

# 人工邊坡智能感測器研發與雲端系統擴充應用

## Development of Intelligent Monitoring System for Artificial Slopes and Expanding Application of Cloud System

主管單位：內政部建築研究所

鄧福宸<sup>1</sup>

郭治平<sup>2</sup>

Teng, Fuchen

Kuo, Chih-Ping

<sup>1</sup> 國立臺灣科技大學營建工程系

<sup>2</sup> 明新科技大學土木工程與環境資源管理系

### 摘要

本計畫致力於研發人工邊坡智能感測器研發與雲端系統擴充應用，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。計畫選定臺北市文山區明興里兩處人工邊坡裝設整合型感測器並進行監測，以低功耗遠距離之雙向傳輸技術，將現場監測數據透過發送器以無線方式傳輸至設置於與網際網路連接之基地台後傳輸至雲端平台。山坡地社區智慧防災監控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，透過人工邊坡監測接收場域資料並建置資料庫，以提供使用者端更多元的服務，且此平台已連結納入本所 105 年「山坡地社區建築管理履歷資料庫平台」，以利應用。

**關鍵詞：**極端降雨事件、人工邊坡、自動化連續監測、低功耗遠距離雙向無線傳輸技術

## **Abstract**

This study aims to build up an intelligent monitoring system for artificial slopes in Taiwan. The system included smart sensing technologies, communicating network system between sensors and servers, and a monitoring platform for disaster-prevention. The key issue for the system is low-cost, wide-range, and low-power consumption. A newly developed technology, Low Power Wide Area Network (LPWAN), is thus applied in the study. Weightless LPWAN capable for the long-distance and very low-power-consuming is a low-cost and high performance technology. It supports the symmetric downlink and uplink which is perfect for the monitoring/warning system of slope disasters. The proposed intelligent monitoring system will be applied to a demonstration slope.

**Keywords:** extreme rainfall events, artificial slope, automated continuous monitoring, low-power and long-distance two-way wireless transmission technology

## 一、前言

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。透過整合型監測器之研發，建構適合山坡地社區邊坡智慧防災監測儀器，可提供及時監測數據，以提升邊坡災害預防及應變作為，使山坡地社區防災能更加及時。

## 二、研究地區與研究方法

本計畫之目的在於建立低功耗、低成本之整合型監測器，以及對應之傳輸系統，提供即時、穩定、可靠之監測資料傳輸系統，建置防災監控平台，運用於示範山坡地社區，經由本計畫之系統蒐集示範山坡地監測資料，以推廣山坡地社區智慧型防災系統。

### 2.1 研究場域

本計畫之研究區域選定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，其現況如圖1所示。第一處觀星台北社區位於台北市文山區明興里木柵路二段109巷100弄，其位於順向坡地形之範圍，附近設有由臺北市政府相關權責單位設置之傾斜管與傾度盤，且過去發生過社區邊坡在颱風豪雨事件過後發生坡面塌陷與地層掏空；第二處楠興宮旁擋土牆該處邊坡曾經發生滑動，在邊坡上方有一傾斜觀測管，且上方一鄰近的漿砌擋土牆有明顯裂縫，推測可能為邊坡持續移動所導致，因此視為潛存災害。兩處選定之人工邊坡皆有臺北市政府大地工程處進行邊坡監測之儀器，因此可酌參資料，此外第一處位於觀星台北之地錨擋土牆與做為基地站之里辦公室兩者間有明顯的高差，且有數棟建築物；第二處位於楠興宮旁的擋土牆雖與里辦公室較近，但兩者間仍有樹林。此情況會造成訊號傳輸困難，但里辦公室是做為基地站最合適的地點，因此克服訊號傳輸之問題為本研究之關鍵課題。

### 2.2 研究方法

本計畫之研究步驟如下：

#### 1. 整合型監測器研發

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，內應包含雙軸向傾斜儀、三軸加速度計、裂縫量測應變計等，透過無線感測模組進行連結，並佈設於示範山坡地社區中人工邊坡牆面進行監測測試。

#### 2. 雙向傳輸系統建置

採 Weightless LPWAN 無線通訊技術，使用 Sub-GHz ISM 非授權頻段，具有長距離、低功耗、低成本特點，更具備雙向傳輸的功能。

#### 3. 建立山坡地社區雲端環境大數據管理與分析網絡

採開源程式(OpenSource Software)建立防災監控平台，以利後續推廣及各單位介接使用，並透過網絡平臺達成災害警示機制。

4. 於示範山坡地進行監測

於示範山坡地進行監測示範，以驗證本計畫所發展之系統可於可種天候狀況下提供即時、穩定、可靠之監測資料傳輸，並達成本計畫所設定之雙向傳輸溝通功能。

5. 山坡地社區智慧防災系統應用推廣說明會

於計畫後期辦理，以此宣導本計畫研發之系統，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。



(1)相對位置圖  
(底圖為 Google Earth)

