

應用無人機監測山坡崩塌地復育情形

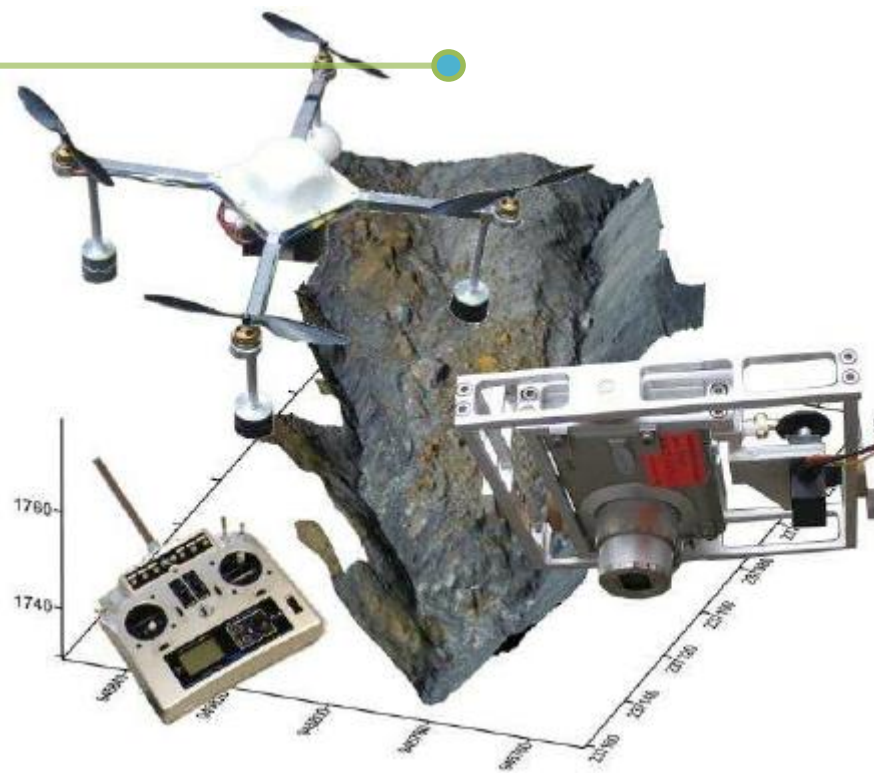
以蘇迪勒颱風後新店溪上游國有林為例



報告人：邱昱嘉 博士
簡報日期：107年10月25日

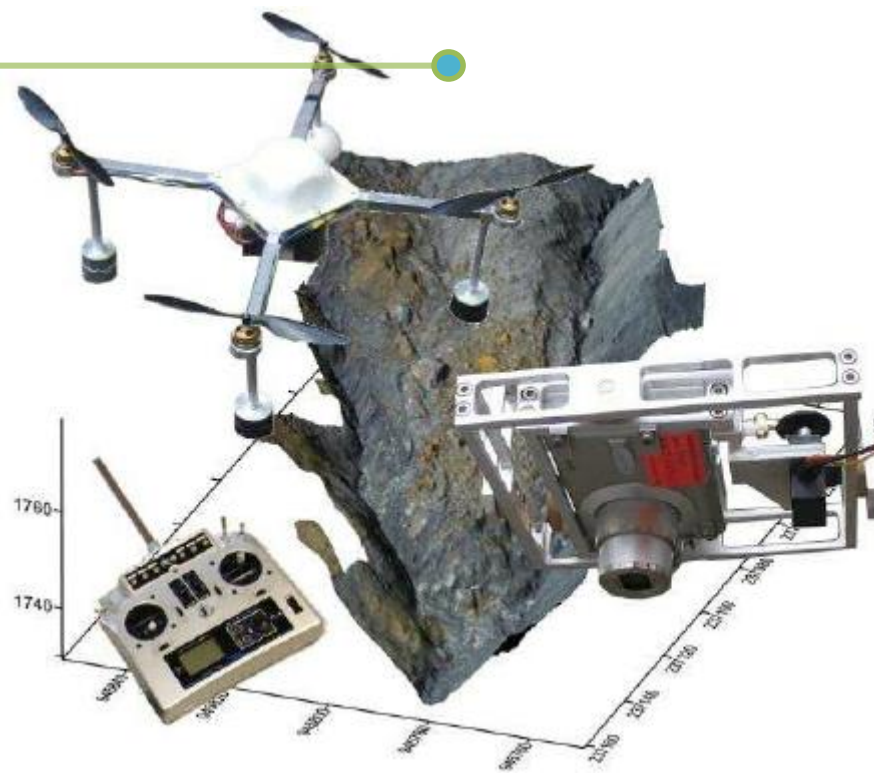
簡報目錄

1. 研究概述
2. UAV空拍調查流程與數值地形產值
3. 研究區域基本資料蒐集
4. 成果分析
5. 結論



1

研究概述

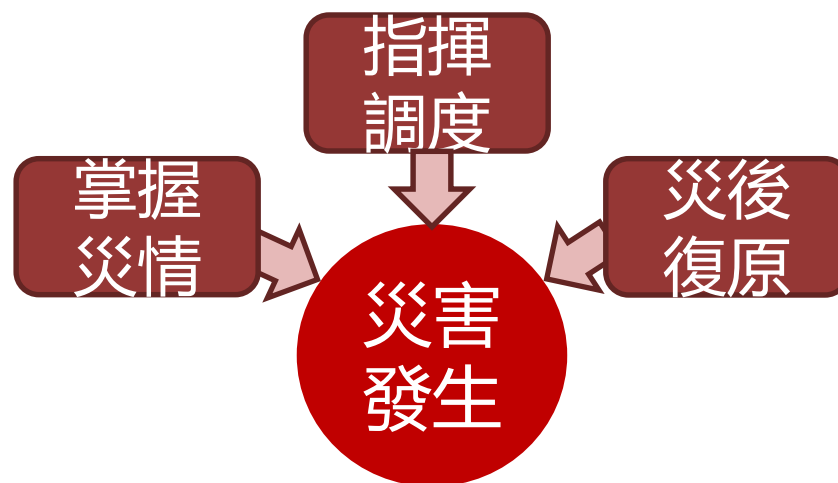


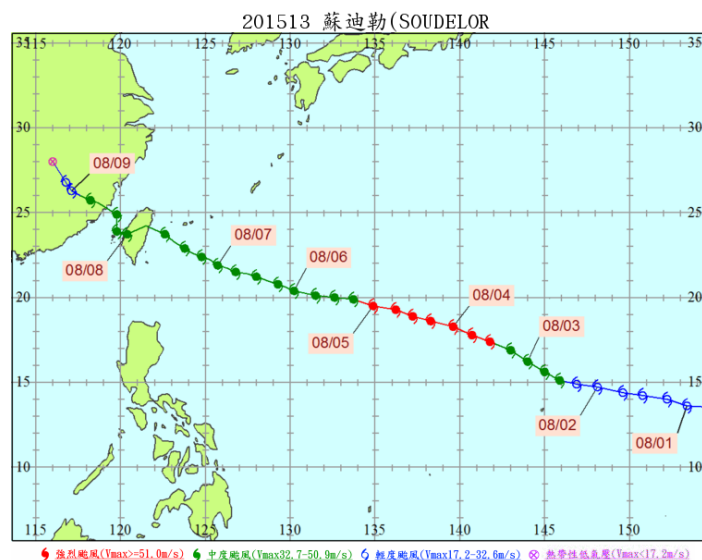
- 近年來，天然災害的發生日益頻繁，災害應變期間，各種遙測應用格外重要。
- 國內已大量採用UAV進行山坡地監測、集水區崩塌與土石流等。
- UAV機動性高(支援3000公尺以下)，較不受天候及空域影響之飛行載具，災害發生時，能針對特定受災地點拍色，減少災後勘察所耗費的人力與事件。



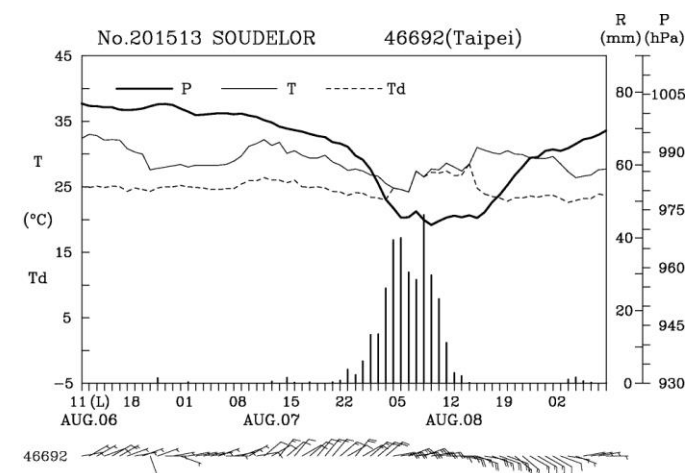
前言

- UAV具有在不同災害及災後監測的發展性，可因應不同規模、尺度的經驗環境，迅速提供航拍影像，進行災損判釋及分析所需之空間圖資。
- 平常可進行長期環境變異資料監測，本研究利用UAV高解析度影響，針對崩塌地與復育地之變化進行分析。
- UAV更可應用於加強災害前的調查及風險評估，減低災害的發生機率。





資料來源：中央氣象局



資料來源：中央氣象局

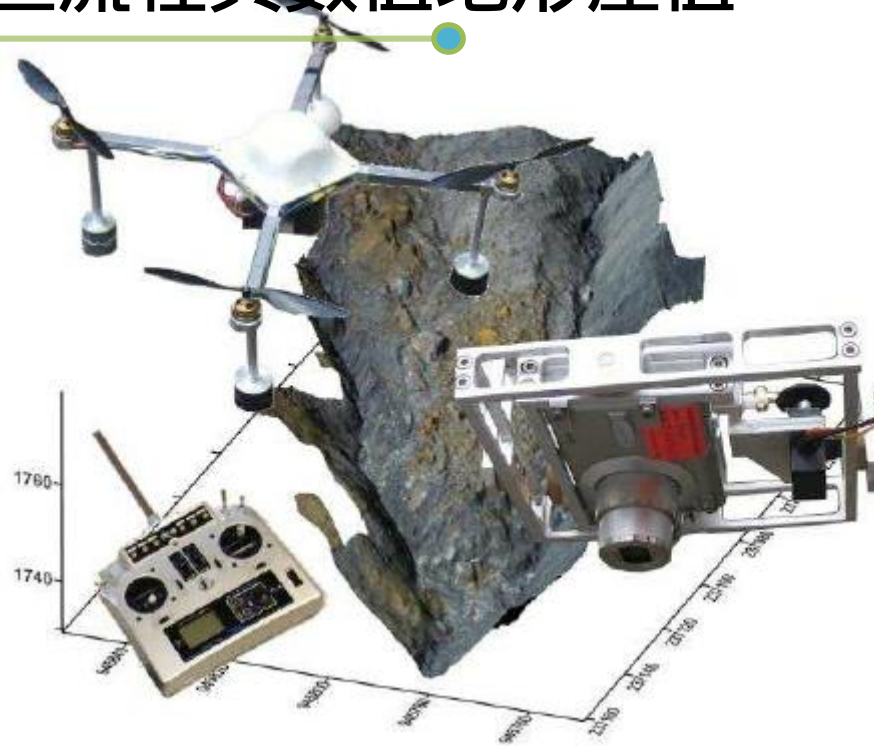
104年8月蘇迪勒颱風重創新店、烏來地區，造成畫範圍坡地發生嚴重土砂災害、南勢溪濁度急遽飆升，影響大台北地區供水穩定及用水供水品質

選定蘇迪勒颱風造成的崩塌地進行分析，此次崩塌多為多為在深山處，本研究選取幾處崩塌地，於災後透過無人機進行拍攝，分析崩塌地復育之情形，提供相關單位查損所需之空間輔助圖資，協助進行勘災作業並預防下一次災害的發生。



2

UAV空拍調查流程與數值地形產值



- 利用UAV，可隨時進行災害情況進行拍攝與監視
- 優勢
 - 機動性
 - 即時性
 - 較不易受氣象限制
- 缺點
 - 影像品質不易受到控制
 - 飛行範圍受限(拍攝範圍較小)



UAV空拍調查流程

9

拍攝流程

現況調查開始

行前準備

室內資料準備

調查工具及
儀器準備

調查地點、交通路線及行程規劃

定位

室內空間定位

野外空間定位

定翼機或
旋翼機

正射航照製作

調查作業項目與方式

重點崩塌地變遷判釋

重點崩塌地變遷判釋
(舊崩塌地擴大或復育)

採用機型

Inspire 1 Pro 四旋翼無人機



搭配ipad mini×2

型號	T600
重量	2870g (含電池・槳；不含 Zenmuse X5 雲台相機) 3400g (含電池・槳・Zenmuse X5 雲台相機)
最大起飛重量	3500g
懸停精度 (可安全飛行狀態)	垂直：0.5m； 水平：2.5m
最大旋轉角速度	俯仰軸：300°/s；航向軸：150°/s
最大俯仰角度	35°
最大上升速度	5m/s
最大下降速度	4m/s
最大水平飛行速度	18m/s (ATTI模式下，海平面附近無風環境)
最大飛行海拔高度	4,500m
最大可承受風速	10m/s
最大飛行時間	約15分鐘
動力電機型號	DJI 3510H
螺旋槳型號	DJI 1345T
室內定位懸停	標配
工作環境溫度	-10°至 40° C
軸距	559mm

正射航照與數值地形產製流程

10

正射航照與DSM產製流程



UAV影像

GPS/IMU
(方位及姿態)

影像匹配
(共軛點)

像機率定
(內方位參數)

