
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

成果報告書

執行單位：國立屏東科技大學

執行期間：108年02月20日至108年12月31日

計畫主持人：唐琦 副教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 108 年 12 月

(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)

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

摘要

崩塌地之導入植生工程作業，受到包括崩塌地於近地表氣層微氣候、近地表土層土壤、水汽儲留與生長逆境等微立地條件影響，造成導入粒劑等植生資材不易固著於其坡面上，及無法達到全面撒佈。針對崩塌地微立地條件進行觀測調查，提供應用無人飛行載具(UAV)導入植生資材之際，建立植生資材與崩塌地坡面間之介面整合，期能可提高播種植生工法及植生復舊成效。於7月已試投擲植粒劑，在水分供給無虞，粒劑均可發芽。10月期間隨太陽輻射強度減弱，使日間蒸發作用趨緩，維持相對溼度偏高之濕潤狀態，利於植生粒劑於發芽。採用水土保持局前期研發植生粒劑進行投擲作業後：1周內即有草類植物發芽，木本植物約在2周內發芽；扣除崩塌地裸露面，1個月內植生粒劑所覆蓋區位之綠覆率僅能增加至20%以內。本植生粒劑投擲作業後一個月後，可於塊石、礫石：上側、分布不連續之鞍部、下側間隙等具有蓄積淤土之微地形處外，部分崩塌地坡面有泥岩風化處見到植生粒劑之木本植物發芽生長。

關鍵詞：植生粒劑、UAV、微立地、崩塌地、植生復育

To integrate interface between micro scale site conditions of steeper landslide area and apply Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in sowing seeds for vegetation engineering

Abstract

The vegetation practices were implementing well on steeper landside

area, without considering about around ground surface with micro-climate, soil layer, moisture and growth stress, then it could result vegetation granular not adhere above slopeland and sowed uneven. To investigate the micro scale of site condition on landside area could provide reference for using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in sowing materials for vegetation. The interface between materials and landslide area could be integrated, and increase efficiency of vegetation engineering and canopy reclamation. The experiment of throwing vegetation granular had started from July. The moisture existed nearby ground surface since the reduction of solar radiation and evaporation after October, and all the vegetation granular on the ground surface had a well germination. The vegetation granular design by Soil and Water Conservation Bureau were used in the experiment of throwing, could be happen the germination of grass plant and woody plant in one week and two weeks, respectively. Meanwhile the ratio of green coverage on landslide could increase to 20% during one month, with deduct the bare area of stone. To choose proper woody vegetation species involve to the granular could be helpful for vegetation reclamation, especially the upward side, un-continuously distribution resulted small saddle on ground, little gap behind downward side among these gravel and rock on landslide. Even the mud stone weathering locale on the sloeland could appear seeds germination of woody plant.

Keywords: Vegetation granular, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), micro scale of site, landslide, vegetation reclamation

目次

摘要.....	I
Abstract.....	I
目次.....	I
表次.....	IV
圖次.....	VI
第一章 緒論.....	1-1
第一節 計畫緣起	1-1
第二節 計畫範圍	1-2
第三節 計畫目的	1-3
第四節 工作內容	1-4
第二章 工作執行方法與流程.....	2-1
第一節 工作流程	2-1
第二節 工作項目	2-2
第三節 工作執行方法	2-3
第三章 崩塌地環境基本資料蒐集與彙整.....	3-1
第四章 陡坡崩塌地微立地條件與植生環境調查要項分析	4-1
第一節 蒐集臺灣南部崩塌地植生復舊案例分析	4-1
第二節 崩塌地微立地條件調查分析	4-6
第三節 植生環境要項調查分析	4-12
第五章 植生資材屬性與崩塌地植生基盤介面整合之適用性分析....	5-1
第六章 陡坡崩塌地導入現行植生粒劑之精進試驗	6-1
第七章 陡坡崩塌地建構微植生基盤之試作與現地驗證	7-1
第八章 工作進度與交付項目	8-1
第一節 計畫甘特圖	8-1

第二節 計畫交付項目	8-2
第三節 驗收方法	8-2
第九章 結論與建議.....	9-1
第一節 結論.....	9-1
第二節 建議.....	9-1
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附錄-1
附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-1
附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形.....	附錄-4

表次

表 4-1 曾文水庫集水區內大埔第 168 林班地內 2011-2017 年保育治理工程一覽表(嘉義林區管理處，2018).....	4-3
表 4-2 曾文水庫集水區內大埔第 168 林班地內 2011-2017 年保育治理工程一覽表(嘉義林區管理處，2018).....	4-4
表 4-3 曾文水庫集水區內大埔第 168 林班地內 2011-2017 年保育治理工程一覽表(嘉義林區管理處，2018).....	4-5
表 4-4 崩塌地樣區之先趨植物調查	4-11
表 4-5 崩塌地樣區土壤調查	4-15
表 4-6 崩塌地樣區堆積及殘存之土石材料粒徑調查	4-16
表 4-7 A 崩塌地樣區微氣象觀測統計資料(2019 年 7 月).....	4-19
表 4-7 B 崩塌地樣區微氣象觀測統計資料(2019 年 10 月)	4-20
表 5-1 植生粒劑成分.....	5-2
表 5-2 種子發芽率與發芽勢測定(宋國彰，2018).....	5-3
表 5-3 扁平梭型、鈎錘型、圓體加凸針型粒劑試體之定著比率及彈跳距離比較	5-9
表 5-4 崩塌地試區植生粒劑投擲前後之植物調查.....	5-11
表 5-5 粒劑試體之定著比率及彈跳距離比較.....	5-13
表 6-1 崩塌地於觀測期間之綠覆率調查結果.....	6-6
表 8-1 計畫甘特圖.....	8-1

圖次

圖 1-1 崩塌地樣區(TWD97：219770；2593684).....	1-2
圖 1-2 崩塌地樣區近照	1-3
圖 2-1 工作流程圖	2-1
圖 3-1 試驗地點地理位置(本計畫整理)	3-1
圖 3-2 阿里山鄉轄區內高程分布圖(本計畫整理).....	3-2
圖 3-3 阿里山鄉轄區內坡度分布圖(本計畫整理).....	3-2
圖 3-4 阿里山鄉轄區內坡向分布圖(本計畫整理).....	3-3
圖 3-5 阿里山鄉轄區內土壤分布圖(本計畫整理).....	3-4
圖 3-6 阿里山地區環境地質分布圖(本計畫整理).....	3-6
圖 3-7 曾文溪水系分布圖(本計畫整理).....	3-8
圖 3-8 里佳雨量站(1630P048) 2010-2017 平均月雨量	3-9
圖 3-9 樂野雨量站(1630P047) 2010-2017 平均月雨量	3-9
圖 3-10 阿里山雨量站(46753) 2010-2017 平均月雨量	3-10
圖 3-11 崩塌地集水面積	3-11
圖 4-1 陡坡崩塌地微立地與植生環境	4-7
圖 4-2 崩塌地先驅植物生長	4-8
圖 4-3 崩塌地樣區地形圖(示意)	4-13
圖 4-4 崩塌地樣區地形縱斷面圖	4-13
圖 4-5 崩塌地坡面之土石材料表面粒徑調查	4-16
圖 4-6 崩塌地樣區堆積及殘存之土石材料粒徑分布曲線.....	4-17
圖 4-7 微氣象觀測站及近地表風向及風速觀測	4-18
圖 5-1 植生粒劑投擲前校正及投擲後之情形	5-5
圖 5-2 植生粒劑定著崩塌地坡面初期與其發芽之情形.....	5-6

圖 5-3 扁平梭型(a)、鈎錘型(b)、圓體加凸針型(c)之植	
生粒劑試體	5-7
圖 5-4 植生粒劑彈跳情形	5-10
圖 5-5 自黏性粒劑製作	5-12
圖 6-1 空拍植生粒劑投擲樣區	6-1
圖 6-2 影像辨識	6-2
圖 6-3 崩塌地空拍機攝像	6-3
圖 6-4A 植生粒劑投擲區位(1)	6-4
圖 6-4B 植生粒劑投擲區位(2).....	6-5
圖 6-6 崩塌地於 2019 年 9 月 29 日~10 月 2 日期間之綠覆率變.....	6-7
圖 6-7 植生粒劑定著坡面數量與綠覆率解析(a-c:數位相機、d-f: UAV)	
.....	6-8
圖 6-8 高附著植生粒劑定著崩塌地坡面之調查情形.....	6-9
圖 7-1 陡坡崩塌地建構微植生基盤	7-3
圖 7-2 陡坡崩塌地建構微植生基盤之現地驗證(下游區位).....	7-4
圖 7-3 陡坡崩塌地建構微植生基盤之現地驗證(陡坡區位).....	7-5
圖 7-4 陡坡崩塌地建構微植生基盤之現地驗證(一個月後).....	7-6

第一章 緒論

第一節 計畫緣起

臺灣地區崩塌地治理常因保全對象確立後，亟需對其進行植生復舊以減少後續土石災害，又當崩塌地發生位於偏遠深山地區，則受限地形陡峻或無道路到達等條件，使得全面實施一般坡面植生工程作業，並無法配合崩塌地整治工程施做，此時則多藉助自然植生復育，然其需時長，植生無法達到全面覆蓋，勢將不利崩塌地治理成效。國內近年來已有使用無人飛行載具(UAV)播種植生工法於深山或偏遠等人力機具無法直接到達之山區實施播植案例與研究，藉助輕型 UAV 載具之定位及慣性測量儀器的微型化，配合操作軟體效能的大幅提升，已可機動調整載重，達到成本低、易操作、短航程、時效性等優勢。國內於崩塌地的播種植生工法應用 UAV 載具配合植生粒劑投擲試驗方興未艾，主要受限於 UAV 載量無法如較大型的直升機一樣，當 UAV 無法負載粒徑與重量較大之植生粒劑時，勢必無法增加播種面積。因此，縮減植生粒劑重量與體積，應係配合 UAV 進行播種植生工法與研究之必然調整方向。

當在崩塌地應用 UAV 導入植生工程作業之效能良窳，常視導入植生粒劑等資材以有無固著於崩塌地之坡面上及達到全面撒佈為評斷依據，然植生粒劑等資材到達崩塌地坡面，必受到近地表氣層、近地表土層、水汽儲留與生長逆境等微立地條件影響至鉅。因此，探究崩塌地微立地條件與植生復舊間之關聯，整合植生資材屬性與崩塌地植生基盤介面，配合前期 UAV 負載植生粒劑經投擲導入崩塌地之計畫推展，驗證崩塌地微植生基盤，期能提高國內使用 UAV 投擲植生粒劑於崩塌地的成效，及提供相關播種植生工法參考依據。

第二節 計畫範圍

考量水庫集水區內崩塌地，受人員與機具不易到達之限，而無法及時對其進行植生復舊，常會致生第二次崩塌災害，形成不利植生覆蓋的循環。本研究以位於集水區內現存崩塌地面積達 1 ha 以上及覆蓋率低於 30% 為條件，植生復舊不易且亟需進行植生導入之崩塌地為對象，原選定：嘉義縣阿里山鄉達邦村 1-5 鄰部落下方於鄰接曾文溪畔之崩塌地為計畫範圍，然受本年度 5 月起常有山區豪雨，業已崩毀通行道路，故另選定阿里山鄉樂野村近日賀野橋一處崩塌地樣區，該地自八八雨災後發生崩塌迄今，尚無法全面恢復地表植被。於本年 7 月 3 日以空拍機對本樣區進行攝相調查，結果如圖 1-1、圖 1-2。



圖 1-1 崩塌地樣區(TWD97：219770；2593684)

由圖 1-1 可知崩塌地樣區濱臨曾文溪左岸，崩塌地頂部為位於龜頭山北側山麓居中區域，崩塌地方向為由南向北延伸，經估測縱長 385 m，該樣區最大及最小寬度分別為 170 m 及 30 m，全區面積約 5.77 ha。

再由崩塌地樣區近照(圖 1-2)可見，本崩塌地堆積區前緣雖臨近曾文溪凸岸，然其與河道流路間落差達 3~5 m，且距離超過 30 m，自本年度 7 月進行初步進行試驗及觀測迄今，尚屬穩定，未受河道湍流衝擊，可利於後續觀測工作進行。

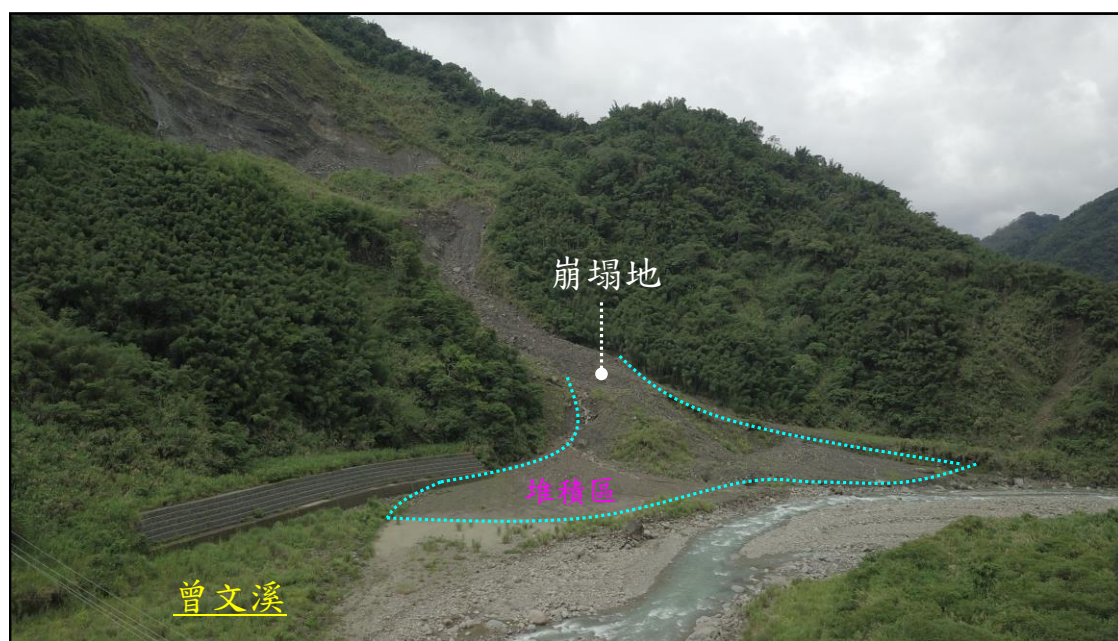


圖 1-2 崩塌地樣區近照

第三節 計畫目的

崩塌地由崩崖向下視之，常先出現基岩及大量崩積土石，乍見不易有植被入侵而出現植生復舊，然而在基岩冠部卻常堆積部分原有植被植物之種子，當水分條件允許下，此等植物種子將有萌芽機會，然而考量原坡面沃土隨崩塌而堆積下邊坡，則坡面並不利此等植物繼續成長。因此，運用 UAV 負載適生陽性植物種子以配合崩塌地坡面之局部植生基盤，導入部分植物於崩塌地坡面，以期達到局部穩固土壤，及播種工法選用植物與導入地點提供決定依據。故本年度計畫目的包括：崩塌地微立地條件與植生復舊間之關聯、植生資材屬性與崩塌地植生基盤介面整合評估、崩塌地導入現行植生粒劑之效益評估、崩塌

地建構微植生基盤之驗證。

第四節 工作內容

一、本項工作所完成之方法與相關資料，著作權歸委託機關所有，其原始程式碼，亦需同時提供。

二、受託廠商於工作執行期間，須依雙方契約之規定提送各項報告(各項報告書格式請參考委辦計劃報告書印製暨電子檔案製作範本製作)，並舉行簡報；另雙方得視實際需要，召開工作會報。

三、提送本計畫成果

計畫成果採書面審查份數如下：

(一)工作執行計畫書：10 份。

(二)期中(末)報告書各 10 份

(三)期初採會議方式審查、期中採書面審查、期末以聯合成果發表方式辦理聯合審查。

(四)其他：如撰寫本計畫成果文章並投稿國內研討會發表 2 篇，國內期刊發表 1 篇、協助各期會議紀錄等事項。

四、本計畫自 108 年 2 月 20 日至 12 月 31 日完成，依工作進度確實執行及完成本計畫。

第二章 工作執行方法與流程

第一節 工作流程

本計畫之執行工作流程圖，如下：

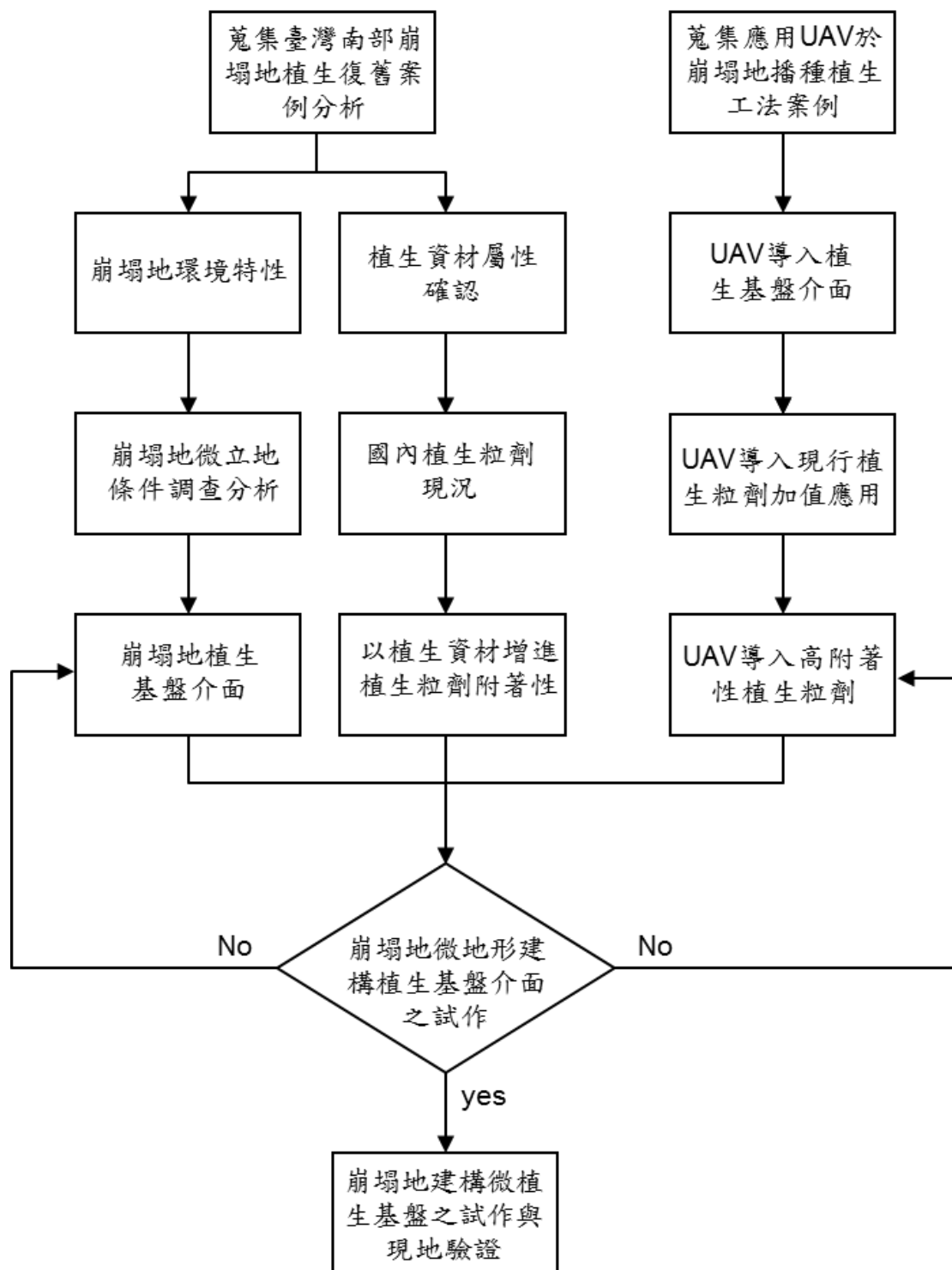


圖 2-1 工作流程圖

第二節 工作項目

本年度主要配合 107 年水土保持局業已完成施行 UAV 播種植生粒劑試驗計畫成果，針對選定調查地點進行蒐集相關集水區概況、地文(含地形地勢、土壤地質等)、氣象水文、崩塌等資料；探討國內外於崩塌地應用 UAV 導入播種植生技術現況與生育基盤建構。同時於崩塌地蒐集與調查其間近地表土層、氣層間之微氣象特性，以了解採用植生粒劑進行播種後，種子於萌芽生長之逆境，提供日後植生資材導入最佳之時間與空間等基本資訊。據此，本研究就選定陡坡崩塌地樣區，進行以下工作項目：

一、崩塌地微立地條件與植生環境調查要項分析

(一)蒐集臺灣南部崩塌地植生復舊案例分析

(二)崩塌地微立地條件調查分析

(三)植生環境要項調查分析

二、植生資材屬性與崩塌地植生基盤介面整合之適用性分析

(一)投擲著地穩定性改良技術

(二)植生粒劑鈎掛於崩塌地坡面微立地可行措施

(三)選用種子能自然黏著於坡面之植物進行播種

三、崩塌地導入現行植生粒劑之精進試驗

(一)配合應用無人飛行載具(UAV)導入植生基盤介面

(二)配合應用無人飛行載具(UAV)導入現行植生粒劑增值應用

(三)配合應用無人飛行載具(UAV)導入高黏著性植生粒劑

四、崩塌地建構微植生基盤之試作與現地驗證

(一)崩塌地微地形建構植生基盤介面之試作

(二)微地形植生基盤介面導入崩塌地之試驗

第三節 工作執行方法

本計畫係依據工作流程圖(見圖 2-1)進行相關試驗與觀測，各工作項目之執行方法將配合各工作執行成果，進行撰述說明於第四章至第七章。

第三章 崩塌地環境基本資料蒐集與彙整

臺灣地區崩塌地治理常因保全對象確立後，亟需對其進行植生復舊以減少後續土石災害，又崩塌地發生位於偏遠深山地區，則受限地形陡峻或無交通到達等條件，則多藉助自然植生復育，而無法配合崩塌地整治工程，故蒐集與彙整崩塌地之環境基本資料，將使得水土保持治理成效得以彰顯，並獲事半功倍。