(2)明興里辦公室



(3)楠興宮旁護坡擋土牆



(4)楠興宮旁護坡擋土噴漿



(5)觀星台北社區地錨擋土牆



(6)觀星台北社區地錨擋土牆

圖1、研究區域現況照片

### 三、研究成果

#### 3.1 人工邊坡整合型監測器

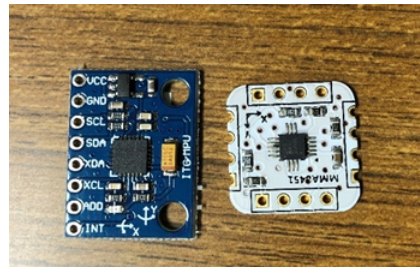
本研究之整合型感測器包含雙軸傾斜儀、三軸加速度計、裂縫計與土壤水分計，如圖2所示，以下就所使用的感測器進行介紹。

- (1)雙軸向傾斜儀：用於傾斜變位的長期觀測，本研究採用微機電式MEMS傾斜變位計(Micro-Electro-Mechanical-Systems)裝設在結構物上以求觀測該結構物之長期傾斜變位量，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。
- (2)三軸加速度計：為一種重力感測器，由於地表的重力加速度有方向性，晶片根據該重力為基準來測量三軸的變化，即達到量測變位之效果，將以自動量測方式，頻率為每10分鐘至少1次，且可量測X、Y、Z三個軸向的位移。
- (3)裂縫計：用於監測裂縫的擴張與收縮，本研究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。
- (4)土壤水分計：透過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。

上述各感測器透過類比數位轉換器，將類比訊號轉換成數位訊號後，再利用低功耗長距離無線傳輸技術傳送至基地站(伺服器)。感測器除土壤水分計與裂縫計須外露外，其餘元件皆可整合至一箱體中，安裝於現場之示意圖如圖3所示，其中各項重要元件如通訊元件、雙軸傾斜儀、三軸加速度計、訊號轉換器、長效電源等皆固定於箱內並進行防水封裝。此箱體之尺寸、形式與材質皆可因地形條件、監測內容進行調整，經室內測試四種感測儀器可正常動作並將資料上傳至雲端。



(1) 雙軸向傾斜儀



(2) 三軸加速度計



(3) 裂縫計



(4) 土壤水分計

圖2、本研究所使用之感測器

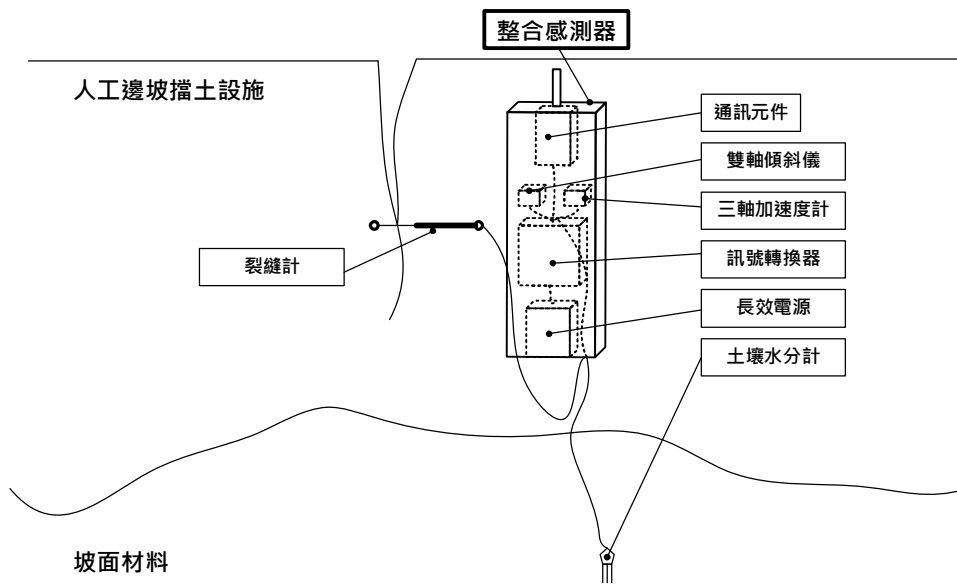


圖3、整合型感測器於現場安置完畢示意圖

### 3.2 雙向傳輸系統建置

本研究採LPWAN Weightless無線通訊技術建置雙向傳輸系統，乃因Weightless技術之完整雙向傳輸特點，包括強大的上行以及下行傳輸，可支援遠端韌體更新(FOTA)功能，其同步網路(Synchronized network)架構，可以確保系統內部無通訊封包碰撞問題以致封包遺失。此外Weightless技術具備Acknowledge功能，可以確保收到傳送的封包之狀態為「已讀」，因此可以在封包因為外界狀況被碰撞的情況下，重新發送，確

保最終封包可以順利送抵，大幅提高系統的可信賴性及穩定度。

使用 Weightless 無線通訊技術建置雙向傳輸系統對於山坡地智慧防災具實質助益。藉由上行傳輸將 Weightless Board 所收集到由監測器所感測的資料透過 Weightless 傳輸基站傳送至雲端平台；透過下行傳輸，可由雲端平台連接 Weightless 傳輸基站對終端傳感器進行控制，以調整收集監測資料的頻率或於必要時進行韌體更新，達到最佳之系統效能。

雙向傳輸系統建置方式與功能如下所述，首先於監測場址進行 Site Survey，尋找適合架設 Weightless 傳輸閘道器之地點進行架設，再將已整合 Weightless ED 的無線感測器，安裝於所欲觀察的目標位置，接著完成 Weightless 傳輸閘道器註冊，並且將無線傳感器與 Weightless 傳輸閘道器進行通訊連線，確認可進行上行以及下行的雙向傳輸。WeightlessED 可將監測器所收集到的資料傳至 Weightless 傳輸閘道器後再上傳至雲端平台；透過下行傳輸，可以控制感測與傳送的頻率，強化對於敏感邊坡狀況之掌控。

