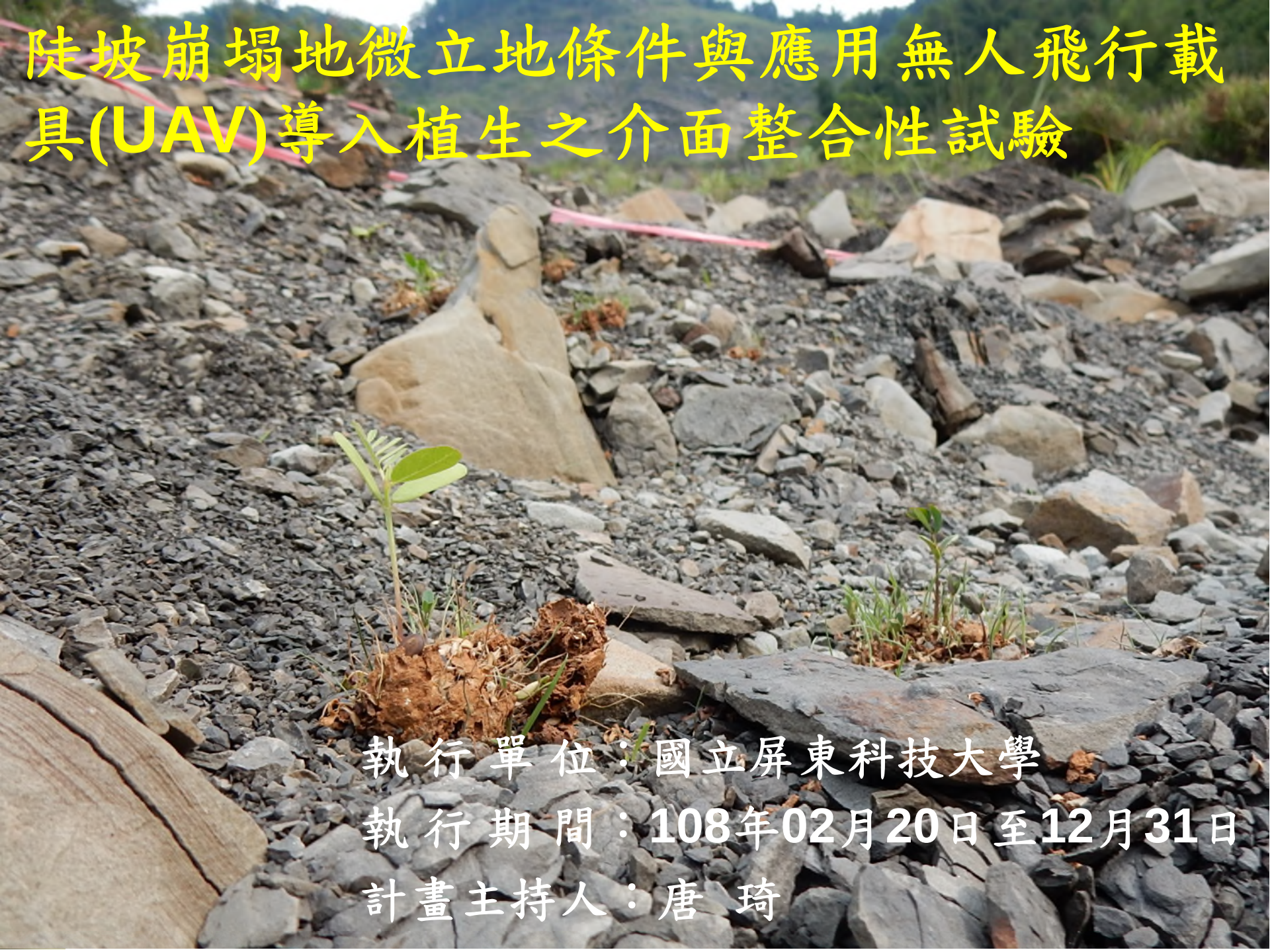
陡坡崩塌地微立地條件與應用無人飛行載具(UAV)導入植生之介面整合性試驗



執行單位：國立屏東科技大學

執行期間：108年02月20日至12月31日

計畫主持人：唐 琦

§計畫緣起

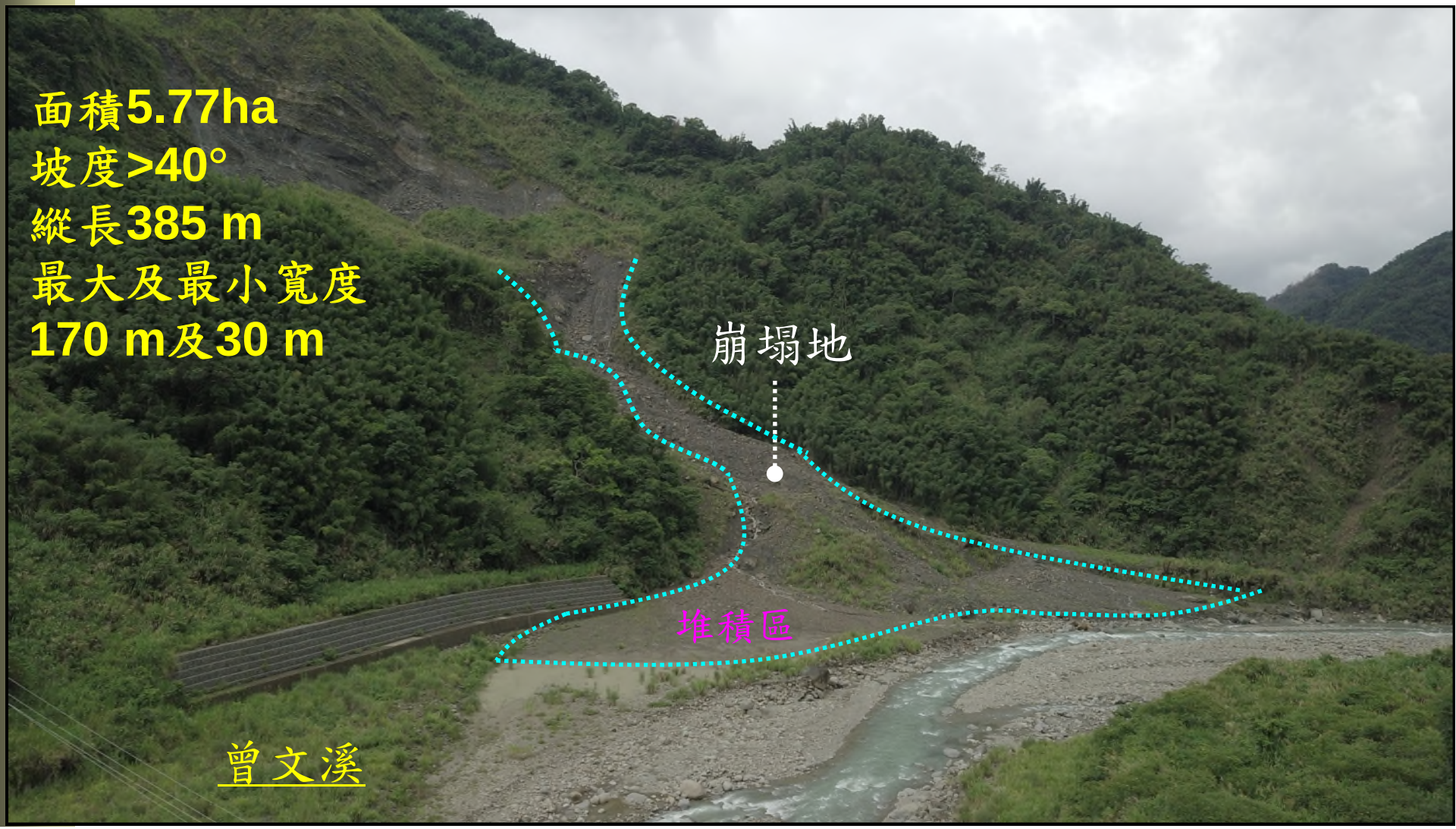
- 崩塌地發生位於偏遠深山地區，受限地形陡峻或無道路到達等條件，使得崩塌地整治工程無法全面實施一般坡面植生工程作業，當藉助自然植生復育，時程長且無法達到全面植生覆蓋，勢將不利崩塌地治理成效。

