

青山工程顧問股份有限公司　陳昭維

民國 111 年 8 月 16 日

www.safe100.com.tw
青山
坡地防災的專業團隊



陳昭維

大地技師

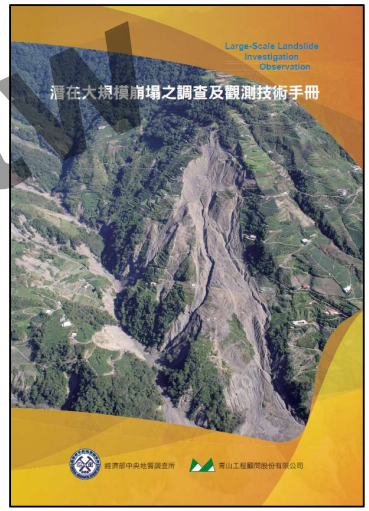
- **學歷** 臺灣科技大學 大地工程碩士
- **現任** 青山工程顧問股份有限公司 總經理
  臺灣科技大學授課(兼任副教授級專家)
  坡地工程設計實務、地工調查
- **期刊發表 (20餘篇)**
  - 由台灣監測案例探討邊坡監測管理值 (民國102年)
  - 崩塌地深層滑動是坡地的重大疾病，但不是絕症
    ~以阿里山公路五彎仔崩塌地為例 (民國108年)
- **主持計畫及工作實績**
  - 大規模潛在山崩機制調查與觀測(廬山溫泉北坡等37處) (地調所) (民國100~迄今)
  - 「深美~冬山一路#18等鐵塔43處順向坡安全監測及評估」 (台電公司) (民國101~104年)
  - 雪霧鬧及光華地區潛在大規模崩塌調查監測計畫 (水保局臺北分局，民國105年~迄今)
  - 梅花及義興地區潛在大規模崩塌調查監測計畫 (水保局臺北分局，民國110年~迄今)
  - 台18線五彎仔地滑區整治工程委託測量、設計及地質探查 (公路總局五工處，民國96年~迄今)



102年地工技術最佳論文獎



108年地工技術優良論文獎



107年
潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊，總編輯

www.safe100.com.tw

簡報內容

CONTENTS

01 基本資料 / 地形地貌、滑動歷史及調查歷程

02 調查結果 / 地質條件、滑動深度及邊坡活動性

03 加速情形 / 民國110年1月常時無雨，邊坡加速

04 監測課題 / 面對活潑運動中的崩塌地，考驗儀器耐久性，如何監測及應變?

05 回饋展望 / 同心協力，承先啟後

www.safe100.com.tw

1. 基本資料

1) 地形地貌
2) 滑動歷史
3) 調查歷程



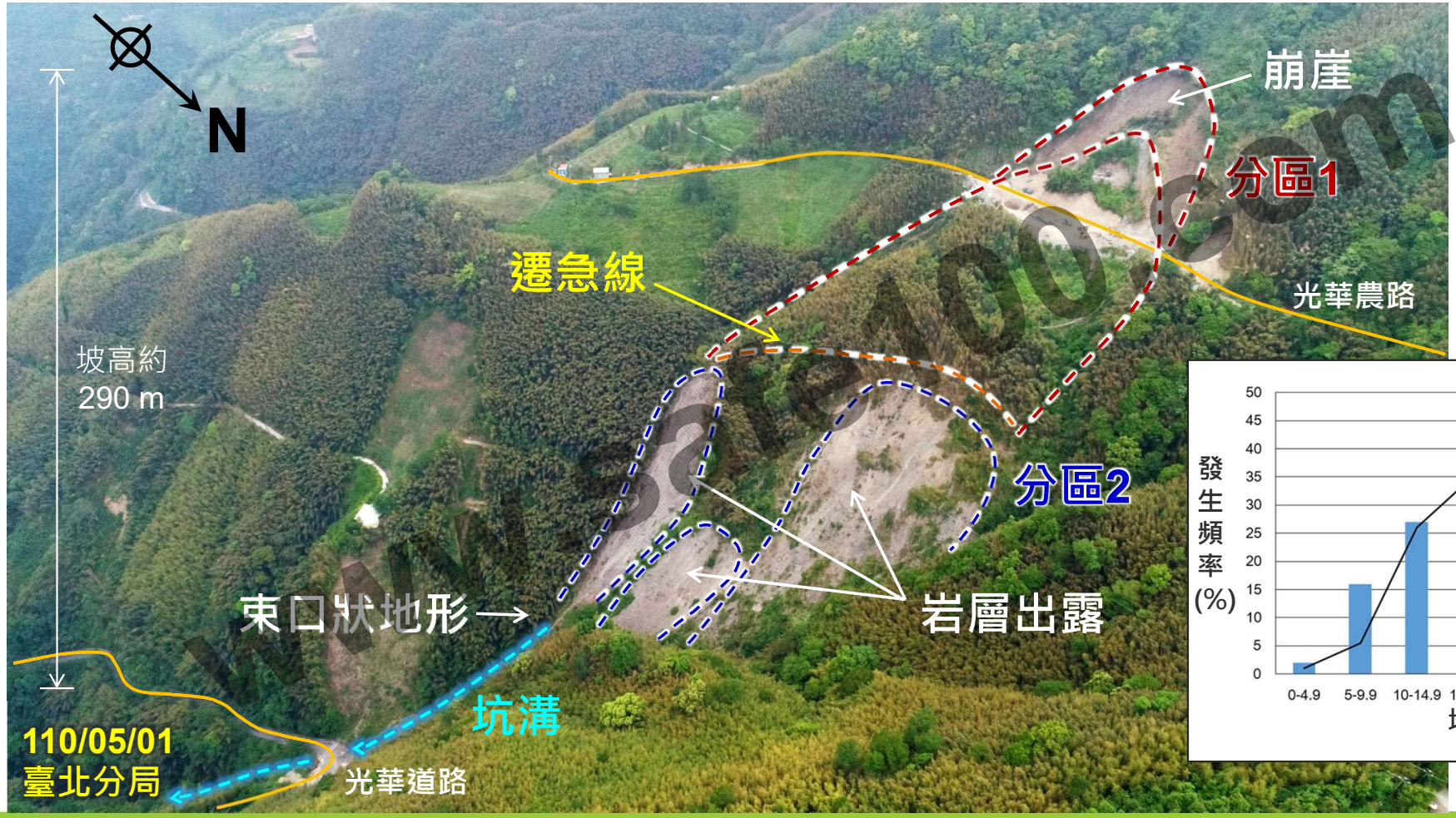
www.safe100.com.tw

地形地貌

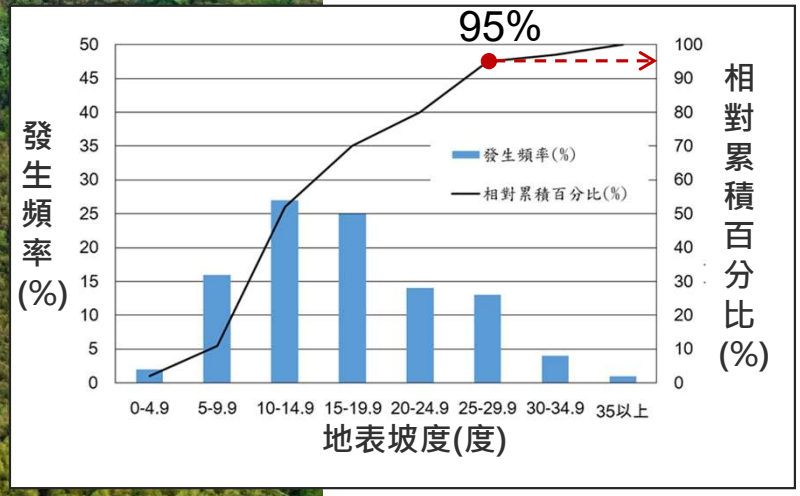
- 上邊坡緩(20~30度)-分區1，典型的地滑區坡度，較軟弱
- 下邊坡陡(30~55度)-分區2，顯示地層強度較高
- 兩側蝕溝發育，於趾部匯流，呈現東口狀地形

地形反應地質

青山



坡度與地滑發生頻率關係



(地すべり地形地質的認識と用語，2004)

Safe100.com.tw

滑動歷史

- 民國95~106年，分區1光華農路持續下移，屬邊坡滑動
- 分區2以崩塌為主，近15年崩塌裸露範圍逐漸向上擴大



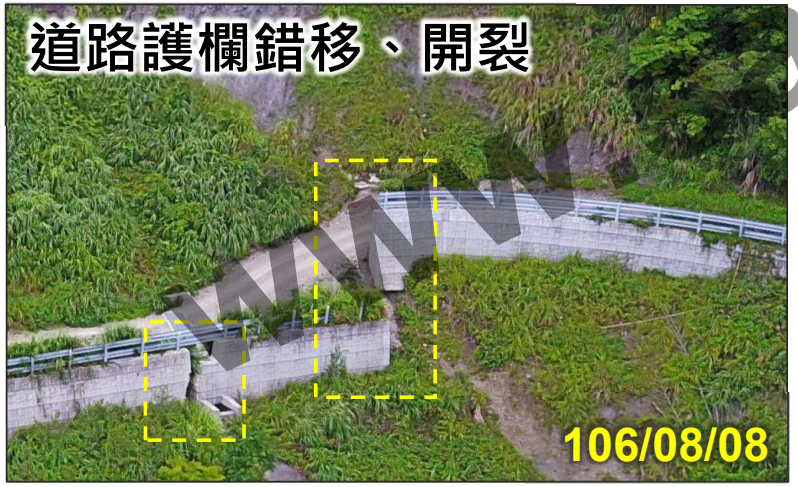
分區1、2崩塌特性不同，可能具分區分塊活動行為

www.safe100.com.tw

調查歷程

- 共完成三期農路，近期106年下滑嚴重，影響安全
- 107年~迄今，水土保持局臺北分局辦理詳細地質調查與監測







www.safe100.com.tw

2. 調查結果

1) 地質條件
2) 滑動深度
3) 邊坡活動性(觀測儀器)









www.safe100.com.tw

既有資料蒐集 - 區域地質圖

地層：

- 巴陵層(PI)：硬頁岩或板岩，偶夾變質砂岩

構造：

- 無名背斜：虛線，推測
  (標示位置通過坡中)
- 檜山斷層：虛線，推測

透過地表地質調查發現光華地區層面大致朝西傾斜

初步研判背斜軸未通過計畫區



經濟部中央地質調查所(民97年)，五萬分之一區域地質圖-土場圖幅

www.safe100.com.tw

地表地質調查

- 調查路線：光華農路、光華道路、施工便道
- 陡峭下邊坡，人員、鑽探機具均難到達，以UAV空拍輔助

青山

- 分區1：黃棕色岩屑材料出露，覆蓋於坡面上

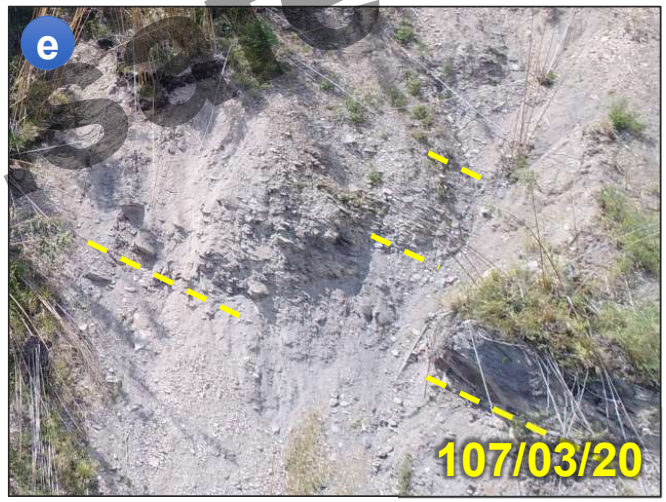






- 分區2：灰色硬頁岩，大致朝西傾斜(與坡向相反，研判逆向坡)



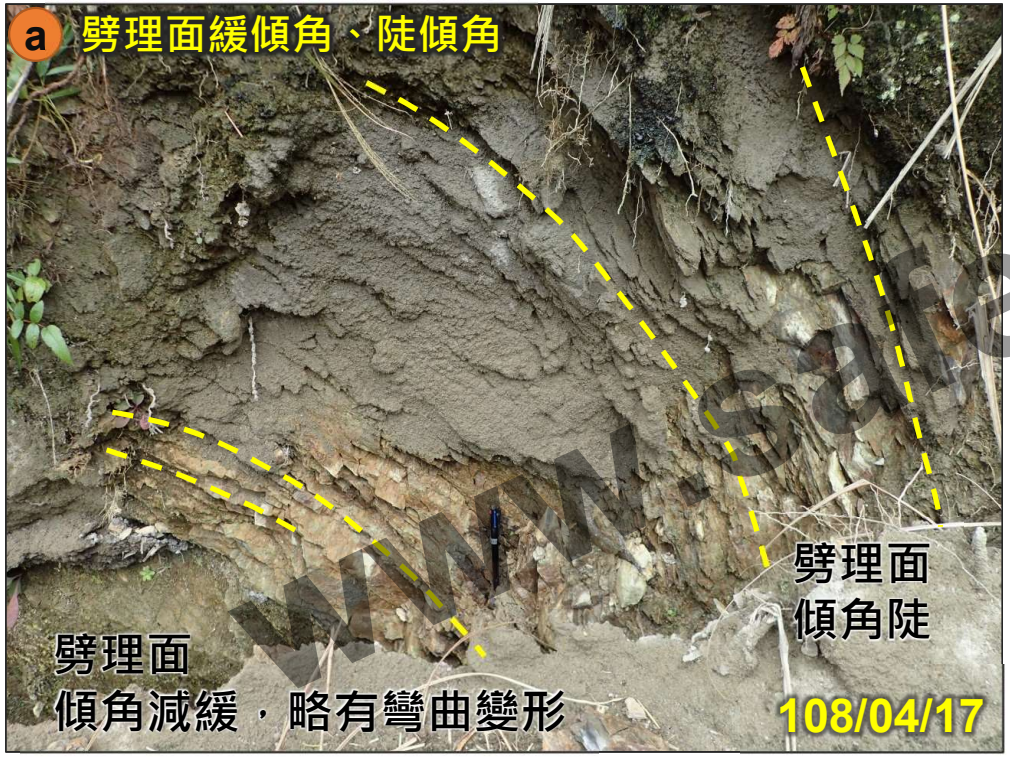




Safe100.com.tw

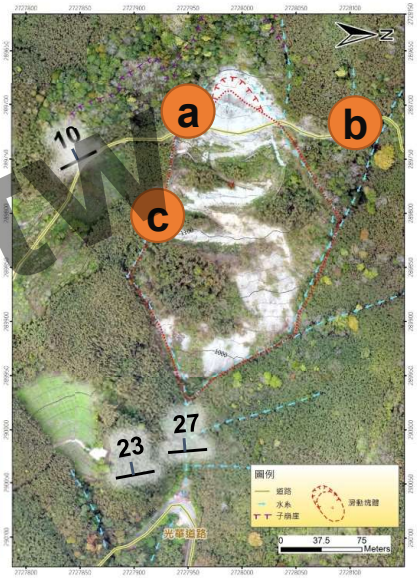
山體變形特徵

- 地表可見劈理面彎曲變形、破碎
- 地下分布情形?









www.safe100.com.tw

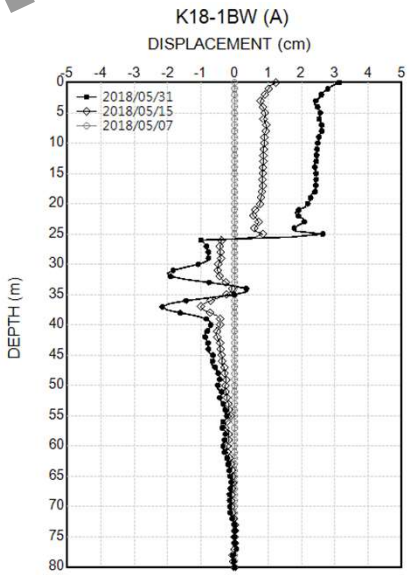
地質鑽探位置

4孔取岩芯，深度40~80m

- ○ 第1年鑽探(107年)
  於光華農路鑽探
  (鑽探用地有限)
- ● 第2年鑽探(108年)
  配合施工便道開闢，
  補充調查
- X 觀測孔，未取岩芯



