

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

成果報告書

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國109年12月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



# 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

受委託者：明新學校財團法人明新科技大學

研究主持人：郭治平

共同主持人：鄧福宸

協同主持人：謝佑明

研究助理：吳晉維、劉美君

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國109年12月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



## 目錄

	頁次
<b>圖目錄.....</b>	<b>iii</b>
<b>表目錄.....</b>	<b>vii</b>
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1</b>
第一節、研究緣起與背景 .....	1
壹、研究緣起 .....	1
貳、研究背景與目標 .....	1
<b>第二章 文獻回顧與研究區域概述 .....</b>	<b>6</b>
第一節、人工邊坡致災原因回顧 .....	6
第二節、人工邊坡監測器 .....	9
第三節、無線傳輸系統技術 .....	15
第四節、足尺寸試驗 .....	30
第五節、研究方法及進度說明 .....	32
<b>第三章 大尺寸試驗模型之建置 .....</b>	<b>34</b>
第一節、研究場域概述 .....	34
第二節、整合型監測器研發 .....	36
第三節、整合型感測器電力來源 .....	43
<b>第四章 降雨模擬 .....</b>	<b>46</b>
第一節、降雨模擬參考情境 .....	46
第二節、模擬設備 .....	47
第三節、大尺寸邊坡降雨模擬破壞試驗 .....	48
<b>第五章 邊坡穩定模擬與數值分析 .....</b>	<b>50</b>
第一節、邊坡穩定模擬 .....	51
第二節、邊坡變形模擬 .....	57
<b>第六章 雲端系統監測平台 .....</b>	<b>67</b>
第一節、山坡地社區建築管理履歷資料庫 .....	67

第二節、建研所人工邊坡智慧監控系統 .....	70
<b>第七章 結論與建議 .....</b>	<b>75</b>
第一節、結論 .....	75
第二節、建議 .....	76
<b>參考文獻.....</b>	<b>78</b>
<b>附錄一 審查意見回復 .....</b>	<b>77</b>
<b>附錄二 推廣說明會出席簽到單 .....</b>	<b>87</b>

## 圖目錄

## 頁次

圖 2.1-1 達觀鎮社區擋土牆崩塌 .....	7
圖 2.1-2 達觀鎮社區雨量圖 .....	8
圖 2.2-1 現場監測設備裝設完畢後照片 .....	10
圖 2.2-2 現場監測儀器裝設完畢後照片 .....	11
圖 2.2-3 本研究採用之雨量監測系統與成果示意圖 .....	12
圖 2.2-4 本研究採用之自動化連續記讀水壓觀測計模組 .....	13
圖 2.2-5 定置型傾斜儀 .....	13
圖 2.2-6 自動量測傾度管紀錄 .....	14
圖 2.3-1 LPWAN 廣域物聯網服務之願景模擬 (資料來源：本團隊整理) .....	15
圖 2.3-2 於南投縣信義鄉神木村土石流觀測站進行 LoRa 傳輸試驗狀況(水保局 2018) .....	16
圖 2.3-3 於宜蘭縣大同鄉四季聚落進行 LoRa 傳輸試驗狀況(水保局 2018) .....	17
圖 2.3-4 台北市文山區明興里測試點相對位置關係與紀錄(建研所 2018) .....	18
圖 2.3-5 訊號傳輸示意圖 .....	19
圖 2.3-6 新店區觀天下社區(資料來源：鏡傳媒) .....	19
圖 2.3-7 LPWAN 廣域物聯網路之優勢及 IoT 頻譜分析 .....	20
(資料來源：本團隊整理) .....	20
圖 2.3-8 LPWAN 具長距離低耗能之傳輸特性(資料來源:正文科技) .....	20
圖 2.3-9 LoRaWAN 基地台規格特色 .....	22
圖 2.3-10 Sigfox 服務架構 .....	23
圖 2.3-11 Weightless 的特色 (資料來源:優必闊科技) .....	25
圖 2.3-12 LPWAN 通訊技術支援服務比較 .....	26
(資料來源: Mobile Expert: Mobile and Wide-Area IoT:LPWA and LTE connectivity.2016) .....	26
圖 2.3-13 103/07/25~103/09/09 BH-5 孔口變位與變位速率(水保局 2014) .....	29
圖 2.4-1 大尺寸加勁擋土牆模型實驗照片(楊錦裕 2004) .....	30

圖 2.4-2 大尺寸加勁擋土牆剖面示意圖(楊錦裕 2004).....	30
圖 2.4-3 大尺寸加勁擋土牆構築過程所需之大型機具滾壓(楊錦裕 2004).....	31
圖 2.4-4 大尺寸加勁擋土牆構築過程即已開始變形(楊錦裕 2004).....	31
圖 2.5-1 計畫預定執行流程圖 .....	32
圖 3.1-1 實驗場域位置圖 .....	34
圖 3.1-2 土槽配置示意圖 .....	35
圖 3.1-3 土槽現場配置情形 .....	35
圖 3.1-4 現場人工邊坡鋪設完成情形 .....	36
圖 3.2-1 雙軸傾斜儀 .....	37
圖 3.2-2 振弦式裂縫計 .....	37
圖 3.2-3 水壓計 .....	38
圖 3.2-4 定置型傾斜儀(IPI).....	38
圖 3.2-5 自計式雨量筒 .....	39
圖 3.2-6 整合感測器於現場安置完畢示意圖與透視圖 .....	40
圖 3.2-7 整合感測器回傳測試 .....	40
圖 3.2-8 傾斜管於埋設前進行開篩 .....	41
圖 3.2-9 定置型地中傾斜儀於模擬邊坡裝設 .....	41
圖 3.2-10 現場設備裝設完成 .....	42
圖 3.3-1 太陽光電發電案例 .....	43
圖 4.2-1 降雨模擬裝置之加壓馬達 .....	47
圖 4.2-2 降雨模擬裝置示意圖 .....	47
圖 4.2-3 架設完成後現場灑水測試 .....	48
圖 4.3-1 邊坡整體配置完成結果 .....	48
圖 4.3-2 邊坡模擬降雨開始與結束 .....	49
圖 4.3-3 草皮下方裂縫發展情形 .....	49
圖 5-1 大尺寸邊坡模型示意圖 .....	50
圖 5.1-1 重模土樣力學試驗成果 .....	52
圖 5.1-2 邊坡穩定模擬剖面圖 .....	54
圖 5.1-3 邊坡下水位上升 50cm 模擬剖面圖 .....	55



圖 5.1-4 邊坡下水位上升 100cm 模擬剖面圖 .....	55
圖 5.1-5 邊坡下水位上升 50cm 且於擋土構造後方蓄積模擬剖面圖 .....	56
圖 5.1-6 邊坡覆蓋至擋土構造後方時，地下水水位上升 50cm 模擬剖面圖 .....	56
圖 5.2-1 數值模擬模型 AA'剖面圖 .....	58
圖 5.2-2 有限元素法之水平變位分佈圖 .....	59
圖 5.2-3 有限元素法破壞點分佈圖 .....	60
圖 5.2-4 坡面張力裂縫照片 .....	61
圖 5.2-5 坡面張力裂縫照片 .....	62
圖 5.2-3 現地實驗模擬結果 .....	65
圖 6.1-1 「山坡地社區建築管理履歷資料庫」登入後之操作畫面 .....	68
圖 6.1-2 使用行政區定位功能查詢避難處所 .....	69
圖 6.1-3 管理者登入後選擇資料維護功能之操作畫面 .....	69
圖 6.1-4 圈選地圖上範圍後可看到更詳細的坡地與社區資訊 .....	69
圖 6.2-1 系統登入後之畫面 .....	71
圖 6.2-2 試驗場址鄰近中央氣象局雨量站資料、36 小時天氣預報、以及 NCDR 之公開示警訊息 .....	72
圖 6.2-3 自動監測設備電池電壓與量測溫度 .....	72
圖 6.2-4 監測之雨量與水壓 .....	72
圖 6.2-5 裂縫伸張計的監測資料 .....	73
圖 6.2-6 土坡中段傾斜管 S11 監測數據 .....	73
圖 6.2-7、土坡上方傾斜管 S12(上) 監測數據 .....	73
圖 6.2-8、土坡上方傾斜管 S12(下) 監測數據 .....	74
圖 6.2-9、土坡下傾斜儀監測數據 .....	74



## 表目錄

頁次

表 1.1-1 全臺重大順向坡滑動致災歷史事件簿(紀宗吉 2010).....	5
表 2.3-1 於南投縣信義鄉神木村土石流觀測站進行 LoRa 傳輸試驗成果(水保局 2018).....	17
表 2.3-2 於宜蘭縣大同鄉四季聚落進行 LoRa 傳輸試驗成果(水保局 2018).....	17
表 2.3-3 LPWAN 主要技術比較表 .....	25
表 2.3-4 位移速率與邊坡穩定性判斷建議表(日本地滑對策技術協會 1978).....	28
表 2.3-5 高雄寶山聚落(坡地社區)建議之安全監測管理值(水保局 2014).....	29
表 4.1-1 豪大雨雨量分級標準(中央氣象局).....	46
表 5.1-1 簡化材料參數表 .....	54
表 5.2-1 PLAXIS 數值模擬採用材料參數表 .....	59
表 5.2-2 模擬成果比較表 .....	63
表 6.1-1 「山坡地社區建築管理履歷資料庫」之運行環境 .....	67
表 6.1-2 MapGuide 版本與年份 .....	68
表 6.2-1 「建研所人工邊坡智慧監控系統」之運行環境 .....	71



## 摘要

關鍵字：坡地社區、邊坡安全監測、大尺寸模型試驗、坡地安全管理

### 壹、研究緣起

台灣地區因為地狹人稠，居住用地不斷往山坡地擴展。既有之坡地社區開發時間已久，當時之擋土工法與材料不見得能夠適應目前之極端氣候，其設計之服務生命週期恐怕比預期短很多；加上並無相關之檢測工作與監測設備，居民只能透過自主目視巡檢方式自保，然而隱藏在結構物或地層中之變化，實在無法透過人力觀測得到，因此進行週期性檢測與監測勢在必行。本所多年來不斷針對「山坡地社區智慧防災系統可行性研究」進行一系列研究，硬體開發之成果相當豐碩。然而實務操作上，受限於近年來因示範場址無遭受較大之降雨或地震等天災事件，且示範場址皆位於社區，無法進行大尺度之破壞型實驗，相關之破壞參數無法取得，成為本系列研究面臨之最大課題之一。另一方面由於市面既有之監測設備成本高，自行開發之監測設備耐候性亦須檢驗，因此進行用於推估社區監測儀器安全管理值之大尺寸試驗相當重要。

### 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、3M高之土槽容量，模擬自然邊坡與人工擋土邊坡，並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、地層變位、擋土牆傾斜度、裂縫變化等。地層以現地土壤夯實回填、擋土設施採用不同材料進行模擬。經過多次工作會議與現勘討論，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，並以常用市售邊坡變形模擬軟體進行地層變化趨勢驗證，以供後續訂定管理對策之參考。

本(109)年度研究計畫具體目標如下：

- 一、驗證前期開發之智能感測器擴充性與穩定性：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藍本，該智能感測器之最大特色為以高剛性之不銹鋼盒保護通訊元件、感測記錄模組與電源模組等，達到高耐候

性之要求。當外蓋罩上後則相當低調，不亦引發居民關注，以免遭受破壞。今年度預期將雨量計、水位計與地錨荷重計納入，並提升「防水與通風」之需求，故共包含雨量計、雙軸向傾斜儀、裂縫量測應變計、水位計與地錨荷重計等，透過地功耗無線傳輸模組進行連結，並佈設於示範山坡地社區中人工邊坡牆面進行監測。

- 二、大尺寸模型試驗：於明新科大校園建置一座 2M 寬、4M 長、3M 高之土槽，於內回填現地夯實土壤，模擬自然邊坡與人工擋土邊坡，並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、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，這個時間差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。
- 三、研究低功率廣域網路傳輸方式於坡地監測之適用性，並整合物聯網系統至現有的感測器標準：新發展的低耗能長距離廣域無線網路技術(Low Power Wide Area Network, LPWAN)，包含 LoRa、NB-IoT 等無線通信技術皆已逐漸成熟，全球的物聯網與通訊廠商也積極廣設各種跨域或獨立的 LPWAN 基地台，將長距離、高覆蓋率、低功耗、低成本優勢與高端傳感器和智慧裝置結合，開始提供相關創新服務。因此，如能透過此新一代萬物聯網概念 (Internet of Things, IoT) 並透過 LPWAN 通訊技術加以實證，將可大幅擴展物聯網的應用情境，包含應用於各種生活需求，改善生活環境。低功耗廣域網路專為機器對機器(M2M)應用而設計，這些應用通常對應偏遠地區需求，由於偏遠地區數據傳輸率相對較低，需要較長的電池續航時間，以及可長期在無人看管的情況下運行。對未來進行防災業務而言相當重要，特別是人力無法時常到達之處。本研究已探討目前最常用之 LoRa 與 NB-IoT 技術

在本示範場址應用之可行性，發現仍以 4G 較為穩定。

- 四、整合監測數據至建研所防災資訊平台：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。
- 五、辦理推廣說明會與請媒體採訪，並針對完成之自動化監測系統研題推廣應用機制與途徑：於計畫後其辦理，以此宣導此系統，並提升民眾之山坡地社區自主防災觀念，落實防災即時化、在地化以及效率化。

### 參、重要成果

- 一、 驗證可透過大尺寸模型試驗推估監測儀器安全管理值  
前期計劃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，客製並修正適合各社區之儀器安全管理值。
- 二、 低功耗傳輸系統建置方面  
本研究經過比較LoRa與NB-IoT兩種通訊方式後，採用較為容易架設之NB-IoT通訊技術於本研究。該技術已廣為應用於都會區之精密廠房中，然而應用於野外防災監測之案例仍在起步中，從建置至今已經遭遇各種不同之問題，包括供電、漏失率與韌體調整等。目前已確認順利通訊，但漏失率部分需透過電信商一同合作處理改善，團隊已著手進行因應處理，實驗期間仍以4G傳輸為主，未來將進一步延伸應用於5G傳輸。
- 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說明會方面

本計畫研究團隊於民國109年10月27日、109年11月11日接受媒體採訪，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；於109年11月26日至大尺寸試驗現場辦理應用推廣說明會。除了向媒體、學界、業界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，且此次說明會參與之媒體、學界、業界代表與過去歷次專家學者會議皆對於此抱持強烈興趣也相當認同其必要性。

### 肆、主要建議事項

#### 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，如未來



在條件許可情況下(合法運送土方)，可嘗試以本年度計完成之土槽進行不同材料破壞試驗，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。

## 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。

## 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。

#### **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。

# 第一章 緒論

## 第一節、研究緣起與背景

### 壹、研究緣起

台灣地區因為地狹人稠，居住用地不斷往山坡地擴展。既有之坡地社區開發時間已久，當時之擋土工法與材料不見得能夠適應目前之極端氣候，其設計之服務生命週期恐怕比預期短很多；加上並無相關之檢測工作與監測設備，居民只能透過自主目視巡檢方式自保，然而隱藏在結構物或地層中之變化，實在無法透過人力觀測得到，因此進行週期性檢測與監測勢在必行。本所多年來不斷針對「山坡地社區智慧防災系統可行性研究」進行一系列研究，硬體開發之成果相當豐碩。然而實務操作上，受限於近年來因示範場址無遭受較大之降雨或地震等天災事件，且示範場址皆位於社區，無法進行大尺度之破壞型實驗，相關之破壞參數無法取得，成為本系列研究面臨之最大課題之一。另一方面由於市面既有之監測設備成本高，自行開發之監測設備耐候性亦須檢驗，因此進行用於推估社區監測儀器安全管理值之大尺寸試驗相當重要。

### 貳、研究背景與目標

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。

台灣為一高山島，人口眾多，土地資源卻十分有限，在地狹人稠的人口壓力之下，有限的國土資源往往過度開發利用。平原與盆地地區的開發無法滿足國人生活需求的情況下，乃擴張至丘陵山區開發。但在需求甚般之下，往往過度地擴張，許多山坡地不當地開發為建地，破壞了原有的水土保持，進而對台灣自然環境與台灣民眾生命財產造成重大衝擊與危害。此外，因為山坡地大自然的條件屬於破碎地質，加上地震與颱風的誘因，所以山坡地的開發所形成的聚落，成為重要的保全對象。因此，如何兼顧國土開發利用與環境保育，以維護台灣自然山林生態以及確保民眾生命財產安全，

已成為台灣社會當前最重要的環境課題。台灣地質構造複雜為全世界地殼變動最激烈地區之一，頻繁的地震、每年頻繁之颱風侵襲加上人為土地開發不當，經常造成山崩、地層滑動、地盤下陷、房屋傾斜龜裂、土石流等嚴重災害，導致人民生命財產嚴重的傷害與損失。1999年921地震等重大災害後，凸顯出防災科技研究對防減災工作之重要性。依據世界銀行在2005年發行的Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis報告中指出，台灣約有73%的面積及人口暴露在三種以上的天然災害危險當中。

鑑此，基於前期計畫「山坡地社區智慧防災系統可行性研究—邊坡智能感測暨雲端運算」、「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」、「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」成果，已研發自然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，如何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課題；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微降雨量、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外，本年度增加降雨量、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。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。

另外過去採用之通訊方式為傳統之 WIFI、4G 等方式，雖然訊號穩定但耗電量高(>1W)，需要藉由路燈供電；之後採用低功耗無線傳輸之 Weightless 技術，雖然可進行雙向傳輸、功耗較低且在市內效果良好，但在野外因耐候性等因素導致穩定性不佳。本年度將採用現行相當熱門之低功耗無線傳輸 LoRa(<0.005W)與 NB-Iot(<0.1W)技術進行交叉搭配，取得通訊品質與耗電資料，除可提供整體系統穩定性之強化外，期能一舉降低成本，並將研發成果商品化後，推廣給社區居民。

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。

無線傳輸已廣泛應用於坡地防災上，然隨著監測規模擴大，勢必需要開發穩定且低功耗、低成本之整合型監測器及無線傳輸技術。物聯網(Internet of Thing: IOT)是智慧城市的基石，近期發展出來的低耗能長距離廣域無線網路技術(LPWAN Low Power Wide Area Network)如 Weightless、LoRa、SIGFOX、NB-IOT 等的應用更是非常多元。

在山坡地社區邊坡利用 LPWAN 的各種終端監測裝置，將大量感測器的監測數據及現況，先回傳基地站址，再統一傳輸至管理平台進行分析、管理或通報，以期能夠在超過警戒值時儘速採取防災行動。一般社區範圍內有數多處邊坡皆須進行監測，如能在具有電力供應及網路通訊處設置基地站，例如社區辦公室，再將所有感測器監測訊號傳回基地站，由通訊網路上傳至雲端平台，便可大幅度降低過往使用數個電信門號所衍生的費用。

如能透過此新一代的無線通訊技術，作為本案在智能感測器之資料蒐集通訊平台，將可創新出許多智慧防災系統應用。

本研究目標及效益如下列：

1. 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上，未來應用於邊坡社區可獲得快速適地性成效。
2. 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。
3. 利用市售軟體分析評估，以驗證調整管理值。
4. 建置研究場域1處，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。

5. 持續建置或維護山坡地社區智慧防災監控平台，連結納入過去之「山坡地社區建築管理履歷資料庫平台」，以利應用。

表 1.1-1 全臺重大順向坡滑動致災歷史事件簿(紀宗吉 2010)

地點	發生日期	地層／岩性	滑動面	地層 傾角	誘發 因素	災情
中山高速公路 八堵交流道	63.09.28	南港層厚層砂 岩夾薄層頁岩	頁岩	30°	豪雨	36人罹難
中山高速公路 汐止收費站附 近	66.09.23	南港層厚層砂 岩夾薄層頁岩	頁岩	25°	降雨	交通中斷
汐止林肯大郡 社區	86.08.18	大寮層砂頁岩 薄互層	頁岩	29°	颱風 豪雨	民舍100 戶損毀28 人罹難
基隆市健康博 士社區工地	87.08.17	大寮層／砂頁 岩薄互層	頁岩	30°	連續 降雨	2人受傷
草嶺山	88.09.21	卓蘭層與錦水 頁岩砂頁岩互 層	頁岩	12至 15°	921 地震	36人罹難
九份二山	88.09.21	樟湖坑頁岩	頁岩	24°	921 地震	39人罹難
左鎮326電塔	88.07.29	崎頂層砂岩夾 泥岩	泥岩	25°至 30°	連日 豪雨	全臺停電 數星期
新店北宜路19 公里路段	90.06.07	石底層層狀砂 岩	砂岩	45°	連續 降雨	5人罹難
內湖碧山路	90.09.18	五指山層厚層 塊狀砂岩	砂岩	38°	納莉 颱風	4人罹難
國道3號七堵段 3.1公里	99.04.25	大寮層砂頁岩 互層	頁岩	12°至 15°	地下 水	4人罹難

## 第二章 文獻回顧與研究區域概述

### 第一節、人工邊坡致災原因回顧

臺灣有 70% 以上的土地屬於山坡地，其中山坡地之定義根據「山坡地保育利用條例」第三項規定，指標高在 100 公尺以上者，或標高未滿 100 公尺，但平均坡度在 5% 以上者。隨著經濟發展、人口成長及都市擴張等情況下，山坡地的開發已成為當前社會發展的趨勢。但臺灣位於板塊交界帶，由於板塊運動相對頻繁，造成地質構造複雜且破碎，再加上雨量豐沛且颱風事件頻繁，因此便容易發生坡地災害。為確保邊坡穩定性，會利用人工構築之擋土或護坡設施等用以保護邊坡，目前國內尚無對人工邊坡明確定義之法令，但「水土保持技術規範」及「建築技術規則建築設計施工編山坡地建築專章」中皆有對擋土牆進行定義，而擋土牆為人工邊坡的其中一種形式。臺北市大地工程處對於人工邊坡的定義為，經過人為挖填整地所形成且具有擋土或護坡設施之邊坡，包含噴凝土護坡、型框護坡、土/岩釘護坡、噴植護坡、打樁編柵護坡、重力式擋土牆、加勁擋土牆、三明治擋土牆、乾砌石擋土牆、漿砌石擋土牆、壘式擋土牆、懸臂式擋土牆、扶壁式擋土牆、半重力式擋土牆、混凝土版樁式擋土牆、排樁排土牆、背拉地錨等。

過去數十年間，每逢颱風豪雨往往會發生坡地災害事件，造成道路中斷或民眾財產損失，甚而導致更嚴重的災情。以下針對近年的坡地災害事件進行整理如下：

- (1) 2018/06/19 連日大雨，在南投國姓鄉，位於中潭公路旁發生嚴重的邊坡崩塌，原先之擋土牆已破壞，一共 7 戶緊鄰此邊坡之民宅受到影響。河川局先派人以帆布覆蓋避免擴大，等雨停後進行後續整治。
- (2) 2017/07 尼莎颱風與海棠颱風接連登陸台灣使南部山區與平地出現強烈降雨，造成許多道路邊坡坍方令道路中斷，主要災情分佈在台 7 線、台 8 線、台 9 線、台 18 線、台 20 線、台 21 線、台 26 線等。
- (3) 2016/10/09 受到連日豪雨的影響，新北市汐止區水源路二段 72 巷鄰近房屋之邊坡產生滑動，造成地基掏空。影響 6 戶民宅，總計疏散 34 人，所幸無人受傷受困。同日基隆市獅球路 37 巷 19 號民宅亦有相同情況發生。



- (4) 2016/09 中度颱風梅姬接在強颱莫蘭蒂與中颱馬勒卡後直接侵襲台灣，其夾帶的強大風力與雨勢為台灣地區帶來嚴重災情。坡地災情主要為高雄燕巢中民路 61 巷的民宅以及高雄市旗山區後厝巷的民宅被土石沖毀，同時也造成許多道路因邊坡崩塌而中斷。
- (5) 2015/08 蘇迪勒颱風為 2015 年對臺灣影響最大的颱風事件，其為北部地區帶來強烈降雨。造成多處道路災情與邊坡崩塌，其中以新北市烏來、新北市新店、新北市三峽最為嚴重。
- (6) 2010/04/25 國道 3 號 3.1K 南下邊坡發生崩塌，為順向坡地層向下坡滑動造成之災害，造成 4 人死亡，為近年最重大的順向坡滑動災害之一。其上層厚砂岩風化嚴重、具豐富的垂直節理、容易透水，而下層之頁岩透水性較差，以致於兩岩層界面處含水量較高，岩層界面處因而摩擦力降低導致滑動。

除了上述坡地災害外，2013/12/27 位於新北市新店區的某社區後方擋土牆亦發生破壞，如圖 2.1-1，對居民的生命財產造成威脅，其原因可能擋土結構之排水設施與地錨疏於維護，受連日降雨(如圖 2.1-2)影響，雨水持續入滲至背填土區，因而造成崩塌。