- 國內於崩塌地應用UAV載具配合植生粒劑投擲試驗方興未艾，受限於UAV載量無法負載大量之植生粒劑時，勢必調整植生粒劑，以配合UAV進行後續播種植生工法與研究。

- 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。
- 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。
- 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，驗證崩塌地微植生基盤，期能提高使用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。

§計畫範圍

- 以位於水庫集水區內現存崩塌地亟需進行植生導入
  面積達1 ha以上、覆蓋率低於30%、植生復舊不易





嘉義縣阿里山鄉樂野村鄰接曾文溪畔之崩塌地

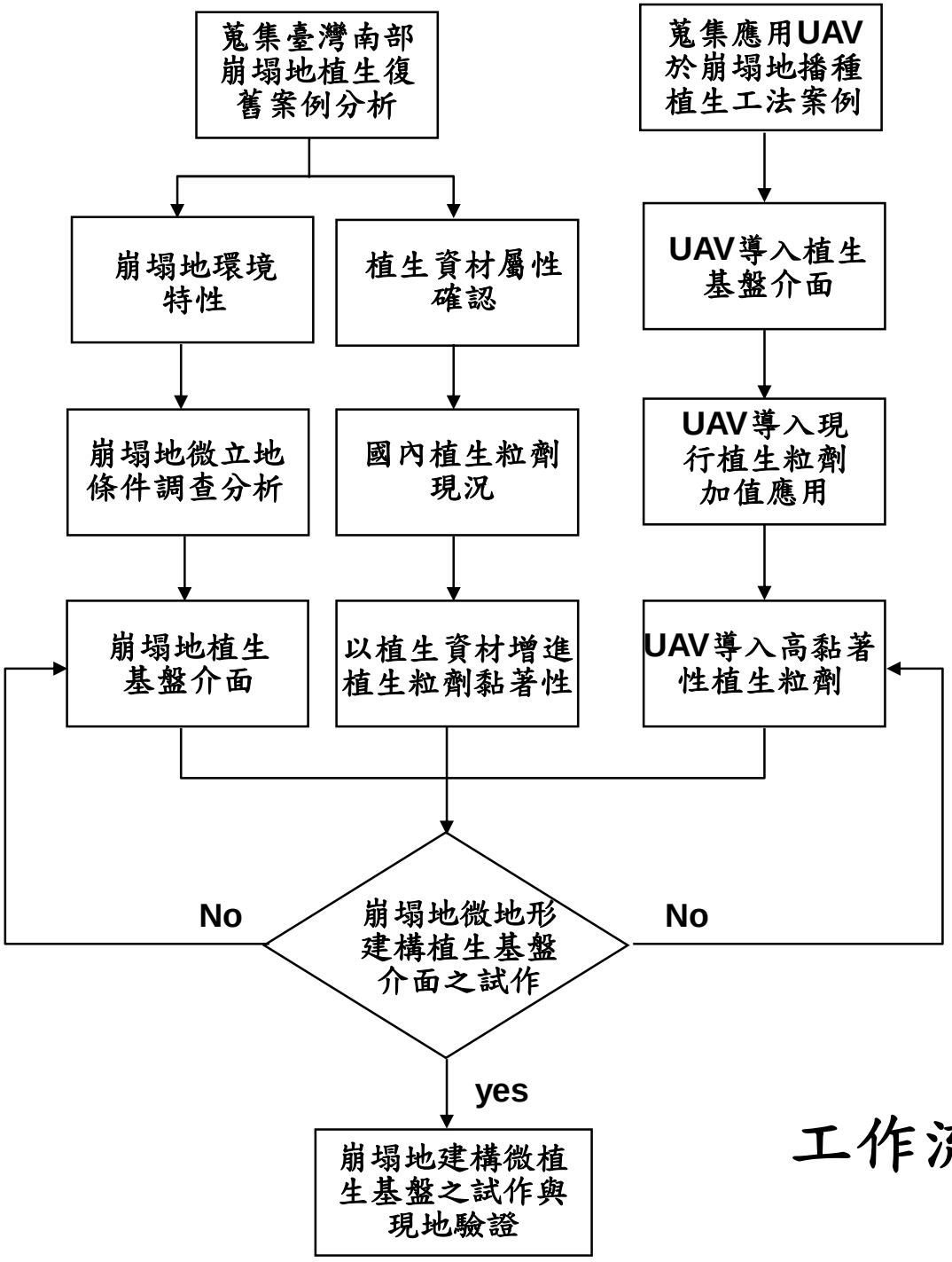
§工作目的

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。

- 播種工法選用植物與導入地點提供決定依據
- 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

§工作執行方法與流程

- 配合水土保持局有施行UAV播種植生粒劑試驗計畫
  - → 蒐集調查地點相關集水區概況、地文(含地形地勢、土壤地質等)、氣象水文、崩塌等資料
  - → 蒐集及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
  - → 現地蒐集與調查崩塌地近地表土層、氣層間微氣象特性
- 了解採用植生粒劑進行播種後，種子於萌芽生長逆境，提供日後植生資材導入最佳之時間與空間等基本資料。


蒐集臺灣南部崩塌地植生復舊案例分析
蒐集應用UAV於崩塌地播種植生工法案例
崩塌地環境特性
植生資材屬性確認
UAV導入植生基盤介面
崩塌地微立地條件調查分析
國內植生粒劑現況
UAV導入現行植生粒劑加值應用
崩塌地植生基盤介面
以植生資材增進植生粒劑黏著性
UAV導入高黏著性植生粒劑
No
崩塌地微地形建構植生基盤介面之試作
No
yes
崩塌地建構微植生基盤之試作與現地驗證