### 3.2.1 雙向傳輸系統與監測器之整合及測試

在整合型智慧感測器及 LPWAN 監測網絡系統建置完成後，將監測器與閘道器完成註冊連接即可對建研究示範山坡地進行監測示範，以驗證本計畫所發展之系統可於可種天候狀況下提供即時、穩定、可靠之監測資料傳輸，並達成本計畫所設定之雙向傳輸溝通功能，增加智能感測之彈性與功能性，如自動調整監測頻率、即時示警等整。

為監測邊坡，本研究採用共四種監測器，包括土壤水分傳感器、振弦式裂縫計、鄰房傾斜計及三軸傳感器。在硬體設計上，前三種感測器，透過接上 Sensor Board 之後經由 RS485 介面，連接 Weightless ED；而六軸傳感器，則透過 I2C 介面，與 Weightless ED 進行連接。Weightless ED 上主要零件為一 32bit 的 MCU，以及 RFIC，由 MCU 負責控制所有 sensor 資料的讀取、包括執行自雲端來的指令等，使整個終端系統順利運作，相關系統架構如下圖 4 所示。

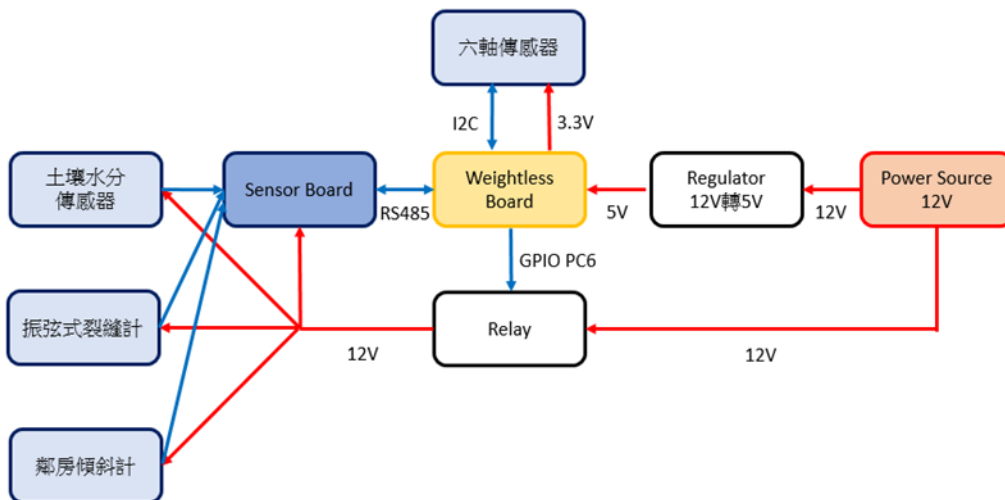


圖 4、本計畫智慧感測器及 LPWAN 監測網絡系統架構

本團隊於2018年6月13日至台北市文山區明興里進行現場通訊測試。依照資料接收處明興里辦公室之結果顯示可順利接收來自兩處監測點的資料。另外位於觀星台北社區之測試結果如圖5與6，由此可得知WeightlessED與Weightless傳輸閘道器之連線狀態為Connected，WeightlessED所傳送的每一筆資料皆為16 Bytes，接受訊號強度指標RSSI值約為-70 dBm(大於RSSI臨界值-120dBm)。位於楠興宮旁擋土牆之測試結果如圖7與8，透過此Weightless傳輸閘道器設定工具的畫面可得知WeightlessED與Weightless傳輸閘道器之連線狀態為Connected，WeightlessED所傳送的每一筆資料皆為16 Bytes，接受訊號強度指標RSSI值為 -115 dbm上下(大於RSSI臨界值-120dBm)，因此兩處監測點皆可順利接收，克服傳輸站、接收站高差與障礙物之問題。

