

專輯  
治山防災工程  
及無人機應用



# 崩塌地應用無人機播種植生工法 技術研發與試驗性研究

文、圖 | 陳彥宏 | 逢甲大學地理資訊系統研究中心研究助理教授（通訊作者）  
林信輝 | 國立中興大學水土保持學系兼任教授

近年，無人飛行載具（UAV）之相關研究與技術已大幅進步，並衍生多項應用。相較一般傳統直升機，其具有更高的機動性與即時性，更可避免不必要的人員風險。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之植生復育，應有相當之成效與突破。

林務局委託「易圖科技股份有限公司」試驗研發將不同植生基材混合，製成適用於UAV播種之植生粒劑，並透過播種載具裝置於崩塌現地進行UAV播種試驗，藉此達到植生導入與植生復育。後續再透過NDVI影像拍攝與現地調查進行試驗結果之驗證，以評估該工法於崩塌地之植生復育可行性。

臺灣因位於板塊交界處，地質構造發達，岩層易破碎風化且經常有颱風豪雨之侵襲，導致許多崩塌發生。過去針對道路旁邊坡或人員可到達之崩塌地，應用工程構造物配合植生工法如噴植、打樁編柵、植生帶等相關治理作業，已有相當之成效。但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。

近年，無人飛行載具（Unmanned Aerial Vehicle，以下簡稱UAV）之相關研究與技術已大幅進步，並衍生多項應用。相較一般傳統直升機，其具有更高的機動性與即時性，更可避免不必要的人員風險。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之植生復育，應有相當之成效與突破。

## 研究動機與目的

- 一、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。
- 二、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。
- 三、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。
- 四、UAV播種植生工法之資材配方適地適用、配合氣象條件分期施作及配合土砂沖蝕控制之需求，進行規劃設計。

