

計畫編號：110 保發-8.1-保-01-06-001(33)

採用低功耗廣域網路執行土石流潛勢溪流流域土砂與崩塌地變化防災監測傳輸之
驗證研究

**The Proof Study on Using LPWAN for
Monitoring an Overall Stream of a Debris
Flow and Landslides to Prevent Hazard**

執行單位：明新學校財團法人明新科技大學

執行期間：110年01月27日至110年12月31日

計畫主持人：郭治平 副教授

計畫經理：吳晉維

研究人員：劉美君

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 110 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

採用低功耗廣域網路執行土石流潛勢溪流流域土砂與崩塌地變化防災監測傳輸之驗證研究

摘要

坡地災害發生前、中、後期，監測系統能否有效將待測之訊號傳遞到後台伺服器，一直是防災技術中關鍵的課題。長距離低功耗廣域網路為近年發展之通訊技術，然而在坡地，受制於幅員遼闊、電力供應與基地台架設限制，長距離低功耗廣域網路之功能更為重要且須受到驗證。

107 年度至 109 年度期間，本團隊針對 LoRa(Long-Range)傳輸技術進行試驗與驗證，陸續發現天候、植被以及地形之影響，也開發出 P2P 中繼站橋接方式通訊，經實測在同樣的環境條件下可大幅降低漏失率。初步開發時成本高且耗電，故後續採用效能高、穩定且能耗更低之 LoRa 模組於神木村與祝山停機坪間(約 4 公里)進行測試，系統建置部分也找出更有利於傳輸的天線高度、角度。另外 NB-IoT 經實測結果評估且分析漏失率，然效果不佳。本期計畫於神木村測試不同電信業者進行比較，也調整內部傳輸設定，初步成效較為穩定。

本計畫(110 年度)已結合過去歷年之豐富經驗，選定神木土石流觀測站作為示範場域，於該溪流上游、中上游以及影響範圍前之溢流口處進行以防災監測網之建置與驗證研究，工作內容相對單純但繁重：1.取得不同天候與場址下之實測資料、2.LPWAN(Low-Power-Wide-Area-Network)通訊品質測試、3.掛載坡面監測常用感測器。本研究計畫期可透過上述成果，作為未來其他土石流流域無線監測系統建置之示範場址，進一步實現防災監測低功耗物聯網之理念。

關鍵詞：坡地災害、監測系統、長距離低功耗傳輸、物聯網

The Proof Study on Using LPWAN for Monitoring an Overall Stream of a Debris Flow and Landslides to Prevent Hazard

ABSTRACT

The ability of monitoring system to effectively transmit the signals to the server during slope disasters is a key issue in disaster prevention technology. However, due to the limitation of vast area, power supply and base station installation, the function of long-range low-power wide area network is more important and must be verified in slope areas.

From 2018 to 2020, the research team conducted tests and verifications on LoRa transmit technology and discovered the effects of weather, vegetation, and terrain. The P2P relay communication method was therefore developed. LoRa modules with high performance, stability, and lower power consumption were used to test between Shenmu Village and Zhushan apron (spacing distance about 4 km), and the height and angle of the antenna were also evaluated to be more favorable for transmission. In addition, the test results using NB-IoT were not good herein.

This project (2021) selected the Shenmu debris-flow observation station to conduct disaster prevention monitoring system and validate studies in the upstream, middle and spillway in front of the impact area. This research project expected to use the above-mentioned results for other wireless monitoring systems in the future, and to carry on the concept of using LPWAN(Low-Power-Wide-Area-Network) to connect Internet of Things for disaster prevention and monitoring.

Keyword: Landslides disaster, Monitoring system, LoRa transmit, IOT

目次

摘要.....	I
目次.....	III
圖次.....	錯誤! 尚未定義書籤。
表次.....	錯誤! 尚未定義書籤。
第一章 研究計畫內容.....	1
第一節 研究計畫之背景.....	1
第二章 文獻回顧.....	5
第一節 通訊技術簡要回顧.....	5
第二節 前期計畫回顧.....	16
第三節 研究區域簡介.....	47
第三章 前期計畫結論與本年度計畫待克服重點.....	51
第一節 前期計畫結論.....	51
第二節 待克服重點.....	52
第四章 低功耗無線傳輸技術現地測試.....	53
第一節 傳輸設備.....	53
第二節 LoRa 傳輸技術實施案例-神木土石流觀測站.....	59
第三節 LoRa 傳輸技術實施案例-明霸克露橋土石流.....	71
第四節 WSN 傳輸技術實施案例-光華崩塌地.....	74
第五節 LoRa 現地架設原則及建議.....	80
第五章 結論與建議.....	83
第一節 結論.....	83
第二節 建議.....	84
附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形.....	85

附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形.....	87
附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形.....	89

圖次

圖 1-1 萬物聯網概念 (Internet of Things, IoT)與 LPWAN 通訊技術圖	3
圖 2-1 各種通訊方式數據傳輸率與傳輸距離關係圖	6
圖 2-2 長距離星型架構示意圖	10
圖 2-3 NB-IoT 頻寬與 LTE-4G 頻寬示意圖	13
圖 2-4 NB-IoT 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖.....	13
圖 2-5 不同世代之傳輸速度與頻寬示意圖	15
圖 2-6 宜蘭縣大同鄉四季聚落進行 LoRa P2P 橋接實驗點位置圖.....	17
圖 2-7 107 年度採用 NB-IoT 模組接線配置圖與現地實測照片	19
圖 2-8 理想狀況下為期 30 天以 10 分鐘傳送 1 次之資料分布(藍色)與漏失區(紅色).....	19
圖 2-9 NB-IoT 現地測試點 A 之記錄.....	20
圖 2-10 NB-IoT 現地測試點 B 之記錄.....	20
圖 2-11 南投縣信義鄉神木村 LoRa P2P 試驗配置	21
圖 2-12 屏東縣霧台鄉進行 LoRa 天線傳輸測試	22
圖 2-13 本研究採用三種不同天線之方向圖	24
圖 2-14 天線增益比計算示意圖	24
圖 2-15 不同增益比天線之傳訊範圍	25
圖 2-16 LoRa P2P 於神木村現地耐候性試驗.....	26
圖 2-17 LoRa 接收站裝設於神木國小	27
圖 2-18 本計畫採用 LoRa 模組使用收發器規格	28
圖 2-19 LoRa Gateway 無線閘道器規格	28
圖 2-20 LoRa Node 無線感測節點規格.....	29
圖 2-21 搭配太陽能模組之 LoRa Node.....	29

