

坡地社區應用大尺寸模型驗證整合 監測設備研究

成果報告

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國110年11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)

坡地社區應用大尺寸模型驗證整合 監測設備研究

成果報告

執行單位：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、陳宏燊

研究人員：吳晉維、劉美君

研究助理：賴東樟、徐婉婷、趙天鵬、林恒益、彭俊傑、
何禮雲

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國110年11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

目錄.....	i
表次.....	iii
圖次.....	v
摘要.....	ix
ABSTRACT.....	xv
第一章 緒論.....	1
第一節、研究緣起與背景.....	1
第二節、研究目標.....	2
第二章 文獻回顧與研究區域概述.....	3
第一節、大尺寸模型試驗相關文獻.....	3
第二節、管理值訂定.....	13
第三節、監測系統.....	15
第四節、監測系統維護機制.....	26
第三章 大尺寸試驗模型之建置.....	27
第一節、研究場域概述.....	27
第二節、土槽邊坡降雨測試.....	46
第三節、不同情境下邊坡穩定模擬成果.....	47
第四章 管理值訂定方式.....	55
第一節、案例探討.....	55
第二節、模型驗證.....	62
第五章 建研所既有之防災監控平台.....	71
第六章 講習與觀摩會.....	87
第七章 結論與建議.....	89
第一節、結論.....	89
第二節、建議.....	90
文獻回顧.....	93

附錄一 期中報告審查意見回覆.....	1
附錄二 期末報告審查意見回覆.....	7

表次

表 2-1 模型試驗之相關折減因子	12
表 2-2 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).....	13
表 2-3 高雄寶山聚落(坡地社區)建議之安全監測管理值(水保局 2014).....	14
表 2-4 山坡地監測系統執行流程	26
表 3-1 20 尺貨櫃內外尺寸表	28
表 3-2 雨量分級定義(中央氣象局 2015).....	37
表 4-1 土壤參數	60
表 4-2 材料參數	62
表 4-3 GEO-SLOPE 分析設計	63
表 4-4 PLAXIS 分析設計結果	68
表 5-1 「建研所人工邊坡智慧監控系統」之運行環境	72
表 5-2 「山坡地社區建築管理履歷資料庫」之運行環境	76
表 6-1 講習與觀摩會議題	87

圖次

圖 2-1 模擬邊坡滑動之大尺寸模型(郭治平等人 2020).....	3
圖 2-2(a) 大尺寸模型建置實況.....	4
圖 2-2(b) 大尺寸模型與監測儀器建置完成.....	4
圖 2-3(a) 模擬降雨實況.....	4
圖 2-3(b) 降雨驅動邊坡變形後照片.....	4
圖 2-4 於雲端伺服器集錄與分析後之監測數據紀錄.....	4
圖 2-5(a) 由監測數據可評估出滑動機制.....	5
圖 2-5(b) 數值模擬與監測數據比對，機制與趨勢吻合，未來可以此概念模型推估管理值.....	5
圖 2-6 全尺寸模型模擬邊坡受降雨入滲之行為(Moriwaki et al. 2004).....	6
圖 2-7 全尺寸邊坡試驗(a)土層左側剖面圖(b)土層右側剖面圖(Askarinejad et al. 2018).....	6
圖 2-8 邊坡降雨模型示意圖 (Tohari et al. 2007).....	7
圖 2-9 邊坡降雨金屬盒示意圖 (Tohari et al. 2007).....	7
圖 2-10 模型斜坡之剖面圖(Tohari et al. 2007).....	7
圖 2-11 各邊坡模型的破壞面與相對應之地下水位面(Tohari et al. 2007).....	8
圖 2-12 各邊坡模型的破壞面與相對應之地下水位面之剖面圖(Tohari et al. 2007).....	8
圖 2-13 各邊坡模型不同階段時之土壤含水量變化(Tohari et al. 2007).....	9
圖 2-14 縮尺砂箱模型模擬邊坡受滲流影響之行為(Lourenco et al. 2006).....	10
圖 2-15 土壤滲流侵蝕破壞行為(Lourenco et al. 2006).....	11
圖 2-16 坡腳破壞後逐漸往上侵蝕破壞(Lourenco et al. 2006).....	11
圖 2-17 邊坡之原型與模型示意圖.....	12
圖 2-18(a) 03/07/25~103/09/09 期間 BH-5 孔口變位記錄與變位速率(水保局 2014).....	13
圖 2-18(b) 03/07/25~103/09/09 期間 BH-5 孔口變位記錄與變位速率(水保局 2014).....	13
圖 2-19 監測資料變化示意圖.....	14
圖 2-20 萬物聯網概念 (Internet of Things, IoT)與 LPWAN 通訊技術圖.....	15
圖 2-21 各種通訊方式數據傳輸率與傳輸距離關係圖.....	16
圖 2-22 長距離星型架構示意圖.....	18
圖 2-23 NB-IoT 頻寬與 LTE-4G 頻寬示意圖.....	20
圖 2-24 NB-IoT 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖.....	20
圖 2-25 不同世代之傳輸速度與頻寬示意圖.....	23
圖 2-26 太陽光電發電示意照片.....	24
圖 3-1 新科大校園空照圖與本研究預定試驗場地.....	27
圖 3-2 貨櫃下方基礎與支撐.....	28
圖 3-3 土槽內部鋪設不透水帆布，上方保留 20cm 鋼板。.....	28
圖 3-4 大尺寸試驗模型傾斜管裝設.....	29

圖 3-5 大尺寸試驗模型傾斜管埋設完成	29
圖 3-6 不同層面、不同地下水位與擋土牆排水狀況下土層之最大位移模擬結果(本團隊假設案例模擬成果).....	30
圖 3-7 不同層面、不同地下水位與擋土牆排水狀況下擋土牆之最大位移模擬結果(本團隊假設案例模擬成果).....	31
圖 3-8 本研究土壤材料來源說明	32
圖 3-9 模擬坡面植生情形	33
圖 3-10 頂昇實驗土槽實況	33
圖 3-11 模擬不同角度層面	34
圖 3-12 模擬不同形式邊坡	34
圖 3-13 設置模擬不同降雨情境之灑水設施	35
圖 3-14 人工降雨裝置供水之加壓馬達	36
圖 3-15 大尺寸邊坡模型上方架設可調整降雨量之人工降雨裝置	36
圖 3-16 109 年度大尺寸邊坡模型試驗模擬降雨後之地層反應	37
圖 3-17 定置型傾斜儀	38
圖 3-18 現場安裝之定置型傾斜儀	38
圖 3-19 自動量測傾度管紀錄	39
圖 3-20 雙軸傾斜儀	40
圖 3-21 土壤水分計	40
圖 3-22 裂縫量測應變計	41
圖 3-23 本研究採用之自動化連續記讀水壓觀測計	41
圖 3-24 本研究採用之雨量監測系統	42
圖 3-25 本研究採用之整合感測器現場安置完畢照片	43
圖 3-26 大尺寸邊坡模型配置圖	44
圖 3-27 各項監測設備現場裝設位置	44
圖 3-28 本研究監測項目即時顯示畫面	45
圖 3-29 降雨初期(左圖)與降雨後(右圖)比對	46
圖 3-30 人工降雨過程中沖刷出之蝕溝	46
圖 4-1 空纜車 T16 塔柱邊坡整治工程(林冠良 2015).....	55
圖 4-2 空纜車 T16 塔柱位置(林冠良 2015).....	56
圖 4-3 塔柱災後局部邊坡破壞(林冠良 2015).....	57
圖 4-4 歷史經過(林冠良 2015).....	57
圖 4-5 T16 塔柱幾何模型	59
圖 4-6 水力邊界條件設定	60
圖 4-7 降雨歷時安全係數變化	61
圖 4-8 PLAXIS 分析數值模型圖	62
圖 4-9 地下水位面位於地表：Case1	63

圖 4-10 地下水位面位於地表模擬變形：Case1	64
圖 4-11 地下水位面位於地表模擬變形：Case1.....	64
圖 4-12 地下水位面位於地表模擬分析結果：Case1	64
圖 4-13 地下水位面位於坡底上約 1M：Case2.....	65
圖 4-14 地下水位面位於坡底上約 1M 模擬變形：Case2.....	65
圖 4-15 地下水位面位於坡底上約 1M 模擬變形：Case2.....	66
圖 4-16 地下水位面位於坡底上約 1M 模擬分析結果：Case2.....	66
圖 4-17 地下水位面位於坡頂：Case3	67
圖 4-18 地下水位面位於坡頂模擬變形：Case3	67
圖 4-19 地下水位面位於坡頂模擬變形：Case3	68
圖 4-20 地下水位面位於坡頂模擬分析結果：Case3	68
圖 4-21 政大御花園後方邊坡破壞行為時序	69
圖 4-22 本研究模擬案例以傳統管理思維劃分警界與行動時間	70
圖 4-23 本研究模擬案例以新管理思維劃分警界與行動時間	70
圖 5-1 前期計畫於示範社區(觀天下為例)安置與說明會照片(建研所 2019).....	71
圖 5-2 系統登入後之畫面	73
圖 5-3 試驗場址鄰近中央氣象局雨量站資料以及 NCDR 之公開示警訊息	73
圖 5-4 現地量測各項監測資料	75
圖 5-5 工邊坡智慧監控系統首頁與子彈圖	76
圖 5-6 山坡地社區建築管理履歷資料庫」登入後之操作畫面	77
圖 5-7 行政區定位功能查詢避難處所	77
圖 5-8 管理者登入後選擇資料維護功能之操作畫面	77
圖 5-9 選地圖上範圍後可看到更詳細的坡地與社區資訊	78
圖 5-10 Windows Update 設定畫面.....	79
圖 5-11 Cacti 監測畫面	80
圖 5-12 Awstats 監測畫面	81
圖 5-13 鐘訊同步設定畫面	82
圖 5-14 移機成果畫面	82
圖 5-15 資料庫移植畫面	83
圖 5-16 原有資料連結	84
圖 5-17 坡地社區自主巡檢系統恢復運作	84
圖 5-18 人工邊坡智慧監測系統復原狀況	85
圖 6-1 講習與觀摩會簽到單	87
圖 6-2 講習與觀摩會照片	88

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

第一章 緒論

第一節、研究緣起與背景

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，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。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。

第二節、研究目標

建研所多年來不斷針對「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，且成果已獲得社區居民與業界之正面回響，但仍需要更具體之機制與管理模式。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，亦有破壞原擋土設施功能之虞，導致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受檢驗，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。去年(109 年度)首度以大尺寸土槽模型進行智慧防災系統之驗證，確認在致災因子導入後，至發生大規模滑動階段與擋土設施變形期間，確實有可以做為制定管理機制之參考，因此本年度將精進過去實驗方式，進一步求取在不同邊坡失穩情況下，監測儀器搭配之管理值。最後並將相關資訊導入防災資訊平台。

邊坡之致災因子，如強降雨、地震、地下水等，近年來成為研究邊坡滑動或崩塌之熱門關鍵議題，對於瞭解破壞機制有重要助益。然而，實際邊坡崩坍災害發生時機及區塊難以預測，對於保護邊坡周遭居民之生命財產安全，即時的示警系統仍是必須。鑑於邊坡發生前常有局部危害徵兆，如能藉由自動化智能監測網絡，偵測危害徵兆並針對該區域發布示警，將可使居民免於災害威脅。而上述之工作，有賴於大尺寸模型試驗之實驗參數取得後回饋分析並進行管理值訂定方法驗證，才能使管理值更接近實際應用需求。

第二章 文獻回顧與研究區域概述

第一節、大尺寸模型試驗相關文獻

2.1.1 國內室外大尺寸降雨邊坡穩定試驗

郭治平等(2020)為探討推估社區監測儀器安全管理值之機制與方法，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(如圖 2-1 所示)，模擬無擋土設施之自然邊坡與人工擋土邊坡(建置完成後如圖 2-2 所示)，並進行降雨模擬與相關邊坡安全數據監測(模擬降雨與滑動實驗後之地表張力裂縫如圖 2-3 所示)，包括降雨量、地下水位、地層變位、擋土牆傾斜度、裂縫變化等，再將監測資料即時回傳至雲端伺服器進行分析，如圖 2-4 所示，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(圖 2-5)。該研究為國內相當罕見之大尺寸實驗，並引發各界高度興趣，有助於本研究之推廣。

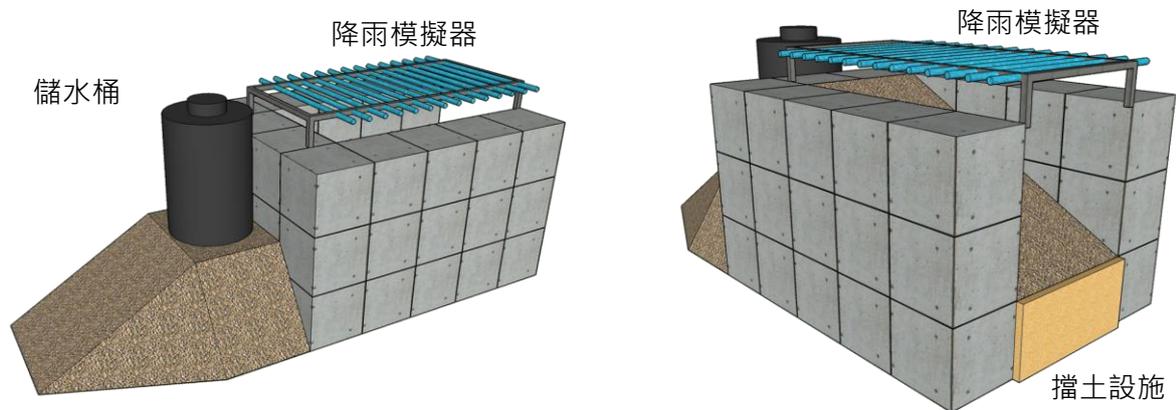


圖 2-1 模擬邊坡滑動之大尺寸模型(郭治平等 2020)



圖 2-2(a) 大尺寸模型建置實況

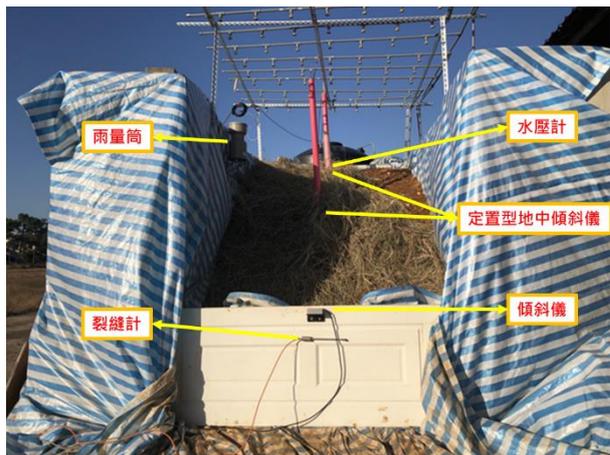


圖 2-2(b) 大尺寸模型與監測儀器建置完成



圖 2-3(a) 模擬降雨實況



圖 2-3(b) 降雨驅動邊坡變形後照片

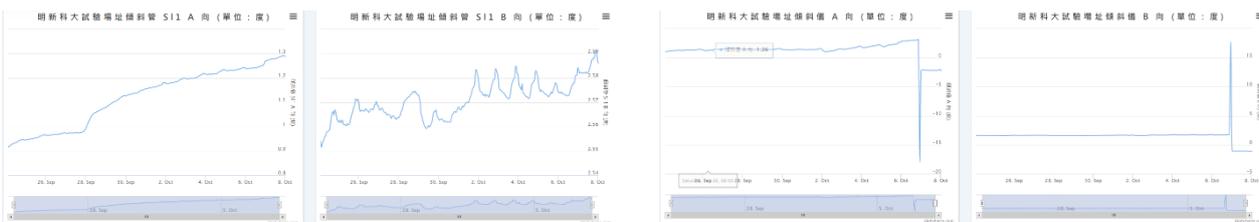


圖 2-4 於雲端伺服器集錄與分析後之監測數據紀錄

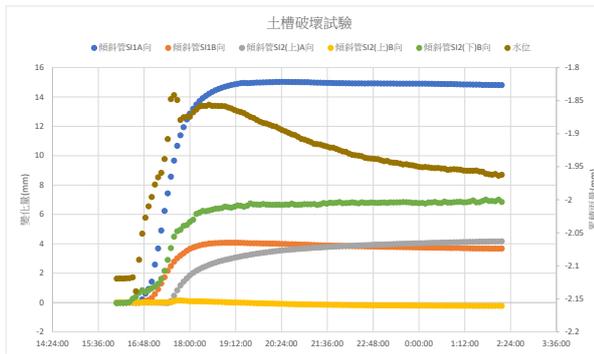


圖 2-5(a) 由監測數據可評估出滑動機制

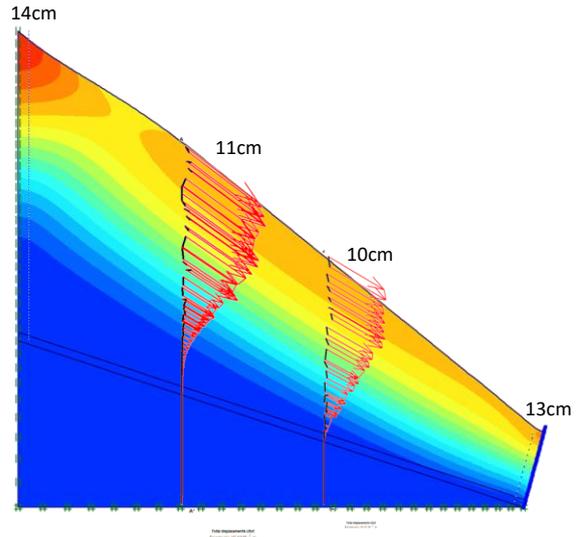


圖 2-5(b) 數值模擬與監測數據比對，機制與趨勢吻合，未來可以此概念模型推估管理值

2.1.2 國外全尺寸模型試驗

以下彙整了模型邊坡受降雨或者滲流影響之全尺寸模型試驗及縮尺物理砂箱模型試驗。

1. Failure processes in a full-scale landslide experiment using a rainfall simulator

Moriwaki et al. (2004) 利用全尺寸模型模擬邊坡受降雨入滲之行為，模型示意圖如圖 2-6 所示，主要坡面由 10m 長 30° 與 6m 長 10° 之斜坡所組合而成，下端有一段 6m 長之水平延伸段，坡面與水平延伸段之深度均為 1.6m、寬均為 3m，整個邊坡模型的牆面均用透明強化玻璃製成，以便觀察土壤位移情形，而此研究的土壤性質為鬆散砂土，其乾單位重為 $1.45g/cm^3$ 、初始含水量約為 8%，邊坡上方之灑水裝置以 100 mm/hr 的降雨強度噴灑該區域，並讓噴嘴離地面高度 16m，使雨滴達到終端速度，研究結果顯示，當邊坡由鬆散砂土組成且隨著降雨入滲而形成高含水量時，在破壞過程中孔隙水壓力會顯著增加，同時會降低邊坡的抗剪強度，整個降雨過程中靠近斜坡與水平地面接縫處的孔隙水壓力最大，上部邊坡孔隙水壓力增加是由於剪切過程中鬆散土壤結構的坍塌引起的，而中下段孔隙水壓力的增加是由於剪切過程中壓縮變形與鬆散土壤結構的坍塌混合造成的。

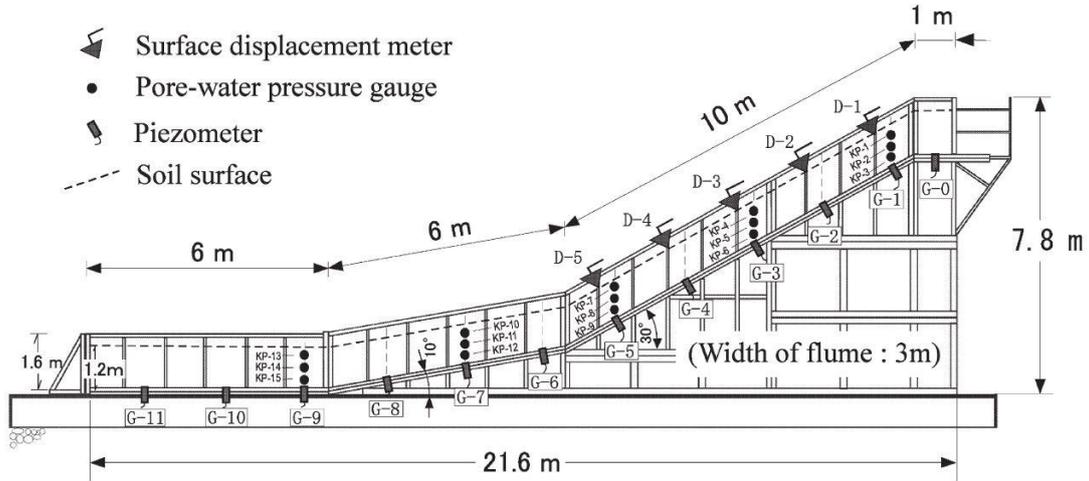


圖 2-6 全尺寸模型模擬邊坡受降雨入滲之行為(Moriwaki et al. 2004)

2. Precursors of instability in a natural slope due to rainfall a full-scale experiment

Askarinejad et al. (2018) 利用全尺寸邊坡試驗，模擬天然砂土質邊坡受降雨入滲後之行為，圖 2-7(a)與圖 2-7(b)分別為土層左側剖面圖與右側剖面圖，施加的平均降雨強度約為 10 mm/hr，並此試驗安裝了 4 個攝像頭以監測遍坡地表位移。

破壞的範圍為長度約 17 m，寬度 7 m，深度在 0.3 至 1.3 m 之間變化，共降雨 15 小時後造成 130 m³ 的土方滑落，破壞位置發生於土壤和基岩的交界處。

另外此實驗也說明了邊坡土壤的飽和度與降雨入滲導致的孔隙壓力、土體的移動速率和側向土壓力係數，之間的密切相互作用，測量結果顯示，大約在破壞前 2.5 小時側向土壓力急遽上升，而在破壞前 23 分鐘，側向土壓力上升的更加明顯。

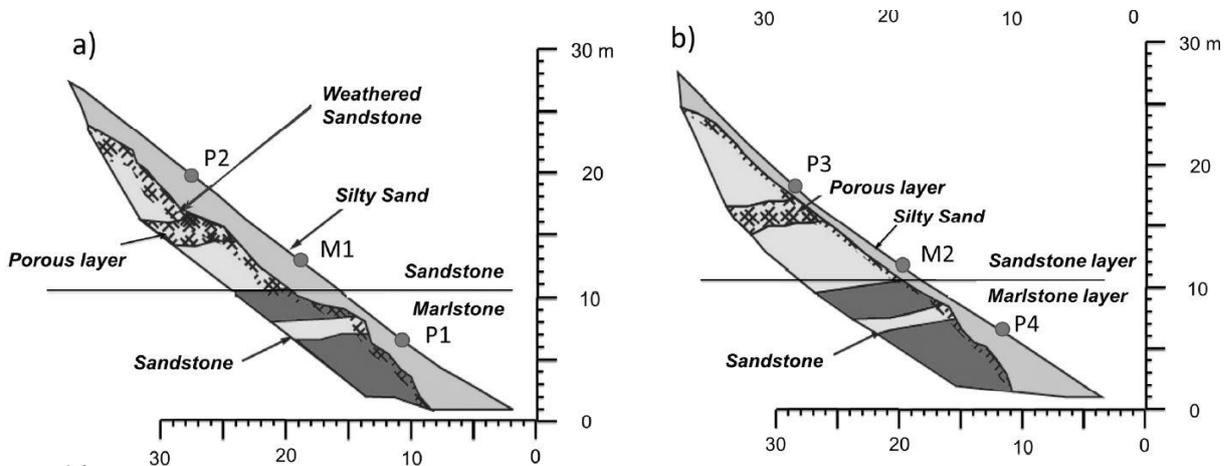


圖 2-7 全尺寸邊坡試驗(a)土層左側剖面圖(b)土層右側剖面圖(Askarinejad et al. 2018)

2.1.3 國外縮尺物理砂箱模型試驗

1. Laboratory rainfall-induced slope failure with moisture content measurement

Tohari et al. (2007) 做了一系列的邊坡模型降雨試驗，模型示意圖如圖 2-8 與圖 2-9 所示，其邊坡模型建於一尺寸為 2x1x1.5m 的金屬盒中，為了在模型斜坡的底部形成一不透水邊界，在斜坡底部固定了一塊 25 mm 高、10mm 厚的壓克力板。

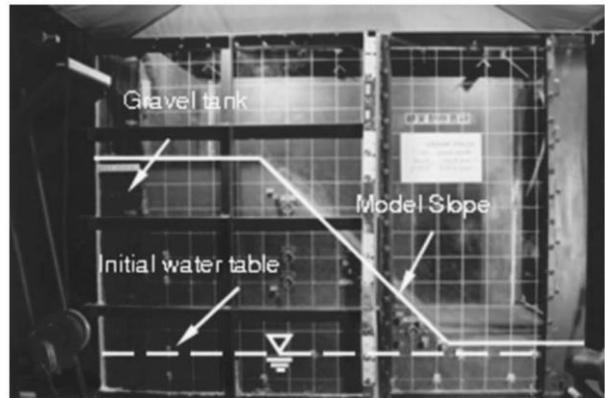
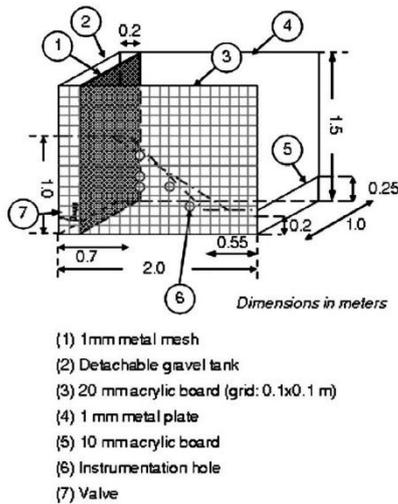


圖 2-8 邊坡降雨模型示意圖 (Tohari et al. 2007)

圖 2-9 邊坡降雨金屬盒示意圖 (Tohari et al. 2007)

在此研究中，所有的邊坡都是以相同方式構築，均採用平直且均勻的斜坡剖面，因此模型斜坡的幾何形狀不會限制破壞面的發展，實驗 1 到 3 的邊坡由初始含水量為 5% 的河砂建構而成，實驗 4 以花崗岩土壤之最佳含水量 11.8% 作為實驗時之初始含水量，使用木製夯錘對每層土壤進行輕微夯實，以產生些微之內凝聚力，各模型邊坡之剖面圖如圖 2-10 所示，其相對密度(Dr)約從 50%~60%，屬於中等緊密之邊坡，其灑水裝置設置在模型邊坡上方約 1m 處，降雨強度為 10cm/hr。

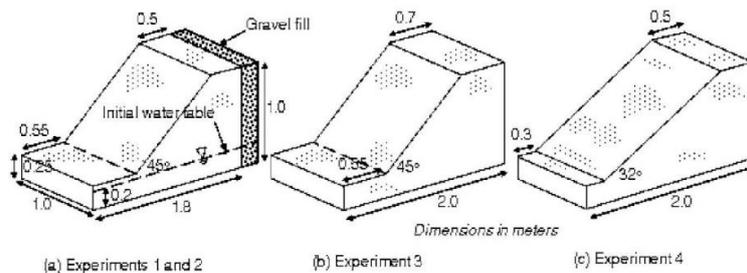


圖 2-10 模型斜坡之剖面圖(Tohari et al. 2007)

研究結果顯示由於局部滲流形成滲流區，使得凝聚力喪失與局部不穩定導致邊坡破壞，其主要破壞模式為淺層非圓弧滑動破壞，此種局部不穩定會擾亂邊坡上部的穩定性，導致邊坡表面附近的非飽和土壤發生破壞，下圖 2-11~2-13 為各邊坡模型破壞面與相對應水位面及含水量變化比對示意圖。

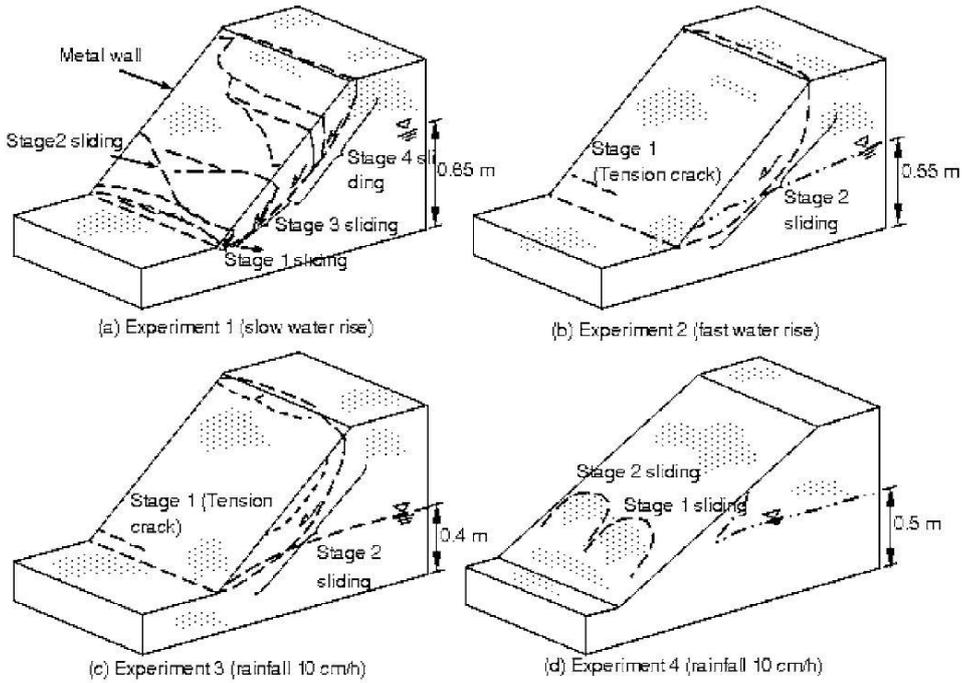


圖 2-11 各邊坡模型的破壞面與相對應之地下水位面(Tohari et al. 2007)

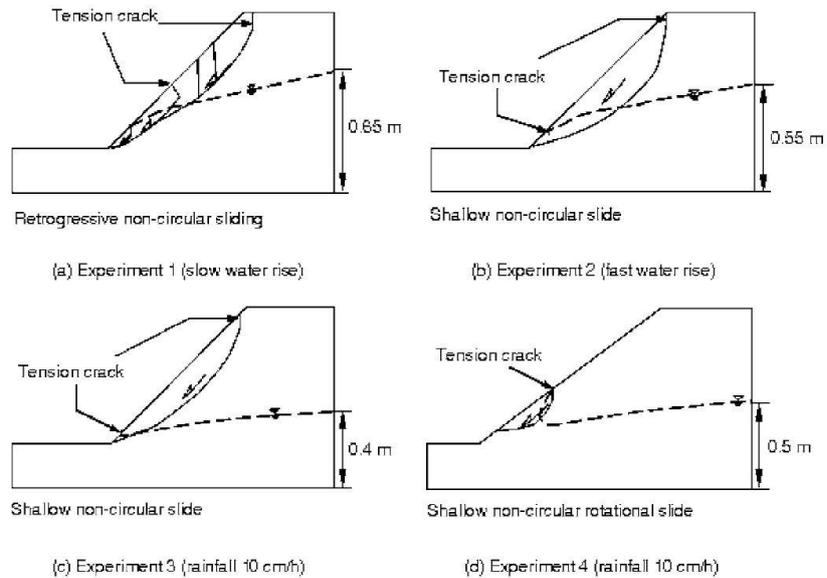


圖 2-12 各邊坡模型的破壞面與相對應之地下水位面之剖面圖(Tohari et al. 2007)