## 作業任務區域分析

崩塌地的立地條件直接影響合適的無人載具類型：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。

### 一、低難度類型

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

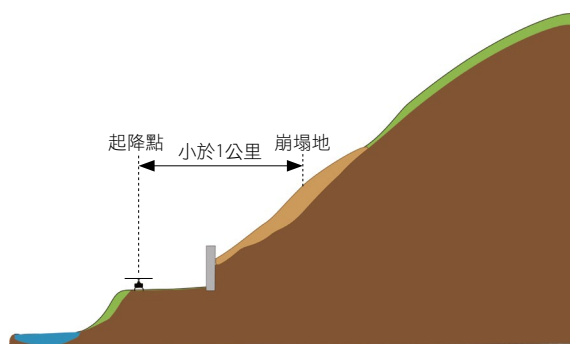


圖1、低難度類型崩塌地示意圖。

### 二、中難度類型

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

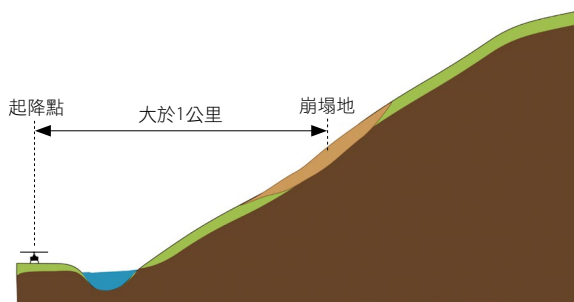


圖2、中難度類型崩塌地示意圖。

### 三、高難度類型

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

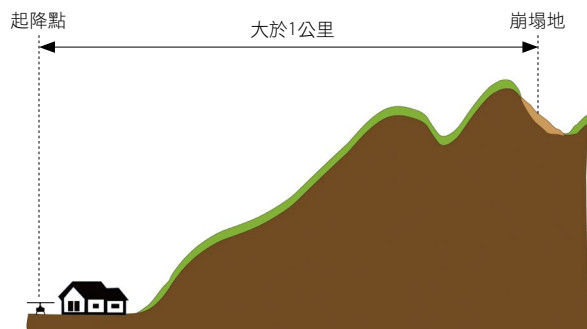


圖3、高難度類型崩塌地示意圖。

### UAV、播種設備及植生粒劑

#### UAV

本次試驗考量飛行特性、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1。

表1、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

#### 播種設備

本次試驗使用之播種裝置如圖4，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。

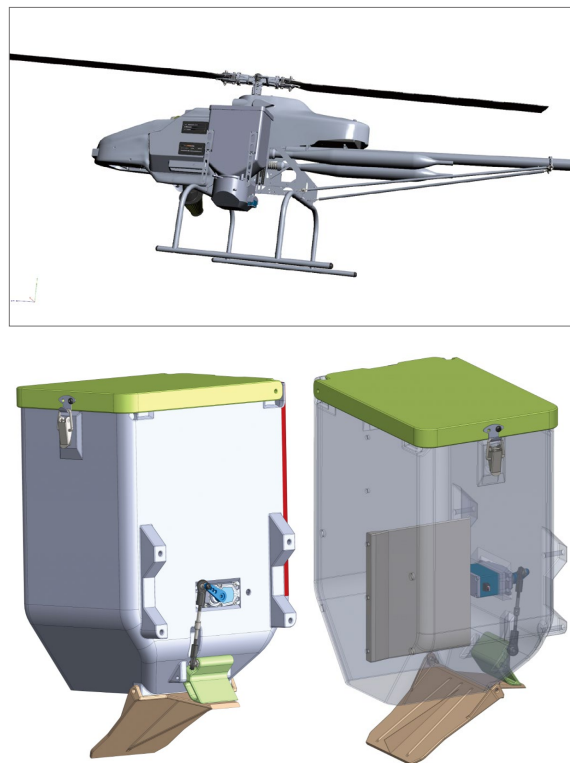


圖4、播種裝置示意圖。





圖5、植生粒劑應用基材。

## 植生粒劑

### 一、植生基材

因UAV承載重量限制選用的植生材料特性應盡量以輕質、保水、經濟等為主。本次試驗經考量評估後，植生粒劑選用之基材如圖5。

### 二、種子材料

崩塌地應用之種子材料以易取得、儲藏與搬運，施工經費便宜，並可於短期間達到植被覆蓋，適做為廣大面積快速綠化以促進植生演替之種子材料。此外，因應UAV承載及植生粒劑製作，亦需考量種子大小。本次試驗經考量評估後，選用種子材料如表2。

## 試驗區位及方法

### 崩塌地區位

本次係以試驗研究為目的，經評估後於崩塌地內選區約0.2公頃之崩塌面積，進行UAV航空植生播種，以評估該工法於崩塌地復育之可行性。試驗區位資料如表3。

### 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，每平方公尺平均為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

表2、植生粒劑應用種子材料

俗名	學名	科別	生長形式
百喜草	<i>Paspalum notatum</i> Flüggé	禾本科	多年生草本
高狐草	<i>Festuca arundinacea</i>	禾本科	多年生草本
鐵掃帚	<i>Lespedeza cuneata</i>	豆科	喬木（木本）
山胡枝子	<i>Lespedeza bicolor</i>	豆科	灌木（木本）
相思樹	<i>Acacia confusa</i> Merr.	豆科	喬木（木本）
臺灣赤楊	<i>Alnus formosana</i>	樺木科	喬木（木本）
羅氏鹽膚木	<i>Rhus javanica</i> Linn. var. <i>roxburghiana</i>	漆樹科	喬木（木本）



表3、試驗區位資料


濁水溪事業區22林班	崩塌地點	X：265312 Y：2650421	
	崩塌地坡度 (°)	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	崩塌地點	X：295728 Y：2714012	
	崩塌地坡度 (°)	45.1	
	崩塌面積 (ha)	0.26	
	播種面積 (ha)	0.26	
大甲溪事業區8林班	崩塌地點	X：266546 Y：2682859	
	崩塌地坡度 (°)	30.9	
	崩塌面積 (ha)	6.3	
	播種面積 (ha)	0.24	

表4、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)		≒30,000	≒30,000	≒30,000
種子量	草本	300-400	300-400	300-400
	木本	30-50	30-50	30-50

覆蓋效果。本次計畫3處崩塌地植生粒劑播種量如表4所示。

### 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3.4-5.4m/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6。