一、地文資料

(一)地理位置

本計畫範圍位於嘉義縣境內阿里山鄉樂野村，鄰近曾文溪畔，崩塌地試區示如圖 3-1。

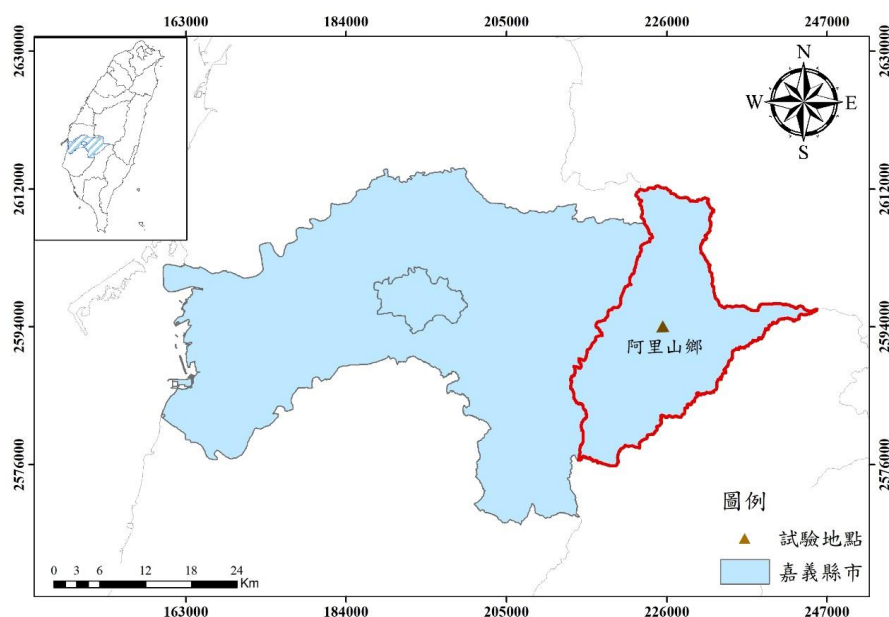


圖 3-1 試驗地點地理位置(本計畫整理)

(二)高程、坡度及坡向

本計畫試驗地點位於嘉義縣阿里山鄉，先針該鄉對全境高程分布進行整理套繪，全區海拔(高程)介於 242~3,916 m，平均高程為 1,464 m，主要分布於 800~2,400 m，面積約 36,248 ha，佔全區面積 84.72%，崩塌地試區高程介於 800~1600 m，如圖 3-2 所示。

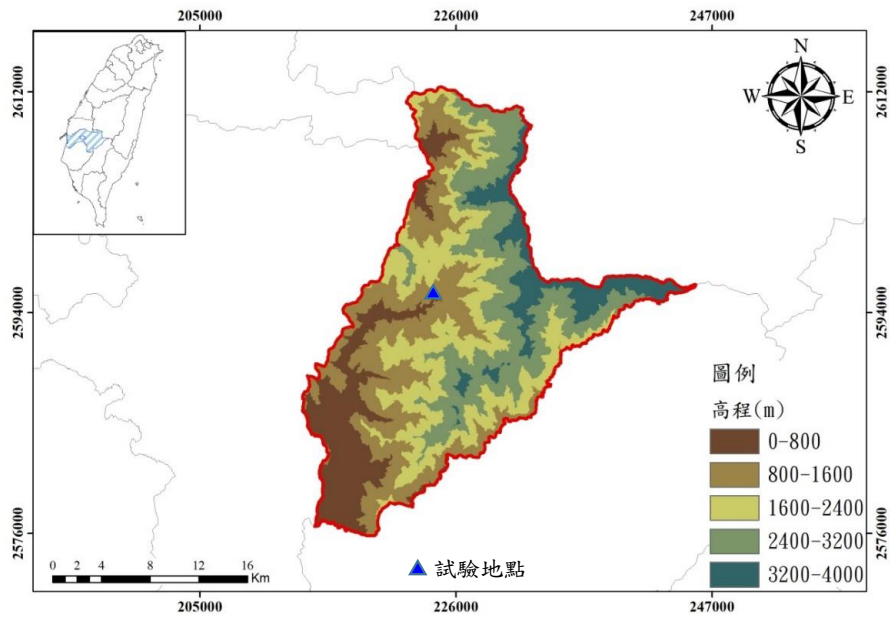


圖 3-2 阿里山鄉轄區內高程分布圖(本計畫整理)

本區坡度分布以六級坡以上分布較多，面積約 26,052 ha，佔本區面積 60.7%；其次為五級坡，面積約 8,027 ha，佔本區面積之 18.8%，屬於較陡之山坡地；崩塌地試區坡度分布均為六級坡以上，如圖 3-3 所示。

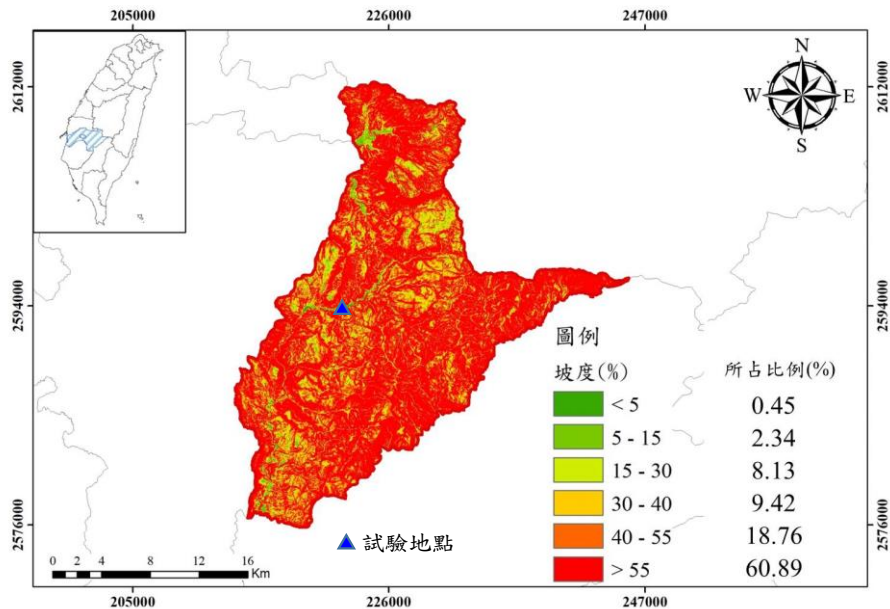


圖 3-3 阿里山鄉轄區內坡度分布圖(本計畫整理)

本區坡向以西南向為最多，面積約 6,701 ha，佔總面積 15.66%，其次為南向坡，面積約 6,457 ha，佔總面積 15.09%，崩塌地試區坡向為北向，如圖 3-4 所示。

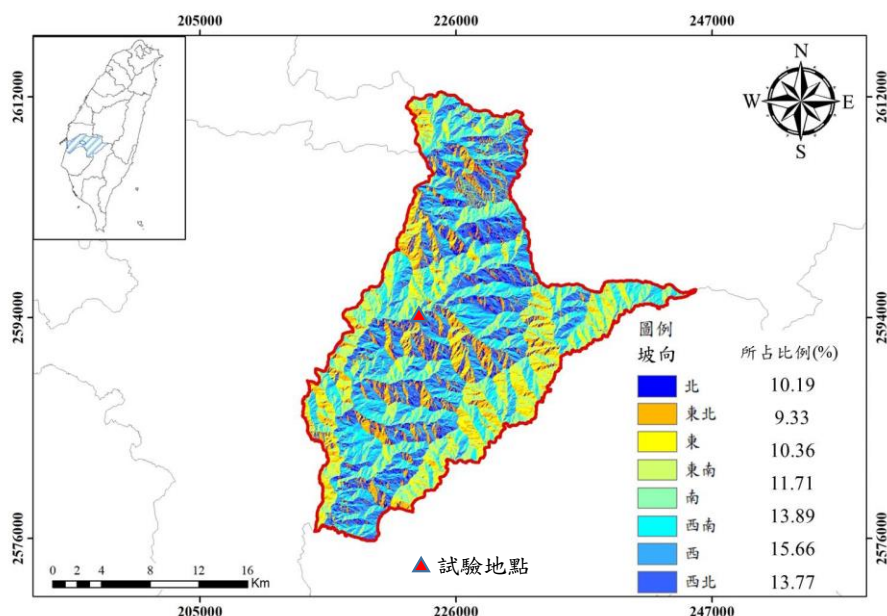


圖 3-4 阿里山鄉轄區內坡向分布圖(本計畫整理)

(三)土壤

本地區屬山地地區，土壤雖多為無調查，主要以崩積土類及石質土分佈最多，崩積土類於本區山坡地至陡峭地形皆可見，主要包括：雜地、暗色崩積土、黃棕色黃壤、黃灰色裸岩或崩崖、黃灰色崩積土、硬砂頁岩黃灰色石質土、砂頁岩黃紅色黃壤、砂頁岩石質土、砂岩頁岩非石灰性新沖積土、石質土，其中以黃灰色崩積土為最多，面積約 4,787 ha，如圖 3-5 所示。當現地於地勢陡峭地或高山地帶，且有崩積土及石質土出現，即表其地質屬於易生風化條件，則自然植生復舊多無法全面覆蓋。崩塌地試區主要土壤為砂頁岩石質土、黃灰色崩積土。

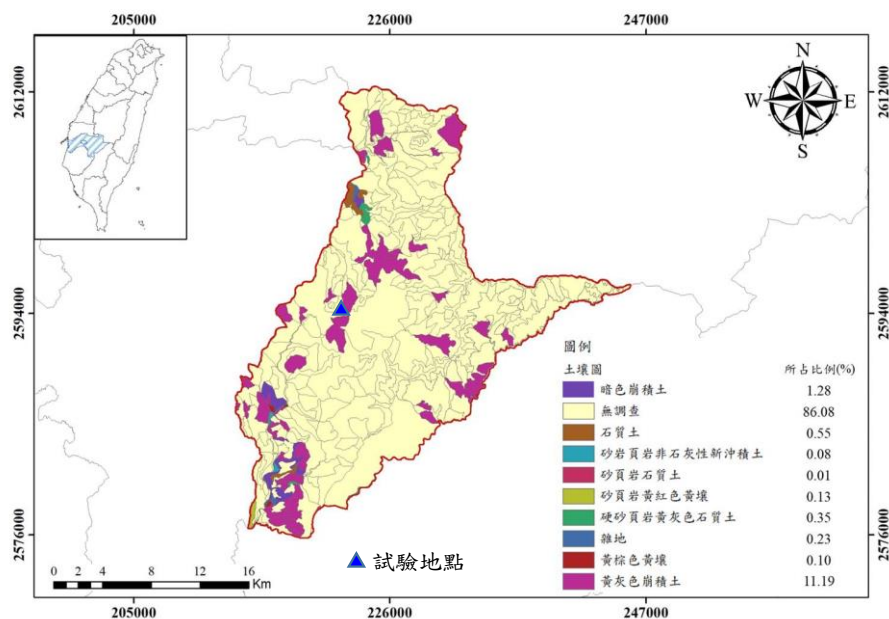


圖 3-5 阿里山鄉轄區內土壤分布圖(本計畫整理)

(四)地質

阿里山鄉地質大部分屬於西部麓山帶之內山帶，出露地層以第三紀地層之沉積層為主，地質年代約為中新世中期至上新世。而本地區則以中新世晚期之三峽群及中新世中期瑞芳群主要地層地質，其阿里山鄉南側主要為此類地質，另阿里山鄉北側，則以階地堆積層及頭嵙山層為主；其阿里山地區環境地質分布如圖 3-6 所示。

上述三峽群地質主要由砂、頁岩為主之桂竹林層及砂岩為主之南莊層組成，瑞芳群地質則由砂、頁岩為主體之南港層為主要分布，其各地質特性及分布敘述如下：

1.南莊層(Mnc)

此層屬於海陸相交的陸臺型沉積相，這是以煤層的堆積、粗粒碎屑的沉積、和海相化石的稀少為主要特徵。阿里山以南，由於這種岩性和岩相的變化，南部的南莊層也因而為若干不同的地層名稱所取代。

南莊層的南界在阿里山，其主要的岩石為淡青色厚層、砂岩和頁岩所成條帶狀的薄葉互層和深灰色頁岩，若干白砂岩的薄層可能是台

灣北部南莊層中最有特性的岩石代表。四層不連續的煤層出現在上層的上部，它們都呈現凸鏡狀，厚度和延展都有極大的變化，一般缺少開採價值。海相化石已逐漸增多，植物碎片在煤層附近的炭質頁岩中也有相當數量。阿里山區的南莊層厚度為一千公尺，但它的底部還沒有出露。在阿里山以南，與南莊層相當的地層就全部變為海相地層，不再含煤。

2. 桂竹林層(Kc)

桂竹林層在本區可分為三個岩段，下段關刀山砂岩，由細粒到中粒的淡青灰色砂岩組成。主要為厚層塊狀的泥質砂岩，並含有頁岩碎片和薄煤線。在貝類化石富集地方，砂岩多帶有石灰質。中段十六份頁岩，由深灰色頁岩組成，產許多貝類和蟹類化石。上段大窩砂岩，以泥質砂岩為主，含有較多頁岩夾層。砂岩呈灰色到淡灰色，細粒，厚層到中層，砂岩比較不純，含有相當多的泥質填充物。本層內砂岩、頁岩所成的薄互層或薄葉互層很多，砂岩中也有一些炭粒。

3. 南港層(Mnk)

該層由厚層到薄層青灰色細粒石灰質砂岩和深灰色頁岩或粉砂岩構成，其中含有豐富的有孔蟲及貝類化石，沉積環境為淺海相。台灣北部的南港中有很明顯著的厚層塊狀砂岩，經常形成陡壁懸涯。砂岩為石屑質的混濁砂岩或亞混濁砂岩。由於顯著的岩相變化和所含砂岩與頁岩百分比的不同，所以在台灣北部，南港層可以分為五段：二個塊狀砂岩段和三個砂岩及頁岩互層段。到了台灣中北部或中部，這五個岩段只能分為三個岩段，上下兩段以砂岩為主，中段則以頁岩為主。向南過了西螺溪，以砂岩為主的南港層就變成一個不易細分的深灰色頁岩系。此可說明南港層和它的相當地層的砂岩成份由北向南遞減，

而頁岩的成份則相對的增加，同時該層的厚度也向南逐漸增加。

4.階地堆積層(Q4)

階地堆積層主要分佈於主要河流之兩側，階地堆積層主要由礫石、砂及泥土所組成，來吉村至豐山村鄰近阿里山溪流域及支流之沿岸以此類地質為主。

5.頭嵙山層香山砂岩(PQs)

主要分布大尖山斷層的西側斗六丘陵，本岩段主要由厚層砂岩和砂岩與頁岩之互層所組成。砂岩呈淡灰或灰綠色，風化後呈黃棕色。

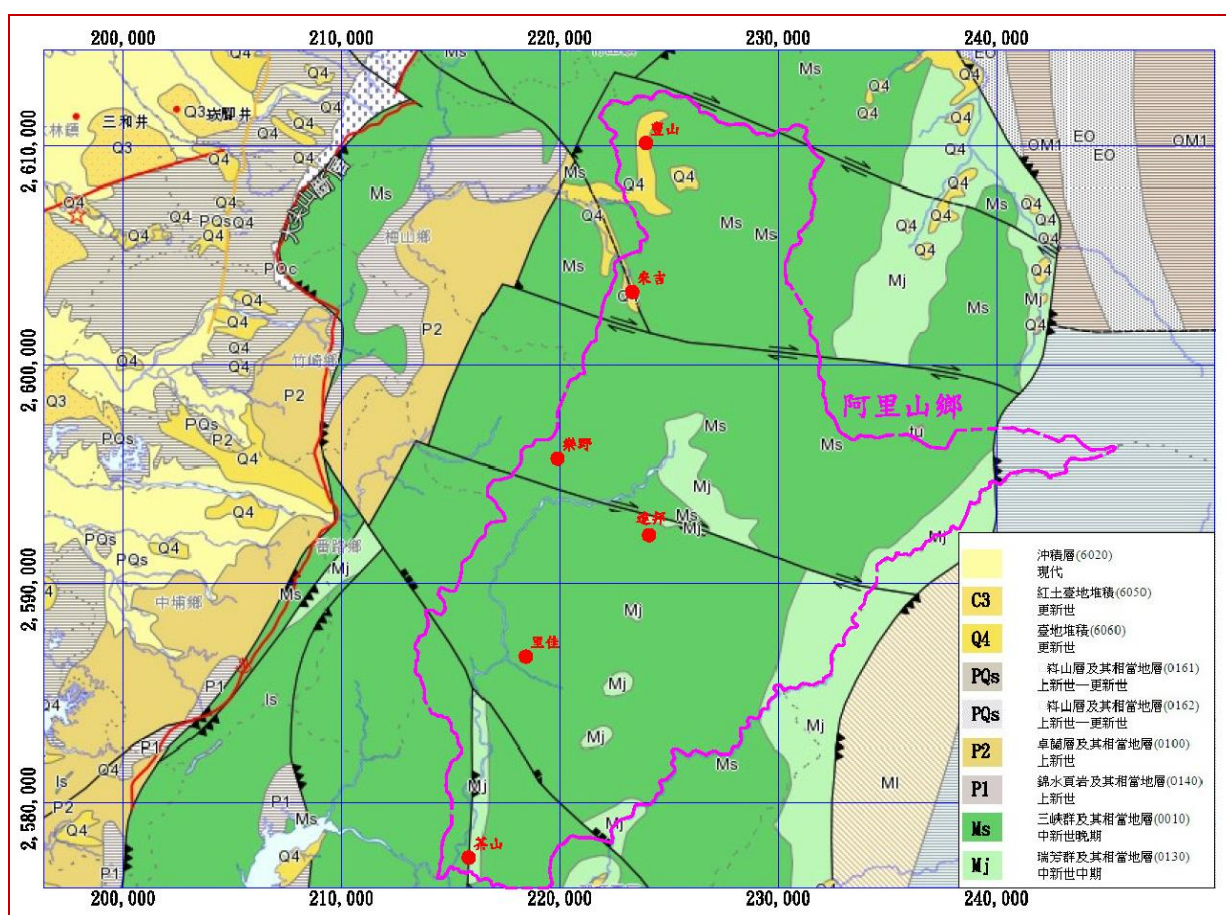


圖 3-6 阿里山地區環境地質分布圖(本計畫整理)

基地鄰近區域主要地質構造位於阿里山鄉西方之和大尖山斷層(活動斷層)。大尖山斷層依地質特性可分為 2 段。北段由南投縣竹山鎮嶺腳，向西南方向延伸，在 1999 年集集地震時有活動，近地表為右

移形式；在桶頭以南至桶頭尾，地表可能產生分叉現象，分支斷層延伸約 500 公尺後併回主斷層。大尖山斷層的南段由樟湖山附近向西南延伸至嘉義縣竹崎鄉金獅寮與水社寮斷層、觸口斷層連接，但缺少可供觀察的露頭；雖大尖山斷層，列為第一類活動斷層，因距本計畫崩塌地樣區尚屬偏遠，故影響有限。崩塌地試區主要地質為三峽群地質：砂、頁岩為主之桂竹林層及砂岩為主之南莊層組成。

(五)水系

曾文溪主流由發源地向西南貫穿區內國有林地，參考經濟部水利署南區水資源局「曾文水庫集水區保育實施計畫(檢討修訂)，2000」之溪流分布，主要支流由上而下計有：長谷川溪、中坑溪、伊斯基安娜溪、達德安溪、烏奇那溪、塔乃庫溪、山美坑、塔庫布央溪、陀亞奇伊溪、草蘭溪、沙利基溪、匏仔寮溪、雷公溪、竹坑溪、東西坑溪(長枝坑溪)、水底寮溪及火燒寮溪等 17 條。區內主流長度 56.2 公里，主流支流總長 213.1 公里，水系分布圖如圖 3-7。

曾文溪與阿里山溪流域是阿里山鄒族主要聚落分佈的領域。曾文溪上游長谷川溪源自水山與霞山之間，流向西南至達邦支流伊斯基安娜溪來會，下切成深谷，形成左岸高位河階，於特富野與達邦社稱為達邦河階群，該地乃鄒族主要活動中心。曾文溪至達邦以下至樂野段，在右岸形成赭土起伏面。另在米洋處形成稍低且更廣之山麓河階，河谷峽深，至其下之竹腳，形成稍廣之河岸低地，與米洋山麓河階同為樂野主要農地。

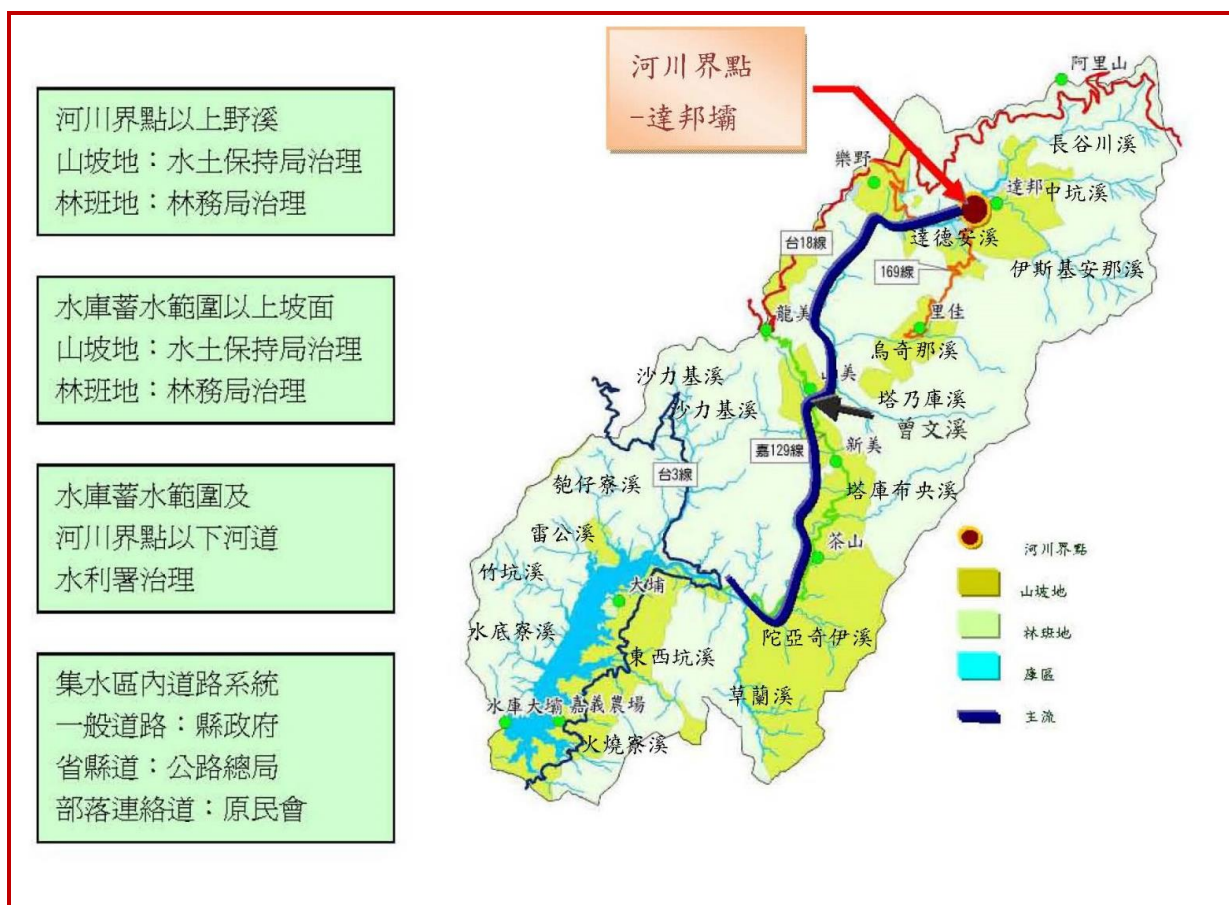


圖 3-7 曾文溪水系分布圖(本計畫整理)