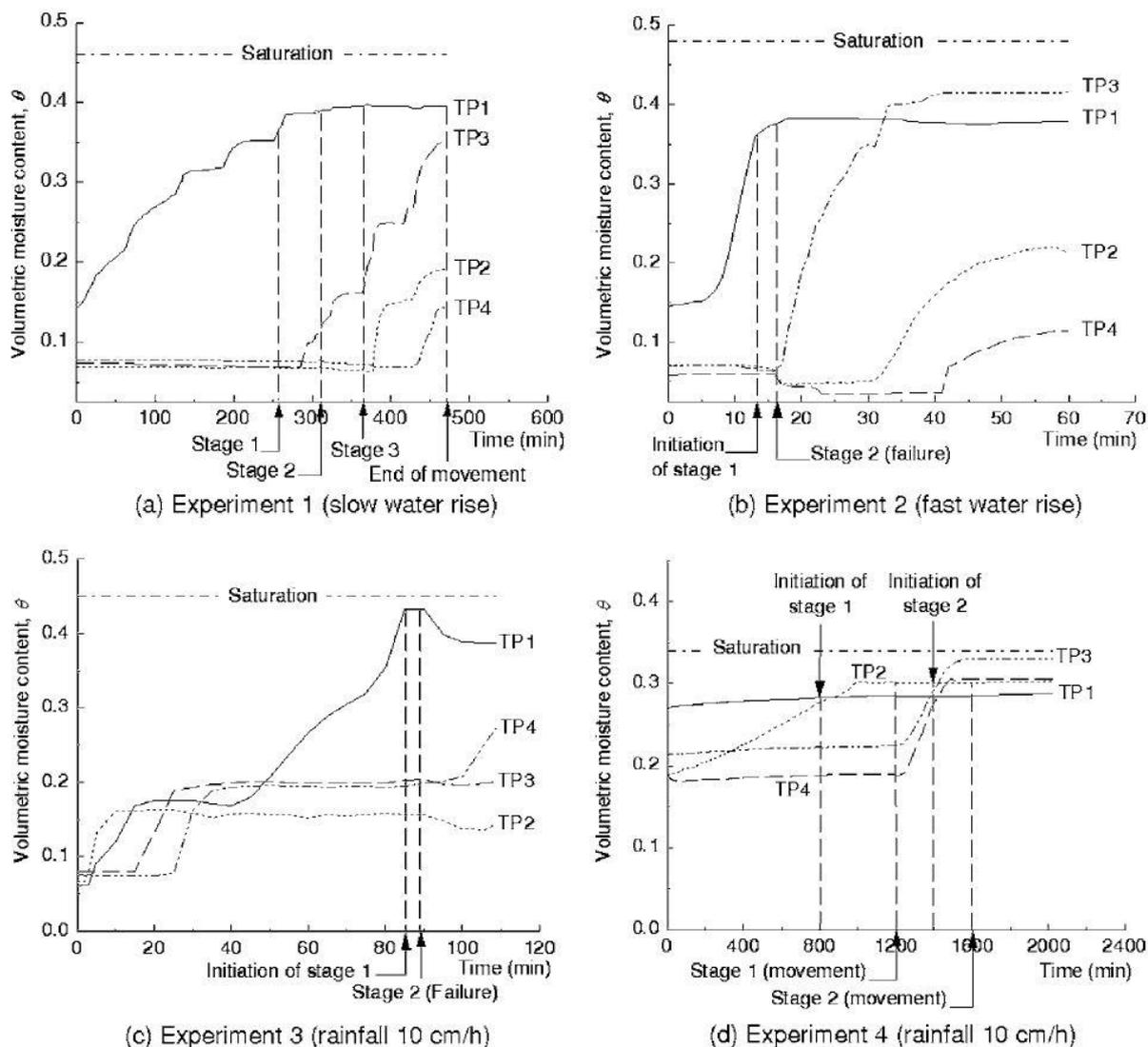


圖 2-13 各邊坡模型不同階段時之土壤含水量變化(Tohari et al. 2007)

2. Failure process and hydrologic response of a two layer physical model: Implications for rainfall-induced landslides

Lourenco et al.(2006) 利用縮尺砂箱模型模擬邊坡受滲流影響之行為，並探討滲透係數變化對於邊坡行為的影響，在不同滲透係數土壤附近的孔隙水壓力的變化，以及其破壞模式，水槽模型尺寸為長 3m、高 45cm、寬 29.75cm，其中土坡尺寸為長 1m、高 45cm、寬 29.75cm，如圖 2-14 所示，側面由玻璃製成，以便觀察邊坡破壞過程，實驗中使用兩種土壤，為粗砂 silica sand 6 (ss#6)與細砂 silica sand 8 (ss#8)，滲透係數分別為 $3.87 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ 和 $5 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ，過程水槽裝置會逐漸升高，直到最大坡度傾角約為 30 度，略低於砂土之內摩擦角，若坡腳角度高於此傾角，砂粒會開始在表面滾動。

通過讓水從底部往上流入或人工降雨進行試驗，實驗結果顯示，破壞形式主要取決於土層分布，而孔隙水壓力分佈則是受入滲方向（降雨入滲或底部水位抬升）的影響，若下層為較粗顆粒土壤，則主要為上層土壤滲流侵蝕破壞，如圖 2-15 所示；若下層土壤顆粒較細，則主要為坡腳破壞後逐漸往上侵蝕破壞，如圖 2-16 所示。

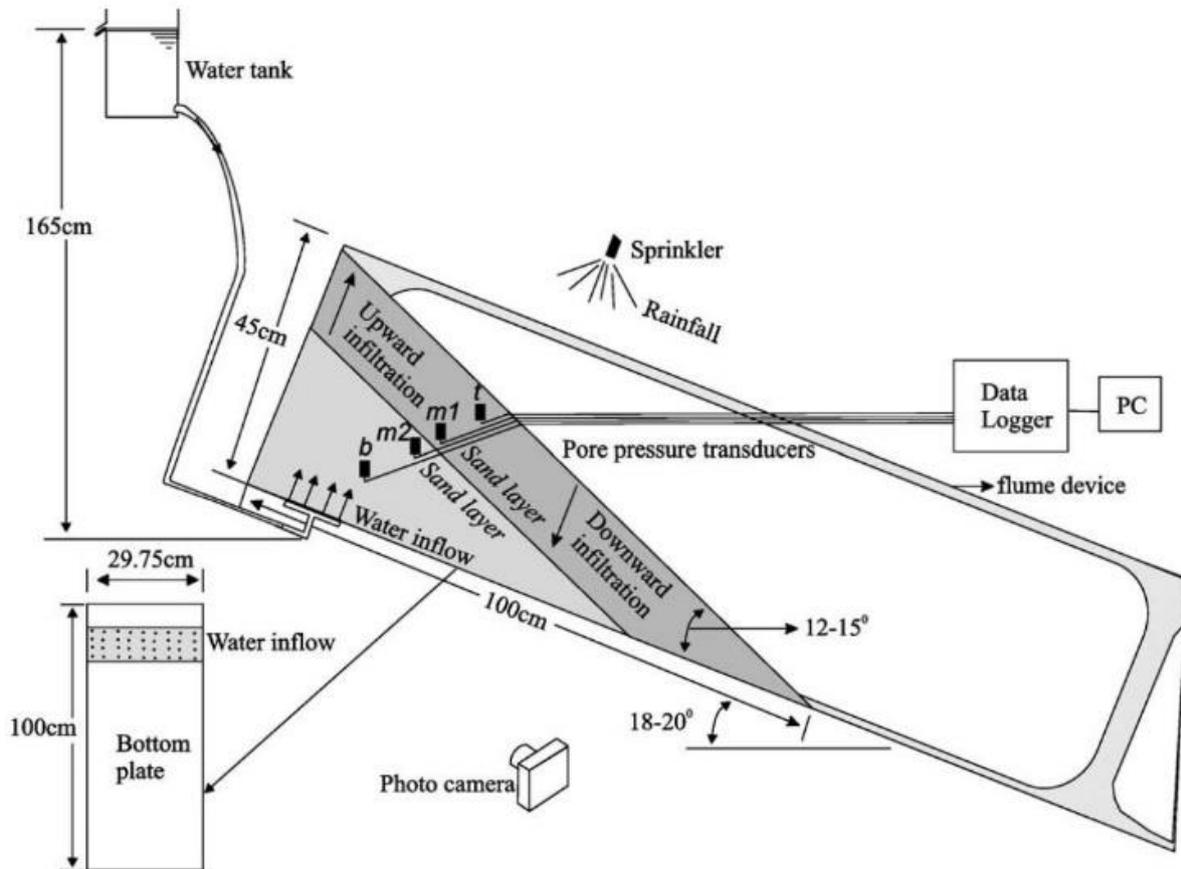


圖 2-14 縮尺砂箱模型模擬邊坡受滲流影響之行為(Lourenco et al. 2006)

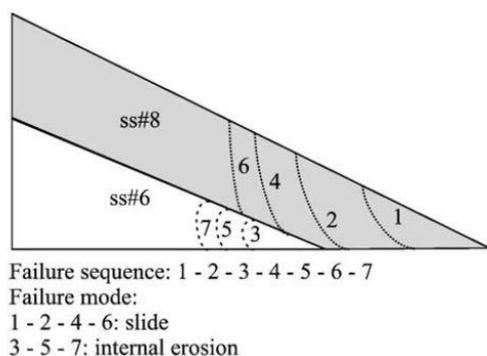


圖 2-15 土壤滲流侵蝕破壞行為(Lourenco et al. 2006)

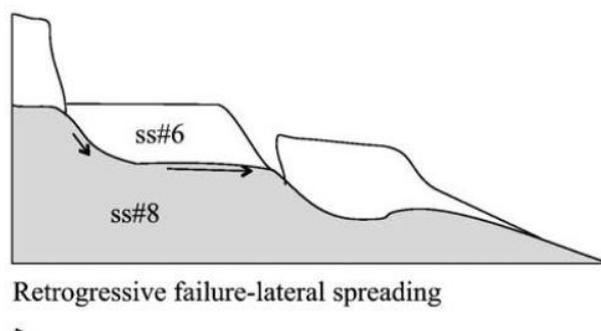


圖 2-16 坡腳破壞後逐漸往上侵蝕破壞 (Lourenco et al. 2006)

2.1.4 縮尺寸試驗之可代表性

由於本研究將進行縮尺物理模型試驗，可由模型試驗之結果推估現地邊坡之力學行為，因此模型試驗之相似性對於結果影響很大，故須進行因次分析，以確保模型符合相似性定律。而本研究主要觀察邊坡在降雨入滲下之變形行為，需考量模型大小、土壤強度、滲流的水量與流經的時間以符合原尺寸之情況，因此，以下將針對模型相似性與因次分析進行說明，且會針對邊坡試驗之重要參數進行討論。

Langhaar (1951) 提出縮尺模型與原型需具備三種相似性之條件，包含幾何相似性(Geometric similarity，模型幾何形狀及邊界形狀與原型相似)、運動相似性(Kinematic similarity，模型與原型位移量相似)與動力相似性(Dynamic similarity，模型內力和外部作用力均與原型相似)，以確保模型與原型之相似關係。幾何相似性即形狀需為相似，或有幾何形狀相似之邊界，且模型與原型之幾何邊界狀態須相同，可由以下關係式表示(1)。

$$\frac{L_p}{L_m} = \lambda \quad (1)$$

其中，L 表示長度，下標 p 表示原型(Prototype)，下標 m 表示模型(Model)，為尺度因子(Scale factor)。

圖 2-17 顯示邊坡之原型與模型示意圖，原型與模型之間坡高(H)與滑動面寬度(L)的比值皆為，且坡角皆為 θ ，因此符合幾何相似性。而本研究中之模型尺寸為了符合幾何相似性原則，模型長及高，皆縮尺 N 倍。

運動相似性為運動與位移情形相似；動力相似性表示作用力之相似性，即作用於模型與原型中，相似的對應點或者邊界表面上所有力之比為定值，如下圖 2-17 所示，由土體自重、滲流力或地震力等造成之驅動力 F_{dp} 與 F_{dm} ，以及由土壤自身強度 F_{rp} 與由模型材料 F_{rm} 提供之抵抗力，這些作用力之比值須為定值，表 2-1 彙整模型試驗之相關折減因子。

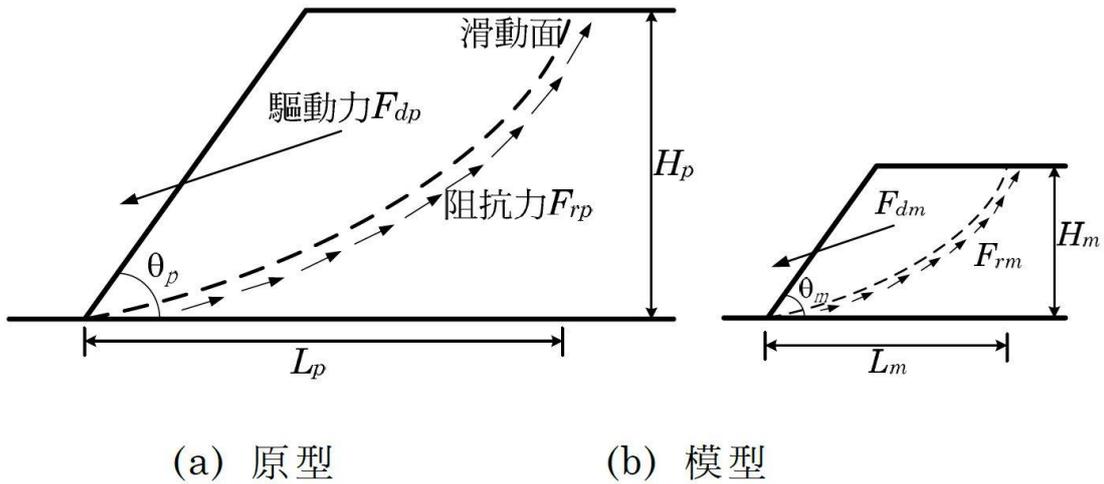


圖 2-17 邊坡之原型與模型示意圖

表 2-1 模型試驗之相關折減因子

物理量	因次分析關係式
邊坡高, H (m)	$H_m = (1/N)H_p$
邊坡長, L (m)	$L_m = (1/N)L_p$
坡腳角度, α ($^\circ$)	$\alpha_m = \alpha_p$
單位重, γ (kN/m^3)	$\gamma_m = \gamma_p$
凝聚力, c' (kN/m^2)	$c'_m = c'_p$
摩擦角, ϕ' ($^\circ$)	$\phi'_m = \phi'_p$
滲流係數, k (m/s)	$I_m = I_p$
降雨強度, I (mm/hr)	$I_m = I_p$
降雨延時, t (hrs)	$t_m = (1/N)t_p$

*N 為比例因子

第二節、管理值訂定

表 2-2 所示為當下最常使用之管理值建議表、表 2-3 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 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 2-18 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 中數值之過程之一。

類似研究的目的是讓居民能夠及時撤離避災，並不適合本研究之目的。本研究主要之目的為建立符合各社區須所需之邊坡安全設施維護監測管理值，以達到防災的目的。簡單來說，如圖 2-19 所示，若為上述之避災管理值，一般為 B 階段才開始注意；而符合本研究之推估管理值應為 A 階段，亦即社區能透過本研究研發成果之低成本監測系統，在監測值出現明顯變化時即能尋求專業諮詢與協助，針對可能之邊坡安全設施病灶進行修復。

表 2-2 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、泥石流型
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

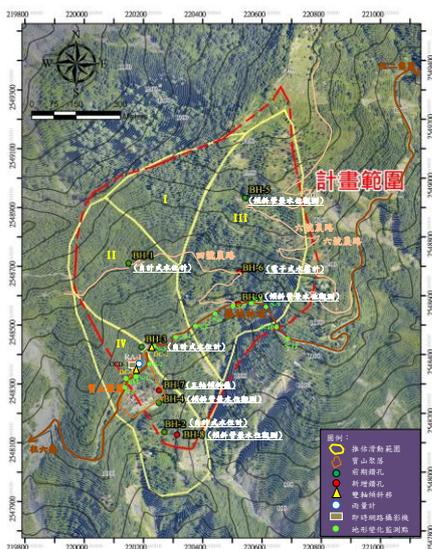


圖 2-18(a) 03/07/25~103/09/09 期間 BH-5 孔口變位記錄與變位速率(水保局 2014)

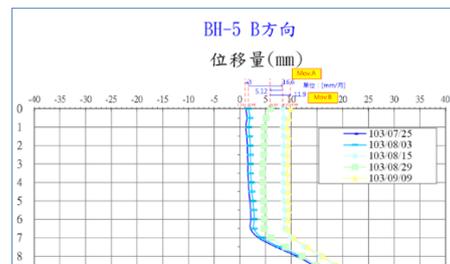
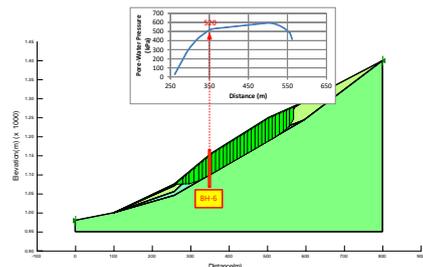


圖 2-18(b) 03/07/25~103/09/09 期間 BH-5 孔口變位記錄與變位速率(水保局 2014)

表 2-3 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)	地下水位升高 < 4m	地下水位異常升高 4m	地下水位異常升高 5m	地下水位升至地表
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

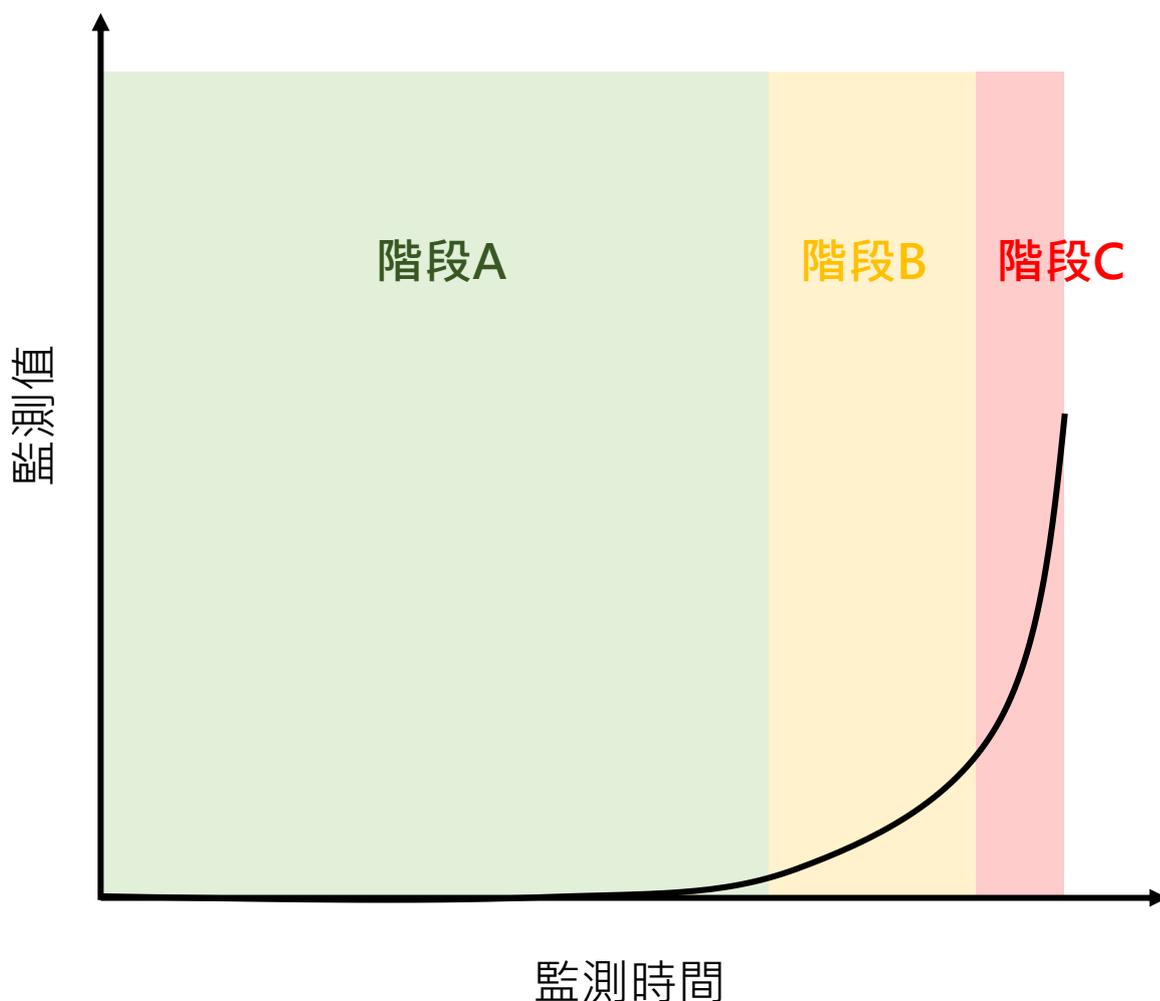


圖 2-19 監測資料變化示意圖

第三節、監測系統

本研究之主要目的為提供社區低成本之監測系統，因此系統本身之傳輸設備與運作電力皆須能符合低功耗與自給自足，以下針對傳輸部分與電力部分分別介紹。

2.3.1 低功耗無線傳輸

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。

近年來，如圖 2-20 所示，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、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。



圖 2-20 萬物聯網概念 (Internet of Things, IoT)與 LPWAN 通訊技術圖

隨著物聯網迅猛發展，以及應用的日益增多，無線傳輸協議也越來越受到技術人員和大眾的關注，例如藍牙、WiFi、Thread、Zigbee、4G、5G 等等的物聯網和無線通信傳輸協議。其中 WiFi、Zigbee、4G 是目前在邊坡監測系統較常使用之通訊方式，然而電力需求、通視性高，是目前使用瓶頸。這些協議各有優缺點，也有各自的應用場景，但是對於長距離，低功耗，只需要少量數據傳輸的應用場景，目前還沒有能夠很好的滿足要求的無線傳輸協議，這也就是 LPWAN 技術產生的原因。

LPWAN 三大陣營 NB-IoT、LoRa、Sigfox 脫離試運行的實驗網階段，2018 年都要大舉投入商轉，肩負海量物聯網基礎建設的重責大任，相關技術與廠商都卯足全力在最近投入網路、產品、服務等布局，希望能搶占物聯網廣大商機。低功耗廣域網路(Low Power Wide Area Network, LPWAN)2017 下半年將陸續投入商轉，NB-IoT、LoRa、Sigfox 三大陣營脫離試運行的實驗網階段。NB-IoT 經過 R13 與 R14 版本的強化，技術架構逐漸完善；LoRa 聯盟會員已經突破 500 大關，周邊商品陸續問世；Sigfox 全球網路覆蓋達 32 個國家。NB-IoT 各大電信營運商陸續宣布開台，並投入公共事業、共享經濟、智慧城市等相關服務；LoRa 在智慧讀表、智慧農業、工業物聯網具備優勢；Sigfox 領先取得國內二類電信執照，並於跨國大範圍的智慧讀表、智慧監測等應用持續發展。

圖 2-21 為各種通訊方式數據傳輸率與傳輸距離關係，可看出為實現低成本之物聯網，通訊方式勢必得朝關係圖面左上方邁進。

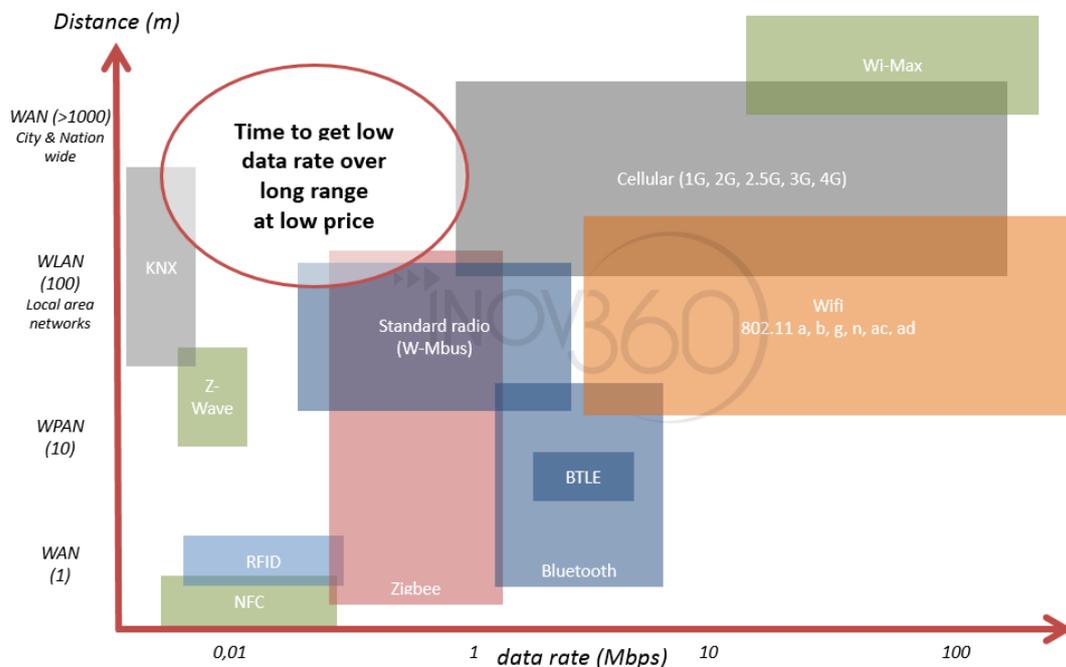


圖 2-21 各種通訊方式數據傳輸率與傳輸距離關係圖

(圖片來源於：<https://www.inov360.com/en/sim-less-networks-the-new-eldorado-of-m2m-and-internet-of-things/>)

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。對水保局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。

從針對 LPWAN 所推出的三大蜂巢式技術看來，三項技術皆被定位為 LPWAN 範圍，彼此之間似乎相互競爭，但仔細看規格的話，可了解其市場定位有所差異。例如，EC-GSM-IoT 主要由 2G 技術演變而來，因此應用大多承接 2G 市場；LTE-M 則是針對需要用到 LTE 技術，但數據傳輸資料量偏低的應用，換言之，若需要使用 Mbit/s 等級的傳輸量，須使用 LTE-M；若只需要 kbit/s 數據傳輸，GSM 即綽有餘裕。

上述 LPWAN 技術各自有著不同特點，業界多預測未來其中一項技術將會力壓群雄，成為一枝獨秀。然而，正如 LoRa 創始人之一 Olivier Hersent 曾說過的，互相合作的共存關係更可能帶領未來技術走向新的發展。事實上，物聯網應用領域百百款，這幾種技術的特點也對應了不同領域的特殊需求。比如 NB-IoT，使用授權頻段和 LTE 技術，其網路不限制傳輸訊息次數，所能攜帶的資料量也更高，因此適用於重視網路傳輸穩定性和即時性的智慧工業領域，或者是需要聲音、影像檔等高資料傳輸的 IoT 裝置。相對地，NB-IoT 的功耗也高於 LoRa 技術，電池壽命的損耗較大。同時與電信業者的協作模式，在向使用者推廣時會更為快速、簡便，從另一角度來看，也受限於硬體成本(晶片)和月租成本。未來應發展多元搭配使用，以因地制宜。

本研究應用之場域大多為幅員 10 公頃以內之坡地社區，除可使用現在流行的 LoRa 與 NB-IoT 技術外，本研究另引進耗電更低之 NRF-WSN 技術，以下分別說明。

1. LoRa 之技術發展

隨著物聯網迅猛發展，以及應用的日益增多，無線傳輸協議也越來越受到技術人員和大眾的關注，例如藍牙、WiFi、Thread、Zigbee、4G、5G 等等的物聯網和無線通信傳輸協議。其中 WiFi、Zigbee、4G 是目前在邊坡監測系統較常使用之通訊方式，然而電力需求、通視性高，是目前使用瓶頸。這些協議各有優缺點，也有各自的應用場景，但是對於長距離，低功耗，只需要少量數據傳輸的應用場景，目前還沒有能夠很好的滿足要求的無線傳輸協議，這也就是 LoRa 技術產生的原因。

LoRa 技術是為了創建長距離通信連結的物理層無線調製方式。許多傳統的無線系統使用物理層頻移鍵控(FSK)調製，因為它是十分高效的低功耗方案。LoRa 技術基於線性 Chirp 擴頻調製，延續了移頻鍵控調製的低功耗特性，但是大大增加了通信範圍。Chirp 擴頻調製已經在軍事和航天通信方面應用了幾十年，因為它具有長距離傳輸與較佳的抗干擾性，而 LoRa 則是它第一次用作商業用途。

許多部署好的網絡都採用網狀架構。在一個網狀網絡中，每個單獨的端結點傳遞信息到其他結點，增加通信範圍以及網絡的小區容量。當結點增加的時候，它也增加了複雜度，減少了網絡容量，也減少了電池壽命，因為結點要收發從他們不相干的結點傳遞來的信息。長距離星型架構，由於長距離連接性，從而減少了電池壽命，如圖 2-22 所示。

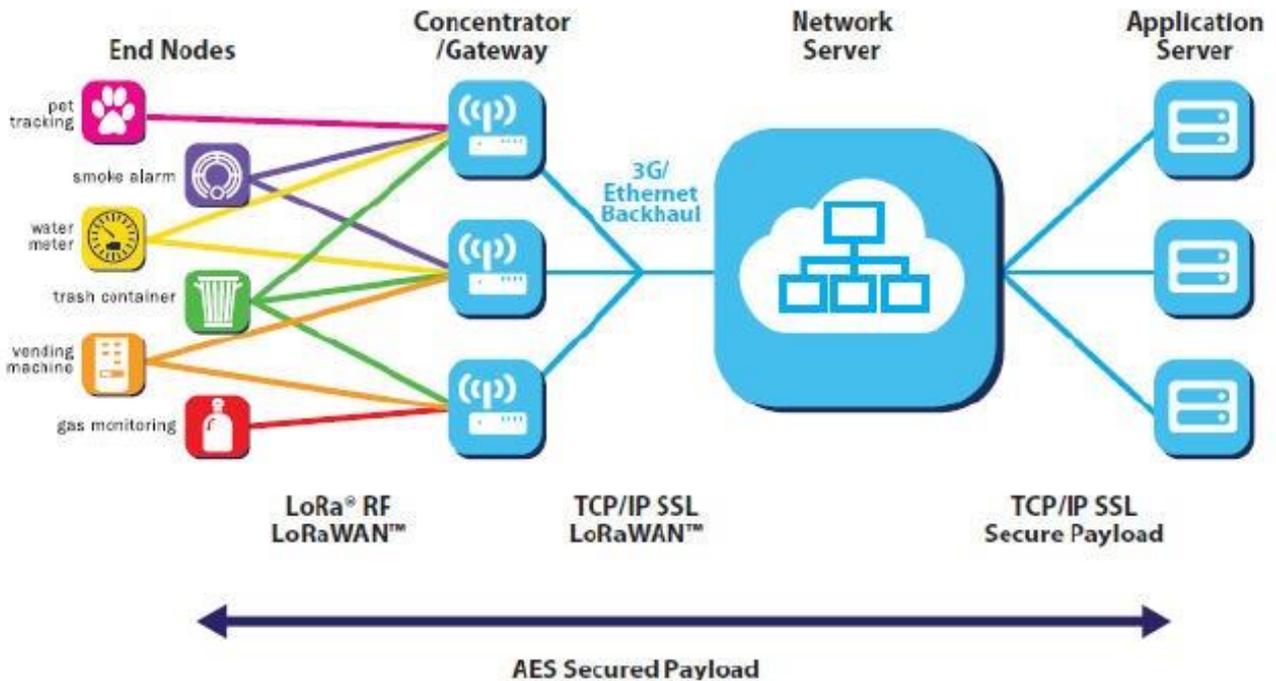


圖 2-22 長距離星型架構示意圖

(圖片來源於：lora-alliance.org)

LoRaWAN 的網絡結點不和特定網關相綁定，通過結點傳輸的數據，被多個網關接受。每個網關，通過一些信號隧道(例如蜂窩網、乙太網、衛星網、Wi-Fi)將從端結點收到的數據包發向雲端。由網絡伺服器理解和處理複雜任務，包括管理網絡、過濾冗餘數據包、進行安全性檢查、通過優化的網關進行調度確認、執行自適應數據率等。

LoRaWAN 網絡的結點採用異步通信，並且當它們有數據準備發送的時候，會採用事件驅動，或者調度機制進行通信。這個協議採用了阿羅哈法。在一個網狀網絡或者一個異步網絡中，例如蜂窩網，結點必須頻繁的被喚醒，來同步網絡和檢查消息。這種同步，大大的消耗了能量，成為電池壽命減少的一個重要原因。在最近的 GSMA 對於 LPWAN 空間的各項技術研究和對比中，LoRaWAN 比其他技術要優 3 到 5 倍。為了保證星型網絡的可行，網關必須有能力處理大量來自各個結點的信息。LoRaWAN 的高網絡容量通過利用自

適應的數據率，以及網關內多通道多數據機的收發器來實現。最重要的因素，是並發通道數，數據率，負載長度，已經結點間傳輸數據頻度。因為 LoRa 是擴頻基礎上的調製，所以每個信號基本上是正交的。當擴展因子變化的時候，有效的數據率也跟著改變。網關利用這種性能，能夠在同時在同一信道上接受不同的數據率。如果一個結點具有一個好的連接，並且靠近網關，網關當然可以利用最小的數據率，並且填充必須要更長的可用的頻譜。通過將數據率提高，空中的時間將被縮短，開放更多的潛在時間來傳輸。自適應的數據率也優化了結點的電池壽命。(以上改自原文網址：<https://read01.com/5xzLQE.html>)

LoRa/LoRaWAN 之推動者為 LoRa 聯盟，成員為 Cisco、IBM、Semtech、Microchip 等公司。特色為傳輸範圍號稱達 15~20KM，然而於坡地之穩定傳輸為本研究案探討重點之一、資料量 50kbps(足夠一般防災監測之數據檔)、電力壽命 10 年，亦為為本研究案探討重點之一。

2. NB-IOT 之技術發展

NB-IoT 窄帶物聯網(Narrow Band Internet of Things)是依據 3GPP 國際標準規範所研發的新技術，基於授權頻譜的頻段，可直接部署於 LTE 網路，更可說是 5G 的前導技術與 LPWA 低功耗廣域網(Low Power Wide Area)中的解決方案。

