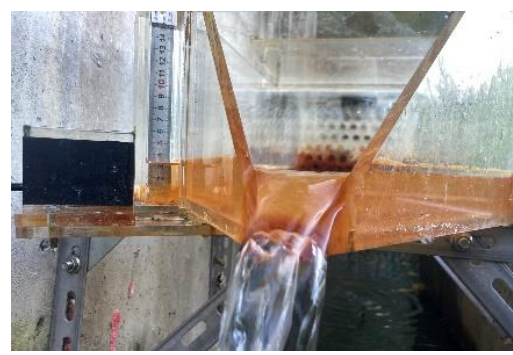
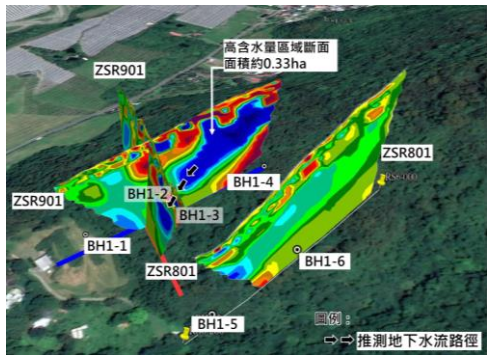




**立邦工程技術顧問有限公司 王婉兮技師**  
**2023年11月21日**



# 研究動機

- 花蓮縣-卓溪鄉-D010(卓溪)屬48處優先辦理潛勢區；卓溪部落長久以來受土石流與潛在崩塌的威脅，本專題討論分享乃是藉由長達6年的調查與監測工作，掌握潛在崩塌的致災因子，導入小而美的地下排水工程，減降邊坡不安定因子的威脅，利用科學驗證量化防減災成效，並搭配軟體防災策略、嘗試減災新路徑，落實崩塌風險規避，帶領大家近距離窺探黑熊的故鄉卓溪。



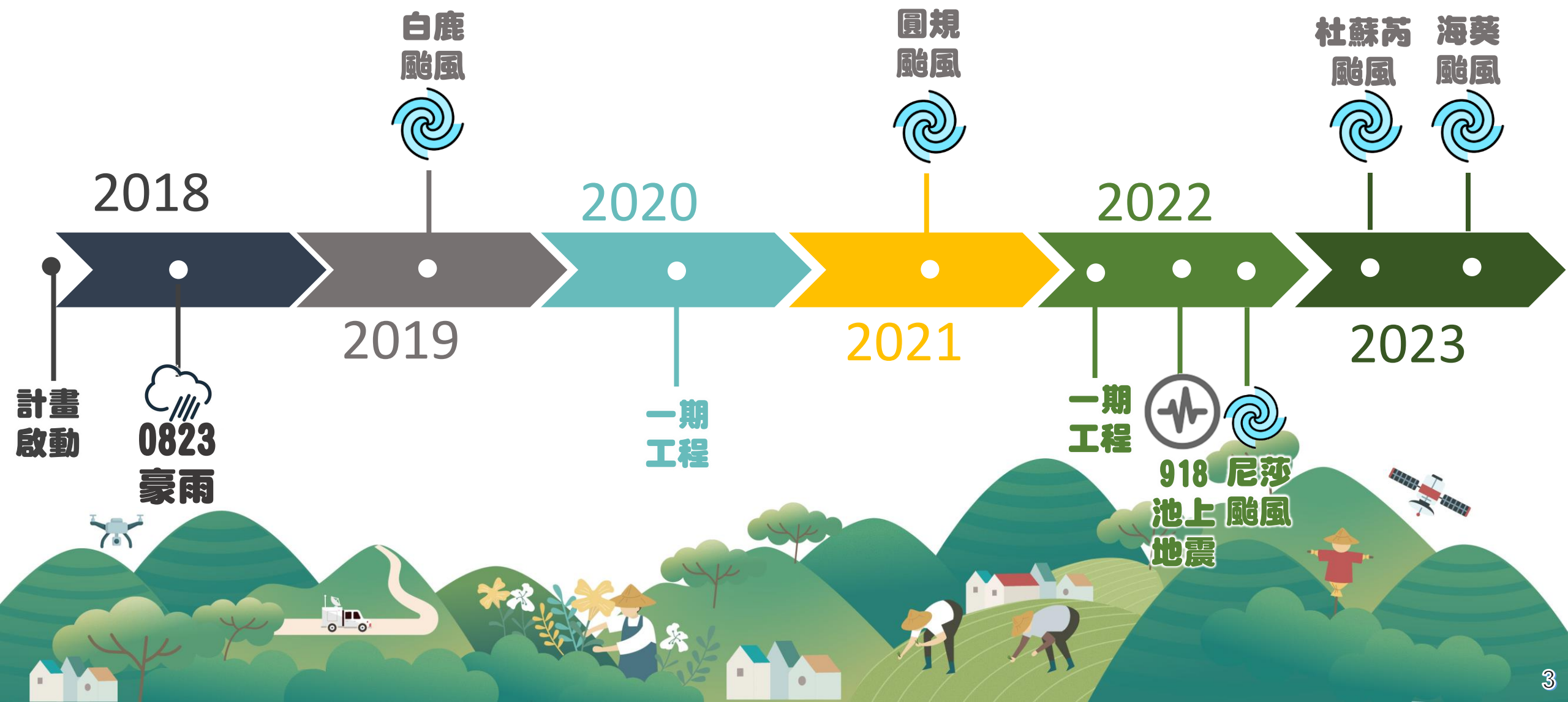
| 花蓮縣-卓溪鄉-D010(卓溪) | 保全聚落    | 滑動塊體 | 面積(ha) | 地質           | 邊坡傾向傾角  | 不連續面位態       | 主要滑動機制 | 可能滑動面深度(m) | 地下水位(m)地表下 | 邊坡活動性      |
|------------------|---------|------|--------|--------------|---------|--------------|--------|------------|------------|------------|
|                  | 卓溪村5~7鄰 | A    | 5.3    | 岩屑層、板岩偶夾變質砂岩 | S53E/22 | 劈理面:N30W/33N | 岩屑層潛變  | 11~35      | 10.0~44.3  | 準確定變動~確定變動 |



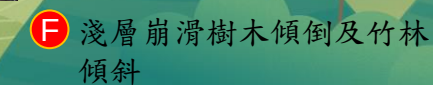
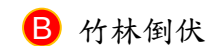
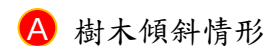
# 坡地災害特性與崩塌風險



# 重要事件時間軸線







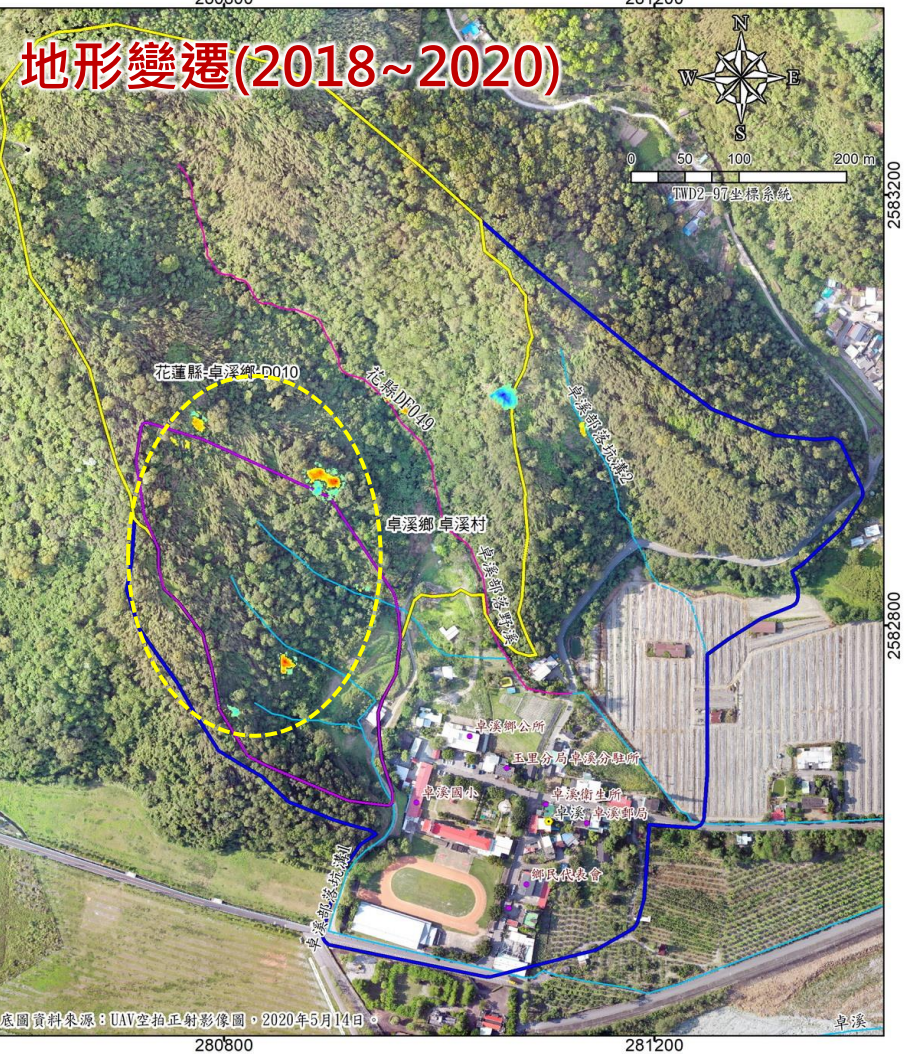




280800

281200

## 地形變遷(2018~2020)

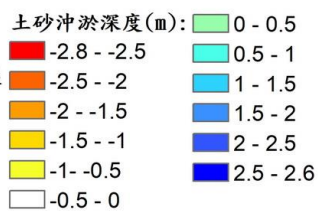
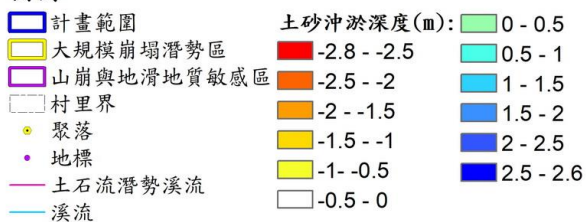


底圖資料來源：UAV空拍正射影像圖。2020年5月14日。

索引圖

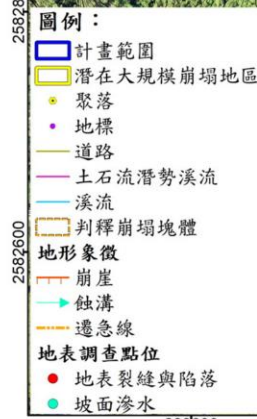
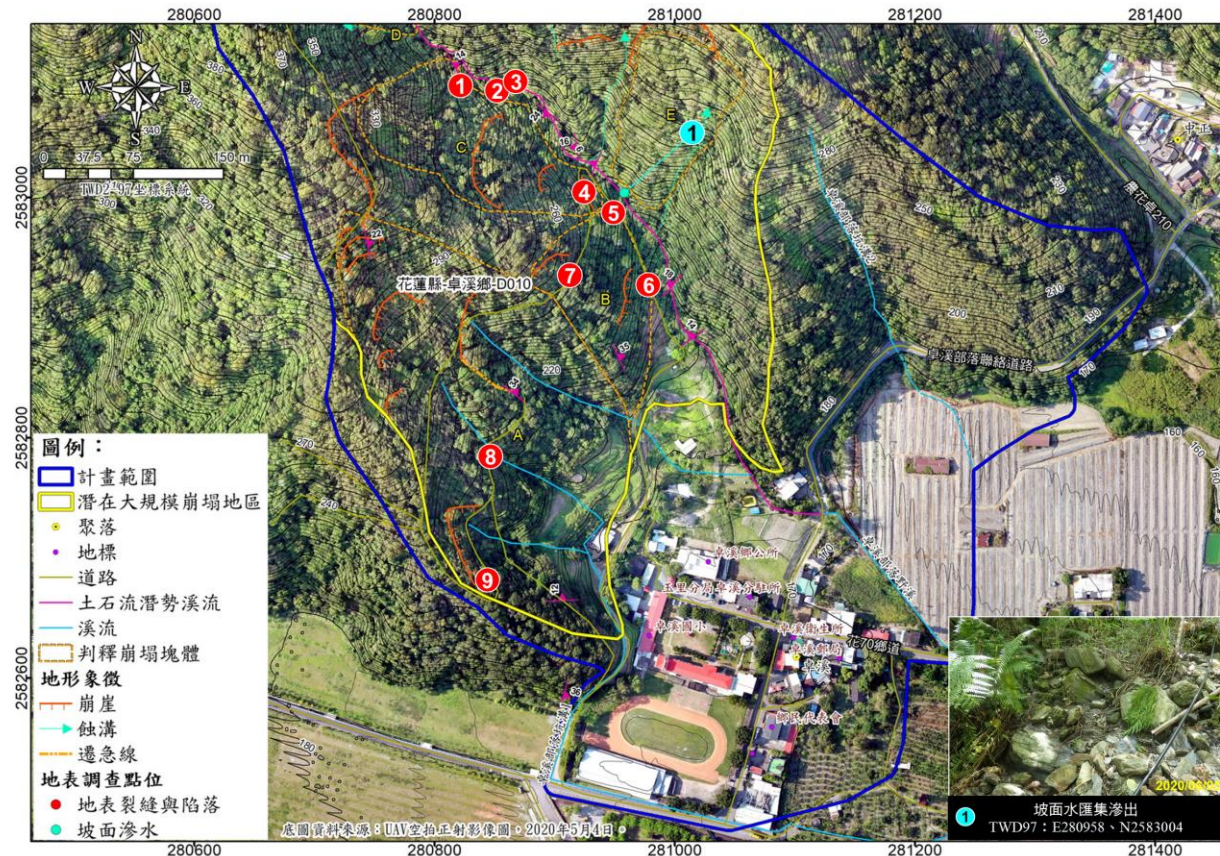


### 圖例：



# 邊坡地形變遷分析

- 山崩與地滑地質敏感區及花縣DF049右側坡地潛變徵象，對下游卓溪村5-7鄰直接影響。



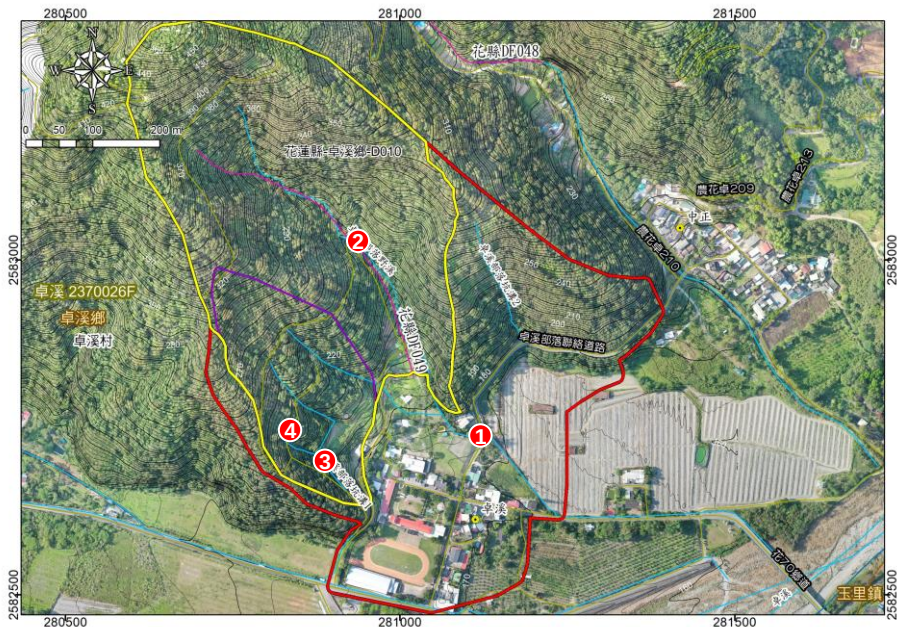
底圖資料來源：UAV空拍正射影像圖。2020年5月14日。



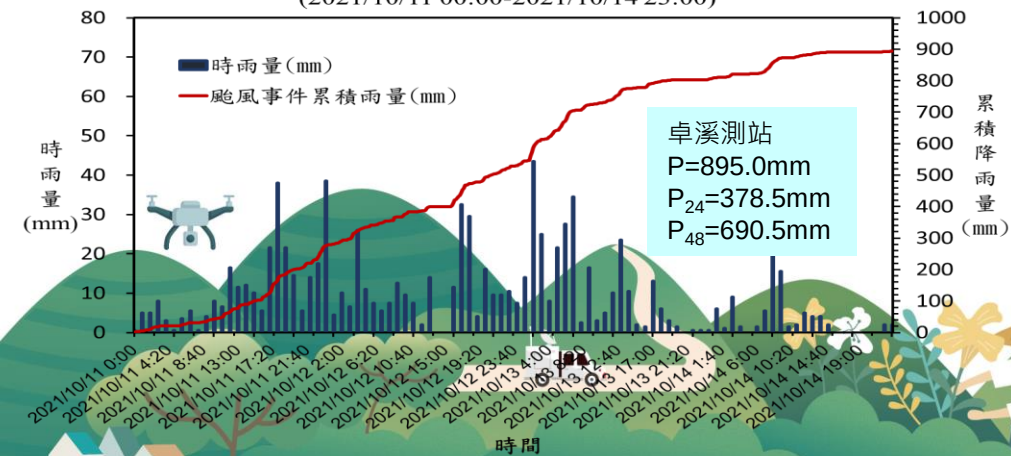




# 2021年10月圓規颱風後災情



81T84卓溪(ZR801)圓規颱風時雨量及累積雨量歷線  
(2021/10/11 00:00-2021/10/14 23:00)



## 花縣DF049(中)



2021.10.13



2021.10.13

花縣DF049與卓溪聯絡道路處土砂溢流災情(卓溪高村長提供)



邊坡土石鬆軟崩滑 2021.10.15



崩塌土方下移至箱籠擋土牆  
(2021.10.12) 安誼工程提供



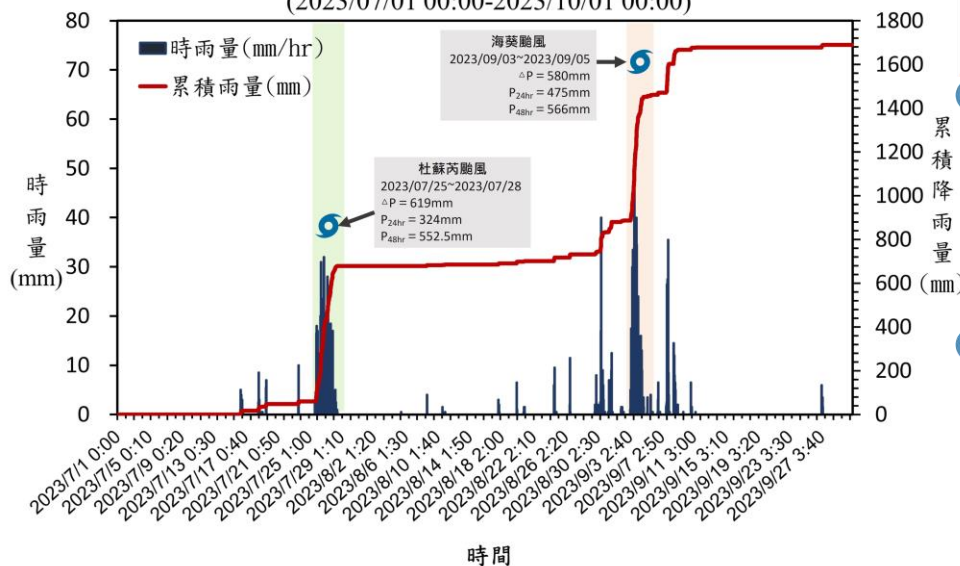
邊坡淺層崩滑 2021.10.14  
(花蓮分局提供)