三、氣象水文

(一)雨量

相關資料參考經濟部水利署全球資訊網之水文年報及中央氣象局觀測資料年報，採用 2010-2017 年雨量資料紀錄之樂野、里佳及阿里山自記雨量站進行降雨量分析，如圖 3-8~圖 3-10。雨量多集中於 5-9 月，逐年雨量分析年平均雨量分別為 3,082、3,314、3,974 mm，其中以 2012 年阿里山雨量觀測站觀測到 5,026 mm 為近年最大值。

阿里山區域地形起伏變化大，因受高山環繞影響，整體來說氣候涼爽，最高氣溫 25.2 ℃，但最低氣溫可達零下 3 ℃；冬季寒冷，濕度大、雨量充沛，雨量常年值多超過 2,500 mm 以上。同時也因位居

海拔高度較高且環山影響，阿里山地區也常有濃霧出現，自然孕育豐富生態環境。

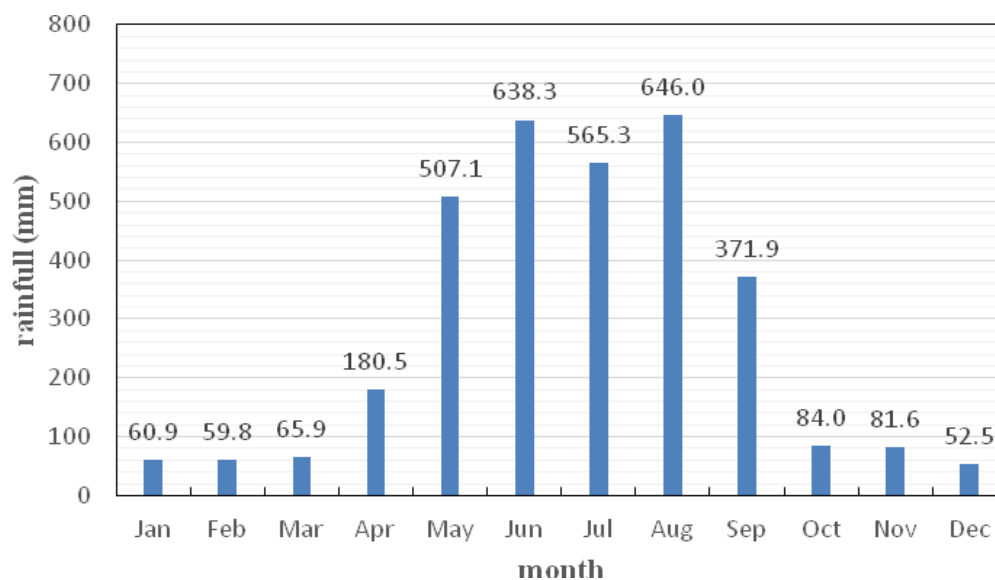


圖 3-8 里佳雨量站(1630P048)月平均雨量(2010-2017 年)

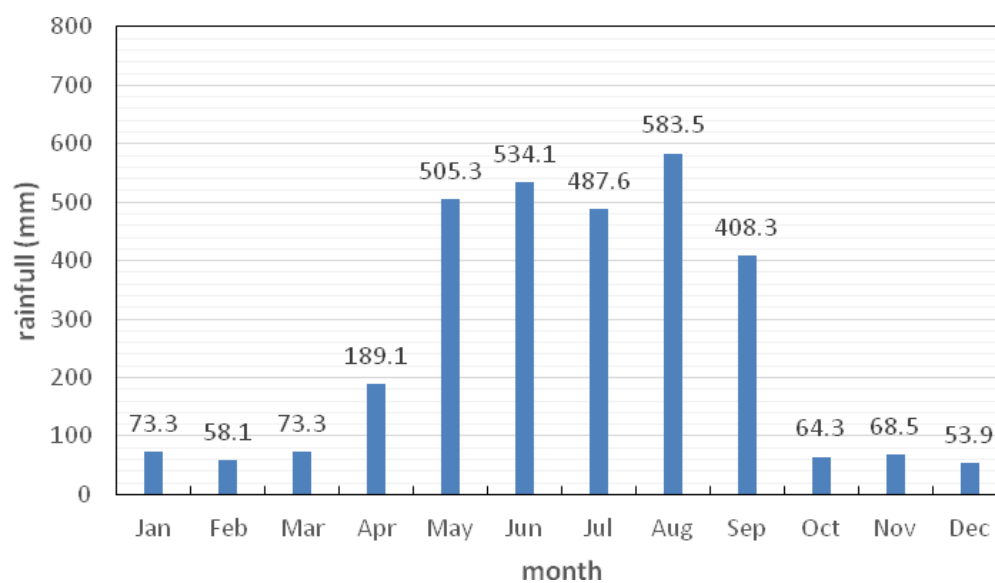


圖 3-9 樂野雨量站(1630P047)月平均雨量(2010-2017 年)

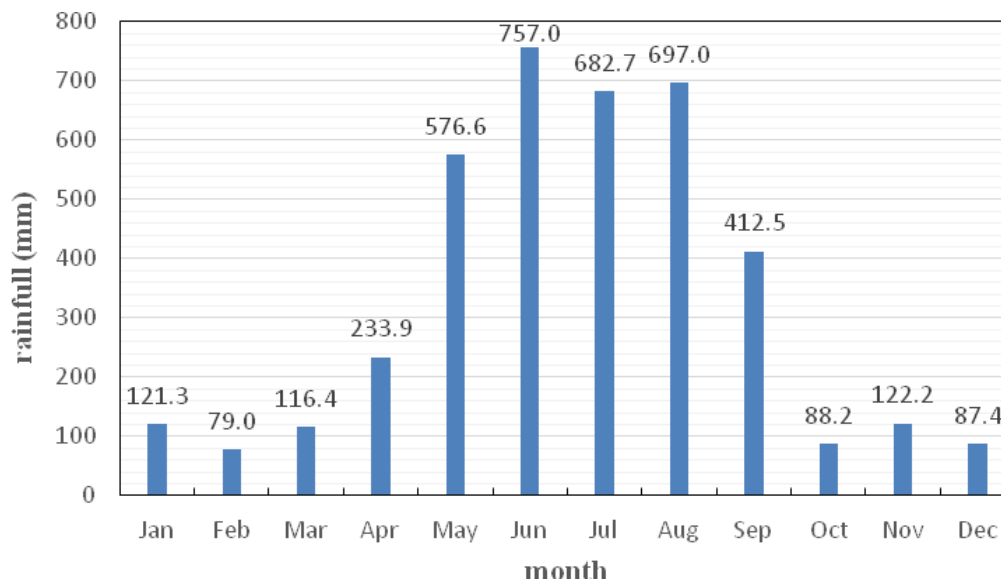


圖 3-10 阿里山雨量站(46753)月平均雨量(2010-2018 年)

(二)氣象

以下調查收集阿里山鄰近之阿里山氣象站觀測資料，進行氣象環境條件說明。

- 1.氣溫：年平均氣溫為 24.30℃，冬季 17.83℃ 最低，夏季 28.60℃ 最高。
- 2.相對濕度： 年平均為 78.8%，冬季 80.8%，夏季 73.9%。
- 3.蒸發量：以 7 月份 110.2 mm 最高，12 月份最低為 57.4 mm，年平均蒸發總量為 1,005.1 mm。

四、樂野村崩塌地試區之相關基本資料

本崩塌地試區，南起龜頭山(海拔 1206 m)下緣以降至曾文溪畔，全區高程介於 725~1200 m，坡度分布均為六級坡以上，坡向為北向，土壤主要為砂頁岩石質土、黃灰色崩積土，地質為三峽群地質主要由砂、頁岩為主之桂竹林層及砂岩為主之南莊層組成。崩塌地源頭現為岩盤出露，受風化、水解極易造成坡面岩屑崩落，是為料源區，高程介於 825~1200 m，坡度均達 40° 以上，呈現不穩定狀態；當經過地形

束縮段，寬度約 40 m，高程介於 725~825 m，坡面坡度達 23~31°，並於該區域二側各有 1 條蝕溝流經，其寬度及深度分別達到 5、3 m，是為輸送段，坡面留有大粒徑塊石及礫石堆積；當高程降至介於 725 m，坡面坡度迅即緩降至 2°，是為堆積段，坡面堆積留存有大量細質地崩積土，此應係地表逕流集中於蝕溝，在順沿地勢排流至崩塌地下游段，有淘刷坡面上游之崩積土石所致，故輸送區之土壤明顯堆積於崩塌地下游區域。相關崩塌地集水面積如圖 3-11 所示，

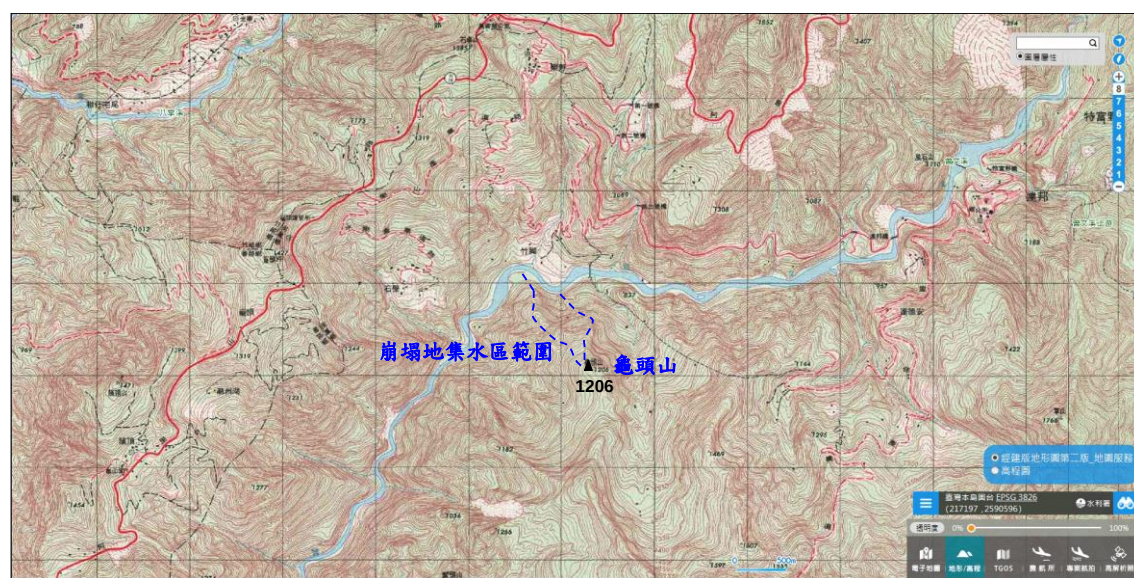


圖 3-11 崩塌地集水面積

由圖 3-11 可見崩塌地之集水面積，已呈一狹長形，縱向長度

第四章 陡坡崩塌地微立地條件與植生環境調查要項分析

第一節 蒐集臺灣南部崩塌地植生復舊案例分析

近年為順應自然、尊重自然，於主河道中興建大型攔砂構造物，已較少進行評估，而臺灣南部崩塌地植生復舊處理，當受限土壤質地偏細影響，加以氣候有明顯旱季及雨季區分，使得崩塌地在無立即危害或保全對象下，多採自然植生復舊方式為之。因此本計畫針對曾文水庫上游區域，有對野溪以保育觀點採行小規模之坡地保育措施、野溪治理措施者，進行相關案例蒐集。依據行政院農業委員會林務局(2011)崩塌地復育造林手冊指出，施行崩塌地復育時，若坡面已為岩石裸露或滿布隨時移動之礫石，則無法採行植生復育，如仍有治理之必要，則應採治山工程方式辦理，崩塌地整治若配合撒播、插植及栽植，當對於有保全對象之崩塌地基腳已呈穩定狀態，急需進行坡面穩定及植生復育之工作區域，則可依現場地形地貌及環境因素，結合造林、治山工程規劃實施，並配合種子撒播、栽植、覆稻草蓆、打樁編柵，截導排水等方式穩定坡面，加速生態演替，恢復林地生機，以維護國土保安及水源涵養等功能。再對照水土保持手冊植生篇(2017)植生方法通常：有噴植法、挖穴施肥鋪網客土噴植法、打樁編柵法、預鑄框或自由型框客土植生法等，又當考量植物生長，亦需考量耐瘠、耐寒及可迅速生長覆蓋地表達到減緩逕流，過濾污染物、泥砂為選用方向。

行政院農業委員會嘉南水利會2011年執行水庫集水區保育治理-水庫更新改善及淤積處理(烏山頭水庫)計畫報告指出，崩塌地治理時除以地表排水工程、擋土工程外，尚包括坡面保護措施，而施

做時常同時配合採用植生方法與工程方法，利用植生之根系加勁土層並提高邊坡之穩定性，達到保護坡面防止沖蝕之發生，進而降低表土沖蝕引起土壤結構之鬆散或不穩定。初步在考量水庫上游集水區土砂生產主要來源，乃因颱風豪雨造成坡面崩塌所產生的土砂由高處沿陡坡野溪隨水流下移，巨大的能量在輸送過程會產生溪床縱橫向沖刷，使溪床向下切割及兩側邊坡崩塌，溪床大幅擴床造成土砂增加數倍或數十倍，因此防治此種滾雪球效應所產生的潛在土砂量，是減少集水區土砂產生的重要工作。

對受限於地質地形影響或屬人力及物料搬運不易到達之自然崩塌林地，若無保全對象，則採天然更新方式，恢復自然林相。臺灣南部國有林地內崩塌地植生復舊案推行，主要由行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處及屏東林區管理處予以推動，其方法包括：截排水、撒播、撒條播、掛網噴植、團粒噴植等。本計畫先就嘉義林區管理處轄內國有林水庫上游集水區整體調查規劃委託技術服務成果報告(2018)指出，曾文水庫集水區內大埔第168林班內2011~2017年之相關5件整治工程資料(見表4-1)進行崩塌地植生復舊案例分析。由表中可見相關主要整治工程包括：乾砌砌石護岸、固床工、植石護坦、坡面植生、撒播草籽及苗木種植；期使整治工程完工後能發揮土砂防治、促進崩塌復育、邊坡保護、穩固河床及維持通洪為目標。現地有一主、支流交匯，支流上游坡面之崩塌地，不安定土砂每逢颱風事件後，逕流挾土砂帶往下游流動，復受河道兩岸為天然山壁，現況屬人力及機具無法可及，河道遭遇山洪襲擊，使本崩塌地常須就現況調查以進行調整設計工程內容，其中以坡面植生、撒播草籽及苗木種植所佔比例與經費相對偏低。

表4-1 曾文水庫集水區內大埔第168林班地內2011-2017年保育治理工程一覽表(嘉義林區管理處，2018)

工程名稱	工程內容	X坐標	Y坐標	工程預算(元)
大埔區168林班野溪整治工程	乾砌砌石護岸527m、固床工10座、植石護坦341 m ² 、坡面植生1054m ²	223808	2592404	22,000,000
大埔區第168林班野溪整治工程	梳子壩1座、副壩1座、尾檻暨截水牆1座、RC護岸17 m、植石護坦1368 m ² 、密鋪塊石450.5m ² 、A式漿砌塊石護岸33.6 m、B式漿砌塊石護岸15.5 m、地梁7支、縱、橫邊梁各1支、護岸封口1處、河道清理1式、撒播草籽及植苗木500株1式	226255	2592228	22,000,000
大埔區第168林班野溪整治二期工程	固床工工程7座、尾檻工程1座、護岸工程110.90 m、混凝土鋪石432m ² 、塊石851 m ²	226255	2592228	20,000,000
大埔區第168林班野溪整治三期工程	防砂壩工程1座、固床工工程1座、尾檻工程1座、側牆工程46.7m、混凝土鋪石300m ² 、拋石1994m ² 、苗木種植24株	226412	2592097	19,000,000
大埔區第168林班災害治理工程	防砂壩工程1座、固床工工程3座、尾檻工程2座、側牆工程161m、護坡工程163.00 m、拋石工程2809m ² 、混凝土鋪石334m ² 、乾砌石溝工程70 m	226538	2592380	24,500,000

曾文水庫集水區內大埔第168林班歷年崩塌地判釋資料共13期，透過套疊、整理與統計成果如表4-2所示。表中可見，大埔第168林班崩塌地係受莫拉克颱風(編號：200908)所挾帶之降雨、逕流所造成，事件後之崩塌面積約36.15 ha(崩塌率約15.03%)為最高；2017年汛期後崩塌判釋成果得之，崩塌面積降至19.57 ha(崩塌率約8.14%)。顯示相關治理工程包括防砂設施、固床工、護岸等，以達到穩定坡趾，誘使邊坡達到初步穩定狀態，使崩塌率能維持較穩定。又由2013年8月康芮颱風後，原已恢復植生之坡面(覆土層厚)，再次崩落形成裸坡，新增崩塌5.28 ha(新增崩塌率2.2%)；2016年

~2016年因無顯著降雨，並無明顯新增崩塌地，但於2017年0602豪雨時，再次將坡面植生沖刷流失，該事件中新增達8.66 ha(新增崩塌率3.60%)為莫拉克颱風後最高。據此顯示，該林班僅配合部分植生復育措施，再配合自然植生復育，即具有緩衝崩塌地面積擴增之效能。此可由區內2012年天秤颱風後復育最高達12.99 ha(復育率5.40%)為最高，而2012年~2017年汛期後受基盤及事件影響發生之崩塌，因坡面仍具土層，再次形成強勢適生草種之生育基盤具有相當高之恢復能力，促使非屬穩定狀態之坡面草本植生覆蓋快速出現，得到佐證。

表4-2 大埔第168林班崩塌地集水區以往崩塌地變遷分析一覽表(嘉義林區管理處，2018)

事件	崩塌地集水區面積240.46 (ha)		崩塌地前 後期面積 變化(ha)	新增崩 塌地面 積(ha)	新增崩 塌率 (%)	崩塌復 育地面 積(ha)	崩塌復 育率 (%)
	面積(ha)	百分比(%)					
20060609豪雨後	0.00	0.00	—	—	—	—	—
200908莫拉克颱風後	36.15	15.03	36.15	36.15	15.03	1.32	0.55
201011凡那比颱風後	26.49	11.02	-9.66	5.33	2.22	1.32	0.55
201214天平颱風後	23.10	9.61	-3.39	1.14	0.47	12.99	5.40
201315康芮颱風後	25.82	10.74	2.72	5.28	2.20	2.79	1.16
2014年1月	25.28	10.51	-0.54	1.25	0.52	1.79	0.74
201416鳳凰颱風後	24.90	10.36	-0.37	0.00	0.00	0.37	0.15
20150520豪雨後	24.95	10.38	0.04	1.66	0.69	1.62	0.67
201513蘇迪勒颱風後	24.77	10.30	-0.18	0.00	0.00	0.18	0.08
201617梅姬颱風後	26.00	10.81	1.23	1.66	0.69	0.44	0.18
2016年汛期後	19.58	8.14	-6.42	1.26	0.52	7.68	3.19
2017年0602豪雨後	26.99	11.23	7.41	8.66	3.60	1.24	0.52
2017年汛期後	19.57	8.14	-7.42	1.21	0.50	8.63	3.59

同期，屏東林區管理處針對轄內崩塌地持續進行打樁編柵、撒播種子、栽植林木...等復育措施，經統計2010~2017年復育造林改善策略成果如表4-3所示。由表中可見，相關崩塌地主要復育方式包括：截排水、撒播、掛網噴植、團粒噴植、木樁竹編柵、撒播。選用樹種、草種包括：百慕達草、百喜草、台灣欒樹、光蠟樹、苦

楝、相思樹、台灣欒、無患子；青楓、赤楊、血桐、烏桕、五節芒、台灣澤蘭、台灣愛玉火刺木、羅氏鹽膚木、百喜草、高荻草，其崩塌地扣除裸露岩盤後植生覆蓋率變化可知，植生復舊後2年，各崩塌地覆蓋率均達到80~85%，撒、點播措施後之覆蓋率多可達85~95%，略高於打樁編柵措施者之80~85%，顯示植生復舊成效。

表4-3 屏東林區管理處2010~2017年轄內崩塌地復育造林改善策略明細表(屏東林區管理處，2018)

年度	事業區	林班	施作面積 (ha)	坡度 (°)	海拔 (m)	復育方式	撒播或栽植樹種、草種	崩塌地扣除裸露岩盤後面積(公頃)	崩塌地扣除裸露岩盤後植生覆蓋率(%)
2010	潮州	45	4.47	25-35	350	截排水550 m、撒播1.8 ha、掛網噴植1.66 ha、團粒噴植1.03 ha	百慕達草、百喜草、台灣樂樹、光臘樹、苦楝、相思樹、台灣檫、無患子	4.49	100
	旗山	19-20	15.0	25-65	400	木椿竹編柵	百慕達草、百喜草、光臘樹、苦楝、台灣檫	14.2	80
	旗山	20	10.0	25-70	420	竹椿竹編柵	百慕達草、百喜草、光臘樹、苦楝、台灣檫等	9.6	80
	旗山老濃溪	56	5.0	15-45	500	撒播	青楓、赤楊、光臘樹與草種	3.2	80
	旗山老濃溪	59	9.18	15-45	1500	撒播	台灣檫、青楓、赤楊及草種	7.18	85
2011	潮州	1	5.5	40-60	1400	撒播	百慕達草、百喜草、台灣樂樹、光臘樹、苦楝、相思樹、台灣檫及無患子	5.0	95
	旗山	85	25.0	15-45	1600	整地、截排水、撒播、打樁編柵	百慕達草、百喜草、青楓、赤楊、台灣樂樹、光臘樹、苦楝、相思樹、血桐、烏柏、台灣檫及無患子	21.0	85
2013	旗山	32	16.4	25-45	300-700	撒、點播	相思樹、苦楝、赤楊、無患子、光臘樹及台灣樂樹、臺灣蘆竹、假儉草、五節芒、台灣澤蘭及台灣愛玉	14.34	90
2014	旗山	90	8.01	25-45	600-800	撒、點播	台灣樂樹、光臘樹、苦楝、相思樹、赤楊、檫木、百喜草、高菰草、百慕達草	7.01	90
2015	老濃溪	114、115	29.55	30-45	800-1500	條、撒播	光臘樹、苦楝、赤楊、台灣檫、火刺木、羅氏鹽膚木、百喜草、高菰草、百慕達草	25.55	85

