地調查配合降雨資料發現，該崩塌地自 2018 年 11 月至 2019 年 2 月 23 間幾無降雨，而植生粒劑仍可持續生長。粒劑內草本已生長至 10~20 公分，但隨著植株增長，其葉片呈現乾燥質硬，少部分植株有黃化現象。相思樹則已生長至 8~10 公分，且無黃化現像；山胡枝子則可能因耐旱較低，植株衰退，有減少之情形。

C. 播種前後成果與效益分析(2019 年 3 月 13 日)

播種超過五個月後，於 2019 年 3 月 13 日進行第三次追蹤調查，因本次調查與前次調查時間接近，故植生粒劑並無明顯差異。

本次追蹤調查，亦應用 UAV 進行航空拍攝，以了解仙湖崩塌地播種前後之植被覆蓋差異，並以 Image J 軟體進行影像分析，計算植被覆蓋面積，以了解植生粒劑對於崩塌裸露地之植生復育效益。

D. 播種後第四次追蹤調查(2019 年 06 月 01 日)

播種超過七個月後，於 2019 年 6 月 1 日進行第四次追蹤調查，經現地調查配合降雨資料發現，因 4~5 月幾場豪大雨，導致試區部分區域遭到沖刷，產生新的蝕溝並部分植生粒劑消失，而未移位之植生粒劑仍可持續生長。

E. 播種後第五次追蹤調查(2019 年 07 月 17 日)

播種超過九個月後，於 2019 年 7 月 17 日進行第五次追蹤調查，經現地調查配合降雨資料發現，6~7 月幾場豪大雨，造成新蝕溝形狀更加明顯，由於前次調查結果判定該區遭受豪雨沖刷後，樣區內蝕溝區域滯留粒劑量不足，故進行追播作業，樣區內其餘區域當地原生植物與粒劑生長順利。



植生粒劑生長情形



山胡枝子發芽效果良好



植生粒劑之生長覆蓋情形



植生粒劑於蝕溝內附著生長

(2018 年 10 月 29 日拍攝)



植生粒劑於蝕溝生長情形



相思樹生長情形良好



草本葉片稍有黃化現象



粒劑內山胡枝子大多已消逝，但草本與相思樹仍生長良好

(2019 年 2 月 23 日拍攝)






(2019 年 3 月 13 日拍攝)




大雨後試區出現新蝕溝　　植生粒劑生長情形




(2019 年 6 月 1 日拍攝)



試區內新蝕溝更加明顯



植生粒劑生長情形



樣區內粒劑與原生植物生長情形



追播粒劑於蝕溝內

(2019 年 07 月 17 日拍攝)

圖 2-7 仙湖崩塌地植生粒劑播種後後續調查相片

F. 植生覆蓋率分析

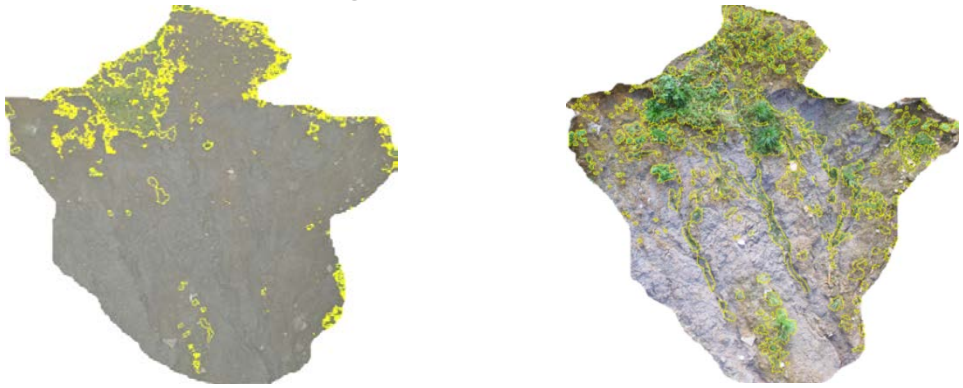
經本研究將 UAV 航照圖以 Image J 分析後，播種前目標範圍內植被覆蓋率僅有 7.81%，而經播種後五個月左右可達到 25.48%。其中大部分植生覆蓋率之增加係因原播種之標的物種種子生長之故，且大多植生粒劑於蝕溝內生長。雖有部分屬自然入侵生長植物，但其覆蓋率僅佔約 5%。預計後續仍有再增長及增加植生成效。

表 2-2Image J 分析植被覆蓋率

	崩塌地影像面積(pixel)	植生覆蓋影像面積(pixel)	覆蓋百分比(%)
整治前	1,180,168	92,191	7.81
整治後	2,491,939	635,038	25.48



Image J 分析之目標坡面



植被覆蓋之選取範圍



植被覆蓋之面積分析

圖 2-8 播種前後覆蓋率分析(左：播種前，右：播種 5 個月後)



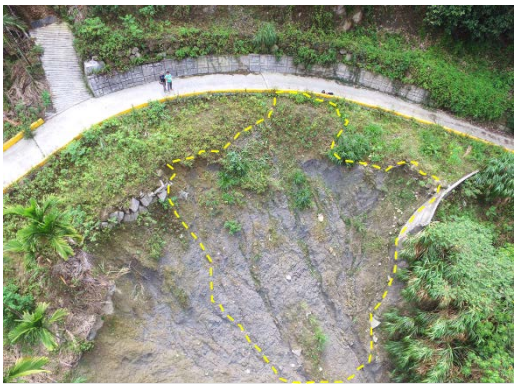
2018 年 10 月 10 日(播種當日)




2018 年 10 月 29 日(播種後 19 天)




2019 年 02 月 23 日(播種後 135 天)




2019 年 03 月 13 日(播種後 154 天)




2019 年 06 月 01 日(播種後 234 天)




2019 年 07 月 17 日(播種後 280 天)

圖 2-9 仙湖崩塌地植生粒劑生長歷程

3. 瀨頭崩塌地試區試驗與調查結果

(1) 環境特性與植物之調查

瀨頭崩塌地試區位於嘉義縣番路鄉龍美 1 鄰道路下邊坡防砂壩右側壩翼下方碎石堆置區，WGS84 座標為 23°23'59.45"N、120°39'07.61"E，崩塌面積約 0.2~0.5 ha，周遭工程項目包含防砂壩、擋土牆、截水溝、噴漿排水溝。


防砂壩右翼之碎屑土石堆置區


現地周邊五節芒優勢生長情形



現地坡度量測(30°~40°)



現地土石裸露情形

圖 2-10 瀨頭崩塌地概況照片

瀨頭崩塌現地物種經調查後，主要以草本植物：大花咸豐草、南美含羞草、竹葉草覆蓋及灌木：波葉山螞蝗為主，其餘亦有相當少量木本植物，如羅氏鹽膚木、山芙蓉等生長。為了使粒劑播種後可更清楚調查，本研究於試驗前先行整地作業，整地完成後本研究於 2018 年 08 月 17 日進行播種作業，當日氣溫約 27.5 度，相對濕度 75%，天氣尚稱良好，並無強風豪雨。



南美含羞草



竹葉草



大花咸豐草



波葉山螞蝗



羅氏鹽膚木



山芙蓉

圖 2-11 瀨頭崩塌地現地調查物種

(2) 播種後追蹤調查

A. 播種後第三次追蹤調查(2019 年 02 月 20 日)

瀨頭崩塌地播種約半年後，本研究於 2019 年 02 月 20 日進行第三次現地調查。該樣區周遭並無山頭遮蔽，坡面長期日曬，導致環境乾燥缺水，樣區旁壩體更可明顯看到長時缺水造成之水痕，因此植生粒劑內部草籽與山胡枝子皆已乾枯。但粒劑內仍可發現相思樹小苗，雖苗高僅 6~8 公分，但仍持續生長，並無乾枯死亡。

B. 播種後第五次追蹤調查(2019 年 05 月 28 日)

於 2019 年 05 月 28 日進行第五次現地調查，瀨頭崩塌地經歷雨季，現地植生茂盛，已分辨不出樣區位置，無法以原播種目標範圍進行效益評估，但仍能找到原先因缺水而未發芽的粒劑，也順利開始生長。

C. 播種後第六次追蹤調查(2019 年 07 月 22 日)

2019 年 07 月 22 日的現地調查，疑似因連續豪大雨改變附近地貌及現地植生茂盛足以遮蔽視線，導致無法再到達現地進行後續調查。



因連日無降雨，環境缺水乾燥



樣區旁壩體缺水造成之水痕



因乾燥缺水，植生粒劑乾枯



粒劑內相思樹仍持續生長

圖 2-12 瀨頭崩塌地播種後 50 日植生粒劑發芽情形觀察



現地植生茂盛，已分辨不出樣區位置



經歷雨季粒劑順利生長

圖 2-13 瀨頭崩塌地播種後 284 日後植生粒劑發芽情形觀察




圖 2-14 瀨頭崩塌地播種後 339 日原調查路線受阻現況照片

表 2-3 瀨頭崩塌地各樣區植生粒劑生長歷程

107 年 08 月 17 日植生粒劑播種作業			
			
樣區 1	樣區 2	樣區 3	樣區 4
107 年 08 月 31 日播種後第一次追蹤調查(播種後 15 天)			
			
樣區 1	樣區 2	樣區 3	樣區 4
107 年 10 月 04 日播種後第二次追蹤調查(播種後 50 天)			
			
樣區 1	樣區 2	樣區 3	樣區 4
108 年 02 月 20 日播種後第三次追蹤調查(播種後 188 天)			
			
樣區 1	樣區 2	樣區 3	樣區 4

4. 小路野溪試區試驗與調查結果

(1) 環境特性與植物之調查

小路野溪治理二期工程崩塌地試區位於屏東縣滿州鄉小路野溪治理工程二期之護岸 0K+152.4~0K+260 處上坡面，WGS84 座標為 22°03'31.0"N、120°48'35.9"E，崩塌面積約 0.5 ha，周遭工程項目包含砌石護岸、土包袋籠、排水工程。



護岸上方邊坡狀況



護岸上方土質坡面



護岸上邊坡植被生長情況

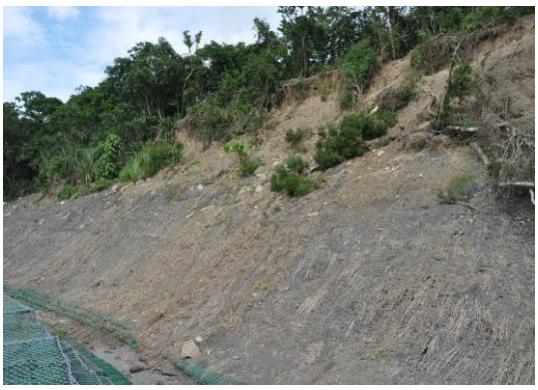


小路野溪溪流狀況

圖 2-15 小路野溪治理二期工程崩塌地概況照片

小路野溪崩塌現地物種經調查後，其崩塌坡面裸露，幾無植被覆蓋，唯坡面上方有部分不穩定土壤具原生之相思樹、血桐、五節芒、刺蔥、林投，及護岸上方土袋包內之百慕達草生長。該樣區於 2018 年 09 月 27 日進行播種試驗，當日氣溫約 26.1 度，

相對濕度 50%，天氣多雲，無強風豪雨。



坡面上方土坡植被生長情形



護岸上方土袋包百慕達草



相思樹



血桐



林投



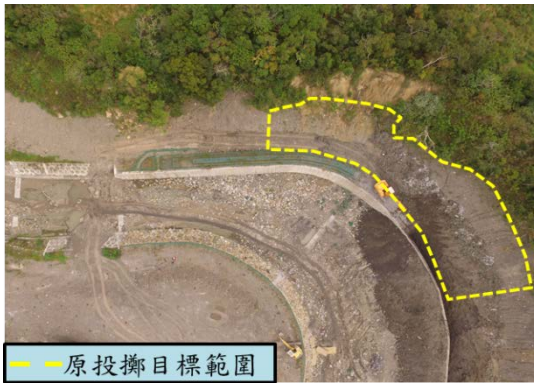
五節芒

圖 2-16 小路野溪上方崩塌地現地調查物種

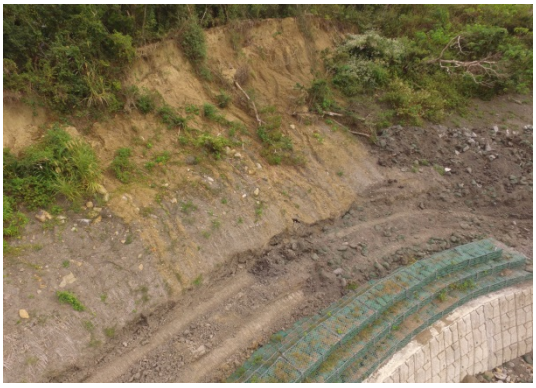
小路野溪崩塌地播種三個月後進行第二次追蹤調查，本次到達現地時，發現因本樣區鄰近再建工程，而該工程之驗收階段不合格，以致機具再次進場改善，進行開挖作業，導致樣區遭受破壞，因此無法以原播種目標範圍進行效益評估。



鄰近再建工程進場施工



原播種目標範圍



樣區遭受破壞情形



粒劑內相思樹之發芽情形

圖 2-17 小路野溪崩塌樣區遭破壞情形

如上述，因本樣區受到鄰近工程改善介入，導致樣區破壞，故本研究後續僅針對植生粒劑之發芽生長進行調查。



植生粒劑於斜坡上附著生長



粒劑內草類發芽情形



相思樹假葉生長情形



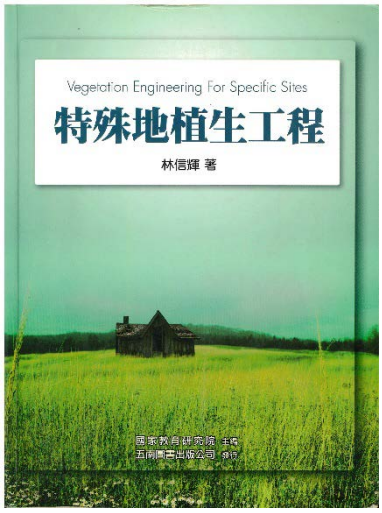
植生粒劑生長覆蓋情形

圖 2-18 小路野溪崩塌地植生粒劑播種三個月後生長情形

二、 無人飛行載具(UAV)播種植生工法相關文獻

(一) 文獻蒐集

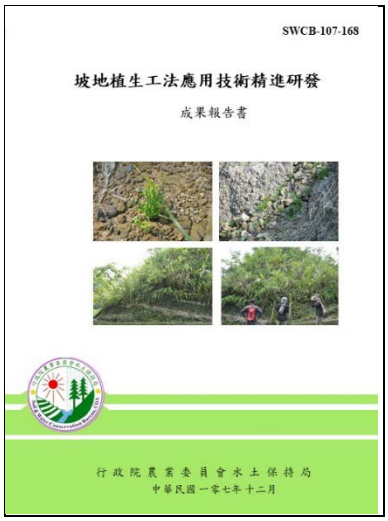
蒐集 UAV 播種植生工法之相關文獻，共 23 篇，如參考文獻所列資料。另相關參考書籍、手冊封面照片如圖 2-19。



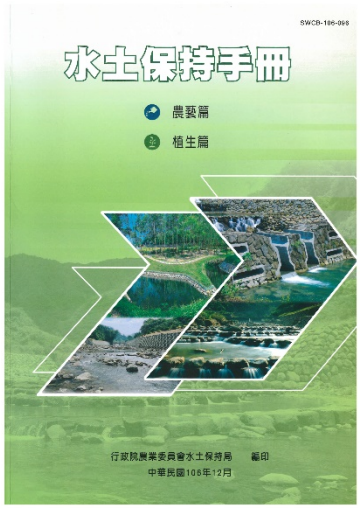
特殊地植生工程



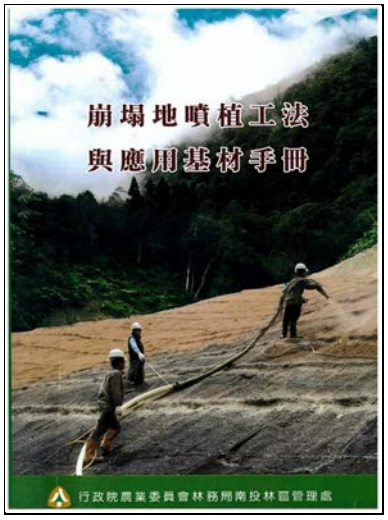
日本航空綠化工相關資料(堀江保夫編著)



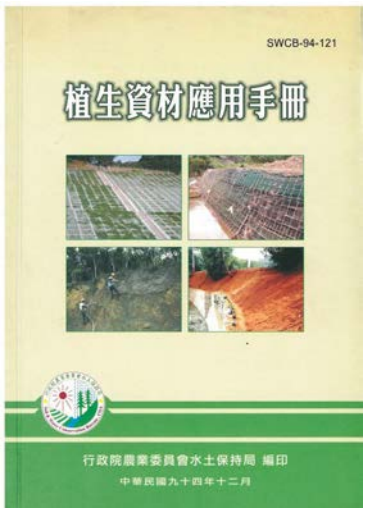
「坡地植生工法應用技術精進研發」計畫成果報告



水土保持手冊 植生篇



崩塌地噴植工法與應用基材手冊



植生資材應用手冊

圖 2-19 相關參考書籍、手冊等封面照片

(二) UAV 機型與植生播種裝置概要

1. UAV 播種植生工法機型

目前國內市場適用 UAV 播種工法機型常見 UAV 機型，大多屬利用 DJI(大疆)飛控模組，配合臺製機架組裝而成，其載具詳細規格及其功能屬性比較如表 2-4 所示：

表 2-4 適用 UAV 播種工法常見機型之功能屬性比較

機型(旋翼數量)		單旋翼 (成大研發)	單旋翼 (易圖公司研發)	六旋翼 (植播機 10K A 型)	六旋翼 (植噴機 16K)
機體尺寸	旋翼大小	90cm	111cm	17 吋槳	28 吋槳
	機身總寬	65cm	52cm	106cm	170cm
	機身總長	180cm	260cm(含槳)	106cm	170cm
	機身總高	78cm	73cm	80cm	60cm
主要機架材質		碳纖	合金	碳纖	碳纖
空重		15kg	15kg	3.4kg	20kg
最大起飛重量		25kg	28kg	10kg	36kg
燃料/電池重量		1kg	1.6kg	1.4kg	3.1kg
動力系統	型式	油機	油機	電機	電機
	引擎/馬達	100cc 四行程引擎	80cc 二行程引擎	LA5208 KV300	M10 KV120
	能源型式	95 無鉛汽油	95 無鉛預混機油	Li-Po	Li-Po
	標準油箱/電池容量	1400cc	2200cc	10000mah	22000mah x 2
最大起飛重量滯空時間		30 分鐘	40 分鐘	10 分鐘	10 分鐘
不含植播設備滯空時間		50 分鐘	60 分鐘	20 分鐘	30 分鐘
最長作業距離		2km	30km		3km
最大抗風等級		9 級(輕度颱風)	8 級以上	5 級	6 級
飛控系統		自行開發	自行開發	DJI V2	A3
圖傳系統	型號	5.8GHZ	自行開發	5.8GHZ	2.4G/5.8G
	距離	5km	30km	5km	5km
植播裝置	裝置重量	2kg	5-6kg	1.1 kg	5kg
	植播型式	噴出/投放	噴出/投放	投放	噴出
	驅動方式	離心力與開艙門	開艙門/客製化	開艙門	幫浦水壓
	適用材料	固態/液態	固態/液態/粉狀	固態/液態	液態
	植播材料負載最大重量	8kg	10-12kg	4.5kg	5kg

備註：1.旋翼數量：直昇機固定為單軸旋翼機。多軸可分為四軸/六軸/八軸型。
2.機身總長、總寬皆不含槳。
3.空重：含旋翼槳、機身、油箱、電子裝備。不含電池、油料、植播裝備。
4.最大起飛重量：建議安全作業重量、含油料、電池、植播裝備、植播材料。
5.最大起飛重量滯空時間：航高 10 米高、風速 1.5m/s 以下時可滯空時間。
6.不含植播設備滯空時間：航高 10 米高、風速 1.5m/s 以下可滯空時間。
7.植播材料負載最大重量：一般安全作業可裝載植播材料負載最大重量。




單旋翼(成大研發)




單旋翼(易圖公司研發)




六旋翼(植播機 10K A 型)—本整合型計畫子計畫一～三使用機型




六旋翼(植噴機 16K)—本整合型計畫子計畫四使用機型

圖 2-20 國內市場適用 UAV 播種工法機型常見 UAV 機型

2. UAV 播種植生工法之裝置設備類型

UAV 播種植生工法依播植機械設備與附掛播種裝置種類不同，可分為無動力投放式與動力式播種作業。

(1) 無動力投放作業

A. 投放播種裝置構件：

作動裝置：以伺服器控制艙蓋，遙控器提供一通道進行控制，艙門可設計一次開合、多次開合或設計控制開啟角度。

投放容器設計：機腹附掛輕質容器，具活動式投放艙門，並設計給料口，容積依掛載重量與機腹空間設計，建議 15 公升以內。

B. 投放方式

a. 固定投放式

固態或液態材料，定點利用投放口匝門開啟與關閉進行播種，材料呈自由落體下墜至目標區。在無外力影響下，依投放高

度與材料特性有不同分佈範圍。

b. 移動投放式

固態或液態材料，在飛行恣態移動或擺動中，利用投放口匝門開啟與關閉進行播種，材料會因慣性，呈拋物線型下墜至目標區。在無外力影響下，依投放高度、擺動幅度、飛行速度與材料特性有不同分佈範圍。

(2) 動力式播種作業

A. 氣動投放式播種作業

投放式播種裝置將固態材料，利用強力風扇為輔助推力將槽體內材料吹出，材料呈拋物線型下墜至目標區。主要包含三構件：

作動裝置：以獨立電門控制導風扇轉速，遙控器提供一通道進行控制，粒劑或粉劑經輸送管風壓送出。

動力裝置：3000KV 無刷馬達、30A 電子變速器，獨立控制 2.5 吋導風扇吹出。

材料艙容器設計：機腹附掛輕質圓桶型容器，經輸送管送達風洞管，容器並設計給料口，容積依掛載重量與機腹空間設計，建議 15 公升以內。

B. 離心力式播種作業

將固態材料，利用電力馬達帶動葉片將材料拋出，材料呈拋

物線型下墜至目標區。

C. 噴植式播種作業

將液態材料，利用馬達加壓氣體，將液態材料噴出，類似傳統氣壓式噴漿機。

利用附掛在 UAV 上的噴漿機組，透過強大的壓力，能將混合機材，內含有種子、黏著劑、有機肥料、化學肥料、保水劑、綠色顏料、生育材料以及適量有機物質和水配製而成的黏性泥漿直接噴送至坡面上。

3. 無動力投放式播種作業之裝置設備

投放播種裝置包含主要兩構件，其說明如下：

(1) 伺服器作動裝置

可以獨立系統遙控器獨立操作或以組裝機擴充一通道連結操作。如現有套裝具飛行燈切換，則以光敏電阻投放開關。

(2) 投放容器設計

A. 機腹附掛輕質容器單槽，艙蓋單次開啟。

B. 機腹附掛輕質容器多槽，艙蓋多次開啟，並回傳投放槽體數量。

C. 網束帶附掛一次投放。

播種裝置設計目標應為重量輕、投放數量控制精準為最終目

標，初期各種方式皆可嘗試設計。而現階段計畫以機腹附掛輕質 PVC 容器單槽，艙蓋單次開啟進行設計。





左：飛行器及 60cm 腳架　　右：圖傳及接收器

圖 2-21 使用電力之多軸 UAV 機具圖例

4. 無動力投放式粒劑播種遙控系統操作案例

(1) 投放播種作業

使用電力六軸 UAV 進行植生粒劑播種作業實例照片，如圖 2-23。



UAV 起飛確認



飛行至定點監視



粒劑材料容器槽體



操作儀器裝備

圖 2-22UAV 投擲作業之情形

(2) 投放播種遙控系統操作

UAV 現地投擲播種作業時，利用照相攝影裝置進行投擲前、後之航空拍攝配合 Image J 進行覆蓋度分析，以觀察記錄粒劑落下之情況與分布情形及了解植生粒劑後續之發芽情形與覆育效益。



利用相機進行拍攝記錄



現地量測記錄



拍照攝影投擲落下情形



UAV 之投擲影像記錄



利用 UAV 後續拍攝監測

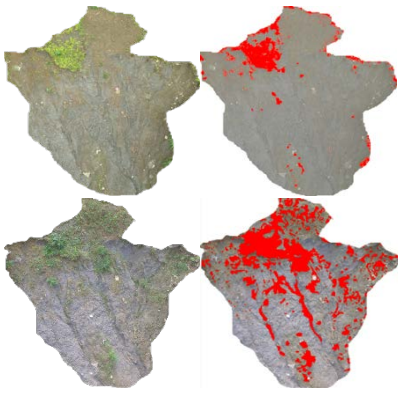


Image J 影像覆蓋率分析

圖 2-23 植生粒劑撒播記錄與攝影監測

(3) 錄影監測資料

六軸旋翼 UAV(輕機型)播種植生操作影像之畫面顯示與資料說明，如圖 2-24 與表 2-5。另於屏東滿州鄉小路野溪治理工程施作時，有關 UAV 之實際播種作業，經剪輯相關錄影監測資料，製作 2 分 45 秒之紀錄影片，UAV 操作螢幕顯示，如圖 2-24 所示。

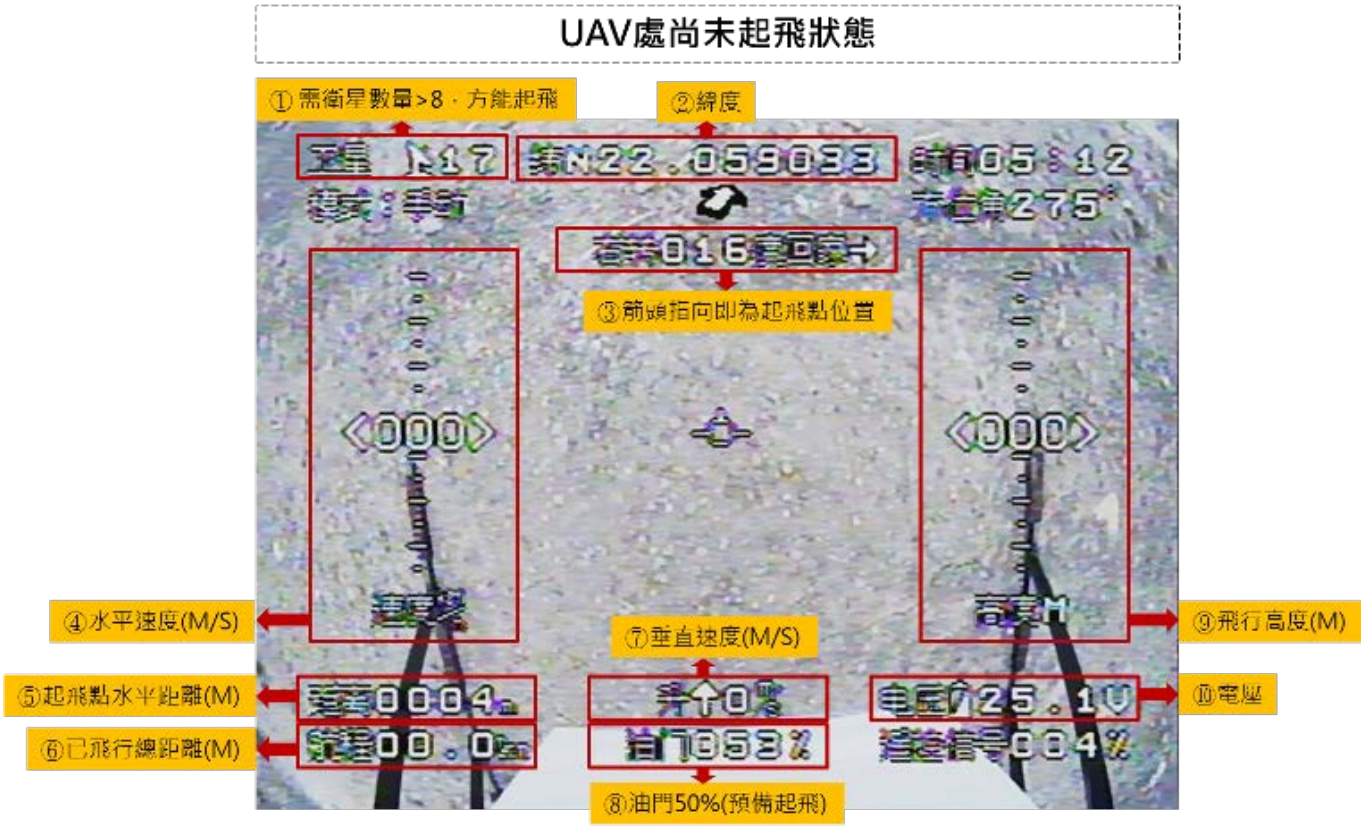


圖 2-24 六軸旋翼 UAV(輕型機)操控畫面顯示情形

表 2-5 六軸旋翼 UAV(輕機型)播種植生操作影像畫面顯示資料

名稱	單位	說明
①飛行高度	(M)	為相對於起飛位置之垂直高度。
②電壓	(V)	裝置電力顯示。
③油門	(%)	油門顯示需大於 50%，方能預備起飛。
④箭頭指向	-	為與起飛點位置相對之水平方向。
⑤垂直速度	(M/S)	為上下升降之垂直移動速度。
⑥水平速度	(M/S)	為裝置水平移動之速度。
⑦起飛點水平距離	(M)	與起飛點之水平距離。
⑧已飛行總距離	(M)	為飛行之總航行距離。
⑨衛星數量	顆	已接收衛星數量，且接收數量應大於 8 顆衛星，方能起飛。
⑩緯度		為裝置所在緯度，預防意外發生時，便於尋找裝置所在位置。

(三) 航空植生案例收集

1. 台灣地區航空植生案例照片

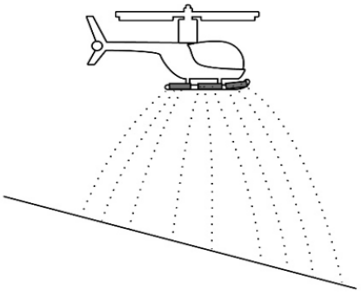


噴植材料拌合設備



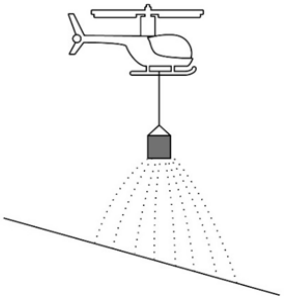
現場拌料裝填作業(懸吊式)





