

臺北市府創意提案競賽提案表—**精進獎**

提案標準	應為本府 已執行 之創新作為，且已有 具體成效 者。 評分指標詳參「 本府創意提案競賽評審作業說明 」。
提案年度	114年度
提案名稱	橫跨6年 用上帝視角還原山崩的真相
提案單位	臺北市政府工務局大地工程處坡地整治科
提案人員	主要提案人：謝旻希股長 參與提案人：林惠鈴工程員 廖陳侃幫工程司 林志龍正工程司 方偉科長 林士淵副總工程司
提案範圍	1. 有關各機關施政計畫及法令規章之改進革新事項。 2. 有關各機關業務推動方法、作業流程及執行技術之改進革新事項。 3. 有關各機關為民服務品質之改進革新事項。 4. 其他對促進機關行政革新有所助益之創新作為(開源節流)。
成效屬性 (可複選)	☒ 全國首創、 ☐ 導入精實手法、 ☐ e 化、 ☒ 節省成本(時間、人力、經費)、 ☐ 取得專利、 ☒ 其他：累計發表10篇期刊論文
提案緣起	如果有一天 能精準預知坍方 相信能避免更多悲劇 坡地災害，對臺灣人來說並不陌生。98年8月8日下午3點多，莫拉克颱風帶來了一場猝不及防的山崩(圖1)，瞬間吞噬高雄小林村400多條人命，99年國道三號3.1k 無預警發生全線通車30多年以來最嚴重的順向坡走山事故(圖2)，去年6月基隆潮境公園10層樓高的土石傾瀉而下波及近10部車輛(圖3)，且連日搶修1周才順利恢復通車，甚至是今年初嘉義餘震不斷造成多處山區道路中斷，畫面無不悚目驚心，街道也都滿目瘡痍。 時至今日，山崩依舊是許多國人心底最恐懼的天災之一，而對災難倖存者而言，除了每天都充滿煎熬及考驗之外，也徒留了一輩子都難以癒合的傷口。 為什麼坡地災害難以預測 「山崩」除了包含墜落、翻覆、滑動、流動等不同運動行為及啟動機制之外，它的發生與否也明顯受到降雨、地震、人為活動及水文地質結構等條件交互影響，而有些山崩徵兆輕微，不易在事前被察覺，且坡體開始滑移後，亦難以計算滑移是否會停止或繼續加速至完全崩壞。因此，「坡地災害的預

	測」是困難且艱鉅的課題，而如何利用適當技術儘量掌握山崩前兆，便是當前防減災的重要關鍵。 為臺北健檢 替山把脈——精進契機 當意識到舊崩塌地暗示了這個區域體質相對脆弱，更容易再次發生災害，且以往單純採用徒步勘查、地表監測數據收集抑或無人飛行載具攝影(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)雖然細緻但仍耗時費力也容易產生視覺盲點後，我們便開始站在衛星的全知視角，透過孕育中的地形活動特徵，進而看見這類潛在山崩的可能，並再嘗試以「全市潛在風險」為出發點，更進一步為臺北市量身訂製山崩偵測方案，作為各種預防性工作的參考。
過去年度參與 創意提案競賽 情形	■曾報名參與過，並☐無獲獎☐有入圍未獲獎☒有獲獎，獲獎情形：<u>109年創新獎佳作</u>；☐從未參加本府創意提案競賽，係在既有業務創新基礎上精進(請提供佐證資料)
提案內容	怎麼觸及人類難以接近的荒山野嶺——過去經驗 相較於國內其他縣市，臺北市人為開發程度較高，山區高程落差不算大，且坡地災害的規模及特性也明顯有異，便難以直接運用全國性的判釋成果。 考量災害防救法第22條已明確指示各級政府應實施災害潛勢及風險評估的調查工作，且災害防救基本計畫也將「應用智慧化新興災害監測與觀測技術」視為優先推動項目後，我們108年便首次引入這稱之為「差分干涉合成孔徑雷達(Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar, DInSAR)」的技術，透過衛星雷達發出的電磁波反射在不同高程的回波強度及時間差，來勾勒出地形的樣貌(圖4、圖5)，並以97年文山區貓空纜車 T16塔柱邊坡及108年士林區至善路三段169巷等6場已知山崩區域，試辦確認了這個技術初步辨識出臺北市大型崩塌邊界的可行性及應用潛力。 像是為山林照X光 讓未知的崩塌地初步顯影——革新方法 從過去已定義出基本邏輯的分析架構之下，為了在茫茫數據海裡有效打撈出未知變形區域，這6年來我們除了從態度上改變、在方法上精進之外，也在不斷面對問題並找出解方的過程中，重新梳理出更細緻的分析步驟(圖6、圖7、表1)，並將龐大資訊整理歸納後以視覺化方式呈現，透過更淺顯易懂的手法消弭內外部團隊間的溝通隔閡。 一、如何提升遙測運算效率且不導致誤判？ 臺北市山坡地面積達150平方公里，以 DInSAR 技術在不同時間點均可解析出327萬個解算點，考量當拉長分析