圖 2-22 LoRa 控制介面示意圖	31
圖 2-23 LoRa 監測系統配置示意圖	32
圖 2-24 LoRa 擷取資料範例.....	33
圖 2-25 LoRa 神木村長期傳輸測試配置圖	34
圖 2-26LoRa 神木村長期傳輸測試 Node 電量變化圖.....	35
圖 2-27 LoRa 神木村長期試驗 RSSI 歷線圖	36
圖 2-28 LoRa 神木村長期試驗 RSSI 與時雨量比對圖.....	36
圖 2-29 LoRa 神木村-祝山長期傳輸測試配置圖	37
圖 2-30 LoRa 神木村-祝山長期試驗 RSSI 歷線圖.....	38
圖 2-32 LoRa 神木村-祝山長期試驗 012 站 RSSI 與時雨量比對圖	39
圖 2-33 109 年 7 月 21 日那瑪嘎班溪橋 NB-IoT 傳輸測試	40
圖 2-34 本計畫所採用 NB-IoT 模組及其規格.....	41
圖 2-36 中華電信 NB-IoT 於那瑪嘎班溪橋傳輸時間間隔比對圖	42
圖 2-38 中華電信 NB-IoT 於神木國小傳輸時間間隔比對圖	43
圖 2-39 NB-IoT 於祝山觀景台現場測試.....	44
圖 2-40 遠傳電信 NB-IoT 於祝山停機坪傳輸時間間隔比對圖	44
圖 2-41 中華電信 NB-IoT 於祝山停機坪傳輸時間間隔比對圖	45
圖 2-42 NB-IoT 於南方澳現場測試.....	45
圖 2-43 遠傳電信 NB-IoT 於南方澳傳輸時間間隔比對圖	46
圖 2-44 中華電信 NB-IoT 於南方澳傳輸時間間隔比對圖	46
圖 2-45 神木土石流觀測站	48
圖 2-46 南投縣信義鄉神木村區域位置圖	49
圖 2-47 神木村 LoRa 測試地點，左為神木國小，右為出水溪鋼索檢知器	50
圖 2-48 祝山停機坪	50

圖 4- 19 Node 021 與 Node 022 裂縫計裝設位置圖	70
圖 4- 28 光華崩塌地各站傾斜儀變化歷線圖	77
圖 4- 29 110 年 10 月 24 日 12 時 38 分中央氣象局地震報告	78
圖 4- 30 110 年 10 月 24 日 13 時 11 分中央氣象局地震報告	78
圖 4- 31 110 年 10 月 24 日光華崩塌地監測資料	79
圖 4-32 可利用地形資料進行現地初步測站規劃(視域分析)	80
圖 4-33 利用簡易測站模組於現地進行傳輸測試	81
圖 4-34 現場由回傳資料判斷傳輸成果	81
圖 4-35 依照傳輸方向調整天線角度	82

表次

表 2-1 不同 LPWAN 通訊技術之傳輸能力比較	8
表 2-2 以中繼站方式與直接傳輸方式之成果比較	17
表 2-3 南投縣信義鄉神木村 LoRa P2P 試驗成果	21
表 2-4 屏東縣霧台鄉進行 LoRa 天線傳輸測試	22
表 2-5 109 年 6 月 22 日神木村 LoRa 試驗成果統計表	27
表 2-6 LoRa 神木村長期試驗傳輸率成果	35
表 2-7 表 3-8 LoRa 神木村-祝山長期試驗傳輸率成果	38

第一章 研究計畫內容

第一節 研究計畫之背景

一、邊坡監測面臨之大量且低功耗之通訊需求

台灣為一高山島，人口眾多，土地資源卻十分有限，在地狹人稠的人口壓力之下，有限的國土資源往往過度開發利用。平原與盆地地區的開發無法滿足國人生活需求的情況下，乃擴張至丘陵山區開發。但在需求甚殷之下，往往過度地擴張，許多山坡地不當地開發為建地，破壞了原有的水土保持，進而對台灣自然環境與台灣民眾生命財產造成重大衝擊與危害。此外，因為山坡地大自然的條件屬於破碎地質，加上地震與颱風的誘因，所以山坡地的開發所形成的聚落，成為重要的保全對象。因此，如何兼顧國土開發利用與環境保育，以維護台灣自然山林生態以及確保民眾生命財產安全，已成為台灣社會當前最重要的環境課題。台灣地質構造複雜為全世界地殼變動最激烈地區之一，頻繁的地震、每年頻繁之颱風侵襲加上人為土地開發不當，經常造成山崩、地層滑動、地盤下陷、房屋傾斜龜裂、土石流等嚴重災害，導致人民生命財產嚴重的傷害與損失。1999年921地震、2001年桃芝颱風、2001年納莉颱風、2004年敏督利颱風、2009莫拉克颱風、2010年梅姬颱風、2012蘇拉颱風、2013蘇拉颱風、2016年美濃地震、2017年蘇迪勒颱風等重大災害後，凸顯出防災科技研究對防減災工作之重要性。