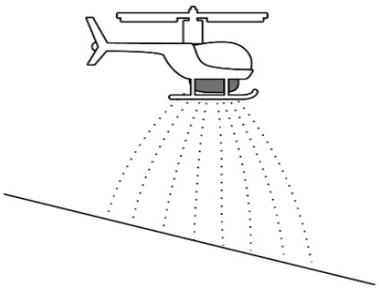
橫抱式噴植機具





懸吊式噴植機具





腹掛式噴植機具

圖 2-25 不同類型航空機具施工作業示意圖與施工照片

2. 日本航空植生施工情形



KH4 型航空植生機型



KH4 直升機肥料噴灑情形



日本航空懸垂式噴植



航空噴植施作



施工前



施工後

圖 2-26 日本航空植生施工相片

3. 國內外不同植生粒劑製作

(1) 日本

日本福岡正信(1997)曾將腐植質、堆肥、土壤等參入棉花纖維與紙漿等材料製作種子土球，設計直徑約 10mm~80mm，種子在土球中能於惡劣環境下順利發芽生長，快速的達到效果。其製作過程如下：

A. 將土球材料拌合

B. 加入水分，使材料結團粒

C. 先將材料用手搓成小土球

D. 將小土球投入拌合桶中

E. 拌合過程加入適當水與土壤

F. 拌合至土球完成



1.將土球材料拌合



2.加入水分，使材料結團粒



3.先將材料用手搓成小土球



4.將小土球投入拌合桶中



5.拌合過程加入適當水與土壤



6.拌合至土球完成

圖 2-27 日本種子土球之製作過程

(2) 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



種子土球發芽情形

圖 2-28 美國種子土球製作照片例

(3) 墨西哥

墨西哥因環境乾燥，且種子易受昆蟲、動物、鳥類啃食。設計了種子土球，土球之材料包刮紅土(黏土)：堆肥：種子：水，其配比(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，再播種種子土球，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：

1.準備材料：黏土、堆肥、種子、水(5：3：1：1~2)。
2.將乾燥之黏土經過篩，去除大塊黏土，並秤取 1/4。
3.秤取有機堆肥 3/4 以及 1/4 種子。
4.將有機堆肥、種子進行拌合。
5.將拌合後之混合物加入乾黏土，並加入水，使材料膠結。
6.取部份拌合好之材料，以手掌滾動成圓球。
7.將種子球放置陽光下徹底晾乾一至兩天。(曬乾或風乾)
8.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

圖 2-29 墨西哥種子土球製作與應用

(4) 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 1-5cm 圓形為主，其原因應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後續的研發考量。

第二節 無人飛行載具(UAV)播種植生方法作業流程建置

一、 UAV施工作業流程

本計畫蒐集過去植生工程之相關工法作業流程擬定標準，並結合各子計畫之研究結果，初步建置 UAV 播種植生工法之施工流程，之後逐一檢核評估與改善修正作業流程，包括施工環境與基地調查、播種作業規劃、施工前置作業、植生基材準備及驗收、現場施工及監測、植生調查與維護管理...等。最後建置 UAV 播種植生工法之作業流程(例如圖 2-30)，施工驗收標準與檢驗項目、表格等。(表 2-15、表 2-16)。

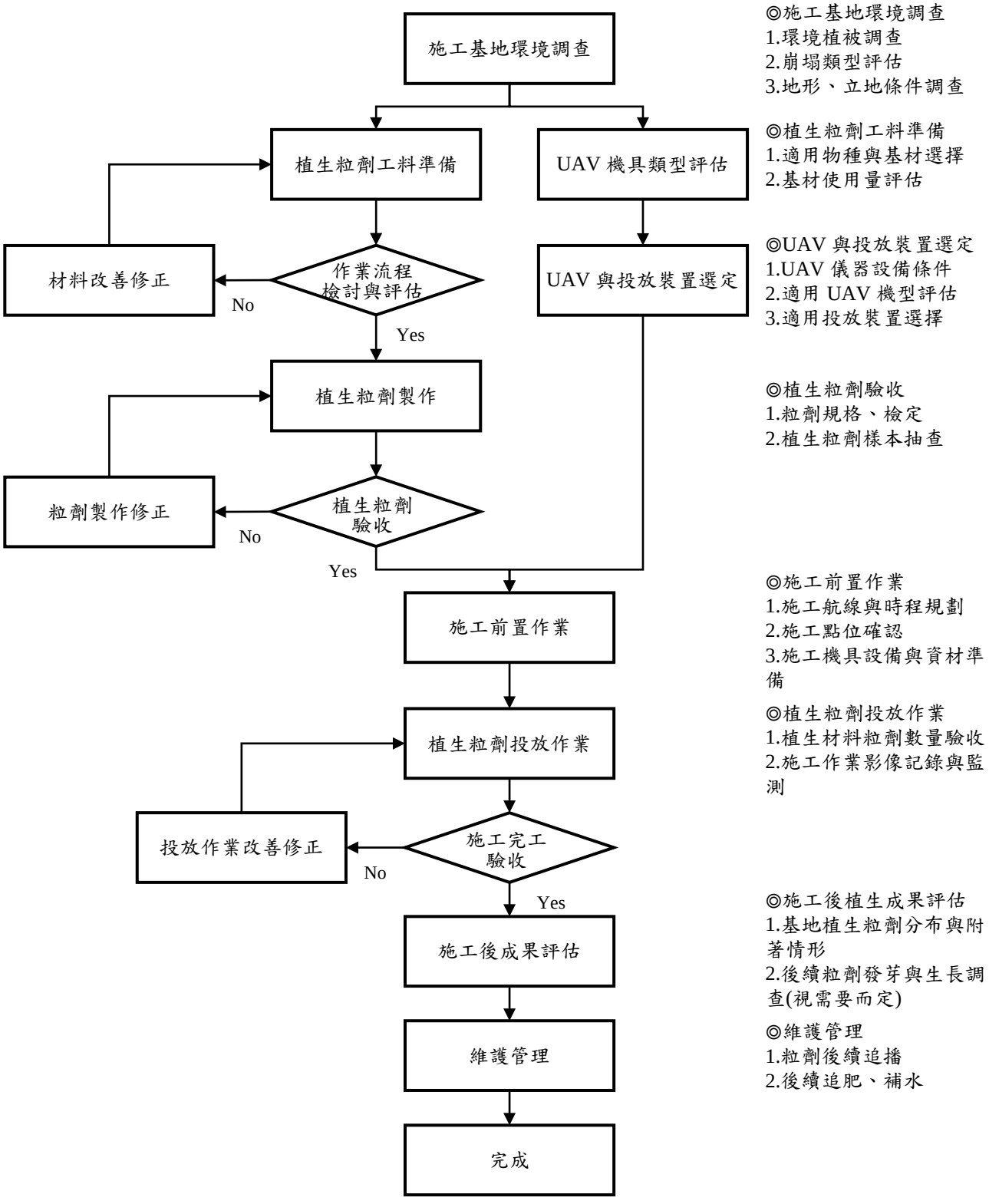


圖 2-30 UAV 施工作業流程圖(以投放植生粒劑作業案例)

二、 不同作業階段之應注意事項

表 2-6 作業階段與應注意事項(植生粒劑播種)

作業階段	使用材料與施工機具	施工要項
1.施工前準備		1. 基地環境與播種面積初估。 2. 播種點位與作業時機規劃。 3. 種子可能發芽點位之研判。 4. 播種量之計算。 5. UAV 機具類型確立與作業基地調查。 6. 航線規劃與飛行申請。
2.植生粒劑製作	植生基材、製作機具	1. 植生粒劑規格確立。 2. 植生粒劑之製作流程規劃。 3. 植生粒劑之製作與儲存。 4. 依環境特性評估與植生基材(植生粒劑)數量之修正。
3.植生粒劑播種作業	植生粒劑、UAV 與播種裝置	1. 施工基地準備。 2. 植物種子可能發芽之點位面積評估。 3. 施工作業流程確立(含分期分區施工作業)。 4. 植生粒劑之準備 5. UAV 播種機具之準備與作業操作 6. 播種作業過程拍攝與監測。
4.植生調查與養護	植生基材、UAV 與播種裝置	1. 養護工作應於播種作業完工後，即日開始至保固期滿為止。 2. 種子發芽與初期生長調查(現地調查)。 3. 追肥與追播 4. 植生覆蓋與成果監測(UAV 拍攝影像分析)

三、 施工作業時程規劃

表 2-7 施工作業時程規劃

施工作業要項	工作概述	工作天數
施工環境與基地調查	1. 環境植被調查 2. 崩塌類型評估 3. 工區坡度、飛行場地條件調查	7 天 (可依現況增加)
播種作業規劃	1. 作業所需施工成本 2. UAV 與播種裝置評估 3. 植生材料型式選擇評估 4. 基材用料配比設計 5. 植生粒劑播種量評估 6. 施工航線與時程規劃 7. 撰寫活動計畫書	7-14 天
飛行申請	1. 提出飛行計畫書。(視相關規定需求)	15 天
植生粒劑製作*	1. 植生基材與種子採購 2. 植生粒劑生產	20 天 (播種面積每 0.1 公頃計算，需 10 天。如超過 0.1 公頃，每 0.1 公頃需增加 2~3 天。)
植生粒劑驗收	1. 粒劑規格，數量檢定 2. 植生粒劑樣本抽查	7 天
施工前置作業	1. 施工航線與時程規劃 2. 施工點位確認 3. 施工機具設備及粒劑準備	3 天
現場施工及監測	1. UAV 播種作業 2. 植生粒劑播種監測(UAV 影像) 3. 植生粒劑分布與附著情形調查	3 天 (播種量如以每 0.1 公頃設計 100 公斤植生粒劑用量，約需 2~3 個工作天。)
植生調查與維護管理	1. 粒劑附著與發芽生長調查 2. 追播與補播 3. 植生成果監測(UAV 影像分析)	依合約規定執行至達驗收標準

*：以目前單機組之產能計算。如有較大面積之施工需求，可增大機組設備，以縮短施工日期。

**：以使用植播機 10K A 型播種作業，及以播種植生粒劑 0.1 公頃面積計。

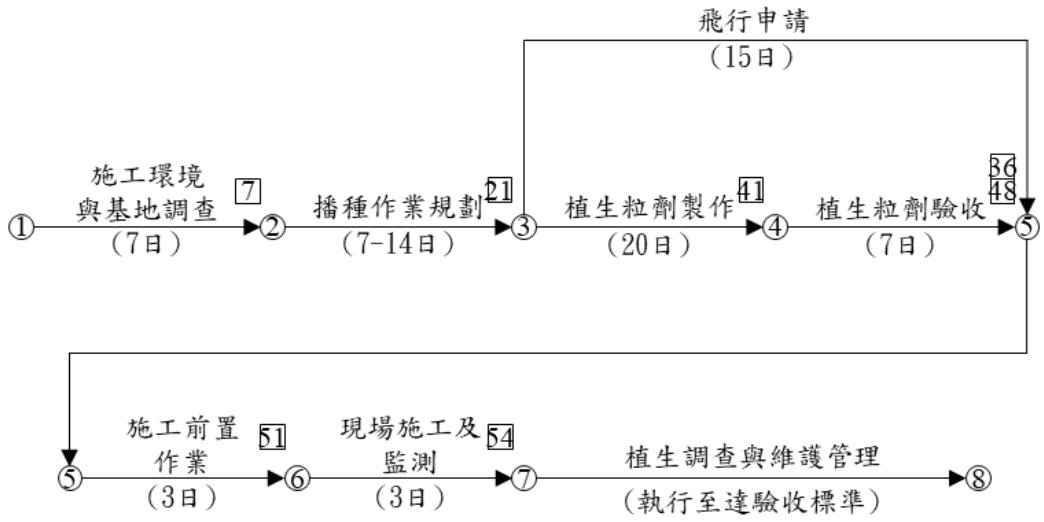


圖 2-31UAV 播種植生工法作業流程箭線圖(工作天)

備註：1.本圖以施工面積 0.1 公頃為例

2.植生粒劑製作階段，播種面積如超過 0.1 公頃，每 0.1 公頃需增加 2~3 天。

3.現場施工階段，播種量如以每 0.1 公頃設計 100 公斤植生粒劑用量，如超過 0.1 公頃，每 0.1 公頃需增加 3 天。

四、 主要應用植生基材檢驗

(一) 主要植生資材

各應用材料種類說明如所示：

表 2-8 主要應用植生資材特性概要表

類別	用途與特性	資材種類(例)
介質材料	可提供種子發芽生長之介質及改善土壤物理特性，提升植生粒劑發芽能力。	如培養土、泥炭土、樹皮、菇類木屑堆肥、稻穀、土壤等
基底材料	可作為粒劑製作團粒之核心，利於粒劑滾動與植生資材混合並包覆。	如赤玉土、花泥磚、發泡煉石
肥料	可於自然環境養分不足或急需復育之區域地，提供植生粒劑發芽初期生長所需之肥分。	如一般腐熟堆肥、化學肥料、緩效性肥料(粒肥)、有機質肥料
保水劑	可增加植生粒劑含水量、通氣性，提高種子發芽率。	蛭石、泥炭苔珍珠石、高分子保水劑等
包覆材料 (纖維材料)	可使粒劑投擲於崩塌地後，保護粒劑內種子並增加植生粒劑之吸水能力與含水量，以提升發芽能力。	碎紙纖維、木質纖維等
結合材料 (黏著劑)	為固結土壤、植生基材及種子、增加植生粒劑之團粒能力，防止粒劑崩解。	團粒化劑、有機材料黏劑、乳膠劑、高分子化合物等
種子材料	配合施工基地之立地條件與植生綠化類型目的，選擇適生植物種子，混合於植生粒劑，以達到植生效益。	包括草類、灌木、喬木、藤類、綠肥植物等種子材料
其他材料	現地回收資材、著色劑、種子發芽促進劑或鳥類忌食劑等。應用時需同時考慮周邊生態與環境之危害問題	天然食用色素(綠色)、好年冬(鳥類忌食劑)等

(二) 植生資材特性概要

1. 介質材料

(1) 培養土

培養土通常指有機培養土或指含共生微生物之有機質土。係由植物體腐爛結合米糠、菇類培質廢棄包之木屑與椰殼碎屑等加工製成，質地較為細輕，具有良好的保水性、保肥性。(備註：試驗土壤分析實測資料，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。)

(2) 泥炭土

泥炭土為河湖沉積低平原及山間谷地中，由於長期積水，水生植被茂密，在缺氧情況下，大量分解的植物殘株積累形成的土壤。其殘株大多為苔蘚類等植物。泥炭土纖維結構較長具相當之吸附能力，具有優異的排水性。(備註：試驗分析實測資料，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%。)

(3) 菇類木屑堆肥

菇類廢料是香菇採收後之剩餘栽培材料，其主要成份為 95%的天然木屑，並與米糠、玉米粉及麥粉等五種穀類有機廢棄物混合，經堆肥發酵並添加化學氮源、磷源等營養成分後堆積約 4 星

期成製成菇類木屑堆肥。菇類堆肥之透水性、保水性佳，惟味道較重。

(4) 一般土壤

土壤材料之選定依基材配方與導入方法而異，如一般噴植工法使用砂質土，而植生粒劑應用之土壤以黏質土為主，(備註：試驗分析實測資料，土壤之黏粒含量達 80%以上、坋粒含量在 12%左右，土壤有機質 1.07%，陽離子交換容量 11.2cmolc/kg，水力傳導度介於 2.44 x 10-3 ~ 9.94 x 10-3 cm/sec，pH 值 4.78。)

2. 基底材料

(1) 赤玉土

赤玉土由火山灰堆積而成，為暗紅色圓狀顆粒，無有害細菌。高通透性，有利於蓄水和排水，是目前運用相當廣泛的一種土壤介質。常見於許多園藝、花卉店面販售。(備註：試驗實測資料，pH 值約 6.9，電導度 0.052ms/cm。)

(2) 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，吸水前比重小，質輕如泡沫塑料，可於園藝材料店面購得。(備註：試驗實測資料，其 pH 值約 7.0。)

(3) 發泡煉石

經特殊方法煉製燒結而成的膨鬆石礫狀產品，為無菌無臭之

介質，具良好的保水性和通氣性，可使粒劑保持高透氣性。可於園藝材料店面購得。

3. 肥料

(1) 化學肥料

化學肥料又稱「無機肥料」，指用非生物體或無機礦物提煉製成的肥料。化學肥料又可分供應單種要素為主的「單質肥料」和同時供應氮、磷酐和氧化鉀中至少兩種要素的「複合肥料」。

表 2-9 常用化學肥料之要素含量

肥料名稱	要素含量(%)			
	N	P_2O	K_2O	MgO
硫酸銨	21	—	—	—
硝酸銨鈣	20	—	—	—
尿素	46	—	—	—
過磷酸鈣	—	18	—	—
硫酸鉀	—	—	50	—
氯化鉀	—	—	60	—
台肥 1 號複合肥料	20	5	10	—
台肥 5 號複合肥料	16	8	12	—
台肥 43 號複合肥料	15	15	15	4

資料來源：行政院農業委員會農業試驗所

(2) 有機肥料

有機質肥料之材料主要來自動物、植物及微生物殘體。有機質肥料在土壤中分解速度依材料特性及腐熟度不同而異，可區分為易分解型及不易分解型。易分解型之有機質肥料，如糞便堆肥、大豆粕、米糠、魚粉等。

不易分解型之有機肥料，通常含有較高之纖維資材，C/N 值較高，如稻殼、稻草、蔗渣、樹皮等。若直接作為植生基材或將未經堆肥腐熟化就施用做為植生基材中，將使這些基材在土壤中分解時過程中，將造成微生物繁殖生長，與作物間養分的競爭(尤其是氮素的攝取)，且會釋出熱，而對作物造成不利的影響。一般有機堆肥處理過程中，有機物會隨時間分解，C/N 比逐漸降低。一般而言 C/N 比在 20 以下時可達到腐熟階段，有助於養分的釋出及作物之養分吸收。

崩塌地坡面施工地點大多土質不良、乾旱貧瘠，其生育基盤若施用有機質肥料，不但可以改良土壤之質地，亦可改善土壤理化性，及增加植生粒劑保肥與保水力。常用有機質肥料之要素含量列如下表。

表 2-10 常用有機質肥料之要素含量

肥料名稱	要素含量(%)		
	N	P_2O_5	K_2O
台肥 1 號有機肥料	1.5	4.0	3.0
樹皮堆肥	1.14	0.77	0.36
禽畜類堆肥	1.0-4.0	1.0-6.0	0.5-5.0
雜項堆肥	0.5-5.0	0.3-6.0	0.3-4.0
一般堆肥	0.6-3.0	0.3-5.0	0.3-4.0
草木灰	─	1~2	4~10
大豆粕	7.52	1.77	2.77
魚粉	7~10	7~10	─
花生粕	6.55	1.33	1.00
米糠	1.95	4.38	1.49

備註：國產有機質推薦品牌可至行政院農業委員會農糧署查詢推薦品牌名單。

4. 保水劑

保水劑種類可分為生物性、非生物性的介質及高分子聚合物，應屬無毒、無害的物質，不同材料之吸水倍率差異大。

表 2-11 植生工程主要應用保水劑類別概要

類別	吸水性(率)	特性與問題
高分子聚合物(CMC、三仙膠等)	可達自重之 200~400 倍吸水量。	具有快速吸水，衰減率高，緩慢釋放，促進植物吸收的特點。用量比例太高會影響植物生長，建議比例約 1/200 或依現地施工經驗用量，或建議與其他保水劑混合。
無機質保水劑(蛭石、珍珠石等)	吸水率約自重之 2-4 倍吸水量。	無衰減率問題、但重量和體積均大，比例過高不易施工。提供乾燥性或保水力較差之土壤中，增加資材保水性及通氣性。
有機類保水劑(泥炭苔、樹皮堆肥等)	泥炭苔之吸水率較高、可達自重之 20 倍，樹皮堆肥等有機類亦具有保水性及肥效性，但保水率較低，一般約為自重之 1~2 倍吸水量。	單價高，不易混合且易於攪拌槽中結塊阻塞輸送管。

5. 包覆材料(纖維材料)

包覆材料之目的在披覆於粒劑外層，以免粒劑受外在環境影響其發芽能力，更可改善植生粒劑物理性質。

(1) 碎紙纖維

如內含有乾強劑(丙烯醯)的聚合物，可使植生粒劑外多一層具防止粒劑鬆散之保護層，以避免粒劑落於坡面後崩解。(備註：試驗分析實測資料，纖維抗拉力強度 0.18~0.3kg/25mm)基重 12~14 g/m2，吸水速率 12~20 mm/min，pH 值 2.7。

(2) 木質纖維

天然樺木之樹皮經加工粉碎而成或由國內造紙公司生產提供。可做種子之敷蓋物、具保溫、保濕及防鳥食之功能。在水中之分散性良，使粒劑於野外降雨時，更易取得水分，並可改良粒劑物理特性，增加保水性、養分與外在強度。木質纖維多量使用亦不影響種子之發芽。

6. 結合材料(黏著劑)

(1) 結合材料之特性

結合材料是以冷水膠、特殊黏膠物質或生物性混合添加劑混合而成，目的為固結植生粒劑內土壤、植生材料及種子、預防粒劑崩解破壞並改善其通透性、物理性與結構強度。

(2) 結合材料之種類

結合材料一般多屬濃縮劑，可分為粉末及液體兩種；成分又可分為單一配分及複合配方兩種，使用時常需經加水稀釋至規定倍數濃度後再混合其他基材進行。因結合材料之種類繁多，可依據材料之特性與屬性，選擇適宜之結合材料。

A. 乳膠劑(丙烯酸樹脂類)

a. 用途

i. 固結土砂，穩定邊坡，常應用於農地遭受沖蝕以及崩塌坡面等地區。

ii. 防止種子遭受沖蝕，進而增加種子存活率，以達到植生綠化之效。

iii. 有快速綠化之功效。

b. 特性

i. 原始乳膠劑係粉顆粒狀，加水稀釋後，其不溶物含量僅佔少數，極易與植生基材混合，並保持其黏性。

ii. 乳膠劑其陰離子性佳，可以協助種子發芽及協助土壤有機質之分解，適合使用時間一般為施工之初、中期，促進植物生長。

c. 成分

一般是以丙烯酸為主成分的多重合樹脂，由丙烯酸甲烷、丙烯酸合成橡膠、苯乙烯、丙烯晴等物質合重體所製成，其單一物

質對植物生長之影響較高。

B. 團粒化劑

a. 團粒化劑之定義

團粒化劑(aggregating agent)一詞主要由日本琉球引進，產品名稱為 Polisoil，其產品包括主劑(B 劑)及副劑(L 劑)，依據日本綠化工學會編輯之綠化技術用語事典(1990)，團粒化劑定義係指「合成高分子系列之土壤改良劑」，主劑(B 劑)主要成分為 Polyvinylalcol(聚乙烯醇)、polyacrylic acid(聚乙烯酸)，melamine(三聚氰胺)等合成樹脂，或陽離子性合成高分子等，副劑(L 劑)為丙烯酸樹脂類，為一般的黏著劑或乳膠劑，主劑或副劑皆具有親水性基與疏水性基，親水性基可以使藥劑隨水分入滲至土壤內部隨水分蒸發，疏水性基就會在土壤表面結膜，結合土壤粒子或促進土壤團粒化效果，亦具有改善土壤通氣性、透水性之功能。

b. 團粒化劑一般物化性質介紹

i. 具結合土壤粒子或促進土壤團粒化效果。

ii. 針對土壤膠質表面斥水性，亦具有改善土壤通氣性、透水性之功能。

iii. 適合使用時間一般為施工之初、中期。

iv. 團粒化劑顏色一般為乳白色、白色或淺色系列。

v. 粘度視產品不同而略有改變，一般為 1200-1300 cps(25 ℃)。

vi. 濃度調配可依據需求而調配，可由 10~50 % 不等。

vii. pH 以不危害土壤及植物和生態環境為主，通常介於中性到微酸性間。

viii. 比重為 1.1 -0.1。

ix. 保存期限需一年以上。

C. 高分子化合物黏著劑(以 Kuricoat C-710 為例)

a. C-710 為醋酸乙烯與乙烯共聚合物，外觀為乳白色液體，pH 值介於 5.0~7.0 間(原液)；黏度為 200~1000mPa・s；比重為 1.05~1.07，未含重金屬。

b. 為功能性強的降雨侵蝕防止劑，常為 20kg 裝。施工後與土粒快速結合，形成富通氣性的凝固層，以摻土固定，防止降雨侵蝕。

c. 因屬低黏性，可使作業效率更向上提升。為黏度低的液體，於施工現場溶解，順利地進行噴塗作業，可大幅地縮短作業時間。

d. C-710 為醋酸乙烯與乙烯共聚合物，外觀為乳白色液體，pH 值介於 5.0~7.0 間(原液)；黏度為 200~1000mPa・s；比重為 1.05~1.07。未含重金屬，對植物無影響。

D. 有機材料黏劑

a. 天然樹脂：降雨強度大地區可選用耐水佳之樹脂類黏著劑，如：尿素甲醛樹脂及聚醋酸乙烯樹脂。

b. 樹皮粉：如楠木樹皮粉等，遇水便會產生黏性。

c. 植物膠：於植生粒劑拌合過程中起到潤滑作用，提供粒劑纖維與土壤之間更強的結合力，有效促進土壤團粒結構的形成，防止風和雨水造打擊植生粒劑之撞擊傷害，於乾燥炎熱的天氣裏，表層膜可以閉潮氣，降低粒劑的水分蒸發量。

d. 澱粉類：常為白色膠狀物體，如馬鈴薯澱粉製品澱粉類糊劑等。

7. 種子材料

(1) 植生粒劑適用之種子考量要點

植生粒劑應用之種子材料物種，除需考量其植生復育效益及植生演替外，亦需考慮種子大小，以方便植生粒劑製作。在應用種子材料之選擇方面，可以下列因素綜合判斷：

A. 植物種類之選擇應以鄉土(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。

B. 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。

C. 崩塌地自然演替之先驅優勢植物，易於採種，繁殖且生長快速者。

D. 防災功能較強或水土保持推廣應用之木本植物種子，適於崩塌地植生施工或生長者。

E. 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。

F. 木本植物以現地植物種子材料為主(仍需植生演替推測資料)。

G. 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。

(2) 植生粒劑適用之物種

綜合上述條件，植生粒劑應用之種子材料物種如下表：

表 2-12 植生粒劑應用之種子材料

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
小葉百喜草	*Paspalum notatum*	禾本科 雀稗屬	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
高狐草 (綠柏草品系)	*Festuca arundinacea*	禾本科 羊茅屬	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
狗牙根 (百慕達草)	*Cynodon dactylon*	禾本科 狗牙根屬	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
多年生黑麥草	*Lolium perenne* L.	禾本科 黑麥草屬	中、高海拔 (1,500~2,500m)	0.2-0.4 m 多年、叢生	播種	460	噴植草種
類地毯草	*Axonopus affinis*	禾本科 地毯草屬	中、高海拔 (2,000 以下)	0.05-0.35m 多年、匍匐莖	分株 播種	2,500	邊坡植生 草溝
鐵掃帚	*Lespedeza cuneata*	豆科 胡枝子屬	高中低海拔 (3,000 m 以下)	0.6~1m 多年、直立喬木	播種	---	邊坡植生
山胡枝子	*Lespedeza bicolor*	豆科 胡枝子屬	低海拔	常綠灌木	播種	160	噴植樹種 荒山植生
山芙蓉	*Hibiscus taiwanensis*	錦葵科 木槿屬	海拔 1200 公尺以下	落葉性大灌木或小喬木	播種	---	噴植樹種
台灣欒樹	*Koelreuteria henryi*	無患子科 欒樹屬	低海拔	落葉喬木	播種	25	邊坡植生 園景樹種
羅氏鹽膚木	*Rhus javanica var. roxburghiana*	漆樹科 漆樹屬	中、低海拔 (1,900 m 以下)	半落葉喬木 高 4 m	播種	100~150	邊坡植生 荒地植生
台灣赤楊	*Alnus formosana*	樺木科 榿木屬	高中低海拔 (3,000 m 以下)	10 公尺 常綠喬木	播種	1,250	邊坡植生 荒地復舊
台灣櫸	*Zelkova serrata*	榆科 櫸屬	中、低海拔 (300~1,000 m)	落葉喬木	播種 扦插	45~50	邊坡植生 造林樹種
羊蹄甲	*Bauhinia variegata*	豆科 羊蹄甲屬	中、低海拔 (1,600 m 以下)	落葉小喬木	播種 扦插	---	邊坡植生 園景樹種
山胡椒	*Litsea cubeba*	樟科 木薑子屬	1,000m	落葉灌木或小喬木	播種	---	邊坡植生 坡地植生
相思樹	*Acacia confusa*	豆科 相思樹屬	中、低海拔 (1,600 m 以下)	5 m 常綠喬木	播種	350	噴植樹種 荒地植生 先驅樹種

(3) 種子材料之檢驗

為控制植生粒劑之植生效果，有必要實施種子品質控制檢測，選用之種子需依據國際種子檢查協會(ISTA)規則及台灣CNS2166N4014 農業類種子檢測法之規定,檢測種子品種或品系、種源、發芽率及純潔度分析(雜質)...等。

種子材料購買時須挑選品質有保證者，一般以發芽率高、夾雜物含量少、參雜其它種子含量低為佳，亦即選擇採取地、採取年月日、發芽率、純度記錄清楚者。

A. 種子純度檢測

一般種子中常混有異種、野草之種子、莖葉碎屑及砂粒等夾雜物，將降低品質種子純度及售價。故種子純度之檢定，有助於適宜種子之選擇，其計算式如下：

$$\text{種子純度}(\%)=\frac{\text{除去夾雜物後純潔種子之重量}}{\text{樣品重量}}\times 100\%$$

B. 種子發芽率及發芽勢計算

發芽率(germination rate)係指在指定發芽條件下，正常發芽種子數目之比率。發芽勢(germinating energy)指自發芽試驗開始後，某一特定期間之發芽率，一般為最高發芽率日期(或稱發芽勢截止日期)之總發芽率，為決定種子的最大發芽潛能，用於不同批種子品質之比較及估算田間播種之價值。發芽率與發芽勢有如下之計

算方法：

$$\text{a. 發芽率}(\%) = \frac{\sum A}{N}$$

$$\text{b. 發芽勢}(day^{-1}) = \frac{(100)(A_1+A_2+A_3+\cdots+A_n)}{(A_1T_1+A_2T_2+A_3T_3+\cdots+A_nT_n)}$$

$$\text{c. 發芽勢}(\%) = \frac{\text{發芽最高峰日期(發芽截止日期)之發芽總數}}{\text{供應種子總數}}$$

式中：A=發芽種子數

T=發芽時間(日)

n=「試驗」後天數

ΣA=發芽種子總數

N=供試種子總數

(4) 應用種子常見問題與對策

A. 種子材料是否須預措處理或處理方法，需依相關經驗資料進行之。一般而言，木本種子材料發芽速度較慢，使用前應進行預措處理，以提高發芽率縮短發芽時間。草類種子可不預措處理，以延長其播種後之發芽活力。

B. 植生粒劑製作完成後，其基材與種子材料混合，無法確切了解實際使用材料是否符合設計配方規格。故植生粒劑於製作前應對於植生資材進行相關材料、數量之檢查核驗。

C. 草木本種子由委外採集或購買，有時無檢驗標準，易造成誤用問題。因此於購買時，應注意其種子包裝、容器或標籤上需是否有附上學名、品種名稱、種苗業者名稱及地址、種類及中文品種名稱、品種權登記證號、生產地、重量數量、發芽率、測定日期、其他經中央主管機關所規定之事項