綜觀林務局嘉義林區管理處及屏東林區管理處於臺灣南部國有林地內崩塌地進行植生復舊之主要依據為林務局(2011)崩塌地復育造林手冊，於前指地區相關植生粒劑尚未有使用紀錄可依循，僅林務局於2018年10月曾選用旋翼型無人機於宜蘭地區執行植生粒劑灑播作業，2019年4月起，繼續針對人力不可及的宜蘭縣大同鄉留茂安部落上游、臺中市和平區德基水庫上游必坦溪及南投縣仁愛鄉奧萬大聯外道路7K旁等處之崩塌地進行後續試驗。許愷岐(2019)曾於2018年9月至臺灣南部地區屏東縣滿州鄉小鹿野溪進行植生粒劑播種試驗，崩塌地樣區坡度約30°~45°，坡面含許多礫石與枯枝，植生粒劑播種高度約20 m，初步結果得知：植生粒劑播種後僅能於

部分較粗糙坡面或是有枯枝、蝕溝等區域停留，其餘粒劑則大多滾落至下方排水溝內。據此可知，臺灣南部崩塌地植生復舊案例中尚無植生粒劑大規模施作。

第二節 崩塌地微立地條件調查分析

崩塌地由崩崖而下視之，常先出現基岩及大量崩積土石(見圖4-1)，乍見不易有植被入侵而出現植生復舊，然而在基岩冠部卻常堆積部分原有植被植物之種子，當水分條件允許下，此等植物種子將有萌芽機會，然而考量原坡面沃土隨崩塌而堆積下邊坡，則坡面並不利此等植物繼續成長，因此若針對適生陽性植物種子配合崩塌地坡面有局部植生基盤，則先使部分植物入侵，以達坡面局部穩固土壤，則將能對於播種工法選用植物與決定施作導入地點提供決定依據。此可由李元智等(2007)於中高海拔板岩區薄層噴植植生工法導入草本類植物之初期及中期植生覆蓋率明顯優於厚層噴植植生工法，故適地適選植物配合播種植生工法，將能利於建構崩塌地演替所需之植生基盤。



圖 4-1 陡坡崩塌地微立地與植生環境

各項保育工作應因地制宜，優先採用柔性工法為之，原則有：

(1)坡度 35° 以下，基腳已成穩定之劣化地，則進行復育造林，樹種宜選用耐乾旱、耐貧瘠之當地陽性樹種及能迅速覆蓋地面、深根性、可固結土石者為主要造林樹種，其促其綠化，俾縮短植群演替時程，儘速恢復森林生態系之生機，降低災害的影響範圍。(2)對於受限於地質、地形影響而自然崩塌林地，屬人力及工程機具交通不易到達者，一般而言距保全對象亦有相當距離，宜採撒播或天然更新方式，恢復自然林相。(3)崩塌地地質經實際查勘已露岩，不適用相關處理工法者，則不予採自然復育方式處理。當立地條件較差的崩塌地，宜先採用草本種子導入，可有效快速安定坡面，達到減少沖蝕、增加安定性目的，可有利於配合後期演替成林之木本植物導入後以建構崩塌地複層植被(林信輝等，2011)。另行政院農業委員會水土保持局2018年創新研究計畫-坡地植生工法應用技術精進研發計畫，已於屏東縣滿州鄉及嘉義縣阿里山鄉擇定3處崩塌地應用無人載具(UAV)進行植生粒劑投擲試驗，然受限投擲時期值逢乾旱

時段，使粒劑萌芽狀況受到影響。然於崩塌地仍有部分先驅植物生長(見圖4-2)，故調查分析此等先驅植物生長之微立地條件，將有助於日後崩塌地植生復舊所需。本研究於選定崩塌地樣區後，即進行先趨植物調查，結果整理如表4-4。

由表4-4可見崩塌地樣區之先趨植物調查結果中，除野桐為高大喬木外，餘者植物以草類、草本及灌木植物為主，對照各植物生長分布區位，高莖植物較易出現於崩塌地範圍周邊，而低矮植物則堆多出現於崩塌地居中區域，或於塊石或大粒徑礫石近下坡向有餘土留存處；另以具有自播種子能力的植物為主。值得注意本崩塌地樣區因有土層有伏流水分布，已出現較少見的莎草，而一般該植物常出現於低窪潮溼邊坡或濱水區域，顯示現地於地表土層內土壤水分含量應有相當高之趨勢，勢必有利於相關先趨植物入侵生長。

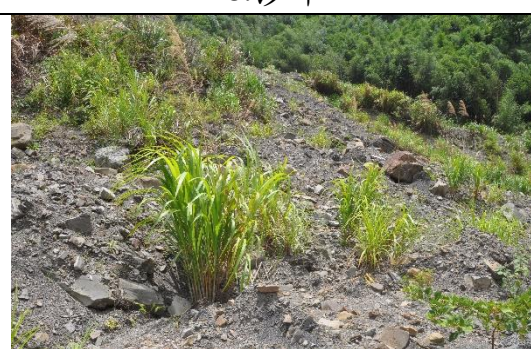
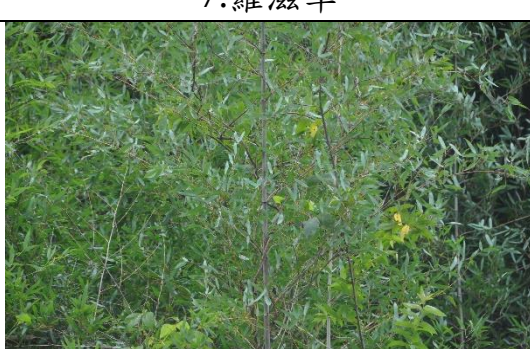


圖4-2 崩塌地先趨植物生長

表4-4 崩塌地樣區之先趨植物調查

代號	物種名	學名	科別	別名	生長型態
1	大花咸豐草	<i>Bidens pilosa</i> L. var. <i>radiata</i> Sch.	菊科	鬼針草	一或二年生草本
2	加拿大蓬	<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq. var. <i>canadensis</i>	菊科	小飛蓬、小白酒草	一年生草本
3	臺灣蘆竹	<i>Arundo formosana</i> Hack.	禾本科		多年生草本
4	竹葉草	<i>Oplismenus compositus</i> (L.) P.Beauv.	禾本科	大縮筴草	多年生草本
5	南美含羞草	<i>Mimosa pudica</i> Linn.	豆科	含羞草、知羞草	多年生草本
6	莎草	<i>Cyperaceae</i>	莎草科		多年生草本
7	羅滋草	<i>Chloris gayana</i> Kunth	禾本科	蓋氏虎尾草	多年生草本
8	五節芒	<i>Miscanthus floridulus</i> (Labill) Warb.ex Schum.& Laut.	禾本科	寒芒、菅草	多年生草本
9	桂竹	<i>Phyllostachys makinoi</i> Hayata	禾本科	桂竹仔、臺灣桂竹	多年生常綠植物
10	薊	<i>Cirsium</i>	菊科		
11	賽蜀豆	<i>Macroptilium atropurpureus</i> (DC.) Urban	豆科	紫花大翼豆、黑花豆	多年生雙子葉蔓生
12	木芋麻	<i>Boehmeria densiflora</i> Hook. & Arn.	蕁麻科	山水柳、紅水柳	灌木
13	野桐	<i>Mallotus japonicus</i> (Thunb.) Muell.-Arg.	大戟科	野梧桐、大白匏仔	半落葉性小喬木
14	山芙蓉	<i>Hibiscus taiwanensis</i> Hu	錦葵科	台灣芙蓉	落葉性大灌木或小喬木
15	羅氏鹽膚木	<i>Rhus javanica</i> Linn. var. <i>roxburghiana</i> (DC.) Rehd. & Wilson	漆樹科	山鹽青、埔鹽	落葉性小喬木
16	波葉山螞蝗	<i>Desmodium sequax</i> Wall	豆科	山毛豆花、鳥山黃檀草	灌木
17	馬棘	<i>Indigofera pseudotinctoria</i> Matsum.	豆科	穗花木藍	多年生草本
18	山水柳	<i>Boehmeria densiflora</i> Hook. & Arn.	蕁麻科	紅水柳	常綠小灌木
19	葛藤	<i>Dolichos lobatus</i> Willd.	藤科	野葛	多年生落葉性纏繞性藤本



	
3. 臺灣蘆竹	4. 竹葉草
	
5. 南美含羞草	6. 莎草
	
7. 羅滋草	8. 五節芒
	
9. 桂竹	10. 薊

	
11. 賽芻豆	12. 木芋麻
	
13. 野桐	14. 山芙蓉
	
15. 羅氏鹽膚木	16. 波葉山螞蝗
	
17. 馬棘	18. 山水柳



19. 葛藤

第三節 植生環境要項調查分析

參考行政院農業委員會水土保持局(2017)水土保持手冊所提相關調查應包括：

(一) 陡坡崩塌地微立地條件調查分析

1. 陡坡崩塌地地形測量

先於陡坡崩塌地利用 UAV 對試驗地點進行勘測，由對崩塌地拍攝相片，選取植物生長區位。考量崩塌地坡面尚屬未穩定，改採用高精度全球定位系統(Global Positioning System, GPS)建立測量導線，先確認各導線點位座標(二度分帶，TWD97)，同時架設全站儀(EDM，Electronic Distance Measuring Device)以無稜鏡方式針對崩塌地之地形特徵點進行視距測量，當得知其高程差及水平距離，再經座標轉換，達到建立相關地形測量，進而了解陡坡崩塌地之地形。

今年 3 月期間先於阿里山鄉達邦村 1-5 鄰部落之崩塌地樣區完成地形測量，然自 5 月起受到梅雨及山區連日豪雨影響，業已造成通行前指崩塌地樣區之道路阻斷，致使原完成地形測量成果已無法配合後續試驗調查工作推展，故本計畫再另選鄰近原樣區鄰近的樂野村之崩塌地樣區進行踏勘選址確認新崩塌地樣區，於今年 10 月完成相關地形測量，繪製成果如圖 4-3 及圖 4-4 所示。線較密集處，表溝底坡降較大；於脊線區域有遇等高線間距較大處，表坡面坡度較緩處，經現地

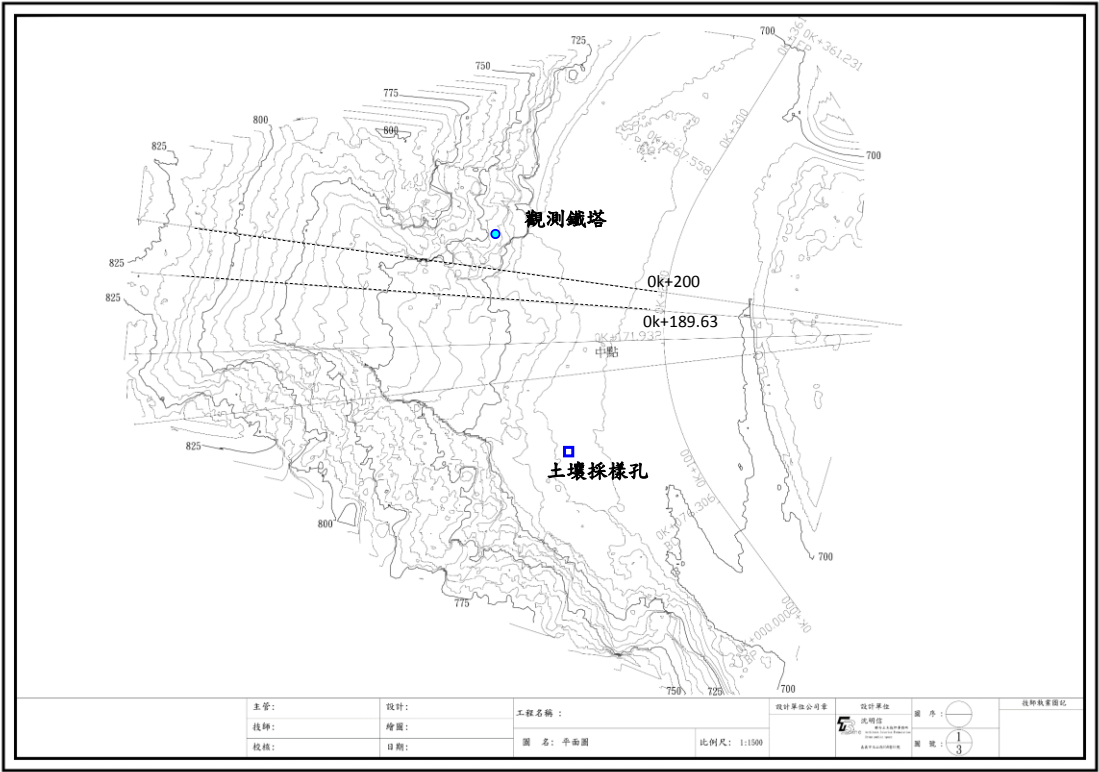


圖 4-3 崩塌地樣區地形圖

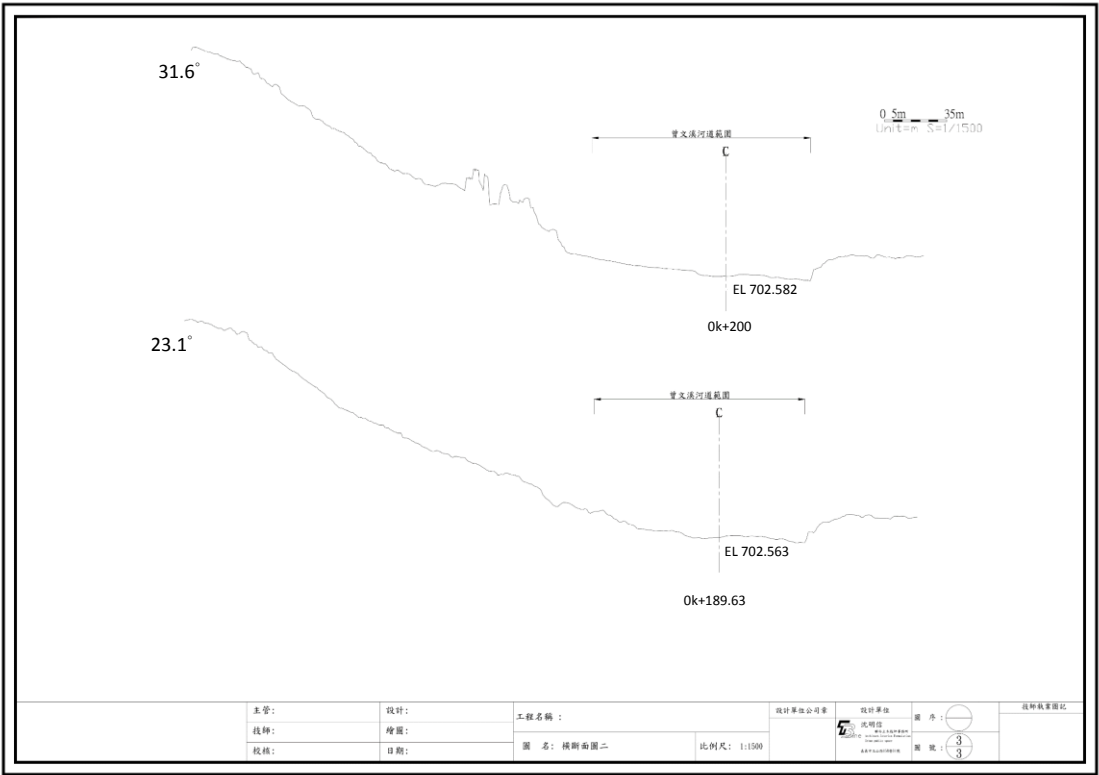


圖 4-4 崩塌地樣區地形縱斷面圖

圖中於單一坡向之崩塌地有出現等高線當有出現彎曲處即為溝線

及脊線，其中溝線區域有遇等高植生調查，可進一步確認為植生復舊之適當區位。再由圖 4-3 與圖 1-2 對照可見崩塌地樣區源頭現為岩盤出露，易受風化、水解等作用而造成坡面岩屑崩落，是為料源區，復依地形圖其高程介於 825~1600 m，坡度均達 70°以上，屬於地形陡峭岩面，自然植生復舊困難，僅有少數植被生，如臺灣蘆竹。地形束縮段，高程介於 725~825 m，寬度約 40 m，坡面坡度達 23~31°(見圖 4-4)，於該區域北側較開闊區位及南側臨岩壁邊陲各有 1 條蝕溝，已呈現加速沖蝕狀態，人員無法進入或穿越，經測定寬度及深度分別大於 5、3 m，是為輸送區，區內出現部分高莖草類生長，多見於坡面有堆積大粒徑塊石及礫石間之地勢窪平處，經現地調查該處均有崩積土淤積，此適可提供植物生長所需之生育基盤。續沿崩塌地高程降至 725~700 m 之坡面，出現崩塌地之坡面基部，其坡度迅即緩降至 2°，地表堆積有大量細質地崩積土與礫石，現地呈現扇狀堆積，其展開角度約 120°，此即為堆積段，然該處坡面蝕溝於地表逕流集中後，逕流水順沿地勢排流至崩塌地下游段區域，最後匯入曾文溪。綜觀地形圖對照現地調查結果可知，崩塌地料源區因有岩盤出露，屬於植生復舊處理之裸露面，不適合植生粒劑投擲區位；崩塌地輸送區有遇堆積大粒徑塊石及礫石間之地勢窪平處，其等高線呈現較平行狀態，適可作為植生粒劑投擲區位；崩塌地堆積區，堆積有崩積土，植物易於自然入侵生長，考量植生粒劑投擲作業經費，並不建議作為投擲區位。

2. 陡坡崩塌地土壤調查

於阿里山鄉樂野村崩塌地樣區沿坡面採縱向測線方式，依其坡度適可分成上、中及下三區段，分別就其近地表土層 10-30 cm 處各採取土樣約 10 kg 進行混合後，共取得 30kg 以上之土樣攜回試驗分析。崩

塌地樣區土壤調查經整理如表 4-5。由表中可知，土壤質地為壤質砂土時之透水性佳，當表土層厚度小 5~30 cm，及山中式硬度計測得土層硬度平均值為 8.9 mm，表示崩塌地堆積餘土，屬於淺土易乾燥，此將不利植物入侵及生長。

同時，參酌水土保持技術規範第 37 條規定針對崩塌地之坡面進行堆積及殘存之土石材料進行表面粒徑調查，考量粒劑直徑與選用植物種子之根系初期生長深度多出現於 2 cm 內，因此，本計畫於阿里山鄉樂野村崩塌地樣區，採樣孔為 1 m² 及深度 10 cm (見圖 4-5)，調查結果如表 4-6。

表 4-6 中，崩塌地樣區堆積及殘存之土石材料之表面粒徑調查結果可知，現地礫、塊石比例較高，受風化而崩裂所致，對照其形狀多具有稜角，使形狀呈現塊狀，依據現地調查可知表土層堆積塊礫石粒徑尺寸三軸介於 45×30×27 cm ~3×3×1 cm，顯示當大粒徑礫石駐留崩塌地坡面時，在其上側坡面間會形成高度 1 cm 以上之微形石牆，此將能利於植生粒劑停置於現地，勢必能利於微立地營造。

表 4-5 崩塌地樣區土壤調查

項目	數值	備註
土壤質地	砂粒= 84.56 % 粉粒= 10.74 % 黏粒= 4.70 %	比重計法： 壤質砂土
厚度	5~30 cm	土鑽
土層硬度	13.6±2.1 mm	山中式硬度計
PH 值	9.4	
EC (mS/cm)	0.61	
有機碳(OC)	0.22	
有機質(OM)	0.18 %	
總體密度	1.82 (g/cm ³)	
顆粒密度	2.64 (g/cm ³)	

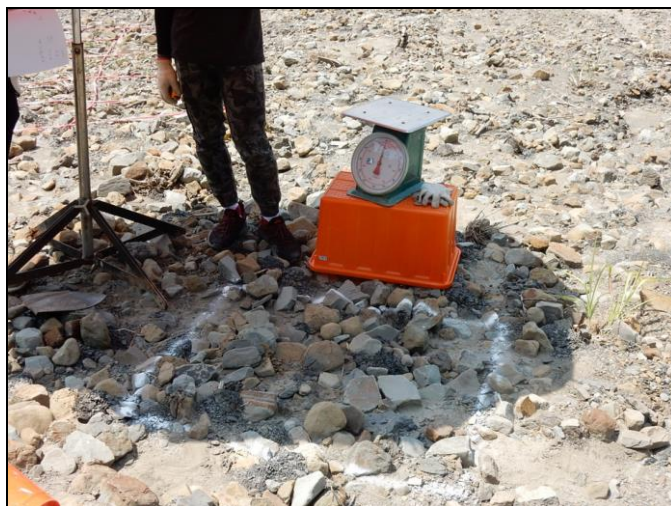


圖 4-5 崩塌地坡面之土石材料表面粒徑調查

表 4-6 崩塌地樣區堆積及殘存之土石材料之粒徑調查

取樣點位		曾文溪上游左岸 (阿里山鄉樂野村)	取樣時間	2019 年 7 月 17 日
坐標(TWD97)		X : 219770 Y : 2593684	採樣坑土壤總重 (kg)	200.9
最大粒徑尺寸 三軸(cm)		45×30×27	最大粒徑重量 (kg)	
篩號		停留相繼兩篩間質 量(kg)	停留相繼兩篩間質 量百分比(%)	通過各篩之累積質 量百分比(%)
標準 (mm)	傳統			
>100	4"	20.9	10.4	10.4
>50	2"	80.2	39.9	50.3
25.4	1"	36.7	18.3	68.6
19.1	3/4"	7.6	3.8	72.4
12.7	1/2"	9.5	4.7	77.1
9.52	3/8"	4.2	2.1	79.2
4.76	#4	6.4	3.2	82.4
2.36	#8	6.3	3.1	85.5
1.19	#16	4.2	2.1	87.6
0.9	#20	1.4	0.7	88.3
0.6	#30	1.6	0.8	89.1
0.3	#50	4.5	2.2	91.3
0.15	#100	5.6	2.8	94.1
0.08	#200	6.6	3.3	97.4
<0.08	<#200	5.2	2.6	100
			100	

崩塌地樣區堆積及殘存之土石材料之粒徑分布曲線繪如圖 4-6，由圖中得知各代表粒徑包括： d_{75} 、 d_{50} 、 d_{30} 分別為 61、2、1.8 mm，顯示現地表土層積土較少，而有多見礫石。