K18-3BW，原旁邊之K18-1BW僅監測1個月即遭剪斷，自主補充鑽孔



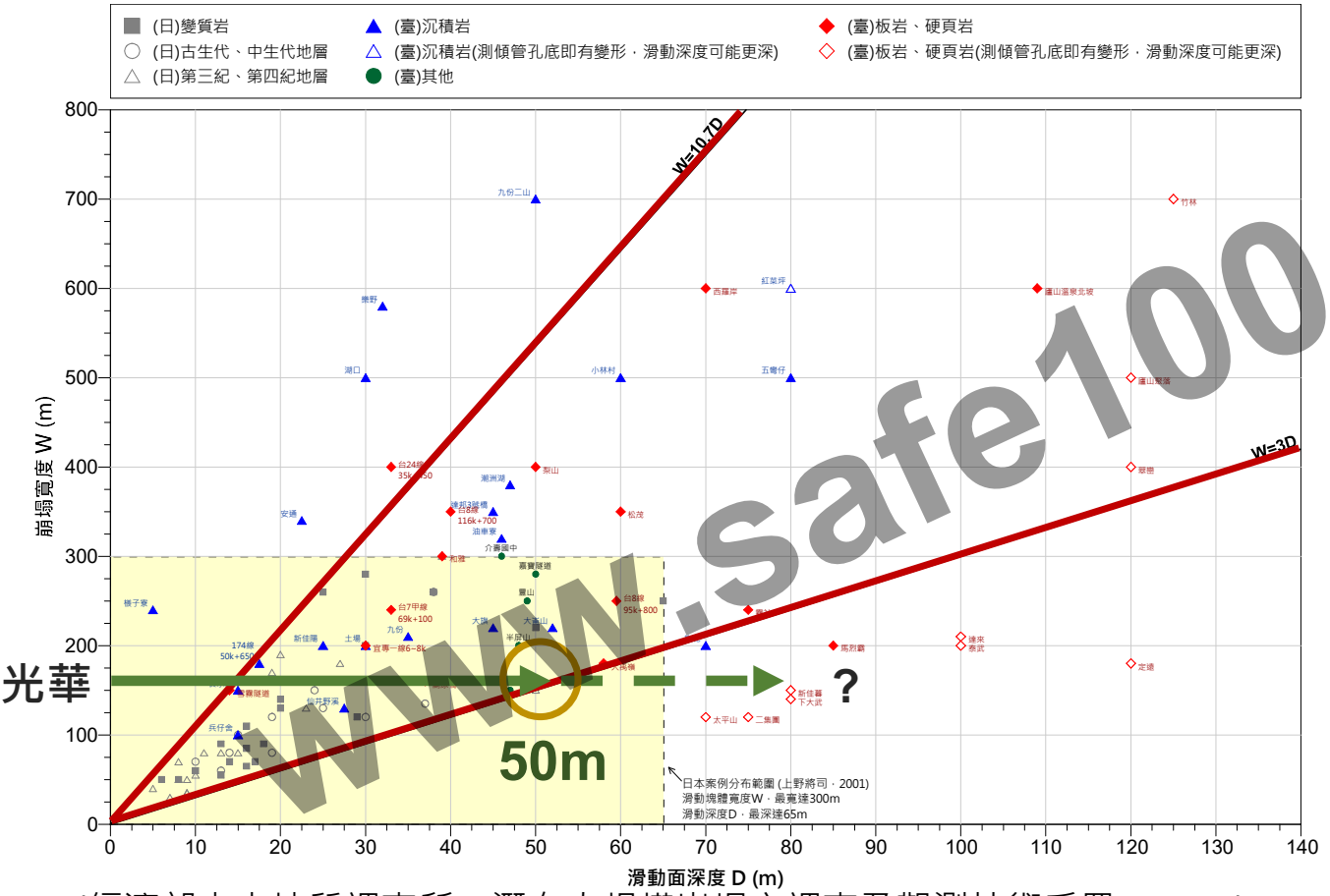
分區2，難鑽探
以UAV輔助調查

www.safe100.com.tw

地質鑽探深度規劃

青山

比較日本50處+臺灣50處崩塌地案例

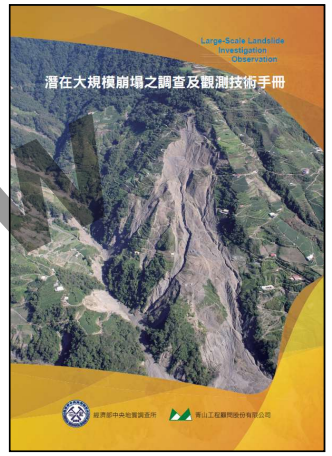


(經濟部中央地質調查所，潛在大規模崩塌之調查及觀測技術手冊，2018)

上野將司(2001)

崩塌塊體寬度W與滑動深度經驗關係

$$D = \left(\frac{1}{3} \sim \frac{1}{10.7}\right) W$$

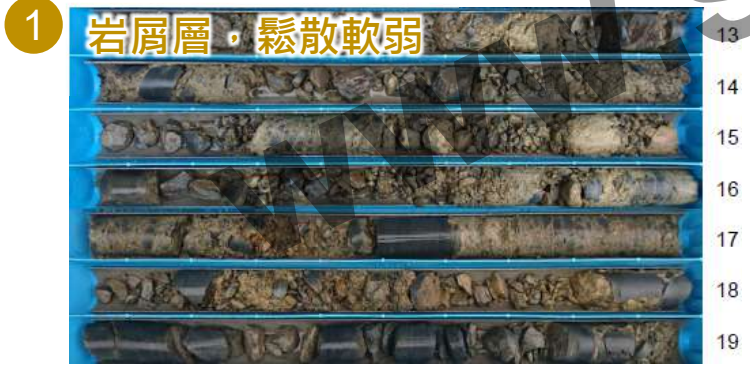


- 光華塊體寬度：160m
- 可能滑動深達： 15~50m
- 規劃較深鑽孔
  - 頭部：40m
  - 坡腹：80m
  - 確認滑動深度
  - 取得較多地下地質資料比對

www.safe100.com.tw

地質鑽探結果

- 岩屑層
  - 厚度：頭部約18m，坡腹達40m
  - 鬆散軟弱，鑽探過程曾坍孔
- 岩層
  - 硬頁岩為主，局部深度劈理發達
  - 劈理面變形、岩體破碎夾泥
  - 具不利的地質條件



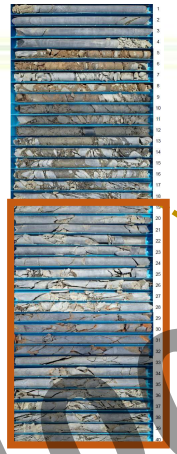


劈理面彎曲變形

K18-2BW
(40m)

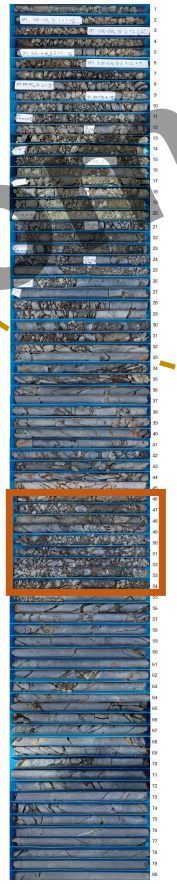
岩屑層
(高度
風化材料)

岩層
(硬頁岩)



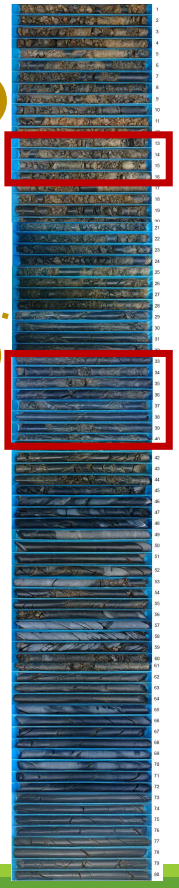
岩體裂隙多
但仍大致完整

K18-1BW
(80m)



破碎成小顆粒
夾泥

K19-1BW
(80m)



www.safe100.com.tw

地質模式

- 岩屑層：集中於分區1(上邊坡)，分區2(下邊坡)已出露破碎岩層
- 岩層：硬頁岩，逆向坡，局部深度破碎擾動，55~60m後較完整



頭部崩崖
岩盤面出露



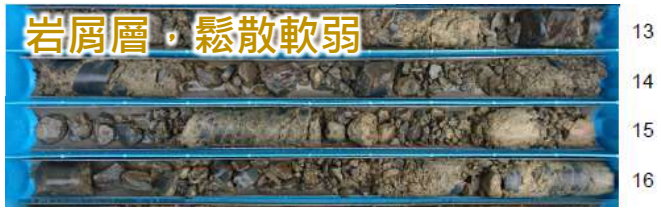
分區1
岩屑材料出露



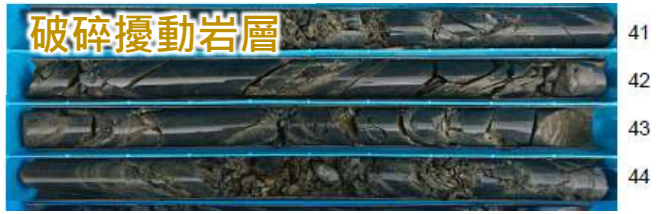
分區2
灰色破碎岩層出露



地下 1 K19-1BW



2



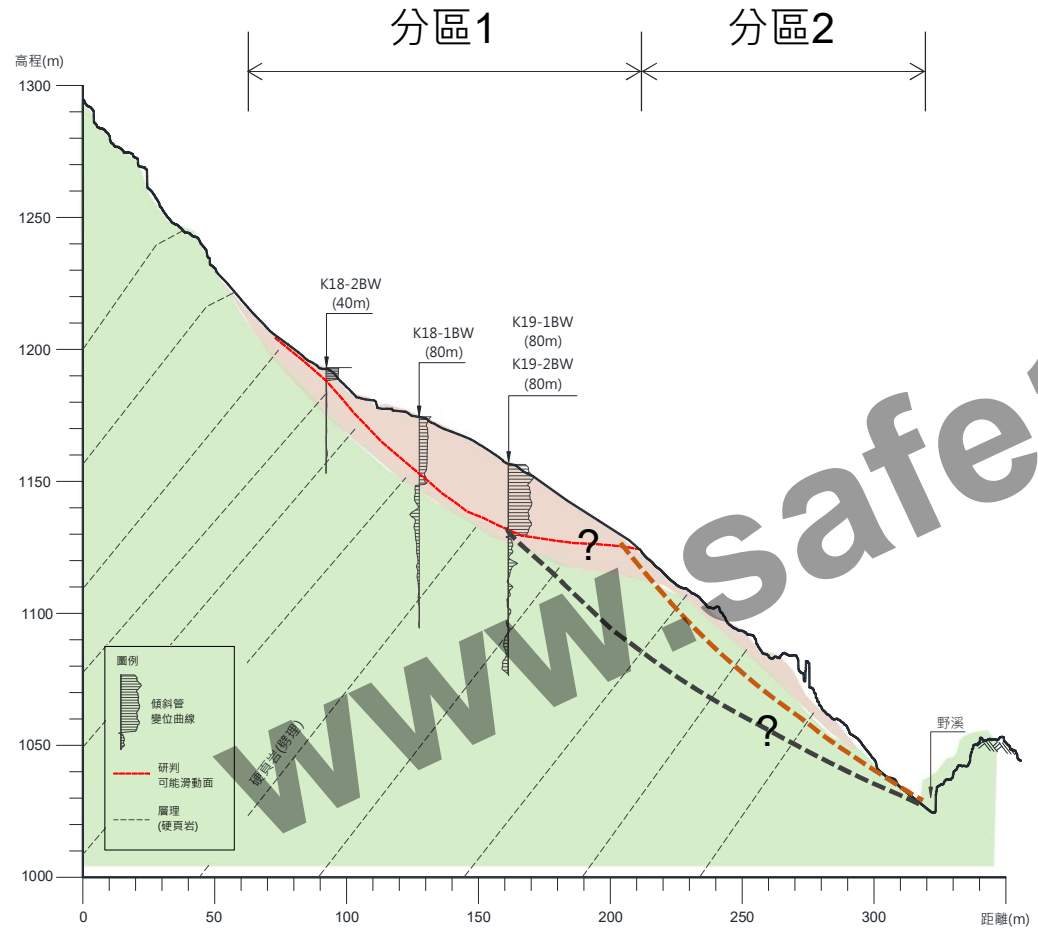
3



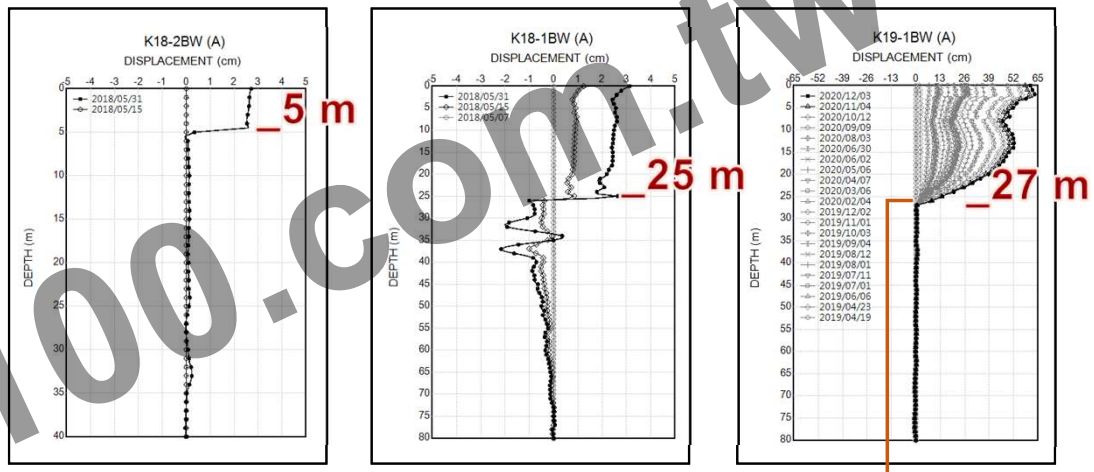
www.safe100.com.tw

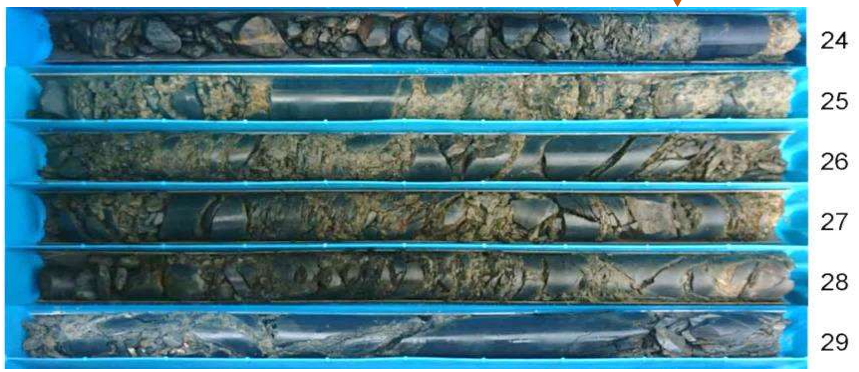
滑動深度調查

- 傾斜觀測管：地表下約5~27m，岩屑層具明顯滑動情形
- 於岩屑層中很快遭剪斷(約1~2個月)，無法確認談岩體活動性(破碎岩層滑動?)