D. 部分不同植物種類之種子不易辨認(如(多年生)黑麥草、多花黑麥草、高狐草等)，因此種子購買前應進行確認以避免購買錯誤種子。另外，應用種子儲存不當影響品質，造成後續發芽率低。

E. 理論上，草木本植物混播是理想之方法。但崩塌地屬較不可能生長木本植物之立地條件時，可先播草類，俟其衰退後再播木本較能把握木本植物之生長。

8. 其他材料及相關應考量事項

(1) 其他材料

A. 著色劑

於植生粒劑上使用染色劑，可易於辨別施工區域及投撒後施工區域與周邊景觀調和，但材料需檢附物質安全資料表(LD50>5000mg/kg)、產地證明及產品規格檢驗報告書(需由國家認可之檢驗機構提出)，一般常使用顏色為綠色。

B. 鳥類忌避劑

為避免鳥類等生物對種子、初期發芽苗及所施作基材等之危害，於粒劑內添加之藥劑，以達到保護種子發芽生長等功能。唯鳥類忌避劑之使用需考慮其實效性及可能對生態生物之影響問題等。

C. 水

儘量以較少量之水分，且屬乾淨、無害植物生長之水分。

(2) 相關應考量事項

A. 化學肥料之使用，應考量其易於溶解而可能造成水庫集水區水質影響之問題。

B. 含種子之材料或製成含種子之粒劑，應適宜之乾燥儲藏及維持其種子活力與發芽率。

五、 植生粒劑製程之精進試驗

(一) 前期植生粒劑製作流程圖

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。前期植生粒劑製作流程圖及製作方法如圖 2-32、圖 2-33 所示。

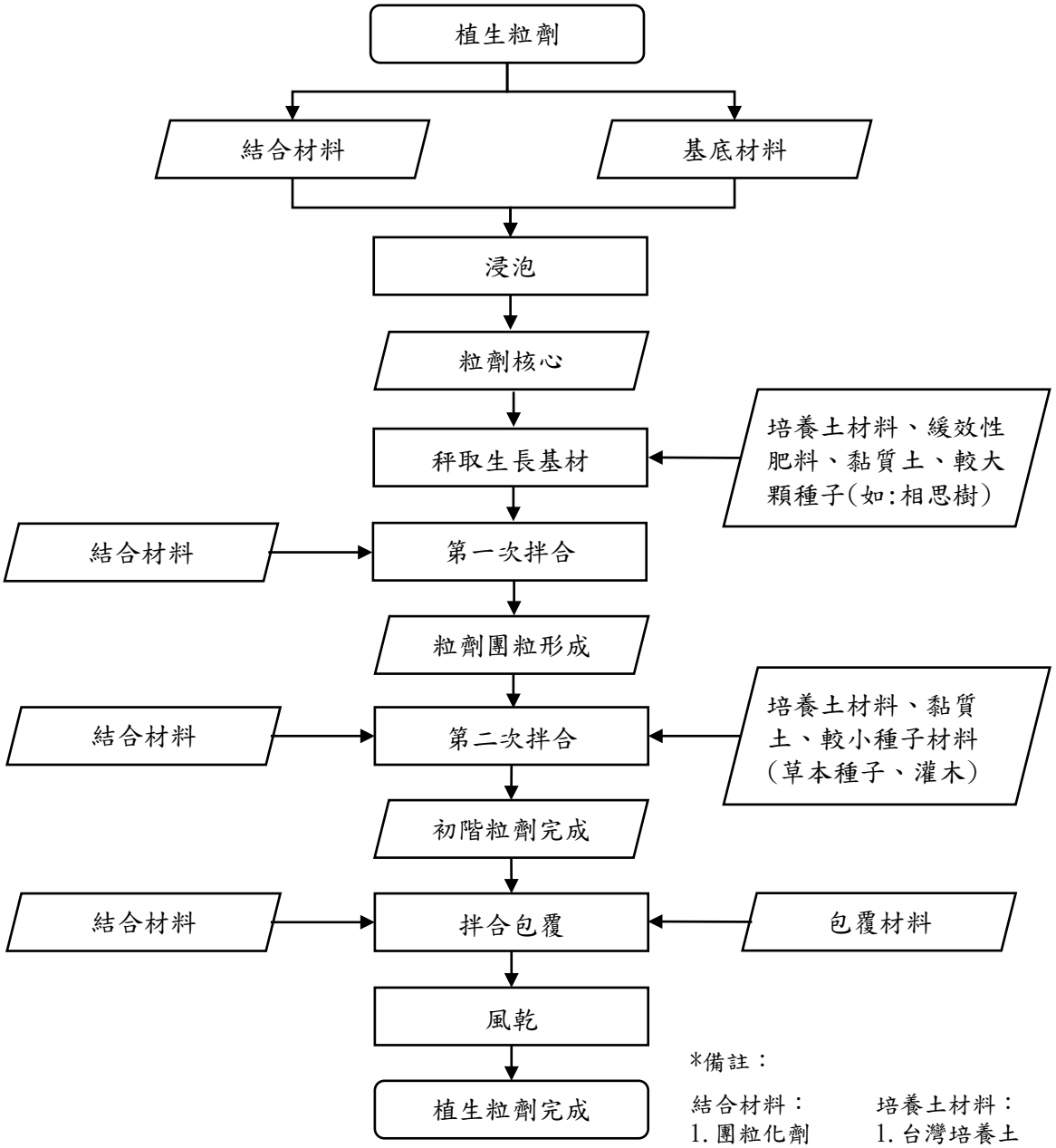
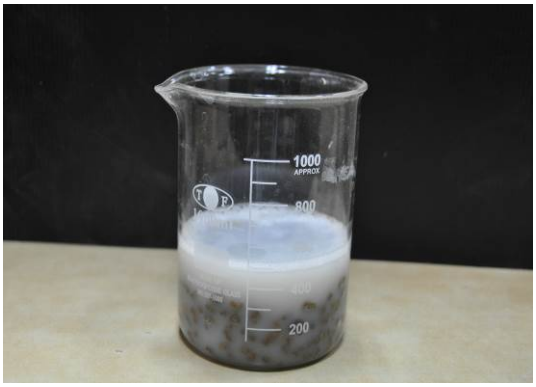


圖 2-32 前期植生粒劑製作流程圖(使用預拌桶製程)



1.秤取基底材料與結合材料



2.基底材料泡入團粒化劑





3.秤取生長基材，並將浸泡之核心放入預拌桶

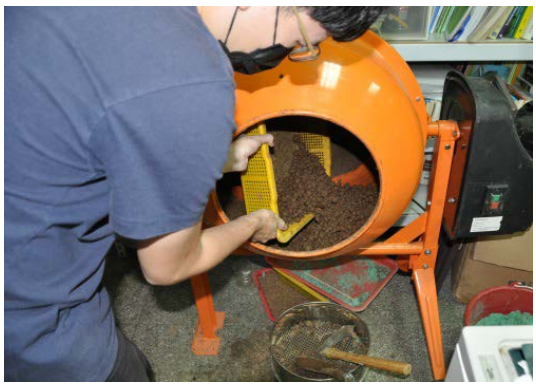


4.加入生長基材與結合材料進行第一次拌合



5.粒劑團粒形成





6.生長基材與小粒種子，拌合均勻後倒入預拌桶進行第二次拌合



7.拌合至材料呈球型



8.初階植生粒劑



9.再次放入預拌桶，進行拌合



10.取出使粒劑風乾，完成製作

圖 2-33 前期植生粒劑製作流程(使用預拌桶製程)

(二) 精進後植生粒劑製作流程圖

使用前期植生粒劑製作方法，所產出之粒劑直徑大小不一，製作步驟繁多複雜且製作效率較低，不利於 UAV 植生播種工法之推廣。為改善前期植生粒劑製作方法，本計畫嘗試引入資材切割機，以達到促進植生粒劑規格化及提升粒劑製作效率之目的，製作流程圖及製作方法如圖 2-34、圖 2-35 所示。

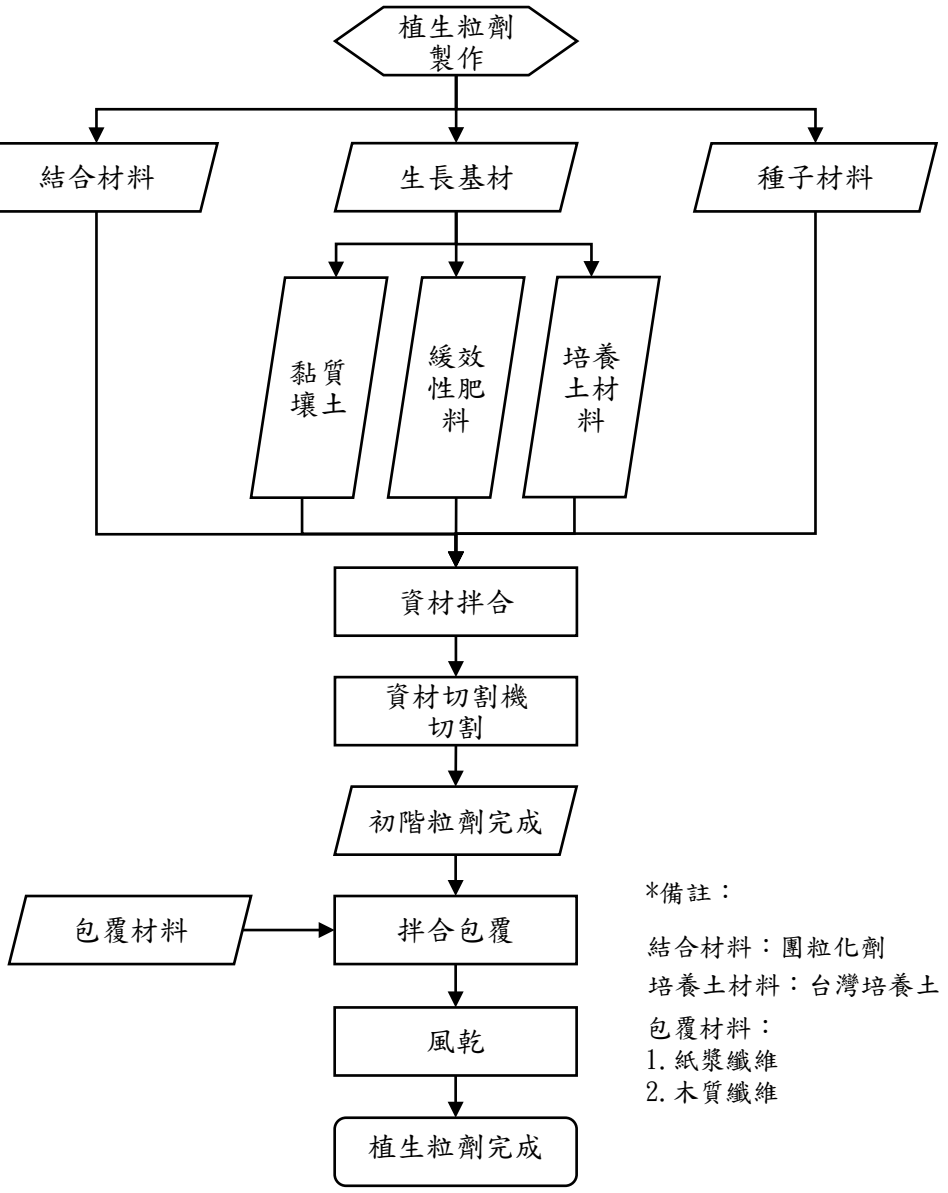


圖 2-34 精進後植生粒劑製作流程圖(使用資材切割機製程)




1.秤取種子材料(包含所有草、木本種子)、結合材料(團粒化劑、黏著劑...)與生長基材(培養土、黏質土、緩效性肥料...等)



2.將種子材料與生長基材混合



3.加入結合材料拌合




4.將拌合基材放入切割機內，拌合過程須持續放入基材



5.初階植生粒劑



6 秤取包覆材料



5.將初階粒劑及包覆材料放入預拌桶進行包覆拌合



6.取出使粒劑風乾，完成製作

圖 2-35 精進後植生粒劑製作流程(使用資材切割機製程)

(三) 前期製程與精進後製程比較

表 2-13 粒劑製程方法比較表

製作方法	前期製程(使用預拌桶製作)	精進後製程(使用資材切割機製作)
粒劑材料	1. 培養土材料 2. 緩效性肥料 3. 黏質壤土 4. 基底材料 5. 包覆材料 6. 結合材料 7. 種子材料	1. 培養土材料 2. 緩效性肥料 3. 黏質壤土 4. 包覆材料 5. 結合材料 6. 種子材料
製作機具(所需電壓)	預拌桶(220V)	預拌桶(220V)、資材切割機(110V)
粒劑大小	粒徑大小不一，難以控制	粒劑大小較為均勻
製作效率	2kg/hr	17.5kg/hr
製作步驟	較多且繁複	簡單
團粒化劑使用量估算	依實際製作現況判斷用量	需準確依材料配比添加
材料配比自由度	種子材料大小或形狀較為特殊時，材料配比調整上較容易。	當種子材料若形狀較不規則或粒徑較大，資材切割機時易無法正常運作，故須調整材料配比配合切割機運作。

六、 材料存放與施工查驗

(一) 材料之存放

所有材料進場未施工前及施工中存放，需考慮日曬、雨淋、溫度、濕度、鳥獸啃食等五項，分別說明如下：

表 2-14 植生粒劑應用材料進場存放規範表

材料種類	日曬	雨淋	溫度	濕度	鳥獸啃食	存放規定
土壤材料		✓				塑膠帆布覆蓋及低溫保存
纖維材料						密封袋封存
緩效性肥料			✓			密封袋封存，低溫保存
種子材料					✓	塑膠帆布覆蓋及低溫保存
團粒化劑	✓					鐵桶封存，隔絕空氣
培養土材料						塑膠帆布覆蓋及低溫保存

(二) 施工檢驗停留點與檢驗項目

表 2-15 UAV 播種植生工法停留點檢驗項目

編號：

工程名稱	○○工程	工程編號	○○○○○○
承包廠商	○○(植生)公司	監造單位	○○公司
檢查位置	UAV 播種作業	檢查日期	○○年○○月○○日
檢查時機	□施工中隨機檢查 V 檢驗停留點檢查 □施工完成檢查		
檢查結果	○檢查合格　╳有缺失需改正　／無此檢查項目		

檢查項目	依設計圖說、規範之檢查標準（定量定性）	實際檢查情形（敘述檢查值）	檢查結果
1.基材材料檢驗	按圖說規範的規定取樣，附材料品質證明或將樣品送交學術單位或合格之試驗驗單位檢驗(基材配比)。		
2.材料數量規格	依圖說規範	(應填入具體量化數字)	
3.粒劑材料配比	依圖說規範	(應填入具體量化數字)	

缺失複查結果：

□已立即完成改善（檢附改善前中後照片）

□未完成改善，填具「不符合事項追蹤改善表」進行追蹤改善

複查日期：　年　月　日

複查人員職稱：　　簽名：

備註：

1.檢查標準及實際檢查情形應具體明確或量化尺寸。

2.檢查結果合格者註明「○」，不合格者註明「╳」，如無需檢查之項目則打「／」。

3.嚴重缺失、缺失複查未完成改善，應填具「不符合事項追蹤改善表」進行追蹤改善。

現場工程師簽名		監造單位檢查人員簽名	

七、 植生材料查驗項目

(一) 植生粒劑規格驗收

植生粒劑經製作完成後，各項驗收標準如下：

1. 植生粒劑尺寸

植生粒劑製作完成之直徑應屆於 2.5~3.5 公分之間，以能完整將種子包入粒劑為準。應以避免播種時粒劑差異過大，造成播種器播種困難及生長分布不均。

2. 植生粒劑單位重量(比重)

植生粒劑製作完成並風乾後，其比重應屆於 0.8~1.0 之間。因使用生長介質不同，其製成粒劑後之比重略有差異，如培養土製成之粒劑比重約 0.97、泥炭土 1.88、菇類堆肥 0.92。

3. 植生粒劑強度

因植生粒劑需透過 UAV 飛行載具自高空播種，故其製作完成後之強度，需可自 30 公尺高度落下後不破碎，且仍可持續生長為標準。

4. 植生粒劑水分含量

植生粒劑內之水份含量，對於粒劑內種子發芽具有直接影響，故粒劑製作完成風乾後，其水分含量應小於 5~10%，以維持植生粒劑之儲存與有效期。水分含量計算公式為

$$W = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2}$$

M_1:風乾後(飽和後)重量

M_2:烘乾後重量

以培養土做為生長材料製成粒劑，風乾實測值約 8.24%。而植生粒劑充分吸水後之最大水分含量，亦是粒劑於野外生長之重要關鍵，因此，植生粒劑本身最大含水量應屆於 30~75%之間，以確保粒劑於野外之生理作用、養分攝取以及養分的傳輸。

5. 植生粒劑種子含量

植生粒劑製成後其內部草、木本種子量經撥開查驗，應符合不同大小比例之種子含量(以直徑 3 公分之植生粒劑而言，其草本種子量應含有約 380 顆，木本種子應含有約 40 顆)。



圖 2-36 植生粒劑種子材料撥開查驗

表 2-16 植生粒劑規格驗收表

工程名稱		取樣日期	
送驗單位		驗收單位	

驗收項目		驗收標準
1	粒劑尺寸(cm)	直徑以 3 公分為準，其誤差值±0.5cm。
2	粒劑比重	風乾粒劑比重 0.8-1.0。
3	粒劑強度(%)	自 30 公尺高度落下後，粒劑完整度。
4	粒劑重量水分含量(%)	風乾後，水分含量應小於 10%(乾重比)。
5	粒劑種子含量(粒)	以 3 公分植生粒劑而言 草本含有約 300 顆，木本種子應含有約 30 顆。

	驗收項目		實測值					是否符合標準
			樣本 1	樣本 2	樣本 3	樣本 4	樣本 5	
1	粒劑尺寸(cm)							☐符合 ☐不符合
2	粒劑單位重(g/cm^3)							☐符合 ☐不符合
3	粒劑膠結情形							☐符合 ☐不符合
4	粒劑水分含量(%)	風乾後						☐符合 ☐不符合
		最大值						
5	粒劑種子含量(粒)	草本						☐符合 ☐不符合
		木本						

(二) 植生粒劑發芽試驗

1. 植生粒劑發芽株數

製作完成之植生粒劑，經風乾後將隨時間增長而逐漸降低發芽率，因此應逢機取樣並置於土盆內進行 28 天發芽試驗，以評估該批粒劑之發芽情形。以直徑 2 公分植生粒劑而言，其 28 天草本總發芽株數，應達到 50 株以上，木本植物則應達 5 株以上，直徑 3 公分植生粒劑，其 28 天草本發芽總株數應達 100 株以上，木本植物應達 10 株以上。倘若粒劑發芽株數未達標準，則應適時增加種子材料量或於施工現地補播植生粒劑。

2. 植生粒劑平均發芽日數

植生粒劑之發芽速度以粒劑平均發芽日數檢驗，一般草本種子可於 7~14 天發芽，木本種子則視其種子特性而決定其發芽日數，但因植生粒劑於製作過程可能打破種子休眠，故可能造成部分種子發芽日數受影響。因此製作完成或儲放許久之植生粒劑應於播種時進行平均發芽日數之檢測，以了解植生粒劑是否受到影響。植生粒劑內草本之平均發芽日數應於粒劑播種試驗後 7~14 天內測定發芽率，木本種子則於播種後 15~21 天內測定發芽率，但仍應依據使用種子物種，及是否有實施預措處理，進行調整。倘若植生粒劑之平均發芽日數已影響甚劇，遲滯許久尚未發芽，則應考慮重新製作，或是補播植生粒劑。植生粒劑平均發芽日數計

算方法如下：

平均發芽日數=Σ(每日發芽粒數×發芽試驗天數)/總發芽粒數

表 2-17 植生粒劑發芽驗收表

工程名稱		取樣日期	
送驗單位		驗收單位	

驗收項目		驗收標準
1	粒劑發芽測定日數(天)	草本植物種子應於粒劑播種試驗後測定發芽數至第 7~14 天；木本植物種子應於粒劑播種試驗後測定發芽數至第 15~21 天。 倘若應用物種發芽日數不同，或有實施預措等相關處理，需另外進行調整。
2	種子發芽株數(株)	徑 3cm 植生粒劑 28 天草本發芽株數，應達到 50 株以上，木本植物則應達 5 株以上

	驗收項目		實測值					是否符合標準
			樣本 1	樣本 2	樣本 3	樣本 4	樣本 5	
1	種子發芽株數(株)	草本						□符合 □不符合
		木本						
2	粒劑平均發芽日數(天)	草本						□符合 □不符合
		木本						

備注：

八、 施工作業前後影像記錄與監測

UAV 播種植生施工過程需利用相機、攝影機等儀器進行拍攝，以觀察記錄粒劑落下之情況與分布情形。並於施工前、後進行 UAV 影像拍攝，利用航拍影像進行覆蓋度分析，以了解植生播種後續之發芽情形與覆育效益。



1.植生材料數量檢查(粒劑)



2.植生材料裝填



3.施工位置範圍確認



4.執行播種任務



5.UAV 播種影像記錄

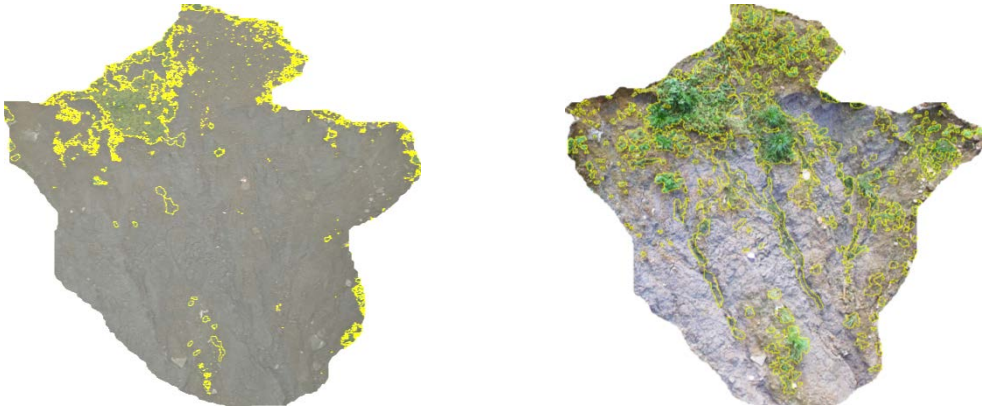


6.利用 UAV 後續拍攝監測

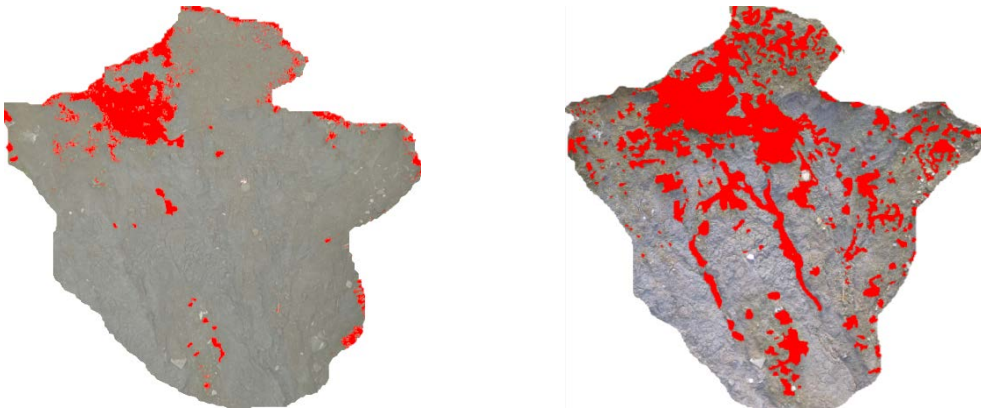
圖 2-37UAV 播種植生施工流程照片例



使用 Image J 分析之目標坡面



植被覆蓋之選取範圍



植被覆蓋之面積分析

圖 2-38 施工前後覆蓋率分析範例(左：播種前，右：播種後)

九、 施工後之現地檢查驗收

(一) UAV 播種植生工程驗收

UAV 播種工法其施工效益應類似人工撒播、點播或水力式直接噴植之效益。依水土保持手冊(2017 年版)植生覆蓋率之判定標準建議，在自然開採或局部客土之坡面導入植物後，其平均覆蓋率應達 75%以上。但由於 UAV 播種工法之作業地點仍較一般人可達地點之裸露地條件惡劣，地形變化亦大，植物種子發芽生長之情況無法完全掌控，亦無法精確推估植生覆蓋率。播種目的種子可發芽生長之區域仍需借助後續植生入侵演替之效益達到之效果。綜合上述之說明，植生檢驗合格之標準，不建議以植生覆蓋率作為驗收標準，以實際撒播粒劑種子量完成度，飛行趟次、載重量等書面紀錄及側拍、伴飛影像等影像佐證之方式驗收。

1. UAV 播種工法驗收原則

(1) 依欲施做之面積數定出所需使用之各項材料數量，於施工前廠商須進場接受點驗與品質抽驗。

(2) 以一架次所能播種之面積數，做為植生種子每次拌合量依據。

(3) 除黏著劑、肥料等植生材料外，另添加黑色或綠色之色劑，使播種之區域能清楚顯示。藉施工前、後之相片比對可知播種均勻程度。

2. 施工影像照片

航空植生宜以劃定植生作業區域之裸地率為驗收依據，可依施工區同角度之施工前、中、後的空拍照片所顯示之成果為判釋依據。

3. UAV 作業查驗項目

UAV 作業驗收方式須檢附施工日誌紀錄表(表 2-18)、每趟次作業填寫紀錄表(表 2-19)之書面資料，以及作業過程中伴飛或側拍影像等。

表 2-18 施工日誌紀錄表

施工日誌				
執行編號	2019_001	行政區域	○○縣○○鄉○○村	
出勤人數	○人	執行天氣		
抵達時間	年　月　日　點　分			
執行期間	年　月　日　點　分至　點　分，共計　小時			
植生模式	□粒劑撒播 □乾料撒播 □純種子撒播			
植生面積	公頃			
崩塌地坡度	度			
執行地點	X 坐標(97)		Y 坐標(97)	
崩塌地點	X 坐標(97)		Y 坐標(97)	
作業範圍	(圖示)			
航線規劃 (投放點位)	(圖示)			
總飛行時間	小時　分			
總執行趟次	趟			
投放高度 (離地高度)	公尺			
總撒播總量	公斤			
崩塌地作業前照片	(撒播前空拍)			
崩塌地作業後照片	(撒播後空拍)			
側拍撒播作業影像	(撒播前、後影像)			

表 2-19 每趟次作業填寫紀錄表

趟次	載重量(kg)	起飛時間	趟次	載重量(kg)	起飛時間
1			11		
2			12		
3			13		
4			14		
5			15		
6			16		
7			17		
8			18		
9			19		
10			20		

4. 非目標植物覆蓋率之調查

植物種子播種後，無法期待其全部發芽、生長，但植生驗收時必須確認植生目標植物群落之比率。原則上，播種後 6 個月目標植生物種以外之植物若超過 20%時，需檢討目標植物與入侵植物彼此間競爭作用與相互影響。崩塌地、泥岩惡地、砂礫岩或其他立地、氣象條件不佳的地區，非目標植物覆蓋率之設計標準得依實際調查時期與現地狀況而調整至 30%(或依合約規定辦理)。

5. 植生粒劑撒布調查

(1) 依施作區域面積定出所需使用之各項材料數量，於施工前廠商須進場接受點驗與品質抽驗。

(2) 以一架次所能酬載之重量，做為植生粒劑數量驗收之依據。

(3) 植生粒劑外層另添加黑色或綠色之色劑，使播種之區域能清楚顯示。藉施工前、後之相片比對可知播種均勻程度。

(4) 粒劑播種撒布狀況調查，原則上；一個施工區域之範圍最少需三個調查樣區每樣區大小

$10m^2$(5m×2m)；如施工面積大於 0.1 公頃時，每增加 0.1 公頃應至少增加一個調查樣區。

(二) 現地植生成果檢查驗收

表 2-20 UAV 植生粒劑播種工程檢查驗收標準(暫定)

(單位:$10m^2$ 調查樣區)

日期	播種後 14 天		播種後 2 個月	播種後 4 個月	播種後 6 個月 ~1 年
成立顆數	大部分粒劑內種子未發芽的情況	約 100 顆以上	約 100 顆以下	80 顆 以下	80 顆 以上
裸地率	-	20%以下	20%以上	30%以 上	30%以 下
備註	當播種植生粒劑群集或極端不均勻情況，種子發芽未達預期成果的地區。視為不合格，需進行局部區域補播作業。	大部分粒劑內種子呈現發芽之情況。木本植物種子發芽雖少，但預期仍可能發芽生長。視為合格。	主要導入植物種子發芽生長株數少，或發芽後成長不良、死亡，視為不合格。需進行追播作業。	需進行追播作業。	視為合格。

註：

1. 成立顆數指 $10m^2$ 調查樣區內，植生粒劑呈現種子發芽生長情形之顆粒數
2. 裸地率，指崩塌地區域範圍(A)，去除該區內土木構造物、岩石、浮石、極陡坡地或沖蝕嚴重地區等植物無法生長之區域(B)，設定為植生施工範圍(A-B)。其播種粒劑後沒有發芽生長之面積(C)比率，或以調查樣區裸地比率計算之。

   裸地率＝$\frac{(C)}{(A)-(B)}\times 100\%$ 或 $\frac{\text{沒有粒劑發芽生長之總樣區數}}{\text{調查之總樣區數}}\times 100\%$
3. 成立顆數為調查樣區內實測發芽生長粒劑顆數；裸地率以整個植生施工區域平均值計算，或以樣區出現裸地之頻率計算。調查記錄困難之情況時，影像資料可做為判斷依據。
4. 每次追播作業之植生粒劑用量，以原設計播種量之 20%以上為準

(三) 追播、追肥

崩塌地因地屬偏僻、地形起伏，通常缺乏植物所需之水分、養分，故種子播種後，如發現種子發芽或發芽後枯萎不良，無法達到預期成活率時，需進行追播。追播應於播種後兩個月及四個月養護期進行，俾於播種後四個月達到預期覆蓋之效果。

UAV 播種植生施工區域通常立地條件較差，且屬較粗放之植生作業方法，故大多無法一次即達到良好植生覆蓋之情形，故在種子發芽生長初期，給予適當之追肥有其必要，追肥期通常設定為一~二年，亦可配合追播時進行追肥作業。在草類生長較好的地區追肥之種類氮肥減少、磷肥增加，有助於後續木本植物之入侵生長。