國內電信業者積極佈局 5G，以 700MHz 頻寬的電信級網路提供 NB-IoT 通訊服務，NB-IoT 具有低功耗、低成本、廣覆蓋、大連接等特性，更適合用於建設智慧城市的各項發展，目前遠傳已陸續推出包括：車聯網、智慧路燈、智慧停車、智慧大樓、環境/空汙偵測、電池電量監控、資產追蹤與人身定位(穿戴裝置管理)...等智慧應用服務。

窄頻 IoT(NB-IoT)技術不僅擁有低功耗廣域傳輸的特性，更能與一般電信商基地台的蜂巢式網路架構一同運作，換句話說，相關製造商僅須傾注於設計的理念與功能性的完整性，毋須再擔心基礎架構的問題。也就是說 NB-IoT 可利用大部分現有的基地台，直接升級作為傳資料的媒介，相較於 LoRa 或 Sigfox 這些未授權(Unlicensed)頻段技術來說，擁有極大的優勢。

不過同樣都是藉由電信商的基地台傳輸訊號，為何 NB-IoT 的聲勢卻較 LTE-M 來得更高？根據市場研究報告指出，原因在於 NB-IoT 擁有較低的晶片成本與較高性能，且可透過 OTA(Over-the-air)即時更新；使得 NB-IoT 在短期內超越 LTE-M 需求。NB-IoT 資料是透過 4G，甚至於未來的 5G 訊號回傳，以現行的 4G 網路為利，NB-IoT 用的是 4G 破碎的頻段傳輸資訊，服務提供商或是一般用戶在使用資費上也不若手機月租費那麼昂貴。然而在台灣大部分山區 4G 基地台較針對聚落多處架設，位於人口少通訊需求較低之山坡地或林班

地，訊號廣布率較低，因此 NB-IoT 在坡地防災監測之可行性，亦需透過本研究進行深入評估。

圖 2-23 與圖 2-24 分別為 NB-IoT 傳輸頻帶與頻寬在 LTE-4G 頻帶中之示意圖、NB-IoT 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖。

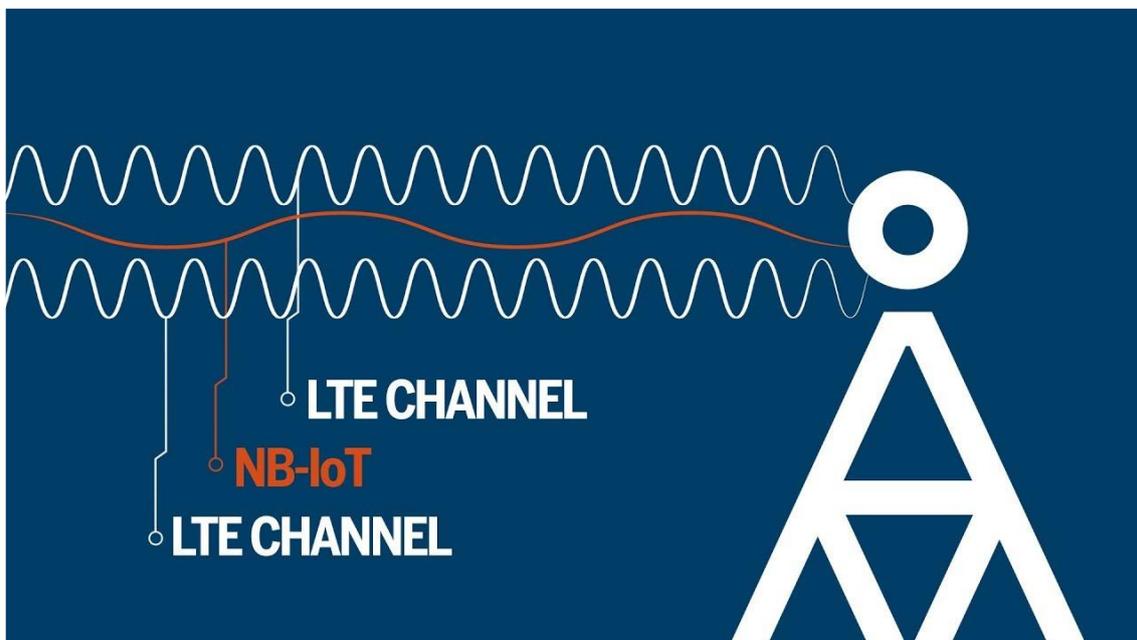


圖 2-23 NB-IoT 頻寬與 LTE-4G 頻寬示意圖

(圖片來源：<https://3smarket-info.blogspot.com/2018/08/emtc-nb-iot.html>)

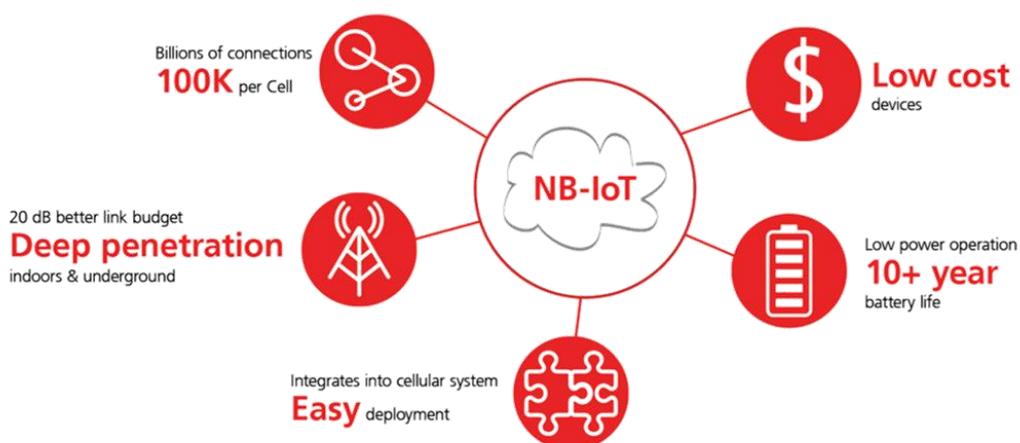


圖 2-24 NB-IoT 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖

(圖片來源：<https://www.cicicom.gr/pages/nb-iot/>)

3. WSN

WSN，中譯「無線感測器網路」或「無線感知網路」。是一個以「感測器」來構建無線網路系統的技術總稱。它常會透過複數個 Sensor node 來蒐集資料，並藉由無線通訊將這些資料統一收匯至終端的 Data base，來架構出一個完整的感知網路。無線感測器網路(Wireless Sensor Networks；WSN)的佈建，可以分成感測節點(Node)、網路閘道(Gateway)技術和軟體(Software)平台，以下將分別說明。

自 WSN 的各感測節點所蒐集並處理好的數據，必須經過匯聚節點(Sink Node)，將其內部通訊協定轉換成一般網際網路的 TCP/IP 標準協定，再將資料傳到主控台，或 IoT(物聯網)的雲端服務層或應用層。而這個匯聚節點，本身可以是硬體等級較高的感測節點，也可以是單純的閘道器。匯聚節點將其週邊感測器所探勘並收集到的數據匯集起來，然後以開放式的無線網路標準，傳送到主控台(如 PC、平板、手機的裝置)。

閘道器的硬體等級會比上述各感測節點還高。如處理器部份，大概跟一般家用網路閘道器、路由器產品差不多。而坊間有實驗室利用 Raspberry Pi 搭配擴充子板，當作 WSN 閘道器。此外，針對大數據(Big Data)的需求，也有廠商推出等級更高的產品，將內部的記憶體加大，甚至內建硬碟，以便就地儲存，以應付長時間的環境監測所累積的大量資料。在通訊協定上，WSN 閘道器有支援 802.15.4、6LoWPAN、WirelessHART、ZigBee、MiWi... 等協定，以連接 Sensor Node；另外也支援 802.11 Wi-Fi、甚至 GPRS/3G/CDMA 等協定，以將資料傳至主控台。

一個感測節點(Sensor Node)，必須具備自主的感應能力，並可做到資料採集，然後將資料透過通往閘道器傳送至外部系統的基本功能。因此在 Node 的架構組成上，必須具備：1. 感測單元、2. 處理單元、3. 傳送單元、4. 電力單元，有些還具備外部的 5. 儲存單元。為考量不同需求，許多感測端產品製造商，已將其 Node 產品採用子板的模組化設計，其主板、天線、電池、感測器皆可依需求做增減，讓開發人員能夠依據其目標來設計其 Node。

由於感測節點最大成本為 CPU(MCU)與傳送單元(如 RF 射頻)，因此業者透過先進的半導體封裝製程，採多晶封裝(MCP)或單晶片(SoC)方式來整合、密集化，其體積能做到如硬幣大小；在電源設計部份，一般的 Node 皆具備三種電源節能模式，如淺眠、深眠、冬眠模式，提供更長久的運作。電池供應部份，一般使用鋰電池或水銀乾電池，可提供超長時間(3~20 年)的運作，有些好一點的 Node，還搭配自主供電的能力(例如加入太陽能電池、壓電開關、熱電產生器、熱電堆)。

在通訊模組上，依照產品等級，有支援 802.15.4、6LoWPAN、ZigBee、Bluetooth 等協定，有些則直接支援到 802.11 Wi-Fi、GPRS/3G 等網際網路協定。至於儲存單元部份，一般內建幾 KB 的 EEPROM，主要存放程式，有些會提供 SD 插槽以供擴充。

在感應器部份，以內建微機電(MEMS)元件，並根據感測需求，提供環境類(溫度、濕度、壓力、風速、氣體)、動作類(加速計、陀螺儀、磁力計)、光學類(CMOS 鏡頭、紅外線/近場/光度感應器)、聲音類(麥克風)、物理類(電磁計、電流計、距離計)，以及應用在各場所之各類感應器，像是醫院、居家、工廠、公共設施…等場所。

將不同類型的感測器所偵測到或物理量，經由類比至數位轉換之後，變成數據，再將數據送到處理單元(微控制器)。而處理單元一般都是採用超低功耗的 8bit 至 32bit 的 CPU(或 MCU)，當 CPU 收到本身或自其他節點的數據後，進行分析、比對、篩選，再依本身在 WSN 裡所扮演的角色，把處理過的資料存放在記憶單元，或外部記憶體(如 SD 卡)，或者直接透過傳送單元，將資料往其他節點傳送，或直接送到閘道器。

(資 料 引 用 自 DIGITIMES Inc. 網 站 :
https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=130&id=0000377865_otw9larx543hhh658vkcj)

4. 未來與 5G 通訊方式之結合

第五代行動通訊系統(5th generation mobile networks 或 5th generation wireless systems)，簡稱 5G，是指第五代行動通訊技術，是 4G 系統後的延伸。美國時間 2018 年 6 月 13 日，聖地牙哥 3GPP 會議訂下第一個國際 5G 標準。由於物理波段的限制，也將會與其他通訊技術並用，包含長距離的其他傳統電信波段。5G 與 4G 相比概念是連線容量有著巨大提升，並仰賴物聯網的需求而建設成形。屆時所有物品之間的連結均可容納，舉個直觀一點的例子，就是除了電源，外部連結線均可以剪掉。不同世代之傳輸速度與頻寬示意圖如圖 1-6 所示。

下一代行動網路聯盟(Next Generation Mobile Networks Alliance)定義了 5G 網路的以下要求：以 10Gbps 的資料傳輸速率支援數萬用戶；以 1Gbps 的資料傳輸速率同時提供給在同一樓辦公的許多人員；支援數十萬的並發連接以用於支援大規模傳感器網路的部署；頻譜效率應當相比 4G 被顯著增強；覆蓋率比 4G 有所提高；信令效率應得到加強；延遲應顯著低於 LTE。

下一代行動網路聯盟認為，5G 應會在 2020 年陸續推出，以滿足企業和消費者的需求。除了簡單的提供更快的速度，他們預測 5G 網路還需要滿足新的使用案例需求，如物聯網(網路裝置建築物或 Web 存取的車輛)、廣播類服務，以及在發生自然災害時的生命線通訊。

對於智慧硬體廠商而言，他們還希望 5G 能夠同時連接數千個低功耗物聯網(IoT)設備，並支援設備到設備(D2D)連接方式，以實現附近設備之間的低延遲連接。既能在降低延遲的

同時還可以達到更快的網路傳送速率，這將需要大量的多輸入多輸出(MIMO)天線系統，更多的載波頻寬和頻譜，以及很可能使用極高頻率的 mmWave(經常被稱為解決方案)頻譜。其中，5G 最大的難點在於找到提高可用頻寬的頻譜。由於 5G 技術將可能使用的頻譜是 28GHz 及 60GHz，屬極高頻(EHF)，比一般電信業現行使用的頻譜(如 2.6GHz)高出許多。雖然 5G 能提供極快的傳輸速度，能達到 4G 網路的 40 倍，而且時延很低，但訊號的繞射能力(即繞過障礙物的能力)十分有限，且傳送距離很短，這便需要增建更多基站以增加覆蓋。

因此在邊坡防災監測的應用上，基地台的普及率仍是最大關鍵，甚至需求高於 4G。如此一來，建置 LPWAN 後再與 5G 基地台連結更為重要的技術發展方向。



圖 2-25 不同世代之傳輸速度與頻寬示意圖

(圖片來源於：<https://cic.org.sa/2018/05/al-khobar-city-of-saudi-arabia-becomes-first-recipient-of-5g-network-among-mena-cities-2/>)

2.3.2 電力設備

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，如圖 2-26 所示。

1. 發電系統

- (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 2-26 太陽光電發電示意照片

2. 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酸錳，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。

第四節、監測系統維護機制

中華民國大地工程學會於 106 年編撰山坡地監測準則(TGS-SLOPEM106)，提出監測系統規劃，應考量地形、地質分布、地下水位及可能邊坡破壞類型等因素，按設計、施工與管理維護需要等不同階段之監測目的，進行妥善之規劃。鑒於各監測階段有其不同監測目的，因此監測系統之資料讀取方式、監測項目、儀器種類、監測頻率、監測期程等，均應有不同考量，需加以綜合研析考慮後妥適規劃。本研究已建置之邊坡模型監測系統與即將應用於示範社區之監測系統規劃，皆參考表 2-4 建議之流程進行。

表 2-4 山坡地監測系統執行流程

工作階段	計畫項目	考量要點
計畫擬定	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">監測目的</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●設計所需各項水文、地文條件，可由監測方式取得者 ●施工中安全性確保 ●長期穩定性確認
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">邊坡可能災害型態及機制研判</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●災害型態及機制
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">危害度評估</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●考量保全對象重要程度
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">選擇適當監測儀器及設備</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●儀器種類、規格要求、自動化程度
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">監測系統架構及配置圖</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●監測系統架構應涵蓋項目及預警通報對象 ●儀器位置及深度、數量及安裝方法
實施及判讀	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">儀器安裝初始值設定及觀測</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●監測時機、頻率及期程
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">監測結果分析判讀</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●資料之正確性及代表性
預警防災	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">管理維護及預警系統建立</div>	<ul style="list-style-type: none"> ●管理基準訂定 ●預警聯絡系統建立 ●異常確認及緊急處理建議 ●因應對策擬定

第三章 大尺寸試驗模型之建置

第一節、研究場域概述

1. 精進大尺寸邊坡模型土槽

明新科大校園行政區位位於新豐鄉，地理區位位於湖口台地、鳳山溪右岸，占地約 35 公頃，校園西南隅沿著鳳山溪右岸為湖口台地南緣，預定使用校地中間置之停車場做為實驗用地，如圖 3-1 所示。既有之大尺寸邊坡模型土槽占地約 10M*5M，過去實驗過程遭遇最大之關鍵為：(1)土壤岩層介面(層面傾角)難調整、(2)雨水難以滲入土層蓄積、(3)擋土結構難以反應實況、(4)擋土結構材料強度控制土層滑動行為、(5)側壁之摩擦邊界效應。因此，本年度預定精進方式為：選擇可以改變層面角度的土槽，如此可以獲得下列助益：(1)更靈活填裝與清除不同土樣、(2)可隨時改變層面角度、(3)相較於混凝土可減低側壁之摩擦、(4)地下水可蓄積等。如可同時改變上述參數，可獲得不情況下之土層與擋土設施間之互制行為，進一步推估滑動機制與取得管理值。經過多方向思考，並考慮能靈活改變層面角度，原預定以 35 噸高舉斗車做為精進大土槽之方式，其車斗內裝容量尺寸大約為 2M*2M*5M，然而受到疫情影響無法順利取得，改以貨櫃取代。



圖 3-1 新科大校園空照圖與本研究預定試驗場地

本計畫模型採用 20 呎貨櫃進行改良，其貨櫃底部基礎使用鋼絲網及混凝土鋪設，以利貨櫃在平面與傾斜狀態下，分散向路基所傳達的作用力(如圖 3-2)，並堆砌混凝土磚增加地面高度，可預留千斤頂之放置空間，有助於人工製造傾角便利。土槽實際長寬高尺寸分別約為 2.4m×2.4m×6m(詳細內外尺寸如表 3-1)，其中結構由柱以及上下樑構成框架，再由波浪形鋼板封為完整貨櫃。為方便坡面施工進行、雨量直裝置與監測儀器之設置，上方裁切後僅保留中央約 20cm 寬鋼板支承防止變形，貨櫃內底部以不透水帆布鋪設，以模擬自然邊坡與人工邊坡於降雨後之水位變化，內部改良後情形如圖 3-3 所示。



圖 3-2 貨櫃下方基礎與支撐

表 3-1 20 尺貨櫃內外尺寸表

貨櫃外部尺寸		
長度	寬度	高度
20 尺	8 尺	8 尺 6
6.055m	2.435m	2.588m
貨櫃內部尺寸		
長度	寬度	高度
19 尺 4	7 尺 8	7 尺 9
5.895m	2.349m	2.382



圖 3-3 土槽內部鋪設不透水帆布，上方保留 20cm 鋼板。

進行土槽內部填土前，為使傾斜管之變化情形可真實反映邊坡實際破壞，另一方面也較符合其底部裝設於不動點之意義。在邊坡監測中，原則上水位觀測井與傾斜觀測管安裝於不同鑽孔內，故本研究將一處設置兩孔傾斜管，一孔作為自動化監測使用，另一孔則開篩並包覆紗網做水位觀測井使用，圖 3-4 為現場傾斜管設置情形，其中圖 3-4(a)係利用自攻螺絲將傾斜管帽固定於土槽底部，在將傾斜管套於上方。圖 3-4(b)為定置型傾斜儀之傾斜管與水位觀測井，邊坡本體設置完成如圖 3-5 所示。

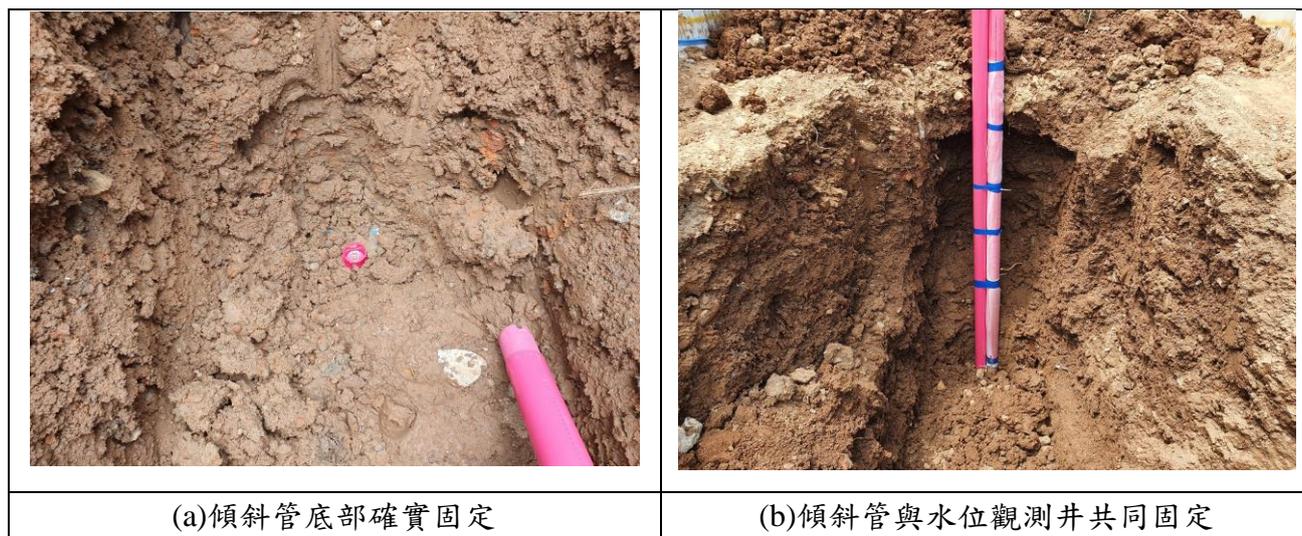


圖 3-4 大尺寸試驗模型傾斜管裝設



圖 3-5 大尺寸試驗模型傾斜管埋設完成

為初步確認上述方式之可行性，延續去年之模擬方式，以有限元素方法(Finie Element Method)數值模擬(Numerical Simulation)軟體 PLAXIS 進行不同水位(包含擋土牆排水功能與否)與層面改變，對於擋土構造之影響，結果如圖 3-6 與 3-7 所示。

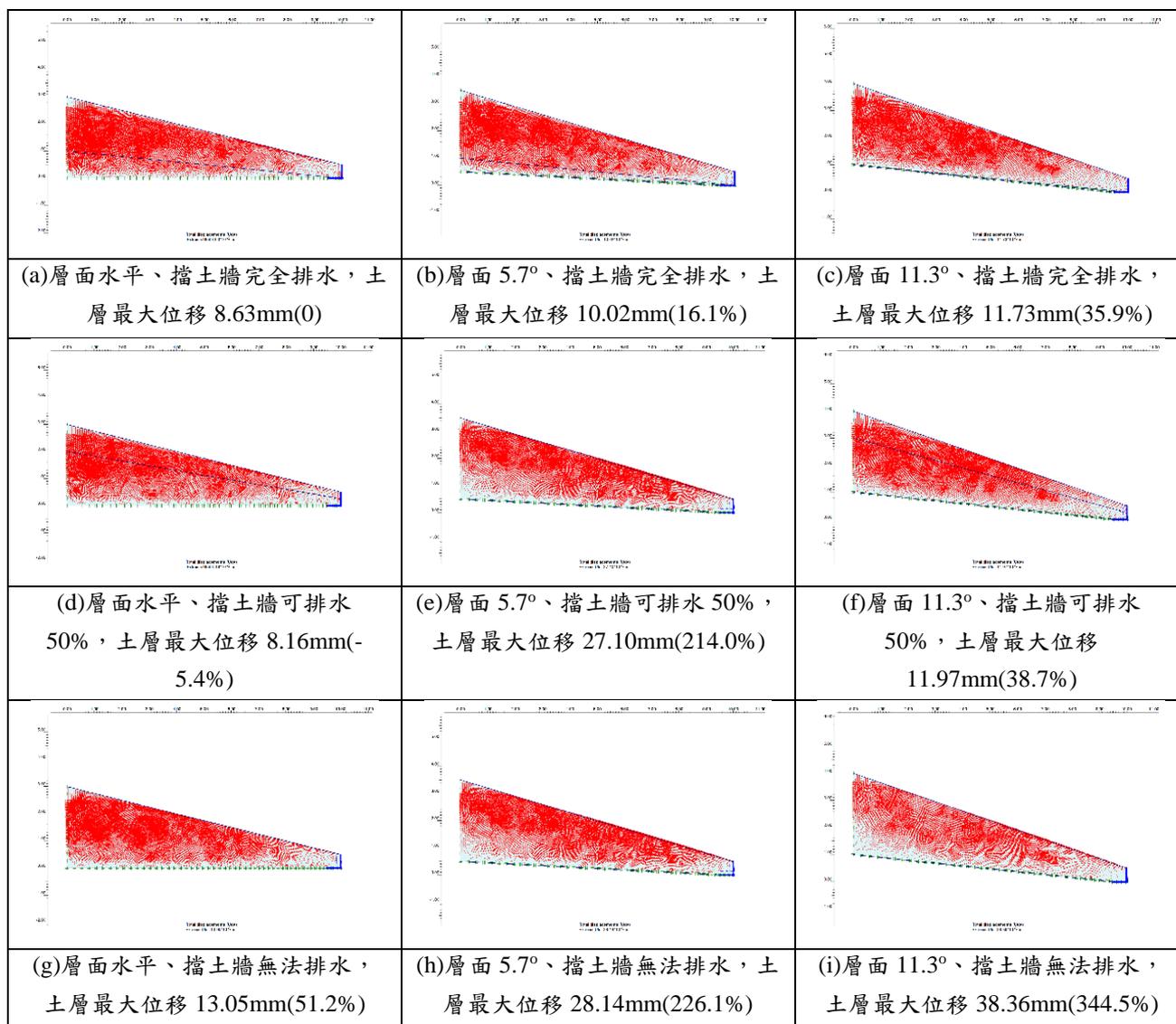


圖 3-6 不同層面、不同地下水位與擋土牆排水狀況下土層之最大位移模擬結果(本團隊假設案例模擬成果)

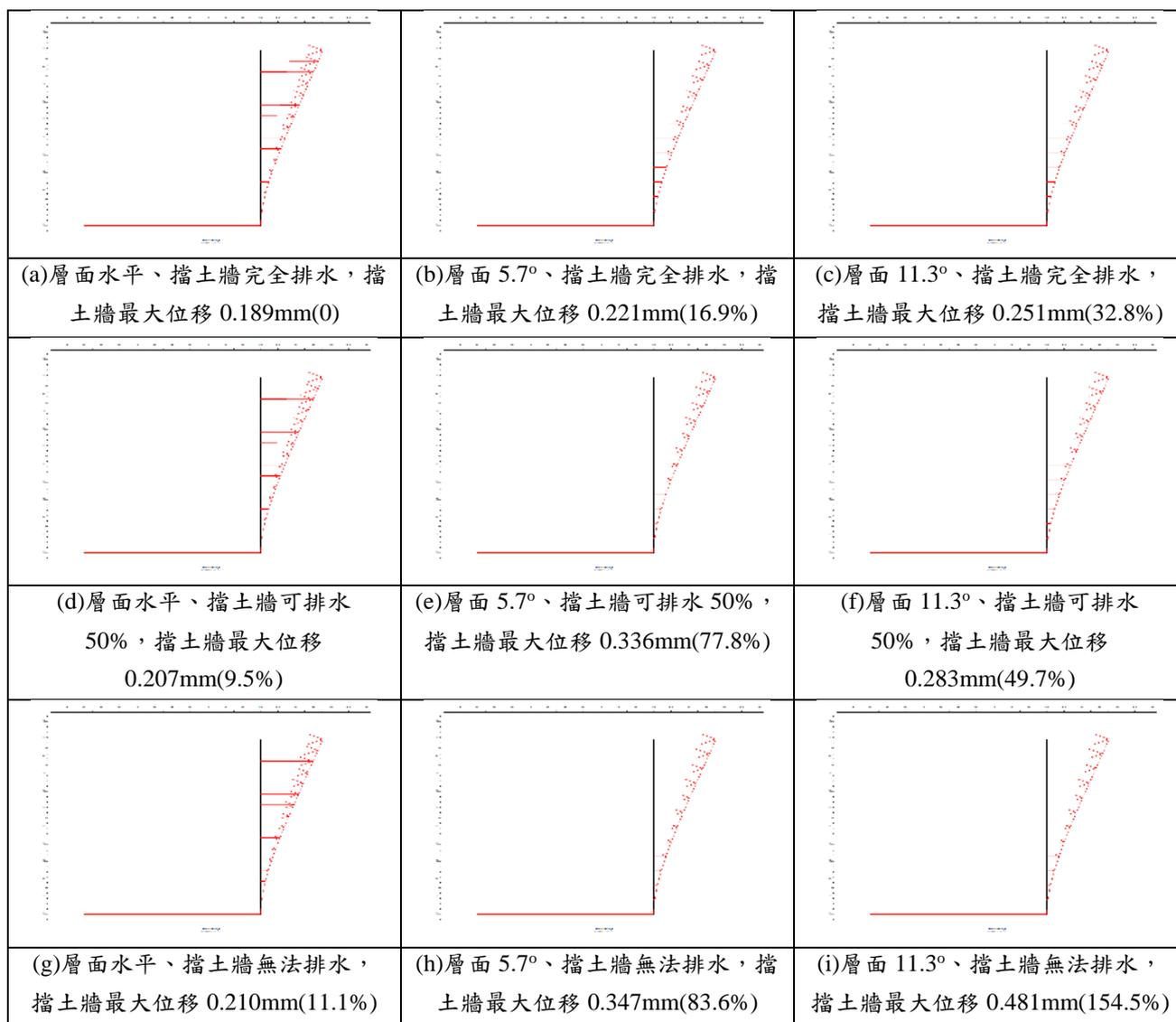


圖 3-7 不同層面、不同地下水位與擋土牆排水狀況下擋土牆之最大位移模擬結果(本團隊假設案例模擬成果)

由圖 3-6 與 3-7 可清楚看出，不同層面角度、地下水位與擋土牆排水狀況，模擬出之地層最大變位與擋土牆最大位移變化趨勢並不一致，即可說明為何不同監測設備需制定各自之管理值，且須透過大尺寸邊坡模型驗證趨勢，更進一步顯示本系列研究案之價值，對未來推廣更有說服力與公信力。

2. 不同地層材料、層面與坡面配置

- (1) 為模擬不同地層材料在本研究之行為，分別選用明新科大校園在地土壤(照片如圖 3-9a)與調配至接近過去致災歷史土壤(台北市文山區萬壽路 75 巷政大御花園蕃蜜風災土石崩塌鑑定報告)(照片如圖 3-12b)之兩種土壤進行實驗，其中外來土方購自新竹地區合法砂石場，如圖 3-8 所示；
- (2) 為模擬不同坡面植生狀態對入滲與邊坡穩定之影響，分別採用自然植生(照片如圖 3-9a)、鋪蓋草毯與完全裸坡等情境進行；
- (3) 為模擬不同層面對邊坡穩定影響，採用千斤頂頂昇土槽，過程如圖 3-10 所示、成果如圖 3-11 所示；
- (4) 為模擬不同形式之邊坡，採用自然邊坡(無砍坡腳如圖 3-12a、砍坡腳如圖 3-12b)與人工構造邊坡(如圖 3-12c)。