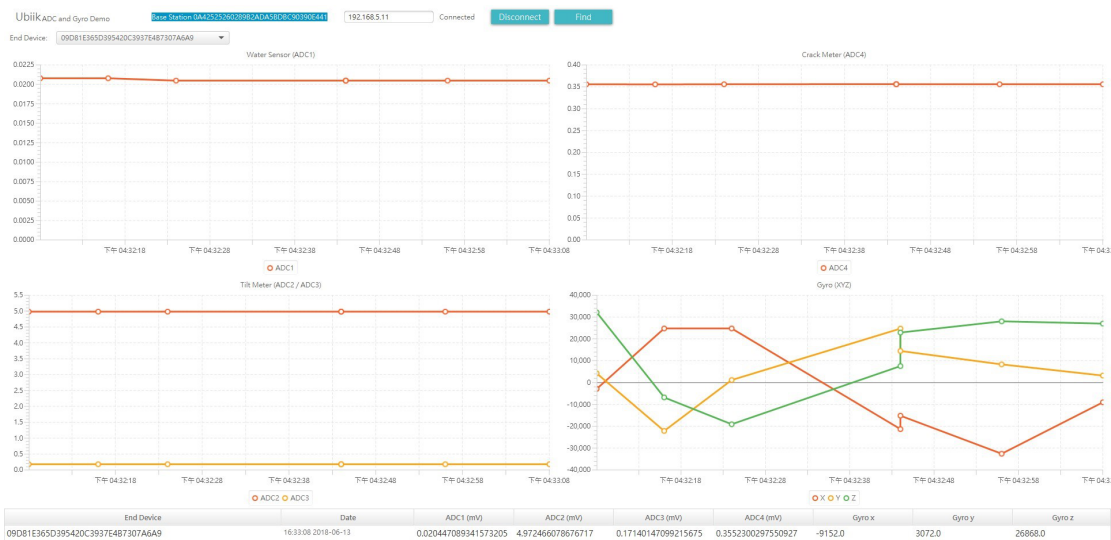


圖5、觀星台北社區測試點發出訊號後之接收畫面

ID	Device	Date	Bytes	RSSI	Mode	Date
16	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000433FEA023404BCDC400C006F4	16	-115	ACKNOWLEDGED	1633.08.2018-06-13
15	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000433FEB0232048C804020006CF4	16	-119	ACKNOWLEDGED	1632.56.2018-06-13
14	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000433FEB0232048CC440300058F4	16	-118	ACKNOWLEDGED	1632.44.2018-06-13
13	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000433FEB0232048CAC4060001CF5	16	-115	ACKNOWLEDGED	1632.44.2018-06-13
12	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000433FEA0233048C604000094F4	16	-112	ACKNOWLEDGED	1632.24.2018-06-13
11	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000443FEA023204886040A8FF4F3	16	-110	ACKNOWLEDGED	1632.16.2018-06-13
10	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000443FEA0232048C44010007CF4	16	-115	ACKNOWLEDGED	1632.08.2018-06-13
9	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000443FEB0232048C8840F8FFCF4	16	-114	ACKNOWLEDGED	1632.00.2018-06-13
8	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000443FEA0232048ABC4088FF4F4	16	-113	ACKNOWLEDGED	1631.51.2018-06-13
7	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000443FEB02320488E840800CF4	16	-114	ACKNOWLEDGED	1631.40.2018-06-13
6	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000443FEB02320488C04DCFF1F4	16	-114	ACKNOWLEDGED	1631.32.2018-06-13
5	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000433FEB0232048CC4403C009CF4	16	-116	ACKNOWLEDGED	1631.23.2018-06-13
4	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000433FEA0233048CC44014007CF3	16	-114	ACKNOWLEDGED	1631.12.2018-06-13
3	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000443FEB02320488B0402400E8F4	16	-114	ACKNOWLEDGED	1631.04.2018-06-13
2	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000443FEB0232048DD4408CF4F4	16	-111	ACKNOWLEDGED	1630.56.2018-06-13
1	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000433FEB02320488AC40CF58F5	16	-118	ACKNOWLEDGED	1630.31.2018-06-13

圖6、觀星台北社區測試點發出訊號之強度值



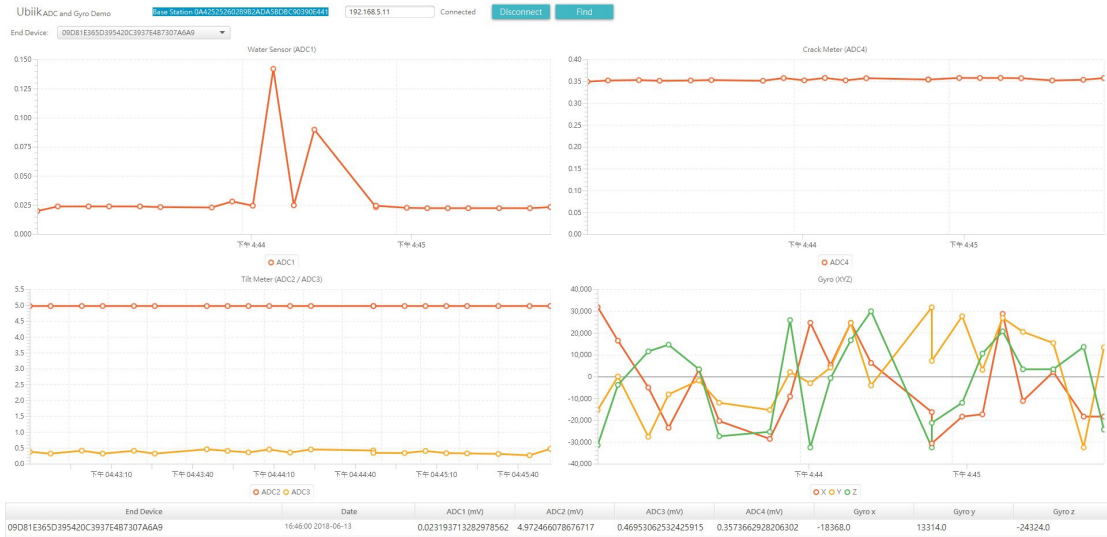


圖7、楠興宮旁擋土牆測試點發出訊號後之接收

ID	Device	Data	Bytes	RSSI	Mode	Date
21	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	1300004E3FEB054004810C40F8F0CFF	16	-77	ACKNOWLEDGED	16:43:20 2018-06-13
20	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	1300004E3FEC054AD47FA43FE00038FE	16	-71	ACKNOWLEDGED	16:43:08 2018-06-13
19	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	1300004E3FEC054AD484EC3F94022CFE	16	-70	ACKNOWLEDGED	16:43:00 2018-06-13
18	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	1300004E3FEC041AD481403F0000FFD	16	-71	ACKNOWLEDGED	16:42:48 2018-06-13
17	09D81E365D395420C3937E487307A6A9	130000413FEC04D804787C3FC40084FE	16	-70	ACKNOWLEDGED	16:42:40 2018-06-13

