

輕度變質岩帶潛在崩塌區地質模型精進與加值應用－以梵梵場址為例

黃淳銘^[1]、鍾明劍^[2]、康耿豪^[3]、陳建新^[1]、趙韋安^[4]、譚志豪^[1]、戴東霖^[5]、林錫宏^[5]

^[1]財團法人中興工程顧問社 ^[2]亞柏技術顧問股份有限公司 ^[3]合登工程顧問有限公司 ^[4]國立陽明交通大學 ^[5]經濟部中央地質調查所

摘 要

本文研究之梵梵場址為一處下邊坡具重力變形之輕度變質岩帶潛在大規模崩塌區，場址內之潛在滑動塊體具高活動性及分塊複雜性，且高角度牛鬥斷層於本區域通過，造就梵梵場址內之地質、構造變化劇烈及地質模型複雜性高。本文透過地表地質調查、地球物理探查、鑽探等方式針對梵梵場址進行地質調查，並結合長期邊坡活動性觀測成果建置地質模型，模型精進共可分為四個階段，其地質模型之崩積層與下部岩層邊界、崩積層內淺層滑動塊體分塊、牛鬥斷層位置與傾角等地質材料分界與構造位置皆隨調查成果增加逐漸進行修正。配合精進後之地質模型，本文進一步透過GeoStudio軟體進行邊坡穩定性分析，並以情境模擬方式探討常時水位情境、米塔颱風情境、地震情境下之潛在崩塌塊體位置與安全係數值，使精進後之地質模型加值應用於防災工作推動。

關鍵字：輕度變質岩帶、潛在大規模崩塌區、邊坡地質調查、邊坡穩定數值分析。

Refinement and Value-Added Application of Geological Models for Potential Landslide Area in Dejective Zone – A Case Study on Fanfan Site

Chun-Ming Huang^[1] Ming-Chien Chung^[2] Keng-Hao Kang^[3] Chien-Hsin Chen^[1] Wei-an Chao^[4] Chih-Hao Tan^[1] Tung-Lin Tai^[5] Hsi-hung Lin^[5]

^[1]Sinotech Engineering Consultants, Inc. ^[2]Albert Technical Consultant Company ^[3]He Yu Engineering Consultants Co., Ltd. ^[4]National Yang Ming Chiao Tung University ^[5]Central Geological Survey, MOEA

ABSTRACT

The Fanfan site studied in this paper is a potential large-scale landslide area of a dejective zone with gravity deformation on the lower slope. The Niutou fault passing through this area has resulted in dramatic changes in the geology and structure of the Fanfan site and high complexity of the geological model. In this paper, the geological survey of the Fanfan site is carried out by means of surface geological survey, geophysical survey, and drilling, etc., combined with the long-term slope activity observations. The achievement builds a geological model, and the model refinement can be divided into four stages. The boundary of the colluvium layer, the subdivision of the shallow sliding blocks in the colluvium layer and the location and dip angle of the Niutou fault, etc. in the geological model are gradually revised with the increase of the survey results. In conjunction with the advanced geological model, this paper further analyzes the slope stability through GeoStudio, and discusses the locations of potential landslide block and the factor of safety in the normal groundwater level scenario, Mita typhoon scenario, and earthquake scenario. Afterwards, the geological model value-added is applied to the promotion of disaster prevention work.

Key Words： Dejective Zone、Potential Landslide、Investigation of Slope、Numerical Analysis.

一、前言

臺灣因位處於副熱帶季風氣候地區及板塊隱沒交界帶，地質環境脆弱度高且時常因颱風、豪雨及地震引致崩塌(何春蓀, 1986)。崩塌的發生，常造成大量人員傷亡、建物毀損及交通阻斷，打擊國家經濟發展與引致人民心生恐懼，若能未雨綢繆提早對潛在崩塌區域進行調查與分析，了解於不同易致災情境下邊坡可能發生崩塌的區域，或許能在崩塌發生前及早進行人員疏散，減低災害造成的損失。

梵梵場址位於輕度變質岩帶，其下邊坡板岩受重力變形影響而彎曲，上層為舊崩積層覆蓋，內部之潛在滑動塊體分布複雜，且高角度牛鬥斷層通過本場址坡腹，造就梵梵場址內地質分層及地下構造複雜性高，故需透過大量地質調查及觀測資料佐證地質模型建置的正確性，以利降低地質模型不確定性，並提升邊坡穩定性分析之可靠性。

本文於潛在大規模崩塌區之梵梵場址進行階段性大量地質調查與觀測分析，隨調查及觀測資料的增加持續精進地質模型，探討因資料增加而造成地質模型如何變化，並透過二維邊坡穩定性分析，探討分析剖面上可能發生的崩塌區塊、比較不同階段之地質模型分析成果差異性，期望能了解地質模型精進對數值分析之影響及證實準確之地質模型於加值應用上的重要性。

二、文獻回顧

2.1 歷史邊坡崩塌災害舉例及簡述

國內外崩塌引致的災害層出不窮，崩塌的致災因子主要為降雨及地震，其過去曾發生之案例簡述如后。降雨引致崩塌案例：2017年中國四川省茂縣新磨村因連日降雨造成崩塌，大量塊體向西南側下邊坡滑動，朝新磨村撲面而來，導致62戶屋舍遭掩埋並奪走100餘人的生命(Intrieri et al., 2018; Fan et al., 2017a; Fan et al., 2017b); 2009年莫拉克颱風挾帶豪雨侵襲臺灣西

南部，引致獻肚山崩塌，並造成高雄縣甲仙鄉小林村滅村事件，超過400人遭到掩埋(唐昭榮等人, 2009)。地震引致崩塌案例：1999年發生芮氏規模(M_L)7.3的集集地震，造成臺灣多處崩塌，2000多人死亡，上萬人受傷，上萬戶房屋損毀，其中著名的雲林縣草嶺山崩即造成29人罹難，並阻塞河道產生堰塞湖(唐昭榮等人, 2009; 洪如江等人, 2000)。