圖 3-8 本研究土壤材料來源說明

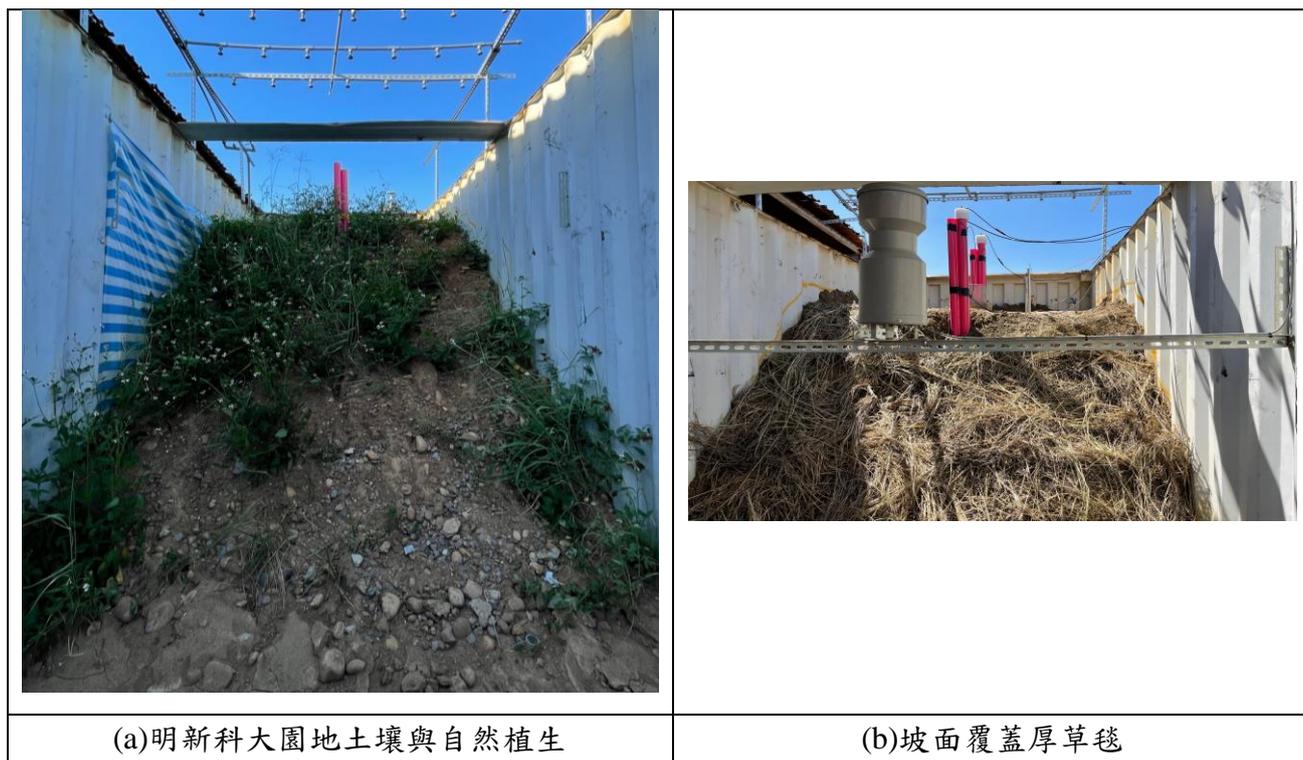


圖 3-9 模擬坡面植生情形

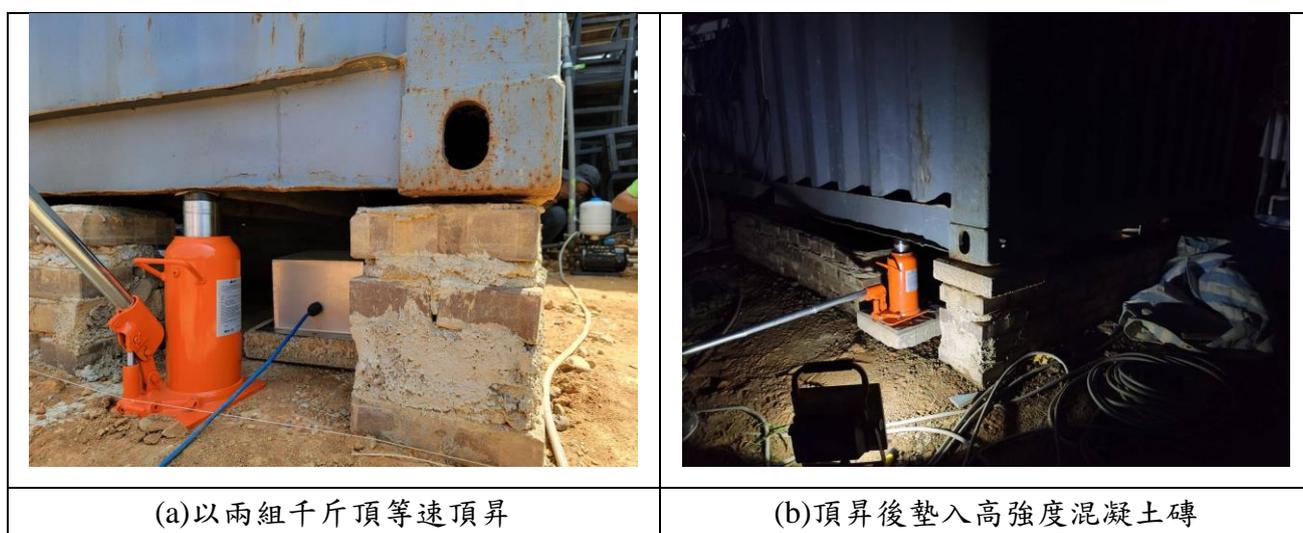


圖 3-10 頂昇實驗土槽實況

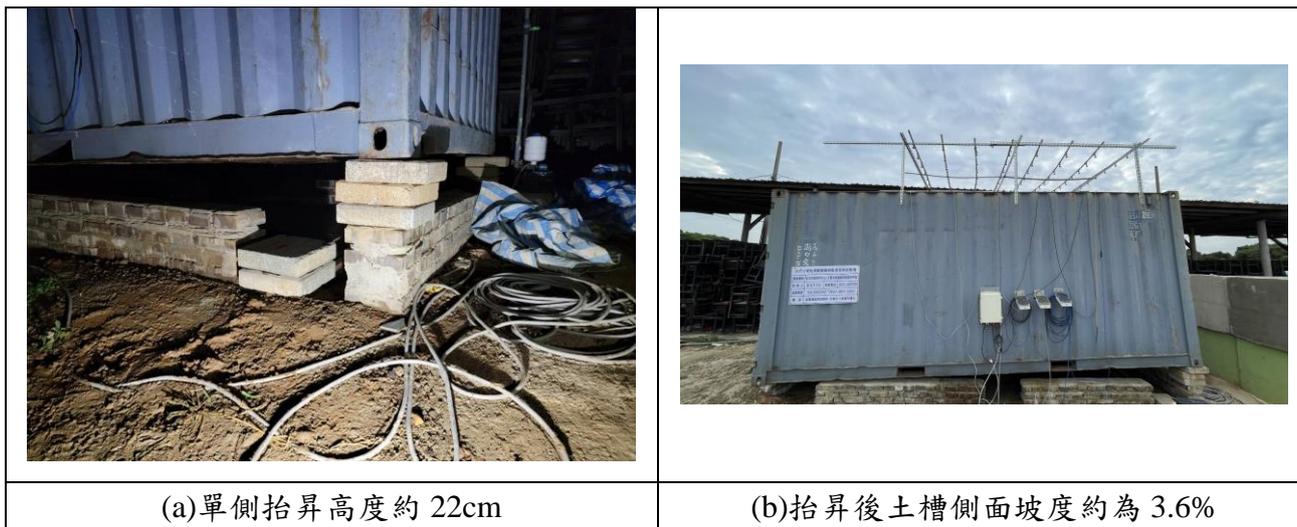


圖 3-11 模擬不同角度層面



圖 3-12 模擬不同形式邊坡

3. 不同降雨情境之入滲設施

為研究不同降雨強度延時與地層下之影響，本研究預計延續以霧化噴頭模擬降雨水源，架設於試驗土槽上方，如圖 3-13 所示。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 5 噸之蓄水塔，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(如圖 3-14 所示)，以維持噴頭輸出時的水壓，其加壓馬達最大壓力 4.0kg/cm²、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。圖 3-6(a) 左下所示為裝設一支示意圖，每支為 7 組霧狀灑水噴頭，再以 50cm 間隔共 8 支排列於土槽上方，總噴頭設置為 7x8 陣列，數量共 56 組。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(如圖 3-15 所示)。

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。

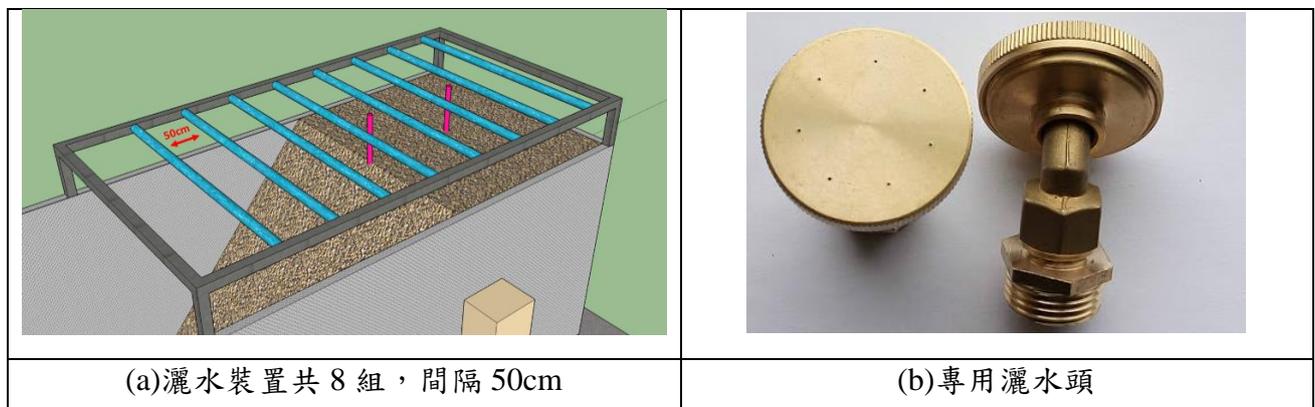


圖 3-13 設置模擬不同降雨情境之灑水設施



圖 3-14 人工降雨裝置供水之加壓馬達



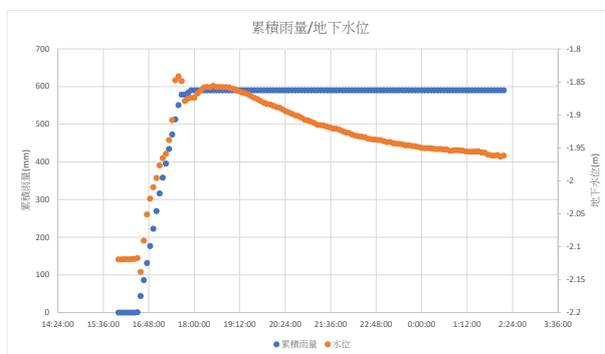
圖 3-15 大尺寸邊坡模型上方架設可調整降雨量之人工降雨裝置

模擬不同降雨強度與延時部分，本計畫將於人工降雨裝置之總水閘加入流量計，以便於控制端直接調整水流輸出量，將可使用流量、降雨量兩者進行降水量之比對，更精確掌握實際降水情形。根據中央氣象局(2015)對於雨量分級定義如表 3-2 所示，本計畫預定持續以此進行不同分級降雨模擬，以測試邊坡地層對應之破壞。

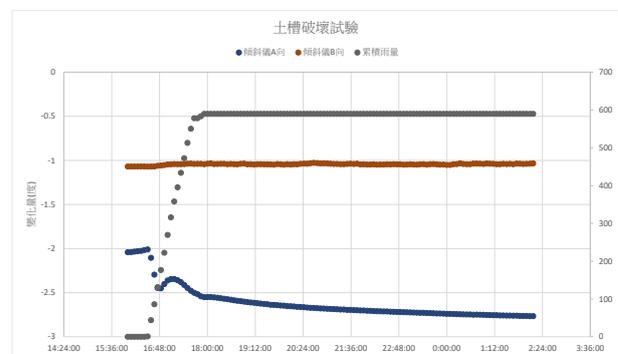
表 3-2 雨量分級定義(中央氣象局 2015)

分級	定義
大雨	24 小時累積雨量達 80mm 以上，或時雨量達 40mm 以上之降雨現象。
豪雨	24 小時累積雨量達 200mm 以上，或 3 小時累積雨量達 1000mm 以上之降雨現象。
大豪雨	24 小時累積雨量達 350mm 以上之降雨現象。
超大豪雨	24 小時累積雨量達 500mm 以上之降雨現象。

對於不同降雨情境對於土壤入滲達到飽和與地下水位上升相關實驗與研究皆發現，最困難者為地下水位上升與降雨組體圖間之關係，其關係對於本研究推估地層滑動機制與安全監測管理值影響甚大。圖 3-16 為本系列研究於 109 年度透過現地實驗取得之成果，相當寶貴，需透過模式建立與驗證後，方可回饋至上述之數值模擬中。細節將於第四章詳述。



(a)降雨與地下水位關係



(b)降雨與各儀器監測值關係

圖 3-16 109 年度大尺寸邊坡模型試驗模擬降雨後之地層反應

4. 精進與持續本系列研究之儀器

本年度研究採用之監測儀器為定置型傾斜管、結構物傾斜計、裂縫計、土壤水分計、水壓計、雨量計等監測設備，並可即時監測與回傳至後端，並檢討其可靠性及精確性，以下說明之。

(1) 定置型傾斜儀

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 ± 0.01 (± 2 arc sec)，如圖 3-17 所示，而現場安裝情形與量測成果如圖 3-18 所示。本計畫使用之定置型傾斜儀經由滑輪固定於傾度管中，採用間隔 0.5m 進行監測精度約為 ± 0.01 (± 2 arc sec)，監測數據如圖 3-19 所示。



圖 3-17 定置型傾斜儀



圖 3-18 現場安裝之定置型傾斜儀

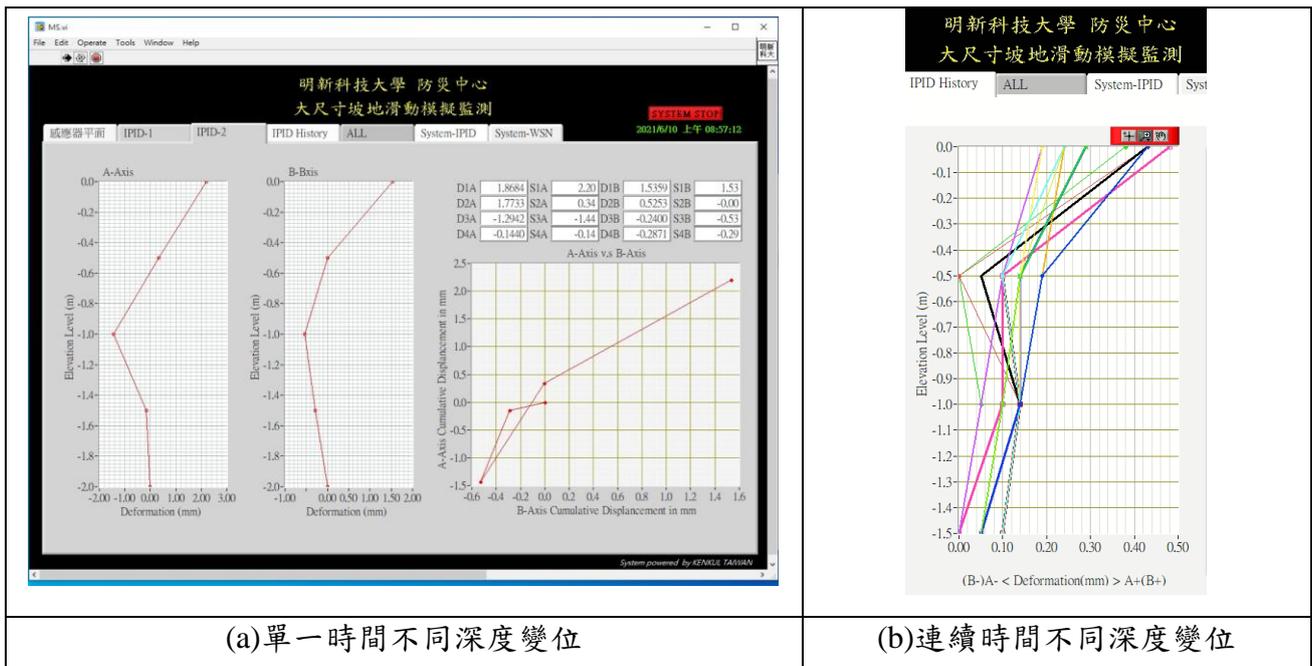


圖 3-19 自動量測傾度管紀錄

(2) 結構物傾斜計

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。

- (i) 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。
- (ii) 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。

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 3-20 所示，將以自動量測方式，頻率為每 10 分鐘至少 1 次。



圖 3-20 雙軸傾斜儀

(3) 土壤水分計

一般傳統土壤水份量測為利用土壤變乾，水會被土壤從張力計內的管柱抽出；當下雨或灌溉時則產生反轉的動作。然而為量測到更精確的土壤中水份變化，改以量測土壤的介電常數（即電容）變化，而換算成土壤含水量。探針式電容感應器能敏感地量測土中電容變化，並將土壤模擬成電阻（R）與電容（C）的並聯等效電路，以換算成水份含量。其形式為 Capacitance Probe (CP)多節式電容土壤水份感測器，為一單感多節式土壤水份感測器，多點感測環可依實驗所需深度進行調整，量測資料經由介面卡與資料收集處理器(Data logger)所收集。感測原理採高頻電容式(High Frequency Capacitance)，反應時間約 1.1 秒，精確度 0.008%Vol。儀器如圖 3-21 所示。



圖 3-21 土壤水分計

(4) 裂縫計

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，應用方式與於本研究土槽安裝如圖 3-22 所示。



圖 3-22 裂縫量測應變計

(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 3-23 為本計畫採用之水壓計、模組與之規格。

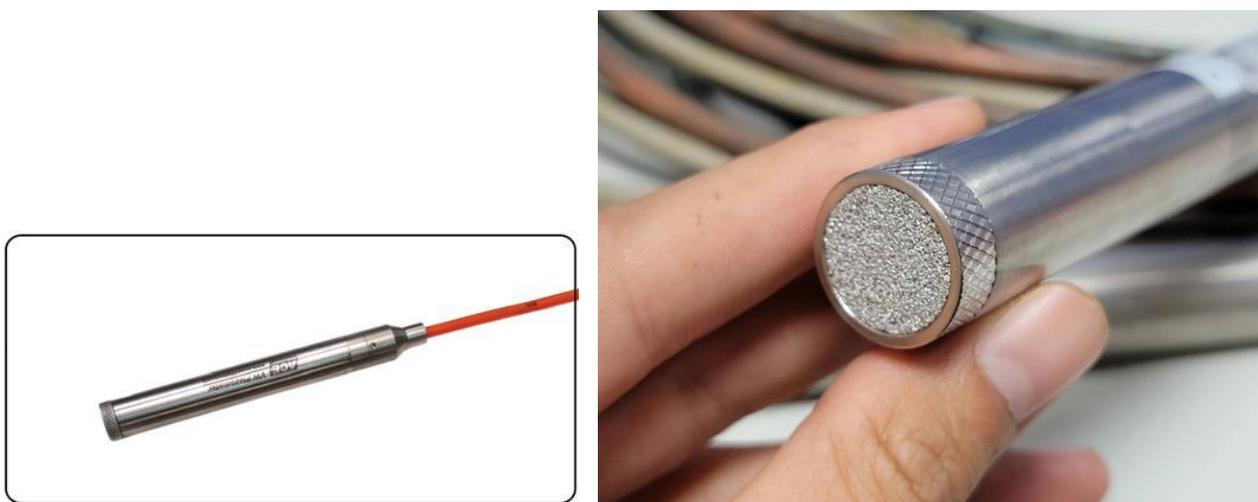


圖 3-23 本研究採用之自動化連續記讀水壓觀測計

(6) 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 3-24 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。本研究採用之自計傾倒式雨量計，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。每 10 分鐘紀錄一筆資料，視需要調整紀錄頻率。



圖 3-24 本研究採用之雨量監測系統

(7) 傳輸設備

為因應未來於社區推廣本監測系統時之用電成本，本次計畫於試驗模型中採用低功耗無線傳輸技術 WSN，連接現場之水壓計、裂縫計、傾斜儀以及雨量筒，設備配置情形如圖 3-25~27 所示，回傳至儀器箱之 WSN Gateway，IPI 則因資料量較大，目前另以 Data Logger 連結，最後與 4G 連結回傳至本中心資料庫，如圖 3-28 所示。



圖 3-25 本研究採用之整合感測器現場安置完畢照片

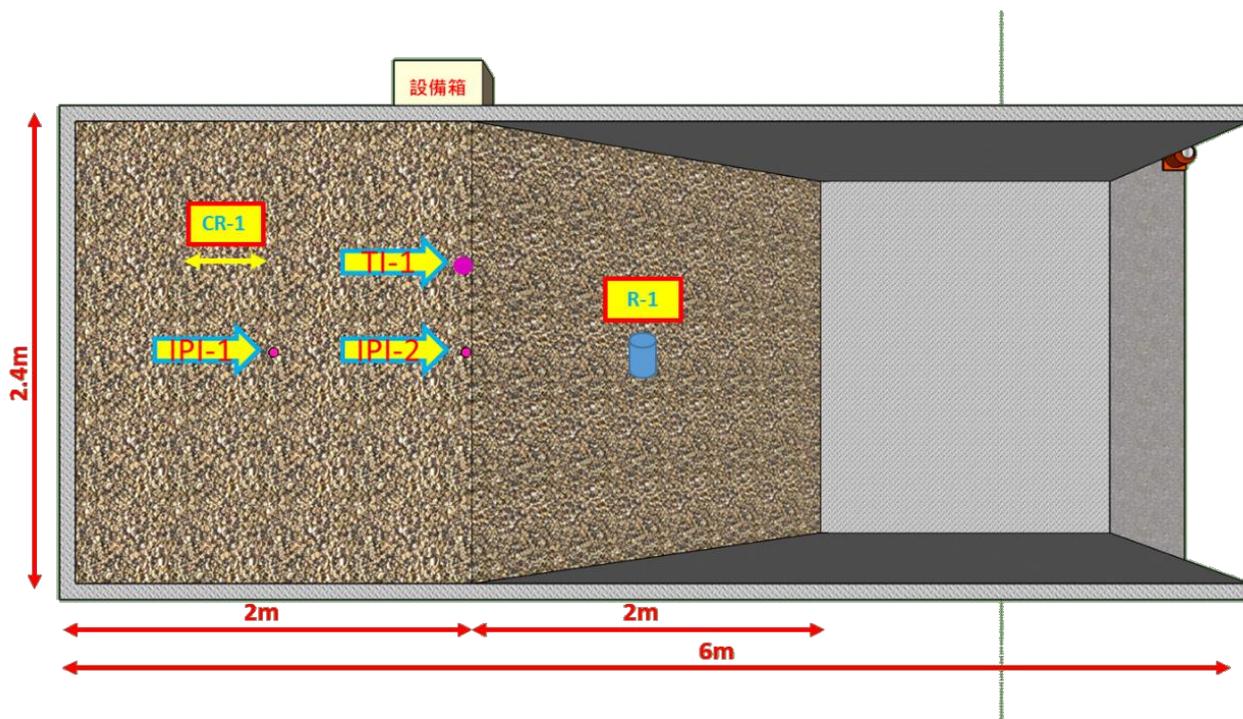


圖 3-26 大尺寸邊坡模型配置圖



圖 3-27 各項監測設備現場裝設位置

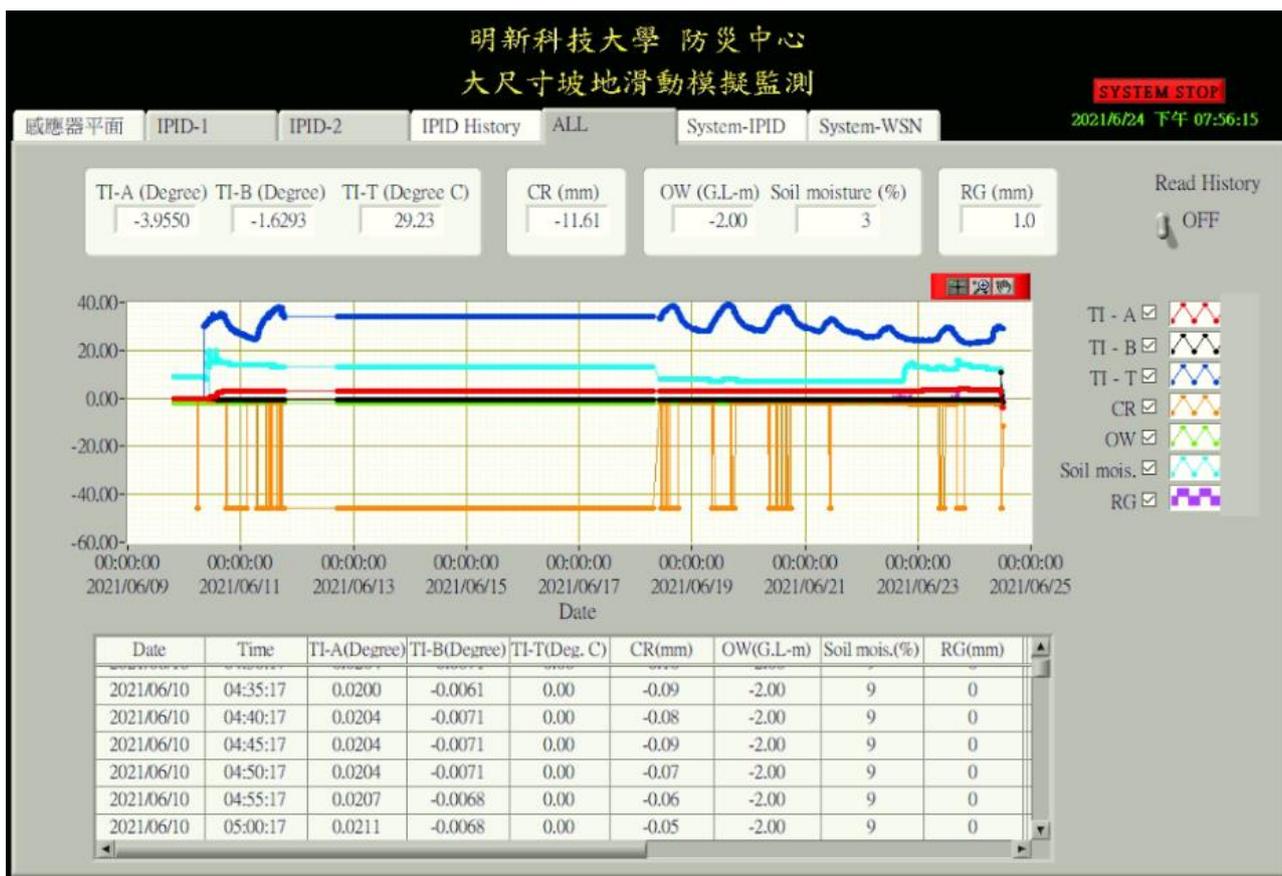


圖 3-28 本研究監測項目即時顯示畫面

第二節、土槽邊坡降雨測試

本計畫為初步對土槽破壞形式以及監測設備所量測數據進行比對分析，在各項儀器紀錄初始值後，以一穩定人工降雨進行測試，觀察坡面破壞型式為何。圖 3-29 即為人工降雨階段紀錄之初期與降雨後影像，從影像結果可明顯看出，降雨後對測試邊坡最大影響為細顆粒土壤流失，坡中部分出現徑流雨水沖刷出蝕溝(如圖 3-30 所示)，其餘則無發現明顯變形與張力裂縫跡象。



圖 3-29 降雨初期(左圖)與降雨後(右圖)比對



圖 3-30 人工降雨過程中沖刷出之蝕溝

第三節、不同情境下邊坡穩定模擬成果

本研究針對不同土層材料、降雨條件、邊坡形式、層面角度、坡面植生、坡腳型態等條件進行多種情進模擬，本章節僅摘錄發生明顯邊坡變化與破壞案例中之自然邊坡與人工邊坡兩案例進行說明。

(1) 自然邊坡

試驗條件：

- 土層材料：接近純粉土(模擬政大御花園後方邊坡土壤)
- 邊坡形式：自然邊坡
- 層面角度：約 11 度
- 坡面植生：裸坡
- 坡腳型態：砍腳呈垂直坡面

試驗照片如圖 3-31、3-32 所示，監測數據如圖 3-33、3-34 所示。



圖 3-31 邊坡滑動前後正視照片

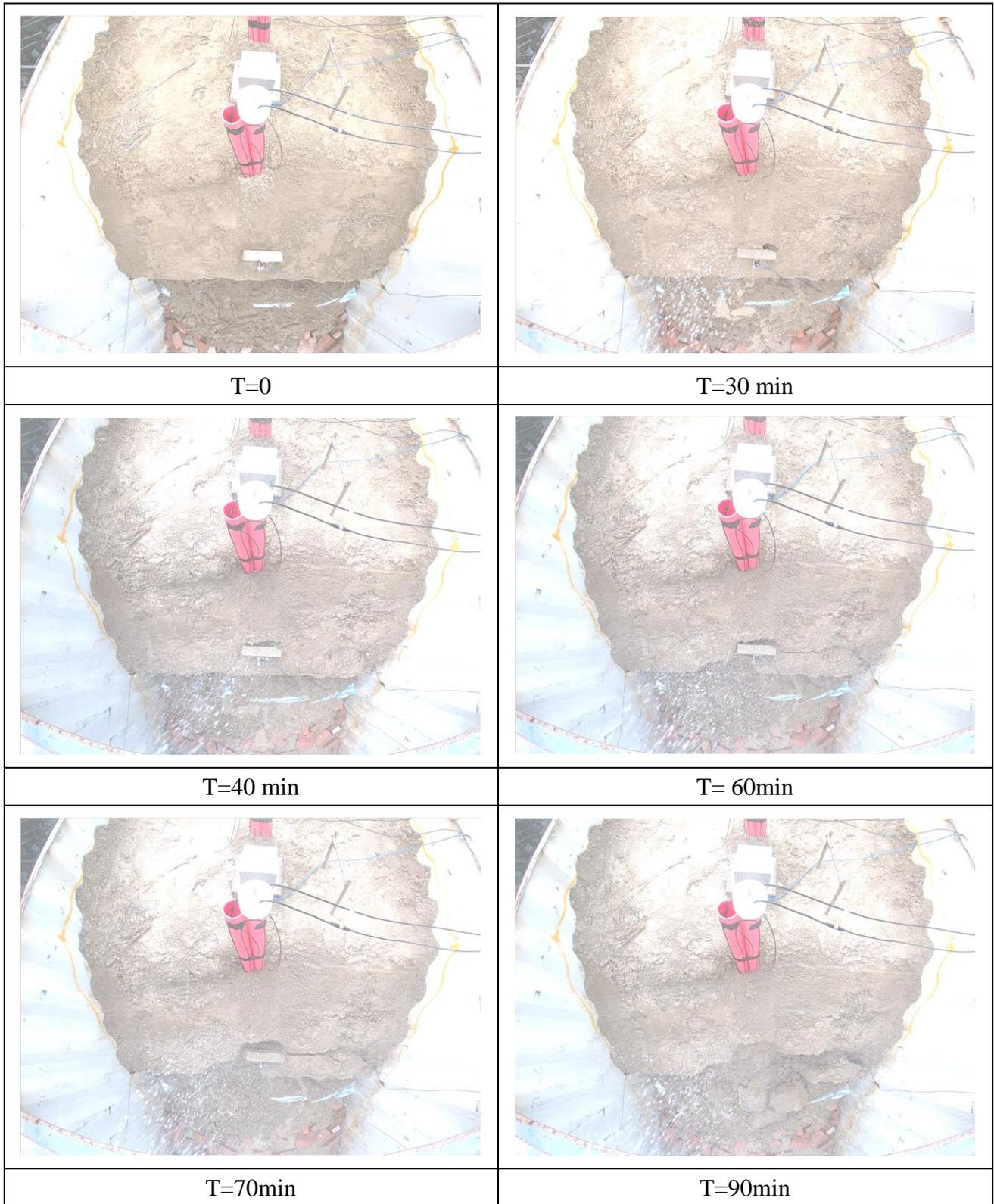


圖 3-32 邊坡滑動過程俯視照片

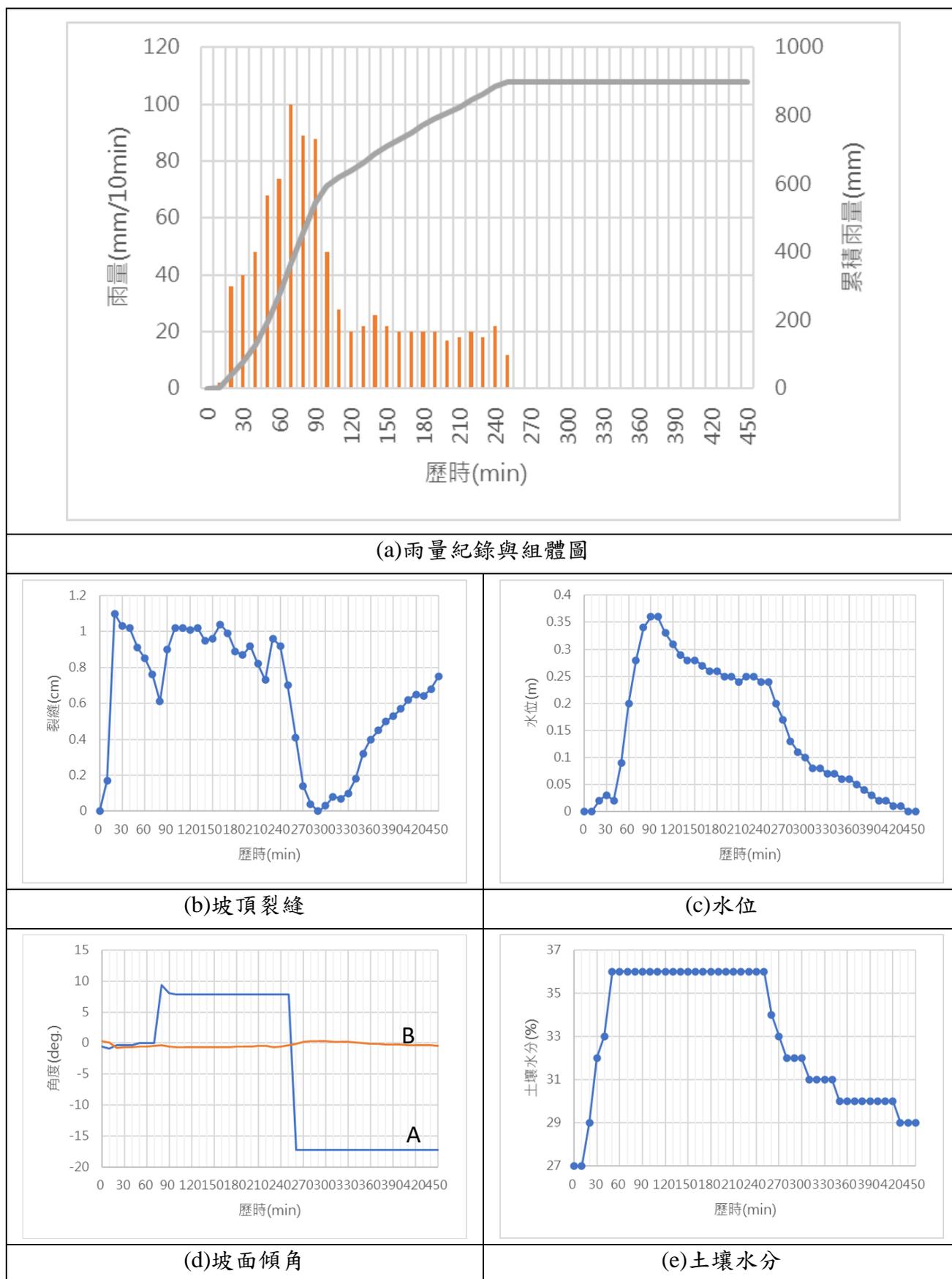


圖 3-33 邊坡滑動過程監測數據

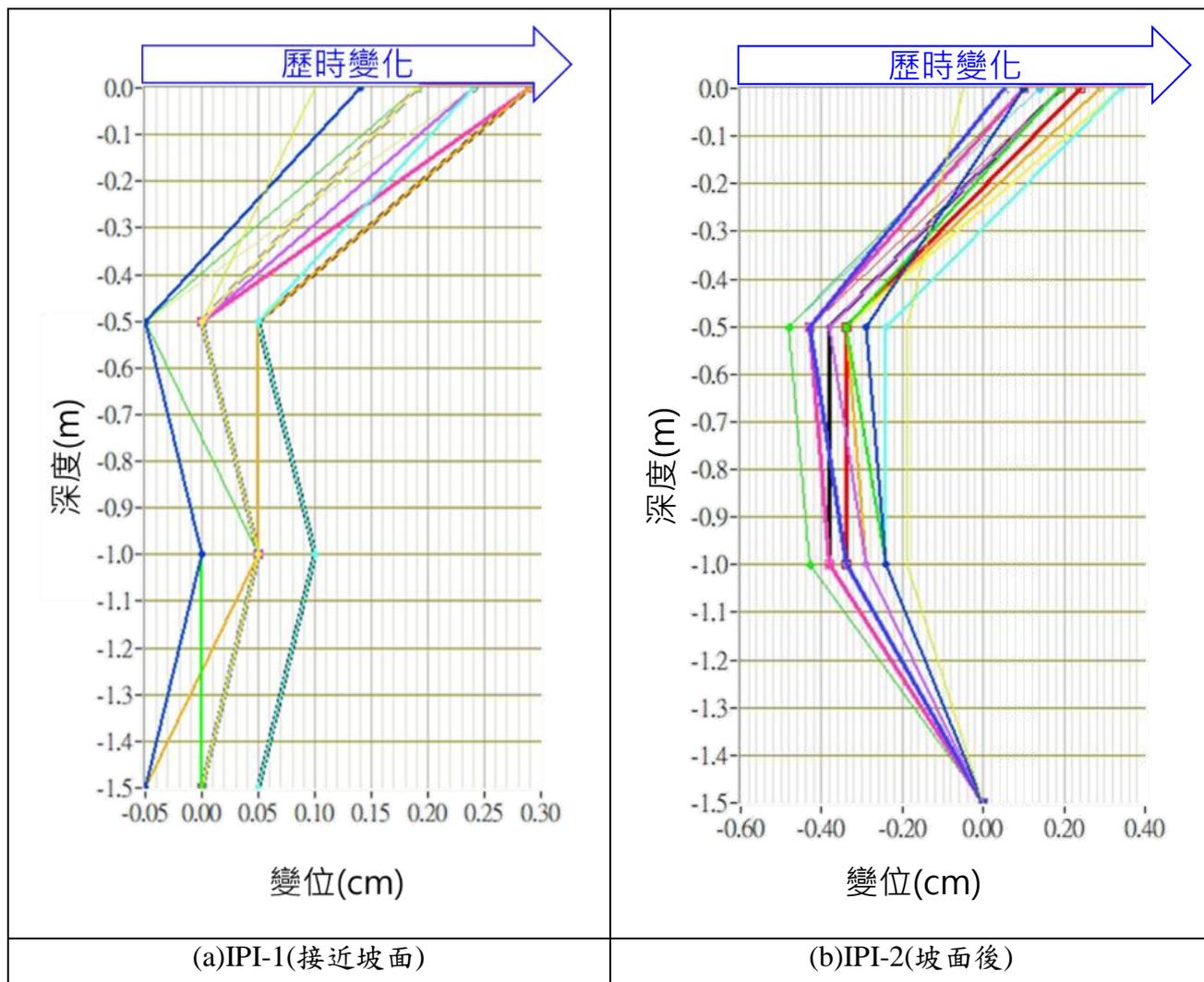


圖 3-34 邊坡滑動過程地層監測數據

(2) 人工邊坡

試驗條件：

- 土層材料：接近純粉土(模擬政大御花園後方邊坡土壤)
- 邊坡形式：人工邊坡(砌磚並嵌入土壤，牆後可排水)
- 層面角度：約 11 度
- 坡面植生：裸坡
- 坡腳型態：砍腳呈垂直坡面