# 2023年杜蘇芮、海葵颱風後勘查

- 檢視邊坡有土石滑落、坡面與崩崖處樹木倒伏生長、土砂滑落，持續監測與觀察邊坡徵象，研提後續工程。

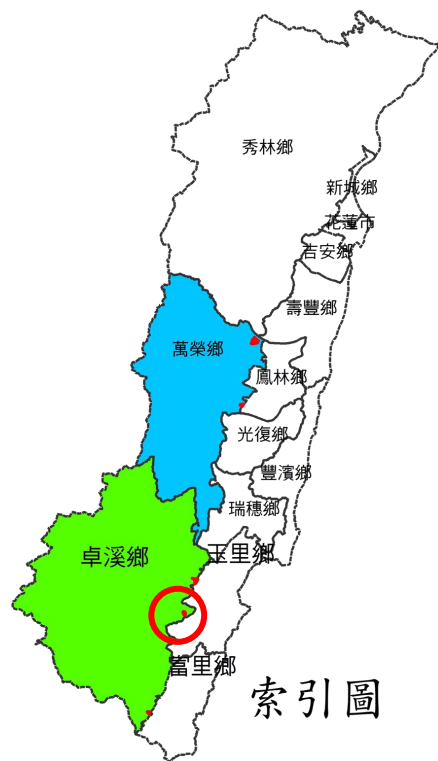
81T84卓溪(ZR801)杜蘇芮、海葵颱風期間時雨量及累積雨量歷線  
(2023/07/01 00:00-2023/10/01 00:00)







# 卓溪鄉-D010(卓溪)潛在大規模崩塌區



索引圖



| 保全對象 |         | 鄉鎮及村里                                                             | 戶數 | 人口數 |
|------|---------|-------------------------------------------------------------------|----|-----|
| 居民   |         | 卓溪鄉*：<br>卓溪村5~7鄰                                                  | 35 | 107 |
| 公共設施 | 主要道路及橋梁 | 花70鄉道、卓溪一號橋、卓溪部落聯絡道路等。                                            |    |     |
|      | 其他      | 卓溪國小、卓溪鄉公所、玉里分局卓溪分駐所、卓溪郵局、卓溪鄉立圖書館、卓溪衛生所、卓溪戶政所及卓溪鄉民代表會、卓溪鄉多功能活動中心。 |    |     |

潛在災害  
特性圖例



低位河階



邊坡開墾



土石流威脅



崩塌地滑威脅



向源侵蝕

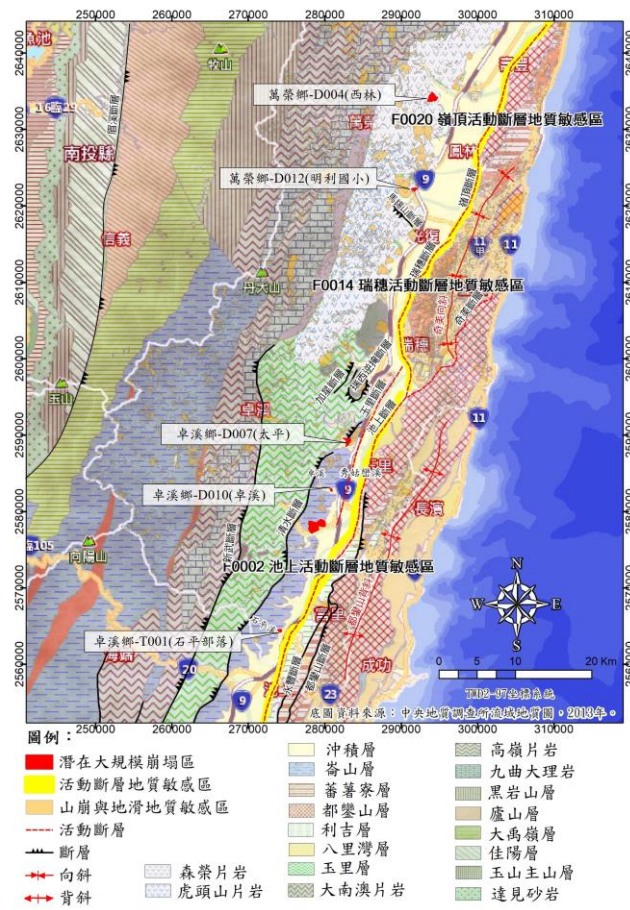
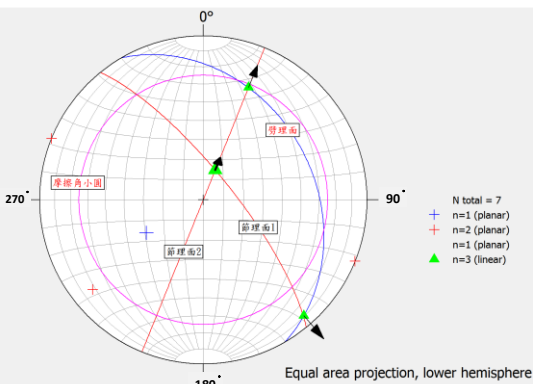


## 地質分布

- 卓溪鄉崩塌區坡地地層分布**崙山層**，主要為板岩間夾變質砂岩；各區下游河階地處分布全新世沖積層。

## 滑動機制研判

- 邊坡非屬劈理面或層面之順向坡。2組代表性節理，其位態分別為N39W/76N及N22E/90NS。
- 滑動原因可能為密集劈理面及岩層節理面發達，致岩層因發達不連續面切割成細小岩塊，最後因風化而弱化不連續面強度後造成滑動。



# 玉里斷層帶地質圖

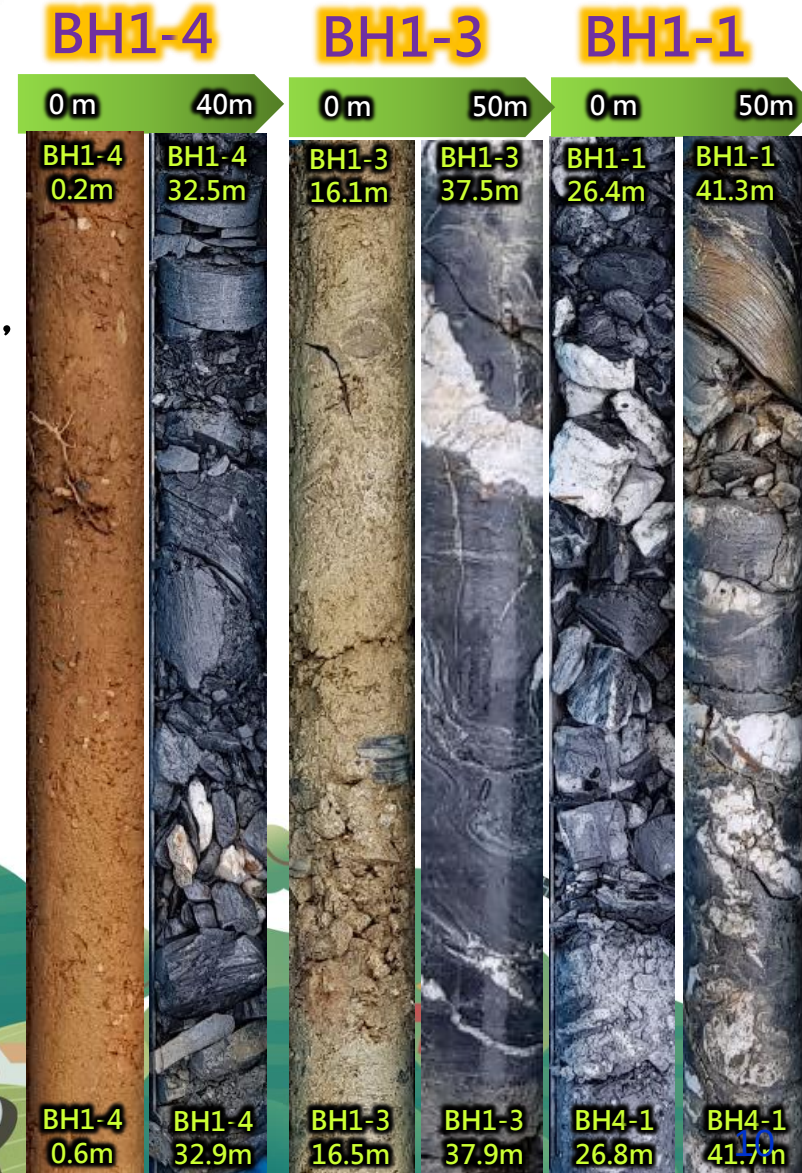
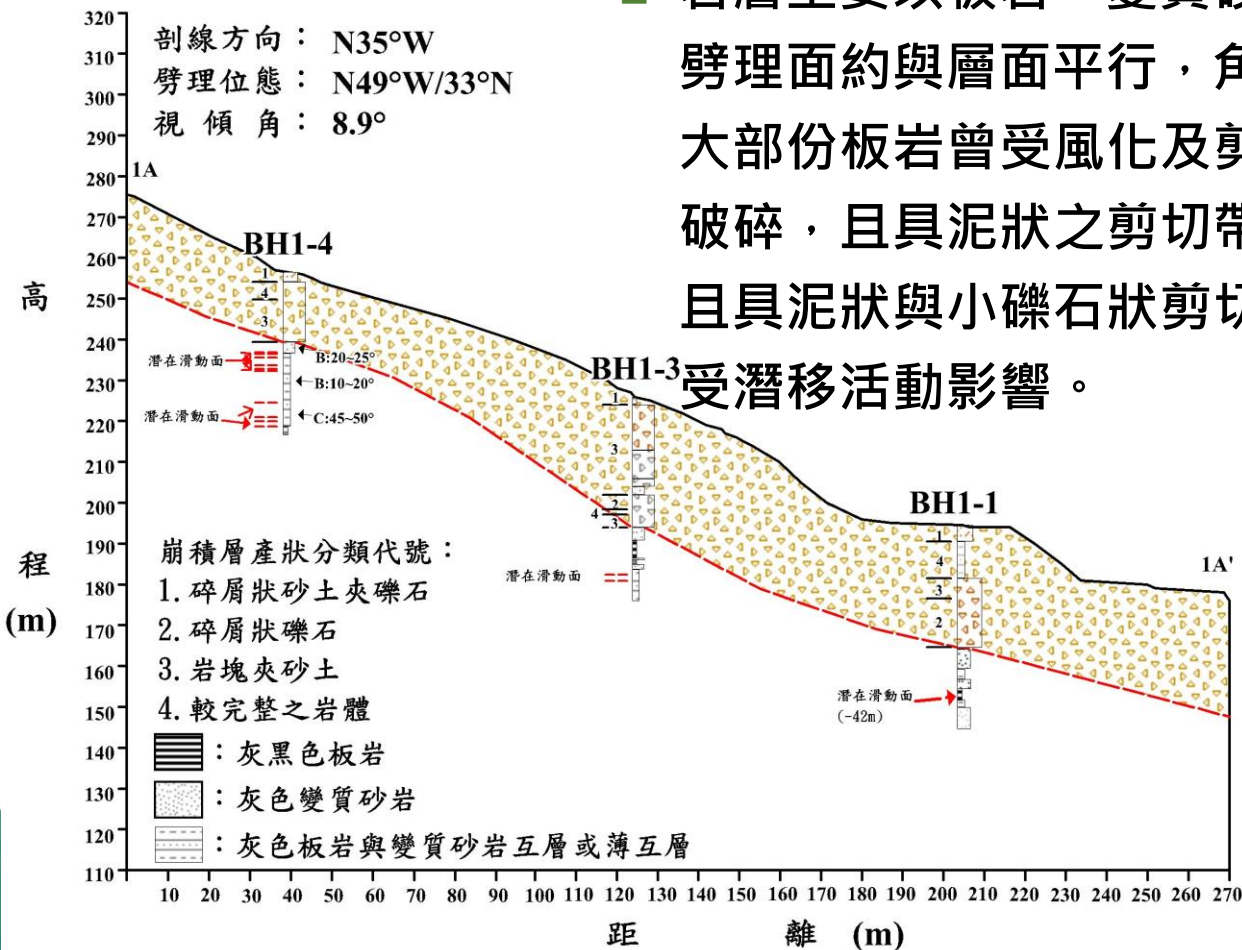
活動斷層地質敏感區





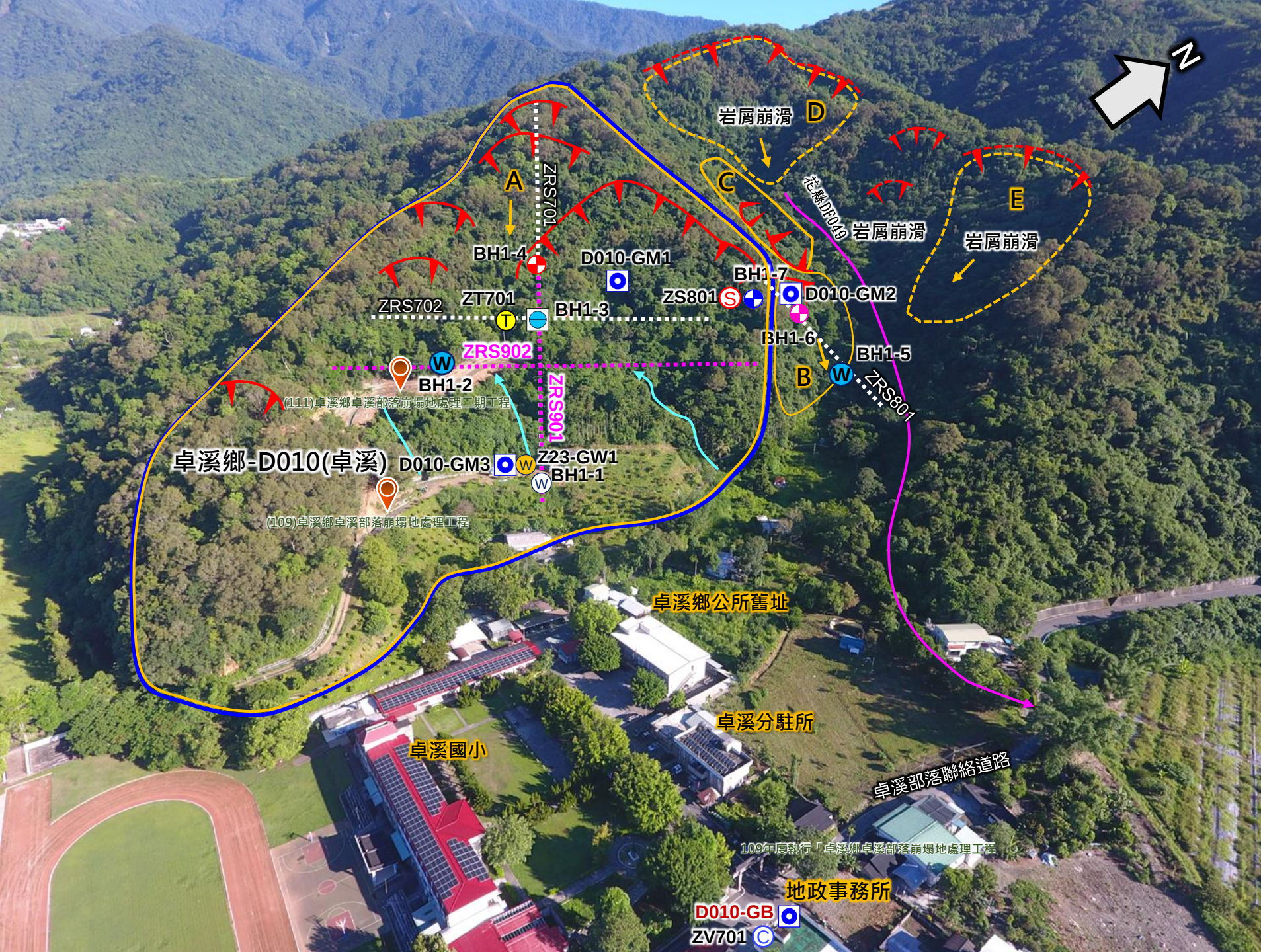
# 地質鑽探岩心成果

- 岩屑(崩積)層17.1~32.0 m之間
- 岩層主要以板岩、變質砂岩及其薄互層為主，劈理面約與層面平行，角度介於5~50度之間，大部份板岩曾受風化及剪切作用，岩體較為破碎，且具泥狀之剪切帶，研判在岩體破碎且具泥狀與小礫石狀剪切帶之板岩內可能已受潛移活動影響。





# 監測系統配置



圖例：

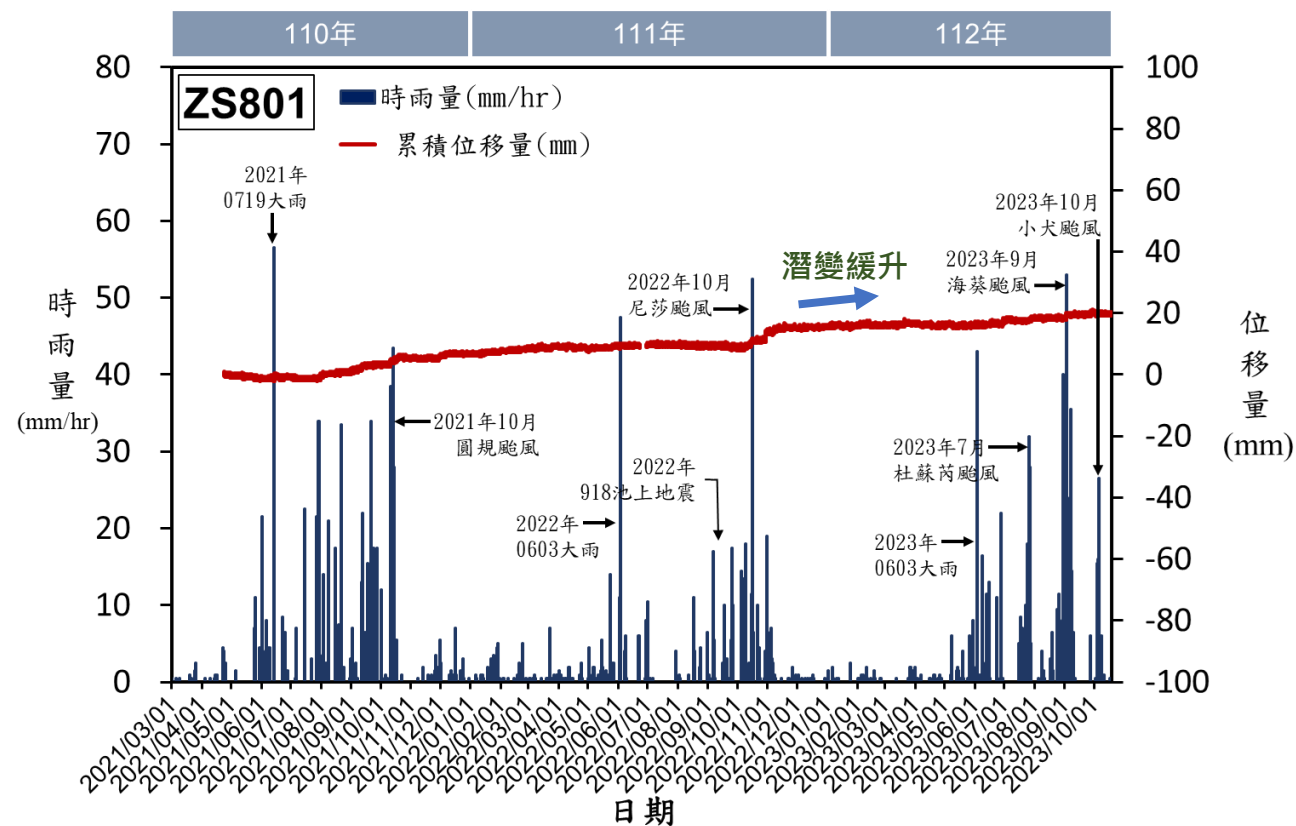
- 潛在大规模崩塌區
- 判釋滑動塊體
- 崩塌
- 陷溝
- 滑動方向
- 向源侵蝕方向
- 治理工程

