



# 應用遙控無人機撒播技術於崩塌地復育之試驗研究

林信輝／國立中興大學水土保持學系 兼任教授

許愷岐／國立中興大學水土保持學系 博士生

林卓毅／易圖科技股份有限公司 專案經理

遙控無人機 (Unmanned Aerial Vehicle, 以下簡稱 UAV) 技術於近年已有大幅發展, 利用其高機動性、即時性及一定酬載能力等條件, 經過微幅改裝腳架後掛載各式不同工具, 透過遠端遙控拍照、撒播等作業可應用於非常多領域。而本研究則自行設計遠端控制撒播系統裝, 掛載於遙控無人直升機支腳架, 針對人力難以到達之國有林崩塌地進行植生復育試驗。後續掛載多光譜相機執行航拍並進行植生指數影像分析, 且以人力現地觀察。最後經後續觀察評估植生復育情形良好, 植生覆蓋率約在 10 ~ 15% 之間, 植生粒劑內部種子發芽率達 50% ~ 70%。本研究結果發現無人機撒播工法若能配合播種時機與適合環境條件下執行, 對於崩塌地之植生復育, 應具有相當之可行性。

關鍵字：無人機、撒播系統、植生資材

## 前言

對於山區植生復育作業, 相較一般直升機, 其具有更高的機動性與即時性, 可避免不必要的人員風險。國有林地之崩塌災害, 大多為交通可及性低, 規模差異甚大、且地形陡峻或位於深山偏遠處之區域, 以致無法以一般坡面植生工法進行之整治與植生復育。因此, 如能將 UAV 的特性應用於植生基材之導入作業, 對於國有林深山偏遠處之崩塌地災害植生復育, 應有相當成效與突破。

近年遙控無人機之相關研究與技術已大幅進步, 結構設計部分蘇明達 (2017) [1] 則利用負載譜分析方法提供無人機起落架結構對於疲勞設計之研究; 李秉諺 (2013) [2] 利用 DGPS 輔助站持續發送定位校正資訊給即將進場之無人飛機, 提升無人飛機自動降落資訊的準確度; 陳俊穎 (2012) [3] 考量地形資料誤差、GPS 定

位誤差、安全要求以及無人飛機本身效能, 應用 theta star 演算法設計低消耗之無人飛機路徑規劃; 陳卓欽 (2001) [4] 利用 GPS 導航的無人飛機之系統設計, 達到視距外自動駕駛。

無人機之技術發展, 可衍生各領域多項應用。如藍船昕 (2015) [5] 等人設計 4 小時長滯空無人飛機, 最高可酬載 5 kg, 以適用於災後救援及勘災等用途; 張寶堂 (2019) [6] 利用無人機系統航拍輔助土地復丈使用; 謝秉成 (2015) [7] 針對兩種無人飛機滑翔空投模式進行實驗與探討, 一是水平飛行投射法, 另一種為翻轉向下垂植投射法, 比較兩種模式之準確性以當作滑翔炸彈控制邏輯可行性之參考。

本研究蒐集相關國內外航空植生文獻與探討作為執行研究基礎, 並配合民航局之民用航空法修正, 擬定無人載具航空植生作業申請程序及飛航許可, 利用單旋翼

遙控無人機並自主設計研發撒播系統進行測試，完成 3 處各類型崩塌地作業經驗。另研發適宜無人機之植生資材粒劑中以草本種子為主輔以木本種子，並以團粒化的方式製作粒劑。因應林務局所轄崩塌地多位於海拔較高之山區，利用單旋翼無人載具並自主設計研發撒播系統進行試作，藉由整體作業流程建立以及利用無人機掛載多光譜相機於現地拍照後，利用影像進行植生復育率百分比分析，評估整體作業流程之可行性研究。