工作流程圖

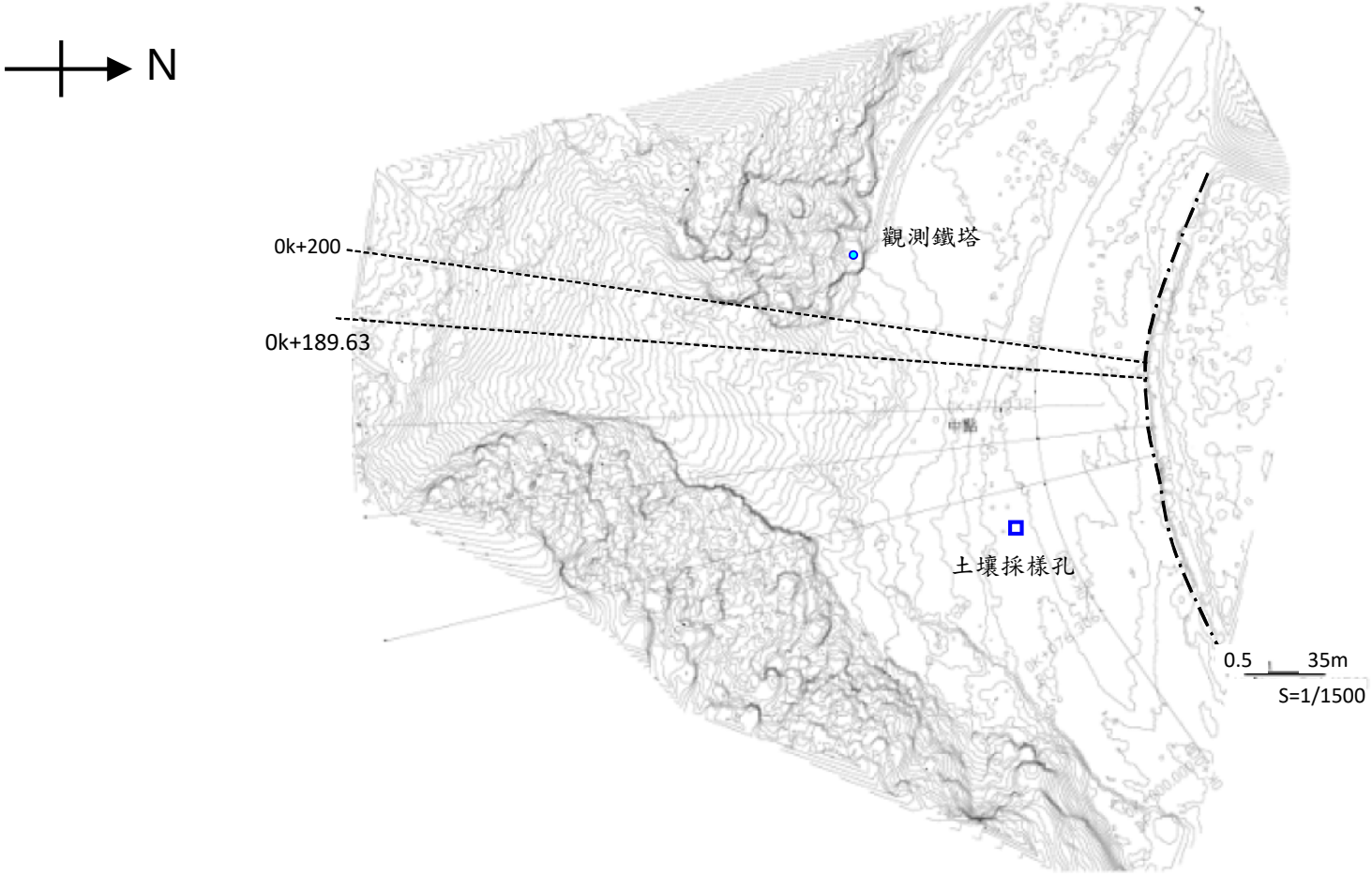
❶崩塌地微立地條件與植生環境調查要項分析

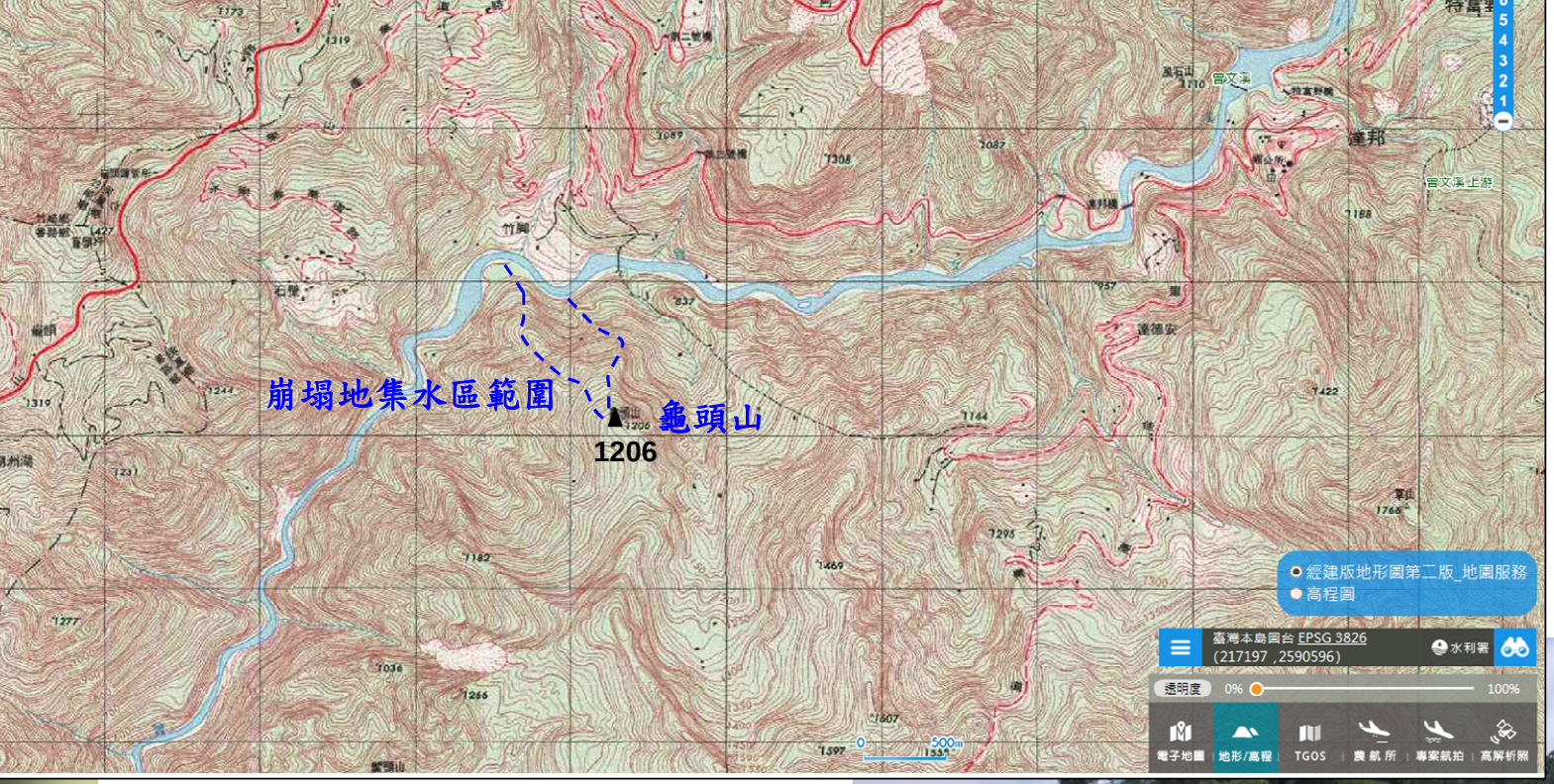
➔蒐集臺灣南部崩塌地植生復舊案例分析

➔陡坡崩塌地微立地條件調查分析

●陡坡崩塌地地形測量

架設全站儀(EDM)以無稜鏡方式針對崩塌地地形特徵點進行視距測量，得知高程差及水平距離，並經轉換座標，建立相關地形測量。

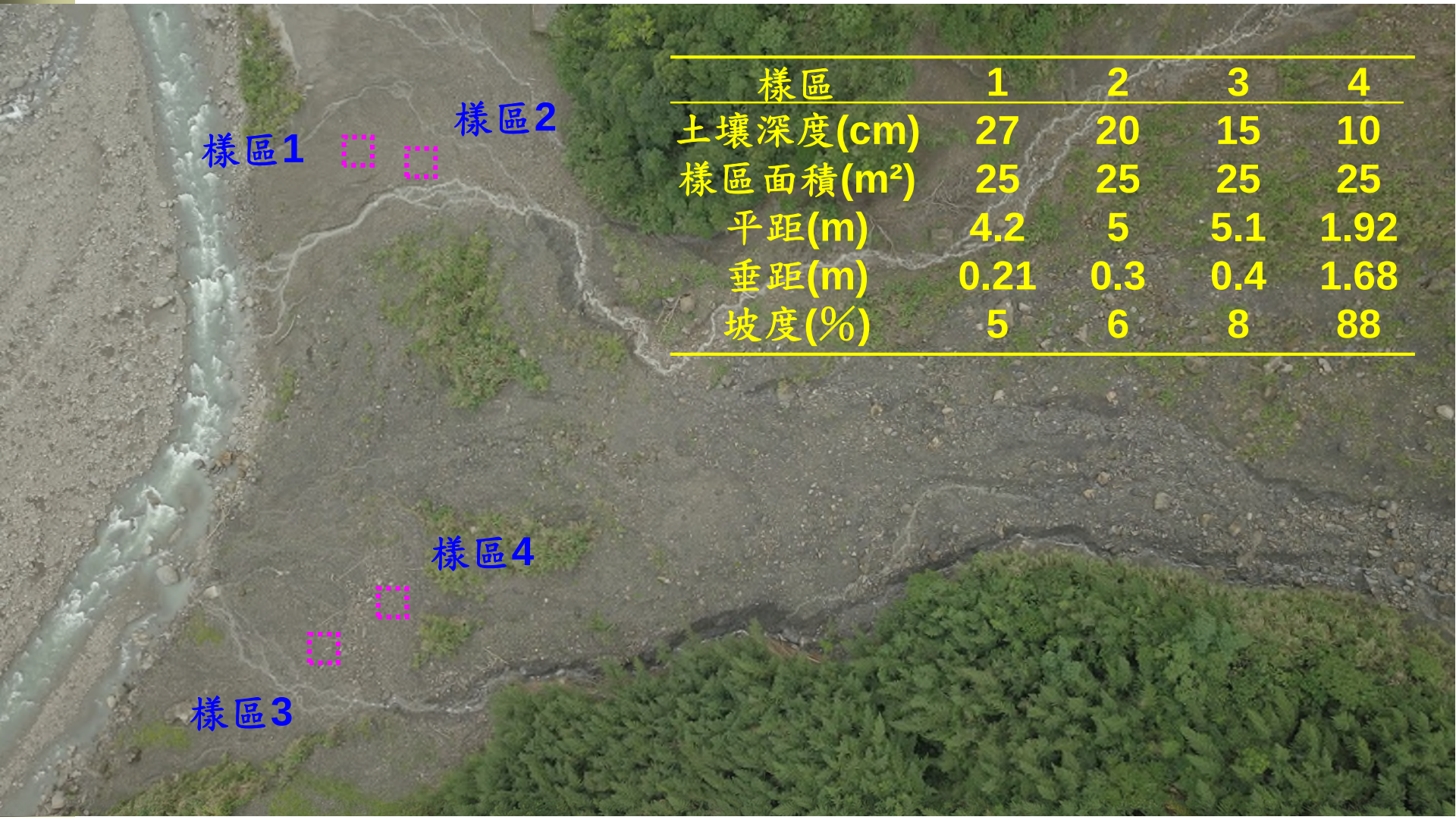



崩塌地集水區範圍
龜頭山
1206
達邦
竹腳
逐德安