控制點量測

外方位參數

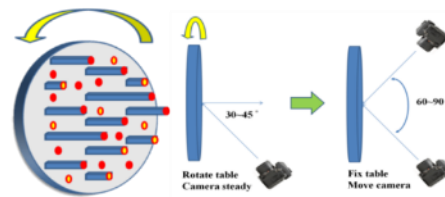
密集匹配
產生點雲

製作數值地表模型
(DSM)

製作正射影像



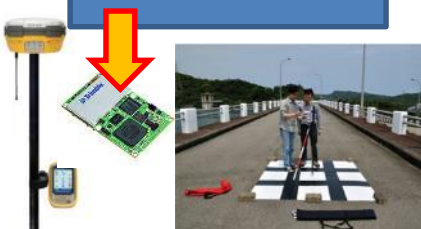
率定修正前



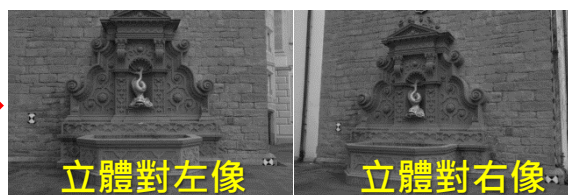
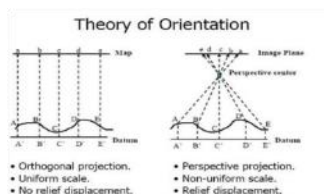
率定修正後

$$x - x_0 + \Delta x = -f \frac{(X - X_0)r_{11} + (Y - Y_0)r_{12} + (Z - Z_0)r_{13}}{(X - X_0)r_{31} + (Y - Y_0)r_{32} + (Z - Z_0)r_{33}}$$
$$y - y_0 + \Delta y = -f \frac{(X - X_0)r_{21} + (Y - Y_0)r_{22} + (Z - Z_0)r_{23}}{(X - X_0)r_{31} + (Y - Y_0)r_{32} + (Z - Z_0)r_{33}}$$

一旦求得內方位參數後，便能將有透鏡畸變的影像修正為無透鏡畸變的影像，以減少空三平差的穩定性

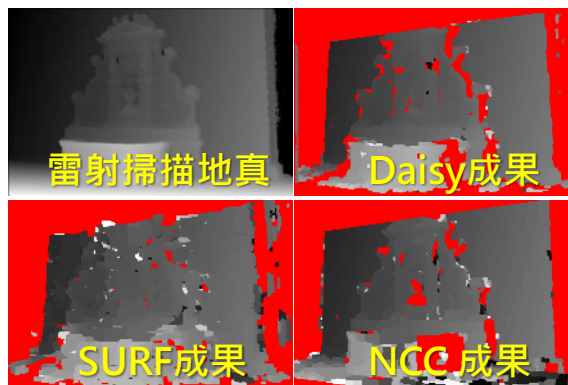


GPS V30 GNSS RTK System



立體對左像

立體對右像

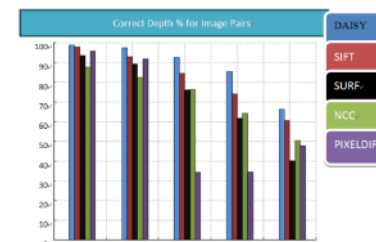


雷射掃描地真

Daisy成果

SURF成果

NCC 成果

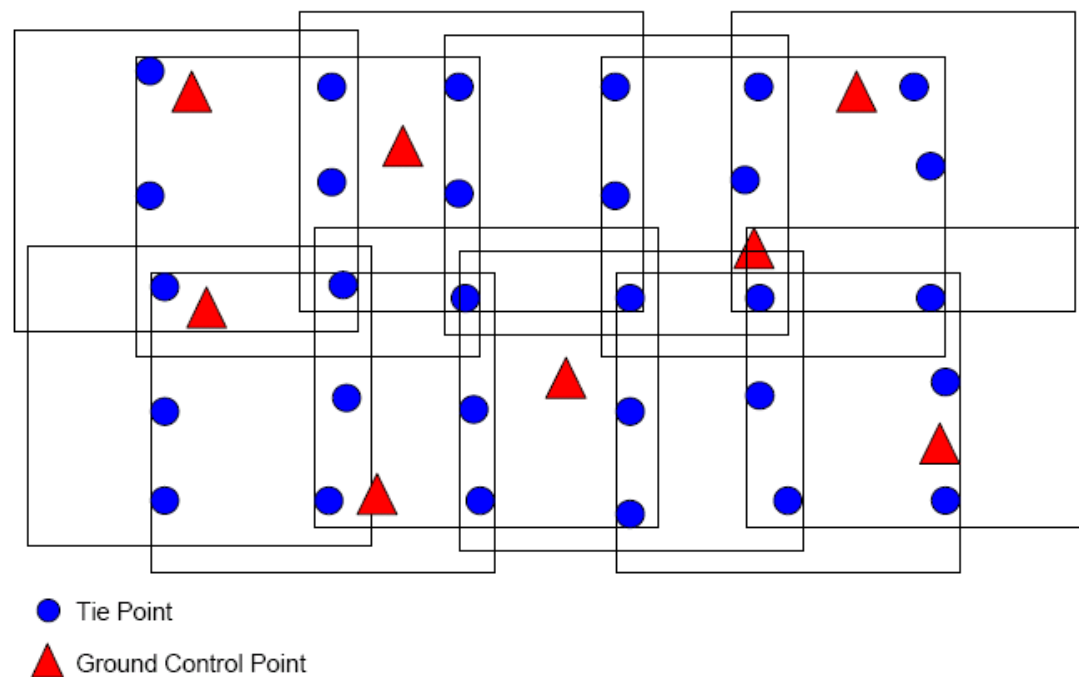
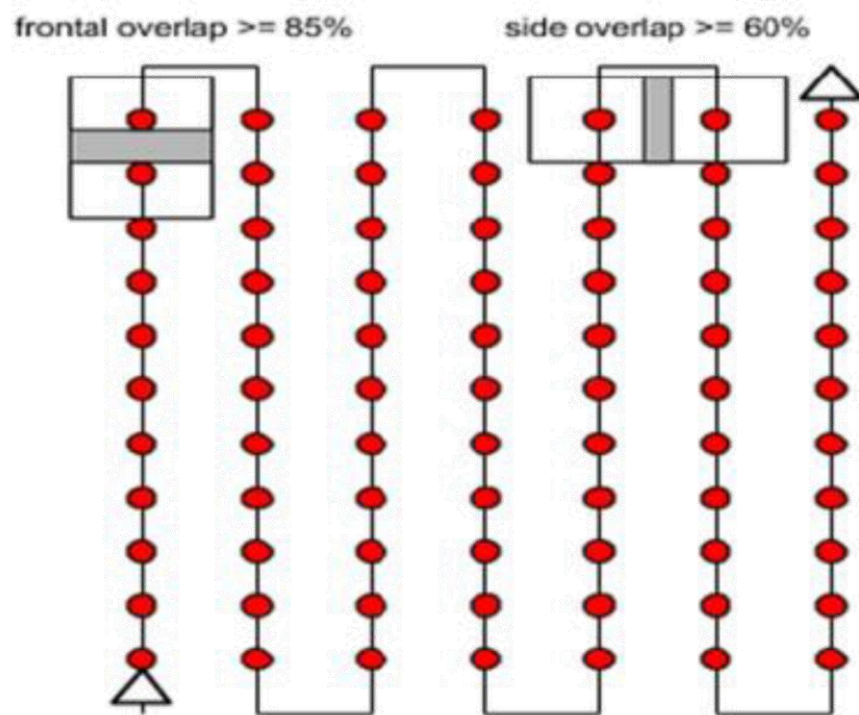


點雲

研究區環境資料調查

航線規劃

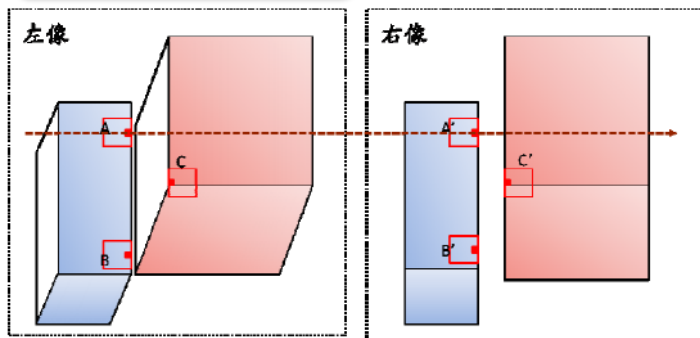
控制點與檢核點
布設



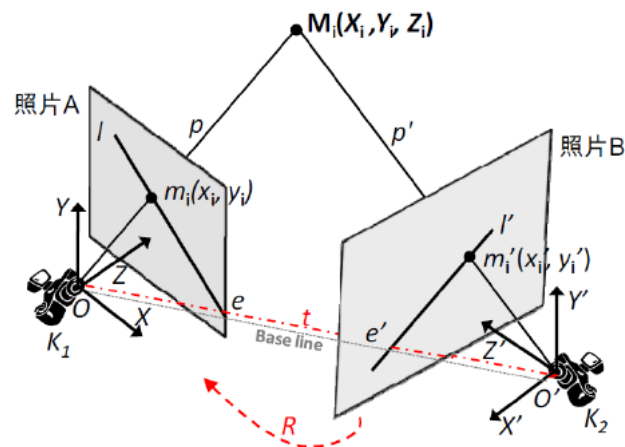
航拍影像後製處理

目標物多視角拍攝

1. 影像匹配



2. 獲取相機位置及參數

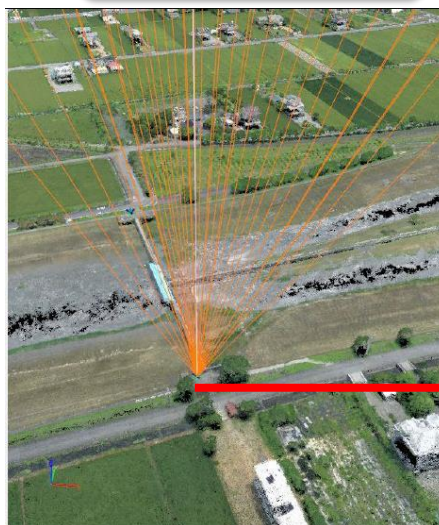


3. 三維重建

以多視幾何方法，計算光雲的三維座標



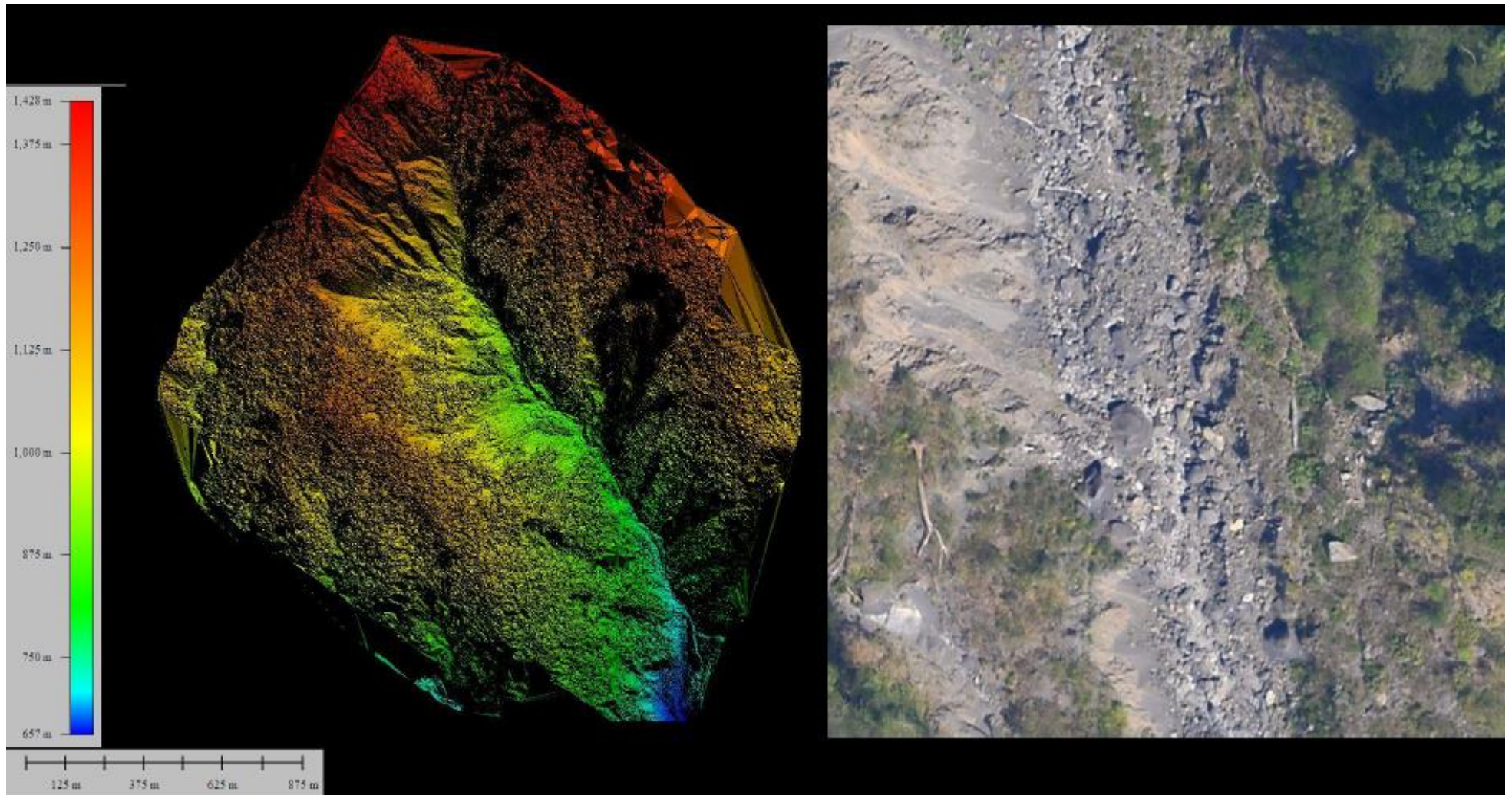
4. 坐標轉換



屬性							
▼ 選取							
A1 (3D 地面控制點(主控))							
S ₀ [像素]		0.3124					
理論誤差 S(X,Y,Z)[m]		(0.008, 0.008, 0.017)					
最大垂直距離 D(X,Y,Z)[m]		(-0.042, -0.291, -0.047)					
與地面控制點初始位置誤差 a[m]		(0.008, 0.010, -0.000)					
計算後位置[m]		(323188.421, 2730924.712, 24.0)					
標籤	類型	X [m]	Y [m]	Z [m]	精度 平面 [m]	精度 高程 [m]	
37	A1	3D ...	3231...	273...	24.0...	0.020	0.020

