



# iSlope 邊坡風險管理 調查實例

陳俊諤\* / 亞新工程顧問股份有限公司大地工程部 計畫工程師

許景富 / 亞新工程顧問股份有限公司大地工程部 正工程師

周忠仁 / 亞新工程顧問股份有限公司大地工程部 協理

因台灣位處板塊交界之地震帶內，且因氣候變遷導致短延時強降水頻發、降雨時空間分布差異更大，使得邊坡災害頻發。為降低邊坡破壞所造成之潛在危害，並降低對社會之衝擊，邊坡管理為鐵路單位所面臨之重要議題。為提升邊坡管理之成效，我們提出 iSlope 做為邊坡風險管理架構，以四大架構：整合性邊坡調查規劃、邊坡管理數據平台、邊坡專業分析與風險管理，讓維管單位能以有限的資源，達到管理效率之最大化。本文將透過新竹及基隆兩處之鐵路邊坡穩定案例進行分析，說明整合性調查、資料整合如何應用於現今邊坡管理之架構中，提升邊坡安全，達成永續及韌性管理之目標。

## 工程簡介

iSlope® 是亞新工程顧問股份有限公司為了強化邊坡管理所建立的技術解決方案。近年多起災害性地震的發生，與氣候變遷導致短延時強降雨更頻繁發生，致使邊坡災害發生之風險與日俱增。尤以鐵路運輸系統之邊坡如發生破壞所造成的影響最為龐大，諸如 2010 年國道三號走山事故、台灣鐵路公司所屬平溪線、集集線，當路線中斷造成交通阻斷，進而導致社會成本的增加。然而邊坡之破壞往往受控整體集水區之水文、地質因子，而現有邊坡管理在路權範圍、人力資源、經費的限制下，僅能獲得有限的觀測資料，而山區鐵路邊坡數量之多，更增加了對於各邊坡集水區範圍進行觀測的挑戰。

傳統邊坡管理僅能涵蓋邊坡路權範圍內之監測及巡檢，對於權責範圍外邊坡潛感因子之監測、調查能力有限，同時設計、建造、維管、監測、修繕單位間資料數位化程度不同，數位資產管理缺乏整合性平

台，使邊坡管理之效率不彰。因此 iSlope® 由四項關鍵技術所構成，如圖 1 所示：

首先以廣域邊坡調查技術蒐集路權範圍外之集水區內地形、地表變位資訊，其優勢在於可以透過多尺度觀測在短時間內蒐集大量資料，可以有效降低集水區調查之成本，最後再由專業技師針對遙測判釋之關鍵成果進行現勘；次之，透過邊坡資訊整合平台進行資料管理及倉儲（圖 2），降低資料調查找成本，提升管理效率，並整合監測維管資料，達成邊坡即時管