圖 2.1-1 某社區擋土牆崩塌

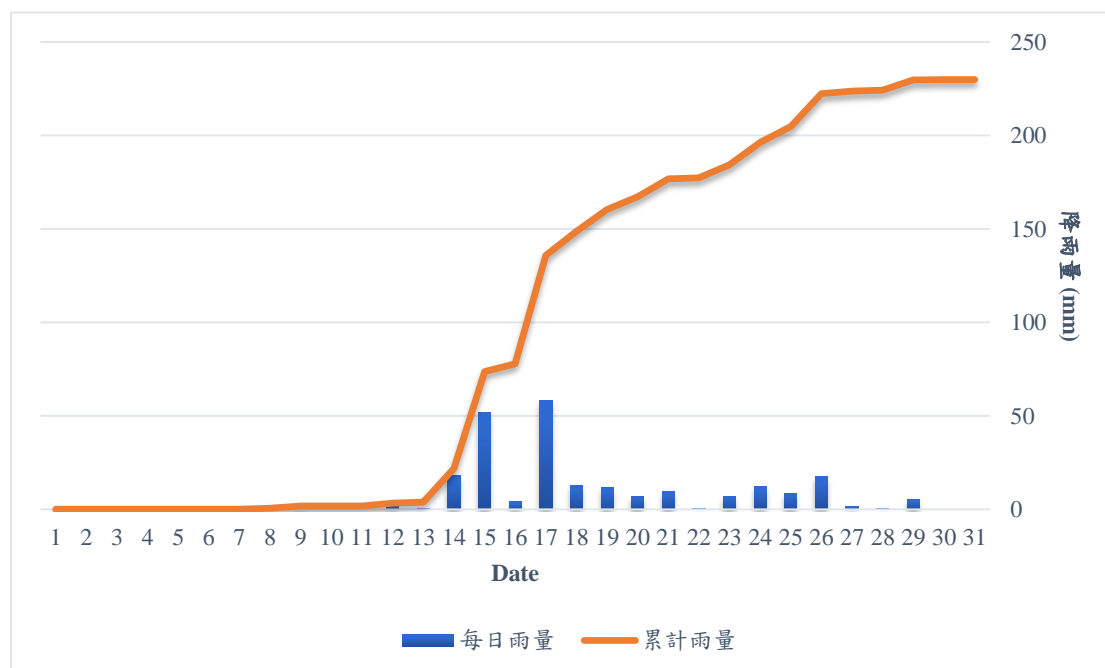


圖 2.1-2 達觀鎮社區雨量圖

由上述各事件可知，降雨是觸發坡地災害發生最主要的原因，而不論是大型崩塌或是規模較小的擋土牆破壞，皆可能會對民眾產生影響，甚至威脅到民眾的生命財產。目前針對降雨驅動的坡地災害，大多使用雨量作為主要警戒指標，但對應各坡地之地質條件、擋土設施、排水設施等情況有所不同，防災警戒行動應回歸到人工擋土結構之位移變化趨勢，透過各感測器進行即時監測，掌握人工擋土結構在觸崩因子作用下的滑動徵兆。本研究藉由對於擋土設施位移情況、既有裂縫變化情形、背填區土壤含水量變化等的即時監測數據作為警戒指標，以此達到更好的預警效果。

## 第二節、人工邊坡監測器

根據中華民國大地工程學會-山坡地監測準則(2016)建議，山坡地監測儀器種類繁多，包括量測氣候、水文、邊坡位移及構造物應力或變形等各類儀器。其量測所得之物理量不同，於不同型態邊坡災害之適用性亦有所不同，監測系統規劃時應根據研判之可能災害類型加以選擇。

監測儀器設備的選擇，應單純而不複雜、能在所埋置的監測環境中有最好的耐久性、對氣候溫度、溼度的變化有最小的敏感性、材料零件不致因施工機具、水、塵土或其他化學作用之影響，依然能夠正常運作等之特性者為佳。相同監測儀器種類，其精度、重複性、量測範圍、適用溫度等可能有所差異。監測系統設計者應先依據山坡地之特性，研判山坡地環境及待測物理量可能分布範圍，據以選擇最適之儀器規格。而對於採自動監測之電子式儀器，亦需考量感測器、資料擷取設備、資料傳輸設備之耗電量。

如邊坡發生不穩定時，將使得構築於邊坡上之構造物應力改變、變形或傾斜，因此可加以監測，研判邊坡之穩定性。

在前期計畫(108年)中，研發並於坡地社區現場設置了整合型感測器(圖 2.2-1 與圖 2.2-2)，其配置可依照監測項目所需之感測器以及通訊器材所需之天線形式進行調整，以安全簡約為原則，感測器也採用各界長年運用於邊坡安全監測，降低建置成本供一般坡地社區可接受，更重要的是技術以及穩定性有較佳的表現，測試成果看來相當可行。

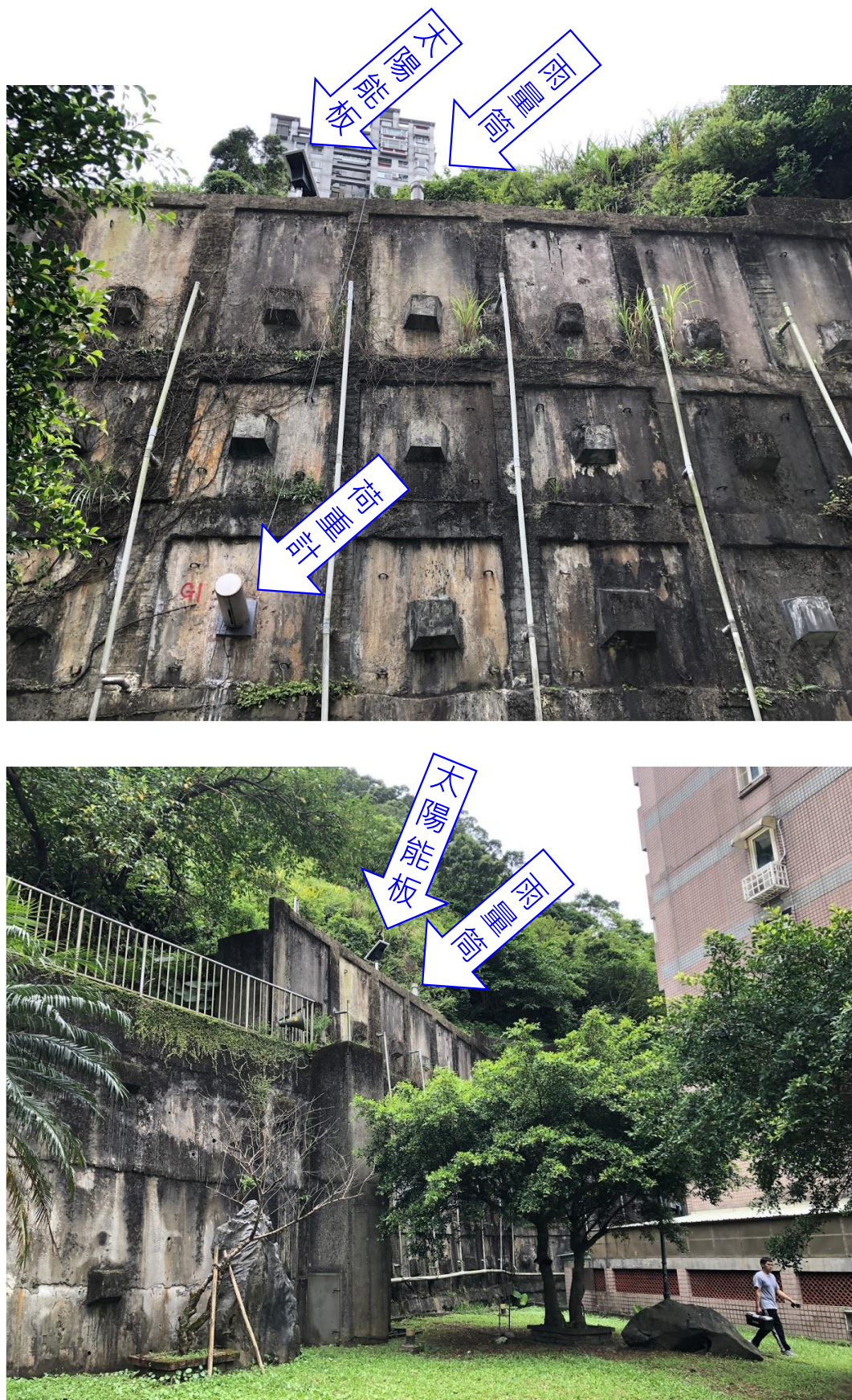


圖 2.2-1 現場監測設備裝設完畢後照片



圖 2.2-2 現場監測儀器裝設完畢後照片

以下針對本計畫設置之感測器進行簡要說明：

1. 構造物傾斜計(Tiltmeter)：安裝於擋土構造物或建物之表面，用以監測擋土牆或建築結構體，因邊坡變位導致構造物產生之傾斜變化情形。構造物傾斜計型式可分為盤式及電子式二類型。

(1) 盤式傾斜計：將傾斜觀測盤安裝於待測之構造體表面上，傾斜觀測盤上具有四個外凸銅柱，監測方式為以人工方式攜帶測傾儀量測，測傾儀需確實倚靠銅柱，以進行四個方向之傾斜量監測。

(2) 電子式傾斜計：以電子感測原件製作之測傾儀器，一般於自動化監測系統使用。測傾感測器之型式甚多，例如電漿式、振弦式、MEMS等，不同感測器型式之量測範圍、精度、反應時間、功率等規格均不相同，設計者需依據推估構造物之可能傾斜變化量、資料擷取系統及電源供應系統等綜合考量。本案中分別以電子式雙軸傾斜儀與三軸加速度計進行差異變位量之推估依據。

2. 裂縫計(Crackmeter)：安裝於構造物之裂縫二端，以監測裂縫寬度變化。

裂縫計型式可分為機械式及電子式二類型。

3. 水分計：以電容式水分感測器為例，此型感測器由三個電極所組成，其功能就像是一個電容器。量測時插入土壤中，四周土壤形同電介質，利用振盪器去驅動電容器產生一個正比於土壤介電常數的訊號。由於水的介電常數大於土壤礦物質及有機質，因此含水量的變化可透過感測電路進行立即性的偵測。量測之單位為體積含水量VWC%(Volumetric Water Content)，VWC代表一定體積的土壤中水與土壤的體積比(%)，在飽和狀態下相當於土壤孔隙所佔的百分率。此型感測器使用簡便，不需要太多維護工作，配合記錄器能長期監測、記錄土壤水分變動的趨勢。

4. 雨量計：雨量為目前國內邊坡防災預警工作中，最容易取得之管理值，可讓社區居民直接有感。圖2.2-3為預定裝設之雨量筒規格、照片與搭配水壓變化成果展示示意圖。將以市售之低成本輕量化高耐候性(塑鋼材質)之雨量筒，作為未來推廣給社區之首要安裝監測儀器。

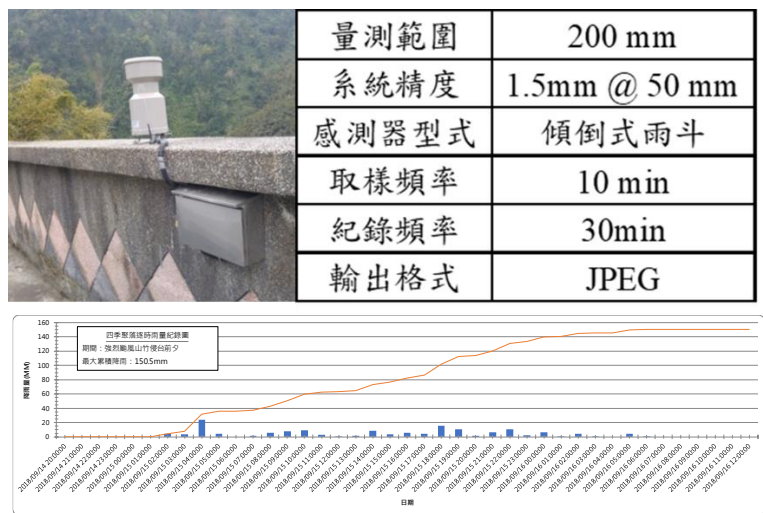


圖 2.2-3 本研究採用之雨量監測系統與成果示意圖

5. 水壓計：地層中超額孔隙水壓之消長為邊坡穩定之主要因素之一，故掌握地下水頭之變化為邊坡監測之重要課題，因此本研究規劃於既有之水位觀測井安裝全自動連續自記式水壓計。圖2.2-4為本計畫採用之水壓計、模組與之規格。



圖 2.2-4 本研究採用之自動化連續記讀水壓觀測計模組

6. 地層變化監測：主要用於量測邊坡鑽孔中水平及垂直位移，其原理為將感測器按照一定間距排列連成一串，經由滑輪固定於傾度管中，精度約為 $\pm 0.01$  ( $\pm 2$  arc sec)，如圖2.2-5所示，而量測成果如圖2.2-6所示。



圖 2.2-5 定置型傾斜儀

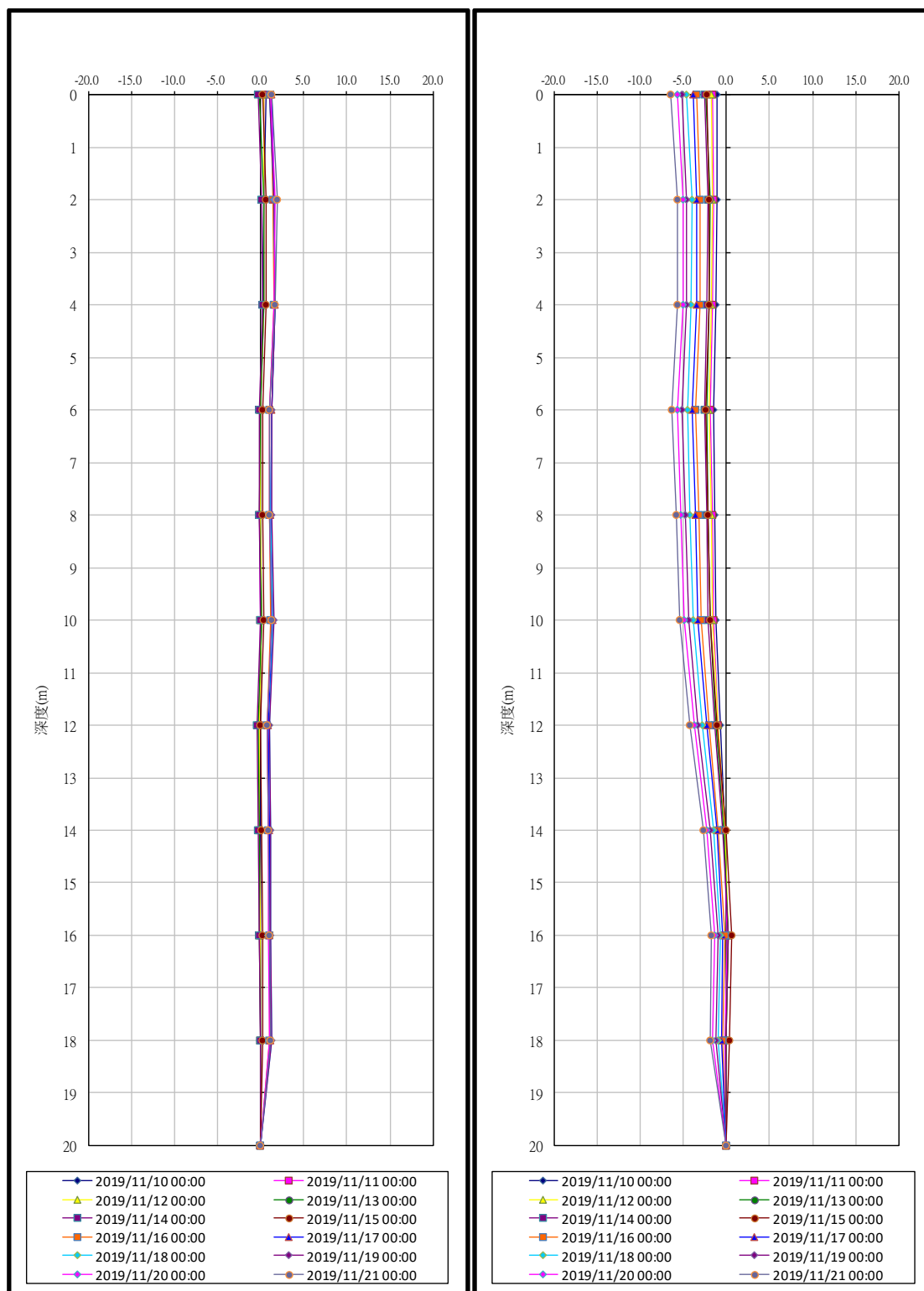


圖 2.2-6 自動量測傾度管紀錄



### 第三節、無線傳輸系統技術

隨著資訊及通訊技術(Information and Communication; ICT)的發展，無線監測網域(Wireless Sensor Network；WSN)，指在場域內分散佈建特殊功能的感應及傳輸元件，用來監測和記錄環境的現況資訊，並將資料透過通訊技術蒐集到遠端伺服器來進行分析、判斷及反應，一直都是國內外相關產官學研界積極投入研究發展的領域，早期希望各種監測設備所蒐集之資訊能透過不同的無線平台傳輸，如 Zigbee、WiFi、2G、3G 或 4G 等，但多受到傳輸距離、消耗電力及傳輸費用之限制，而無法在廣大的區域來佈建。

近 2~3 年來，新發展的低耗能長距離廣域無線網路技術( Low Power Wide Area Network；LPWAN)如圖 2.3-1，包含 LoRa、Sigfox、NB-IoT、Weightless 等無線通信技術皆已逐漸成熟，全球的物聯網與通訊廠商也積極廣設各種跨域或獨立的 LPWAN 基地台，將長距離、高覆蓋率、低功耗、低成本優勢與高端傳感器和智慧裝置結合，開始提供相關創新服務。因此，如能透過此新一代 IoT 通訊技術加以實證，將可大幅擴展物聯網的應用情境，包含應用於各種生活需求，改善生活環境。



圖 2.3-1 LPWAN 廣域物聯網服務之願景模擬（資料來源：本團隊整理）

本計畫主持人郭治平於 2018 年執行水保局委託之「長距離低功耗廣域網路連結物聯網於監測資料傳遞應用上最佳化配置研發」，探討 LoRa 在坡地監測之適用性，並以 RSSI(接收訊號強度指數)、SNR(訊號雜訊比)、資料漏失率與耗電量關係進行評估。實驗場址包括南投縣信義鄉神木村土石流觀測站與宜蘭縣大同鄉四季聚落絕大部分點位可獲得穩定好通訊效果。結

果發現：(1)本次研究實驗成果中，資料漏失率絕大多數於 5% 以內，研判為受環境干擾所致；(2)因 LoRaWAN 資料傳輸至雲端之品質受制於與基地台間之通訊，部分無法即時上傳之資料仍需仰賴當地儲存於如記憶卡之媒體，並於事件後取出；(3)在通訊路徑上有 1M 厚之混凝土塊障礙物時，仍有良好通訊品質；(4)在空曠處至少可達 2.5KM 之通訊效果，但需有提供反射訊號之地形為佳；(5)LoRa 耗電量極低，僅約 0.005W，已於本階段進行壓力測試。以 5 秒 1 次的監測頻率，約 6.8 天從 3.34V 掉到 2.50V，因保護作用而關機。反推一般通訊頻率約 10 分鐘一次，則電力滿載後開始服務約可持續 816 天。上述成果說明，雖然 LoRa 於國外文獻號稱傳輸距離可達 15~20KM，但在國內複雜之地形與訊號干擾條件下，仍須謹慎採用；然而若將地形障礙、訊號干擾因素排除，將可大量省下通訊用電。摘錄施作狀況與成果，分別如圖 2.3-2~2.3-3 與表 2.3-1~2.3-2 所示。

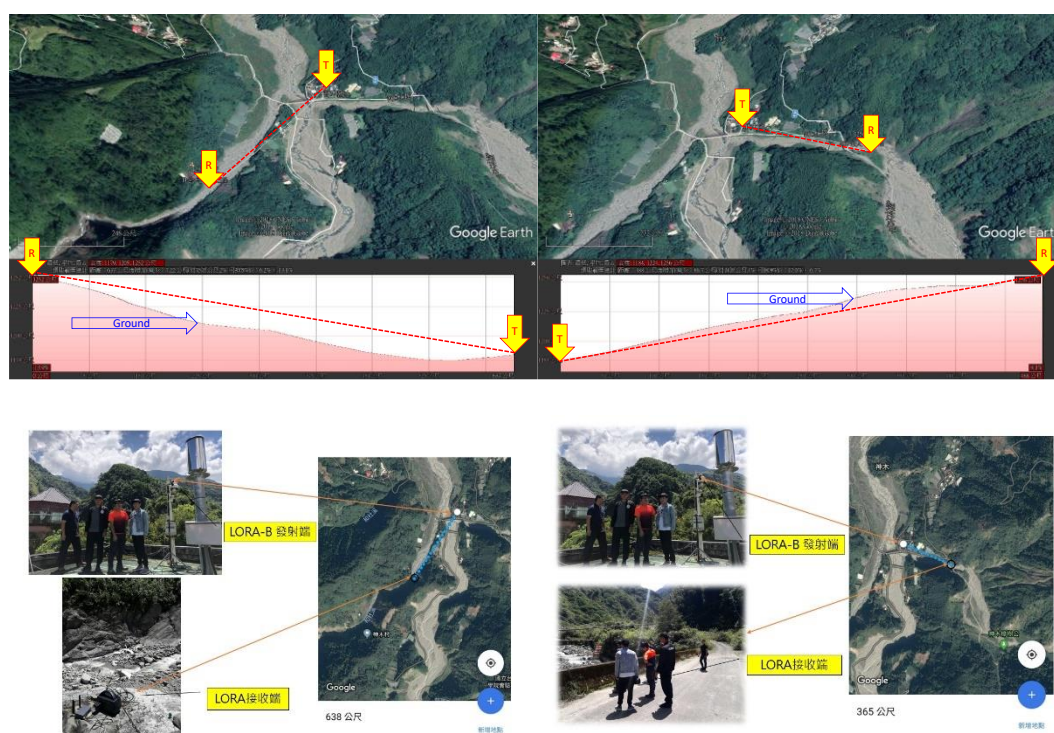


圖 2.3-2 於南投縣信義鄉神木村土石流觀測站進行 LoRa 傳輸試驗狀況(水保局 2018)

表 2.3-1 於南投縣信義鄉神木村土石流觀測站進行 LoRa 傳輸試驗成果(水保局 2018)

點位	施測距離(m)	通視性	RSSI(dBm)	實收資料數	漏失率(%)
和社溪	638	可	-100 ± 15	146	2.19
出水溪	365	不可	-95 ± 15	46	0

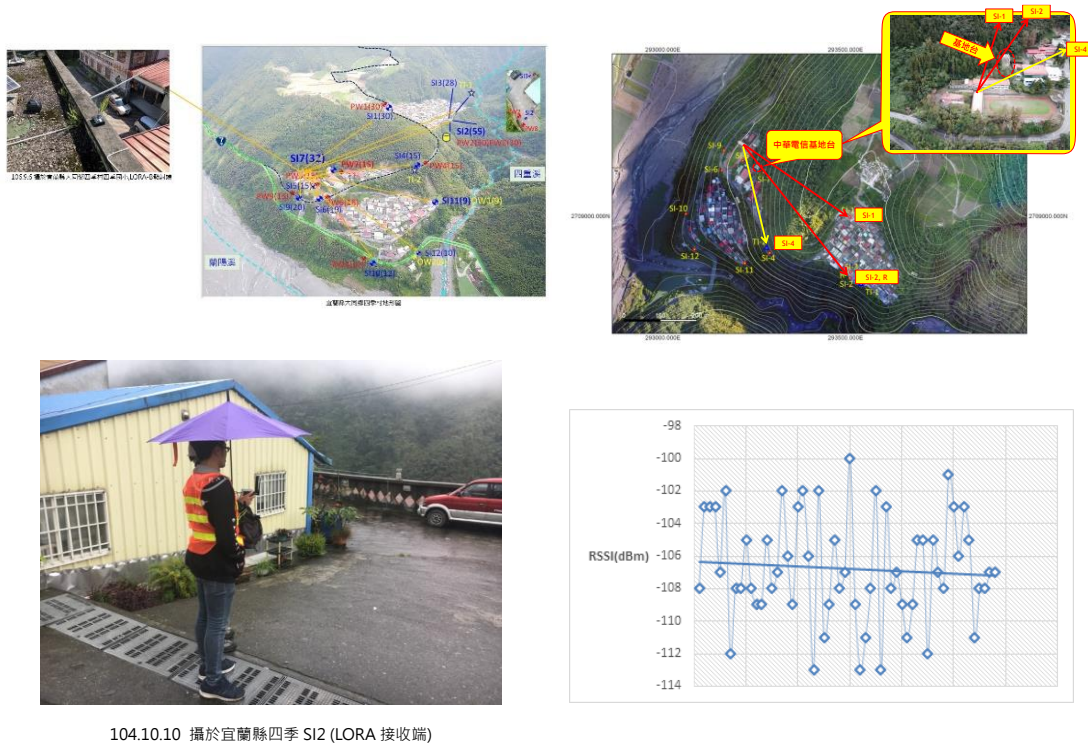


圖 2.3-3 於宜蘭縣大同鄉四季聚落進行 LoRa 傳輸試驗狀況(水保局 2018)