特別是上述事件都曾經遭遇到災區斷訊問題，不但監測訊號無法記錄傳出，一般之通訊也都中斷數時數日，使災區成為通訊孤島。另一方面一旦電力中斷，原本採用高耗電之傳輸方法(如4G)將無法發揮繼續傳輸或儲存監測資料功能。另一方面，在邁入多感測器(萬物聯網)時代，長距離低功耗之通訊方式，勢必為較低成本且在災害來臨前、中、後之重要維持通訊方式。然

而低功耗之傳輸方式較可能受到外在因素干擾，需針對坡地監測應用深入探討，此為國內較少探討部分。

二、坡地監測萬物聯網概念

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

近 2~3 年來，如圖 1-1 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 1-1 萬物聯網概念 (Internet of Things, IoT)與 LPWAN 通訊技術圖

第二章 文獻回顧

第一節 通訊技術簡要回顧

一、長距離低功耗傳輸技術之發展

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 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 2-1 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。

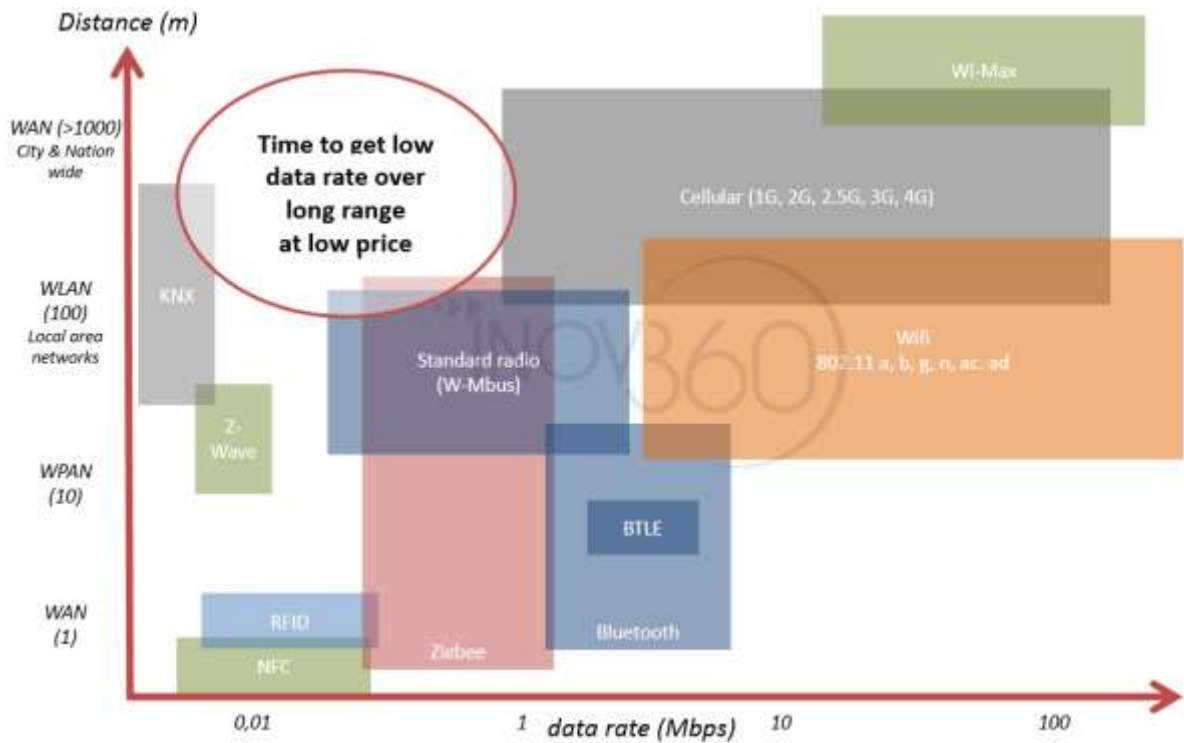


圖 2-1 各種通訊方式數據傳輸率與傳輸距離關係圖

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

二、 現行常見長距離低功耗傳輸技術之比較

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。

初步針對 LoRa 與 NB-IOT 之比較如下幾點(表 2-1 所列)：

- (1).LoRa 功耗比較低(NB-IOT 耗電量至少 10 倍以上)
- (2).LoRa 網絡部屬可獨立建立(NB-IOT 必須依照營運商為主)
- (3).LoRa 頻段可以自行選擇(NB-IOT 必須依照營運商為主)
- (4).LoRa 模組成本比較低(NB-IOT 必須依照營運商為主)

表 2-1 不同 LPWAN 通訊技術之傳輸能力比較

	LoRa	NB-IOT
創立時間	2015	2016
推動者	LoRa Alliance	3GPP
使用頻譜	非授權頻譜 Sub~1GHz ISM	1GHz 以下授權頻譜(營運商)
使用頻寬	125~500KHz	180KHz
最遠傳輸距離	20KM	20KM
傳輸速率	300bps~50kbps	50kbps
可連接數量	25 萬	10 萬
優勢	<ol style="list-style-type: none"> 1. 營運成本低 2. 功耗較低 3. 資料傳輸速率彈性 4. 可與多電信營運商串接 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用授權頻譜，干擾較小 2. 使用現有 4G 電信基地台
耗電量	待機 0.005W、發射瞬間約 0.15W	發射瞬間約 1W