崩塌災害的發生，常危害人民生命財產安全，故針對易致災的潛在崩塌區域進行調查及分析顯得格外重要。

2.2 邊坡地質調查方法

針對潛在崩塌區域進行地質調查，有助於建置數值模型進行邊坡穩定性分析，並了解邊坡可能之破壞區域，以利災防先關單位參考(黃淳銘等人, 2022)。

地質剖面與三維模型的建置，需透過研究範圍內詳細的地質調查，以利了解該區域岩性分布、地質分層及構造分布情況。張光宗等人(2009)透過地質鑽探、地表地質調查、地表裂隙調查、地電阻影像剖面、折射震測等方法對廬山溫泉滑動邊坡進行調查，並透過Plaxis軟體分析二維邊坡材料因風化造成強度折減可能導致的滑動面發育與潛在崩塌塊體形貌。鍾明劍等人(2016)利用遙測影像、山崩微地形判釋等地表地質調查，了解新庄潛在大規模崩場地裂隙、崩崖、蝕溝、崩積層範圍等，並以地質鑽探、地電阻影像剖面法調查地下地質分層形貌及地下水位面位置，以建構地質模型進行邊坡穩定性分析。

本文梵梵場址除利用較成熟之邊坡地質調查方法外，另加入新興調查與觀測方法：表面波震測法進行地質調查，為國內首次以表面波震測進行大規模崩場地調查，其探測深度約等於測線展距長度，且能獲得Vs，而非Vp(受地下水影響)，其調查成果能將崩積層分層，且能推估材料強度參數以供邊坡穩定性分析使用。

2.3 地質模型不確定性

地質模型廣泛應用於邊坡工程、隧道工程、礦冶工程等領域，其常因研究區域內的地質複雜性高、調查資料不足、可能的知識不足等問題而

造成與真實地質條件不符的情況，而使模型建置後的加值應用參考價值大打折扣(謝澤銘，2021；董家鈞，2020)。地質模型的正確性在邊坡穩定性分析中亦扮演相當重要的角色，越詳盡的地質調查能建構越準確的地質模型，進而獲得具參考價值的數值分析的結果，以利應用於災害防治(譚志豪等人，2008)。

本文於研究區域內依不同調查階段所建置的地質剖面進行比較，並探討其剖面之精進與修正之處，進而將地質模型建置成果應用於邊坡穩定性分析。

三、研究方法

3.1 地質調查及觀測

本文主要透過地表地質調查、地質鑽探、地電阻影像剖面法、主/被動表面波震測法、時域反射儀觀測井、水位觀測井等方法進行梵梵場址內之地質調查與滑動面推測，並由室內試驗獲取各地層材料邊坡穩定性分析參數，最後綜整上述地質調查成果、室內試驗結果與觀測資料建置地質剖面及進行邊坡穩定性分析。本研究採各項調查及試驗之方法、目的及優勢成果如表一所示。

表一、梵梵場址各項調查及試驗之方法與目的彙整表

調查項目	技術/方法	調查目的	優勢成果
地電阻影像剖面法	二極法、四極法	崩積層與岩盤界面、岩體含水量與夾泥量	可輔助判釋地下材料分層
主/被動表面波震測	MASW：MAPS/SPAC 陣列法	崩積層與岩盤界面、S波速度剖面	提供表面波深度敏感度分析之關鍵輸入參數/提供建立地質模型
即時水位站	RS485電子式水壓計，可透過低耗自計式記錄器設定量測時間間距並透過物聯網技術(LoRa/NB-IoT)即時傳輸，透過形成一即時自動化水位觀測站	即時地下水水位資料	提供三維地下水流模式參數率定與驗證，無需定期前往現地收錄資料
時域反射儀(TDR)	透過同軸纜線變形處產生的訊號反射尖峰推估變形量及變形位置	自動化之高時空解析度且深度連續的變位觀測	(1) 可提供崩塌門檻預警值 (2) 提供力學參數率定(凝聚力c、摩擦角 ϕ)
孔內攝影	音波反射(ACTV)/走時與振幅	岩層破碎程度、裂隙分布、位態分析	判斷岩體結構特徵
地聲計(G)	(1)記錄場址區域地震之地動訊號 (2)震波周遭噪訊干涉技術-單站法(安裝於場址內部) (3)相對震波速度變化量測 (4)表面波深度敏感度分析 (5)崩塌剪動深度評估	(1)場址地震地動訊號 (2)表面波深度敏感度 (3)測站位置之dv/v觀測值	(1)提供地震力觀測用於邊坡不穩定性分析 (2)不同頻率對應之敏感深度範圍 (3)地下水位變化-提供地下水流模式率定 (4)推估可能的剪動深度-定義剪動弧之參考依據 (5)降雨入滲引致孔隙壓力變化 (6)易於即時觀測，新崩塌預警參數(dv/v)
淺層土壤含水量	電容式含水量感測器	土壤含水量	提供非飽和土壤層之滑動破壞分析
土壤一般物性試驗	ASTM、CNS規定	含水量、單位重、比重、阿太堡限度	邊坡穩定性分析，提供土壤物理性質參數
土壤直剪試驗	ASTM規定	剪力強度參數	邊坡穩定性分析，提供力學參數
岩石一般物性試驗	ISRM建議方法	含水量、單位重、比重、孔隙率、吸水率	邊坡穩定性分析，提供岩石物理性質參數
岩石弱面直剪試驗	ISRM建議方法	剪力強度參數	邊坡穩定性分析，提供力學參數
岩石單壓試驗	ISRM建議方法	單軸抗壓強度	邊坡穩定性分析，提供力學參數

3.2 GeoStudio軟體介紹

GeoStudio 軟體內建具有 SEEP/W、SLOPE/W、SIGMA/W、QUAKE/W、TEMP/W、CTRAN/W、AIR/W、VADOSE/W等8個模組，使用者可視需求選取適用之分析模組。本文使用 SEEP/W 模組耦合 SLOPE/W 模組，以前者計算

模型之孔隙水壓結果並帶入後者進行邊坡穩定性分析，其模組介紹分述如后。

SEEP/W 模組：為滲流分析模組，分析問題類型包括穩態滲流、暫態滲流、平面滲流和二維軸對稱分析，其邊界條件設定包含總水頭、壓力水頭、流量，可設定常數或隨時間變化之函數。