表 2.3-2 於宜蘭縣大同鄉四季聚落進行 LoRa 傳輸試驗成果(水保局 2018)

孔號(位置)	與LORA-B直線距離(m)	晴天成功率	陰天成功率	雨天成功率	小雨成功率	大霧成功率
SI1	360	71.79%	75.68%		76.12%	90.91%
SI2、R	440	83.15%	100.00%		100%	
SI3	440	87.88%	81.09%		100%	100%
SI4	290	100.00%	100.00%		100%	
SI5	30	100.00%	100.00%	100.00%		
SI6	90	100.00%	100.00%			
SI7	90	95.24%	100.00%	100.00%		
SI9	50	100.00%	100.00%			
SI10	145	100.00%	100.00%			
SI11	310	96.88%				
SI12	310	100.00%	100.00%			
T1	550	100.00%	100.00%			100%
平均		94.13%	95.66%	100.00%	93.41%	96.87%

本計畫共同主持人鄧福宸博士於 2018 年執行建研所委託之「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」，採用 Weightless 提供低功耗廣域網的無線連接技術，傳輸人工邊坡智能感測器至雲端系統，於位於臺北市文山區明興里之山坡地社區中的兩處人工邊坡進行試驗。圖 2.3-4 為施作場址狀況，顯示傳輸路徑受地形與高層結構物阻礙狀況下仍可順利傳輸。實際上 Weightless 已廣為應用於都會區之精密廠房中，由於首次應用於野外，從建置至今已經遭遇各種不同之問題，包括天線形式、軟體調整與受潮等。由於提升耐候性與穩定性所需開發成本較高，於野外進行防災監測之應用尚需時間進行後續研發。



圖 2.3-4 台北市文山區明興里測試點相對位置關係與紀錄(建研所 2018)

由上述初步成果可看出，未來在實際應用上如何克服佈設障礙，將是本研究之關鍵課題。另外在都會區中由於訊號可以藉由不斷反射而達到遠距離傳送，因此在野外無法通視時，如何善用橋接技術，也是本次研究之重點。

對於本研究而言，無線傳輸技術首要難題為建築物屏蔽，如圖 2.3-5，人工擋土結構前方大多都有保全對象(如社區民宅等)，因此感測器之無線傳輸訊號便可能受到障礙物屏蔽，而造成訊號無法傳輸。此外接收處需要有穩定電源，而監測器皆裝設於人工邊坡上，兩者間除存在一定距離外，更存在高程差異。如圖 2.3-6 所示之山坡地社區，便顯示了高程落差、建物屏蔽、

佈點位置受限之困難。因此良好的位置選擇及傳輸技術的優劣，遂成為智能感測器以無線傳輸的關鍵。

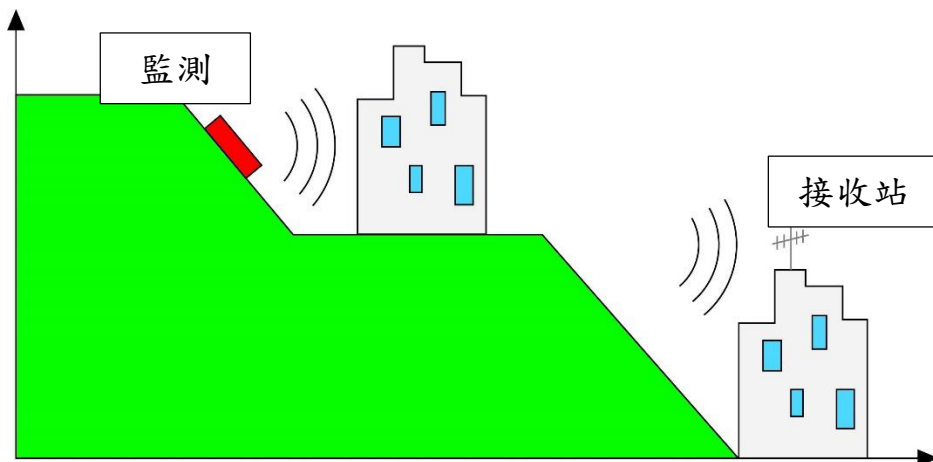


圖 2.3-5 訊號傳輸示意圖



圖 2.3-6 山坡地社區(資料來源：鏡傳媒)

## 壹、低耗能長距離廣域無線網路技術(Low Power Wide Area Network, LPWAN)

對應於物聯網時代大量數據傳輸需求之應用情境，低耗能長距離廣域無線網路系統(Low Power Wide Area Network, LPWAN)即為近年物聯網新發展的重點技術之一，現今已廣泛應用在智慧工廠、城市、社區、農漁牧業等領域。本團隊歸納主要具備以下 5 大優勢如圖 2.3-7，且與其他無線技術比較如圖 2.3-8。

1. 低成本：適合大量應用，減少期初建置與營運成本。
2. 大範圍：無需繁複的基礎建設，具更強的穿透力與更遠的傳輸距離。
3. 低耗電：減少電池能量消耗，以增加裝置或感測器的使用時間。
4. 非授權頻率：適用於全球各個國家的佈建。
5. 頻寬費低：使用頻寬通訊費低廉。

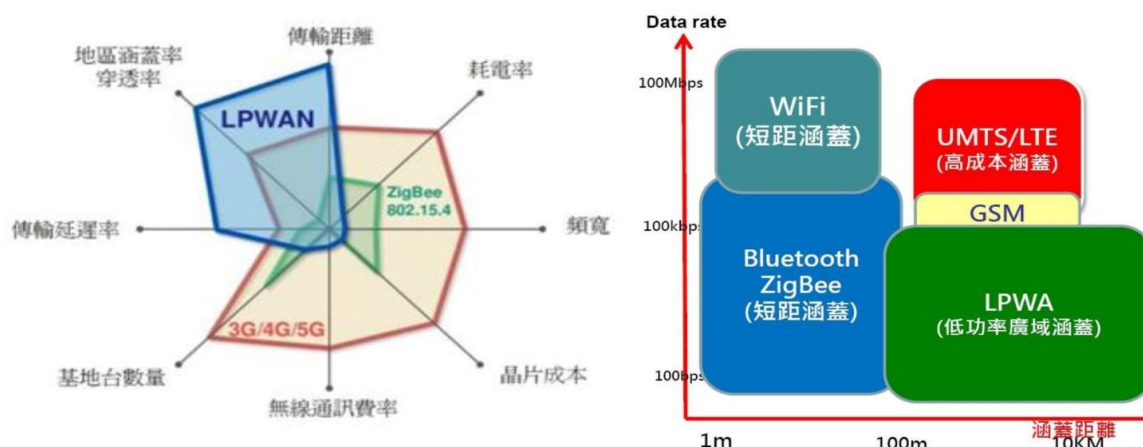


圖 2.3-7 LPWAN 廣域物聯網路之優勢及 IoT 頻譜分析

(資料來源：本團隊整理)

無線技術	2G	3G	LAN	ZigBee	Low Power WAN
傳輸距離 (I=室內, O=室外)	N/A	N/A	O: 300公尺 I: 30公尺	O: 90公尺 I: 30公尺	O: >15公里
TX 電流消耗量	200mA- 500mA	500mA – 1000mA	50mA	35mA	18mA
待機電流消耗量	2.3mA	3.5mA	NC	0.003mA	0.001mA
電池 2000mAh (LR6)	4-8小時(com) 36天(idle)	2-4小時(com) X小時(idle)	50小時(com) X小時(idle)	60小時(com)	120小時(com) 10年(idle)

圖 2.3-8 LPWAN 具長距離低耗能之傳輸特性(資料來源:正文科技)

## 貳、LPWAN 主要通訊技術分析

為因應物聯網裝置省電、長距離傳輸資料的需求，LPWAN 以提供可靠的網路傳輸功能，將裝置蒐集來的資訊整合到物聯網的資料管理中心，可說是當前最具體萬物聯網的實現。本計畫列舉 LoRa、Sigfox 及 Weightless 等三項 LPWAN 發展之主要技術說明如下：

### LoRa

LoRa 為美國半導體製造商 Semtech 於 2012 年併購擁有 LoRa IP 的法國公司 Cycleo，開始整合無線通訊技術平台，並依此基礎與 IBM 共同合作完成規範，目前由 Semtech、IBM、Cisco 等科技大廠為核心組成低功耗無線電聯盟(LoRa Alliance)來推動其相關技術發展，在全球擁有 500 多家公司會員，屬當前受物聯網產業支持的 LPWAN 技術之一，也是物聯網時代最需要的基礎網路。

LoRaWAN 是用來定義網路的通訊協議和系統架構，LoRa 則是提供長距離通訊連結的實體無線層。LoRaWAN 協議和網路架構會直接影響節點的電池壽命、網路容量、服務品質、安全性和各種網路應用。LoRa 是將資料調變成電磁波的技術，使用的傳輸方法稱為「線性調頻展頻技術」(Chirp Spread Spectrum)，主要是為解決物聯網大量連接無線通訊需求、工作在 1GHz 以下非授權頻譜的私有低功耗廣域接入網路技術。相關 LoRaWAN 物聯網使用頻譜說明如下：

#### (1) LoRaWAN 在不需授權的無線頻譜中運行

開放任何人都可以使用無線電頻率，而不需要為傳輸支付極高的費用，類似於 WiFi 所使用全球的 2.4GHz 和 5GHz ISM 頻段，任何人都可以設置 WiFi 路由器和傳輸 WiFi 信號而無需許可證與許可，屬於免照頻段(Unlicensed Band)頻譜。LoRaWAN 基地台如圖 2.3-9 所示。

#### (2) LoRaWAN 使用較低及較寬的射頻頻率

頻率範圍更寬的事實也帶有更多國家特定的限制，ISM 頻譜的使用頻段和法規要求因使用國家區域而有所不同，常見的兩種頻率分別是歐盟用的 868MHz 與美國的 915MHz。雖然 LoRaWAN 試圖在世界各個不同的地

區儘可能一致，但國情不同、規定不同也促使 LoRaWAN 得以在不同區域採用不同的頻帶。

### (3) 台灣頻段 AS 923 920~925MHz

台灣國家通訊傳播委員會(NCC)規劃將無線射頻辨識(RFID)器材操作頻段由 922~928MHz 修正為 920~928MHz，並增訂低功率廣域物聯網器材(920~925MHz)、以及低功率海上活動示標器(926~928MHz)的使用規定，其頻段的規格與美國相同，不同之處在於其上行頻率高於美國頻段，其下行鏈路信道與 US902~928 MHz 頻段相同。



GloT Gateway	
Host Interface	10/100Mbps Ethernet
Wireless Frequency Band	922 ~ 928 MHz ISM
Number of Channels	Up to 16 concurrent channels
Operating Voltage	48V ± 10% (POE adapter)
Transmit Power	0.5W (up to 27 dBm)
Receive Sensitivity	-142 dBm
Antenna Type	N-Type connected antenna
Operating Temperature	-20°C ~ 60°C
Modulation	Based on IEEE 802.15.4g
Management	TR069
Dimensions	L:230 x W:200 x H:68mm
Security	AES 128
Certification	FCC, NCC

圖 2.3-9 LoRaWAN 基地台規格特色

## SIGFOX

來自法國的 Sigfox 也是種低功耗廣域網路規範，該廠商於 2009 年創立開發無線通訊技術，並從 2012 年開始建立一個全球共同的 IoT 網路，再透



過各地特許的網路營運商 SNO(SIGFOX Network Operator)推展服務，原則上單一地區由單一業者負責(例如台灣特許營運商為 UnaBiz)。

透過 Sigfox 超窄頻傳輸技術(Ultra Narrow Band)，與 LoRa 同樣在免執照 Sub-GHz ISM 頻段上傳輸，取代蜂窩通訊技術(cellular technology)，雖然採用非授權頻譜，但是需要仰賴廠商搭建的基地台，如此一來便能在成本與通訊品質上取得平衡，此外也提供 SIGFOXCloud 雲端系統整合服務，能夠降低使用者開發程式、存取資料的複雜度。服務架構圖如圖 2.3-10。

相較於其他 LPWAN 技術，Sigfox 是傳輸速率最低的技術，速度僅 100bits/s，且每個裝置一天最多只能傳送 140 則訊息，每則訊息最大的容量為 12bytes。由於降低了資訊傳輸量，因此就能大幅節省物聯網裝置的電力消耗，適用於如電表、水表、路燈控制相關流量回報頻率每小時低於一次的應用。綜整以下 Sigfox 主要技術特性：

#### (1) SIGFOX 需使用廠商基地台

採用 Sub-1 GHz ISM 頻段進行通訊，這種無線電波為運作頻率在 1GHz 以下的工業、科學和醫療專用波段，使用這些頻段相同於 LoRa 無需許可證或費用，只需要遵守一定的發射功率(一般低於 1W)，並且不要對其它頻段造成干擾即可。



圖 2.3-10 Sigfox 服務架構

(基地台由廠商負責佈建，使用者利用 SIGFOX Cloud 雲端服務平台連接至物聯網裝置 資料來源:SIGFOX)

#### (2) SIGFOX 採用較為封閉之運營策略

採用此通訊協定讓每個裝置占用的頻寬較低，因此能在同樣的網路建設下容納更多裝置，這對裝置數量相當龐大的物聯網裝置來說相當重要，能確保基地台能為每個裝置提供穩定的通訊服務。

- SIGFOX對使用其平台的技術生態系統有較為嚴格之限制。
- SIGFOX網路的合作夥伴需要分成大量服務收入。

## Weightless

Weightless為the Weightless Special Interest Group, SIG組織和技術之名稱。提供低功耗廣域網的無線連接技術，專為物聯網而設計，它既可以工作在Sub-GHz免授權頻段，也可以工作在授權頻段。Weightless是一種無線通信協議，用於連接智慧設備到網際網路上，與其他LPWAN計算一樣使用Sub-GHz頻段，低功耗、低速率、通信距離遠等特點。不同於專有或專利的無線連接技術，**Weightless是一個開放的標準**。開放的標準也是Weightless SIG宣傳的一個特點，開放意味著更多的公司或組織可以參與其中，眾多的供應商也可以保證低成本、低風險，並且可以可以持續更新和發展

Weightless有三個不同的架構：分別為Weightless-N、Weightless-P及Weightless-W。Weightless-N屬於單向通訊，是低成本的版本;Weightless-P是雙向通訊版本，通訊效能較好;如果當地TV空白頻段可用，可選擇Weightless-W。ARM支援的Weightless-P頻寬為12.5kHz。

Weightless與歐洲電信標準化協會(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)達成合作協議，該技術未來可能會仿效Wi-Fi，**建立統一的標準和認證體系，將技術和產品標準化、產業化**。

使用非授權頻譜LPWAN標準方面，Weightless的利用效率很高，在相同條件下與LoRa、Sigfox相較，網路訊號覆蓋LoRa最好，但在支援節點數量與頻譜效率部分，Weightless則較LoRa、Sigfox表現更好。與其他LPWAN技術相同，Weightless也強調長距離、省電、支援多節點連結、網路傳輸安全、彈性架構與開放性標準等。其優點如圖2.3-11所示。

目前Weightless SIG中，主要的會員包含ARM、Accenture、Sony等，該技術架構中，支援多項先進網路功能，包含對稱式的上傳/下載(Symmetric DL/UL)、群播/廣播(Multicast/Broadcast)、訊息確認(Message Ack)、電池運作(Battery Operation)、電源控制(Power Control)、定位服務(Location Service)、換手支援(Handover Support)、韌體升級(Firmware Upgrade)等，其他技術並不完整支援的功能，可以提供接近NB-IoT的網路服務品質。

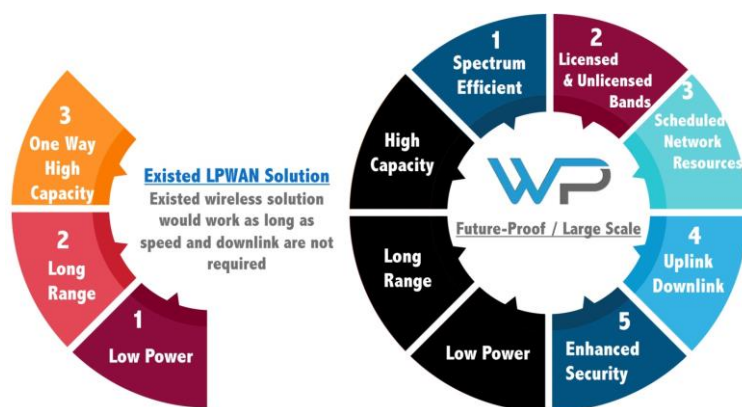


圖 2.3-11 Weightless 的特色 (資料來源:優必閣科技)

### 參、LPWAN 主要通訊技術之比較

目前較受關注的 LPWAN 技術中，大概可以從技術使用的無線電頻段分成授權頻段(License Band)與非授權頻段(Unlicense Band)，使用授權頻段技術為 3GPP 主導的 NB-IoT，採用現有 3G/4G 網路，主要投入為電信營運商與相關設備廠商；而投入並使用非授權頻段技術者，大多為不屬於電信領域的 ICT 廠商。這些主要技術的比較整理如表 2.3-3，而 LPWAN 通訊技術支援服務比較如圖 2.3-12。

表 2.3-3 LPWAN 主要技術比較表

技術協定	主推者	成立時間	佈建國家	基站連接數目	使用頻段	傳輸距離	傳輸速度	技術範疇
Sigfox	Sigfox	2009	17	100 萬個	ISM Band Sub-1GHz	市區 10km 郊區 50km	100bps	終端設備 至前端應用
LoRaWAN	IBM、 CISCO	2015	12	25 萬個	ISM Band Sub-1GHz	市區 3- 5km 郊區 15km	300bps- 50kbps	通訊協定
Weightless	ARM、 NEUL	2015	3	100 萬個	ISM Band Sub-1GHz	5km+(- N) 2km+(- P)	30- 100kbps(-N) 100kbps(-P)	通訊協定
RPMA	Ingenu	2008	25	20 萬個	2.4GHz	4km	8bps-8kbps	通訊協定

								及硬體規格
HaLow	IEEE	2013	NA	~萬個	ISM Band Sub-1GHz	1km	>100kbps	通訊協定
NB-IoT	3GPP	2016	NA	10 萬個	GSM or LTE Band	20km	~50kbps	通訊協定

(資料來源:依據新通訊 2 月號資料重製)

	Symmetric DL/UL	Multicast/ Broadcast	Message Ack	Battery operation	Power control	Location services*	Handover support	Firmware upgrade
LoRa	●	●	●	○	●	●	●	●
UNB/SigFox	●	●	●	○	○	●	●	●
Weightless-P	○	○	○	○	○	○	○	○
RPMA	○	○	○	○	○	●	○	○
Telensa UNB	○	○	○	○	○	○	●	○
LTE Cat-1	○	○	○	●	○	○	○	○
LTE Cat-m1	○	○	○	○	○	○	○	○
LTE NB-IoT	○	○	○	○	○	○	●	○

Legend:  
 ○: Supported | ●: Not supported | ●: Partial support; optional support | ○: Not required  
 \* Location services include paging capability.

圖 2.3-12 LPWAN 通訊技術支援服務比較

(資料來源: Mobile Expert: Mobile and Wide-Area IoT:LPWA and LTE connectivity.2016)

## 肆、NB-IoT 之特色

NB-IoT 的全名為 NarrowBand IoT，顧名思義，就是為物聯網裝置設計的窄頻無線電通訊技術，它是由 3GPP(3rd Generation Partnership Project，第三代合作夥伴計劃，功能為制定國際電信標準的組織)所提出的通訊標準，以目前手機使用的行動通訊技術為基礎，讓透過電池提供電力運作的物聯網裝置，能夠具有長距離通訊的能力，以及保持長續航力的特色。

不同於 LoRa 採用非授權頻譜(Unlicensed Spectrum)，NB-IoT 則是採用授權頻譜(Licensed Spectrum)，兩者主要的差異在於是否需要無線通訊使用的頻段，是否需要經過主管機關分配與授權電信商使用。簡單地說，一般手機使用通訊頻段，就是屬於需要受到管制的授權頻譜，申請執照後才能使用，一般人不能私自架設基地台，而 Wi-Fi 無線網路則屬於非授權頻譜，大家都不需申請即可自行在家中裝設熱點。

由於 LoRa 採用的是非授權頻譜，因此在使用的過程中不會產生相關費用，然而因為 NB-IoT 採用頻率低於 1GHz 授權頻譜，根據 NB-IoT vs LoRa Technology 白皮書的資訊，這種 sub-GHz 頻譜中，每 MHz 的申請成本約為美金 500 萬元，另一方面，因為 NB-IoT 需要仰賴行動通訊的基地台，所以在建置成本上會比較高。

不過也就是因為 NB-IoT 使用授權頻譜，因此訊號比較不會受到干擾，能夠避免在裝置繁多的環境中發生彼此干擾的問題。而且相較於 LoRa 使用的通訊方式為非同步通訊協定(Asynchronous Protocol)，NB-IoT 使用的同步通訊協定(Synchronous Protocol)能夠降低通訊的延遲。

舉個例子來說，LoRa 就像是寄平信，雖然便宜，但是寄達時間比較不能掌握，且有信件可能會遺失，然而 NB-IoT 則像是限時掛號，能夠確保信件能準時寄達。由於 NB-IoT 具有這種服務品質(Quality of Service，簡稱 QoS)的特性，能夠確保資料能正確地傳輸到目的地，因此更適合用於如收銀系統、火災警報等牽涉到金融與安全的應用情境。

## 伍、管理值訂定方面

本工作是很重要的關鍵，透過本計畫有效的擷取事件發生前中後不中斷的監測資料，將有助於訂出最適合在地的管理值，而不是一味仰賴文獻(如表 2.3-4 所示，為當下最常使用之管理值建議表)或僅用經驗訂定。表 2.3-5 為本研究主持人郭治平博士執行水保局委託 103 年寶山潛在大規模崩塌地區監測系統維運與擴充計畫之成果，利用監測期間之大雨事件(麥德姆颱風)所得之監測成果，進行邊坡穩定分析與模擬後，參照如表 2.3-4 之文獻顯示方式，訂定該地區之管理基準值，包括位移量、地下水位、地下水壓以及雨量。圖 2.3-13 為利用三軸傾斜儀連續觀測後，透過事件發生時監測到之數據與推數值模擬後，推算出表 2.3-5 中數值之過程之一。

實際上，本研究案即將進行之邊坡穩定數值分析，為建立不同監測儀器之對應邊坡即將失穩管理值，讓坡地社區管理單位與居民可以有充分的時間進行處置應變，例如尋求相關專業技術人士之協助與評估，及時導入工程治理或管理手段等。

表 2.3-4 位移速率與邊坡穩定性判斷建議表(日本地滑對策技術協會 1978)

變動種別	日變位量 (mm)	月變位量 (mm)	一定方向的累 積傾向	活動性 判斷	摘要
緊急變動	20 以上	500 以上	非常的顯著	急速崩 壞	崩壞型、泥流型
確定變動	1 以上	10 以上	顯著	活潑運 動中	崩積土滑動、 深層滑動
準確定變 動	0.1 以上	2.0 以上	略顯著	緩慢運 動中	粘土滑動、 回填土滑動
潛在變動	0.02 以上	0.5 以上	稍有	待繼續 觀測	粘土滑動、 崖錐滑動

表 2.3-5 高雄寶山聚落(坡地社區)建議之安全監測管理值(水保局 2014)

觀測值 (儀器名稱)	對內		對外	
	綠燈(安全)	藍燈(注意)	黃燈(警戒)	紅燈(行動)
位移量 (傾斜管、 三軸傾斜儀 SAA)	變位速率 < 11mm/月	變位速率 > 11mm/月	變位速率 > 14mm/月	變位速率 > 21mm/月
水位 (地下水水位計)	地下水水位升高 < 4m	地下水水位異常升高 4m	地下水水位異常升高 5m	地下水水位升至地表
水壓 (水壓計)	孔隙水壓 < 278kPa	孔隙水壓 > 278kPa	孔隙水壓 > 347kPa	孔隙水壓 > 520kPa
雨量 (雨量計)	24 小時累積雨量 < 239mm ; 時雨量 < 63.1mm	24 小時累積雨量 > 239mm 或 時雨量 > 63.1mm	24 小時累積雨量 > 299mm 或 時雨量 > 78.9mm	24 小時累積雨量 > 448mm 或 時雨量 > 118mm