三、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 2-2 所示。

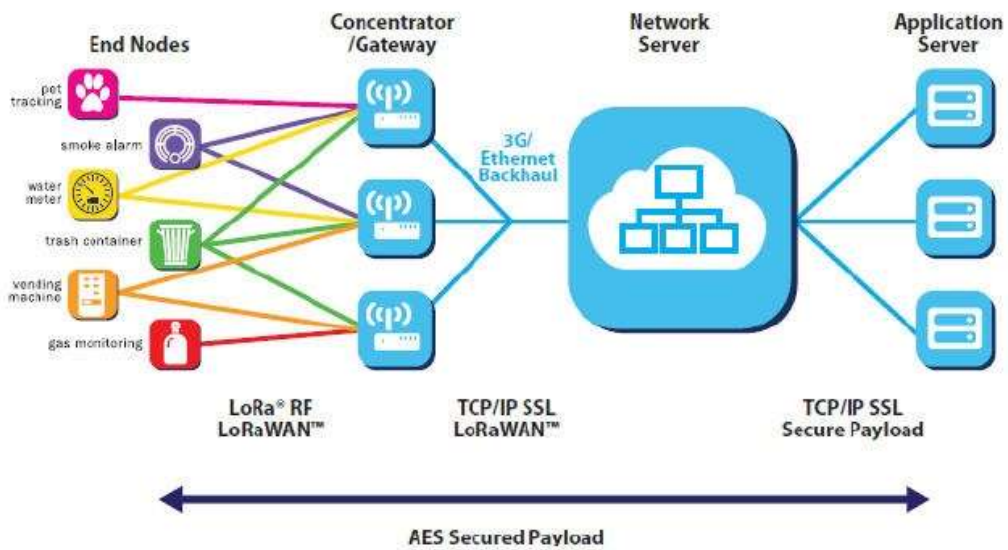


圖 2-2 長距離星型架構示意圖

(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。

四、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 2-3 與圖 2-4 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。

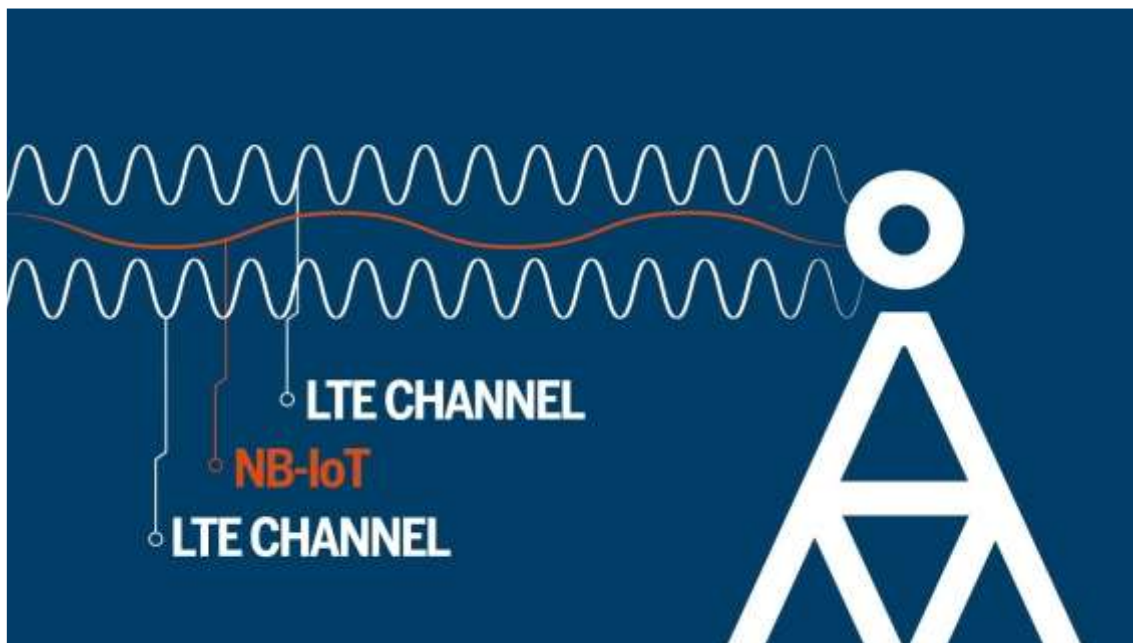


圖 2-3 NB-IoT 頻寬與 LTE-4G 頻寬示意圖

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

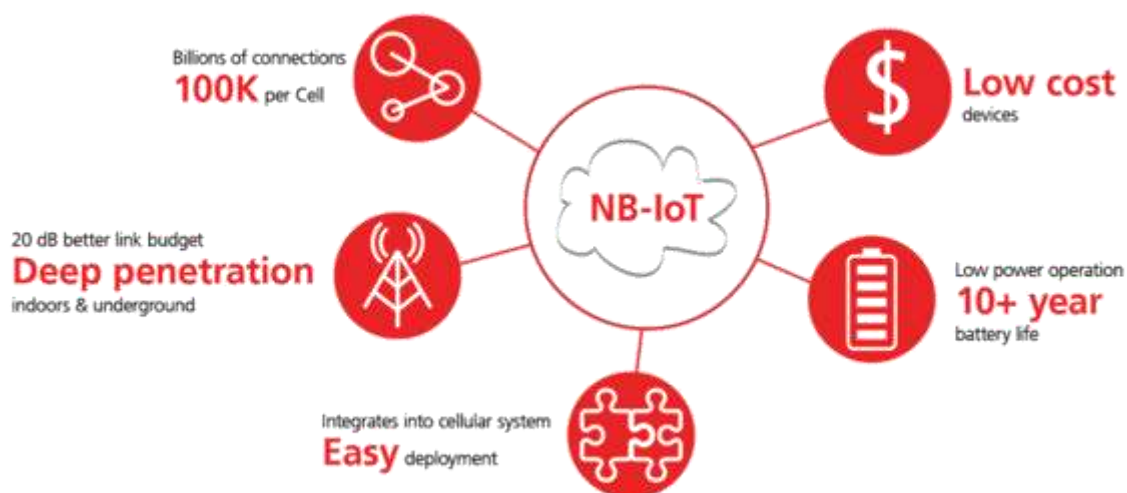


圖 2-4 NB-IoT 執行以 M2M 實現 IoT 之概念圖

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

五、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 2-5 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。



圖 2-5 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/>)