本次計畫3處投放航線與點位規劃如圖7-9所示，太平山事業區77林班因配合現地風勢，進行航線微調。

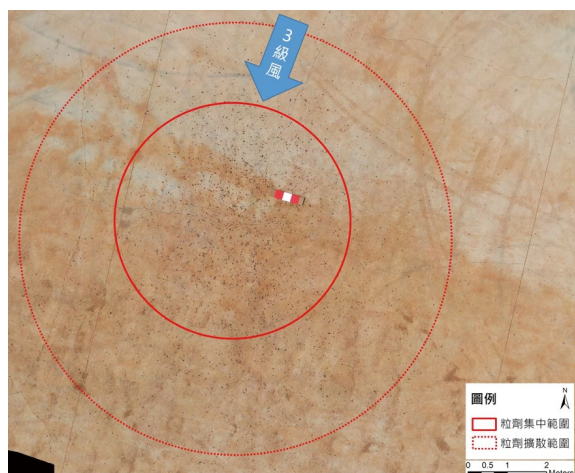


圖6、粒劑飄散測試成果圖。

## 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100kg，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場地之植生復育情形，3處投擲成果統計如表5。

### 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6，太平山事業區77林班試驗區植生回復覆蓋面積約254.36m<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7），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

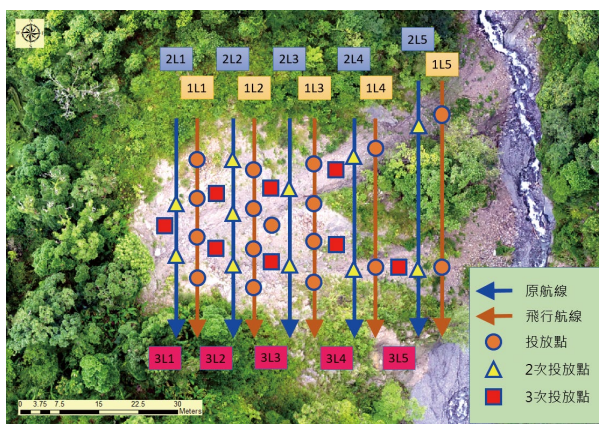


圖7、太平山事業區77林班投放航線與點位規畫圖。

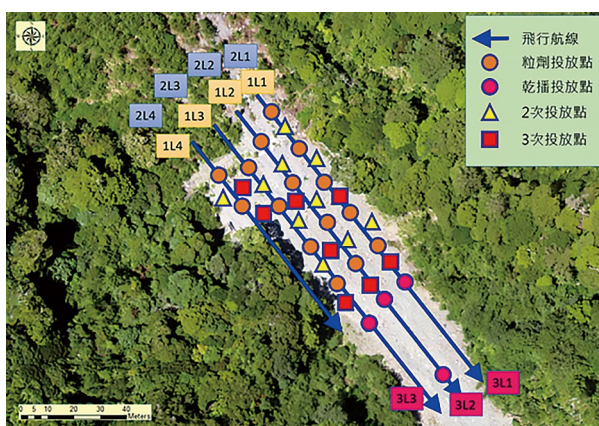


圖8、大甲溪事業區8林班投放航線與點位規畫圖。

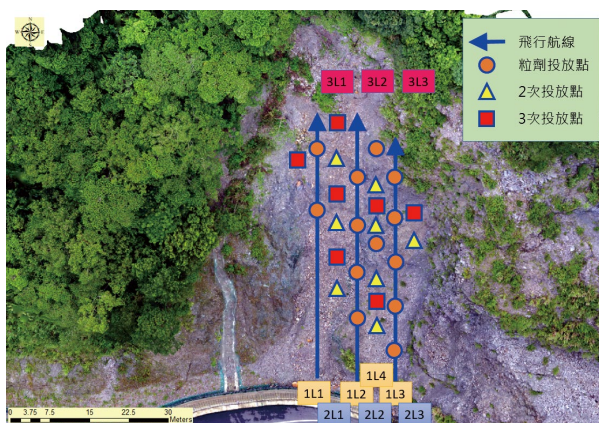


圖9、濁水溪事業區22林班投放航線與點位規畫圖。

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。



表5、3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	2019/4/26 2019/6/21 2019/6/26	3趟 18趟 12趟 (共33趟)	20 kg 110 kg 80 kg (共210kg)
大甲溪事業區8林班	1 km	6 min	60-70 m	2019/4/23 2019/6/27 2019/6/28	15趟 8趟 9趟 (共32趟)	100 kg 50 kg 60 kg (共210kg)
濁水溪事業區22林班	0.1 km	3 min	50 m	2019/4/23 2019/5/16 2019/6/15	15趟 7趟 8趟 (共30趟)	100 kg 50 kg 60 kg (共210kg)