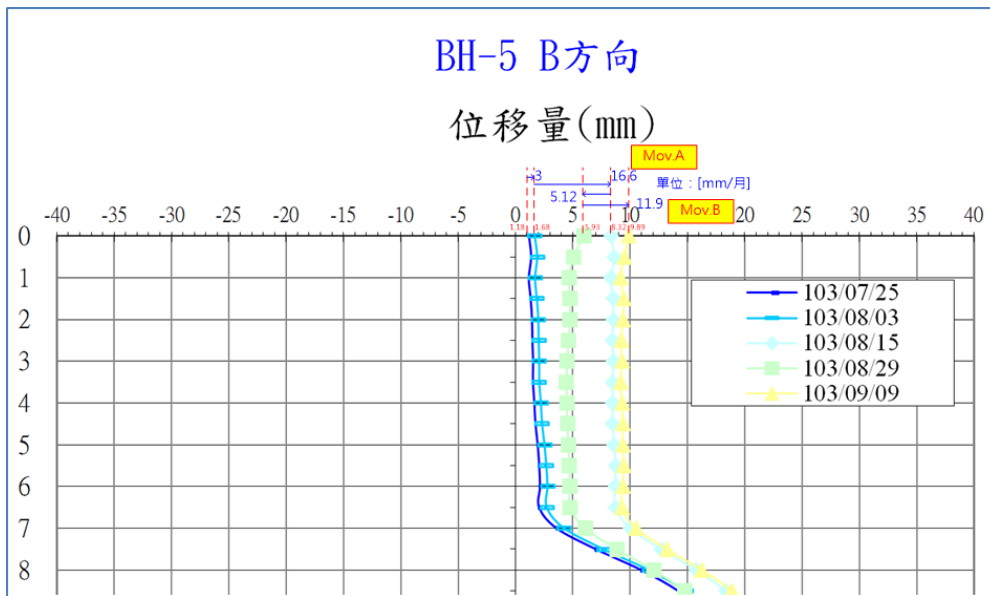


圖 2.3-13 103/07/25~103/09/09 BH-5 孔口變位與變位速率(水保局 2014)

## 第四節、足尺寸試驗

楊錦裕與李咸亨(2004)為探討加勁擋土牆在天然氣候條件下使用不同加勁材對牆面影響之變形行為，因此建置一具高 5M 之大尺寸加勁擋土牆模型，如圖 2.4-1 所示，其規劃設計剖面如圖 2.4-2 所示。而在構築過程中，為確保牆後之回填土方可達到接近實際的緊密程度，須以滾壓機進行夯壓，如圖 2.4-3 所示，此舉亦造成牆體變形，如圖 2.4-4 所示。該研究為國內相當罕見之大尺寸模型實驗，其經驗足以作為本研究之參考，特別是施作過程造成牆體變形之部分。



圖 2.4-1 大尺寸加勁擋土牆模型實驗照片(楊錦裕 2004)

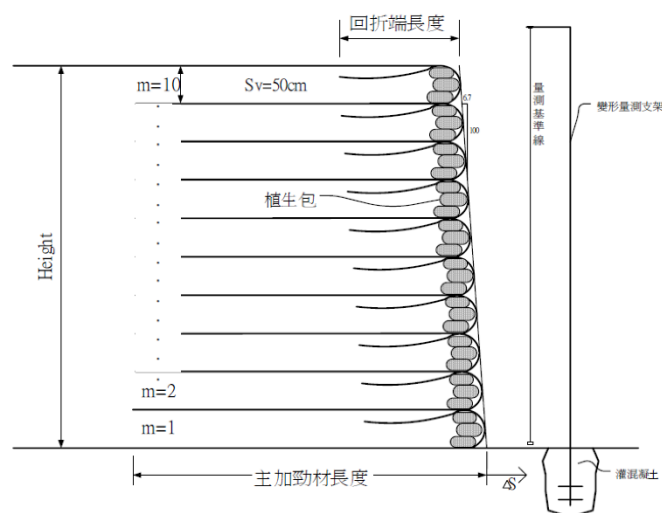


圖 2.4-2 大尺寸加勁擋土牆剖面示意圖(楊錦裕 2004)





圖 2.4-3 大尺寸加勁擋土牆構築過程所需之大型機具滾壓(楊錦裕 2004)

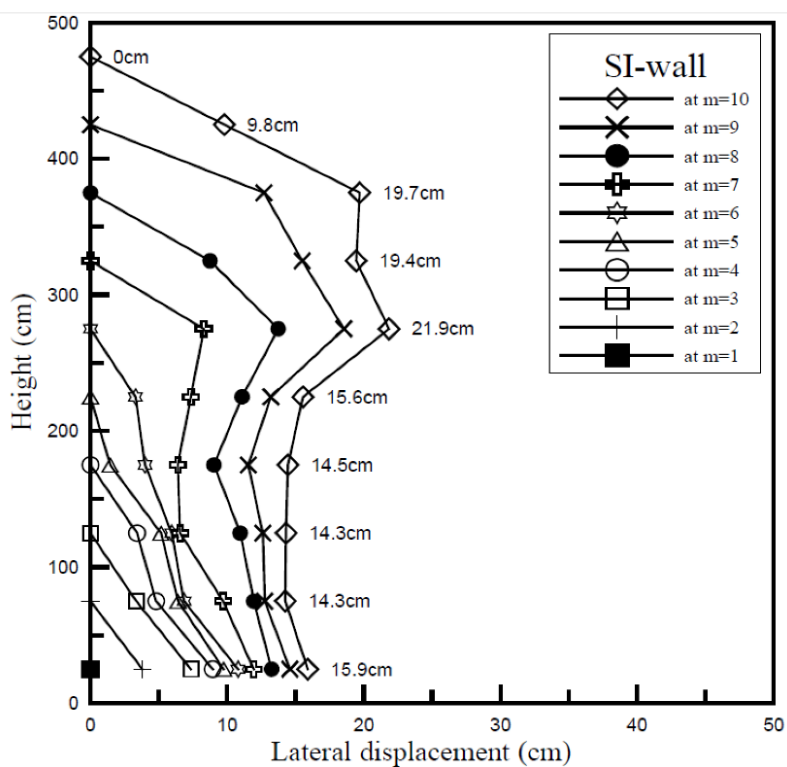


圖 2.4-4 大尺寸加勁擋土牆構築過程即已開始變形(楊錦裕 2004)

## 第五節、研究方法及進度說明

本研究之執行步驟與流程如圖 2.5-1，已完成之工作項目說明如下：

1. 完成五次工作會議。
2. 109 年 3 月 26 日至明新科大校園現勘挑選實驗場址。
3. 109 年 4 月 27 日現勘確認實驗場址。
4. 109 年 4 月 27 日完成整合型監測器整合研發與完成並進行測試。
5. 109 年 5 月 8 日實驗場址進行地球物理探測。
6. 109 年 5 月 16 日實驗場址進行地質鑽探。
7. 109 年 6 月 15 日實驗場址進行部分監測儀器安裝與測試。
8. 109 年 7 月 2 日進行第一次專家學者會議。
9. 109 年 9 月 23 日進行第二次專家學者會議。
10. 109 年 11 月 26 日進行推廣說明會。

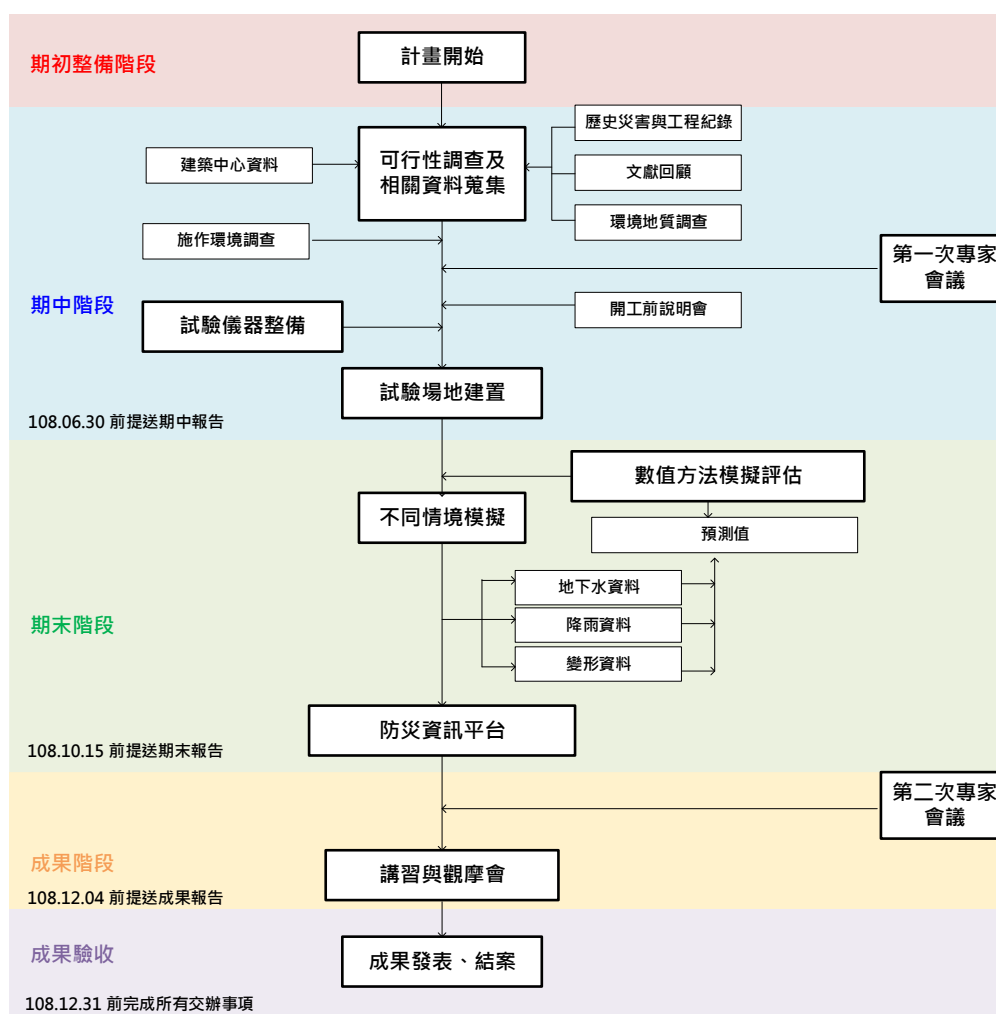


圖 2.5-1 計畫預定執行流程圖



## 第三章 大尺寸試驗模型之建置

### 第一節、研究場域概述

本計畫之研究區域選定位於明新科技大學之後停車場進行(圖 3.1-1)，以下對於此區域的氣象、地質、社區概況及監測之人工邊坡等進行說明。

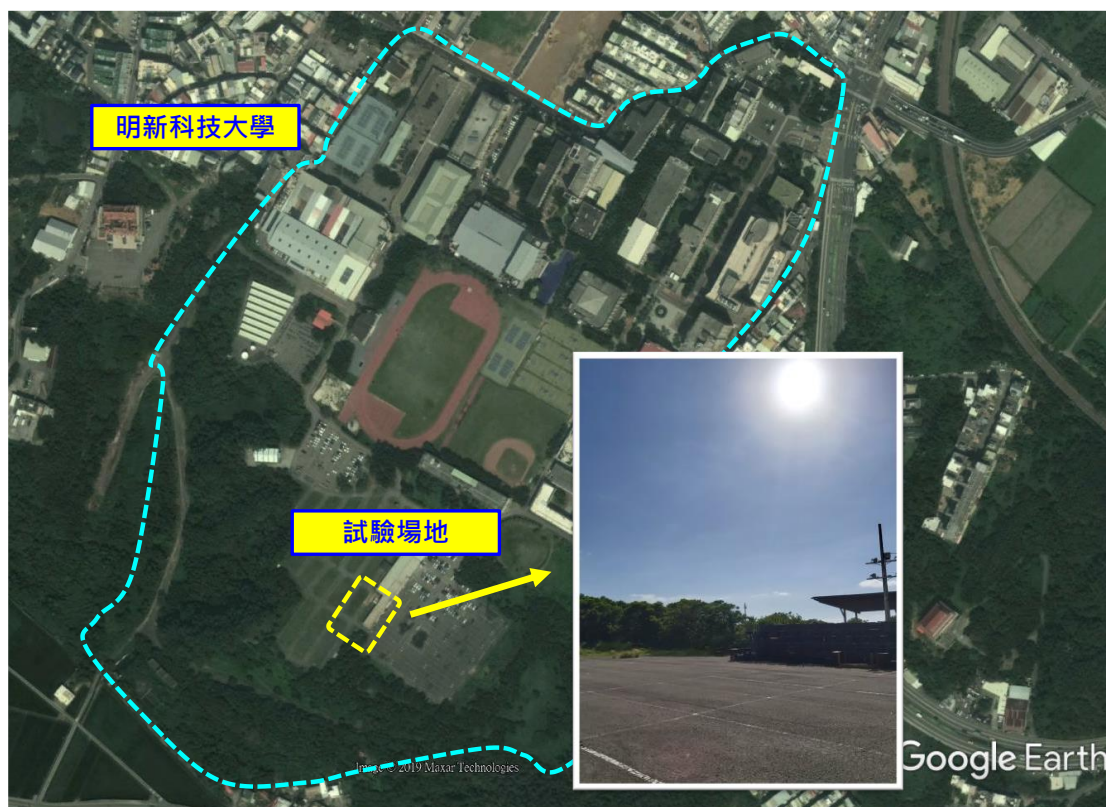


圖 3.1-1 實驗場域位置圖

### 壹、試驗現場配置

本研究設置一內部長寬高分別為  $2 \times 4 \times 3\text{m}$  混凝土塊組成之大型土槽，其混凝土塊內部即設置人工邊坡進行模擬(圖 3.1-2)。人工邊坡設計分做三層，由下而上分別是填充層、防水帆布以及預設滑動的崩積層。填充層部分利用碎石及土壤堆疊內部底層為一  $1/3$  坡面。防水帆布是模擬邊坡經降雨造成水位蓄積之現象，覆蓋於填充層上方，最後再填上試驗所需土壤達到預定尺寸並進行初部壓密集即完成邊坡部分。另外為量測土中的變形量，再設置人工邊坡時便一併將傾斜管理入其中，埋設深度為表面向下至帆布層的位置，成果如圖 3.1-3 與圖 3.1-4 所示。

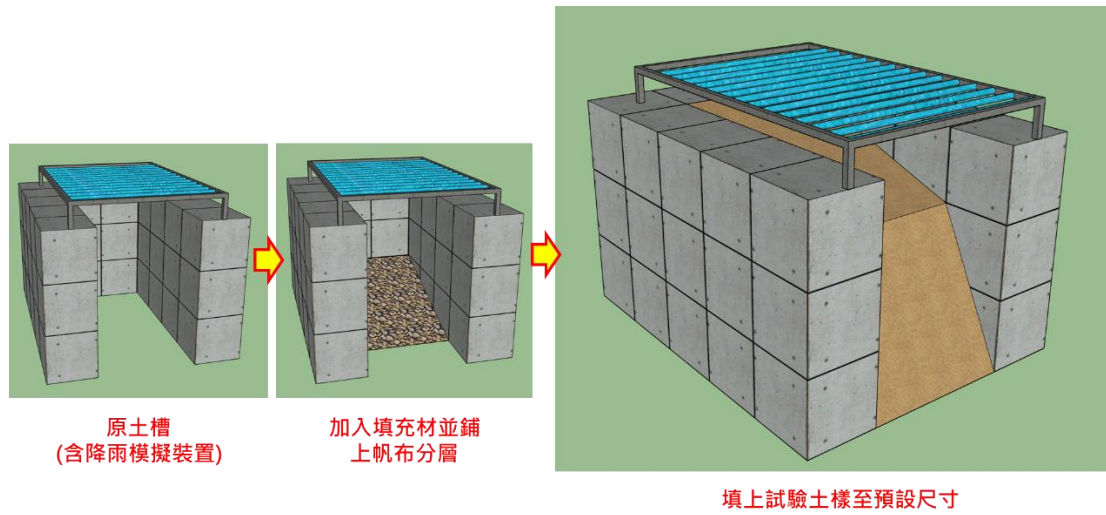


圖 3.1-2 土槽配置示意圖



圖 3.1-3 土槽現場配置情形



圖 3.1-4 現場人工邊坡鋪設完成情形

## 第二節、整合型監測器研發

本計畫將延續 107 年度已研發適合於社區人工邊坡使用之低功耗、低成本整合型監測器，包含雙軸向傾斜儀、裂縫量測應變計等，本年度再添加雨量計、水壓計與定置型孔內傾斜儀。各項監測器說明如下：

### 1. 雙軸向傾斜儀

傾斜變位計/微機電式傾斜計主要應用於水庫、水壩、堤防之傾斜變位長期觀測；鄰近開挖工地之建物傾斜監測；連續壁施工監測；橋樑或高架道路之墩柱及橋面傾斜監測；超抽地下水或潛盾施工引致之地表差異沉陷引發結構傾斜監測等。本計畫規畫裝設雙軸傾斜儀，為微機電式 MEMS 傾斜變位計(Micro-Electro-Mechanical-Systems)的設計目的在於永久裝設在結構物上以求觀測該結構物之長期傾斜變位量。照片如圖 3.2-1 所示，將以自動量測方式，頻率為每 10 分鐘至少 1 次，若監測期間傾斜儀 5 分鐘變化幅度大於 1 度時，則改以頻率為每分鐘 1 次。



圖 3.2-1 雙軸傾斜儀

## 2. 裂縫量測應變計

振弦式裂縫計(拉伸式)係用於監測裂縫的擴張與收縮，包括：水壩混凝土結構結合處、岩石隧道表面裂縫、橋樑橋墩表面裂縫、捷運高架橋樑柱表面裂縫、混凝土結構物結合處等。振弦式裂縫計(拉伸式)採用振弦式位移感測器測量裂縫，裂縫計內部包含一組振動鋼弦敏感元件，鋼弦一端被固定，另一端則連接到彈簧拉力棒，裂縫變形時帶動拉力棒的移動，使彈簧改變了鋼弦的振動頻率，這個振動頻率的大小與裂縫開合大小成比例關係，如圖 3.2-2 所示。



圖 3.2-2 振弦式裂縫計

### 3. 水壓計

電子式水壓計以自動化監測之方式，即時掌握地下水壓之變化情形，並與雨量監測之成果進行比對，用以初步推估降雨對於地下水壓之影響。範圍：7.0 kg/cm<sup>2</sup>、精度：0.025 % FSR解析度：±0.1 % FSR(1kg/cm<sup>2</sup>=98.1KPa優規)，如圖 3.2-3所示。



圖 3.2-3 水壓計

### 4. 定置型地中傾斜儀

本計畫使用之定置型傾斜儀為GEOSTAR 8300 MEMS，經由滑輪固定於傾度管中，採用間隔1m進行監測精度約為±0.01 (±2 arc sec) ，如圖3.2-4所示。



圖 3.2-4 定置型傾斜儀(IPI)



### 5. 雨量計

採用自計傾倒式雨量計，以0.5mm為單位，並連結自動監測站內資料記錄器；其中雨量計規格，量測精度達每降雨累積達50mm 誤差小於1.5mm內。預計每小時紀錄一筆資料，視需要調整紀錄頻率。相關照片如圖3.2-5所示。



圖 3.2-5 自計式雨量筒

### 6. 整合式感測器封箱與測試

上述之感測器需透過類比數位轉換器，將類比訊號轉換成數位訊號後，再利用無線傳輸技術傳送至雲端。除感測器須外露外，其餘元件皆可整合至一箱體中。現場安裝之配置圖如圖 3.2-6 所示，其中各項重要元件如通訊元件、雙軸傾斜儀、訊號轉換器、長效電源等皆固定於箱內並進行防水封裝。未來箱體尺寸、形式與材質皆可因地形條件、監測內容進行調整。經測試感測儀器可正常動作，並將資料初步已 4G 網路方式上傳至雲端，如圖 3.2-7 所示。

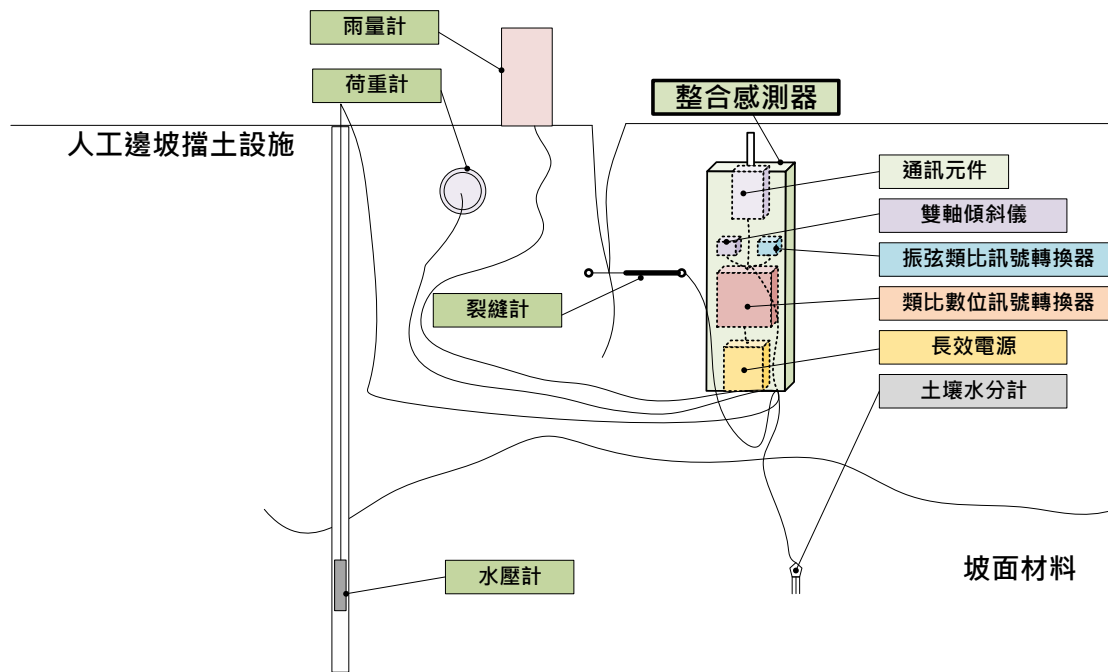


圖 3.2-6 整合感測器於現場安置完畢示意圖與透視圖

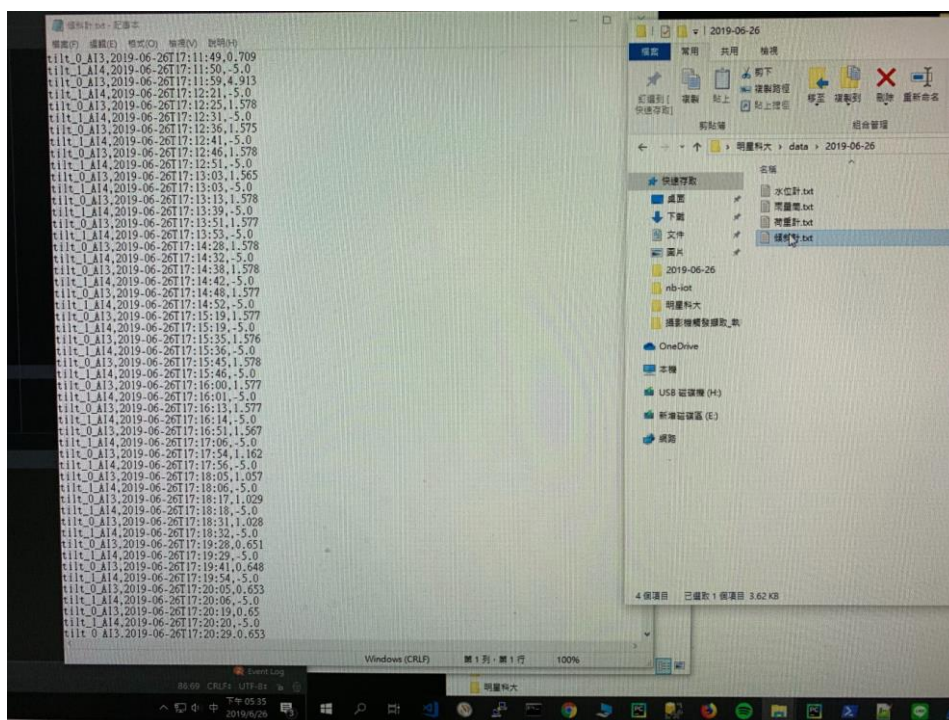


圖 3.2-7 整合感測器回傳測試

人工模擬邊坡，本研究坡趾架設臨時擋土牆，並於上方裝設雙軸向傾斜儀以及裂縫計；雨量筒裝設於降雨模擬裝置之設計降雨區域內，與降雨裝置高度差約大於 70cm 以上位置。傾斜管與水壓計部分，為了使降雨入滲