孔位及監測儀器：

- 雙頻GNSS衛星定位
- 自動水位站
- 自記水位站
- 自動流量站
- TDR自動監測
- 地表伸縮計
- 地表雙軸傾斜儀
- 即時影像監控系統
- 傾斜變位及水量量測
- 自動水位及傾斜量測
- 地電阻測線(2020)
- 地電阻測線(2018)



# 地表活動性觀測



ZS801地表伸縮計歷線圖



# 雙頻GNSS衛星定位位移速度場



D010-GB固定站



D010-GM1-主機及供電系統

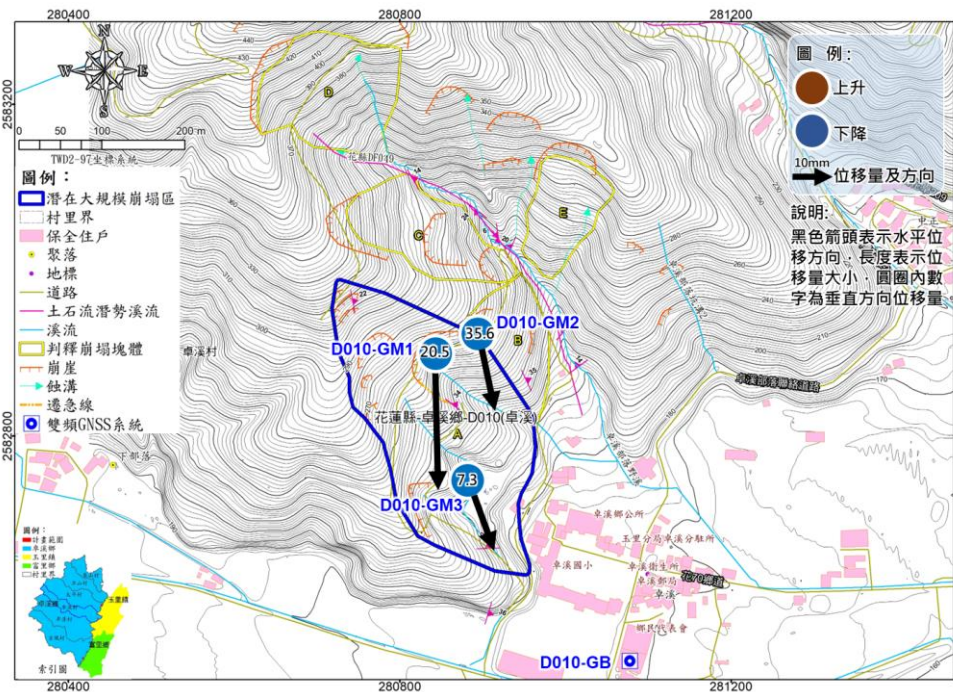


D010-GM2-主機及供電系統

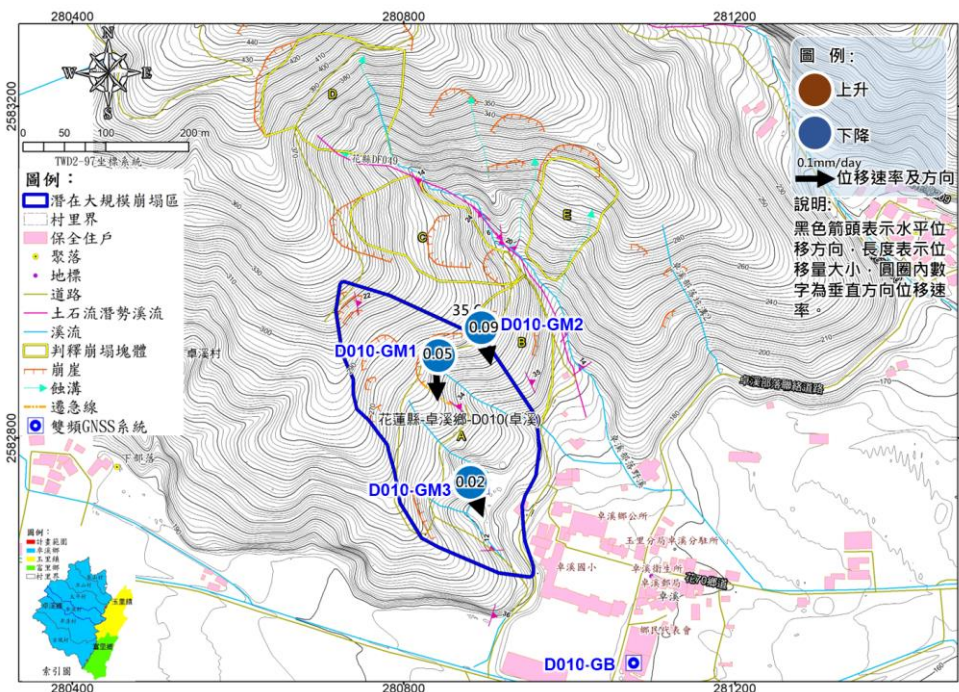


D010-GM2-主機及供電系統

| 測站編號     | 觀測目標    | 監測期間                  | 平面位移量 (mm) | 平面位移速率 (mm/day) | 位移方位角 | 垂直位移量 (mm) | 垂直位移速率 (mm/day) | 三軸合位移量 (mm) |
|----------|---------|-----------------------|------------|-----------------|-------|------------|-----------------|-------------|
| D010-GM1 | A滑動塊體坡腹 | 2022/09/20-2023/10/17 | 29.3       | 0.07            | 179.8 | -20.3      | -0.05           | 35.7        |
| D010-GM2 | B滑動塊體   | 2022/09/20-2023/10/17 | 15.7       | 0.04            | 168.3 | -35.6      | -0.09           | 38.9        |
| D010-GM3 | A滑動塊體坡趾 | 2022/09/20-2023/10/16 | 14.7       | 0.04            | 160.6 | -7.3       | -0.02           | 16.4        |



雙頻GNSS位移量及方向圖



雙頻GNSS位移速率及方向圖

2022年918池上地震後至2023年10月雙頻GNSS衛星定位變位輛，各測站平面位移量介於14.7~29.3mm，平面位移速率介於0.04~0.07mm/day，往東南偏南方向位移，以D010-GM1變位量最大。

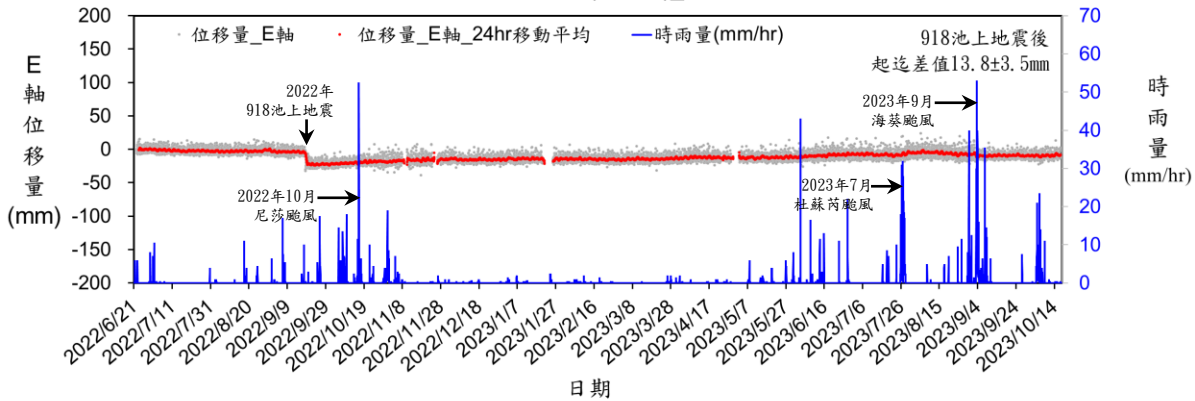


# 雙頻GNSS衛星定位時序歷線

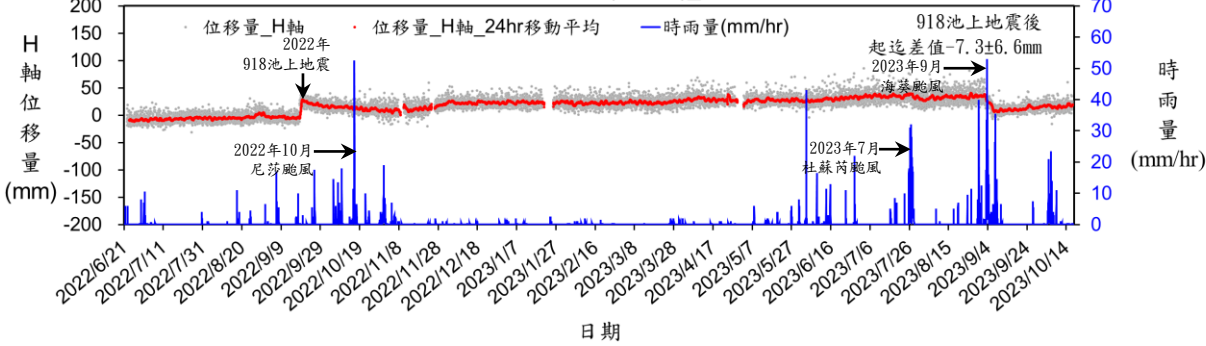
雙頻1小時動態解

D010-GM3

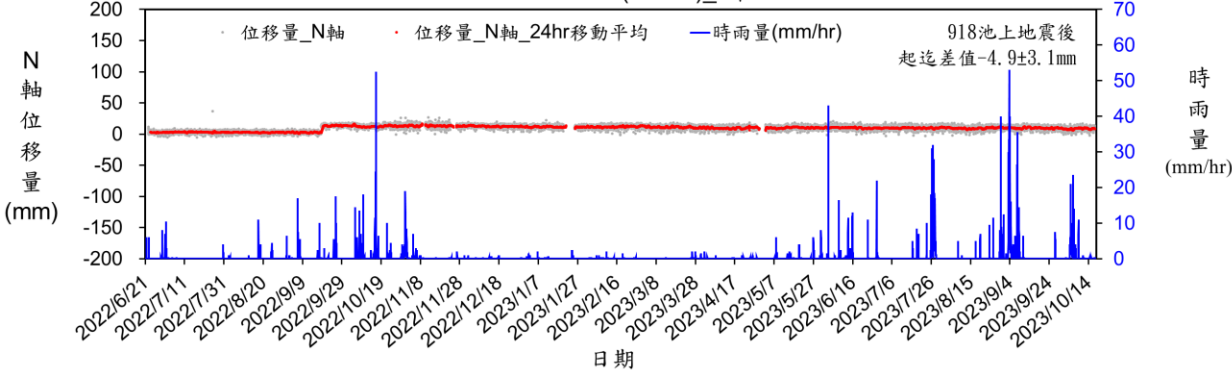
D010-GM3(ZGM3)\_E軸



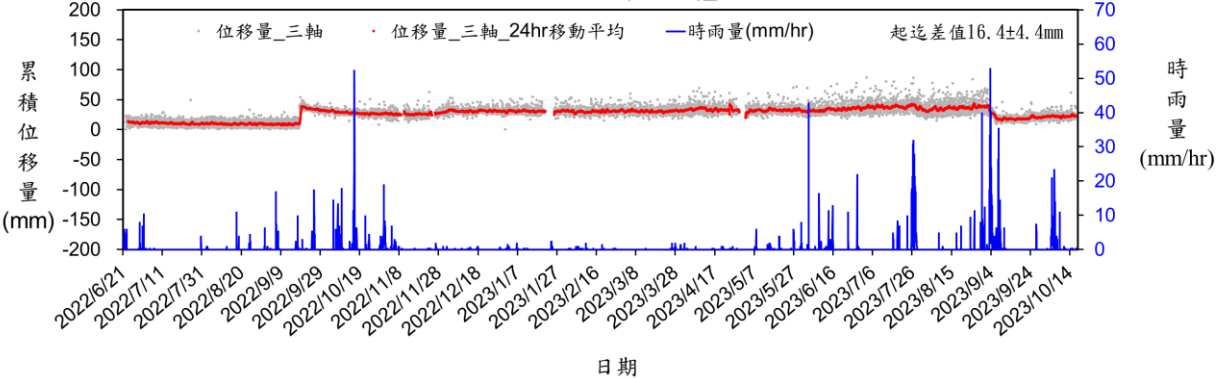
D010-GM3(ZGM3)\_H軸



D010-GM3(ZGM3)\_N軸

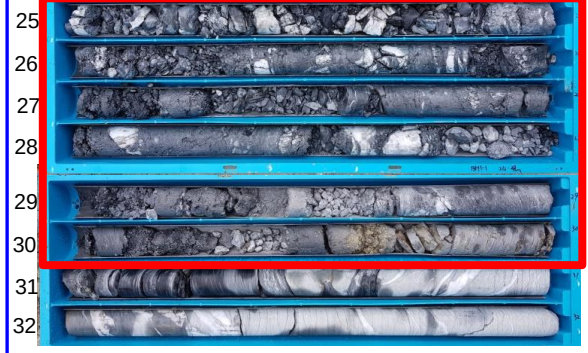
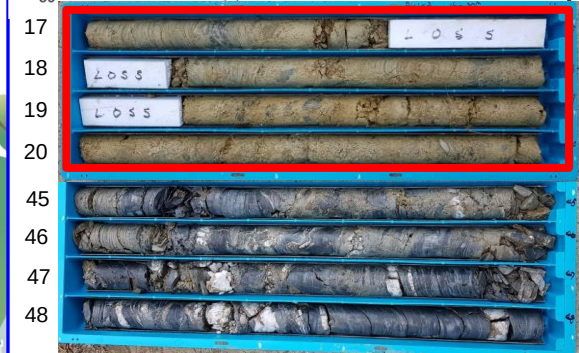
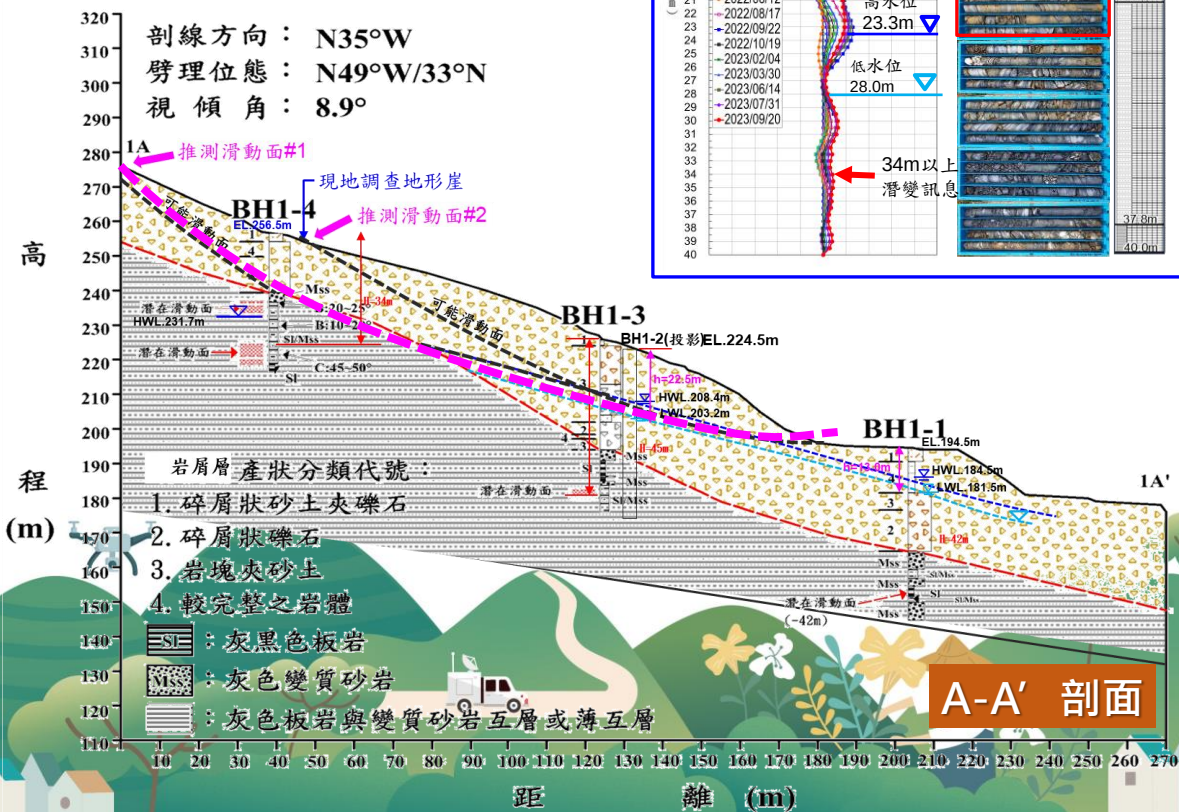
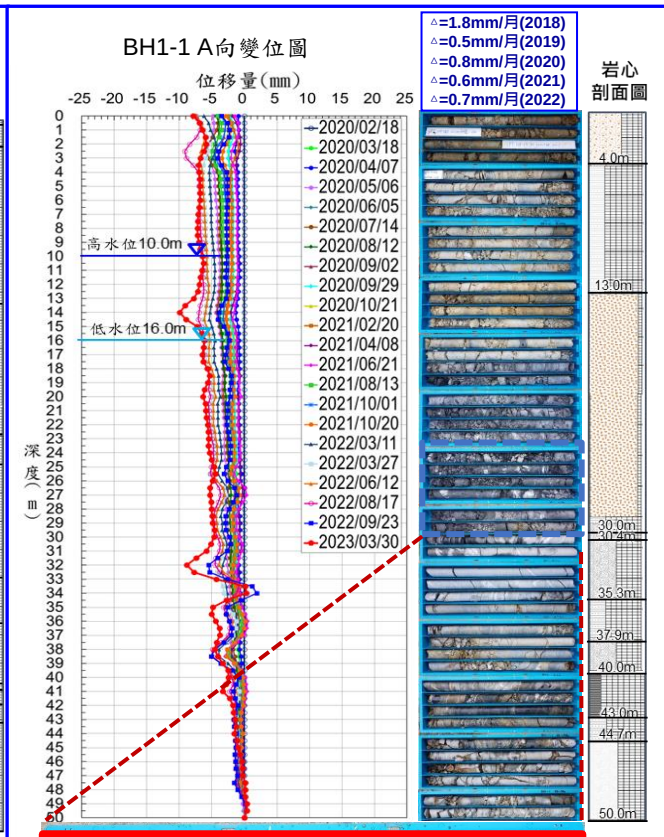
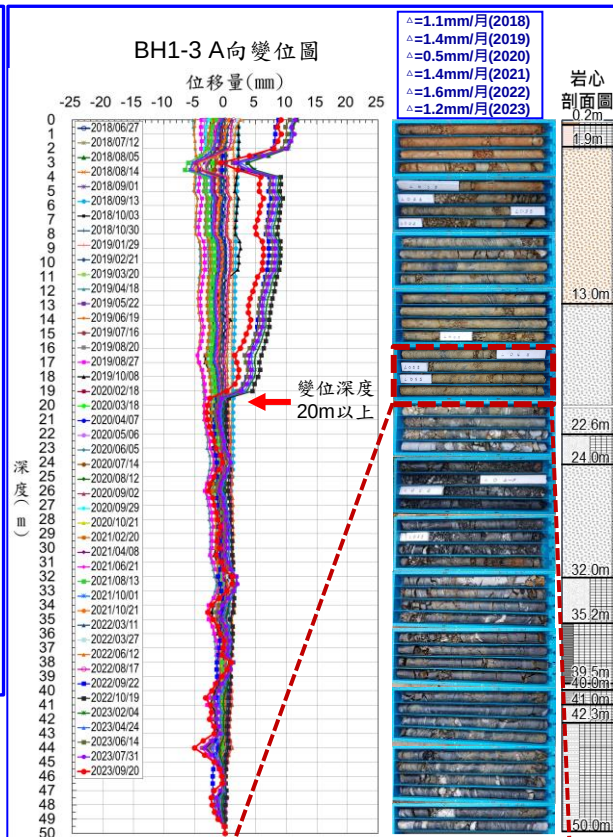
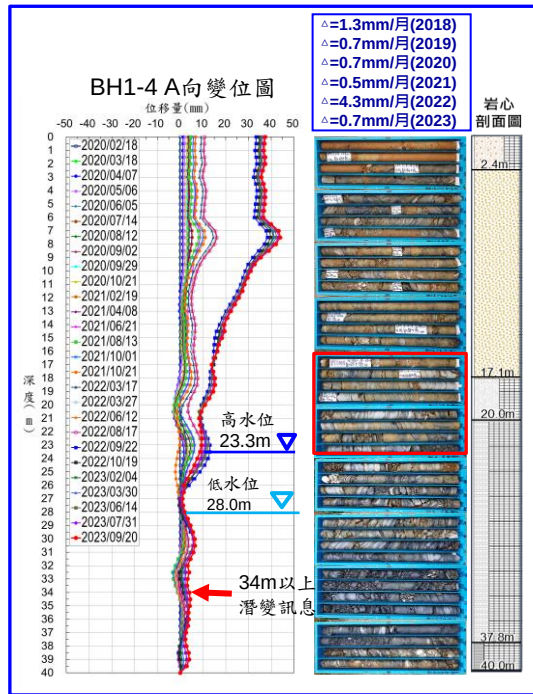