經建版地形圖第二版_地圖服務
高程圖
臺灣本島圖台 EPSG 3826
(217197 ,2590596)
水利署
透明度
0%
100%
電子地圖
地形/高程
TGOS
農航所
專案航拍
高解析照
0
500m




崩壊地
草類植物
草本植物
灌木

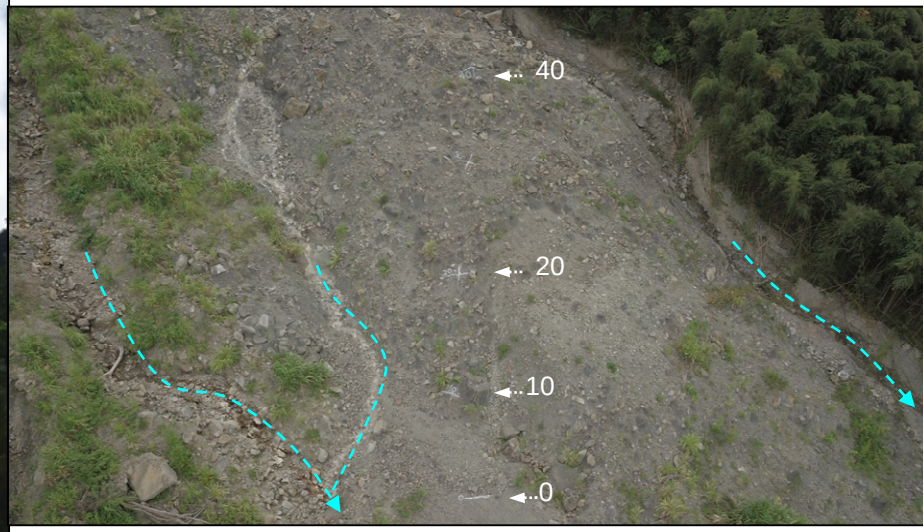
→崩塌地下游區域投擲植生粒劑樣區



樣區	1	2	3	4
土壤深度(cm)	27	20	15	10
樣區面積(m^2)	25	25	25	25
平距(m)	4.2	5	5.1	1.92
垂距(m)	0.21	0.3	0.4	1.68
坡度(%)	5	6	8	88