圖8、楠興宮旁擋土牆測試點發出訊號之強度值

### 3.2.2 整合型感測器運作成果

本整合型感測器之執行過程於2018年3月28日至臺北市文山區明興里進行現勘與選址之工作，而後選定觀星台北社區與楠興宮旁兩處之人工邊坡進行觀測，並於2018年6月13日進行儀器組裝及訊號測試；2018年7月14日完成儀器安裝並開始監測。於監測開始後所發生之事件如下：

1. 2018年7月28日於觀星台北社區監測器設置太陽能板做為電力來源。
2. 2018年8月22日楠興宮監測器斷線。
3. 2018年9月12日觀星台北監測器斷線。
4. 2018年10月29日監測器數據重新上線。

於斷線事件發生後，進行感測器的檢查並發現外箱本身無生鏽或變形且箱內感測器也無生鏽或腐蝕，因此問題主要發生於通訊設備方面，以下說明軟體與硬體所遭遇之困難及對策：

## 1. 硬體上的困難

- (1) 傳統電瓶與鋰電池管理之選擇：原先為了達到較長的使用時間，因此選擇體積小、電量高的鋰電池。但鋰電池會有電路板做電量管理，電路板上元件沒有經過驗證，可能因為受潮而造成電池模組失效。觀星台北社區之感測器因設置太陽能板而無此問題，但楠興宮旁之感測器因用地限制，難以架設太陽能板，因此該處之解決對策分為以下三種，第一改用傳統電瓶；第二對於電池的電源管理模組需進行元件驗證，但此價錢較高；第三使用密封式鋰電池模組，但此同樣價錢較高。最終改採用傳統電瓶做為供電方式。
- (2) 無線傳輸在使用上如何達成距離要求又不致讓居民反感：傳統天線可傳輸距離較遠且價錢較低，但其尺寸較大可能會引起居民對於電磁波影響健康之疑慮，因此使用尺寸小、功率高之天線，但同時價錢也相對傳統天線較高。
- (3) 在溫度與濕度變化量巨大時，如何維持訊號傳輸頻率：通訊訊號的產生需透過石英晶體震盪器，傳統的石英晶體震盪器(XO, X'tal (crystal) Oscillator)容易受到溫度或濕度的影響，而使產生的訊號頻率與 base station 產生差距，因此才造成本案之斷線問題。為改善此情況可該用會偵測環境變化的溫度補償石英晶體震盪器(TCXO, Temperature Compensate X'tal (crystal) Oscillator)，但其價錢較傳統型高。

## 2. 軟體上的困難

- (1) 雲端平台使用選擇：現有的物聯網平台與提供工業使用的雲端服務雖眾多但大多收費高昂且使用上並不穩定，經過考量後不使用高價的雲端服務，選擇使用亞馬遜平台做為本研究之雲端平台，也能達到效果。
- (2) API 接取與網頁製作：為達到本研究之使用需求，製作一個即時且可靠的數據視覺化網頁介面，如以下網址所示  
<https://www.sinotech.org.tw/thinktron/ABRI-HCSS/>，並包含一個數據後台可自由擷取數據，且可利用參數進行調序或調教。

### 3.3 山坡地社區智慧防災監控平台

本監控平台系統將後端資料庫整合資料後，即透過使用者端介面系統設計，以將資料轉換成更具有意義性的防災訊息。前端系統採用資料庫動態護動檢索、Web-GIS 地理圖台與資料視覺化關鍵技術，以滿足本平台使用者各種需求應用。透過分析社區民眾對於防災系統的需求，本系統設計四大元件，(1)專案介紹：概述本專案的目的與場域背景介紹。(2)監測示警：視覺化呈現人工邊坡即時監測數據，以讓社區民眾能直觀地掌握邊坡狀況。(3)Web-GIS 地圖：可查詢人工邊坡位置。(4)即時防災看板：提供雨量與多元災害公開示警訊息。

### 3.3.1 平台系統架構與核心技術

平臺系統開發以網站平臺作為主要，並結合 HTML5、CSS3、JavaScript、jQuery、Bootstrap 與地圖函式庫等現代網站前端技術，建立動態、具響應介面以及資料視覺化的網站平臺，以提供不同解析度的手持裝置與電腦畫面上使用，本團隊網路平臺系統開發架構如下圖 9 所示。以下針對前後端架構進行簡述：

