

## 一、計畫摘要

本計畫擬定三維水文地質模型調查及三度空間變形觀測為重點。本計畫共計五年，106年度場址D160之茶山潛在大規模崩塌地、107年度場址編D008之車心崙潛在大規模崩塌地、108年度場址編D007之梵梵潛在大規模崩塌地。逐年挑選不同場址執行調查觀測及變形機制分析，並經由滾動式修正各年工作流程及方法，預期可針對降雨引致坡地失穩之條件有更細緻的掌控，並完成坡地場址地質調查及變形破壞模式分析，提供相關案例分析下的山崩破壞門檻值，做為未來相關山崩案例警戒門檻值之使用。

今年度(109)計畫場址選擇位於臺東鄉海端鄉霧鹿潛在崩塌地。為能釐清坡地淺層不飽和土體及深層重力變形之破壞機制，本計畫主要工作項目包含：(一)坡地場址地質調查、(二)三維水文地質模型建立及驗證、(三)三度空間坡地活動性評估系統建置、(四)動態水文條件下之破壞力學分析、(五)梵梵場址持續觀測及回饋分析等。預期透過本計畫於坡地場址之水文地質調查、觀測及數值模擬成果，可整合空間分布之水力條件、變形行為及破壞模式，以探討及驗證坡面淺層破壞與深層滑動之可能情境及模式。