## 作業區位及方法

### 無人機作業難度類型比較

崩塌地的立地條件直接影響合適的無人載具類型選擇，包括合適的起降點距離、飛行路線與地形複雜度、飛行高度…等，大致可分為三種作業難度說明如表 1。

### 試驗範圍

本計畫於台灣國有林內崩塌地中，挑選低作業難度 1 處及中等作業難度 2 處，共 3 處崩塌地作為試驗範圍。於崩塌地內選取約 0.2 公頃之崩塌面積，進行 UAV 航空植生播種，區位資料如表 2。

### 植生粒劑播種設計量

經評估若欲於 0.2 公頃面積內植生粒劑播種量之期待發芽株數（草本 1,800 株 /m<sup>2</sup> 木本 300 ~ 600 粒 /m<sup>2</sup>），三區各以 150 公斤粒劑量為適宜之播種量。以該設計量進行播種，在均勻播種情形下，每平方米平均為 15 顆植生粒劑散佈落下，每顆粒劑內含有近 300 ~ 400 顆草本種子與 30 ~ 50 顆木本種子，故播種後粒劑隨時間逐漸生長，並促進周遭之植生進入，以達到植生覆蓋效果。本次計畫三處崩塌地植生粒劑播種量如表 3 所示：

表 1 作業難度類型與崩塌地示意圖

作業難度	說明	示意圖
低難度	<p>任務直線距離小於等於 1 公里，且航線空域通透，可目視目標區；</p> <p>在這樣的條件下，可考慮使用 6 軸或 8 軸多旋翼無人載具執行撒播任務。</p>	
中難度	<p>任務直線距離大於 1 公里以上，航線空域通透雖可目視，但中間有許多障礙物；</p> <p>在這樣的條件下，雖然可考慮使用 6 軸或 8 軸多旋翼無人載具執行撒播任務，但使用載重量高、飛行距離長且續航力長的單軸無人載具較合適。</p>	
高難度	<p>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；</p> <p>在這樣的條件下，需考慮山區紊亂的氣流，較長的航程、較高的飛行高度以及各類型的突發狀況等因素，則以載重量高、飛行距離長、抗風能力較佳且續航力長的單軸無人載具較合適。</p>	

表 2 試驗區位資料



地點	區位資料		空拍影像
濁水溪事業區 22 林班 (難度低)	崩塌地坡度 (角度)	35.8	
	崩塌面積 (ha)	2.8	
	播種面積 (ha)	0.23	
太平山事業區 77 林班 (難度中)	崩塌地坡度 (角度)	45.1	
	崩塌面積 (ha)	6.3	
	播種面積 (ha)	0.26	
大甲溪事業區 8 林班 (難度低)	崩塌地坡度 (角度)	30.9	
	崩塌面積 (ha)	6.3	
	播種面積 (ha)	0.24	

表 3 崩塌地植生粒劑播種設計量

項目	濁水溪事業區 22 林班	大甲溪事業區 8 林班	太平山事業區 77 林班
播種面積 (ha)	0.2	0.2	0.2
粒劑播種量 (kg)	150	150	150
粒枝數量 (顆)	約 30,000	約 30,000	約 30,000
種子量	草本	300 ~ 400	300 ~ 400
	木本	30 ~ 50	30 ~ 50

## 無人機及播種設備

### 無人機設備

目前國內較常見之多旋翼型無人載具，包含商售機種與自組機種，以多旋翼型載具較為常見，其動力來源為電池及馬達，優點為操作簡易，但缺點為飛行時間較短以及載重不高（如表 4）。

考量飛行特性、飛行時間、酬載能力及山區陡坡與地表崎嶇複雜性，故選擇以易圖科技股份有限公司研發設計之 AG-3 高載重多功能無人機進行現地播種試驗。UAV 之性能說明如表 5。

### 播種設備

本次試驗使用之播種裝置如圖 1，是以 3D 列印製成之箱體掛載至 UAV 機體兩側，箱體之容積約 4 公升，透過遙控閥門控制開口，閥門片上設計斜度，使植生粒劑可於閥門開啟後順利播種於目標範圍內。