D010-GM3(ZGM3)\_三軸變位量



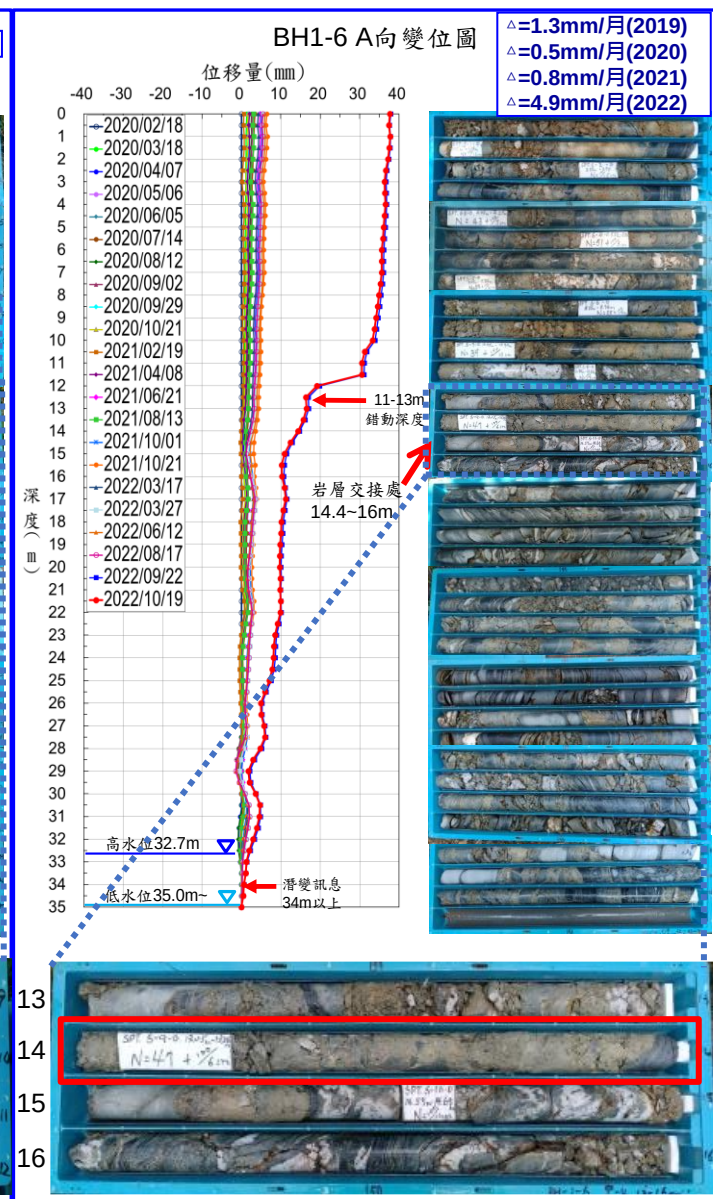
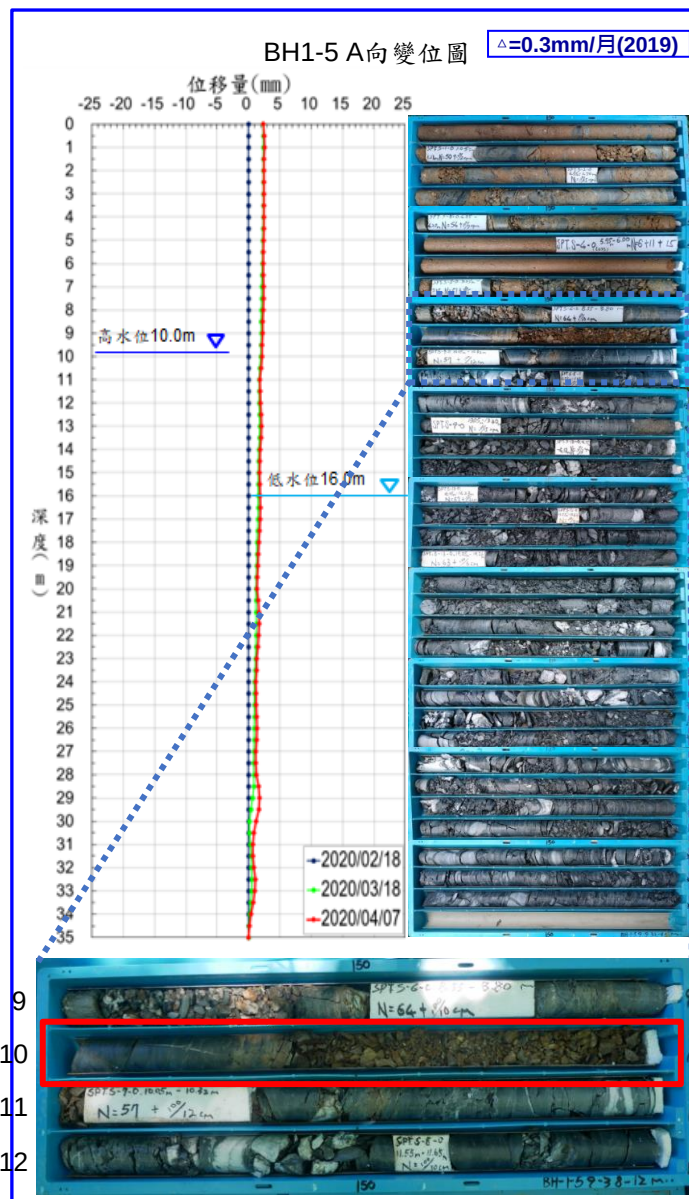
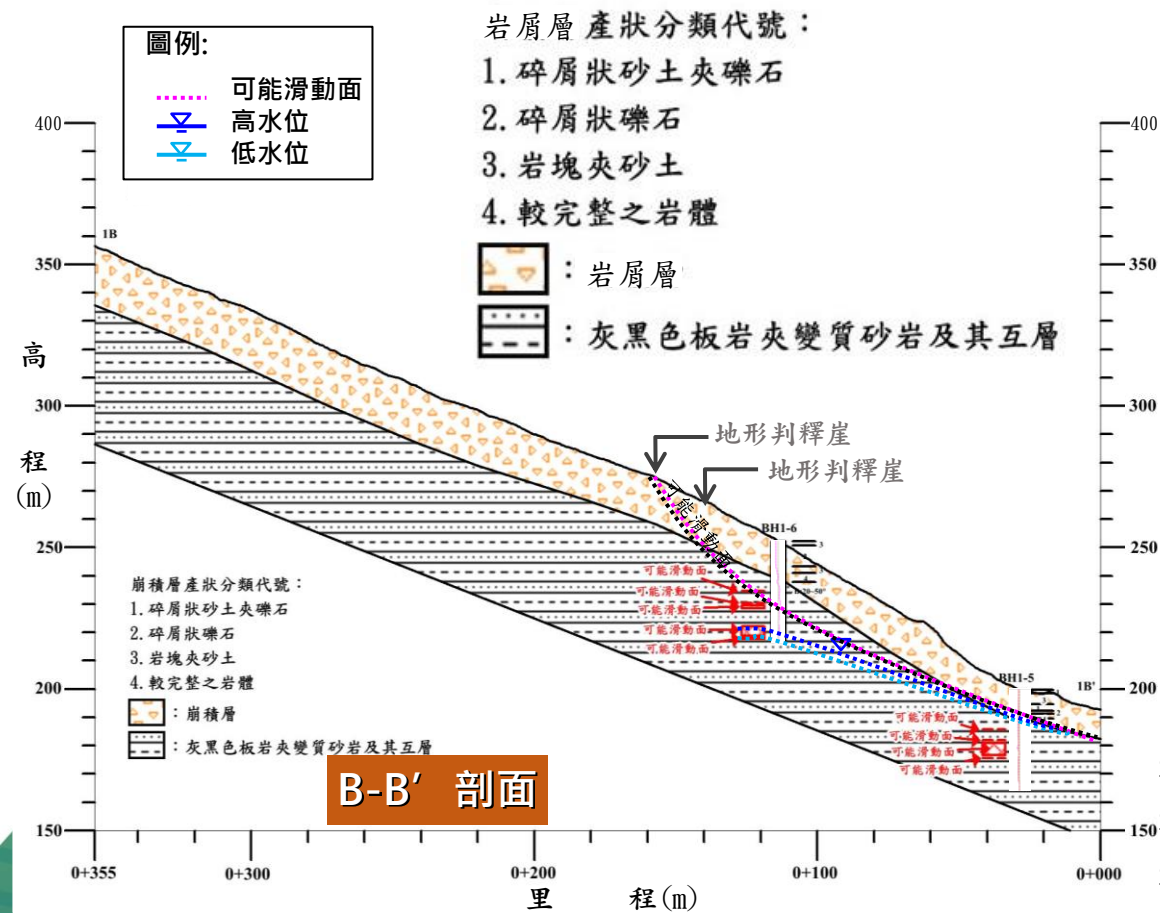


# 監測成果分析





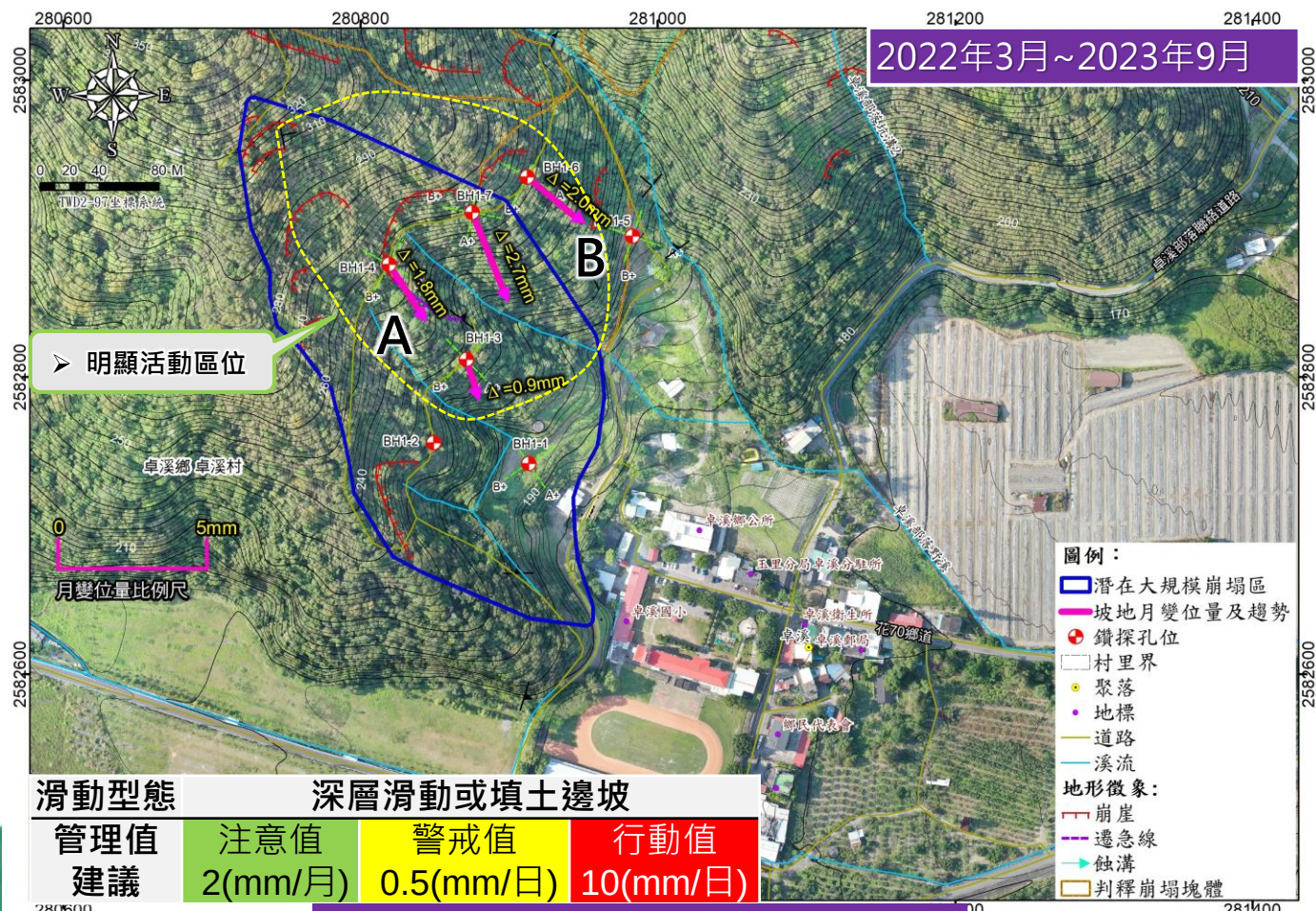
# 監測成果分析





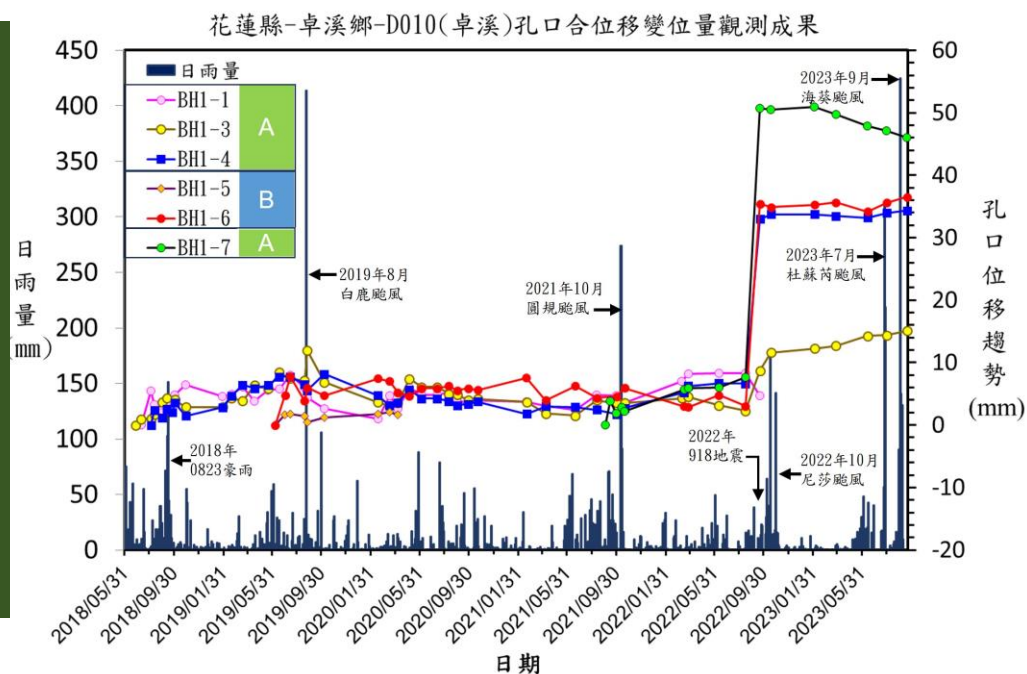
# 監測成果分析

■ A、B滑動塊體於2022年觀測期間地中變位速率4.3~6.9mm/月，達注意值，變位深度範圍介於11m~35m之間；主因於2022年918池上地震後邊坡變位0.75~1.32mm/日，達警戒值。



花蓮縣-卓溪鄉-D010(卓溪)