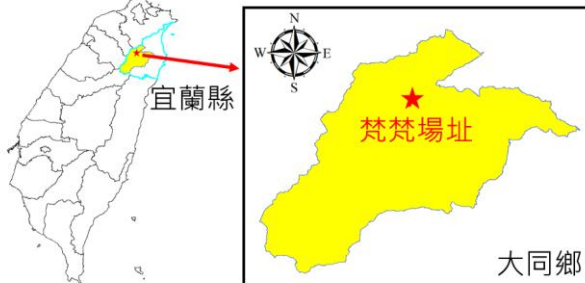
具考量非飽和功能，可模擬降雨入滲情境。所設定的分飽和參數計算出相對應的降雨入滲及地下水滲流於岩土內之流動狀態。

SLOPE/W模組：採極限平衡法進行邊坡穩定評估，其原理係以切片法進行邊坡分析及安全係數計算，能使用之極限平衡法理論包含 Morgenstern-Price、GLE、Spencer、Bishop、Ordinary、Janbu、Sarma等方法。土壤強度模型：包括莫爾－庫倫準則(Mohr-Coulomb)、雙線性準則(Bilinear)、不排水準則($\Phi=0$)、異向性強度準則(Anisotropic)、切向/法向函數準則及其他多種類型的強度準則等。多種定義孔隙水壓方法：Ru係數、水位線、壓力水頭空間函數、有限元計算孔隙水壓力等。邊坡破壞機率分析及參數敏感性分析、暫態邊坡穩定性分析。

四、梵梵場址案例研究

4.1 地質背景介紹

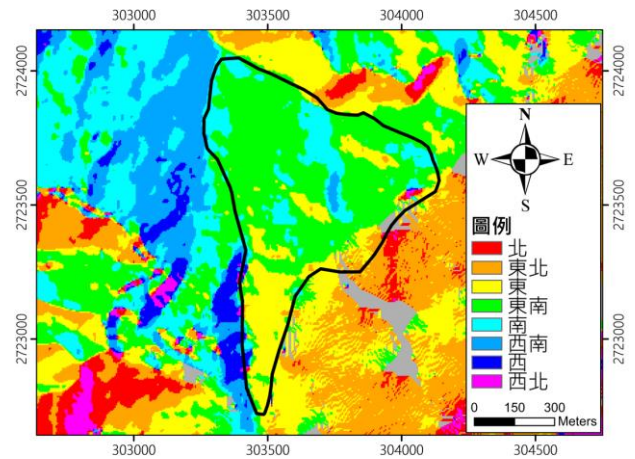
梵梵場址位於宜蘭縣大同鄉（如圖一所示），場址東側下邊坡側為蘭陽溪，依地調所五萬分之一區域地質圖三星圖幅(1995)，本場址附近出露之地層分別有四稜砂岩、乾溝層、廬山層清水湖段及沖積層，各地層出露位置詳圖二。場址坡向大致朝東或東南(如圖三所示)之河道方向，坡度多在30%以上。綜合地表地質、地下地質調查，本區大致可區分為五層，分別為變質砂岩夾板岩、板岩層、沖積層、崩積層、蝕溝沖積扇堆積層。



圖一、梵梵場址位置及由蘭陽溪東岸遠眺本場址照片



圖二、梵梵場址之區域地質圖



圖三、梵梵場址坡向圖

4.2 地質模型精進過程

本研究自108年至110年於梵梵場址進行持續性的地質調查與潛在崩塌區活動度觀測，地質調查及觀測系統數量自108年(圖四)持續增加到110年(圖五)，於此過程中參照新增的資料持續精進地質剖面，共計經歷三次模型修正，並產出四個地質模型，其分述如后(經濟部中央地質調查

所，2019；經濟部中央地質調查所，2020；經濟部中央地質調查所，2021)。

4.2.1 第一階段(108年6月)

本階段係於民國108年6月間完成，綜合地表地質調查、地球物理探查(地電阻影像剖面法測線、主/被動表面波測線)與鑽探成果等，初步繪製地質剖面圖(圖六(a))，鄰近剖面之鑽探於此階段時僅完成1W(80m深)，2T(僅完成40m鑽探)及3T(僅完成60m鑽探)兩口井皆尚未完成鑽探，地下地質資料仍相當缺乏，故存在之地質模型不確定性高。

4.2.2 第二階段(108年7月)

本階段係於民國108年7月間完成，新增完成2T(100m)、3T(72m)兩孔鑽探孔位，彙整其岩芯資料成果修正地質模型(圖六(b))，本階段新增之2T、3T岩芯資料，相較於前一階段的地質模型更加了解坡腹區域之地下岩性分布，以利推測其崩積層與下部岩盤邊界形貌。相較於108年6月之地質模型，108年7月精進之項目編號如圖六(b)。

1. 由1W、2T、3T岩芯資料之岩性比對，可以將上部崩積層與下部之板岩層及變質砂岩夾板岩層間的剪裂帶連線。
2. 配合地表調查之崖位置與1W岩芯資料比對，新增一處淺層滑動面。
3. 配合地表調查之崖位置與3T岩芯資料比對，新增一處淺層滑動面。
4. 牛鬥斷層位於變質砂岩夾板岩與板岩之岩性交界，由岩芯判釋結果顯示2T入岩段為變質砂岩夾板岩、3T入岩段為板岩，及地電阻影像剖面探測結果，顯示牛鬥斷層可能位於2T與3T之間，故修正斷層推估位置。

4.2.3 第三階段(109年7月)

本階段係於民國109年7月間完成，利用108年架設之觀測儀器觀測資料及分析成果進行地質模型精進，於2T之TDR觀測分析成果發現淺層滑動面之剪動現象(圖七)，其深度約位在地下48.2米及50.2米，故修正地質模型，依其剪動深度側向延伸推論地下滑動面形貌(圖六(c))，並補