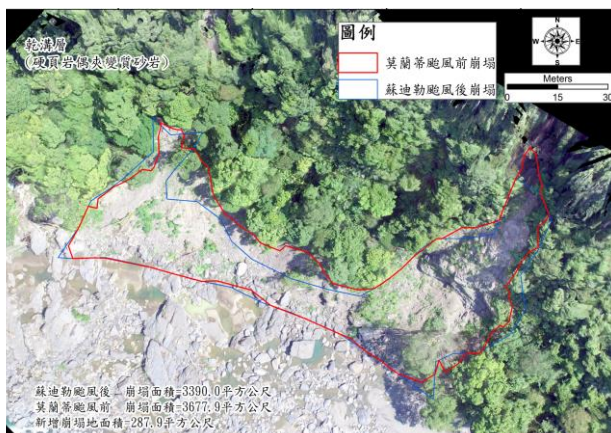
數值地形產製

5. 生成DSM與正射影像

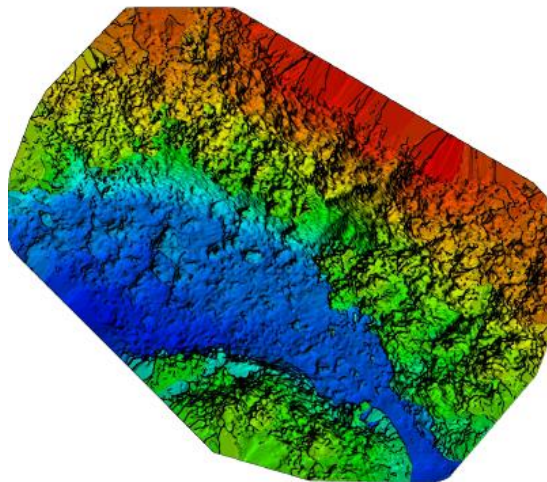


正射航照與數值地形產製流程

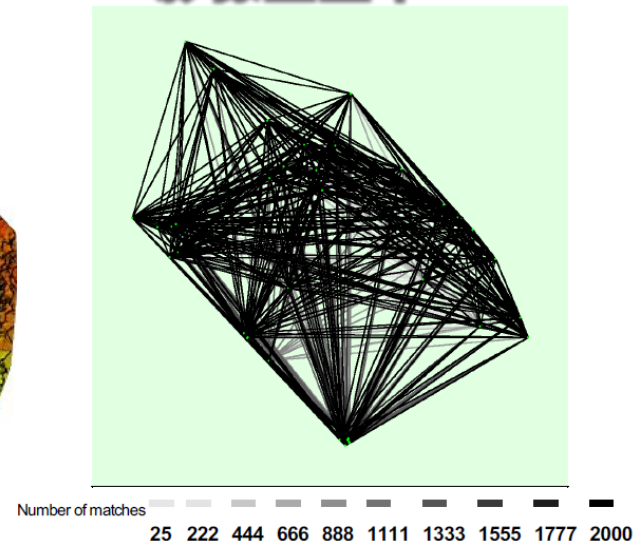
正射影像



數值地表模型



影像重疊率



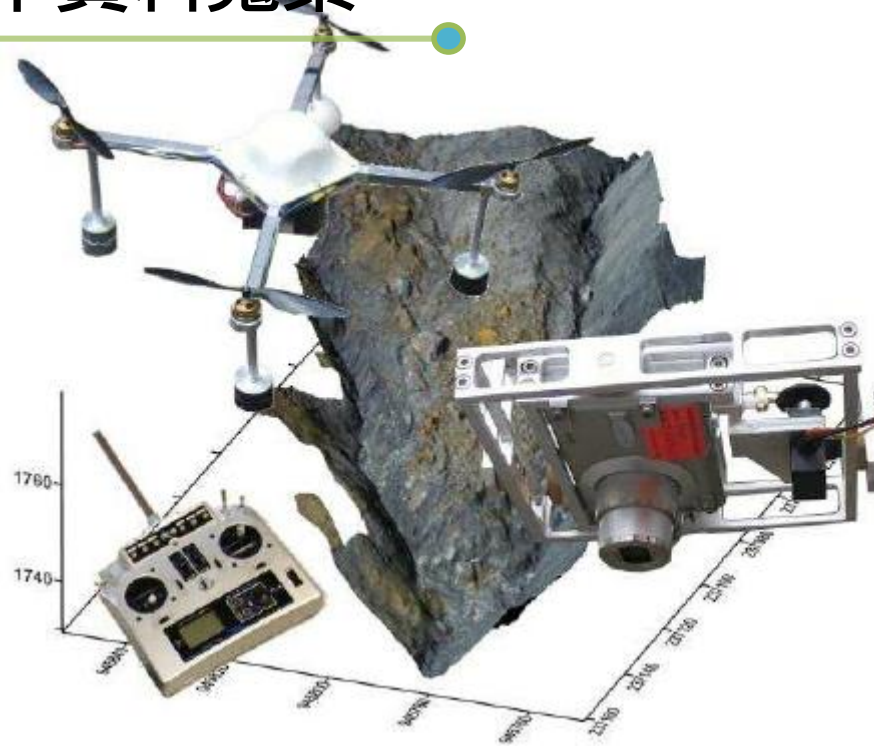
誤差檢核表

Mn Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X[%]	Geolocation Error Y[%]	Geolocation Error Z[%]
-	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.00	0.00
-6.00	-3.00	2.38	2.38	0.00
-3.00	0.00	38.10	42.86	42.86
0.00	3.00	54.76	54.76	57.14
3.00	6.00	4.76	0.00	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.000003	-0.000004	0.000000
Sigma [m]		1.457299	1.111909	0.825336



3

研究區域基本資料蒐集

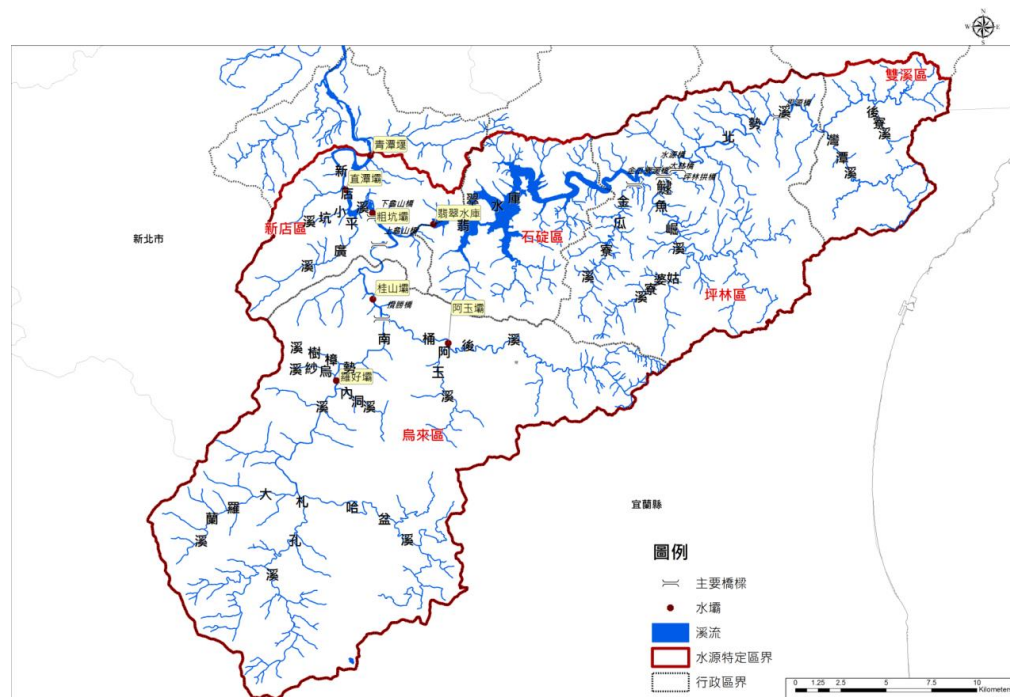


➤ 新店溪上游流域

- 研究範圍面積：690.74 km²
- 行政區:新北市新店區、烏來區
- 南勢溪平均年逕流量：
1,166百萬m³
- 北勢溪平均年逕流量：
990百萬m³

➤ UAV拍攝時程

- 於105年7月4日及10月3日進行兩次空拍調查
- 期間經歷尼伯特颱風(105/7/6-7/9)、莫蘭蒂颱風(105/9/12-9/15)、馬勒卡颱風(105/9/15-9/18)與梅姬颱風(105/9/25-9/28)



蘇迪勒颱風遙測影像蒐集

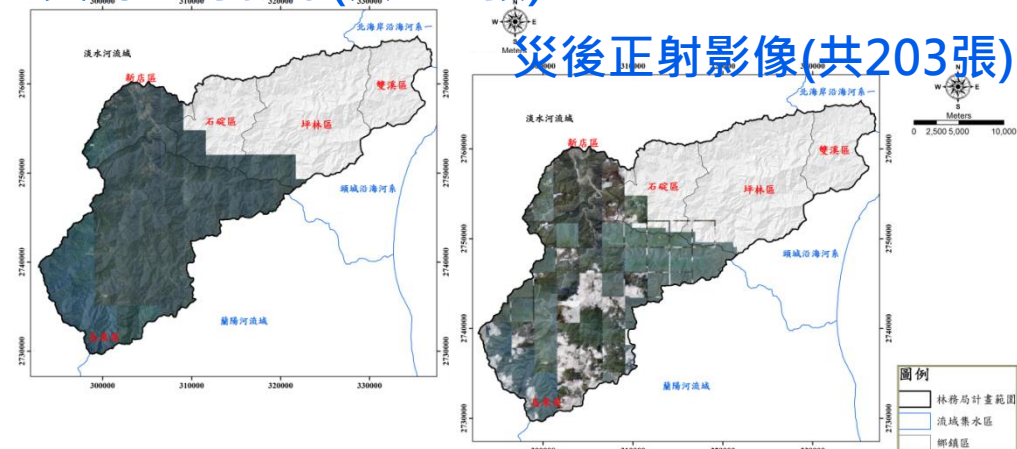
正射航照

事件前後	地面解像力	影像時間(年月日)(1/5,000圖幅數)	資料來源	涵蓋範圍
災前	0.25m×0.25m	20100113~20140324 (103幅)	農航所	南勢溪集水區
災後	0.25m×0.25m至 1.0m×1.0m	20150810~20151027 (203幅)		
105年 汛期前	0.25m×0.25m	20160601~20160604 (96幅)		南勢溪集水區
		20160620~20160718 (155幅)		北勢溪集水區
105年 汛期後	1.5m×1.5m	20161113 (5張)	農航所	南勢溪集水區
		20161204及20161213 (75張)		北勢溪集水區
		20161113 (88張)		

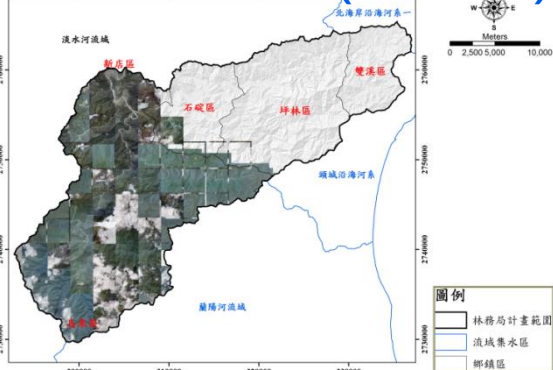
崩塌地判釋：

- 1.正射航照為主
- 2.衛星影像為輔
- 3.若還有雲遮、陰影等多光譜影像遮蔽，採Gooele衛星影像增補。

災前正射影像(共103張)

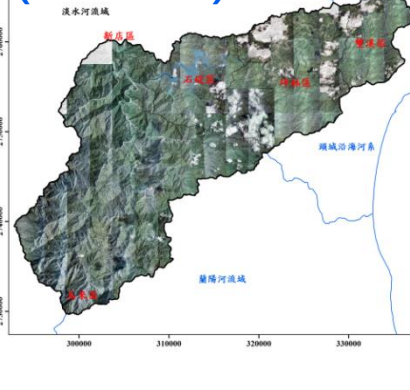


災後正射影像(共203張)



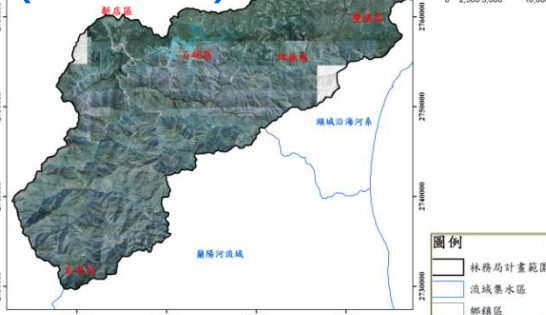
105年汛期前正射影像

(共251張)



105年汛期後正射影像

(共168張)