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。

第二節 前期計畫回顧

一、 107 年度計畫回顧

(一) LoRa 傳輸測試

對於本研究而言，無線傳輸技術首要難題為坡地複雜地形與訊號干擾源，107 年度之計畫「長距離低功耗廣域網路連結物聯網於監測資料傳遞應用上最佳化配置之研究」於宜蘭縣大同鄉四季聚落進行以 LoRaWAN 傳輸實驗，於每個 SI 孔測試傳輸至四季國小達雅樓屋頂之成效。成果顯示，在四季聚落絕大部分點位可獲得穩定好通訊效果，資料漏失率絕大多數於 5% 以內，然而部分可達 20% 者，研判為受環境干擾所致，亦即 LoRaWAN 資料傳輸至雲端之品質受制於與基地台間之通訊，因此良好的位置選擇及傳輸技術的優劣，遂成為智能感測器以無線傳輸的關鍵。

結果中 SI-1 與 SI-2 兩處之效果最差，亦即漏失率最高，研判為地形與基地台干擾所致。SI-4 處之漏失率為零。因此 108 年度之計畫「建置坡地與土石流防災監測系統低功耗廣域網路之可行性研究」順利完成中繼站之開發，以一機「收」轉交另一機「發」，可順利將遠處訊號橋接。以此場址為例，於 SI-4 設為中繼站進行 SI-1 與 SI-2 兩處與四季國小之橋接，並分別採用 3dBi、5dBi、9dBi 之天線進行測試，其中變更天線者為位於 SI-4 處之中繼站。各處空間關係如圖 2-6 所示，成果紀錄分析如表 2-2 所列。從表 2-2 可以看出，以中繼站方式可以順利降低漏失率，最大可從 25% 降低至 0%。

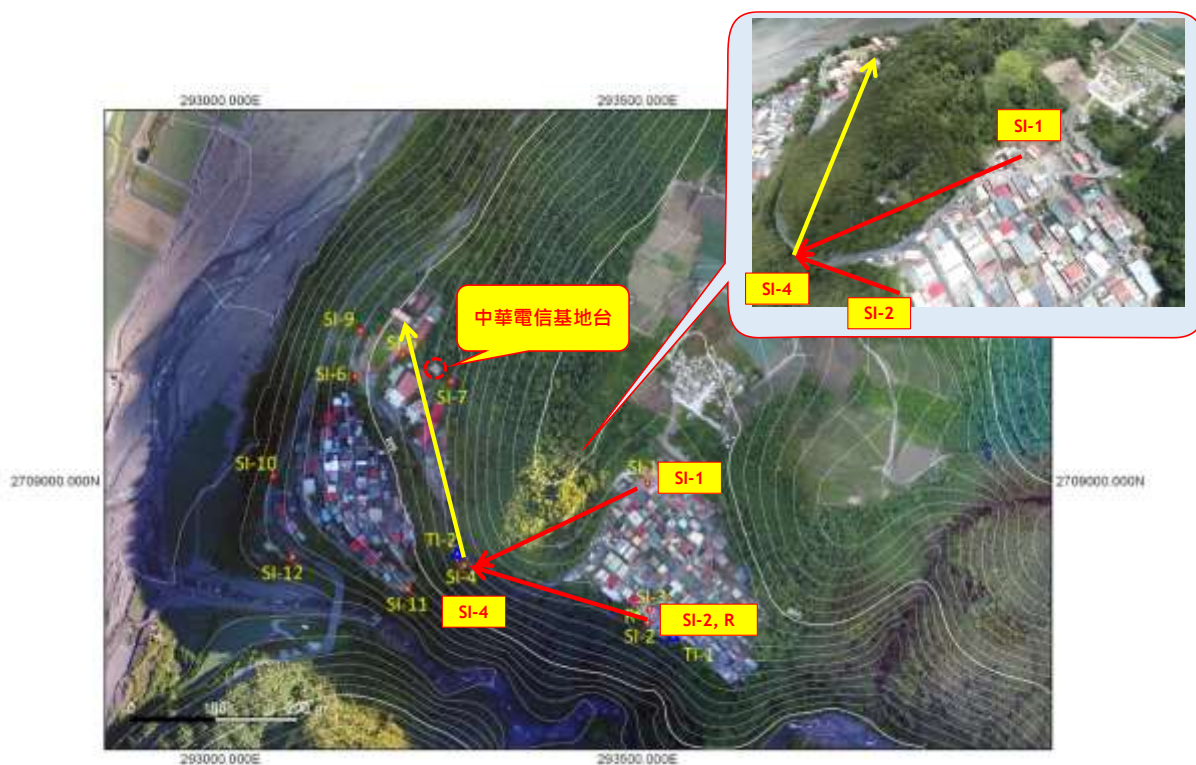


圖 2-6 宜蘭縣大同鄉四季聚落進行 LoRa P2P 橋接實驗點位置圖

表 2-2 以中繼站方式與直接傳輸方式之成果比較

	原漏失率	中繼天線	漏失率	提升
SI-1	約 25%	3dBi	0%	是
		5dBi	7.89%	是
		9dBi	9.52%	是
SI-2	約 17%	3dBi	14.63%	是
		5dBi	13.16%	是
		9dBi	22.86%	否

在上述試驗成果中，發現使用橋接之 LoRa 傳輸方式，在 SI-1 處有顯著提升傳輸成功率，但在 SI-2 使用 9dBi 天線所得成果又較原漏失率高出許多，因此本團隊為了解利用此方式之傳輸漏失原因為何，故於中繼站、接收站個以一工業電腦進行傳輸紀錄，接收站再利用此電腦以 4G 方式將資料回傳至