1. 後端架構：由於本平臺功能應用牽涉於即時資料的串接與展示，故在系統後端的架設上亦為重要的一環，在需儲存大量 GIS 資料情況下，SQL 資料庫的建立與連結為前後端整合的重要關鍵。本團隊伺服器作業系統採用 Windows Server，網站伺服器使用 Apache，資料庫軟體採用 Microsoft SQL Server，除可存取工程資料與坑溝調查資料外，更可方便其它介面程式進行 get、post、insert、delete 等資料搜尋與修改等操作。而連接前端與資料庫之程式語言採用 php5，方便搜尋與抓取資料庫的存取資料。本計畫可就監測點位資料以及其它相關圖層，採用 GeoJSON 地理交換資料進行管理與發佈，此檔案基於 JSON 語言，其格式編碼參照 OGC (Open Geospatial Consortium) 的規範，使用此軟體可自行發布空間圖層，以供應平臺使用者瀏覽與分享資訊。
2. 前端架構：視覺設計採用 html、CSS 與 bootstrap 建立網站中的所有元件，且以 RWD 設計概念為開發基礎，以使平臺可適用於各解析度裝置。操作與事件監聽上，以 JavaScript 與 JQuery 為平臺動態操作為主要核心，透過元件事件觸發的監聽，能進行動態排程更新與人機介面互動設計。資料視覺化上，結合資料視覺化工具 plotly.js、highchart.js 與 d3.js 可進行時序列繪圖，以視覺化方式展現感測器資料，如各式統計量結果可設計不同統計圖表展示，以讓使用者更迅速且簡明地瞭解其所查詢的資訊。而互動式地圖開發上，採用 leaflet.js 達到 Web-GIS 的功能，以供圖層查看、疊圖分析、地理查詢以及地理定位資訊，此外亦可介接公開網路地圖服務以及圖層影像，以及 GeoJSON 圖層，最後整合所以圖層可進行疊圖分析，達到更多元與目的之應用。另外，turf.js 可搭配以上 Web-GIS 技術進行兩圖層之間的空間查詢與內插等空間分析功能，將更能補足 Web-GIS 的空間查詢功能的完整性。由於平臺開發基於 SaaS (Soft as a Service) 概念，故平臺開發完畢後透過網站伺服器發布即可使用(不須透過程式安裝等程序)，同時後續若需要更新與維護亦具方便性(如更新監測資料與圖層檔案等)。

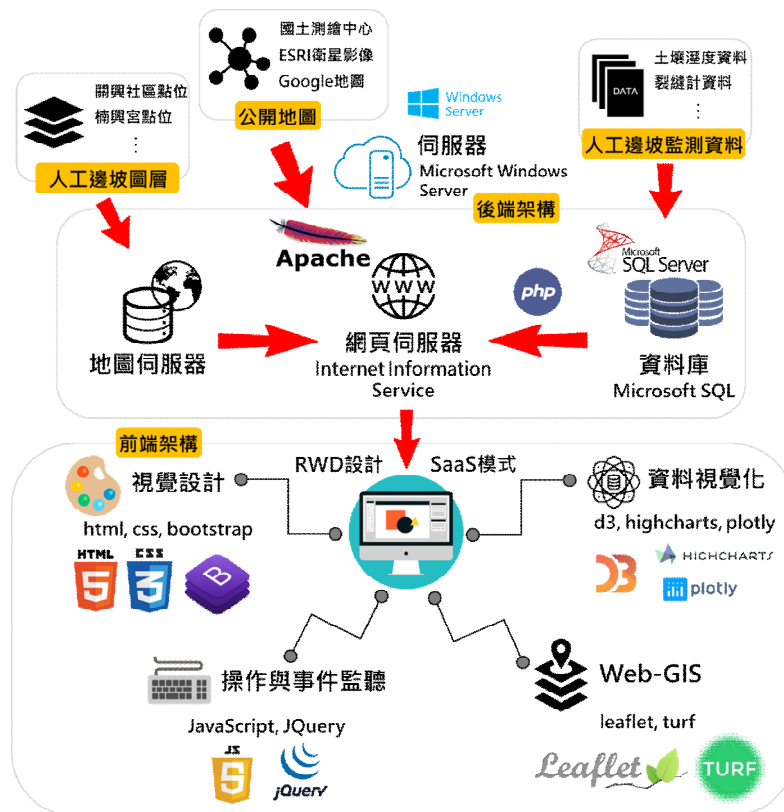


圖 9、智慧監控系統前後端開發架構圖

### 3.3.2 平台開發成果與展示

本系統各頁面如圖 10 所示，使用者首先可以一目瞭然所有監測項目的即時監測值以及狀態，以便於掌握兩處人工邊坡的安全狀況。而左下角條列鄰近場域的雨量站資訊，透過檢視與量表則可大致上瞭解本場域近 24 小時的降雨狀況。而右下角為地圖資訊，標示出兩處人工邊坡的位置以及名稱，同時再透過點及點位則可進一步查看屬於該點位的進階資訊。故透過資訊簡潔地整合與視覺化設計，即可讓使用者進入本監測系統後，就可大致上瞭解本系統的應用目的，以下再針對本平台各功能進行詳述使用操作介紹。

1. 專案介紹功能：可提供使用者查看本專案的目的與場域背景介紹。透過點擊本系統右上方按鈕，即可檢視本專案目的與場域背景資料，介紹資料如同投影片(共有八頁，簡潔地說明本案目的與場域背景)，透過文字和圖片呈現本場域的相關資料，如本場域人工邊坡的地文特性、過往監測數據分析判斷、過往紀錄以及潛藏災害跡象判斷等。透過此功能可讓社區民眾能瞭解監控的目的以及監控值如何解讀等，另外透過瞭解居住地的背景資料，以增強居民對於居住地的環境瞭解並提升在地防災意識。進而在劇烈天氣發生時(如下雨天)，能避開這些易於發生高風險的區位。