## 歷年地中傾斜變位



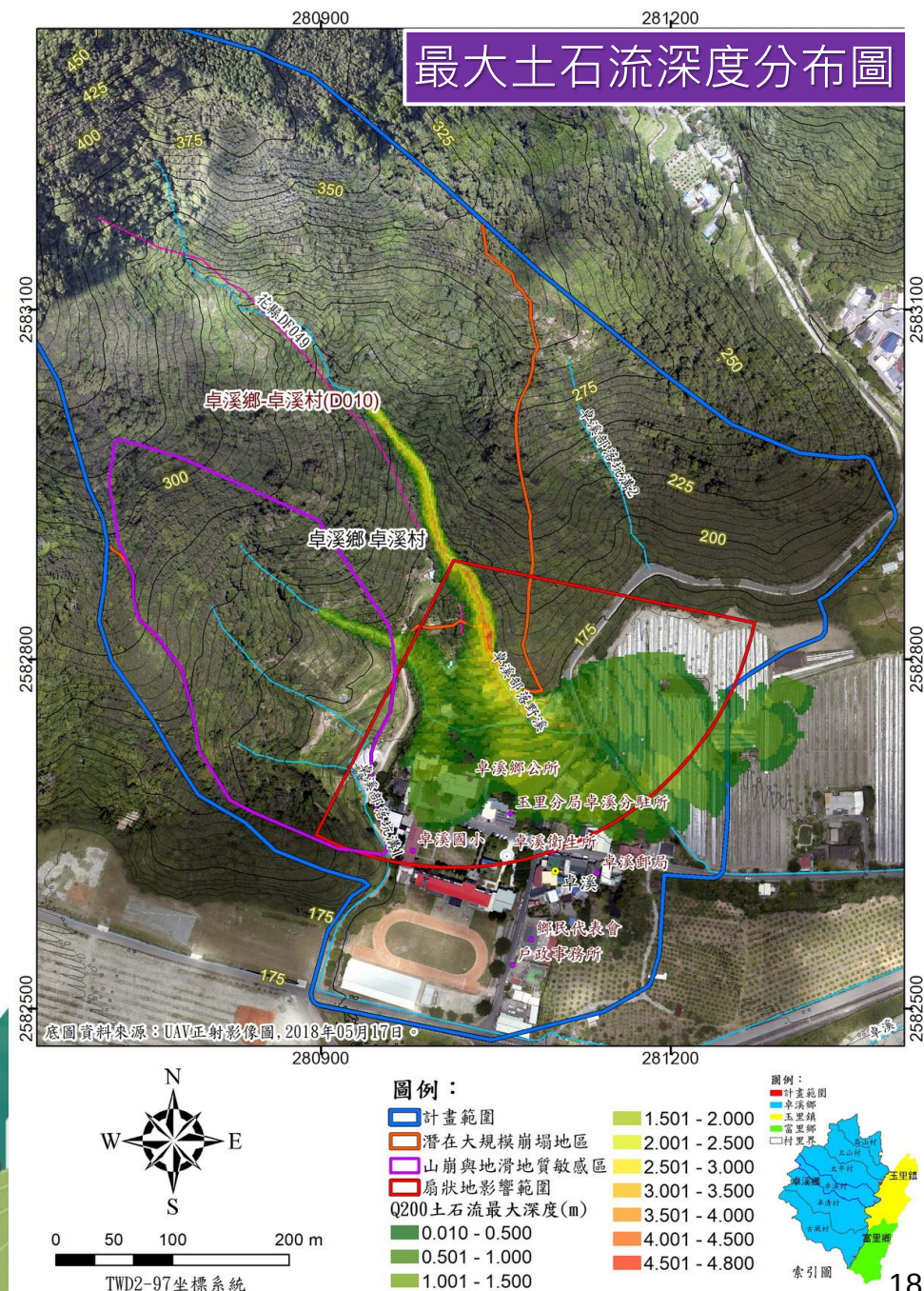
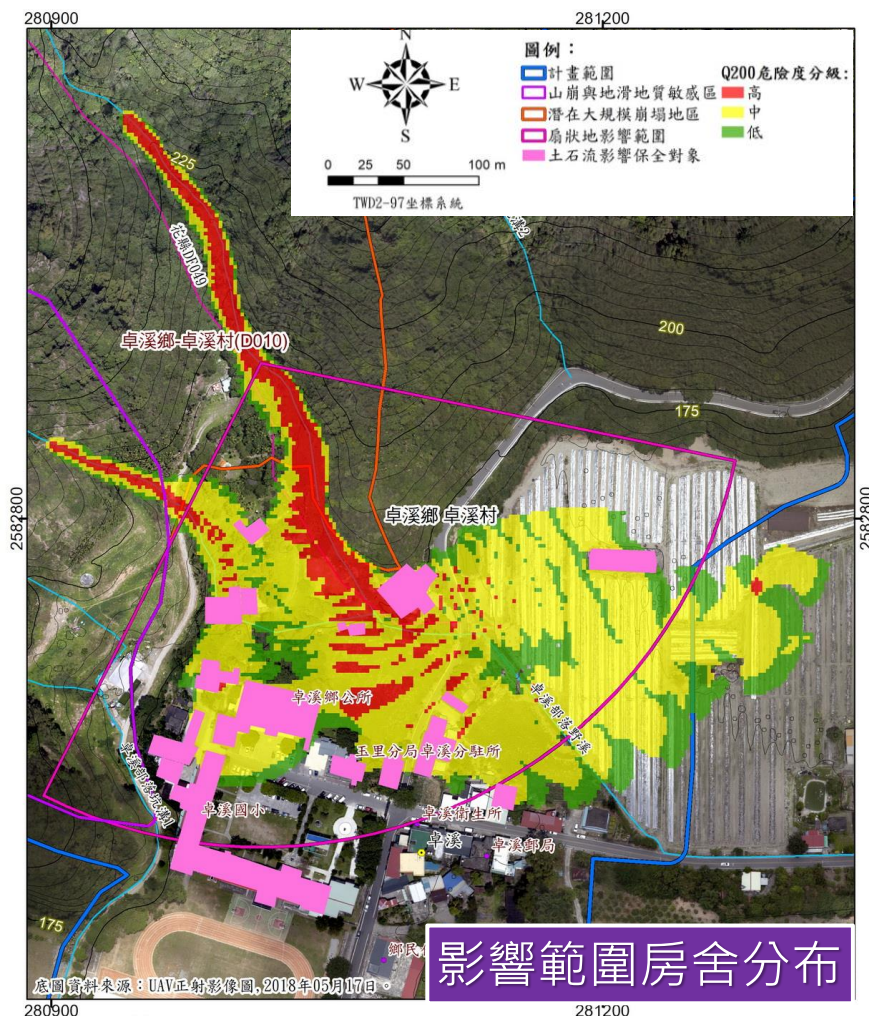




# 土石流災害影響範圍

FLO-2D 二維數值模式模擬(花縣DF049)

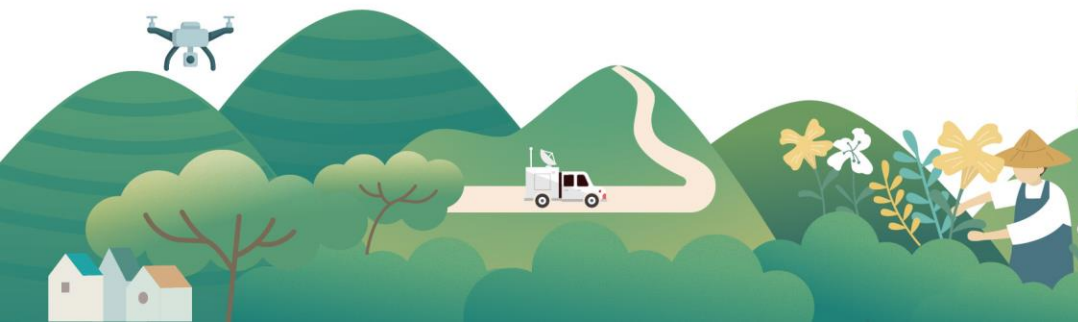
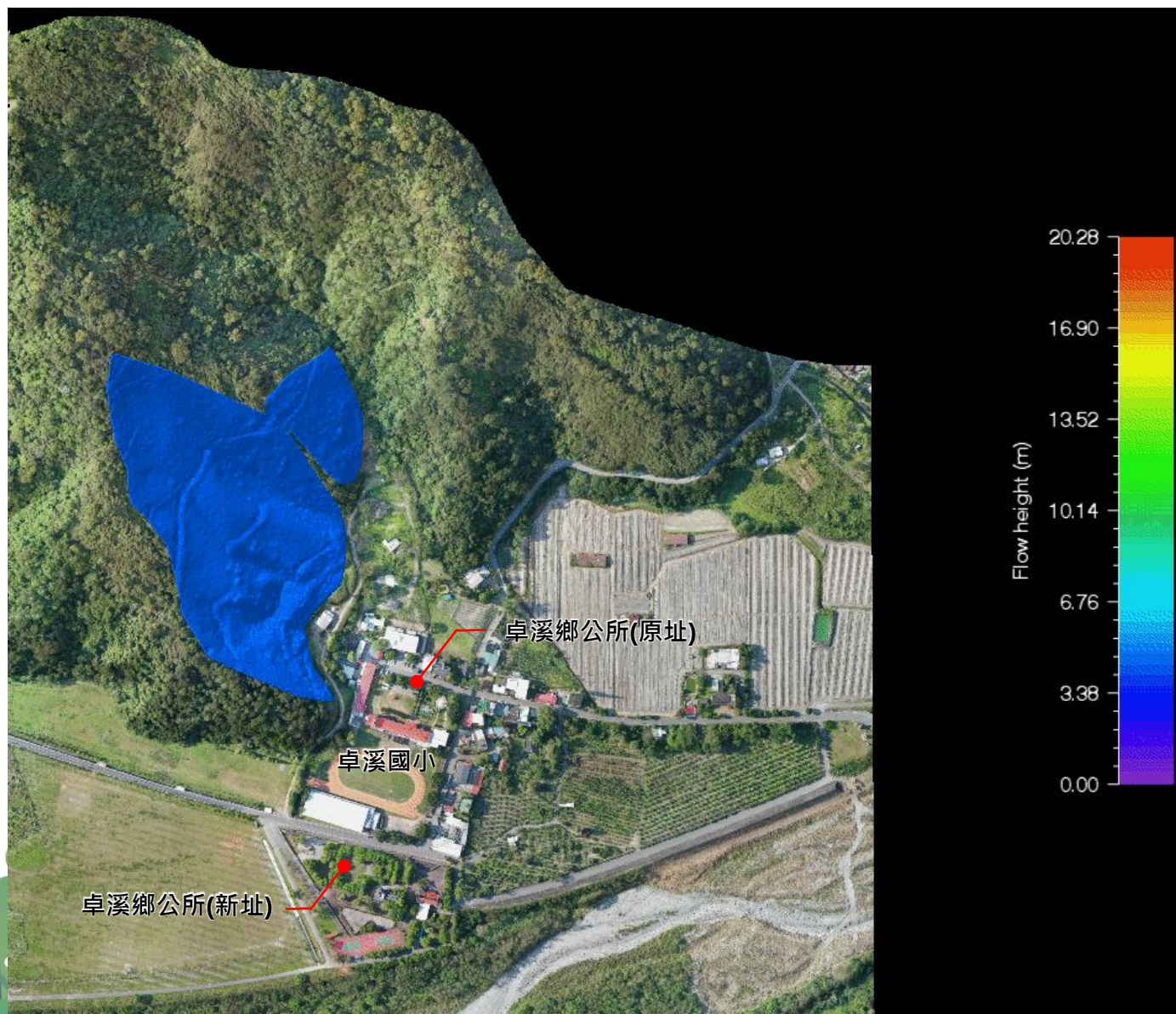
- 經模擬200年重現期距，溪流下游6~7鄰約19間房舍座落於土石流潛勢溪溢流路徑上，屬土石流中高危險區影響範圍。
- 本區避難指揮中心卓溪鄉公所，位於潛在致災風險。





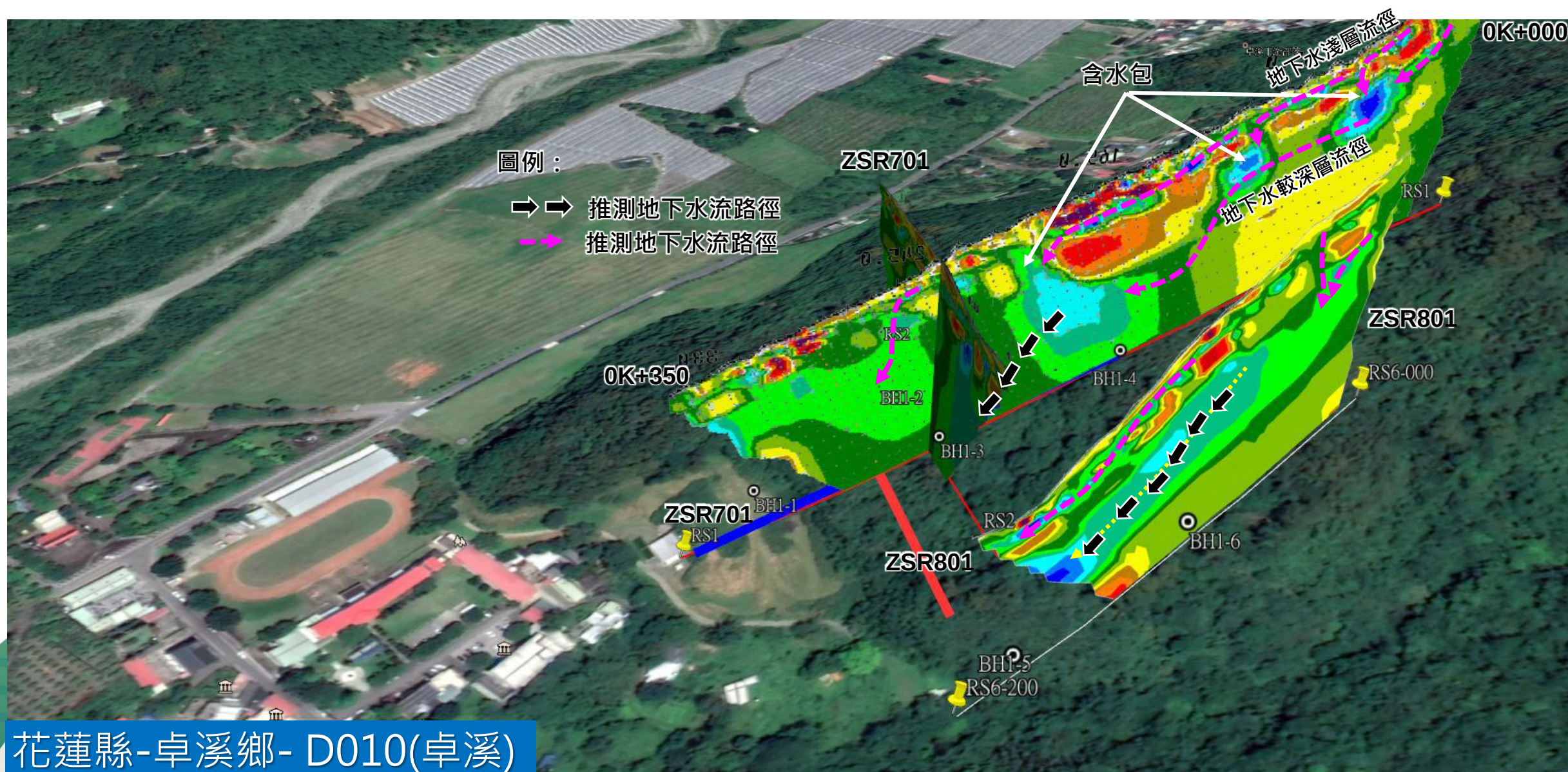
# 大規模崩塌影響範圍

- 經數值模擬成果顯示，保全對象為卓溪鄉重要行政中心。
- 卓溪鄉公所(原址)及6~7鄰，皆位於潛在致災風險區位內。



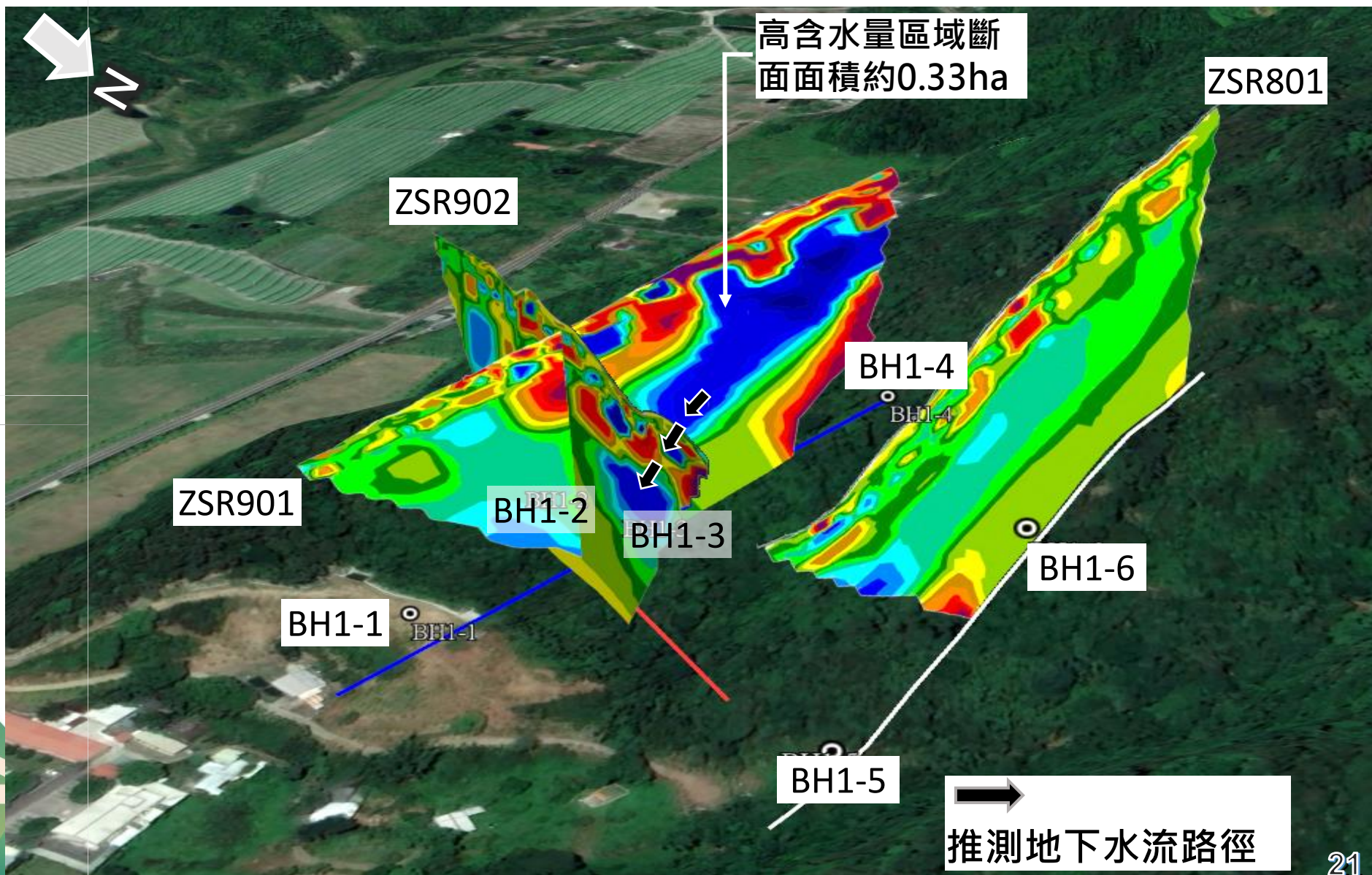
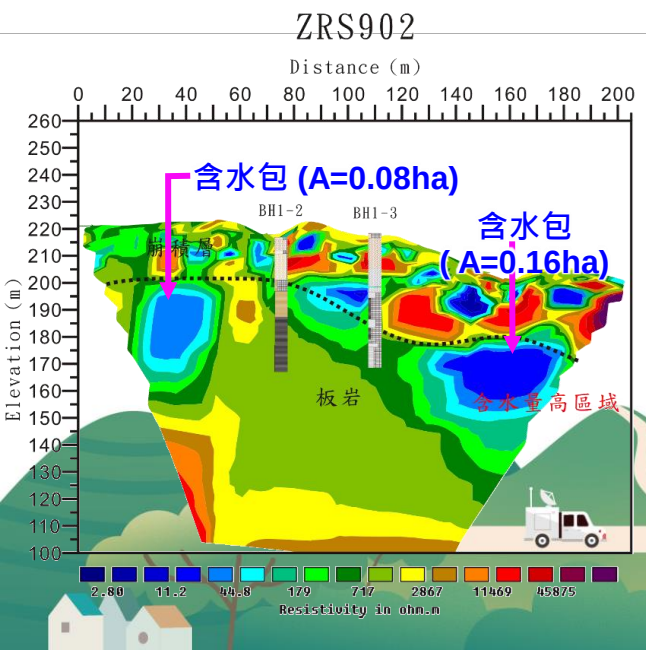
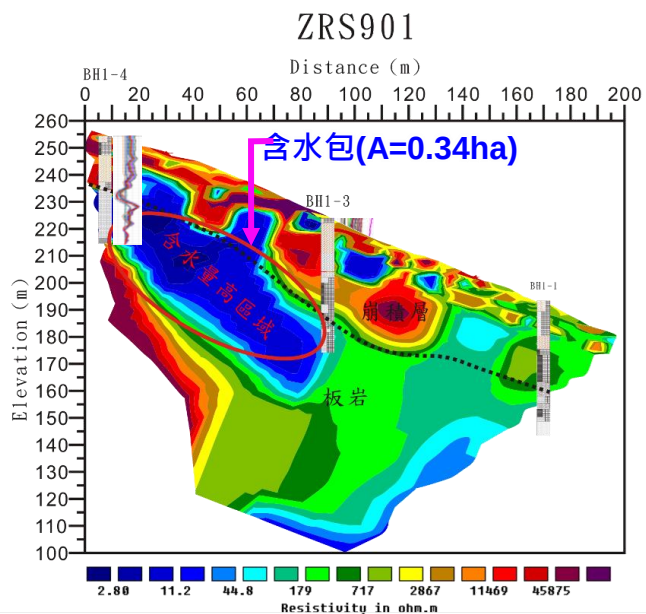