雲端，期望能更直接記錄各站間傳輸情況與影響傳輸的可能性為何。

團隊接著將此成果及做法移至神木村進行測試，也得到頗佳之成功率，惟於發射站裝置於河岸，可能受電線杆或植被干擾(107 年度試驗時位於河床中無此問題)，導致傳輸至中繼站有部分漏失，但成功率也有高達 97.58%之成果，未來希望以此橋接模式推展至更多場域，測試是否能順利傳輸。

(一) NB-IoT 傳輸部分

NB-IoT 部分，同樣在前兩期計畫於南投縣信義鄉神木村、宜蘭縣大同鄉四季與英士部落中，發現 NB-IoT 所用之頻段，需確認當地之基地台業者是否有開通，並非與一般手機通訊所用之 4G、3G 網路共用，因此僅能選擇新北市新店區進行傳輸測試(圖 2-7)。

團隊於現場採用 10 分鐘 1 筆之傳送頻率測試之，測試地點為新北市新店區安坑山區，座標為 24°56'38.43"北，121°30'8.67"東。測試時間為期 30 天(108.07.06~108.08.05)，以 10 分鐘 1 筆資料計算之，總資料筆數需為 4320 筆。因此若測試時間實收筆數少於 4320 筆，則視為確定漏失；延續上述訂定之誤點評估方式，傳送頻率為 10 分鐘(=600 秒)，接收到之兩筆資料時差至 540~660 秒為成功，否則視為誤點漏失。亦即成果率為資料點得成果傳輸外，另外得準點才計算。

圖 2-8 所示之藍色區域視為(準點)成功區、紅色區域則為誤點漏失區，確定漏失者當然不會出現於圖上。經測試結果，測試點 A 之記錄如圖 2-9 所示、測試點 B 之記錄如圖 2-10 所示。經歸納可得測試點 A 之誤點漏失率為 21.9%、確定漏失率為 18.8%，故成功率為 63.4%；測試點 B 之誤點漏失率為 19.3%、確定漏失率為 15.8%，故成功率為 67.9%。另可觀察到集中漏失狀況，將於今年度計畫進行更進一步評析。



圖 2-7 107 年度採用 NB-IoT 模組接線配置圖與現地實測照片

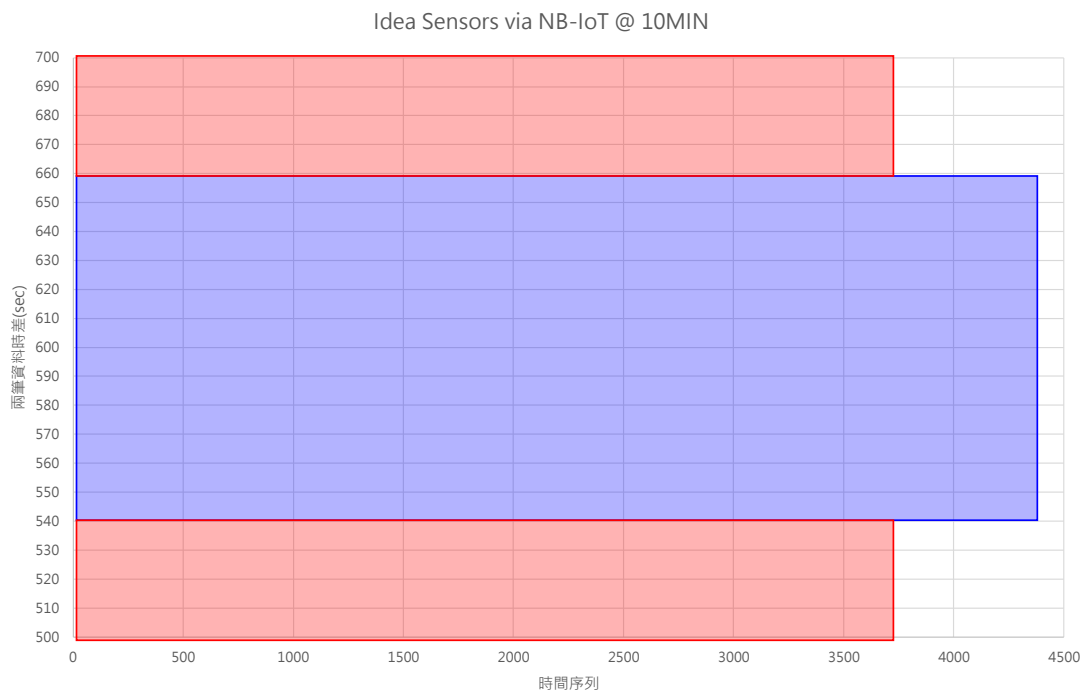


圖 2-8 理想狀況下為期 30 天以 10 分鐘傳送 1 次之資料分布(藍色)與漏失區(紅色)