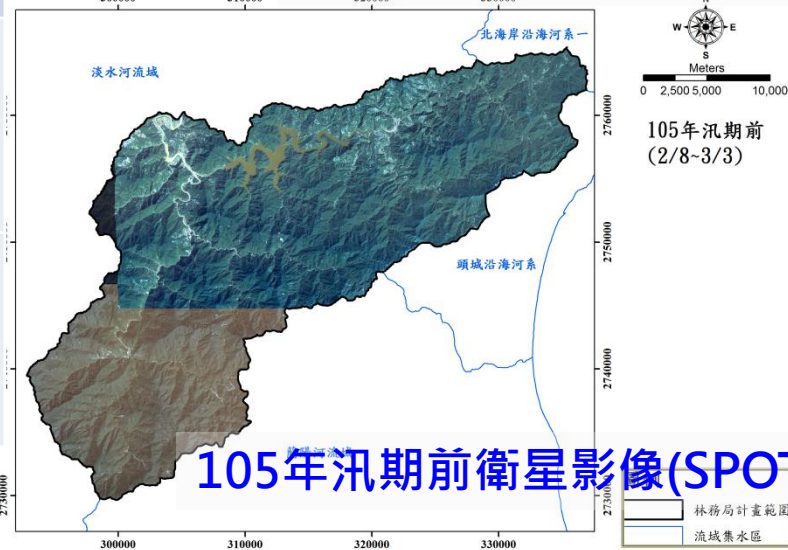


蘇迪勒颱風崩塌目錄建置

蒐集與建置崩塌地目錄流程

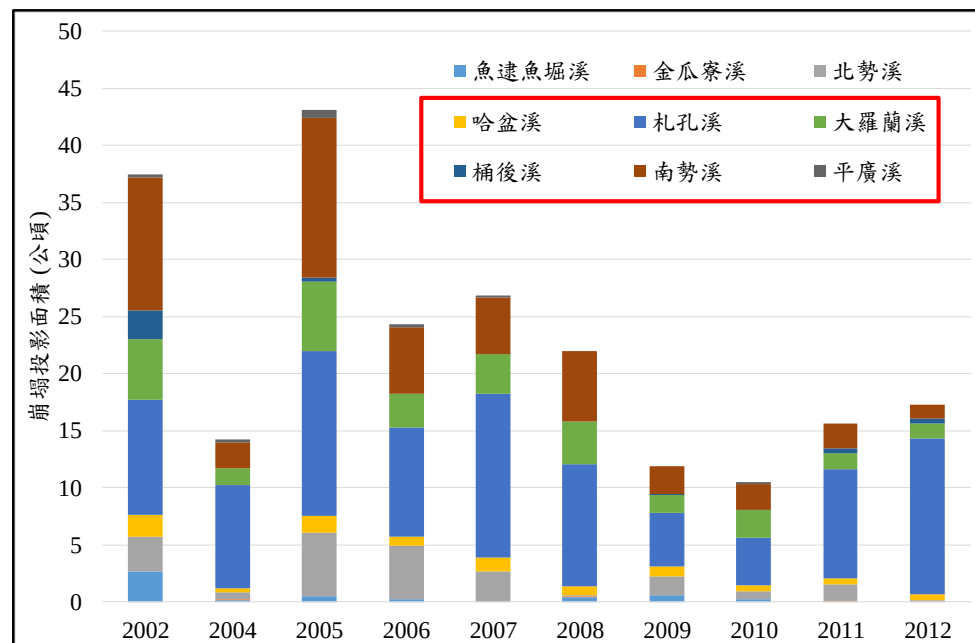
衛星影像 目的：彌補航空照片雲遮或陰影

事件 前後	影像 種類	地面 解像力	影像編號： (年月日_時分秒)	擷取影像 範圍	資料 來源	面積 (km ²)
災前	SPOT7	1.5m× 1.5m	20150215_020704	右下側無 雲遮區域	國立 中央 大學 太空 及遙 測研 究中 心	750 以上
	SPOT6		20150726_021600	左側無雲 遮區域		
	SPOT7		20150214_021332	其他區域 採此幅補 足		
災前	SPOT6		20160213_021412	南勢溪集 水區		750 以上
			20160208_020342	北勢溪集 水區		
105年 汛期前	SPOT6	1.5m× 1.5m	SPOT20160208a SPOT20160208b	北勢溪集 水區		750 以上
			SPOT20160303a SPOT20160303b	南勢溪集 水區		



歷年崩塌地蒐集

- 80%之崩塌地集中在南勢溪及其子集水區
- 104年蘇迪勒導致新店溪流域共212公頃崩塌面積



敏督利+艾利後崩塌地

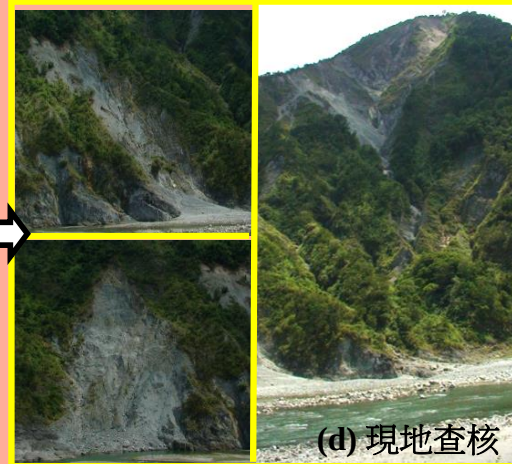
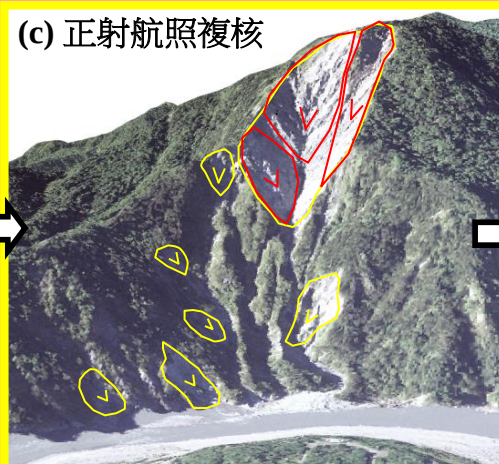
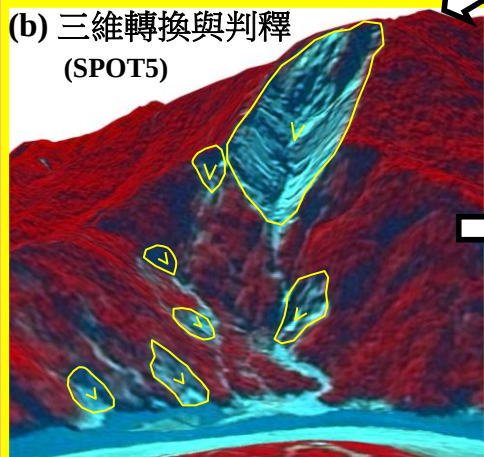
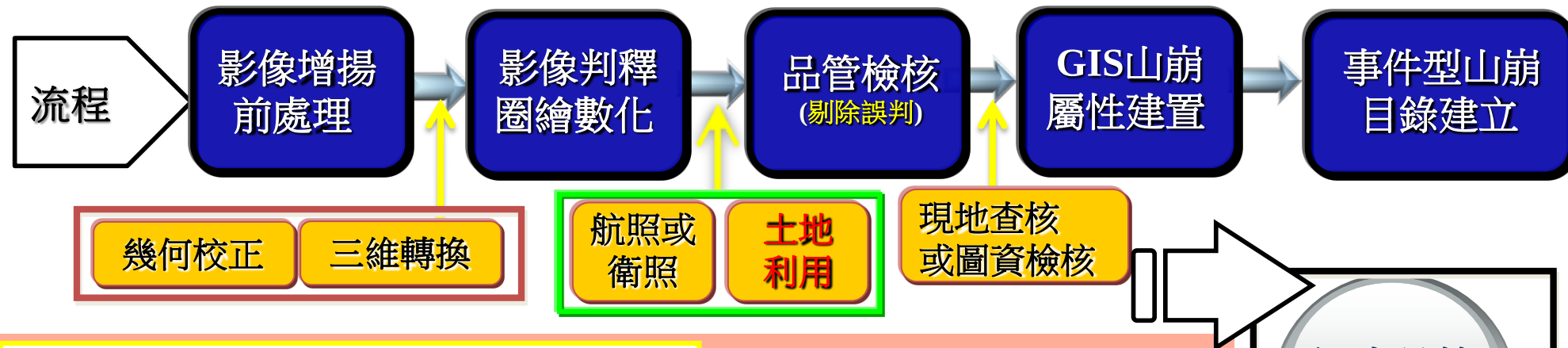


蘇迪勒後崩塌地



判釋崩塌地流程與方法

20

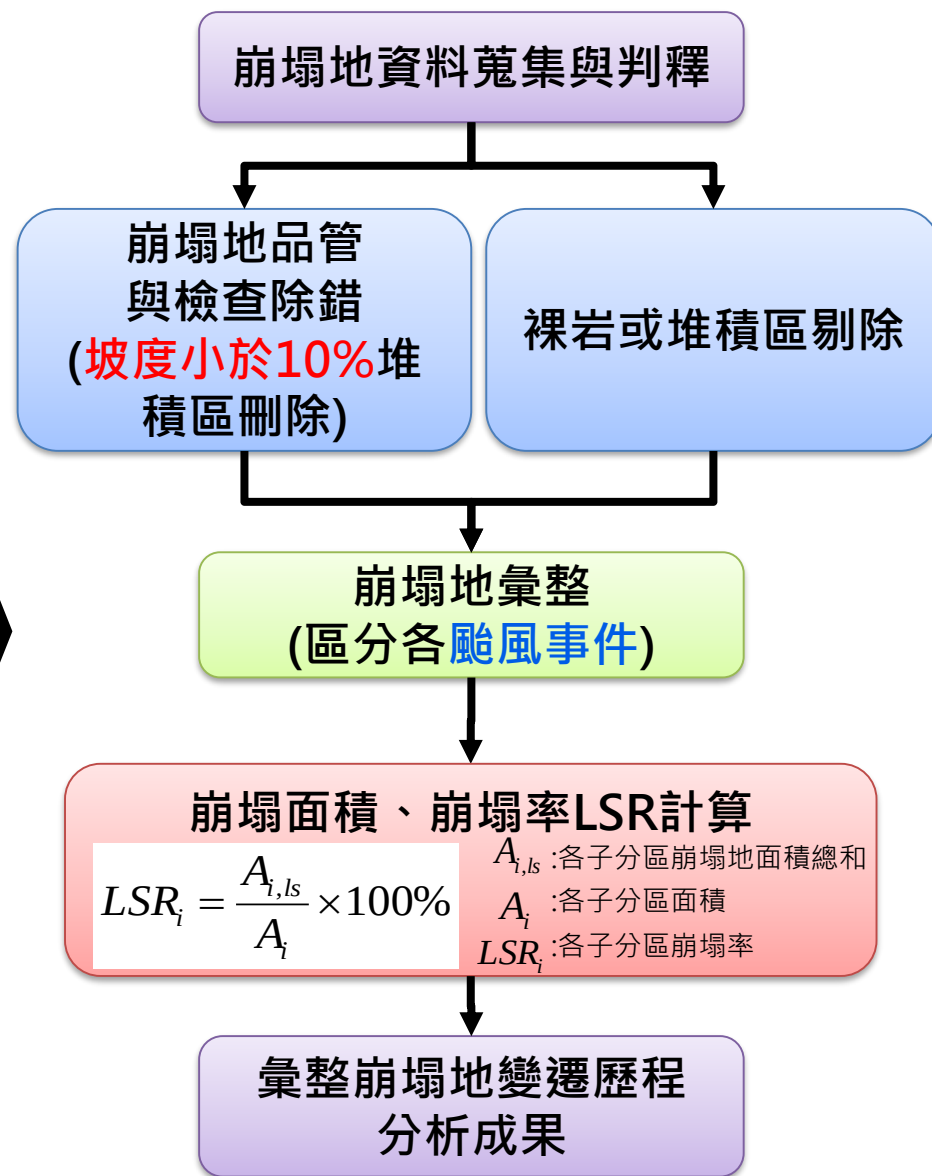
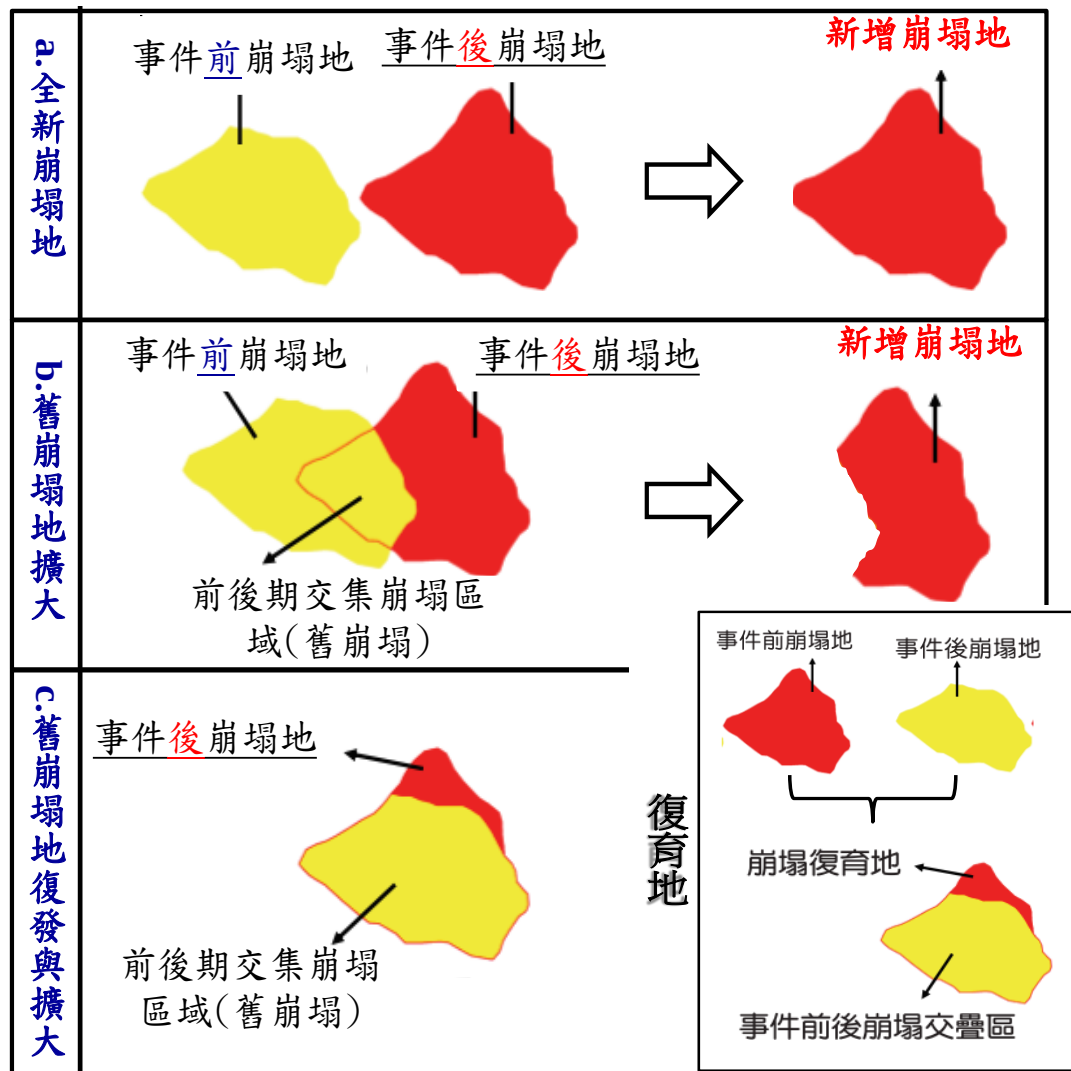