K18-2BW(40m)　K18-1BW(80m)　K19-1BW(80m)





岩屑材料滑動 (黃棕色基質材料夾鬆散岩塊)

www.safe100.com.tw

活動性觀測工作

調查觀測

- 初期-人工觀測，調查活動性、滑動深度
  - 傾斜觀測管
  - GPS(人工定期量測)
  - 遙測影像分析

預警監測

- 中期-自動化，接觸式儀器為主(精度較高)
  - 地表伸縮計
  - 孔內伸縮計

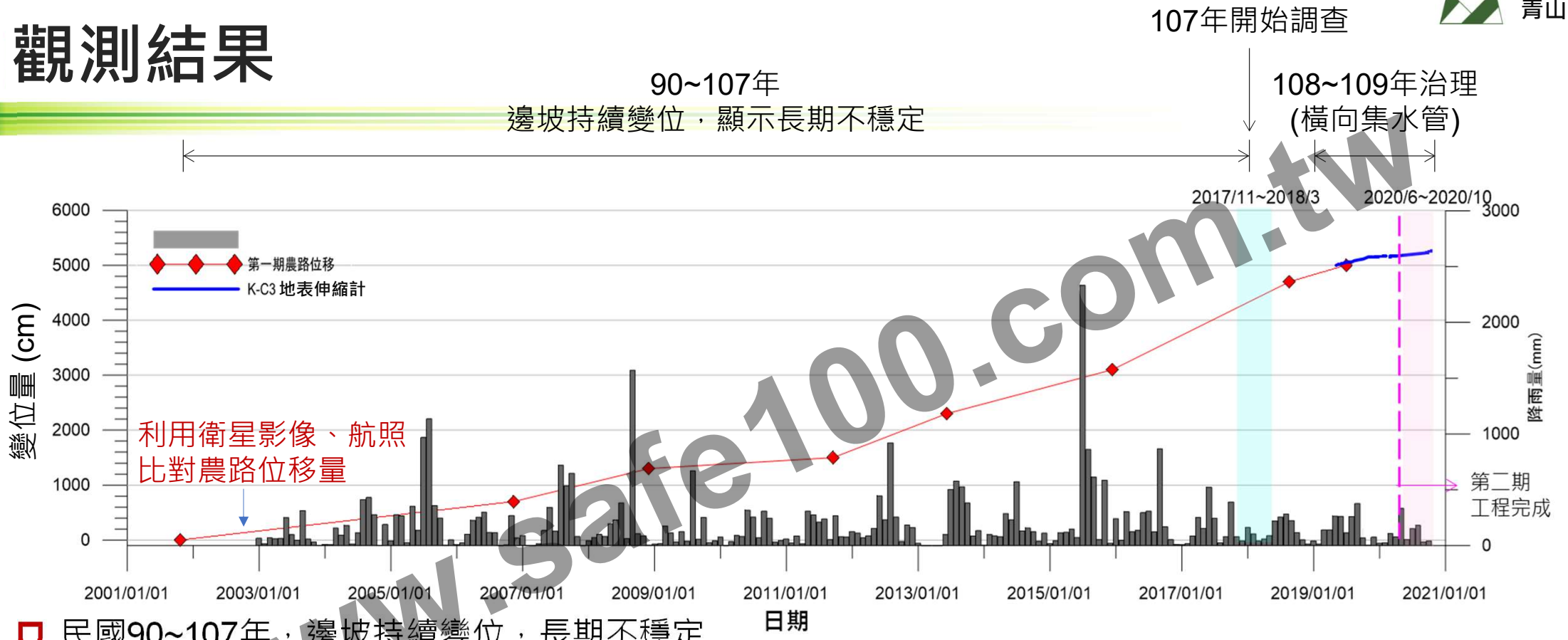
邊坡活潑、持續變位
可觀測變位量有限，需不斷維護
調整觀測策略

- 後期-自動化，非接觸式儀器為主
  - GNSS站
  - 攝影機



www.safe100.com.tw

觀測結果



- 民國90~107年，邊坡持續變位，長期不穩定
- 民國108~109年，分年分期治理，邊坡變位減緩，穩定性已有提昇
  - 比對相同時間區間、相同降雨條件下
  - 整治前：農路位移變化量，195cm　106/11~107/3
  - 整治後：K-C3地表伸縮計變化量，94cm　109/6~109/10

原預計110年接續辦理工程改善
然而1月起，逐漸加速

www.safe100.com.tw

3. 加速情形

因活動性較高
109年12月結案後，
110年1~3月持續自主監測

1月中旬至下旬，
常時無雨，邊坡持續加速

先自主發送備忘錄，提醒注意
隨即啟動一系列應變工作

- 水保局召開專家學者會議，協調各項工作
- 過年期間監測值班
  (後持續達半年以上)

自由時報

首頁 > 生活

崩壞了？桃園復興大規模崩塌潛勢區 竟單日位移40公分



桃園市復興區光華地區長期監測的大規模崩塌潛勢區，邊坡塊體邊界明顯開裂。（記者李容萍翻攝）

2021/02/02 23:37





110/01/30 專家學者會議，研擬處理對策

www.safe100.com.tw

民國110年1月常時無雨條件下，邊坡加速變形

頭部地表伸縮計觀測成果(K-C3)

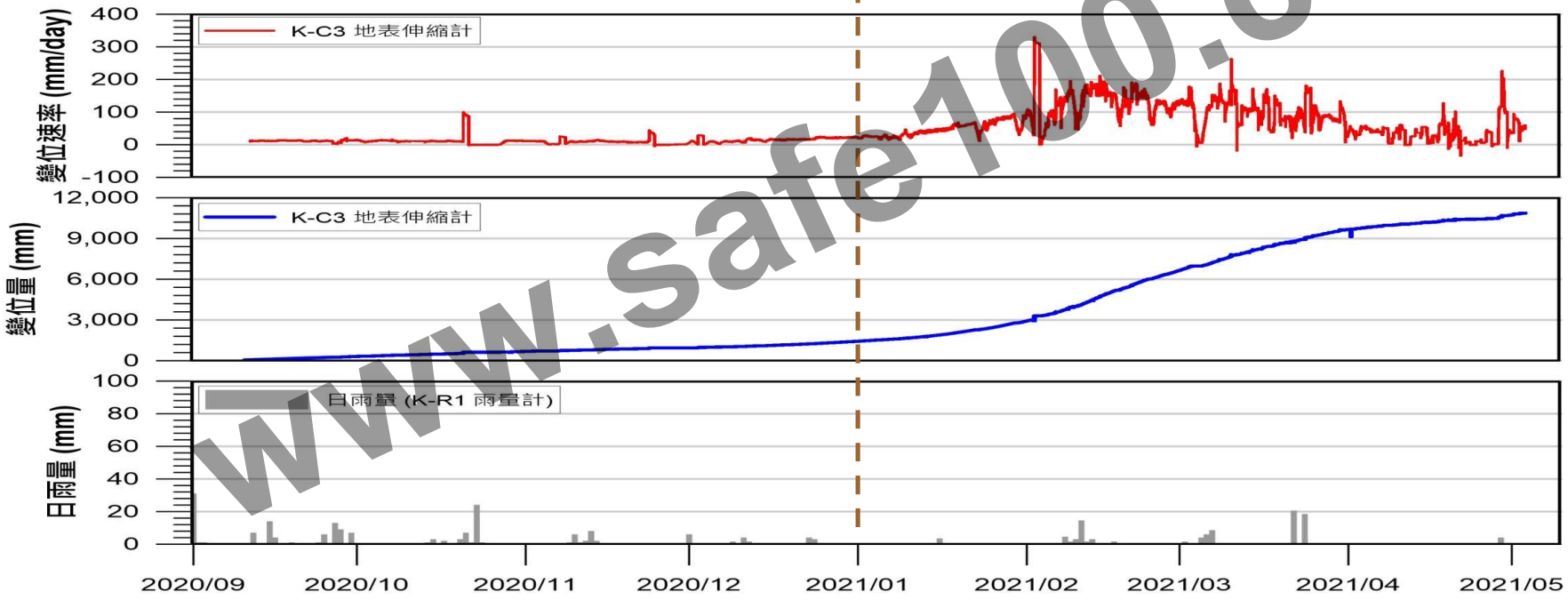
民國110年1月

每日變位量10 mm

- 治理中：橫向集水管
- 道路、擋土牆出現開裂

每日變位量達100~200 mm，變位快且持續時間長(約半年)

- 原預計接續辦理工程改善，工程暫停 X
- 監測，防災預警



每日變位量達
100~200 mm
(持續達半年)

＋

累積變位量逾
10m以上

極特殊案例

www.safe100.com.tw

加速期間，目視可見的破壞

- 頭部開裂擴大
- 左、右側農路，持續下陷，高差達20m



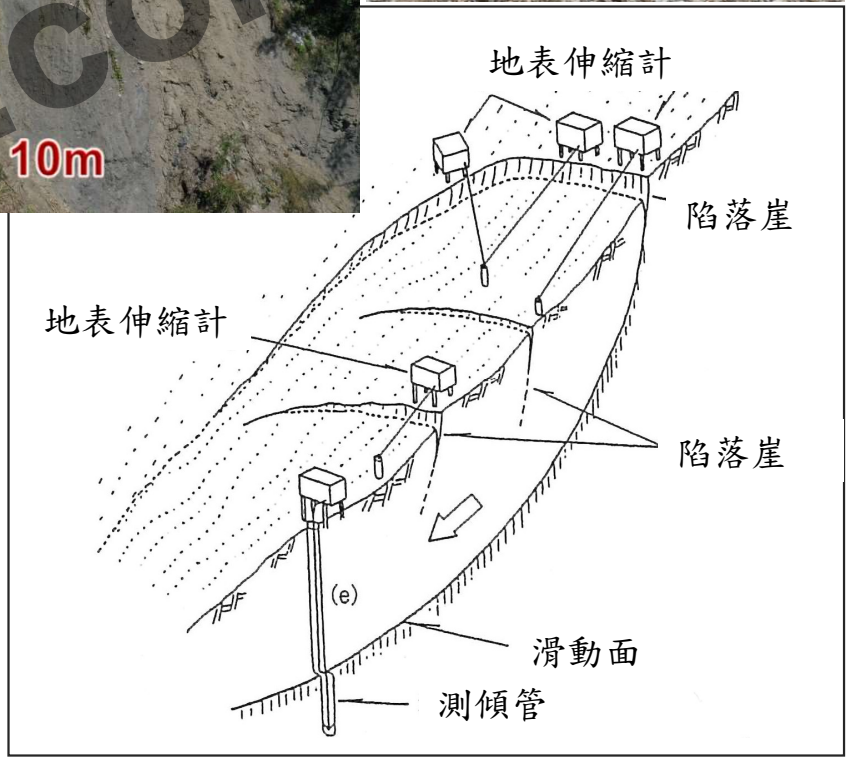
www.safe100.com.tw

4. 監測課題

面對活潑運動中的崩塌地，考驗儀器耐久性，如何監測及應變?







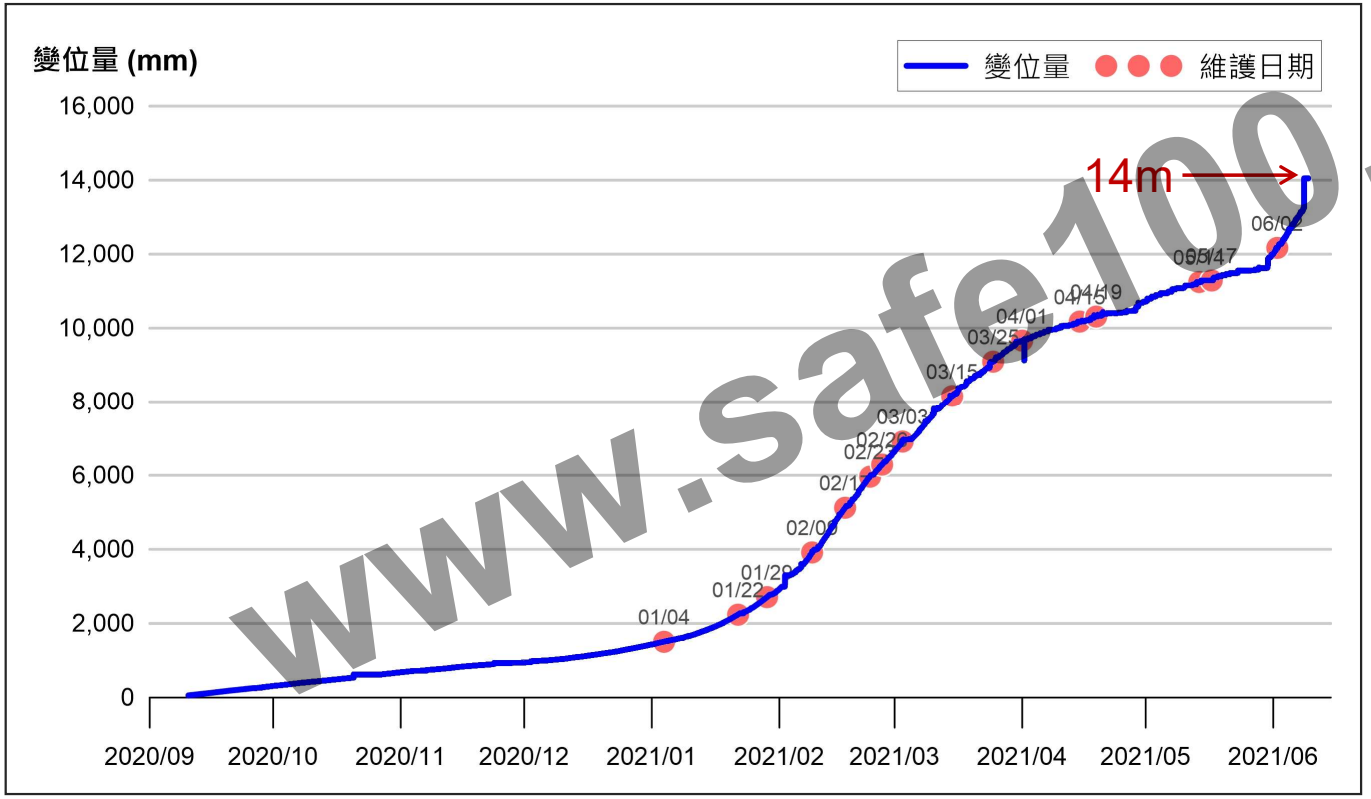
傳統接觸式儀器

- 變位量大，監測範圍有限，需維護
- 持續活動，地形高差加大，維護困難

www.safe100.com.tw

光華地區 - 地表伸縮計監測成果

- 精度高，穩定性佳
- 累積逾14m以上變位量，屬國內珍貴案例





www.safe100.com.tw

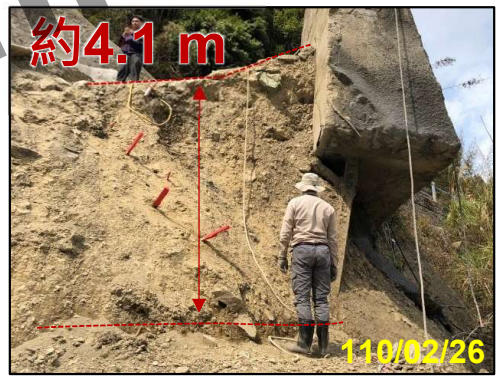
隨滑動加速及持續進行，地表伸縮計困難度劇增

- 變位量大，超出有線式儀器的量測範圍，需人工接續，資料易中斷，不利預警防災
- 地形高差加大，殘留邊坡土質鬆軟，人員進出風險高

















www.safe100.com.tw

維護不易 其他可行儀器?