# 地球物理探測(旱季)



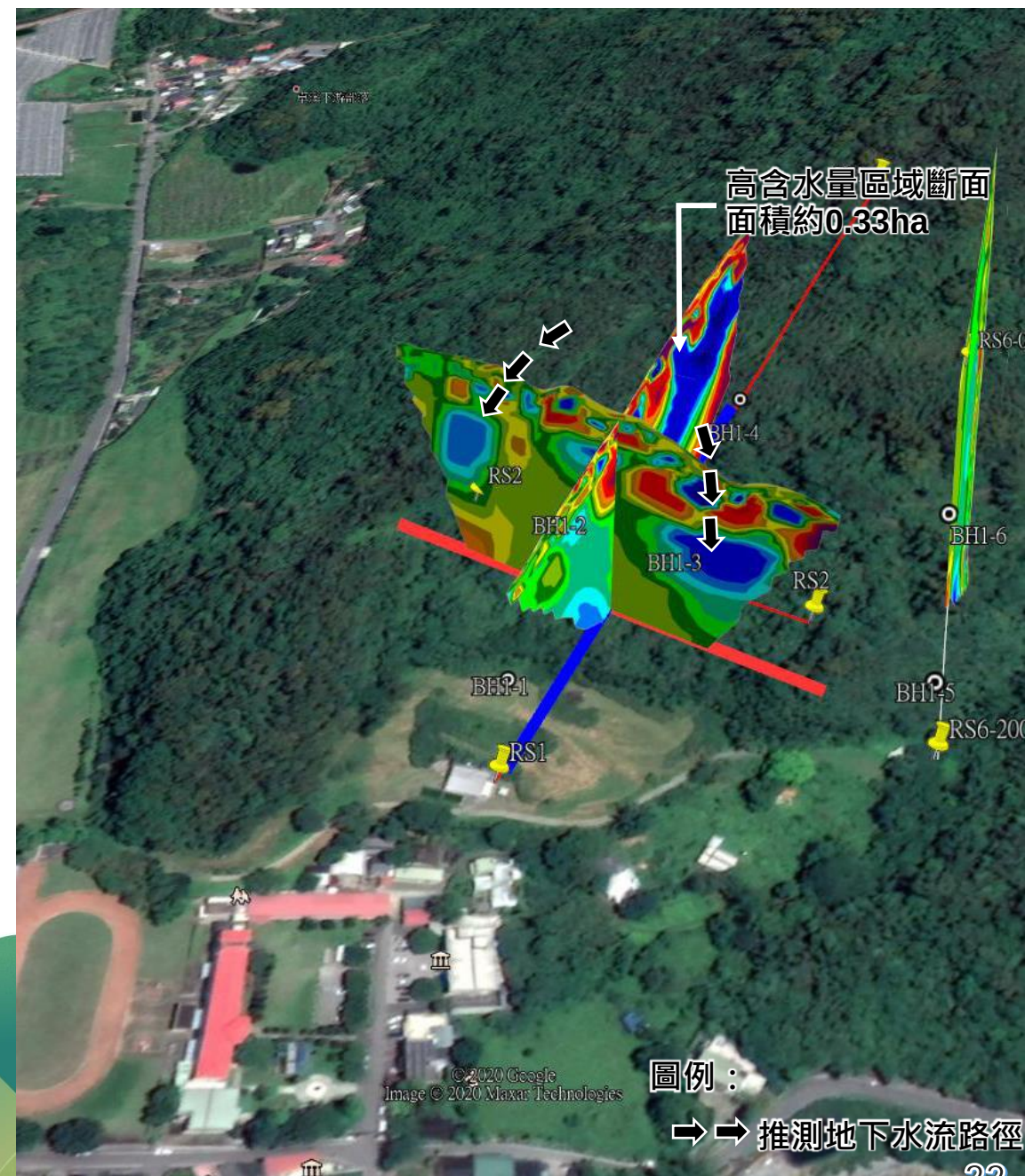
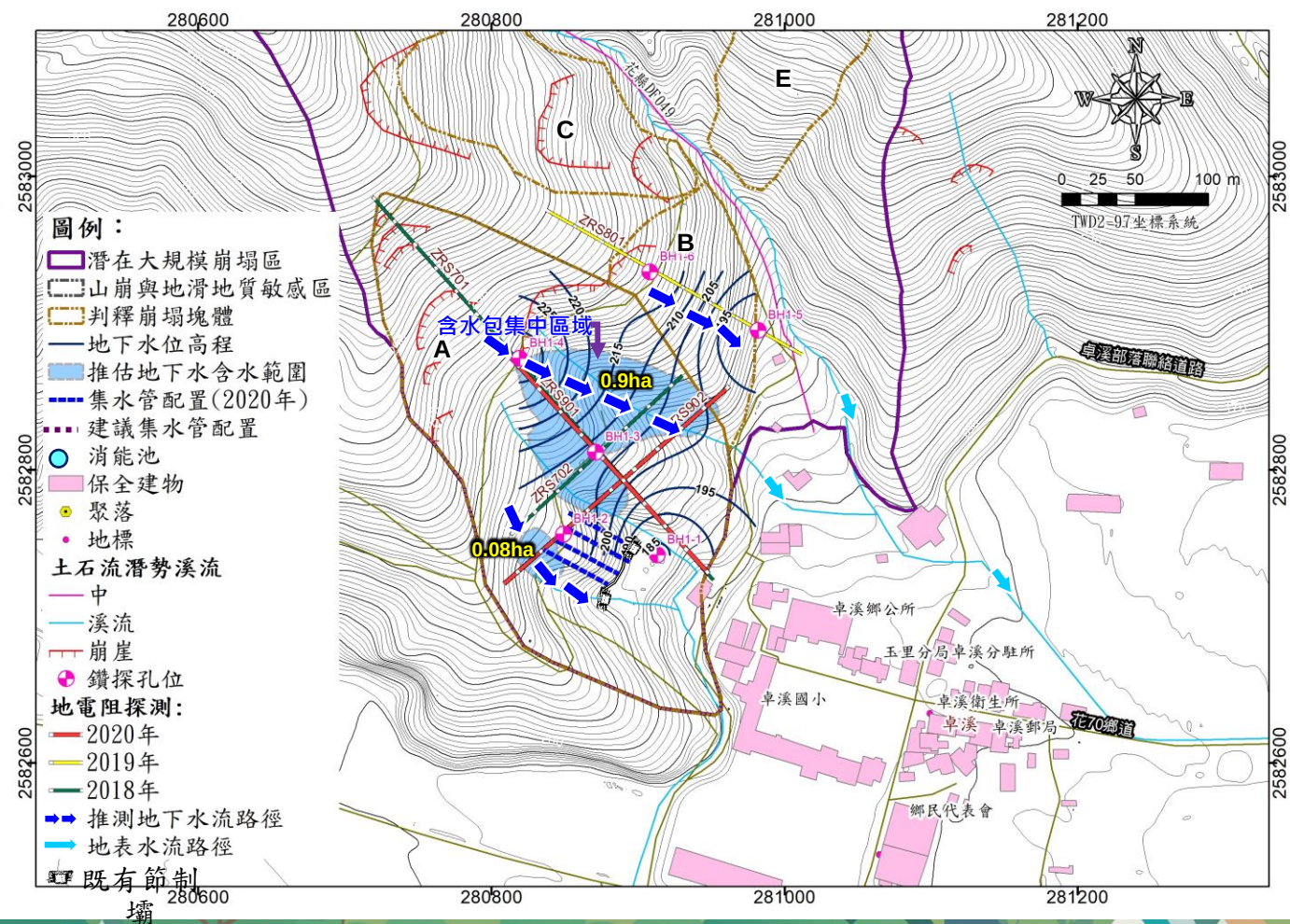


# 地球物理探測(雨季)





# 坡面地下水流徑判釋





# 卓溪鄉卓溪部落崩塌地處理工程





# 卓溪鄉卓溪部落崩塌地處理工程





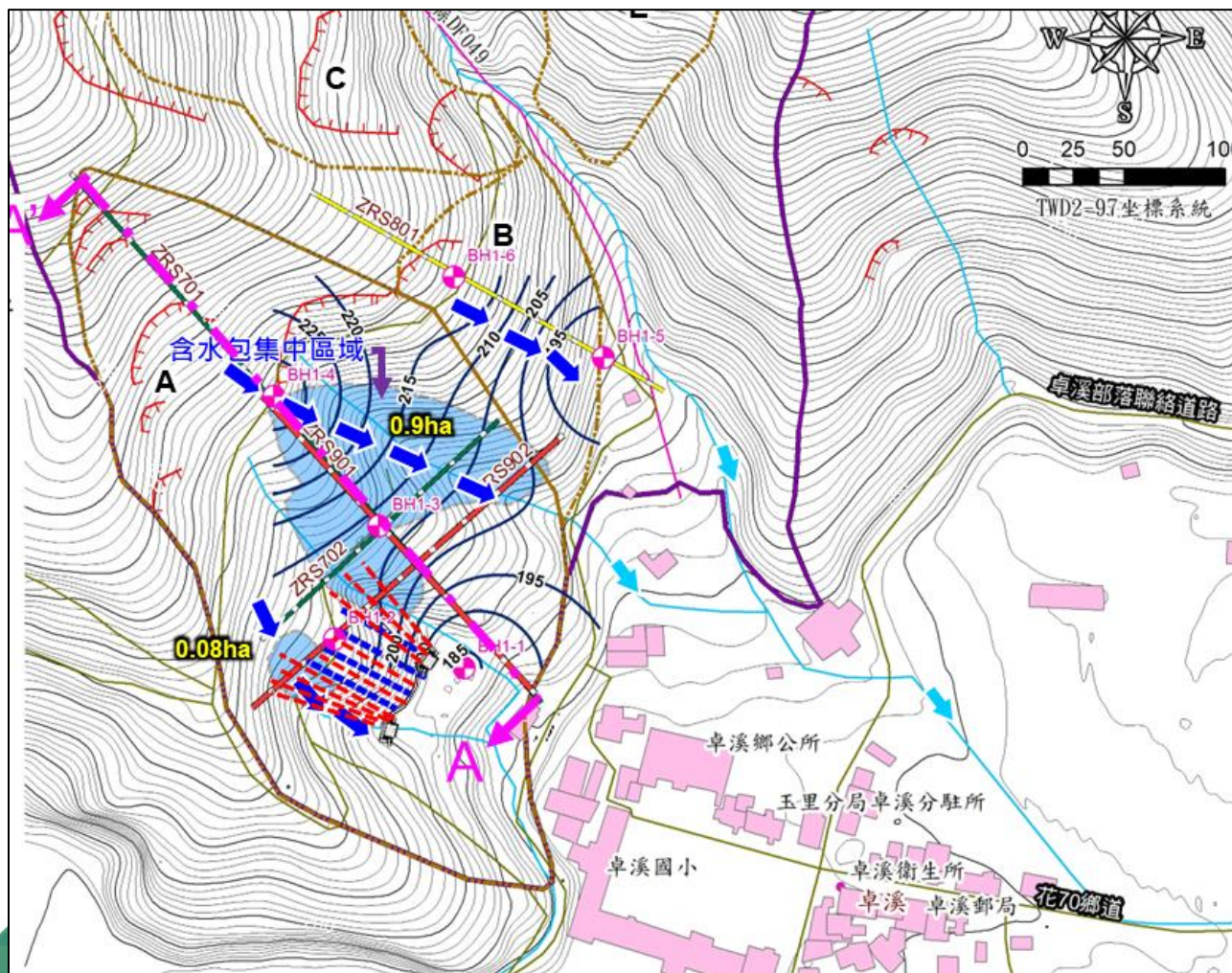


# 、減災成效指標分析評估



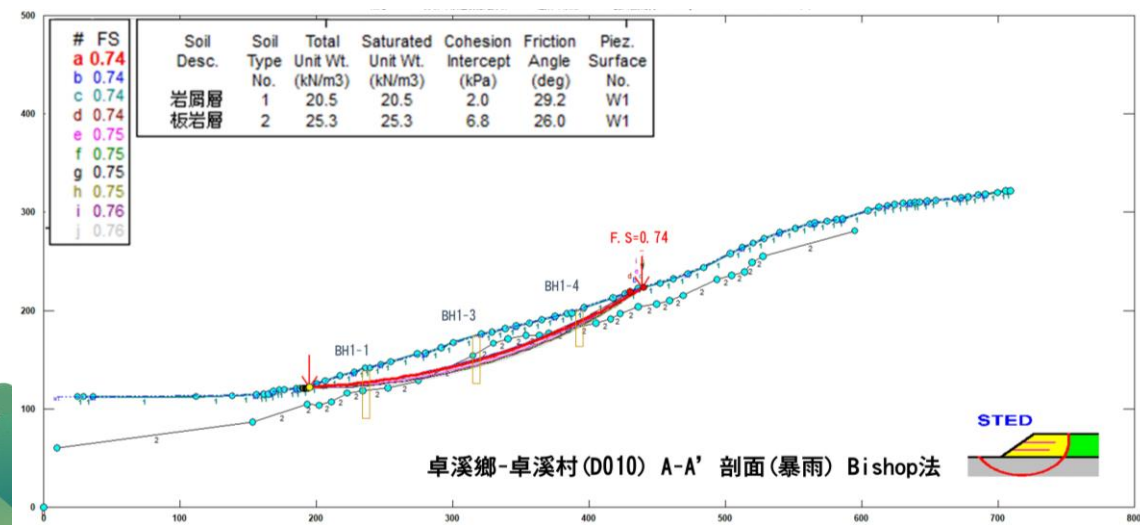


# 大規模崩塌監測維運評估工程治理效益



■ 經邊坡穩定分析邊坡地下排水工程，水位下降-10m，推估安全係數可由0.74上升至1.02。

| 崩塌地編號        | 分析剖面   | 安全係數(F.S) |      |      |
|--------------|--------|-----------|------|------|
|              |        | 暴雨        | -5m  | -10m |
| 花蓮縣-卓溪鄉-D010 | A-A'剖面 | 0.74      | 0.91 | 1.02 |

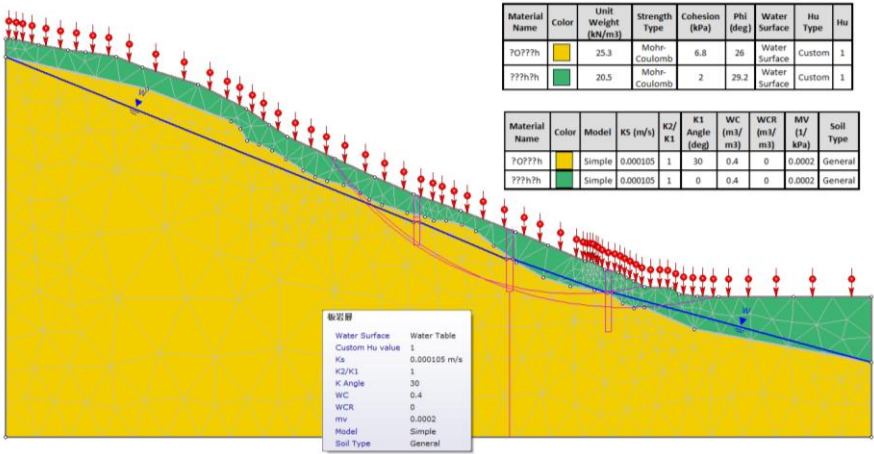




# 工程治理效益評估

## 二維邊坡穩定分析-SLIDE2

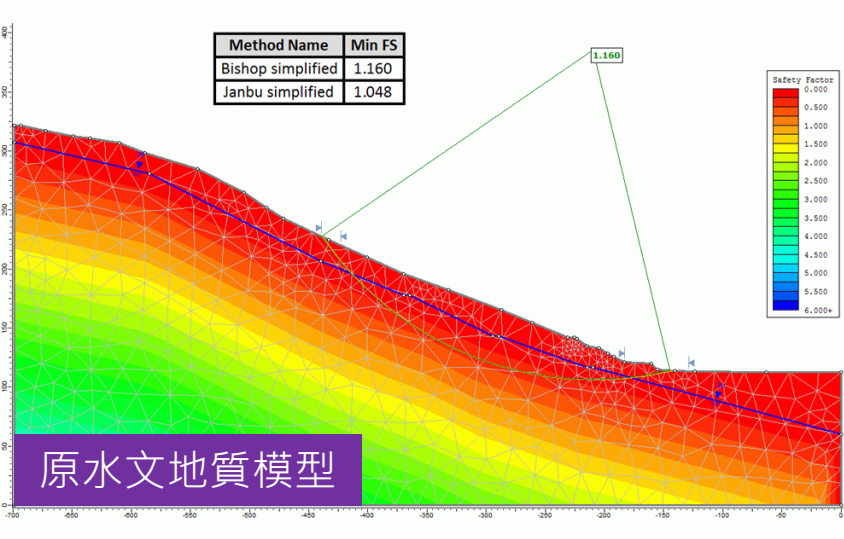
颱風豪雨事件-圓規颱風



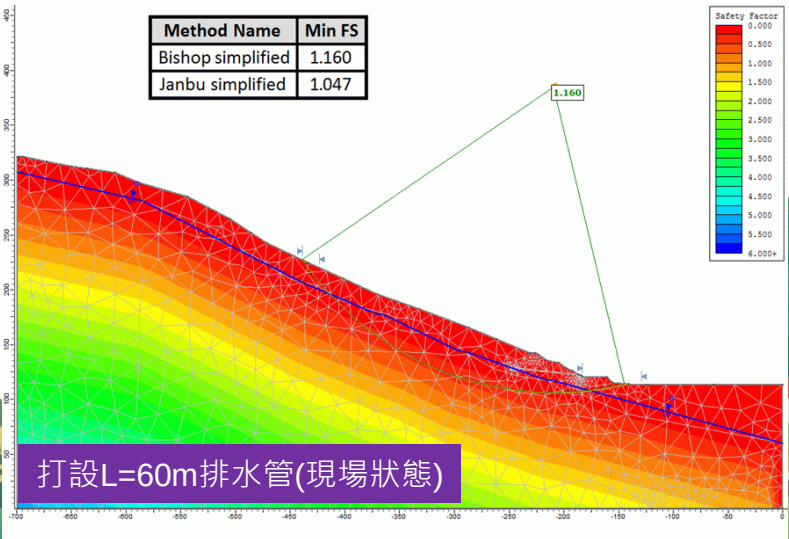
| 圓規颱風<br>降雨日期 |            | 降雨量<br>(mm/天) | 安全係數Bishop |                    |
|--------------|------------|---------------|------------|--------------------|
|              |            |               | 原水文地質模型    | 打設60m排水管<br>(現場狀態) |
| 常時           |            |               | 1.160      | 1.160              |
| Day1         | 2021/10/11 | 238.0         | 1.054      | 1.078              |
| Day2         | 2021/10/12 | 285.5         | 0.991      | 1.040              |
| Day3         | 2021/10/13 | 280.0         | 0.952      | 1.017              |
| Day4         | 2021/10/14 | 91.0          | 0.939      | 1.010              |
| Day5         | 2021/10/15 | -             | 0.942      | 1.008              |
| 合計(mm)       |            | 894.5         |            |                    |