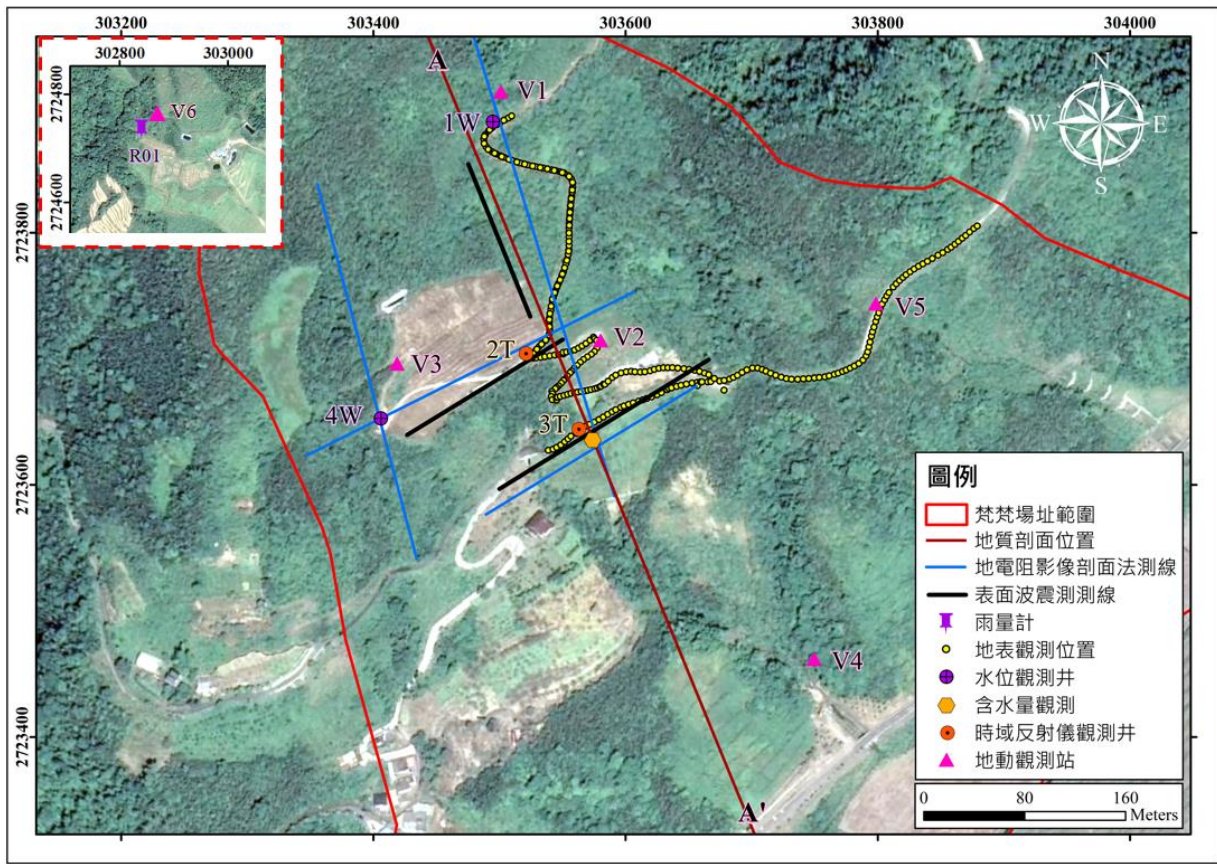
充於地質模型中。相較於108年7月之地質模型，109年7月精進之項目編號如圖六(c)。

1. 由2T之TDR觀測成果得知深度48.2m、50.2m具活動性，故於剖面上新增一處滑動面。
2. 修正1W岩芯判釋及2T判釋結果，將變質砂岩夾板岩層分隔為板岩夾變質砂岩層(上部)、變質砂岩夾板岩層(下部)。

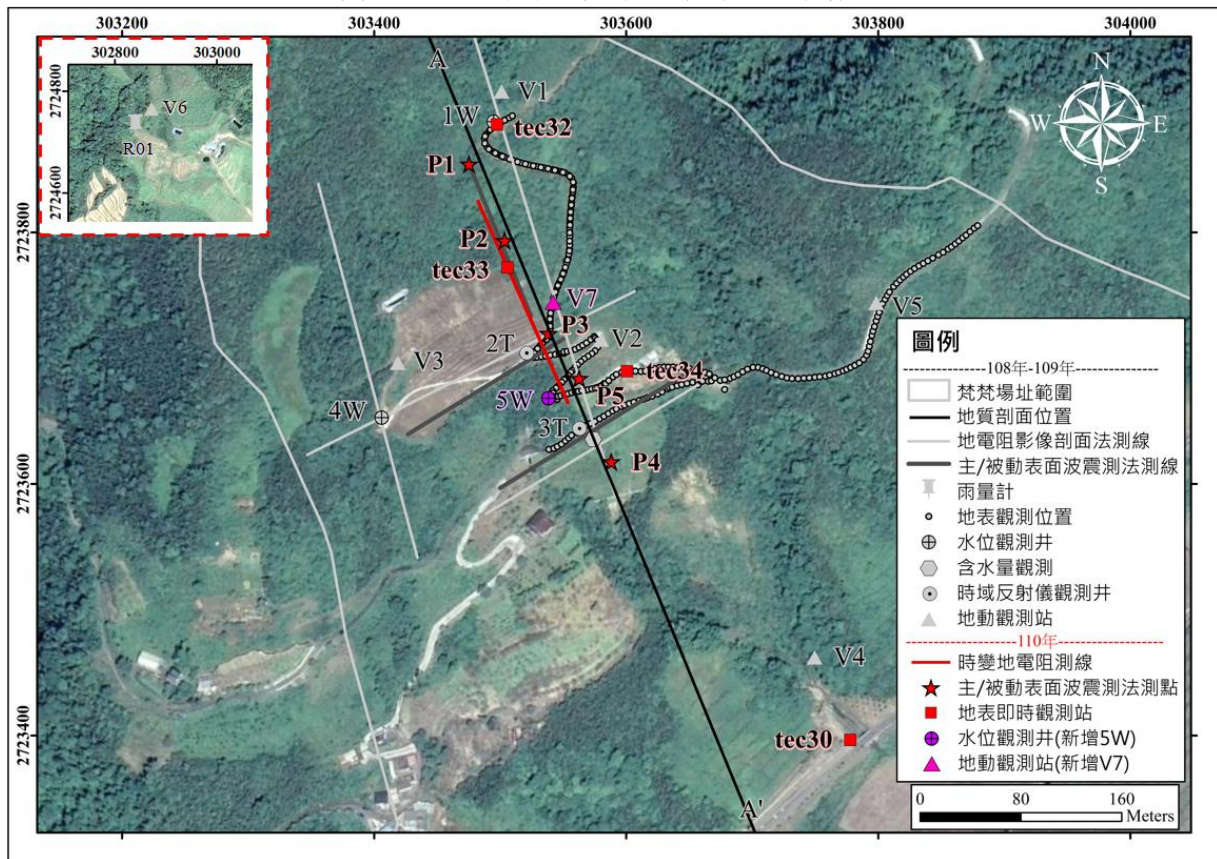
4.2.4 第四階段(110年7月)