www.safe100.com.tw

常用監測項目

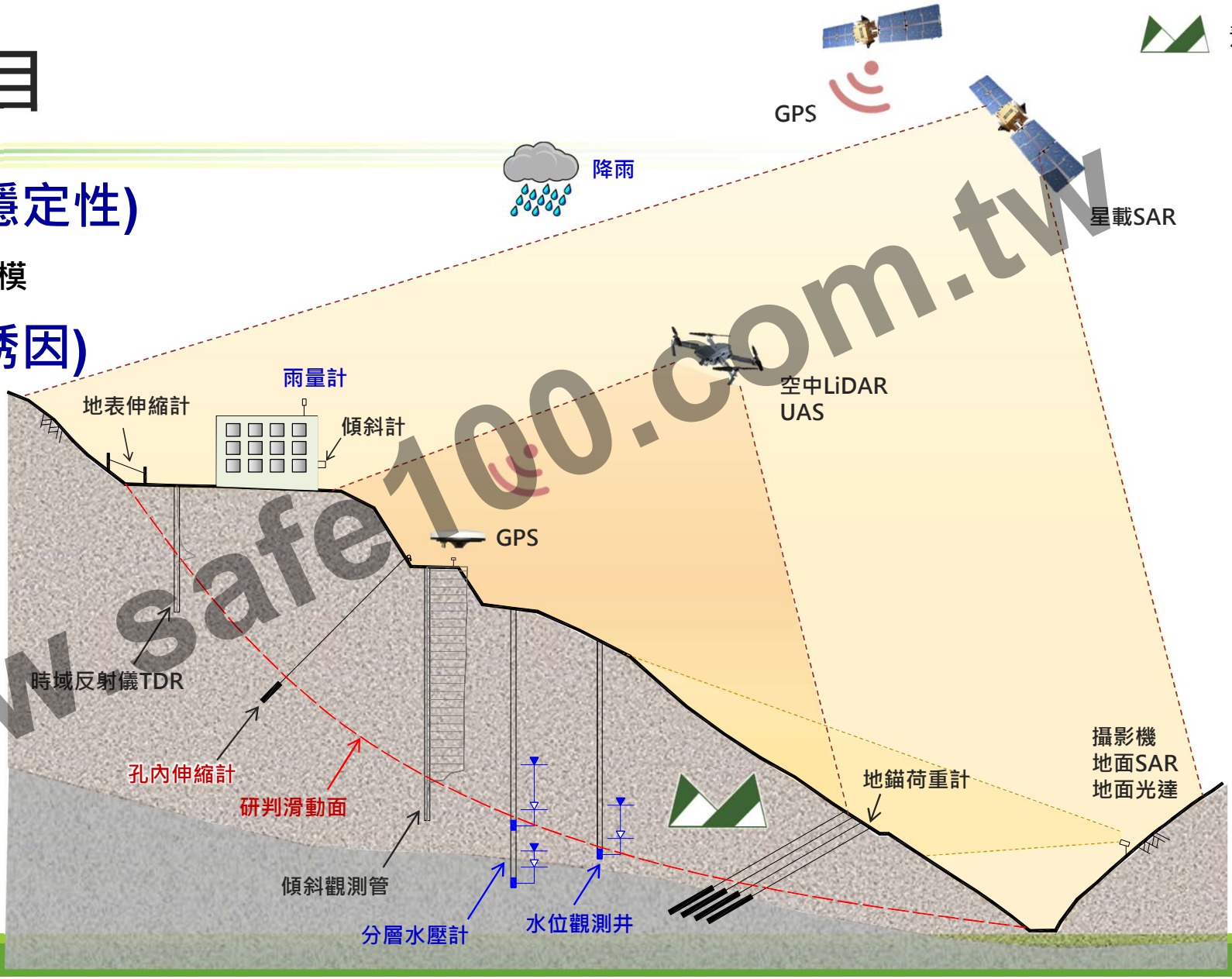
- **地文監測 (邊坡穩定性)**

  調查邊坡活動性，滑動規模

- **水文監測 (滑動誘因)**

  輔助山崩機制分析

  研擬管理基準值



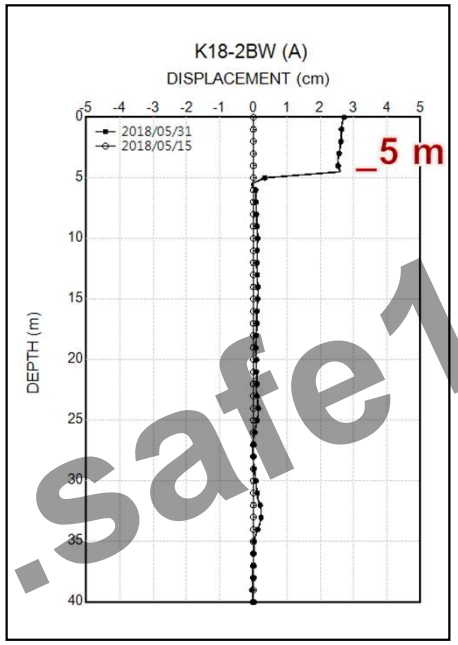
www.safe100.com.tw

監測難題1: 邊坡活潑運動，傾斜觀測管很快剪斷，如何持續監測地中變形?

- 監測1~2個月，即陸續斷管



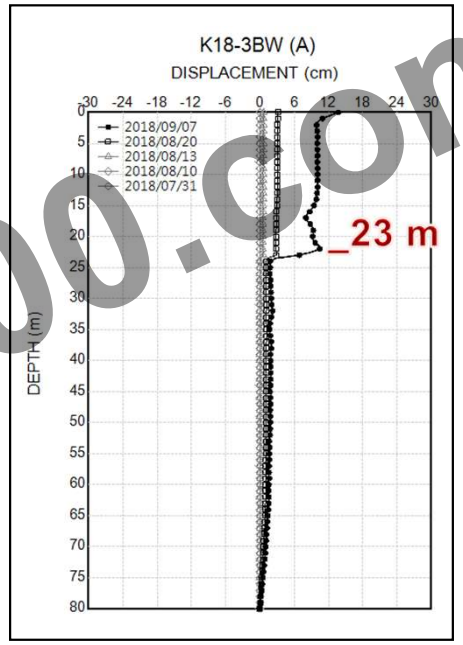
K18-2BW(40m)



107/05/15~05/31

觀測約半月
變位量約3 cm

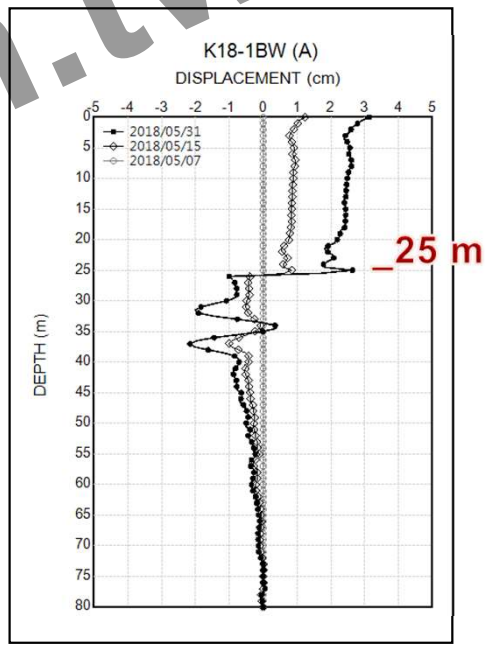
K18-3BW(80m)



107/07/31~09/07

觀測約2個月
變位量約12 cm

K18-1BW(80m)



