臺東縣大武鄉大鳥部落大規模崩塌潛勢特性與工程減災策略研究

技研小組seminar專題討論分享








立邦工程技術顧問有限公司　王姵兮技師

2022年9月20日

研究區範圍



基本資料

編號	潛勢區編號	潛勢範圍代碼	鄉鎮	防災類型	計畫面積(ha)	潛勢區面積(ha)	山崩與地滑地質敏感區(ha)	監測起始年份
1	臺東縣-大武鄉-D021(大鳥 1)	DS054	大武鄉	36處優先(第一型)	145.0	45.2	25.4	2017
2	臺東縣-大武鄉-D022(大鳥2)	DS055		36處優先(第一型)		8.3	8.3	2017

- 平均坡度：22.4度
- 坡向：東南；東
- 地層：潮州層(硬頁岩或板岩間夾透鏡狀砂岩體)
- 構造：大鳥複向斜(計畫區西側)
- 災害歷史：2009年8月莫拉克颱風後D021發生大規模崩塌

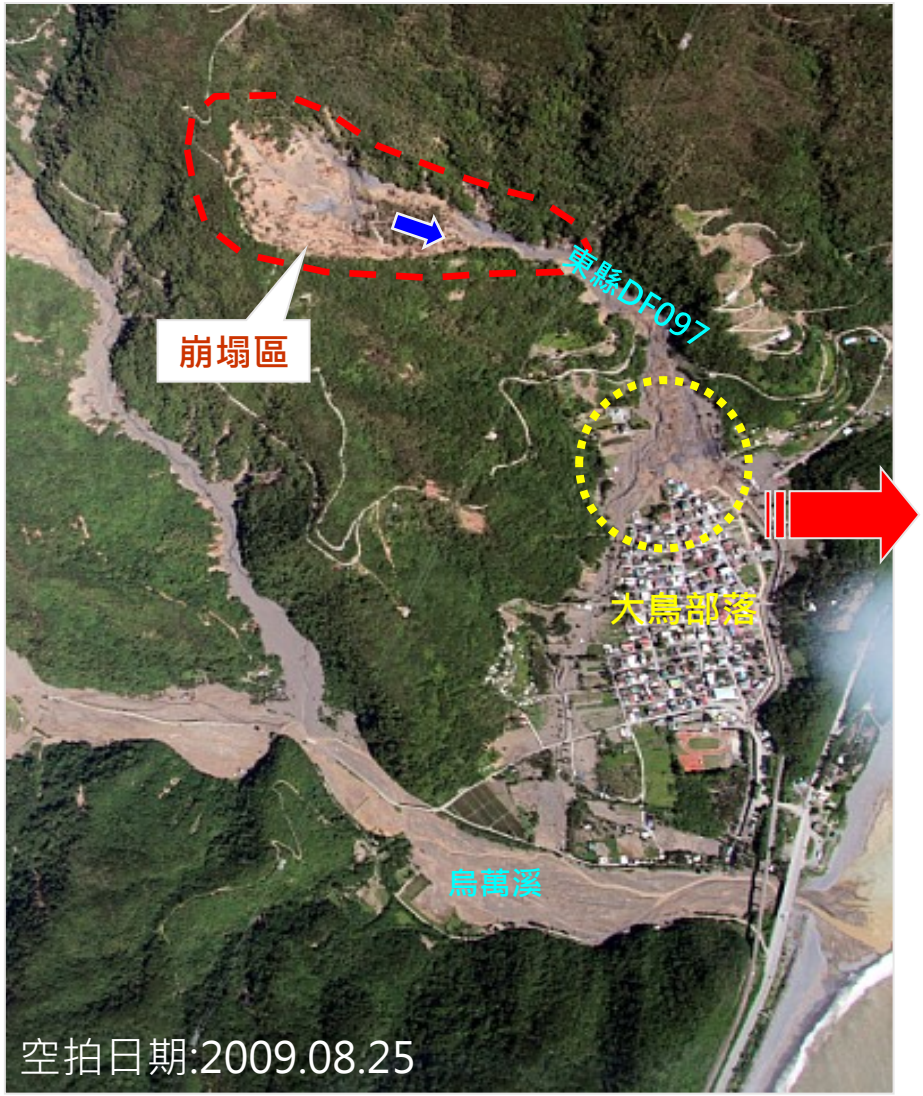
簡報大綱

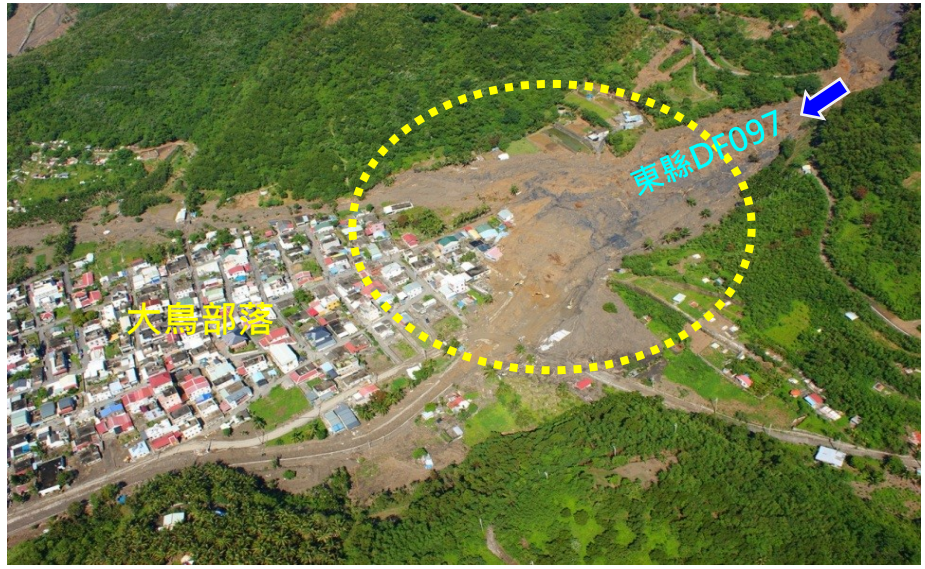
一. 莫拉克風災與後續復建
二. 坡地災害特性
三. 地球物理探測與長期監測
四. 工程減災策略
五. 致災風險評估

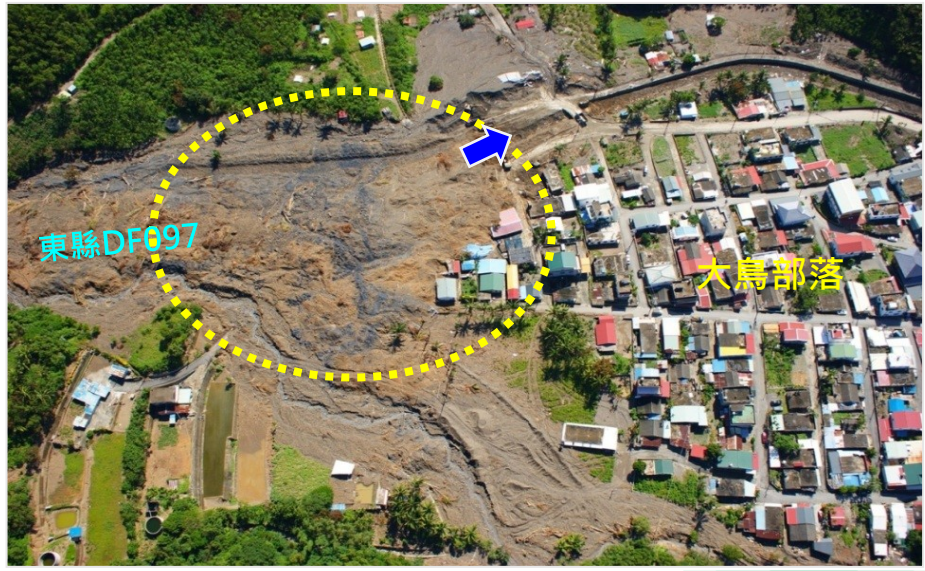
一、莫拉克風災與後續復建

2009年莫拉克災情概述

- 2009年8月莫拉克颱風橫掃臺灣中南部，颱風挾帶來持續豪雨，臺東南端大武鄉境內24小時累積雨量達781mm。
- 大鳥部落上游邊坡6.8公頃崩塌，並形成土石流下移，下移土方達32萬立方公尺。民宅14戶遭土石掩埋，聯外交通中斷。



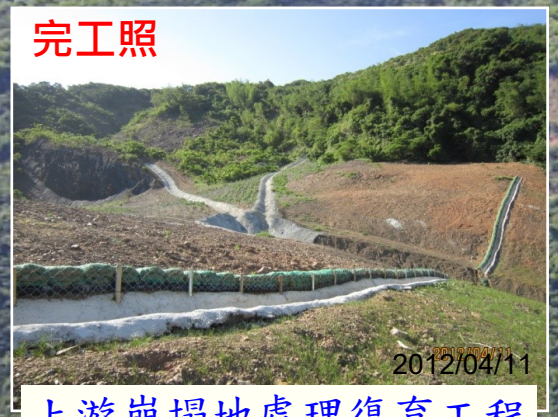




保全對象		鄉鎮及村里	戶數	人口數
居民		大武鄉*：大鳥聚落(1~16鄰)	466	1,147
公共設施	主要道路及橋梁	大鳥聯外道路		
	其他	大鳥國小、台灣基督長老教會大鳥教會、大鳥天主堂、大鳥配水站。		

莫拉克颱風後大鳥部落整體治理

崩塌地處理
(6.8ha)



上游崩塌地處理復育工程

1號梳子壩

2號防砂壩

3號防砂壩

1號沉砂池

滯洪壩

2號沉砂池

導流堤
與擋水牆

南一溝
東縣DF098

北一溝
東縣DF097



土石流觀測站

大鳥部落

重機械三級進駐

2011/06



中游防砂工程





下游沉砂池攝影機觀測情形

整體治理與大規模崩塌防減災現況





大鳥1號集水井



崩塌區安全排水系統

拍攝日期：2022/07/25

二、坡地災害特性

區域地質及地質構造分布







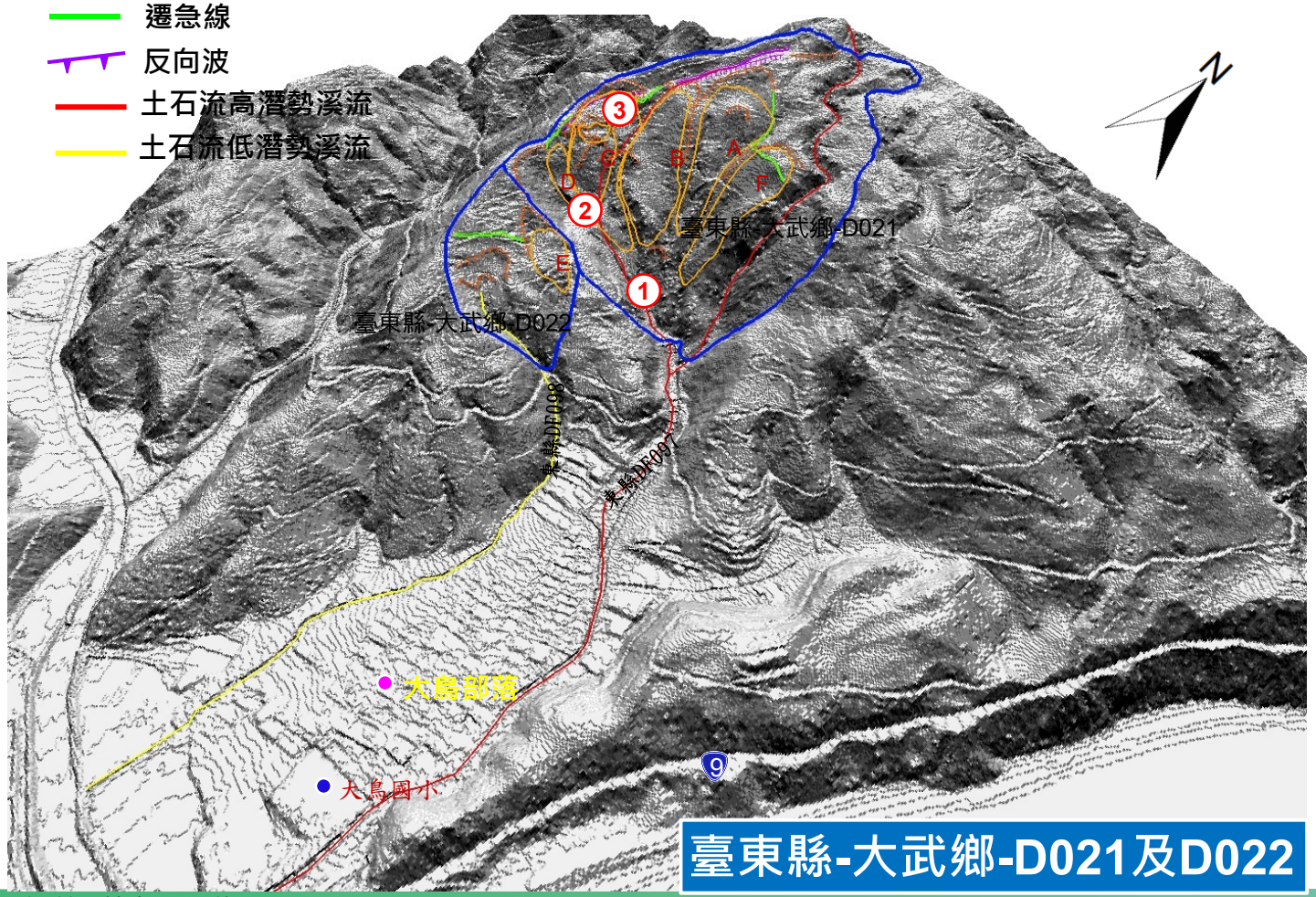
岩性：板岩偶夾變質砂岩
劈理位態：N10°E/21°SE
J1節理N20°E/86°SE
J2節理N76°W/87°SW

- 地層以潮州層為主，岩性為板岩偶夾變質砂岩，惟因風化與重力作用，潛移與崩移現象導致位態無規則。
- 大鳥劈理位態與部分坡面方向具順向坡潛勢。坡體並因風化作用造成岩體破碎，進而於厚層岩屑層間滑動。
- 主要構造:大鳥複向斜分布。
- 各區下游分布全新世沖積層。

滑動塊體分布與岩性

圖 例:

- 大規模崩塌潛勢區
- 判釋滑動塊體
- 崩崖
- 遷急線
- 反向波
- 土石流高潛勢溪流
- 土石流低潛勢溪流



臺東縣-大武鄉-D021及D022

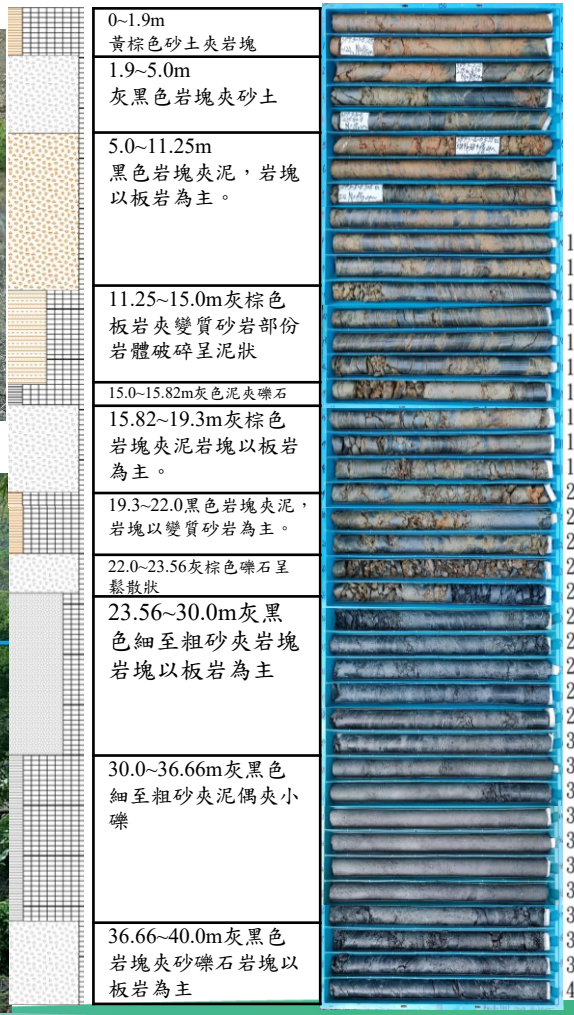


岩盤裸露低窪處，低窪處有滲水(2011年)

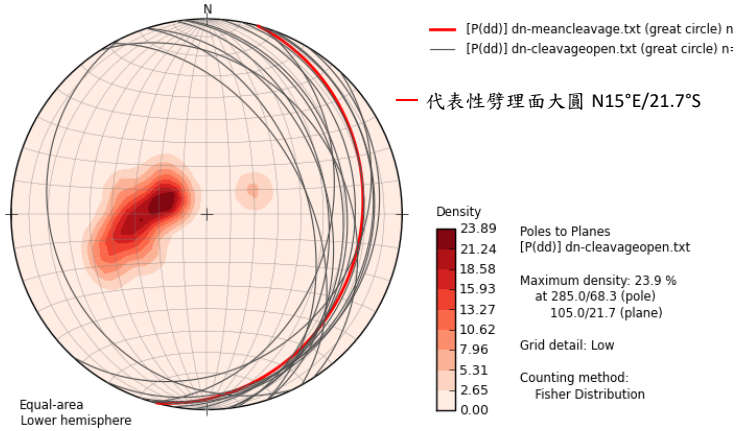


崩塌地下緣至1號梳子壩間地質分布(2011年)