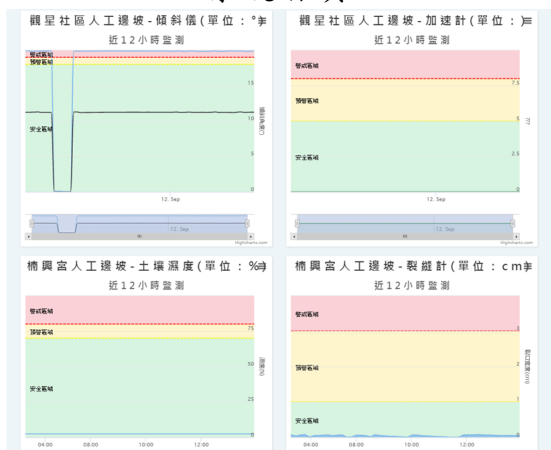
2. 監測示警功能：視覺化呈現人工邊坡即時監測數據，以讓社區民眾能直觀地掌握邊坡各監測狀況。視覺化設計呈現共有兩種方式，第一種為「子彈圖」，主要可呈現最近一筆監測讀值的狀況(安全、待觀察與需立即處理)，此外設計上將讀值以指針方式呈現，可讓資訊識讀者瞭解目前監測數據是位在哪個狀態區塊上，且指針亦表達出目前讀值與各狀態上下限的相對關係，更進而增強資訊輔佐居民防災避難決策作為。此外子彈圖的方式可利用較少的版面呈現資訊，為此使用者可迅速地掌握所有監測值的安全狀況。  
然子彈圖的設計，僅能呈現近一筆監測值狀況，而近期的監測狀況亦為防災避難的判斷標準。因此第二種資料視覺呈現方法為「時序列折線圖」，圖中表式各監測數據近半日的監測狀況，使用者即可從折線的走向判斷其趨勢，另外圖面中亦標示出各監測讀值的安全、預警與警戒區塊，方便使用者判釋近半日監測讀值在哪個狀態下，如近半日達到多少次數的預警或是警戒。
3. Web-GIS 地圖：於地圖中標示出本計畫裝設感測器的兩處邊坡，此外透過互動式地圖檢視，方便社區居民瞭解這兩處邊坡位於村里範圍中的哪個地理區位上。此外透過點擊地圖點位，則可再進階查看該處邊坡的裝設狀況，瞭解本計畫如何在邊坡佈設這些感測儀器，另也可輸入查詢時間以動態查詢歷史監測值的狀況，而呈現上以同步檢視方法，以探討各監測值的相關性。
4. 即時防災看板：為介接中央氣象局天氣小幫手資料，其提供每日生活氣象與防災氣象訊息，如提醒今日下雨機率、衣物穿著與傘具攜帶等。



(1) 明興里人工邊坡智慧監控系統首頁



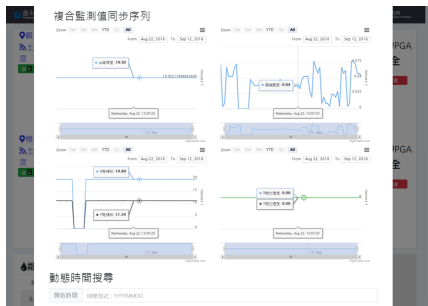
(2) 監測示警功能-子彈圖



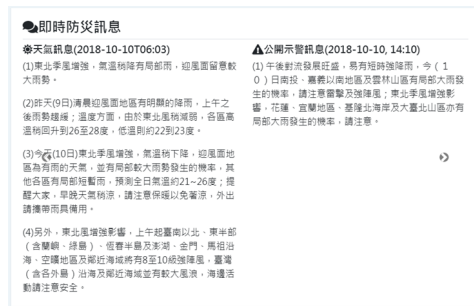
(3) 監測示警功能-時序列折線圖



(4) Web-GIS地圖功能-可互動式地圖



(5) Web-GIS地圖功能-動態查詢與同步序列折線圖



(6) 即時防災看板

圖 10、明興里人工邊坡智慧防災監控平台

### 3.3.3 山坡地社區智慧防災系統示範案說明網頁

為將此計畫之成果進行彙整，並將整體計畫之緣由、內容、成果有系統地透過網頁呈現，利用 Google Site 來進行網站開發。Google 協作平台可以快速的建立網頁，其編輯方式如同文件那樣，做一些資料的編輯與排版，即可完成網頁，且其修改與調整較為簡易，以下對於建置流程進行概述。

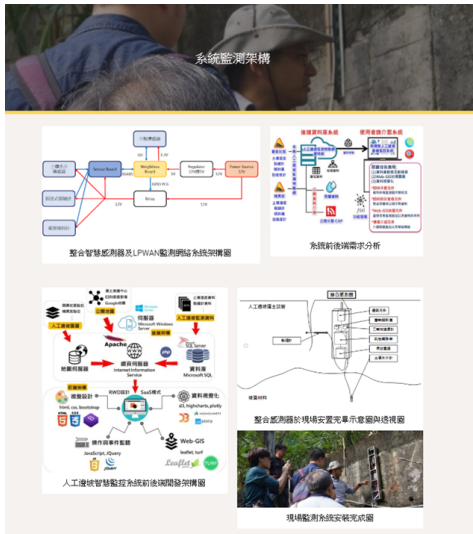
一般網站開發流程分為三個階段，第一階段設計，第二階段實作、第三階段維護。首先進行網站名稱及首頁頁面標題與背景的設定，標題為此計畫之名稱，首頁為此計畫之概述及其目標。再來將計畫緣由與背景、系統監測架構、監測案例、未來願景等製作不同的頁籤及頁面，各不同項目以相關敘述及照片呈現，如圖 11 所示。



