

## 摘要

關鍵字：坡地社區、監測、大尺寸模型試驗、邊坡維護修繕管理值

### 壹、研究緣起

近年極端降雨事件頻傳，邊坡監測及防災預警實為山坡地社區安居之重要議題，山坡地社區開發需施作擋土設施，周緣邊坡也存在崩塌威脅，然以往山坡地社區監測多以人工定時記錄，常遭遇山坡地社區局部降雨及邊坡位移資訊無法即時協勤防災管理。

鑑此，基於內政部建築研究所(以下簡稱建研所)委託本團隊執行之前期計畫「坡地社區智慧防災系統研發驗證—推估社區整合型監測儀器安全管理值大尺寸試驗模型建置」、「坡地社區減災營造與智慧防災系統整合研發—預力地錨破壞監測及整體系統穩定性之強化」、「山坡地社區智慧防災系統精進—人工邊坡智能感測器研發與雲端系統擴充應用」成果，已研發適用各種邊坡之土壤邊坡智能感測器與人工邊坡智能感測器，係整合微機電感測器、無線傳輸技術與雲端分析技術，建構適合山坡地社區邊坡智慧防災監測儀器，提升邊坡災害預防及應變作為，將山坡地社區防災層面提升至人工邊坡局部危害徵兆觀測精度與建立智慧防災網絡。

在前期計畫執行過程中發現，監測系統需兼顧提升儀器耐候性與降低開發、維運成本，方可順利推廣給坡地社區。因此開發低功耗與低成本之感測器與傳輸技術以降低設置與電力消耗成本，為本研究案於工程技術上之重要成果；藉由政府公部門或產險事業等單位推行給坡地社區居民使用，為本研究案於產品商轉技術上之重要課題。為使坡地社區監測項目更趨完善，除了過去已經開發之降雨量、地層變位量、裂縫變化量、土壤含水量、結構物傾斜量、結構物(或地表)加速度之感測與監測、降雨量、地下水位(地下水壓)與地錨荷重變化等監測項目。上述之監測成果除彙整至建研所已開發建置之防災資訊平台外，並進行回饋分析，已提出監測物理量對應之管理值，供社區管理

單位與居民面臨邊坡產生微變化而至於巨大變化前，尋求工程技術支援之參考依據，也就是邊坡維護修繕管理值。過去相關之研究實驗過程多藉由示範社區進行，雖然大部分社區願意配合，然而倘若實驗過程造成既有擋土設施損害，可能非研究單位與經費所能復原。但是實際地破壞或災害卻是各種監測數據與模式驗證之重要依據，因此在各種研究方法與成果皆備階段，若能藉由大尺寸模型試驗進行相關研究成果之驗證，相信能使這些研究成果更具可信度與應用性，對於推廣也更有助益。

## 貳、方法與過程

本研究以大尺寸模型試驗，克服過去在示範社區無法驗證整合型監測儀器之問題。首先以常用市售邊坡安全穩定分析軟體進行可能邊坡滑動安全性，規劃出2M寬、4M長、2M高之土槽容量，模擬自然邊坡與人工擋土邊坡，並進行模型土槽降雨模擬與相關邊坡安全數據監測，包括降雨量、地下水位、地層變位、擋土牆傾斜度、裂縫、土壤水分等。經過多次模擬不同降雨情境造成之邊坡失穩滑動行為、擋土牆變位等監測，足以驗證本系統之穩定性，並供後續訂定管理對策之參考。

本(110)年度研究計畫具體目標如下：

- 一、 運用與整合已開發完成之邊坡智能監測器於本大尺寸模型，未來應用於邊坡社區可獲得快速適地性成效：以建研所已研發之適合於一般社區人工與自然邊坡使用之整合型智能感測器為基礎，該智能感測器之最大特色為以可擴充與高保護性儀器盒保護通訊元件、感測記錄模組與電源模組等，達到高耐候性之要求。當安裝於社區擋土結構或邊坡時可相當低調，不容易引發居民關注，以免遭受破壞。
- 二、 獲得過去於示範社區無法進行之破壞性試驗成果，取得未來推估監測管理值所需之參數：今年度將雨量、水位、水分、傾斜、裂縫與地層變化監測納入，透過低功耗無線傳輸模組進行連結，通訊與電力完全自足，並於明新科大校