初步品管
(航照檢核)

二次品管
(刪除誤判)

圖資套疊
品管
(發生區確認)

崩塌地與復育地區分定義



現場空拍測量調查

22

拍攝案例崩塌地之篩選

蘇迪勒颱風後期崩塌地

國有林範圍

崩塌地面積0.3公頃以上 (共100處)

近岸崩塌、
河岸攻擊側崩塌優先

1. 近岸斜坡單元
2. 河岸攻擊側
3. 崩塌地面積大小排序
4. 河段變遷較高者

道路可行與空景通透

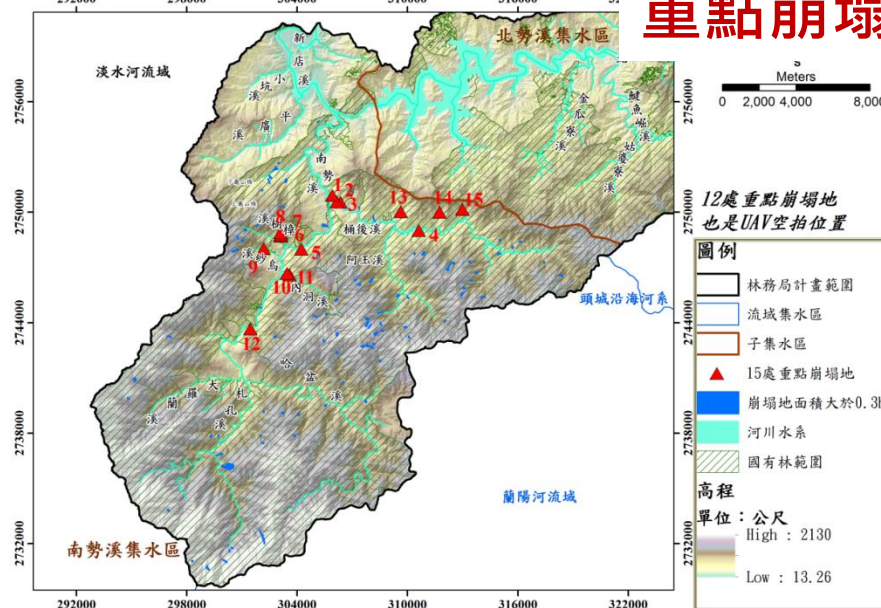
1. 人員可抵達附件1公里
2. 無密集電線桿或高壓電塔
3. 具空景通透之UAV起飛點

重點崩塌地篩選完成 (12處UAV空拍清單)

崩塌地面積0.3公頃以上



重點崩塌地

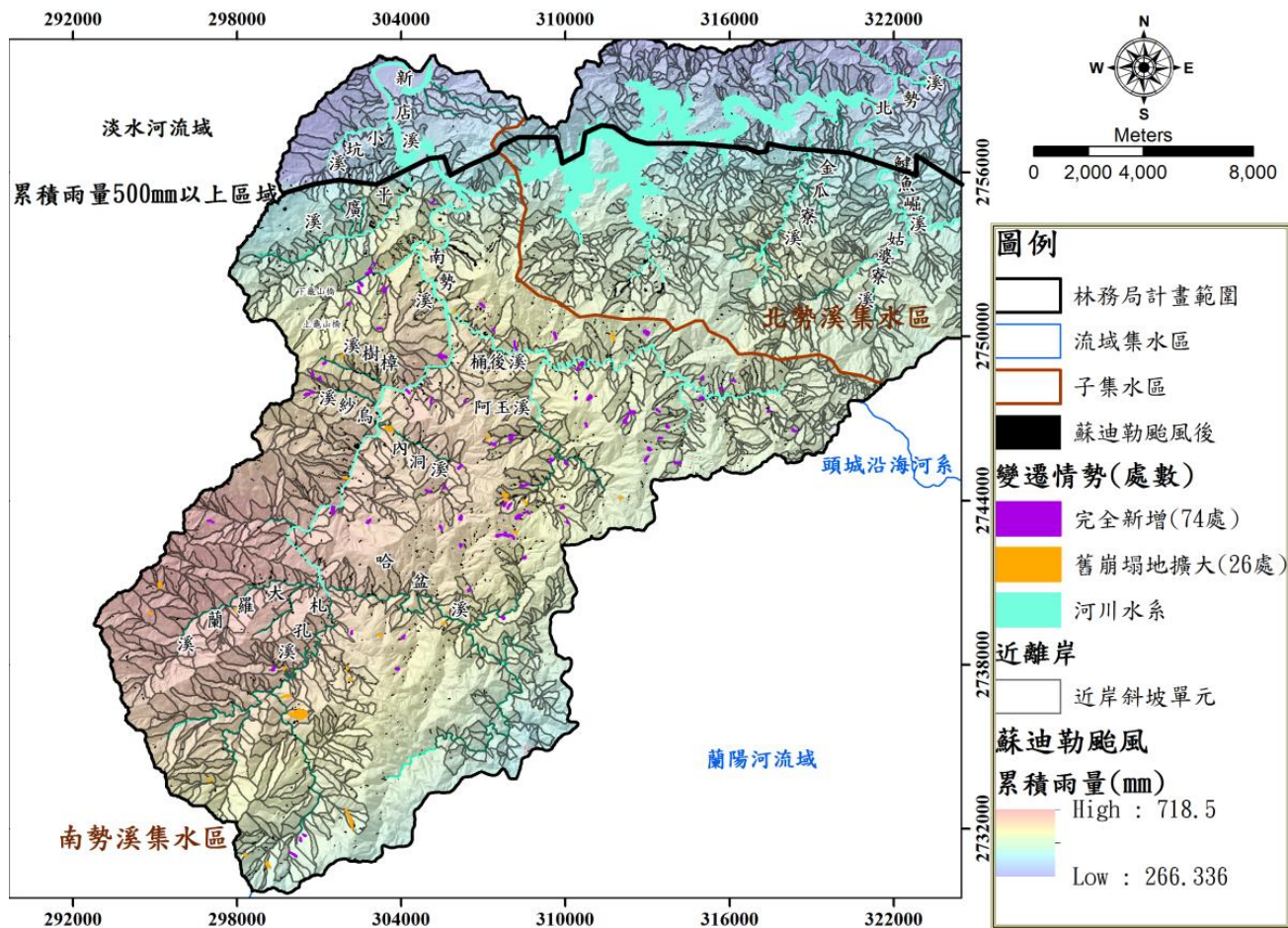


重點崩塌地變化歷程追蹤

選取崩塌面積大於0.1公頃且近岸崩塌地進行拍攝

23

拍攝案例崩塌地之篩選



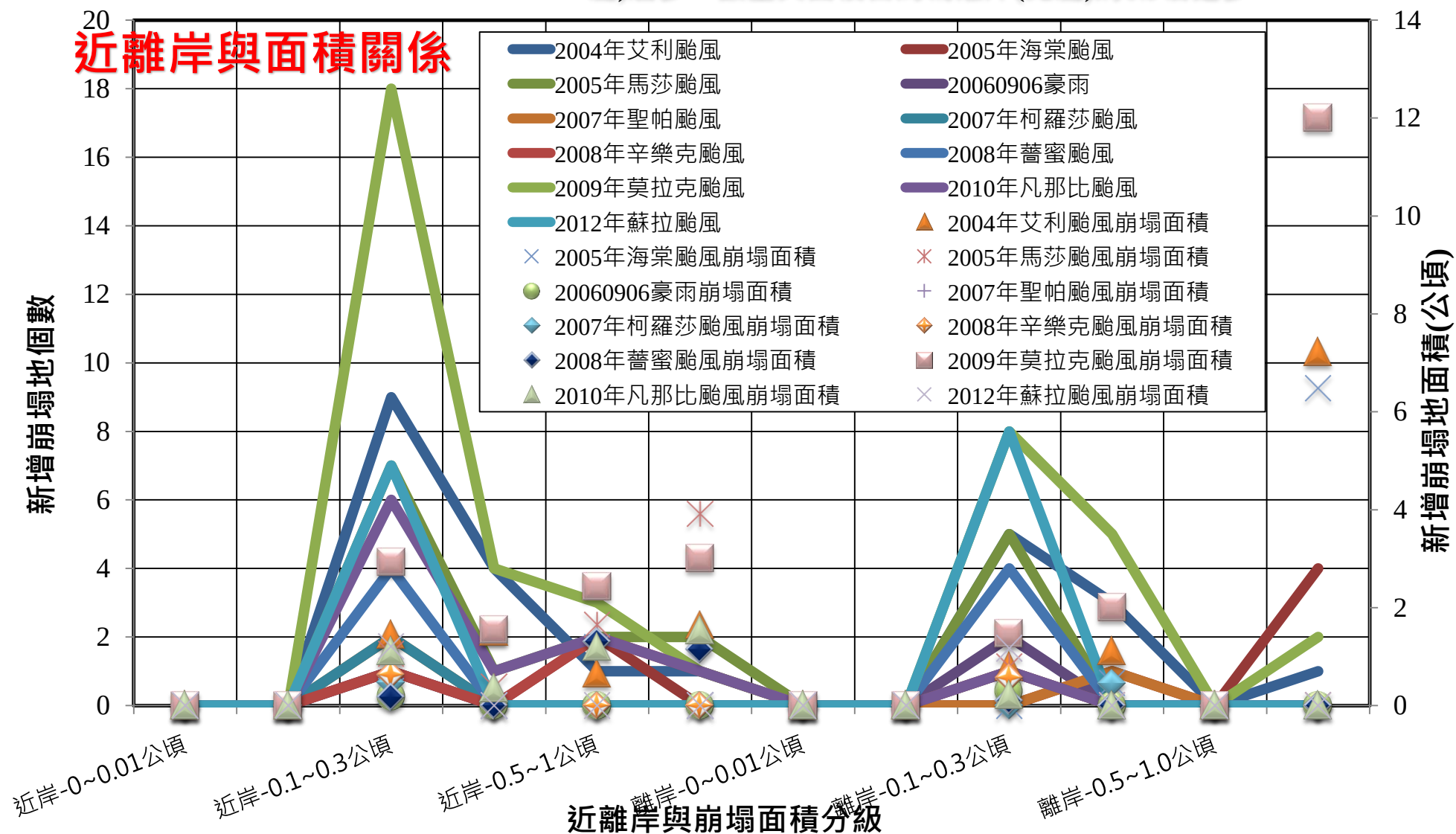
蘇迪勒颱風降雨誘發之新增崩塌地大多在累積雨量500mm以上區域，套疊近岸斜坡單元，其中**59處屬於近岸崩塌**，新增崩塌地主要集中在**南勢溪集水區支流桶後溪與阿玉溪**，以完全新增崩塌地為主；**內洞溪與札孔溪**則以舊崩塌地擴大為主。