F.S提升

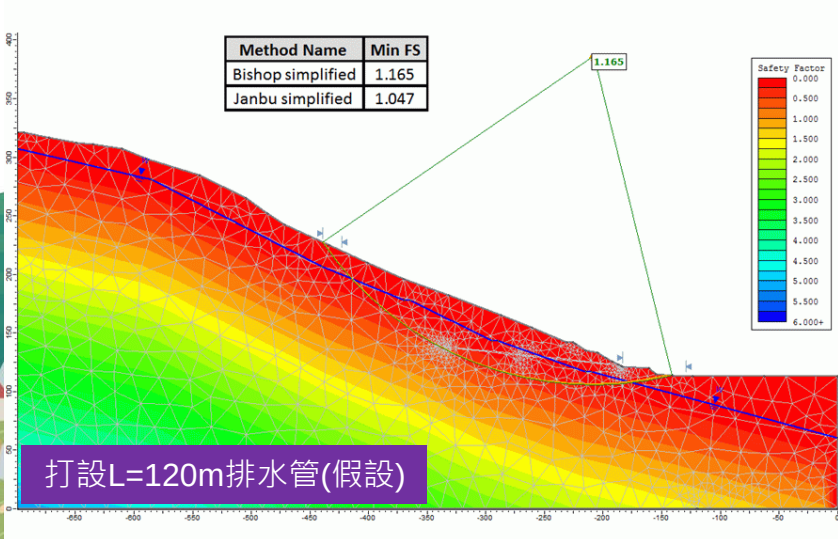
卓溪A-A剖面 常時 Bishop法



卓溪A-A剖面 常時 Bishop法



卓溪A-A剖面 排水管120m 常時 Day1 Bishop法





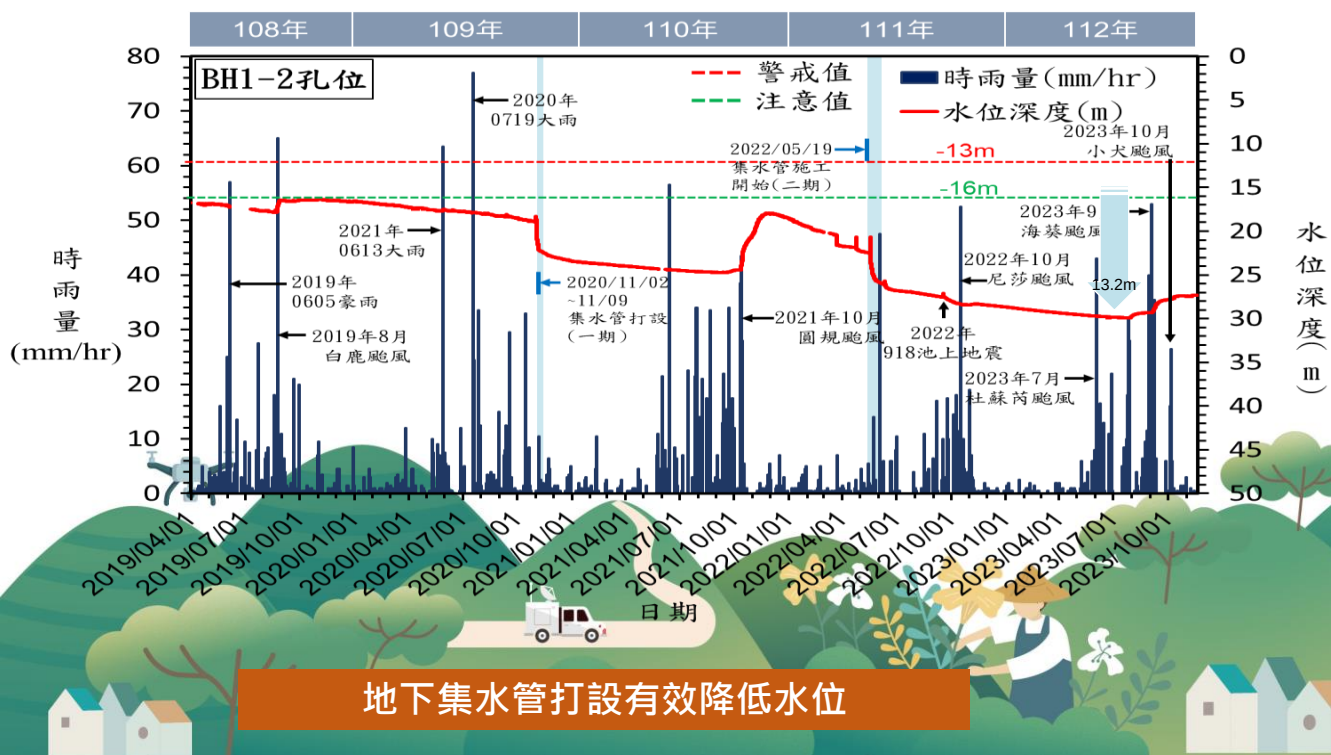
# 工程治理效益評估

## 卓溪大規模崩塌潛勢區(第1類)

### 大規模崩塌區，防災工程推動

- 109年(第一期工程) 集水管(4支@50m)打設後，BH1-2觀測井地下水位達**降低6.1m**成效。
- 111年(第二期工程) 集水管打設9支合計520m，深度50-60m，於混凝土護坡與北側坑溝壩體有3孔大量出水，BH1-2自動水位站**合計水位降低約13.2m**。

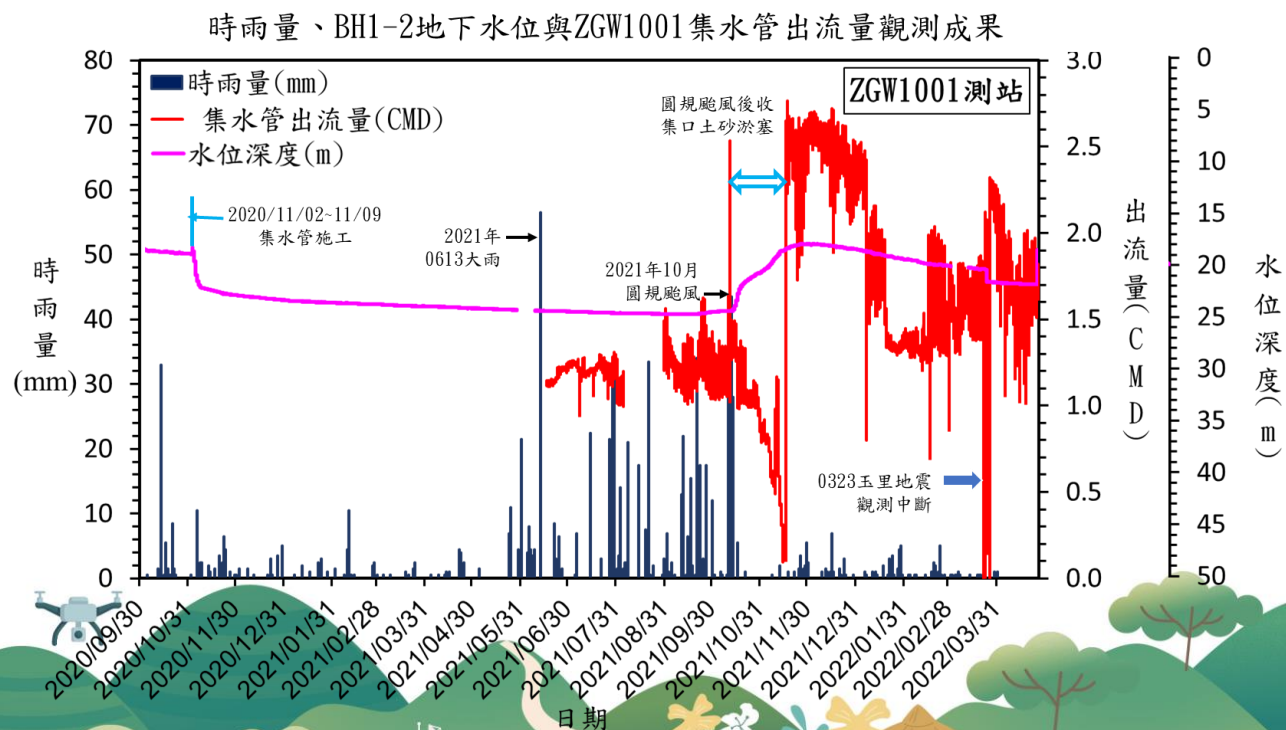
| 颱風豪雨事件 |       | 豪雨期間                  | 最大降雨(mm) |       |       | 累積雨量(mm) | 最高水位(m) | 峰值稽延(天) |
|--------|-------|-----------------------|----------|-------|-------|----------|---------|---------|
|        |       |                       | 1hr      | 24hr  | 48hr  |          |         |         |
| 施工前    | 白鹿颱風  | 2019/08/23-2019/08/25 | 65       | 418.5 | 472.5 | 472.5    | -16.5   | 5       |
| 一期完工   | 圓規颱風  | 2021/10/11-2021/10/14 | 43.5     | 377.5 | 688.5 | 895.0    | -18.1   | 50      |
| 二期完工   | 杜蘇芮颱風 | 2023/07/25-2023/07/28 | 32.0     | 324.0 | 552.5 | 619.0    | -29.3   | -       |
|        | 海葵颱風  | 2023/09/02-2023/09/05 | 53.0     | 475.0 | 566.0 | 575.0    | -27.8   | -       |
|        | 小犬颱風  | 2023/10/04-2023/10/06 | 26.5     | 137.5 | 234.5 | 249.0    | -27.3   | -       |





# 流量監測輔助工程治理效益評估

- 第一期完工後，單支地下水集水管雨季期間流量約1.0~1.5CMD，2021年10月圓規颱風後流量提升至2.2~2.8CMD之間。
- 圓規颱風與0323玉里地震，均顯示流量抬升現象。



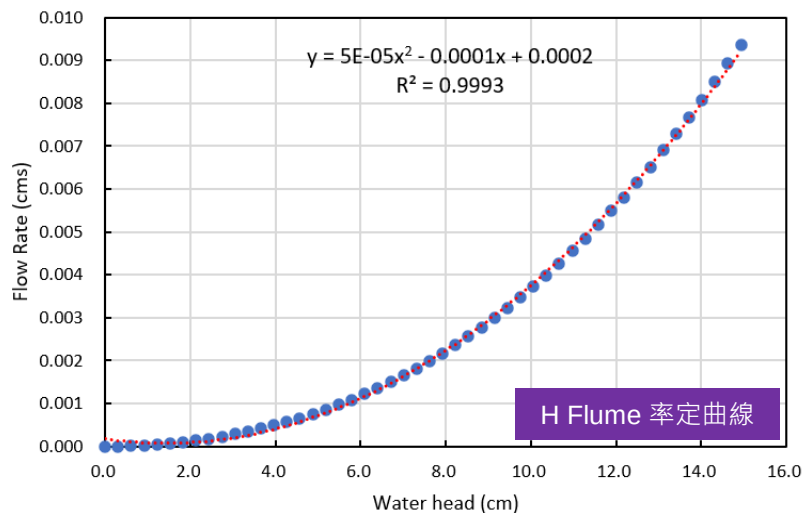
傾斗式流量計監測出水量





# 流量監測輔助工程治理效益評估

Lipang H Flume Rating Curve



## 花蓮縣-卓溪鄉-D010(卓溪) 自動化集水管出流量觀測

■ 2023/07/05-2023/11/20  
約排出13,245噸水量。

| 豪雨事件  | 豪雨期間                  | 累積雨量 (mm) | 尖鋒流量Q (L/min) |
|-------|-----------------------|-----------|---------------|
| 杜蘇芮颱風 | 2023/07/25-2023/07/28 | 619.0     | 528.7         |
| 海葵颱風  | 2023/09/02-2023/09/05 | 581.0     | 641.4         |
| 小犬颱風  | 2023/10/04-2023/10/06 | 249.0     | 110.9         |

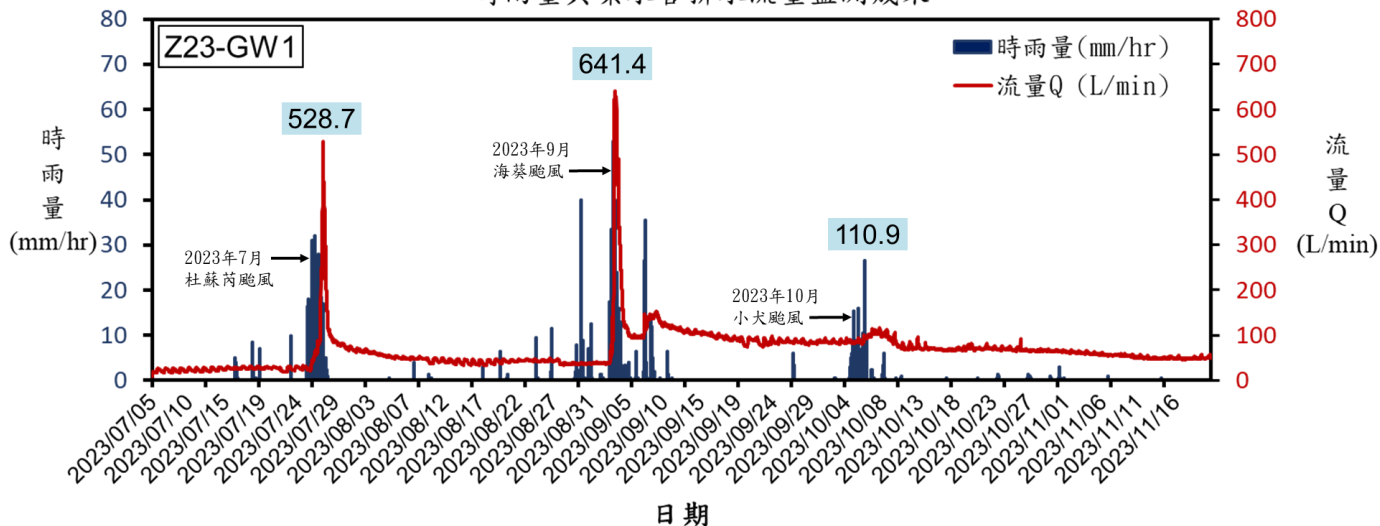
### 流量站現場維護



### 自動化地下水流量站監測



時雨量與集水管排水流量監測成果







# 位移量相關性分析

Rainfall 降雨 ( $ATP_j$ 、 $I_{max}$ )、  
Groundwater 地下水 ( $GL_{max}$ 、 $GwRR$ 、 $GwDR$ )  
Earthquake 地震(暫時忽略)



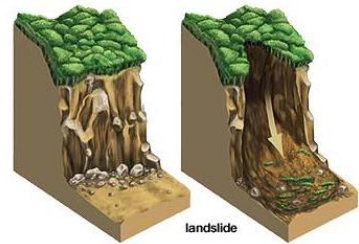
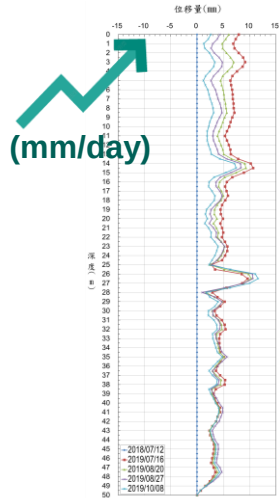
$$U = f(\text{Driving forces}, \text{Resistant forces})$$

Fracture network  
(滑動體的裂隙或破碎網絡)  
Geologic characteristic  
(地質特性)

觀念模式(conceptual model)  
等號左手邊的 **U** 代表位移速率，  
或稱為**日平均位移量 (mm/day)**，  
是經過兩年田間觀測之所見所提出的觀念模式。

對於坡面滑動的預測或預警模式，可以分為  
黑盒子模式 (Black-box model)、  
白盒子模式 (White-box model)、  
灰盒子模式 (Gray-box model)。

黑盒子模式是因為完全無法掌握或無法用現有對於該物理現象發生原因的理解情況下，採用統計的方式進行；白盒子模式則恰好相反，乃是將理解的力學或影響機制，以數學的方式進行詮釋，再求取解析解或是近似解；灰盒子模式則介於兩者之間 (Longoni et al., 2012)。







# 孔內位移量相關性分析

花蓮縣-卓溪鄉 - D010(卓溪)

滑動塊體A觀測井BH1-3

- 採用臨前7日的累積雨量迴歸，當累積雨量到達650mm時，BH1-3孔口日合位移速率將達到0.52mm/day，達中華民國大地工程學會判定的「警戒值」等級之日變位量下限0.5 mm/day。