園大尺寸模型(2M寬、4M長、2M高之土槽)進行監測試驗，以供未來應用於邊坡社區邊坡安全監測。

- 三、精進已建置研究場域，未來可進行至少1場講習與觀摩會，有助於一系列研發成果之技轉與商轉推動：於計畫後期辦理以此試驗成果為題材之講習與觀摩會，以提升民眾之山坡地社區自主防災監測觀念，落實防災即時化、在地化以及效率化，於邊坡變化時洽詢專業人員協助提供因應對策，以防患未然。
- 四、連結納入並更新過去本所建置之「山坡地社區建築管理履歷資料庫平台」，以利應用：本監測系統為整合場域即時監測資料以及提供使用者端簡潔且具有防災意義性的場域資訊，以視覺化呈現人工邊坡即時監測數據，讓使用者能直觀地掌握邊坡各監測狀況。

### 參、重要成果

- 一、透過大尺寸模型試驗推估監測儀器安全管理值

前期計畫案成功整合各感測器至一個箱體內，除可節省現場建置成本外，也可降低維護與巡檢成本。而耐候性與擴充性在本年度獲得驗證。本計畫中建置了大尺寸之邊坡模型，以及人工降雨裝置，將同一監測裝置架設於邊坡模型外，並額外增加IPI等監測儀器，接著模擬重大颱風豪雨事件後，經現場破壞情形與量測結果來看，趨勢上有符合預期結果，符合監測需求順利作動，精度與耐候性可維持一定水準，並可進一步於各社區取得一定量之監測值後，修正至適合各社區之儀器安全管理值。

本研究於土槽內回填若干種不同土壤，並模擬自然邊坡與人工擋土邊坡，進行降雨模擬與相關邊坡安全數據監測，包括降雨量、地下水位、土壤含水量、地層變位、擋土牆傾斜度、裂縫變化等。結果顯示，在模擬降雨過程中，地下水位會不斷蓄積至一個程度後，邊坡才開始滑動，相當符合實

際狀況，監測系統能測量到無法目視之變化，這個變化階段時間可以做為未來應變預警的一個參考。另外本實驗採用較高紀錄頻率監測邊坡與擋土設施變化，皆可完整記錄，顯示儀器之穩定度相當高。

## 二、降低建置成本

本研究經過比較數種低功耗傳輸通訊方式後，採用較為低成本且容易架設之WSN通訊技術於本研究，目前已確認可順利通訊，可同時降低電力與通訊成本。

## 三、山坡地社區智慧防災監控平台建置方面

本平台以開源程式建立，提供使用者整合的場域即時監測資料以及簡潔且具有防災意義性的場域資訊。首先透過人工邊坡監測物聯網監測資料庫接收場域資料，如本案於過去示範社區與明新科大校園實驗場址的整合型感測器，建立相關資料。此外為讓本整合平台能提供使用者端更多元的服務，亦介接防救災相關公開資料，如氣象局即時雨量以及國家災害防救科技中心公開示警訊息。且此平台已連結納入建研所105年所建置「山坡地社區建築管理履歷資料庫平台」，以利應用。

## 四、山坡地社區智慧防災系統應用推廣方面

本計畫研究團隊於民國110年11月26日於新竹縣竹東鎮放翁清境社區管委會進行講習與觀摩會，說明與推廣整合各感測器與山坡地社區建築管理履歷資料庫平台；說明與推廣山坡地社區邊坡監測的重要性與導入智慧防災即時監測系統的有效性，提升邊坡災害預防及應變作為，並了解山坡地社區居民對於此系統之看法及其需求藉此進行精進，該社區對於安裝此系統之意願相當高。

## 肆、主要建議事項

### 一、建議一

持續進行邊坡監測系統成效驗證：短期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

建研所歷年主辦多項關於坡地社區自然邊坡、人工邊坡等監測設備與系統之研發，以及相關監測管理值之推估方法，並以示範社區進行驗證示範工作，本年度選擇於無保全對象之擋土設施或空地以大尺寸模型試驗進行，為國內少見之創舉，並獲得初步之成效。目前於國內建置大尺寸邊坡模型非常稀少且相當困難，但土壤材料的性質不同可能有不同破壞型式，又對於現地邊坡而言大尺寸邊坡模擬的破壞可能仍存在尺寸效應的影響等等，在許多方面持續精進，以得到更多種類邊坡性質的破壞參數供社區建置本系統時應用。