表6、三處試驗區UAV播種平面及側拍影像

	播種平面影像	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7、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


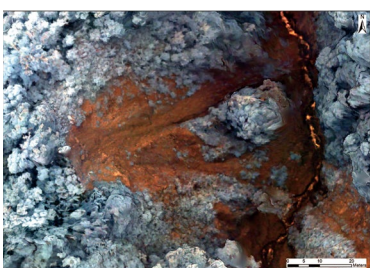
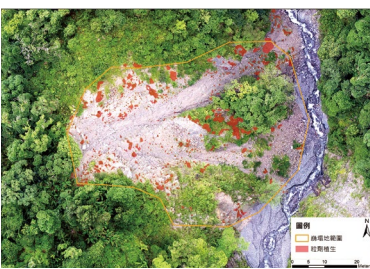
播種後正射影像 (2019/7/29)	播種後NIR影像 (2019/7/29)	播種後植生覆蓋率成果
		

表8、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


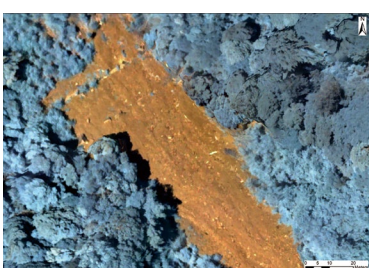
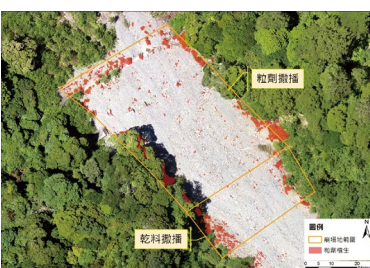
播種後正射影像 (2019/7/29)	播種後NIR影像 (2019/7/29)	播種後植生覆蓋率成果
		

表9、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


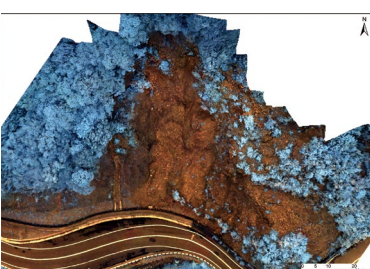
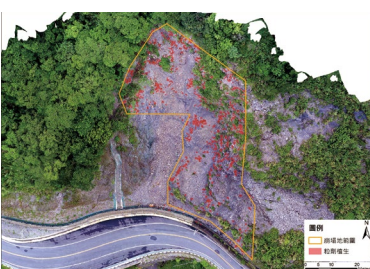
播種後正射影像 (2019/7/22)	播種後NIR影像 (2019/7/22)	播種後植生覆蓋率成果
		

表10、3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)	2,500	254.36	10.17
大甲溪事業區8林班 (必坦溪)	2,400	293.16	12.21
濁水溪事業區22林班 (奧萬大聯外道7K)	2,300	359.59	15.63





圖10、UAV播種植生粒劑試驗成效。

### 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8），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，現地發芽的情況良好，植生覆蓋率約在10-15%之間（如表10），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%，可見粒劑於惡劣環境下仍可順利生長，如圖10所示。

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，下邊坡之植生粒劑內之草、木本種子發芽生長良好。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。

## 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之可行性，後

續將持續監測，但因該工法為初步試驗階段，未來研究部分，植生粒劑方面，目前草本原生植物種原尚無法量產，將評估後續量產可能性，並導入原生草本植物於植生復育以降低外界對於外來種子疑慮，另無人機應用方面考量未來多元推廣，為來將朝向評估多旋翼型無人機適用性並分析其效益，以增加工法之適用範圍與成效。 🌱



圖 / 大山影像