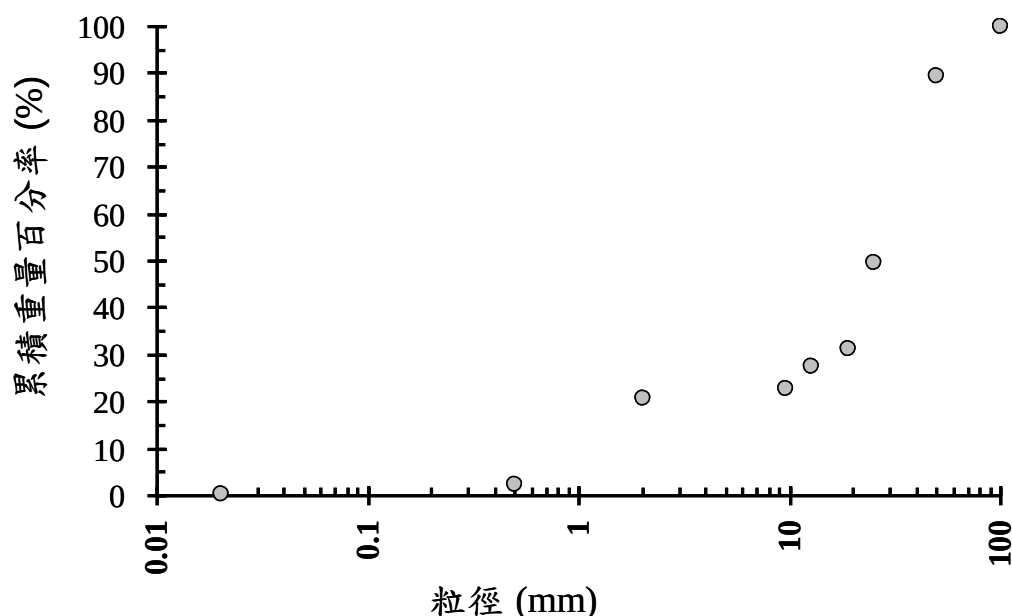


圖 4-6 崩塌地樣區堆積及殘存之土石材料之粒徑分布曲線

3. 陡坡崩塌地微氣象調查

為避免受崩塌土石崩滑影響，於本年 7 月 2 日起至計畫執行期限止，選擇崩塌地樣區於坡面有遇局部地勢平緩處來設置觀測鐵塔(見圖 4-3)，期能達到近地表土層較為穩定氣象環境，及有植物生長區位，再配合植生粒劑投擲期間，架設 Davis Vantage Pro2 微氣象觀測站(見圖 4-7)，藉以觀測植生粒劑投擲於崩塌地樣區後之坡面近地表氣層內氣溫、地溫、相對濕度、風速、風向、太陽輻射量等氣象要素，將蒐集數據進行相關統計分析，了解植生粒劑導入崩塌地坡面後之生長與近地表氣層內微氣象變化之關聯，期能提供日後植生粒劑投擲於崩塌地最適區位之選定依據。微氣象觀測係配合植生粒劑投擲作業後連續觀測，原則上投擲後 3 個月為一期。

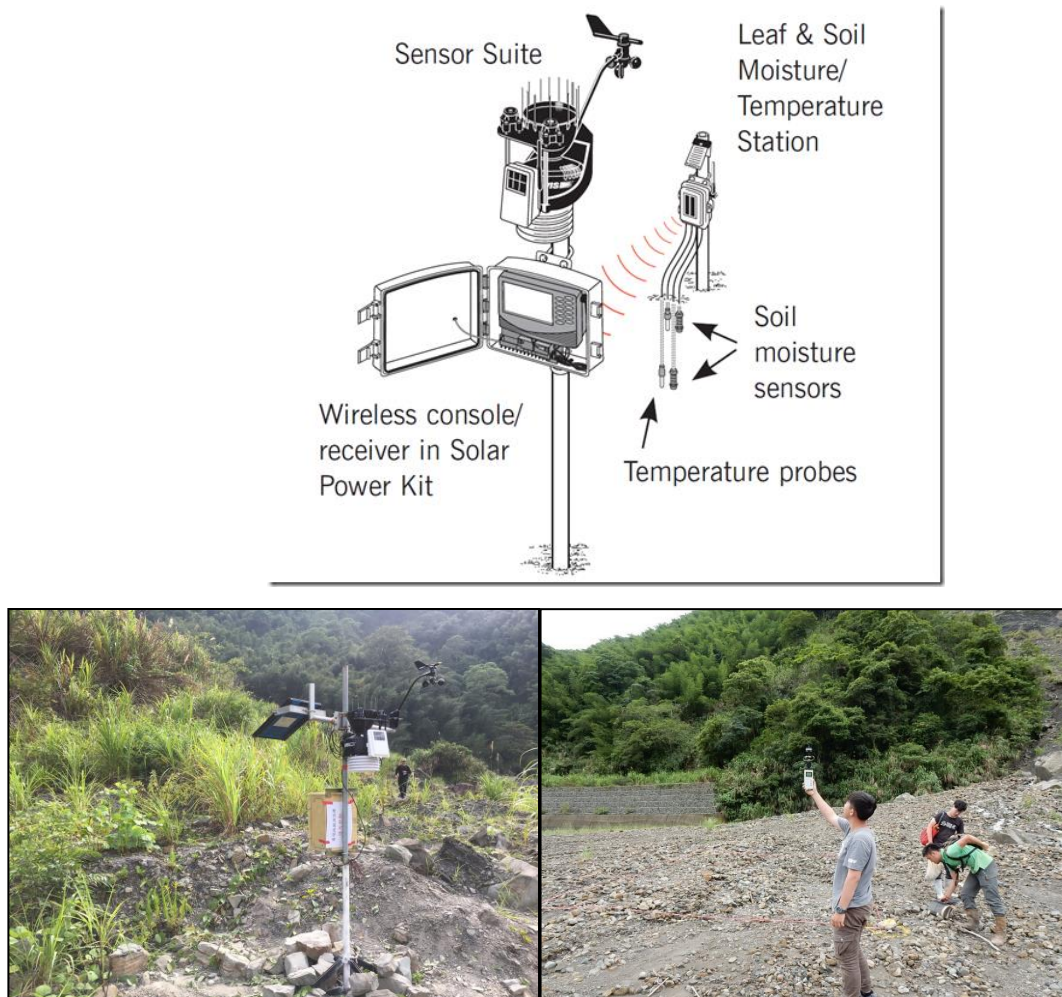


圖 4-7 微氣象觀測站及近地表風向及風速觀側

(二)植生環境要項調查分析

參考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，擇定崩塌地週遭具植被植物環境者，將前述崩塌地近地表氣層微氣象觀測結果，據以估算水汽儲留量，藉以了解坡面植物生長逆境趨勢。崩塌地樣區微氣象測定係配合植生粒劑投擲作業同時進行，現將第一期與第二期進行植生粒劑投擲作業後之第一個月分別為7月及10月，分別將二個觀測期間之氣象觀測資料整理如表4-7。

先於表4-7A中可見，現地於7月期間之相對溼度日平均值介於

63~95%，此係崩塌地因遇颱風、山區地形等豪雨已使其近地表土層內土壤水分含量增加，加以氣溫日平均值介於 22.9~28.5 °C，顯較平地動輒 30°C 以上之高溫為低，表示海拔高度增加而出現之溼絕熱遞降溫度效應影響，造成崩塌地近地表氣層內具有相當多的水汽含量。然該期間有全天日射量出現 26.75MJ/m² 之偏高情形，顯示現地植生環境之氣象條件變化相當劇烈，若植生粒劑於發芽後，若無適當補充水分以支應生長所需耗水量時，將會不利於綠覆率維持與增加。該期間之風速觀測結果，似呈現弱風狀態，經查係因機件故障而無法記錄所致。

表 4-7A 崩塌地樣區 2019 年 7 月微氣象觀測統計資料

日期	氣溫(°C)			相對溼度(%)			全天日射量 (MJ/m ²)	風速(m/s)		雨量 (mm)
	平均	max	min	平均	max	min		平均	max	
3	25.5	35.5	20.8	86	98	63	9.13	0.50	3.1	25.4
4	24.5	32.9	19.8	89	98	68	15.22	0.35	3.1	79.0
5	22.9	28.1	19.3	84	97	48	8.63	0.08	2.7	4.4
6	23.7	30.2	18.4	83	91	71	11.22	0.05	1.8	2.4
7	24.9	33.1	19.4	81	91	63	16.81	0	0	0.0
8	24.3	30.2	19.6	83	90	73	11.76	0	0	0.0
9	21.8	26.7	18.3	88	97	81	4.25	0	0	0.0
10	23.4	29.6	19.5	95	98	84	3.97	0	0	32.3
11	23.9	29.6	19.8	90	98	78	4.67	0	0	81.4
12	26.0	35.0	19.4	81	98	59	22.89	0	0	16.8
13	25.9	34.7	19.8	77	90	57	19.19	0	0	0.0
14	27.1	36.3	17.9	71	87	53	26.75	0	0	0.0
15	27.6	35.7	19.1	70	84	55	21.86	0	0	0.0
16	28.5	36.7	21.9	63	83	54	19.63	0	0	0.0
17	26.9	37.5	19.2	70	83	49	25.37	0	0	0.0
18	25.5	32.9	22.8	73	84	62	7.18	0	0	0.0
19	24.2	32.0	20.3	82	90	68	7.94	0	0	0.0
20	23.5	27.9	20.3	86	92	77	1.63	0	0	0.0
21	23.7	19.9	30.1	86	92	75	8.69	0	0	0.4
22	23.5	31.9	18.6	84	94	69	10.17	0	0	0.2
23	24.6	34.5	18.2	82	94	63	23.07	0	0	0.2
24	26.0	34.9	18.6	79	94	60	24.96	0	0	0.0
25	25.9	33.2	19.2	76	88	64	14.67	0	0	0.0
26	27.1	36.1	21.6	75	86	53	17.03	0	0	0.0
27	23.7	34.2	19.2	82	91	67	16.18	0	0	0.0
28	24.8	33.6	18.6	83	91	70	13.52	0	0	0.2
29	27.5	34.2	19.5	78	90	68	16.07	0	0	0.2
30	28.2	37.0	19.2	71	87	56	20.83	0	0	0.0
31	26.7	35.8	19.8	71	82	58	19.31	0	0	0.0

表 4-7B 崩塌地樣區 2019 年 10 月微氣象觀測統計資料

日期	氣溫(°C)			相對溼度(%)			全天日射量 (MJ/m ²)	風速(m/s)		雨量 (mm)
	平均	max	min	平均	max	min		平均	max	
1	22.4	22.7	22.2	85	96	64	14.58	1.4	5.4	48.2
2	22.2	22.5	21.9	82	96	58	17.26	2.3	6.3	0
3	22.6	22.9	22.3	84	95	62	13.18	1.7	6.7	0
4	22.2	22.5	22.0	86	95	68	12.01	1.8	6.7	1
5	21.9	22.2	21.6	88	96	63	14.07	2.5	5.4	108.5
6	22.0	22.2	21.7	88	97	72	9.93	1.7	5.4	0
7	22.5	22.7	22.2	84	97	60	15.23	1.9	5.8	0
8	23.2	23.5	22.9	83	95	67	16.39	2.3	5.4	0
9	23.6	23.8	23.4	83	94	68	10.18	1.6	5.4	0
10	22.4	22.7	22.2	84	95	68	10.97	1.7	5.8	0
11	22.6	22.7	22.3	84	95	67	15.08	1.9	5.4	0
12	23.1	23.4	22.9	83	93	67	13.60	1.7	6.3	0
13	23.3	23.5	23.1	83	94	69	13.06	2.1	5.4	0
14	22.6	22.8	22.5	88	95	74	7.49	1.9	5.4	5.8
15	22.8	23.0	22.6	84	95	69	10.20	2.0	4.9	0
16	22.4	22.6	22.3	84	93	68	9.92	1.6	5.4	0
17	22.4	22.6	22.3	82	92	65	11.54	1.8	4.9	0
18	21.5	21.7	21.3	83	94	65	12.28	1.8	5.4	0
19	22.2	22.4	22.0	81	91	67	14.45	1.7	6.7	0
20	21.8	22.0	21.6	81	93	63	11.53	1.9	6.3	0
21	21.1	21.4	20.9	81	93	64	14.69	2.7	7.2	0
22	20.2	20.4	19.9	81	92	61	12.28	2.1	6.7	0
23	20.7	20.9	20.5	81	93	63	10.90	2.0	5.8	0
24	21.9	22.2	21.7	80	93	58	12.25	2.1	5.4	0
25	22.0	22.2	21.8	82	94	61	11.39	2.0	5.8	0
26	20.9	21.1	20.7	86	94	68	10.44	2.1	5.8	0
27	21.3	21.6	21.1	83	94	64	15.36	0.8	4.9	0
28	21.7	22.0	21.5	84	95	62	14.15	0.9	5.8	0
29	21.4	21.7	21.1	82	95	59	16.90	1.6	6.3	0
30	22.0	22.3	21.9	83	93	63	11.51	0.9	5.4	0
31	22.0	22.2	21.7	84	95	63	14.98	1.5	5.8	0

再由圖 4-7B 可見 10 月期間有 3 場降雨事件，且降雨量有達到 108 mm，當太陽高度角變化，使期間最大全天日射量僅為 17.26 MJ/m²，表示日間蒸發作用將能趨緩，則相對溼度日平均值均維持在 80%以上，且於每日均有出現 90%以上之濕潤狀態，顯示該季節氣象條件變化趨緩，且近地表環境內具有相當多的水汽儲留，若當植生粒劑於發芽後，將可有補充水分來源以支應生長所需耗水量時，此將有利於綠覆率維持與增加。期間日平均風速介於 0.8~2.7 m/s，對照蒲福風級表，

可知其風況屬於軟風至輕風，此有利於水汽儲留而不易被擾動。

據此可知，夏季期間，崩塌地因遇颱風、山區地形等豪雨，易使其近地表土層內土壤水分含量增加，然該期間有全天日射量出現偏高之晴空情形，亦會使植生所需生育基盤出現劇烈變化生長逆境，意即植生粒劑內植物種子初逢發芽，固著土層處之根系淺短，當地表因太陽輻射增強而造成過度蒸發時，又無適當水分補充植物生長所需之耗水量，則對植物生長必將呈現生長逆境。秋季後之期間，太陽高度角變化，現地為北向坡之地形，會使太陽輻射受到部分遮蔽，以及日照時數減短，此勢將使崩塌地於日間蒸發作用減緩，進而使相對溼度維持在 80% 以上之偏高狀態，加以夜間均有出現 90% 以上之濕潤狀態，意即有利於結露作用，則秋季期間於崩塌地因其氣象條件變化趨緩，使近地表環境內具有相當多的水汽儲留，則將有利於植生粒劑於萌芽後，能自崩塌地近地表層氣層獲得水分補充。

第五章 植生資材屬性與崩塌地植生基盤介面整合之適用性分析

依據行政院農業委員會水土保持局(2006)植生資材應用手冊，可知植生資材主要包括：種子、黏著劑及纖維材料，因此針對國內現行植生資材選用 3 種以上具有高黏著性之植生粒劑，直接施用於崩塌地坡面，除觀測其發芽率變化外，亦參考黃玉梅(2015)提到種子披衣(seed coating)是結合農學、化工、機械等加工技術，目前已被廣泛應用在種子處理加工上。依加工處理方法不同可分為鑲衣(seed encrustment)、膜衣(seed film coating)、造粒(seed pelleting)及種子團(Seed granule)等四種類型。而簡慶德等(2014)指出：草本植物不宜撒播在崩塌地區，主要是當崩塌地若大量撒播進口的草本植物種子，雖短時間內可看到綠色成果，但會阻礙附近的木本植物種子進入土壤中，這些種子雖有機會發芽，但可能因植物根部無法深入土壤，成活率低；鄰近本土草本植物種子將有非常大的機會飛散進入崩塌地發芽，同時崩塌地內的土壤中，有潛在的土壤種子庫，也會有草本種子發芽；林木果實(種子)進入崩塌地的困難度比草本植物高出很多，因此利用人工輔助方法，直播林木種子，將可以使這些深根性的林木提早在崩塌地生長，達到穩定土壤的功效。

崩塌地治理利用人工輔助方法者，常採用噴植工法，噴植工法應用種子之發芽率會影響植生成效，當採用噴植基材配方，配合 3 種木本種子埋入深度 1、3、5 cm 等對其發芽之影響試驗，可知試驗採用 2 種基材處理(處理 I 為菇類堆肥 80%+壤質砂土 20%+水泥 5%，處理 II 為菇類堆肥 100%，種子材料選用相思樹、台灣欒樹、羅氏鹽膚木等 3 種，於戶外環境下進行發芽率之比較試驗，結果顯示：相思樹在基材

配方處理 I 中，埋入深度 1 cm 處理發芽率為最高，其次為 3 cm，埋入深度 5 公分處理最低；而處理 II 中，不同埋入深度對發芽率無顯著影響。台灣欒樹在基材處理 I 及處理 II 中，埋入深度對其發芽率的影響大多以埋入 1 cm 時發芽率最高，其次為 3 cm，埋入 5 cm 時最低；羅氏鹽膚木之在處理 I 中，不論埋入深度，發芽率均極低，在處理 II 中，埋入深度越淺，發芽率越高(林浩江等，2016)。故參考水土保持局相關 UAV 導入於崩塌地植生復舊之研究計畫成果(宋國彰，2018)，採用研究所製之植生粒劑為本研究所用，該粒劑成分如表 5-1 所示。

表 5-1 植生粒劑成分

材料		材料特性	
生長材料	黏質壤土	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則以黏質土為主，(備註：試驗實測資料，土壤之黏粒含量達80%以上、粉粒含量在12%左右，土壤有機質1.07%，陽離子交換容量11.2 cmolc/kg，水力傳導度介於 2.44×10^{-3} ~ 9.94×10^{-3} cm/sec，pH值4.78。)	
	台灣培養土	培養土是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：試驗實測資料，有機質：58%、全氮(N)：1.0%、全磷酐(P_2O_5)：1.0%、全氧化鉀(K_2O)：0.9%，pH值7.2，電導度1.6 ds/m。)	
	緩效性肥料	利用樹脂將高單位速效水溶性肥料包裹成顆粒，遇到水時，水份滲入顆粒內，將肥料溶解釋出，肥效持久，施用後較不易產生肥害。其成分含量：氮14%、磷11%、鉀13%。	
種子材料	小葉百喜草	水土保持草類常用物種	匍匐性多年生草本
	高狐草	水土保持草類常用物種	叢生性多年生草本
	山胡枝子	水土保持草類常用物種	常綠灌木
	相思樹	水土保持草類常用物種	常綠喬木
包覆材料	紙漿纖維	以植物纖維為原料，經不同加工方法製得的纖維狀物質。可根據加工方法分為機械紙漿、化學紙漿和化學機械紙漿；也可根據所用纖維原料分為木漿、草漿、麻漿、葦漿、蔗漿、竹漿、破布漿等。又可根據不同純度分為精製紙漿、漂白紙漿、未漂白紙漿、高得率紙漿、半化學漿等。一般多用於製造紙張和紙板。	
膠結材料	團粒化劑	係來自日本琉球紅土流失防止條例所列，應用之團粒化劑材料。由主劑B與副劑L混合，其具有吸取局部水分與排除表面多餘水分之效果，可使水分入滲至土壤內，並在土壤表面結膜，增加土壤通氣性、透水性等功能。	

植生粒劑相關種子發芽率與發芽勢測定結果如表 5-2 所示。

表 5-2 種子發芽率與發芽勢測定(宋國彰，2018)

種子物種	重複	發芽率(%)	平均發芽率(%)	發芽勢(%)	平均發芽勢(%)
百喜草	1	42	36.7±7.27	31	29.5±6.59
	2	44		38	
	3	31		26	
	4	30		23	
高狐草	1	89	85.5±2.38	69	63.5±6.03
	2	84		66	
	3	85		64	
	4	84		55	
山胡枝子	1	48	49.5±5.8	33	35.5±2.89
	2	47		33	
	3	45		38	
	4	58		38	
相思樹	1	11	10±1.41	9	8.25±1.5
	2	10		9	
	3	11		6	
	4	8		9	
預措後之相思樹	1	39	34.5±3.32	37	29±5.83
	2	35		28	
	3	32		23	
	4	32		28	

由表 5-2 可知，因百喜草具有較堅硬之種皮，故約 16 天才達到發芽最高峰；高狐草與山胡枝子約於第 6 天為發芽最高峰；而相思樹經過預措處理後，其發芽時間可提前近一周，且發芽率與發芽勢有明顯提升。而使用之百喜草與預措後之相思樹其發芽率增加至約 30%左右，顯示種子播種量計算應予以增加播種量，確保發芽達到預期株數。

植生資材屬性與崩塌地植生基盤介面整合之適用性分析，應完成：

一、投擲著地穩定性改良技術

為了使種子能在惡劣環境下生長，應用了多種類的材料進行混合，製作圓形種子團粒經點播後，確實達到保護種子及促進植物生長的效果，且團粒內草本、木本植物於初期生長可快速達到發芽生長，後期雖於草本植物生長衰退下，木本植物仍能繼續生長(許愷岐，2018)。再參考一般鑲衣製作方式，先將植生粒劑外層增加相關擾流措施，初期先採用：局部置入黏著資材以達增重、黏著條狀纖維資料以局部增加風阻等處理，減緩粒劑於投擲著地前之晃動或偏移效應，進而提升植生粒劑投擲至目標區之效率。同時，嘗試決定植生粒劑重量，以提供進行理想植生粒劑機會。參考水土保持局前期研究計畫成果所研製植生粒劑，其粒徑為 2~3 cm 及重量約為 4.1~5.2 g；據此，植生粒劑觸地面積為最大圓面積應為 $3.14\sim7.07\text{ cm}^2$ ，然由現地觀察植生粒劑投擲到達地面時之情形，並無法達到貫入地表，故嘗試以最小觸地面積考量採以權重 0.1 計算，以及崩塌地坡面崩積土安息角及現況，崩塌地坡面之坡度採 23° ，並代入餘弦值計算，再將二者相除可估算植生粒劑最大觸地面積為： $3.41\sim7.68\text{ cm}^2$ ，當其於自由落體狀態下將產生 $0.04\sim0.05\text{ kg}$ 之重力，當再除以前述估算植生粒劑最小觸地面積，及可求得單一粒劑產生壓力值為 $0.12\sim0.065\text{ kg/cm}^2$ ，此壓力值對照表 4-5 可知，現地以山中式硬度計所測得硬度值平均值為 13.6 mm (即 2.4 kg/cm^2)，該粒劑投擲到達地面時應無直接破壞地面而駐留現地，故本研究擬再調整粒劑形狀與重量，以增加其駐留崩塌地坡面之機會。

植生粒劑配合 UAV 投擲高度有 10、20、40、80 m，其中以投擲高度為 20 m 者之粒劑觸地後呈現較均勻分散(許愷岐，2018)，故以此值作為本計畫投擲高度。本年 7 月 26 日於崩塌地樣區共進行二回 UAV 投擲植生粒劑試作，可知在航高 20 m，且無側風影響下，投擲植生粒