### 投放航線與點位規劃

為有效規劃航線，本試驗先行進行飄散測試，依成果 50 公尺高度的風速為 3 級風（約 3.4 ~ 5.4 m/s），單次投擲粒劑 8 公斤，集中散落半徑約 3 公尺，覆蓋面積約 30 平方公尺；最大擴散半徑約 5.5 公尺，覆蓋面積約 95 平方公尺，飄散測試結果如圖 2。



表 4 國內常見多旋翼無人載具性能諸元比較表

機型	六軸旋翼機	八軸旋翼機	四旋翼
型號	DJI Matrice 600 Pro	DJI MG-1	Alta X
最大軸距	1688 mm	1520 mm	2273 mm
最大起飛重量	15 kg	22.5 kg	34 kg
動力系統	六軸	八軸	四軸
抗風性(級風)	5	5	5
續航力	15 min 左右	10~20 min 左右	20 min 左右
相機	不含	不含	不含
最大載重	6 公斤	10 公斤	15 kg
投擲方式	脫勾器	目前為噴灑農藥	脫勾器
防水	可	可	無
價格	20 萬左右	40 萬左右	50 萬左右
智能介面	有	有	
說明	2016 年由 DJI 推出八軸旋翼型飛行器，操作介面已整合，主用於航拍，最大優點為可使用 DJI GO 軟體介面，可載重達 6 公斤，缺點為價格偏高。	MG-1 為大疆公司專為農業植保設計，配備專屬遙控器與控制軟體，藥箱重量約 10 公斤。操控便利，但缺點為須使用專屬充電器，若需大面積作業，充電效率上需要考慮。	2019 年 Freefly 設計，掛載 10 公斤可持續飛行 20 分鐘，可航線規劃，專為載種設計的多旋翼廠家
			

表 5 AG-3 無人機性能


UAV 型號	AG-3	
UAV 軸數(軸)	1	
最大起飛重量(kg)	28 kg	
抗風性(級風)	8	
續航力(min)	60	
負載重量(kg)	15 kg	



圖 1 播種裝置示意圖

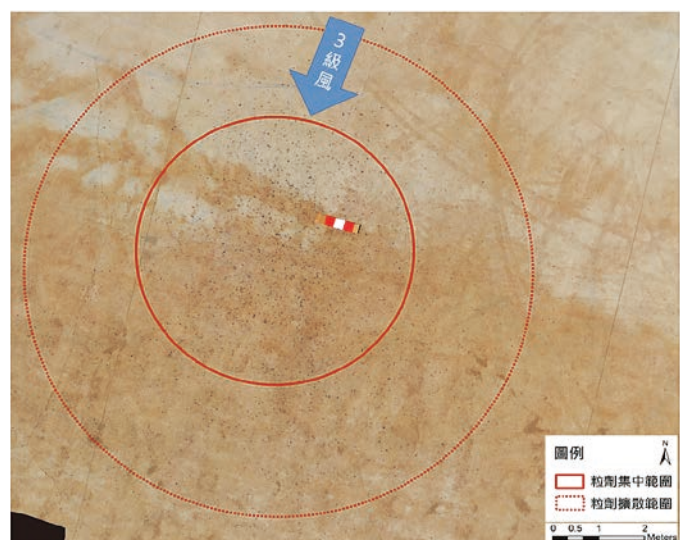


圖 2 粒劑飄散測試成果圖(投擲高度 50 公尺 / 風速 3 級風)