本階段係於民國110年7月間完成，因前兩年觀測儀器觀測成果顯示梵梵場址高活動性區域主要位於坡腹，故本階段針對坡腹之高活動性區域增加調查密度，以利更加了解本區域之地下分層形貌及高活動性塊體範圍。110年新增之調查及觀測項目包含：主/被動表面波震測測點、時變地電阻測線、5W孔位地質鑽探等地質調查資料、地表即時觀測站、地動觀測站V7。藉由新增之地質調查資料及整合地表、地下、地動觀測資料對地質剖面進行精進，此階段之地質調查及觀測資料相對完整許多，對地質分層更加了解，大幅降低了地質模型的不確定性。相較於109年之地質剖面，110年精進之項目編號如圖六(d)所示，其編號對應之修正參考依據分述如后。

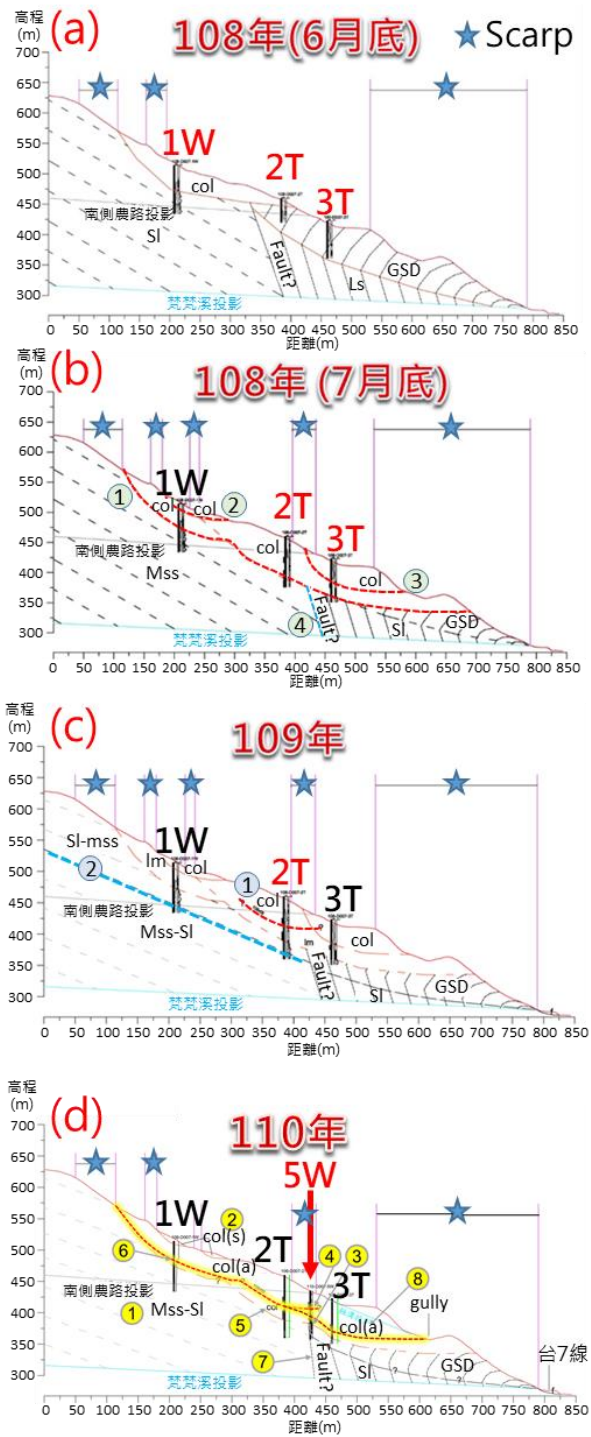
1. 由岩芯資料無法明確界定變質砂岩、變質砂岩夾板岩之界線，修正為變質砂岩夾板岩。
2. 原為崩積層，由地形資料區分為局部淺層的崩積層。
3. 由鑽孔5W岩芯資料界定岩盤深度、重力變形板岩深度。
4. 由2T之TDR觀測資料及地動訊號資料研判之滑動界面(圖七)。
5. 原由地形及鑽孔2T岩芯研判本層為舊崩滑體，而由鑽孔5W岩芯修正為崩積層。
6. 由鑽孔1W的測傾管量測資料修正高活動性崩積層(col(a))的滑動界面(圖八)。
7. 由鑽孔5W岩芯資料，斷層為近90度之高角度斷層，故修正斷層角度(圖九)。
8. 由鑽孔2T及3T的TDR監測資料界定高活動性崩積層(col(a))的滑動界面(圖七)。