劑觸地範圍均能維持在直徑為 5 m 以內(見圖 5-1)，顯示 UAV 可以應用於精準投擲作業。



圖 5-1 植生粒劑投擲前校正及投擲後之情形

二、植生粒劑鈎掛於崩塌地坡面微立地之可行措施

崩塌地常見易岩層出露，受風化、水解等作用易使岩屑滿佈坡面，當重量較輕之植生粒劑投擲於坡面，在不能藉重力作用使其停置或定著於現地時(見圖 5-1)。當參考膜衣製作方式，藉纖維與網狀資材以增

加粒劑表面粗糙程度，期能使植生粒劑能增加鈎掛於較陡崩塌地坡面。



圖 5-2 植生粒劑定著崩塌地坡面初期與其發芽之情形

植生粒劑之著地穩定性改良及鈎掛於崩塌地坡面處理方式包括：扁平梭型、鈎錘型、圓體加凸針型計 3 種試體，其規格如圖 5-3 所示。利用市售紙黏土依圖 5-3 規格進行各型粒劑之塑形，為免有龜裂發生，乃陰乾靜置數日至乾燥為止，隨即可以供試。各處理下之粒劑試體重量與粒徑均配合原植生粒劑，使其重量及粒徑符合 5 g 及 3 cm 之

範圍；其中，各型粒劑試體各採 100 顆經稱重後結果是：扁平梭型 (5.1 ± 0.6 g)、鈎錘型 (4.8 ± 0.5 g)、圓體加凸針型 (4.5 ± 0.4 g)。

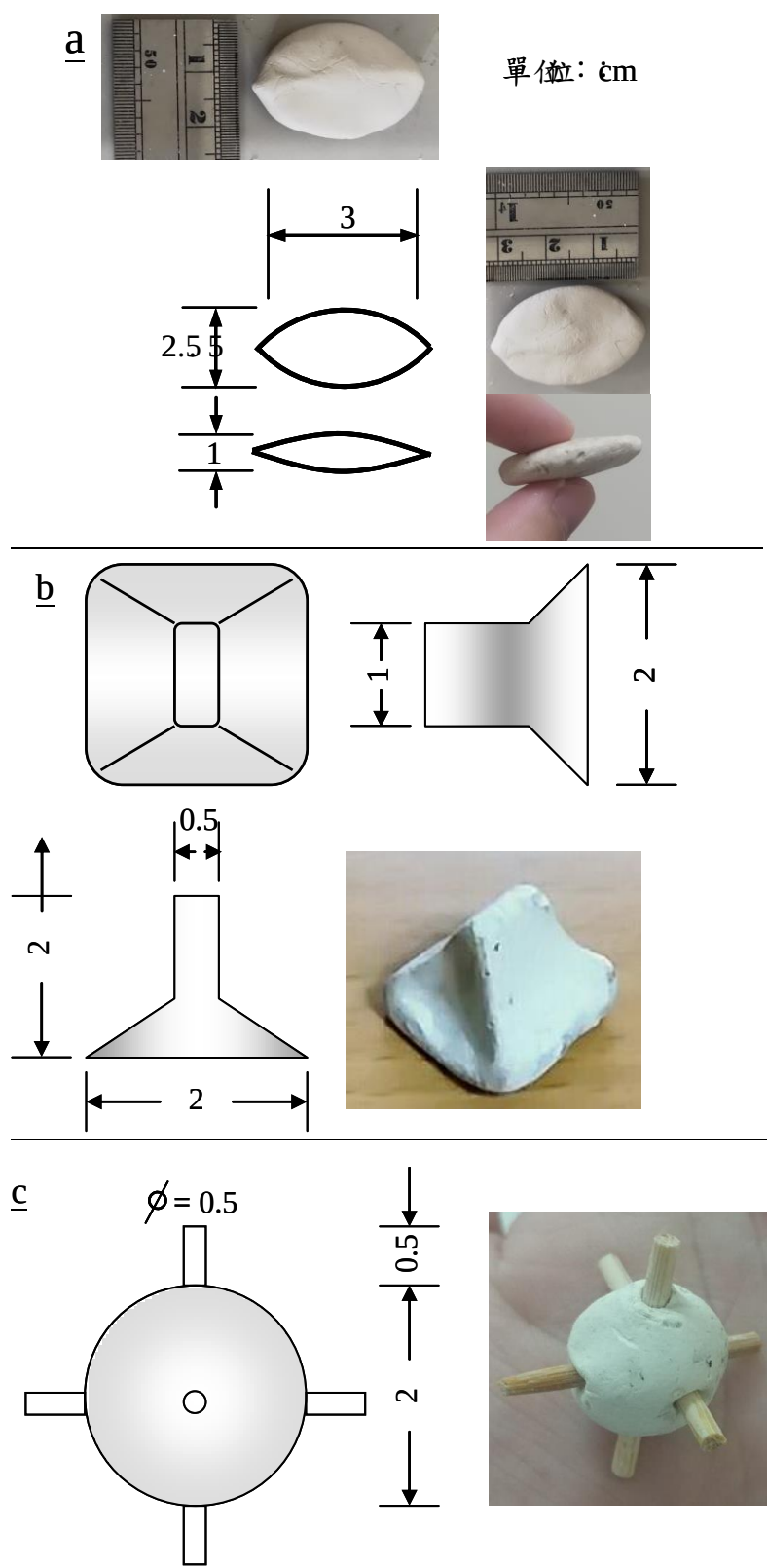


圖 5-3 扁平梭型(a)、鈎錘型(b)、圓體加凸針型(c)之植生粒劑試體

再將各處理下之粒劑試體，分別攜至一豎立 PVC 管(管徑 15 cm、長度 15 m)，該管周圍封閉可避投擲時能達到免受氣流干擾，而逐一將植生粒劑試體經該管頂口投擲於下置一傾斜之塑膠製盛土盒(42×31.5×13.5 cm)，設置檔板及傾斜度盤，以控制坡度分別達到 10°、20°、30°及 40°；該盛土盒內置取自崩塌地試驗地點所採取土樣，為了模擬崩塌地坡面需於填置過程夯實土樣至達到山中式硬度計測值為 12 mm 以上，相關配置如圖 5-1。另於該管底口下接盛土盒投影區中心位置有做一註記，以利後續觀測紀錄 3 種處理下之粒劑試體到達模擬崩塌面之，其結果整理如表 5-3。

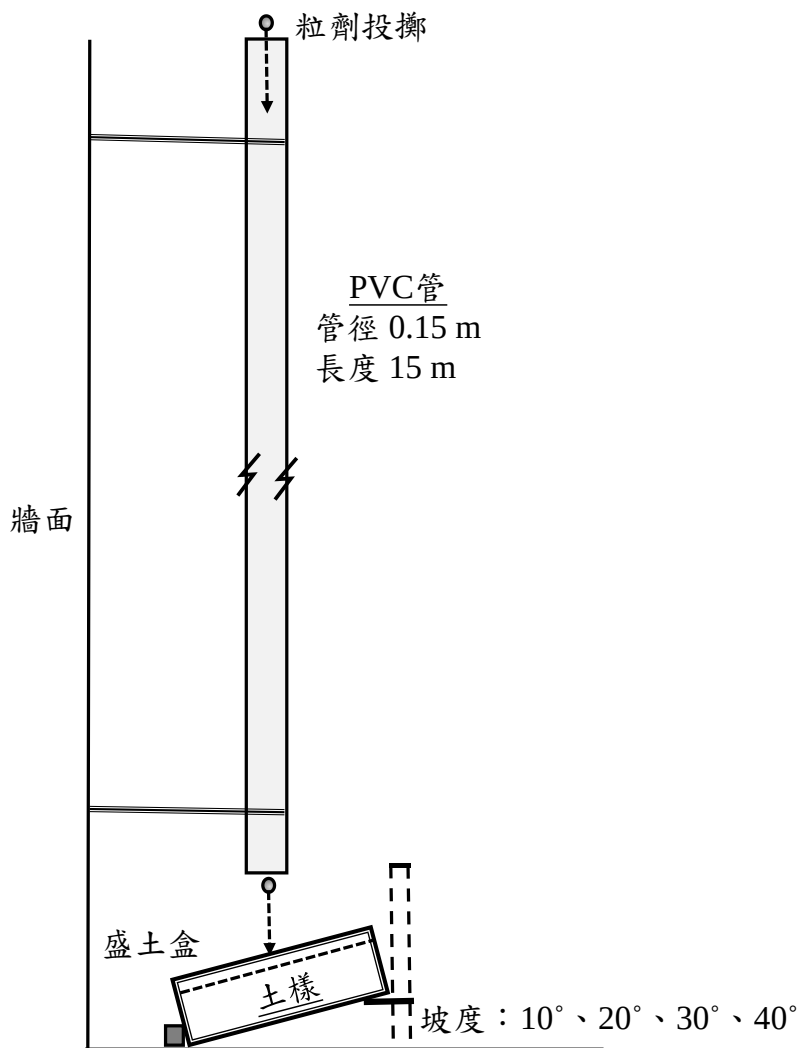


圖 5-3 模擬崩塌地投擲粒劑示意圖

表 5-3 扁平梭型、鈐錘型、圓體加凸針型粒劑試體之定著比率及彈跳距離比較

粒劑試體	坡度 (°)	10粒/1次				單粒	
		定著比率 (%)	彈跳距離(cm)		定著比率 (%)	彈跳距離(cm)	
			最近	最遠		最近	最遠
扁平梭形	10	90	0	37	50	0	142
	20	83	0	120	50	2	65
	30	72	26	100	55	0	120
	40	44	1	100	55	0	120
鈐錘型	10	92	1	110	75	0	50
	20	98	1	22	50	0	142
	30	48	20	70	20	11	250
	40	27	27	117	20	0	150
球體加突針型	10	97	0	30	50	0	100
	20	95	0	20	10	5	80
	30	68	12	140	5	17	118
	40	13	29	114	5	2	170

由表 5-3 可知，在聚集 10 個粒劑試體投擲處理下，可見當坡度低於 20°時，除扁平梭型者之定著比率在 83%以上，略低於鈐錘型及圓體加凸針型者之定著比率為 92%以上，此係有部分扁平梭型粒劑試體以其周緣先觸及坡面之際，即會有彈跳情形，此可由其彈跳距離最遠達到 120 cm 得到佐證；鈐錘型及圓體加凸針型粒劑試體當在坡度 20°時，無論定著比率或彈跳距離均顯現出極佳適用性。當坡度為 30°時，三種不同型粒劑試體之定著比率以鈐錘型者略低，此與前述扁平梭型者粒劑試體之周緣因坡面而觸及地面後，會有彈跳情形相同，其餘二種類型粒劑試體分別於扁平梭型者，觸及地面後，會增加與地面間之摩擦效應，使得粒劑試體定著比率維持 70%以上；圓體加凸針型者因坡面增加而使凸針增加接觸地面機會，然其彈跳距也隨之增加。當坡度 40°時，坡面已超過土體安息角，一般崩積土已無法留存坡面，然扁平梭型者，再因其與地面間之摩擦面增加，致使其定著比率仍舊達 40%以上，顯示該類型粒劑仍可適用於陡坡。又由表中可見單粒投擲

粒劑試體之定著比率較 10 粒聚集投擲偏低，彈跳距離則互有增減，如鈎錘型最多增加 1.8 m，又如扁平梭型及鈎錘型最多減少 0.6 m，據此可知，三種不同型式粒劑試體無論單粒或聚集投擲，均會在粒劑觸及崩塌地之地面時存在彈跳距離，此勢將有利於日後投擲粒劑時，能擴散分布範圍(見圖 5-4)，然此節相關植生粒劑鈎掛於崩塌地坡面微立地之可行措施，仍需日後持續試驗，以期建立更多粒劑鈎掛機制與實用。

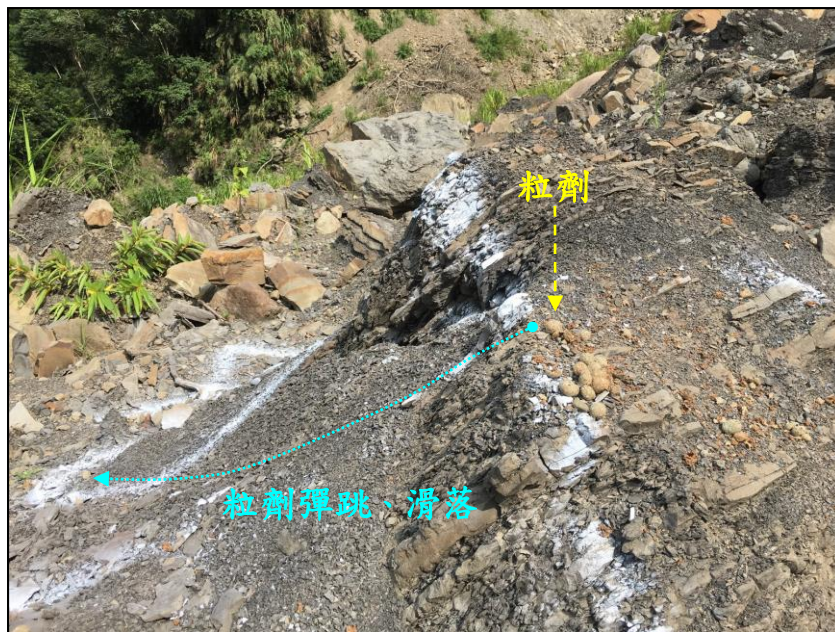


圖 5-4 植生粒劑彈跳情形

三、選用種子能自然黏著於坡面之植物進行播種

一般草木本植物種子混播時，木本植物種子發芽比草本植物慢，故常有木本植物種子發芽不易或發芽後被壓之情形，然撒播草本類種子，可達到快速面狀綠化之效果，及防止坡面遭受沖蝕；而撒播木本種子則多應用在不適苗木栽植或困難的地點，受木本類發芽初期生長較緩慢，表面沖蝕嚴重的地方恐有遭流失之虞。參考噴植工法常採用種子之選擇，需依工法之種類、基地地形與土質條件，以及期待植生群落之成果而定。目前國內崩塌地噴植所使用之種子材料中，以外購

之草類種子包括：百慕達草、高狐草、黑麥草、百喜草、類地毯草、假儉草、鐵掃帚、白花三葉草、營多藤等為主(崩塌地噴植工法與應用基材手冊，2015)，然此等草本植物均不具自然黏著於坡面之特性，故本計畫僅先就崩塌地試區共進行3次植物調查結果(見表5-4)。

表 5-4 崩塌地試區植生粒劑投擲前後之植物調查

2019年07月26日 第一次植生調查	2019年07月26日播種 植生粒劑應用物種	2019年09月29日 第二次植生調查
五節芒	百喜草	百喜草✓
羅滋草	律柏草	律柏草✓
台灣蘆竹	田菁	五節芒
大花咸豐草	馬棘	羅滋草
兩耳草	山胡枝子	台灣蘆竹
香附子	相思樹	甜根子草✓
阿里山薊		大花咸豐草
加拿大蓬		兩耳草
南美含羞草		鱗蓋鳳尾蕨✓
波葉山螞蝗		香附子
山芙蓉		田菁✓
山水柳		阿里山薊
野桐		加拿大蓬
山芙蓉		葛藤(藤本)✓
羅氏鹽膚木		波葉山螞蝗
		馬棘✓
		山水柳
		食茱萸✓
		野桐
		山芙蓉
		榔榆✓
		羅氏鹽膚木
		相思樹✓

✓為增加物種

檢視該表可見植生粒劑採用植物種子僅山胡枝子未見發芽外，餘者如百喜草、律柏草、田菁、馬棘及相思樹均有發芽及生長。再分析該表所列各植物種子具有纖毛者有：加拿大蓬、蘆竹、五節芒、羅滋草、木苧麻、波葉山螞蝗及葛藤，又加拿大蓬雖為外來種，現已馴化

於本土。本工作項目受限計畫執行期間非屬於前列植物之結實期間，無法嘗試進行採集種子以進行試播，然此等植物能以先驅植物入侵崩塌地坡面，理應可列為自然黏著於坡面之植物選留植物。

本計畫再就粒劑增加其自黏特性嘗試製作，採用可食性且具自然分解資材包括：泥炭土(興農，好根寶特 3 號)及玉米粉(日正食品)，二者混合比例 1:0.5~0.8，同時加水均勻攪和，再充填至市售苗栽穴盤，靜置自然風乾成型後備用，粒劑已成四角錐體，上及下底面積約(0.64、2.25 cm²)，高度< 3 cm。因粒劑乾燥後，已收縮體積，則可再充填具自黏特性之資材，完成粒劑成品。經嘗試初步選定水溶性接著劑(南寶，NP-300)為粒劑外膜資材，施作時，先將蓋板封住苗栽穴盤後，直接翻覆，利用穴盤底部原有洩水孔為注入水溶性樹脂之入口，此時應注意避免混入過多水體及控制黏稠度至順利留入苗栽穴盤，再靜置 1-2 天使其自然風乾，即完成自黏性粒劑試體(如圖 5-5)。

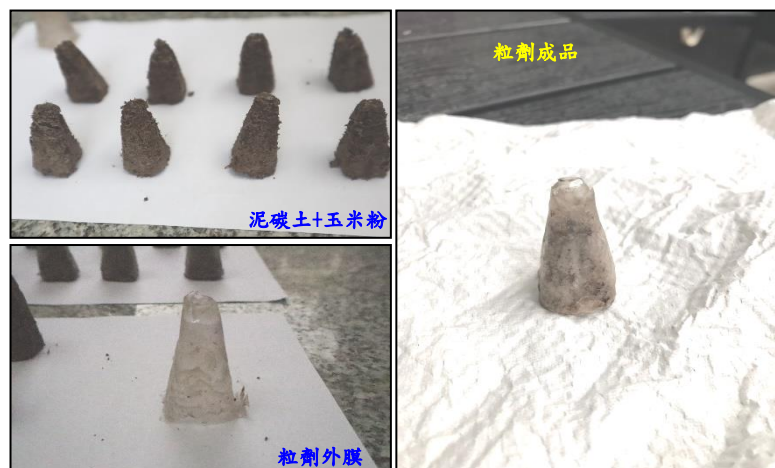


圖 5-5 自黏性粒劑製作

本計畫為評估自黏性粒劑試體於陡坡崩塌地適應性，將重複數為 20 之粒劑試體攜至塑膠管(如圖 5-3)頂口，逐一投擲於下置經控制坡度分別達到 20°、25°、30°及 35°之塑膠製盛土盒，並觀測粒劑定著坡面

數量與彈跳距離，結果整理如表 5-5。由表中可知。坡面之坡度增加，其定著量遞降，其彈跳距離約呈現遞增趨勢。

表 5-5 粒劑試體之定著比率及彈跳距離比較

坡度 (°)	定著量 (%)	彈跳距離 (cm)	
		平均	最遠
20	70	30	150
25	55	47	160
30	45	20	60
35	15	55	250

第六章 陡坡崩塌地導入現行植生粒劑之精進試驗

依據崩塌地復育造林手冊(2011)對於受限於地質地形影響而自然崩塌林地，屬人力及物料搬運不易到達者，無保全對象之地區，建議採天然更新方式，恢復自然林相。然相關植生復舊成效調查，仍將因不易到達，使得瞭解林地復育情形，可利用衛星影像、航照判釋，定期觀察林地自然復育情形。而本計畫配合水土保持局本年度相關運用 UAV 導入植生粒劑播種試驗研究計畫，自 7 月 2 日於阿里山鄉樂野村近日賀野橋鄰近崩塌地之驗證地點，依據微立地條件調查分析結果，於崩塌地坡面分別擇取：(1)達植物入侵坡度、(2)土層圍積、(3)地形凹窪等適當區位，將植生粒劑直接投擲於崩塌地坡面，並採為期 1 個月於每週觀測一次萌芽率及綠覆率觀測，再接續每月觀測 1 次綠覆率，為期 3 個月，藉以確認崩塌地微地形建構植生基盤介面、微地形植生基盤介面導入崩塌地之試驗等成效。相關萌芽率及綠覆率觀測，擬採空拍機於滯空高度(約 20 m)對坡面全區進行高畫質(4800 萬畫像素)之攝相(見圖 6-2)，將所得相片經影像辨識軟體 Image J 解析而得。



圖 6-1 空拍植生粒劑投擲樣區



圖 6-2 影像辨識

當航空載具應用於坡面噴植與植生粒劑投擲作業，後續需注意植生資材或粒劑在投擲到達地面之際，將會有滾落情形，進行相關調查時，需再行檢視。本研究就陡坡崩塌地導入現行植生粒劑之精進試驗應進行試驗觀測項目有：

一、配合應用無人飛行載具(UAV)導入植生基盤介面

當將植生粒劑投擲於崩塌地坡面符合 1.達植物入侵坡度、2.土層圍積、3.地形凹窪等之適當區位。本研究即利用空拍機攝相所得相片(見圖 6-3)進行標定位置座標，以利後續試驗觀測植生覆蓋演替。

本計畫於 9 月 29 日配合 UAV 進行 4 區植生粒劑投擲作業，相關投擲區選定係先以地形測量成果圖中擇取等高線呈現平行且有間隔較大處，及人員進入調查可行性做評估，方得啟動 UAV 進行 4 區植生粒劑投擲作業，其投擲區為間隔採起點、10、20 及 40 m 之坡面水平距離，如圖 6-4A、圖 6-4B 所示。



圖 6-3 崩塌地空拍機攝像



圖 6-4A 植生粒劑投擲區位(1)



圖 6-4B 植生粒劑投擲區位(2)

二、配合應用無人飛行載具(UAV)導入現行植生粒劑加值應用

本計畫於 7 月 3 日曾利用 UAV 於崩塌地進行撥種植生粒劑作業，受限航高無法通過輸配電線，造成 UAV 損毀；經修復後，再 7 月 26 日於崩塌地以水土保持局前期研究計畫成果所研製現行植生粒劑，於阿里山鄉達邦村下方崩塌地驗證地點，配合運用 UAV 導入植生粒劑播種試驗研究計畫，則本研究將隨即利用 UAV 攝相調查(見圖 6-3)，並經解析植生粒劑可定著其坡面數量，以確認其投擲成效(見圖 6-5)。圖中可見，當粒劑投擲後即分別以數位相機(如圖 6-5a)與 UAV (如圖 6-5d)同時進行攝相調查，以確認空拍機攝相能符合計畫需求，並配合粒劑投擲後採為期 1 個月於每週觀測一次，及接續為期 2 個月每月觀測 1 次，進行綠覆率觀測，再接續每月觀測 1 次綠覆率，為期 3 個月。以本期於 9 月 29 日共針對崩塌地坡面進行 4 區投擲作業(如圖 6-4)，並以一個月後粒劑發芽生長量為例來說明調查分析成果(如圖 6-5b、圖 6-5c、圖 6-5e、圖 6-5f，其計算綠覆率係以有出現植生粒劑區為做為分布面積，當出現植物發芽時，經影像辨識軟體 Image J 解析出其綠