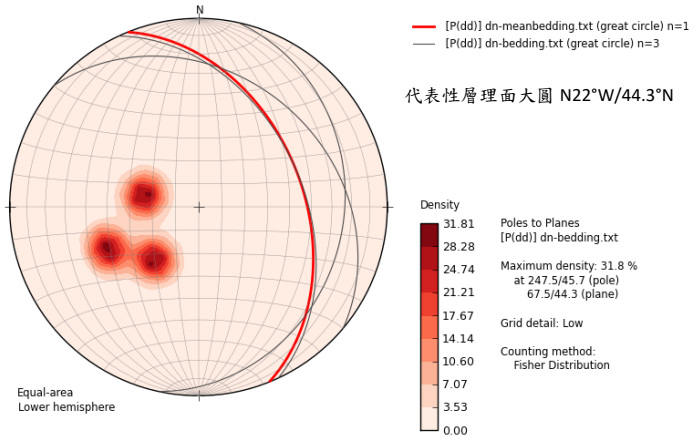
③DW-B1001岩心柱狀圖



滑動機制研判

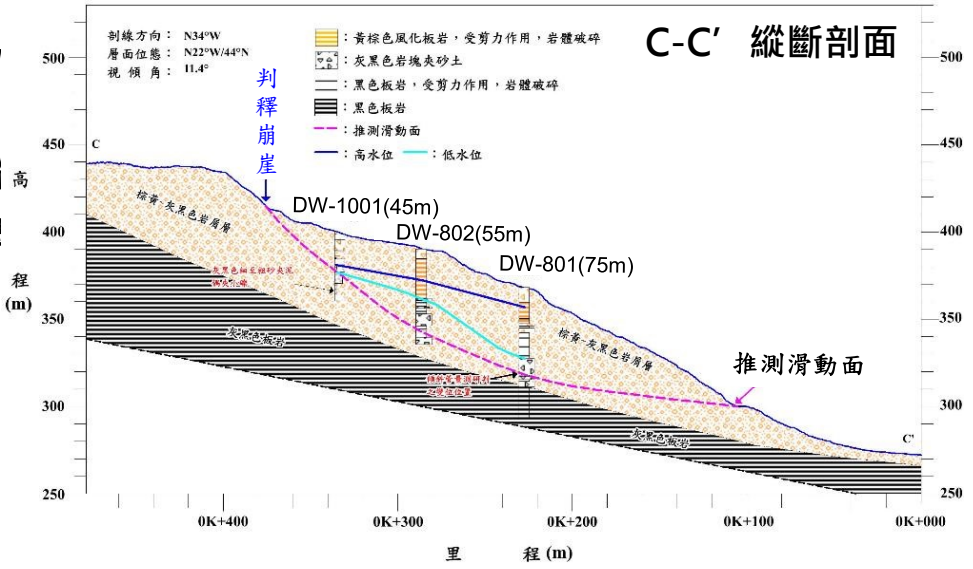


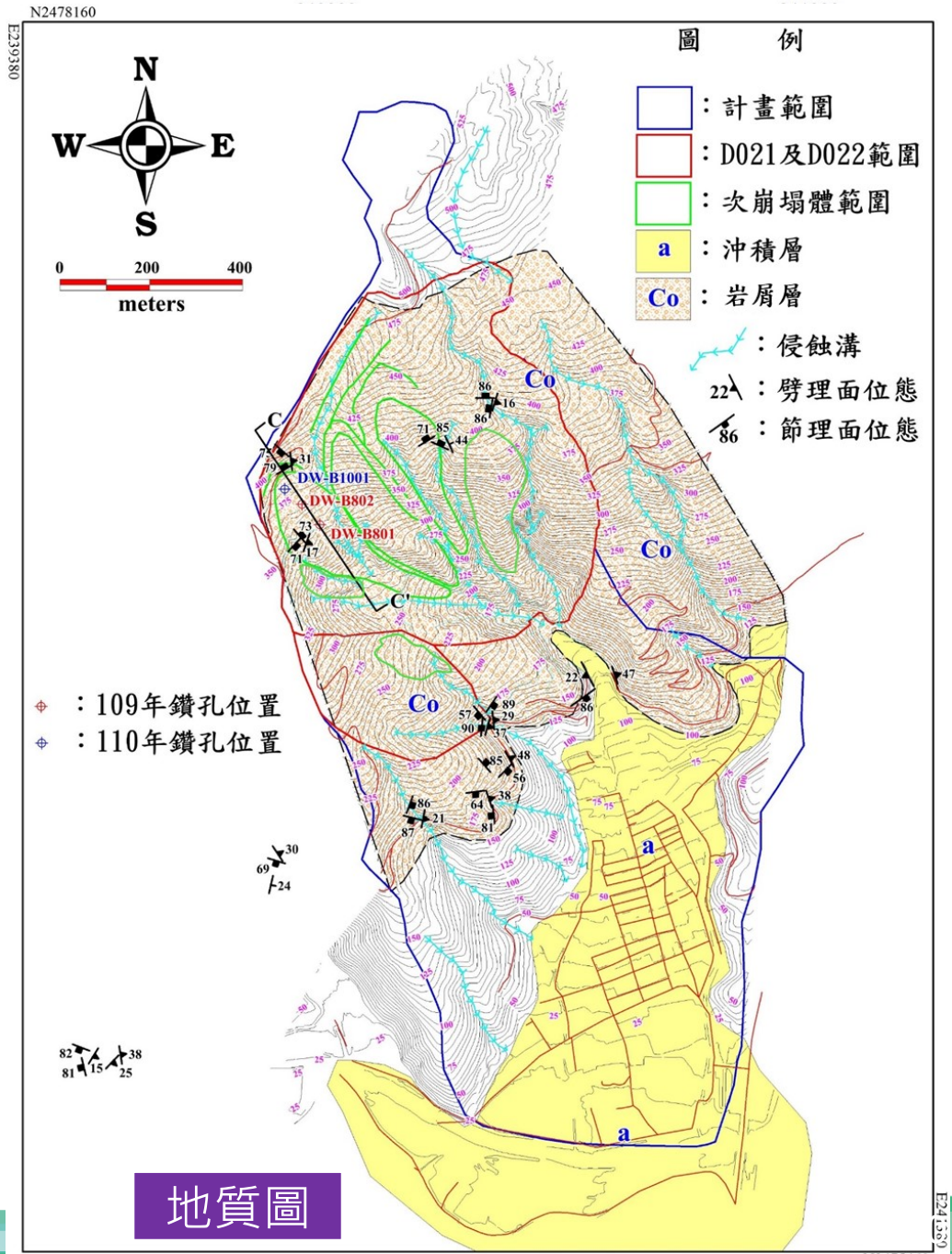
劈理位態大圓分析圖



層理位態大圓分析圖

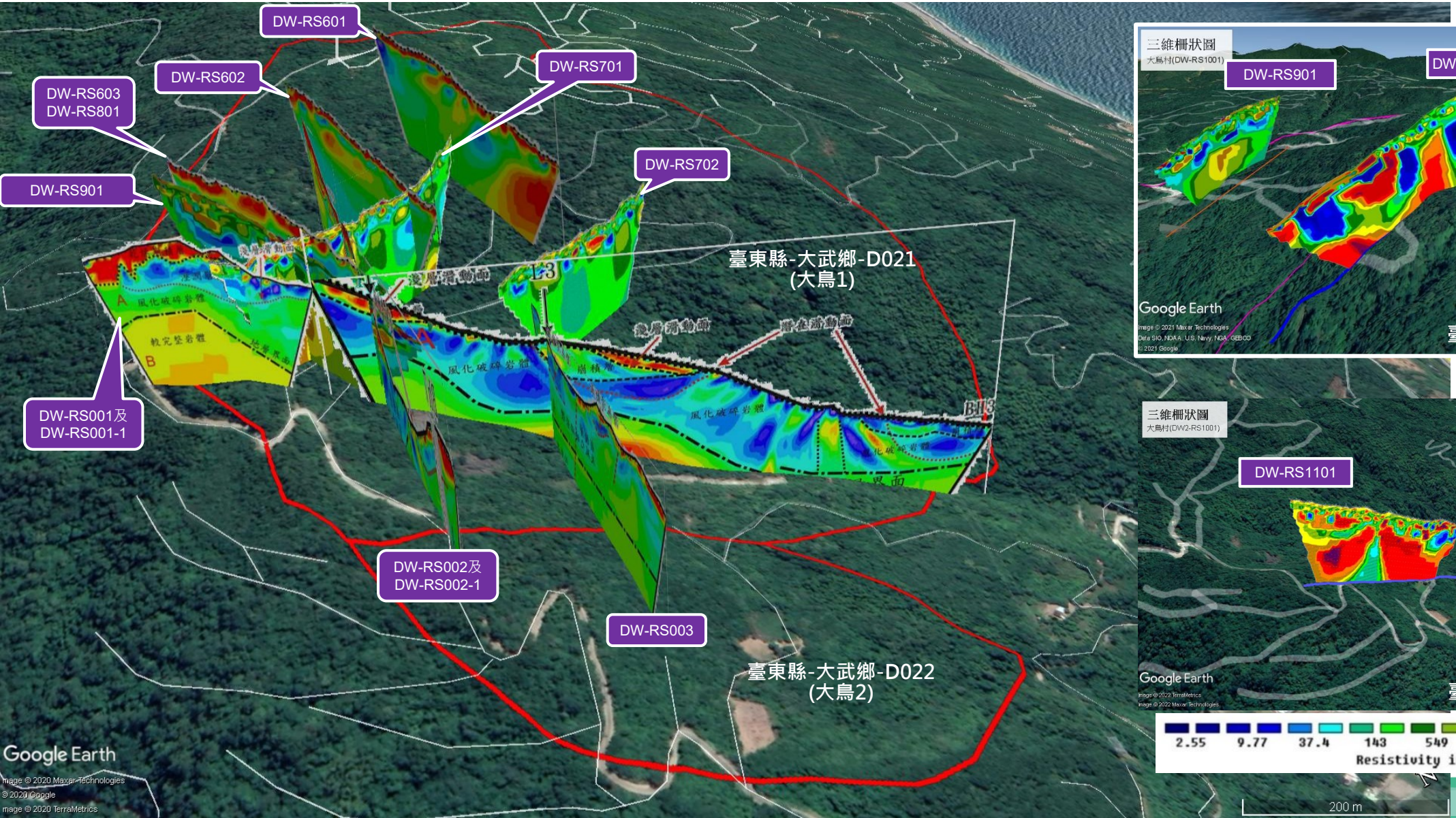
- 大武鄉-D021次滑動區地表下岩屑層厚度在57.3m(DW B801)以上，破裂板岩組成岩屑層，並具剪裂泥，部份已受剪成為砂礫狀，研判為岩屑層內之潛在滑動位置，且已受潛移活動影響。
- 大武鄉-D022次滑動區地表下岩屑層厚度約在20.2m(DW-B1101)。





三、地球物理探測與長期監測

歷年地電阻隔時探測(2011-2022)

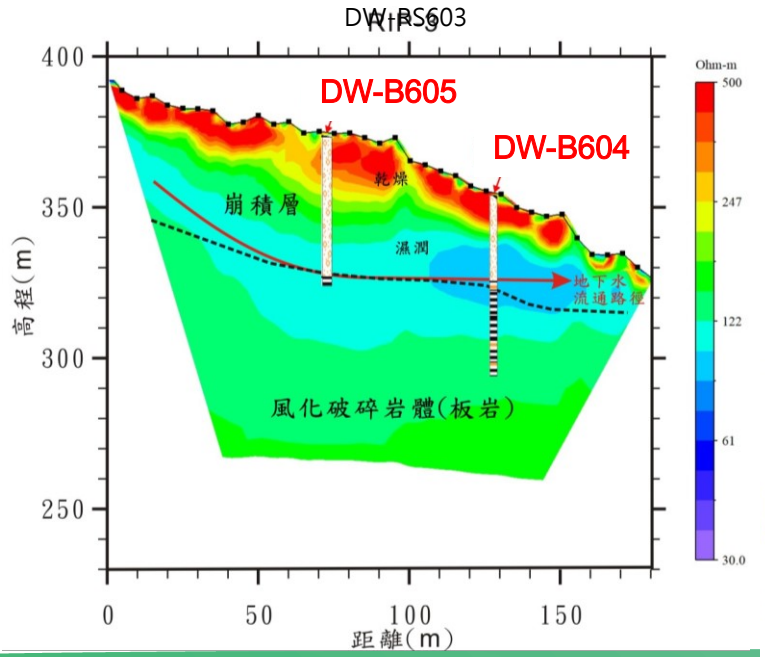


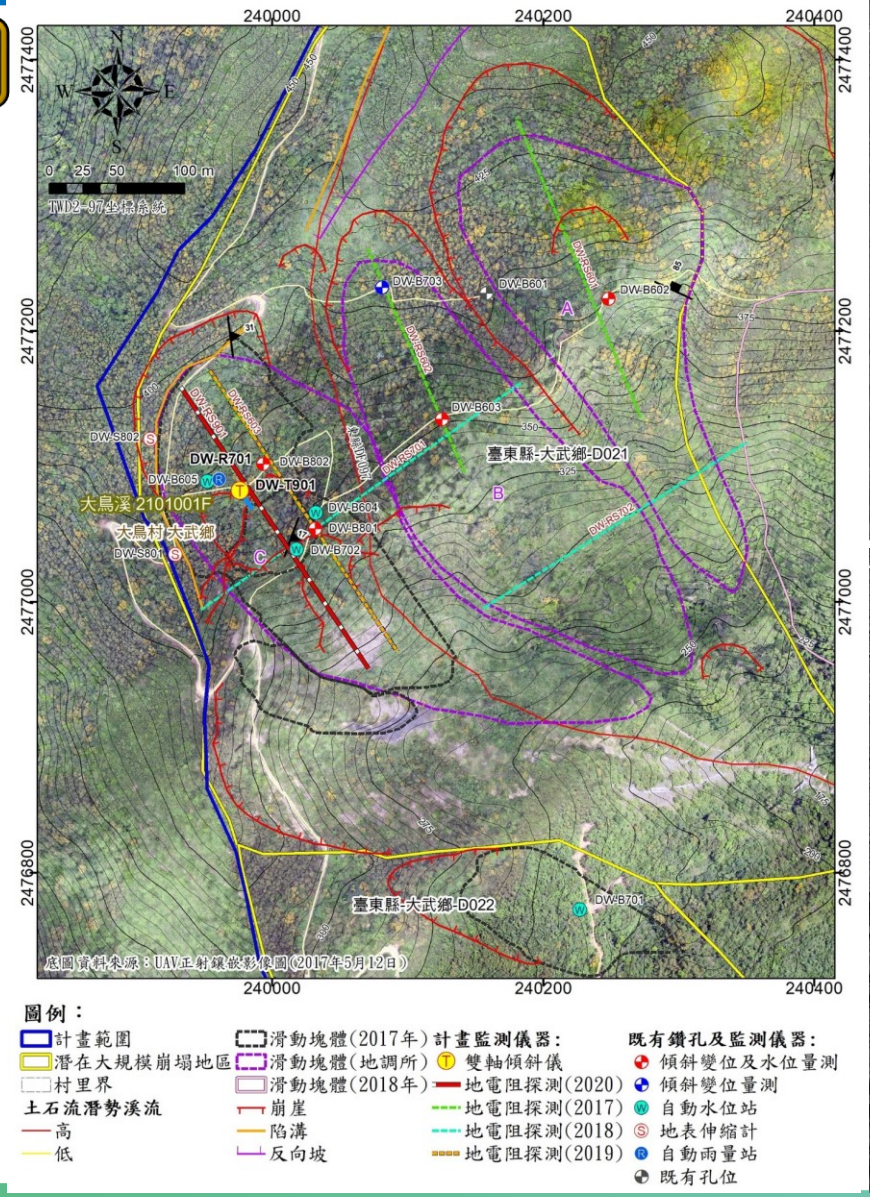
2017-2018年地電阻隔時探測

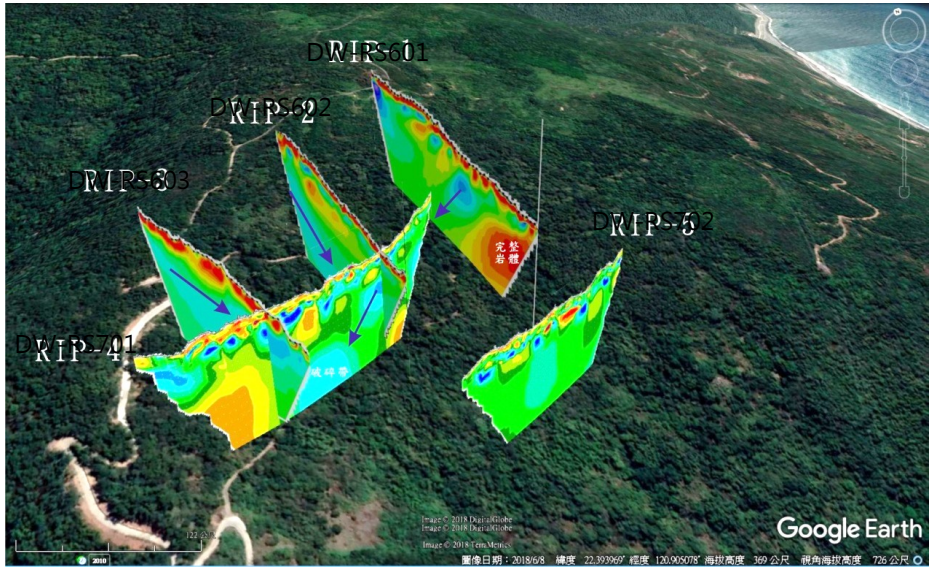
大武鄉-D021

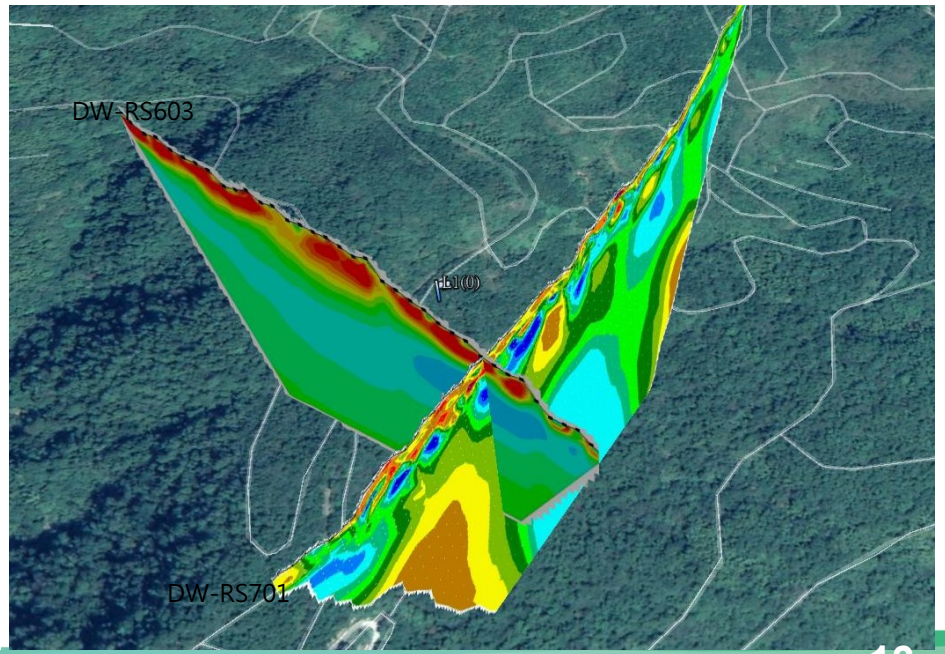
輔助致災特性分析

- **2017年8月DW-RS603 (RIP-3)**
  測線地表淺層有高電阻率層次存在，且其下方有明顯之地下水流通路徑，研判當連續下雨地下水位抬昇，地下水呈現飽合狀態，容易在崩積層下方形成滑動面。