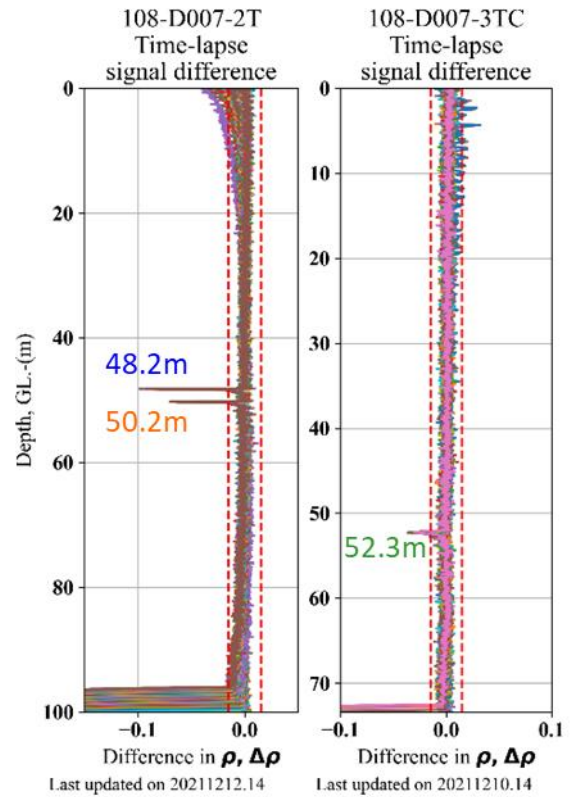
圖四、108年梵梵場址調查及觀測系統配置



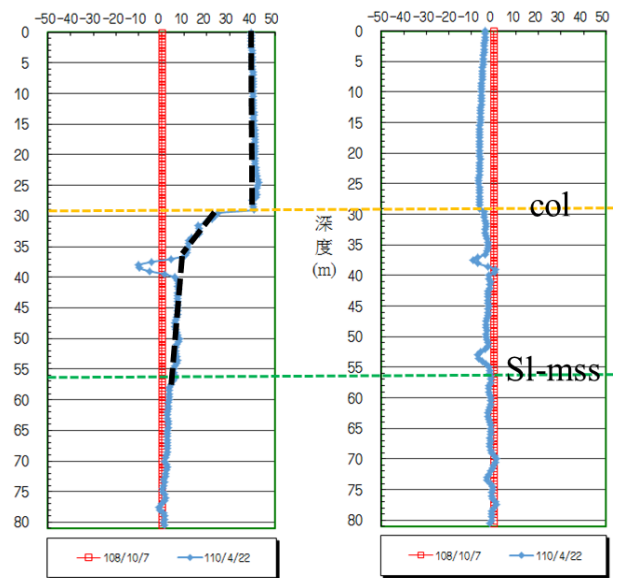
圖五、110年梵梵場址調查及觀測系統配置



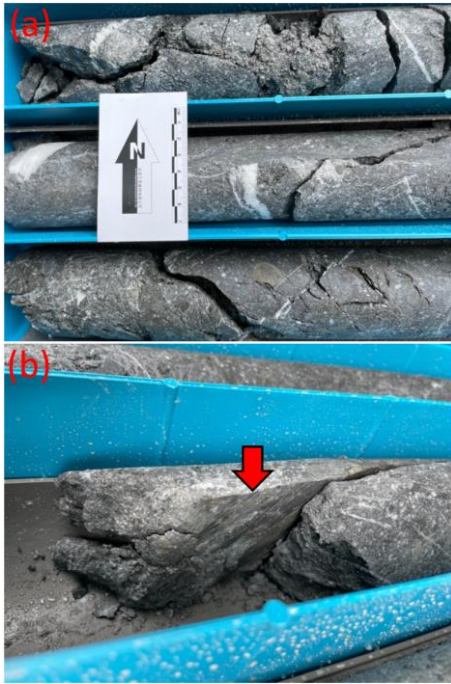
圖六、梵梵場址地質剖面圖(a)108年6月(b)108年7月(c)109年7月(d)110年7月



圖七、2T(圖左)及3T(圖右)之TDR觀測波形



圖八、1W測傾管資料

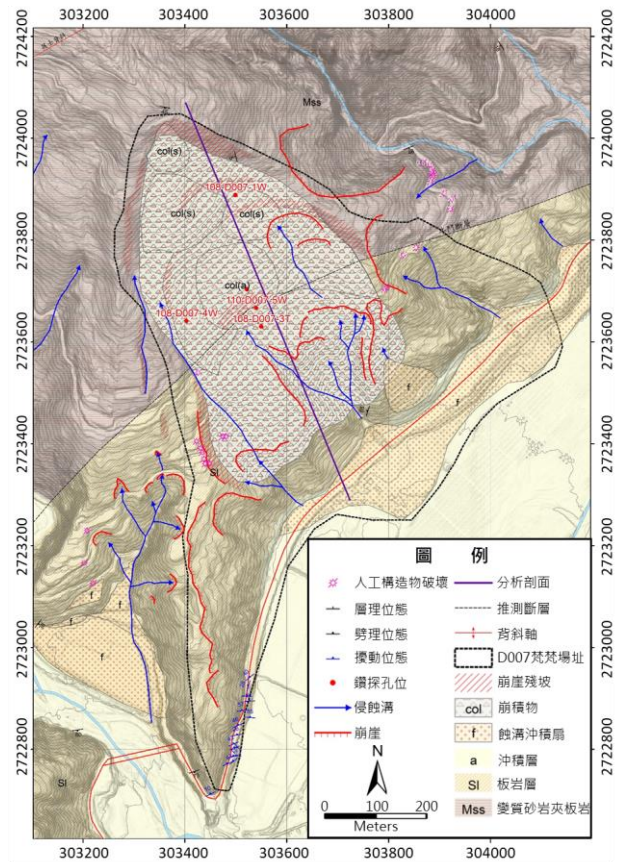


圖九、梵梵5W鑽探岩芯(a)斷層段俯視圖(b)斷層擦痕面

彙整3次地質模型修正與其新增調查及觀測工項，如表二所示。綜合地表地質、地下地質調查等資料，將本區域地質材料區分為五層，分別為變質砂岩夾板岩、板岩層、沖積層、崩積層、蝕溝沖積扇堆積層(如圖十所示)。透過詳細之地質調查資料及模型精進，有助於提升後續邊坡穩定性分析之可靠性。

表二、地質模型新增與修正內容綜整表

地質模型	新增調查與觀測成果	修正內容
108年7月	{ 2T(完成 100m)、3T(完成 72m) 鑽探岩芯判釋 }。	1. 修正崩積層、變質砂岩夾板岩、板岩邊界 2. 修正牛鬥斷層位置
	地形判釋、3T 鑽探岩芯判釋	新增兩處淺層崩積層
109年7月	2T 觀測成果	新增一處淺層崩積層
	1W 及 2T 岩芯判釋修正	新增板岩夾變質砂岩層
110年7月	1W 及 2T 岩芯判釋修正	將變質砂岩、變質砂岩夾板岩合併，修正為變質砂岩夾板岩
	地形資料判釋修正	修正部分崩積層為局部淺層崩積層
	5W 鑽探成果	1. 修正岩盤深度、重力變形板岩深度 2. 修正牛鬥斷層傾角 3. 修正舊崩滑體為崩積層
	1W 測傾管資料、2T 及 3T 觀測資料、地動觀測站 V7	修正高活動性崩積層滑動界面