覆率，相關結果整理如表 6-1 及圖 6-5~圖 6-6。

表 6-1 崩塌地於觀測期間之綠覆率調查結果

坡度(°)	觀測日期(累計天數)				
	7月3日 (0)	7月9日 (7)	7月17日 (15)	7月26日 (24)	8月2日 (31)
2.9		1.8	5.1	9.5	12
2.9	投 擲	1.3	5.4	6.7	9.3
3.1		1.9	7.4	11	14.1
4.5		1.6	3.2	8.6	11.4
坡度(°)	觀測日期(累計天數)				
	9月29日 (0)	10月6日 (8)	10月20日 (22)	10月27日 (29)	11月13日 (46)
13.3		1.4	10.6	13.3	18.4
25.2	投 擲	0.2	4.3	6.7	7.4
25.2		1.6	2.8	4.6	5.4
25.5		0.1	5.0	9	11.1
29.4		0.3	4.6	5.8	3.5

先由表中可見，粒劑投擲作業後 1 周內即已有發芽，然至 1 個月內綠覆率僅增加至 20%以內，此係崩塌地裸露面不利植生覆蓋所致，而崩塌地於坡度較陡時，受粒劑定留坡面之數量降低，會使初期發芽後之綠覆率略為偏低，復受塊、礫石不連續駐留坡面，其間可形成窪蓄崩積土空間，反使粒劑有利增加綠覆率。再由圖 6-5 可見崩塌地於坡度較緩之下游區域，植生粒劑投擲後之綠覆率隨時間有遞增趨勢；而由圖 6-6 視之，坡度在 13.3°者之綠覆率遞增趨勢明顯偏高，此對照現場係有較多礫、塊石散步於崩塌地坡面，進而有出現微地形適於植生粒劑定留；當裸露地坡度大於 25°時，此以近自然土壤之安息角，若無其他輔助措施，勢將不利植生粒劑定留及後續生長，又相關植生基盤等探討，將在下一章後續討論。此外，粒劑添加芭葉賽芻豆處理，調查期間尚未見有發芽，或是因為藤類植物多屬耐陰植物，在崩塌地坡面多呈現裸露情形下，無法有發芽活力所致，此建議應再另尋適生藤類植物以為因應。

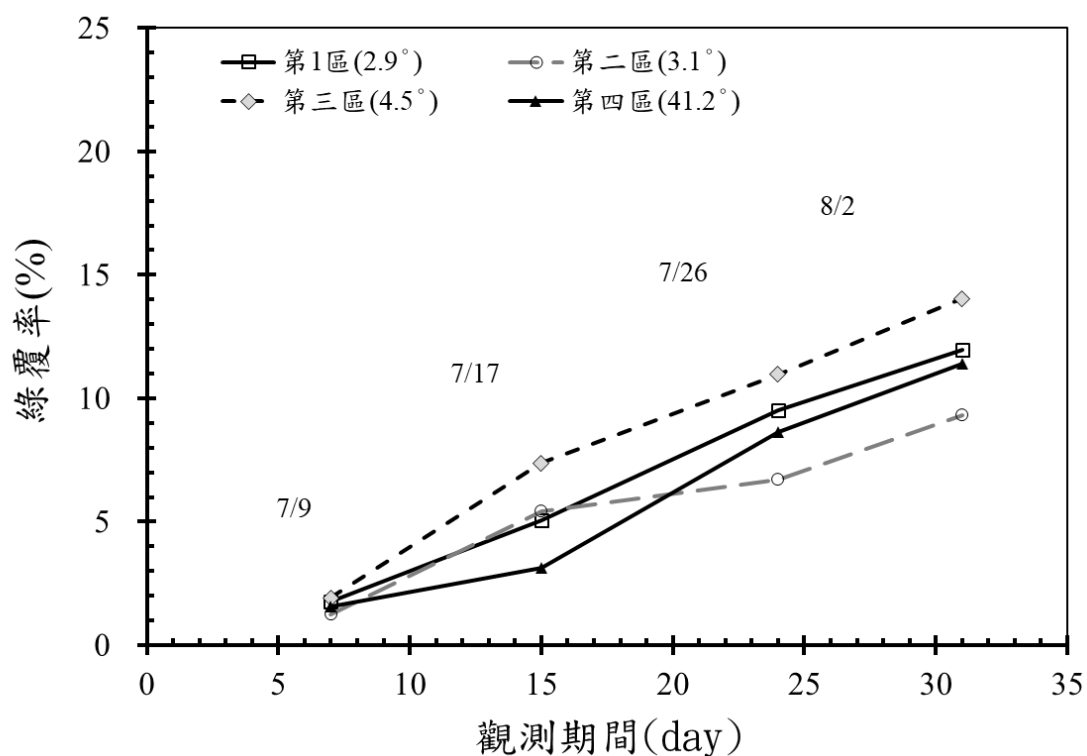


圖 6-5 崩塌地於 2019 年 7 月 3 日~8 月 2 日期間之綠覆率變化

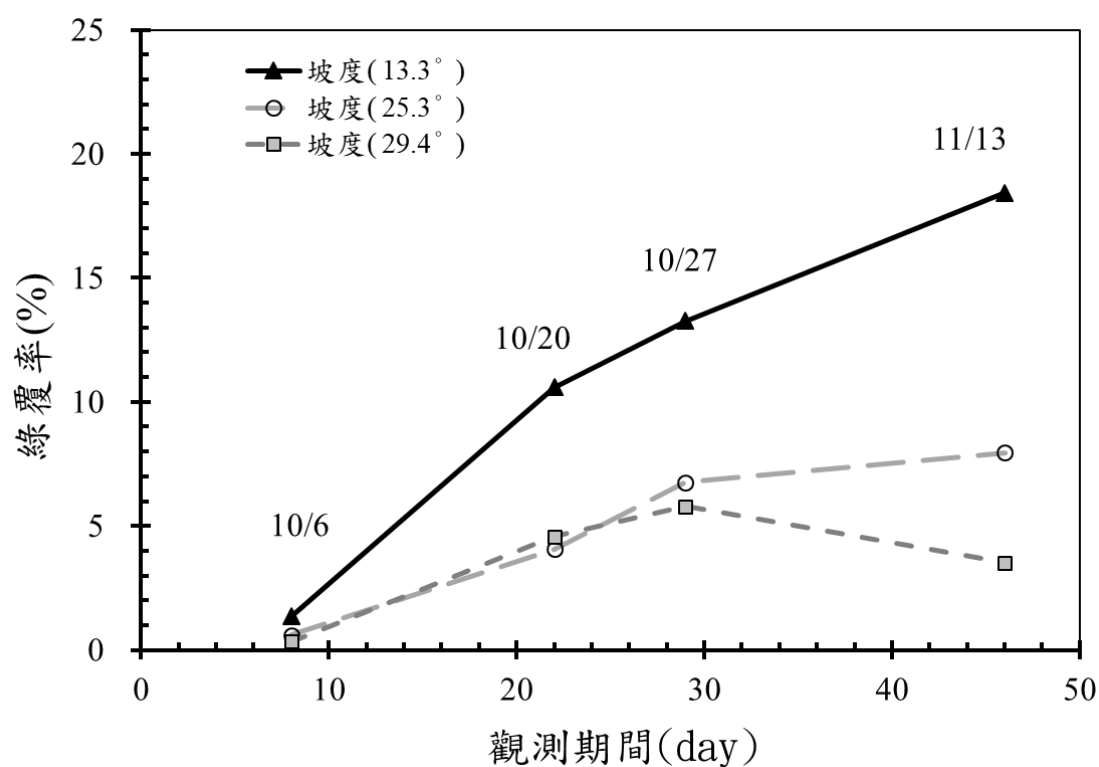


圖 6-6 崩塌地於 2019 年 9 月 29 日~10 月 2 日期間之綠覆率變化

三、配合應用無人飛行載具(UAV)導入高黏著性植生粒劑

本研究經著地穩定性改良及鉤掛於崩塌地坡面措施後，擬將試作後之高附著植生粒劑，配合運用 UAV 導入植生粒劑播種試驗研究計畫，進行投擲作業，再利用空拍機進行攝相調查，並經解析植生粒劑可定著於坡面數量，以確認高附著性植生粒劑投擲成效。該項工作先於 7 月 26 日完成 UAV 至現地進行投擲原植生粒劑作業後之綠覆率調查，其結果提供 9 月下旬以 UAV 進行投擲粒劑作業之依據。

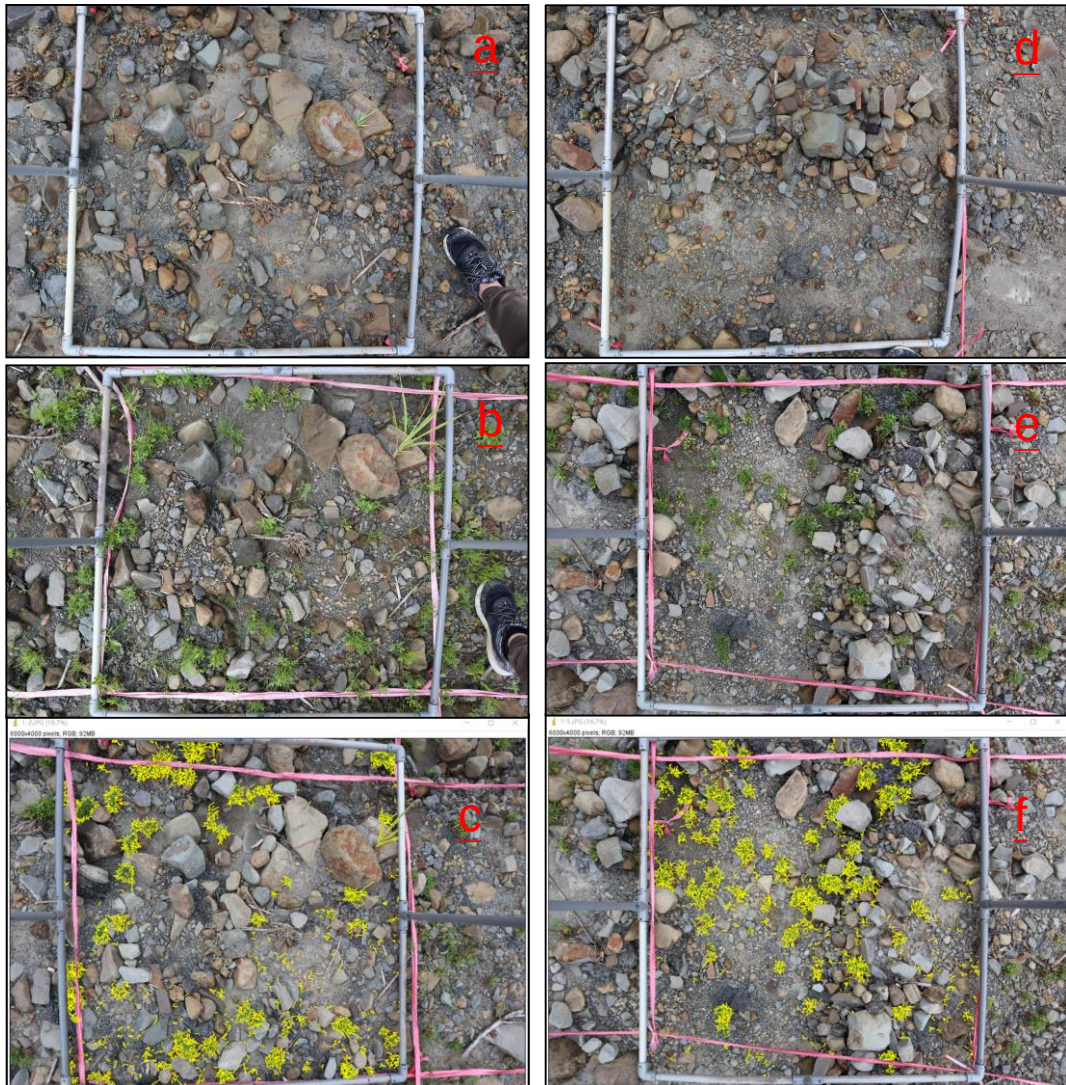


圖 6-7 植生粒劑定著坡面數量與綠覆率解析(a-c：數位相機、d-f：UAV)

然 9 月下旬完成投擲作業，為確認其高黏著性，對投擲區進行投擲後 2 週內之綠覆率調查，結果如圖 6-7 所示。由圖中可見，顯見 2 週後之綠覆率增加，再以現地調查發現粒劑多已破壞其圓球型態，而改以堆狀貼覆地面，進而呈現其高黏著性。此可由圖 6-6 中，坡度在 13.3° 者之綠覆率遞增趨勢，是坡度在 25° 以上者之 1.5 倍以上，再次得到佐證。

第七章 陡坡崩塌地建構微植生基盤之試作與現地驗證

本研究先於 7 月 3 日及 7 月 26 日利用 UAV 對崩塌地試區進行植生粒劑投擲作業，現地依投擲作業後第一個月採每周一次及第二、第三個月各一次為順序進行粒劑發芽調查，進而提出建構微植生基盤佐證，相關成果扼要整理如圖 7-1。由圖中可見植生粒劑投擲於坡度達 40°崩塌地之坡面，分布大量崩塌後之塊石及礫石等岩屑，形成植生無法實施的裸露面。然就微地形再視之，塊石及礫石突出坡面地表業已造成其上坡方向能具有阻擋粒劑滾落效能；同時，塊石與礫石間當有分布不連續時，即有如鞍部地形，有利於植生粒劑聚集，及木本植物生長。據此，若將植生粒劑投擲集中於前指二處區位，因其間較易有小粒徑塊石、礫石及崩積土出現，將有利於植生粒劑發芽，意即前指二處區位可作為微植生基盤。又部分植生粒劑經撒播於蝕溝區位，經降雨後出現地表逕流集中情形，使植生粒劑流失，故蝕溝區位不適合作為植生粒劑投擲區位。

依據前述植生粒劑有利於崩塌地建構微植生基盤之區位，於部分區位堆疊塊石，藉以建構微生育基盤。於 9 月 29 日再次針對此等區位進行 UAV 投擲植生粒劑作業，並於一週後即進入陡坡崩塌地下游區位及陡坡區位進行植生調查(見圖 7-2、圖 7-3)。圖 7-2a 中可見投擲區內植生粒劑未達均勻分布，此係受投擲後翌日適逢降雨量為 48.2 mm 之豪雨，因地表逕流集中效應而造成部分植生粒劑出現移動情形所致；然於前指塊、礫石於其上側及分布不連續之二處區位，均有出現粒劑發芽(見圖 7-2b、圖 7-2c)，然在堆疊塊石下側間隙因蓄積部分淤土，使微地形趨於平緩，粒劑出現該區位易於暫留，若粒劑萌芽前尚無後續地表逕流出現，則此區位亦將成為微植生基盤。圖 7-3a 中，顯

見植生粒劑發芽後生長區位均在前指塊石、礫石之上側與其分布不連續之鞍部等微地形處；另於本次投擲作業前，曾該投擲區預先暫置塊石，以建構前述二種微生育基盤，於二週後進行植生調查，可見植生粒劑生長良好，草類植物如百喜草可見生長高度已達 10 cm，同時已有木本植物發芽生長(見圖 7-3b、圖 7-3c)。

9 月投擲作業後一個月進行植生調查結果經扼整理要如圖 7-4 所示。圖中除前述塊石、礫石：上側、分布不連續之鞍部、下側間隙等具有蓄積淤土之微地形處外，部分崩塌地坡面有泥岩風化處亦已有植生粒劑發芽生長。據此，顯示植生粒劑投擲應能以前述區位，作為較佳投擲區位。另植生粒劑於投擲後，需要明顯降雨來讓粒劑本身達到充分濕潤，以有利於粒劑內相關植生復舊植物之種子發芽。又當持續降雨下，反造成尚未萌芽之粒劑會隨地表逕流流失；同時太陽輻射量偏高時，易造成植生粒劑內植物種子於萌芽後出現枯萎情形。據此，秋季有遇鋒面或颱風環流過境前，應可作為植生粒劑投擲較佳季節之建議。

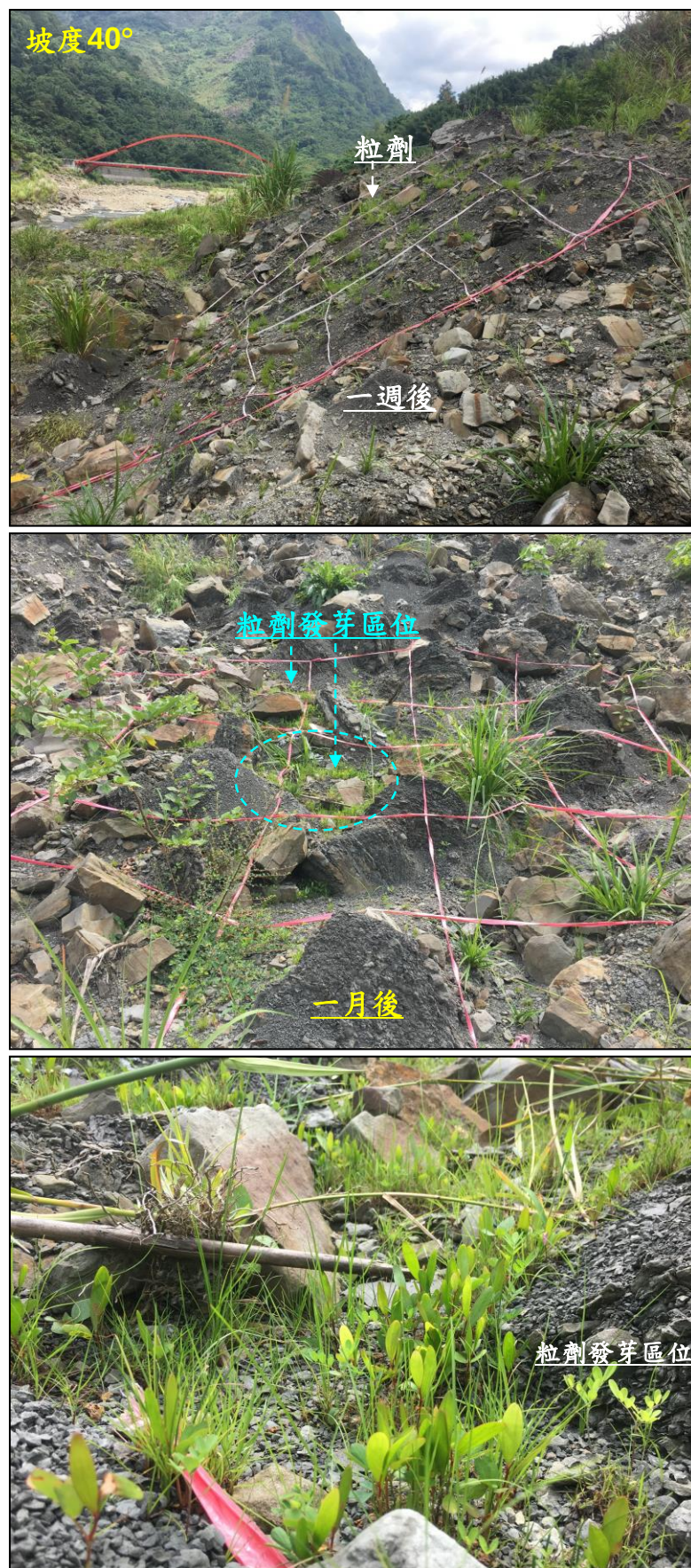


圖 7-1 陡坡崩塌地建構微植生基盤

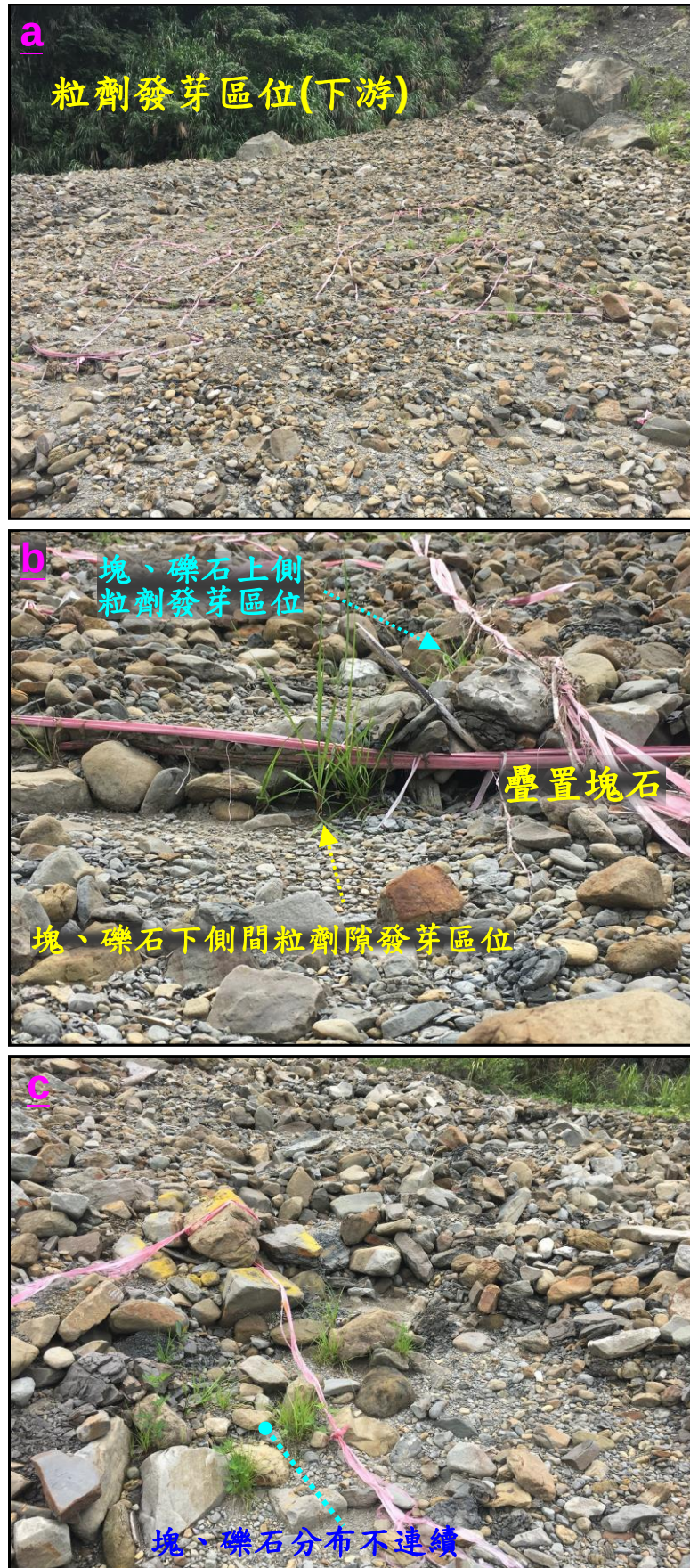


圖 7-2 陡坡崩塌地建構微植生基盤之現地驗證(下游區位)