圖 1 iSlope® 邊坡風險管理系統

\* 通訊作者，tim.chen@maaconsultants.com

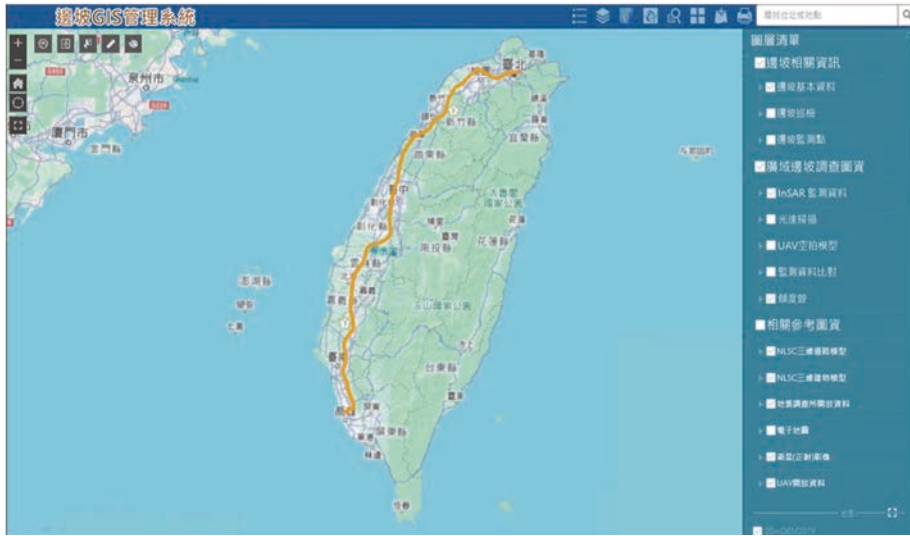


圖 2 亞新 iSlope® 邊坡資訊管理平台

理；第三，透過廣域調查與現地查核成果建立三維地質模型與邊坡穩定分析，提供潛在邊坡破壞模式與專業評估服務；最終便能夠以評估成果進行風險管理與邊坡改善決策。

### 創新實例介紹

iSlope® 已投入應用於鐵公路之邊坡調查計畫，以新竹一處邊坡為例，該邊坡位於新竹近郊之丘陵地內，區域地質經查為卓蘭層與紅土礫石層，非屬順向坡，坡向與區域地層夾角約 50 ~ 60 度，而業主所設地中位移儀則顯示於 2011 年到 2017 年有近平行坡面的潛移發生，如圖 3 所示。

為了解邊坡潛移之原因並提供解決方案，以 iSlope® 進行廣域邊坡調查與風險評估作業。本案規劃了多尺度量測，包含透過衛星之合成孔徑干涉雷達 (Synthetic Aperture Radar) 大範圍地表變位量測、無人機光達及空間三維模型建立、地面光達與 GNSS 量測等調查後，調查成果如圖 4。搭配既有鑽探及監測成果，完成邊坡三維地質模型之建立，如圖 5 所示。成果顯示，於路權範圍外有舊崩場地之地形微特徵，且調查範圍東側坡面有蝕溝發育，同時地質模型顯示有厚層崩積物於坡面堆積，因此推測邊坡變位來自崩積物之潛移。但近年邊坡暫處穩定，從現地量測與雷達觀測期間顯示邊坡無顯著變