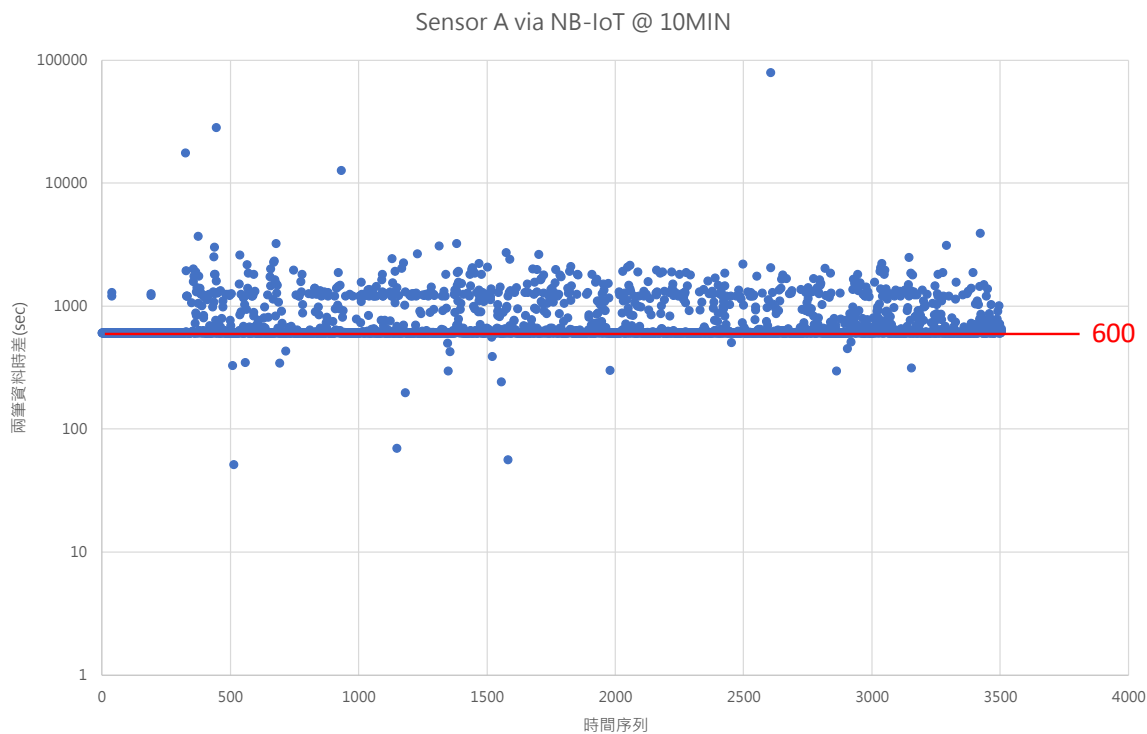


圖 2-9 NB-IoT 現地測試點 A 之記錄

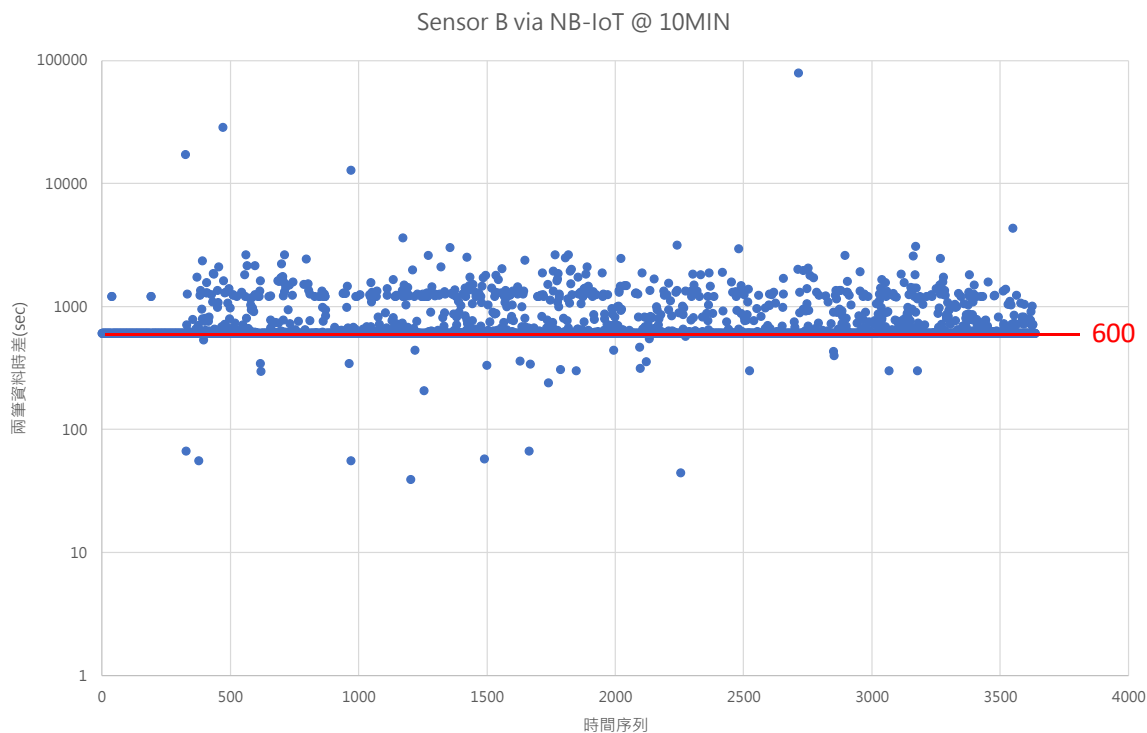


圖 2-10 NB-IoT 現地測試點 B 之記錄

二、 108 年度計畫回顧

在 108 年度計畫「建置坡地與土石流防災監測系統低功耗廣域網路之可行性研究」研發成果中，初期為克服現地氣候干擾，採用工業電腦為資料橋接傳輸以及現地儲存之用，如圖 2-11 為例所示。然而其耗電相當可觀(60W)如設置於現場做為長期監測所用，勢必得使用市電或高成本之太陽能板等設備。團隊也將著手開發、尋找傳輸穩定，且電力配置較佳之 LoRa 模組，使其效能、耐久性與適用性更利於監測時使用。