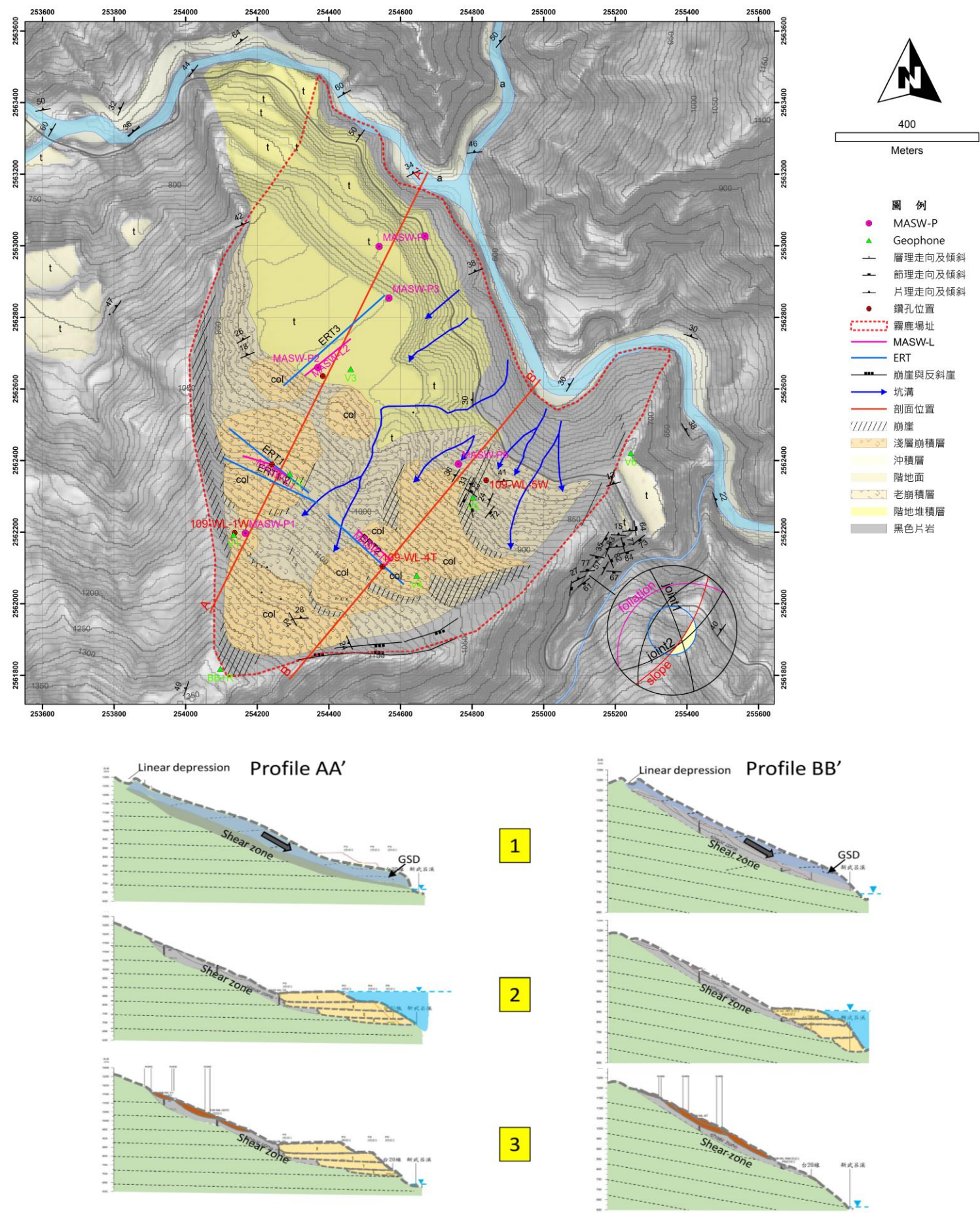
## 二、地表地質調查

圖2：霧鹿崩塌區地表地質圖，底圖為10米等高線。霧鹿場址大致可分為二個區塊，以階地東側的坑溝為界分隔東、西二區塊，以下以將霧鹿西區稱為A區，霧鹿東區則稱為B區。

A區：其下邊坡側有數階平坦的階地，上邊坡側除近稜線為明顯的崩崖，坡面呈現崩積地形