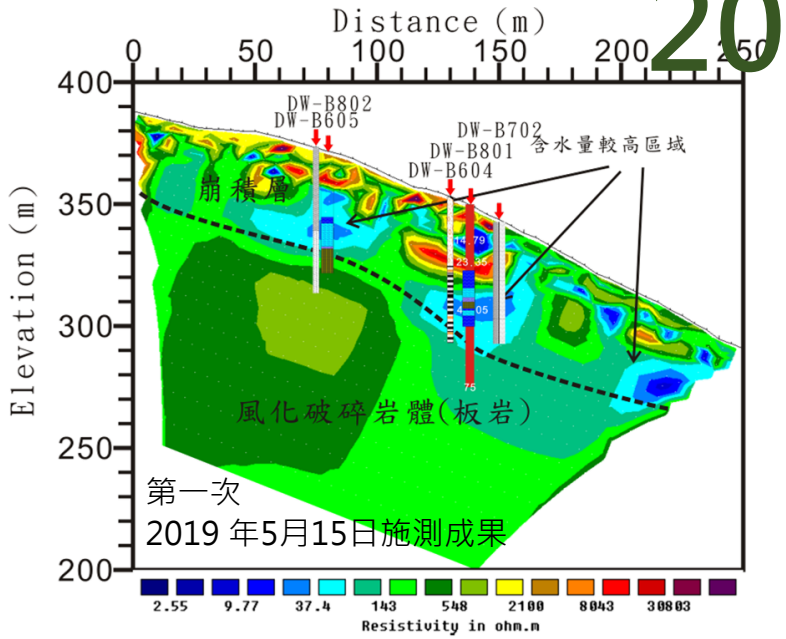




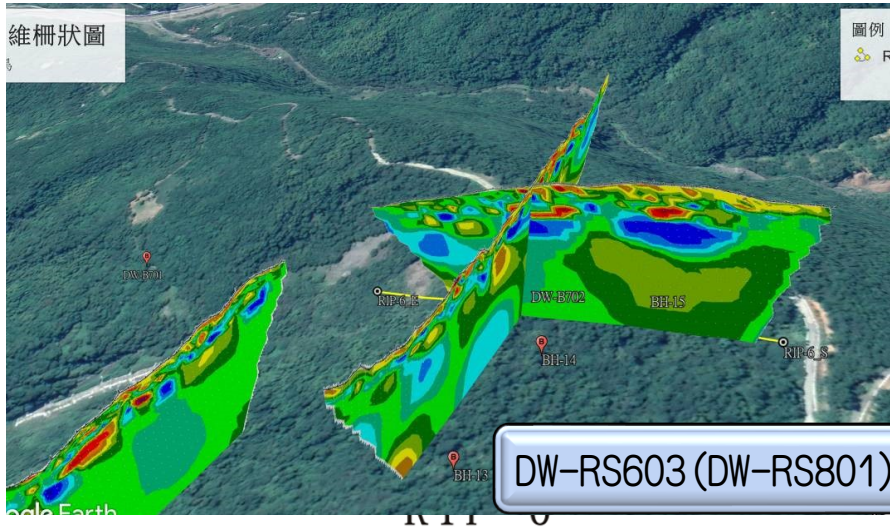


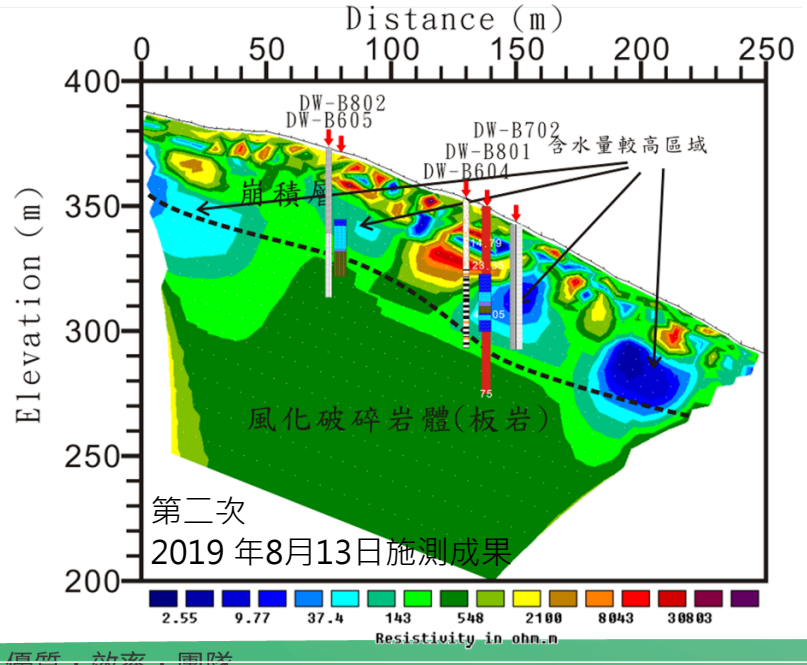


2019年地電阻隔時探測

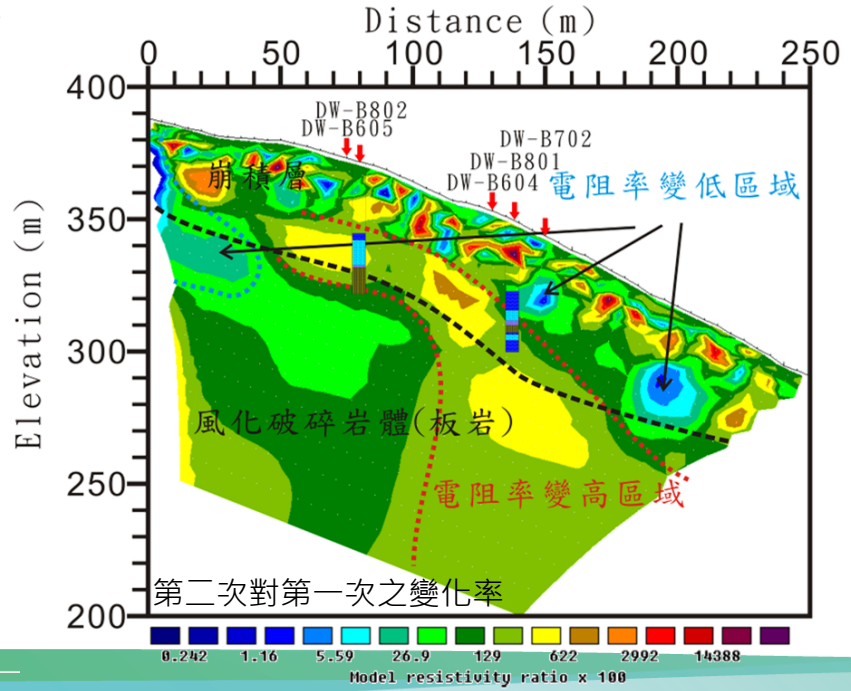


第一次
2019 年5月15日施測成果

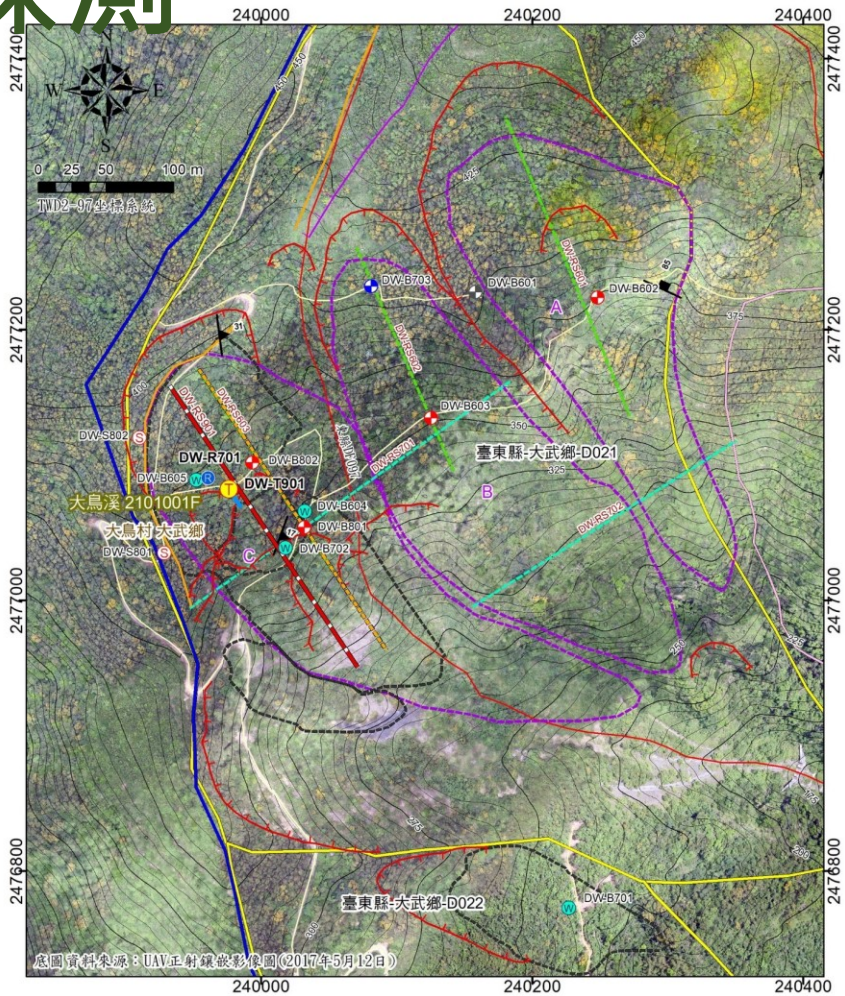




第二次
2019 年8月13日施測成果



第二次對第一次之變化率

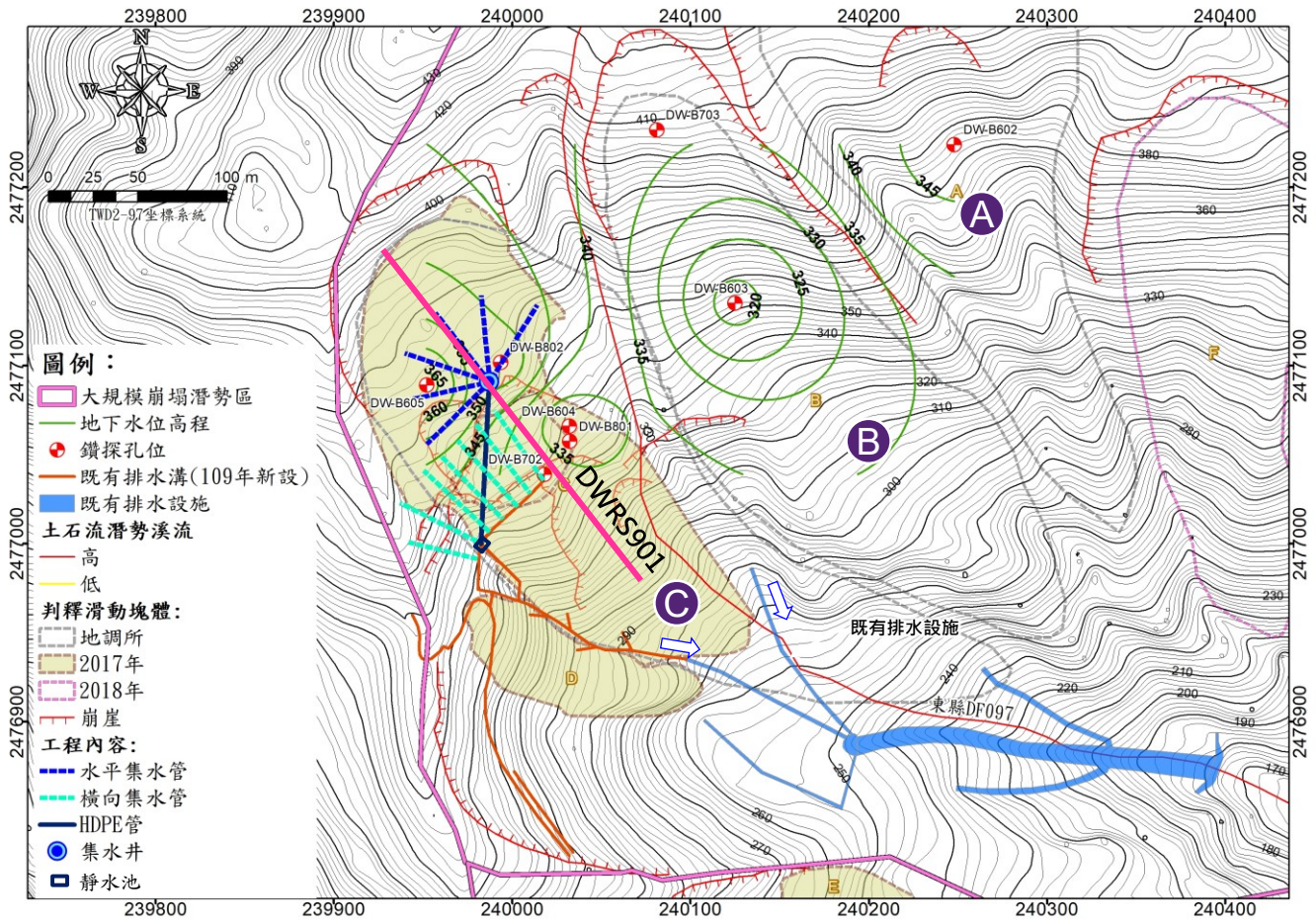


圖例：

- 計畫範圍
- 潛在大規模崩塌地區
- 村里界
- 土石流潛勢溪流
  - 高
  - 低
- 滑動塊體(2017年)
- 滑動塊體(地調所)
- 滑動塊體(2018年)
- 崩崖
- 陷溝
- 反向坡
- 計畫監測儀器：
  - Ⓣ 雙軸傾斜儀
- 地電阻探測(2020)
- 地電阻探測(2017)
- 地電阻探測(2018)
- 地電阻探測(2019)
- 既有鑽孔及監測儀器：
  - 傾斜變位及水位量測
  - 傾斜變位量測
  - Ⓦ 自動水位站
  - Ⓢ 地表伸縮計
  - Ⓡ 自動雨量站
  - 既有孔位