崩塌地面積0.3公頃以上共計100處。

重點崩塌地變化歷程追蹤

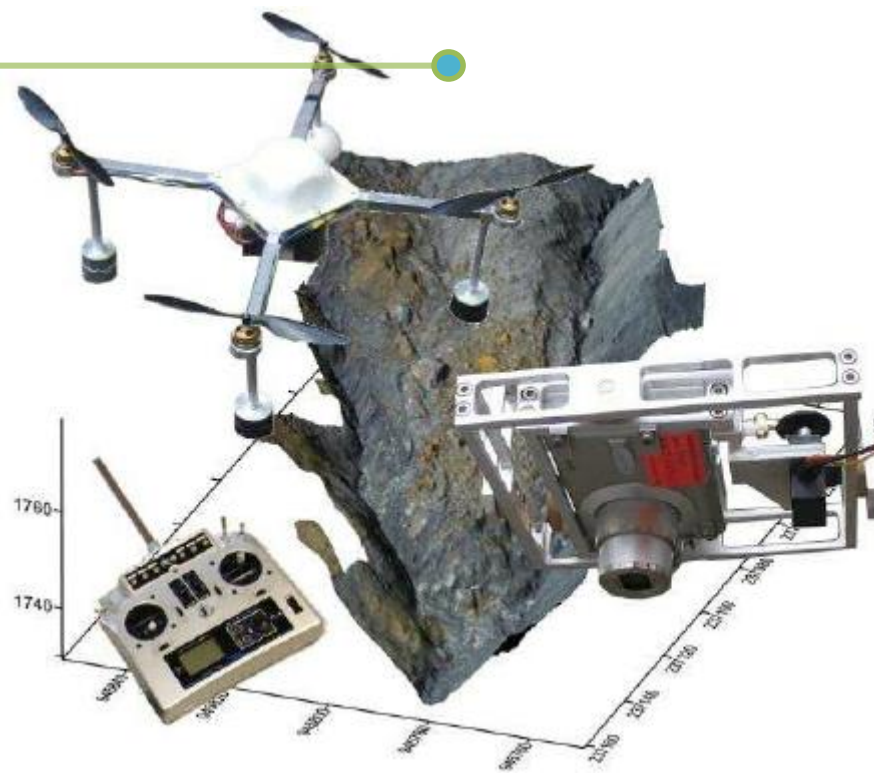
拍攝案例崩塌地之篩選

新增崩塌多集中在近岸崩塌，無論近岸或離岸面積多集中在0.1~0.3公頃的新增崩塌地。若以區位來說，歷史新增崩塌地以近岸者(共86處)居多，數量與面積皆約為離岸(52處)的1.5倍之多。



4

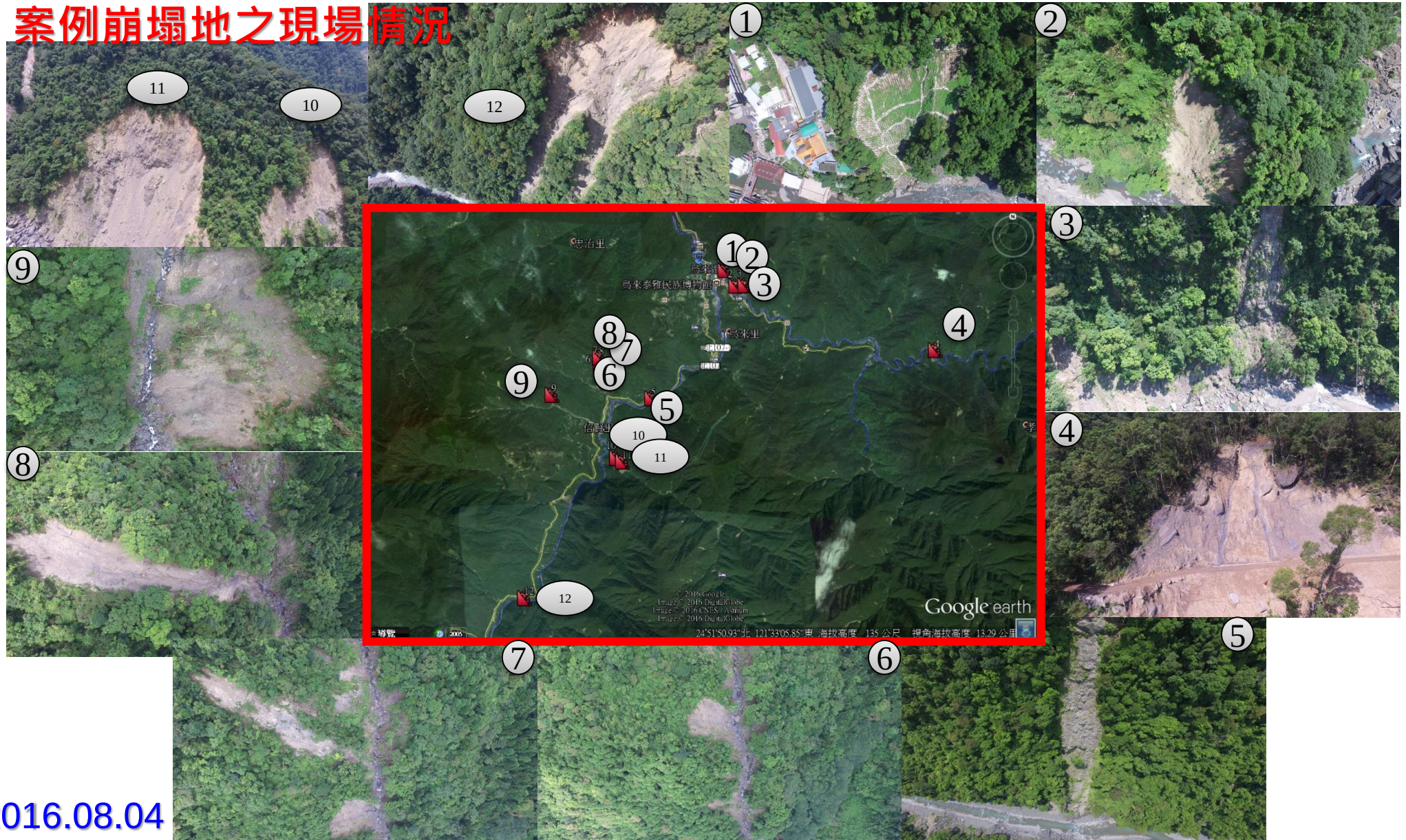
成果分析



案例崩塌地之篩選結果

崩塌地編號 (蘇迪勒颱風後期編號)	UAV 空拍編號	崩塌地名稱	TM2-97 X坐標	TM2-97 Y坐標	面積 (公頃)	新增崩塌地 (公頃)	子集水區名稱	林班編號
02_02_97224052_1879	LS_UAV_1	桶后溪上游0.3km右岸崩塌(烏來國中對岸)	305921.2	2750917.8	0.351	0.300	桶後溪下游	2
02_02_97224053_1625	LS_UAV_2	桶后溪上游0.7km右岸崩塌	306171.4	2750562.4	0.301	0.581	桶後溪下游	2
02_02_97224053_1482	LS_UAV_3	桶后溪上游1.0km右岸崩塌	306342.0	2750559.5	0.339	0.349	桶後溪下游	2
02_02_97224064_0787	LS_UAV_4	桶后溪上游8.0km左岸崩塌	310596.6	2749008.7	1.206	1.203	桶後溪	7
02_02_97224062_2158	LS_UAV_5	信賢吊橋上游1.0km南勢溪集水區主流右岸	304236.1	2747999.1	0.451	0.45	信賢	12
02_02_97224051_1229	LS_UAV_6	樟樹溪北支流0.3km右岸崩塌	303146.7	2748652.5	0.376	0.315	信賢	21
02_02_97224051_1229	LS_UAV_7	樟樹溪北支流0.4km右岸崩塌	303105.0	2748799.5	0.487	0.315	信賢	21
02_02_97224051_1229	LS_UAV_8	樟樹溪北支流0.6km右岸崩塌	303085.4	2748890.2	0.449	0.315	信賢	21
02_02_96221070_0900	LS_UAV_9	烏紗溪上游1.0km左岸崩塌	302174.8	2748021.1	0.322	0.324	信賢	21
02_02_97224061_1938	LS_UAV_10	內洞溪上游0.3km左岸崩塌	303464.1	2746673.5	0.632	0.603	屯鹿	14
02_02_97224061_1960	LS_UAV_11	內洞溪上游0.6km左岸崩塌	303612.0	2746622.6	1.568	1.325	屯鹿	14
02_02_97224071_1118	LS_UAV_12	下盆教會下游1.0km南勢溪集水區主流右岸崩塌	301472.1	2743638.7	1.194	1.192	屯鹿	17

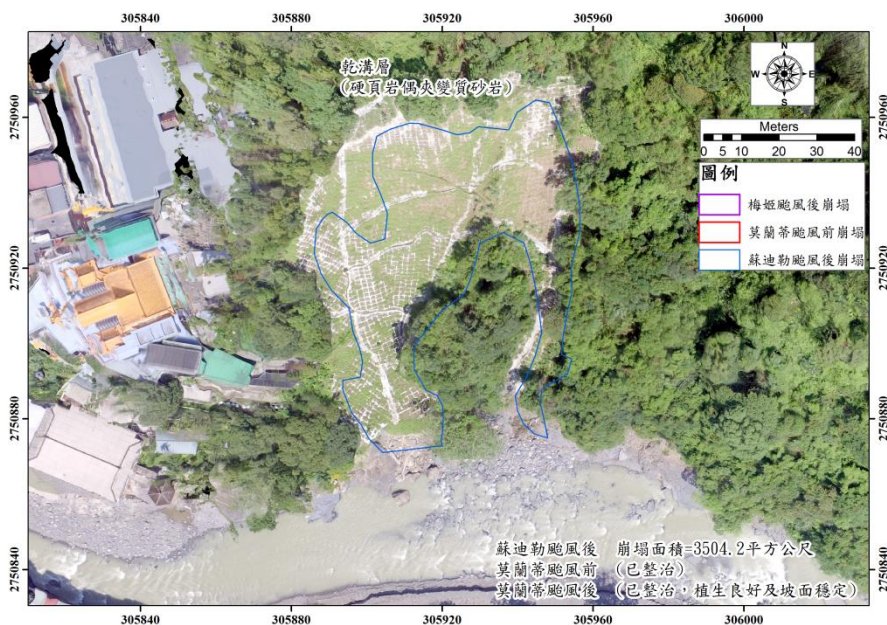
案例崩塌地之現場情況





1.桶後溪上游0.3km右岸崩塌(已完成整治)

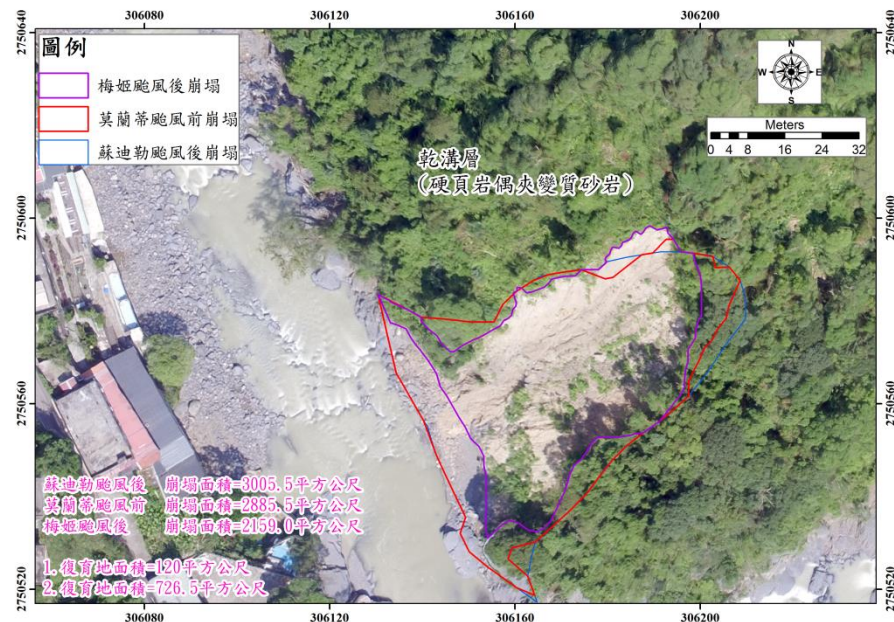
空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	3,504.2	乾溝層	硬頁岩偶夾變質砂岩	1.蘇迪勒颱風後崩塌地大於0.3公頃 2. 新竹林管處已完成整治 ，整治後復育情況良好
2	尼伯特颱風後	工程整治中			
3	梅姬颱風後	完成整治			



UAV空拍照片-崩塌地編號2

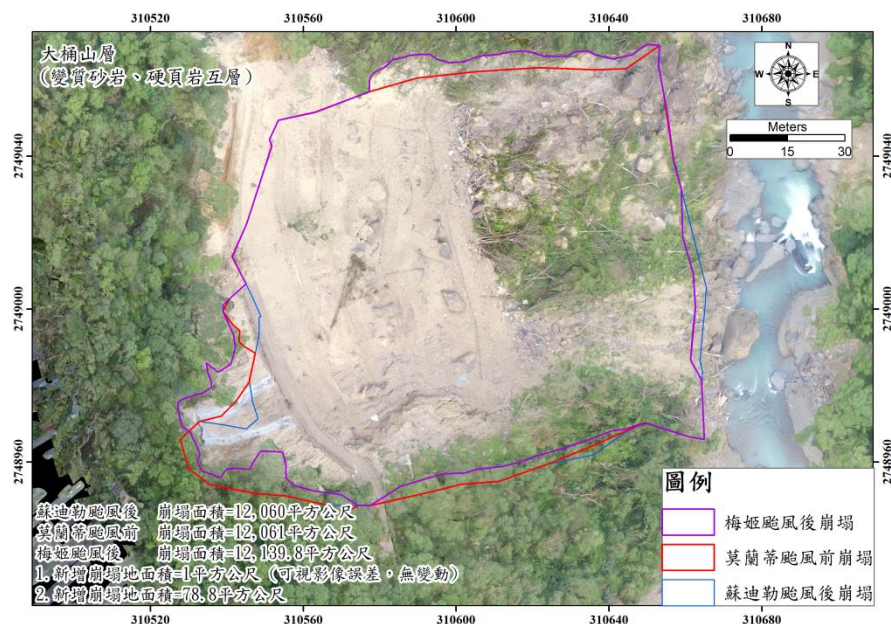
2.案例-桶後溪上游0.7km右岸崩塌(復育)

空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	3,005.5	乾溝層	硬頁岩偶夾變質砂岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地大於3,000平方公尺(0.3公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌略為復育，復育地面積達120.0平方公尺 3. 梅姬颱風後復育地面積為726.5平方公尺
2	尼伯特颱風後	2,885.5			
3	梅姬颱風後	2,159.0			