，靠近階地與坡面交界處亦可見崩積的舌狀突出，岩盤均以黑色片岩為主，且岩盤上方均有厚約40公尺的剪裂帶。

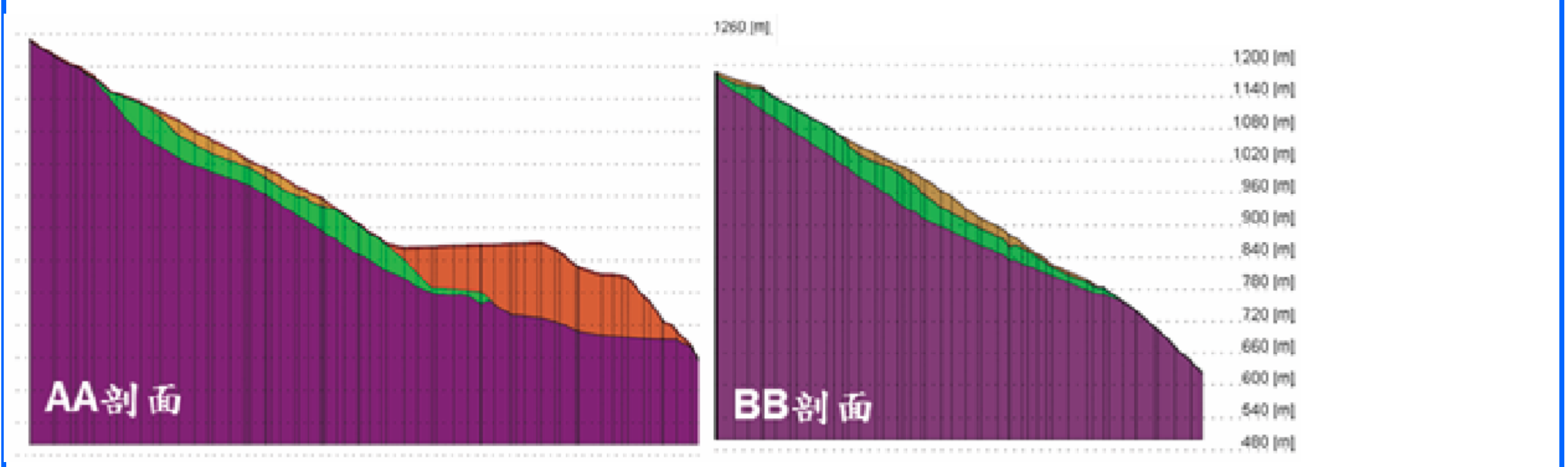
B區：在地形上呈碗狀的崩後地形，近年亦有崩塌造成人工構造物破壞；由6m數值地形解釋B區有多道崩崖殘坡，且坑溝亦多發育在B區，故研判本區之崩塌活動性應較A區高。