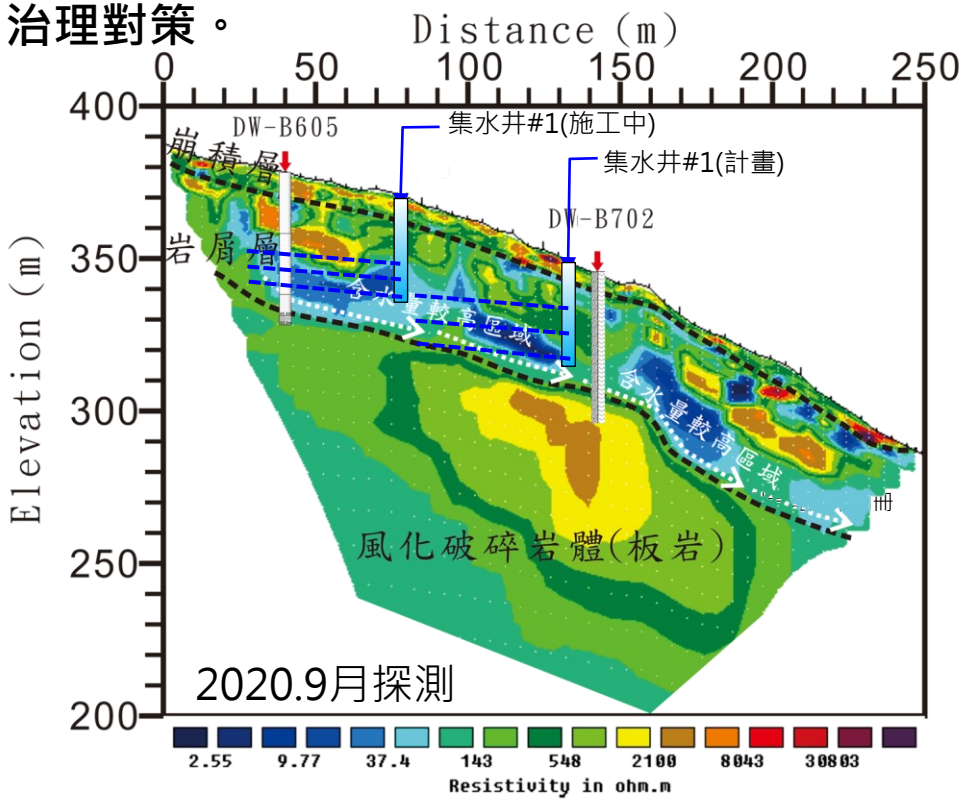
2020年雨季地電阻隔時探測

地下水檢層、隔時地電阻探測，為地下水把脈



大武鄉D021崩塌地集水井及邊坡地下排水工程

- 大武鄉-D021為高風險地質災害區域；除持續提升自動監測系統佈設率及精進監測品質，針對深層崩塌之硬體工程需求，綜合調查監測成果提出治理對策。

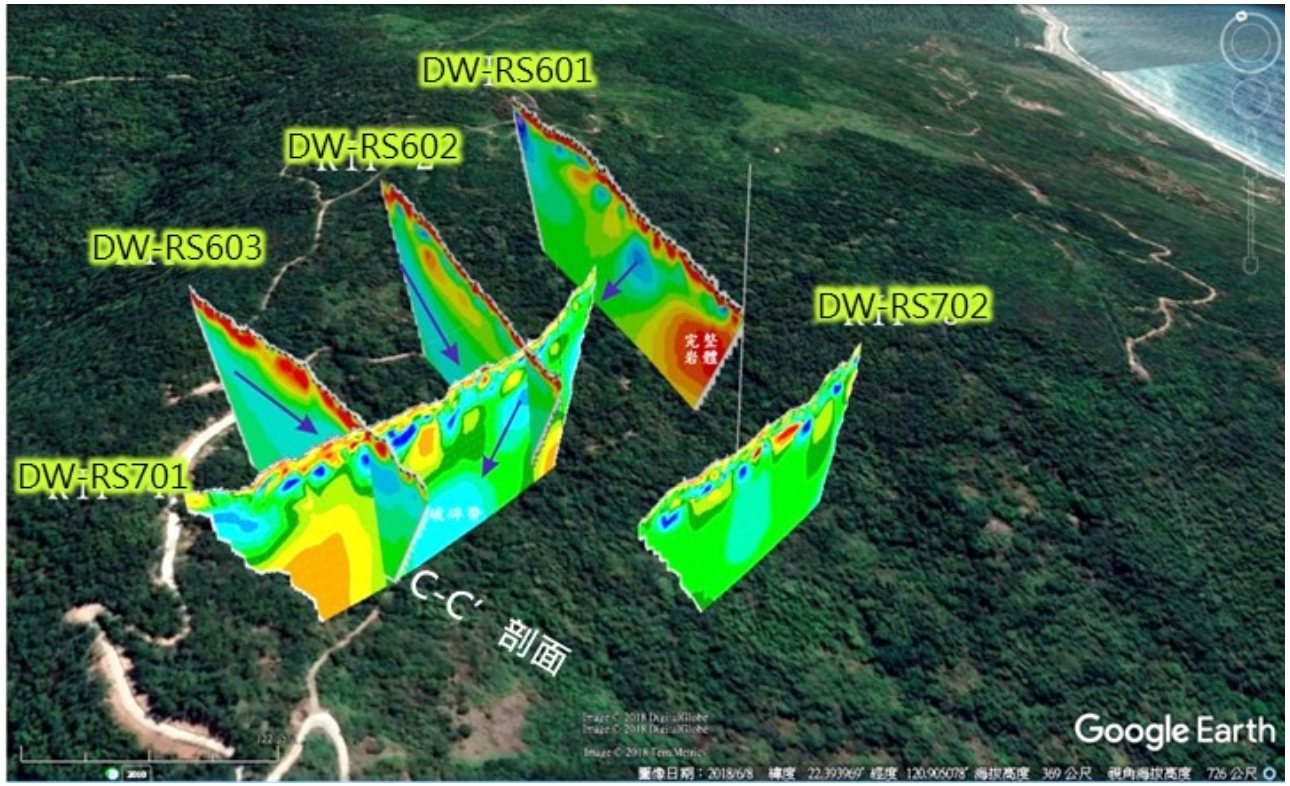


探測地下水電阻影像

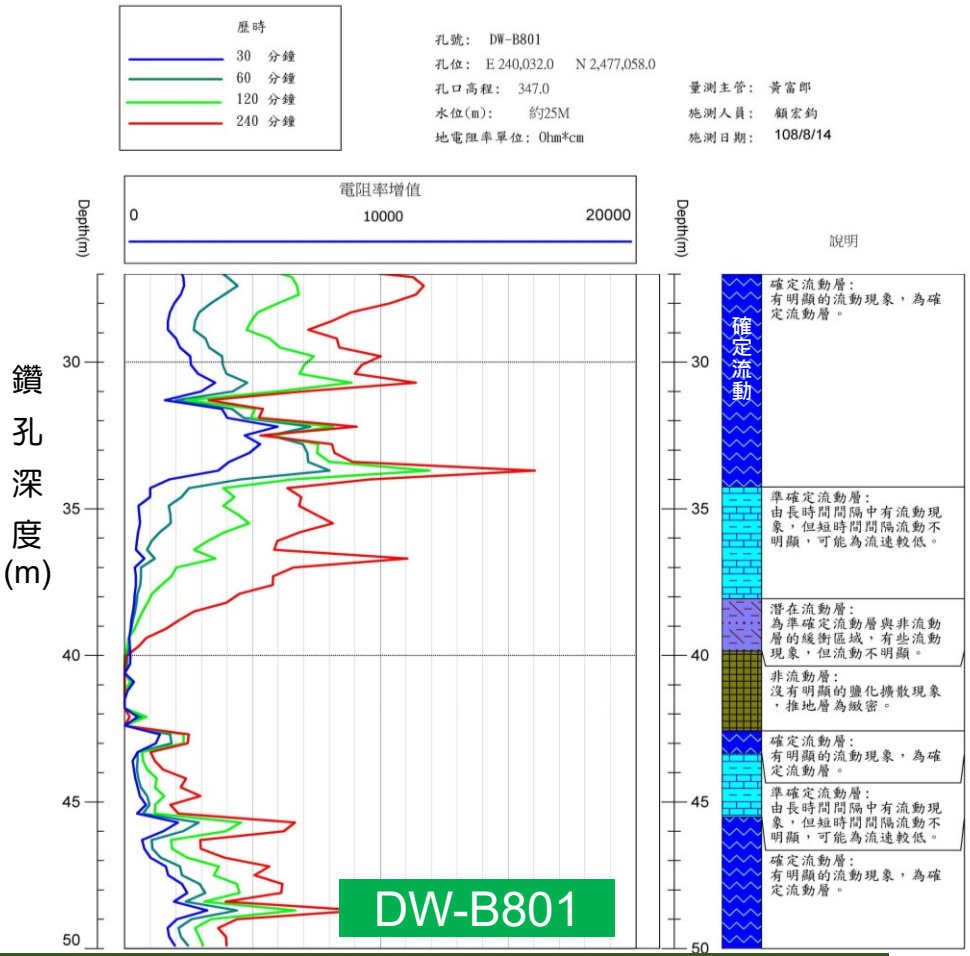
調查探測優化地下排水工程規劃

- 課題：雨季期間邊坡容易蓄積地下水
- 解決策略：
  - 降低地下水對邊坡不穩定影響
  - 排除地下水，提升邊坡穩定性。

流動層	比電阻變化值(Ω-cm)			
	30min	60min	120min	240min
確定流動層	≧1000	_	_	_
準確定流動層	≧200	≧500	≧1000	_
潛在流動層	≧100	≧200	≧300	≧500



雨季地電阻探測輔助地下水流徑判釋



雨季地下水檢層

整體監測系統配置

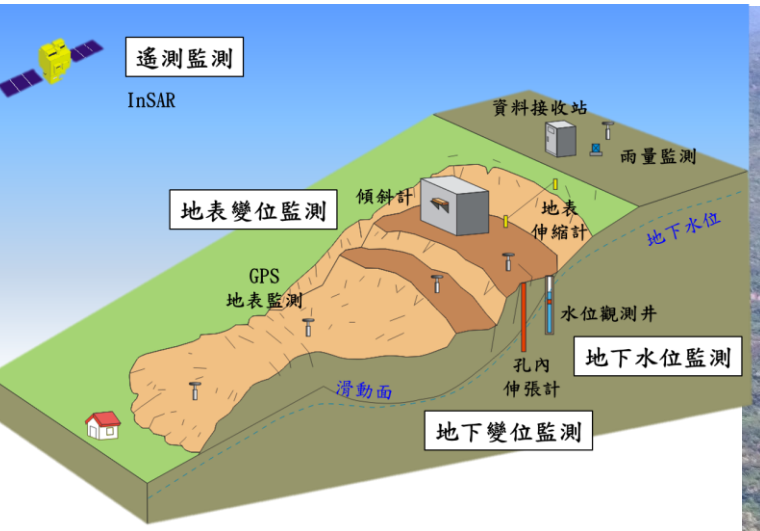


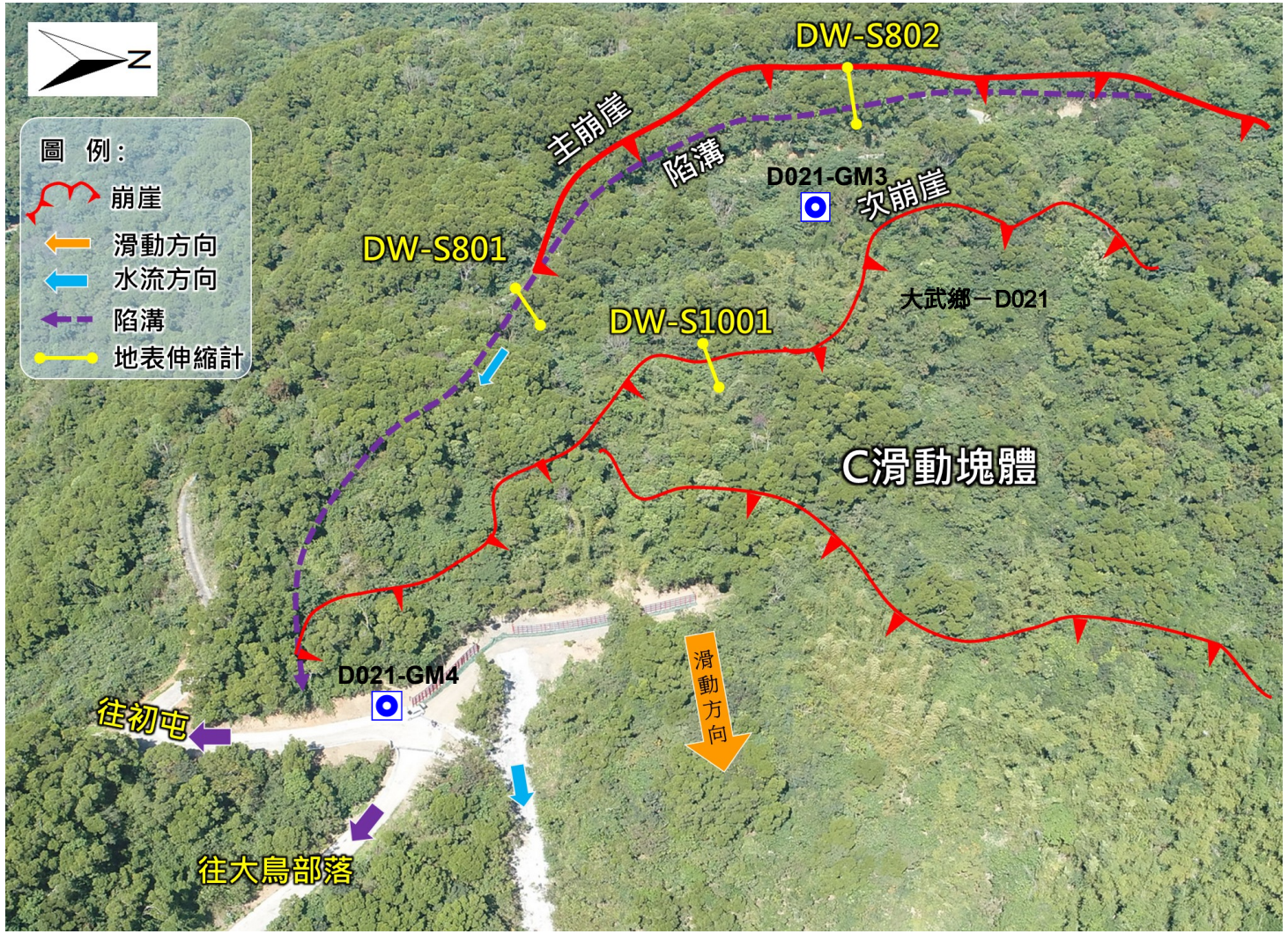
圖 例：

- 大規模崩塌潛勢區
- 判釋滑動塊體
- 崩崖
- 土石流高潛勢溪流
- 滑動方向

孔位及監測儀器:

- R 自動雨量站
- W 自動水位站
- T 地表傾斜計(雙軸)
- S 地表伸縮計
- 雙軸GNSS衛星定位

地表伸縮計監測系統配置







地表GPS位移監測(2016-2020)

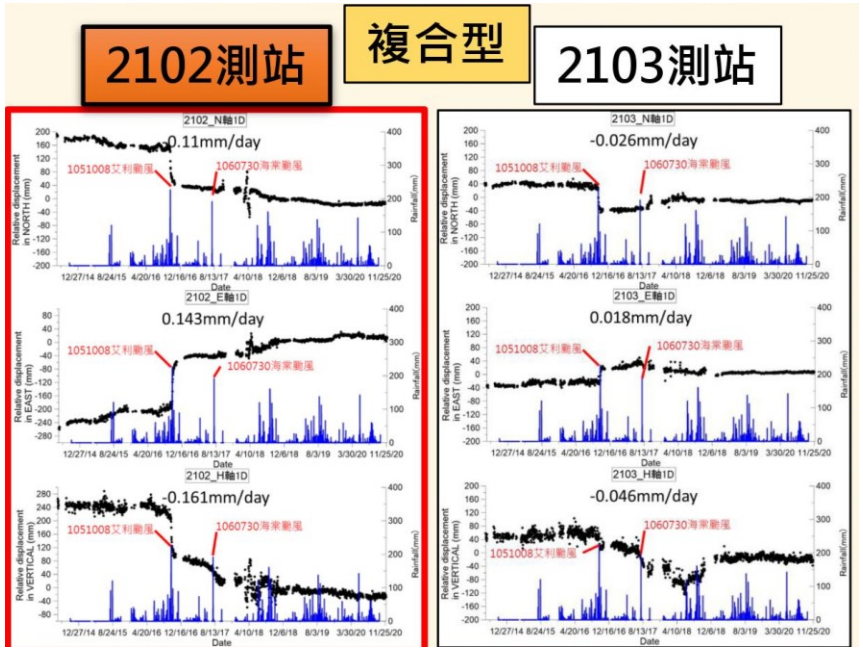
- 為瞭解崩塌滑動範圍及狀況，依據TCP-InSAR及現地調查評估並選定儀器建置點位，監測重力變形的程度。
- 大武鄉-D021(大鳥1) 建置5處地表位移監測系統，並進行位移速率及位移量分析。