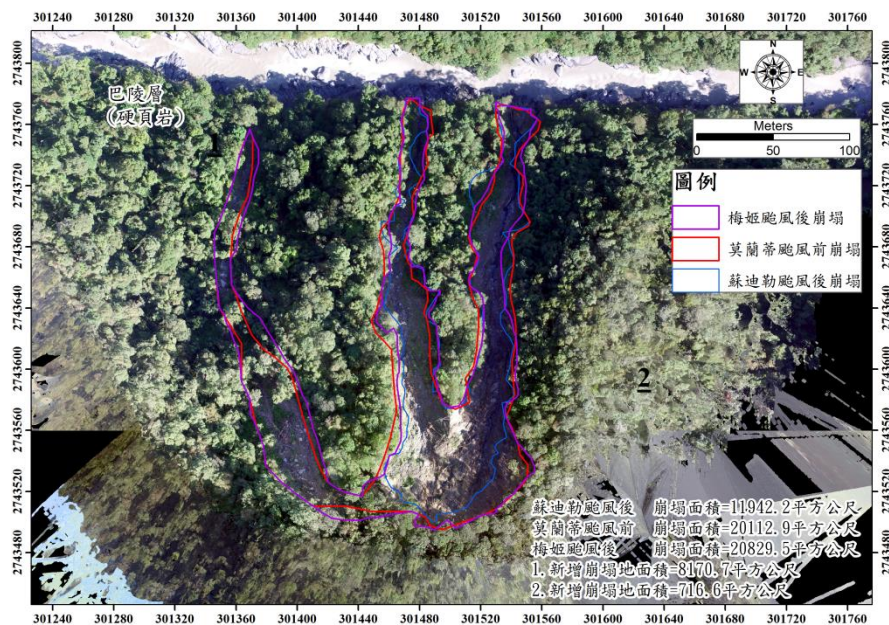
3. 案例-桶後溪上游8.0km左岸崩塌(無變化)

空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	12,060	大桶山層	變質砂岩 硬頁岩互層	1. 蘇迪勒颱風 後崩塌地達 12,060平方公尺 (1.2公頃) 2. 尼伯特颱風 後崩塌僅新增差異1平方公尺，可視為數化誤差， 顯示崩塌幾乎沒有變化 3. 梅姬颱風 後崩塌地面積 擴大為78.8平方公尺
2	尼伯特颱風後	12,061			
3	梅姬颱風後	12,139.8			



4.案例-下盆教會下游1.0km南勢溪主流右岸崩塌(擴大)

空拍數	代表颱風事件	崩塌面積(平方公尺)	地層	岩性	變遷情勢
1	蘇迪勒颱風後	16,863.1	巴陵層	硬頁岩	1. 蘇迪勒颱風後崩塌地達16,863平方公尺(1.69公頃) 2. 尼伯特颱風後崩塌大幅新增，新增崩塌地面積達3,249.8平方公尺 3. 梅姬颱風後復育地面積為716.6平方公尺
2	尼伯特颱風後	20,112.9			
3	梅姬颱風後	20,829.5			



案例崩塌地之變遷情勢

紅色：擴大崩塌、無變化；黃色：復育中
綠色：工程整治中；黑色：無變化

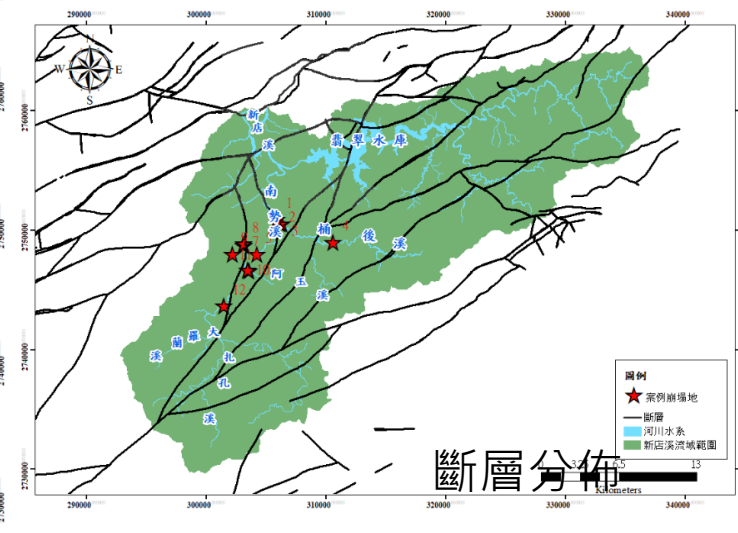
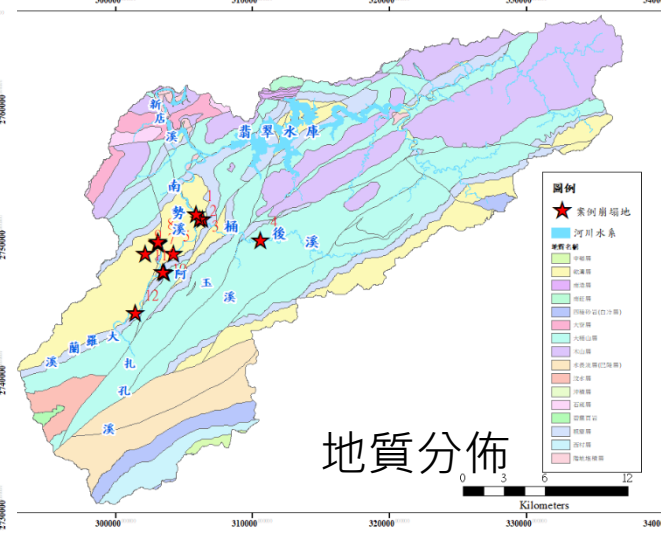
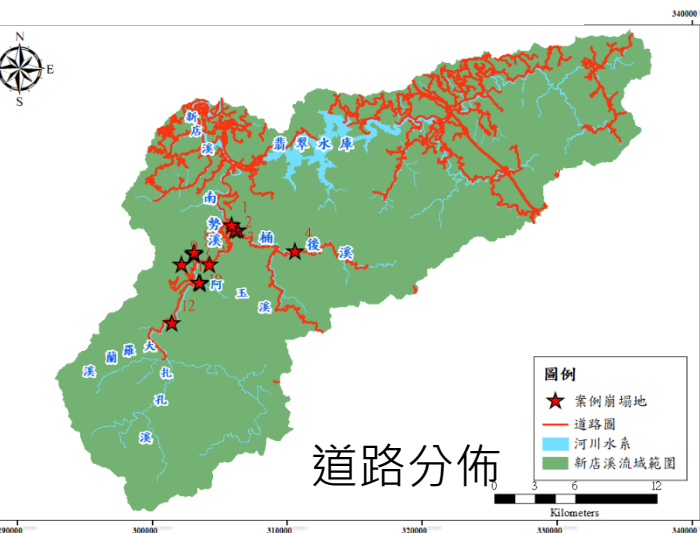
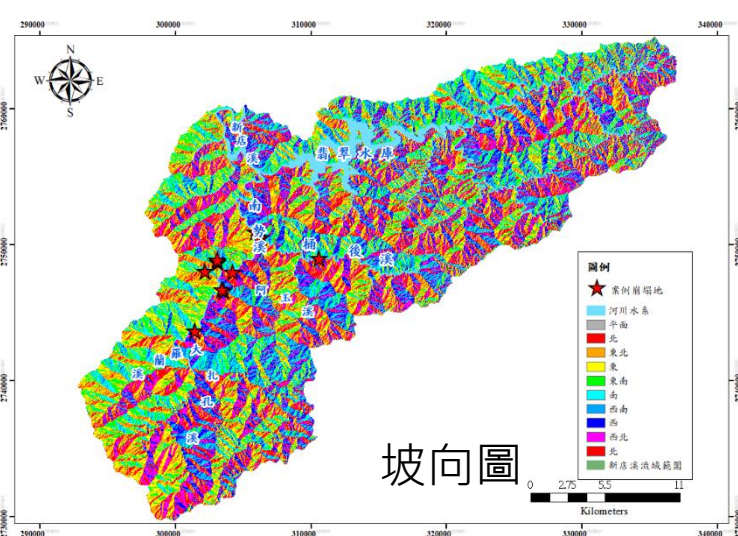
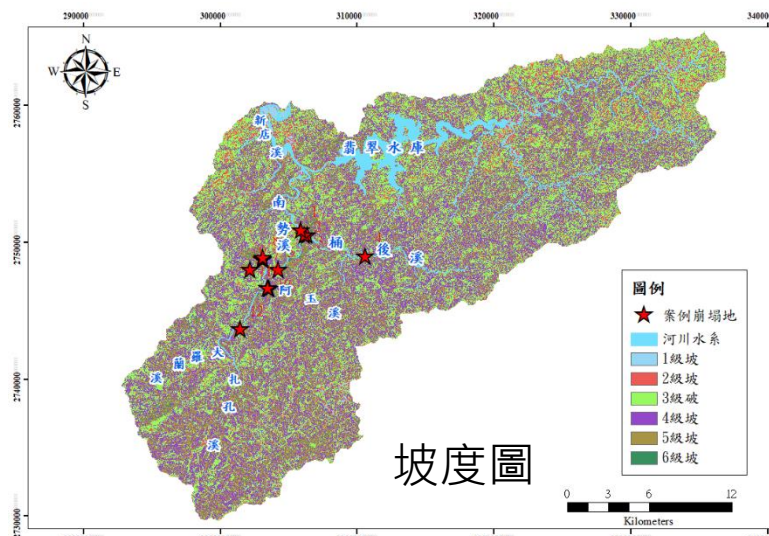
33

$$\text{崩塌變遷比率} = \frac{\text{各期崩塌新增或復育面積}}{\text{蘇迪勒颱風後崩塌地面積}} \times 100\%$$

UAV 空拍編號	崩塌地名稱	TM2-97 X 坐標	TM2-97 Y 坐標	崩塌類型	林班 號	蘇迪勒後 崩塌面積 (公頃)	莫蘭蒂後 崩塌面積 (公頃)	梅姬後 崩塌面積 (公頃)	蘇迪勒後至莫蘭蒂後崩塌變遷			莫蘭蒂後至梅姬後崩塌變遷		
									變遷 情勢	變 面 積 (公頃)	崩塌變遷 比率(%)	變遷 情勢	變 面 積 (公頃)	崩塌變遷 比率(%)
LS_UAV_1	桶後溪上游 0.3km 右岸崩塌(烏來國中對岸)	305921.2	2750917.8	岩屑崩滑	2	0.351	-	-	工程整治中	-	-	已完成工程整治	-	-
LS_UAV_2	桶後溪上游 0.7km 右岸崩塌	306171.4	2750562.4	岩屑崩滑, 順向坡	2	0.301	0.289	0.216	復育	-0.012	-3.99	復育	-0.073	-24.14
LS_UAV_3	桶後溪上游 1.0km 右岸崩塌	306342.0	2750559.5	岩屑崩滑	2	0.339	0.368	0.384	舊崩塌地擴大	0.029	8.49	舊崩塌地擴大	0.016	4.65
LS_UAV_4	桶後溪上游 8.0km 左岸崩塌	310596.6	2749008.7	岩屑崩滑	7	1.206	1.206	1.214	幾近無變遷	0.000	0.01	舊崩塌地擴大	0.008	0.65
LS_UAV_5	信賢吊橋上游 1.0km 南勢溪主流右岸	304236.1	2747999.1	岩屑崩滑	12	0.451	0.473	0.498	舊崩塌地擴大	0.022	4.88	舊崩塌地擴大	0.026	5.77
LS_UAV_6	樟樹溪北支流 0.3km 右岸崩塌	303146.7	2748652.5	岩屑崩滑, 落石	21	0.376	0.36	0.286	復育	-0.016	-4.38	復育	-0.073	-19.49
LS_UAV_7	樟樹溪北支流 0.4km 右岸崩塌	303105.0	2748799.5	岩屑崩滑, 落石	21	0.487	0.492	0.426	舊崩塌地擴大	0.005	1.04	復育	-0.066	-13.57
LS_UAV_8	樟樹溪北支流 0.6km 右岸崩塌	303085.4	2748890.2	岩屑崩滑, 落石	21	0.449	0.245	0.286	復育	-0.204	-45.50	復育	-0.167	-37.18
LS_UAV_9	烏紗溪上游 1.0km 左岸崩塌	302174.8	2748021.1	岩屑崩滑	21	0.322	0.356	0.371	舊崩塌地擴大	0.034	10.67	舊崩塌地擴大	0.018	5.64
LS_UAV_10	內洞溪上游 0.3km 左岸崩塌	303464.1	2746673.5	岩屑崩滑, 落石	14	0.632	0.682	1.645	舊崩塌地擴大	0.050	7.92	復育	-0.012	-1.82
LS_UAV_11	內洞溪上游 0.6km 左岸崩塌	303612.0	2746622.6	岩屑崩滑	14	1.568	1.6	2.083	舊崩塌地擴大	0.032	2.01	舊崩塌地擴大	0.046	2.92
LS_UAV_12	下盆教會下游 1.0km 南勢溪主流右岸崩塌	301472.1	2743638.7	岩屑崩滑, 落石	17	1.686	2.011	0.216	舊崩塌地擴大	0.325	19.28	舊崩塌地擴大	0.072	4.25