後之水位可予水壓計量測，在埋入邊坡前已事先將沒入土中部分的傾斜管壁鑽孔並以砂網包覆，達到開篩效果，加工過程如圖 3.2-8，上下兩傾斜管埋設深度分別為 2m 以及 1m，接著在傾斜管設置完後，將定置型傾斜儀順管內槽溝放置於水壓計上方(圖 3.2-9)，A+方向朝向整體邊坡之下方進行監測。而此土槽目的在於模擬降雨誘發邊坡破壞之情境，並且經由現地監測設備所回傳數據進行分析，現場裝設完成情形如圖 3.2-10 所示。



圖 3.2-8 傾斜管於埋設前進行開篩

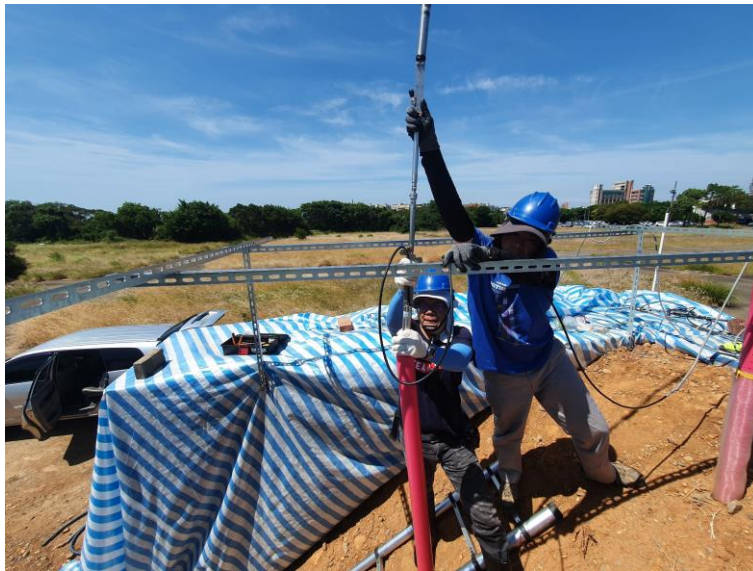


圖 3.2-9 定置型地中傾斜儀於模擬邊坡裝設



圖 3.2-10 現場設備裝設完成

## 第三節、整合型感測器電力來源

### 壹、太陽能發電系統

若預定監測之人工邊坡屬於電力不及或不易取得的區域，則必須就地採用自然再生能源作為電力來源，由於風力發電較不可預測，故建議以太陽光電發電做為電力來源，說明如下：

1. 運用型式:獨立型太陽光電發電系統，如圖 3.3-1 所示。
2. 系統設計說明
  - (1) 無市電備援，設計時須注意發電及蓄電量必須大於用電量
  - (2) 在最差日照條件下仍需維持系統正常運作，因此蓄電容量必須依設備用電量有最長連續無日照天數進行設計
  - (3) 必須提供合理的使用壽命，視地區電池組可將更換週期設計為 2~5 年
  - (4) 必須考慮太陽光電可能受遮蔭影響之問題



圖 3.3-1 太陽光電發電案例

## 貳、儲電系統

由於邊坡社區常面臨日照不足的問題，且感測器越多耗電量越大，太陽能發電之成本也隨之攀升。高效能儲電系統具減少自放與高密度儲存電力之優勢。鋰電池是 20 世紀開發成功的新式高能電池，能夠理解為含有鋰元素(包含金屬鋰、鋰合金、鋰離子、鋰聚合物)的電池，可分為鋰金屬電池(很少的出產和運用)和鋰離子電池(如今許多運用)。因其具有比能量高、電池電壓高、作業溫度範圍寬、貯存壽數長等長處，已廣泛應用於軍事和民用小型電器中，如行動電話、可攜式計算機、攝像機、照相機等，部分替代了傳統電池。鋰離子電池(Li-ion Batteries)是鋰電池開展而來。所以在介紹 Li-ion 之前，先介紹鋰電池。舉例來講，扣子式電池就歸於鋰電池。鋰電池的正極資料是二氧化錳或亞硫醯氣，負極是鋰。電池拼裝完成後電池即有電壓，不需充電。這種電池也能夠充電，但循環功用不好，在充放電循環進程中，容易構成鋰枝晶，形成電池內部短路。

另一種為聚合物鋰電池，聚合物鋰電池所用的正負極資料與液態鋰都是相同的，電池的作業原理也根本共同。它們的首要差異在於電解質的不同，鋰電池運用的是液體電解質，而聚合物鋰電池則以固體聚合物電解質來替代，這種聚合物能夠是「乾態」的，也能夠是「膠態」的，現在大部分選用聚合物膠體電解質，聚合物鋰電池可分為三類：

1. 固體聚合物電解質鋰電池。電解質為聚合物與鹽的混合物，這種電池在常溫下的離子電導率低，適於高溫運用。
2. 凝膠聚合物電解質鋰電池。即在固體聚合物電解質中參加增塑劑等添加劑，然後進步離子電導率，使電池可在常溫下運用。
3. 聚合物正極資料的鋰電池。選用導電聚合物作為正極資料，其能量是現有鋰電池的3倍，是最新一代的鋰電池。由於用固體電解質替代了液體電解質，與液態鋰電池比較，聚合物鋰電池具有可薄形化、任意面積化與任意形狀化等長處，也不會發生漏液與焚燒爆破等安全上的問題，因而能夠用鋁塑複合薄膜製作電池外殼，然後能夠進步整個電池的容量；聚合物鋰電池還能夠選用高分子作正極資料，其品質與能量將會比現在的液態鋰電池進步50%以上。此外，聚合物鋰電池在作業電壓、充放電循環壽數等方面都比鋰電池有所進步。

本次整合型監測器與傳述系統耗電量初估方式如下：監測頻率為 10 分鐘時，每次發送需 1.2W，因此一整天耗電為 172.8W。若日照時間為 5 小時，則太陽能板發電量需 34.6W。為使整體系統能穩定運行，本研究採用傳統鉛蓄電池進行實驗，因傳統鉛蓄電池可承受較惡劣的工作環境，且無須另外加設電池控制器防止電池過放電導致損壞，未來如條件許再逐步採購不同高效能電池做為儲電系統。

## 第四章 降雨模擬

### 第一節、降雨模擬參考情境

自民國 109 年 3 月 1 日起實施，依據中央氣象局「豪大雨雨量分級標準」，大雨為 24 小時累積雨量達 80 毫米以上，或 1 小時雨量達 40 毫米以上；豪雨指 24 小時累積雨量達 200 毫米以上，或 3 小時達 100 毫米以上；若 24 小時累積雨量達 350 毫米以上稱為大豪雨；24 小時累積雨量達 500 毫米以上稱為超大豪雨，如表 4.1-1 所示。

表 4.1-1 豪大雨雨量分級標準(中央氣象局)

分級	說明
大雨	24 小時累積雨量達 80 毫米以上，或時雨量達 40 毫米以上之降雨現象。
豪雨	24 小時累積雨量達 200 毫米以上，或 3 小時累積雨量達 100 毫米以上之降雨現象。
大豪雨	24 小時累積雨量達 350 毫米以上，或 3 小時累積雨量達 200 毫米以上之降雨現象。
超大豪雨	24 小時累積雨量達 500 毫米以上之降雨現象。



## 第二節、模擬設備

本研究以霧化噴頭模擬降雨水源，架設於試驗土槽上方。此降雨模擬裝置分為蓄水、加壓供水以及灑水三個部分，蓄水部分，是以一 5000L 之蓄水塔，以確保在進行人工降雨時，有持續穩定且充足的水源供應，並經由 1 英吋管輸出。另於水源處加裝加壓馬達，以維持噴頭輸出時的水壓(圖 4.2-1)，其加壓馬達最大壓力 4.0kg/cm<sup>2</sup>、最大水量 48L/min，輸出端以一球型閥控制水流輸出，可依需求調整為不同雨量，在分接成 4 組 4 分管供應。為使試驗邊坡範圍內可均勻降雨，本研究採用可調整噴灑模式之霧狀灑水噴頭，在霧狀模式下，經測試後將噴頭間距調整為 30cm、高度大於 50cm 時，噴灑範圍可完整覆蓋，且無過多重疊，如圖 4.2-2 左下所裝設為一支，每支為 7 組霧狀灑水噴頭，再同樣以 30cm 間隔共 12 支排列於土槽上方，總噴頭設置為 7×12 陣列，數量共 84 組，架設完成結果如圖 4.2-3。



圖 4.2-1 降雨模擬裝置之加壓馬達

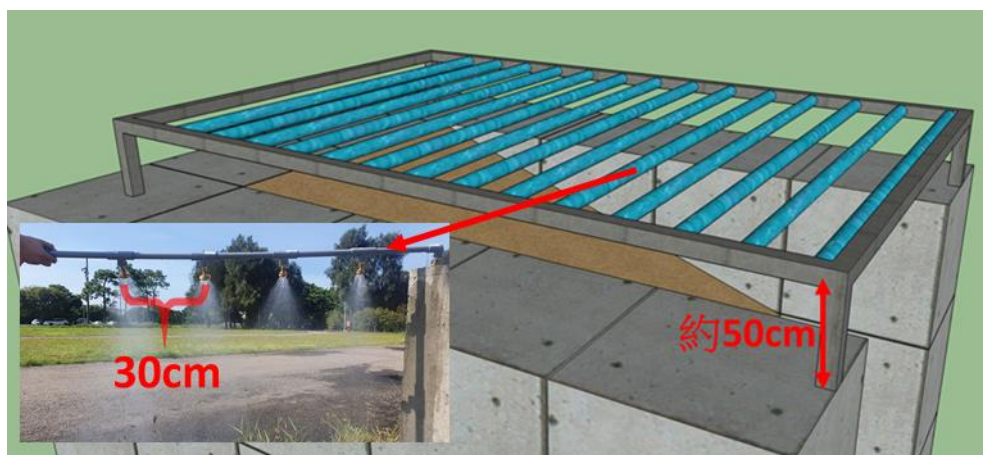


圖 4.2-2 降雨模擬裝置示意圖



圖 4.2-3 架設完成後現場灑水測試

### 第三節、大尺寸邊坡降雨模擬破壞試驗

經前述土槽模擬邊坡的建置、邊坡上方監測儀器安裝，與降雨模擬裝置組裝與測試後，隨即對人工邊坡進行降雨模擬破壞試驗。在降雨模擬開始前，為避免人工降雨量大時，造成大量逕流水沖刷邊坡表面，較難達到預期的破壞，便於邊坡表面以長草覆蓋，模擬在有植生保護之邊坡情境(圖 4.3-1)。降雨部分，先將噴灑量調整為最大，並持續 1 小時時間，一來為了測試此降雨模擬裝置可產生之最大降雨量，二來使邊坡破壞速度加速，即可由監測所得成果進行分析比對，試驗過程以錄影及拍照方式記錄，圖 4.3-2 左為降雨模擬開始，右為降雨 1 小時後情形。



圖 4.3-1 邊坡整體配置完成結果



圖 4.3-2 邊坡模擬降雨開始與結束

在降雨結束後靜置一段時間後，肉眼觀察表面整體並無明顯變化，但再翻開覆蓋草皮後，可明顯看到許多張力裂縫以及沉陷的跡象(圖 4.3-3)，裂縫大小與沉陷量大約為 4-6cm，其結果顯示降雨已對此邊坡有潛在的破壞發生。



圖 4.3-3 草皮下方裂縫發展情形

## 第五章 邊坡穩定模擬與數值分析

本研究進行大尺寸邊坡穩定模型示意圖如圖 5-1 所示，並以此進行邊坡穩定分析。

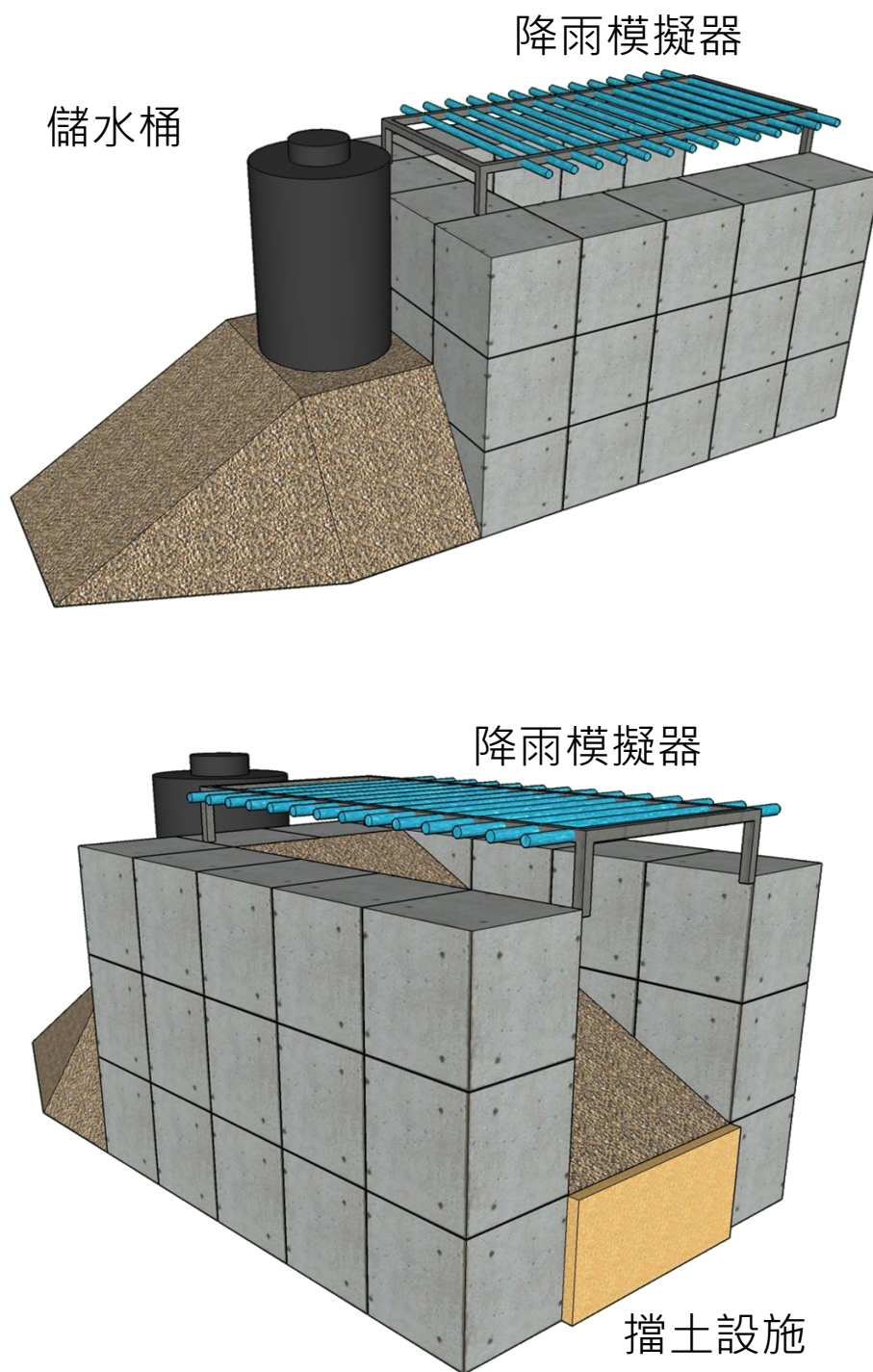


圖 5-1 大尺寸邊坡模型示意圖

## 第一節、邊坡穩定模擬

### 壹、邊坡穩定模擬方式說明

由於近年來邊坡災害層出不窮，所以在邊坡開發前，應審慎評估邊坡安全性，故邊坡穩定分析是不可或缺的過程。一般工程界分析邊坡穩定問題，大致可分為極限平衡法與數值分析法，極限平衡法為土壤在極限狀態下計算力或力矩之平衡方法，與土壤組合律無關；另外則為採用土壤應力-應變關係之數值分析方法，如有限元素法、有限差分法等。

以極限平衡方法評估邊坡穩定已有相當多年的歷史，其主要假設為所考慮的可能滑動土體範圍內均達極限塑性狀態，以尋求力、力矩或能量之平衡。極限平衡方法之所以能為工程界所接受並加以使用，主要是其簡易且可得到不錯之結果。但該法無法確切反應邊坡之行為，除非邊坡已接近臨界狀態，即安全係數接近或甚至小於 1.0。隨著數值分析方法之演進及計算能力之提昇，極限平衡方法之有效性逐漸受到存疑。實務工程設計常使用極限平衡法，因可快速求得安全係數與可能滑動面。而安全係數一般可由力平衡或力矩平衡求得，但由於極限平衡法假設沿邊坡滑動面上的每一點均同時達到極限狀態，即滑動面上每一點安全係數均相同，與實際邊坡破壞並不相符。其所假設與分析之適用性均有不盡合理的地方，因此，極限平衡法在使用上有其限制。

本案採用 GeoStudio 套裝軟體中之 SLOPE/W 模組進行邊坡穩定分析。GeoStudio 由加拿大 Calgary 大學研發，經過數十年時間，已成為國際間廣為採用之的邊坡穩定性分析軟體，適合於分析模擬土壤、岩石等大地材料的力學行為。SLOPE/W 模組主要運用極限平衡理論，針對不同土壤類型、複雜地層和各種滑動面形狀的邊坡，孔隙水壓力分布狀況進行建構模式分析。分析方法包括 Morgenstern-Price、GLE、Spencer、Bishop、Ordinary、Janbu、Sarma、Corps of Engineering、Lowe-Karafiath 等分析方法。土壤強度破壞準則包含莫耳庫倫(Mohr-Coulomb)模式、雙線性(Bilinear)模式、不排水(Undrained)模式、非等向性(Anisotropic)模式、Hoek and Brown 模式等。孔隙水壓力模型包括 Ru 係數、壓力線、等壓力線、水力梯度值、透過有限元素計算的壓力和壓力水頭。滑動面分析可透過同心圓和半徑線、滑移面

前端的塊體或全部指定的形狀定義搜尋可能滑移面；針對各種土體特性和承載條件的分布函數來進行隨機近似分析。

針對本案，SLOPE/W 模組使用於邊坡穩定分析時，可達到之目的為針對岩盤上覆蓋軟弱土層在坡頂有張力裂縫，複合式滑動面等各種情況下，可使用 Spencer、Ordinary、Bishop、Janbu 及 Morgenstern-Price 等切片法分析邊坡穩定的安全係數。另外對於邊坡穩定治理方法中，適用於有外力荷重，地錨、土工織物補強及坡趾穩定工等情況的邊坡進行穩定分析。

分析參數於現地採用本案現地土樣重模後進行物性與直剪試驗成果如圖 5.1-1 與列於表 5.1-1。並進行極限平衡分析，並以此回饋分析出接近現況之模型，進行後續分析，地下水位採用可能之地下水位資料。分析剖面如圖 5.1-2 所示，分上下兩層，上層為土壤、下層為模擬岩盤，其中模擬岩盤以碎石回填料模擬。

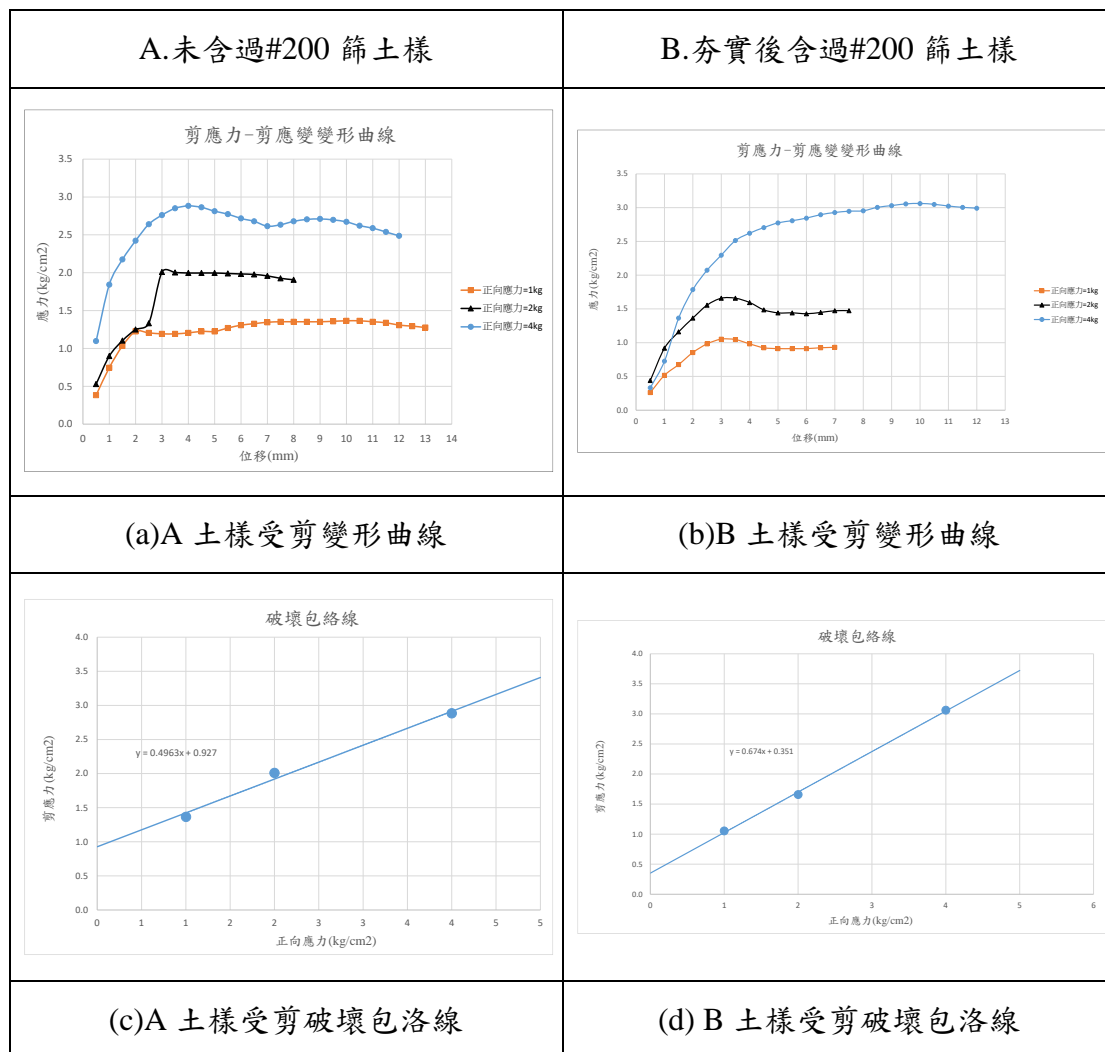


圖 5.1-1 重模土樣力學試驗成果



表 5.1-1 簡化材料參數表

層次	材料	單位重 (kN/m <sup>3</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	φ (°)
1	土壤	17	35~93	26~34
2	岩盤	22	1000*	40*

\*為假設值

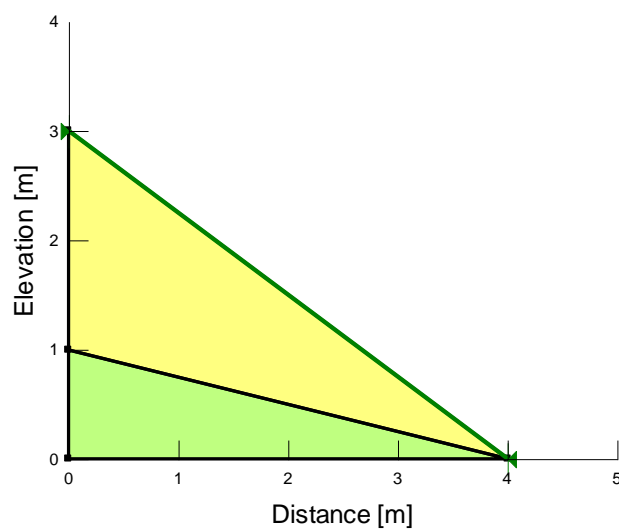


圖 5.1-2 邊坡穩定模擬剖面圖

## 貳、邊坡穩定模擬成果

本計畫將邊坡穩定模擬分為不同情境下，極限平衡法所得到之安全係數值，分別為模擬自然邊坡情況下地下水位由模擬岩盤面上升 50cm 以及 100cm 時、水位上升 50cm 且於擋土構造後方蓄積時以及邊坡覆蓋至擋土構造後方時，地下水位上升 50cm，共四種，其模擬成果如下：