試驗照片如圖 3-35、3-36 所示，監測數據如圖 3-37、3-38 所示。

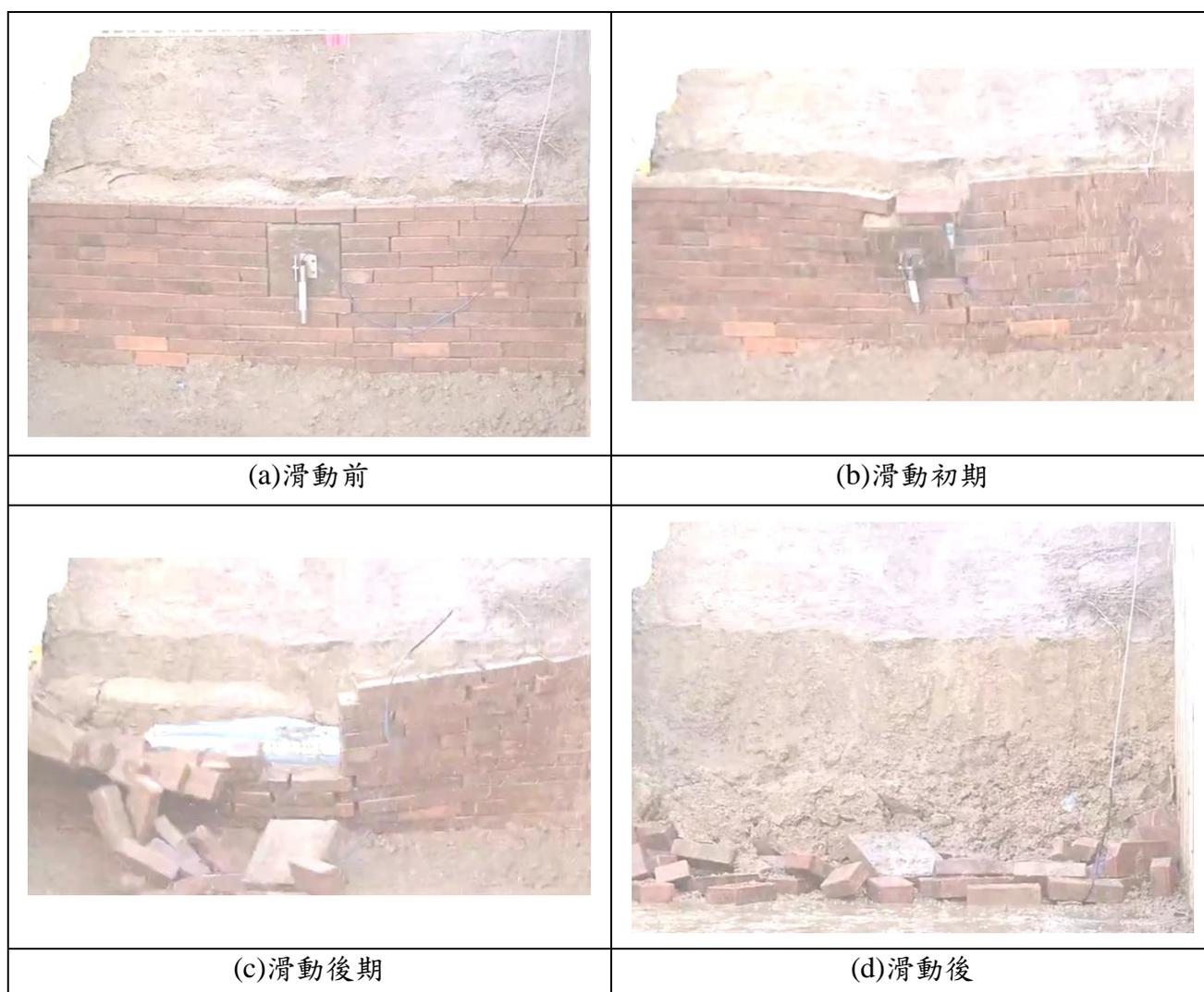


圖 3-35 邊坡滑動前後正視照片

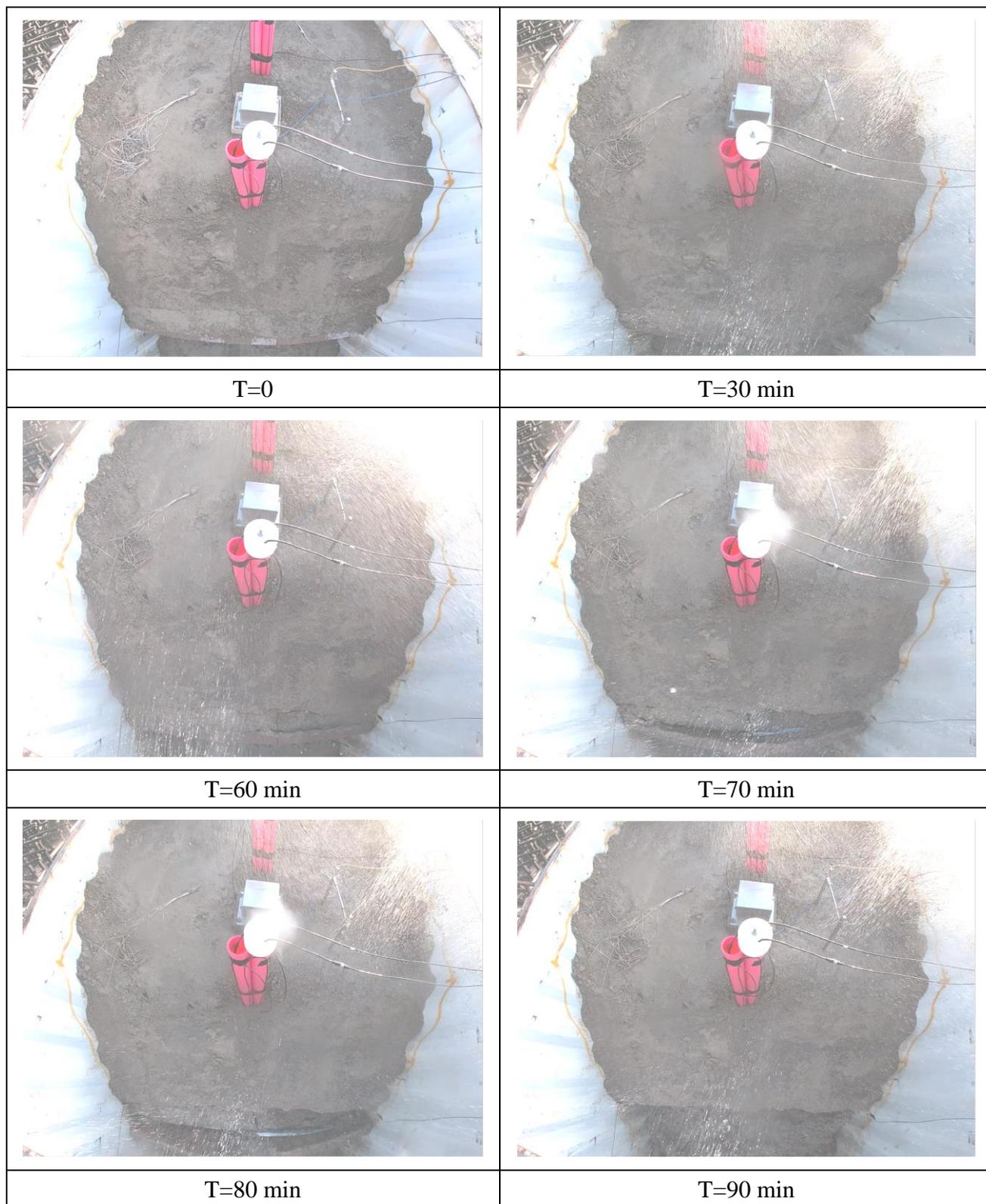


圖 3-36 邊坡滑動過程俯視照片

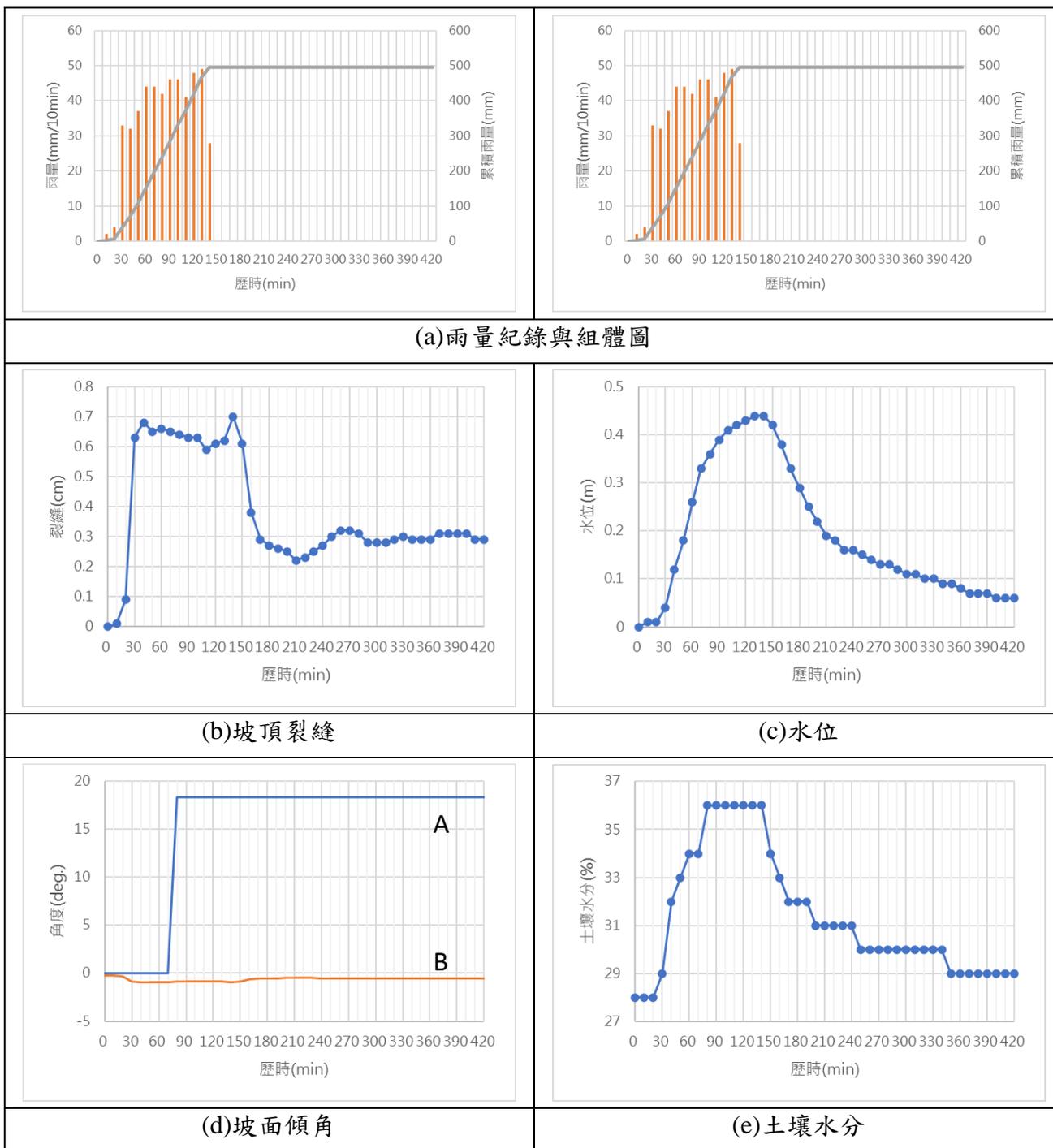


圖 3-37 邊坡滑動過程監測數據

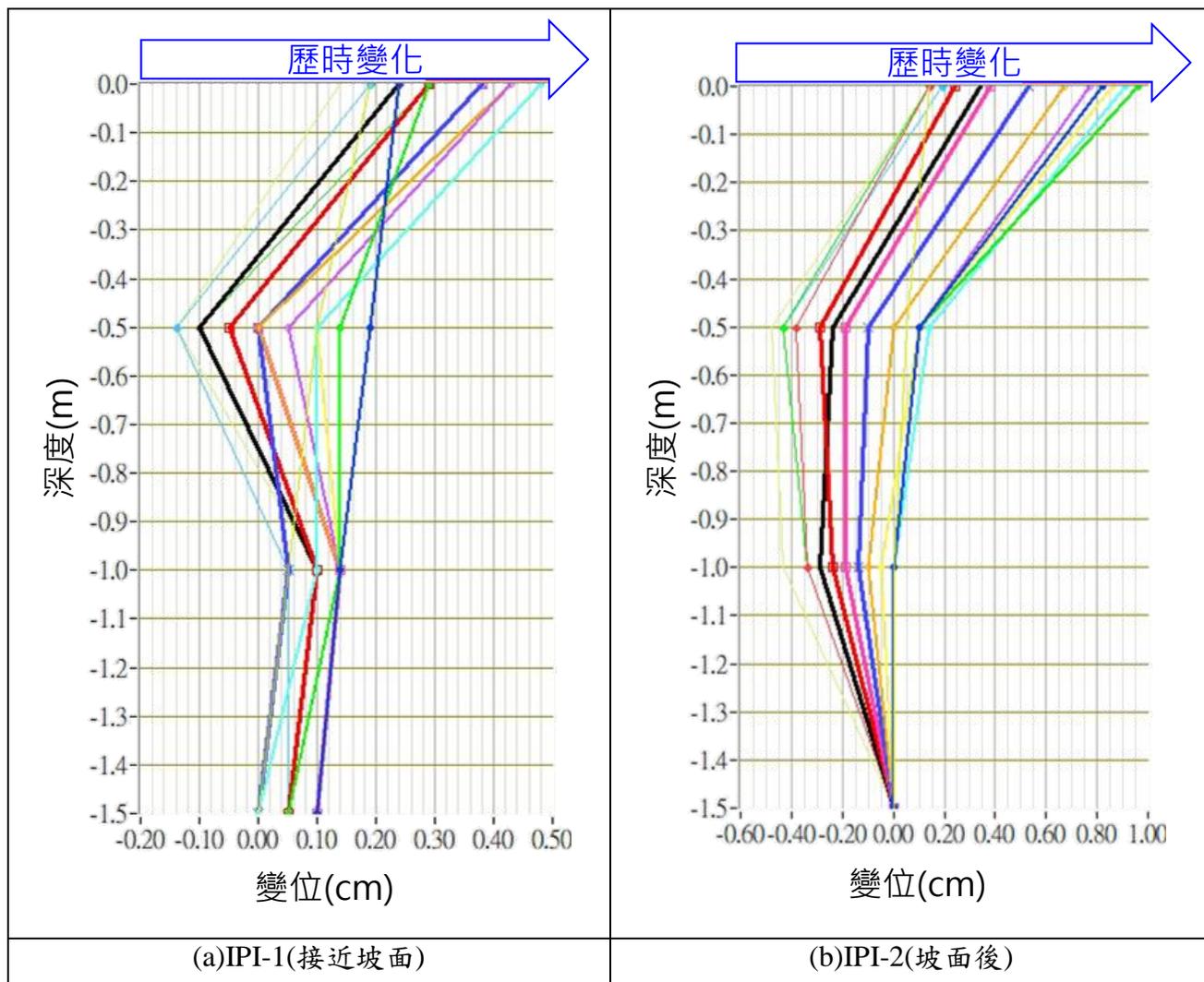


圖 3-38 邊坡滑動過程地層監測數據

第四章 管理值訂定方式

本研究關於後續研擬管理值訂定方式，以下列案例為例說明，並於後續之模型試驗進行驗證。

第一節、案例探討

該案例為台北市文山區貓空纜車系統之塔柱下方邊坡單元中 T16 塔柱邊坡，如圖 4-1 所示。貓空纜車於 96 年營運，往返貓空與台北市動物園。本研究針對塔柱邊坡進行數值模擬分析。



圖 4-1 空纜車 T16 塔柱邊坡整治工程(林冠良 2015)

4.1.1 地理位置

貓空纜車 T16 塔柱邊坡位於台北市文山區，位於政大御花園社區後約 1 公里處，如圖 4-2 所示。



圖 4-3 塔柱災後局部邊坡破壞(林冠良 2015)

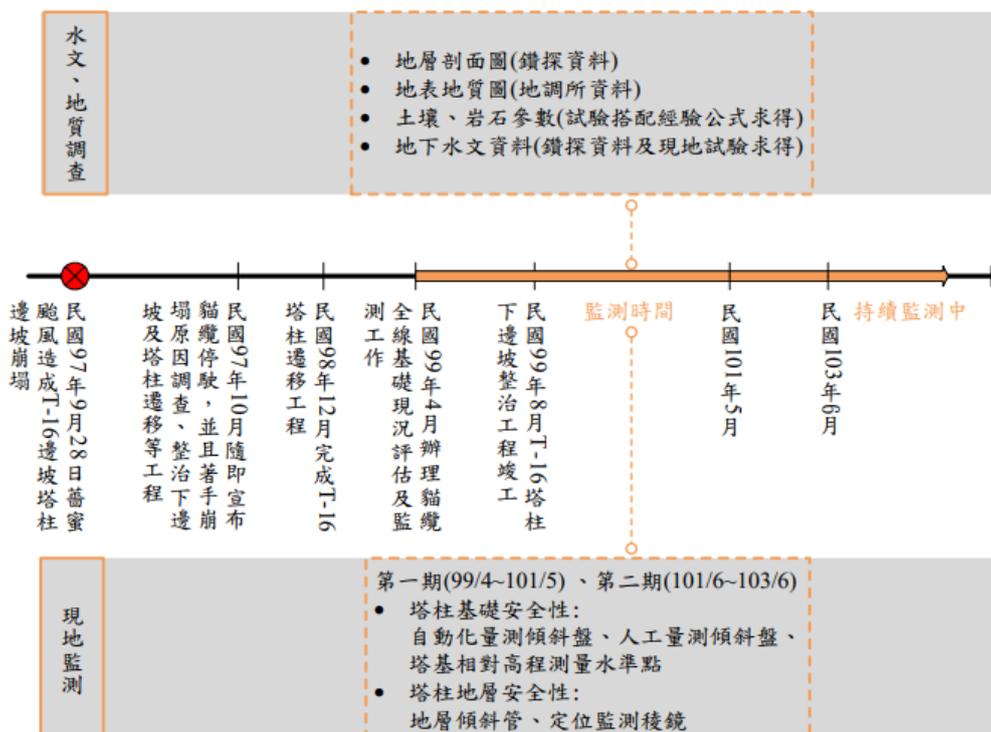


圖 4-4 歷史經過(林冠良 2015)

4.1.3 數值分析模擬

1. 不飽和滲流與應力耦合分析

應力-應變分析， ε_a 為軸向應變； q 為軸差應力； q_a 為應力-應變雙曲線漸進線； E_i 為初始狀態下土壤之彈性模數。

$$\varepsilon_a = \frac{1}{E_i} \frac{q}{1 - q/q_a}$$

以單變數表示不飽和土的有效應力。

$$\sigma'_n = (\sigma_n - u_a) + x(u_a - u_w)$$

PLAXIS 不飽和有效應力計算。

$$\sigma'_n = \sigma_n - S_e u_w$$

將孔隙氣壓力忽略，並將不飽和土壤參數 x 改變為有效飽和度 S_e 。

滲流分析，土壤體積含水比與基質吸力關係：

$$\Theta = \frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)} = \left(\frac{1}{1 + (\alpha \psi)^n} \right)^m$$

非飽和水力傳導係數函數：

$$k_{rel} = \frac{k_{usat}}{k_{sat}} = \Theta^{1/2} \left[1 - (1 - \Theta^{1/m})^m \right]^2$$

以上兩式轉換為土壤飽和度如下列公式所示。

$$\Theta = \frac{(\theta - \theta_r)}{(\theta_s - \theta_r)} = \frac{S - S_r}{S_s - S_r} = S_e$$

2. 幾何模型

以 plaxis 建立 T16 塔柱之幾何模型，進行數值模擬分析，如圖 4-5 所示。

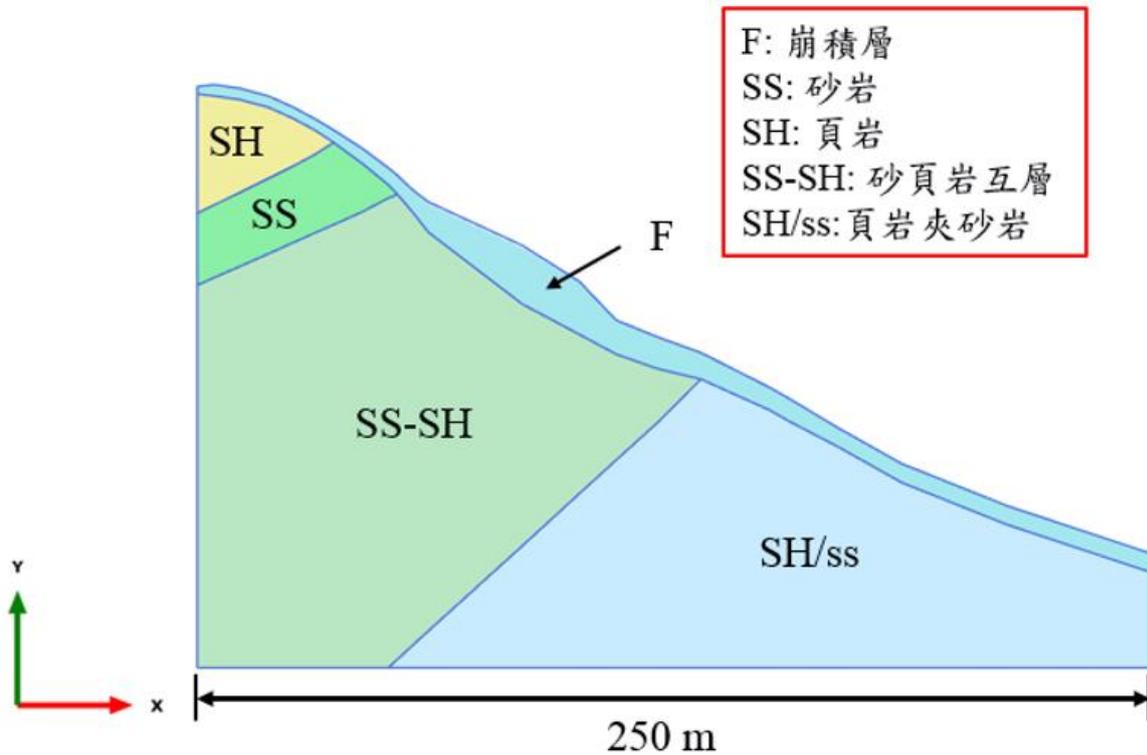


圖 4-5 T16 塔柱幾何模型

4.1.4 材料參數

參考「台北市文山區萬壽路 75 巷政大御花園蕃蜜風災土石崩塌鑑定報告」之土壤一般物理性試驗等數據，地層之材料參數如表 4-1 所示。

4.1.5 邊界條件設定

左右水力邊界條件依據常時地下水位高度，定水頭邊界，使左右水頭差固定；底部設定無流量邊界，防止滲流通過底部；坡面為降雨入滲邊界，依輸入之雨量資料，由坡面進行入滲，如圖 4-6 所示。

表 4-1 土壤參數

土/岩層	材料模式	孔隙比 e	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	柏松比 v	凝聚力 C'(kPa)	摩擦角 Φ' (°)	水力傳導係數 k _x ,k _v (cm/s)	E (kPa)
崩積層	Hardening Soil	0.616	19.5	20.1	0.3	6	27	2.76*10 ⁻⁴	E ₅₀ =13750 E _{oed} =9625 E _{ur} =41250
砂岩層	Mohr-Coulomb	0.15	24.6	25.4	0.25	679	36	1*10 ⁻⁵	1.78*10 ⁶
頁岩層	Mohr-Coulomb	0.14	23.6	24.5	0.27	256	27	0.5*10 ⁻¹²	4.91*10 ⁵
砂頁岩互層	Mohr-Coulomb	0.145	24.2	24.9	0.26	467	31.5	0.2*10 ⁻⁹	1.14*10 ⁶
頁岩夾砂岩	Mohr-Coulomb	0.148	23.8	24.9	0.26	306	30	0.1*10 ⁻¹⁰	8.76*10 ⁵

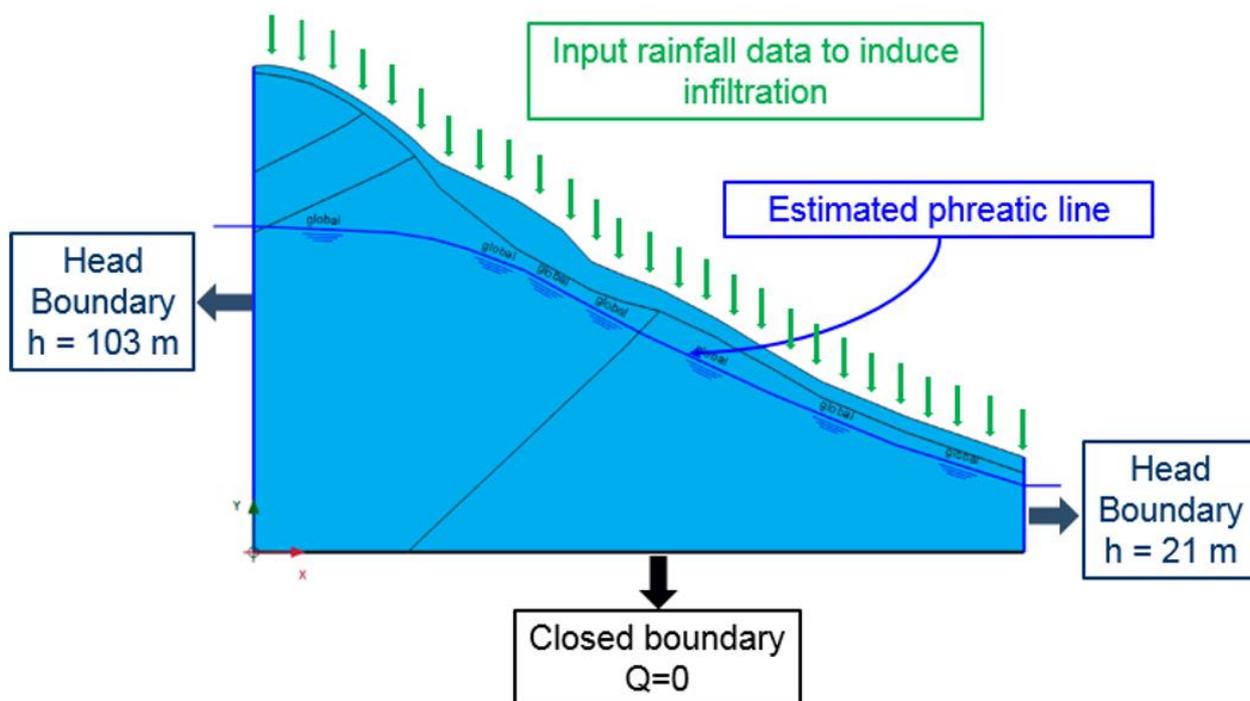


圖 4-6 水力邊界條件設定

4.1.6 模擬結果

1. 降雨歷時安全係數變化

本研究參考「滲流與應力耦合分析探討降雨導致不飽和邊坡不穩定之機制」論文案例，以 PLAXIS 進行分析，分析結果可驗證數值模擬分析方法正確，如圖 4-7 所示，將以此方式執行後續案例分析。