圖 7-3 陡坡崩塌地建構微植生基盤之現地驗證(陡坡區位)



圖 7-4 陡坡崩塌地建構微植生基盤之現地驗證(一個月後)

第八章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

工作項目		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1.崩塌地微立地條件與植生環境調查要項分析	蒐集臺灣南部崩塌地植生復舊案例分析												
	崩塌地微立地條件調查分析												
	植生環境要項調查分析												
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	投擲著地穩定性改良技術												
	植生粒劑鉤掛於崩塌地坡面微立地可行措施												
	選用種子能自然黏著於坡面之植物進行播種												
3.崩塌地導入現行植生粒劑之精進試驗	配合應用無人飛行載具(UAV)導入植生基盤介面												
	配合應用無人飛行載具(UAV)導入現行植生粒劑加值應用												
	配合應用無人飛行載具(UAV)導入高黏著性植生粒劑												
4.崩塌地建構微植生基盤之試作與現地驗證	崩塌地微地形建構植生基盤介面之試作												
	微地形植生基盤介面導入崩塌地之試驗												
累積百分比		0%	0%	6.5%	19.5%	43.4%	67.3%	73.8%	73.8%	80.3%	91.2%	95.5%	100%

第二節 計畫交付項目

解決陡坡崩塌地微立地條件與植生復舊，植生資材與崩塌地植生基盤介面整合與陡坡崩塌地導入現行植生粒劑之效益評估，陡坡崩塌地建構微植生基盤之驗證。

(一)本計畫全程目標：

- 1.陡坡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.陡坡崩塌地導入現行植生粒劑之精進試驗
- 4.陡坡崩塌地建構為植生基盤之試作與現地驗證。

(二)本年度計畫目標：

- 1.陡坡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.陡坡崩塌地導入現行植生粒劑之精進試驗
- 4.陡坡崩塌地建構為植生基盤之試作與現地驗證

第三節 驗收方法

(一)期初審查會

- 1.期初簡報時完成工作：(1)工作計畫項目內容(2)執行期程進度(3)工作組織成員(4)預定執行方式及構想
- 2.於計畫核定文到 20 日內函送工作執行計畫書 10 份，辦理審查。

(二)期中審查會

於 108 年 8 月 9 日函送期中報告書各 10 份辦理審查。

(三)期末審查會

- 1.期末簡報時需完成所有工作

- 2.於 108 年 11 月 15 日函送工作執行計畫書與期中報告書各 10 份，
參加聯合成果發表會，辦理聯合審查。
- 3.於 108 年 12 月 24 日(星期二)前繳交成果報告及會計報告，辦理結
案作業。

第九章 結論與建議

第一節 結論

本計畫針對崩塌地微立地條件進行觀測調查，提供應用無人飛行載具(UAV)導入植生資材，期望能建立植生資材與崩塌地坡面間之介面整合。初步獲致結論如下：

- (一)10月期間有有3場降雨事件，且降雨量有達到108 mm，然隨太陽輻射強度減弱，使日間蒸發作用趨緩，維持相對溼度偏高之濕潤狀態，利於植生粒劑於發芽後，有補充水分來源以支應生長所需耗水量時，此將有利於綠覆率維持與增加。
- (二)先驅植物入侵崩塌地坡面後，可選留植物種子具有纖毛者理應可列為自然黏著於坡面之植物選留植物。如：加拿大蓬、蘆竹、五節芒、羅滋草、木芋麻、波葉山螞蝗及葛藤。
- (三)採用水土保持局前期研發植生粒劑進行投擲作業後：1周內即有草類植物發芽，木本植物約在2周內發芽；扣除崩塌地裸露面，1個月內植生粒劑所覆蓋區位之綠覆率僅能增加至20%以內。當崩塌地於坡度較陡時，當有塊、礫石不連續駐留坡面，其間可形成窪蓄崩積土空間，反使粒劑有利增加綠覆率。
- (四)植生粒劑投擲作業後一個月後，可於塊石、礫石：上側、分布不連續之鞍部、下側間隙等具有蓄積淤土之微地形處外，部分崩塌地坡面有泥岩風化處見到植生粒劑之木本植物發芽生長。

第二節 建議

本計畫執行期間須考量 UAV 及植生粒劑非屬自力研發，故應需整合實施，幸能有中興大學林信輝老師協助進行計畫整合，使得相關試驗方向及資材取得，均可在最短期限內獲致解決，日後若有類似計

畫宜應考量此模式。而執行計畫由現地觀察及相關粒劑試作，可提供建議如下：

- (一)崩塌地現地試驗及觀測，受天候影響至鉅，若能將計畫執行期間調整因應，將可收事半功倍之效能。
- (二)崩塌地因逢豪雨將呈現極度不穩定，應可建立選定 UAV 施行植生復舊措施之機制。
- (三)UAV 進行植生粒劑投擲於崩塌地之際，其投放口應能控制出量，使粒劑更能有機會增加撒布機會。有相關粒劑施用量受限植生基盤屬於小範圍之微地形，應可在酌減用量，以增加灑播機會。
- (四)UAV 進行植生粒劑投擲於崩塌地，應能近距離施測，以確認相關處理之成效，則 UAV 或空拍機必須要能增加影像處理功能。

參考文獻

1. 呂明娟，碩士論文，建築結構工程 4D 模擬系統之研究，國立台灣大學，2006。
2. 吳翌禎、謝尚賢，“4D 營建管理系統之現況分析與發展趨勢”，營建管理季刊，第 74 期，23-34 頁，2008。
3. 邱彥璋、吳翌禎，“4D 動態模擬應用於工作空間衝突分析之研究”，第十四屆 營建工程與管理學術研討會論文集，七月二日，台灣大學，台北，台灣，2010。
4. 林信輝、王英任、徐憲生（2011）崩塌地噴植植生復育及應用資材之探討，水土保持學報，43(2):147-170。
5. 林浩江、陳意昌、謝政諺、林信輝（2016）木本種子埋入不同噴植基材深度之發芽試驗研究，水土保持學報，48(1):1639-1650。
6. 宋國彰（2018）行政院農業委員會水土保持局 107 年創新研究計畫-坡地植生工法應用技術精進研發計畫報告書。
7. 行政院農業委員會水土保持局（2006）植生資材應用手冊。
8. 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)。
9. 行政院農業委員會嘉南水利會（2011）水庫集水區保育治理-水庫更新改善及淤積處理(烏山頭水庫)計畫報告。
10. 行政院農業委員會水土保持局（2017）水土保持手冊。
11. 行政院農業委員會林務局（2011）崩塌地復育造林手冊。
12. 行政院農業委員會林務局嘉義林區管理處（2018）嘉義處轄國有

- 林水庫上游集水區整體調查規劃委託技術服務成果報告書。
13. 李元智、李錦浚、黃育珍、張禎驩（2007）不同噴植植生工法應用於道路邊坡之研究，水土保持學報，39(2)：201- 215。
 14. 許愷岐（2018）崩塌地應用無人飛行載具(UAV)播種植生粒劑之可行性評估，國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
 15. 黃玉梅（2015）種子披衣(Seed Coating)技術研發，種苗產業發展新趨勢研討會專刊，P.3，73-80。
 16. 楊世清、李華寧、張錦章，營建專業管理，台北斯坦出版有限公司，316 頁，1992。
 17. 謝政諺（2014）噴植工法應用木本植物種子發芽機制之研究，國立中興大學水土保持學系研究所碩士論文。
 18. 簡慶德、陳舜英、游漢明（2014）臺灣山區崩塌地林木種子直播造林作業的新思維，林業研究專訊，21(4):15-19。
 19. C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks and K. Liston, BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, Wiley, 504 Pages, 2008.
 20. I. C. Wu and S. H. Hsieh, “Transformation from IFC Data Model to GML Data Model: Methodology and Tool Development,” Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 30, No. 6, pp. 1085-1090, 2007.
 21. I. C. Wu and S. H. Hsieh, “VisPMIS:A Visual Project Management Information System,” Proceedings of the 11th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, November 19-21th, Taipei, Taiwan, 2008.

附錄

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1	第三章工作執行方法與流程，建議將第二節(P.2-9)內容移至第一節，第二節依流程各項執行目標，說明工作執行方法。	遵照委員意見進行調整。
2	P.2-2，崩塌地立地條件調查，除土壤採樣外，建議坡面堆積及殘存之土石材料納入調查。	遵照委員意見已納入坡面堆積及殘存之土石材料調查，見 p2-23。
3	P.2-6，PVC 管模擬崩塌坡面目的及執行方式之可行性再確認。	敬謝委員意見，該管原為模擬降雨設備，主應用於投擲粒劑時，可免除周邊氣流干擾，以觀測其到達坡面時破壞情形。
4	P.2-6，UAV 導入植生粒劑之精進試驗，植生基盤介面，受降雨逕流影響會動態變化，如何比較。	主要是劃設 4 個觀測小區，於初期 1 個月內採每週定點拍照調查，可了解粒劑移動狀態。
5	P.2-10，崩塌地環境資料調查，建議針對觀察區周邊相關資料。	敬謝委員意見，已增加相關地質及水系資料，見 p2-9-2-11。
6	P.2-3，於鄰近崩塌地試驗地點選擇有植物生長區位設置觀測鐵塔，以架設微氣候觀測站，將收集數據進行相關統計分析，以瞭解植生粒劑導入崩塌地坡面後之微氣候變化。是否能進一步說明植生粒劑導入前後需觀測多久時間？	微氣象觀測係配合植生粒劑投擲作業後 3 個月為一期。p2-14。
7	P.2-6，圖2-4 模擬崩塌地投擲粒劑所豎立之PVC 管，其與坡面之夾角是否只設計一種角度？與實際投擲情形是否吻合？	PVC 底部會有盛土盒，內置取樣自崩塌地試區土壤，進而夯實以模擬崩塌地坡面，盛土係採可調整角度設計；又實際投擲均採重力方式，本計畫作法亦採相同方式，應可說明現況。

項次	審查意見	回覆辦理情形
8	P.2-10, 崩塌地環境基本資料目前以阿里山鄉為收集對象, 建議可進一步分析達邦村1-5 鄰部份下方崩塌地所在子集水區。	原選定試驗地點因雨, 無法通行, 業已改至鄰近樂野村適當地點, 屬坡面型崩塌, 且緊臨溪流, 暫無納入集水區分析。
9	P.2-10, 另分析對象位於河道攻擊坡, 請考量是否能持續觀測。	遵照委員意見, 已另擇試驗地點。
10	P.3-3, 於108 年11 月15 日函送工作執行計畫書與期中報告書, 是否有誤, 請確認。	敬謝委員意見, 已修正為 108 年 8 月 9 日。
11	微立地條件包含地形測量、土壤調查、微氣象等, 而微氣象之觀測結果如何應用於坡面擷取(僅考量植物入侵坡度、土層圍積、地形凹窪)。	敬謝委員意見, 微立地條件係針對粒劑投擲後能否駐留坡面為主要考量, 微氣象資料係建立投擲時機, 相關量植物入侵坡度、土層圍積、地形凹窪, 係依崩塌地初期先趨植物生長位置進行說明, 將於後續投擲作業成果獲得後, 調整於期末報告內文。
12	崩塌地微立地條件之評估流程, 建議提出標準程序, 微立地條件評估項目建議含坡度、地質、土壤、坡向等與植生生長相關者。	敬謝委員意見, 本期計畫為現地初步觀測植生粒劑投擲作業實況, 俟基本資料蒐集, 將配合整合計畫建立評估流程。
13	針對不同立地條件對應之植生資材選用及UAV 噴植或灑播機具研發, 建議於相關計畫整合研發成果。	敬謝委員意見, 本期計畫為現地初步觀測植生粒劑投擲作業, 主要延續委辦計畫機關於去年執行成果, 今年僅採重力投擲, 相關研究成果將提供整合計畫彙整。
14	水庫集水區崩塌區位分散, 人力不易到達進行現地採樣及評估, 建議評估以UAV進行視距外評估流程及方法。	敬謝委員意見, 本期計畫為現地初步觀測植生粒劑投擲作業, 尚無視距外評估流程及方法。
15	P.2-5 現行植生粒劑過往使用狀況效果為何? 課題為何? 本計畫是採用現行或改良式粒劑?	敬謝委員意見, 本期計畫為現地初步觀測植生粒劑投擲作業, 主要延續委辦計畫機關於去年執行植生粒劑研發成果, 相關課題以實地投擲成效評, 又本年則無改良式粒劑規劃。
16	本計畫似採用投擲方式, 試問粒劑與投放點的關係如何決定, 尤其超過45°、50°以上的坡面。如何確保可有效附著。投擲高度與坡度之關係決定。	敬謝委員意見, 本期計畫為現地初步觀測, 係以人力可到達調查為主, 粒劑投擲於指定坡面, 將進行駐留數量調查; 相關有效附著亦已能駐留坡面為依歸。至於 50°以上

項次	審查意見	回覆辦理情形
		的坡面由於植物自然入侵已相關不易，故無法列入本期計畫，故將調整內文撰述於期末報告。
17	植生立地條件對植生導入相對重要，精準導入植生，以有限經費選定適合植生地點，達到最大效益。	敬謝委員意見。
18	所選試驗區崩塌發生之年期為何？崩塌發生後之植生復育情形，可提供後續植生試驗之參考。	新選定崩塌地樣區係自 88 雨災後，即發生崩塌迄今，目前仍僅有少量陽性植物存活，故先以本年度計畫說明植生復育情形。
19	建議製作試驗區之崩塌植生區位圖，包括自然復育區、植生無效區、不同植生方法植生導入區等。	敬謝委員意見，配合 10 月投擲粒劑作業進行調整。
20	在投擲試驗以PVC 管進行，是否會磨擦管壁而影響結果？15m 距離相當長，而管徑僅有15cm。	敬謝委員意見，該管原為模擬降雨設備，主應用於投擲粒劑時，可免除周邊氣流干擾，且達到末端速度，應可觀測其到達坡面時破壞情形。
21	P.2-12 圖2-11，圖例有8 個，而對應數據僅有7 個。	敬謝委員意見，已將對應數據刪除，說明於內文。
22	文中多處說明與圖號無法對應。	敬謝委員意見，已力求減誤。

附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1	噴植與採用植生粒劑之各別應用時機建議在整合型內容中進行分類，例如坡度、土壤、含水量之選擇。	本子計畫第一年計畫僅就單一崩塌地進行相關投擲粒劑試驗，未包括噴植，另本研究相關坡度、土壤、含水量之選擇，將提供整合型計畫彙整。
2	植生粒劑明顯較噴植覆蓋面小，是否能提出優缺比較及適應性。	植生粒劑受投擲高度提升與近地表氣流流動增加將會使粒劑覆蓋面增加，而噴植受噴頭及空壓之限，多屬於水平方向操作，二者應無類比。然本計畫使用既有植生粒劑，實地投擲尚屬嘗試階，暫無相關優缺比較及適應性提出，請諒察。
3	植生粒劑是否適用於陡坡，較不易受降雨沖刷影響不易造成種子流失，是否能有相關試驗支持？	植生粒劑於崩塌地係指投擲於生育基盤，遑論坡度緩陡與否，崩塌地於其坡面上，均有浮石、岩屑及崩積土，其中如浮石、岩屑等裸露面均無法適用植生粒劑，但卻可提供微地形以提供粒劑生育基盤。然相關試驗尚無法進行，本計畫擬採現場調查加以說明，如 P.7-1 相關種子係混填於粒劑中，整粒粒劑於著地初期並未見有流失問題，然當植生粒劑受降雨產生逕流沖刷影響，多使粒劑會隨逕流推移，仍仍在崩塌地範圍內，應無致生種子流失。
4	植生粒劑合適植物，及種子經植生粒劑處理後之發芽率分析。	本子計畫所採用植生粒劑係水土保持局 107 年研究計畫成果，相關合適植物選留未於考量。種子經植生粒劑處理後之發芽率分析件 P.5-4。
5	P.3-10，崩塌地環境基本資料除收集阿里山鄉全區資料外，建議可進一步說明樂野村崩塌地之相關基本資料。	樂野村崩塌地位於阿里山鄉居中央區域，濱臨曾文溪，相關全區資料應可說明其相關環境基本資料。再遵照意見增加崩塌地試區基本資料，如 P.3-10。
6	P.4-1，本研究將蒐集台灣南部崩塌	本計畫主要探求植生粒劑於崩塌地

項次	審查意見	回覆辦理情形
	地植生復舊案例以進行分析，請補充說明預計收集植生方法類型、數量及分析內容。	植生復舊適應性，將調整案例分析為內容，並針對臺灣南部有林務局轄管國有林地崩塌地復育處理相關植生方法類型、數量及分析內容進行補充於內文，見 P.4-1。
7	P.4-9，請註明表 4-2 崩塌地樣區土壤調查結果是達邦村或是樂野村的結果。	遵照委員意見，註明土壤調查地點為樂野村。補充註明於內文，見 P.3-10、P.4-16
8	P.4-10，圖 4-5 土石材料表面粒徑調查點位建議於崩塌地坡面上標示位置。	敬謝委員意見，補註明於 P.4-13 之圖 4-3。
9	P.4-14，利用 7 月資料進行絕對濕度之估算，結果可知該值均能超過 25g/m ³ ，建議以圖形或表格方式呈現變化情形。	相關絕對濕度非屬相對濕度具有說明空氣達到飽和狀態，故計畫內刪除該段敘述。
10	P.5-4 目前粒劑投擲到達地面產生壓力與土壤硬度相比小很多，藉由調整粒劑形狀與重量仍無法達到要求時，是否有其他配套。	敬謝委員意見，以 3 種不同型粒劑進行定著崩塌地坡面試驗，相關敘述見 P.7-1.
11	附錄一中，回覆辦理情形所對應頁數應再根據章節調整後進行修正。	遵照委員意見修正。
12	補充計畫工作項目進度執行檢核點內容(配合 P.8-1 計畫甘特圖說明)。	本計畫未設有工作項目進度執行檢核點，惟仍依原工作項目進度執行，現已屬繳交期末報告階段，請諒察。
13	P.4-13，崩塌地樣區，7 月平均相對濕度相當高，相對立地之土壤水份關係如何？是否有利於植草生長條件？	當相對濕度高，依近地表土層深度 5cm 以內之土壤水分含量受太陽輻及地溫偏高影響，普遍偏低，此勢並無助益於植草生長。
14	P5-4，粒劑的重量增加，非良好對策，應依立地條件，選適宜方法及粒劑，提高固定或著附力。	敬謝委員意見，以 3 種不同型粒劑進行定著崩塌地坡面試驗，相關敘述見 P.5-4。

項次	審查意見	回覆辦理情形
15	建議評估是否區分為崩塌區位、坡面堆積區位、坡腳堆積區位來探討不同區位地形基盤相對適宜植生基材之選擇。	敬謝委員意見，納入內文敘述。
16	建議增加南部莫拉克颱風災後林務局以人工撒播植生之效益探討，用來評估未來 UAV 噴植效益。	敬謝意見，已將林務局以人工撒播植生之效益進探討，見 P.4-1。
17	本案工作項目部分小項似乎尚未著墨，如 (1)南部崩塌地植生舊案例分析。 (2)投擲著地穩定性改良技術。	遵照意見，已分別補充 P.4-2 及 P.5-2。
18	植生粒劑是否可增加爬藤類植物種子。	敬謝意見，已在第二期投擲植生粒劑納入芭葉賽芻豆，見 P.6-4。
19	本計畫對陡坡崩塌地微氣候調查，在助於投擲之植生粒劑之定著、發芽及生長，可與適宜噴植區位之選定分析方法結合，找出投擲或噴植之最有效區位。	本計畫微氣候調查著重於植生粒劑於投擲後，相關粒劑發芽勢與崩塌地近地表氣層與地表土層之氣象狀態關聯，可了解投擲適當時機。噴植區位之選定分析方法未於本計畫有實施；另本計畫相關投擲有效區位係採現地調查，日後若有執行再納入有效位之微氣候調查。

附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
1	陡坡地如何決定 UAV 之飛行航線，讓噴植工作能儘可能均質化。	敬謝委員意見，相關 UAV 之飛行航線可由試飛及空拍成果進行研判，本年度計畫仍以遠距且可目視範疇執行植生粒劑投擲；相關噴植工作由另案子計畫執行，無涉噴植作業均質化項目。
2	對於崩塌地已成形之蝕溝如何提高噴植之固著力及植生之成功率。	敬謝委員意見，崩塌地受地表逕流集中而形成蝕溝，當球型植生粒劑投擲於蝕溝區時，若遇坡度較陡時，除有溝底窪地或礫、塊石可使粒劑定著外，餘者均會有滾落之勢，顯示蝕溝非屬植生粒劑適宜投擲區位，見 P.7-1。相關提高噴植之固著力及植生之成功率，於本計畫不復說明。
3	投擲的最大坡度限制為何？	敬謝委員意見，崩塌地之坡面採用 UAV 進行植生粒劑投擲作業須考量距與崩塌地之坡面間距，而相關植生粒劑投擲坡面之最大坡度並無限制，惟其定著崩塌地之坡面仍需微立地條件配合。
4	如以飼料造料機製造長條形粒劑，其速度快可大量生產。	敬謝委員意見，飼料造料(粒)機確可快速製作長條形粒劑，本年度執行計畫係以水土保持局前期研究計畫所提既有植生粒劑進行驗證，日後將建議製作廠商納入參考。
5.	崩塌地具大塊石處，其孔隙較大，粒劑投擲時不易到處亂滾，在大塊石遮陰及露水影響下，植生發芽成效常超乎預期，可否針對此類型區進行噴植。	崩塌地具大塊石處易固著植生粒劑，係屬於微立地生育基盤，相對作業面積較大者之噴植作業，應較不適合。
6	粒劑形狀之變化，似可讓目的種子較易固著。何種粒劑的形狀類型較易成功，建議比較分析說明。	本計畫初期嘗試粒劑形狀之變化，未能有目的種子配合以進行相關固著特性進行探討，俟有下期計畫執行時，將納入實施。何種粒劑的形狀類型較易固著成功，相關比較分

項次	審查意見	回覆辦理情形
		析說明，見 P.5-6~5-7。
7	請提供投擲最佳季節及最佳位置建議，供後續執行參考依據。	敬謝委員意見，相關投擲最佳季節及最佳位置，補充說明於 P.7-5。
8	植物發芽主要受水分影響，而其他微氣候因子有那些是值得注意的？	敬謝委員意見，相關微氣候因子之探討，補充說明於 P.4-20。
9	P.9-1，項次編號請修正。	遵照委員意見修正，見 P.9-1