1、地下水位上升 50cm，FS=1.001。

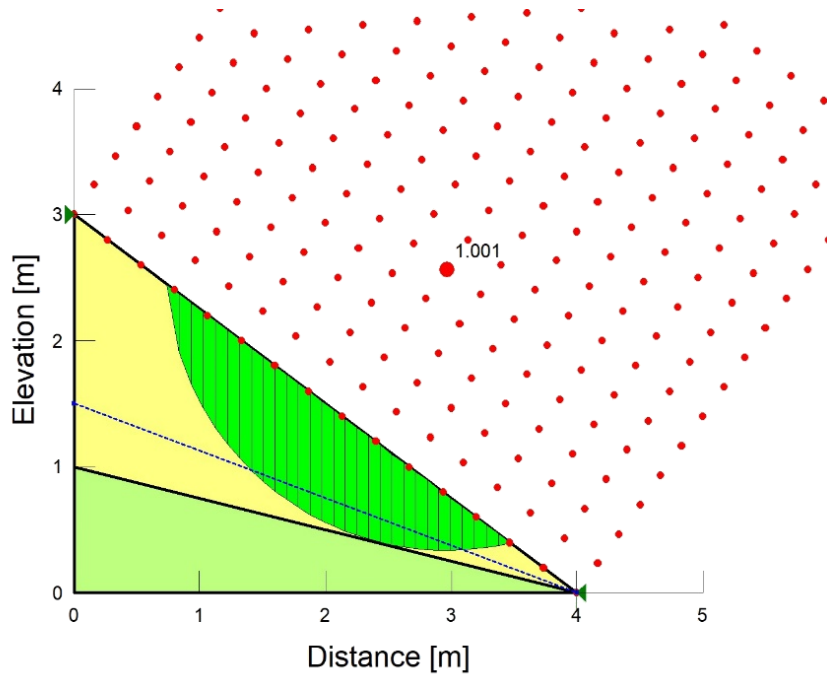


圖 5.1-3 邊坡下水位上升 50cm 模擬剖面圖

2、地下水位上升 100cm，FS=0.692。

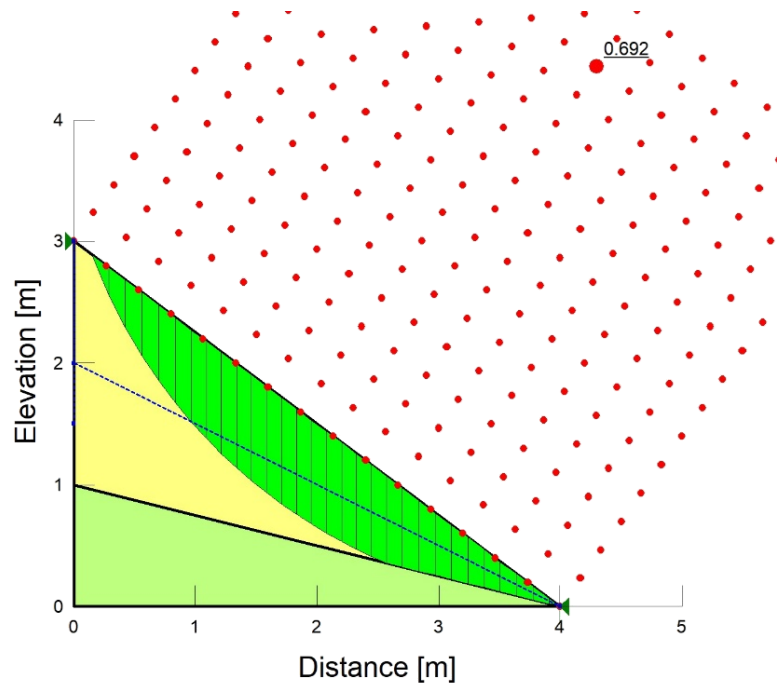


圖 5.1-4 邊坡下水位上升 100cm 模擬剖面圖

3、地下水位上升 50cm 且於擋土構造後方蓄積，FS=0.840。

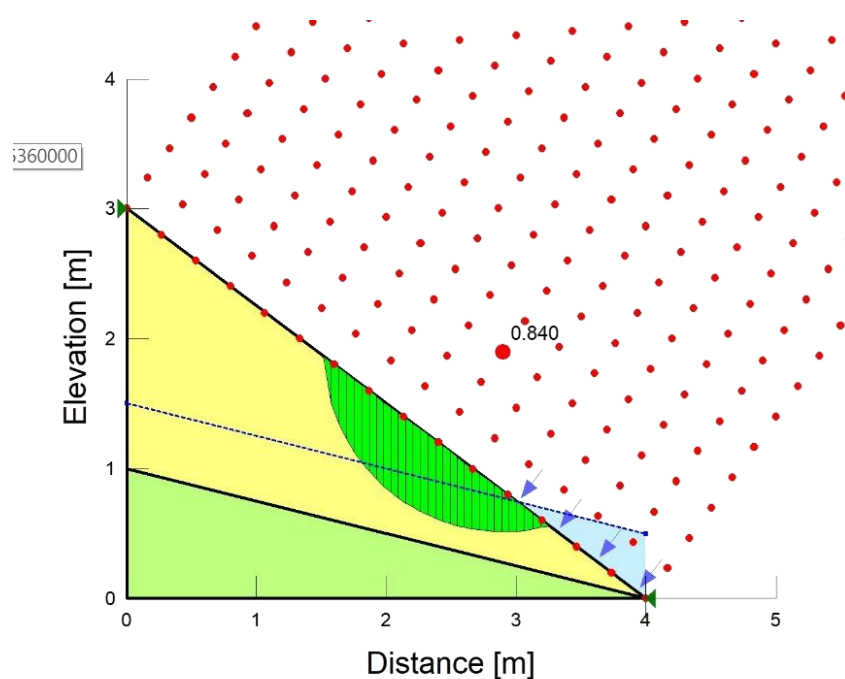


圖 5.1-5 邊坡下水位上升 50cm 且於擋土構造後方蓄積模擬剖面圖

4、邊坡覆蓋至擋土構造後方時，地下水位上升 50cm，FS=0.934。

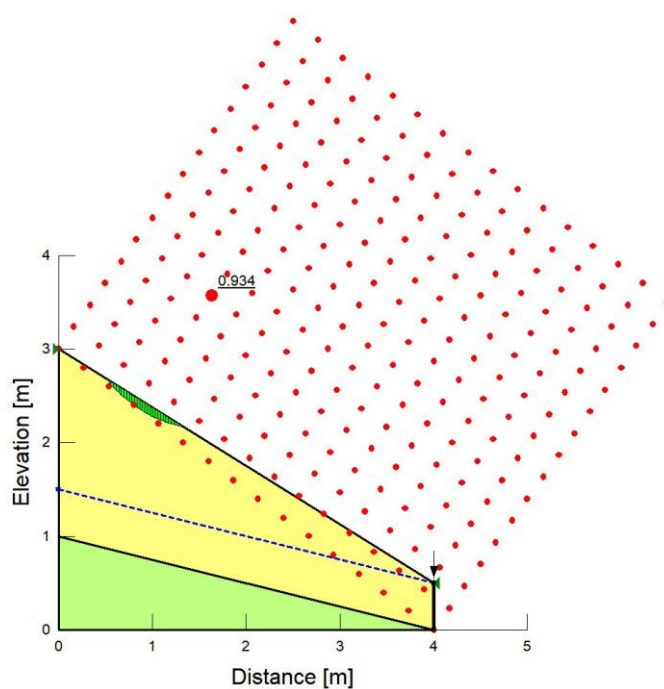


圖 5.1-6 邊坡覆蓋至擋土構造後方時，地下水位上升 50cm 模擬剖面圖

## 第二節、邊坡變形模擬

有限元素法基於連體力學原理，滿足力平衡及變形之連續性，並且可依據不同材料組合律及破壞準則，適當模擬材料受力與變形行為。由於大地材料有非均質、異向性及與應力歷史相關等特性，提高邊坡穩定分析之難度。極限平衡法常忽略或無法考慮上述特性，而有限元素法則能考慮土壤之應力-應變行為，並對於土壤之應力歷史與非均質性都能適當模擬，故有限元素法能更深入探討邊坡實際力學與變形行為。土壤之應力-應變關係為有限元素分析中重要的一環，如何選擇一個合適的土壤應力應變關係，以達到既簡易又能適切反應土壤力學行為是相當重要，至於選用何種模式通常依分析情況與分析目的不同而有所改變。雖然採用較複雜的應力應變關係來模擬土壤行為，應該可得到較為合理的結果，但有時以較簡易的組合律也可能得到可接受的結果。

本計畫地層變形模擬採用有限元素數值模擬程式 PLAXIS 進行二維模型建置，PLAXIS 於 1987 年在荷蘭公共工程與水源管理部的推動下，由 Delft 科技大學完成初步的成果。此後由於程式不斷的發展並逐漸受到重視，因此於 1993 年成立一家名為 Plaxisbv 的公司，作進一步的研發與改良。本計畫所使用的版本為 Plaxis 9.0，此版本除了增加原程式之操作功能外，更增加許多功能，使程式之使用範圍更為廣泛。使用有限元素法求取滑動面安全係數，一般採用強度折減法，其定義首先由 Zienkiewicz 等人(1975)提出，剪力強度折減之觀念為逐步折減剪力強度參數( $c'$ 、 $\phi'$ )，使邊坡地層材料抗剪強度無法承受自重，產生大變形之臨界狀態。折減後剪力強度參數如式(5.2-1)與式(5.2-2)：

$$c'_f = \frac{c'}{RF} \dots\dots\dots(5.2-1)$$

$$\phi'_f = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \phi'}{RF} \right) \dots\dots\dots(5.2-2)$$

其中， $RF$  為剪力強度折減係數， $c'$  及  $\phi'$  為土壤之有效凝聚力與內摩擦角， $c'_f$  及  $\phi'_f$  為破壞時土壤之有效凝聚力與內摩擦角。當邊坡產生大變形達

破壞時，此時  $RF$  值即為安全係數。因  $c'$  及  $\tan \phi'_f$  同時折減，且折減值相同，即一邊坡模型只有一安全係數。

## 壹、概念模型

依據前述，數值模擬概念剖面如圖 5.2-1 所示。模擬所需之材料參數以圖 5.1-1 之實驗成果，推估可能之材料參數如表 5.2-1，以此進行模擬並以觀測到之地層變形回饋至模型。

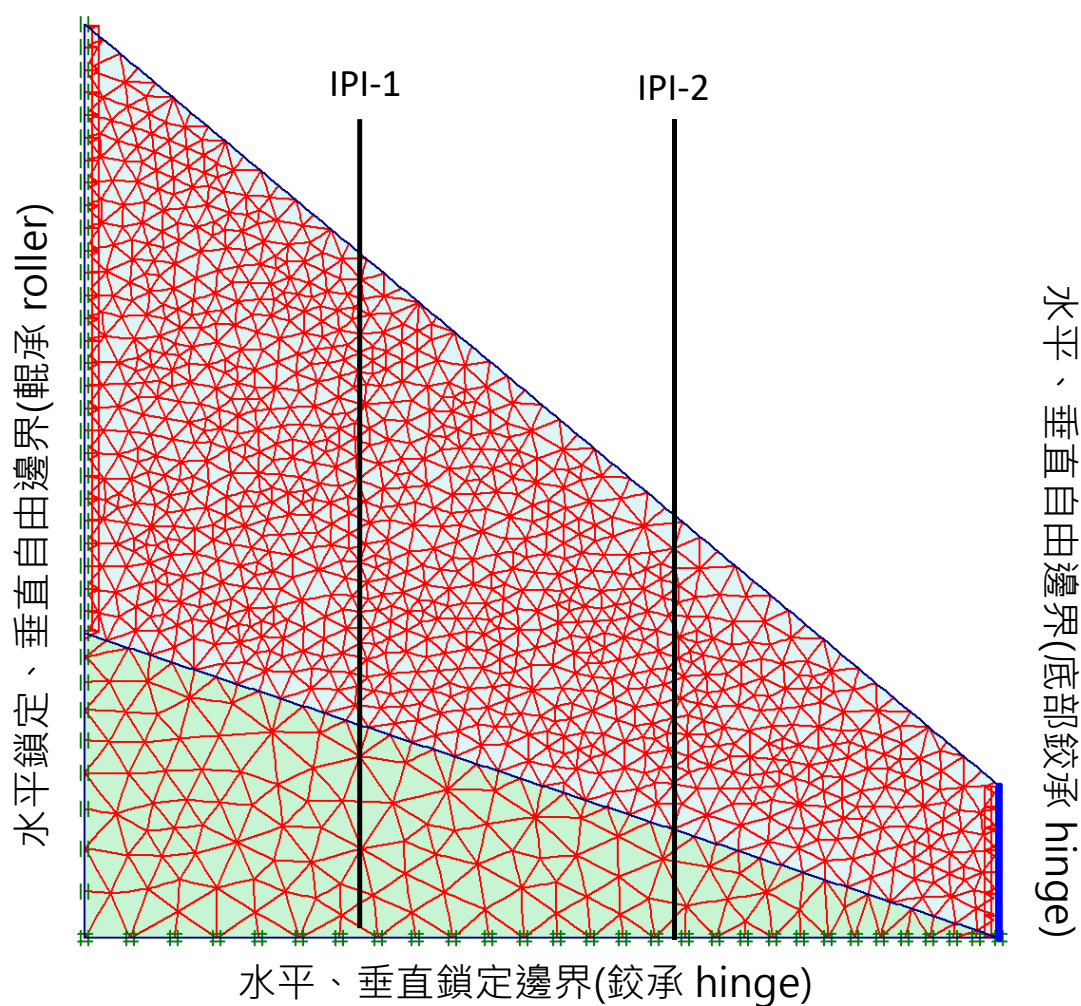


圖 5.2-1 數值模擬模型 AA'剖面圖

表 5.2-1 PLAXIS 數值模擬採用材料參數表

地層 參數	土壤層	岩盤層
濕單位重 $\gamma_{\text{unsat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.0	22.0
飽和單位重 $\gamma_{\text{sat}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	17.0	22.0
凝聚力 C (kPa)	0.1**	1000*
摩擦角 $\phi$ (°)	26	40*
膨脹角 $\psi$ (°)	0	0
柏松比 $\nu$	0.35*	0.18*
彈性模數 E (kN/m <sup>2</sup> )	6300	10000

\*為假設值 \*\*為假設過程排水

## 貳、模擬結果

1. 全區最大水平變位 14.5mm，發生在坡頂處，如圖 5.2-2 所示。

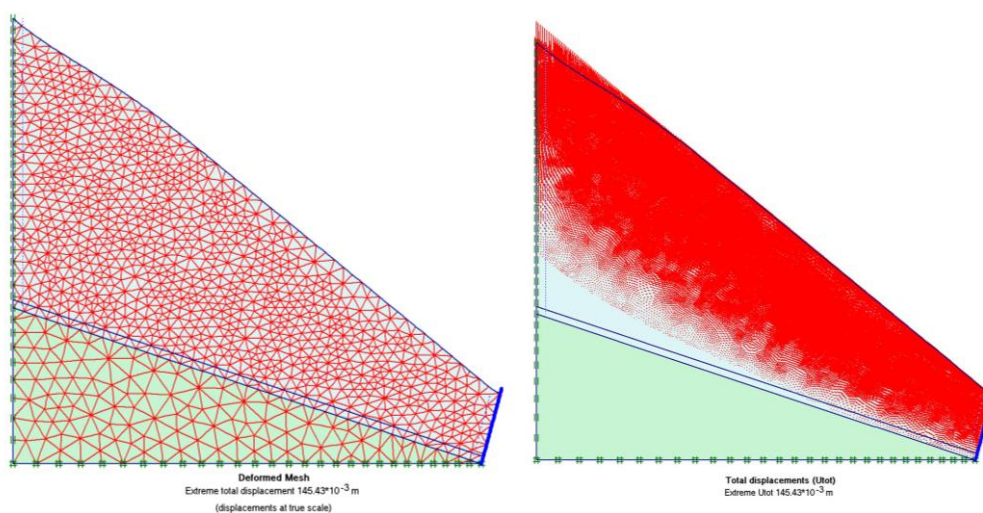


圖 5.2-2 有限元素法之水平變位分佈圖

2. 破壞點分佈圖(圖 5.2-3)，可看出表面大多發生張力裂縫，與實際觀察大之現象符合，如圖 5.2-4 所示。

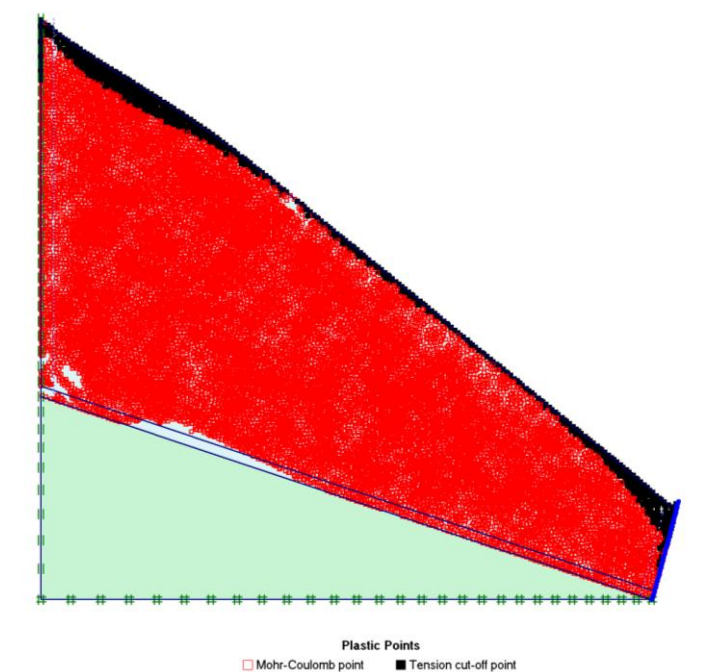


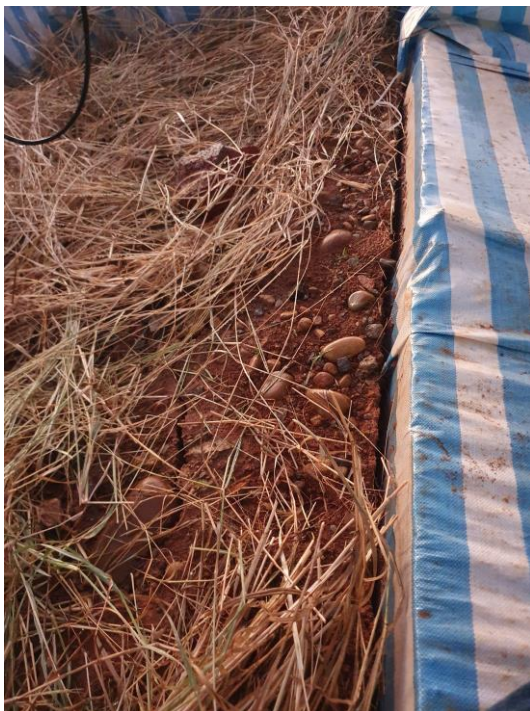
圖 5.2-3 有限元素法破壞點分佈圖



(a)坡面張力裂縫



(b)坡面張力裂縫



(c)坡頂張力裂縫



(d)坡面張力裂縫

圖 5.2-4 坡面張力裂縫照片

3. 坡頂處模擬之最大變位為 140mm、IPI-1 處模擬之最大變位為 113mm、IPI-2 處模擬之最大變位為 114mm、擋土結構模擬之最大變位為 131mm，如圖 5.2-5 所示。

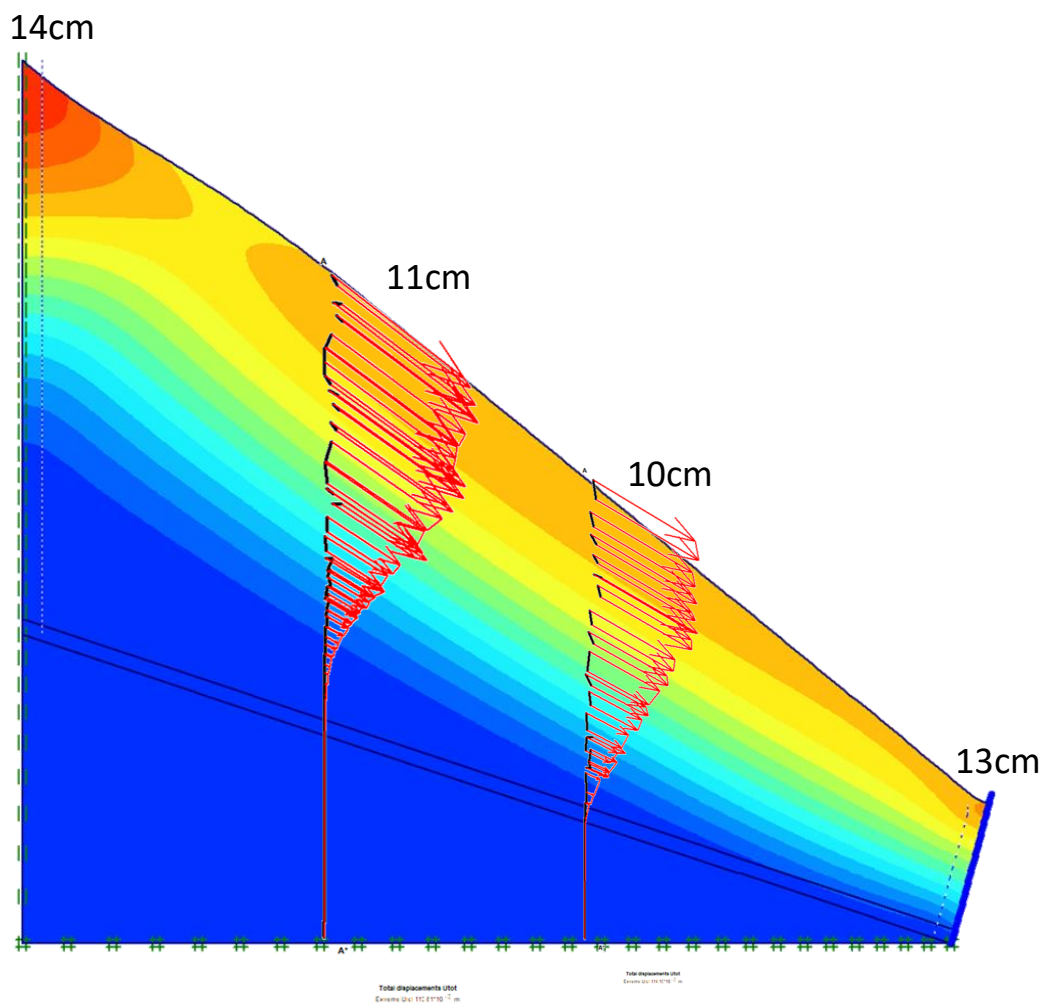


圖 5.2-5 坡面張力裂縫照片



### 參、模擬結果評述

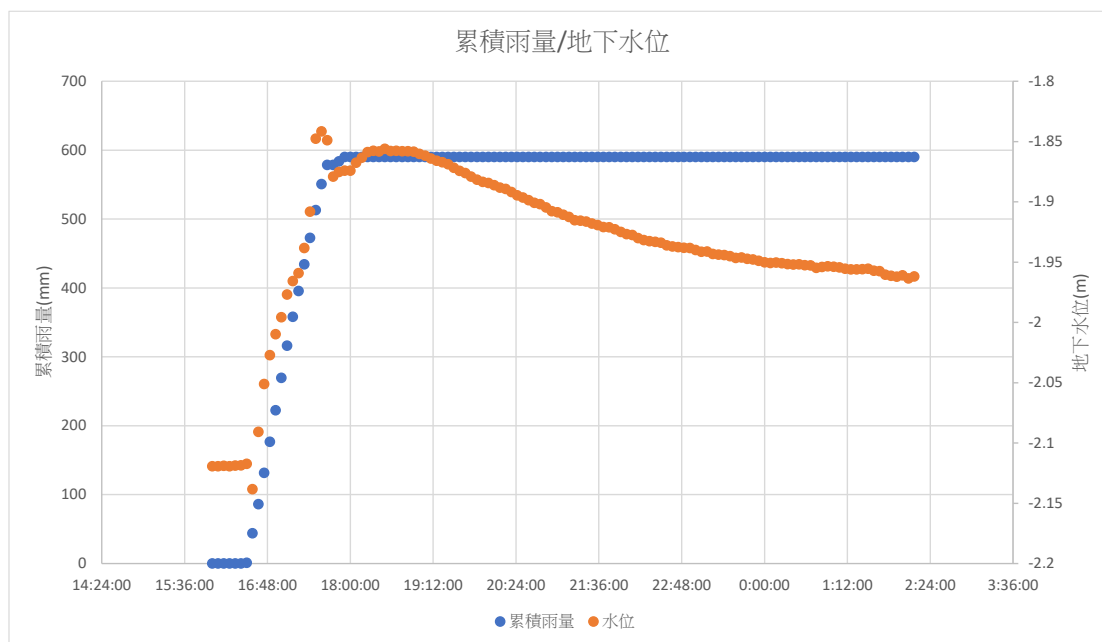
地層變化模擬之成果中，變化值要與觀測值符合相當困難，因為地質條件變亦甚大，往往只能祈求成果中之變化趨勢能與觀測到之深度與水平變位變化趨勢一致。

