



## 編者的話

鄧福宸

### 主題：近代大地工程監測 (智慧技術)

「橫看成嶺側成峰，遠近高低各不同」

一如人生，大地工程問題往往具有多種面向，並隨著時間推演而變化。為了確保工程安全順利地進行，定期監測是必要的且必須的工作。理想上，如能像貼心情人般，無時不刻、無所不至地細心呵護，便可隨時隨地獲得監測資訊。然而囿於既有的技術，監測的頻率、點位的布置、項目的選擇，往往相當有限，使得重要資訊無法被有效紀錄，致使工程師錯失判斷與應變的良機。

自從智慧科技商品普及化，大量的資訊透過無線技術快速地傳遞，各種訊息主動地推播到隨身裝置中，這些改變為大地工程監測帶來了嶄新的可能。非接觸感測、無線傳播、低耗能元件，整合此些智慧技術的新自動化監測，使監測點位大幅增加，監測頻率更為快速，監測項目更加全面、多元，提供更完整的地工資訊。本期地工技術，將以運用智慧技術的地工監測為題，與讀者們分享相關的最新技術與應用。

論及智慧化自動監測，多數人第一時間會聯想到邊坡安全的監測應用。然而智慧化技術自動監測，絕非僅能應用於邊坡問題，在其他的地工領域，亦有實際應用案例。本期以「平衡」為目標，在應用領域，除邊坡問題外，亦涵蓋如隧道、深開挖、地下管線等工程；而文章作者涵蓋產、官、學研，提供平衡的視角與應用性；最後本期除了收錄智慧技術，例如低耗能廣域傳輸技術、磁導通訊技術、電磁波導等，亦包含運用大量智慧化監測資訊的崩塌機率模式、以及進階的數值分析方法。以下簡要介紹本期各篇文章內容。

首先是紀柏全博士等人，以臺北市山坡地社區為場域，建立了地工監測物聯網。該文基於物聯網之三層架構：感測層、網路層與應用層，盤點既有監測設備、通訊、資料庫與平台狀況，嘗試歸納可透過物聯網系統優化之處，續而參考國內外物聯網規範與架構，分別針對感測設備、通訊架構、資料倉儲與應用平台提出規劃建議，期輔助完善建構智慧化山坡地監控系統，強化坡地防災效能。

林子軒教授等人，利用整合LoRa與磁導通訊之技術，應用於地下管線滲漏監測。該研究研發了一新型物聯網架構，整合了LoRa與磁導通訊技術，提供了及時主動喚醒感測節點的功能，以應用於地下管線接頭受地震破壞後之洩漏偵測，並於現地及試驗室進行驗證。及時主動喚醒感測結點對於節省能耗、延長電源使用，有極大的幫助。在探討完不同埋入深度與觸發的成功率後，該研究接著探討LoRa在土層中傳輸的效能，在與其它研究比較下發現 本研究的RoMI感測節點的RSSI的訊號強度相較其他研究高了約20dbm，而在同樣的訊號強度下，本研究的穿土深度可以多出約40cm。實尺寸管線破壞之實驗驗證了本系統在埋入後可以隨時被喚醒，藉由土壤濕度的量測可以即時的偵測臨近管線破壞的位置。

林志平教授等人，以深入淺出的方式，介紹了地工電磁波導監測技術之新近發展。電磁波的波導器可以做為感測器來量測複雜的電學性質或監測介質界面的變化，其在地工的監測亦能有許多具有特色的應用，特別是利用時域反射探測法(time domain reflectometry, TDR)，可解決許多地工中困難的監測問題。

## 2 編者的話

本文介紹TDR在地工監測與量測方面的新近發展，包括地層滑動、橋墩沖刷、水位、土釘與地錨等現地監測，以及可做為土壤特性分析的複介電頻譜的量測。

邱雅筑教授等人，以專文介紹了智慧監測技術在營運中隧道監測成果。隧道做為穿山越嶺聯絡兩地的管道，經常呈現長線型構造，而這類長形僅有兩端出口的形狀在測量定位上誤差會持續累積，具有先天的劣勢。營運中隧道長期監測首重定位基準之建立，在高精度的控制網上，現行的隧道監測技術基於聲、光、電、熱等原理獲取監測數據，反映當時隧道結構之狀態。常見隧道襯砌異狀如裂縫、剝落、變位皆可透過特徵化與數字化技術，轉變為指標，協助揭露造成異狀的肇因。因應監測技術躍昇將帶來的大數據時代，以及不可避免的產業智慧化轉型，監測資料處理之自動化和異狀與肇因關聯之探討是兩個主要關鍵。