時間區間後累積出的運算量更為龐大，我們便在109~110年間針對計畫目標先透過四大手段擷取出有效解算點，使每期運算量大幅折減至145萬點，效率提升約2.26倍。

(一)開發「移動視窗法」進行偵測，以「連續8幅影像(96天即近1季)的高程平均變化速率」取代「每季的高程平均變化速率」。

(二)透過優化計算程序僅保留每一解算點之偵測次數，取用作為確定滑動點時，以大於平均偵測次數減去一個標準差進行篩選，通過篩選者作為地表變形確認點。

(三)為找尋持續變異之邊坡，將事件變形次數低於5次暫予汰除不計，僅考慮變形次數5次以上之點位，減少誤判情形。

(四)每季再次檢查地形變化速率及雜訊條件產生的斜率變化，有效降低誤判機會。

二、如何驗證遙測分析所得地表變位具足夠之可靠性及代表性？

(一)現場踏勘目視複核：109~111年間針對變化幅度前300處斜坡單元，採現勘方式近距離目視釐清現地變異徵兆與遙測分析所得高變位解算點是否具有一致性，即能否見有崩崖、蝕溝、淺崩或下陷等跡象。

(二)以全球衛星導航系統(Global Navigation Satellite System, GNSS)交叉驗證：如同日本政府近期用衛星重新測定富士山三角點，遙測技術雖可提供大範圍且高時空解析度的地表變形資訊，但考量單一監測技術容易受到解析度、環境條件及數據誤差與影響，因此我們112年再引進能24小時全天候連續紀錄單點移動方向及移動量的GNSS，在相對明顯陷落區域以不同尺度的量化數值再次驗證確保監測結果的準確性。

三、如何提升GNSS觀測數據精度？

考量以GNSS驗證是基於其觀測數據為真值的假設，為使驗證過程能有良好的比對基準，須更進一步提升其觀測數據精度，故透過差分定位、高斯濾波及靜態基線解等方法解決數據浮動的問題，並使精度由公分(cm)級提升至毫米(mm)級。

四、解算「點」資料如何轉換為坡「面」資訊，滿足管理需求？

由於每個時段均可解析出超過145萬個有效解算點，為更貼近邊坡管理需求，我們結合具有滑動邊界物理意義

		的斜坡單元概念(圖8)，且假設單元內均質、單元間異質，並將臺北市山坡地按照地形、坡向或水系等條件劃分為6371個斜坡單元後，以算術平均法計算各斜坡單元內解算點的平均變位量，並將變位量區分成高、中高、中、中低、低等5種潛勢等級。 除此之外，另遴選高及中高潛勢斜坡單元並輔以是否具保全對象等條件擇定優先關注區域，才得以將有限預算資源用在刀口上，使公帑效益最大化。
	投入成本	經費成本 自108年起，資料蒐集及分析每年約投入新臺幣199萬至315萬元不等(圖9)，六年共已投入約1,585萬餘元。 人力成本 計畫包含本處團隊6人及技術團隊4人，並在無新增其他人力成本的前提下，以新技術更全面了解坡地變化。
	實際執行 (未來預期) 成效	方法革新後的階段性成果 一、事前成功偵測潛在山崩：即使心裡清楚「預報並非預知」，不過就像是社會各界常一次又一次抱怨氣象預報不精準那樣，我們起初同樣對於團隊自己的產出抱有些許疑慮，但當遙測分析結果跟 GNSS 所紀錄數據趨勢確實能高度吻合，且111年尼莎颱風過境時，北投區陽金公路大範圍路面開裂及下陷處確實也是前期遙測分析結果前三高風險區域(圖10)，而所幸無人傷亡，反倒也替我們增添了不少信心。 二、圖解致災熱區：因應山坡地管理需求，全國首創以斜坡單元為界繪製潛勢分級圖(圖11)，另為能視覺化呈現坡體變位型態，更在112年起再進一步把離散的解算點數值均化後繪製成連續性、延伸性且具色階變化的暈染圖(圖12)，將沉陷區以紅色系呈現、隆起區以藍色系呈現，並依地形特徵圈繪出可能崩塌塊體。 三、成功偵測豪雨地震影響：除長期地表變位潛勢分級圖之外，為評估歷年坡地災害與地震或豪雨等促崩條件關聯性，112年起逐年產出前一年度之短期地表變位潛勢分級圖，113年為比對0403大地震影響，額外產出0403地震前、後之地表變位潛勢分級圖，量化評估臺北市山坡地潛勢變化狀況。 四、輔助順向坡及列管邊坡巡勘：為因應不同災害類型及管理需求，除6371個斜坡單元外，也將遙測分析結果應用於經濟部地礦中心公告的396處山崩與地滑地質敏感區(順向坡)(圖13)及本處造冊的16處列管邊坡(圖14)，同時予以