圖 5.2-3 為現場模擬成果資料圖，並與數值分析成果共列於表 5.2-2 比較。上述模擬成果中，模擬成果所發生之變形量大約落在 11-14cm，而實際變形結果僅量測到 4 mm 以及 15mm，誤差較大，推測原因可能為邊坡破化造成位移時，因傾斜管整體同滑動塊體向坡趾移動，導致量測到的數值被抵銷，無法量測出確切的變位量。

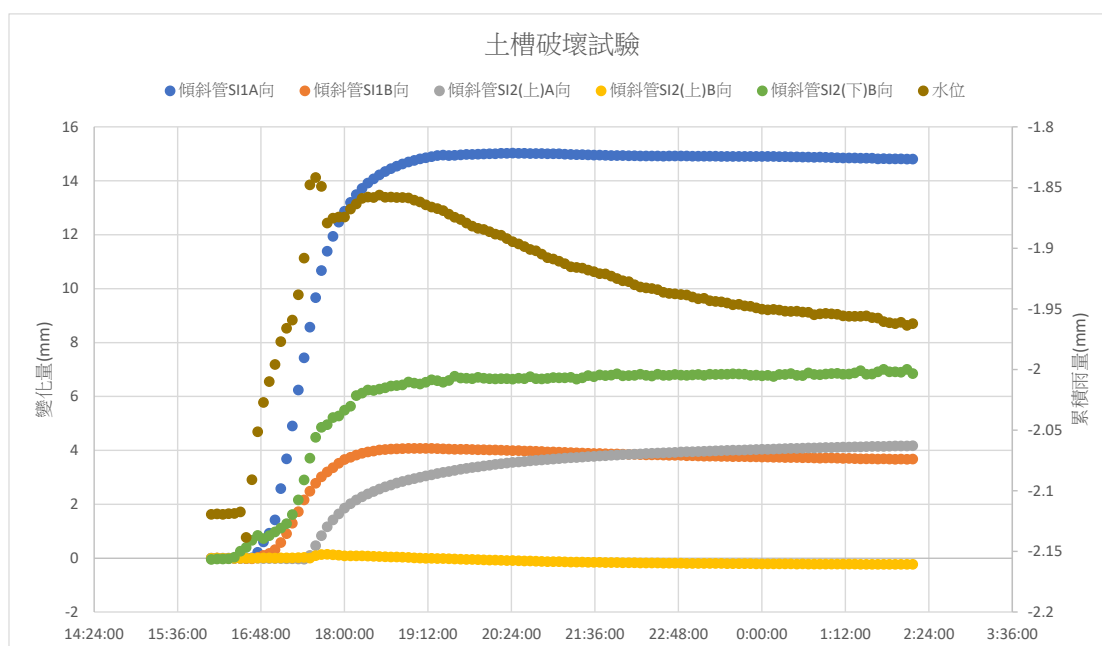
然而本次研究模擬可找出降雨與破壞發生之延時曲線，即為本研究之最主要目的：找出擋土結構破壞前兆之管理值與因應時間。建議仍需持續以此方法模擬與校正，以供後續回饋分析之用。

表 5.2-2 模擬成果比較表

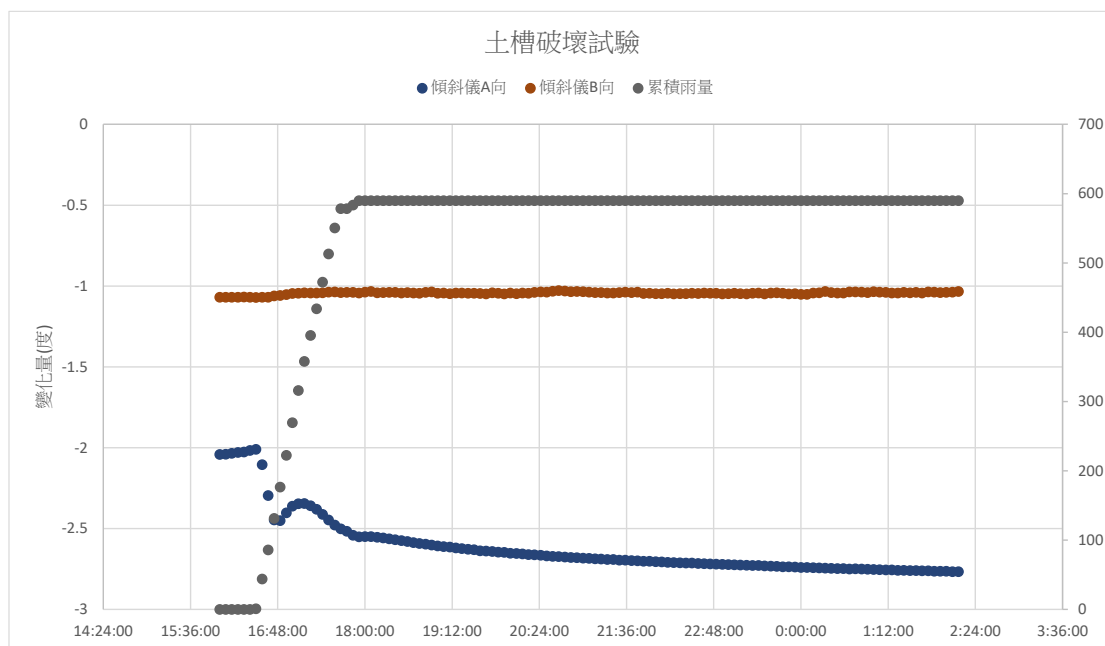
	現地實驗(mm)	數值模擬(cm)
IPI-1 變形	15	11~14
IPI-2 變形	4	11
擋土結構最大傾斜(度)	0.75	7.4



(a) 累積降雨與地下水位關係



(b) 累積降雨與地層變位關係



(c) 累積降雨與擋土結構變化關係

圖 5.2-3 現地實驗模擬結果



## 第六章 雲端系統監測平台

本計畫由前計畫團隊於 6 月中交接了系統伺服器與原始程式碼，其中包含了(a) 山坡地社區建築管理履歷資料庫以及(b) 建研所人工邊坡智慧監控系統 兩套系統，此兩套系統完全獨立，並使用不同的技術所開發，以下就此兩套系統現況分別說明。

### 第一節、山坡地社區建築管理履歷資料庫

此系統之開發與運行環境如表 6.1-1 所列，而登入後之畫面則如圖 6.1-1 所示。此系統中最主要的 GIS 圖台系統為綜整所有資料並以網頁操作與呈現的核心，使用的軟體為 Autodesk 捐獻給 OSGS (Open Source Geospatial Foundation, 開放原始碼地理空間基金會) 開放原始碼之網頁式 GIS 圖台展示系統 MapGuide。MapGuide 軟體版本歷史整理如表 6.1-2，由表可知目前所使用之版本為 2.2 版，已是近 10 年前所釋放出來的版本。本團隊已將其升級至與目前系統相容之最新版 2.2，再往上升將需對既有系統進行大幅度改寫。至於表 6.1-1 中其它軟體皆已將所有適用之補丁安裝完成。

表 6.1-1 「山坡地社區建築管理履歷資料庫」之運行環境

作業系統	Windows Server 2012、Windows Server 2008 <sup>[1]</sup>
資料庫管理系統	Microsoft SQL Server 2016
GIS 圖臺	MapGuide OpenSource 2.2
網頁伺服器軟體	IIS 8.0
系統開發語言	C#, HTML, CSS, JavaScript
主要開發技術	ASP.NET

<sup>[1]</sup>以虛擬機器運行 SQL Server 2016 於內部 IP 址 192.168.1.88，以配合原始系統的設計。



圖 6.1-1 「山坡地社區建築管理履歷資料庫」登入後之操作畫面

表 6.1-2 MapGuide 版本與年份

版本	初版年份	版本	初版年份	版本	初版年份
1.2	2006	2.0	2007	3.0	2014
		2.1	2009	3.1	2015
		2.2	2011	3.1.2	2020.2
		2.4	2011		
		2.5	2012		
		2.6	2012		

p.s. 整理自 <https://trac.osgeo.org/mapguide#OldReleases> 的 Wiki 歷史記錄，可能不完全正確。

而除將表 6.1-1 中系統軟體進行維護更新外，本團隊亦將原有系統進行部份修正，將其中已失效之外部連結系統之連結移除，使畫面中可看到的操作功能皆能正常使用。如圖 6.1-2 乃使用行政區里定位功能找出新竹縣新豐鄉及鄰近的避難處所查詢功能。而系統在登入後，會出現更多管理者可使用的功能，如圖 6.1-3 為系統登入後管理者使用資料維護的畫面，管理者並可在地圖中圈選一塊區域以顯示更詳細的資料，如圖 6.1-4 所示。但需注意的是此系統的資料維護僅限於坡地社區等相關資訊，而無法對於地理資訊系統之圖層資訊如行政區邊界、避難地點等進行維護。MapGuide 的功能僅限於地理資訊的展示，至於其展示的資料之維護則依賴其它軟體，例如 Autodesk Infrastructure Studio (其前身為 MapGuide Studio) 以及免費開放原始碼的 MapGuide Maestro。



圖 6.1-2 使用行政區定位功能查詢避難處所



圖 6.1-3 管理者登入後選擇資料維護功能之操作畫面

11	社區名稱:大學特鄉 地址:新店區安忠路161號	新北市0701重新提供使照號碼:82使1565 核對之後建照號碼:80店0671:80店0672:80店0672	水災200mm 坡災430mm	36	中	<a href="#">連結大學特鄉詳細資料</a>
12	社區名稱:泓禮里 地址:新店區新城一街101至121之2號	新北市0701重新提供使照號碼:84使0508 核對之後建照號碼:	水災200mm 坡災430mm	23	低	<a href="#">連結泓禮里詳細資料</a>
13	社區名稱:潭之鄉 地址:新店區潭潭街1巷警衛室	新北市0701重新提供使照號碼:77使1177 核對之後建照號碼:74店0326	水災200mm 坡災430mm	28	中	<a href="#">連結潭之鄉詳細資料</a>
14	社區名稱:五峰山莊 地址:新店區五峰路63巷78號B1	新北市0701重新提供使照號碼:70沙使4258 核對之後建照號碼:68沙2880	水災200mm 坡災430mm	33	中	<a href="#">連結五峰山莊詳細資料</a>
15	社區名稱:達觀鎮A區 地址:新店區達觀路8巷	新北市0701重新提供使照號碼:85使0937 核對之後建照號碼:1400	水災200mm 坡災430mm	44	中	<a href="#">連結達觀鎮A區詳細資料</a>
16	社區名稱:達觀鎮B區 地址:新店區達觀路41號	新北市0701重新提供使照號碼:71使1154 核對之後建照號碼:1010	水災200mm 坡災430mm	32	高	<a href="#">連結達觀鎮B區詳細資料</a>
17	社區名稱:早安埤 地址:新店區安忠路57巷26弄	新北市0701重新提供使照號碼:84使1074:84使1644 核對之後建照號碼:	水災200mm 坡災430mm	19	中	<a href="#">連結早安埤詳細資料</a>

項次	社區名稱	行政區	村里	地址	社區面積_公頃	社區平均高度_公尺	社區平均坡度_度	地籍號	使照號碼	地層	社區總分	綜合風險	下載相關資料
1	青泉岡	新店	美潭里	新店區北宜路二段137-145-(單)號	0.205	33.751	6.651	青潭段 稻子園坑 小段 136.136-5 地號	87店 0043	沖積層	18.97	M	
2	小錢當家	新店	員潭里	新店區北宜路二段417,419號	0.142	45.411	7.176	青潭段 員潭子坑 小段 189-2,191 地號之 192-6,192-15	85店 0922	沖積層	18.07	M	
3	捷達新市	新店	員潭里	新店區北宜路二段493號1樓	0.041	48.911	8.253	青潭段 員潭子坑 小段 161-14 地號	88店 0042	沖積層	15.33	M	
4	平儀都市	新店	員潭里	新店區北宜路二段495-499-(單)號 1-10樓	0.240	53.110	11.849	青潭段 員潭子坑 小段 161 地號	87店 0459	沖積層	19.36	M	
5	新街青境	新店	美潭里	新店區北宜路二段82-1號	0.410	29.708	3.287	青潭段 稻子園坑 小段 96 地號	83店 1612	沖積層	20.78	M	
6	...	新店	青潭	新店區竹林路26巷26-40-(雙)號1-6	...	...	...	青潭段 油庫坑 小段 90-95,94-9 地號之 94-	...	沖積層	...	...	...

圖 6.1-4 圈選地圖上範圍後可看到更詳細的坡地與社區資訊

## 第二節、建研所人工邊坡智慧監控系統

本系統與 6.1 節介紹之「山坡地社區建築管理履歷資料庫」完全獨立，本系統運行環境與使用到技術如表 6.2-1 所列，開發技術主要為網頁之前端技術，如 HTML、CSS、JavaScript 及眾多的 JavaScript 程式庫，而 PHP 則僅使用於使用者認證之登入以及開放資料之介接。系統登入後之畫面如圖 6.2-1 所示，今年度增加了明新科大試驗場址。畫面中左側即為介接中央氣象局以及 NCDR 所取得之明新科大鄰近雨量站資料、區域 36 小時氣象預報、以及公開示警訊息，如圖 6.2-2 所示，其以跑馬燈的形式每 5 秒鐘切換一次，以協助使用者快速掌握以上資訊。

畫面往下捲動即可看到試驗場址各項自動化監測設備之讀值，圖 6.2-3 為電池電壓與設備溫度。由於電池使用鉛酸電池，其充飽電時其電壓約為 14V(伏特)、電量即將用盡時其電壓約為 11.5V，故將其呈現 Y 軸範圍限定於 11-14V 之間，由此圖表可以了解是否需前往監測地點進行電池的更換。圖 6.2-3 右則為設備所量測到的溫度，由於部份監測設備之讀值會受到氣溫的影響，故將量測的溫度繪製出來，有助了解讀值的合理性。

圖 6.2-4 所現地量測的雨量與水壓，由圖 6.2-4 左的雨量監測資料，可看到監測期間主要有兩場雨、第一場在 9/28 前後、第二場則在 10/7 後。圖中透過圖表下方已經數據觀測期間縮小至 9/27 至 9/29，故可更清楚的看到該期間內的降雨量，由於該場雨並不大，故對於水壓計觀測之影響不大。第二場雨則對於水壓觀測有明顯影響。

圖 6.2-5 為裂縫伸張計的監測數據，由圖中可看到其讀值起起伏伏，但個別突起的時間範圍大約是下午四點至上午五點的時間、近乎於太陽下山的時間，因此所觀查到的現象可能與溫度及太陽直射有關。圖 6.2-6 至 6.2-9 則為所安裝 IPI 傾斜管 A 向(沿坡向)與 B 向(垂直坡向)所量測到的傾斜變化，其中 SI1 的數據微幅地持續變化，並在 9/28 與 10/7 兩天有較明顯的變化，與雨量計觀察到的降低有明顯相關。SI2 上與下則在進行實驗的 10/7 日有明顯大幅度的變化。而土坡下的傾斜儀於 10/2 後傾斜量逐漸增加，推則與 10/2 日後平均溫度上升有關，而在 10/7 的實則產生明顯變化。



表 6.2-1 「建研所人工邊坡智慧監控系統」之運行環境

作業系統	Windows Server 2012
資料庫管理系統	Microsoft SQL Server 2016
網頁伺服器軟體	Apache 2.4.46
GIS 圖臺	Google Map via leaflet
網頁後端技術	PHP 7.4.11
系統開發語言	HTML, CSS, JavaScript, PHP
主要開發技術	JavaScript, PHP
JavaScript 程式庫	Leaflet: WebGIS Bootstrap: 響應式設計框架 Highcharts: 產生可互動式圖表並進行資料展示
介接系統	NCDR 之民生示警公開資料平臺 <a href="https://alerts.ncdr.nat.gov.tw/">https://alerts.ncdr.nat.gov.tw/</a> 中央氣象局之氣象資料開放平臺 <a href="https://opendata.cwb.gov.tw/index">https://opendata.cwb.gov.tw/index</a>