本次計畫三處投放航線與點位規劃如圖 3 至圖 5 所示。另太平山事業區 77 林班因配合現地風勢，進行航線微調。

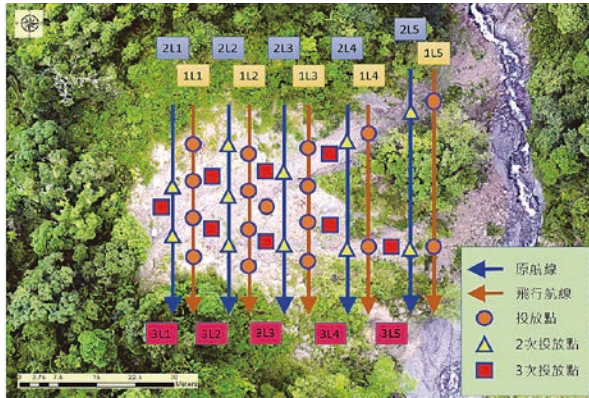


圖 3 太平山事業區 77 林班投放航線與點位規劃圖

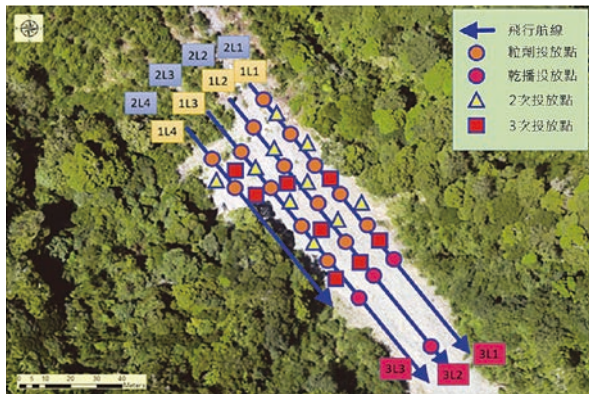


圖 4 大甲溪事業區 8 林班投放航線與點位規劃圖

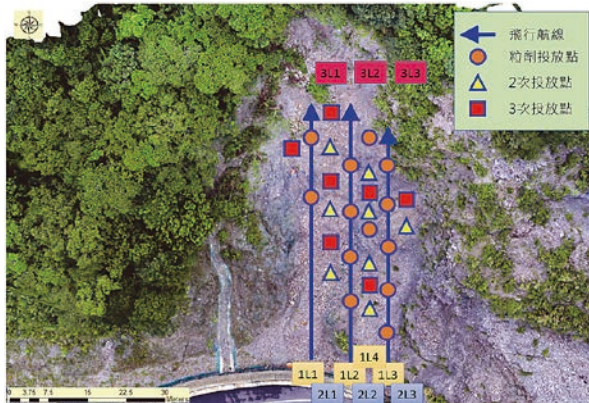


圖 5 濁水溪事業區 22 林班投放航線與點位規劃圖

## UAV 播種成果

### 播種與調查時間

材料備齊與選定後於 2019 年 4 月進行第一次植生粒劑播種，本次播種量約 100 kg，後續於 2019 年 5 月進行第一次觀察，發現該試驗區因汛期豪雨影響，導致粒劑遭受掩埋。因此於 2019 年 6 月進行第二次追播，並於 7 月透過 RGB + NIR 之空拍機配合現地調查以該崩塌地之植生復育情形，3 處投擲成果統計如表 6。另利用無人機搭載相機設備進行側邊拍攝記錄如表 7。

### 太平山事業區 77 林班

本試驗區播種後歷經約 1 ~ 2 個月生長期，進行可見光影像與 NIR 影像拍攝，並以 NDVI 指數輔助確認，進行植生復育分析；成果顯示（如表 8），太平山事業區 77 林班試驗區植生回復覆蓋面積約 254.36 m<sup>2</sup>，覆蓋率約 10.17%。

### 大甲溪事業區 8 林班

本試驗播種後歷經約 1 ~ 2 個月生長期，利用小型空拍機拍攝近地影像，配合 NDVI 指數輔助辨識。經覆蓋率分析成果顯示（如表 9），在局部區塊，因粒劑容留條件較佳，整體覆蓋率約 12.21%；現地上游仍有持續崩塌的情形，因此多為崩積岩屑與崩積土壤，部分被崩積土與岩屑覆蓋的粒劑，仍有發芽生長的機會，未來可持續利用植生指數進行調查監控復育情況。

### 濁水溪事業區 22 林班

本試驗播種後歷經約 1 ~ 2 個月生長期，利用小型空拍機拍攝近地影像，配合 NDVI 指數輔助辨識。經覆蓋率分析成果顯示（如表 10），在局部區塊，因粒劑容留條件較佳，整體覆蓋率約 15.63%；另在人力可達區域，進行現地檢視，成果顯示除了草本種子發芽狀