圖十、梵梵場址地表地質圖

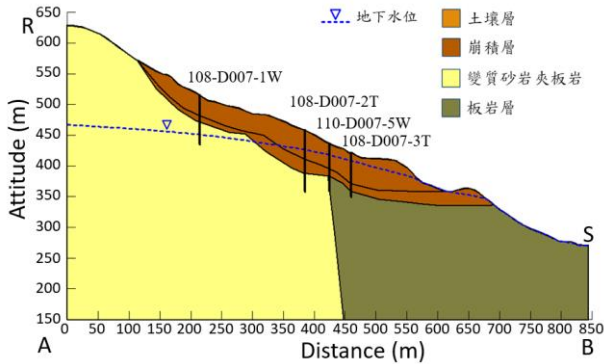
4.3 數值模擬模型建置

梵梵場址之數值地形係採地調所「高解析度數值地形資料」轉出6m DEM建置而成，二維分析剖面經1W、2T、3T、5W等鑽孔至下邊坡溪溝為止，如圖十所示。透過ArcGIS程式可建立分析剖面的高程，再依照地表地質調查、地質鑽探調查、地球物理探測、現地及室內試驗成果決定各水文地質單元之地層深度、潛在滑動塊體、地層參數等。研究區域之水文地質單元可分為：(a) 土壤層、(b)崩積層、(c)變質砂岩夾板岩、(d)板岩層等，各地層簡化參數詳表三。

圖十一為梵梵場址之水文地質概念模型，透過本計畫地下水位觀測數據率定，進行二維地下水流場分析，將模型底部(AB)設定為無流量邊界(no-flux boundary)；右側邊界(SB)及左側邊界(RA)設定為定水頭邊界(constant head boundary)，率定後之常時穩態水位顯示如圖十一所示。

表三、梵梵場址簡化地層參數表

地層	單位重 (t/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (deg.)	透水係數 (m/s)
土壤層	1.81	10	23.0	9.3×10^{-5}
崩積層	2.40	30	28.0	4.9×10^{-5}
崩滑體	2.69	65	23.0	6.1×10^{-6}
變質砂岩夾板岩	2.66	1800	48.0	2.3×10^{-5}
板岩層	2.69	1000	42.0	1.2×10^{-6}



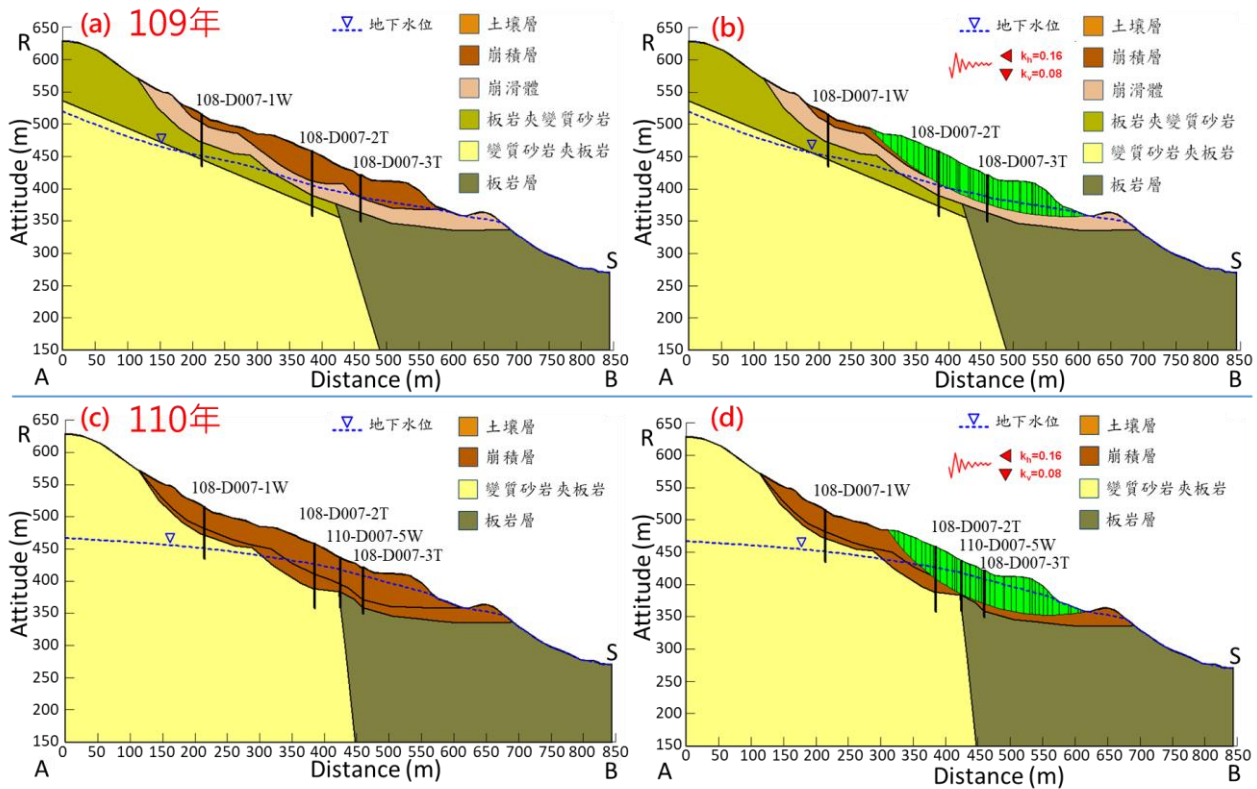
圖十一、110年梵梵場址之水文地質模型

4.4 數值模擬分析結果與討論

110年地質剖面因新的調查及觀測資料加

入，與109年地質剖面具相當大的差異(圖十二(a)、(c))，而地質剖面的差異易影響邊坡穩定性分析結果。本文探討109年及110年邊坡穩定性分析結果差異，包含其潛在滑動塊體長度、平均深度與最大深度之不同。

109年及110年邊坡穩定性分析成果如圖十二(b)、(d)所示，由其分析結果之潛在崩塌塊體資訊彙整於表四及表五。由表四及表五可以看出110年分析之潛在崩塌塊體長度較短，但平均深度及最大深度均較大。於常時情境及米塔颱風情境分析之邊坡最小安全係數值皆較小。於地震情境時之安全係數則兩者相同。由此分析結果比較得以推測：潛在崩塌塊體主要位於崩積層及崩滑體內，故其塊體形貌及計算之安全係數值受此兩層材料強度及邊界形貌主控，其中110年地質剖面之修訂結果將崩積層與崩滑體合併為崩積層，使潛在崩塌塊體平均深度及最大深度增加，計算之安全係數值於常時情境及米塔颱風情境下降。



