



## 編者的話

黃文昭、林錫宏

### 主題：岩石邊坡的監測調查、分析與整治

約略在2021年3月時，我與經濟部中央地質調查所林錫宏博士接下了擔任一期地工技術編輯的任務，當時我也剛卸下為期三年的科技部(現國科會)整合計畫總主持人角色，其研究主題為「整合不同調查尺度之岩坡破壞潛勢區評估、分析及監測研究」，林錫宏博士所擔任之地調所職務，亦與岩石邊坡之山崩調查分析有關，有鑑於近年來岩石邊坡在調查、分析與監測等各方面均有顯著的發展，因此我們就將本期的主題訂為「岩石邊坡的監測調查、分析與整治」。先前在執行科技部整合計畫的過程中，團隊夥伴的研究課題與本期主題高度相關，而地調所在近年與工程顧問公司或學校單位的合作計畫中，亦包括了社會大眾關注的岩坡破壞案例，以及監測中的潛在案例等，因此，在幾次碰面吃飯討論後，逐漸收斂至本期收錄的文章，內容包含了岩石邊坡的現場調查、物理試驗與數值分析、監測以及岩坡整治方法等。本期亦收錄了臺北盆地地層沉陷歷史之分析以及2018年Palu-Donggala 地震於印尼造成土壤液化，進而引致地層滑動之案例分析，藉由本期內容，期望使大地工程界的先進朋友們了解相關地質災害與岩石邊坡分析技術的近期發展。

大地工程師在坡地占據一半面積以上的臺灣，從事各項公共工程或聚落開發等邊坡工程，從土坡深入到岩坡、從調查分析到整治工程設計等，再再說明了大地工程師在處於臺灣脆弱工程地質環境下，具備的專業知識與尖端科技的應用也都需要與時俱進。近年來，無論是莫拉克颱風造成高雄獻肚山的大規模崩塌、力行產業道路板岩區的岩體滑動；或是臺2線濱海公路的落石崩塌、臺鐵猴硐路

段因岩坡破壞而影響交通，令人驚覺岩坡的地質災害與我們的距離已不遙遠，並深入影響交通及日常生活。

猶記得洪如江老師在工程地質教科書所言，造成山崩的重要因素，主要包括：1.地質材料、2.地質構造、3.地形與環境、4.工程或人為因素。而岩石邊坡工程的最大挑戰，就隱藏在這4個具有內在或外在不確定性項目中。一旦未能掌握邊坡工程關鍵的影響要素，就可能產生重大坡地災害。林肯大郡或國道3.1K順向坡上的岩體滑動，貓纜塔基下邊坡或奇岩山順向坡的崩塌，都反映出了這4大項關鍵因素對於岩石邊坡工程的重要性。儘管無法完全掌握大地工程的未知數，利用物理模型試驗或是數值模擬分析，簡化現地的複雜變因，進而評估地質的影響或工程的成效，已能大幅提升大地工程的減災技術。

2015年蘇迪勒颱風，超過百年重現期的短延時強降雨，造成南勢溪流域許多岩石邊坡的破壞，包括公路邊坡、岩石順向坡及逆向坡。從莫拉克、蘇迪勒颱風至今，短短十餘年間，卻已發生2次超過百年頻率的強降雨，著實令人反思岩石邊坡工程在面對極端氣候的變遷下，除了應用硬體的一次性工程保護手段外，是否更需要軟性的長期監測分析對策，搭配風險管理的概念，以全生命週期管理維護的方式，才能達到永續管理的目標。

本期很榮幸能邀請中央大學土木系田永銘教授提供贈言，從邊坡工程的角度，揭櫫調查分析及整治工程技術的重要性。本期岩石邊坡相關文章的編排順序，以逐步揭示岩石邊坡從調查分析到監測整治的各項技術進展為主，內容包括：1.公路岩石邊坡的調查案例與風險

## 2 編者的話

評估、2.物理模型試驗的分析評估、3.建立地質模型與整治工程技術、4.監測與物聯網的防災應用。最後說明地層下陷與土壤液化之案例分析。針對各篇文章進行簡要說明如下：

### 1. 公路岩石邊坡的調查案例與風險評估：

公路旁的岩石邊坡一旦發生災害，隨即可能造成用路人或周遭居民的重大損失，而岩石邊坡的破壞機制，除了由單一滑動面構成外，亦常見由多組節理或層面切割而成之楔形複合式破壞。林承翰等人在「節理岩坡之楔形破壞調查與分析案例介紹」一文中，以物理試驗探討由多組節理構成之楔形塊體破壞，受不連續面位態、節理延續性及裂隙水條件之影響，並藉由2019年北橫32.5k山崩案例，說明其調查結果以及進行全尺寸數值模型分析，模型中考慮地下水壓以及節理延續性之參數，並與實際崩塌過程進行比對及驗證，提供了相當完整的參數分析結果及可能之破壞機制。此外，吳宇宸及羅佳明於「公路邊坡風險評估與分級之研究~以臺2線81.7k-84k(南雅里)為例」文中，詳細說明了英國交通研究實驗室(Traffic Research Laboratory, TRL)所出版之岩坡風險評估法(Rock Slope Risk Assessment)，並應用於臺2線路段之沿線岩石邊坡。本文亦以斜坡單元為基礎，再加上地質、弱面位態等因素，提出岩坡單元之概念，並應用岩坡風險評估法進行各岩坡單元之初步評估，並就初步風險評估結果中具有中高風險岩坡進行細部風險評估，研究結果亦顯示細部風險評估結果與該路段岩坡崩塌記錄大致吻合，顯見TRL之岩坡風險評估法應用於臺灣公路岩坡之潛力，值得進一步研究並加以應用。