(四) 領款辦法

施工完竣經檢驗合格領取 60%工程款植生覆蓋率達 75%以上時，得領取 20%工程款，一年後養護期滿，植生覆蓋率仍維持 50%以上，領取尾款結案。

(五) 植生成效評估

UAV 播種植生工程與一般坡地植生工程的不同，在於工程施工後植物依序繁殖生長而致達到預期目標之植物群落，亦即應以工程施工後植物之發芽、生長評估為首要要點。

1. 植生工程施工地區，常因坡面排水功能具有缺失而造成部分植生基材流失或崩塌之情形，需特別加以確認。
2. 植生成效之判定係由使用植物、施工時期、施工目的等，再經過一定時間後進行確認。評估所播種的植物達到植物群落形成之成果，草本群落約為 1~2 年，木本類植物群落約為 3~5 年。
3. 植物之生長狀態，因坡面方位、地形、地質、水分狀態等不同，於生長初期會產生部份的不均勻，所以植生成果應以坡面全體狀態來判斷。
4. 施工植物種子通常無法全部發芽、生長，是否形成原設計目標植物群落，為判斷最終植生成果之要點。
5. 播種工法施工基地整體成長植株數量，受施工後氣象因子之影響甚大。成長數量不足時，必須觀察並確認其原因後，再進行追播工作。
6. 需持續追蹤觀察植生是否出現衰退、枯萎、生長不良等現象。

第三節 無人飛行載具(UAV)播種植生工法成效檢討與單價分析

一、 UAV播種植生工法成效檢討

無人飛行載具(UAV)播種植生工法之施工成效檢討，包括前期(107 年度)計畫成果後續調查與各子計畫試驗研究成果等，加以整合分析。由 UAV 播種工法之可行性分析及 SWOT 分析，概略說明 UAV 播種工法之優劣、機會與威脅等，包括工程期程、效益、價格、人力、物力以及大面積施工...等。

(一) UAV 播種植生粒劑工法可行性評估

依 Uniwersytet Jagielloński 於 2011 年提出之可行性分析，分別以「技術可行性」、「操作可行性」、「合法可行性」、「時程可行性」及「經濟可行性」等五個層面評估 UAV 播種植生粒劑之工法於崩塌地之適宜性及可行性。各項目之評估結果列茲如下：

1. 技術可行性

過去，許多零星分佈、噴植機具難以到達之崩塌地，一直是令政府頭疼的整治對象，因該區域以一般傳統工法難以達到全面性治理。雖過去曾應用直升機航空噴植進行整治，但因該工法需有相當之飛行技術與機具設備才得以執行，以至於現階段對於這些零星崩塌地仍舊束手無策。因 UAV 具有相當之機動性與即時性，經本研究製作之植生粒劑配合 UAV 於崩塌現地進行播種，成

果顯示確實可將種子導入機具無法到達之區域，並達到植生復育能力。由此可見，該工法應可突破傳統工法之困境，使這些崩塌區域達到更有效的整治效益。

2. 操作可行性

現今 UAV 之飛行技術，於市場上已相當普及，甚至有許多相關社團、公司等皆有相當之操作技術與機具設備。而植生粒劑應用之基材、物種，大多是以市面上常見，取得容易之材料所製作。倘若預將該工法應用於其他環境區域，僅需針對該區域選擇適宜之材料、物種，並依據施工面積、立地條件選擇符合規格的 UAV 與播種機具，便可達到相當之效益。由此可見，該工法之操作性、執行性，相較傳統工法更加容易且方便。

3. 法律規範性

民航局 2019 年修定民用航空法無人機專章將 UAV 納管並訂定相關罰則，加以保障飛航及民眾安全。依據民用航空法無人機專章中第 99 條之十四內文寫到從事遙控無人機飛航活動時，UAV 飛行高度不得逾距地面或水面 400 呎，也不得在日落後至日出前的期間飛航；不能裝載危險物品，不得以 UAV 投擲或噴灑任何物件…等。

但針對 UAV 投擲或噴灑物件，政府機關（構）、學校或法人

經檢具有關文書向民航局申請核准者，得不受此限制，可另依規定申請核准、取得使用同意。

因此未來如欲將該工法應用於崩塌地治理，則應擬定相關之申請許可，並通過審查核定，以符合相關法律之規範。

4. 時程有效性

過去播種工法於施工前，需先將噴植機具、基材、種籽等逐一運至現地後，於現地進行拌合，且若遇到機具難以通行之路段，還需開闢施工便道，才得以進入施工，因此經常難以於時限內完工。而應用直升機航空噴植時，則需於施工前，進行航線申請、與機具之改裝，以至於施工過程繁瑣複雜。

UAV 播種植生工法，其施工僅需於播種前利用 UAV 至崩塌現地進行勘查，依勘查結果選擇適宜之物種與基材製作植生粒劑，因植生粒劑製作完成後可風乾存放，故可於施工前先行製作。之後利用現勘結果以座標規劃航線，再選擇合適之飛行載具與播種機具依照事先規劃之航線將植生粒劑導入目標點位，即可於時限內完成施工。

5. 經濟可行性

UAV 播種植生粒劑工法其施工單價主要有三部分，「植生粒劑材料成本」、「UAV 與播種機具成本」、「飛行操作與粒劑製作等

勞力成本」。其中，因植生粒劑所應用之植生基材與物種大多屬市面上容易取得，且較適宜崩塌地之材料，故材料單價相較過去傳統工法，並無太大差異，但因植生粒劑是以點播方式進行導入，與以往採全面式噴植之施工方式不同，故材料使用量相較過去傳統工法較少。

現階段 UAV 之技術相當純熟，其飛行力、承載力...等皆可達客製要求，故飛行載具與播種機具皆可依使用目的、條件進行設計與改良，以達到較佳之經濟效益。且 UAV 並非消耗物品，故設計完成後，便可於多處區域重複進行施工。

因該工法於施工前，需先將植生粒劑製作完成並存放，故施工單價需增加粒劑製作以及 UAV 操作之勞力成本。但相較傳統工法，因該工法無須於現地運用機具進行拌合，因此可減少機具設備之搬運以及人物力之進出費用。由上述可知，UAV 播種植生粒劑工法相較過去工法，具有更佳之經濟性。

二、 UAV播種工法與相關工法之比較分析

(一) UAV 播種植生工法 SWOT 分析

依據上述相關試驗以及初步評估結果，本研究以 SWOT 強弱危機進行分析，以了解該工法整體優勢、劣勢、未來解決機會與可能遇到之威脅。SWOT 分析結果如下表 2-21：

表 2-21 UAV 播種植生粒劑工法 SWOT 強弱危機分析

優勢 Strengths	劣勢 Weaknesses
1. 可於零星分佈、一般工程無法進入之崩塌區域進行整治。 2. UAV 操作容易，無須經過複雜的技術訓練，即可快速上手。 3. 植生粒劑可於施工前先行製作儲放，因此施工可快速執行操作。 4. 植生粒劑因內部種子具基材層層包覆，較不易受鳥、蟲啃食。 5. 相較過去傳統工法，更具經濟性及時效性。	1. 相較傳統工法，其施工面積較小，無法大面積施工。 2. UAV 承載粒劑時，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，故後續若需追肥、澆灌，有所困難，除非進行二次施工或於降雨季節作業。 4. 因該工法屬點播方式導入植物，故施工初期，無法像一般坡面植生工法全面均勻覆蓋。
機會 Opportunities	**威脅 Threats**
1. 目前台灣之崩塌地，有許多屬於局部、零星之崩塌無法直接進入整治，因本工法機動性較高，可於這些區域進行治理。 2. UAV 技術日新月異，因此對於該工法之播種技術也將更加精進，未來應用範圍應有更加擴大之機會。 3. 植生粒劑及飛行載具之設備可因地制宜，對於崩塌地治理，可更有效且更快速的達成效益。	1. 該工法屬乾式播種法因補水困難，故需配合降雨量施工，而近年氣候變遷，導致雨季等常規氣候失衡，可能導致施工時間難以掌握。 2. 該工法之應用環境，大多為貧瘠惡劣之崩塌地，因此粒劑播種後所受之環境應力，仍有許多不確定性，將導致植生效益受到影響。

(二) UAV 播種植生粒劑工法效益比較

表 2-22 UAV 播種植生粒劑工法與其他植生工法之效益比較

工法種類 / 比較項目	UAV 播種植生粒劑工法	傳統人工播種工法	直升機航空噴植工法
技術可行性	廣 主要應於機具無法到之零星崩塌地	低 僅用於人工可達且較無危險性之崩塌地	中 經評估符合經濟效益時才得以使用
操作可行性	中	易	難
法律規範性	符合民用航空法無人機專章相關規定作業	既有水土保持技術規範	需經過航線申請及飛行許可
時程有效性	高 植生粒劑可於施工基地內維持發芽潛力至少 60 天	中	低
經濟可行性	中	高	低

(三) UAV 播種植生工法預期困難與解決途徑

1. 相關實際案例文獻少

應用無人機進行農業相關撒播實際案例雖多，但實際利用無人機播種植生粒劑(種子土球)或撒播植生基材之案例則甚少。故本計畫除了以前期(107 年度)委辦計畫之成果為基礎進行更精進之研究改進外，更結合本年度各相關子計畫可能分別完成之實際執行成果加以整合彙整，已達預期之成果。

2. 播植後之植生基材之均勻度與植生覆蓋度難以界定

因崩塌現地除了本計畫導入之植生粒劑物種外，亦會受周遭樹木、雜草之種子源入侵，將導致植生基材播種後其目標物種難以利用影像分析界定。故本團隊除利用影像監測分析等光譜值域資料判釋外，亦擇取部分播種植生試驗地點進行實地調查，以實際確定植生目標物種之發芽生長成效。

3. 工法之成果驗收難以評估

因目前台灣對於無人機播種植生工法之相關研究僅處起步階段，故相較其他植生工法，其相關驗收方式與標準仍相當缺乏。本團隊首先就應用資材建置相關之驗收標準，期能採用材料驗收之方式進行。而實際崩塌地植生復育成果，未來將依崩塌之屬性及更多實際施工案例後，建置其施工成果驗收之標準。

三、 UAV植生粒劑播種植生工法單價分析

本計畫延續 107 年度委辦計畫之單價雛型進行更深入與詳細之編列，並搭配本整合型創新計畫之延伸技術、資材應用、流程規劃進行計算。其分析內容包括植生材料製作成本、UAV 播種裝置、人力施工薪資與施工前後之調查監測等相關作業單價分析，並列表說明，以方便後續施工操作與工法選用評估。

(一) UAV 播種作業基地環境影響之考量

影響 UAV 播種施工作業之外部影響因子包括 UAV 機具起降點距離、飛行作業路線與地形複雜度、飛行高度、風速、播種高度…等。

1. 視界 500m 飛行距離之施工作業

任務直線距離小於等於 500m，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 軸多旋翼 UAV 執行撒播任務。

2. 視界 1000m 範圍內之施工作業

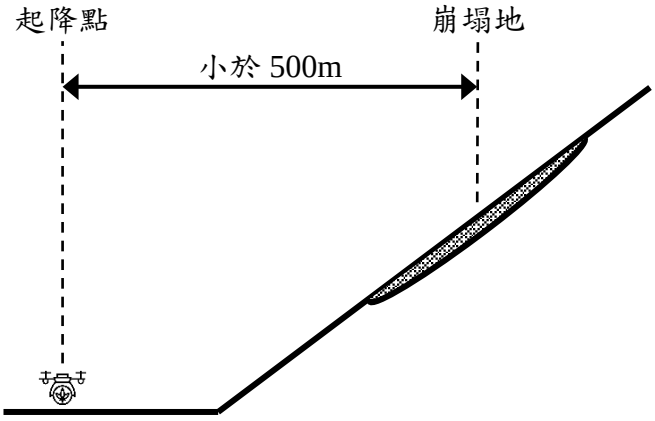
任務直線距離 1 公里範圍內，航線空域通透雖可目視，但中間有許多障礙物；在這樣的條件下，雖然可考慮使用 8 軸多旋翼 UAV 執行撒播任務，但使用載重量高、飛行距離長且續航力長的單軸 UAV 似乎較合適。

3. 距離大於 1000m 之視界外施工作業

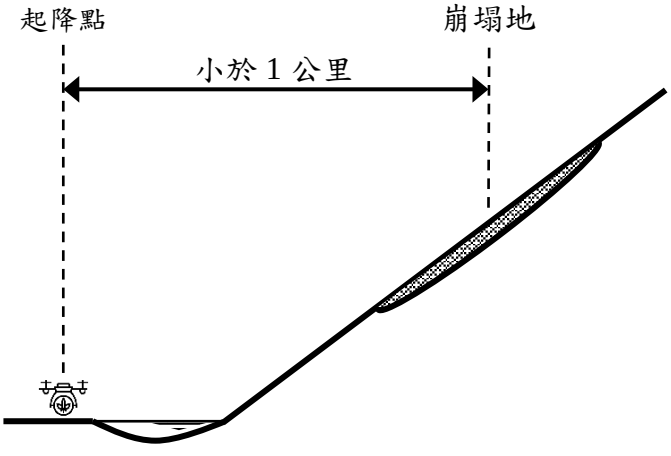
任務直線距離大於 1 公里以上，航線空域須越過另一座山頭才能抵達目標區；在這樣的條件下，需考慮山區紊亂的氣流，較長的航程、較高的飛行高度以及各類型的突發狀況等因素，則以載重量高、飛行距離長、抗風能力較佳且續航力長的單軸 UAV 較合適。

上述不同施工作業距離是否為視界範圍等，因需選擇不同適用之 UAV 機型，故其單價分析，需依基地實況條件調整之。

(一)視界 500m 飛行距離之施工作業



(二)視界 1000m 範圍內之施工作業



(三)距離大於 1000m
之視界外施工作業

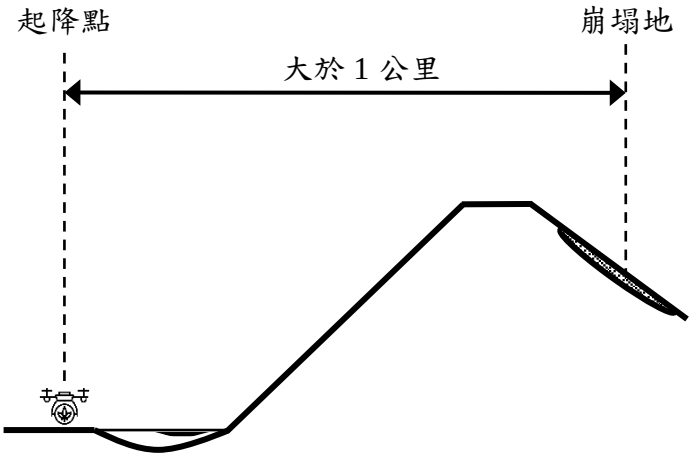


圖 2-39 UAV 播種植生作業不同施工距離示意圖。

(二) 植生粒劑之材料配比與單價分析

表 2-23 植生粒劑之材料配比與單價分析

前期製程(使用預拌桶製作)

材料		單價(元/公斤)	使用量(公斤)	複價(元)	附註
基底材料	赤玉土	120	8.6	1,032	
生長材料	黏質壤土	15	31.5	473	
	台灣培養土	13	31.5	410	
	緩效性肥料	200	0.5	100	
種子材料	小葉百喜草	525	5.1	2,678	
	高狐草	375	2.9	1,088	
	山胡枝子	2,250	2.9	6,525	
	相思樹	1,500	4.8	7,200	
包覆材料	木質纖維	50	10.7	535	
膠結材料	團粒化劑	200	1.5 (未稀釋)	300	使用時須加水稀釋 6~8 倍
總和			100.0	20,339	約 20,000 顆粒劑

(以施工面積 0.1 公頃計算，已含材料耗損，不含製作工資成本、地面整理與 UAV 投放施工費用)

精進後製程(使用資材切割機製作)

材料		單價(元/公斤)	使用量(公斤)	複價(元)	附註
生長材料	黏質壤土	30	39.0	1170	
	台灣培養土	15	39.0	585	
	緩效性肥料	210	0.4	84	
種子材料	小葉百喜草	525	5.1	2678	
	高狐草	375	2.9	1088	
	山胡枝子	2,250	2.9	6525	
	相思樹	1,500	4.8	7200	
包覆材料	紙漿纖維	70	1.5	105	
膠結材料	團粒化劑	210	4.4 (未稀釋)	924	使用時須加水稀釋 6~8 倍
總和			100.0	20,358	約 20,000 顆粒劑

(以施工面積 0.1 公頃計算，已含材料耗損，不含製作工資成本、地面整理與 UAV 投放施工費用)

(三) UAV 播種植生工法單價分析

表 2-24 UAV 植生粒劑播種植生工法單價分析

1.前期製程(使用預拌桶製作，往返作業飛行距離<1000m)

壹.一.1	工作項目：UAV 施工作業費（投放式）		單位：1000 ㎡		計價代碼：	
	工料名稱	單位	數量	單價	複價	編碼(備註)
	植生粒劑材料	公斤	100.000	203.39	20,339.00	
	植生粒劑製作費	公斤	100.000	240.00	24,000.00	
	技術工	工	3.000	3,000.00	9,000.00	
	小工	工	3.000	2,000.00	6,000.00	
	車輛租金	天	3.000	3,000.00	9,000.00	
	UAV 作業	天	3.000	2,000.00	6,000.00	
	UAV 機具	式	0.100	150,000.00	15,000.00	含折損、保險等
	合計		1.000		89,339.00	
	人工： 0.00 機具： 0.00 材料： 0.00 雜項： 0.00		每 1000 ㎡ 單價計		89,358	

2.前期製程(使用預拌桶製作，往返作業飛行距離>1000m)

壹.一.1	工作項目：UAV 施工作業費（投放式）		單位：1000 ㎡		計價代碼：	
	工料名稱	單位	數量	單價	複價	編碼(備註)
	植生粒劑材料	公斤	100.000	203.39	20,339.00	
	植生粒劑製作費	公斤	100.000	240.00	24,000.00	
	技術工	工	3.000	3,000.00	9,000.00	
	小工	工	3.000	2,000.00	6,000.00	
	車輛租金	天	3.000	3,000.00	9,000.00	
	UAV 作業	天	3.000	4,000.00	12,000.00	
	UAV 機具	式	0.025	1,000,000.00	25,000.00	含折損、保險等
	合計		1.000		105,339.00	
	人工： 0.00 機具： 0.00 材料： 0.00 雜項： 0.00		每 1000 ㎡ 單價計		105,358	

3.精進後製程(使用資材切割機製作，往返作業飛行距離<1000m)

壹.一.1	工作項目：UAV 施工作業費（投放式）		單位：1000 ㎡		計價代碼：	
	工料名稱	單位	數量	單價	複價	編碼(備註)
	植生粒劑材料	公斤	100.000	203.58	20,358.00	
	植生粒劑製作費	公斤	100.000	140.00	14,000.00	
	技術工	工	3.000	3,000.00	9,000.00	
	小工	工	3.000	2,000.00	6,000.00	
	車輛租金	天	3.000	3,000.00	9,000.00	
	UAV 作業	天	3.000	2,000.00	6,000.00	
	UAV 機具	式	0.100	150,000.00	15,000.00	含折損、保險等
	合計		1.000		79,358.00	
	人工： 0.00 機具： 0.00 材料： 0.00 雜項： 0.00		每 1000 ㎡ 單價計		79,358	

4.精進後製程(使用資材切割機製作，往返作業飛行距離>1000m)

壹.一.1	工作項目：UAV 施工作業費（投放式）		單位：1000 ㎡		計價代碼：	
	工料名稱	單位	數量	單價	複價	編碼(備註)
	植生粒劑材料	公斤	100.000	203.58	20,358.00	
	植生粒劑製作費	公斤	100.000	140.00	14,000.00	
	技術工	工	3.000	3,000.00	9,000.00	
	小工	工	3.000	2,000.00	6,000.00	
	車輛租金	天	3.000	3,000.00	9,000.00	
	UAV 作業	天	3.000	4,000.00	12,000.00	
	UAV 機具	式	0.025	1,000,000.00	25,000.00	含折損、保險等
	合計		1.000		95,358.00	
	人工： 0.00 機具： 0.00 材料： 0.00 雜項： 0.00		每 1000 ㎡ 單價計		95,358	

備註：

1. 上述兩表表 2-23、表 2-24，以施工面積 0.1 公頃為例，植生粒劑製作階段，播種面積如超過 0.1 公頃，每 0.1 公頃需增加 100 公斤植生粒劑及植生粒劑製作成本。
2. UAV 飛行時間一趟作業時間約 20 分鐘，包括材料裝填，平均往返飛行距離 1000m 及播種作業等所需時間。
3. 播種量如以每 0.1 公頃設計，因避免 UAV 使用次數過多造成不必要折損，以使用六軸旋翼植播機 10K A 型播種作業為例，一天平均飛行次數為 10-12 次，一次可負載 4 公斤，100 公斤植生粒劑用量約需 2~3 天，如超過 0.1 公頃施工面積，每 0.1 公頃需約增加 2~3 天。
4. 如平均往返飛行距離超過 1000m 至 2000m，則 UAV 機具需使用較高等級機型，其經費約需增加 15%~20%，但仍需視現地環境條件與操作路線而定。

第四節 無人飛行載具(UAV)播種植生工法技術整合與手冊擬定

本計畫參考過去植生工法相關手冊，並結合各子計畫之成果，進行 UAV 播種植生工法之技術整合，彙整該工法之相關項目，擬定無人飛行載具(UAV)播種植生工法手冊。手冊內容包含應用植生資材、適用物種、工法操作適宜性、UAV 播種植生工法標準作業流程與施工單價分析，以確保未來無人機播種植生工法應用於崩塌現地之工程品質標準與後續推廣應用。

一、 手冊目錄章節擬定

由於目前台灣地區運用無人載具配合植生並無相關實際操作與成果案例資料，茲參考本計畫之工作項目與研究重點，及參考「相關應用植生基材手冊」、「日本航空綠化工之相關案例」、「日本航空實播工技術指針」等資料，暫列未來參考手冊可能撰寫之內容綱要如下：

無人飛行載具播種植生工法手冊(108.12.24 擬定稿)

章節目錄

壹、總論

1.1 定義與目的
1.2 適用範圍與地點
1.3 手冊內容與適用對象
1.4 UAV 播種植生作業之應用問題點

貳、UAV 類型與播種作業系統

2.1 UAV 類型、載重與飛行功率規格
2.2 UAV 機體與附掛播種裝置設備
2.3 無動力投放式粒劑播種遙控系統操作案例
2.4 UAV 播種作業相關需注意事項

參、UAV 航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定
3.1 UAV 航空植生作業資格限制
3.2 UAV 航空植生作業申請許可
3.3 UAV 航空植生作業活動計畫書
肆、主要應用植生基材檢驗與規範
4.1 主要植生資材
4.2 植生資材特性概要
伍、UAV 航空植生作業規劃
5.1 作業區域之選定與基地調查評估作業要項
5.2 施工作業流程規劃
陸、植生粒劑之規格與製作
6.1 植生粒劑製作考量要點
6.2 植生粒劑之製作
6.3 植生粒劑之保存與儲放
6.4 植生粒劑之成品規格
柒、植生粒劑與播種作業驗收
7.1 植生材料與粒劑成品驗收
7.2 施工作業與影像記錄
7.3 施工檢查與驗收

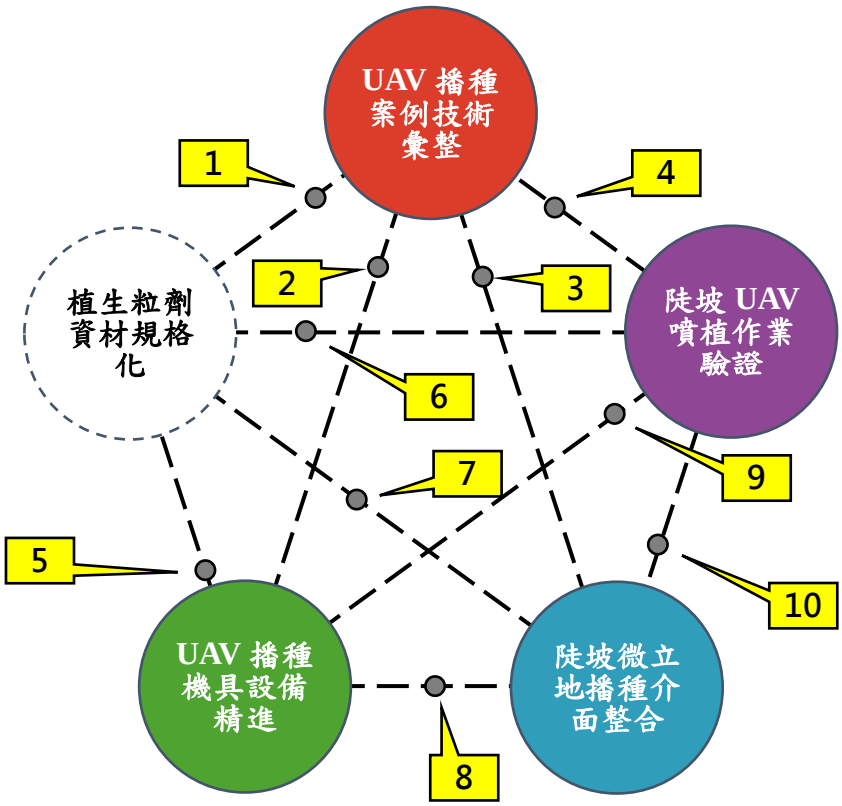
二、 手冊內容進度說明

本手冊章節架構與初稿內容已完成，完成之擬定手冊內容，如附錄一。

第五節 無人飛行載具(UAV)播種工法各子計畫成果整合彙整

一、 整合型創新研究計畫架構

(一) 原規劃構想



① 植生粒劑資材種類與單價分析
② 提供 UAV 載具與噴植裝置作業流程劃與成本分析
③ 提供崩塌地植生微立地評估參據。
④ 提供航空播種前置作業申請作業規劃資訊，並提供 UAV 噴植工法手冊彙整資料。
⑤ 提供植生粒劑現地試驗資材。
⑥ 植生粒劑量化製品，提供乾式噴頭粒劑試驗。
⑦ 提供植生粒劑現地試驗資材。
⑧ 崩場地微立地條件調查，提供播種操作參考。水平噴頭裝高黏著性高稠度植生基材整合測試。
⑨ 崩塌地數值模型，提供精準噴植作業規劃之參考。提供乾式噴頭設計資訊。
⑩ 崩塌地數值模型提供植生基盤之試作與驗證。

圖 2-40 整合型計畫內部原規劃構想

(二) 目前各子計畫項目

1. 無人飛行載具(UAV)播種植生案例與技術整合彙整

(1) 前期無人飛行載具(UAV)播種試驗後續調查與相關文獻彙整評估

(2) 無人飛行載具(UAV)播種植生方法與作業流程建置

(3) 無人飛行載具(UAV)播種植生工法成效檢討與單價分析

(4) 無人飛行載具(UAV)播種植生工法技術整合與手冊擬定

(5) 無人飛行載具(UAV)播種工法案例暨各子計畫成果整合彙整

2. 無人飛行載具(UAV)播種作業機具與噴植設備之精進研發

(1) 崩塌地應用無人飛行載具之相關法令分析

(2) 臺灣地區現行 UAV 應用類型比較（機具性能諸元）

(3) 現行中型六軸 UAV 植播機性能精進

(4) 大型無人飛行載具水平噴頭裝置設計之研發與評估

(5) UAV 播種植生作業範例與影片紀錄

3. 陡坡崩塌地微立地條件與應用無人飛行載具(UAV)導入植生之介面整合性試驗

(1) 崩塌地微立地條件與植生環境調查要項分析

(2) 植生資材屬性與崩塌地植生基盤介面整合之適用性分析

(3) 崩塌地導入現行植生粒劑之精進試驗

(4) 崩塌地建構微植生基盤之試作與現地驗證

4. 陡坡崩塌地無人飛行載具(UAV)噴植工法作業與驗證

(1) 崩塌地無人飛行載具播種植生前置作業申請與植生區位規劃流程

(2) 大型無人飛行載具植生噴頭之設計研發(15 公斤級以上)

(3) 陡坡崩塌地應用無人飛行載具(UAV)噴植之植生資材配方試驗

(4) 崩塌地應用大型無人飛行載具(UAV)噴植實作與驗證

(5) 崩塌地應用無人飛行載具(UAV)植生成效之監測與驗收



圖 2-41 本整合型創新研究計畫之子計畫項目

(三) 各子計畫相互支援與整合情形

1. 本總計畫主持人於計畫執行期間，已定期與各子計畫之計畫主持人進行相關討論，掌握計畫期程，使群體計畫架構與方向更加明確。並針對各子計畫之研究結果進行整合，彙整其成果以供後續崩塌地應用 UAV 植生工程規劃設計、制定標準工序、施工規範與推廣應用之參據。

2. 本整合型計畫「無人飛行載具(UAV)播種植生工法之研究」原規劃構想是參考前期計畫成果報告建議再精進試驗研究之項目，依研究方針不同分為五個子計畫，並經由各子計畫間研究成果之交流互助，達到整合型計劃之最大效益。但子計畫「植生粒劑應用資材與規格化製程試驗研究」研提未能通過，其子計畫中原規劃之粒劑研發為其他子計畫中 UAV 播種材料之主要來源之一，係整合型計畫中不可缺乏之研究項目。爰此，該項計畫內有關粒劑製作與相關規格化製程之研究及需進行支援之事項，併入總主持人所執行之「無人飛行載具(UAV)播種植生案例與技術整合彙整」計畫項內。

3. 因本計畫屬群體計畫，相關技術整合與評估時需與其餘相關子計畫主持人配合，並彙整分析。唯 UAV 機具設備研發，植生材料試驗與成果評估非短期內可完成，而手冊、作業流程等彙整計畫則需屆期完成。故可能有緩不濟急之情形。因此本團隊盡可能定期與相關子計畫主持人開會討論相互支援，及掌握計畫期程。

二、 崩塌地試驗地點勘查

本年度分別於 108 年 3 月及 9 月先行勘查共三處崩塌地，並協調其他相關子計畫進行後續之 UAV 播種試驗工作，相關資料如表 2-25、表 2-26，其中阿里不動溪已於 108 年 8 月 10 日由相關子計畫四(陡坡崩塌地無人飛行載具(UAV)噴植工法作業與驗證)進行噴植作業試驗。

(一) 阿里不動溪上游整治二期工程右岸邊坡

表 2-25 阿里不動溪上游整治二期工程崩塌地概況

行政區域	南投縣信義鄉	地點描述	阿里不動溪右岸邊坡
WGS84 座標	23°35'36.2"N 120°52'02.8"E	崩塌面積	約 0.1 ha
工程項目	漿砌石護岸、固床工、支流處理工程		
地點概述	本位於南投縣信義鄉望美山西北側阿里不動溪上游整治二期工程右岸邊坡崩塌地，屬集集攔河堰上游。該區曾因豪大雨引發邊坡土石崩落，造成通洪斷面不足及邊坡裸露之情形。 該區執行之工程已於 107 年 10 月完工，工程項目有漿砌石護岸、固床工及支流處理工程，該崩塌地坡址以用護岸及塊石保護，並利用固床工確保該河段之通洪斷面。經本計畫現勘，該區因可直接到達，面積約 0.1 公頃，且崩塌坡面上段坡度 40°-45°，下段坡度 30°-40°，由於該工程區域上方空曠易於 UAV 操作及設立試驗點位監測，故評估應適於粒劑水平噴播之試驗。 該崩塌區域表層屬先前崩產生之崩積土，現況生長植物屬先期植物，包括山鹽菁、山黃麻、五節芒等，可能會有後續之少量崩塌或土石滑落情形。		