\*主要 Apache、PHP 更新至目前最新穩定版本



圖 6.2-1 系統登入後之畫面



圖 6.2-2 試驗場址鄰近中央氣象局雨量站資料、36 小時天氣預報、以及 NCDR 之公開示警訊息

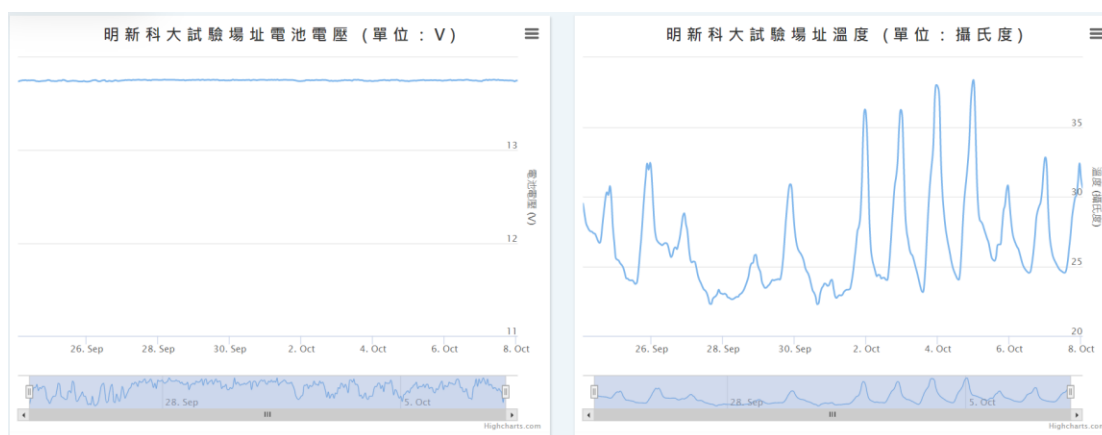


圖 6.2-3 自動監測設備電池電壓與量測溫度

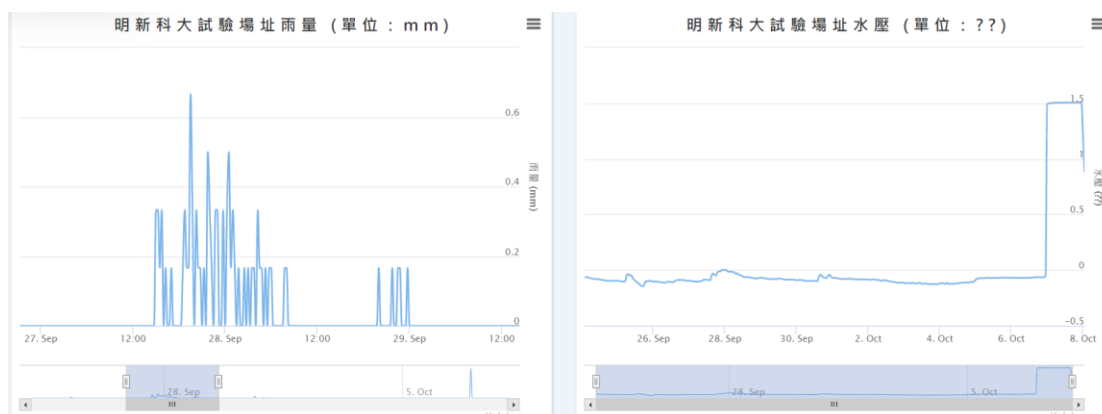


圖 6.2-4 監測之雨量與水壓

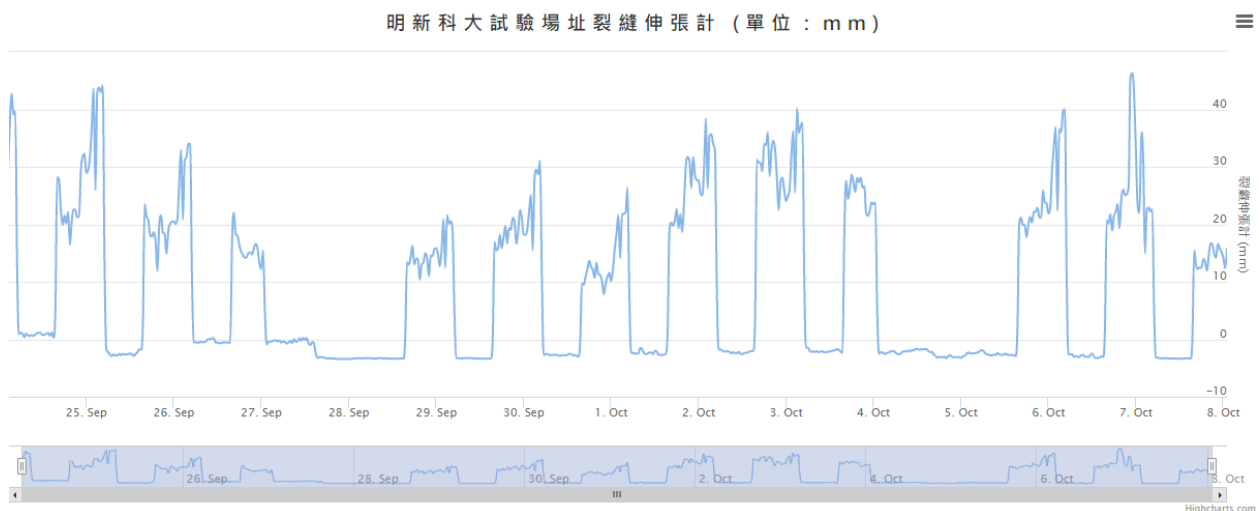


圖 6.2-5 裂縫伸張計的監測資料

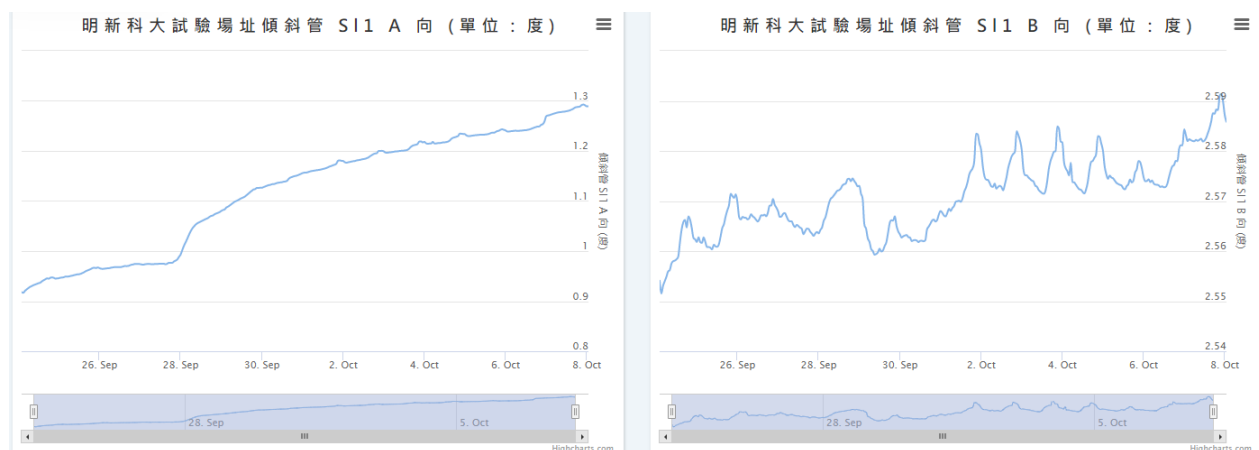


圖 6.2-6 土坡中段傾斜管 S11 監測數據

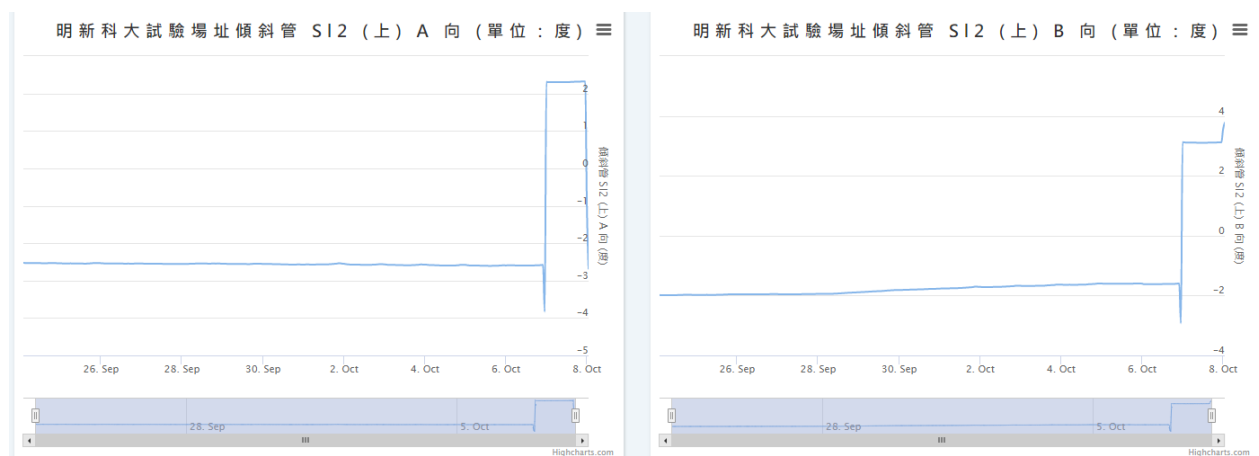


圖 6.2-7、土坡上方傾斜管 S12(上) 監測數據

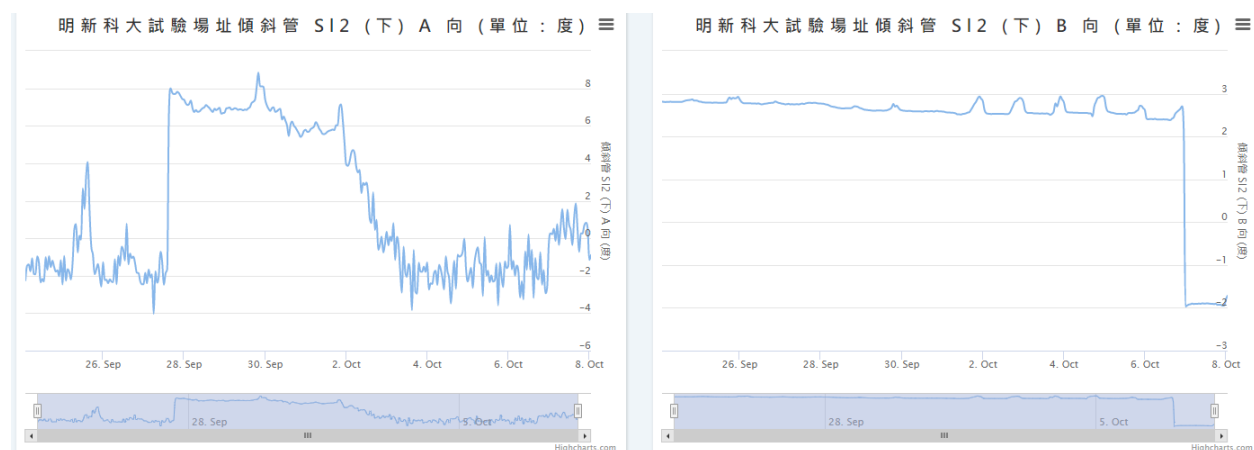


圖 6.2-8、土坡上方傾斜管 S12 (下) 監測數據

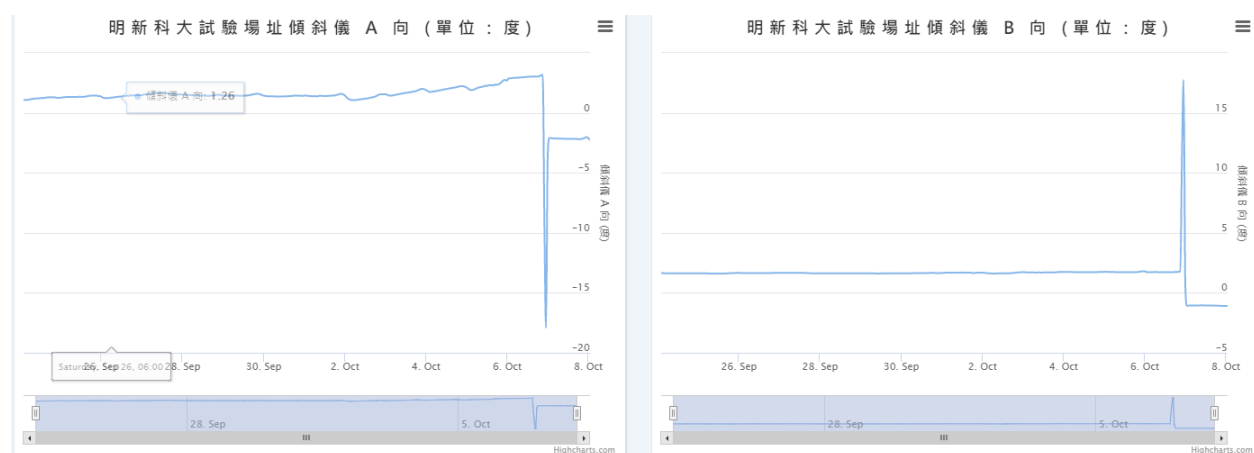


圖 6.2-9、土坡下傾斜儀監測數據

## 第七章 結論與建議

### 第一節、結論

#### 壹、驗證可透過大尺寸模型試驗推估監測儀器安全管理值

前期計劃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，客製並修正適合各社區之儀器安全管理值。

#### 貳、低功耗傳輸系統建置方面

本研究經過比較 LoRa 與 NB-IoT 兩種通訊方式後，採用較為容易架設之 NB-IoT 通訊技術於本研究。該技術已廣為應用於都會區之精密廠房中，然而應用於野外防災監測之案例仍在起步中，從建置至今已經遭遇各種不同之問題，包括供電、漏失率與韌體調整等。目前已確認可順利通訊，但漏失率部分需透過電信商一同合作處理改善，團隊已著手進行因應處理，實驗期間仍已 4G 傳輸為主，未來將進一步延伸應用於 5G 傳輸。

#### 參、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。。

#### 肆、山坡地社區智慧防災系統應用推廣說明會方面

本計畫研究團隊於民國 109 年 10 月 27 日、109 年 11 月 11 日接受媒體採訪，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；於 109 年 11 月 26 日至大尺寸試驗現場辦理應用推廣說明會。除了向媒體、學界、業界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，且此次說明會參與之媒體、學界、業界代表與過去歷次專家學者會議皆對於此抱持強烈興趣也相當認同其必要性。

## 第二節、建議

### 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，如未來在條件許可情況下(合法運送土方)，可嘗試以本年度計完成之土槽進行不同材料破壞試驗，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。

### 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。

### 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。

### 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。

## 參考文獻

1. Hault, N.A., Bennet, P.J., Stoianov, I., Maksimović, C., Middleton, C.R., Graham, N.J.G. and Soga, K. (2009) : “Wireless Sensor Networks: creating ‘Smart Infrastructure’,” Proceedings of ICE, Civil Engineering, Vol. 162, August 2009, pp. 136–143
2. Hughes, J., Yan, J., Soga, K. (2015): “Development of wireless sensor network using bluetooth low energy (BLE) for construction noise monitoring,” International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, Vol.8, No. 2, pp.1379-1405
3. Nawarz, S., Xu,X., Rodenas-Herr'aiz,D., Fidler,P., Soga,K. and Mascolo, C. (2016) : “Monitoring A Large Construction Site Using Wireless Sensor Networks,” Proceedings of the 6th ACM Workshop on Real World Wireless Sensor Networks, pp. 27-30
4. 中華民國大地工程學會，2017。山坡地監測準則 (TGS-SLOPEM106)。
5. 內政部建築研究所，(2018)，「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」。
6. 行政院農業委員會水土保持局，(2014)，「103年寶山潛在大規模崩塌地區調查監測系統維運與擴充計畫」。
7. 行政院農業委員會水土保持局，(2018)，「長距離低功耗廣域網路連結物聯網於監測資料傳遞應用上最佳化配置研發」。



## 期中成果報告書審查意見回覆表

委員	審查意見	意見回覆
游振棋技師	實驗場址坡趾部有一道高約1.5m的砌磚擋土牆，數值模擬時如何模擬建議再做說明。	謝謝委員建議，數值模擬時將依實際材料力學參數(如 E、柏松比)模擬。
	監測儀器有地中傾斜管、結構物傾斜計，可量測地層之位移量或結構物傾斜量，使用GeoStudio中之極限平衡法如何比對量測值建議再說明。	謝謝委員意見，GeoStudio 中之極限平衡法初步作為推估滑動深度用，至於地層之位移量或結構物傾斜量將採用有限元素法模擬。
	降雨模擬如何結合至分析模型中建議再說明。	謝謝委員意見，將假設降雨可造成地下水位升高，並以水位計確認。
	設置監測儀器前，建議先進行數值分析，找出可能破壞面，可能最大位移位置後再選定合適安裝位置。	謝謝委員意見，已使用 GeoStudio 中之極限平衡法找出可能破壞面。未來將採用有限元素法模擬找出可能最大位移位置。
	簡報中提及 IPI 設置距離為 50cm，建議在評估市面現行儀器是否可行，安裝成本是否符合經濟效益。	謝謝委員意見，IPI 成本的確很高，將再檢討評估符合經濟效益之市面現行儀器並採用。
楊國鑫教授	建議可以考慮邊坡表面變位之影像攝影與分析。	謝謝委員建議，本研究將考慮採用邊坡表面變位之影像攝影與分析。
	試驗成果如何回饋於社區監測預警之應用。	謝謝委員意見，試驗成果包含不同邊坡與構造物破壞情形下之環境條件促崩因子，未來將反饋為預警管理機制。
陳立憲教授	多年來坡地智慧防災相關研究可否用時間表列述?	謝謝委員建議，將於期末報告補充。
	各項監、檢測之管理值(如表 1.2-3,p11)是否因應 IoT 之有助監測取樣率增加而提出檢討。	謝謝委員建議，將漁獲達充份數據後進行檢討。
	參考文獻樂見於期末審查時增加(目前主要有 7 篇)	謝謝委員建議，將於期末報告補充。

委員	審查意見	意見回覆
	鑽探資料提及土壤(表層)也有RQD,建議釐清。	謝謝委員意見，該資料為誤植，將刪除。
	此案針對一足尺之個案分析，乃至進行破壞演化之監測，頗為珍貴。惟仍建議”通案”之方法論提出或由題目定義為某項之坡災而已亦可。	謝謝委員建議，因受限於場地與經費，現階段僅能以特案討論，建議於未來逐案探討後變為通案。
	誤植處宜注意，如 p7 有 2 段內容重複。	謝謝委員意見，該內容為誤植，將刪除。
	樂見期末審查針對 IoT 內容可多著墨，如感知層(傾斜管)與模擬細節。	謝謝委員建議，將於期末報告補充。
	趨動破壞知不同情境為何?例如強降雨致地水位至地表面，其FS=0.7，若未破壞如何行之。	謝謝委員意見，將假設降雨可造成地下水位升高，並以水位計確認。若未破壞，將以降低土壤或擋土結構強度因應。
	案場置於校區內，宜同時考慮適法性與邊坡道路之用路人安全。	謝謝委員意見，該處平時罕有人車出入，仍會注意。
盧昭宏科長	本案採低耗能長距離廣域無線網路技術(LPWAN)，具低成本、大範圍、低耗電、非授權頻率、頻寬費低之優勢，惟其系統穩定度及基地台能提供穩定通訊服務期能在本研究獲得實證。	謝謝委員建議，將持續針對LPWAN之穩定度進行研究。
	因本案採破壞性檢測試驗，選址不易，就近於委託研究單位明新科技大學選址，惟本(109)年上半年方初步完成模擬降與設備建置，可否先說明以何種降雨情境作設定？蓄積雨水要多少才可以換降雨情境？目前選址位置是否可推估呈現各種不同地質及住宅社區的實況？	謝謝委員意見，初步採氣象局公布之不同豪大雨標準模擬。目前選址位置土層偏均勻等向，初步應可推估呈現大部分住宅社區的實況。
梁成兆專委	本案擇定邊坡進行實驗之作為，值得肯定，惟建議先思考如何運	謝謝委員肯定。

委員	審查意見	意見回覆
	用、推廣可行性及其他附加價值(如影片宣導)。	
	本案目的在於關注舊社區，惟監測概念亦可能適用於新社區(甚至社區外道路邊坡)，建議評估導入新建社區開發後之未來監測，避免現今舊社區老化衍生安全之問題再次重演。	謝謝委員建議，將建議評估導入新建社區開發後之未來監測，避免現今舊社區老化衍生安全之問題再次重演。
	報告書內調查先前社區崩塌案例，建議分析證明擋土牆型式、興建年分、破壞原因...等，並與本案之研究成果及如何推廣適用進行勾稽。	謝謝委員建議，將於期末報告補充。
	為求未來普及與兼顧使用者需求，建議本案就監測回傳及災害預警分別設計規畫並提供客製化選擇，並將價格納入考量。	謝謝委員建議，將於期末報告補充。
林文中科長	監測儀器訂定合理管理植，如同山坡地自動監測的靈魂，在複雜的地質條件，多樣化的水土保持設施，要訂出一個統一標準的管理值是否可行，況現存之坡地社區之水保設施伴隨開發迄今存在評議，是否其水保功效已有相當程度之耗損，故建議未來可能有更多的對照組，即加入更多元的參數及相當之安全係數，以更準確因應各種條件下之監測合理值，以上建議。	謝謝委員肯定與建議，將於期末報告補充。
	大尺度的模擬，但是外在雨量模擬卻局限，考量大尺度等水面積是否有加乘係數之考量?	謝謝委員建議，將進行相關參數檢討。
中華民國全國建築師公會	整合型監測儀器之開發是非常值得研究的，將有助於社區使用及資訊之整合。	謝謝委員肯定。

委員	審查意見	意見回覆
	本案「大尺寸試驗」之定義為何?	謝謝委員意見，大尺寸為模擬接近常見邊坡破壞範圍之尺寸。
	實驗場址之背景資料，建議作加強說明，因其無法代表社區之狀況，但可就現況之內容做研究。	謝謝委員建議，將於期末報告補充。

## 期末成果報告書審查意見回覆表

委員	審查意見	意見回覆
洪迪光	肯定研究團隊到處找工地及做大尺寸模型的努力。	謝謝委員肯定，未來將持續尋找更合適場址，以供驗證監測儀器功能與管理機制之建議參考。
	大尺寸模型和實質山坡地社區還是有不同災害的情形。	謝謝委員建議，本年度採用大尺寸模型為克服過去尋找示範社區遭遇之困難，包括無颱風豪雨事件供模式率定以及影響原擋土功能等。因此雖與實質山坡地社區有差異，但仍可提供相當程度的參考價值；將建議於後續研究案辦理大尺寸模型和實質山坡地社區不同災害的情形相關分析與比較。
	找潛在災害現場，再加大水來做實驗，可能較符合實際。	謝謝委員建議，將持續尋找合適之潛在災害現場，期能模擬出大水來做實驗，以達較符合實際狀況之研究成果。
	應加強考慮在5G的應用。	謝謝委員建議，因為5G技術剛上線，監測儀器所能搭配之通訊設備尚未普及，但未來之應用如及時監視與AI判斷等，將建議於後續研究案辦理相關分析。
盧昭宏	P.41-43 以相當篇幅介紹各式感應器電力來源(太陽能、鋰電池、聚合物鋰電池)後，最後僅以一小段講述本研究將採用傳統鉛蓄電池進行實驗，請說明；並建議加入效益優劣分析表述明。	謝謝委員建議，根據本計畫之經驗，由於鋰電池過度充電或過度放電與對應保護措施都將導致鋰電池提早損壞以及無法喚醒等，因此最終採用傳統鉛蓄電池供電以提供穩定性，將於成果報告補充說明。
	原期中報告回應事項說明將補充先前社區崩塌案例，分析證明擋土牆形式，並與本案研究成果及如何推廣進行勾稽，這部分在表	謝謝委員建議，由於資料取得不易，將挑選代表性案例進行研究成果及推廣進行勾稽並於期末報告補充。

委員	審查意見	意見回覆
	<p>1.1-1, 2.1 有稍述，但摻入部分非住宅社區而是道路，電塔及地窖災害；又推廣勾稽部分應再強化論述。</p>	
	<p>未來現場監測資料如何及時回饋或介接至建研所人工邊坡智慧監控系統與大平台可否加入大數據分析，是否可加強說明，以助災害研判及決策支援。</p>	<p>謝謝委員建議，由於大數據分析為以統計技術為基礎，未來將搭配現行之力學穩定分析與變形分析機制，研擬不同條件下之災害潛勢，以助災害研判及決策支援。本年度因為確認模型實驗之可行性，數據量較低，未來將累計到一定程度後，根據不同觸發條件進行大數據分析。</p>
林俊宏	<p>本計畫獲得多組大尺寸試驗及數值模擬成果，惟在其目的與解析討論，撰寫上多有不明確之處，建議補充調整如下：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 安全管理值為未來應用目標，應說明計畫預計採用數值建立而非經驗法建立之基本目標，以利了解變形模擬之必要性。</li> <li>2. 續上，應由計畫變形模擬與監測數據之成果檢討，提出後續應用此法進行安全管理值之方法。</li> </ol>	<p>謝謝委員建議，將於成果報告補充以下事項：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 計畫為採用數值模擬方法建立不同情境之對應管理方式，非經驗法建立。變形模擬之必要性為與跟現地實驗量得之數值對照後，可供數值模擬所採用參數之率定。</li> <li>2. 為達到所方一貫希望達到之安全管理對策，將於未來取得更全面之變形模擬與監測數據成果後，預測達到擋土設施快速變化之可能情境，以此提出後續應用制定安全管理值之方法。</li> </ol>
	<p>目前報告之撰寫不利於閱讀並理解整體內容，建議根據工作項目進行調整。</p>	<p>謝謝委員建議，將於成果報告進行詳細調整與排列。</p>
	<p>報告內容細節誤植及缺失詳報告書標計。</p>	<p>謝謝委員建議，將於成果報告修正報告內容細節誤植及缺失。</p>

委員	審查意見	意見回覆
陳昭維	建議於文獻回顧中，加入與本計畫相關的前期計畫。	謝謝委員建議，將於成果報告附錄補充與本計畫相關的前期計畫重點摘要。
	人工土槽為人工填土及人工降雨，2.4.1 氣象 2.4.2 地質，似乎沒有必要呈現，建議刪除。	謝謝委員建議，因人工土槽為人工填土及人工降雨，將於成果報告刪除氣象與地質敘述。
	地質鑽探、地球物理探測、監測儀器在土槽試驗中扮演的角色及目的為何?請說明	謝謝委員建議，期中階段之前為採用現地邊坡進行實驗，故進行地質鑽探、地球物理探測，監測儀器僅使用在土槽試驗。
	土槽配置圖及分析剖面沒有坡趾擋板，但實際成品有，建議修改。	謝謝委員建議，將於成果報告修正土槽配置圖及分析剖面，依實際成品加上坡趾擋板。
	請比對說明模擬後分析成果，與實際土槽試驗成果是否吻合(如變形位置)	謝謝委員建議，已有初步說明模擬後分析成果與實際土槽試驗成果大部分現象吻合，如張力裂縫之發生位置與測傾管量到之土壤變形趨勢等。
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 圖表的單位，圖例部分有遺漏，請再檢查。</li> <li>2. 土槽試驗非期初規劃項目，建議說明。</li> <li>3. 除專家會議外，建議加入期初、期中審查意見及回覆。</li> </ol>	<p>謝謝委員建議，將於成果報告修正與補充以下事項：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 圖表的單位</li> <li>2. 說明因應現地邊坡之材料不均勻性與環境難控制性，故經由專家學者會議同意變更為以土槽模擬大尺寸邊坡</li> <li>3. 期初會議、期中會議審查意見及回覆</li> </ol>
	坡地社區常見因擋土牆洩水管堵塞問題，建議後續可針對這問題加以試驗。(如洩水管是否堵塞對擋土牆的穩定的影響)	謝謝委員建議，坡地社區常見因擋土牆洩水管堵塞問題造成擋土結構變化；本課題已經於本年度數值與實體模型試驗模擬，初步成果顯示洩水管堵塞的確會對擋土牆穩定造成影響，建議後續可針對這課題增加不同堵塞程度之試驗。

委員	審查意見	意見回覆
游振琪	建議補充傾度管儀器配置深度資料。	謝謝委員建議，將於成果報告補充傾度管儀器配置深度資料。
	圖5.1-1直接剪力試驗正向應力單位建議再檢查是否正確。	謝謝委員意見，經確認後單位為 $\text{kg/cm}^2$ 雖與數值模擬採用之 $\text{kN/m}^2$ 不同，但數值正確無誤。
	邊坡穩定分析之剖面圖與有限元素分析模形不一致，建議再說明。	謝謝委員建議，邊坡穩定分析之剖面圖與有限元素分析模形不一致的原因為功能不同，以下說明：前者為確認土槽建置所需之尺寸(dimension)與預估可能之滑動位置與行為；後者為透過量測之變形量檢討材料參數。因此雖然兩者不一致，但因功能不同，因此不建議相互比較。
	邊坡穩定分析建議可檢核是否有發生平面滑動之可能性，補充說明採用之分析方法。	謝謝委員意見，目前透過較常用之 Morgenstern-Price 分析方法模擬，模擬結果為圓弧形滑動，與實驗成果初步吻合，判斷非平面滑動。
	5.2.2模擬結果全區最大水平變位14.5mm發生在坡頂處，但分析模式坡頂處使用滾支承應無水平位移。	謝謝委員意見，為達到擬真效果，雖然分析模式坡頂處使用滾支承但允許張力裂縫發生，因此模擬結果於坡頂處發生最大水平變位，與實際模型試驗觀察到之結果吻合。
	建議補充說明數值分析時之地下水水位置資料，分析時土壤彈性模數如何評估，土壤使用模式。	謝謝委員建議，數值分析時之地下水位置為依據實驗結果，分析時土壤彈性模數為引用實際直剪試驗成果，而土壤模式使用符合最常見之 Mohr-Coulomb 破壞模式，將於成果報告補充。
	表5.2-2建議加入單位。	謝謝委員建議，將於成果報告補充表 5.2-2 模擬成果比較表中加入單位(mm)。
	建議成果報告中增加雲端系統監	謝謝委員建議，將於成果報告補



委員	審查意見	意見回覆
	測日後營運、使用方向之相關建議。	充雲端系統監測日後營運、使用方向之相關建議，以提高推廣效益。
楊勝德	LEM數值模擬概念模型，屬2D模型，會有邊界效應。	謝謝委員意見，已透過實驗技術盡力克服邊界效應，未來將建議增大實驗規模以降低邊界效應。
	建議有機會作好選址工作，於實際坡地較大尺度作試驗可以比對現在的研究成果。突顯這次「土槽試驗」的價值。	謝謝委員意見，如未來計畫條件與場地許可，將評估各種選址條件可供比對現在的研究成果。
土木技師公會 全國聯合會 林自勤	第七章結論與建議7.2建議提到感測器之架設與判讀成本等問題致導致邊坡社區無法負擔等；此部分是否應是政府的責任不是邊坡社區應負的責任？	(1)感謝委員意見，本計畫感測器之架設與判讀成本等問題致導致邊坡社區無法負擔等問題，感謝所方長期支持開發較低成本之監測系統並進行推廣。 (2)補助部分建請相關單位說明回覆，此工作不在本次研究範圍內，建議由另案辦理討論。
	山坡地的變異管理似乎是農委會水土保持局的責任？	經查山坡地的變異管理主管機關為農委會水土保持局，但本研究案之宗旨為推廣坡地社區自主防災監測，透過研發成果達到自主防災成效。
	由邊坡社區負責檢測與維護是否合宜？	本研究案之宗旨為推廣坡地社區自主防災監測，透過研發成果達到自主防災成效，並於監測成果達到管理值時由邊坡社區自主尋求專業協助。
	社區防災巡檢後的資訊判讀需長期支付一筆不小的費用，是否考慮由政府提供補助？	為提高社區自主巡檢效果，仍建議由社區自主支應專業人士社區防災巡檢後的資訊判讀。
新北市政府工務局	近年新北坡地災害皆與水保設施破壞滲透漏所致，建議往後可考慮對各類型災害進行試驗、警示	謝謝委員建議，各類型災害警示值訂定需要大量數值模擬與模型試驗率定，未來成果對邊坡社區

委員	審查意見	意見回覆
	值訂定，提供各機關	防災助益極大，建請於後續研究案進行相關試驗與分析，以可提供各機關參考。
	建議應儘可能降低設備成本，雲端系統監測平台、即時警報，建議可考慮其他民眾較常用之平台推播(如Line)，以節省手機系統改版維護費用	謝謝委員建議，即時警報採用推播(如 Line)有助於邊坡社區民眾提高自主防災意識，將於未來持續研發整併至雲端系統監測平台。

## 內政部建築研究所

「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」研究計畫  
推廣說明會

### 出席簽到單

時間：109年11月26日(星期四)上午10時00分

地點：明新科技大學

單位	簽到
內政部建築研究所	請假
台灣科技大學	許福氣
嘉義大學	李世泰
業界單位	增國 / 李孟仁
明新科技大學	吳晉華 李阿平 劉美君