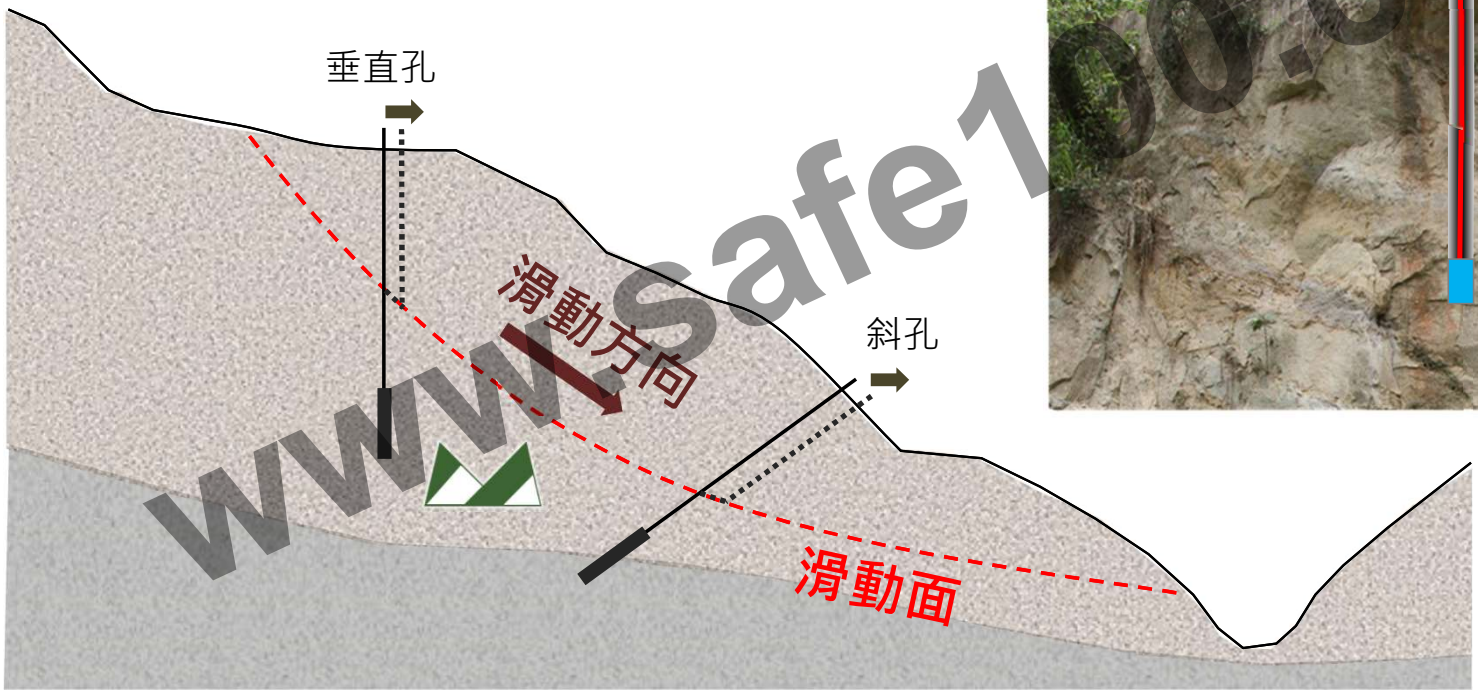
107/05/07~05/31

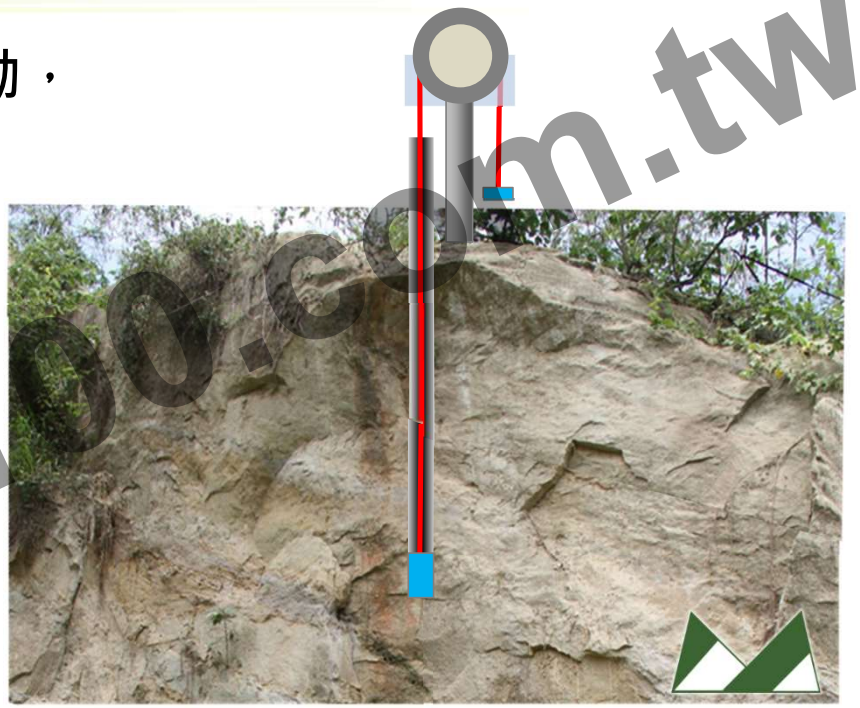
觀測約1個月
變位量約3 cm

www.safe100.com.tw

搭配其他地中變形監測 - 孔內伸縮計

- 錨碇於不動點地層的鋼索，因邊坡塊體滑動，鋼索地表端點產生相對變位量。

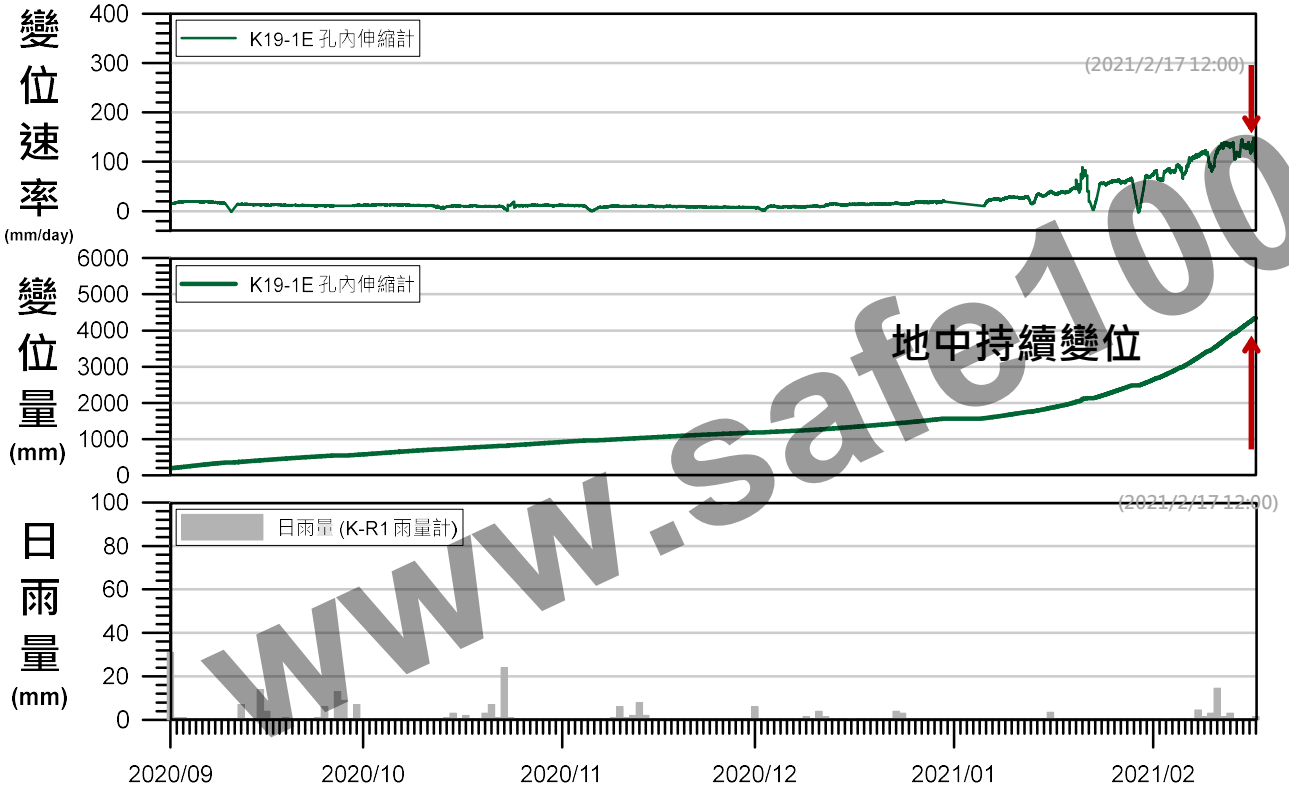


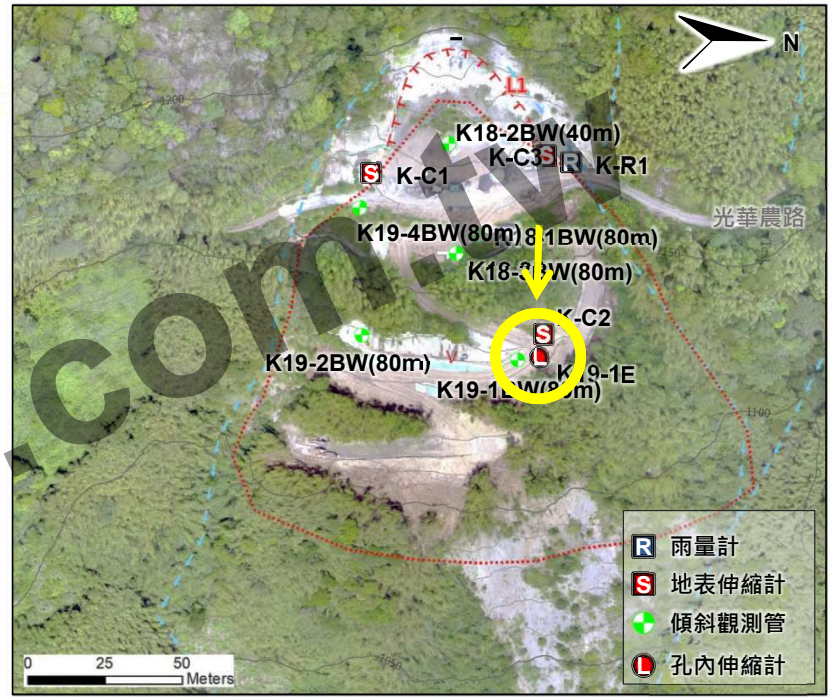


www.Safe100.com.tw

光華地區 - 孔內伸縮計監測成果

監測期間：2020.9.10-2021.2.17





- 容許每日100~150 mm之變位量
- 累積約4m之變位量後損壞

- 孔內伸縮計鋼索拉伸量有極限
- 但已屬地中大變形監測珍貴案例

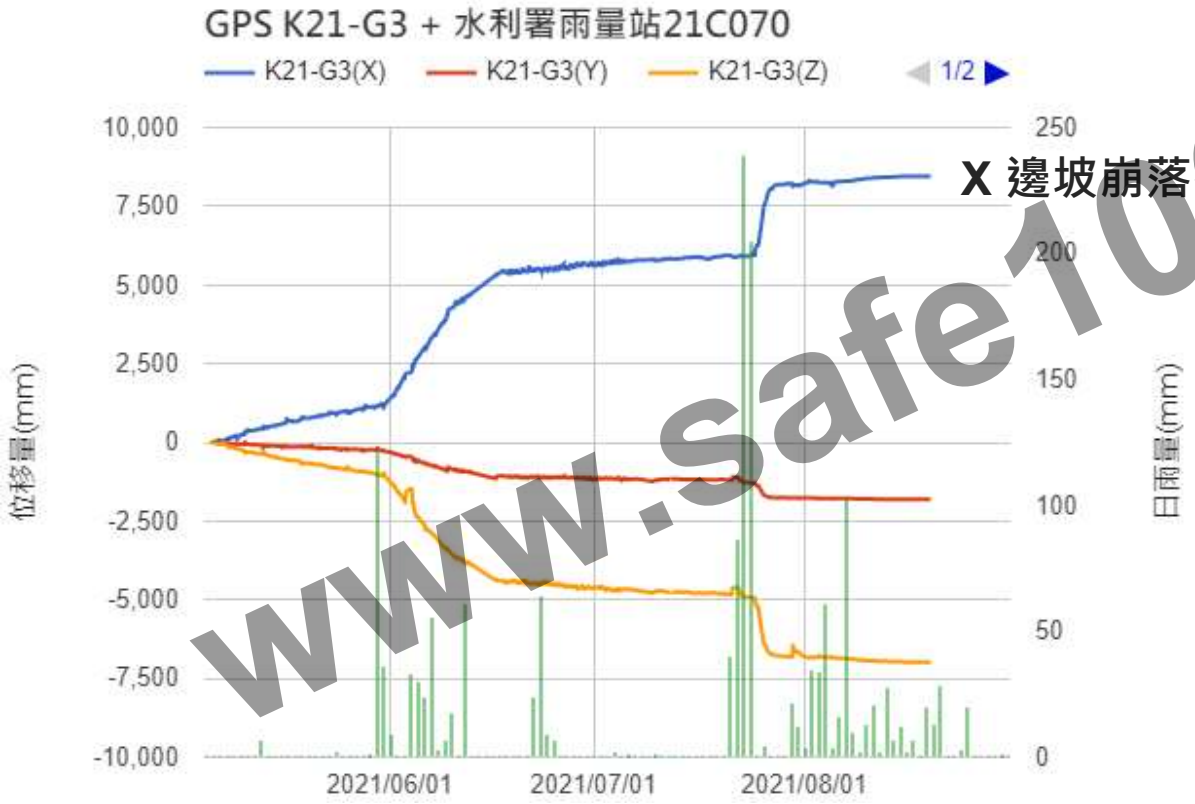
www.safe100.com.tw

搭配非接觸式技術-GNSS

- 適合活潑運動中的崩塌地
- 但其資料解算處理、即時解算精度及費用，仍為議題
- 仍有可能損壞(邊坡直接崩塌)

青山

光華成果



X 邊坡崩落損壞



www.safe100.com.tw

CCD攝影機

- 觀測坡面變化，影像自動化傳輸，電力、通訊需求高
- 仍需配合人力監控，自動判釋技術發展中


109/12


110/02


110/03



110/04



110/05



110/06



110/07



110/08



110/09



110/10



110/11



110/12



噴凝土護坡開裂
顯著擴大

坡面變形趨緩

www.safe100.com.tw

監測難題2、下邊坡(分區2)地形陡峭，難設置儀器，如何掌握整體活動性?

搭配UAV航拍，觀測大範圍變化

107年5月~111年7月UAV影像(動畫)



1.	107/05/15	23.	110/04/16
2.	109/06/02	24.	110/04/21
3.	109/10/12	25.	110/04/30
4.	110/02/02	26.	110/05/07
5.	110/02/07	27.	110/05/14
6.	110/02/17	28.	110/05/28
7.	110/02/18	29.	110/06/02
8.	110/02/23	30.	110/06/10
9.	110/02/24	31.	110/06/28
10.	110/02/26	32.	110/07/09
11.	110/03/01	33.	110/07/15
12.	110/03/05	34.	110/07/26
13.	110/03/08	35.	110/08/05
14.	110/03/10	36.	110/08/09
15.	110/03/12	37.	110/08/11
16.	110/03/15	38.	110/0819
17.	110/03/19	39.	110/08/27
18.	110/03/22	40.	110/08/31
19.	110/03/24	41.	110/10/15
20.	110/03/26	42.	110/11/06
21.	110/04/02	43.	111/06/14
22.	110/04/09	44.	111/07/22

影像來源：
- 水保局
- 臺北分局
- NCDR
- 青山顧問(執行臺北分局計畫)

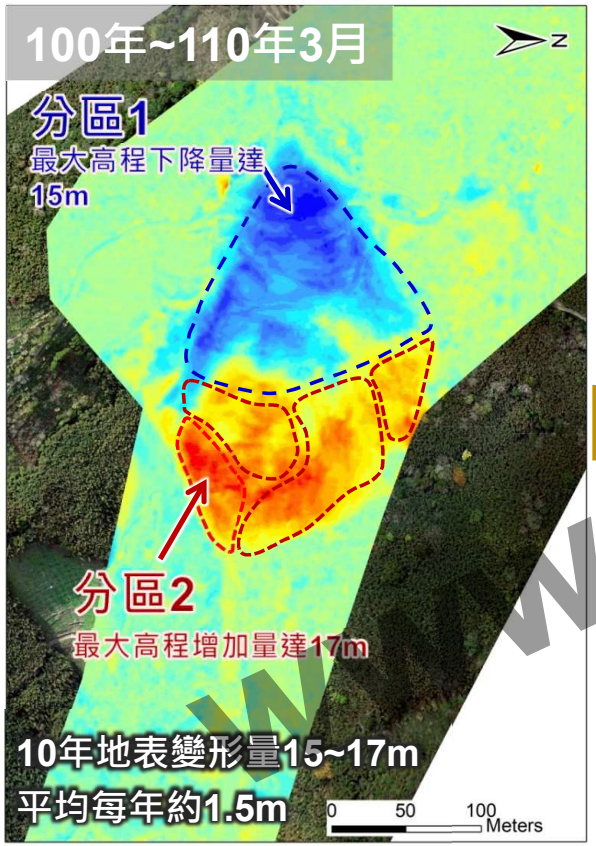
於107年~111年間，取得44期影像

分區2於110年產生顯著變形，至6月後變形趨緩

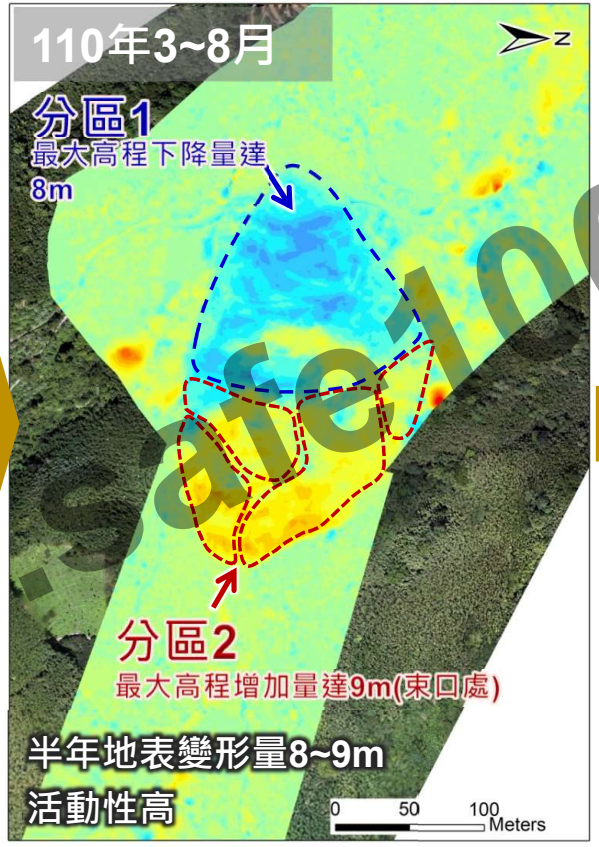
www.safe100.com.tw

利用空載光達技術取得大範圍DEM，分析地形變化

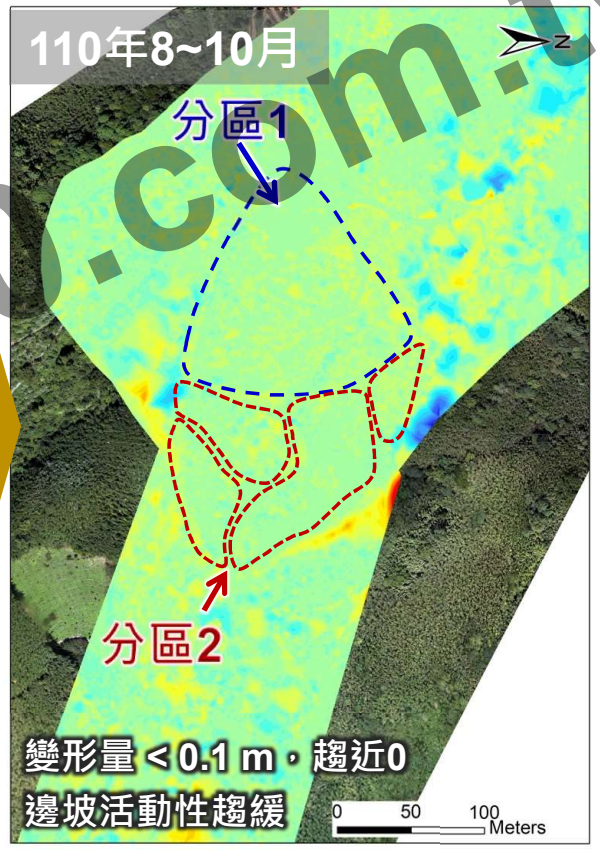
100~111年8月間，主要滑動區邊坡全區(分區1及2)顯著變形，8~10月後變形趨緩



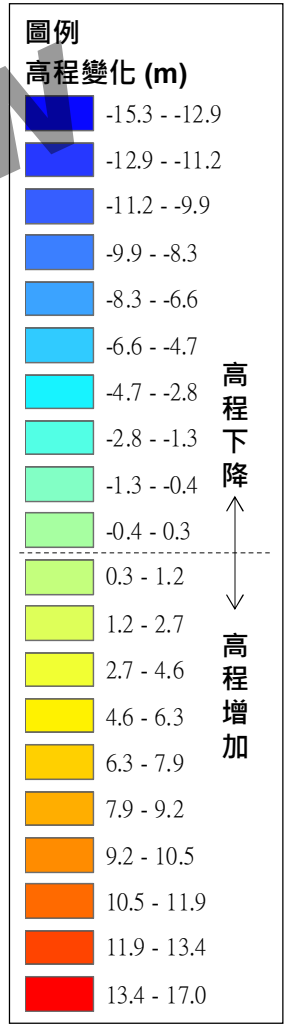
100年(地調所)至110年3月1日(水保局)



110年3月1日至8月17日(水保局)



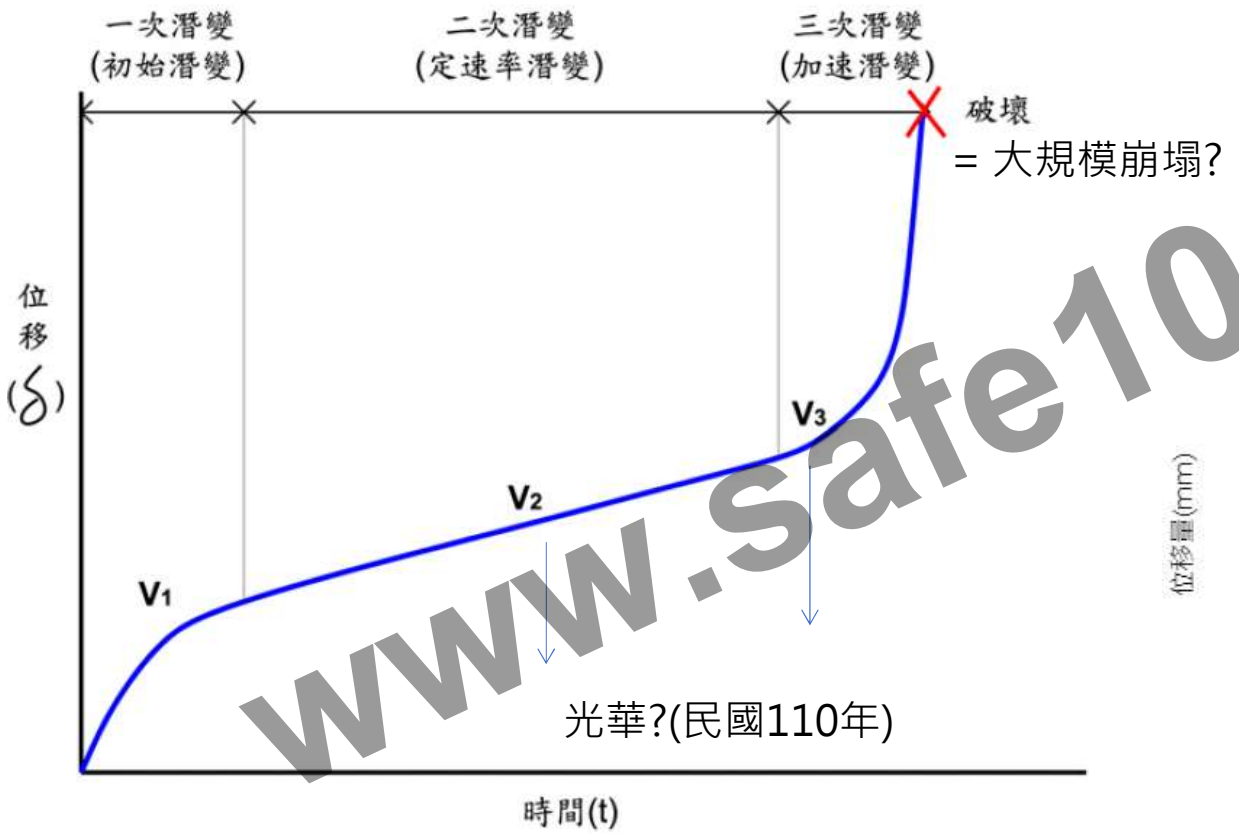
110年8月7日至10月19日(水保局)