<table>
<tr><td>
阿里不動溪上游整治二期工程
(2018/10 完工)</td><td>
右側護岸上方邊坡崩塌狀況
(可考慮為 UAV 播種試區)</td></tr>
<tr><td>
河床現況
(2019/03/20)</td><td>
崩塌地坡頂植生
(山鹽菁、山黃麻、五節芒等)</td></tr>
<tr><td>
裸坡面可見湧(滲)水情形</td><td>
整治區下游端植生情形</td></tr>
<tr><td>
噴植作業試驗(2019/08/10)</td><td>
噴植作業試驗(2019/08/10)</td></tr>
</table>

(二) 廬山國小下方崩塌地整治工程左岸邊坡

表 2-26 廬山國小下方崩塌地整治工程崩塌地概況

行政區域	南投縣信義鄉	地點描述	塔羅灣溪左岸上方邊坡
WGS84 座標	24°02'02.2"N 121°11'14.5"E	崩塌面積	約 2.4 ha
工程項目	漿砌石護岸、固床工、支流處理工程		
地點概述	本區位於南投縣信義鄉廬山國小東南山腳下廬山國小下方崩塌地整治工程塔羅灣溪左岸邊坡崩塌地，屬霧社水庫集水區上游。該區曾因河川掏刷坡腳，坡腳掏空後造成上方土石崩塌。 該區執行之工程已於 108 年 1 月完工，工程項目有既有護岸加強工程、混凝土塊、PVC-PE 橫向集水管工程，塔羅灣溪凹岸處用混凝土塊防止崩塌地坡址繼續掏刷，對既有護岸進行加強工程，並設置橫向集水管卸除護岸後方之水壓力。經本計畫現勘，該區因可直接到達坡頂，但暫無法到達下方崩塌堆積區。崩塌裸地面積約 2.4 公頃，崩塌坡面約 40~45°，是否做為 UAV 播種試驗區，仍待進一步之討論與評估。		



左側護岸上方崩塌地



崩塌地上方農地



從崩塌地上方俯視



左岸護岸工程

	
崩塌地坡面植生現況	崩塌地崩積土方

(三) 名間崩塌地

1. 名間崩塌地概況

表 2-27 名間崩塌地

行政區域	南投縣名間鄉	地點描述	仁和村投縣 DF126
WGS84 座標	24°02'02.2"N 121°11'14.5"E	崩塌地資料	面積約 3.04 ha 平均坡度 26.5%
災害概述	108 年 8 月 16 日 7 時，投縣 DF126 上游發生崩塌，伴隨降雨引發土石流，土砂入侵下方聚落，造成 5 戶民宅受損、投 39 約 100m 道路及 1 座橋樑毀損中斷、番仔寮溪橋梁 1 座遭埋。災害規模崩塌面積達 3.04 公頃，長度約 560 公尺，寬度約 70 公尺，預估土砂下移量為 45,398 立方公尺，影響範圍約 8,327.5 平方公尺。		
			
名間崩塌地全景(2019/08/29)		團隊進入災區現勘(2019/08/29)	



源頭處現況(2019/08/29)



流動段現況(2019/08/29)



堆積段清淤作業(2019/08/29)



下游保全對象(2019/08/29)

2. 2019 年 10 月 11 日 UAV 播種作業

本計畫團隊於 2019 年 10 月 11 日抵達名間崩塌地下方，協助相關子計畫二(無人飛行載具(UAV)播種作業機具與噴植設備之精進研發)團隊進行 UAV 播種作業。本次飛行計畫以土石流下方住宅處設定為 UAV 起飛點，預定播種點位為崩塌地中間段位置(約距離起飛地點 280 公尺)之範圍，預播種植生粒劑總重 30 公斤，每趟播種 3 公斤，共 10 趟。

當日實際飛行趟數共 8 次，其中第四次與第八次因飛行過程發現異狀，因此飛回檢查，未執行播種作業，每次灑播 3 公斤，共 18 公斤。前三次播種作業順利完成，第四次任務因電池供電不足，導致播種裝置未順利開啟，因此回到起飛點位更換電池，更

換電池後第五次任務順利完成。第六次任務執行時，UAV 折返飛至約 200 公尺時，電池脫落導致墜機，之後以預備機繼續執行第七次任務，並順利灑播完成。第八次起飛時發現 UAV 有異音，降落檢查發現螺旋槳螺絲有鬆動狀況，因此停止施工。



UAV 空拍現況



崩塌地源頭處空拍



UAV 粒劑裝填



UAV 執行作業

圖 2-42 名間崩塌地 UAV 播種作業相片(2019 年 10 月 11 日拍攝)

3. 2019 年 10 月 18 日 UAV 播種作業

本相關子計畫二團隊於 2019 年 10 月 18 日與成功大學團隊執行 UAV 播種作業，本次使用 UAV 為成功大學團隊設計之燃油單軸遙控直升機，承載量約 8 公斤。本次飛行計畫以崩塌地下方道路處設定為 UAV 起飛點，因該 UAV 無裝設 OSD 視頻疊加系統，因此，現階段僅能以可目視飛行的區域執行任務，預定播種

點位為崩塌地上中間段位置(約距離起飛地點 360 公尺)之範圍，預播種植生粒劑總重 30 公斤，飛行趟數共 4 趟，每趟作業時間估計需 20 分鐘。

當日實際飛行趟數共 10 趟，播種植生粒劑總重 30 公斤，實際飛行趟數超過預定趟數原因是由於 UAV 硬體條件不健全，未能確認播種裝置正常運作，故多次飛行任務中未順利執行播種作業。



崩塌地中上區段現況



中上區段臨時擋土設施



各方團隊討論任務內容



成大團隊設計燃油單軸 UAV



UAV 執行作業



粒劑著陸情形

圖 2-43 名間崩塌地 UAV 播種作業相片(2019 年 10 月 18 日拍攝)

三、 整合型計畫工作會議

(一) 第一次整合型計畫工作會議

第一次整合型計畫工作會議已於 108 年 3 月 7 日召開。

表 2-28 整合型計畫第一次工作會議紀錄

整合型計畫「無人飛行載具(UAV)播種植生工法之研究」 會議紀錄
一、時間： 108 年 3 月 7 日 下午 3 點 二、地點： 水保二館 214(植生研究室) 三、與會人員：林信輝、宋國彰、張集豪、唐琦、林政侑、蘇曼筑、蘇柏軒、許愷岐、胡紘彥、蔡明發、蕭惠民。
四、會議記錄大要： 1. 試驗地點暫以中部、南部地區水庫集水區內之崩塌地為主，請唐琦老師、林政侑研究員協助試驗地之初選，期望於一個月內完成可行地點之建議。 2. UAV 機具之研發部分，請張集豪老師協助整合評估，必要時會同群體計畫相關人員共同討論。 3. 植生粒劑規格化製程部分，仍請宋國彰老師協助辦理，所需費用暫由總計畫主持人協調支援。 4. UAV 播種工法手冊將由總計畫主持人先行擬定內容架構，再分別請各子計畫負責人員協助提供相關內容。 5. 未來整合型計畫之聚會討論，原則上兩個月左右進行一次。

(二) 第二次整合型計畫工作會議

第二次整合型計畫工作會議已於 108 年 5 月 28 日召開，第三次工作會議預定於 108 年 8 月 15 日召開。

表 2-29 整合型計畫第二次工作會議紀錄

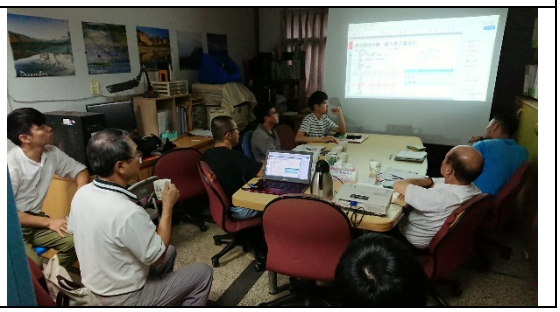
整合型計畫「無人飛行載具(UAV)播種植生工法之研究」 會議紀錄
一、時間：108 年 5 月 28 日下午 3 點 二、地點：水保二館 214(植生研究室) 三、與會人員：林信輝、宋國彰、張集豪、唐琦、蔡明發、蕭惠民、林政侑、蘇曼筑、蘇柏軒、沈明佑、黃濟寰
四、會議紀錄大要： 1. (子計畫一)提供手冊初稿給其他子計畫參考，手冊中第三、四、七章節分別需請子計畫二、三、四提供資料補充，特別是有關 UAV 植生工法之規劃作業流程與勞務採購驗收辦法部分。 2. (子計畫二)彙集各 UAV 研究單位所使用之 UAV 之機型(特別是各子計畫目前使用之機型載重與設備資訊)。目前正鑽研無重力撒播裝置，後續考量改較大出口口徑或粒劑改小等方式，使播種或投放過程更順利。 3. (子計畫三)以 UAV 噴植植生工法試驗研究為主，後續將提供施工基地環境分析、UAV 噴植工法實作案例、驗收辦法、NDVI 檢視施工成效作業方法等資料，供未來手冊內容之參據。施工基地環境分析包含地形建模、施工前植生分布等。 4. (子計畫四)由子計畫一協助提供粒劑、子計畫二協助試驗地 UAV 播種作業。計畫將聚焦於研究裸地上粒劑生長之立地條件，降低植生資材之不必要耗損，提高播種成效。 5. 配合水土保持局之需求，盼試驗點位之選定及試驗研究成果能提早整合完成。 6. (蔡明發科長建議)有關本計畫擬解決之問題、團粒化劑之屬性、載重之提升、噴嘴方式之改良、勞務採購驗收辦法等，建議加強論述及試驗研究。 7. 第三次整合型計畫之工作會議，預計在兩個月後進行。




(三) 第三次整合型計畫工作會議

第三次整合型計畫工作會議已於 108 年 8 月 15 日召開，第四次工作會議預定於 108 年 11 月 6 日召開。

表 2-30 整合型計畫第三次工作會議紀錄

整合型計畫「無人飛行載具(UAV)播種植生工法之研究」 會議紀錄
一、時間：108 年 8 月 15 日上午 10 點 二、地點：水保二館 214(植生研究室) 三、與會人員：林信輝、張集豪、唐琦、林政侑、黃濟寰、 蘇柏軒、許愷岐、胡紘彥、黃濟寰、王人韋
四、會議紀錄大要： 1. 各子計畫簡報期中報告內容，概要說明各子計畫目前研究進度及執行內容。 2. 提出後續研究相互支援事項，確認計畫期程。 3. 預定於 8 月 20 日召開 108 年度創新研究計畫期中審查，各子計畫需依規定遵照辦理。
 

(四) 第四次整合型計畫工作會議

第四次整合型計畫工作會議已於 108 年 11 月 6 日召開。

表 2-31 整合型計畫第四次工作會議紀錄

整合型計畫「無人飛行載具(UAV)播種植生工法之研究」 會議紀錄
一、時間：108 年 11 月 6 日上午 10 點 二、地點：水保二館 214(植生研究室) 三、與會人員：林信輝、張集豪、唐琦、林政侑、蘇柏軒、許愷岐、胡紘彥
四、會議紀錄大要： 1. 已分別在阿里不動溪上游右岸崩塌地、名間崩塌地試驗區進行試驗與技術討論。 2. 各子計畫簡報期末報告內容，概要說明各子計畫已完成之研究成果及執行內容。 3. 提出 UAV 播種植植生工法後續計畫尚待研究事項，並確認本年度計畫期程。 4. 預定於 11 月 15 日提送期末報告，12 月 3 日召開 108 年度創新研究計畫期末聯合審查暨成果發表會，各子計畫需依規定遵照辦理。
 

第三章 工作進度與後續研究

第一節 工作進度

本研究計畫自核定日起至民國 108 年 12 月 24 日完成，計畫各項工作之預定進度，如表 3-1。目前至 108 年 12 月 24 日止，各項工作項目均依進度完成，僅相關作業流程規劃之修正及各子計畫之成果尚需再整合彙整。

表 3-1 計畫預定工作進度表

工作項目 \ 108 年度月份		一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
前期無人飛行載具(UAV)播種試驗後續調查與相關文獻彙整評估	前期 UAV 播種試驗後續調查追蹤	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
	國內外 UAV 播種植生工法文獻蒐集		■	■	■	■	■	■	■	■			
	UAV 播種植生工法施工案例分析彙整		■	■	■	■	■	■	■	■			
無人飛行載具(UAV)播種植生方法與作業流程建置	崩塌地勘查與 UAV 播種工法計畫擬定			■	■	■	■	■	■	■			
	施工經費預算與預期成果			■	■	■	■	■	■	■			
	作業工法流程檢討與評估					■	■	■	■	■	■		
無人飛行載具(UAV)播種植生工法成效檢討與單價分析	UAV 相關子計畫成果彙整與項目擬定					■	■	■	■	■	■		
	UAV 播種植生工法施工單價編列					■	■	■	■	■	■		
無人飛行載具(UAV)播種植生工法技術整合與手冊擬定	UAV 播種植生工法技術整合						■	■	■	■			
	UAV 播種植生工法操作應用手冊擬定								■	■	■	■	■
無人飛行載具(UAV)播種工法案例暨各子計畫成果整合彙	各子計畫之工作執行內容收集		■	■	■								
	子計畫之討論與試驗資料彙整				■	■	■	■	■				

工作項目 \ 108 年度月份		一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
整	各子計畫分析檢討整合					■	■	■	■	■			
	UAV 播種植生工法計畫成果彙整								■	■	■	■	■
計畫報告編印						工作執行計畫書提送			期中報告			期末報告	成果報告
預定進度累積百分比		-	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	100

第二節 尚待解決事項與對策

表 3-2 本計畫尚待解決事項與對策

本計畫尚待解決事項	對策
1. 相關實際案例文獻少	1. 廣泛收集國內外相關文獻。 2. 前期(107 年度)委辦計畫之成果為基礎進行研究改進。 3. 結合各相關子計畫完成成果，加以整合彙整。
2. 播植後之植生基材之均勻度與植生覆蓋度難以界定	1. 利用影像監測分析等光譜值域資料判釋。 2. 擇取部分播種植生試驗地點進行實地調查，確定植生目標物種發芽生長成效。 3. 植生粒劑量化及規格化製程之擬定。
3. 工法之成果驗收難以評估	1. 應用植生材料、粒劑製品等建置相關之驗收標準，期能採用材料驗收之方式進行。 2. 施工完工驗收，可輔以播種量查核、施工日誌、UAV 飛行播種記錄等，做為驗收之參考，即建議以勞務驗收方法為準。 3. 未來可依崩塌屬性及實際施工案例，再研究建置其施工成果驗收之標準。
4. 計畫作業期程與成效整合暫難以掌握	1. 本團隊定期與相關子計畫主持人開會討論，及掌握計畫期程。 2. 本團隊相互支援部分，如粒劑製作提供，UAV 播種技術支援及研發方向之設定等均依原群體計畫構想進行。
5. 播種技術方法未臻成熟	1. 需更多 UAV 播種植生試驗實例操作驗證。 2. 坡地應用植生粒劑配合現地輕質材料進行多面向試驗研究。 3. UAV 植生工法教育訓練與技術推廣。

第四章 工作組織與分工

第一節 工作小組成員與相關經歷

本計畫工作小組成員與成員相關經歷，如表 4-1 說明：

表 4-1 工作小組成員與相關經歷

計畫工作類別	姓名	職稱	最高學歷科系	擬任工作內容	年資	相關經歷與專長
計畫主持人	林信輝	國立中興大學水土保持學系兼任教授	國立中興大學植物學研究所博士	整合型計畫主持人、計畫執行	30	植生工程、景觀生態學、保育植物學、生態工程
研究人員	蘇柏軒	國立中興大學水土保持學系研究助理	國立中興大學水土保持碩士	協助計畫執行、報告撰寫與各項工作計畫聯絡事項	1	水土保持規劃、集水區調查
研究人員	許愷岐	國立中興大學水土保持學系研究生	國立中興大學水土保持碩士班	協助計畫執行、資料收集	-	植生調查、水土保持
研究人員	胡紘彥	國立中興大學水土保持學系研究生	國立中興大學水土保持碩士班	協助計畫執行、資料收集	-	植生調查、水土保持

參考文獻

1. 白絜成。2015。UAV 掛載 GoPro 攝影機製作地形之精度分析。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
2. 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)。
3. 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)。
4. 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。
5. 行政院農業委員會水土保持局。2017。水土保持手冊—植生篇。
6. 行政院農業委員會水土保持局。2018。坡地植生工法應用技術精進研發計畫成果報告。國立中興大學。
7. 林信輝。2012。特殊地植生工程。五南圖書公司。
8. 林信輝。2016。坡地植生工程二版。五南圖書公司。
9. 周以哲。2002。團粒處理對四種林木種子發芽之影響。國立臺灣大學森林學研究所碩士論文。
10. 莊智瑋。2010。環境指標應用於崩塌地植生復育之研究。國立中興大學水土保持學系博士論文。
11. 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。
12. 張瑋珈。2013。不同資材配方應用於坡面噴植之研究。國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
13. 楊明德，蔡慧萍。2018。無人飛行載具發展現況與未來趨勢。土木水利 45(3)：23-29。
14. 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)。
15. 交通部。2019。遙控無人機專章修正草案。政府提案第 16164 號。
16. 交通部。2019。遙控無人機管理規則草案。行政院公報 25(6)。
17. 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。
18. 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。
19. 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。
20. 林野庁。1980。航空綠化工の計畫、設計、施工指針とその解說。
21. 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。
22. Fortes, Erico Pinheiro (2017) Seed Plant Drone for Reforestation.The Graduate Review, 2, 13-26.
23. Devin Coldewey. (2018, November 26). That night,a forest flew.Droneseed is planting trees from the air. Retrieved from https://techcrunch.com/2018/11/26/that-night-a-forest-flew-droneseed-is-planting-trees-from-the-air/

附錄

附錄一、無人飛行載具播種植生工法手冊(暫定)

目錄

(108.12.24 版)

壹、總論.....2
1.1 定義與目的.....2
1.2 適用範圍與地點.....2
1.3 手冊內容與適用對象.....3
1.4UAV 播種植生作業之應用問題點.....3
貳、UAV 類型與播種作業系統.....5
2.1UAV 類型、載重與飛行功率規格.....5
2.2UAV 機體與附掛播種裝置設備.....9
2.3 無動力投放式粒劑播種遙控系統操作案例.....12
2.4UAV 播種作業相關需注意事項.....15
參、UAV 航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定.....16
3.1UAV 航空植生作業資格限制.....16
3.2UAV 航空植生作業申請許可.....17
3.3UAV 航空植生作業活動計畫書.....19
肆、主要應用植生基材檢驗與規範.....22
4.1 主要植生資材.....22
4.2 植生資材特性概要.....22
伍、UAV 航空植生作業規劃.....33
5.1 作業區域之選定與基地調查評估作業要項.....33
5.2 施工作業流程規劃.....34
陸、植生粒劑之規格與製作.....42
6.1 植生粒劑製作考量要點.....42
6.2 植生粒劑之製作.....43
6.3 植生粒劑之保存與儲放.....50
6.4 植生粒劑之成品規格.....50
柒、植生粒劑與播種作業驗收.....51
7.1 植生材料與粒劑成品驗收.....51
7.2 施工作業與影像記錄.....56
7.3 施工檢查與驗收.....58

壹、總論

1.1 定義與目的

一、定義

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle，UAV)播種植生工法係指以 UAV 載運植生資材，配合遙控播放裝置進行投放、噴植之植生作業工法。

二、動機與目的

1. 裸露地零星分布、基地土質差異大、植生環境不佳，無法進行一般坡面植生工程作業之地點，可考量應用 UAV 播種工法。
2. 近年來 UAV 之應用技術已臻純熟，載具之可載重及穩定性增加、定位及慣性測量儀器微型化、軟硬體操作之效能大幅進步，應用 UAV 播種植生工法之可行性提高。
3. UAV 播種植生工法具高機動性、即時性，亦可避免非必要之人員風險等優勢。
4. 屬種肥資材為主之直接播種工法，需適地適用、配合氣象條件分期施作及配合土砂沖蝕控制之需求進行。

1.2 適用範圍與地點

UAV 播種作業計畫，應視為整體流域治理計畫，配合土砂流出控制進行規劃與工程施工。UAV 播種植生工法適用地點與時機如下：

1. 深山或偏遠地區，地形陡峻、交通不便、植生條件不佳之地點，使用一般植生工法作業較困難時。
2. 施工地點多、零星分布或面積廣大之地區。
3. 崩塌地、火災跡地等急需快速植生綠化及促進植生演替之地區。
4. 勞工不易招聘或偏遠地區施工地勞動力不易取得時。
5. 依經費、施工地條件及預期植生結果之綜合判斷，以 UAV 播種

植生工法較有利時。

1.3 手冊內容與適用對象

一、手冊內容

本手冊主要介紹 UAV 播種植生前期作業計畫、工法所需硬體設備、材料、施工流程及驗收等，前期作業計畫有基地環境調查、作業區域選定以及相關作業申請及飛航許可之擬定；UAV 播種植生工法硬體設備與材料介紹包含 UAV 類型與播種作業系統、主要應用植生基材、植生粒劑等細項說明；提供其工法施工後續成果調查與評估之方法。希望能將 UAV 播種植生工法規劃設計、施工流程、後續驗收管理辦法，統合整理，供為參考。

二、適用對象

本手冊適用於行政院農委會水土保持局工程主辦人員及一般工程顧問機構參考使用，針對條件較差之崩塌地，提供新的治理工法。顧問公司技師及相關工作人員可藉此手冊資料，做為提供完整設計規劃與監造施工。政府機關可作為有效檢核確認工程顧問公司提送之 UAV 播種植生工法設計規則是否適宜之依據。惟手冊資料僅供參聚，實際基材之品牌特性，以及現地因地制宜之實地操作方案，仍需具其經驗之工程師依需要調整之。

1.4 UAV 播種植生作業之應用問題點

1. UAV 播種地點大多屬人力無法到達之山區崩塌地，植生基地條件惡劣，地形、地盤不良，在沒有基礎工及基盤工情況下施工，通常無法期望快速得到良好之植生成果。
2. 有些地區，少量之坡面階段處理、擋土設施是必需的，或在已施作防砂工程上方，未施作整治之崩塌地，其植生效益與成果監測工作等較易達成。
3. 由於 UAV 播種施工基地，大多沒有坡面保護工程，且多存在土壤沖蝕與土砂不安定之情形， UAV 播種工法有其先天上之限制，

但仍有初期減低土壤沖蝕、土砂流出及促進自然植被入侵演替等不等程度之效果。

4. 崩塌地因受季節天候與微棲地差異之影響，植生材料需承受土壤沖蝕與後續崩塌之作用，一次使用大量植生資材或粒劑材料，未必能達到良好之植生覆蓋效果，分次酌量播種作業可增入植物種子發芽生長之可能性。
5. 崩塌地直接使用 UAV 播種工法，應從最可能種子發芽生長之種子材料與有土砂堆積之施工點位開始，以可快速生長之植生覆蓋及誘導後續之植生演替生長，應慎重考慮後續崩塌與無土壤岩面對植物生長之不利影響。

貳、UAV 類型與播種作業系統

2.1 UAV 類型、載重與飛行功率規格

一、UAV 類型

近年來國內外常見的 UAV 類型可分為定翼型、單旋翼型與多旋翼型。各 UAV 類型優缺點比較如下：

(一) 定翼型 UAV

定翼型 UAV 的優勢在於航程長、抗風能力較旋翼型強、酬載能力高，因此適合用於長距離任務。缺點是無法定點作業、UAV 機體體積較大，需有足夠起降空間且需要跑道進行起降，較不利於執行 UAV 播種植生任務。

(二) 單旋翼型 UAV

單旋翼型 UAV(又稱為直升機)的優點在於起降場地不受限制、可定點作業，在使用上較為靈活，適合短程任務。缺點是抗風性較差且旋翼運作面積大，其危險性較其他 UAV 高。以電力為主之單旋翼型 UAV 可達到 GPS 定點飛行,配合電腦也可達航線規劃自主飛行能力，缺點是酬載能力較燃油型低，電池續航力不佳。以燃油為動力之單旋翼型 UAV 也可藉由電腦執行自主飛行，續航力較電池動力佳，其酬載能力較高。

(三) 多旋翼型 UAV

多旋翼型 UAV 係由多個旋翼動力組所組成的飛行器，亦具有垂直起降的功能，其優點在於起降場地不受限制、可定點作業、抗風性能佳，飛行控制也可搭配電腦實現自主飛行航線規劃能力，安全性較單旋翼型 UAV 高。缺點是其續航力牽制於電池電力。

二、飛行控制系統

UAV 之飛行控制系統功能類似於人類大腦，具備讀取傳感器數據和計算與控制飛行時 UAV 姿態之功用。一般而言，UAV 之飛行控制系統包含控制器、陀螺儀、加速度計和氣壓計等傳感器。各種 UAV

之飛行控制系統皆有其寫入之韌體，韌體分為開源與閉源兩種，開源韌體如 APM、PX4、PIXHawk 及 OpenPilot 可提供改動飛行參數之功能；閉源韌體如 DJI-NAZA-V2、DJI-WooKong、DJI-A2 及 DJI-A3 等僅支援同品牌之飛機與配件。

三、無線圖像傳輸系統(2.4G,5.8G)

無線圖像傳輸系統，簡稱「圖傳系統」，包括圖傳發射器與訊號接收器兩部分：前者安裝在 UAV 機身的晶片模組，能把空拍攝影機的影像訊號送出，後者則是用戶端用作接收圖傳畫面訊號的裝置。台灣圖傳發射器模組，頻段分別為 2.4GHz、5.8GHz 兩種。2.4G 優點為傳輸距離遠，延遲低，但干擾源較多，舉凡 Wifi、手機信號塔、藍芽等都是。5.8G 目前較少被使用，僅有部分高端的路由器產品，因此干擾較少，但傳輸距離較近。

表 2-1 無線圖像傳輸系統頻段比較

頻段	2.4G	5.8G
波長	長	短
繞射能力	強	弱
穿透能力	弱	強
傳輸衰減	小	大
傳輸數據量	小	大
信號帶寬	窄	寬
傳輸速率	慢	快

四、UAV 作業機具形式評估

UAV 在進行播種作業受限於外在環境、載具本身與播種裝置功能。因此在作業前需進行系統選擇確認時，應考量以下列幾點：

1. 飛行場地條件：包含起降地點條件、風場環境、車輛設備可及性。
2. 作業所需施工成本。
3. 單次酬載重量：5 公斤以下、5~10 公斤或 10 公斤以上。
4. 負載滯空時間：通常為 10 分鐘、10~20 分鐘或 20 分鐘以上。
5. 工區坡度：五級坡以下較易於執行。
6. 資材性質：粒劑、粉劑(種子)。
7. 標配載具：油機、電機。

UAV 選擇方面需先調查飛行空域條件，確認播種作業施工成本，計算單趟飛行所需酬載重量以及單趟飛行滯空時間，進而選擇符合任務所需之 UAV。

附掛播種裝置選擇方面，需調查現地坡度，決定播種方式與資材形式，使用與播種方式相對應之播種裝置與可附掛此裝置之 UAV。

五、UAV 作業機具播種遙控裝置系統之需求

(一) UAV 作業需求初步設定：

1. 需具備經濟性。即減低施工成本與即時之植生成效。
2. 載具與播種機件需易於取得與容易維修，經短時的操作訓練後，即可執行播種植生作業。
3. 載具可依播種規模與現場環境，每趟任務負荷 3 到 8 公斤植生基材。
4. 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。

(二) 飛行載具：

短期而言；以有限經費應以 DJI(大疆)大型套裝改裝下方播種裝置最具效益或利用 DJI 飛控模組，配合臺製機架拼裝而成，減低研發成本。長期而言；可配合國內技術服務廠商，推廣技術達市場規模。

目前國內市場適用 UAV 播種工法機型常見 UAV 機型，皆屬利用 DJI 飛控模組，配合臺製機架組裝而成，而選定之 UAV 播種植生機型，需詳細說明其規格內容，如表所示。

表 2-2 適用 UAV 播種工法常見機型之功能屬性比較

機型(旋翼數量)		單旋翼 (成大研發)	單旋翼 (易圖公司研發)	六旋翼 (植播機 10K A 型)	六旋翼 (植噴機 16K)
機體尺寸	旋翼大小	90cm	111cm	17 吋槳	28 吋槳
	機身總寬	65cm	52cm	106cm	170cm
	機身總長	180cm	260cm(含槳)	106cm	170cm
	機身總高	78cm	73cm	80cm	60cm
主要機架材質		碳纖	合金	碳纖	碳纖
空重		15kg	15kg	3.4kg	20kg
最大起飛重量		25kg	28kg	10kg	36kg
燃料/電池重量		1kg	1.6kg	1.4kg	3.1kg
動力系統	型式	油機	油機	電機	電機
	引擎/馬達	100cc 四行程引擎	80cc 二行程引擎	LA5208 KV300	M10 KV120
	能源型式	95 無鉛汽油	95 無鉛預混機油	Li-Po	Li-Po
	標準油箱/電池容量	1400cc	2200cc	10000mah	22000mah x 2
最大起飛重量滯空時間		30 分鐘	40 分鐘	10 分鐘	10 分鐘
不含植播設備滯空時間		50 分鐘	60 分鐘	20 分鐘	30 分鐘
最長作業距離		2km	30km		3km
最大抗風等級		9 級(輕度颱風)	8 級以上	5 級	6 級
飛控系統		自行開發	自行開發	DJI V2	A3
圖傳系統	型號	5.8GHZ	自行開發	5.8GHZ	2.4G/5.8G
	距離	5km	30km	5km	5km
植播裝置	裝置重量	2kg	5-6kg	1.1 kg	5kg
	植播型式	噴出/投放	噴出/投放	投放	噴出
	驅動方式	離心力與開艙門	開艙門/客製化	開艙門	幫浦水壓
	適用材料	固態/液態	固態/液態/粉狀	固態/液態	液態
	植播材料負載最大重量	8kg	10-12kg	4.5kg	5kg

備註：1.旋翼數量：直昇機固定為單軸旋翼機。多軸可分為四軸/六軸/八軸型。

2.機身總長、總寬皆不含槳。

3.空重：含旋翼槳、機身、油箱、電子裝備。不含電池、油料、植播裝備。

4.最大起飛重量：建議安全作業重量、含油料、電池、植播裝備、植播材料。

5.最大起飛重量滯空時間：航高 10 米高、風速 1.5m/s 以下時可滯空時間。

6.不含植播設備滯空時間：航高 10 米高、風速 1.5m/s 以下可滯空時間。

7.植播材料負載最大重量：一般安全作業可裝載植播材料負載最大重量。

2.2 UAV 機體與附掛播種裝置設備

一、UAV 播種植生工法之裝置設備類型

UAV 播種植生工法依播植機械設備與附掛播種裝置種類不同，可分為無動力投放式與動力式播種作業。

(一) 無動力投放作業

1. 投放播種裝置構件：

作動裝置：以伺服器控制艙蓋，遙控器提供一通道進行控制，艙門可設計一次開合、多次開合或設計控制開啟角度。

投放容器設計：機腹附掛輕質容器，具活動式投放艙門，並設計給料口，容積依掛載重量與機腹空間設計，建議 15 公升以內。

2. 投放方式

(1)固定投放式

固態或液態材料，定點利用投放口匝門開啟與關閉進行播種，材料呈自由落體下墜至目標區。在無外力影響下，依投放高度與材料特性有不同分佈範圍。

(2)移動投放式

固態或液態材料，在飛行恣態移動或擺動中，利用投放口匝門開啟與關閉進行播種，材料會因慣性，呈拋物線型下墜至目標區。在無外力影響下，依投放高度、擺動幅度、飛行速度與材料特性有不同分佈範圍。