鄭世豪博士等人，開發了智慧地錨荷重變化監測系統，並應用於現地監測。智慧地錨荷重變化監測有別於其他邊坡監測方法，必須透過外加感應器或監測設施才能實現邊坡滑動的監測工作，依據自計式荷重計原理，該方法在地錨組立過程新增一條無受力的鋼絞線附加於受力之地錨本體上，並透過受力地錨自由段長度和參考鋼絞線的相對位移量，以及有效自由段長度來推估地錨荷重的變化。此法具有操作簡單、成本低廉、高度穩定之優點，可大量推廣使用。實現地錨荷重變化監測的自動化，使地錨邊坡的荷重監測工作，推廣至整體邊坡「剖面」或「區域」的監測質量，以力求對邊坡地錨的荷重變化有整體性的掌握。

林大鈞董事長等人，將LPWAN物聯網系統運用於捷運萬大線站體開挖工程。近年來全世界IOT物聯網蓬勃發展，利用LPWAN低功耗廣域遠距無線通訊技術在物聯網領域上，已相當廣泛使用。該文介紹捷運萬大線

CQ842標LG02站深開挖自動化監測系統案例，將原有建置較費工且維護較不易監測自動化系統，以運用LPWAN中LoRa及NB-IoT兩種通訊方式作改善。除系統建置較便利性外，維護性上也更加方便，同時也大幅降低通訊費用產生。

陳進發副總工等人，建立了蘇花公路因雨致災崩塌機率模式，並實際應用於公路防災系統。該研究藉由統計公路常發生之災情種類，進而由致災成因之源頭探討防災管理策略，主要說明如何導入風險控制概念研析山區公路之防災，並採用聯合國減災組織對於風險之定義，亦即「在特定場景下，因標的物崩壞造成用路人罹災的風險」。該研究運用蘇花公路近10年因雨致災之記錄，篩出453筆資料，逐筆依其發生里程位置及當次降雨事件總累積雨量繪製統計圖，取得不同崩塌機率值在蘇花公路上所對應之事件總累積雨量。本文並分析173場降雨事件，藉由統計軟體SPSS運算災害與降雨因子之相關性，找出較具敏感性之降雨因子組合視為降雨觀測指標，再透過SPSS軟體應用邏輯式回歸模型評估蘇花公路崩塌潛勢模式，獲得統計年限中雙重降雨指標下之崩塌機率。經由實例驗證本文所建立之崩塌機率模式圖提供有效且具體可行之防災管理決策支援。

最終，楊國鑫教授等人運用物質點法分析邊坡崩塌過程與運動機制，以貓空邊坡崩塌為分析案例。山崩後土壤運移與堆積的範圍，以及是否會影響到下邊坡的保全住戶，為防災與工程實務中所關切重要議題。本研究選用物質點法(Material Point Method)分析探討邊坡破壞後之崩塌過程與運動行為、如山崩速度、土壤運移距離、堆積高度等。該研究針對台北市貓空兩處邊坡歷史災害進行研究，兩處邊坡皆因2008年9月薔蜜颱風造成崩塌，崩塌範圍皆涉及至重要保全對象。文中首先將數值模擬結果與兩處邊坡崩塌後的實測

地形剖面進行驗證比對，隨後透過數值分析結果，觀察邊坡破壞後之軸差應變、體積應變、以及孔隙水壓，以了解邊坡崩塌的運動過程與力學機制。研究結果發現物質點法能夠準確預測兩處邊坡的運移距離，然而若因土壤堆積受現地三維扇形擴散效應的影響，以二維數值模式會稍微高估山崩後土壤的堆積高度。此外，與不排水模式比較，水力耦合模式因能模擬邊坡崩塌過程的中土壤孔隙水壓的激發與消散，故能較準確預測土壤的運移距離。其分析方法可提供未來監測點位佈置、

監測項目選擇、以及警戒值建立等防災重要項目參考。

在科技發展的洪流之中，新技術的研發與推廣應用係無法避免。本期地工技術蒐集目前最新智慧化技術，在大地工程不同領域的應用。編者期望能繼往開來，鼓勵各界投入新技術研發應用，提供更多智慧化監測技術，以窺得諸多大地工程施工過程的全貌。無論是否身在山中，皆能識得真面目。

最後，感謝地工技術編輯團隊的邀請與協助，使本期地工技術順利完成。

#### 小啟

地工技術自1983創刊，即採用比銅版級更高規格的雪銅紙(不會反光)印製，期望提供讀者最佳的閱讀品質。為響應環保愛地球並節能減碳，在不影響閱讀品質前提下，地工技術自159期起，將紙張磅數稍作調整，為環境保護略盡綿薄之力，特此說明。