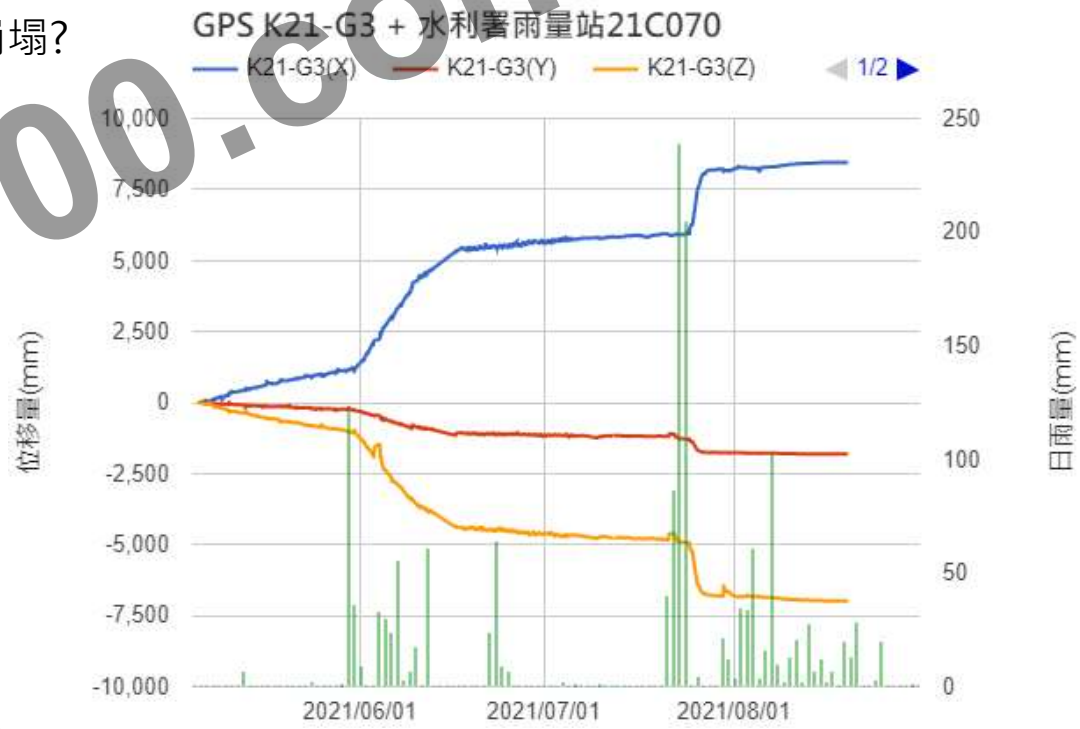
www.safe100.com.tw

如何決定管理值，仍為關鍵課題

邊坡崩壞過程歷時曲線示意圖



- 光華具加速，再減速特性
- 已進入二次潛變? 三次潛變?
- 如何決定可能產生破壞之管理值?



www.safe100.com.tw

廖瑞堂、陳昭維、紀宗吉、林錫宏(2013)，「由台灣監測案例探討邊坡位移量之管理值」，地工技術，第136期，第59-70頁。

管理基準值非一成不變

初期保守，累積更多監測資料，
掌握坡體活動特性後，滾動檢討

青山

注意值(黃色)：變位略顯著，緩慢運動中

初期：考慮儀器誤差，超出儀器誤差時可視為邊坡變位略顯著

- 地表伸縮計：10 mm/24hr
- GNSS：35 mm/24hr

目前：依110年應變經驗回饋，原注意值容易啟動警戒，不易解除警戒，較不利操作，回饋調整

- 地表伸縮計：90 mm/24hr
- GNSS：90 mm/24hr

警戒值(紅色)：變位顯著，活潑運動中

初期：不易定義，初期先參考案例、文獻管理值(警戒值、行動值)保守訂定

- 地表伸縮計：70 mm/24hr
- GNSS：50 mm/24hr

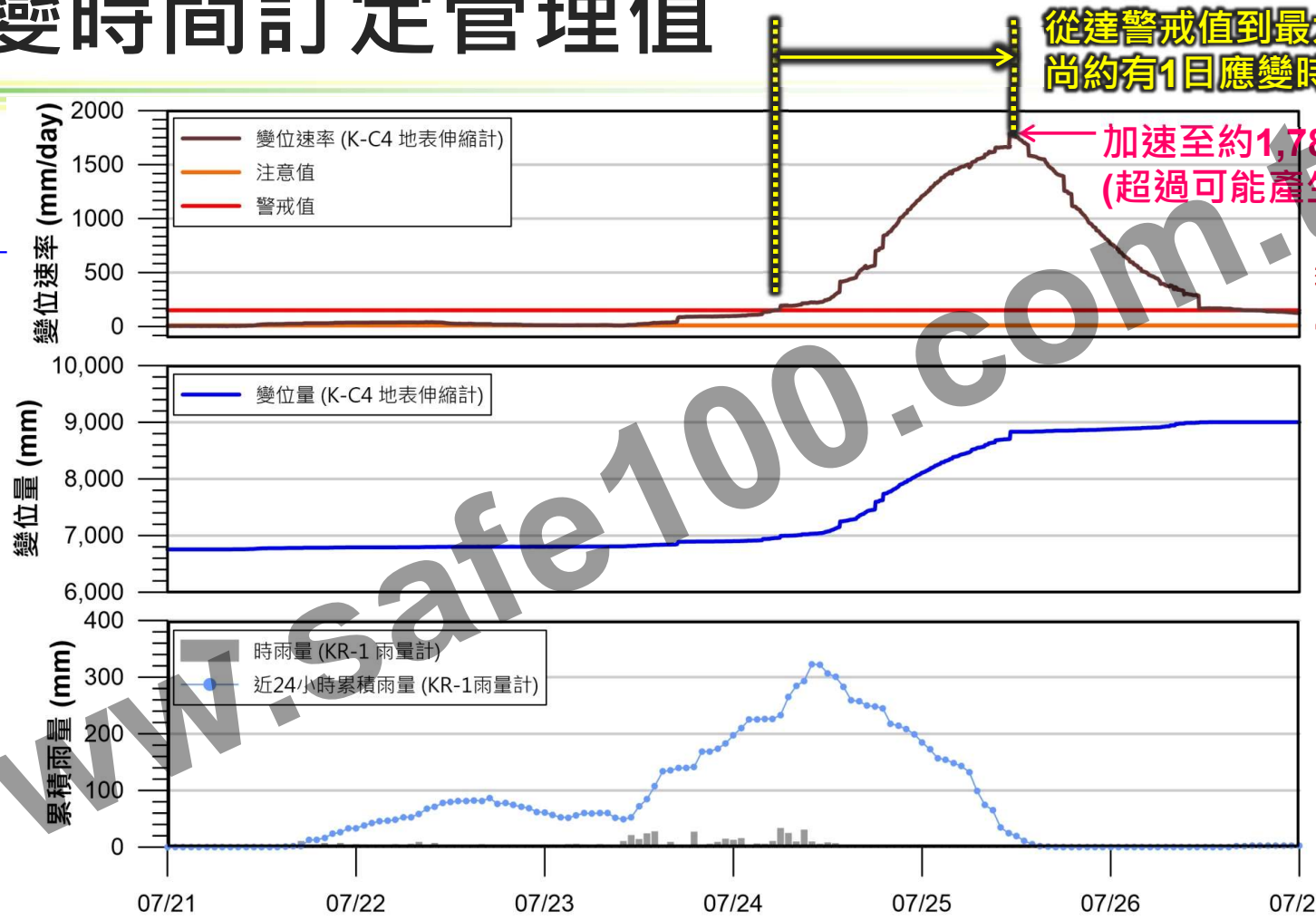
目前：累積較多監測資料，發現當變位速率達50~70 mm/24hr時，可見坡體產生變形，但無大規模破壞，適度調整

- 地表伸縮計：180 mm/24hr
- GNSS：180 mm/24hr

www.safe100.com.tw

考慮應變時間訂定管理值

塊體左側
K-C4地表伸縮計



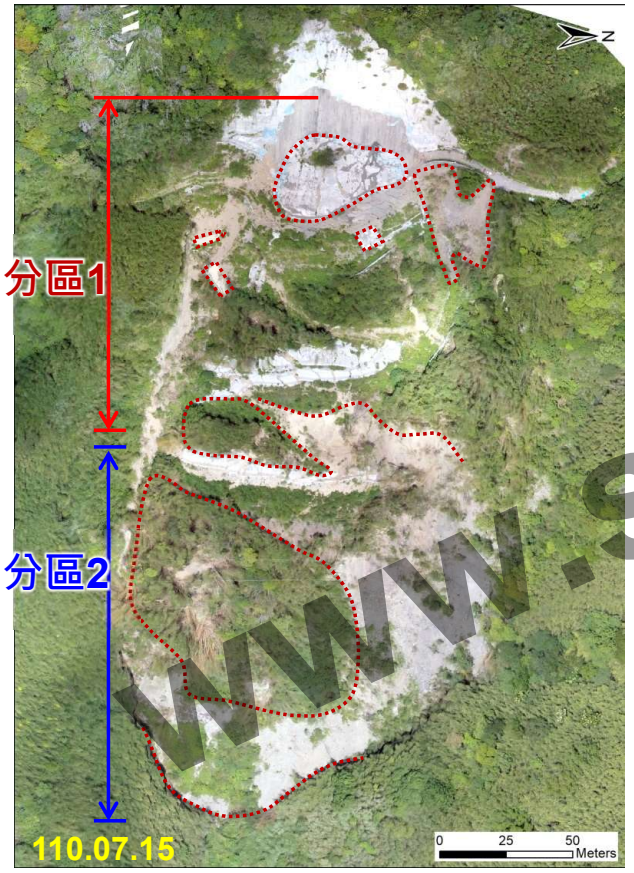
www.safe100.com.tw

烟花颱風事件顯示達180 mm/24hr警戒值後，到最大加速值尚約有1日應變時間

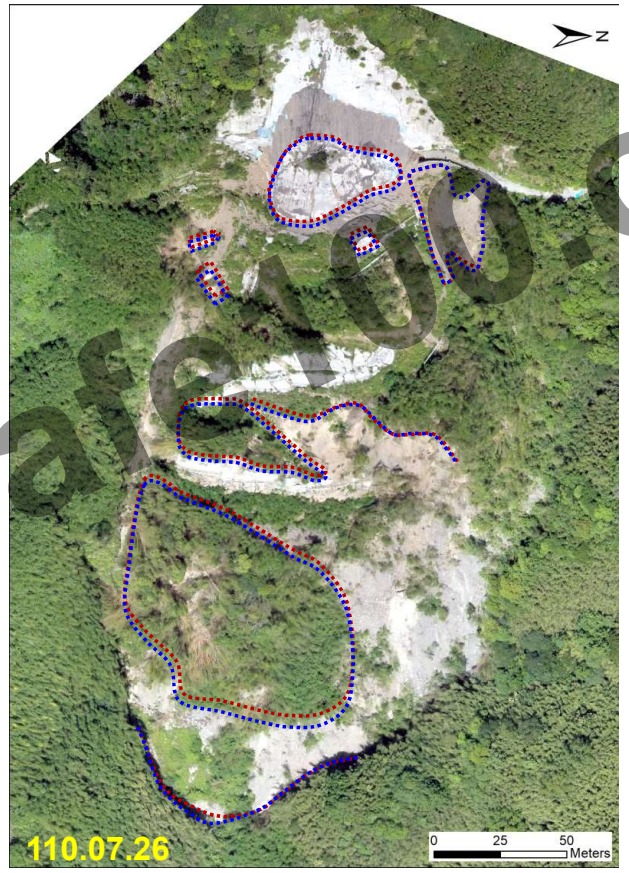
管理值可行性確認

110年烟花颱風事件影像比對，變位達180 mm/24hr(警戒值)，可見坡面變形，但不致產生大規模崩塌，顯示尚能提供預警參考亦應不致過度反應

110/07/15，烟花颱風前



110/07/26，烟花颱風後



動畫比對(可見坡體下移)



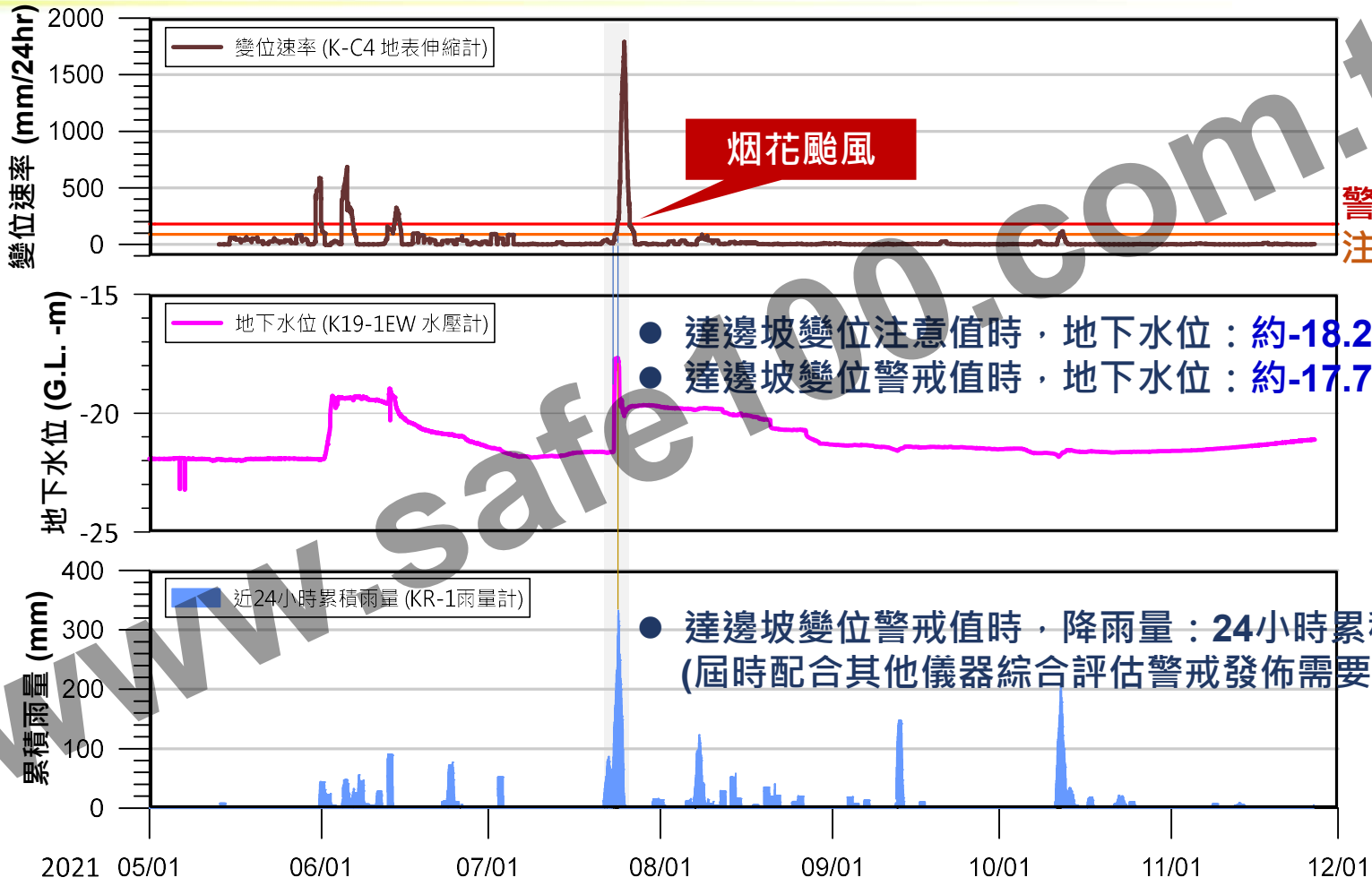
www.safe100.com.tw

地文儀器仍可能損壞，
持續累積邊坡變位啟動與降雨門檻資料，供預警發佈參考

塊體左側
K-C4
地表伸縮計

塊體右側
K19-1EW
封層水壓計

KR-1
雨量計



警戒值180 mm/24hr
注意值90 mm/24hr

- 達邊坡變位注意值時，地下水位：約-18.2 m (取為管理值)
- 達邊坡變位警戒值時，地下水位：約-17.7 m (取為管理值)

- 達邊坡變位警戒值時，降雨量：24小時累積雨量約240~300 mm (屆時配合其他儀器綜合評估警戒發佈需要)

www.safe100.com.tw

5. 回饋展望

應變期間的課題與經驗回饋

How	地形困難，如何調查? 活動性高，如何監測?
When	變位快，何時破壞?
Where	若產生大規模崩塌， 崩塌量體與影響範圍?
Why	最終無大規模崩塌運移 加速，再減速機制?
Future	未來是否可能再加速 大規模崩塌條件?