圖十二、梵梵場址(a)109年地質模型、(b)109年數值模擬潛在崩塌塊體位置(綠色區塊)、(c)110年地質模型、(d)110年數值模擬潛在崩塌塊體位置(綠色區塊)

表四、梵梵場址分析之潛在崩塌塊體資訊

	長度(m)	平均深度(m)	最大深度(m)
109年剖面	318.2	37.8	48.8
110年剖面	304.8	39.7	55.7

表五、梵梵場址情境分析結果

分析情境	分析條件	109年剖面安全係數	110年剖面安全係數
常時	擬合常時水位、無地震力	1.34	1.30
米塔颱風	米塔颱風期間率定水位、無地震力	1.29	1.16
地震	常時水位、有地震力 ($k_h=0.16$, $k_v=0.08$)	0.92	0.92

五、結論與建議

本文講述梵梵場址地質模型自108年至110年之三次精進過程，並將其繪製之地質模型加值應用，建置二維地質模型進行邊坡穩定性分析，並探討剖面精進前後之潛在崩塌塊體形貌及安全係數值差異，初步獲得以下結論與建議：

1. 隨著地質調查與觀測資料的增加，得以減少地質模型的不確定性，獲得更加貼近真實情況的模型。

2. 於場址內地質條件較複雜且高破壞潛勢之關鍵區域，除原本調查資料外，可藉由補充地質調查針對其區域增加調查密度，使地下地質分層及地層邊界更加明朗化，有助於提升地質模型的應用價值。

3. 雖然越高密度的地質調查能獲得越精確的地質模型，但礙於經費考量，能進行調查之數量有限，如何對症下藥針對高崩塌潛勢區域進行調查便顯得十分重要。初步以地表地質調查、地球物理探察等方式了解研究區域內之高崩塌潛勢區域，再針對其區域進行鑽探，並補充地質調查增加其調查密度，以節省經費及增加主要探討之易崩塌區地質模型準確性。

4. 地質模型的準確與否，對邊坡穩定性分析成果之影響甚巨。越準確的地質模型，得出之邊坡穩定性分析具較高的參考價值。

誌謝

本文得以順利完成，衷心感謝經濟部中央地

質調查所的計畫經費提供。同時亦感謝國立陽明交通大學、合昱工程顧問有限公司、財團法人中興工程顧問社、亞柏技術顧問股份有限公司參與本計畫的執行團隊夥伴，在此致上最誠摯的謝意。

參考文獻

- 何春燕(1986)，台灣地質概論，增訂第二版。經濟部中央地質調查所出版，163頁。
- 林啟文、林偉雄(1995)，三星圖幅及說明書，五萬分之一台灣地質圖第31號。經濟部中央地質調查所出版，共55頁
- 洪如江、李錫堤、林美聆、林銘郎、鄭富書、陳正興(2000)，天塹可以飛渡、崩山足以斷流(草嶺順向坡滑動)，地工技術，第77期，第5-18頁。
- 唐昭榮、胡植慶、羅佳明、林銘郎(2009)，邊變式山崩之PFC3D模擬初探－以草嶺與小林村為例，地工技術，(122)，143-152。
- 張光宗、黃祥慶、林銘郎、張益通(2009)，板岩地滑區的地質調查與分析－以廬山溫泉滑動邊坡為例，中華水土保持學報，40(4)，393-407。
- 黃淳銘、鍾明劍、陳建新、譚志豪、康耿豪、戴東霖(2022)，三維多平面邊坡穩定分析技術與應用實例－以霧鹿場址為例，地工技術，第155期
- 經濟部中央地質調查所 (2019)，結合大規模崩塌地質防災資訊服務計畫－坡地場址調查觀測及變形機制分析(3/5)，成果報告。
- 經濟部中央地質調查所 (2020)，結合大規模崩塌地質防災資訊服務計畫－坡地場址調查觀測及變形機制分析(4/5)，成果報告。
- 經濟部中央地質調查所 (2021)，結合大規模崩塌地質防災資訊服務計畫－坡地場址調查觀測及變形機制分析(5/5)，成果報告。
- 董家鈞(2020)，知之為知之，不知為不知，是知也：淺談地質模型不確定性，大地技師線上期刊，第20期，39-44
- 謝澤銘(2021)，運用馬可夫鍊隨機場模擬與合成地質模型評估地質模型不確定性，國立陽明交通大學碩士論文，1-115
- 鍾明劍、陳建新、李璟芳、黃章凱、譚志豪(2016)，潛在大規模崩塌地對鄰近聚落衝擊之調查與評估方法，中華水土保持學報，47(3)，122-134。
- 譚志豪、顧承宇、侯秉承、李民政、吳富洵(2008)，曾文越引隧道工程水文地質之調查評估，中興工程，(99)，27-35。
- Fan, Jian-rong, Zhang Xi-yu, Su Feng-huan, Ge Yong-gang, Tarolli Paolo, Yang Zheng-yin, Zeng Chao, and Zeng Zhen. 2017a. Geometrical feature analysis and disaster assessment of the Xinmo landslide based on remote sensing data, *Journal of Mountain Science*, 14: 1677-88.
- Fan, Xuanmei, Xu Qiang, Scaringi Gianvito, Dai Lanxin, Li Weile, Dong Xiujun, Zhu Xing, Pei Xiangjun, Dai Keren, and Havenith Hans-Balder. 2017b. 'Failure mechanism and kinematics of the deadly June 24th 2017 Xinmo landslide, Maoxian, Sichuan, China, *Landslides*, 14: 2129-46.
- Intrieri, Emanuele, Raspini Federico, Fumagalli Alfio, Lu

Ping, Conte Sara Del, Farina Paolo, Allievi Jacopo, Ferretti Alessandro, and Casagli Nicola. 2018. The Maoxian landslide as seen from space: detecting precursors of failure with Sentinel-1 data, *Landslides*, 15: 123-33.