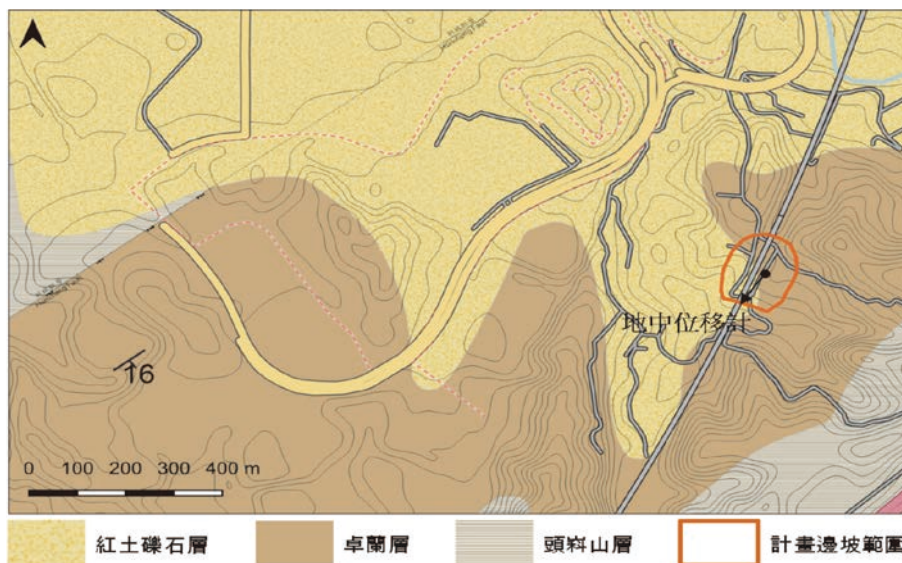


圖 3 計畫範圍邊坡地質圖

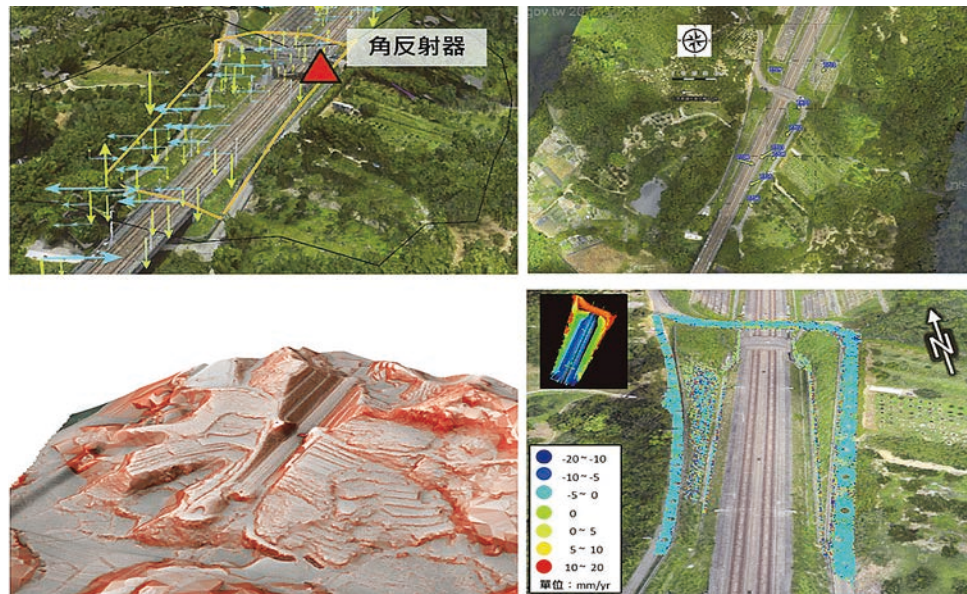


圖 4 多尺度調查成果

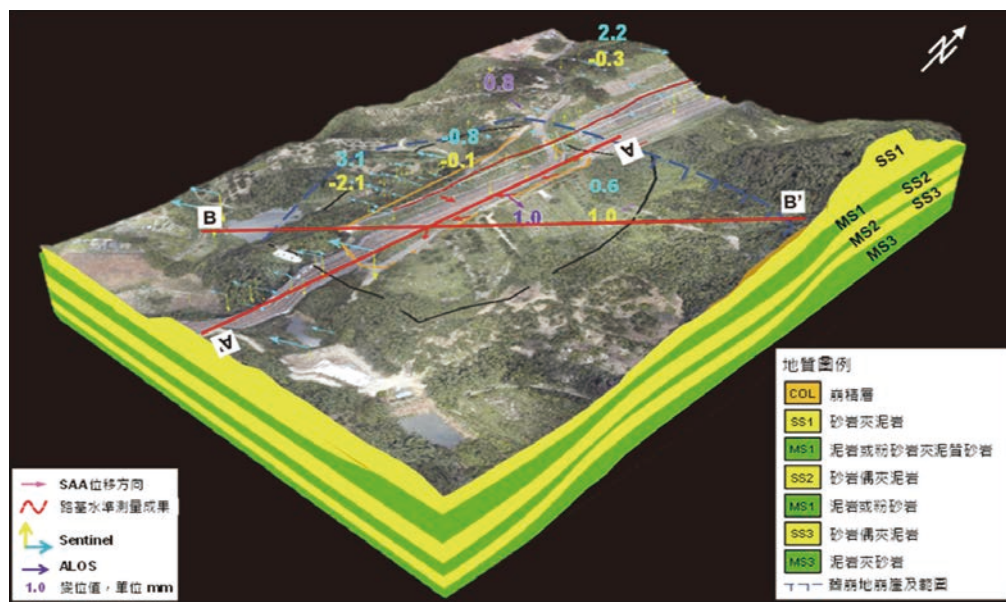


圖 5 地質模型與空間資訊整合

位，並建議除以擋土工程進行改善外，應持續進行觀測。

同時也應用了 iSlope® 廣域調查技術於台二線 70.1K 邊坡破壞之調查，我們於邊坡災害事件發生後便啟動廣域邊坡調查及分析作業。透過衛星合成孔徑干涉雷達進行廣域邊坡變位量測，成果如圖 6 所示。雷達衛星分析可利用歷史影像進行事件回溯性分析，檢視邊坡開始發生潛在變動的時間點，做為未來邊坡維管之參考。同時啟動邊坡環境三維模型與環境地質資料蒐集作業，經調查該處邊坡於《都會區及周緣坡地

環境地質資料庫圖集》<sup>[1]</sup>中已劃分為落石高潛勢區（詳圖 6），環境三維模型如圖 7 所示。可以從模型中量測出露之地層位態、層厚及初步岩性判釋，進一步用以檢討山崩發生之原因。