變形趨緩，危機解除?

www.safe100.com.tw

How 地形困難，如何調查?

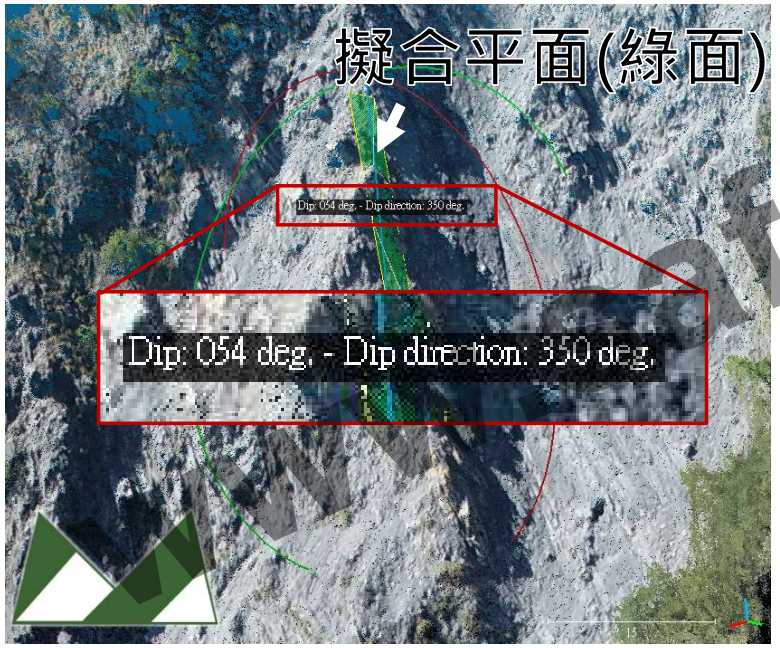
下邊坡(分區2)地形陡峭，坡面為破碎岩層(不穩定)
人力或鑽探風險均高

青山

目前相關發展技術

地表

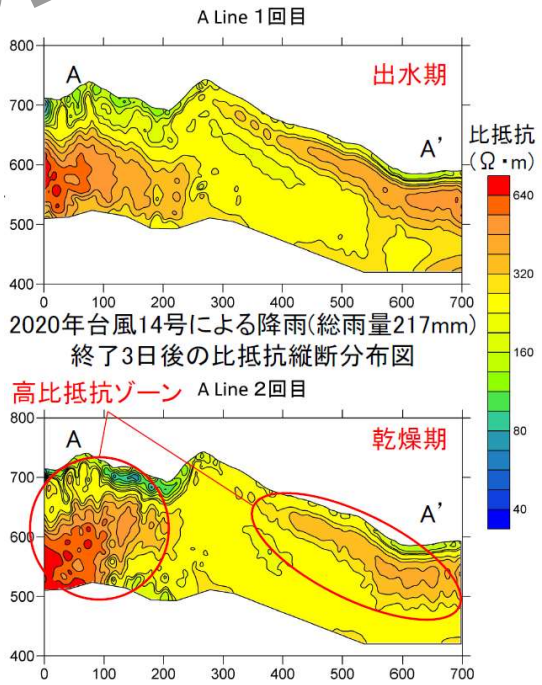
- 以點雲分析技術，取得不連續面位態
- 國內應用日益廣泛



地中

- 無人機掛載探測儀器 ex 空中電磁探測
- 國內案例少、費用高





(木下篤彦，2021)

Safe100.com.tw

How 活動性高，如何監測?

邊坡變位
加速

變位計
量測範圍修改

維護頻率 1個月1次 → 1個禮拜1次 → 2天1次 → 4天1次



110年 01/04 | 01/22 | 01/29 | 02/03 | 02/05 | 02/09 | 02/13 | 02/17

- 邊坡加速初期，儀器常因邊坡滑動受損，感測範圍有限，監測中斷，維護頻率高
- 如何確保資料連續性？
  - 精進大變形能力，變位計由量測範圍1m改用4m
  - 鋼索續接次數可降低，增加資料連續性，減少維護頻率 (量測解析度下降)

www.safe100.com.tw

邊坡持續滑動，接觸式儀器仍有極限 仰賴其他監測方法

光華經驗回饋，
由量測範圍檢討
地文觀測儀器適用性

速率慢　邊坡活動性低　邊坡明顯位移　速率快　邊坡瀕臨破壞

邊坡位移量小　邊坡位移量大

地中

- 傾斜觀測管
- 多段式地中變位移(SAA、IPI)
- 孔內伸縮計(接觸式)

地表

- 地表伸縮計(接觸式) → 隨地形高差加大維護困難度倍增
- GPS (通視與解算問題)
- UAV(缺乏自動化)
- 地面光達、全測站(通視、距離問題)

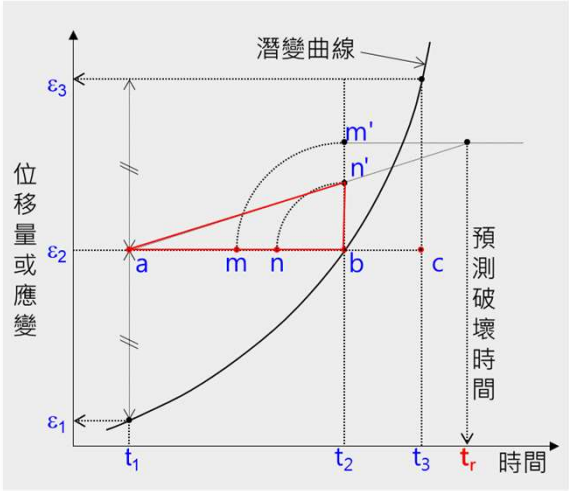
沒有萬能的監測方法

www.safe100.com.tw

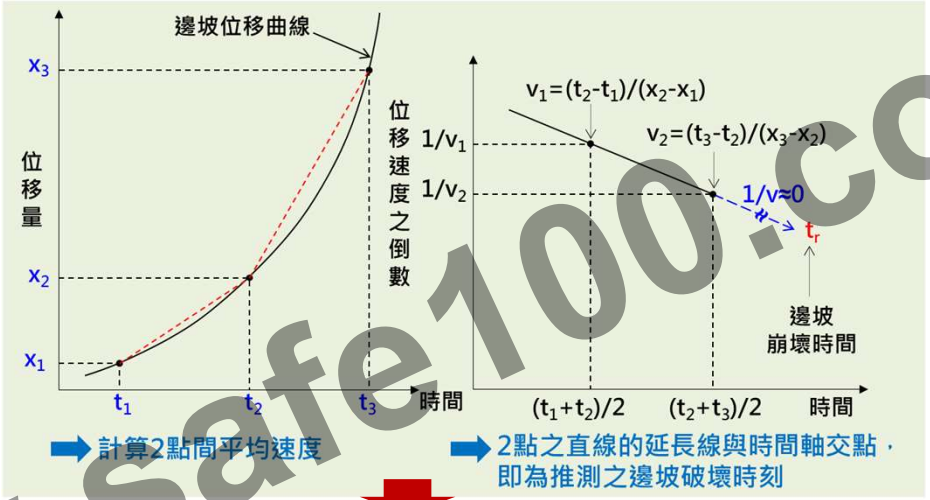
When 變位快，何時破壞？ 多利用破壞時之加速特性，進行預測

青山

- 迫近預測法(齋藤，1968)

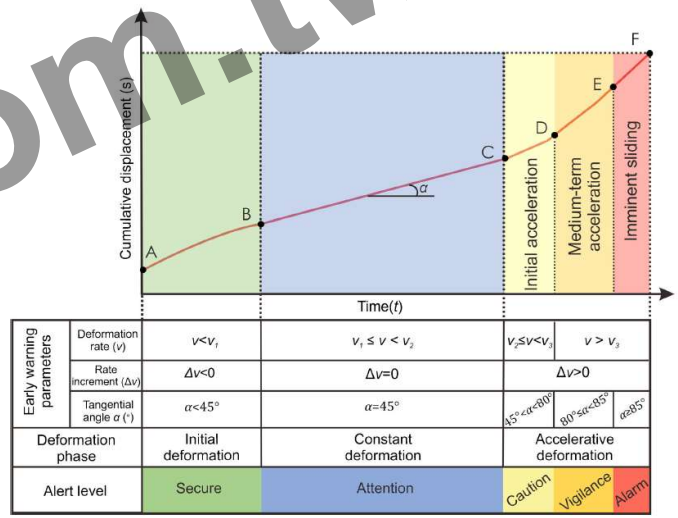


- 速度倒數法(福囿， 1985)



較為簡便，當時預測為110年2月4日破壞

- 切線角度法(Fan et al., 2019)



方法眾多，不限於此

- **儀器數量代表性：局部破壞，整體破壞?**
- **地表儀器適用深層滑動預測?**
- **破壞定義：大規模土砂運移?**

目前預測不確定性仍高

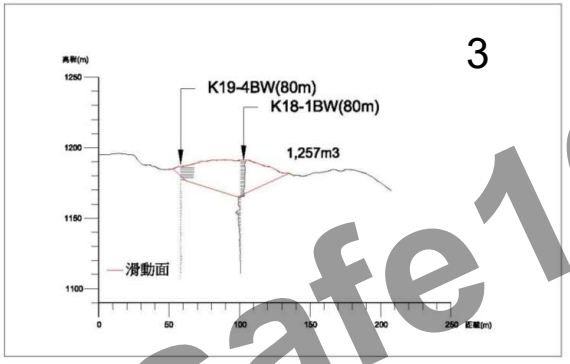
www.safe100.com.tw

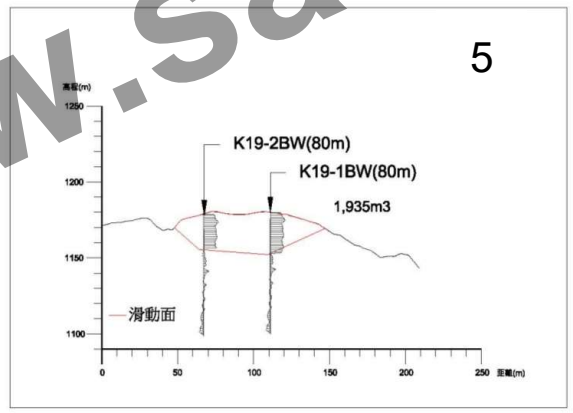
Where 若產生大規模崩塌，有多少崩塌量體?

- **分區1，利用調查成果估計，平均斷面法**

  綜合地表地質調查、地質鑽探調查、傾斜管監測結果推估崩塌範圍與深度





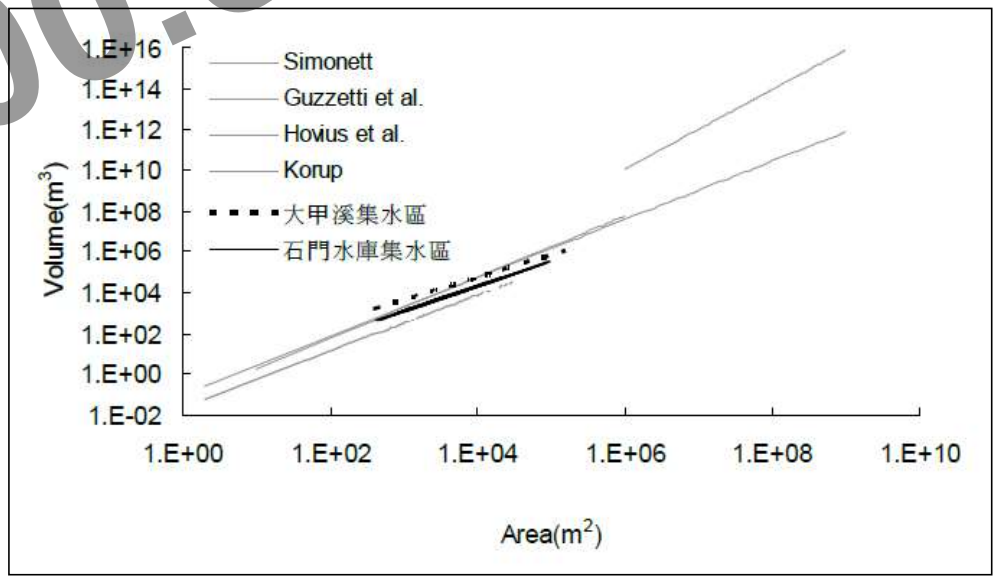


- **分區2，缺乏地下資料，以經驗式概估**

  採用陳樹群等(2010) 於石門水庫集水區之研究結果

  崩塌面積A與體積關係

$$V = 0.04A^{1.38}$$



www.safe100.com.tw

Where 可能崩塌運移範圍，影響光華道路?

青山

■ 經驗法

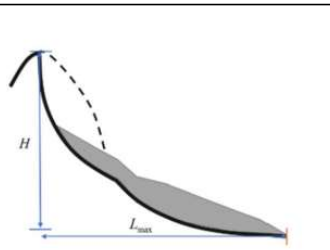


圖 8-37 崩塌可能滑動距離示意圖
Scheidegger(1973)

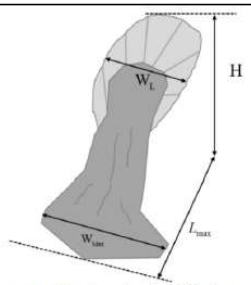


圖 8-38 崩塌可能堆積寬度示意圖
蔡元融(2015)

$$V=-0.0004A^2+0.4547A \quad (R^2=0.97) \qquad (式\ 2)$$

式中 A：滑動面積(ha)
V：崩塌體積($10^6 m^3$)

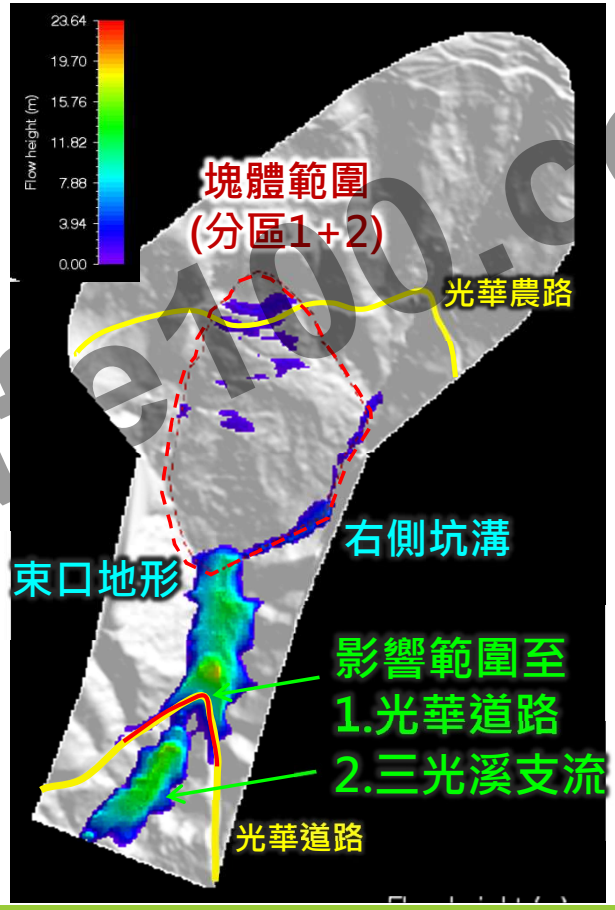
$$V=0.1025A^{1.401} \quad (R^2=0.918) \qquad (式\ 3)$$

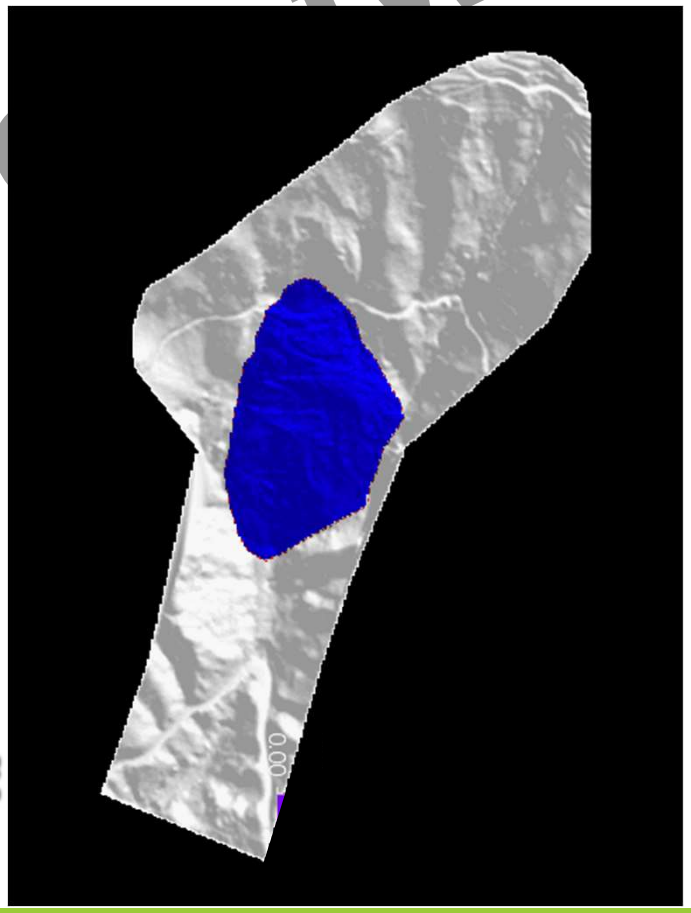
式中 A：滑動面積(m^2)
V：崩塌體積(m^3)

$$L_{max}=\frac{H}{10^{0.624-0.157\log V}} \qquad (式\ 4)$$

式中 L_{max}：崩塌最大滑動距離(m)
H：崩塌高程差(m)
V：崩塌體積(m^3)

■ 境況模擬，抵達時間?