量化分級，且相關成果也回饋給現地巡勘團隊，針對變異徵兆處輔以空拍或增加觀測點方式加強關注。

- 五、**輔助工程選址及重點監測規劃**：相較其他縣市多在事發後利用遙測方法調查新生大型坍滑位置，臺北市率先運用衛星技術積極尋覓潛在山崩區域，且超前佈署將內湖區金龍產業道路(圖15)及南港茶山(圖16)等納入預防性治理規劃，也把北投區陽金公路(圖12)及巴拉卡公路(圖17)等路段周邊分析結果提供道路主管機關與土地管理機關參考，防患於未然並展現首都的格局。

經驗擴散

- 一、**研討會及期刊論文發表**：大地處持續從事創新研究並積極參與國內外學術交流活動，累計已發表近10篇論文並屢獲府內學術獎勵(表2)，不僅行銷市政成果，也一併藉由期刊的發行及流通分享業務經驗供各界參考。
- 二、**教育訓練**：6年期間安排 DInSAR、GNSS 及斜坡單元等5場次不同專題教育訓練(表3)，除以產官學合作方式向處內同仁傳承專業職能外，亦提供第一線巡勘團隊人員識圖技術指導。

未來目標

- 一、**補充調查鄰近聚落潛在大規模崩塌**：依據地礦中心近期公開圖資，臺北市在北投十八份及文山貓空有共5處潛在大規模崩塌區域，因此有必要運用 DInSAR 的時序性特色積極投入補充調查工作，作為未來防減災作業決策的參考。
- 二、**補充佈設 GNSS 測站並導入精密單點定位技術 (Precise Point Positioning, PPP)**：除了持續收集南港茶山地區數據之外，我們已排定在士林萬山地區一併補充設置 GNSS，便於未來更全面覆核提高全市數據可信度，另考慮導入近年被廣泛運用在科學研究的 PPP，因為只需要單臺接收儀就可以獲得高精度的定位成果，便有望減省參考站設置成本。
- 三、**重複利用 GNSS 測站**：未來南港測站如完成階段性任務，可評估拆卸至其他重點關注地區持續測定座標，實踐環保價值。
- 四、**定期更新潛勢圖**：由於了解得愈多，就愈有機會知道要怎麼把有限資源投注在適合的地方，在持續蒐集雷達數值擴大資料庫後，一併滾動式檢討修正精進分析步驟且考量資訊濾除後的敗部復活機制，定期更新全市地表變形潛勢分級圖資，協助將工程經費花在刀口上。