→崩塌地輸送區域投擲植生粒劑樣區



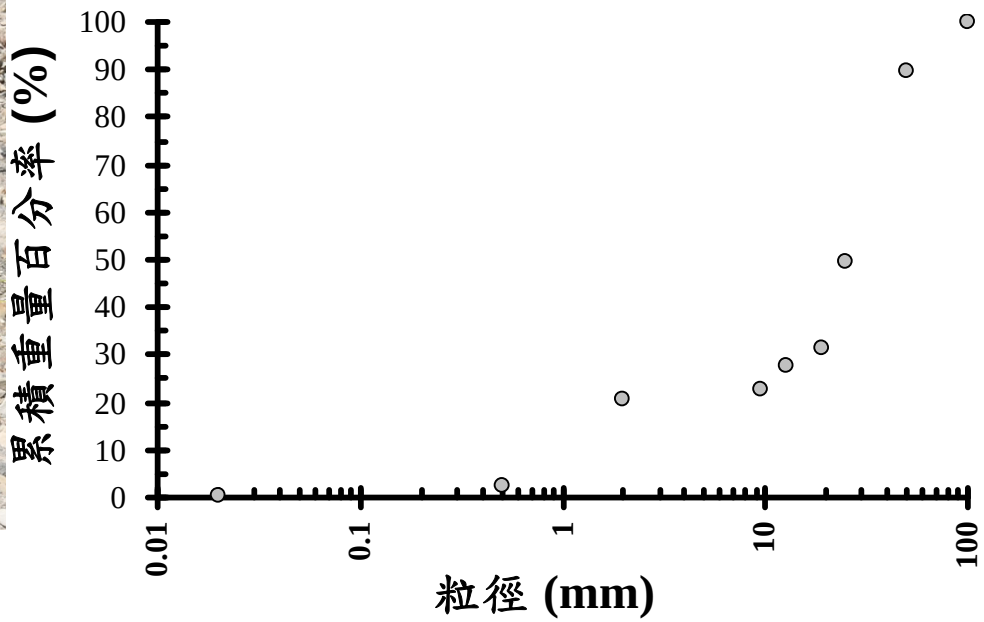


崩塌地樣區土壤調查

項目	數值	備註
土壤質地	砂粒= 84.56 % 坋粒= 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(mm)	13.6±2.1	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(g/cm3)	1.82	
顆粒密度(g/cm3)	2.64	

→崩塌地樣區堆積及殘存之土石材料之粒徑調查





崩塌地樣區堆積及殘存之土石材料之粒徑分布曲線

→崩塌地樣區堆積及殘存之土石材料之粒徑分布曲線得知各代表粒徑：d_{75}=61mm、d_{50}=2mm、d_{30}=1.8mm

→尺寸三軸介於45×30×27 cm ~3×3×1 cm

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。

→崩塌地樣區先趨植物調查



⇨崩塌地樣區之先趨植物調查結果

- 野桐為高大喬木外，餘者植物以草類、草本及灌木植物為主
- 各高莖植物較易出現於崩塌地範圍周邊
- 低矮植物則堆多出現於崩塌地居中區域
- 於塊石或大粒徑礫石近下坡向有餘土留存處
- 具有自播種子能力的植物

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

● 陡坡崩塌地微氣象調查

→觀測崩塌地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

→了解植生粒劑導入崩塌地坡面後之微氣象變化

→微氣象移動觀測崩塌地試驗地點全區近地表氣層氣溫、相對濕度空間變化，提供日後植生粒劑投擲於崩塌地最適區位之選定依據

→崩塌地樣區微氣象觀測統計資料(2019年 7月、10月)





Davis, Vantage Pro2 氣象觀測站

→崩塌地樣區微氣象觀測統計資料(2019年 7月)

日期	氣溫(℃)			相對溼度(%)			全天日射量	風速(m/s)		雨量
	平均	max	min	平均	max	min	(MJ/m^2)	平均	max	(mm)
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



→崩塌地樣區微氣象觀測統計資料(2019年 10月)

日期	氣溫(℃)			相對溼度(%)			全天日射量	風速(m/s)		雨量
	平均	max	min	平均	max	min	(MJ/㎡)	平均	max	(mm)
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



➔植生環境要項調查分析

- 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。

- 以7月為例進行絕對溼度估算，結果可知

➔絕對溼度>25g/m^3(表現地近地表氣層內具有相當多的水汽含量)

➔在降雨量達80 mm之豪雨型態下有出現全天日射量偏高情形

➔顯示現地植生環境之氣象條件變化相當劇烈

➔當選用抗逆境生長能力較佳植物以為因應

- 以10月近地微氣象觀測，結果可知

➔相對溼度85%(58-97%，現地近地表氣層內處於乾溼分明狀態)

➔3場降雨量:48.2、108.5、5.8mm

➔全天日射量17.3 MJ/m^2，屬偏高情形

➔日平均氣溫20.2~23.6℃

➔5及10cm深度處地溫日較差0.1~0.2℃，較近地表氣層內氣溫約偏高4℃。

➔選用抗逆境生長能力較佳植物、調整粒劑顏色以為因應

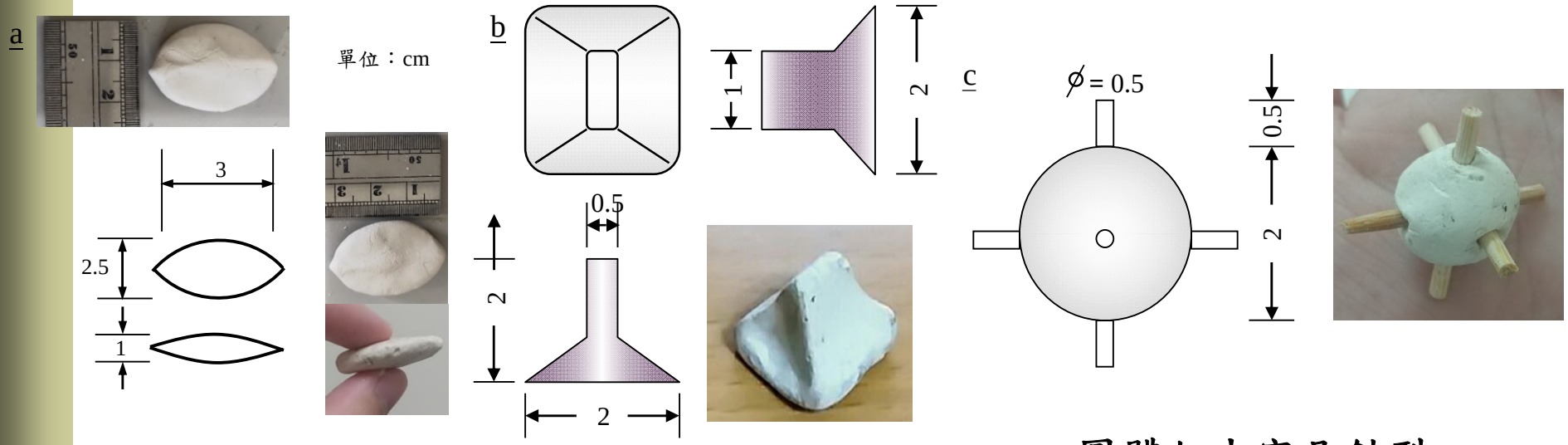
❶植生資材屬性與崩塌地植生基盤介面整合之適用性分析

➔投擲著地穩定性改良技術

- 水土保持局前期研究計畫成果所研製植生粒劑，粒徑為2~3cm及重量約為4.1~5.2 g，單一粒劑產生壓力值為0.12~0.065 kg/cm²
- 以山中式硬度計所測得平均硬度值為13.6 mm (即2.4 kg/ cm²)，該粒劑投擲到達地面時，無法直接破壞地面而駐留現地。
- 調整粒劑形狀與重量，以增加其駐留崩塌地坡面之機會