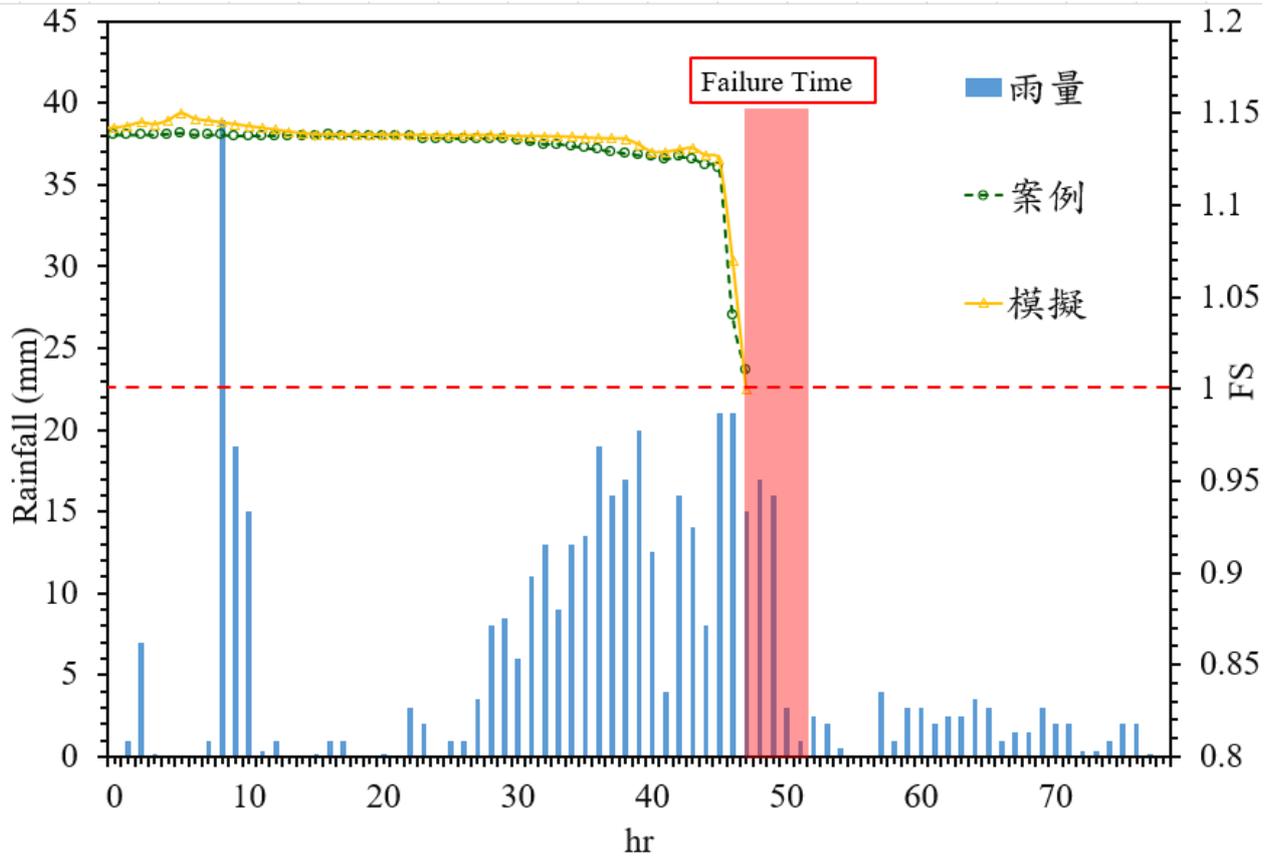


圖 4-7 降雨歷時安全係數變化

第二節、模型驗證

本模擬以第三章第三節自然邊坡研究案例為對象，探討不同地下水位對邊坡的穩定性影響，進而了解邊坡發生破壞的時機。

4.2.1 數值模擬方法與作法

以 PLAXIS 進行邊坡穩定分析。在基準分析數值模型方面，需輸入不同之土層參數。另外，藉由輸入初始地下水位作模擬分析。以模擬不同水位歷程之安全係數變化。PLAXIS 程式數值模型如圖 4-8 所示。

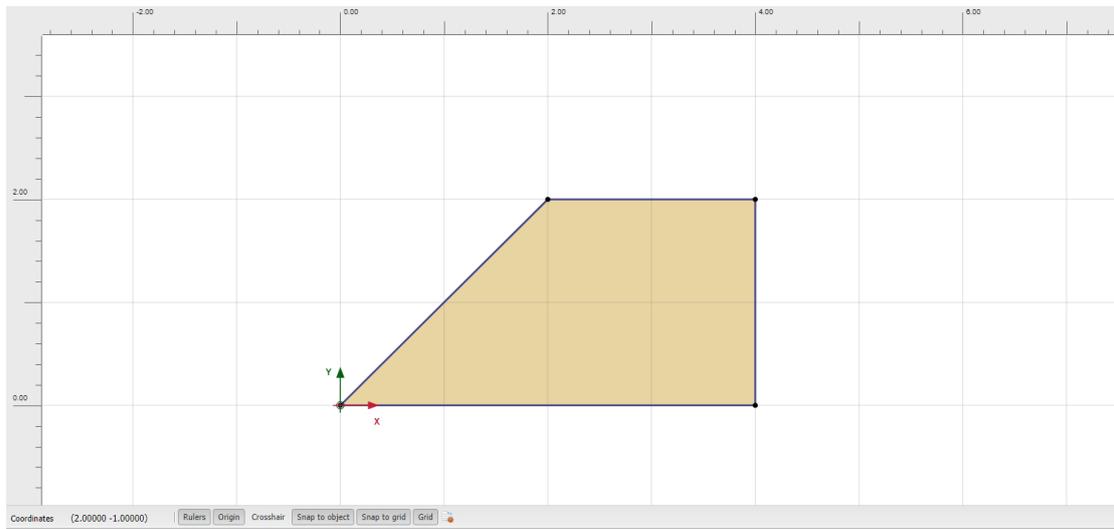


圖 4-8 PLAXIS 分析數值模型圖

4.2.2 輸入參數及邊界條件

土壤參數部分，參考「台北市文山區萬壽路 75 巷政大御花園蕃蜜風災土石崩塌鑑定報告」之土壤一般物理性試驗等數據。PLAXIS 分析所需之材料參數整理如表 4-2 所示。

表 4-2 材料參數

土/岩層	材料模式	孔隙比 e	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	柏松比 v	凝聚力 C'(kPa)	摩擦角 Φ' (°)	水力傳導係數 k_x, k_v (cm/s)	E (kPa)
崩積層	Hardening Soil	0.616	19.5	20.1	0.3	6	27	$2.76 \cdot 10^{-4}$	E ₅₀ =13750 E _{oed} =9625 E _{ur} =41250

4.2.3 分析設計

本研究之地下水位變化與降雨有高度相關性，探討地下水位與邊坡穩定之關係，進行數值驗證(如表 4-3 所示)。

表 4-3 GEO-SLOPE 分析設計

Case No.	Description
1	地下水位面位於地表面
2	地下水位面位於坡底上約1M
3	地下水位面位於坡頂

4.2.4 數值驗證結果與討論

(1). 數值驗證

本研究以 PLAXIS 進行邊坡穩定分析，以了解邊坡是否受地下水位影響而發生破壞。由圖 4-9~4-12 可知，地下水位面位於地表，邊坡安全係數均大於 1，邊坡相對穩定。

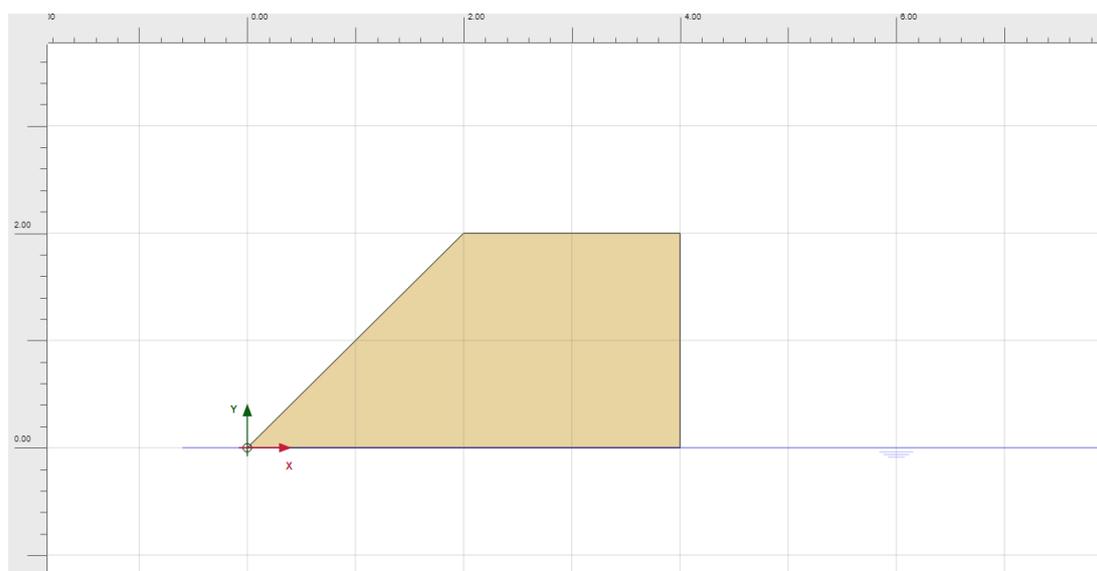


圖 4-9 地下水位面位於地表：Case1

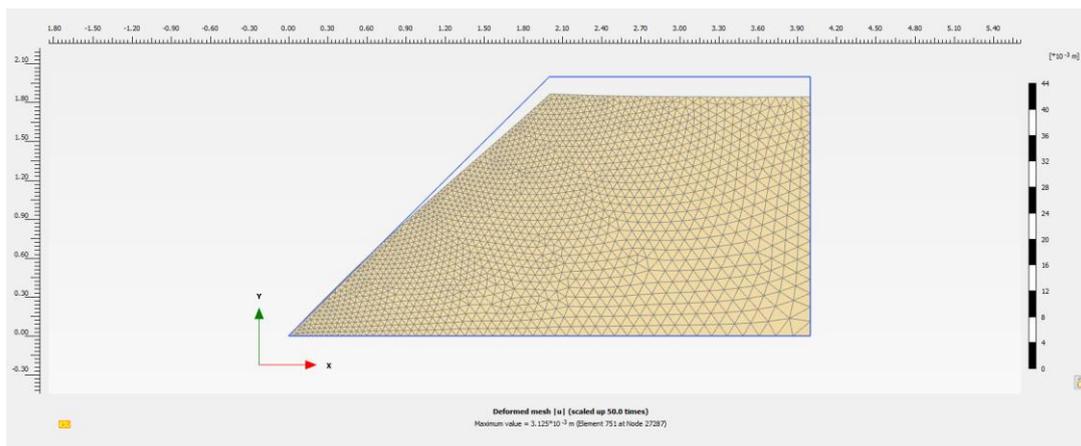


圖 4-10 地下水位面位於地表模擬變形：Case1

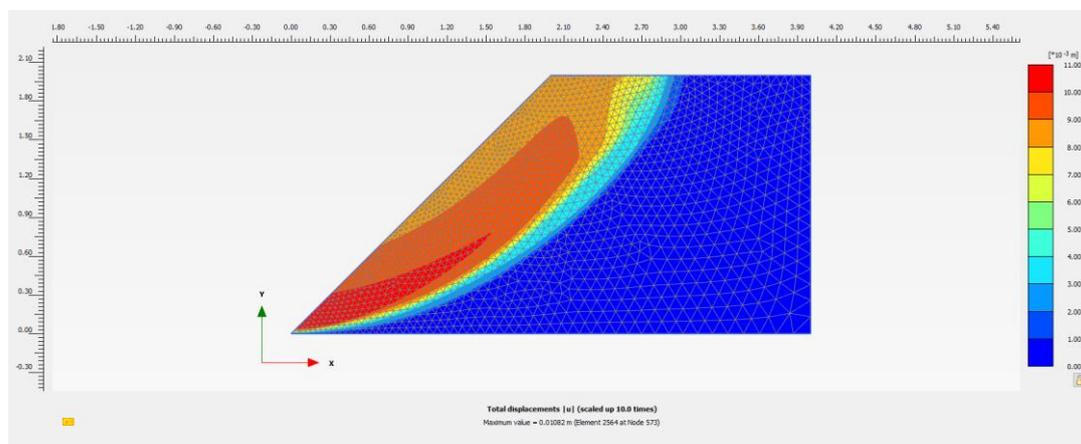


圖 4-11 地下水位面位於地表模擬變形：Case1

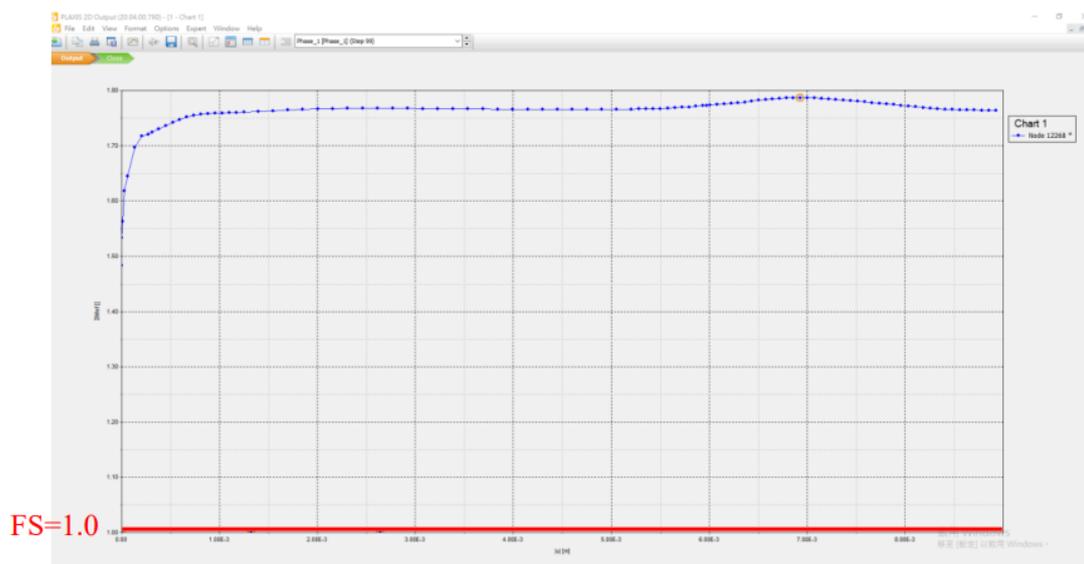


圖 4-12 地下水位面位於地表模擬分析結果：Case1

圖 4-13~4-16 為地下水位面位於坡底上約 1M 之分析結果。由圖可知加入地下水位後，安全係數均明顯降低，惟仍大於 1，目前邊坡尚屬穩定之狀態。

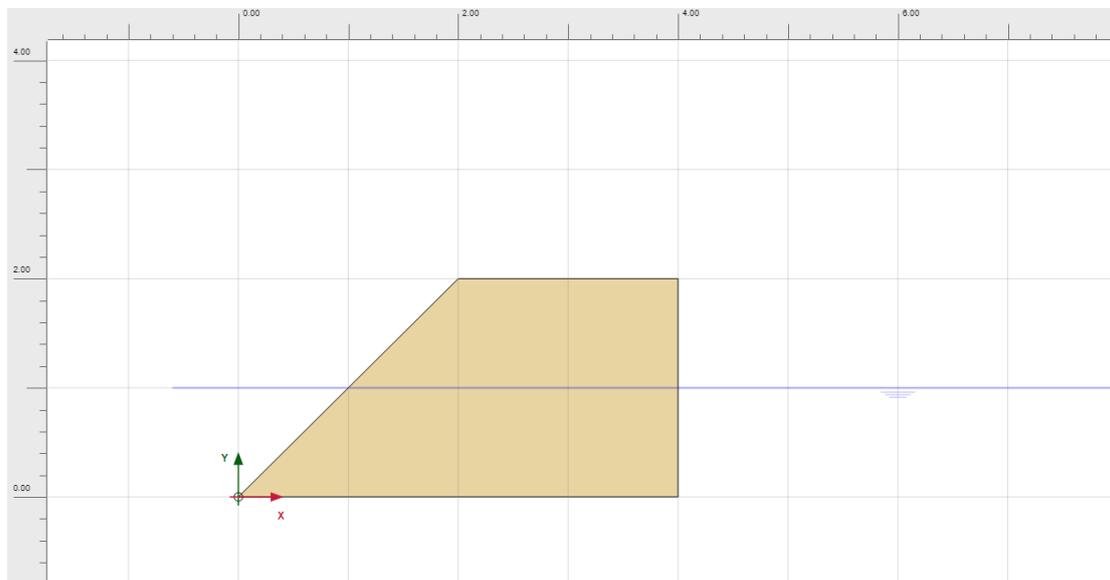


圖 4-13 地下水位面位於坡底上約 1M：Case2

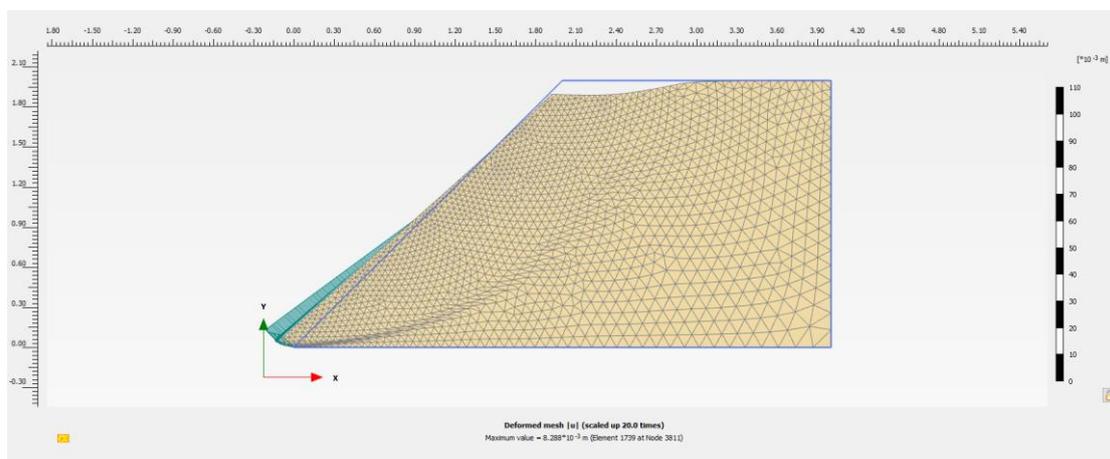


圖 4-14 地下水位面位於坡底上約 1M 模擬變形：Case2

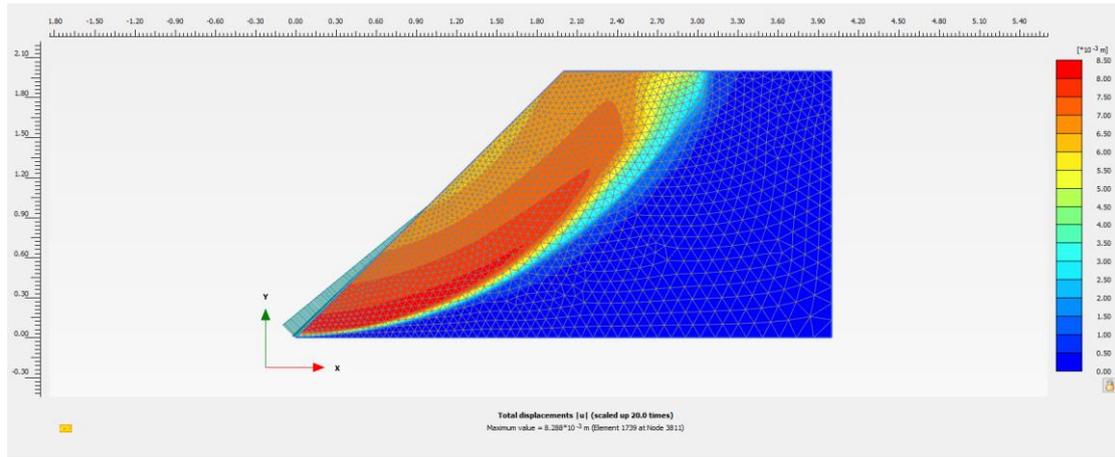


圖 4-15 地下水位面位於坡底上約 1M 模擬變形：Case2

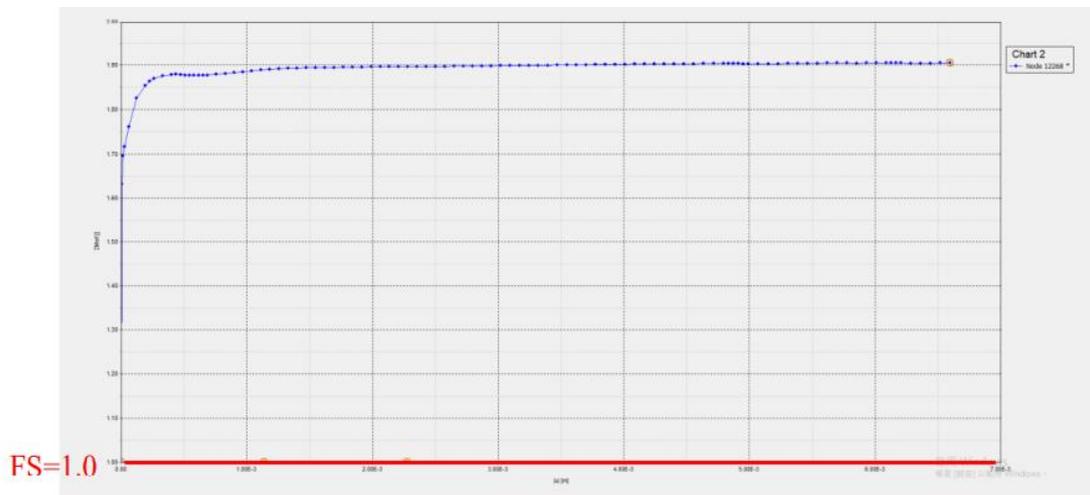


圖 4-16 地下水位面位於坡底上約 1M 模擬分析結果：Case2

圖 4-17~4-20 為地下水位面位於坡頂之分析結果。由圖可知當地下水位接近表面時，安全係數均小於 1，此時邊坡將發生破壞。

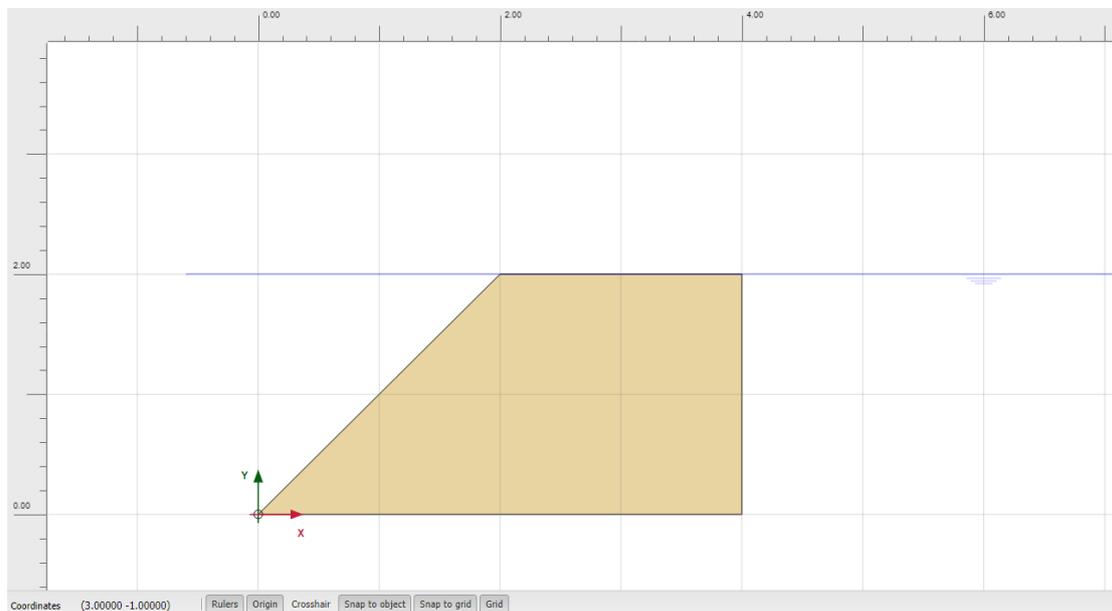


圖 4-17 地下水位面位於坡頂：Case3

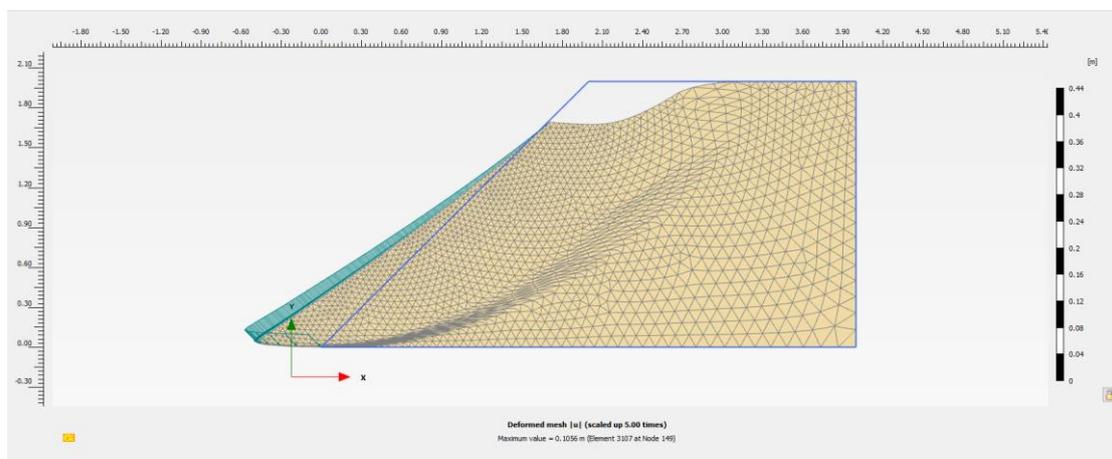


圖 4-18 地下水位面位於坡頂模擬變形：Case3

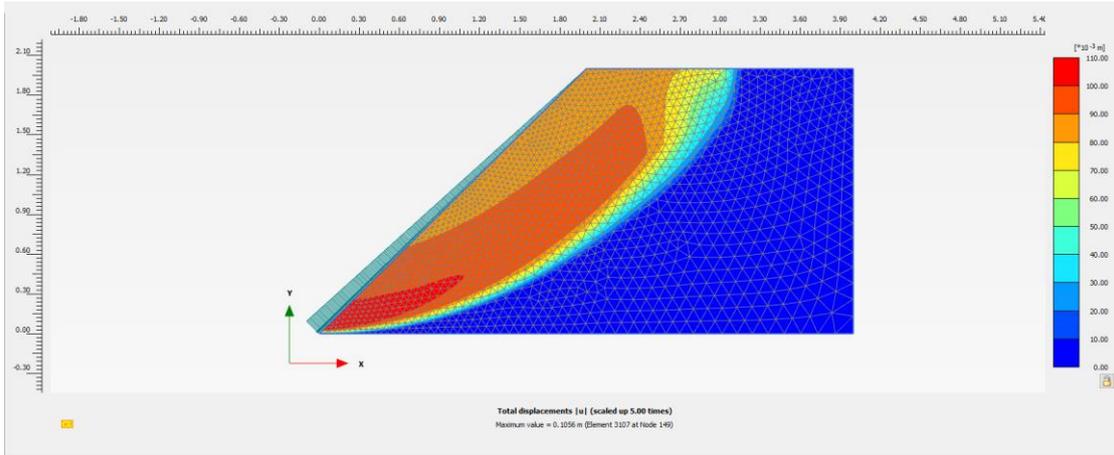


圖 4-19 地下水位面位於坡頂模擬變形：Case3

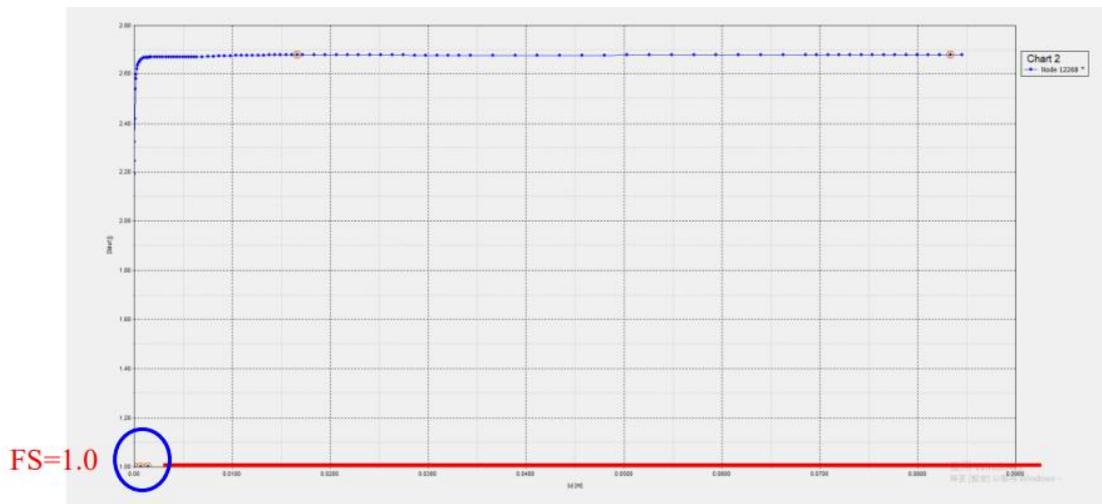


圖 4-20 地下水位面位於坡頂模擬分析結果：Case3

4.2.5 初步結論

表 4-4 為不同地下水位狀況之邊坡分析結果。由表可知，如颱風豪雨發生造成雨水累積於邊坡內，將降低安全係數，影響穩定性；而若能有效的降低地下水位(如：採取良好之排水系統)，將可提高安全係數，並增加邊坡之穩定性。綜合上述，由本研究數值分析可知，颱風豪雨事件過後造成之雨水浸入邊坡內，地下水位面升高為造成破壞之原因。

表 4-4 PLAXIS 分析設計結果

Case No.	Description	FS
1	地下水位面位於地表	1.5
2	地下水位面位於地表上 約1M	1.3
3	地下水位面位於坡頂	0.998 (NG)

4.2.6 管理值訂定方式

圖 4-21 為模擬案例之實際狀況，可發現降雨發生後在第 46 小時安全係數急速降低，至第 48 小時達破壞，亦即僅有兩小時可行動。圖 4-22 與 4-23 為本研究實驗案例狀況，以坡面傾斜計監測值為例，若以傳統之管理方式，將有很長的警戒時間但直接邁入破壞階段；然而若可在有初步變化時即開始行動，亦即通知社區住戶請專業技師進行評估與維修補強，將有較充裕時間避災。