	五、擴充繪製其他加值圖資輔助巡勘：除順向坡及列管邊坡之外，評估納入市內878處山崩與地滑地質敏感區(歷史災害)、53處礦渣地及24處山坡地老舊聚落等潛在風險區域，輔助巡勘及調查團隊綜合判斷較廣域的安全性。 六、建立坡地災害預警機制：遙測分析結果經初判如因故難以立即透過工程手段處理，應可評估利用個案條件模擬計算出的崩塌臨界值，配合市內疏散避難實務經驗訂定合宜的雨量預警值，作為保全對象疏散避難啟動時機之參考，強化區域防災能力。 七、運用人工智慧(Artificial Intelligence, AI)解放人力：隨著歐美各國已積極擁抱新科技，國內除了國科會開始推出「人工智慧基本法」草案及市府去年下旬發布「臺北市政府使用人工智慧作業指引」之外，數發部也在今年初公告了「公部門人工智慧應用參考手冊」草案，因此，未來應有望在自動偵測變形區域及趨勢後，適時藉由氣象數據分析提前警示惡劣天氣事件，即使只多爭取到幾分鐘的準備時間，也有望及早應變降低傷亡。 「分配的選擇」就是「價值的選擇」——小結 在民主國家，資源分配適當與否不僅牽動國人情感，也往往被視為評比政府效能的重要指標，而對於關注價值不停止思考並勇於迎戰，是我們邁向美好境地最堅實的根基。 從這幾年的經驗裡，大地處持續克服分析障礙滿足計畫初衷，且成功掌握了臺北市初期崩塌的時空分布及量化數值，作為工程選址或重點監測實務參考，即更進一步以科學基礎建立合理且更有系統的資源分配原則，並在有限的資源下更有效率的從事災害防救業務，逐步實踐「宜居城市」的藍圖。
執行起迄期間	起：108年度 迄：迄今
相關附件	圖1~圖17、表1~表3
聯絡窗口	姓 名：林惠鈴 電 話：2759-3001#3512 E-mail：ge-10555@gov.taipei



資料來源：齊柏林

圖1 98年莫拉克風災



資料來源：內政部空中勤務總隊

圖2 99年國道三號走山



資料來源：中央通訊社

圖3 113年潮境公園土石傾瀉

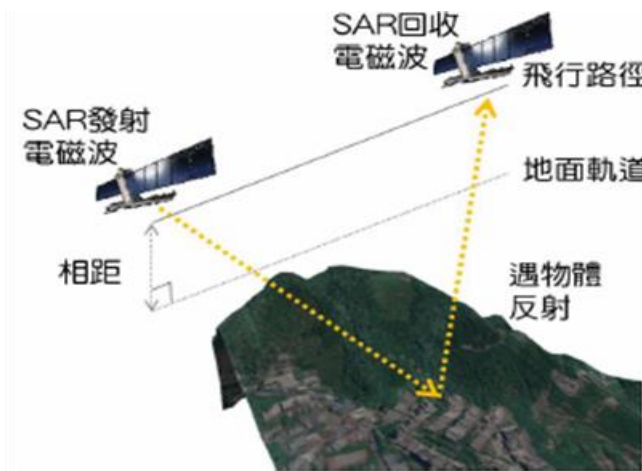
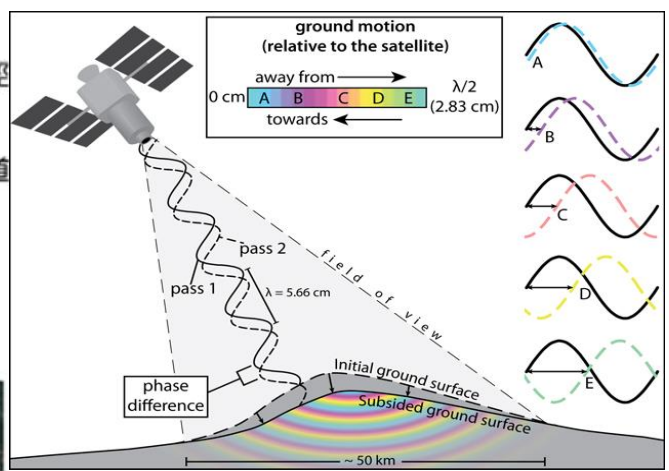