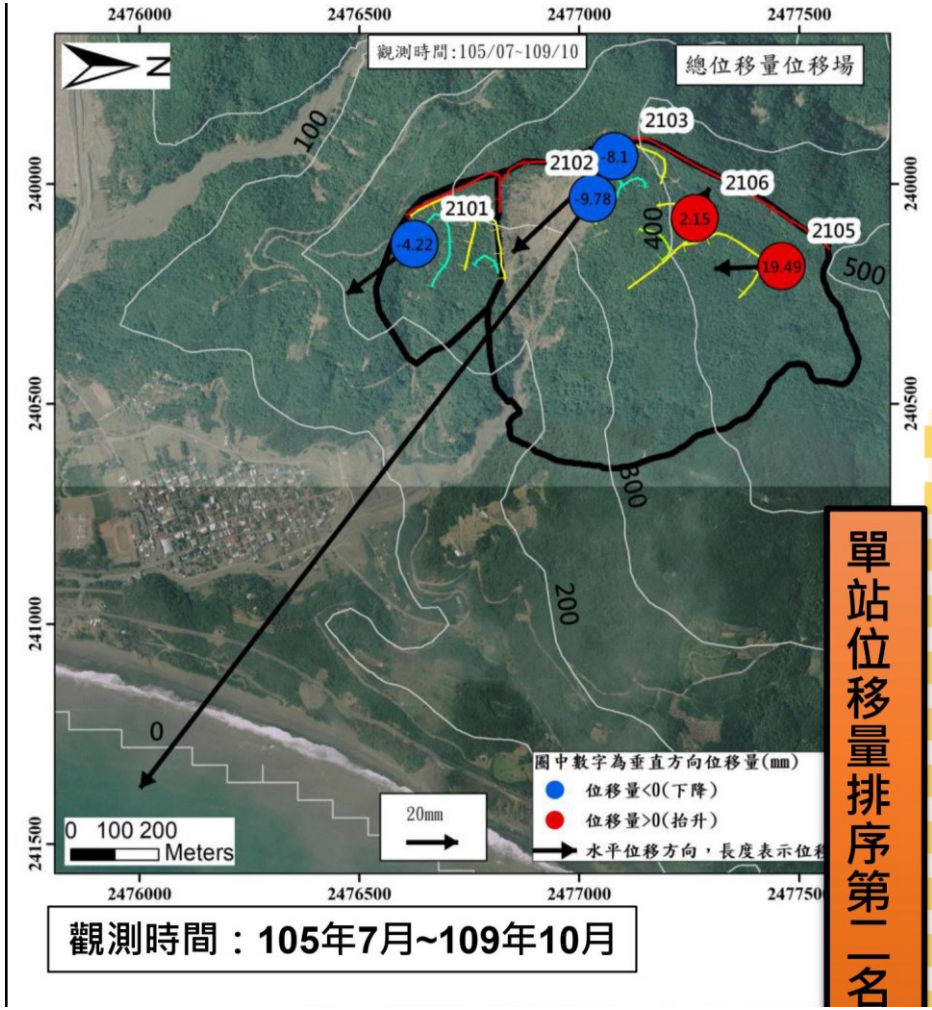
地表位移觀測站



2102測站

位移速率及位移量分析





資料來源:109年大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統建置與分析，2020年。

雙頻GNSS衛星定位位移速度場


D022-GB固定站


D022-GM1

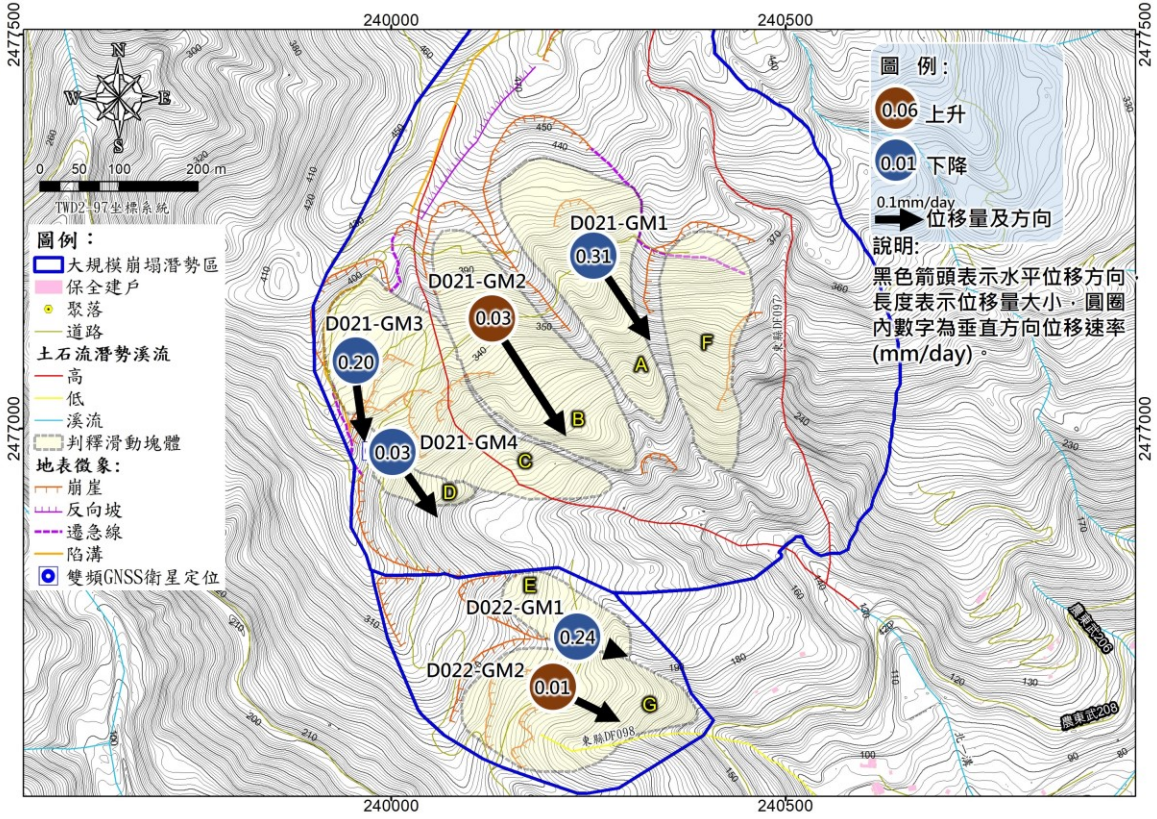

D022-GM2


D021-GM1


D021-GM2


D021-GM3


D021-GM4



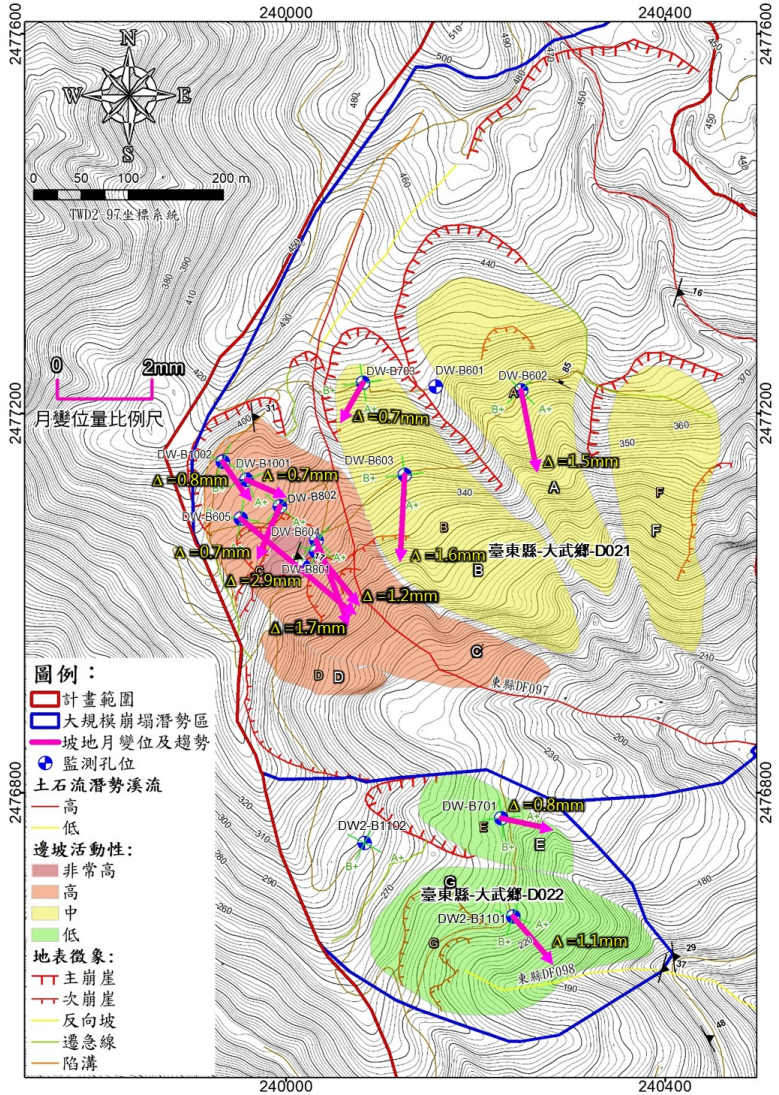
GNSS衛星定位位移速率圖

- 整體位移方向往東南~南。
- D021-GM1、D021-GM2測站位置透空性較差，觀測資料品質相對離散，較長時間缺法直接日照，導致電力不足而經常斷訊。

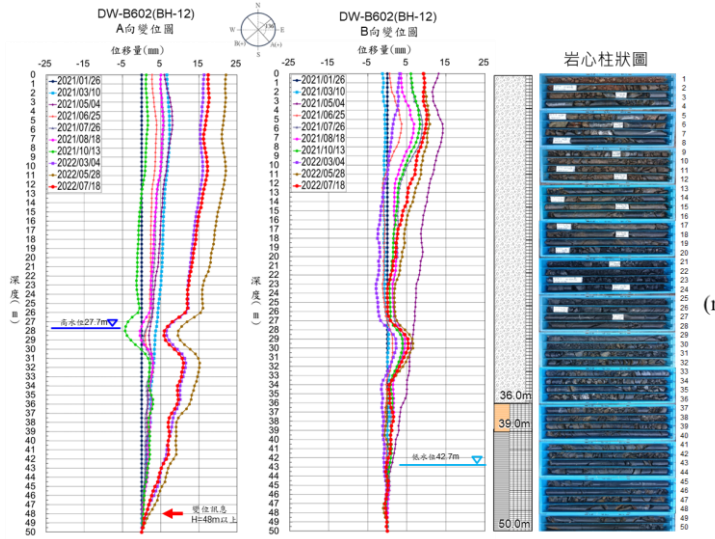
測站	觀測目標	平面位移量 (mm)	平面位移速率 (mm/day)	位移方位角	垂直位移量 (mm)	垂直位移速率 (mm/day)	
D021-GM1	A滑動塊體	20.30	0.155	146.9	-40.30	-0.31	1.4
D021-GM 2	B滑動塊體	29.68	0.226	147.0	3.80	0.03	1.4
D021-GM 3	C滑動塊體	15.13	0.115	172.5	-25.60	-0.20	1.4
D021-GM 4	D滑動塊體	13.76	0.105	145.3	-3.60	-0.03	1.3
D022-GM1	E滑動塊體	4.61	0.035	109.1	-31.00	-0.24	1.0
D022-GM 2	G滑動塊體	13.16	0.100	116.0	1.10	0.01	0.9

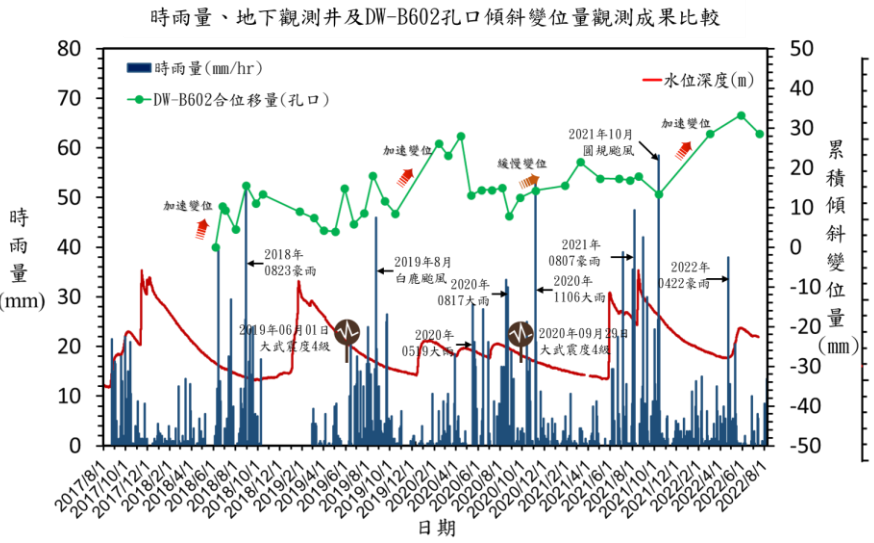
測區基準站D022-GB位於臺東縣大鳥國民小學校門入口門柱處

坡地變動量觀測成果

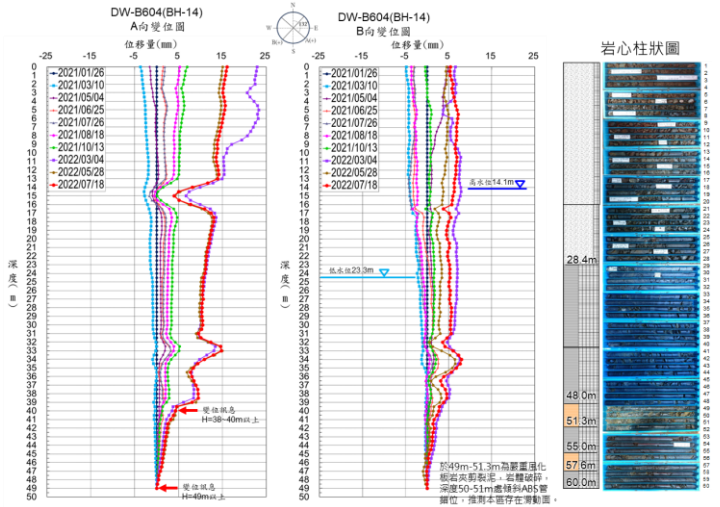


月平均孔口變位量

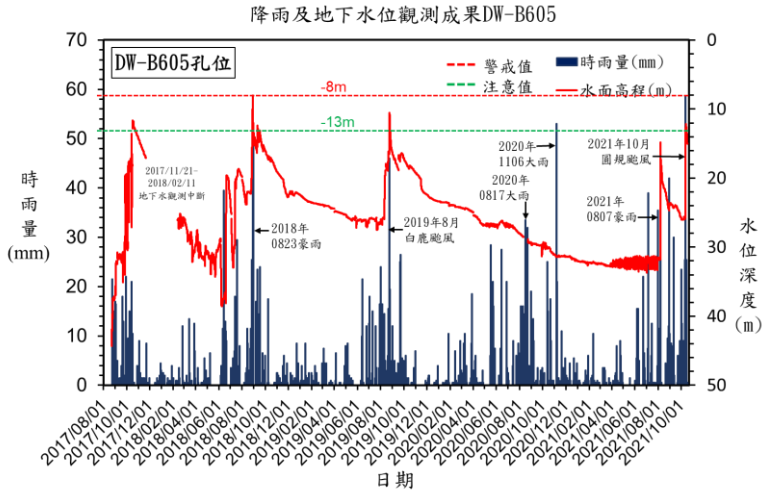




DW-B602(A滑動塊體)



DW-B604(C滑動塊體)

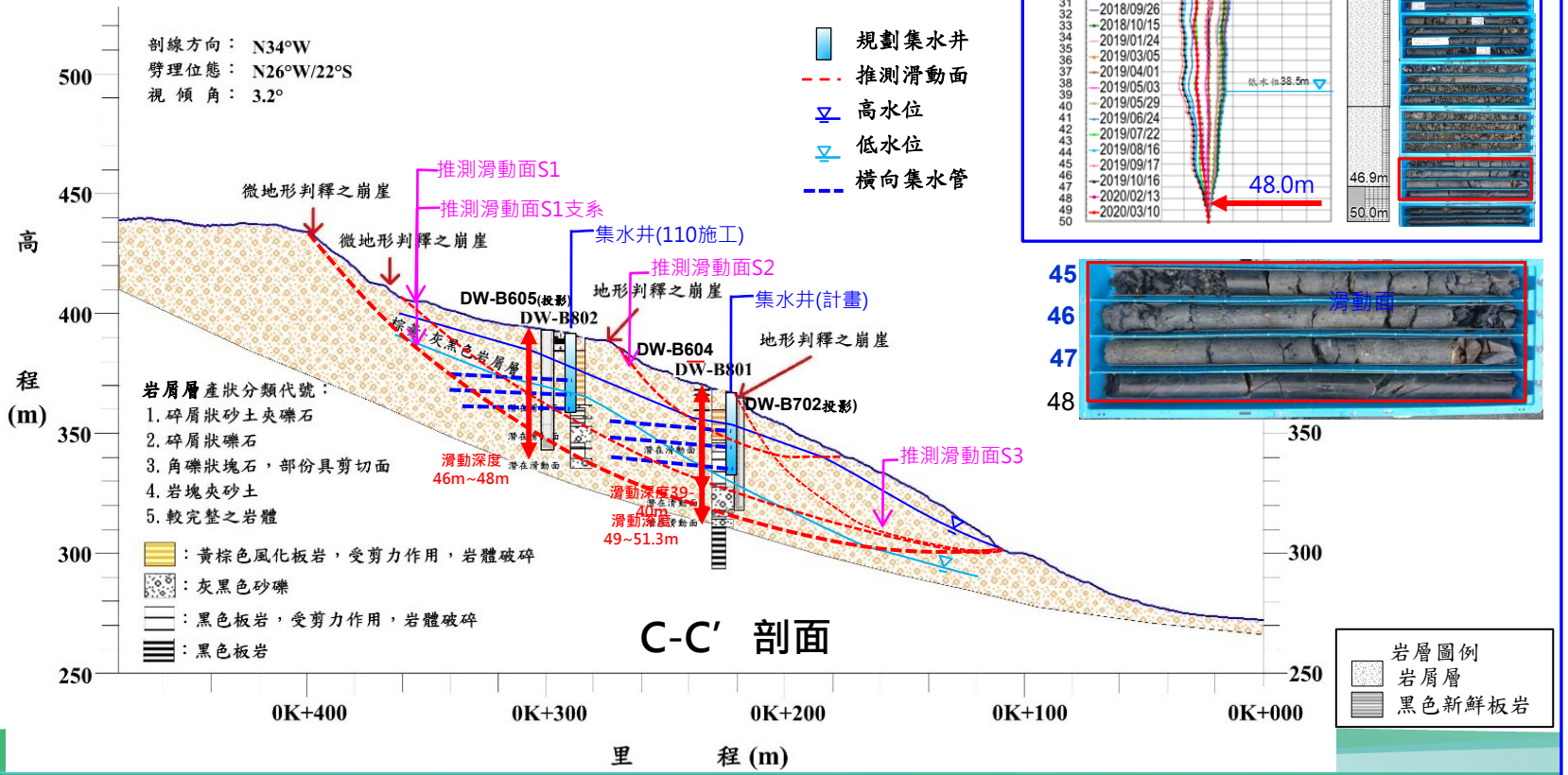


降雨、地下水關係DW-B605(C滑動塊體)