本區的鑽探結果在B區坡面有厚約30公尺的崩積層，而近趾部的鑽孔則在約13公尺左右進入岩盤，顯示坡面上仍存有厚層的崩積層堆積於B區坡面。紅色線條為地質剖面投影位置，藍色與粉紅色線分別為地電阻測線與表面波震測測線。岩層命名分別為黑色片岩 (BS)、階地堆積層 (t)、淺層崩積層 (col)、剪裂帶。



## 三、水文地質概念模型

圖3-1：霧鹿場址建置三維水文地質概念模型，根據鑽探及地球物理調查成果進行地下各分層之深度劃分，模型地層分為0-3m土壤層、10-30m為崩積層、0-17m階地堆積層、30-52為剪裂帶與56-64m為新鮮岩盤 (黑色片岩)。模型邊界條件參考參考水文和地形條件分別設定為無流量、定水頭、降雨入滲與不透水邊界。



## 四、場址監測資料與相對震波速度變化

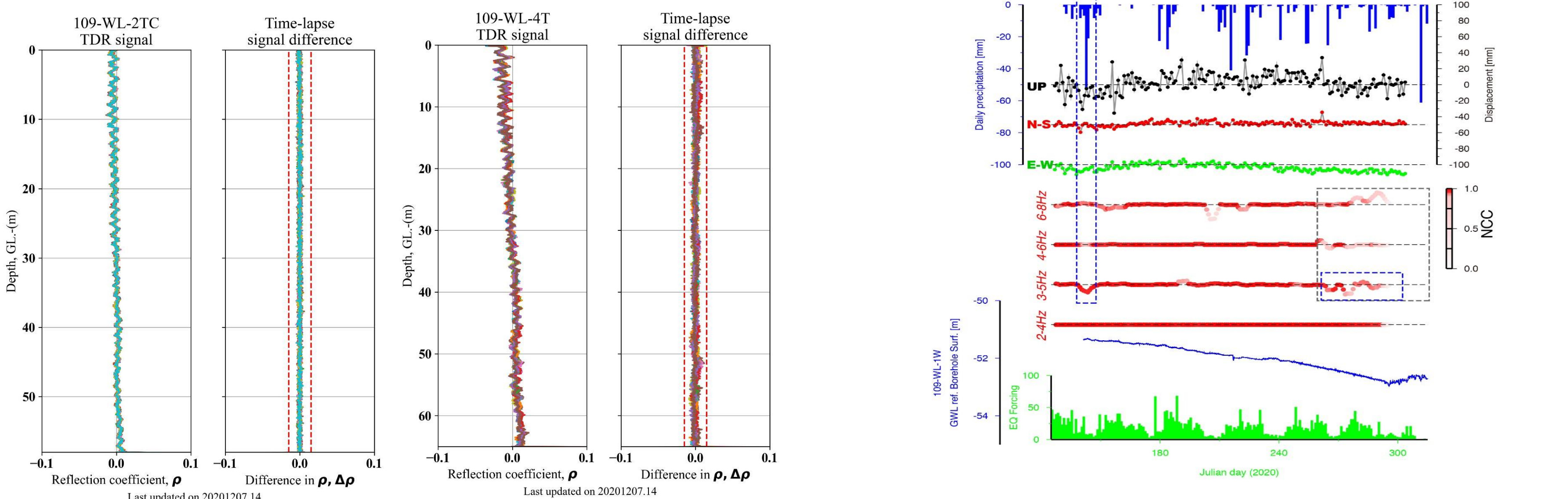


圖4-1：WL-2TC孔位截至109年12月07日之監測資料，監測深度為58.0 m。WL-4T截至109年12月07日之監測資料，監測深度為65.0 m。WL-2TC和WL-4T二站尚未測得任何剪動，後續將持續監測。

圖4-2：WL-V1地動監測站之頻段2-4 Hz、3-5 Hz、4-6 Hz、6-8 Hz。顯示2-4 Hz在監測期間皆無任何相對震波速度變化；然而，3-5 Hz  $dv/v$  資料顯示在0522豪雨(梅雨季)期間有顯著的速度降低又抬升的趨勢(藍色虛線框)。震波速度變化 $dv/v$  (紅色)、WL-1W地下水 (藍色)、地震影響力 (綠色)、雨量 (藍色直方)、GPS位移之時序資料。紅色色階代表 $dv/v$ 資料可信度。