表 6 三處試驗區投擲成果統計

試驗區	航線距離 (趟)	作業時間 (每趟)	投放高度 (離地高)	作業日期	飛行趟次	總投放量 (kg)
太平山事業區 77 林班	3 km	12 min	60 ~ 70 m	108/4/26	3 趟	20 kg
				108/6/21	18 趟	110 kg
				108/6/26	12 趟	80 kg
大甲溪事業區 8 林班	1 km	6 min	60 ~ 70 m	108/4/23	15 趟	100 kg
				108/6/27	8 趟	50 kg
				108/6/28	9 趟	60 kg
濁水溪事業區 22 林班	0.1 km	3 min	50 m	108/4/23	15 趟	100 kg
				108/5/16	7 趟	50 kg
				108/6/15	8 趟	60 kg



表 7 三處試驗區 UAV 播種平面及側拍影像

	播種正拍影像	播種側拍影像
太平山事業區 77 林班		
大甲溪事業區 8 林班		
濁水溪事業區 22 林班		

表 8 太平山事業區 77 林班播種後正射、NIR 影像及植生覆蓋率成果



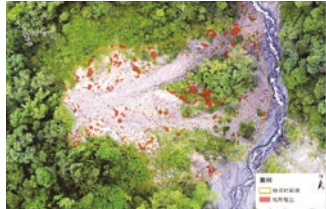
播種後正射影像 (108/7/29)	播種後 NIR 影像 (108/7/29)	播種後植生覆蓋率成果
		

表 9 大甲溪事業區 8 林班播種後正射、NIR 影像及植生覆蓋率成果


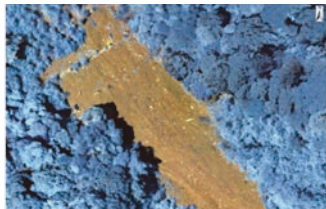
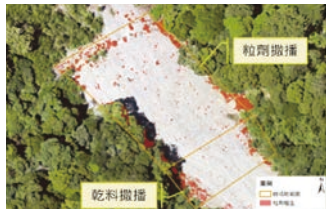



播種後正射影像 (108/7/29)	播種後 NIR 影像 (108/7/29)	播種後植生覆蓋率成果
		

表 10 濁水溪事業區 22 林班播種後正射、NIR 影像及植生覆蓋率成果

播種後正射影像 (108/7/22)	播種後 NIR 影像 (108/7/22)	播種後植生覆蓋率成果
		

況良好外（約 20 ~ 30 公分），木本種子亦有相當程度的生長（約 5 ~ 10 公分），顯示本計畫選用的種子，製成粒劑後，在現地可被環境所接受。

### 調查結果與驗證

本次試驗經 1 ~ 2 個月的生長期後進行觀察，現地粒劑有發芽的情況，植生覆蓋率約 10% ~ 15% 之間（如表 11），後續仍應持續進行觀察。

經觀察其中一處人力可及之崩塌地，雖因汛期豪雨影響，部分植生粒劑遭受掩埋，但經現地調查其下邊坡之粒劑，生長相當良好，觀察顯示植生粒劑內部之草本種子發芽率達 70%，木本則超過 50%，粒劑於惡劣環境下仍可部分順利生長。

另因崩塌地坡度甚陡，導致崩塌地於第二次播種後仍有多次崩落情形，而透過影像分析較為平緩或粗糙之坡面上，仍有許多植生粒劑貼附生長，配合現地調查後，下邊坡植生粒劑內之草、木本種子發芽生長良好（如圖 6）。可見，倘若該工法若能配合播種時機與環境條件下執行，對於崩塌地之植生復育，應具有相當之可行性。