(二) 動力式播種作業

(1)氣動投放式播種作業

投放式播種裝置將固態材料，利用強力風扇為輔助推力將槽體內材料吹出，材料呈拋物線型下墜至目標區。主要包含三構件：

作動裝置：以獨立電門控制導風扇轉速，遙控器提供一通道進行控制，粒劑或粉劑經輸送管風壓送出。

動力裝置：3000KV 無刷馬達、30A 電子變速器，獨立控制 2.5 吋導風扇吹出。

材料艙容器設計：機腹附掛輕質圓桶型容器，經輸送管送達風洞管，容器並設計給料口，容積依掛載重量與機腹空間設計，建議 15 公升以內。

(2)離心力式播種作業

將固態材料，利用電力馬達帶動葉片將材料拋出，材料呈拋物線型下墜至目標區。

(3)噴植式播種作業

將液態材料，利用馬達加壓氣體，將液態材料噴出，類似傳統氣壓式噴漿機。

利用附掛在 UAV 上的噴漿機組，透過強大的壓力，能將混合機材，內含有種子、黏著劑、有機肥料、化學肥料、保水劑、綠色顏料、生育材料以及適量有機物質和水配製而成的黏性泥漿直接噴送至坡面上。

二、無動力投放式播種作業之裝置設備

投放播種裝置包含主要兩構件，其說明如下：

(一) 伺服器作動裝置

可以獨立系統遙控器獨立操作或以組裝機擴充一通道連結操作。如現有套裝具飛行燈切換，則以光敏電阻投放開關。

(二) 投放容器設計

1. 機腹附掛輕質容器單槽，艙蓋單次開啟。
2. 機腹附掛輕質容器多槽，艙蓋多次開啟，並回傳投放槽體數量。
3. 網束帶附掛一次投放。

播種裝置設計目標應為重量輕、投放數量控制精準為最終目標，初期各種方式皆可嘗試設計。而現階段計畫以機腹附掛輕質 PVC 容器單槽，艙蓋單次開啟進行設計。





左：飛行器及 60cm 腳架　　右：圖傳及接收器

圖 2-1 使用電力之多軸 UAV 機具圖例

2.3 無動力投放式粒劑播種遙控系統操作案例

一、投放播種作業

使用電力六軸 UAV 進行植生粒劑播種作業實例照片，如圖 。



UAV 起飛確認



飛行至定點監視



粒劑材料容器槽體



操作儀器裝備

圖 2-2 UAV 投擲作業之情形

二、投放播種遙控系統操作

UAV 現地投擲播種作業時，利用照相攝影裝置進行投擲前、後之航空拍攝配合 Image J 進行覆蓋度分析，以觀察記錄粒劑落下之情況與分布情形及了解植生粒劑後續之發芽情形與覆育效益。



利用相機進行拍攝記錄



現地量測記錄



拍照攝影投擲落下情形



UAV 之投擲影像記錄



利用 UAV 後續拍攝監測

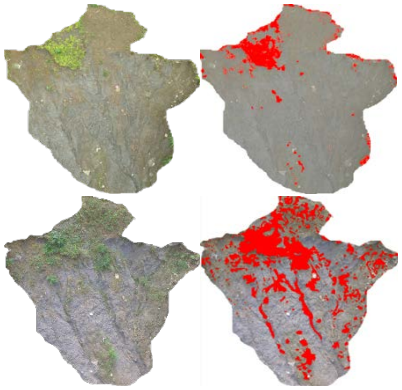


Image J 影像覆蓋率分析

圖 2-3 植生粒劑撒播記錄與攝影監測

三、錄影監測資料

六軸旋翼 UAV(輕機型)播種植生操作影像之畫面顯示與資料說明，如圖 2-4 與表 2-3。另於屏東滿州鄉小路野溪治理工程施作時，有關 UAV 之實際播種作業，經剪輯相關錄影監測資料，製作 2 分 45 秒之紀錄影片，UAV 操作螢幕顯示，如圖 2-4 所示。

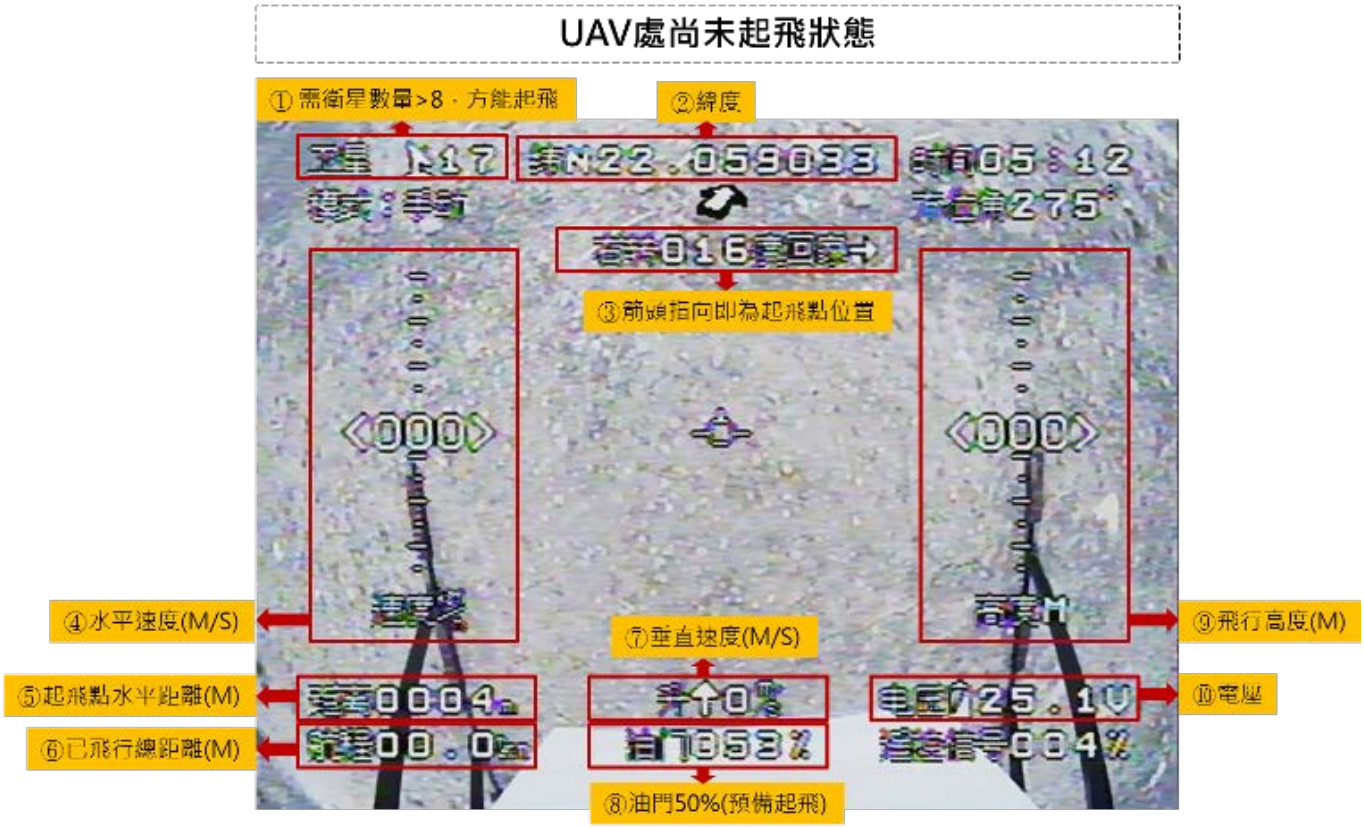


圖 2-4 六軸旋翼 UAV(輕型機)操控畫面顯示情形

表 2-3 六軸旋翼 UAV(輕機型)播種植生操作影像畫面顯示資料

名稱	單位	說明
①飛行高度	(M)	為相對於起飛位置之垂直高度。
②電壓	(V)	裝置電力顯示。
③油門	(%)	油門顯示需大於 50%，方能預備起飛。
④箭頭指向	-	為與起飛點位置相對之水平方向。
⑤垂直速度	(M/S)	為上下升降之垂直移動速度。
⑥水平速度	(M/S)	為裝置水平移動之速度。
⑦起飛點水平距離	(M)	與起飛點之水平距離。
⑧已飛行總距離	(M)	為飛行之總航行距離。
⑨衛星數量	顆	已接收衛星數量，且接收數量應大於 8 顆衛星，方能起飛。
⑩緯度		為裝置所在緯度，預防意外發生時，便於尋找裝置所在位置。

2.4UAV 播種作業相關需注意事項

(一) 由於使用 UAV 進行播種植生工法之研究尚屬起步階段，仍需更多現地試驗與經驗累積，及制定可通用性操作之方法與施工規範等，供推廣應用之參據。

(二) UAV 播種植生成效之判定，包括崩塌地之立地條件，使用基材、應用植物、施工時期、施工作業方法等，且需經過一定時間後進行確認成效(如木本類植物之發芽確認，必須經過最少 3 個月)。

(三) UAV 機具因通常載重較小，故通常以粒劑、粉劑、或僅以種肥材料進行播種作業。如設計以含水資材進行撒播式噴植，通常使用濃度較高之液態資材。

參、UAV 航空植生作業申請程序及飛航許可之擬定

民用航空法遙控無人機專章修正草案已於民國 107 年 4 月 3 日經立法院三讀通過，並於民國 107 年 4 月 25 日經總統公布，行政院已於 108 年 6 月 10 日核定「民用航空法」第 99 條之 9 至第 99 條之 19 及第 118 條之 1 至第 118 條之 3，自 109 年 3 月 31 日施行。

3.1 UAV 航空植生作業資格限制

依據民用航空法無人機專章中第 99 條之十四內文：

從事遙控無人機飛航活動應遵守下列規定：

(一) 遙控無人機飛航活動之實際高度不得逾距地面或水面四百呎。

(二) 不得以遙控無人機投擲或噴灑任何物件。

(三) 不得裝載依第四十三條第三項公告之危險物品。

(四) 依第九十九條之十七所定規則之操作限制。

(五) 不得於人群聚集或室外集會遊行上空活動。

(六) 不得於日落後至日出前之時間飛航。

(七) 在目視範圍內操作，不得以除矯正鏡片外之任何工具延伸飛航作業距離。

(八) 操作人不得在同一時間控制二架以上遙控無人機。

(九) 操作人應隨時監視遙控無人機之飛航及其周遭狀況。

(十) 應防止遙控無人機與其他航空器、建築物或障礙物接近或碰撞。

政府機關（構）、學校或法人經檢具有關文書向民航局申請核准者，得不受前項第一款至第八款規定之限制。

前項政府機關（構）、學校或法人，從事核准之遙控無人機飛航活動前，應向民航局申請許可；其涉及第一項第五款之限制者，應先取得活動場地之直轄市、縣（市）政府及相關中央主管機關之同意。(交通部，2019)

故 UAV 航空植生作業執行單位需為政府機關(構)、學校或法人，且經檢具有關文書向民航局申請核准才可執行。

「遙控無人機管理規則」第五章「操作限制及活動許可」，分二

節規定，第一節「一般操作規定」，內容包含操作遙控無人機之一般遵守事項、依維修指引進行檢查、飛航活動前之應考量事項、遵守操作限制、與其他航空器或障礙物防止接近、碰撞等規定；第二節「政府機關(構)、學校或法人活動許可」，內容包含政府機關(構)、學校或法人從事飛航活動前之先行核准程序與從事本法特別規定之操作限制活動、於禁航區、限航區及航空站或飛行場四周之一定距離範圍內之飛航活動、政府機關為執行災害防救、偵查、調查、矯正業務等法定職務時飛航活動之申請程序及相關飛航資料、維修紀錄之保存等規定。(第二十五條至第三十五條) (交通部，2019)

3.2 UAV 航空植生作業申請許可

依據「遙控無人機管理規則」草案第五章第二節第三十條：

政府機關(構)、學校或法人應檢附下列文件向民航局申請核准後，始得從事遙控無人機飛航活動：

一、登記證明文件。

二、遙控無人機系統清單、操作人員名冊。

三、作業手冊，內容如表 3-1。政府機關(構)、學校或法人為執行業務需要，從事本法第九十九條之十四第一項第一款至第八款之操作者，應於作業手冊中敘明操作限制排除事項之相關設備及程序。

前項核准之有效期限為二年，政府機關(構)、學校或法人得於屆期前三十日內，向民航局申請延展。

第一項第一款及第三款資料如有變更，政府機關(構)、學校或法人應於事實發生日起十五日內申請民航局核准後，始得從事遙控無人機飛航活動。

政府機關(構)、學校或法人應隨時更新第一項第二款資料。(交通部，2019)

表 3-1 政府機關(構)、學校或法人作業手冊(交通部，2019)

規定	說明
政府機關(構)、學校或法人為執行業務需要，從事本法第九十九條之十四第一項第一款至第八款之操作者，應於作業手冊中敘明操作限制排除事項之相關設備與程序。其內容應至少包含但不限於以下之內容： 一、民航法第九章之二及本規則之法規符合陳述。 二、權責單位組織、職掌及主要管理人員、飛航操作相關人員安全職責。 三、主要管理人員、飛航操作相關人員之資格條件及訓練。 四、符合本法要求之安全管理、飛航操作、維修保養，以及緊急處理及通報程序。 五、欲排除本法第九十九條之十四第一項第一款至第八款之操作限制項目、飛航操作標準及程序、緊急處理及通報程序。	明定政府機關(構)、學校或法人申請能力審查之作業手冊內容應包含項目。

3.3 UAV 航空植生作業活動計畫書

依據「遙控無人機管理規則」第五章第二節第三十一條：

政府機關(構)、學校或法人於禁航區、限航區及航空站或飛行場四周之一定距離範圍內從事遙控無人機飛航活動，應於活動日十五日前檢附活動計畫書(表 3-2)提出申請，報請民航局會商目的事業主管機關同意。但禁航區、限航區、航空站或飛行場如有涉及軍事航空管理機關(構)管理之區域，應於活動日三十日前提出申請。

政府機關(構)、學校或法人於直轄市、縣（市）政府公告之禁止、限制區域內從事遙控無人機飛航活動，應於活動日十五日前檢附活動計畫書(表 3-2)提出申請，報請直轄市、縣(市)政府會商相關中央主管機關同意。如有跨縣市活動時，應向起飛地點所在直轄市、縣(市)政府提出申請，經所在地及跨縣市政府同意。

第一項及第二項活動經民航局或直轄市、縣(市)政府同意後，應於每次活動前、後於指定時間內至民航局指定資訊系統登錄飛航資訊。

第一項及第二項之同意文件期限，以三個月為限。但政府機關為執行業務者，得延長至一年。

於本法第九十九條之十三第二項規定之區域從事遙控無人機飛航活動時，其活動申請，直轄市、縣(市)政府另有規定者，不受第二項規定之限制。(交通部，2019)

表 3-2 政府機關(構)、學校或法人活動計畫書(交通部，2019)

<table>
<tr><td>作業名稱</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>用途</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>申請單位</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>申請單位承辦人</td><td>姓名</td><td></td><td>電話號碼</td><td></td></tr>
<tr><td>作業現場負責人</td><td>姓名</td><td></td><td>行動電話</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">操作人員</td><td>姓名</td><td></td><td>行動電話</td><td></td></tr>
<tr><td>姓名</td><td></td><td>行動電話</td><td></td></tr>
<tr><td>協調人員</td><td>姓名</td><td></td><td>行動電話</td><td></td></tr>
<tr><td>遙控無人機</td><td>註冊號碼</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">作業日期及時間
(24 時制)</td><td>自</td><td>年　月　日起</td><td>至</td><td>年　月　日止</td></tr>
<tr><td>自</td><td>時　分起</td><td>至</td><td>時　分止</td></tr>
<tr><td rowspan="4">空域範圍各點連線(WGS-84/可視需要增加欄位）</td><td>1.北緯</td><td>度　分　秒</td><td>東經</td><td>度　分　秒</td></tr>
<tr><td>2.北緯</td><td>度　分　秒</td><td>東經</td><td>度　分　秒</td></tr>
<tr><td>3.北緯</td><td>度　分　秒</td><td>東經</td><td>度　分　秒</td></tr>
<tr><td>4.北緯</td><td>度　分　秒</td><td>東經</td><td>度　分　秒</td></tr>
<tr><td>作業高度</td><td colspan="4">自_____英呎至_____英呎（AMSL, Above Mean Sea Level）
實際高度(平地/山區)_____英呎（AGL, Above Ground Level）</td></tr>
<tr><td>作業範圍中心點座標(WGS-84)</td><td>北緯</td><td>度　分　秒</td><td>東經</td><td>度　分　秒</td></tr>
<tr><td>作業半徑(海浬)</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>作　業　概　述</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>操作限制排除項目</td><td colspan="4">□ 遙控無人機飛航活動之實際高度不得逾距地面或水面四百呎。
□ 不得以遙控無人機投擲或噴灑任何物件。
□ 不得裝載依民航法第四十三條第三項公告之危險物品。
□ 依民航法第九十九條之十七所定規則之操作限制：
_____
□ 不得於人群聚集或室外集會遊行上空活動。
□ 不得於日落後至日出前之時間飛航。
□ 在目視範圍內操作，不得以除矯正鏡片外之任何工具延伸飛航作業距離。
□ 操作人不得在同一時間控制二架以上遙控無人機。</td></tr>
</table>

備註	1.本申請表填寫時，請自行依實際需要調整欄位。 2.請於實施作業前十五天，向交通部民用航空局或直轄市、縣(市) 政府提出申請。但禁航區、限航區或機場如有涉及軍事航空管 理機關(構)管理之區域,應於活動日三十日前提出申請。 3.如有申請操作限制排除者,應檢附符合民用航空法第九十九條 之十五第三項規定之投保證明文件。 4.申請從事民用航空法第九十九條之十四第一項第一款活動經 民航局許可後，應遵照相關許可條件辦理或於每次活動前依許 可內容與航管作業單位確認連絡人員派遣事宜。
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遙控無人機管理規則內容，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及直轄市、縣(市)政府指示事項進行作業，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　　年　　月　　日	
主管機關（民用航空局/直轄市、縣（市）政府）同意或許可及其條件	

遙控無人機作業空域附圖(含座標)

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

肆、主要應用植生基材檢驗與規範

4.1 主要植生資材

各應用材料種類說明如表 4-1 所示：

表 4-1 主要應用植生資材特性概要表

類別	用途與特性	資材種類(例)
介質材料	可提供種子發芽生長之介質及改善土壤物理特性，提升植生粒劑發芽能力。	如培養土、泥炭土、樹皮、菇類木屑堆肥、稻穀、土壤等
基底材料	可作為粒劑製作團粒之核心，利於粒劑滾動與植生資材混合並包覆。	如赤玉土、花泥磚、發泡煉石
肥料	可於自然環境養分不足或急需復育之區域地，提供植生粒劑發芽初期生長所需之肥分。	如一般腐熟堆肥、化學肥料、緩效性肥料(粒肥)、有機質肥料
保水劑	可增加植生粒劑含水量、通氣性，提高種子發芽率。	蛭石、泥炭苔珍珠石、高分子保水劑等
包覆材料 (纖維材料)	可使粒劑投擲於崩塌地後，保護粒劑內種子並增加植生粒劑之吸水能力與含水量，以提升發芽能力。	碎紙纖維、木質纖維等
結合材料 (黏著劑)	為固結土壤、植生基材及種子、增加植生粒劑之團粒能力，防止粒劑崩解。	團粒化劑、有機材料黏劑、乳膠劑、高分子化合物等
種子材料	配合施工基地之立地條件與植生綠化類型目的，選擇適生植物種子，混合於植生粒劑，以達到植生效益。	包括草類、灌木、喬木、藤類、綠肥植物等種子材料
其他材料	現地回收資材、著色劑、種子發芽促進劑或鳥類忌食劑等。應用時需同時考慮周邊生態與環境之危害問題	天然食用色素(綠色)、好年冬(鳥類忌食劑)等

4.2 植生資材特性概要

一、介質材料

(一) 培養土

培養土通常指有機培養土或指含共生微生物之有機質土。係由植

物體腐爛結合米糠、菇類培質廢棄包之木屑與椰殼碎屑等加工製成，質地較為細輕，具有良好的保水性、保肥性。(備註：試驗土壤分析實測資料，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。)

(二) 泥炭土

泥炭土為河湖沉積低平原及山間谷地中，由於長期積水，水生植被茂密，在缺氧情況下，大量分解的植物殘株積累形成的土壤。其殘株大多為苔蘚類等植物。泥炭土纖維結構較長具相當之吸附能力，具有優異的排水性。(備註:試驗分析實測資料,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%。)

(三) 菇類木屑堆肥

菇類廢料是香菇採收後之剩餘栽培材料,其主要成份為 95%的天然木屑，並與米糠、玉米粉及麥粉等五種穀類有機廢棄物混合，經堆肥發酵並添加化學氮源、磷源等營養成分後堆積約 4 星期成製成菇類木屑堆肥。菇類堆肥之透水性、保水性佳，惟味道較重。

(四) 一般土壤

土壤材料之選定依基材配方與導入方法而異,如一般噴植工法使用砂質土，而植生粒劑應用之土壤以黏質土為主,(備註：試驗分析實測資料，土壤之黏粒含量達 80%以上、坋粒含量在 12%左右，土壤有機質 1.07%，陽離子交換容量 11.2cmolc/kg，水力傳導度介於 2.44 x 10-3 ~ 9.94 x 10-3 cm/sec，pH 值 4.78。)

二、基底材料

(一) 赤玉土

赤玉土由火山灰堆積而成，為暗紅色圓狀顆粒，無有害細菌。高通透性，有利於蓄水和排水，是目前運用相當廣泛的一種土壤介質。常見於許多園藝、花卉店面販售。(備註:試驗實測資料,pH 值約 6.9,電導度 0.052ms/cm。)

(二) 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，吸水前比重小，質輕如泡沫塑料，可於園藝材料店面購得。(備註：試驗實測資料，其 pH 值約 7.0。)

(三) 發泡煉石

經特殊方法煉製燒結而成的膨鬆石礫狀產品，為無菌無臭之介質，具良好的保水性和通氣性，可使粒劑保持高透氣性。可於園藝材料店面購得。

三、肥料

(一) 化學肥料

化學肥料又稱「無機肥料」，指用非生物體或無機礦物提煉製成的肥料。化學肥料又可分供應單種要素為主的「單質肥料」和同時供應氮、磷酐和氧化鉀中至少兩種要素的「複合肥料」。

表 4-2 常用化學肥料之要素含量

肥料名稱	要素含量(%)			
	N	P_2O	K_2O	MgO
硫酸銨	21	—	—	—
硝酸銨鈣	20	—	—	—
尿素	46	—	—	—
過磷酸鈣	—	18	—	—
硫酸鉀	—	—	50	—
氯化鉀	—	—	60	—
台肥 1 號複合肥料	20	5	10	—
台肥 5 號複合肥料	16	8	12	—
台肥 43 號複合肥料	15	15	15	4

資料來源：行政院農業委員會農業試驗所

(二) 有機肥料

有機質肥料之材料主要來自動物、植物及微生物殘體。有機質肥料在土壤中分解速度依材料特性及腐熟度不同而異，可區分為易分解型及不易分解型。易分解型之有機質肥料，如糞便堆肥、大豆粕、米

糠、魚粉等。

不易分解型之有機肥料,通常含有較高之纖維資材,C/N 值較高,如稻殼、稻草、蔗渣、樹皮等。若直接作為植生基材或將未經堆肥腐熟化就施用做為植生基材中,將使這些基材在土壤中分解時過程中,將造成微生物繁殖生長,與作物間養分的競爭(尤其是氮素的攝取),且會釋出熱,而對作物造成不利的影響。一般有機堆肥處理過程中,有機物會隨時間分解,C/N 比逐漸降低。一般而言 C/N 比在 20 以下時可達到腐熟階段,有助於養分的釋出及作物之養分吸收。

崩塌地坡面施工地點大多土質不良、乾旱貧瘠,其生育基盤若施用有機質肥料,不但可以改良土壤之質地,亦可改善土壤理化性,及增加植生粒劑保肥與保水力。常用有機質肥料之要素含量列如下表。

表 6-1 常用有機質肥料之要素含量

肥料名稱	要素含量(%)		
	N	P_2O_5	K_2O
台肥 1 號有機肥料	1.5	4.0	3.0
樹皮堆肥	1.14	0.77	0.36
禽畜類堆肥	1.0-4.0	1.0-6.0	0.5-5.0
雜項堆肥	0.5-5.0	0.3-6.0	0.3-4.0
一般堆肥	0.6-3.0	0.3-5.0	0.3-4.0
草木灰	ー	1~2	4~10
大豆粕	7.52	1.77	2.77
魚粉	7~10	7~10	ー
花生粕	6.55	1.33	1.00
米糠	1.95	4.38	1.49

備註：國產有機質推薦品牌可至行政院農業委員會農糧署查詢推薦品牌名單。

四、保水劑

保水劑種類可分為生物性、非生物性的介質及高分子聚合物，應屬無毒、無害的物質，不同材料之吸水倍率差異大。

表 4-4 植生工程主要應用保水劑類別概要

類別	吸水性(率)	特性與問題
高分子聚合物(CMC、三仙膠等)	可達自重之 200~400 倍吸水量。	具有快速吸水，衰減率高，緩慢釋放，促進植物吸收的特點。用量比例太高會影響植物生長，建議比例約 1/200 或依現地施工經驗用量，或建議與其他保水劑混合。
無機質保水劑(蛭石、珍珠石等)	吸水率約自重之 2-4 倍吸水量。	無衰減率問題、但重量和體積均大，比例過高不易施工。提供乾燥性或保水力較差之土壤中，增加資材保水性及通氣性。
有機類保水劑(泥炭苔、樹皮堆肥等)	泥炭苔之吸水率較高、可達自重之 20 倍，樹皮堆肥等有機類亦具有保水性及肥效性，但保水率較低，一般約為自重之 1~2 倍吸水量。	單價高，不易混合且易於攪拌槽中結塊阻塞輸送管。

五、包覆材料(纖維材料)

包覆材料之目的在披覆於粒劑外層，以免粒劑受外在環境影響其發芽能力，更可改善植生粒劑物理性質。

(一) 碎紙纖維

如內含有乾強劑(丙烯醯)的聚合物，可使植生粒劑外多一層具防止粒劑鬆散之保護層，以避免粒劑落於坡面後崩解。(備註：試驗分析實測資料，纖維抗拉力強度 0.18~0.3kg/25mm)基重 12~14 g/m2，吸水速率 12~20 mm/min，pH 值 2.7。

(二) 木質纖維

天然樺木之樹皮經加工粉碎而成或由國內造紙公司生產提供。可做種子之敷蓋物、具保溫、保濕及防鳥食之功能。在水中之分散性良，使粒劑於野外降雨時，更易取得水分，並可改良粒劑物理特性，增加保水性、養分與外在強度。木質纖維多量使用亦不影響種子之發芽。

六、結合材料(以團粒化劑為例)

(一) 結合材料之特性

結合材料是以冷水膠、特殊黏膠物質或生物性混合添加劑混合而成，目的為固結植生粒劑內土壤、植生材料及種子、預防粒劑崩解破壞並改善其通透性、物理性與結構強度。

結合材料一般多屬濃縮劑，可分為粉末及液體兩種；成分又可分為單一配分及複合配方兩種，使用時常需經加水稀釋至規定倍數濃度後再混合其他基材進行。因結合材料之種類繁多，可依據材料之特性與屬性，選擇適宜之結合材料。

(二) 團粒化劑

1. 團粒化劑之定義

團粒化劑(aggregating agent)一詞主要由日本琉球引進，產品名稱為 Polisoil，其產品包括主劑(B 劑)及副劑(L 劑)，依據日本綠化工學會編輯之綠化技術用語事典(1990)，團粒化劑定義係指「合成高分子系列之土壤改良劑」，主劑(B 劑)主要成分為 Polyvinylalcol(聚乙烯醇)、polyacrylic acid(聚乙烯酸)，melamine(三聚氰胺)等合成樹脂，或陽離子性合成高分子等，副劑(L 劑)為丙烯酸樹脂類，為一般的黏著劑或乳膠劑，主劑或副劑皆具有親水性基與疏水性基，親水性基可以使藥劑隨水分入滲至土壤內部隨水分蒸發，疏水性基就會在土壤表面結膜，結合土壤粒子或促進土壤團粒化效果，亦具有改善土壤通氣性、透水性之功能。

2. 團粒化劑一般物化性質介紹

(1)具結合土壤粒子或促進土壤團粒化效果。

(2)針對土壤膠質表面斥水性，亦具有改善土壤通氣性、透水性之

功能。

(3)適合使用時間一般為施工之初、中期。

(4)團粒化劑顏色一般為乳白色、白色或淺色系列。

(5)粘度視產品不同而略有改變，一般為 1200-1300 cps(25 ℃)。

(6)濃度調配可依據需求而調配，可由 10~50 %不等。

(7)pH 以不危害土壤及植物和生態環境為主，通常介於中性到微酸性間。

(8)比重為 1.1 -0.1。

(9)保存期限需一年以上。

七、種子材料

(一) 植生粒劑適用之種子考量要點

植生粒劑應用之種子材料物種，除需考量其植生復育效益及植生演替外，亦需考慮種子大小，以方便植生粒劑製作。在應用種子材料之選擇方面，可以下列因素綜合判斷：

1. 植物種類之選擇應以鄉土(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。
2. 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。
3. 崩塌地自然演替之先驅優勢植物，易於採種，繁殖且生長快速者。
4. 防災功能較強或水土保持推廣應用之木本植物種子，適於崩塌地植生施工或生長者。
5. 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。
6. 木本植物以現地植物種子材料為主(仍需植生演替推測資料)。
7. 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。