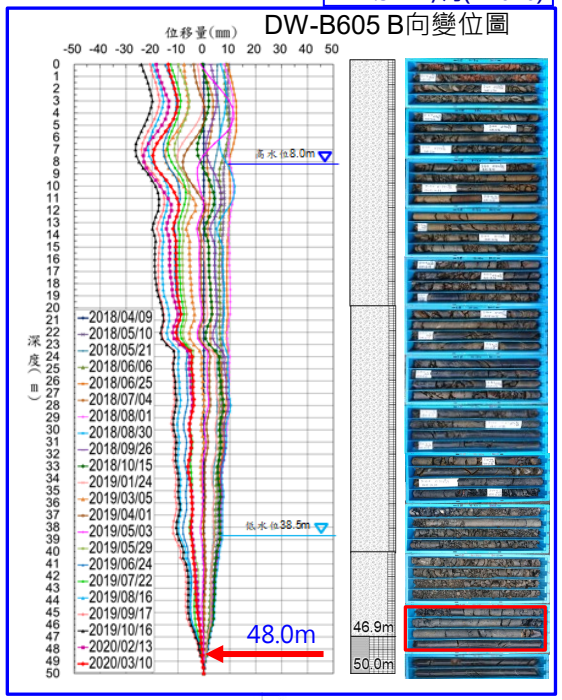
四、工程減災策略

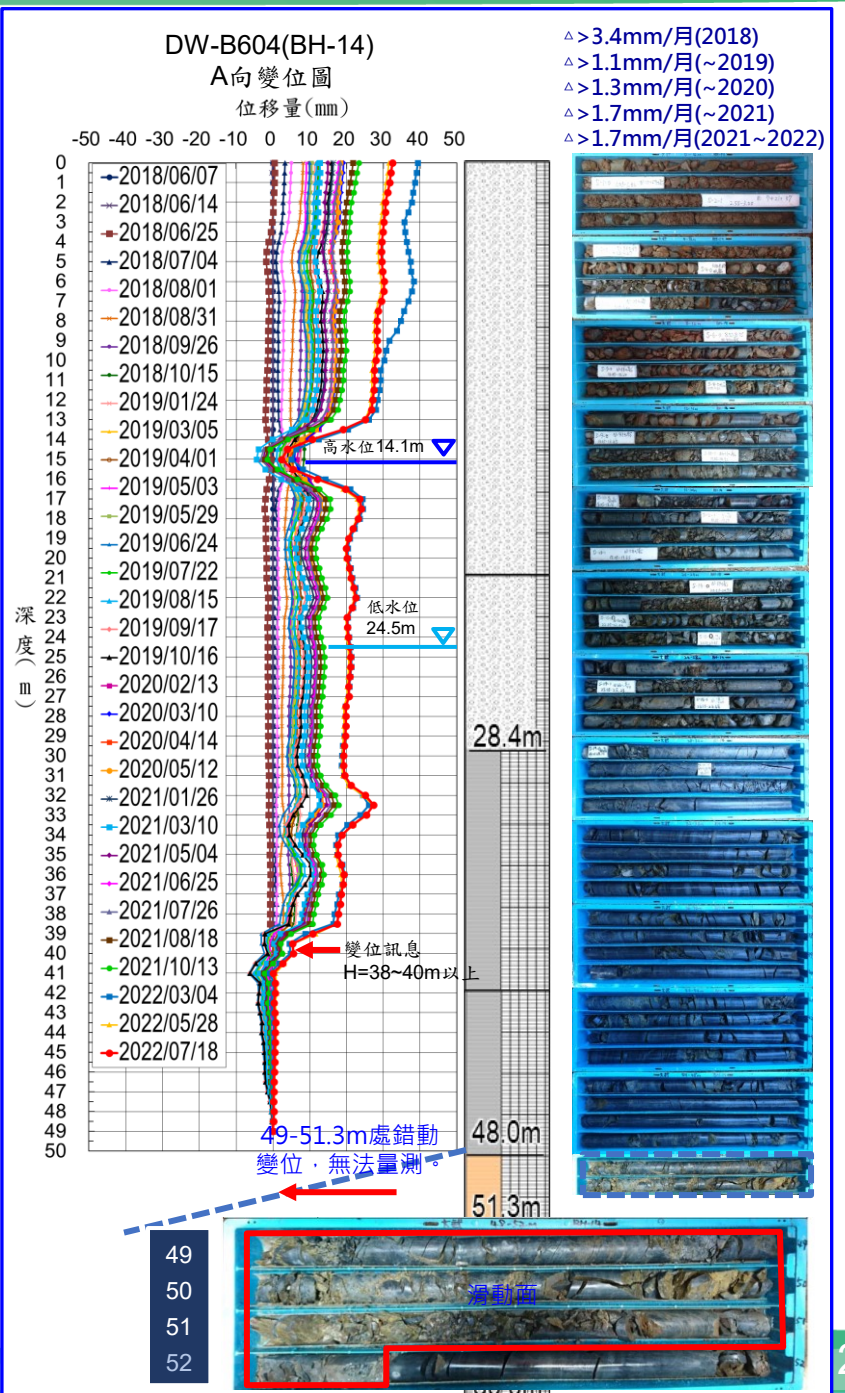
坡地變動觀測成果

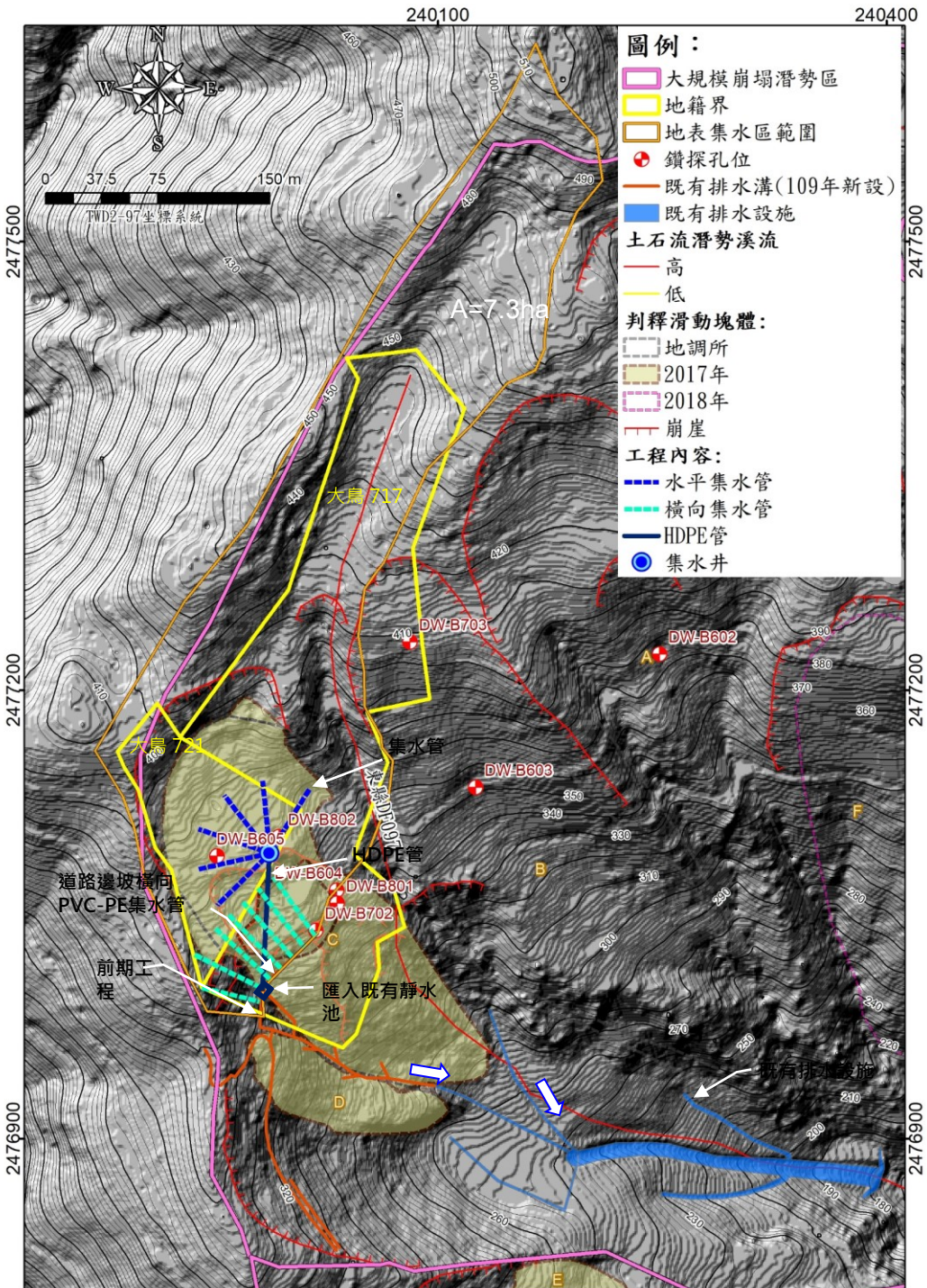
- 滑動塊體於深度約39~58m，位移速率約2~3cm/年。
- 降雨促成本區地下水位明顯抬升(15m-37.8m)，更造成地層位移。
- 該區當累積降雨達430mm以上時，容易觸發邊坡不穩定。



C-C′ 剖面



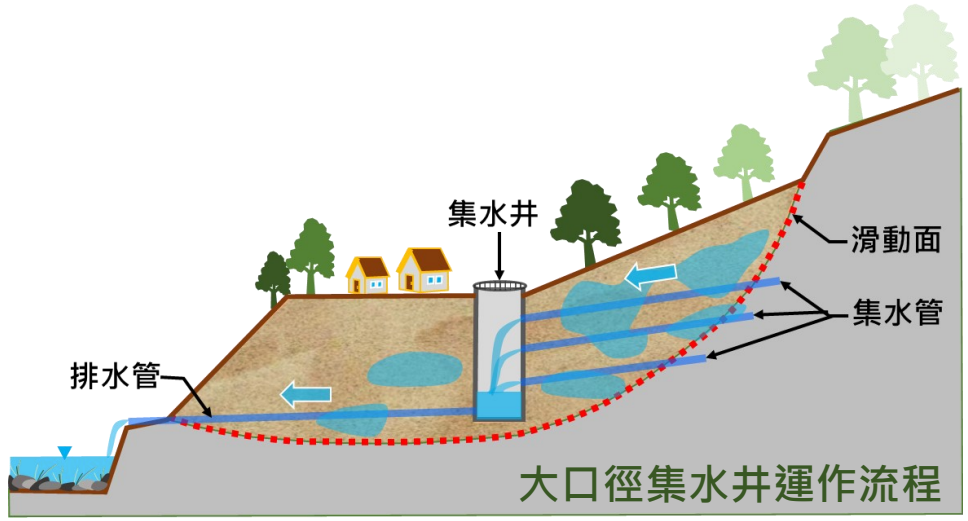




大武鄉D021大鳥崩塌地集水井工程

大口徑集水井(設計深35m，Ø4m)1處

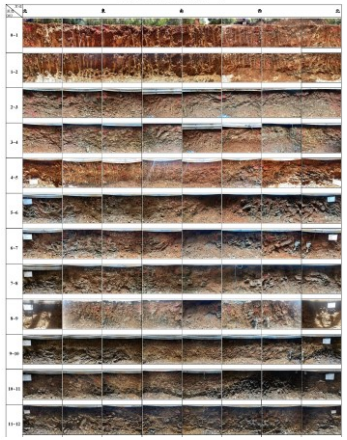
- 能導排深層地下水
- 整治大規模崩塌地之利器
- 大口徑集水井排水工法，為大規模地滑區整治重要利器，更為深層滑動崩塌區整治，有效且必要工法。