圖4 SAR 成像原理



資料來源：<https://volcano.si.edu/>

圖5 InSAR 偵測地表變形原理



圖6 大地處既有遙測分析流程圖

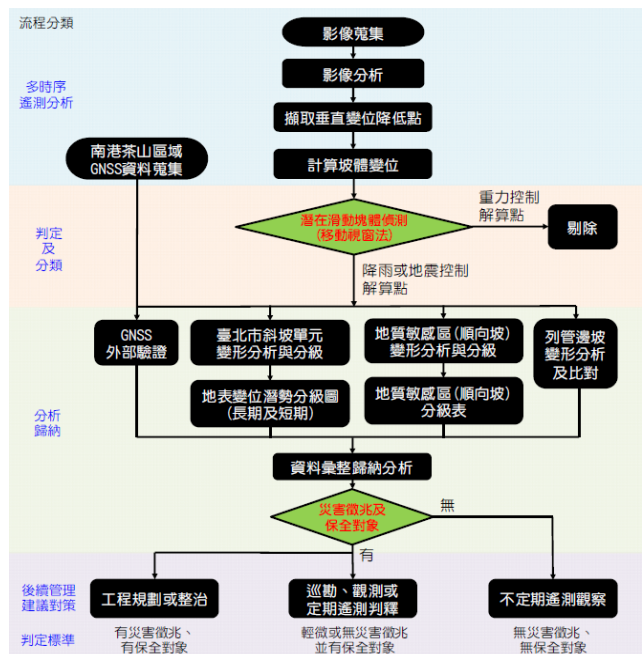


圖7 大地處現行遙測分析流程圖



圖8 斜坡單元平面示意圖

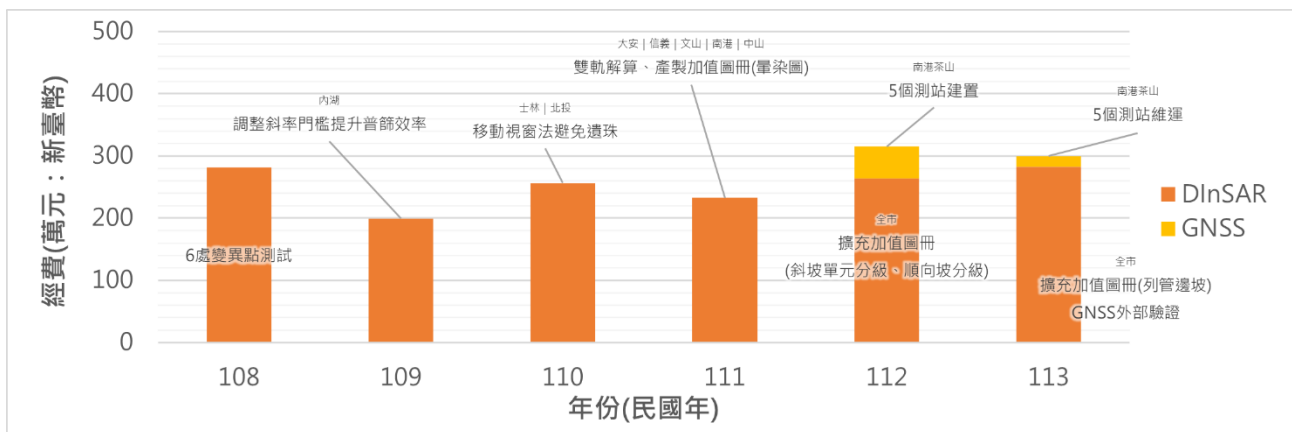


圖9 歷年經費成本及精進事項



圖10 北投區陽金公路近馬槽橋處成功在尼莎颱風事前偵測潛在山崩

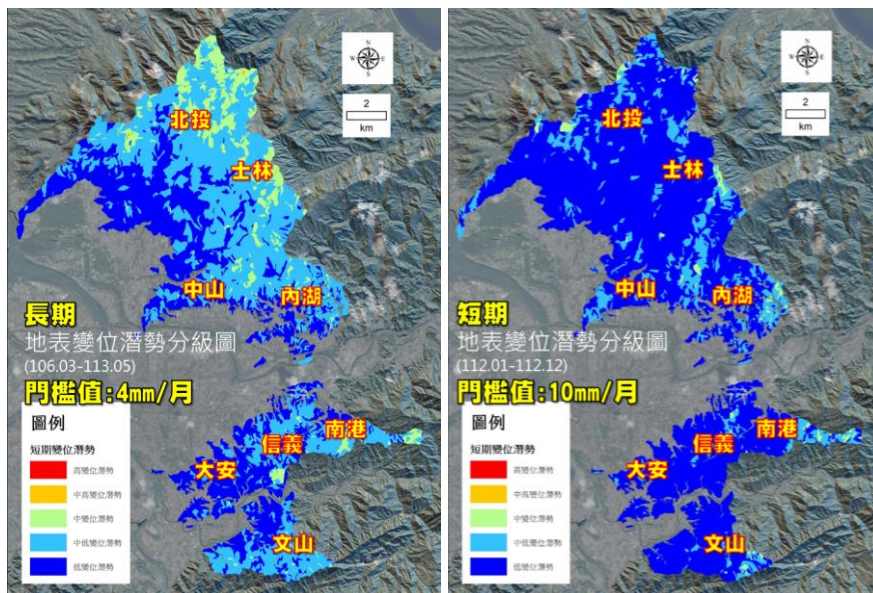


圖11 長、短期地表變位潛勢分級

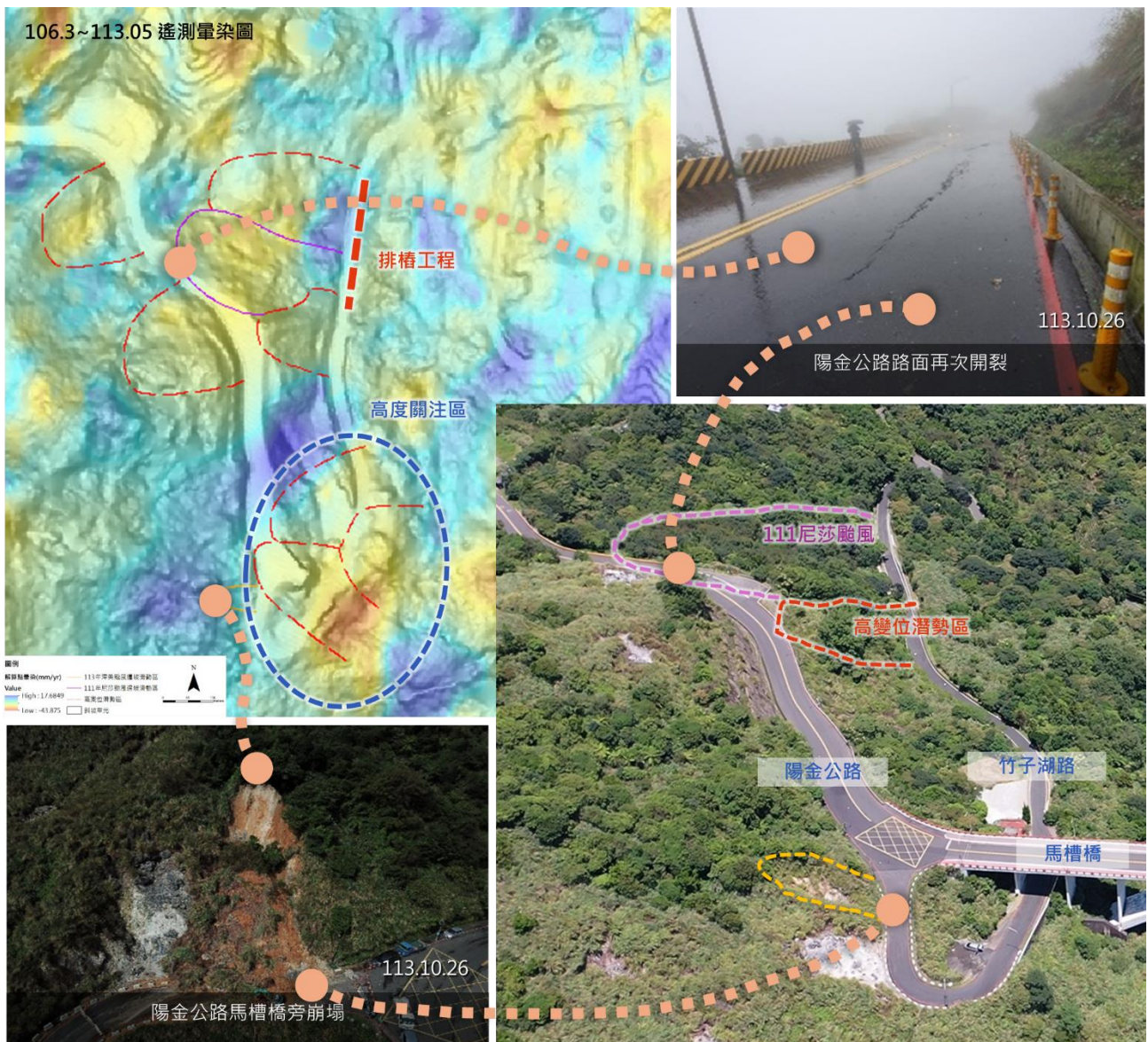


圖12 北投區陽金公路潭美颱風前後遙測分析成果

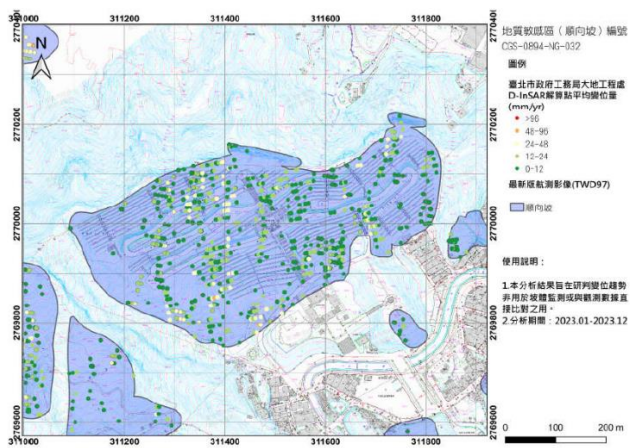


圖13 輔助順向坡巡勘

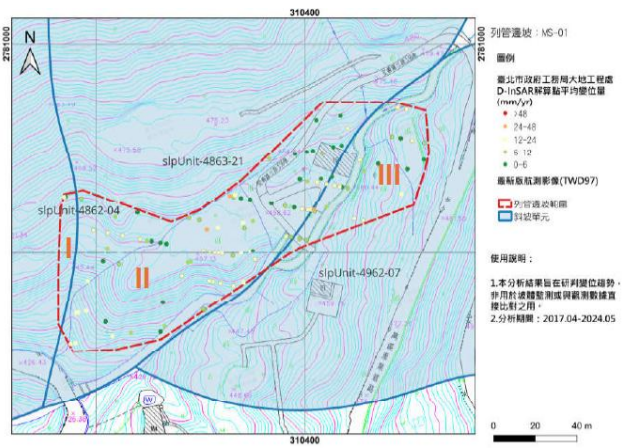


圖14 輔助列管邊坡巡勘

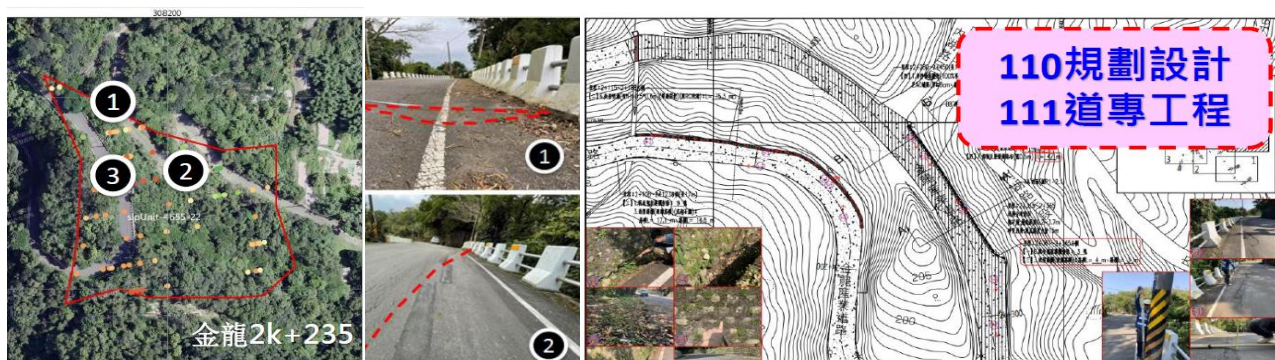