## 五、破壞力學分析

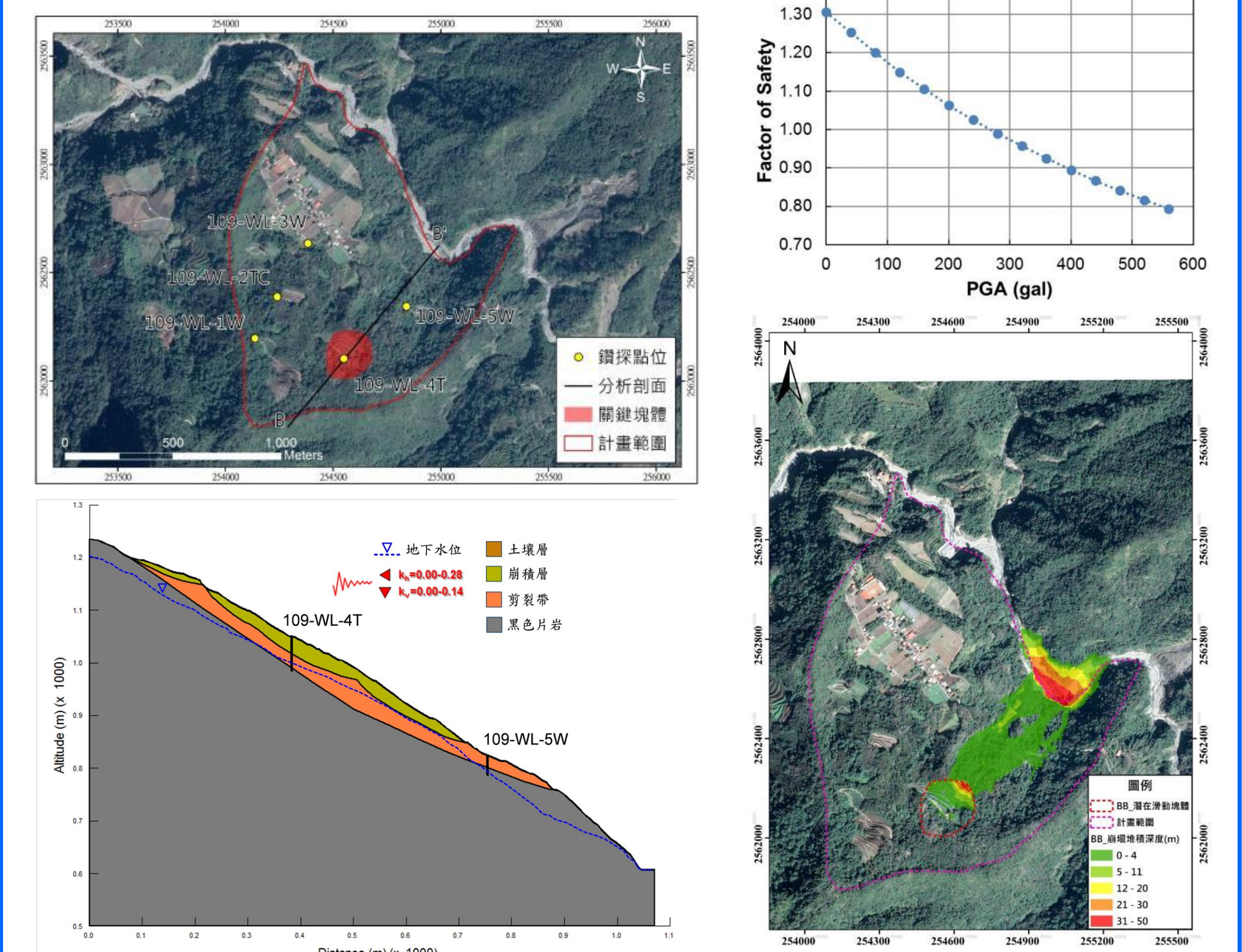


圖5-1：分析剖面BB'當PGA超過270gal時，可能導致坡腹崩滑體體產生局部的崩滑，崩塌量體約1.25百萬立方米。崩塌材料可能導致新武呂溪床有9-48m的堆積深度，恐有造成堰塞湖之疑慮。