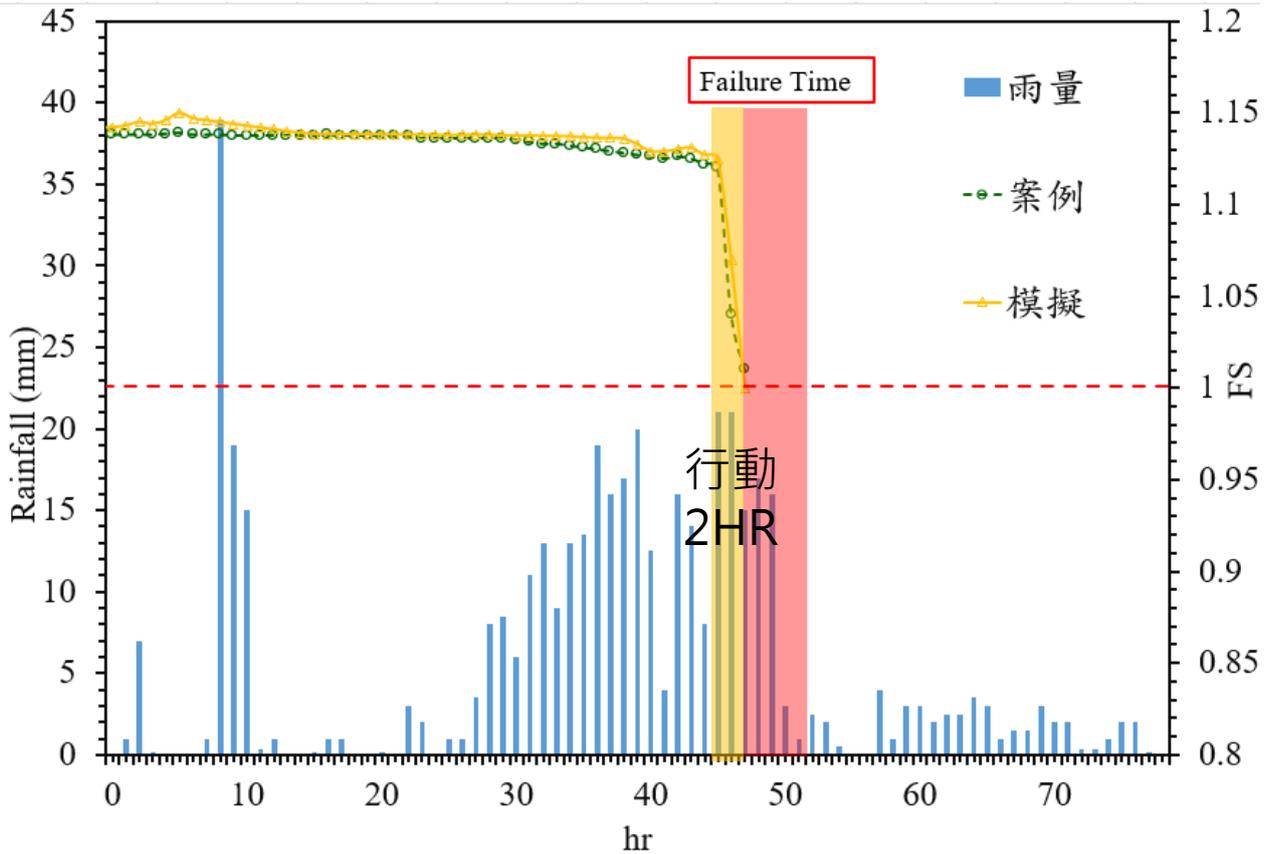


圖 4-21 政大御花園後方邊坡破壞行為時序

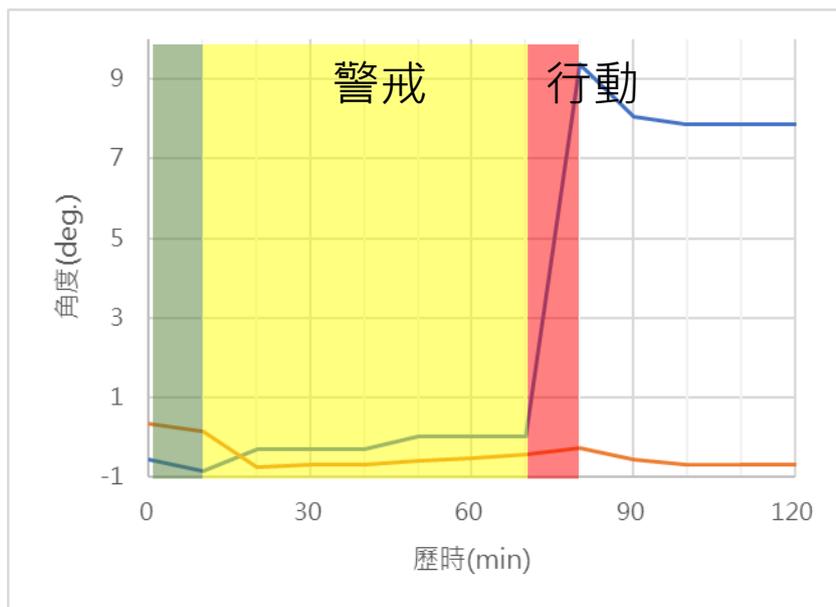


圖 4-22 本研究模擬案例以傳統管理思維劃分警界與行動時間

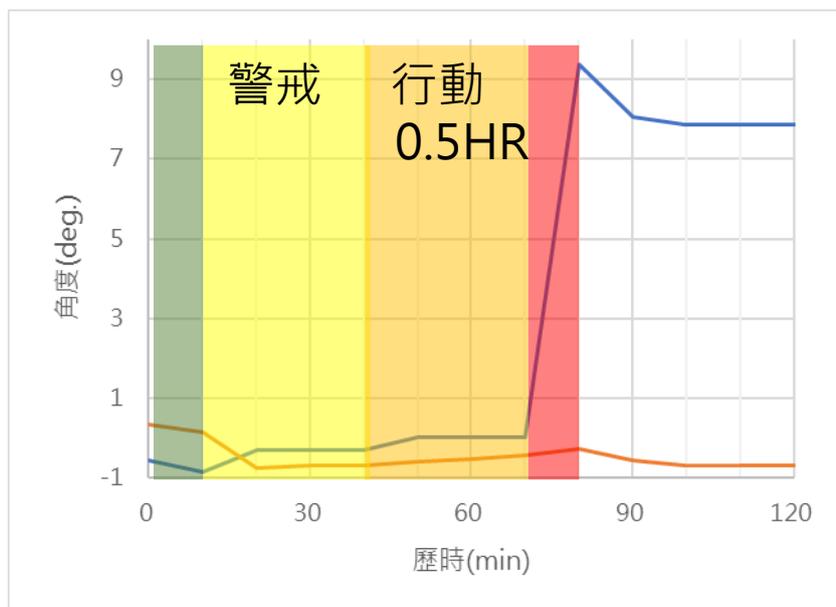


圖 4-23 本研究模擬案例以新管理思維劃分警界與行動時間

第五章 建研所既有之防災監控平台

5.1 支援示範社區安裝監測系統

建研所原預計於本年度財團法人建築中心建置 1 處示範坡地社區整合型監測設備，並連結至建研所防災監控平台，逐步建立坡地社區監控資料庫，以供未來推廣。候選社區為台北市文山區棕栢泉綠茵山莊與新竹縣竹東鎮放翁清境社區，但經 110.07.20 與 110.08.20 現勘後皆認為不適合。

本團隊於 107 年度與 108 年度分別於台北市觀星台北社區與新北市觀天下社區進行過整合型監測設備之安裝與試驗，除技術可符合需求外，亦具備充分與社區溝通協調之經驗，相關成果如圖 5-1 所示。

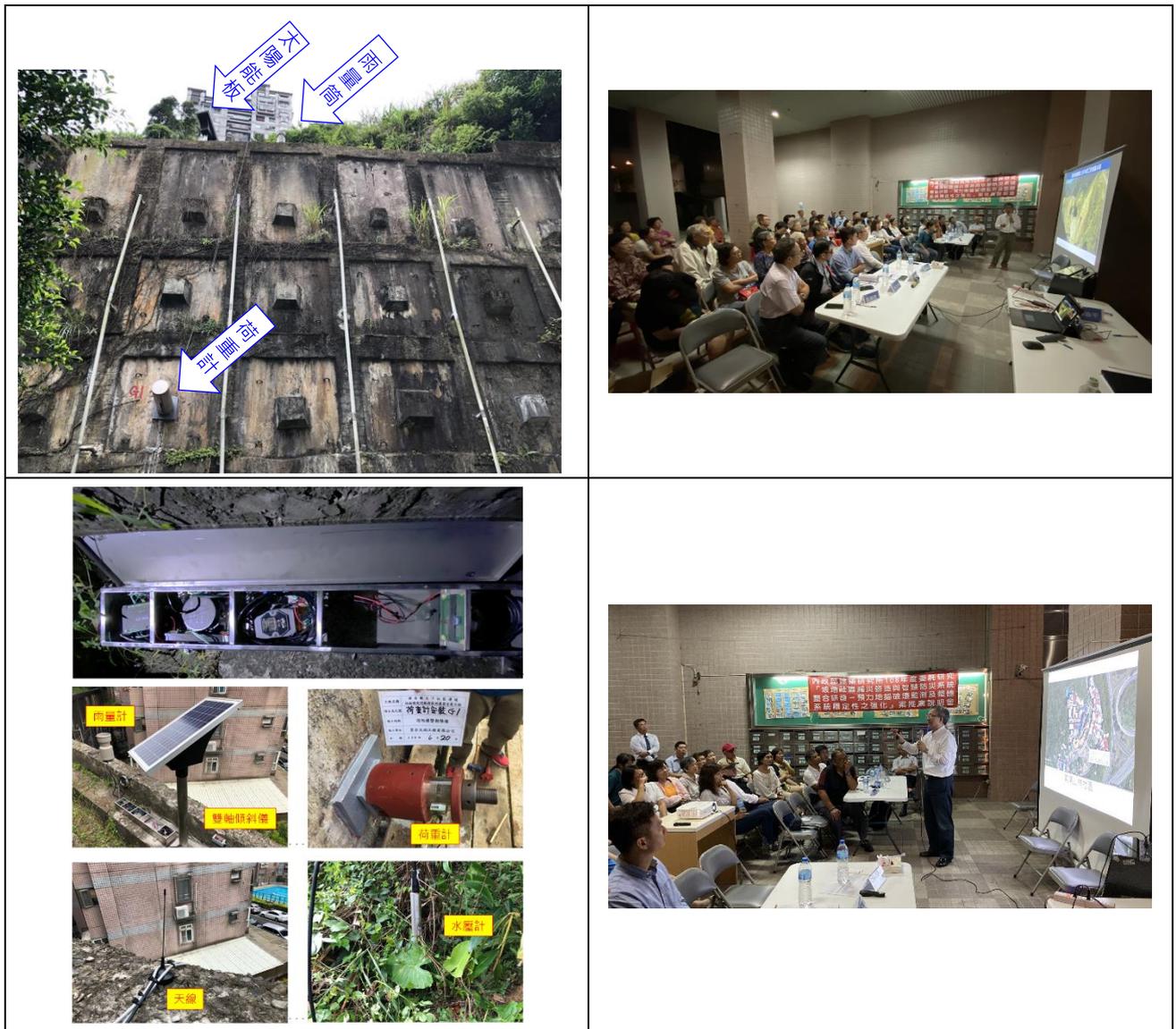


圖 5-1 前期計畫於示範社區(觀天下為例)安置與說明會照片(建研所 2019)

5.2 精進建研所防災監控系統

本系統運行環境與使用到技術如表 5-1 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。

實務上，本系統以無法充分使用現今技術而展現平台，故將平台移植至雲端運行，預計於期末階段進行。原系統登入後之畫面如圖 5-2 所示，今年度持續增加明新科大試驗場址之監測項目，畫面中左側即為介接中央氣象局以及 NCDR 所取得之監測場址鄰近雨量站資料、區域 36 小時氣象預報、以及公開示警訊息，如圖 5-3 所示，其以跑馬燈的形式每 5 秒鐘切換一次。圖 5-4 為現地量測的雨量與水壓、裂縫伸張計、IPI 傾斜管等資料，最後以圖 5-5 中不同之預警指標方式呈現，有助於協助使用者快速掌握以上資訊。

表 5-1 「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 https://alerts.ncdr.nat.gov.tw/ 中央氣象局之氣象資料開放平臺 https://opendata.cwb.gov.tw/index

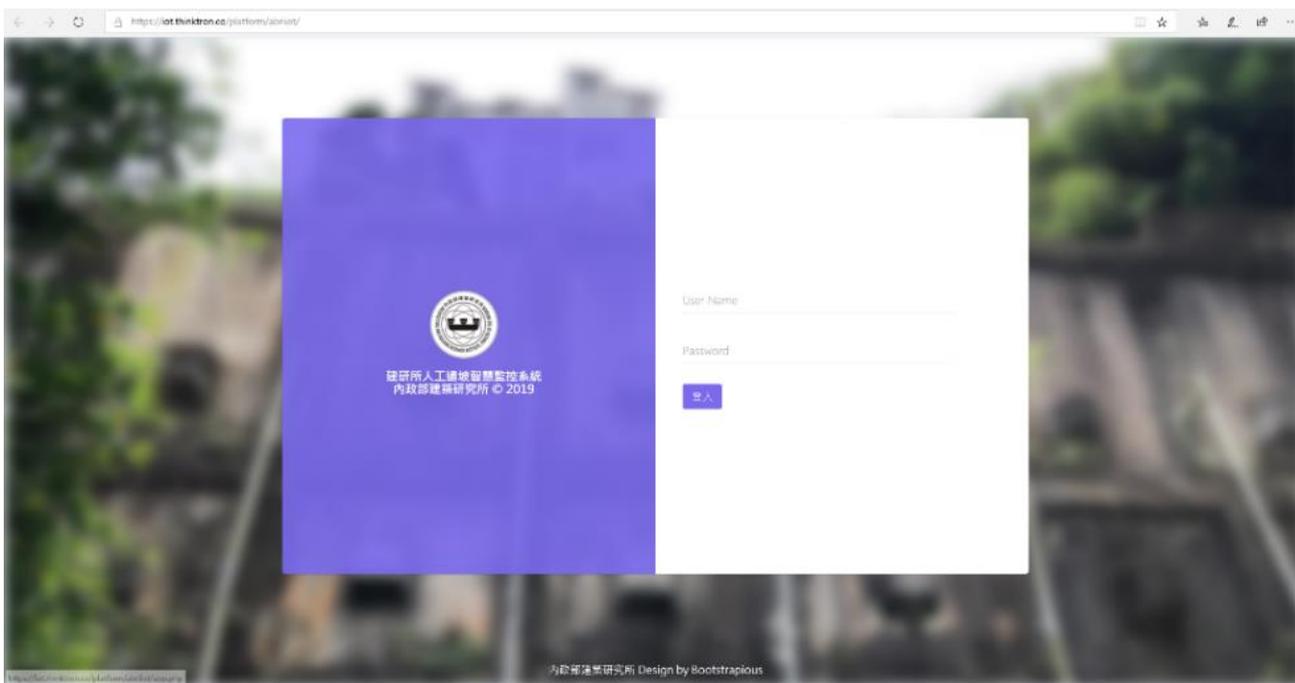


圖 5-2 系統登入後之畫面

鄰近雨量站降雨列表 資料時間:2020-10-19T10:14

測站名	時雨量	12小時累積雨量	24小時累積雨量
新豐	0	0	0
湖口	0	0	0
水尾	0	0	0
新屋	0	0	0
新竹	0	0	0
新埔	0	0	0

*註：單位：mm(釐米)，測站的排序代表離場址的遠近

即時防災訊息

今天氣訊息(2020-10-19T07:58)

- 今明受東北風影響，天氣較涼，請攜帶雨具
- 北部天氣概述 =
- 今、明(19日、20日)兩天受東北風影響，天氣稍涼；明日有雨；今、明兩天沿海及空曠地區有8至10級強陣風，請注意。
- 基隆預報現況 =
- 今日白天為陰有雨，降雨機率70%，氣溫23-24度；近海海域，東北風5至6陣風8級。
- 明日白天為陰有雨，降雨機率70%

公開示警訊息(2020-10-19, 09:25)

- 東北風影響，今(19)日桃園至臺南、東南部(含蘭嶼、綠島)、恆春半島沿海空曠地區及澎湖、金門將有9至10級強陣風，沿海及鄰近海域並有較大風浪，請注意。
- 109年10月14日供水情勢(枯旱預警)通報影響地區：桃園市及新北市林口區、新竹縣(市)、苗栗縣、台中市及彰化縣北部地區

圖 5-3 試驗場址鄰近中央氣象局雨量站資料以及 NCDR 之公開示警訊息

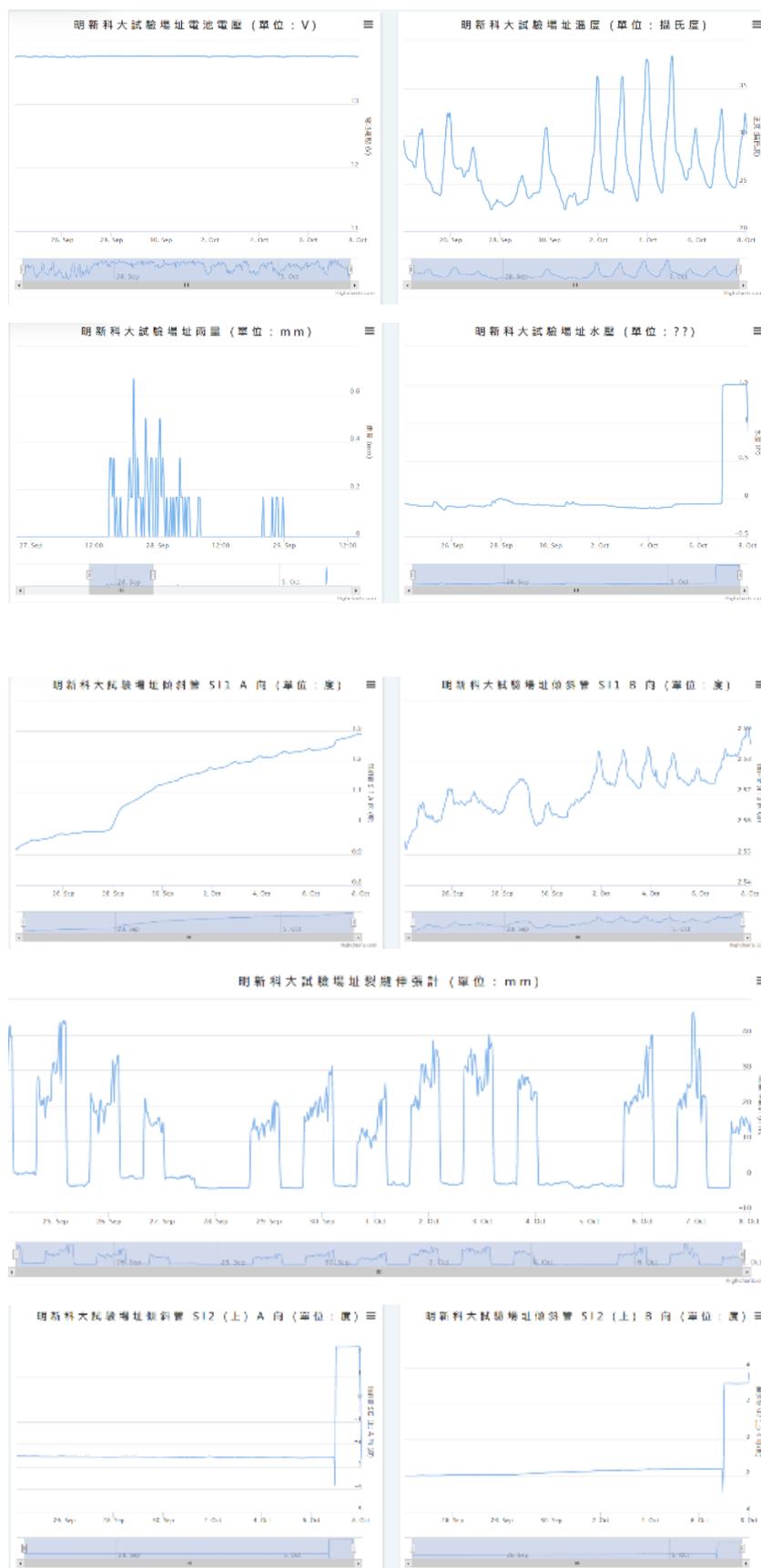


圖 5-4 現地量測各項監測資料



圖 5-5 工邊坡智慧監控系統首頁與子彈圖

5.3 連結納入並更新山坡地社區建築管理履歷資料庫平台

山坡地社區建築管理履歷資料庫之開發與運行環境如表 5-2 所列，而登入後之畫面則如圖 5-6 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 捐獻給開放原始碼地理空間基金會(Open Source Geospatial Foundation, OSGS)開放原始碼之網頁式 GIS 圖台展示系統 MapGuide，圖 5-7~5-9 為其主功能。

表 5-2 「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[1]
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



圖 5-6 山坡地社區建築管理履歷資料庫」登入後之操作畫面



圖 5-7 行政區定位功能查詢避難處所



圖 5-8 管理者登入後選擇資料維護功能之操作畫面

坡地社區應用大尺寸模型驗證整合監測設備研究

11	社區名稱:大學詩鄉 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	連結大學詩鄉詳細資料
12	社區名稱:涵遠翠 地址:新店區新坡一街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	連結涵遠翠詳細資料
13	社區名稱:潭之鄉 地址:新店區華潭街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	連結潭之鄉詳細資料
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汐使4258 核對之後建照號碼:68汐2880	水災200mm 坡災430mm	33	中	連結五峰山莊詳細資料
15	社區名稱:連霸鎮A區 地址:新店區連霸路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	連結連霸鎮A區詳細資料
16	社區名稱:連霸鎮B區 地址:新店區連霸路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	連結連霸鎮B區詳細資料
17	社區名稱:早安華城 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	連結早安華城詳細資料

圖層名稱: 新北市非輔導山坡地社區(有調查記錄)													
項次	社區名稱	行政區	村里	地址	社區面積_公頃	社區平均高程_公尺	社區平均坡度_度	地籍號	使照號碼	地層	社區總分	總合風險	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	青澤段 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	青澤段 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	捷進新市	新店	員潭里	新店區北宜路二段493號1樓	0.041	48.911	8.253	青澤段 員潭子坑 小段 161-14 地號	88店 0042	沖積層	15.33	M	
4	平價都市	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	青澤段 員潭子坑 小段 161 地號	87店 0459	沖積層	19.36	M	
5	新殿青境	新店	美潭里	新店區北宜路二段82-1號	0.410	29.708	3.287	青澤段 稻子園坑 小段 96 地號	83店 1612	沖積層	20.78	M	
6	綠上社區	新店	青潭	新店區竹林路26巷26-40 - (雙)號1~6	0.151	30.620	3.456	青澤段 油車坑 小段 90~95,94-9 地號之 94-	87店 0122	沖積層	22.14	M	

圖 5-9 選地圖上範圍後可看到更詳細的坡地與社區資訊

5.4 資安檢查工作事項與成果

專案名稱：11015G0007(坡地社區應用大尺寸模型驗證整合型監測設備研究)

專案目標與範圍：內政部建築研究所山坡地社區建築管理履歷資料庫平台之維護。

資料庫平台系統軟體更新。

資料庫平台系統維護。

專案資安等級：普

維持系統功能不中斷、中斷後之恢復、故障修復：

執行概況：本團隊目前已將本案伺服器及相關軟體移植至本校圖資中心機房，並另行轉出一份虛擬機器副本(使用 VMWare ESXi 平台)，並安裝至本校虛擬主機環境內，若本案伺服器發生故障，立即啟用本校虛擬主機環境賡續使用。

每月定期進行作業系統(OS)更新(例：Windows update)：

執行概況：有關本案本團隊已經本案伺服主機設定 Windows Update，並可自動執行更新作業(詳如附圖 5-10)。

選擇 Windows Update 設定

當您的電腦連線至網路時，Windows 可以使用這些設定自動檢查並安裝重要更新。有可用的新更新時，您也可以選擇在將電腦關機之前安裝。

重要更新(I)



自動安裝更新 (建議選項)

當您的電腦不是使用計量付費網際網路連線時，將自動在背景下載更新。

維護期間內將會自動安裝更新。

建議的更新

依照接收重要更新的方式提供建議的更新(R)

Microsoft Update

當我更新 Windows 時提供其他 Microsoft 產品的更新(G)

注意: Windows Update 可能會在檢查其他更新之前，先自動進行自我更新。請閱讀我們的[線上隱私權聲明](#)。

圖 5-10 Windows Update 設定畫面

不定期資料庫軟體及應用程式伺服器軟體更新(如有重大弱點公布時)。

執行狀況：本系統環境採用 Windows Server 2012、IIS 7.0 及 SQL Server 2016，本專案團隊於 Windows Update 設定時，併同啟動 Microsoft Update，微軟系統於進行更新過程，將一併更新現有各伺服器系統之更新。

系統容量(如 CPU、記憶體、硬碟空間及網路流量等)監控，並於容量不足時，儘速解決問題。

執行狀況：有關本案實體伺服器部分各項系統監控作業，本校採用 Cacti 進行 CPU、記憶體、硬碟空間及網路流量進行監控，另虛擬主機部分，採用 VMWare vCenter 進行系統監看，相關監看環境則交由本校圖資中心進行處理，一旦發現問題，將主動通報本專案團隊進行處置。

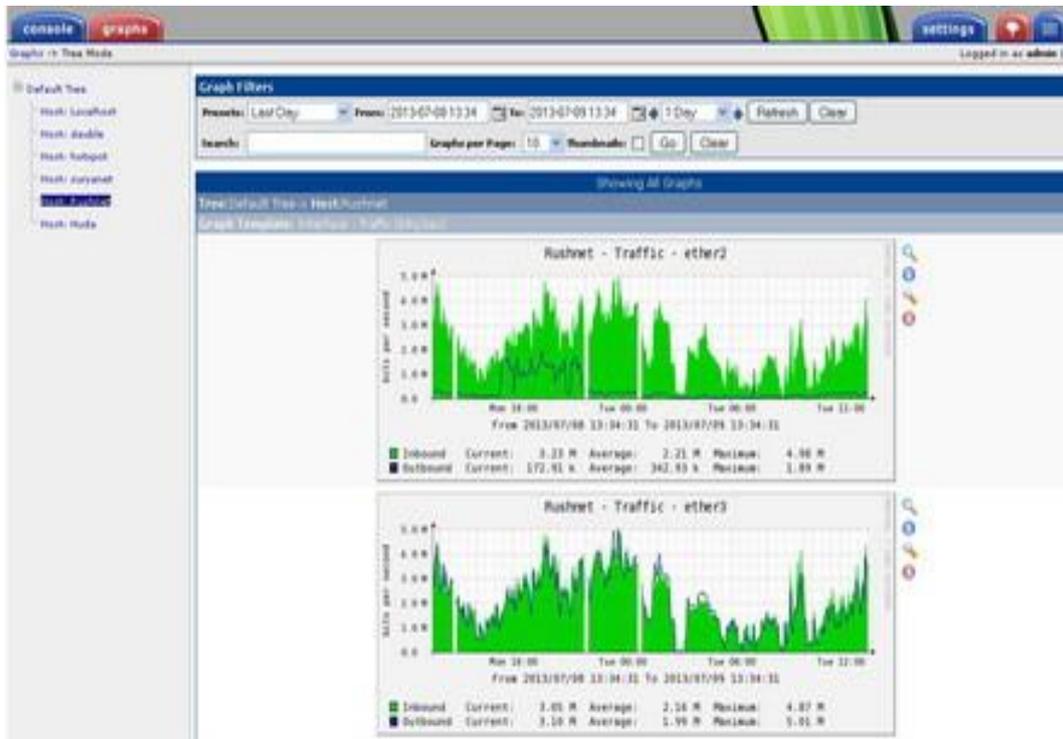


圖 5-11 Cacti 監測畫面

網站經營分析或熱門點閱率統計或 Google 流量統計等。

執行狀況：本案服務並不提供對外服務，亦不提供民眾搜尋使用，惟針對經營分析部分，本校採用 Awstats 進行服務經營分析(詳如附圖 5-12)。

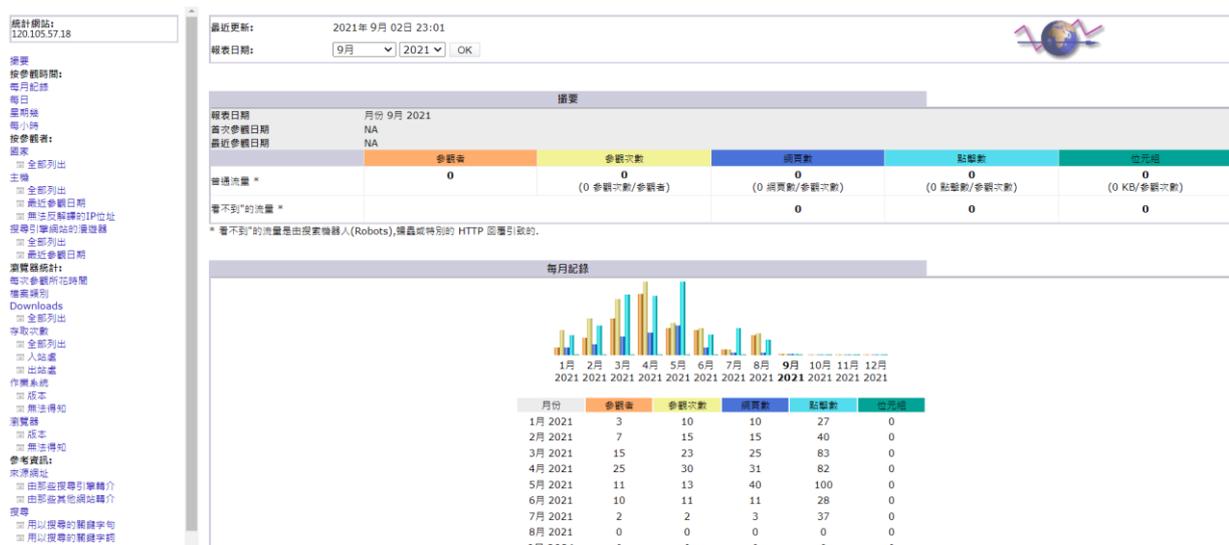


圖 5-12 Awstats 監測畫面

每季定期執行系統失效連結清單檢測，並進行失效連結檢測修復，以維持系統連結有效性。

執行概況：本案執行團隊每季最後一個月第三周之周五進行檢測作業，確保系統連結有效性，相關資料請參考本案維護紀錄表。

上述系統維護服務作業各項工作成果及紀錄，應納入期初報告書、期中報告書及期末報告書或工作成果報告書或相關維護文件中說明。

執行概況：本案執行團隊配合辦理。

經弱點掃描或滲透測試發現之系統漏洞修補。

執行概況：本案執行團隊配合辦理。

廠商應確保系統伺服器時間的正確性。

執行概況：本案執行團隊配合辦理(詳如附圖 5-13)。

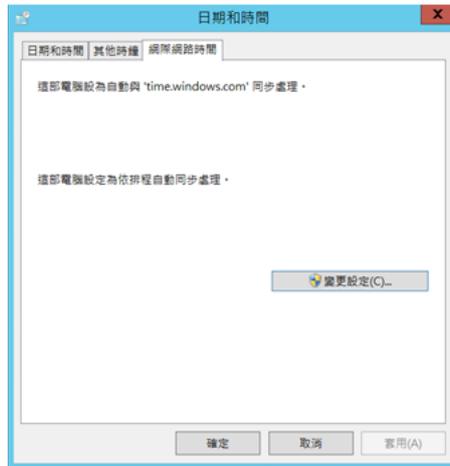


圖 5-13 鐘訊同步設定畫面

系統移機與復原，包括資料庫復原、連結與圖資復原等

執行概況：有關系統移機部分，本校已完成移植及圖資復原程序，目前擺放於 <http://120.105.57.18/>，執行結果詳如附圖 5-14 所示。



圖 5-14 移機成果畫面

另針對資料庫移植部分，本校針對本案山坡地社區建築管理履歷資料庫部分進行復原程序，目前資料庫採用 Microsoft SQL Server 2016，並將原有 OO 市政府所提供之資料庫進行轉入作業，目前已可正常運作中，惟目前系統效能不佳，且硬體設施已過保固，建議儘速汰換現有設備或轉入建築研究所機房內，以利全案持續運作。