## 二、建議二

山坡地社區建築管理履歷資料庫以及邊坡智慧監控系統提升與維護：短期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

山坡地社區建築管理履歷資料庫以及人工邊坡智慧監控系統，此兩套系統完全獨立，並使用不同的技術所開發，本研究已將其升級至與目前系統可相容之最新版；若需往上升級將需對既有系統進行大幅度改寫，且未來須植入預繳所需之運算程式，亦須大幅度提升軟硬體。因此建議可擴充與時俱進之相關軟硬體，未來更可搭配VR一併開發，以促進推廣成效。

## 三、建議三

人工邊坡智慧防災監測系統商轉應用與整合提昇防災監測系統技術降低系統技術費用：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：各保險商業同業公會、各公寓大廈管理維護商業同業公會、各技師公會與顧問公司

坡地社區之擋土設施可由本研究研發之相關監測系統進行長期邊坡監測作業，以提供坡地社區啟動擋土設施維護與更新進行。然而這些研發成果仍需推廣與商轉單位配合應用。建議保險業者與物業管理業者可推出應用坡地社區整合性監測之相關商品。

整合型感測器之架設以及其得到成果，未來在推廣應用階段安裝完成並進行監測時，後續數值仍需經由專業的團隊或者技師進行分析判斷，成本將因此增加，導致邊坡社區無法負擔，建議往後可邀請各界相關技師，探討適用於各邊坡的架設準則作為參考，使邊坡社區在評估需求及進行監測時可做初步簡易的參照，降低整體成本並提高監測代表性。

#### 四、建議四

協助坡地社區自主監測系統設置推廣：中長期建議

主辦機關：內政部營建署、內政部建築研究所

協辦機關：各地方政府

部分地方新建坡地社區已開始著重邊坡安全監測，然而既有坡地社區相關坡地安全設施的維護，大多不完善且實際功效有限。透過本計畫的邊坡整合型防災監測系統研發，可應用於既有坡地社區之邊坡設施，使社區居民即時了解其變化情況，尋求專業協助並進行後續改善。因此建議各地方政府能夠推廣運用邊坡監測系統以達到自主性的監測，提高居民對於坡地與擋土設施安全之警覺。

## ABSTRACT

Over the years, the Architecture and Building Research Institute, ABRI has continuously conducted a series of studies on the "Feasibility Study of Smart Disaster Prevention System for Hillside Community". The results of hardware development are quite fruitful, and related results have received positive responses from community residents and the industry. However, in terms of practical operation, due to the fact that the demonstration sites have not suffered heavy rainfall or earthquakes and other natural disasters in recent years, and the demonstration sites are all located in communities, large-scale destructive experiments cannot be carried out, and relevant damage parameters cannot be obtained. Become one of the biggest issues facing this series of research. On the other hand, due to the high cost of existing monitoring equipment in the market, the weather resistance of self-developed monitoring equipment must also be tested. Therefore, it is very important to conduct large-scale tests to estimate the safety management value of community monitoring equipment. Since the relevant tests can obtain a lot of operating parameters from customized conditions, the expected derivative results will also be quite critical, such as verifying the monitoring and management values of artificial slopes and natural slopes, building the Internet of Things for disaster prevention on slopes, and visual advocacy, etc. However, the model is close to full size, including slopes, retaining facilities, rainfall facilities, loading facilities, etc. Considering the time and period of construction to obtain representative results, it will be implemented in two years. In 2020, the field selection and model setting, installation of related instruments have been completed, and the load has been increased and the actual earth stress has been simulated. In 2021, non-destructive testing and high-speed destructive tests will be carried out to obtain the physical and mechanical behavior before and after the failure. During the period, three-dimensional images and videos were taken to reproduce the appearance of slope damage in a realistic manner; the aforementioned

results were integrated to formulate and verify the management values of monitoring instruments in various situations, and large-scale seminars were held to promote the series of research and development results.

Keyword: Hillside Residential Communities, Monitoring, Large-scale Model Test, Monitoring Threshold Values Evaluation