### 2. 物理模型試驗的分析評估：

物理模型試驗常用來了解大地工程設施或工程地質災害受不同模型參數影響下之反應，黃文昭等人在「以物理模型試驗探討楔形岩坡破壞受弱面及層面位態之影響」文中，以無人機攝影搭配三維位態判釋岩石邊坡之弱面及層面位態分布，並以岩坡由二組弱面及層

面組成下建立簡化物理模型，考慮不同弱面及層面位態對於岩坡破壞機制之影響，研究中並以室內1g及離心重力場進行試驗並比較，以了解楔形岩坡之破壞行為受弱面及層面位態之影響。李宏輝等人藉由「以物理模型結合振動臺試驗探討逆向岩坡受震反應及穩定性之研究」一文，以Goodman與Bray(1976)之假設逆向坡模型為基礎模型，探討不同物理模型參數及輸入振動下之模型受震反應及穩定性，而由研究結果亦可以得知逆向岩坡之受震穩定性主要受控於基底及層面傾角、輸入振動之PGA與頻率以及逆向岩坡塊體之細長比，對於實際逆向坡受震防災提供了可依循的分析模式。

### 3. 建立地質模型與整治工程技術：

面對複雜的地質問題，黃淳銘等人於「輕度變質岩帶潛在崩塌區地質模精進與加值應用~以芄芄場址為例」一文中，以自然邊坡的宜蘭芄芄場址，結合地形判釋、地質調查與地球物理方法，針對具有斷層、變質砂岩、板岩、崩積層的複雜輕度變質岩區，逐步建立與修正地質模型，進而提升自然邊坡的防災準備。葉家志等人在「奇岩山順向坡開發後之地形變化與歷次災害整治調查」一文，以開發已久的奇岩山順向坡場址為例，從地質與歷史災害調查、工程處理，到邊坡危險分區、擋土設施總體檢、監測及地錨檢測，應用大地工程師的經驗與智慧，深入解決問題。鄭世豪等人在「貓纜T16塔柱下邊坡整治後之地錨荷重觀測和預力複拉」一文中，對於受到岩坡崩塌影響的貓纜T16塔柱下邊坡，在整治工程完工之後，利用地錨荷重觀測檢驗長期功效，並以揚起試驗進行荷重損失地錨的錨碇狀況評估和荷重補充，期能強化岩石邊坡整治工程的長期成效。

### 4. 監測與物聯網的防災應用：

對於岩石邊坡工程的長期管理策略，許多遙測方法、非接觸式的觀測與傳輸工具、AI機器學習等技術，已具有突破性的發展及應用潛能。鐘志忠等人在「多元尺度監測技術於岩石邊坡預警應用」一文中，利用嘉義五彎仔場址，驗證多項新監測技術在岩石邊坡的預警功效，

包括合成孔徑雷達干涉(InSAR)、GNSS位移監測元件、長期性即時影像測量方法研發、布里淵散射光時域反射技術(BOTDR)、使用AI機器學習技術判斷山崩，透過不同空間與時間之監測方式，提出不同尺度之融合資訊，具體強化岩石邊坡預警應用的功能。對於位置偏遠的地區，魏殷哲等人藉由「開源物聯網於智慧邊坡調查整合應用」一文，說明於臺東霧鹿場址，利用微型化、低功耗、具長距離傳輸且經濟性的開源物聯網技術設備，建構自動化觀測站及智慧遠端電源管理，提升自動化觀測、資料傳輸、數據分析功能，實際應用在預警防災資訊的管理。

最後，臺灣常見的大地工程或地質災害中，地層下陷與土壤液化衍生之災害也會造成社會重大損失。黃南輝與莫若楫於「臺北盆地地下水洩降及地表沉陷」一文中，探討最早約從1950年代開始的30年間，臺北盆地抽取地下水對後續臺北盆地地下水變遷與地層沉陷之間的關係，本文說明在不同地質分區進行鑽孔之水位變遷比對結果，並探討沉陷回饋分析結果與實際紀錄之比對，此外，文中亦探討各不同地質分區進行地下水補注之效應，對於往後水資源應用及其影響提供了分析方法與建議。

張睦雄等人於「2018.9.28印尼 Palu-Donggala地震Petobo地區土壤液化引致地層滑動事件之調查分析」一文中，接續已於同期刊發表的現地踏勘相關結果，說明滑動區地質調查、液化分析、滑動分析結果與機制探討，文中說明現地長期灌溉所造成之地下水位抬升以及微傾斜地形，均為地震造成土壤液化及其地層滑動之重要原因，可做為國內土壤液化防減災相關研究之參考。

回顧被尊稱為土壤力學之父的Karl Terzaghi曾言道：「沒有任何一個重大工程問題，可以單靠工程師或地質師獨力解決，通常最佳方案都是來自兩者攜手合作所提出的」，也就是說，岩石邊坡工程的問題，需要來自大地工程與工程地質的智慧，從不同面向專業協作，在不同的開發階段，提出短中長期的處理

對策。最後，由衷感謝本期各文章之作者群無私地提供豐富的研究成果供讀者參考，以及審查委員與地工技術編輯委員會成員們的投入，謝謝！