案例崩塌地之變遷情勢

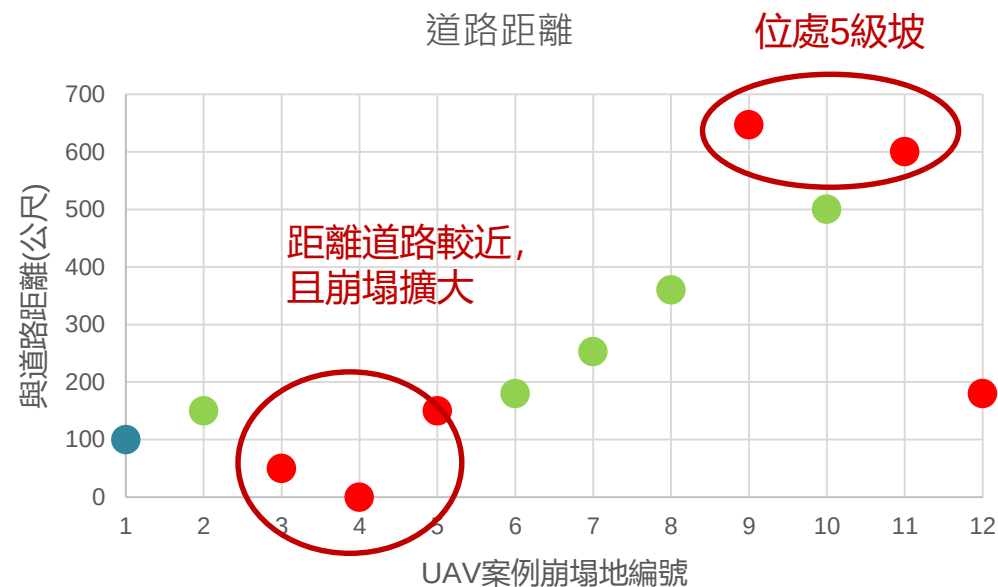
- 將案例崩塌地位置套疊至坡度、坡向、道路、地質、斷層分佈圖
- 統計結果顯示受坡度、道路開發影響及坡向所影響，其他因子的關係較小



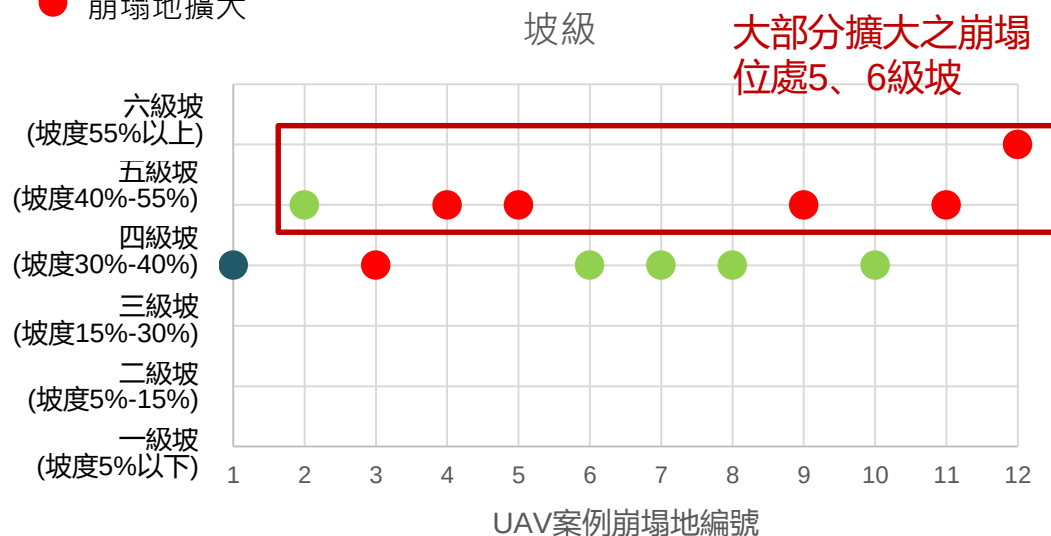
案例崩塌地之變遷情勢

35

- 統計結果，崩塌地之變化受道路距離與坡度的影響較大，其他因子(坡向、斷層距離、地質)的關係較小
- 部分擴大之崩塌地與道路距離(UAV3、4、5)較近，顯示受到一定程度的人為干擾
- 坡度方面，崩塌地呈現復育的案例崩塌地皆為四級坡，呈現擴大的崩塌地分佈在五級坡與六級坡(坡度達40%以上)。



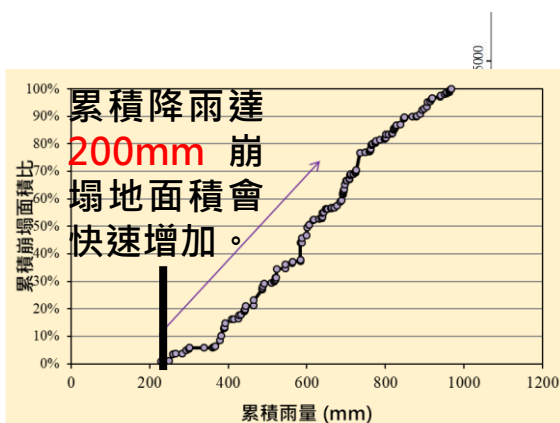
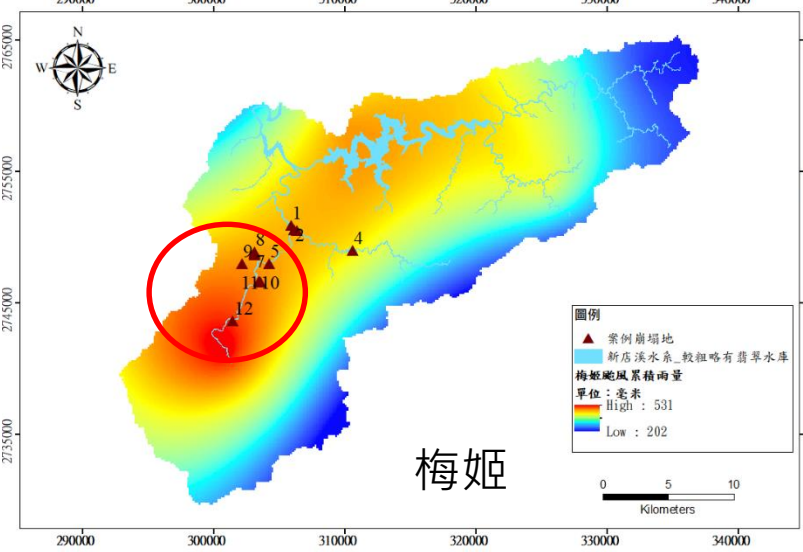
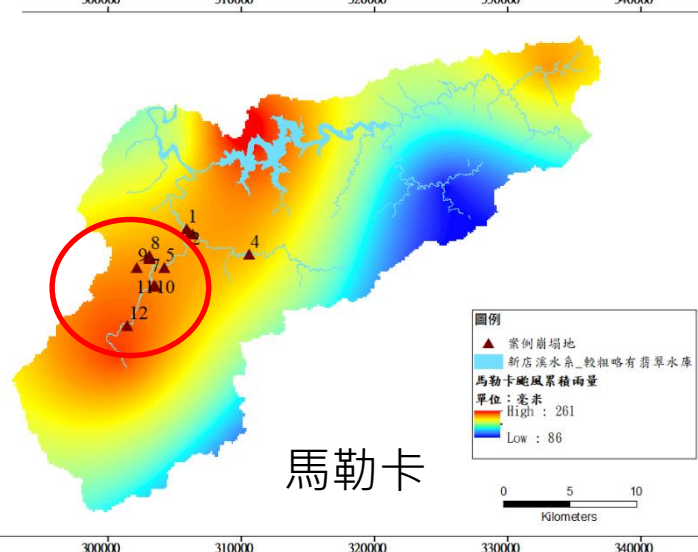
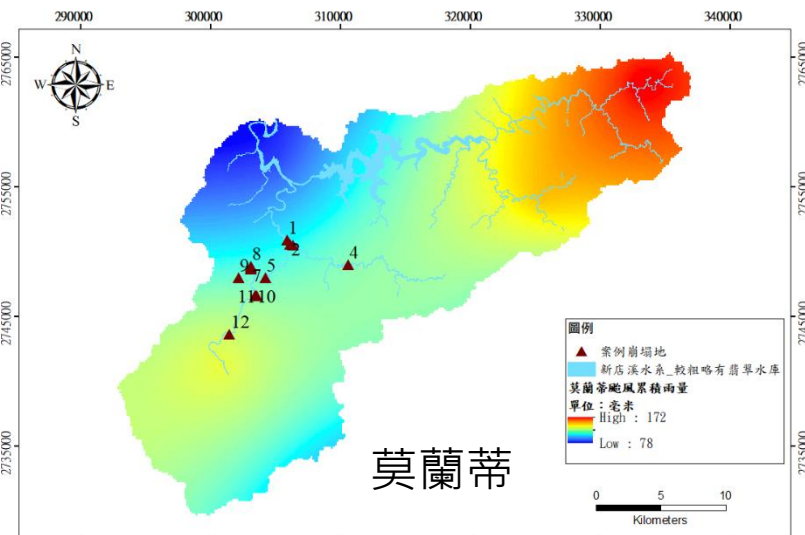
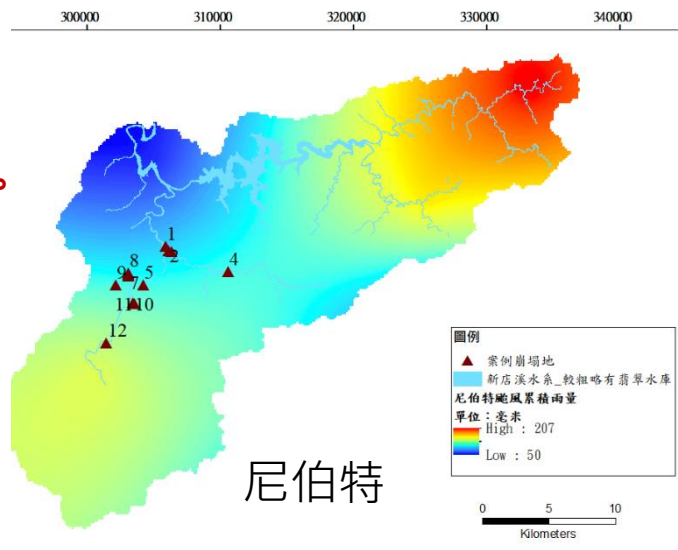
- 已進行治理之崩塌地
- 崩塌地復育
- 崩塌地擴大



案例崩塌地之變遷情勢

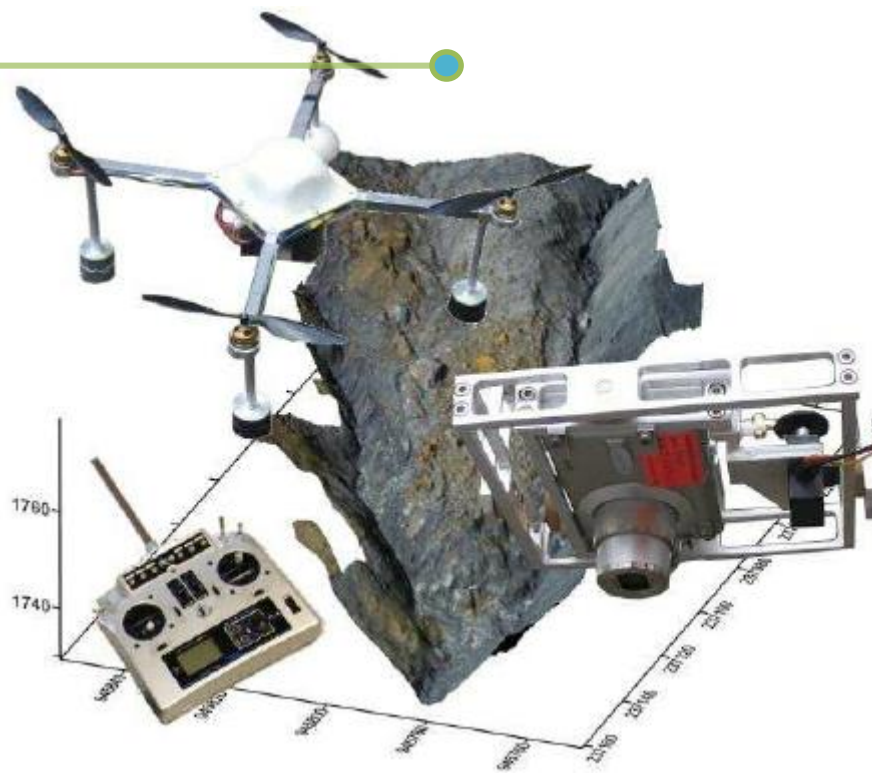
36

- 將案例崩塌地位置套疊至各場颱風的降雨累計圖，可發現崩塌地之復育與颱風降雨強度有關。
- 南勢溪、內洞、烏砂溪之崩塌地(UAV3、4、5、9、10、12)在馬勒卡與梅姬颱風事件後有擴大現象出現。據分析，相關崩塌地在這些颱風事件皆有超過200mm的累積雨量。



5

結論與討論



正射影像判釋結果

- 從影像結果可得知復育崩塌地多為岩屑崩滑、支流下游處之近岸崩塌、約莫0.5公頃之小型崩塌且坡度較為平緩之區位為主。
- 12處空拍崩塌地由蘇迪勒颱風後至梅姬颱風後，顯示崩塌地擴大及復育深受降雨強度所影響（如下盆教會下游崩塌地受馬勒卡與梅姬颱風影響而擴大），可知蘇迪勒颱風對南勢溪誘發新增崩塌地影響甚巨。
- 桶後溪上游0.3km右岸崩塌在經過工程整治，其復育情況良好，在幾場次的颱風降雨事件，仍有明顯復育之情形。



桶後溪上游0.3km右岸崩塌在經過治理工程後之境況
(2018年7月攝)

利用UAV技術，調查山坡崩塌復育情形

- 可在災害時提供即時災情資訊，進行崩塌範圍劃定、崩塌面積與土方量之估算，提供相關單位後續救災復原之參考，平時亦可有效建置環境變遷資訊
- 提供救災資訊參考，災後進行土石流災情模擬製作及展示，其成果可成為在未來解說的傳媒工具
- 建議可建立長期性之UAV服務團隊之區域聯防機制，能在災害發生後迅速出動拍攝，加快救災進度。



簡報結束。