## 六、梵梵場址持續監測

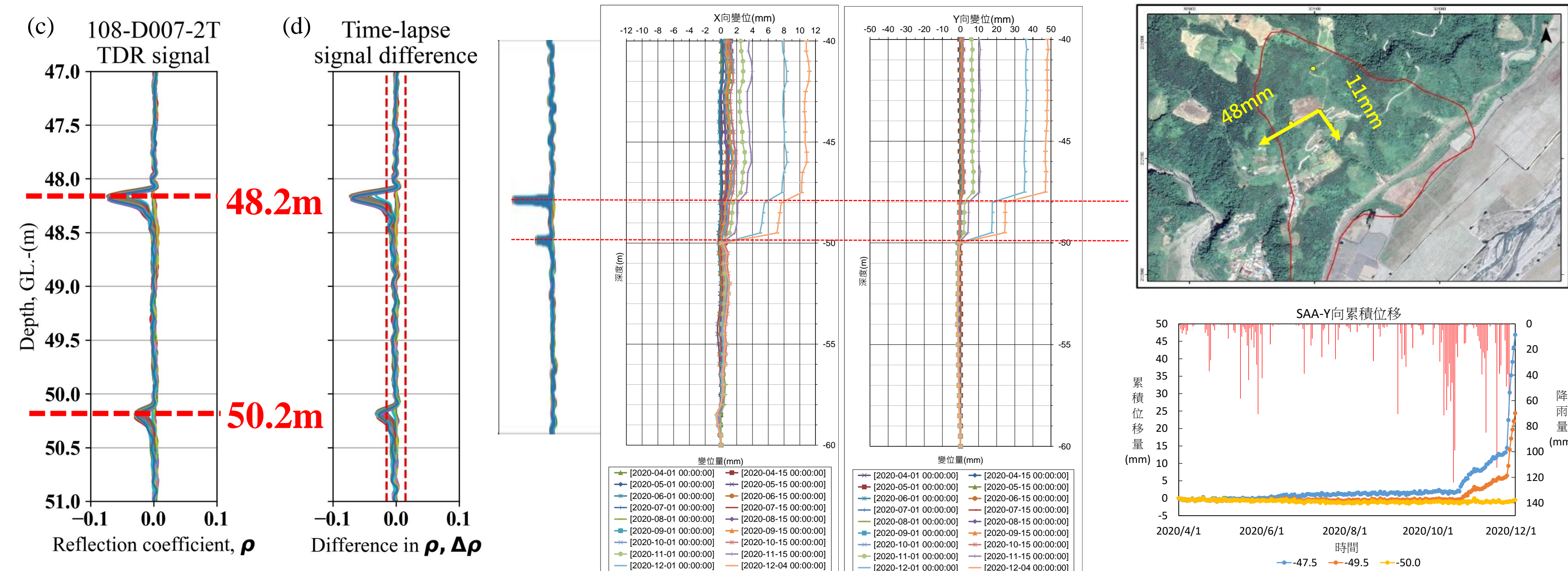


圖6-1~4：108-D007-2T監測波型。於108年10月3日開始在深度48.2m處發生剪動；於108年10月6日深度50.2m處也出現剪動波型，其變化趨勢與48.2m處一致，經過與該孔位之鑽探岩芯比對，判定此處為一剪裂帶造成，上層崩積層岩塊塊體滑動後區動該層剪裂帶。同時在SAA儀器中也觀察明顯在地下深度48m的位置有顯著的位移現象。

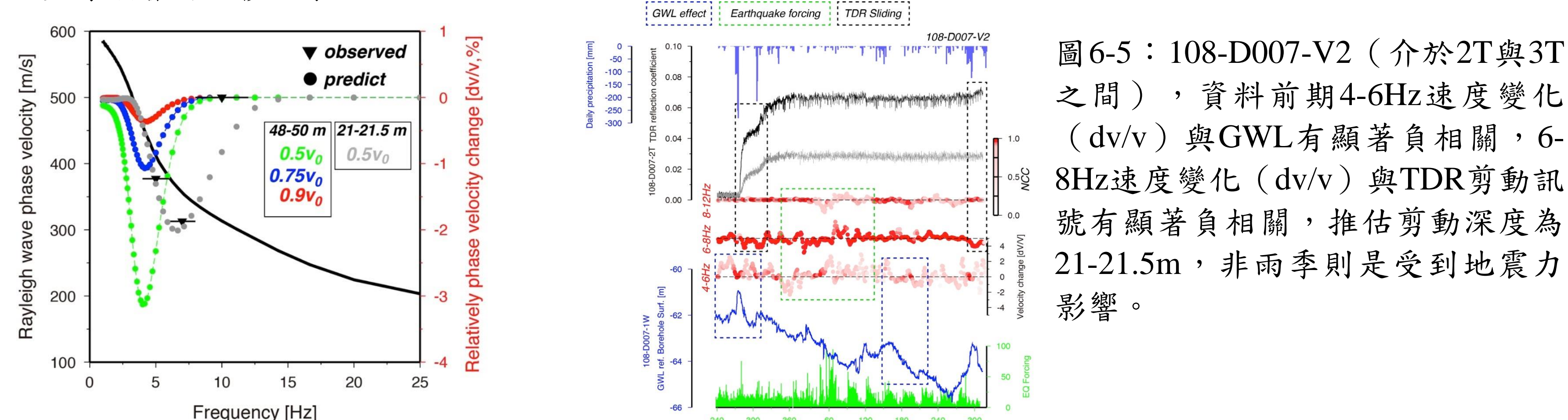


圖6-5：108-D007-V2 (介於2T與3T之間)，資料前期4-6Hz速度變化 ( $dv/v$ ) 與GWL有顯著負相關，6-8Hz速度變化 ( $dv/v$ ) 與TDR剪動訊號有顯著負相關，推估剪動深度為21-21.5m，非雨季則是受到地震力影響。