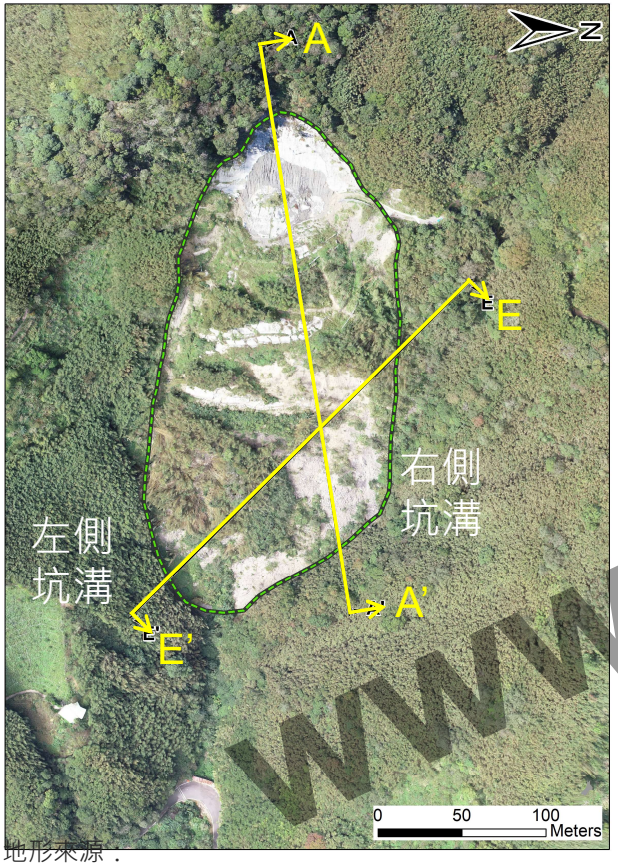




www.safe100.com.tw

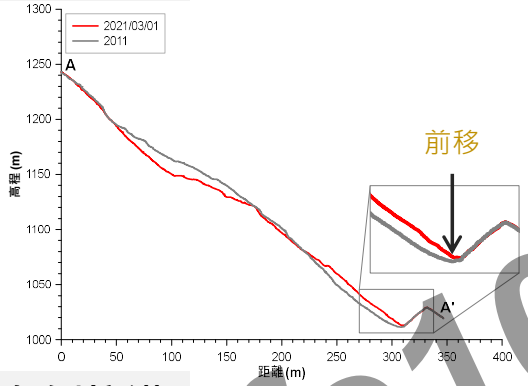
Why 最終無大規模崩塌運移 → 加速，再減速機制? 趾部束口地形效應?

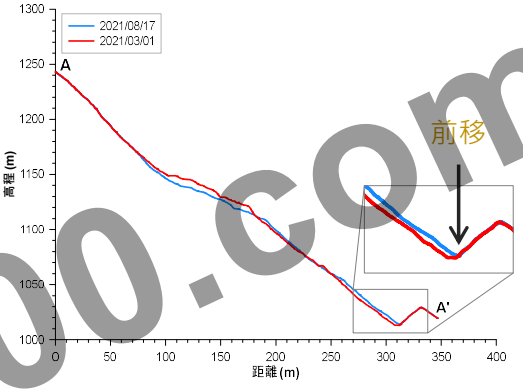
青山

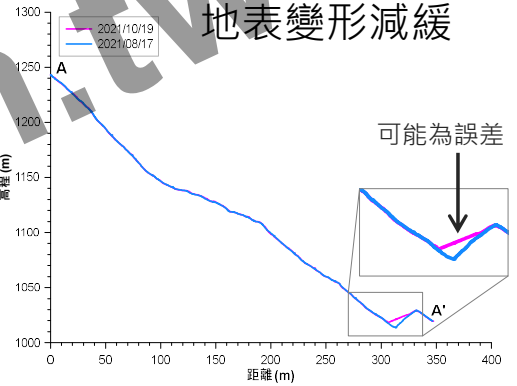


地形來源：
地調所：100年，空載光達DEM
水保局：110年：3/1、8/17、10/19，UAV LiDAR DEM

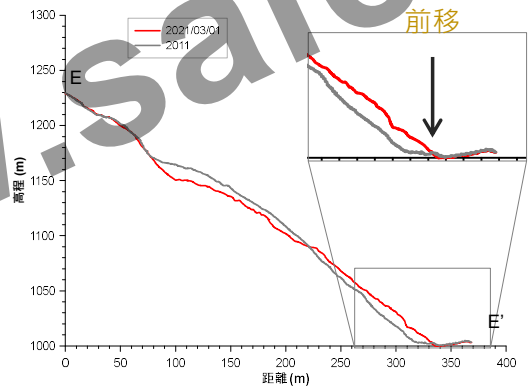
右側坑溝

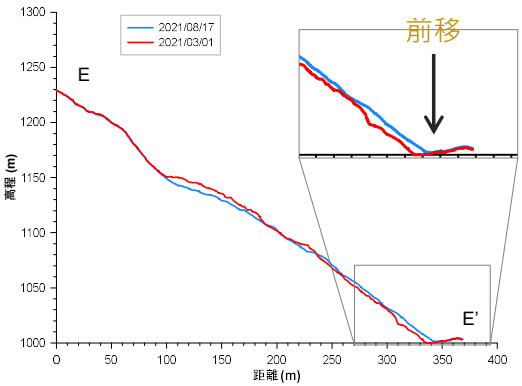


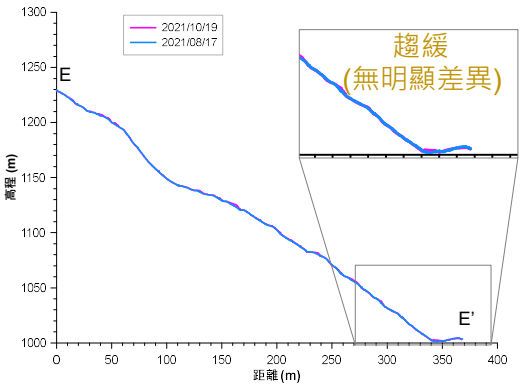




左側坑溝







由剖面顯示主要滑動區坡趾產生推移後，進而堆積至對岸山坡後，推測提供抑制效果

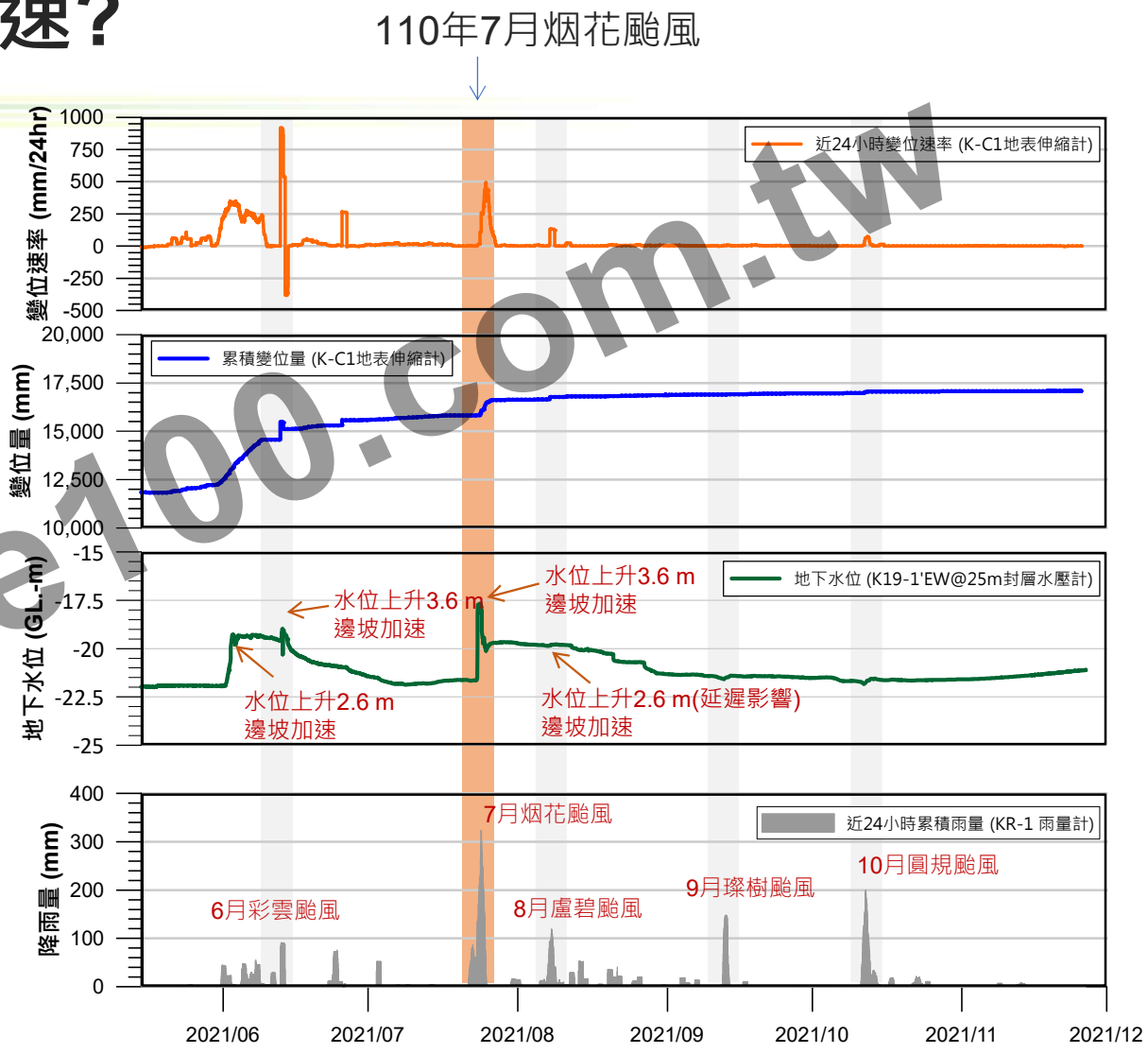
www.safe100.com.tw

Future 未來是否可能再加速?

110年7月烟花颱風 (日雨量239mm)

降雨、地下水上昇後，邊坡活動性增加

更大降雨事件下，可能再加速



www.safe100.com.tw

Future 大規模崩塌條件? 降雨情境(管理值)?

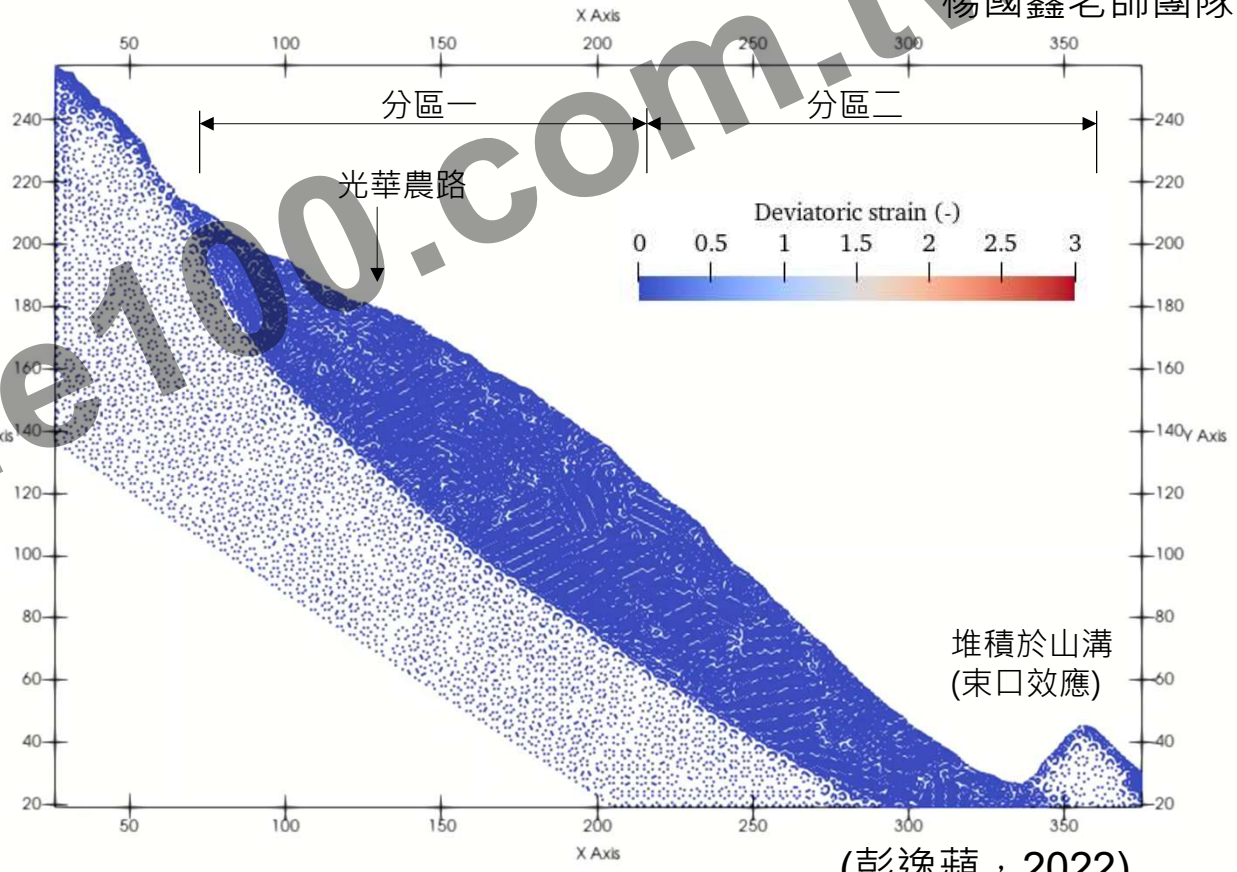
青山

國立臺灣大學土木工程學系 National Taiwan University
環境地工與防災工程研究室 Geo-Environmental and Geo-Disaster Engineering Lab



楊國鑫老師團隊

- 如何分析誘發大規模崩塌土砂運移的情境(如降雨量)，仍為目前關切的議題，目前多採統計方式(歷史崩塌雨量與規模統計)
- 傳統普遍使用有限元素法、有限差分法軟體，僅能模擬小應變問題，尚不能滿足大規模崩塌運移議題
- 近期發展的物質點法，可模擬大變形，國內運用尚不多，有機會進一步發展



(彭逸蘋，2022)

www.safe100.com.tw

結語

- 由光華案例，對於**各項監測技術的應用性**，有更多瞭解，有助未來防災應變參考
- **無雨加速，再減緩**的特性，屬極特殊案例，尚需共同努力研究
- 未來仍有可能再產生大變形，**需持續觀測，預警防災**

www.safe100.com.tw



簡報結束
感謝聆聽

www.safe100.com.tw

to be continued...

青山工程顧問股份有限公司
www.safe100.com.tw