表 11 三處實驗區位 UAV 播種投擲成果

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

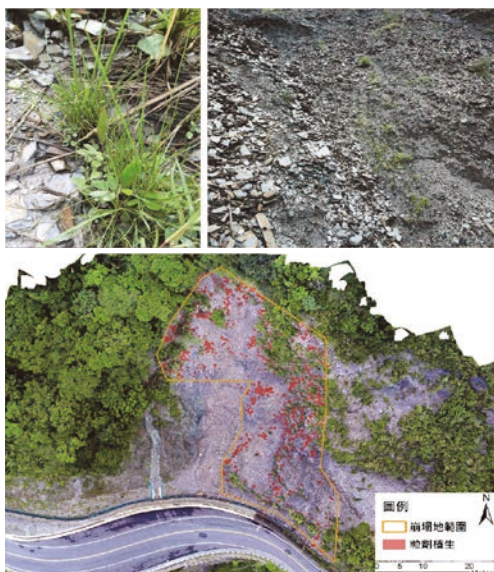


圖 6 UAV 播種植生粒劑試驗成效

### 結語

本研究將植生基材混合呈型似團粒之植生粒劑，並透過 UAV 將植生粒劑播種於崩塌現地，藉此達到植生導入與植生復育。經 1 ~ 2 個月的生長期後進行觀察，以 NDVI 影像拍攝與現地調查後發現現地發芽的情況良好，植生覆蓋率約在 10% ~ 15% 之間，依本次試驗結果可見，崩塌地應用 UAV 播種植生工法具有相當可行性。

本試驗工法為初步試驗階段，建議未來植生粒劑可考慮導入原生草本植物進行植生復育，以降低外界對於外來種子入侵疑慮。然而本計畫所使用遙控無人直升機撒播系統，初步顯示成效不錯，但對於無人機操作者而言，單旋翼無人機之技術門檻較高，建議未來若於中低難度之地形作業，可考慮以多旋翼型無人機進行復育作業，技術門檻相對較低，也可達到復育之效果。

### 參考文獻

- 蘇銘達 (2017)。無人飛機起落架負載譜分析方法之研究 (未出版之碩士論文)。建國科技大學，彰化市。
- 李秉諺 (2013)。DGPS 輔助於無人飛機自動降落控制器之實現 (未出版之碩士論文)。國立成功大學。
- 陳俊穎 (2012)。應用 theta star 演算法於無人飛機路徑規劃 (未出版之碩士論文)。國立成功大學。
- 陳卓欽 (2001)。利用 GPS 導航的無人飛機之系統設計與測試 (未出版之碩士論文)。國立成功大學。
- 藍皓昕、賴維祥 (2015)。飛機之設計與應用。中國土木水利工程學刊, 27(3), 191-199。
- 張寶堂 (2019)。利用無人飛機系統航拍輔助土地複丈 (未出版之碩士論文)。國立臺灣師範大學。
- 謝秉成 (2015)。無人飛機滑降空投模式之探討與建構 (未出版之碩士論文)。逢甲大學。
- 台灣植物誌第二版編輯委員會 (1993-1998)。「臺灣植物誌 第二版」。
- 行政院農業委員會水土保持局 (2017)。「水土保持手冊 - 植生篇」。
- 行政院農委會林業試驗所 (2015)。「台灣原生草本植物應用於崩塌地植生復育調查研究 - 成果報告」。
- 行政院農委會林務局 (2010)。「國有林崩塌地森林化之研究 - 期末報告」。
- 行政院農委會林務局 (2019)。「國有林崩塌地運用無人飛行載具航空植生之可行性研究 - 成果報告書」。
- 行政院農委會林務局南投林區林管處 (2010)。「南投處轄內崩塌地處理案例調查暨植生生態復育評估作業 - 第一期成果報告 (99) 年度」。
- 林信輝、張集豪、陳意昌 (2016)。「圖解植生工程」，五南圖書公司。
- 林信輝、鄭梨櫻、林妍琇 (2006)。「坡地植生草類與綠肥植物」，行政院農業委員會水土保持局。
- 郭幸榮 (2011)。「育林手冊」，中華民國政府出版品。