合位移日變化量之複迴歸分析

臨前7日累積雨量 (ATP<sub>7</sub>)及水位上升速率(GwRR)符合95%信賴區間顯著水準。

迴歸統計

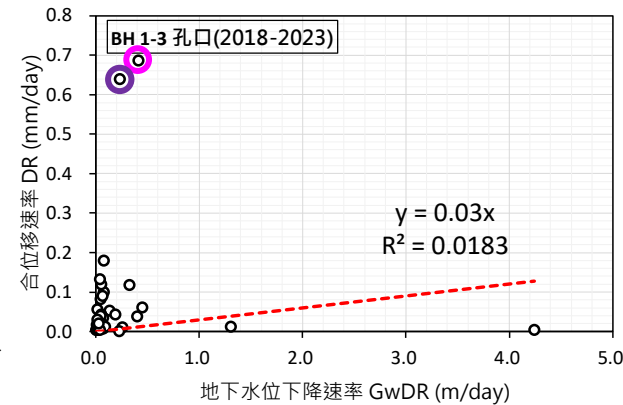
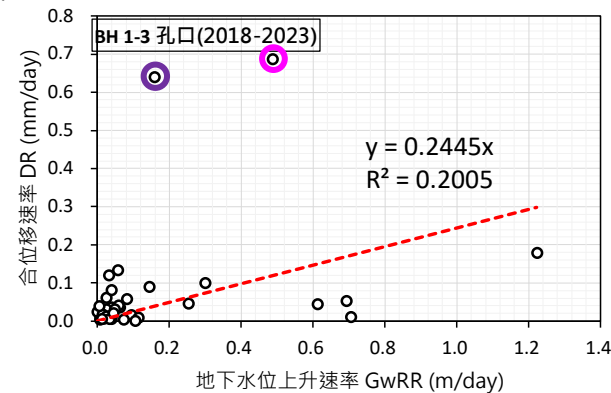
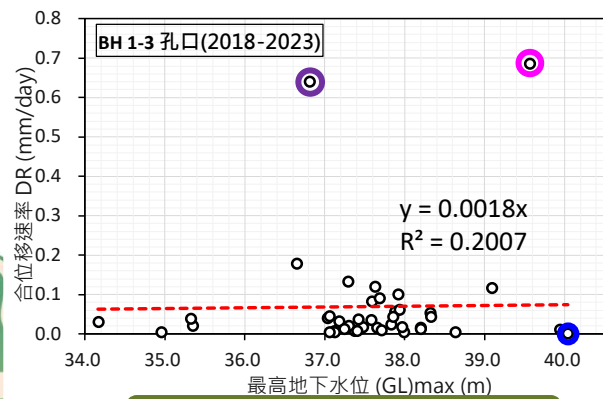
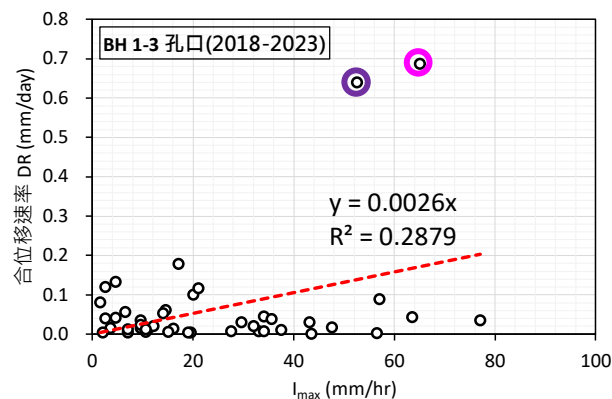
|          |        |
|----------|--------|
| R 的倍數    | 0.6079 |
| R 平方     | 0.3695 |
| 調整的 R 平方 | 0.3335 |
| 標準誤      | 1.0787 |
| 觀察值個數    | 38     |

ANOVA

|    | 自由度 | SS      | MS      | F       | 顯著值    |
|----|-----|---------|---------|---------|--------|
| 迴歸 | 2   | 23.8649 | 11.9324 | 10.2550 | 0.0003 |
| 殘差 | 35  | 40.7250 | 1.1636  |         |        |
| 總和 | 37  | 64.5899 |         |         |        |

|                       | 係數      | 標準誤    | t 統計    | P-值    | 下限 95%  | 上限 95%  | 下限 95.0% | 上限 95.0% |
|-----------------------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|----------|----------|
| 截距                    | -3.3512 | 0.6054 | -5.5355 | 0.0000 | -4.5802 | -2.1222 | -4.5802  | -2.1222  |
| LN(ATP <sub>7</sub> ) | 0.2786  | 0.1112 | 2.5050  | 0.0170 | 0.0528  | 0.5044  | 0.0528   | 0.5044   |
| LN(GwRR)              | 0.3813  | 0.1396 | 2.7321  | 0.0098 | 0.0980  | 0.6646  | 0.0980   | 0.6646   |

圖例: ○白鹿颱風 ○圓規颱風 ○尼莎颱風



Imax 最大降雨強度

Glmax 最高水位

GwRR 水位上升速率

GwDR 水位下降速率

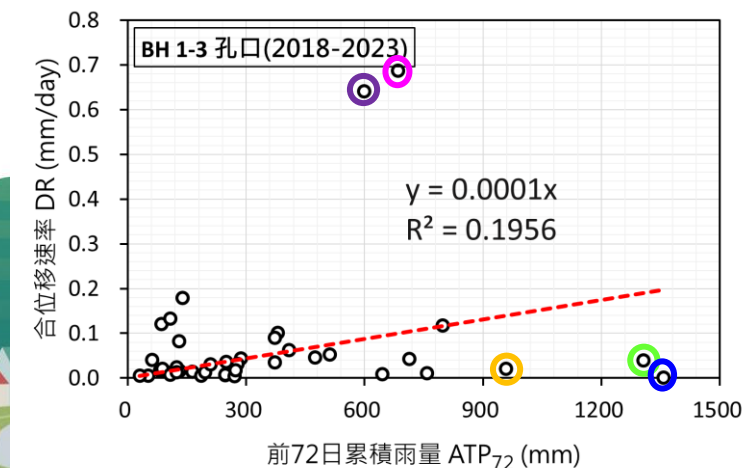
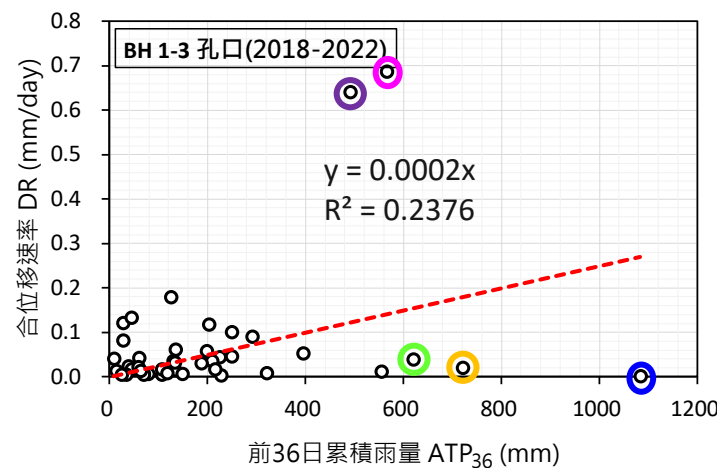
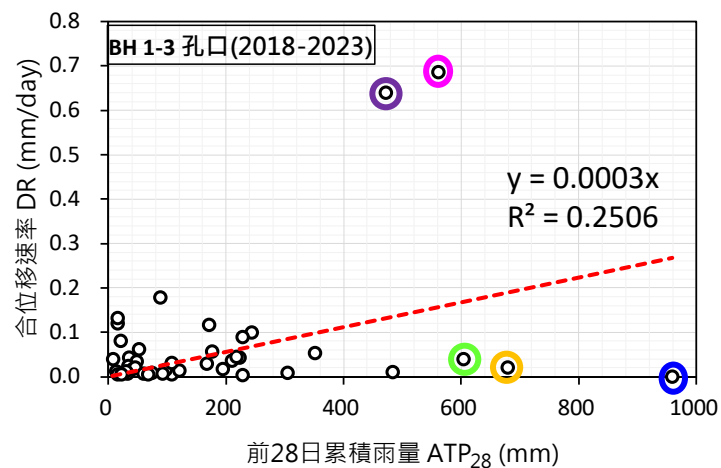
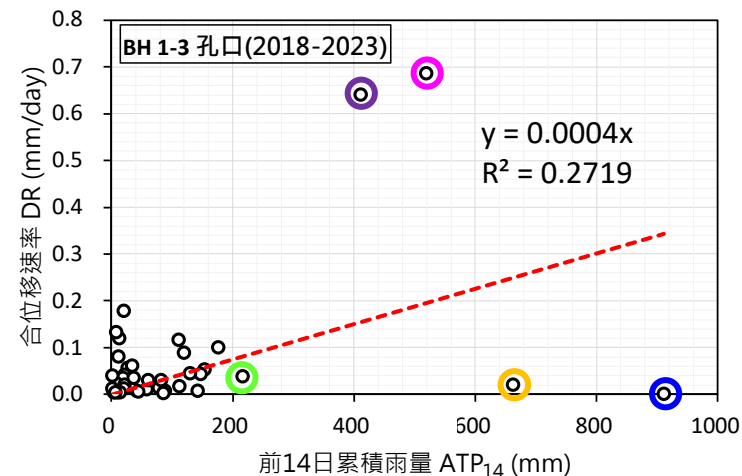
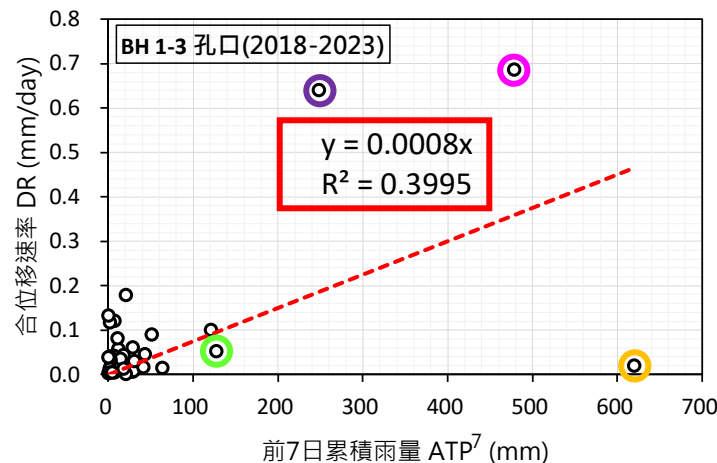
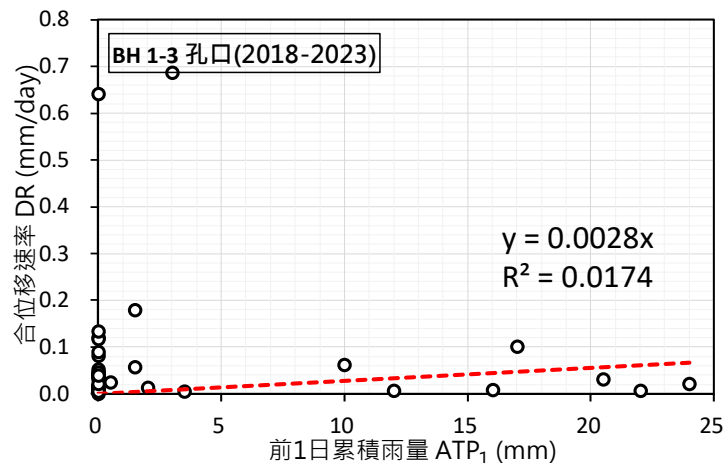




# 孔內位移量相關性分析

花蓮縣-卓溪鄉 - D010(卓溪)

滑動塊體A觀測井BH1-3

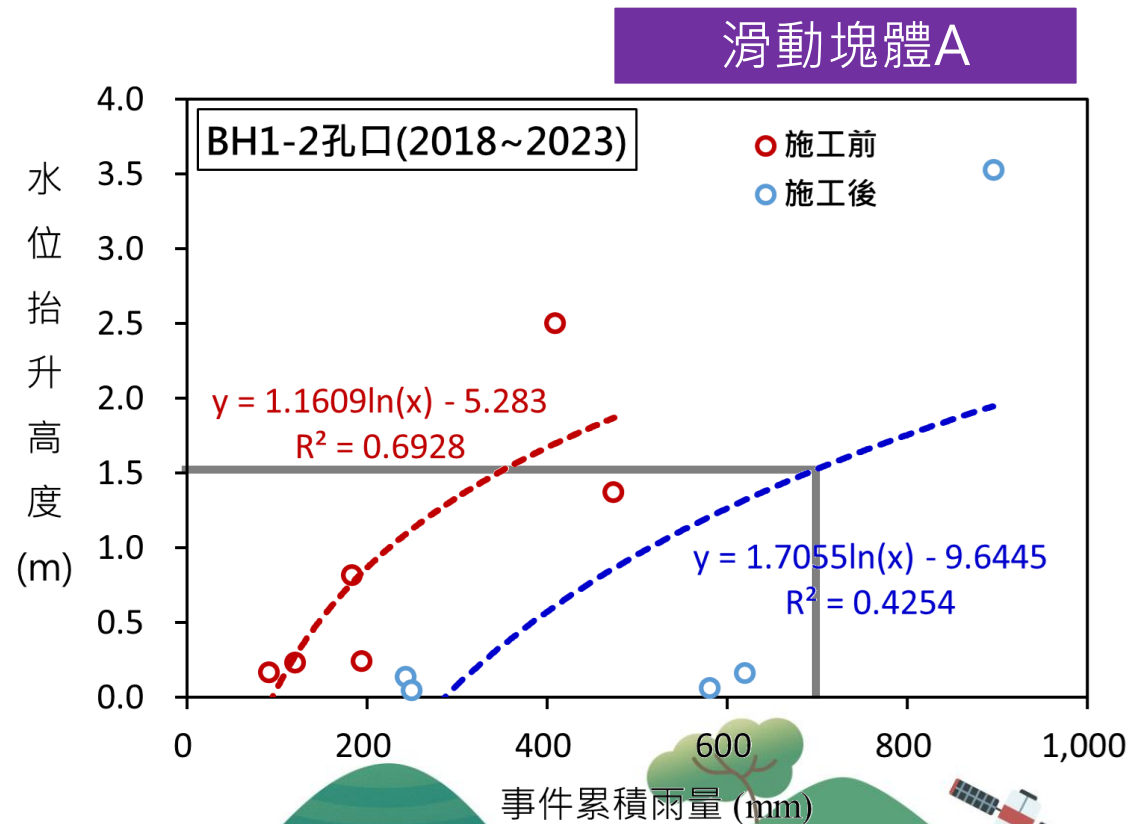
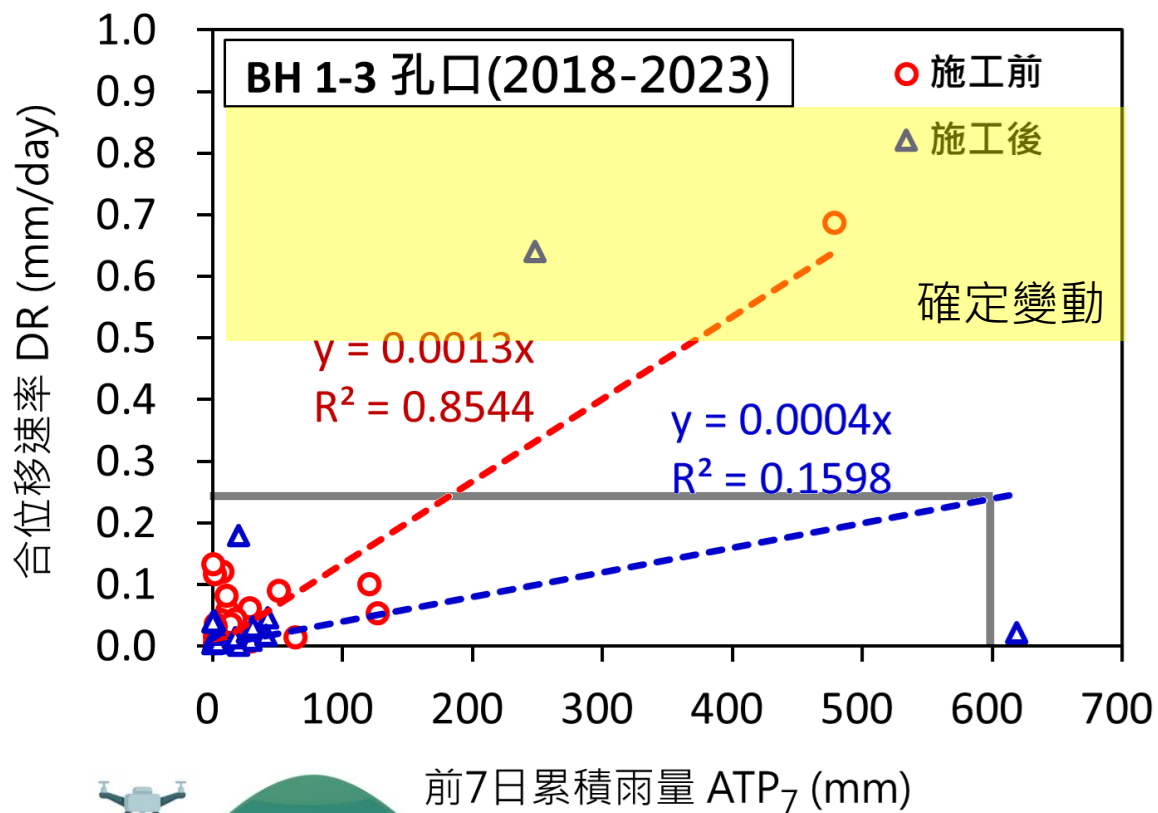


圖例: 白鹿颱風 圓規颱風 尼莎颱風 杜蘇芮颱風 海葵颱風

ATP<sub>j</sub> 前1、7、14、28、36、72日累積雨量(mm)



# 工程治理邊坡穩定成效評估





# 軟體避災策略

## 軟體防減災策略-「風險規避」

卓溪鄉公所原址受複合型災害(崩塌+土石流)威脅，2018年依循潛在大規模崩塌調查規劃成果，啟動遷建計畫，落成新址於卓溪國小南側安全腹地，解決防災指揮中心長期面臨複合型災害之威脅，已於2022年8月22日進駐服務民眾。



卓溪鄉公所新址現況





# 工程治理效益評估

## 水位峰值下降

- 完工後地下水位峰值較施工前降低

## 峰值稽延

- 完工後降雨峰值與地下水位峰值稽延約50天，較施工前延長45天

## 邊坡穩定

- BH1-3施工前遇白鹿颱風曾達警戒狀態；完工後遇颱風地中、地表變位未達注意值

- 工程完工後，豪雨事件顯示地下水位峰值降低、峰值稽延與地中、地表變位速率趨緩。





# 結論與建議

- 卓溪鄉-D010(卓溪)由**厚層岩屑層及結構破碎岩盤**組成，具淺層5-15m及較深層25-50m處**地下水流路徑**；已執行兩期地下水排除工程並見成效，持續監測與評估後續工程需求，以增益邊坡穩定。
- 地下排水為深層崩塌處理有效且必要工法**，雨季、多時相地電阻探測增加時間維度變化，提升調查精準度。
- 藉由現地調查、地球物理探測與長期監測，有效輔助工程配置、施工中調整，不斷精進提供成功率，並採成效評估量化治理成效。





# 致謝

■本研究承蒙農業部農村發展及水土保持署花蓮分署108-112年度之委辦補助，謹致謝忱。







報告完畢  
敬請指教