(二) 植生粒劑適用之物種

綜合上述條件，植生粒劑應用之種子材料物種如下表：

表 4-5 植生粒劑應用之種子材料

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
小葉百喜草	*Paspalum notatum*	禾本科 雀稗屬	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
高狐草 (綠柏草品系)	*Festuca arundinacea*	禾本科 羊茅屬	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
狗牙根 (百慕達草)	*Cynodon dactylon*	禾本科 狗牙根屬	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
多年生黑麥草	*Lolium perenne* L.	禾本科 黑麥草屬	中、高海拔 (1,500~2,500m)	0.2-0.4 m 多年、叢生	播種	460	噴植草種
類地毯草	*Axonopus affinis*	禾本科 地毯草屬	中、高海拔 (2,000 以下)	0.05-0.35m 多年、匍匐莖	分株 播種	2,500	邊坡植生 草溝
鐵掃帚	*Lespedeza cuneata*	豆科 胡枝子屬	高中低海拔 (3,000 m 以下)	0.6~1m 多年、直立喬木	播種	---	邊坡植生
山胡枝子	*Lespedeza bicolor*	豆科 胡枝子屬	低海拔	常綠灌木	播種	160	噴植樹種 荒山植生
山芙蓉	*Hibiscus taiwanensis*	錦葵科 木槿屬	海拔 1200 公尺以下	落葉性大灌木或小喬木	播種	---	噴植樹種
台灣欒樹	*Koelreuteria henryi*	無患子科 欒樹屬	低海拔	落葉喬木	播種	25	邊坡植生 園景樹種
羅氏鹽膚木	*Rhus javanica var. roxburghiana*	漆樹科 漆樹屬	中、低海拔 (1,900 m 以下)	半落葉喬木 高 4 m	播種	100~150	邊坡植生 荒地植生
台灣赤楊	*Alnus formosana*	樺木科 榿木屬	高中低海拔 (3,000 m 以下)	10 公尺 常綠喬木	播種	1,250	邊坡植生 荒地復舊
台灣櫸	*Zelkova serrata*	榆科 櫸屬	中、低海拔 (300~1,000 m)	落葉喬木	播種 扦插	45~50	邊坡植生 造林樹種
羊蹄甲	*Bauhinia variegata*	豆科 羊蹄甲屬	中、低海拔 (1,600 m 以下)	落葉小喬木	播種 扦插	---	邊坡植生 園景樹種
山胡椒	*Litsea cubeba*	樟科 木薑子屬	1,000m	落葉灌木或小喬木	播種	---	邊坡植生 坡地植生
相思樹	*Acacia confusa*	豆科 相思樹屬	中、低海拔 (1,600 m 以下)	5 m 常綠喬木	播種	350	噴植樹種 荒地植生 先驅樹種

(三) 種子材料之檢驗

為控制植生粒劑之植生效果，有必要實施種子品質控制檢測，選用之種子需依據國際種子檢查協會(ISTA)規則及台灣 CNS2166N4014 農業類種子檢測法之規定，檢測種子品種或品系、種源、發芽率及純潔度分析(雜質)...等。

種子材料購買時須挑選品質有保證者，一般以發芽率高、夾雜物含量少、參雜其它種子含量低為佳，亦即選擇採取地、採取年月日、發芽率、純度記錄清楚者。

1. 種子純度檢測

一般種子中常混有異種、野草之種子、莖葉碎屑及砂粒等夾雜物，將降低品質種子純度及售價。故種子純度之檢定，有助於適宜種子之選擇，其計算式如下：

$$\text{種子純度}(\%)=\frac{\text{除去夾雜物後純潔種子之重量}}{\text{樣品重量}}\times 100\%$$

2. 種子發芽率及發芽勢計算

發芽率(germination rate)係指在指定發芽條件下，正常發芽種子數目之比率。發芽勢(germinating energy)指自發芽試驗開始後，某一特定期間之發芽率，一般為最高發芽率日期(或稱發芽勢截止日期)之總發芽率，為決定種子的最大發芽潛能，用於不同批種子品質之比較及估算田間播種之價值。發芽率與發芽勢有如下之計算方法：

(1)發芽率$(\%)=\frac{\sum A}{N}$

(2)發芽勢$(day^{-1})=\frac{(100)(A_1+A_2+A_3+\cdots+A_n)}{(A_1T_1+A_2T_2+A_3T_3+\cdots+A_nT_n)}$

(3)發芽勢$(\%)=\frac{\text{發芽最高峰日期(發芽截止日期)之發芽總數}}{\text{供應種子總數}}$

式中：A=發芽種子數

T=發芽時間(日)

n=「試驗」後天數

ΣA=發芽種子總數

N=供試種子總數

(四) 應用種子常見問題與對策

1. 種子材料是否須預措處理或處理方法，需依相關經驗資料進行之。一般而言，木本種子材料發芽速度較慢，使用前應進行預措處理，以提高發芽率縮短發芽時間。草類種子可不預措處理，以延長其播種後之發芽活力。
2. 植生粒劑製作完成後，其基材與種子材料混合，無法確切了解實際使用材料是否符合設計配方規格。故植生粒劑於製作前應對於植生資材進行相關材料、數量之檢查核驗。
3. 草木本種子由委外採集或購買，有時無檢驗標準，易造成誤用問題。因此於購買時，應注意其種子包裝、容器或標籤上需是否有附上學名、品種名稱、種苗業者名稱及地址、種類及中文品種名稱、品種權登記證號、生產地、重量數量、發芽率、測定日期、其他經中央主管機關所規定之事項
4. 部分不同植物種類之種子不易辨認(如(多年生)黑麥草、多花黑麥草、高狐草等)，因此種子購買前應進行確認，以避免購買錯誤種子。另外，應用種子儲存不當影響品質，造成後續發芽率低。
5. 理論上，草木本植物混播是理想之方法。但崩塌地屬較不可能生長木本植物之立地條件時，可先播草類，俟其衰退後再播木本較能把握木本植物之生長。

八、其他材料及相關應考量事項

(一) 其他材料

1. 著色劑

於植生粒劑上使用染色劑，可易於辨別施工區域及投擲後施工區域與周邊景觀調和，但材料需檢附物質安全資料表(LD50>5000mg/kg)、產地證明及產品規格檢驗報告書(需由國家認可之檢驗機構提出)，一般常使用顏色為綠色。

2. 鳥類忌避劑

為避免鳥類等生物對種子、初期發芽苗及所施作基材等之危害，於粒劑內添加之藥劑，以達到保護種子發芽生長等功能。唯鳥類忌避劑之使用需考慮其實效性及可能對生態生物之影響問題等。

3. 水

儘量以較少量之水分，且屬乾淨、無害植物生長之水分。

(二) 相關應考量事項

1. 化學肥料之使用，應考量其易於溶解而可能造成水庫集水區水質影響之問題。
2. 含種子之材料或製成含種子之粒劑，應適宜之乾燥儲藏及維持其種子活力與發芽率。

伍、UAV 航空植生作業規劃

5.1 作業區域之選定與基地調查評估作業要項

一、基地調查評估要項

基地調查之目的係為瞭解基地現況，包括崩塌規模與範圍、地形地貌、環境災害特性、周邊環境植被與地質土壤條件等。另 UAV 飛行場地條件(包含起降地點條件、風場環境、車輛設備可及性等)，UAV 與播種裝置評估、植生材料形式選擇評估、施工航線與時程規劃、撰寫活動計畫書、飛行任務申請許可等相關作業，均需一併考量。

二、施工作業區域調查評估

(一) 施工區域之評估

崩塌裸露地通常立地條件不佳，仍可能有嚴重之土壤沖蝕或不安定之土石移動，是否適宜做為 UAV 播種植生之施工點位，可透過航拍與影像分析，進行適宜植生點位分析。

(二) 相關分析方法概要

坡度分析方法執行容易，一般經初步訓練之水土保持技師均可嫻熟操作。建議適宜 UAV 播種植生區位，暫可以坡度分析資料為主要劃定之依據。

(三) 適宜施工時機

臺灣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，北部地區播種工期應盡量避開不利植物 生長或施工作業之時間，選擇 2~6 月或 9~11 月適合的氣候條件下施工；中部地區主要受到梅雨及颱風影響產生較大雨量，播種及植栽施工應該避開這時期(約 5~8 月)；南部地區夏季高溫多雨且炎熱，冬季乾冷，因此適合的噴植作業約在 4~6 月及 9~10 月期間。

5.2 施工作業流程規劃

一、UAV 播種植生工法採購方式探討

表 5-1 勞務採購與工程採購之差異

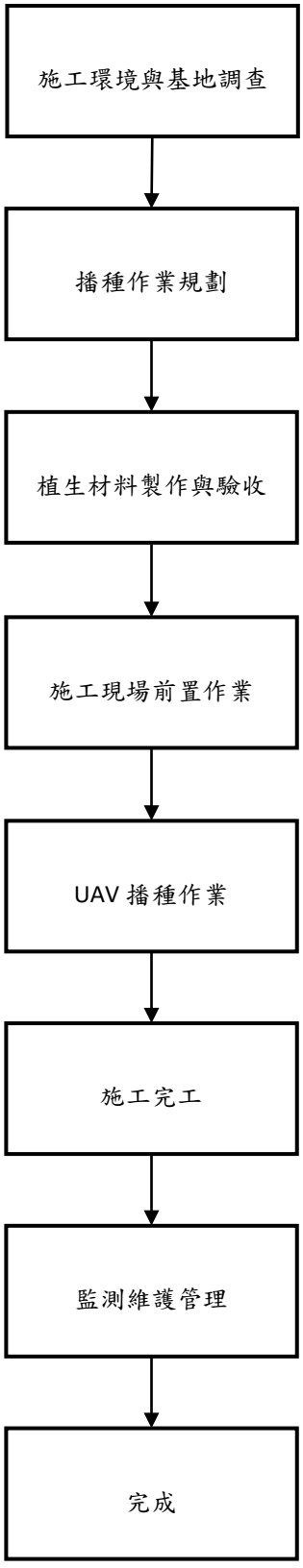
項目	勞務採購	工程採購
招標方式	限制性招標	公開招標
押標金金額	免收押標金 (勞務採購無押標金)	預算金額之百分之五
履約保證金金額	免收履約保證金 (勞務採購無履約保證金)	契約金額之 10%
保固保證金金額	免收保固保證金	工程結算金額(不含供給材料費) 2%。
決標原則	最有利標	最低標、最有利標、最高標
決標	非複數決標、複數決標	非複數決標
決標方式	非固定金額決標。符合招標文件之規定，且經評選(審)取得優先議約權後，經議約成立後決標。	總價決標
無法決標時	-	依採購法第 56 條規定採行協商措施，協商措施得更改之項目：原報內容或重新報價。
投標廠商之基本資格	公私立大學、技術顧問機構、技師事務所	營造業、土木包工業
履約標的	甲方辦理事項	由機關概列主要工程項目、構造物
驗收方式	1. 書面資料及審查會等方式，含施工影片記錄資料。 2. 使用材料內容數量可由監造單位查驗或配合試驗機關認證。 3. 現場施工影像、照片、記錄資料經監造單位認證。	1. 包含初驗、查驗、竣工等分期驗收。 2. 內容包含工程項目、材料、位置、設計尺寸等現地驗收。 3. 依施工規範、材料品質規格等相關規定。

參考來源：行政院農業委員會水土保持局投標須知範本

表 5-2UAV 投放植生作業之採購方式(優劣)評估

採購類別		驗收方式	驗收依據	可行性(優劣點)
勞務採購	工程採購			
✔	✔	1. 材料檢驗	植生粒劑規格(含材料配比、比重、大小、數量與種子、基材特性分析等)	可行 (植生粒劑規格化驗收)
✔	✔	2. 施工流程與施工檢查	1. 施工區同角度之施工前中後空拍照片 2. 施工過程之影片記錄 3. 施工日誌記錄表 4. 每次投放作業記錄表	可行 (詳列每次投放作業記錄表)
	✔	1. 工程施工完工驗收 (依施工項目設計圖說資料查驗)	1. 包括初驗、查驗、竣工驗收 2. 工程項目位置、量體驗收	因為能直接在現地進行驗收，較不可行
	✔	1. 養護期滿驗收	1. 養護期滿成果驗收 2. 植生覆蓋率、植生成活率驗收	1. 因不能直接在現地驗收，較不可行。 2. 可輔以 NDVI 等影像圖資，作為植生效益成果判釋與追播之必要性參據

二、主要作業流程規劃要項



◎施工環境與基地調查
1.環境植被調查
2.崩塌類型評估
3.工區坡度、飛行場地條件(包含起降地點條件、風場環境、車輛設備可及性。)調查
◎播種作業規劃
1.作業所需施工成本
2.UAV 與播種裝置評估
3.植生材料形式選擇評估
4.施工航線與時程規劃
5.撰寫活動計畫書
6.飛行任務申請許可(檢附活動計畫書)
◎植生材料製作與驗收
1.植生材料製作
2.植生材料樣本抽查驗收

◎施工現場前置作業
1.施工航線與時程規劃確認
2.施工點位確認
3.施工機具設備與資材準備

◎監測維護管理
1.後續生長監測調查(每 7 天/次)
2.追播作業評估

圖 5-1 主要作業流程圖

三、UAV 播種植生工法與播種材料設計要項

表 5-3UAV 播種植生工法與播種材料設計內容

(以播種植生粒劑 0.1 公頃面積為例)

UAV 載具型號			投放式(無動力式)/動力式
崩塌地屬性			崩塌地/裸露地
施工點位與立地條件			海拔/坡度/土壤
播種方法	播種方式		(投放式)
	平均材料負載量 平均一次播種時間		kg 分
播種材料	介質材料		kg
	肥料		kg
	保水劑		kg
	包覆材料		kg
	結合材料		kg
	種子材料*	草本	kg
		木本	kg
	其他材料 (水、著色劑、忌避劑)		kg
	合計		kg
相關問題與改進對策事項			

*：種子材料之配比需依草本植物與木本植物種子之種類數量等分別表列之

四、施工作業計畫流程(以投放植生粒劑作業案例)

(一) UAV 播種植生工法作業流程圖

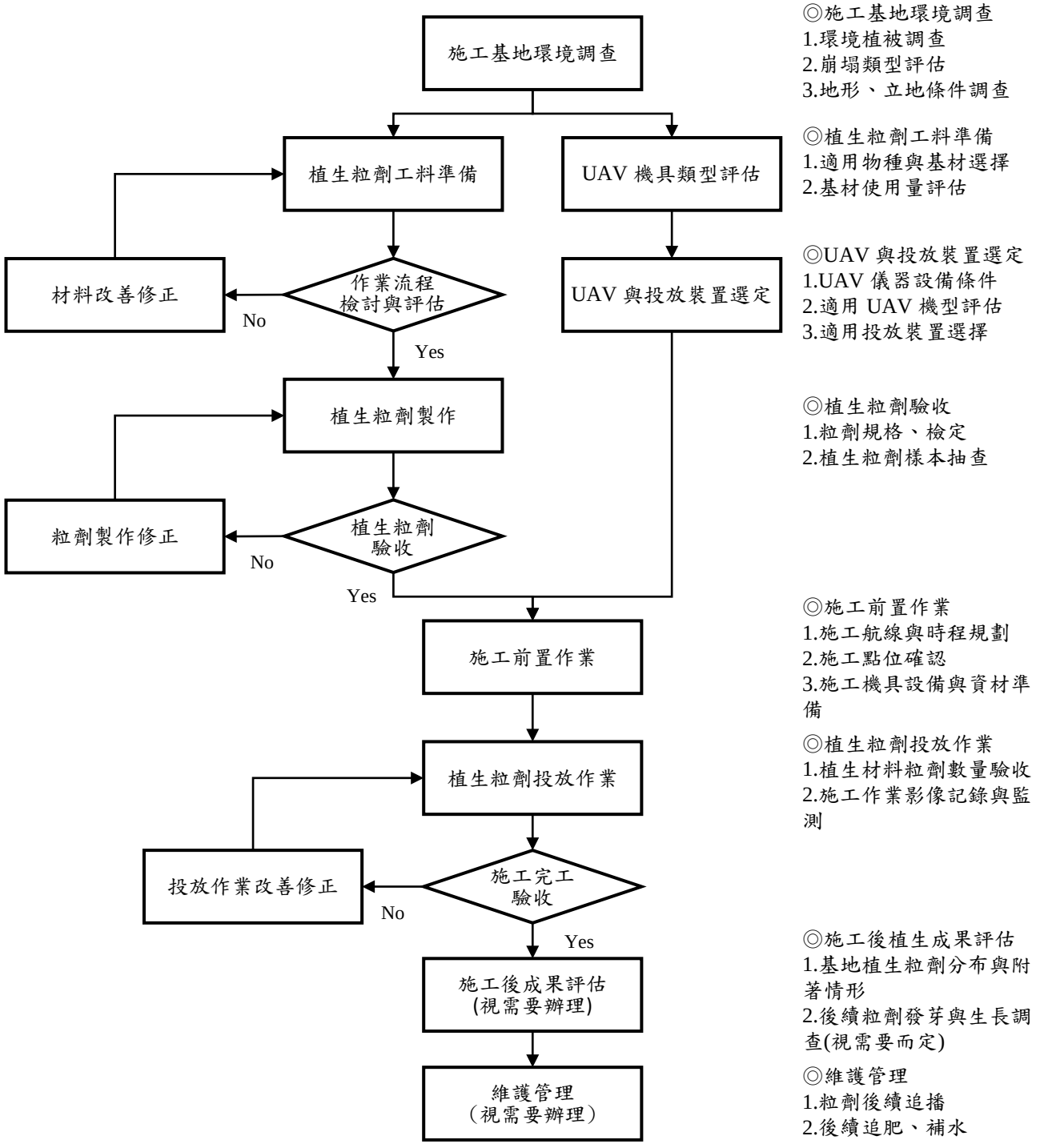


圖 5-2 施工作業計畫流程圖(以投放植生粒劑作業案例)

(二) 不同作業階段之應注意事項

表 5-4 施工步驟與應注意事項(植生粒劑播種)

施工流程	使用材料與施工機具	施工要項
1.施工前準備	-	1. 基地環境與播種面積初估。 2. 播種點位與作業時機規劃。 3. 種子可能發芽點位之研判。 4. 播種量之計算。 5. UAV 機具類型確立與作業基地調查。 6. 航線規劃與飛行申請。
2.植生粒劑製作	植生基材、製作機具	1. 植生粒劑規格確立。 2. 植生粒劑之製作流程規劃。 3. 植生粒劑之製作與儲存。 4. 依環境特性評估與植生基材(植生粒劑)數量之修正。
3.植生粒劑播種作業	植生粒劑、UAV 與播種裝置	1. 施工基地準備。 2. 植物種子可能發芽之點位面積評估。 3. 施工作業流程確立(含分期分區施工作業)。 4. 植生粒劑之準備 5. UAV 播種機具之準備與作業操作 6. 播種作業過程拍攝與監測。
4.植生調查與養護	植生基材、UAV 與播種裝置	1. 養護工作應於播種作業完工後，即日開始至保固期滿為止。 2. 種子發芽與初期生長調查(現地調查)。 3. 追肥與追播 4. 植生覆蓋與成果監測(UAV 拍攝影像分析)

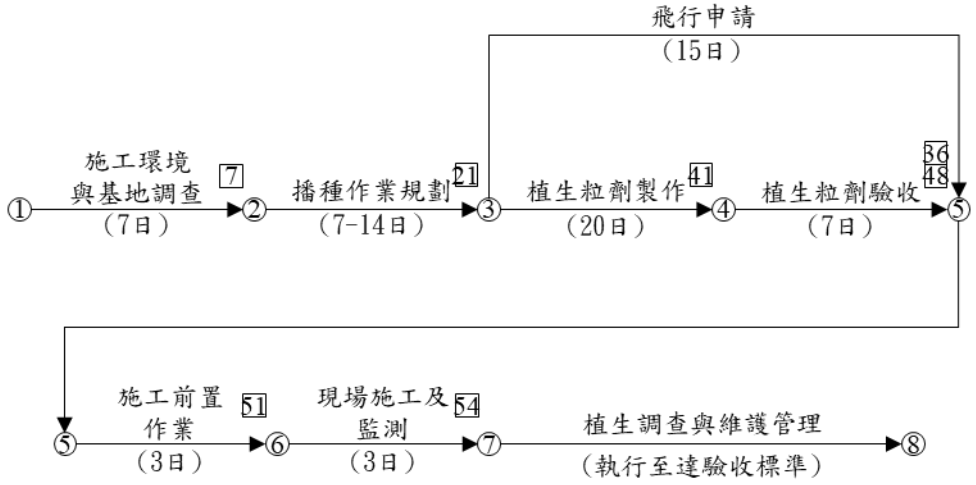
五、施工作業時程規劃(以投放植生粒劑作業案例)

表 5-5 施工作業時程規劃(以播種植生粒劑 0.1 公頃面積計)

施工作業要項	工作概述	工作天數
施工環境與基地調查	1. 環境植被調查 2. 崩塌類型評估 3. 工區坡度、飛行場地條件調查	7 天 (可依現況增加)
播種作業規劃	1. 作業所需施工成本 2. UAV 與播種裝置評估 3. 植生材料型式選擇評估 4. 基材用料配比設計 5. 植生粒劑播種量評估 6. 施工航線與時程規劃 7. 撰寫活動計畫書	7-14 天
飛行申請	1. 提出飛行計畫書。(視相關規定需求)	15 天
植生粒劑製作*	1. 植生基材與種子採購 2. 植生粒劑生產	20 天 (播種面積每 0.1 公頃計算，需 10 天。如超過 0.1 公頃，每 0.1 公頃需增加 2~3 天。)
植生粒劑驗收	1. 粒劑規格，數量檢定 2. 植生粒劑樣本抽查	7 天
施工前置作業	1. 施工航線與時程規劃 2. 施工點位確認 3. 施工機具設備及粒劑準備	3 天
現場施工及監測	1. UAV 播種作業 2. 植生粒劑播種監測(UAV 影像) 3. 植生粒劑分布與附著情形調查	3 天 (播種量如以每 0.1 公頃設計 100 公斤植生粒劑用量，約需 2~3 個工作天。)
植生調查與維護管理	1. 粒劑附著與發芽生長調查 2. 追播與補播 3. 植生成果監測(UAV 影像分析)	依合約規定執行至達驗收標準

*：以目前單機組之產能計算。如有較大面積之施工需求，可增大機組設備，以縮短施工日期。

**：以使用植播機 10K A 型播種作業為例。



備註：1.本圖以施工面積 0.1 公頃為例

2.植生粒劑製作階段，播種面積如超過 0.1 公頃，每 0.1 公頃需增加 2~3 天。

3.現場施工階段，播種量如以每 0.1 公頃設計 100 公斤植生粒劑用量，如超過 0.1 公頃，每 0.1 公頃需增加 2~3 天。

圖 5-3UAV 播種植生工法作業流程箭線圖(工作天)

陸、植生粒劑之規格與製作

6.1 植生粒劑製作考量要點

植生粒劑大多應用於零星分布、人力無法到達、崩塌源頭處等點位，因此在製作過程應考量粒劑之大小、重量與散播能力，使粒劑可藉由 UAV 之承載，於目標點進行播種。除此之外，上述之施工點位大多為環境條件不利植物生長之區域，因此在製作植生粒劑過程同時應選擇與施工區域環境條件較適宜之植生基材與物種，已達到快速綠化之效益。植生粒劑製作之考量要點如下：

1. 粒劑大小不宜過大或過小(約 2~3cm 較佳)，以確保植生粒劑於目標地後可順利生長。
2. 植生粒劑宜使用比重小乾粒料，以增加 UAV 所能承載之粒劑數量。
3. 植生粒劑之附著效果，需依崩塌地之基地條件進行評估，或進行必要之處理，以增加其固著(附著)效果。
4. 植生粒劑之儲藏性，因 UAV 投放粒劑工法與以往噴植工法不同，該工法需於施工前將植生粒劑製作完成，等待投擲時機，因此製作完之植生粒劑需具一定儲藏能力，以避免種子發芽率下降。
5. 植生粒劑之製作效益與經濟性。需縮短植生粒劑之製作時程，並增加其產量。以達到其施工效益與經濟性。

6.2 植生粒劑之製作

一、植生粒劑製作方法

拌合介質材料、養生材料(肥料、保水劑)、種子材料與結合材料(黏著劑)等粒劑資材，切割資材製成初階粒劑作為粒劑製作過程團粒之核心，放入預拌桶後，隨之加入包覆材料(纖維材料)，漸漸與植生資材混合並包覆，拌合至纖維完全包覆粒劑後風乾即完成。

二、植生粒劑製作方法與粒劑結構設計

植生粒劑製作方法與粒劑結構設計分為兩種，因製作原理與製作流程不同，最後產出之粒劑結構也不同。可依粒劑製作使用機具作區分，第一種僅使用預拌桶，第二種則使用預拌桶及資材切割機。以下為兩種使用不同製作機具所產出之植生粒劑結構介紹：

(一) 使用預拌桶製作

植生粒劑之設計結構以分層製作，故其材料可概分為基底材料、介質材料、養生材料(肥料、保水劑)、包覆材料(纖維材料)與結合材料(黏著劑)。其中基底材料主要為粒劑製作過程團粒之核心，其目的是使粒劑製作時方便滾動，因基底材料為顆粒狀，放入預拌桶後，隨之加入介質材料與養生材料，並逐漸添加結合材料，植生粒劑將隨預拌桶之轉動，漸漸與植生資材混合並層層包覆。待植生粒劑之大小拌合至 3~5 公分後，加入包覆材料，並拌合至纖維完全包覆粒劑後風乾即完成。

(二) 使用預拌桶及資材切割機製作

拌合介質材料、養生材料(肥料、保水劑)、種子材料與結合材料(黏著劑)等粒劑資材，切割資材製成初階粒劑作為粒劑製作過程團粒之核心，放入預拌桶後，隨之加入包覆材料(纖維材料)，漸漸與植生資材混合並包覆，拌合至纖維完全包覆粒劑後風乾即完成。

三、植生粒劑之製作流程

以下為兩種植生粒劑製作方法流程說明：

(一) 使用預拌桶製作

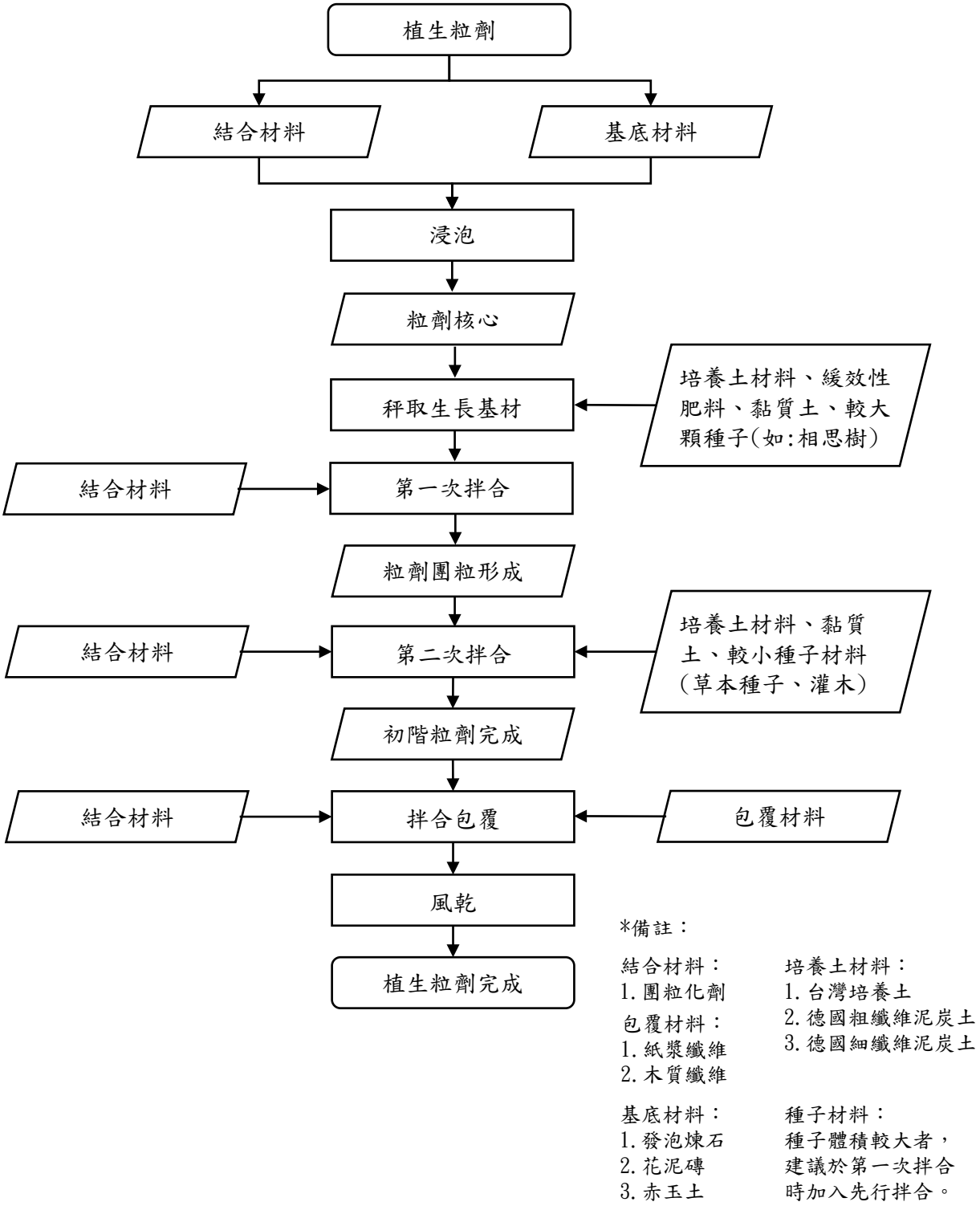
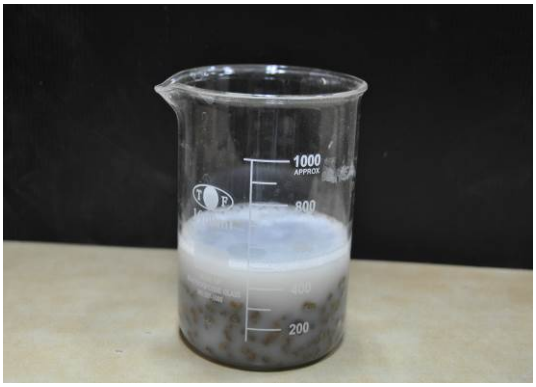