➔植生粒劑鉤掛於崩塌地坡面微立地之可行措施

- 提供3種植生粒劑型式：扁平菱型、釘垂型、圓體加十字凸針型



扁平菱型
(5.1±0.6 g)

釘錘型
(4.8±0.5 g)

圓體加十字凸針型
(4.5±0.4 g)

3種植生粒劑試體投擲試驗

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
鈁錘型	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


粒劑
粒劑彈跳、滑落

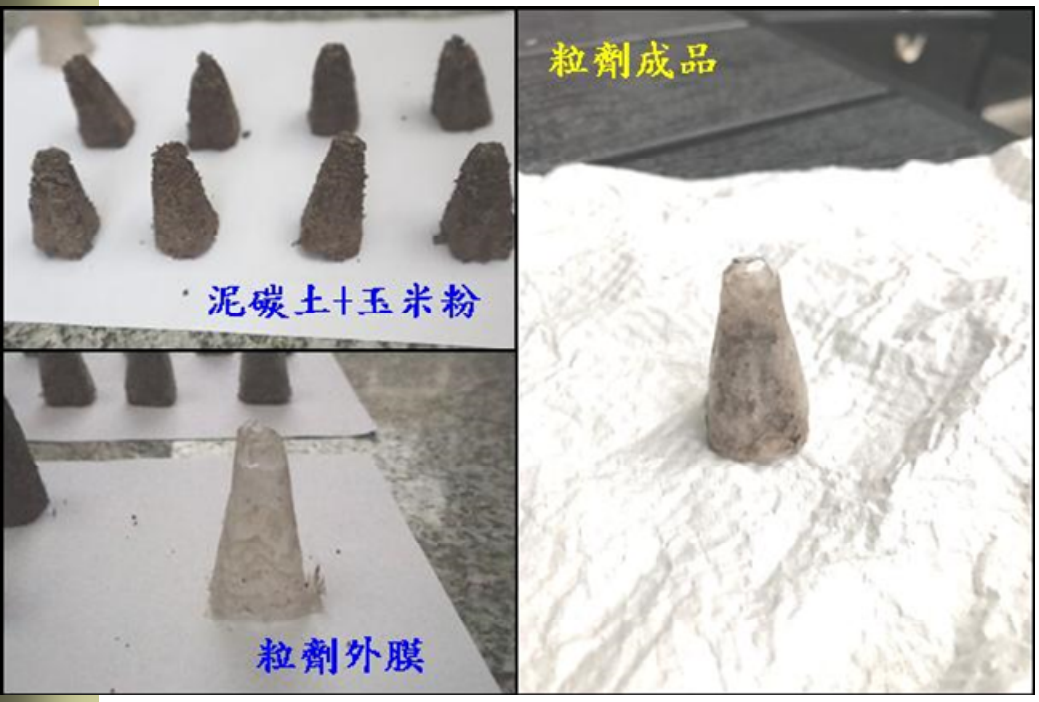
崩塌地試區植生粒劑投擲前後之植物調查

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

➔自黏性粒劑試體

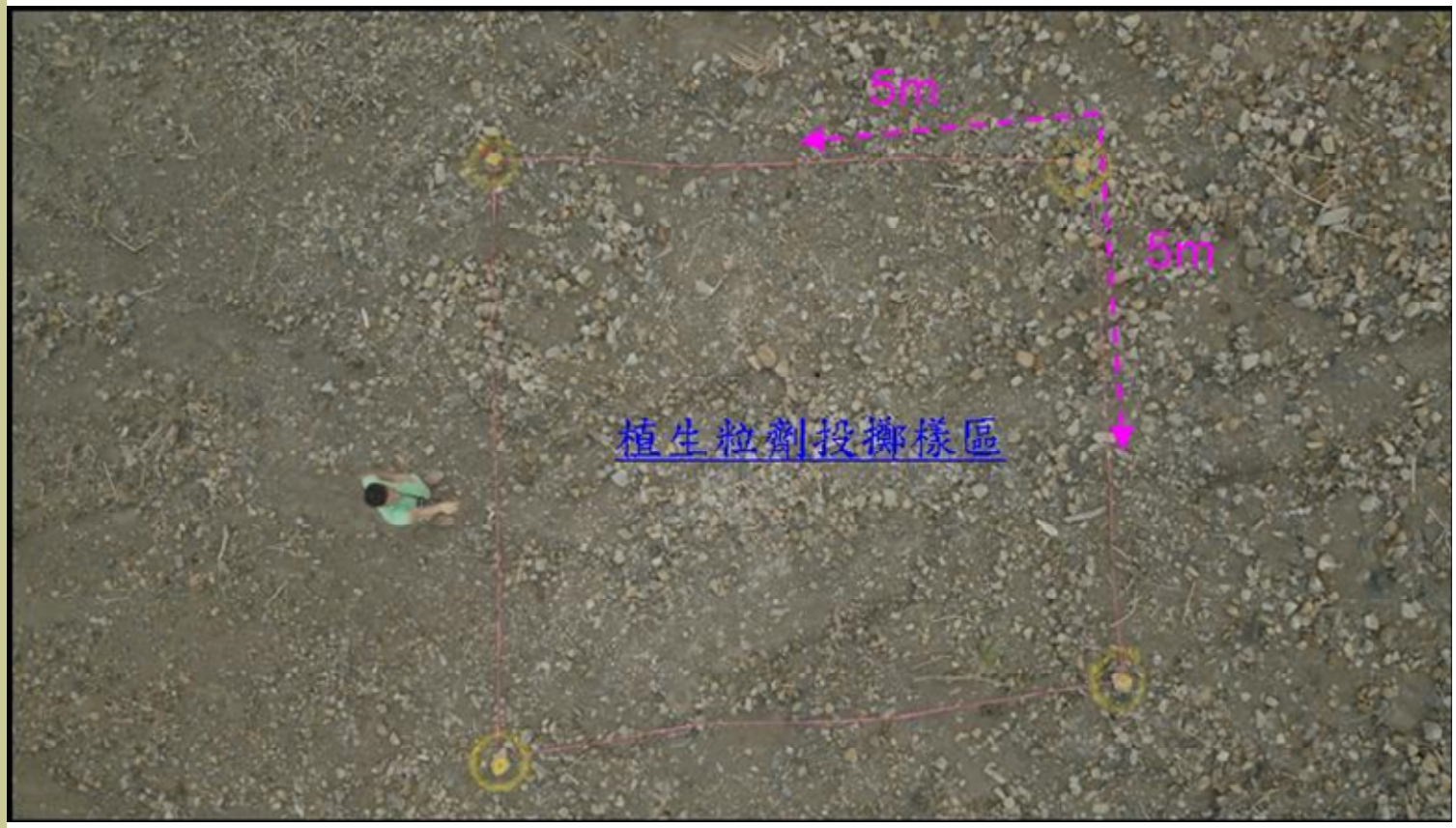
- 可食性且具自然分解資材包括：
- 泥炭土(興農，好根寶特3號)、玉米粉，混合比例1：0.5~0.8。
- 四角錐體，上及下底面積約(0.64、2.25 cm^2)，高度< 3 cm 。
- 水溶性接著劑(南寶，NP-300)為粒劑外膜資材
- 坡度20°、25°、30°及35°
- 觀測粒劑定著坡面數量與彈跳距離
- 坡面之坡度增加，其定著量遞降，其彈跳距離約呈現遞增趨勢。