從雷達測量之時間序列中，可以發現到該處邊坡於 2022 年下半年起開始即有不穩定之現象發生，如圖 8 所示。比對氣象署月降水資料，推測可能與同期間之持續性降水事件相關。未來從時間序列分析，可以協助篩選潛在不穩定邊坡，提升未來邊坡管理及災害預防之能力。

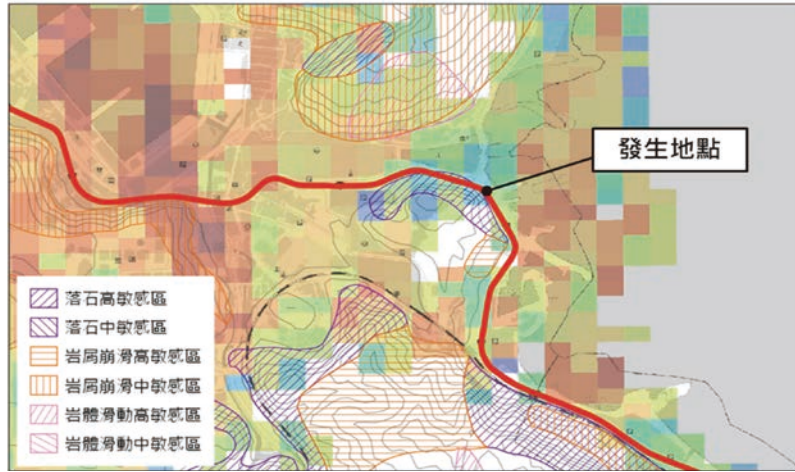


圖 6 雷達遙測與環境地質圖查詢成果



圖 7 邊坡三維環境模型建置成果

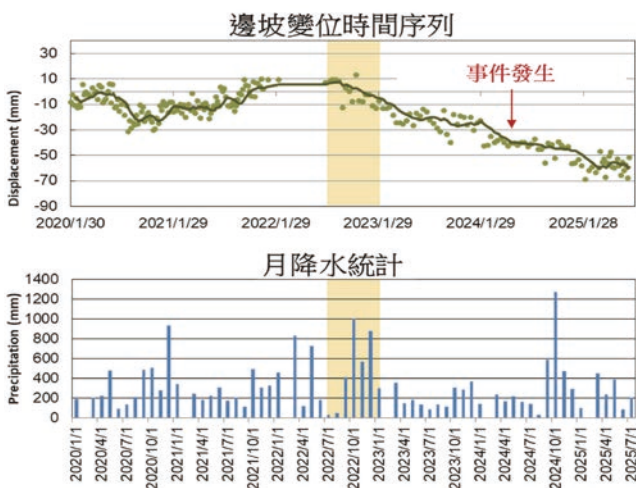


圖 8 邊坡變位時間序列及月降水資料

## 結語

iSlope® 作為邊坡整合性管理架構，以多尺度及多維度的空間資料分析及管理，達成邊坡治理與風險管理之成效。本文兩項應用實例，顯示了整合性調查之

重要性。從新竹一處鐵公路邊坡的整合性調查成果顯示，透過衛星進行邊坡量測，配合無人機載具進行細部地形調查，解決邊坡潛移之原因，並作為邊坡穩定工程之參考。台二線 70 公里之案例中，UAV 調查顯示邊坡非屬順向坡，以淺層岩屑崩落為主要破壞機制；衛星回溯性調查顯示，邊坡於 2022 年中後便有不穩定之趨勢發生，也成為後續破壞之主因。

邊坡管理除了面對自然邊坡之不確定性外，人力、時間及物力的限制亦為一大挑戰。透過廣域調查技術，讓觀測涵蓋了過去難以進行調查的區域外，也降低進行調查之時間及人力成本；邊坡整合資訊平台則協助了維管人員在巨量資料中，在有限的資源中將效率進行最佳化。最後透過三維地質模型與穩定分析，進行邊坡風險管理，達成邊坡永續治理之目標。

## 參考文獻

1. 經濟部中央地質調查所 (2008)，都會區及周緣坡地環境地質資料庫圖集，臺北縣中和市。