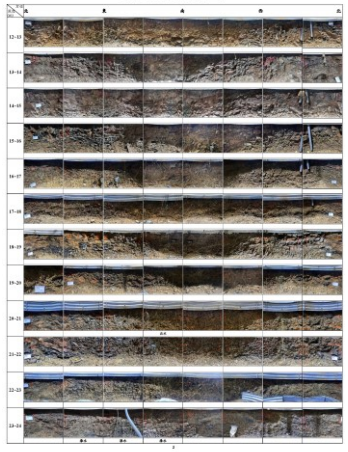


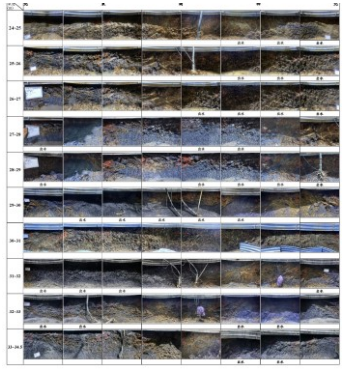
排出地下水 → 降低地下水位 → 穩定邊坡

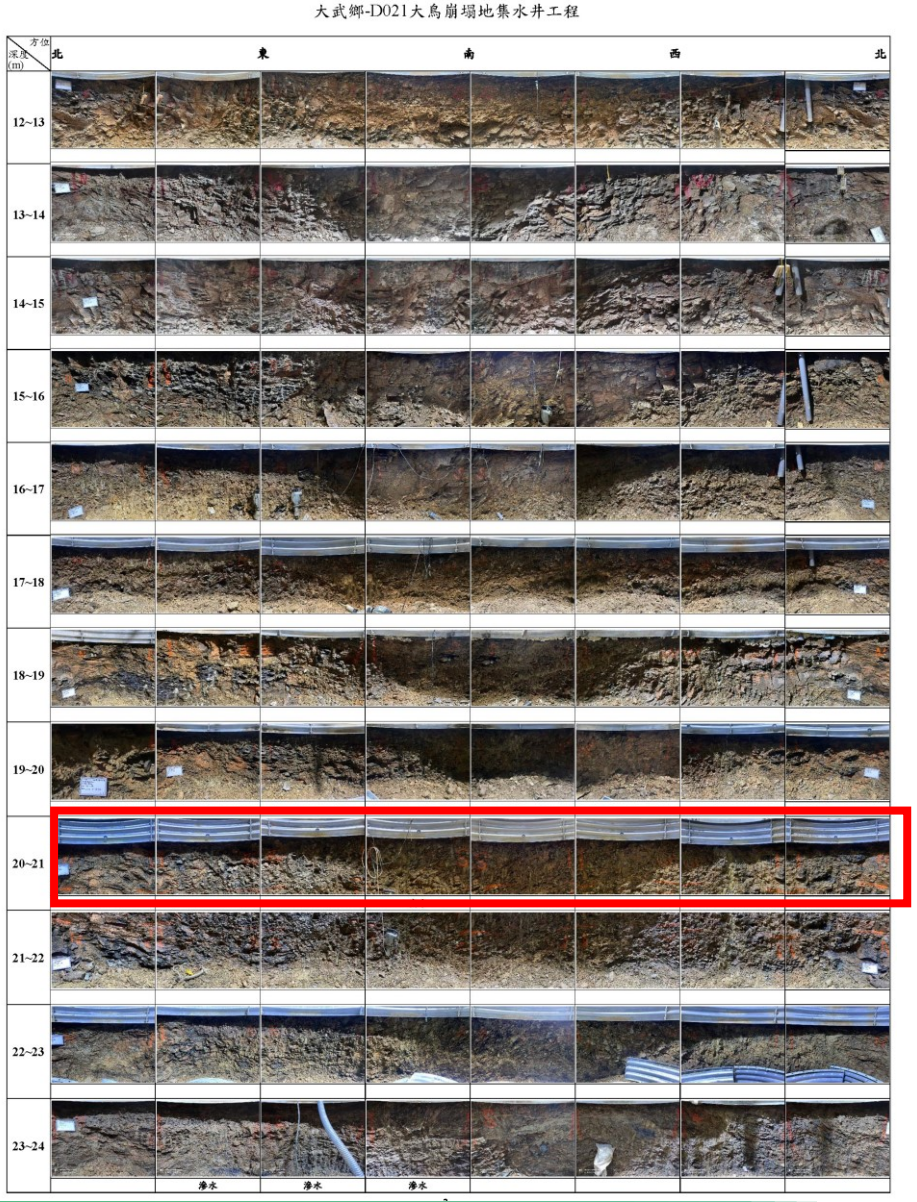
資料來源:青山工程顧問股份有限公司

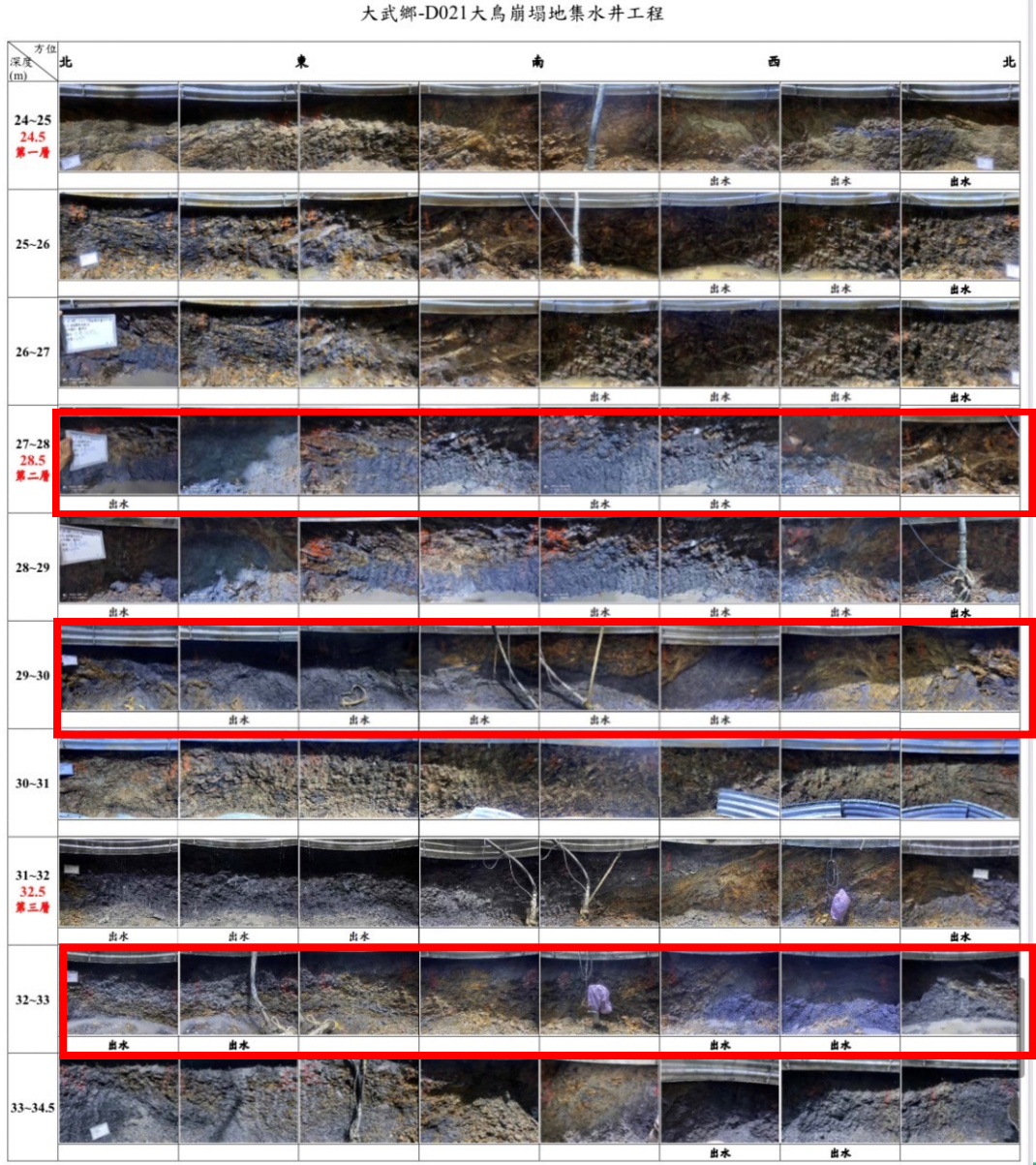
集水井掘鑿剖面360度出水紀錄











長期監測優化地下排水工程治理

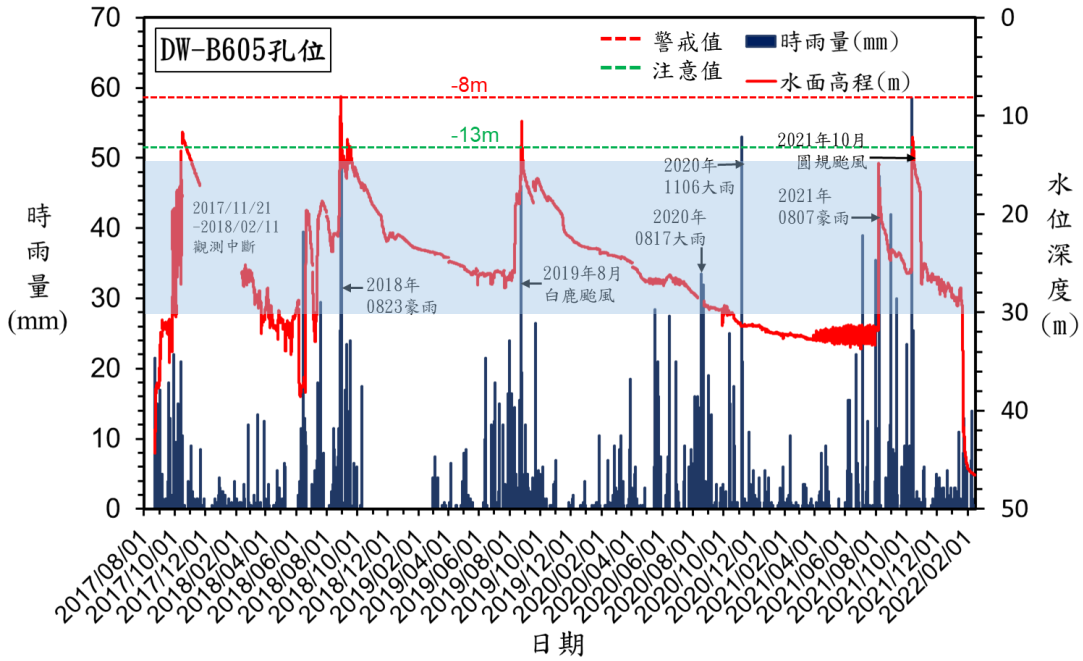

教育訓練 2021.09.08


邀請專家會勘指導 2021.09.10


大鳥潘村長會勘 2021.11.10

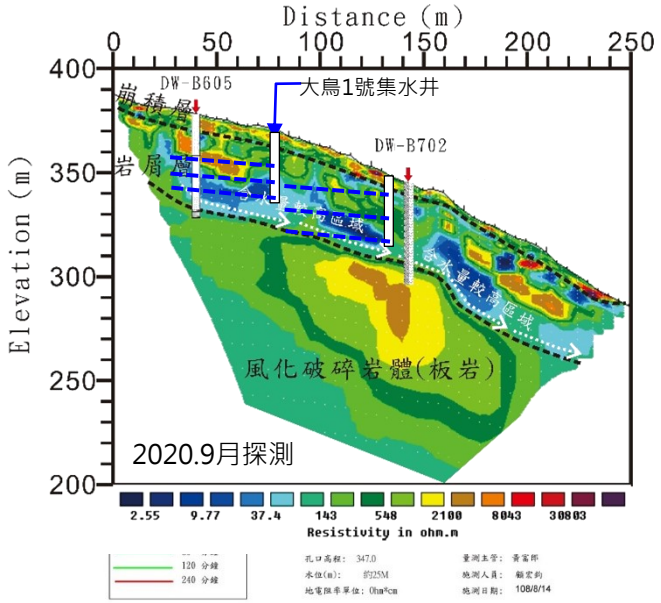


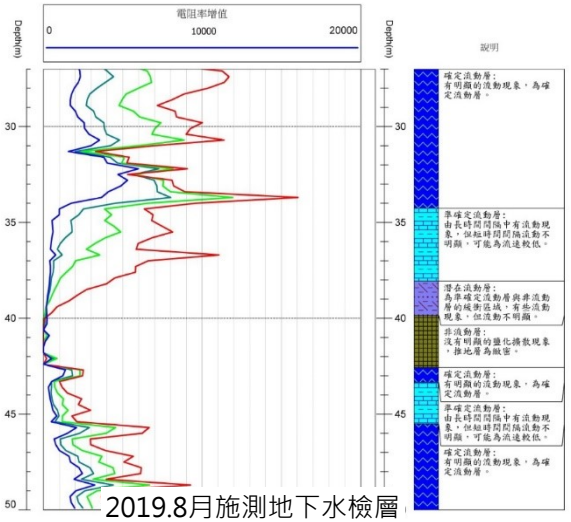
降雨及地下水位觀測成果DW-B605

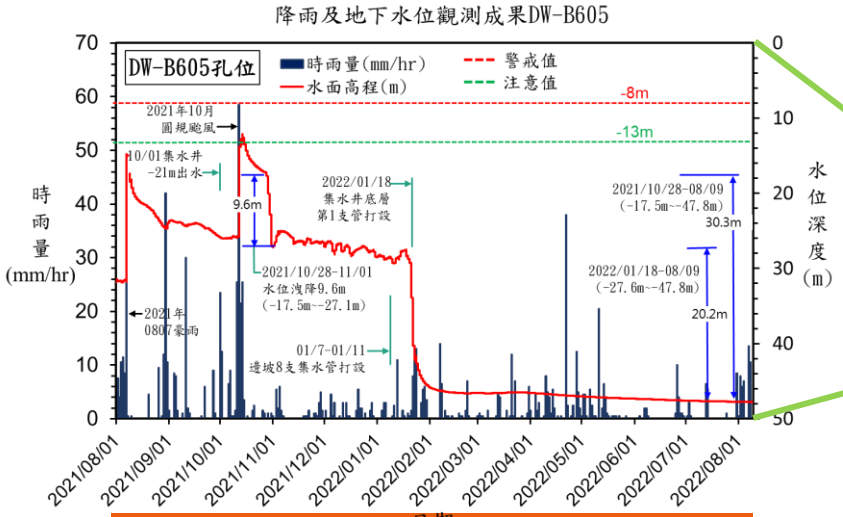


降雨與DW-B605地下水觀測成果(2017/08-2022/01)

長期監測優化地下排水工程治理

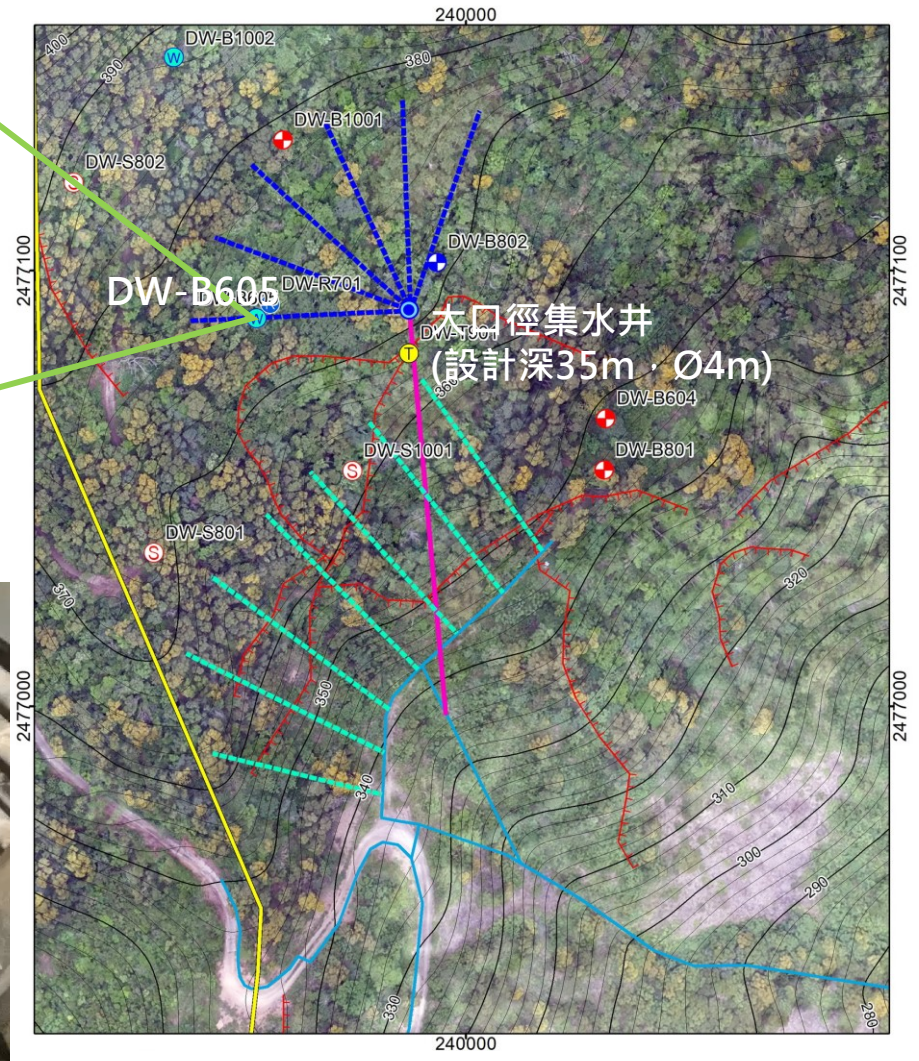






降雨與DW-B605監測地下排水成效



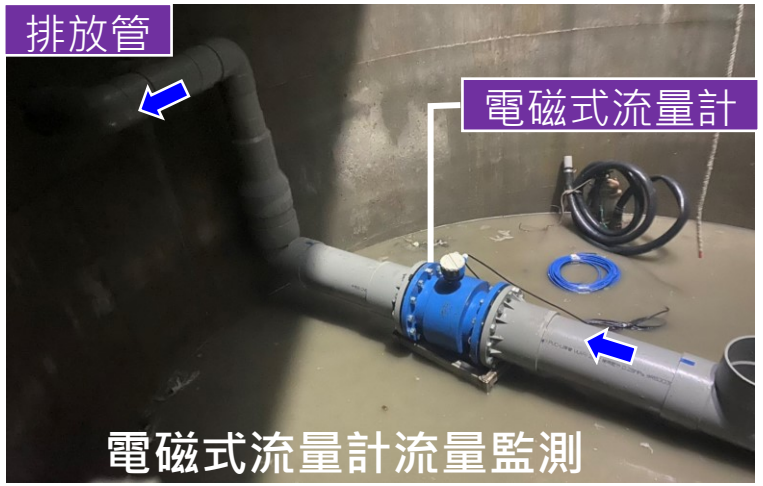


大武鄉D021崩塌地集水井及邊坡地下排水工程

長期監測優化地下排水工程治理

集水井維護管理之精進作為

- 地下水、坡地活動性監測、電磁式流量計監測，提供作為後續集水井治理成效量化評估指標。
- 集水井內集排水與設施維護。
- 推動大規模崩塌優先重點區特定水土保持區劃定，落實崩塌邊坡保育。



電磁式流量計流量監測



大鳥1號集水井設施現況

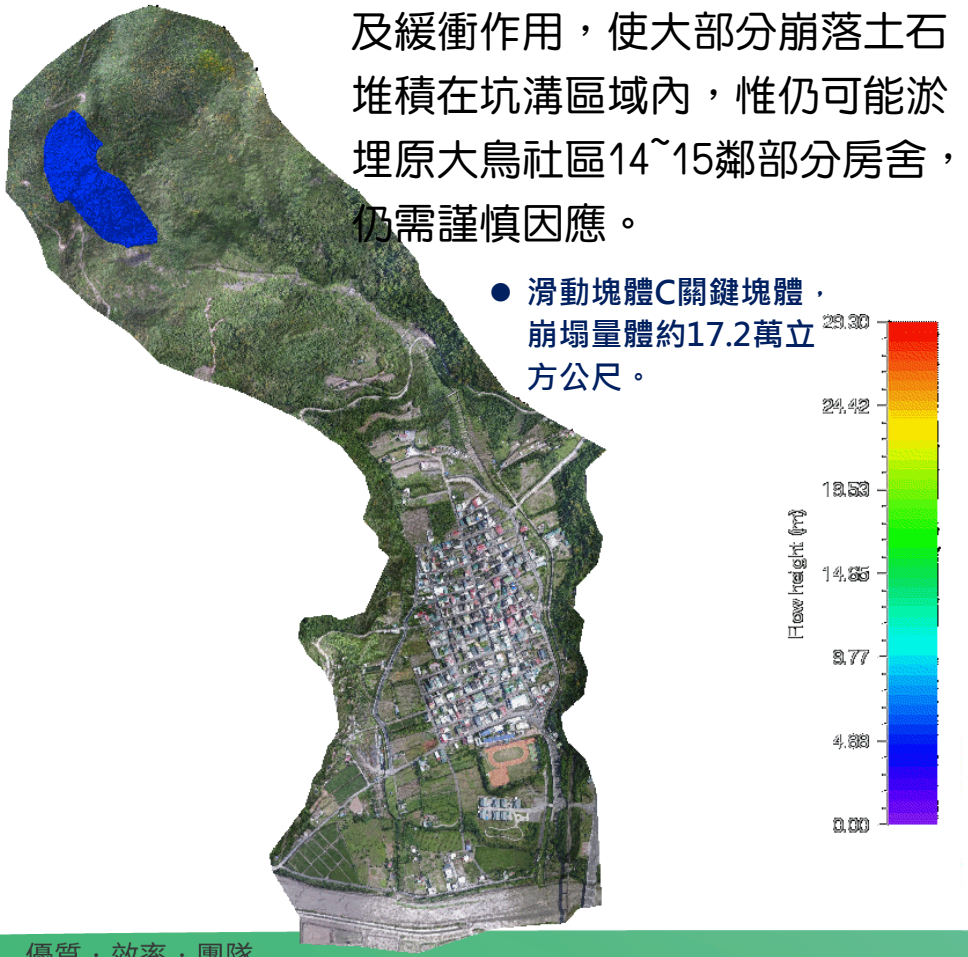

集水井內集排水與設施維護

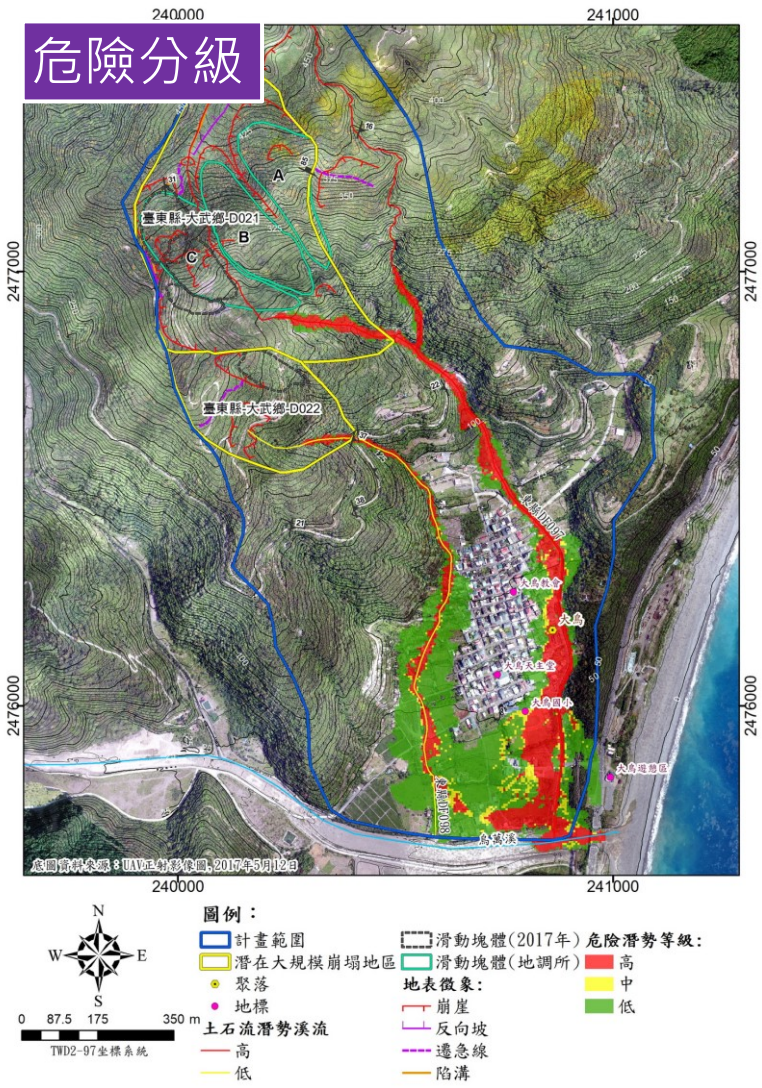

地下水與坡地活動性監測

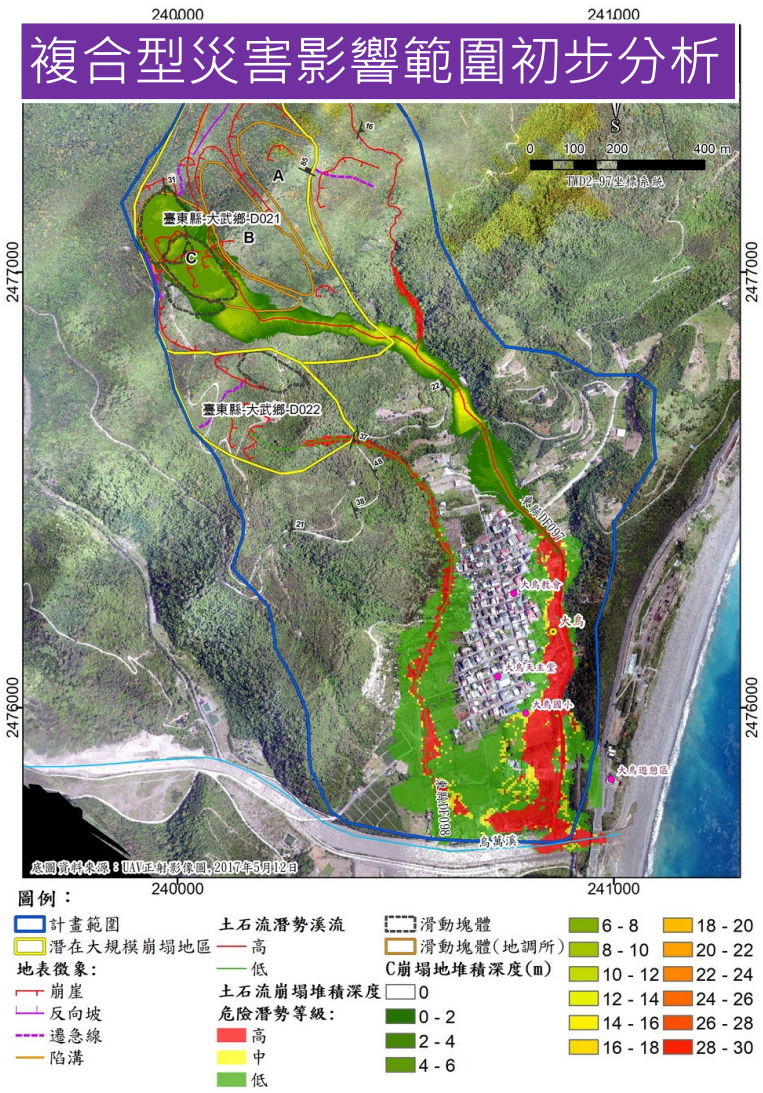
五、致災風險評估

複合型災害影響範圍評估

- 模擬一旦崩滑土砂下移，由影響範圍評估成果顯示，崩塌區下凹地庫容區、防砂工程及導流堤前滯洪沉砂區，都可看見發揮防砂及緩衝作用，使大部分崩落土石堆積在坑溝區域內，惟仍可能淤埋原大鳥社區14~15鄰部分房舍，仍需謹慎因應。
  - 滑動塊體C關鍵塊體，崩塌量體約17.2萬立方公尺。