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

陡坡崩塌地導入現行植生粒劑之精進試驗



➔將植生粒劑投擲於崩塌地坡面符合：
達植物入侵坡度、土層圍積、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以進行標定位置座標，以利後續試驗觀測植生覆蓋演替，為期3個月。

➔配合應用無人飛行載具(UAV)導入植生基盤介面















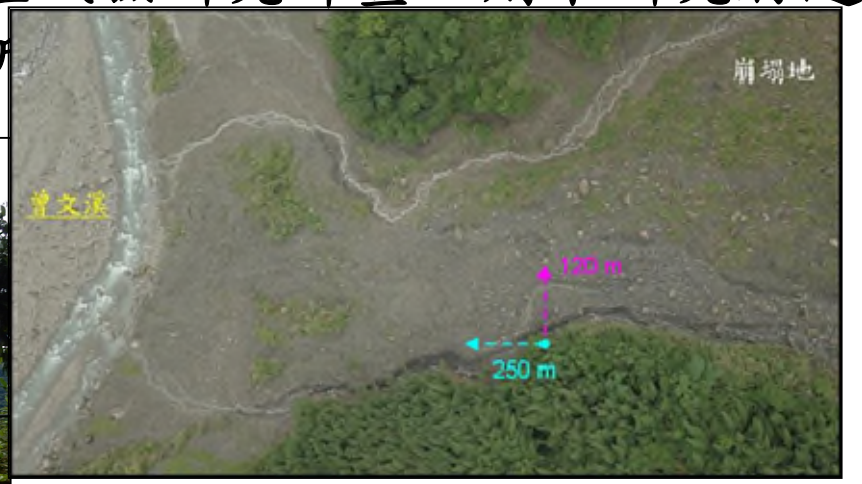


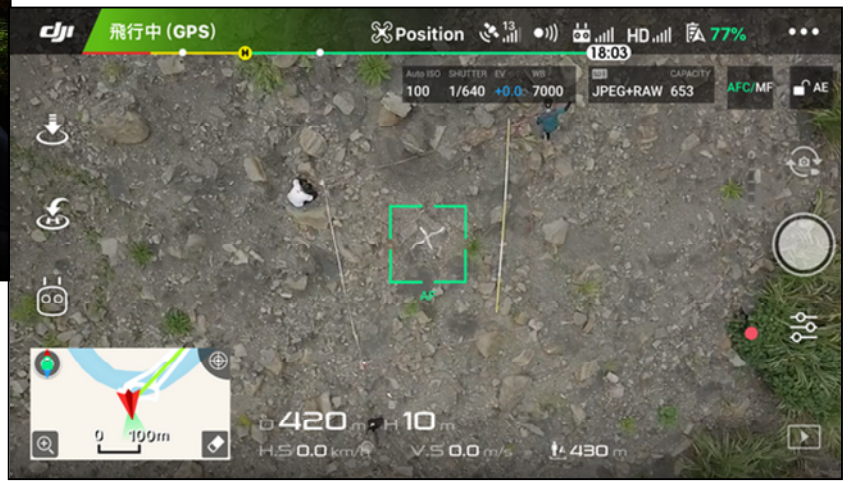


➔配合無人飛行載具(UAV)導入現行植生粒劑加值應用

- 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空拍機攝相調查，並經解析[illegible]以確認其投擲成效。