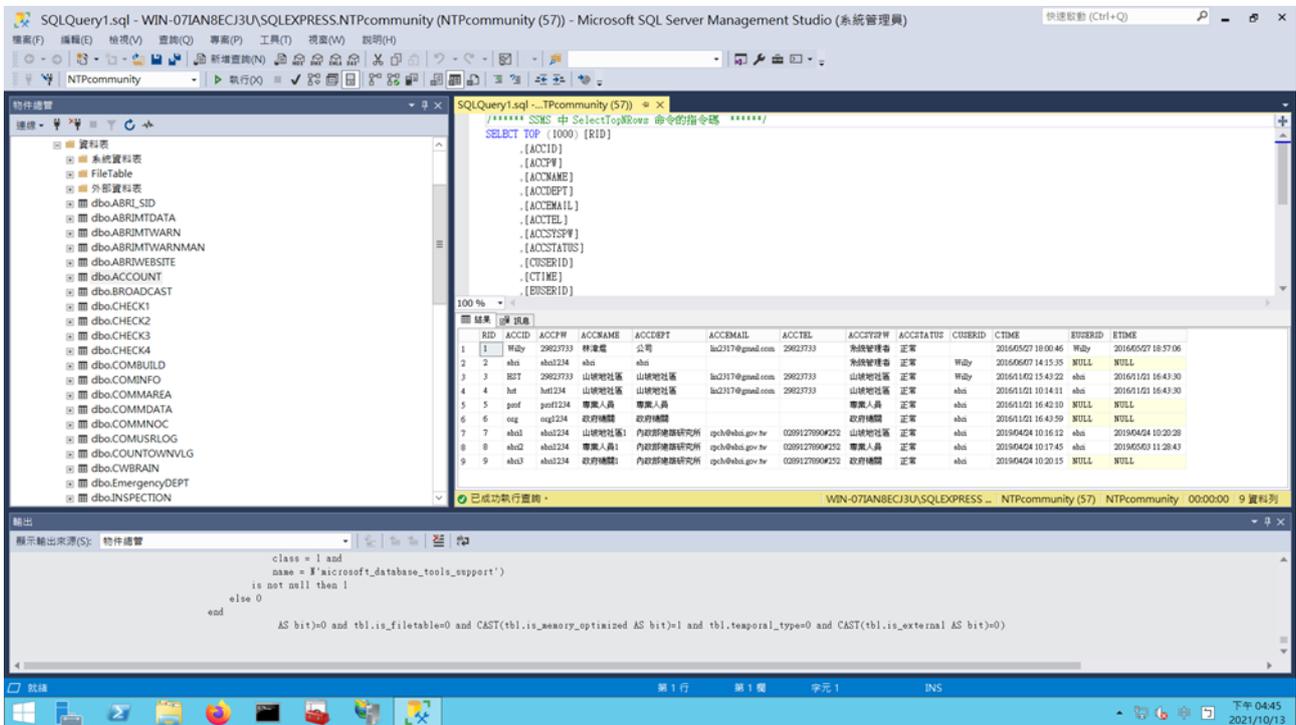


圖 5-15 資料庫移植畫面

相關連結復原部分，除原有系統資料維護作業連結等相關功能均已恢復外，另針對坡地社區巡檢系統等相關服務，均已恢復正常運作。

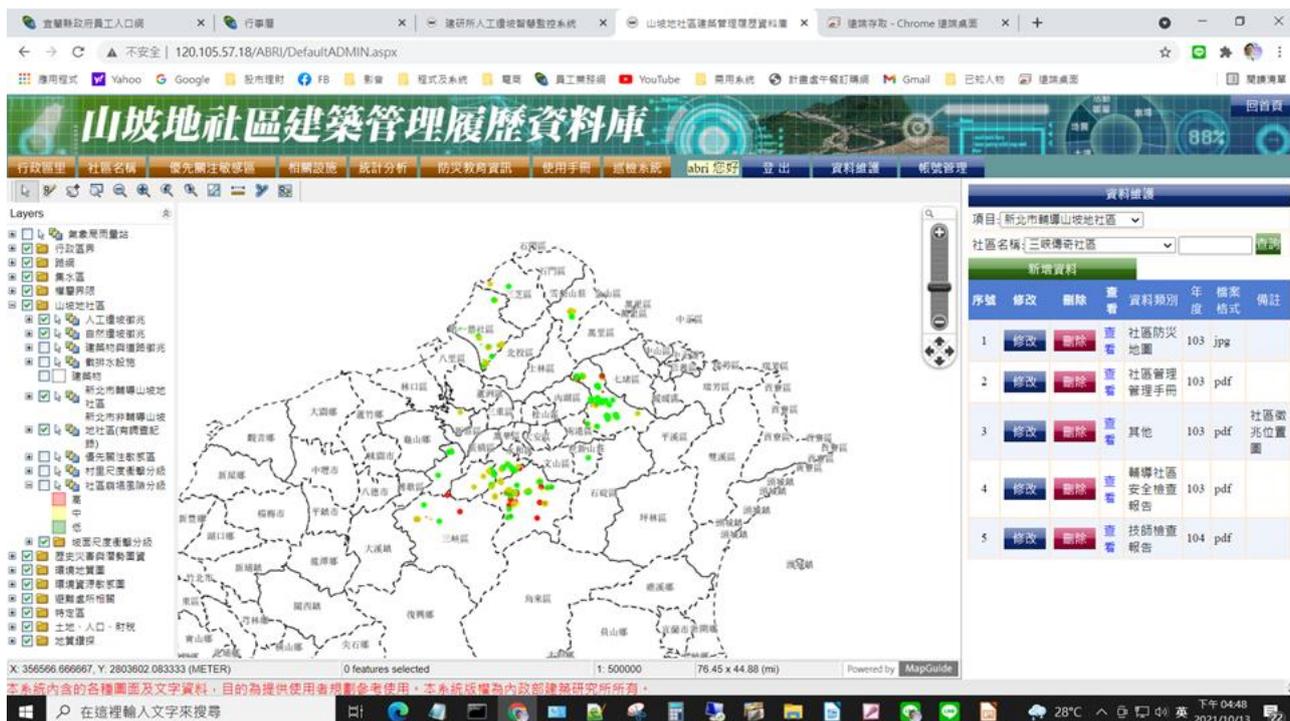


圖 5-16 原有資料連結

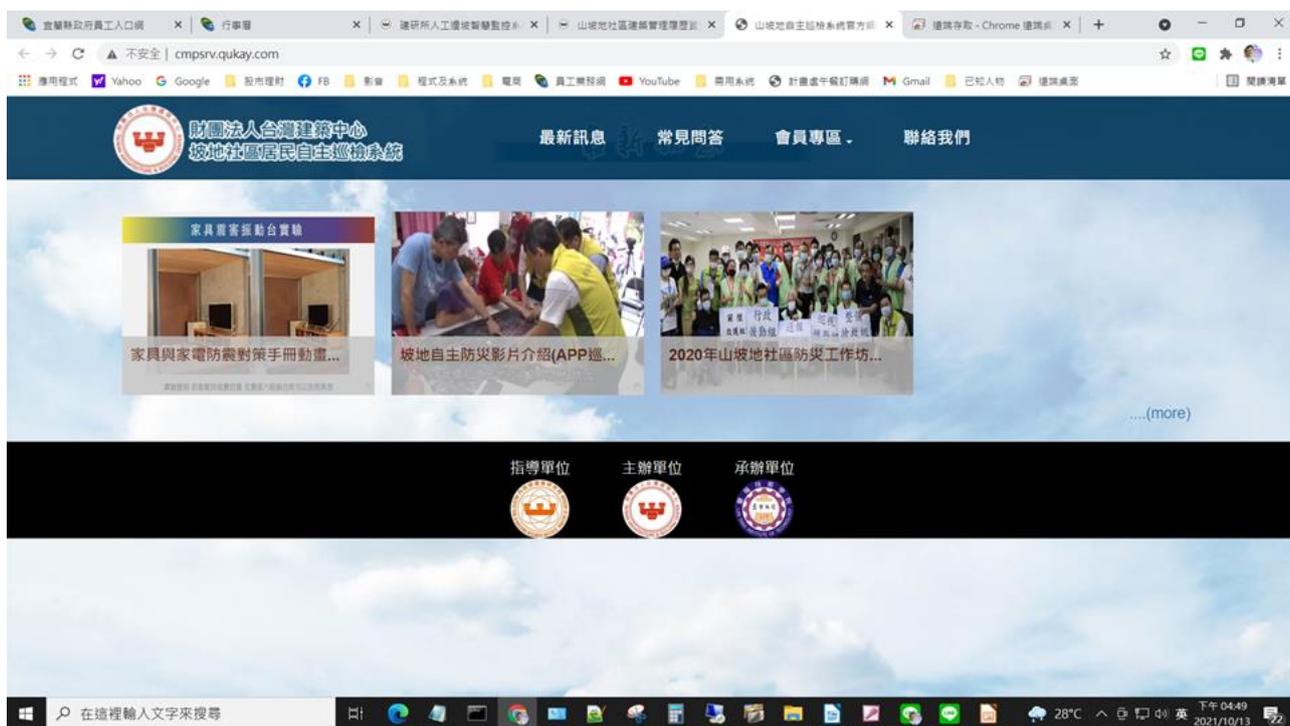


圖 5-17 坡地社區自主巡檢系統恢復運作

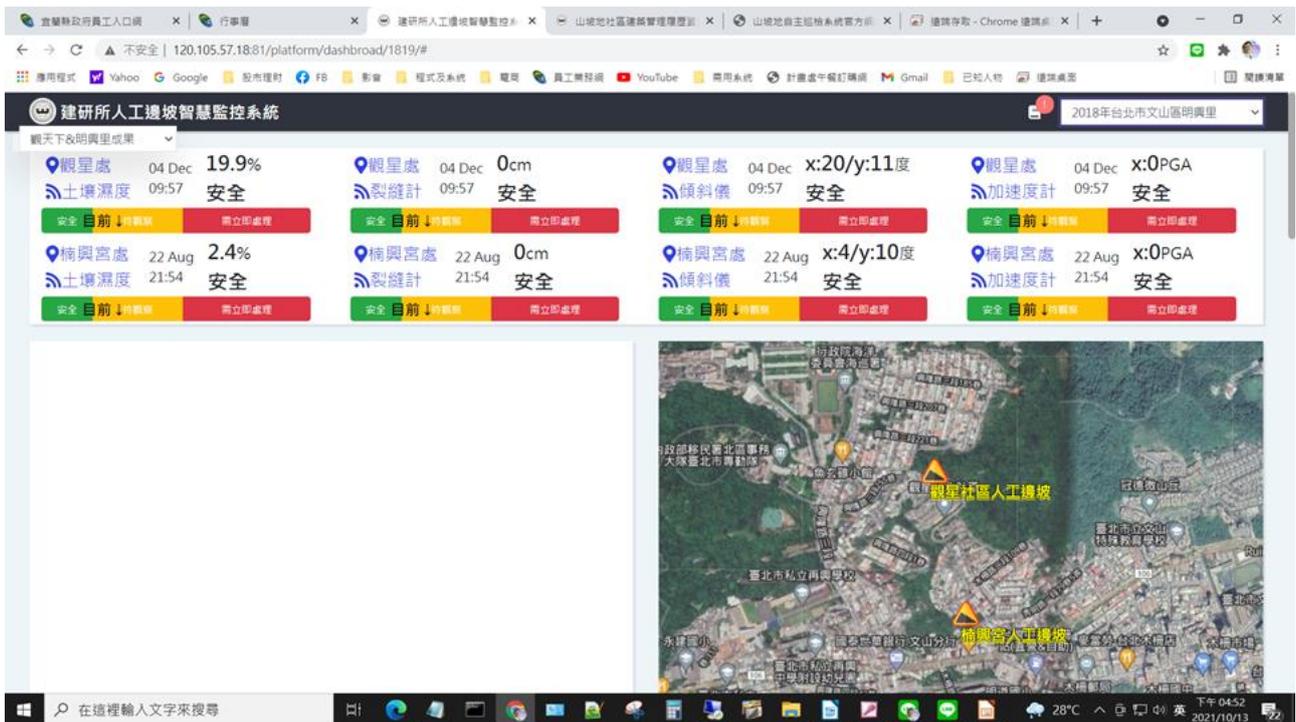


圖 5-18 人工邊坡智慧監測系統復原狀況

第六章 講習與觀摩會

本研究案於 110 年 11 月 26 日於新竹縣竹東鎮放翁清境社區進行 1 次與本案有關之講習與觀摩會，內容與邊坡監測系統有關，共計約 20 人參加，簽到單如圖 6-1 所示，流程如表 6-1 所示，照片如圖 6-2 所示。

講習與觀摩會首先由放翁清淨鍾義全總幹事致詞，說明本次觀摩會之目的，接著由計畫主持人與團隊介紹本案的研究之成果，以及如何應用於社區中。住戶對於坡地自主防災意願相當高，因此未來可能透過擋土設施更新維護案，建請社區一併施作相關自動化監測。

表 6-1 講習與觀摩會議題

時間	活動與議題
20:00~20:05	開場介紹
20:05~20:15	總幹事致詞
20:15~20:40	研究計畫成果分享
20:40~21:00	Q&A

內政部建築研究所
「坡地社區應用大尺寸模型驗證整合監測設備研究」研究計畫
講習與觀摩會
出席簽到單

時間：110 年 11 月 26 日(星期五)下午 20 時 00 分
地點：新竹縣竹東鎮放翁清境社區

簽到：

■ 放翁清境社區

許欽華 林宇洲
饒榮泉 楊惠國
余婉菁 簡杏萍
鄧育宗 徐玉琦
楊寶文 黃建華
張智惠
李翠蓉
陳國盛
陳清江

■ 明新科技大學

吳美君 吳年舉
高淑芬

圖 6-1 講習與觀摩會簽到單

(a)



(b)



圖 6-2 講習與觀摩會照片

第七章 結論與建議

第一節、結論

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，接著可依照需求進行簡易試驗環境重組，例如不同土壤性質、小範圍傾角變化(模擬層面傾角)、降雨量控制以及不同邊坡型式，以取得不同破壞型態分析，又相較於一般土槽試驗之尺寸效應，本研究之大尺寸邊坡試驗結果獲得較低的尺寸效應誤差，未來對於相關邊坡社區監測評估模擬更為完整。土槽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。故本研究為使社區邊坡監測裝置體積、功耗以及適用性，結合了低功耗無線傳輸系統，從資料品質與結果上可確定其高頻率的監測回傳，亦可維持低漏失率，在不同環境試驗下可立即反映出現地的變化情形，更增加推廣於社區邊坡監測的可行性。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。

第二節、建議

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，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。

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。

文獻回顧

1. 內政部建築研究所，(2020)，「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」。
2. 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」。
3. 日本地滑對策技術協會，(1978)，「地滑對策技術設計實施要領」，第1卷，第2期。
4. 中華民國大地工程學會，(2017)，「山坡地監測準則」，TGS-SLOPEM106。
5. 林冠良，(2015)，「滲流與應力耦合分析探討降雨導致不飽和邊坡不穩定之機制」，碩士論文。
6. 台北市四大技師工會(土木、大地工程、水土保持、結構工程工業)，(2008)，「台北市文山區萬壽路75巷政大御花園蕃蜜風災土石崩塌鑑定報告」。
7. Moriwaki, H., Inokuchi, T., Hattanji, T., Sassa, K., Ochiai, H., and Wang, G. (2004) "Failure processes in a full-scale landslide experiment using a rainfall simulator," *Landslides*, 4 (2004), pp. 277-288.
8. Amin Askarinejad, Devrim Akca and Sarah M. Springman.(2018) "Precursors of instability in a natural slope due to rainfall : a full-scale experiment," *Landslides volume 15*, pp.1745–1759.
9. Adrin Tohari, Makoto Nishigaki and Mitsuru Komatsu.(2007) "Laboratory rainfall-induced slope failure with moisture content measurement," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Vol. 133*, Issue 5 (May 2007).
10. Sérgio D.N.Lourenço, Kyoji Sassa and Hiroshi Fukuoka.(2006) "Failure process and hydrologic response of a two layer physical model: Implications for rainfall-induced landslides," *Geomorphology Volume 73*, Issues 1–2, January 2006, pp. 115-130.
11. Langhaar, Herry L.(1951) "Dimensional Analysis and Theory of Models," John Wiley & Sons Ltd ; First edition.

附錄一 期中報告審查意見回覆

委員	審查意見	意見回覆
林文欽	模型側面排水行為？	感謝委員意見，目前模型為能模擬降雨導致之地下水位升高，側面並未設置排水設施。
	模擬降雨在坡面嗎？	感謝委員意見，模擬降雨在坡面。
楊國鑫	到目前為止，研究成果豐碩。	感謝委員肯定，團隊會持續精進。
	宜統整試驗的變因，及預期的成果。	感謝委員建議，相關變因大致分為先天(地質材料、岩層位態)與後天(促崩因子、降雨形式、人工擋土形式)等，將於期末報告補充，並列舉預期的成果。
	在管理值訂定方面，建議可以參考「大地工程學會山坡地監測準則」。	感謝委員建議，在管理值訂定方面，會參考「大地工程學會山坡地監測準則」。
林俊宏	模型與實際地質情況之差異如何？	因受到時間作用影響，在大地應力的模擬較無法擬真，其餘部分將視示範社區情況盡可能模擬。
	不同區域之地質，是否一體適用？	因為島內地質太多元性，僅能選出典型地質，並搭配示範社區情況盡可能模擬。
	物聯網技術是否能於本計畫來確定？	是，歷年來已經使用過 Weightless、LoRa、NB-IoT、NRF-WSN 等技術，並探討其優弱處。
	實務上各種地質感測器將來會有老化的問題，如何因應？模型對於感測器老化所造成的數據雜訊是否有容錯之能力？	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將於期末階段列出各種感測器之生命週期、購置成本、裝設成本、維護成本等數據 2. 目前仍須人工判釋
陳昭維	本年度大尺寸土槽最主要精進項目為”可改變層面角度”，請於後續報告中以設計詳圖方式加強說明(如何改變角度、填土方式、填土材料選擇及強度確認方式、監測儀器安裝方式...等)，以利瞭解土槽模型設計之合理性。	感謝委員建議，將於期末報告補充設計詳圖。
	本研究所謂”層面”之定義為何？	感謝委員意見，本研究所指為「土岩」介面。
	請補充說明本年度預計進行的土槽試驗內容及完整的步驟為何？	感謝委員意見，本年度預計進行的土槽試驗內容及完整的步驟為測試自然邊坡、人工邊坡與示範社區之情況，並以檢視監測系統之穩定性為主要目標。

委員	審查意見	意見回覆
	<p>數值模擬部分，是否為本年度的執行內容？</p> <p>(1)若為今年度工作，請分節加以說明，並說明模擬的模型、參數等。</p> <p>(2)模型具有不同層面角度、不同排水方式，是否代表後續模型試驗亦會進行？</p> <p>(3)土壤參數如何決定？</p>	<p>感謝委員意見，數值模擬部分非為本年度的合約執行內容，但團隊仍會進行相關數值模擬以檢視與比較現地模型實驗觀察到之數據。</p>
李嶸泰	<p>噴霧式灑水頭能夠模擬的降雨強度為何？請一併說明是否滿足試驗目的所需</p>	<p>感謝委員意見，噴霧式灑水頭能夠模擬的降雨強度為 2.5mm/min，足以模擬目前氣象局定義之各種降雨強度，儲水桶量可供連續模擬之進行。</p>
	<p>驅使土槽模型產生滑動的外力為何？請說明。</p>	<p>感謝委員意見，目前僅設定為降雨驅使土槽模型產生滑動。</p>
	<p>本研究探討內容甚廣，建議在有限時間及經費支持下，集中精力將大尺寸土槽實驗模型完整、嚴謹建置，完成後方可做為後續各項試驗之試驗基礎。</p>	<p>感謝委員建議，下一階段將集中精力於大尺寸土槽實驗模型完整、嚴謹建置，完成後方可做為後續各項試驗之試驗基礎。</p>
	<p>防災邊坡之模型試驗確實不容易，國內進行全尺度試驗之研究不多，本計畫執行團隊與主辦機關對於坡地防災之用心，值得肯定。</p> <p>由於模型試體採用不排水底層，其於連續降雨時</p> <p>a. 地下水位消散速度如何？</p> <p>b. 地下水位之升降是否明顯?水位是否均勻？</p>	<p>感謝委員肯定，團隊會持續精進。</p> <p>感謝委員意見，由於模型試體採用不排水底層，其於連續降雨時</p> <p>a. 地下水位消散速度極快，目前仍使用其他儀器量測消散速度中</p> <p>b. 地下水位之升降尚明顯，水位尚均勻，期望能於未來設置更多水位計以確認水位均勻程度</p>
梁成兆	<p>模型有要讓它達到破壞之境嗎?建議將模型試驗之境加以補充之。</p> <p>降雨模擬之可達之降雨強度範圍?可降雨之延時?建議補充率定結果。</p>	<p>感謝委員意見，模型將模擬達到破壞之境。</p> <p>感謝委員意見，噴霧式灑水頭能夠模擬的降雨強度為 2.5mm/min，足以模擬目前氣象局定義之各種降雨強度，儲水桶量可供連續模擬之進行。</p>
	<p>本案模型之地層位態及擋土設施難以模擬，建議評估分別就影響人工邊坡因子(如雨量、擋牆型式、高度)及自然</p>	<p>感謝委員建議，本案模型之地層位態及擋土設施的確難以模擬，將評估分別就影響人工邊坡</p>

委員	審查意見	意見回覆
	邊坡(如雨量、坡度、坡長)探討。	因子(如雨量、擋牆型式、高度)及自然邊坡(如雨量、坡度、坡長)探討。
	為建立符合各社區所需之邊坡安全設施維護監測管理值，該邊坡之擋土設施設計資料宜納入考量，惟資料取得似有難度，如何解決建議提出可行方案。	感謝委員建議，為建立符合各社區所需之邊坡安全設施維護監測管理值，若可將邊坡之擋土設施設計資料宜納入考量將有助於研究進行，然而資料取得卻有難度，未來建議於社區進行時可採用非破壞檢測法調查結構物內部狀態。
	呈上，社區人工邊坡之風險，依擋牆高度、型式、年代而有不同，建議就地錨擋土設施及非地錨擋土設施，分別探討。	感謝委員建議，地錨擋土設施及非地錨擋土設施擋土行為確實不同，將分別探討。
	管理值如何適用於不同地點之論述，建議強化；另管理值訂定似偏向自然邊坡之模擬，如何用於人工邊坡之預警，建議說明。	感謝委員建議，管理值訂定相當不易，將朝訂出人工邊坡修繕警戒值建議方向進行。
	第四章引用貓纜塔柱邊坡案例進行模擬分析，原因為何，如何驗證，推廣適用山坡地社區是否可行，建議說明清楚。	感謝委員意見，引用貓纜塔柱邊坡案例進行模擬分析，原因為該案例相當類似目前研究對象坡地社區可能面臨之狀況，將透過事件與模擬成果比對驗證，推廣適用山坡地社區是否可行，將補充於期末報告。
	本案應係基於歷年之研究發展成果逐步推進，過去經驗如何導入本案研究方向，以及未來推動或精進方向為何，建議於期末報告說明。	感謝委員建議，過去經驗如何導入本案研究方向，以及未來推動或精進方向為何，將於期末報告中說明。
盧昭宏	本研究之監測系統時應用LPWAN低功耗長距離廣域無線網路技術，更要引進耗電更低的NRF-WSN技術，惟其系統穩定度及基地台可否提供更廣域、高性能的傳輸效果，期能在本研究中獲得驗證，究竟本研究要採用何種監測技術建請說明。	感謝委員建議，監測傳輸系統穩定度及基地台可否提供更廣域、高性能的傳輸效果，將努力透過本系列研究中獲得更多數據，並於未來說明不同型態社區之適用性。
	本研究已組合完成大尺寸邊坡模型之建置，惟由此模型是否即可藉由不同降雨情境設定，推估呈現各種不同及複雜地質、坡地住宅社區邊坡滑動之實際情況，建請說明。	感謝委員肯定與建議，本案模型將評估影響邊坡之因子(如雨量、擋牆型式、高度)及自然邊坡(如雨量、坡度、坡長)探討各種不同及複雜地質、坡地住宅社區邊坡滑動之實際情況。

委員	審查意見	意見回覆
	本研究之大尺寸模型除了尋求適地性的成效，惟對邊坡坡坎排水、建築結構體裂縫及漏水、鋼筋鏽蝕、截水溝堵塞、擋土牆裂縫滲水、水土保持設施破損、地錨錨頭破損、鏽蝕斷裂、擋土開裂等實際共通性邊坡狀況作演練監測驗證。	感謝委員建議，對邊坡坡坎排水、建築結構體裂縫及漏水、鋼筋鏽蝕、截水溝堵塞、擋土牆裂縫滲水、水土保持設施破損、地錨錨頭破損、鏽蝕斷裂、擋土開裂等實際共通性邊坡狀況之實作演練變因相當多；本計畫之規畫期能先完成不同地質材料與降雨強度之關聯模擬，未來若有機會’ 在努力完成上述之實作。
張力文	期許「示範推廣」能讓民眾更了解使用與維修、更新	感謝委員之期許。
張力文	對於建築技術規則，可請了解其「山坡地專章」之規定，是否一致性？	感謝委員建議，已確認山坡地專章中對於警戒管理方式與本案研究主軸之修繕管理值不一樣。
吳佳陵	坡地大尺寸模型試驗國內較為少見，建議應持續支持精進。	感謝委員肯定與支持，團隊會持續精進。
吳佳陵	請加入考量不同地下水位模擬	感謝委員建議，數值模擬中將加入考量不同地下水位。
林自勤	本研究案係山坡地社區智慧防災系統執行方式的驗證方法，內容已充分的將新科技產品做為務實執行的落實，應該可以提供政府機關對山坡地社區的防災預防的有效執行方式。	感謝委員肯定與支持，期本研究成果可以提供政府機關對山坡地社區的防災預防的有效執行方式。
林自勤	山坡地社區若設置了許多設備與提供許多監控數據，判讀與使用需要足夠的專家協助防災的警告提醒，這部分需要充足的資源方可有效的執行(要掌控各相關技師公會建置的人力庫)。山坡地社區安全的監測變動因素頗多，因此各專業技術的整合與投入應該很重要。	感謝委員肯定與建議，山坡地社區若設置了許多設備與提供許多監控數據，判讀與使用需要足夠的專家協助防災的警告提醒，這部分需要充足的資源方可有效的執行，將魚成果報告建議各相關技師公會建置支援人力庫。
蔡綽芳	本案主要目的是應用大尺度實驗來驗證研發完成之智慧監測系統的可靠度，建議於期末審查會議彰顯此方面的研究成果，系統必須可靠我們方有信心進一步推廣應用。	感謝委員肯定與支持，智慧監測系統的可靠度不斷地接受檢驗與精進，相信能進一步推廣應用。

委員	審查意見	意見回覆
	<p>從維護坡地社區住民安全的觀點，修繕警戒值確實是本案強調的重點，但是從實務應用的觀點而言，修繕警戒發出後未修繕處置前，我們的監測系統是否還持續負有避難警戒的責任，若為是，那對於避難警戒值的設定也應嚴謹對待。</p>	<p>感謝委員建議，監測系統能有效發出避難警戒，需透過大量與長期之檢測成果驗證，團隊會持續在有限時間內盡力取得所需資訊。</p>

附錄二 期末報告審查意見回覆

委員	審查意見	意見回覆
梁成兆	1. 期中審查回覆意見建議明確，具體可行者可敘明詳報告書何章節，非屬現階段工作者可評估列為未來發展，不可行者可論述原因回復。報告書之呈現方式，建議增列摘要說明，並與計畫目的與合約項目勾稽。	感謝委員意見，意見回覆團隊將斟酌現階段情況回覆，並於成果報告摘要說明，並與計畫目的與合約項目勾稽。
	2. 本案模型建構，著重監測儀器使用之驗證，抑或破壞模式之驗證，建議說明清楚；如納入破壞模式之驗證，文獻回顧與本案設計應有勾稽，分析結果應確認假設及推論，並有數據分析支持。	感謝委員建議，本研究著重於監測儀器使用之驗證，破壞模式之驗證並非本案之主要目的。數據分析目的為模擬現況無法模擬出之情境。
	3. 承上，本案是否探究降雨、坡度對邊坡穩定之影響，如何分別適用人工邊坡及自然邊坡，建議論述清楚，強化管理值之說服力。	感謝委員建議，本案採用固定降雨與坡度分析對邊坡穩定之影響，對於管理方式修繕管理值有達到初步驗證，此部分將於成果報告書中說明。
	4. 監測儀器之使用，除了價格及性能，亦須考量社區民眾之接受度，如何讓民眾化被動為主動，甚至願意積極爭取建研所監測協助或輔導，建議思考評估。另本案成果及過程影片，建議整理簡化，轉化為教育宣導素材。	感謝委員建議，為考量社區民眾之接受度，團隊將會精簡成果及過程影片為教育宣導素材，管理值部分將採用紅綠燈方式進行，以利民眾了解。
	5. 本案每年皆有成果及進步，如何承先啟後接續推動，宜提出長期願景之具體建議供機關參考，兼顧短期戰術及長期戰略目標。	感謝委員的支持與肯定，團隊將於成果報告中提出長期願景之具體建議供機關參考。
陳昭維	1. 大尺寸模型試驗之國內文獻僅貴團隊於 2020 年之成果，建議多予以補充。	感謝委員建議，相關文獻已於期中階段蒐集與呈現於該報告，並將於成果報告書中補充。
	2. 根據期中報告審查意見之回覆，本期末報告未仍見大尺寸模型試	感謝委員意見，大尺寸模型試驗之詳圖將於成果報告書中補上。

委員	審查意見	意見回覆
	驗之詳圖。	
	3. 請說明圖 2-19 之代表意義，及為何符合本研究目的之管理值應為 A 階段。	感謝委員意見，一般而言，當邊坡災害發生至 C 階段時才會引起注意，因此本案推出低成本監測系統，在監測值出現明顯變化時即能尋求專業諮詢與協助，針對可能之邊坡安全設施病灶進行修復，故將 A 階段定為注意管理值、B 階段為修繕管理值。
	4. 「看到徵兆趕快修」這個階段離邊坡破壞造成災害還甚久，這階段是否採自動化監測？請評估	感謝委員意見，由於大部分社區自主防災意識仍不成熟，不見得願意委託人力巡檢，且人力巡檢與資料判工作成本可能也不低；由於本研究案長期研究之精神為降低自動化監測成本以利推廣，應有助於社區對於邊坡之安全性監測。
	5. 圖 3-34 之 IPI-1 觀測成果顯示孔底已有變位？請再確核是否有誤	感謝委員意見，團隊會再進行確認 IPI-1 觀測資料成果部分，特別是孔底部分。
	6. 第三章 P.40 提到本試驗之設計為四種不同地層材料、層面角度及坡面配置，但第三節之試驗成果僅列出自然邊坡與人工邊坡之成果，請補充其他試驗之成果。	感謝委員意見，由於其他試驗於試驗間並未有明顯之滑動，因此僅列出兩種具代表性之成果供參。
	7. 土槽試驗之破壞模式為何？(簡報 P14)	感謝委員意見，土槽試驗之破壞模式為漸進式滑動。
	8. 第四章(管理基準)提到，將於後續之模型試驗中驗證，但驗證內容於報告中並未看到。	感謝委員意見，已將文字修正為於本研究實驗案例驗證。
	9. 本研究試驗採用之儀器多種，但管理基準訂定之討論僅地下水，請補充。	感謝委員建議，本研究之目的為驗證監測儀器之可用性，與找出修繕預警管理方式，目前暫以地下水做為訂定方向，未來建議後續另案持模擬與研究。
	1. 第 50 頁已敘明本研究採用耗電更低的無線傳輸技術 WSN，用以	感謝委員意見，監測儀器水壓計、裂縫計、傾斜儀及雨量筒等有利於推

委員	審查意見	意見回覆
盧昭宏	<p>連接現場之水壓計、裂縫計、傾斜儀及雨量筒，資料回傳至儀器箱之 WSN Gateway，但 IPI 則因資料量較大，另以 Data Logger 連結，最後再與 4G 連結回傳。所以該監測技術之穩定度，可否提供廣域高性能的傳輸效果，在此節可否再將強說明，另外其於不同型態之適用性亦請妥適分析。</p> <p>2. 第 76 頁 4.2.5 初步結論...以台北市「政大御花園」為案例研究對象，颱風豪雨事件過後造成之雨水侵入邊坡內，地下水面升高為造成破壞之原因，除此之外，是否有坡角、坡面植生、坡腳型態……為破壞或避免破壞之原因分析。</p>	<p>廣之低成本監測儀器可採用 WSN 技術；而 IPI 高成本且須大量資料傳輸之監測項目，故以 Data Logger 連結，最後再與 4G 連結回傳，然而其資料以驗證前述監測項目為主，並非為推廣應用項目。</p> <p>感謝委員意見，本案例為引用文獻資料，將視文獻中提出之其他造成破壞原因進行敘述。</p>
李嶸泰	<p>1. 台灣坡地社區防災工作十分重要，本計畫採用大尺度土壤模型試驗並配合數值分析驗證，成果十分豐碩，值得肯定。</p> <p>2. 未來研究建議可從「土壤性質」、「坡度變化」、「降雨強度」及「地表覆蓋類型」進行更進一步之深入探討。</p> <p>3. 建議將大尺度試驗中破壞實際情況做成以下結論： (1) 破壞發生區位(重點巡檢區) (2) 加強巡檢時機 (3) 行動方案採取之時機 (4) 適用之監測儀器</p> <p>4. P.70，管理值訂定之模型驗證採三種水位，其代表性是否足夠？對管理值提供之資訊為何？</p>	<p>感謝委員肯定，團隊會持續精進。</p> <p>感謝委員的建議，由於每種情境實驗耗時需將近一個月，未來將透過另案持續進行探討。</p> <p>感謝委員的建議，團隊將於成果報告中做成以下結論： (1) 破壞發生區位(重點巡檢區) (2) 加強巡檢時機 (3) 行動方案採取之時機 (4) 適用之監測儀器結論。</p> <p>感謝委員建議，由於本研究為找出修繕管理基準，三種水位應已足夠，其為找出 FS 小於 1 前之水位，並以模型驗證。</p>

委員	審查意見	意見回覆
	5. 結論再強化以突顯本計畫成果之成效。	感謝委員的建議，團隊將於成果報告中再強化結論此部分。
劉德佑	1. 國內進行邊坡防災之全尺度模型試驗不多，本研究之大尺度實驗模型(包含各項邊坡影響因子)設定與探討若能結合更多監測與條件設定，並將數據成果進一步提供分析具體說明如何對建築或邊坡構造的修復建議，對於大台北地區多邊坡社區存在的現況，可期能作為日後相關各項防災與試驗之基石，進而提升國內對於山坡地社區災害預防與建築安全管理維護之各項作為。	感謝委員肯定與支持，其本案成果將於總成果報告書中提出建議，日後推動能結合更多監測與條件設定建議供機關參考。
王鵬智	1. 相關成果請投稿至期刊。	感謝委員提醒，將於後續階段將本案成果投稿至期刊。
	2. 請舉辦相關成果發表與座談會。	感謝委員提醒，將於近期疫情控制穩定時盡速舉辦相關成果發表與座談會。
	3. 本研究監測儀器是否仍能整合如過去申請之專利。	感謝委員意見，本研究監測儀器感測器部分雖然外伸，但資料擷取、傳輸與電力部分仍整合於一盒子中。
	4. 管理值中警戒、行動是否有過渡管理基準。	感謝委員意見，管理值中警戒、行動過渡管理基準即為本研究探討之修繕管理值。
	5. 建議未來可提供模型試驗影片以供本研究成果推廣。	感謝委員意見，團隊將於各種不同具代表性之模擬錄製影片，供成果推廣。
蔡綽芳	1. 儀器的靈敏度與耐候性是否透過本研究驗證。	感謝委員意見，儀器的靈敏度與耐候性在本研究中已獲得初步驗證。
	2. 管理值中之行動值定義為何？	感謝委員意見，本研究探討之管理值中行動值部分為修繕管理值。
鄭元良	1. 請將本案相關之資訊平台精進或更新方式列於報告中。	感謝委員意見，將於成果報告將本案相關之資訊平台精進或更新方式列出。

委員	審查意見	意見回覆
	<p>2. 本研究與過去研究產出專利之差異性。</p>	<p>感謝委員意見，為克服用電、通訊與成本問題，本研究採用低功耗無線傳輸，可獨立運作，且隱藏於社區中，不會擾民但可提供監測功能。</p>

坡地社區應用大尺寸模型驗證整合監測設備研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：郭治平、鄧福宸、陳宏燦、吳晉維、劉美君

出版年月：110年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-5456-78-8