圖 6-1 植生粒劑製作流程圖(一)使用預拌桶製作



1.秤取基底材料與結合材料



2.基底材料泡入團粒化劑





3.秤取生長基材，並將浸泡之核心放入預拌桶



4.加入生長基材與結合材料進行第一次拌合



5.粒劑團粒形成





6.生長基材與小粒種子，拌合均勻後倒入預拌桶進行第二次拌合



7.拌合至材料呈球型



8.初階植生粒劑



9.再次放入預拌桶，進行拌合



10.取出使粒劑風乾，完成製作

圖 6-2 植生粒劑製作流程照片(一)使用預拌桶製作

(二) 使用預拌桶及資材切割機製作

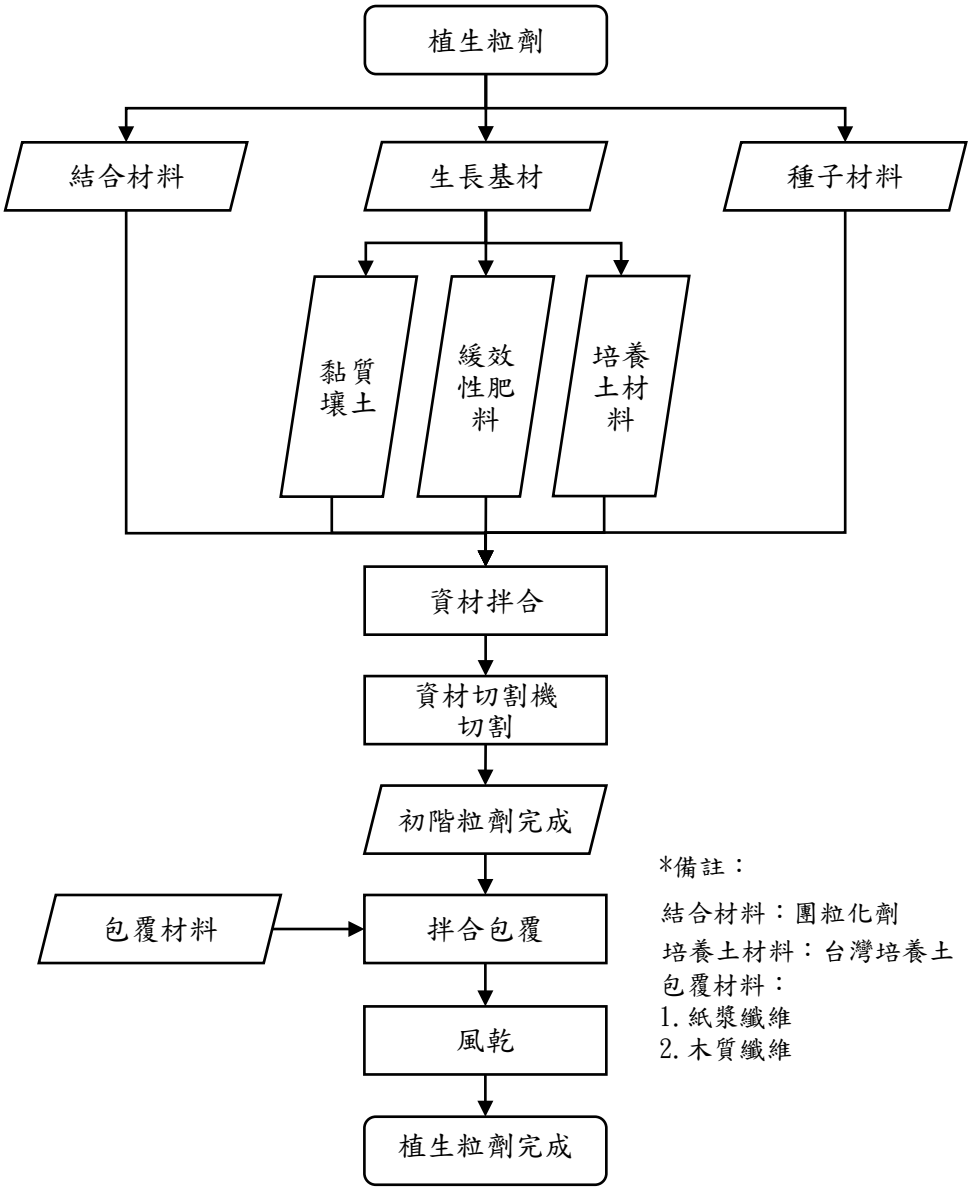


圖 6-3 植生粒劑製作流程圖(二)使用預拌桶及資材切割機製作




1.秤取種子材料(包含所有草、木本種子)、結合材料(團粒化劑、黏著劑...)與生長基材(培養土、黏質土、緩效性肥料...等)


2.將種子材料與生長基材混合


3.加入結合材料拌合




4.將拌合基材放入切割機內，拌合過程須持續放入基材


5.初階植生粒劑


6 秤取包覆材料



5.將初階粒劑及包覆材料放入預拌桶進行包覆拌合



6.取出使粒劑風乾，完成製作

圖 6-4 植生粒劑製作流程照片(二)使用預拌桶及資材切割機製作

(三) 兩種粒劑製成方法比較

表 6-1 粒劑製成方法比較表

製作方法	方法(一)使用預拌桶製作	方法(二)使用預拌桶及資材切割機製作
粒劑材料	1. 培養土材料 2. 緩效性肥料 3. 黏質壤土 4. 基底材料 5. 包覆材料 6. 結合材料 7. 種子材料	1. 培養土材料 2. 緩效性肥料 3. 黏質壤土 4. 包覆材料 5. 結合材料 6. 種子材料
製作機具(所需電壓)	預拌桶(220V)	預拌桶(220V)、資材切割機(110V)
粒劑大小	粒徑大小不一，難以控制	粒劑大小較為均勻
製作效率	2kg/hr	17.5kg/hr
製作步驟	較多且繁複	簡單
團粒化劑使用量估算	依實際製作現況判斷用量	需準確依材料配比添加
材料配比自由度	種子材料大小或形狀較為特殊時，材料配比調整上較容易。	當種子材料若形狀較不規則或粒徑較大，資材切割機時易無法正常運作，故須調整材料配比配合切割機運作。

6.3 植生粒劑之保存與儲放

植生粒劑製作完成後應盡快將粒劑風乾並儲放，以避免粒劑內種子提前發芽，導致投擲後之發芽率降低。

植生粒劑內之種子，將隨著時日漸漸降低及損失發芽力。種子的壽命是遺傳的性狀，但種子採集、運送、處理與植生粒劑之儲藏如能配合良好，則可使粒劑內之種子獲得最佳壽命。

6.4 植生粒劑之成品規格

植生粒劑之製作應符合標準流程製作，且植生基材之使用量應以現地施工環境調查後所評估之使用量進行製作。

柒、植生粒劑與播種作業驗收

由於 UAV 播種植生作業，通常在人力不易到達之地點施作，故應視其立地條件之特殊性與可預期性進行分析。其植生成果驗收，可就植生材料與粒劑成品驗收、施工作業影像記錄與監測與現地樣區調查驗收等三種驗收方式分別進行，或單獨進行驗收作業。

7.1 植生材料與粒劑成品驗收

一、植生粒劑規格驗收

植生粒劑經製作完成後，各項驗收標準如下：

1. 植生粒劑尺寸

植生粒劑製作完成之直徑應屆於 2.5~3.5 公分之間，以能完整將種子包入粒劑為準。應以避免播種時粒劑差異過大，造成播種器播種困難及生長分布不均。

2. 植生粒劑單位重量(比重)

植生粒劑製作完成並風乾後，其比重應屆於 0.8~1.0 之間。因使用生長介質不同，其製成粒劑後之比重略有差異，如培養土製成之粒劑比重約 0.97、泥炭土 1.88、菇類堆肥 0.92。

3. 植生粒劑強度

因植生粒劑需透過 UAV 飛行載具自高空播種，故其製作完成後之強度，需可自 30 公尺高度落下後不破碎，且仍可持續生長為標準。

4. 植生粒劑水分含量

植生粒劑內之水份含量，對於粒劑內種子發芽具有直接影響，故粒劑製作完成風乾後，其水分含量應小於 10%，以維持植生粒劑之儲存與有效期。水分含量計算公式為

$$W = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2}$$

M1:風乾後(飽和後)重量

M_2:烘乾後重量

以培養土做為生長材料製成粒劑，風乾實測值約 8.24%。而植生

粒劑充分吸水後之最大水分含量，亦是粒劑於野外生長之重要關鍵，因此，植生粒劑本身最大含水量應屆於 30~75%之間，以確保粒劑於野外之生理作用、養分攝取以及養分的傳輸。

5. 植生粒劑種子含量

植生粒劑製成後其內部草、木本種子量經撥開查驗，應符合不同大小比例之種子含量(以直徑 3 公分之植生粒劑而言，其草本種子量應含有約 300 顆，木本種子應含有約 20 顆以上)。



圖 7-1 植生粒劑種子材料撥開查驗

表 7-1 植生粒劑規格驗收表

工程名稱		取樣日期	
送驗單位		驗收單位	

驗收項目		驗收標準
1	粒劑尺寸(cm)	直徑以 3 公分為準，其誤差值±0.5cm。
2	粒劑比重	風乾粒劑比重 0.8-1.0。
3	粒劑強度(%)	自 30 公尺高度落下後，粒劑完整度。
4	粒劑重量水分含量(%)	風乾後，水分含量應小於 10%(乾重比)。
5	粒劑種子含量(粒)	以 3 公分植生粒劑而言 草本含有約 300 顆，木本種子應含有約 20 顆以上為原則。

	驗收項目		實測值					是否符合標準
			樣本 1	樣本 2	樣本 3	樣本 4	樣本 5	
1	粒劑尺寸(cm)							□符合 □不符合
2	粒劑單位重(g/cm^3)							□符合 □不符合
3	粒劑膠結情形							□符合 □不符合
4	粒劑水分含量(%)	風乾後						□符合 □不符合
		最大值						
5	粒劑種子含量(粒)	草本						□符合 □不符合
		木本						

二、植生粒劑發芽試驗

1. 植生粒劑發芽株數

製作完成之植生粒劑，經風乾後將隨時間增長而逐漸降低發芽率，因此應逢機取樣並置於土盆內進行 28 天發芽試驗，以評估該批粒劑之發芽情形。以直徑 2 公分植生粒劑而言，其 28 天草本總發芽株數，應達到 50 株以上，木本植物則應達 5 株以上，直徑 3 公分植生粒劑，其 28 天草本發芽總株數應達 100 株以上，木本植物應達 10 株以上。倘若粒劑發芽株數未達標準，則應適時增加種子材料量或於施工現地補播植生粒劑。

2. 植生粒劑平均發芽日數

植生粒劑之發芽速度以粒劑平均發芽日數檢驗，一般草本種子可於 7~14 天發芽，木本種子則視其種子特性而決定其發芽日數，但因植生粒劑於製作過程可能打破種子休眠，故可能造成部分種子發芽日數受影響。因此製作完成或儲放許久之植生粒劑應於播種時進行平均發芽日數之檢測，以了解植生粒劑是否受到影響。植生粒劑內草本之平均發芽日數應於粒劑播種試驗後 7~14 天內測定發芽率，木本種子則於播種後 15~21 天內測定發芽率，但仍應依據使用種子物種，及是否有實施預措處理，進行調整。倘若植生粒劑之平均發芽日數已影響甚劇，遲滯許久尚未發芽，則應考慮重新製作，或是補播植生粒劑。植生粒劑平均發芽日數計算方法如下：

平均發芽日數=∑(每日發芽粒數×發芽試驗天數)/總發芽粒數

表 7-2 植生粒劑發芽驗收表

工程名稱				取樣日期					
送驗單位				驗收單位					
驗收項目			驗收標準						
1	粒劑發芽測定日數(天)		草本植物種子應於粒劑播種試驗後測定發芽數至第 7~14 天；木本植物種子應於粒劑播種試驗後測定發芽數至第 15~21 天。倘若應用物種發芽日數不同，或有實施預措等相關處理，需另外進行調整。						
2	種子發芽株數(株)		徑 3cm 植生粒劑 28 天草本發芽株數，應達到 50 株以上，木本植物則應達 5 株以上。						
	驗收項目		實測值					是否符合標準	
			樣本 1	樣本 2	樣本 3	樣本 4	樣本 5		
1	種子發芽株數(株)	草本						□符合 □不符合	
		木本							
2	粒劑平均發芽日數(天)	草本						□符合 □不符合	
		木本							
備注：									

三、材料存放

所有材料進場未施工前及施工中存放，需考慮日曬、雨淋、溫度、濕度、鳥獸啃食等五項，分別說明如下：

表 7-3 植生粒劑應用材料進場存放規範表

材料種類	日曬	雨淋	溫度	濕度	鳥獸啃食	存放規定
土壤材料		✓				塑膠帆布覆蓋及低溫保存
纖維材料						密封袋封存
緩效性肥料			✓			密封袋封存，低溫保存
種子材料					✓	塑膠帆布覆蓋及低溫保存
團粒化劑	✓					鐵桶封存，隔絕空氣
培養土材料						塑膠帆布覆蓋及低溫保存

7.2 施工作業與影像記錄

UAV 播種植生施工過程需利用相機、攝影機等儀器進行拍攝，以觀察記錄粒劑落下之情況與分布情形。並於施工前、後進行 UAV 影像拍攝，或利用航拍影像進行覆蓋度分析(視需要進行)，以了解植生播種後續之發芽情形與覆育效益。



1.植生材料數量檢查(粒劑)



2.植生材料裝填



3.施工位置範圍確認



4.執行播種任務



5.UAV 播種影像記錄

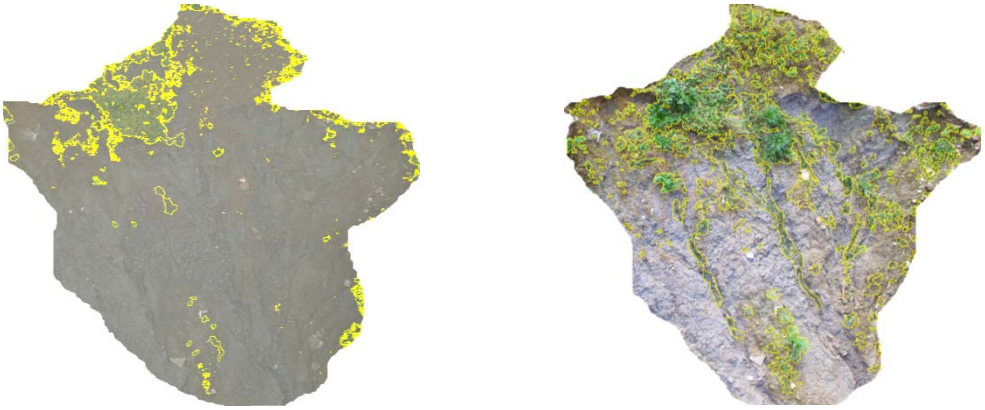


6.利用 UAV 後續拍攝監測

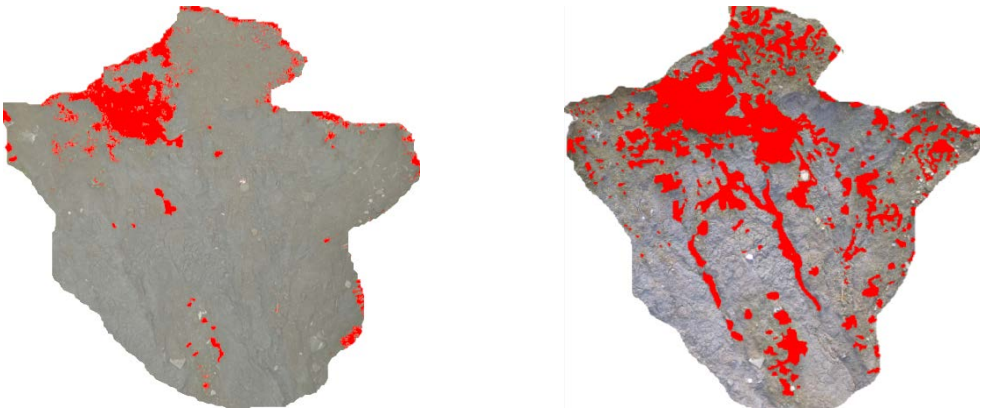
圖 7-2UAV 播種植生施工流程照片例



使用 Image J 分析之目標坡面



植被覆蓋之選取範圍



植被覆蓋之面積分析

圖 7-3 施工前後覆蓋率分析範例(視需要進行)

(左：播種前，右：播種後)

7.3 施工檢查與驗收

由於 UAV 播種工法之作業地點仍較一般人可達地點之裸露地條件惡劣，地形變化亦大，植物種子發芽生長之情況無法完全掌控，亦無法精確推估植生覆蓋率。播種目的種子可發芽生長之區域仍需借助後續植生入侵演替之效益達到之效果。因此，植生檢驗合格之標準，不建議以植生覆蓋率作為驗收標準，以實際撒播粒劑種子量完成度，飛行趟次、載重量等書面紀錄及側拍、伴飛影像等影像佐證之方式驗收。

一、UAV 播種工法驗收原則

1. 依欲施做之面積數定出所需使用之各項材料數量，於施工前廠商須進場接受點驗與品質抽驗。
2. 以一架次所能播種之面積數，做為植生種子每次拌合量依據。
3. 除黏著劑、肥料等植生材料外，可視需要另添加黑色或綠色之色劑，使播種之區域能清楚顯示。藉施工前、後之相片比對可知播種均勻程度。

二、施工影像照片

UAV 植生宜以劃定植生作業區域之裸地率為驗收依據，可依施工區同角度之施工前、中、後的空拍照片所顯示之成果為判釋依據。

三、UAV 作業查驗項目

UAV 作業驗收方式須檢附施工日誌紀錄表、每趟次作業填寫紀錄表之書面資料，以及作業過程中伴飛或側拍影像等。

表 7-5 施工日誌紀錄表

施工日誌				
執行編號	2019_001	行政區域	○○縣○○鄉○○村	
出勤人數	○人	執行天氣		
抵達時間	年　月　日　點　分			
執行期間	年　月　日　點　分至　點　分，共計　小時			
植生模式	□粒劑撒播 □乾料撒播 □純種子撒播			
植生面積	公頃			
崩塌地坡度	度			
執行地點	X 坐標(97)		Y 坐標(97)	
崩塌地點	X 坐標(97)		Y 坐標(97)	
作業範圍	(圖示)			
航線規劃 (投放點位)	(圖示)			
總飛行時間	小時　分			
總執行趟次	趟			
投放高度 (離地高度)	公尺			
總撒播總量	公斤			
崩塌地作業前照片	(撒播前空拍)			
崩塌地作業後照片	(撒播後空拍)			
側拍撒播作業影像	(撒播前、後影像)			

表 7-6 每趟次作業填寫紀錄表

趟次	載重量(kg)	起飛時間	趟次	載重量(kg)	起飛時間
1			11		
2			12		
3			13		
4			14		
5			15		
6			16		
7			17		

8			18		
9			19		
10			20		

四、非目標植物覆蓋率之調查(視需要辦理)

植物種子播種後，無法期待其全部發芽、生長，但植生驗收時必須確認植生目標植物群落之比率。原則上，播種後 6 個月目標植生物種以外之植物若超過 20%時，需檢討目標植物與入侵植物彼此間競爭作用與相互影響。崩塌地、泥岩惡地、砂礫岩或其他立地、氣象條件不佳的地區，非目標植物覆蓋率之設計標準得依實際調查時期與現地狀況而調整至 30%(或依合約規定辦理)。

五、植生粒劑撒布調查(視需要辦理)

(1)依施作區域面積定出所需使用之各項材料數量，於施工前廠商須進場接受點驗與品質抽驗。

(2)以一架次所能酬載之重量，做為植生粒劑數量驗收之依據。

(3)植生粒劑外層另添加黑色或綠色之色劑，使播種之區域能清楚顯示。藉施工前、後之相片比對可知播種均勻程度。

(4)粒劑播種撒布狀況調查，原則上；一個施工區域之範圍最少需三個調查樣區；如施工面積大於 1 公頃時，最少 5 個樣區，最多可選 20 個地點。

附錄二、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

會議時間：108 年 6 月 5 日(星期三) 上午 8 時 30 分

地點：水土保持局第一會議室

主持人：柯總工程司燦堂

序號	審查意見	回覆辦理情形
1	P.2-7，前期播種後之成果與效益分析，建議增播種後立地環境之氣候資料，包括降雨、日照、溫度、濕度等。	已於 P.2-5 檢附中埔氣象觀測站所記錄降雨、溫度、相對濕度資料，因該觀測站無日照紀錄，故未檢附。
2	P.2-37 各項子計畫整合，建議各子計畫執行目標系統彙整，對競合或重複項目提出說明。	已於 P.2-66「一、整合型創新研究計畫架構」章節補充說明整合型計畫內部支援及整合內容。
3	P.1-3，圖 1-1 中依據 P.2-25 所述，結合各子計畫之研究結果，初步建置 UAV 播種植生工法之施工流程，請修正相關流程圖。	謝謝委員建議，已重新檢視並修正計畫工作流程，詳見 P.1-3 圖 1-1 及 P.2-35，UAV 播種植生工法之施工流程詳見 P.2-36 圖 2-26。
4	P.2-7，2019 年 3 月 13 日進行第三次調查前幾天有一些降雨，是否對崩塌地或植生粒劑造成影響。	第三次追蹤調查確認 3 月 13 日前降雨並沒有對崩塌地或植生粒劑造成影響，但在第四次追蹤調查發現 4~7 月幾場豪大雨後，崩塌地範圍內產生了新的蝕溝產生新的蝕溝並有部分植生粒劑消失，詳見 P.2-9、P.2-11、P.2-12。
5	P.2-11，利用 UAV 航照圖以 Image J 分析覆蓋率時，如何區別原播種種子生長或自然入侵。	在執行播種作業前進行環境調查，記錄周遭原生植物物種，便可利用人工辨識物種區分航照圖中粒劑生長或自然入侵之差異。
6	P.2-22，前期計畫所製作完成之植生粒劑，於本期計畫中，是否隨著現地崩塌地生長情形再改良。	本期計畫參考前期播種效益，嘗試改良粒劑材料配比及製作辦法，詳見 P.2-44「(二) 精

序號	審查意見	回覆辦理情形
		進後植生粒劑製作流程圖」章節。
7	P.2-28，表 2-5 施工作業時程規劃建議可按照先後次序排列。	謝謝委員建議，已重新檢視並修正施工作業時程規劃，詳見 P.2-38 表 2-7。
8	P.2-34，表 2-10 中僅說明 UAV 播種作業為一式，建議增加說明相關作業情形，如施工面積 100m2 需多少時間？	本計畫以施工面積 1000m2 為例，表列施工作業時程規劃於 P.2-38 表 2-7，及流程箭號圖於 P.2-39 圖 2-27。
9	P.2-36，植生成果調查與效益評估中，材料驗收目前係以植生粒劑為例，手冊中是否包含其他基材部份。	將於手冊納入 UAV 噴植工法相關內容，包含噴植基材相關說明。
10	近日臺灣連日梅雨，適合植生生長，建議未來 UAV 施工注意事項，納入施工季節的說明。	謝謝委員提醒，未來將會把施工季節建議納入手冊內容中。
11	今年在創新研究計畫下，首次納入整合型計畫的研提，建議加強各子計畫間研發力整合，提升創新研發的效益，以作為後續其他整合型計畫的典範。	關於本整合型計畫研發整合內容已收錄在第二章第五節，包含計畫架構、互助內容及內部會議紀錄等。
12	目前採用的團粒化劑、黏著劑皆採國外產品，建議評估納入國內相關研發成果。	由於前期(107 年度)計畫已嘗試使用國內研發之黏著劑，但未達預期效果，故未列入考量。
13	現地驗證除調查 UAV 在試區內播發苗率外，建議增加非植生的，由自然入侵生長的植生種類、比率等分析。	謝謝委員提點，後續追蹤調查時，會加入原生植物自然入侵記錄。
14	本計畫屬整合型，冀望透過整合其他之計畫後能有見樹又見林之呈現，建議擬一 check list，供各子計畫檢視確認，亦藉此釐清每一項目均已涵括且達成。	本計畫雖屬整合型計畫，但在與其他子計畫交流上並無強制力，多採資源互助及成果分享的方式進行，此作法可增加各研究單位研究發想之自由度，得到較多元之研究成果。
15	報告內工作流程宜納入整併其他子計畫之工作項目，為另一較詳細流程。	如 P.1-3 圖 1-1 所示，本計畫將整併其他子計畫之成果納入 UAV 播種植生工法手冊中。

序號	審查意見	回覆辦理情形
16	現場說明提及 1 公頃植生播種經費需 100 萬元，稍偏高，課題為何？如何調降，可有對策？	經重新檢視計算後，UAV 植生粒劑播種植生工法單價分析如 P.2-62 表 2-16 所示，但此單價分析未包含施工環境與基地調查、播種作業規劃及飛行申請等成本，故未能有調降經費之空間。
17	本整合計畫建議針對計畫主題之緣由、課題及解決方案進行探討，以導出各子計畫研究之目的。	已於 P.2-66 第二章第五節補充說明各子計畫互助內容及關聯性。
18	本計畫建議對各子計畫之產出進行整合彙整，綜合評估成效。	如 P.1-3 圖 1-1 所示，各子計畫研究成果將與前期調查及國內外相關文獻進行整合，最後擬定出 UAV 播種植生工法操作手冊。
19	手冊擬定請針對各子計畫之產出項目整合編撰。	經整合型計畫第二次工作會議討論，本子計畫一提供手冊初稿給其他子計畫參考，手冊中第三、四、七章節分別需請子計畫二、三、四提供資料補充，特別是有關 UAV 植生工法之規劃作業流程與勞務採購驗收辦法部分。
20	P.2-14，文獻蒐集坡地植生工法應用技術精進研發封面照片為初稿，請修正。	已修正 P.2-25 文獻封面。
21	施工作業流程中包含維護管理，其後續追肥、補水之執行能否採用 UAV？因噴植區域大多為人力所不及，維護有一定困難。	因 UAV 播種植生工法的即時性及機動性，故其工法可採多次施工，維護管理上建議採用 UAV 追播的方式確保作業成效。

附錄三、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

會議時間：108 年 8 月 20 日(星期二) 下午 2 時 0 分

地點：水土保持局第一會議室

主持人：柯總工程司燦堂

序號	審查意見	回覆辦理情形
1	各項處理對於發芽率之影響。	本計畫使用之植生粒劑在播種試驗後續調查中，已達到原設定之發芽成效，且粒劑材料在崩塌區域留存 2 個月情況下，仍有正發芽生長之能力。
2	本計畫成果是否有專利問題？未來施作是否有教育訓練，讓成果能標準化。	本計畫成果並不會申請專利，並希望未來透過教育訓練，推廣與應用此工法。
3	無人飛行載具播種整體成本適應性與傳統雇工購料之差異。	傳統雇工購料中與 UAV 播種植生工法較為接近的為邊坡人工播種作業，其差異性如 P2-90 所示。
4	P.2-36，以投放植生粒劑作業之流程圖中，應再納入噴植、撒播等選項，建議並新增依據實地環境選擇噴植、撒播、投放等方式之流程。	已計畫除彙整國內外有關航空植生材料外，並將整合其他子計畫有關噴植、粒劑、水平投放作業等納入本文中說明。
5	P.2-39 圖 2-27，作業流程箭線圖中植生粒劑製作及驗收時間較長，在大規模商業化下，是否能縮短時間。	圖 2-31 是以目前機械設備之產能計算，若能增加硬體設備量，可縮短作業時間。
6	簡報 P.27，以平均坡度、地形粗糙度、地形濕度指數訂定適宜播種植生面積，以決定裸地率，是否需再納入其他因子考量，如依據微地形選擇植生粒劑投放之區域是否需納入？	目前為 UAV 播種植生工法之標準作業方法仍未確立，未來研究若能蒐集更多施工案例資料，必能分析出更多施工考量因子。
7	補充計畫工作項目進度執行檢核點內容(配合 P.3-1)進度甘特圖說明。	已將計畫各工作項目執行概要記錄至摘要處。
8	P.2-63， (1)手冊目錄或內容，有”無人飛行載具”及”UAV”兩種用詞，請選單一或兩者併用，	(1)謝謝委員提醒，已統一使用 UAV。 (2)已提出手冊初稿。

序號	審查意見	回覆辦理情形
	請統一。 (2)手冊初稿內容已完成 80%，期中報告只呈現目錄內容，將於期末報告完整呈現。因內容量多，期末報告提送後之時間有限,審核深度受限。 (3)建議初稿完成後，召集相關人員公開說明及討論。	(3)已持續與相關人員討論及修正內容。
9	建議 109 年推動「UAV 植生」試辦工程，俾累積更多研究數據及評估 UAV 施作可行性。	建議未來進行「UAV 植生」試辦工程，並已選擇民間單位進行試播作業。
10	植生粒劑製作費(勞務費)約佔整體經費 25%，若日後工程發包，施作廠商有無自行製作植生粒劑可能，並如何檢驗植生粒劑合格性。	目前植生粒劑之用量較少，且施工乾燥等作業時間考量，故經費比例略高，已於 P2-72 加入檢驗植生粒劑辦法。
11	UAV 播種植生工法手冊章節五，建議增列設計之單元，以利後續可發包施工。	原手冊章節五內容已調整為手冊章節四，有關設計及利於發包施工等內容已列於 P2-116~P2-127。

附錄四、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

會議時間：108 年 12 月 3 日（星期二）上午 9 時 15 分

地點：公務人力發展學院(南投院區)文教大樓 7 樓 702 教室

主持人：王副局長 晉倫

序號	審查意見	回覆辦理情形
1	UAV 由空中噴植播種，對崩塌或裸露地如何均質均量施作，其影響因子為何？	在施工現場 GPS 及無線網路訊號良好的狀況下，UAV 的控制介面可設定飛行路線，使 UAV 播種可均質均量施作。
2	建議比較傳統與 UAV 之植生工法之各自優缺點，以利後續執行參考。	UAV 播種植生粒劑工法與傳統播種工法之比較，詳見 P2-90。
3	圓形粒劑在坡面易滾動，而集中在低窪處(蝕溝)造成分布不佳，是否影響植生成效。	謝謝委員指教。崩塌地 UAV 植生播種工法仍受到立地條件之限制，未來仍需進一步研究改進。
4	UAV 植生單價 79.4~89.4 元/m2，成本不高，應可推廣。惟目前有能力執行之廠商數量是否充足？	由於植生粒劑之製作需考量因素甚多，且明年度 UAV 播種作業之資格需有證照，故未來將推動相關教育訓練與技術推廣。
5	其施工成效調查建議能延長，以瞭解其成效。	UAV 植生粒劑播種工程如可能現地調查需持續到播種後 6 個月~1 年。
6	如何確認 UAV 撒播範圍，以利修正 UAV 飛行路線及高度。	UAV 飛行路線及高度設定精準度需依賴 GPS 及無線網路確認。若訊號不良則需以目視方式確認。
7	UAV 飛行其播種粒劑分布情形如何，有何方法可解決。	目前播種植生粒劑之分布仍有不均勻情況，仍有改善空間，仍需進一步試驗研究，需進行局部區域補播作業。
8	試驗地點原則建議機械及道路無法到達處，以解決偏遠極需植生之地區。	謝謝委員指教。未來如有相關試驗將考量較遠與較大機具

序號	審查意見	回覆辦理情形
		之施工作業。
9	UAV 播種植生存活率需至少達到多少百分比才能發揮功效，是否有建議值？	UAV 植生宜以劃定植生作業區域,建議以區域之裸地率為驗收依據，但仍屬規劃構想，尚無實際操作案例。
10	P.2-79，關於 UAV 植生工程驗收不建議以植生覆蓋率為驗收收標準，惟領款辦法中仍以覆蓋率為標準，似有衝突。	謝謝委員指教。驗收辦法建議以完工驗收為主。覆蓋率驗收部分已刪除。
11	P2-83，領款辦法中”一年後養護期滿…領取尾款”，其時間較長，可能影響廠商意願。	謝謝委員指教。驗收辦法建議以完工驗收為主。養護與領款辦法之說明資料已刪除。
12	本案產出之 UAV 植生工法手冊建議以附錄或附冊方式呈現。	已遵照辦理，將 UAV 植生工法手冊(暫定)編入附錄一。
13	建議可增加 UAV 植生工法與其他植生工法之經費、特色等比較。部分子計畫有提出建議之植生單價，建議彙整比較。	UAV 播種植生粒劑工法與其他播種工法之效益比較詳見 P2-90。因其他子計畫之 UAV 噴植工法試驗成果樣本數較低，故暫無法列入單價比較。
14	建議後續可持續追蹤綠覆率成功或失敗的案例，以利未來執行參考。	本期已追蹤仙湖崩塌地等試區試驗成果(六個月以上)，詳見 P2-4,未來如有更多施工案例，將可更完整提供評估資料。