圖15 輔助內湖區金龍產業道路工程選址及工法規劃

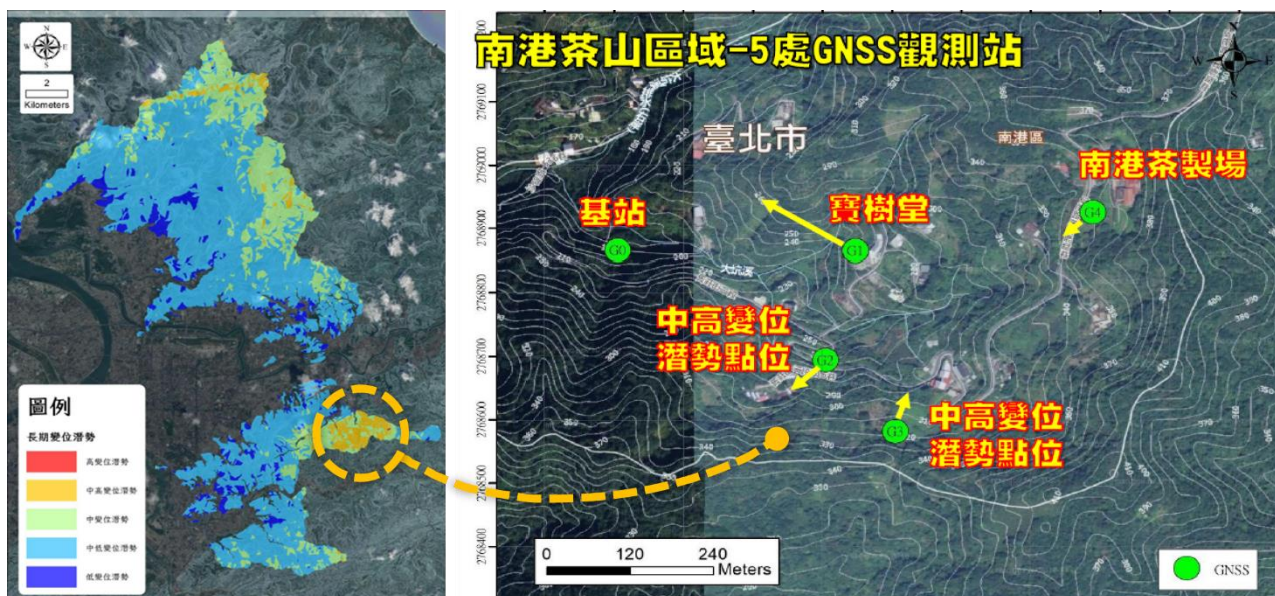


圖16 輔助南港區茶山重點監測規劃

表2 期刊及研討會發表論文一覽表

投稿年份	題名	作者	書刊名	卷(期)：頁次	備註
113	Detection of Landslide Potential Based on Regular Deformation Using DInSAR: A Case Study of Taipei City	Kuo-Lung Wang, Jun-Tin Lin, Min-Hsi Hsieh, Huei-Ling Lin, Wei Fang	GIS 2025	送審中	-
113	以斜坡單元為單位之邊坡滑移潛勢評估~以臺北市山坡地為例	王國隆、林俊廷、林士淵、謝旻希、林惠鈴	地工技術	181: 23-30	-
112	Changing Landslide Potential Based on Ground Deformation Activity with Slope Unit in Taipei City, Taiwan	Kuo-Lung Wang, Jun-Tin Lin, Shih-Yuan Lin, Min-Hsi