## 七、成果綜合論述

透過梵梵場址地中變位資料 (SAA與D007-2T TDR) 顯示其單日累積雨量若達100mm以上，即可在深度48m與50m位置發生剪動位移。然而，基於以下四點：(1) 位於D007-2T下邊坡的D007-3T TDR紀錄中並未觀察到同步的剪動特徵出現 (降雨時期)、(2) 地動觀測站D007-V2 (該測站介於鑽孔2T與3T之間) 透過震波技術推估測站下方剪動深度為21m、(3) 材料剪動弱化造成相對震波速度下降 ( $dv/v$ )、(4) 模式模擬水位與震波預測之地下水皆顯示，鑽孔2T下方水位變化範圍涵蓋目前的剪動深度 (48m-50m)，本計畫認為梵梵的變形行為主要受控於滑動面上的摩擦異質性主導，其可以分為4個階段：(階段1) 當降雨入滲至可能的滑動介面上，造成有效應力的變化即可產生潛移作用 (creeping)、(階段2) 反覆發生之潛移作用將加載應力在滑動面上asperity區域 (Lock zone)、(階段3) 當累積應力值達到asperity的快速位移門檻即可產生滑動，上述階段2應力的累積會使得 $dv/v$ 抬升；相反地階段3會導致 $dv/v$ 下降、(階段4) 當asperity快速位移後即可加載應力到其他的asperity，亦有可能導致一序列的asperity發生滑動。

霧鹿場址採用主動表面波震測法 (測點、測線) 及地電阻影像探測法成功協助地層分層與滑動面深度調查，有效探測深度至少達60m。目前觀測資料未達一個水平年，建議待持續觀測後再回饋檢討本場址可能的變形機制。

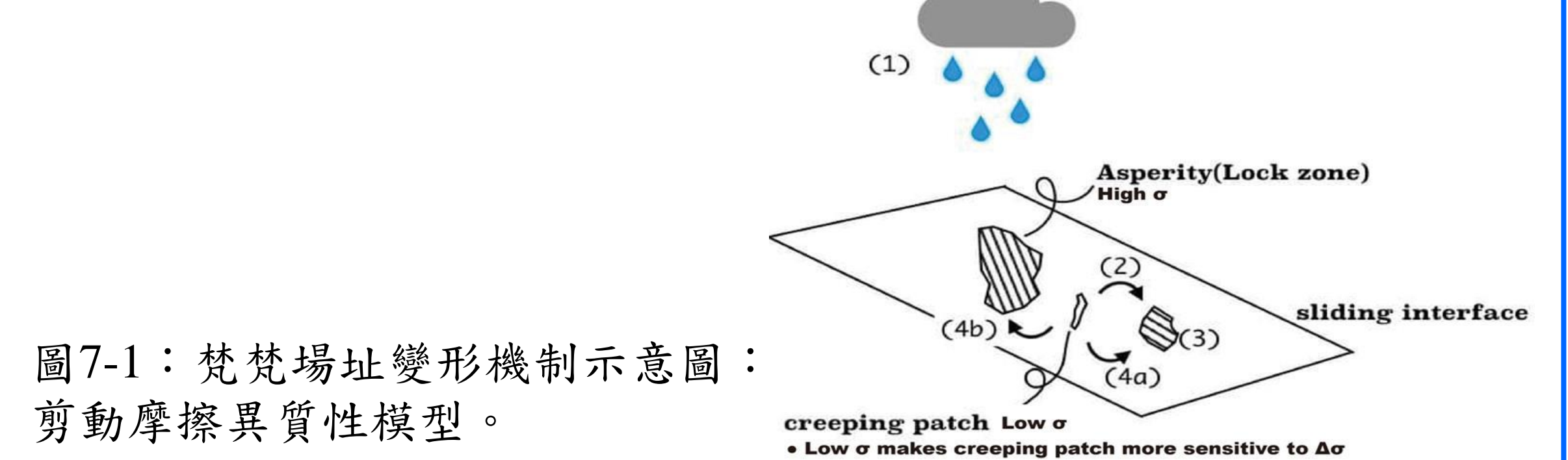


圖7-1：梵梵場址變形機制示意圖：剪動摩擦異質性模型。