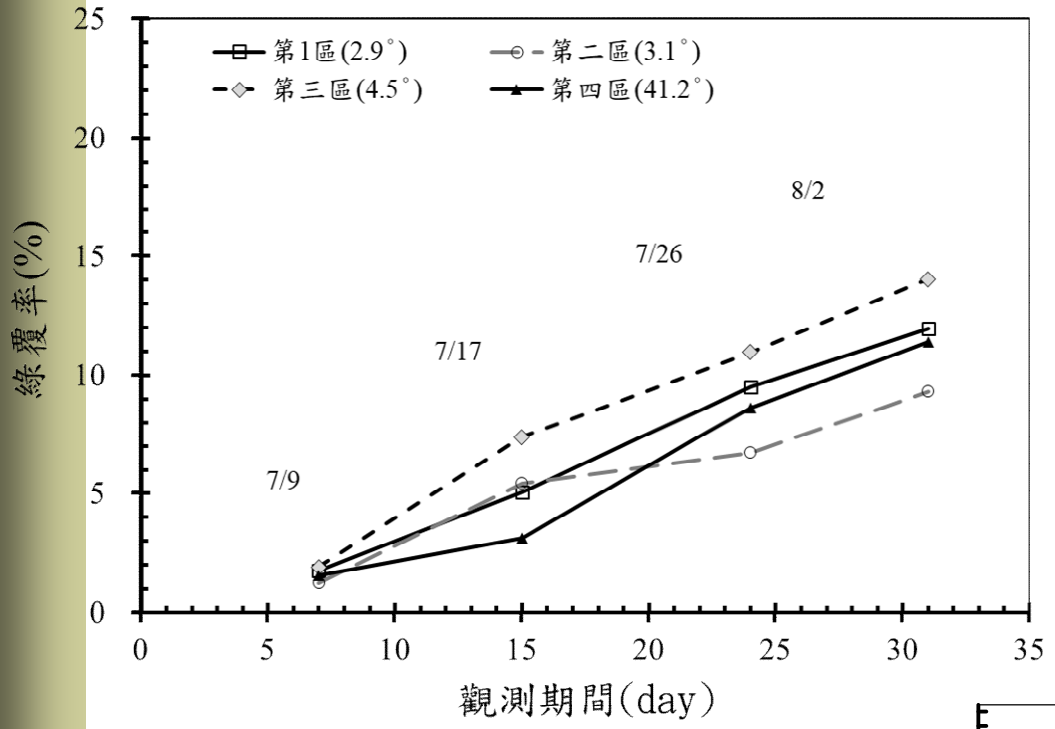
覆蓋率13.3%

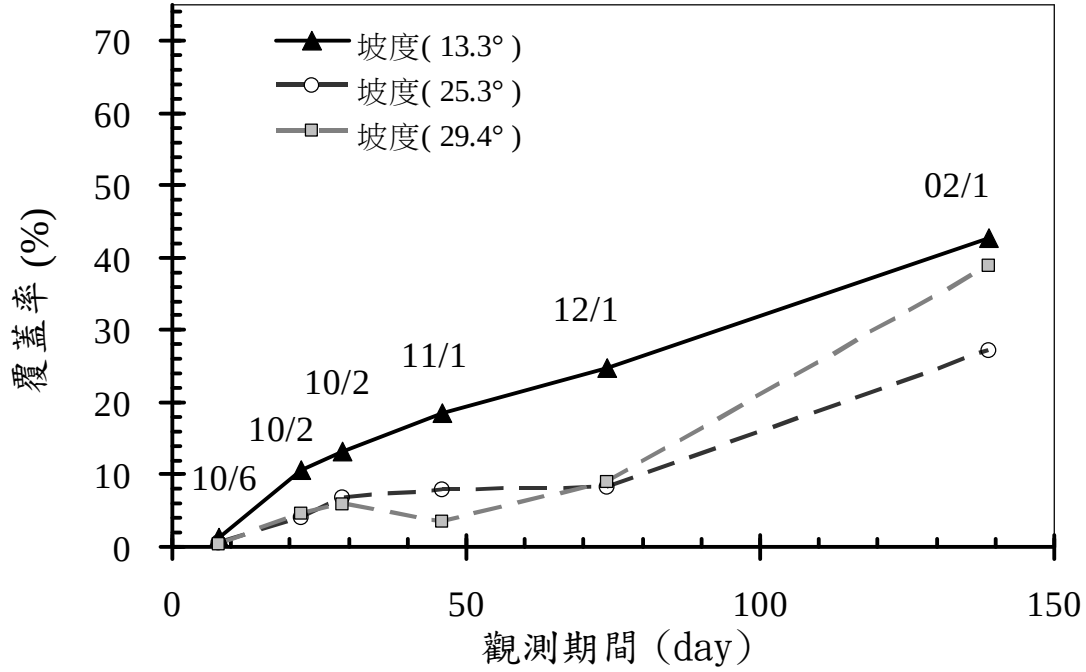
2019年10月27日

空拍機拍攝高度>1m、坡度29.4°

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)						
	7/3 (0)	7/9 (7)	7/17 (15)	7/26 (24)	8/2 (31)		
2.9		1.8	5.1	9.5	12		
2.9	投	1.3	5.4	6.7	9.3		
3.1	撒	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)						
	9/29 (0)	10/6 (8)	10/20 (22)	10/27 (29)	11/13 (46)	12/11 (74)	2/15 (140)
13.3		1.4	10.6	13.3	18.4	24.8	42.7
25.2	投	0.2	4.3	6.7	7.4	11.7	32.5
25.2	撒	1.6	2.8	4.6	5.4	7.3	20.2
25.5		0.1	5.0	9	11.1	12.1	28.8
29.4		0.3	4.6	5.8	3.5	9	39


第1區(2.9˚)
第二區(3.1˚)
第三區(4.5˚)
第四區(41.2˚)
綠覆率(%)
觀測期間(day)
7/9
7/17
7/26
8/2
0
5
10
15
20
25
30
35


坡度(13.3°)
坡度(25.3°)
坡度(29.4°)
覆蓋率 (%)
觀測期間（day）
10/6
10/2
10/2
11/1
12/1
02/1
0
10
20
30
40
50
60
70
0
50
100
150

➔配合應用無人飛行載具(UAV)導入高黏著性植生粒劑

- 將試作後之高附著植生粒劑，配合運用UAV導入投擲區
- 投擲後2週內之綠覆率調查，顯見綠覆率增加
- 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。



陡坡崩塌地建構微植生基盤之試作與現地驗證

➔於7月26日採UAV進行投擲粒劑之植生情形，據以作為10月再投擲一次。

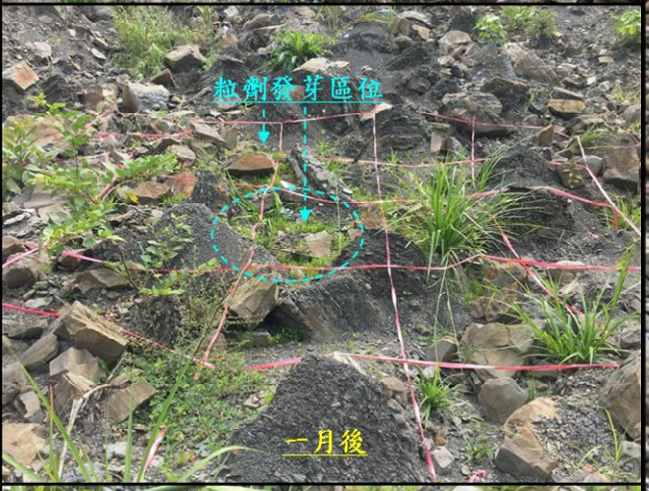
➔以前期於7月投擲粒劑執行成果為依據，於9月29日配合UAV於坡度大於40°之崩塌地進行投擲粒劑。經調查：

- 崩塌地岩層受風化作用、摩擦作用，產生機械性斷裂、崩解多出現幾何狀塊石。
- 當崩塌地坡面礫石、塊石至少高出地面2cm者，可於粒劑著地後直接攔阻。
- 塊石浮埋、暫存於崩塌地坡面，於其上接坡面側多提供攔阻粒劑下移空間，另於其下接坡面基部表土則易呈現潮溼狀態，意即能窪蓄地表逕流，有利於粒劑發芽。


坡度40°
粒劑
一週後


粒劑發芽區位(下游)


粒劑發芽區位(陡坡)

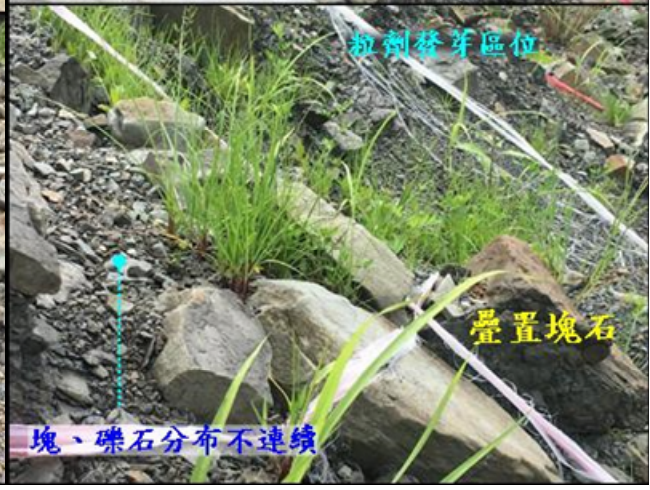

粒劑發芽區位
一月後


塊、碟石上側
粒劑發芽區位
疊置塊石
塊、碟石下側間粒劑際發芽區位


塊石上側粒劑發芽區位
疊置塊石


粒劑發芽區位


塊、碟石分布不連續


粒劑發芽區位
疊置塊石
塊、碟石分布不連續


20天


140天


140天



140天





12/11 (74天)



2/15 (140天)

結論

- 秋季期間太陽輻射強度減弱，使日間蒸發作用趨緩，使近地表氣層因降雨而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。
- 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、木苧麻、波葉山螞蝗及葛藤。

➔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，植生粒劑所覆蓋區位之綠覆率：1個月內能增加至20%以內，4個月：20~43%。
- 當陡坡崩塌地，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。

➔植生粒劑投擲作業後一個月後，見到植生粒劑之木本植物發芽生長於具有蓄積淤土之微地形處，如塊石、礫石

- 上側
- 分布不連續之鞍部
- 下側間隙
- 部分崩塌地坡面有泥岩風化處

建議

- 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。
- 崩塌地因逢豪雨致使坡面將呈現極度不穩定，應可建立選定UAV施行植生復舊措施之機制。
- 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。
- 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。
- 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。

敬請指正