Hsieh, Chen-Kan Liao	14 th International Symposium on Landslides	8 th -12 th July 2024	-
112	基於差分干涉合成孔徑雷達分析所得高程變形之山坡地管理模式——以臺北市為例	王國隆、林俊廷、林士淵、謝旻希、廖陳侃	中國土木水利工程學刊	50(5):1-7	獲市府員工發表學術期刊論文獎勵
111	具災害潛勢邊坡之預警值研擬與比對驗證——以臺北市寶樹堂場址為例	鍾明劍、倪春發、林士淵、林志龍、謝旻希、李竟	農工學報	69(1): 15-28	-
111	Regular deformation-based landslide potential detection with DInSAR - A case study of Taipei City	Kuo-Lung Wang, Jun-Tin Lin, Shih-Yuan Lin	2 nd International Conference on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies	20 th -22 nd November 2023	-
110	基於廣域變形偵測的坡地防災管理策略	王國隆、林俊廷、陳建帆、蔡正發、謝旻希、謝宜芸	農工學報	69(4): 51-61	-
110	以水力耦合模式結合觀測資料協助建立邊坡災害預警	倪春發、李唯棋、陳建帆、蔡正發、謝旻希、謝宜芸	中華水土保持學報	54(2): 141-149	-
109	山坡地變形潛勢分級研究——以臺北市內湖區為例	王國隆、林俊廷、吳健羣、陳建帆、邱亭瑋、謝旻希	中國土木水利工程學刊	33(2): 139-149	-
108	百公里外制敵機先的毫米變形偵測——差分干涉合成孔徑雷達分析	王國隆、陳建帆、邱亭瑋、林俊廷	土木水利	47(1): 62-69	獲市府員工發表學術期刊論文獎勵

表3 教育訓練一覽表

日期	主題	講師
113/10/28	GNSS 衛星導航系統運作原理與監測案例	國立暨南國際大學 林俊廷博士
113/7/19	衛載合成孔徑雷達分析原理及案例分析——山坡地災害預防偵測	國立暨南國際大學 王國隆教授
113/3/7	臺北市地質敏感區(順向坡)變形分析與潛勢分級成果圖說教育訓練	亞柏技術顧問 鍾明劍博士
112/6/21	衛載合成孔徑雷達原理、分析及應用	國立暨南國際大學 王國隆教授
109/8/27	山坡地斜坡單元技術發展及應用	國立臺灣大學 林美聆教授