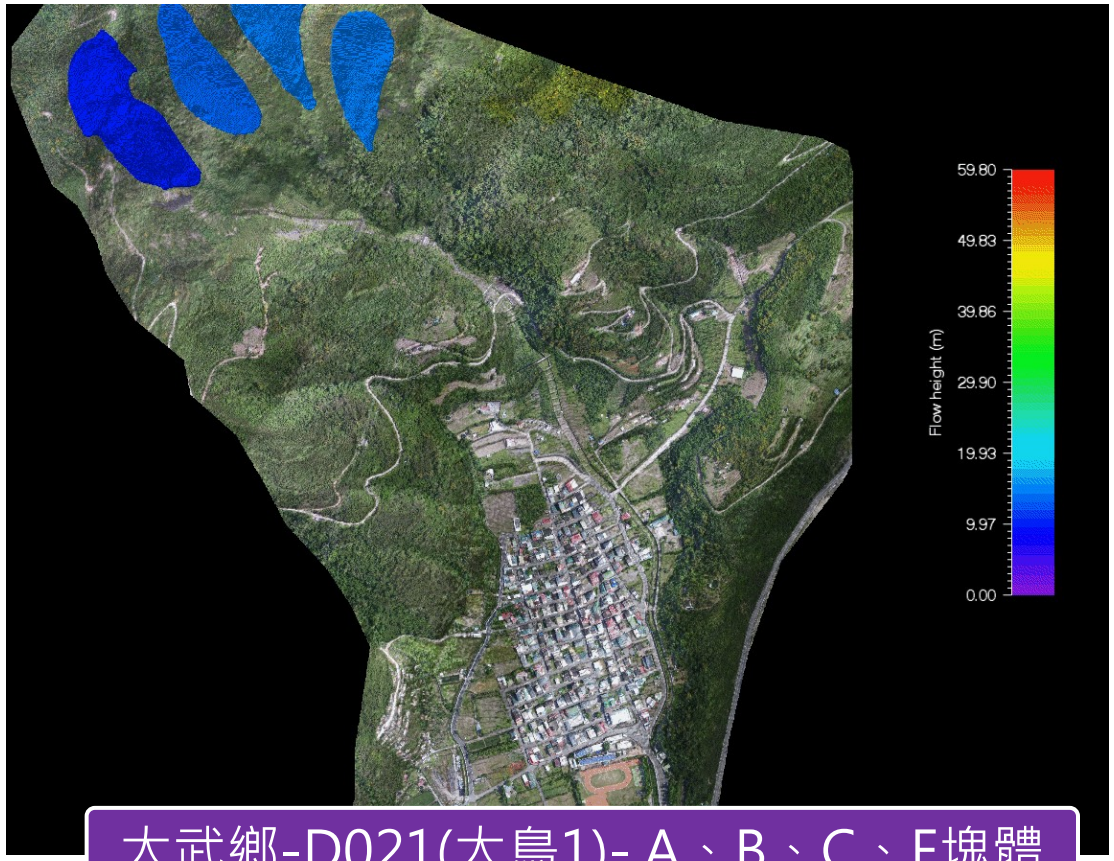


複合型災害影響範圍評估

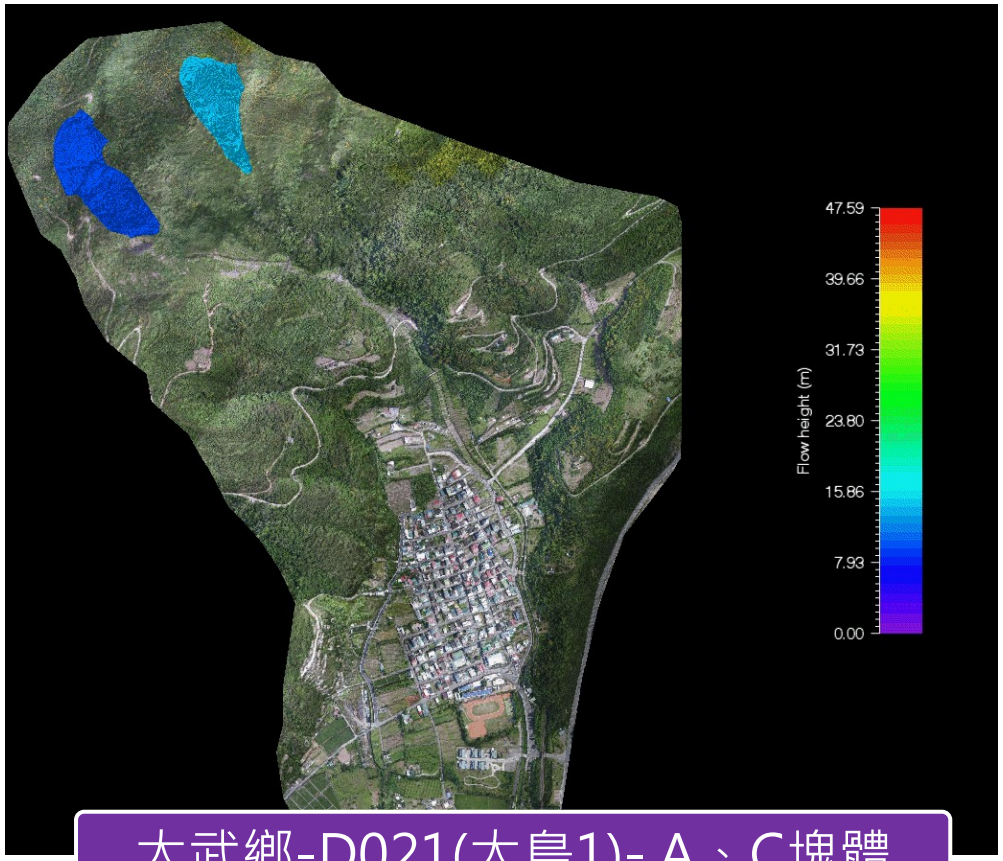
- 模擬大武鄉-D021(大鳥1)之A、B、C及F滑動塊體潛在崩塌歷程，從崩塌塊體破壞至土砂堆積停止共歷時1,000秒。顯示如此極端情境，雖2009年8月莫拉克災後整體復建工程發揮具體成效，仍將對保全對象造成極大衝擊，提供國土規劃及防災疏散避難參考。

各崩塌土砂量體

項目	滑動塊體	最大深度(m)	土砂平均深度(m)	總土方量(m^3)
1	A塊體	44.0	17.0	324,620
2	B塊體	40.0	15.8	292,120
3	C塊體	49.5	10.4	287,896
4	F塊體	43.8	18.1	291,283



大武鄉-D021(大鳥1)- A、B、C、F塊體



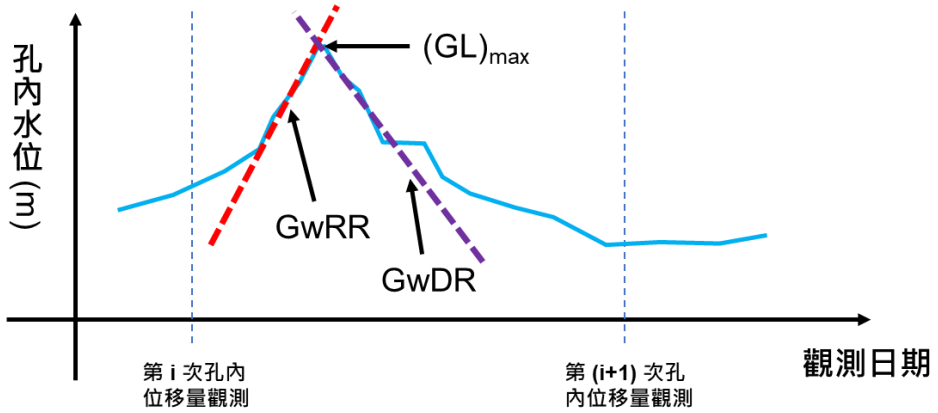
大武鄉-D021(大鳥1)- A、C塊體

監測警戒管理值_位移量相關性分析

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

$$U = f(Driving\ forces, Resistant\ forces)$$

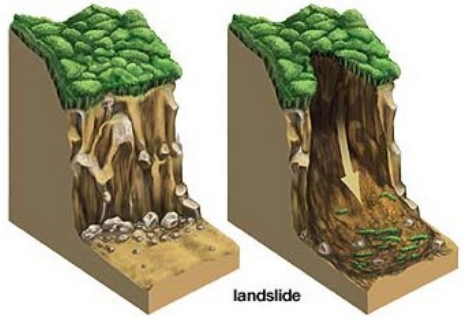
Rainfall降雨 (ATPj、Imax)、
Groundwater 地下水 (GLmax、GwRR、GwDR)
Earthquake 地震(暫時忽略)



- **各崩塌區位移場變化分析及警戒管理基準值檢討。**
- **藉由長時間之觀測成果，或歷經颱風豪大雨事件後，分析監測資料變化趨勢，作為修正應變機制之參考，進而得到更為合理與適切的崩塌管理基準值。**

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)。

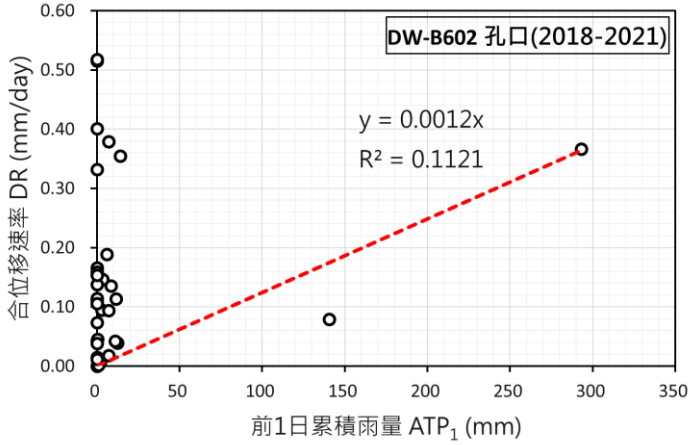


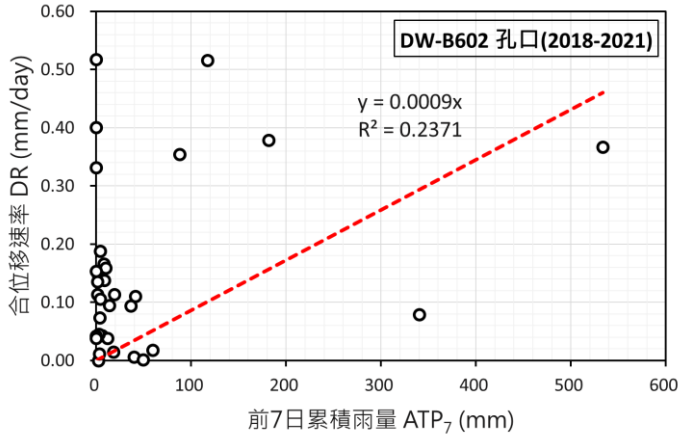
Longoni, L., Papini, M., Arosio, D. & Zanzi, L. 2012. On the definition of rainfall thresholds for diffuse landslides. In: Landslide, (editor: S. Mambretti), WIR Press: 27-44

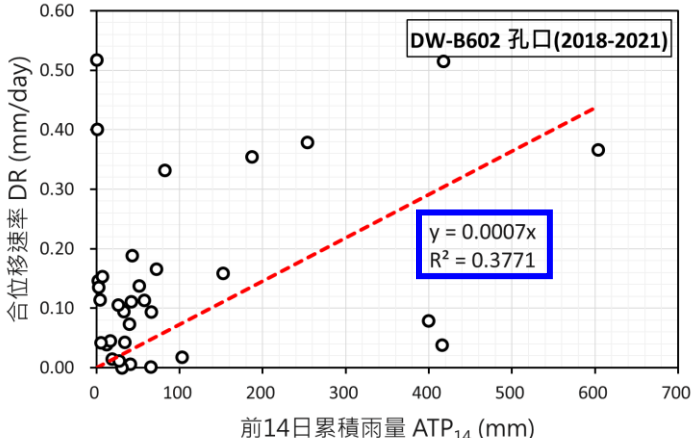
孔內位移量相關性分析(2018-2021)

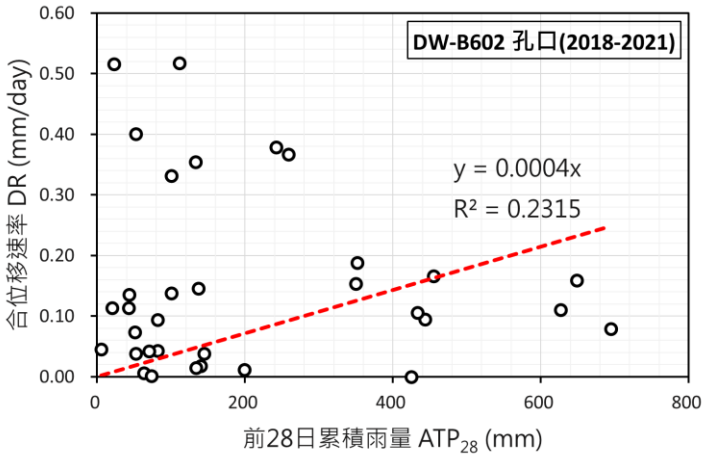
臺東縣-大武鄉 - D021(大鳥1)　滑動塊體A觀測井DW-B602

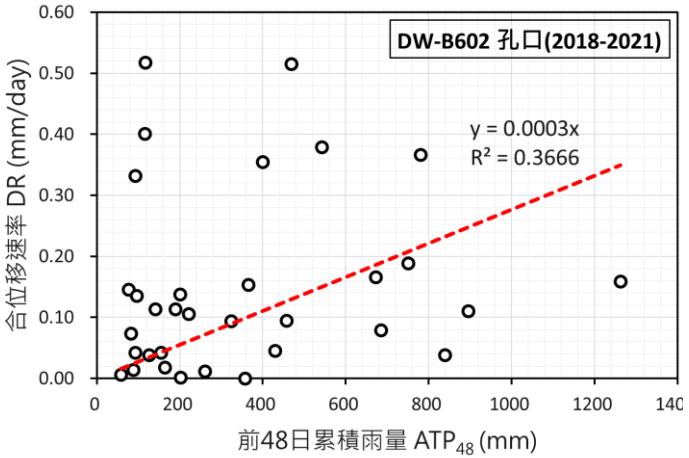
大武鄉 D021

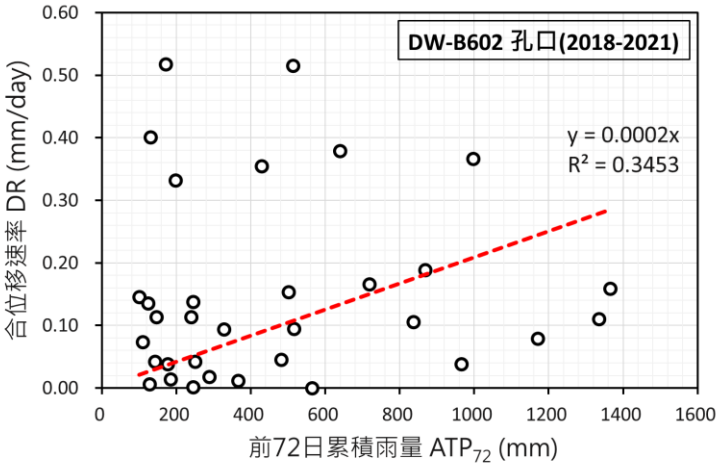












ATPj 前1、7、14、28、48、72日累積雨量(mm)

孔內位移量相關性分析

臺東縣-大武鄉 - D021(大鳥1)　滑動塊體A觀測井DW-B602

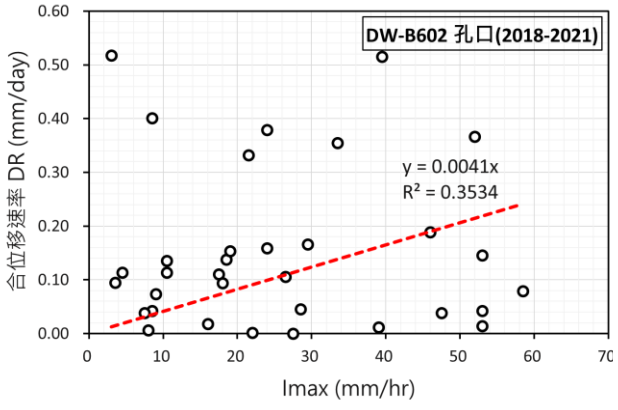
- 大武鄉-D021 (大鳥) DW-B602觀測井之孔口合位移速率無法在95%信賴區間內被**臨前14日累積雨量(ATP14)**及**最大小時降雨強度**兩項自變數所詮釋。
- **DW-B602:**採用臨前14日累積雨量做為管理基準。當累積雨量到達450 mm時， 合位移日變化量估計將達到 0.32 mm/day，換算成月孔口合位移速率預計將可達到9.6 mm/月，屬於「準確定變動」等級。

迴歸統計	
R 的倍數	0.59755
R 平方	0.35707
調整的 R 平方	0.17338
標準誤	1.13029
觀察值個數	10

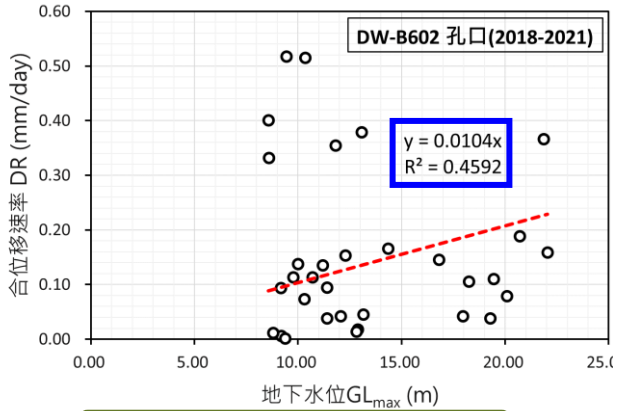
ANOVA

	自由度	SS	MS	F	顯著值
迴歸	2	4.96672	2.48336	1.94383	0.21309
殘差	7	8.94291	1.27756		
總和	9	13.90962			

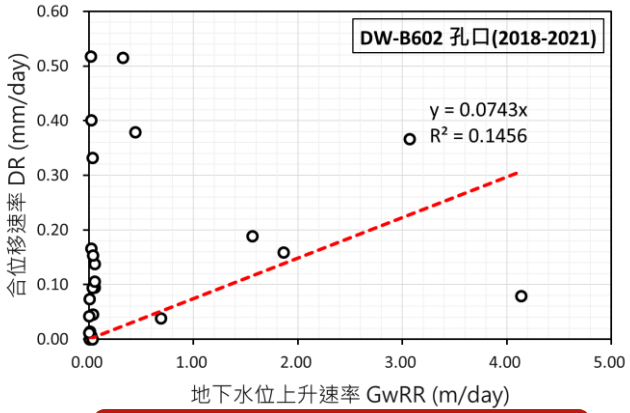
	係數	標準誤	t 統計	P-值	下限 95%	上限 95%
截距	-5.48070	1.98609	-2.75954	0.02811	-10.17706	-0.78435
LN(ATP14) (mm)	-0.32774	0.29089	-1.12665	0.29703	-1.01559	0.36012
LN(Imax) (mm/hr)	1.58487	0.80775	1.96208	0.09054	-0.32515	3.49489



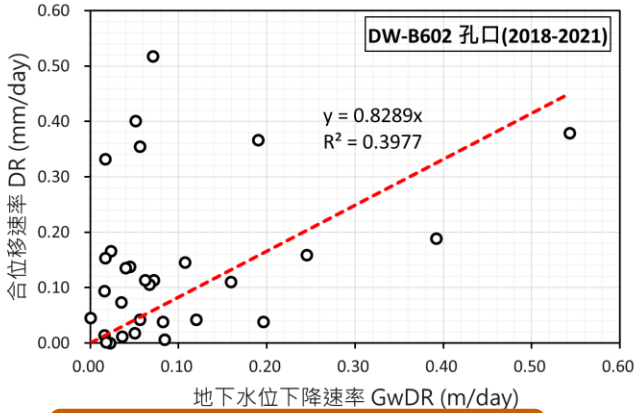
Imax 最大降雨強度



GImax 最高水位



GwRR 水位上升速率



GwDR 水位下降速率



https://vip.udn.com/vip/story/121942/6333095

報告完畢
敬請指教



行政院農業委員會水土保持局
與您一起打拼