(1) 明興里人工邊坡智慧監控系統首頁



(2) 監測示警功能-子彈圖



(3) 監測示警功能-時序列折線圖



(4) Web-GIS地圖功能-可互動式地圖



(5) Web-GIS地圖功能-動態查詢與同步序列折線圖

圖 11、山坡地社區智慧防災系統示範案說明網頁

### 3.4 山坡地社區智慧防災系統應用推廣說明會

人工邊坡監測及防災預警實為山坡地社區安居之重要議題，目前山坡地社區監測多以人工定時記錄，若遭遇山坡地社區局部降雨及邊坡位移資訊難以即時協勤防災管理。為了向山坡地社區居民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，於民國 107 年 9 月 17 日於台北市文山區明興里舉辦山坡地社區智慧防災系統應用推廣說明會，如圖 12

所示，出席人員除此計畫案相關人員，也同時邀請了財團法人台灣建築中心、明興里與鄰近的興家里居民。

本說明會目的為強調人工邊坡監測的必要性，並將內政部建研所與台科大團隊共同研發低耗能、低成本之人工邊坡智能感測器與雲端系統擴充應用初步成果進行推廣說明，透過張志彰技師所分享的主題—人工邊坡監測的必要性及郭治平教授所分享的主題—人工邊坡智能感測器的功用與效能，使居民對於邊坡監測與此計畫的目的有初步的了解，再藉由實地走訪裝設有感測器位於明興里的觀星台北社區，更加深居民對於此邊坡即時監測系統的印象。



圖 12、推廣說明會



#### 四、結論與建議

相較於目前實務界常採用分散式配置邊坡感測器之方式，本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、降低維護與巡檢成本，以及提高附近居民之包容感。本案選定兩處距崩塌歷史之邊坡，過去曾經在颱風豪雨事件過後發生過表土崩滑、坡面塌陷與地層掏空，經由以數值模擬探討地下水位與邊坡穩定之關係後顯示該區域平時安全係數雖然大於水土保持規範建議值，然而隨著地下水位上升安全係數急速下降，當地下水位升高至地表時安全係數將小於 1.0。此結果說明現地縱然已經有工程治理，然而現行之人工定期巡檢監測方法在未來颱風豪雨事件發生時之取得即時監測數據成果相當有限。本計劃案研發完成之整合型感測器於民國 107 年 7 月 14 日完成儀器安裝並開始監測，確認本案採用之感測器皆可順利作動，然而由於試驗期間未發生重大颱風豪雨事件，精度與耐候性仍需後續監測成果方能評估。

本案採用之通訊技術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、韌體調整與受潮等。目前已確認兩站皆可順利通訊，但通訊用之基板受不明原因影響無法順利因應氣候條件調適，推測為受到濕氣影響，團隊已歸納出問題點並著手進行處理因應。然而使用穩定且耐候性高之元件，勢必得提高建置成本，未來需進行適應現地需求最佳化之研究。

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接收場域資料並建置資料庫，如本案於觀星社區與楠興宮旁所佈設的整合型感測器，同時亦建立與本場域相關之防災資訊。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本所 105 年「山坡地社區建築管理履歷資料庫平台」，以利應用。

本計畫於民國 107 年 9 月 17 日於台北市文山區明興里舉辦山坡地社區智慧防災系統應用推廣說明會。除了向山坡地社區居民說明與推廣山坡地社區邊坡監測的重要性、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外，並取得山坡地社區居民對於此系統之看法及其需求，藉此進行未來系統推動之精進方式，參與此次說明會之里長與里民皆對於此研究計畫抱持強烈興趣也相當認同其必要性，敘明了本案繼續延續之必要性。

#### 參考文獻

1. 中華民國大地工程學會，2017。山坡地監測準則 (TGS-SLOPEM106)。
2. 內政部建築研究所委託研究報告，2016。山坡地社區建築管理履歷資料庫建立與關鍵致災因子關聯性分析。

3. 內政部建築研究所委託研究報告，2017。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。
4. 內政部營建署，1997。建築技術規則建築設計施工編山坡地建築專章。
5. 正文科技，2017。GIoT:以 Low Power WAN 打造智慧城市物聯網介紹。
6. 交通部中央氣象局。觀測資料系統 CODiS 文山(C0AC80)氣象觀測資料。
7. 行政院農委會，2014。水土保持技術規範。
8. 行政院農委會，2017。山坡地保育利用條例。
9. 明興里社區防災計畫書，2013。「申請 2016 年世界設計之都—市政建設亮點計畫—整合型避災系統設計—避災系統示範計畫」。
10. Hoult, 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
11. 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
12. Mobile Experts , 2017 , Mobile and Wide-Area IoT: LPWA and LTE connectivity , Technical and Economic Analysis: Matching each application with the best standards
13. 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