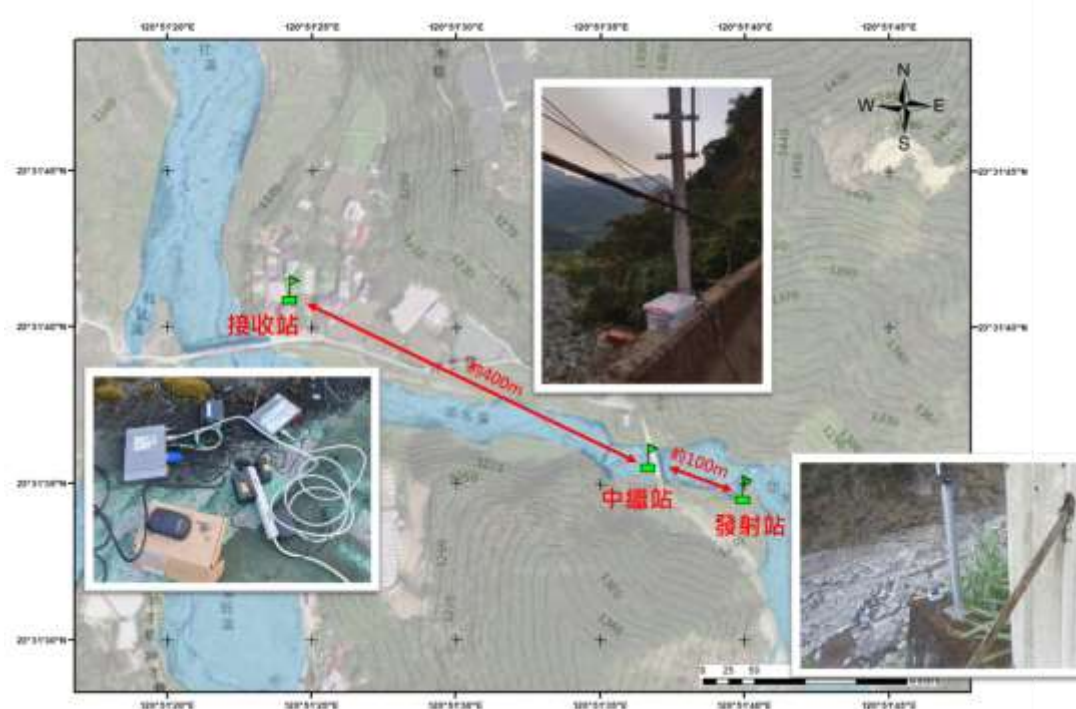


圖 2-11 南投縣信義鄉神木村 LoRa P2P 試驗配置

表 2-3 南投縣信義鄉神木村 LoRa P2P 試驗成果

	天氣	站別	障礙	成功率	漏失率
神木	晴	中繼	無	97.58	2.41
		接收	無	97.58	2.41

(一) 天線之影響

團隊目前採用增益比分別為 3dBi、5dBi 以及 9dBi 三種常用天線於 LoRa 傳輸，在 108 年度計畫中也將三種天線於相同環境下進行傳輸測試，如圖 2-12 所示。在測試結果比較下，發現並非使用增益越高之天線，資料傳輸漏失率就會降低，且在 9dBi 天線甚至完全無法通訊，因此本團隊推測其原因可能為增益之後天線傳輸的有效範圍改變(圖 2-13)，導致接收站之位置無法通訊，以及在幾次試驗中，設站位置位於濃密樹林中，進而導致傳輸失敗。

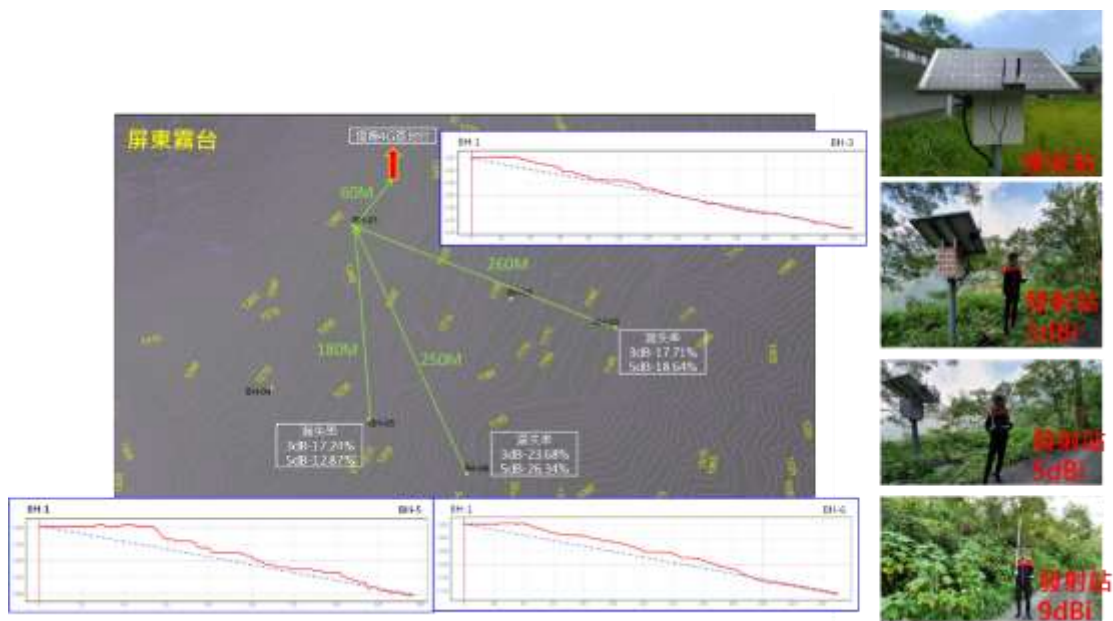


圖 2-12 屏東縣霧台鄉進行 LoRa 天線傳輸測試

表 2- 4 屏東縣霧台鄉進行 LoRa 天線傳輸測試

	與BH-1距離(m)	地形無法通視度	天線	平均RSSI	平均SNR	漏失率
BH-3	260	低	3dBi	-115.38	4.64	17.71%
			5dBi	-113.82	5.37	18.64%
BH-5	180	高	3dBi	-115.36	4.58	17.24%
			5dBi	-111.11	6.59	12.87%
BH-6	250	中	3dBi	-114.31	4.32	23.68%
			5dBi	-116.70	3.33	26.34%

一般認為在符合低功率傳輸之規範下，不得增加傳輸器功率時，可利用更大增益比之天線進行訊號增強與降低漏失率，然而根據第三節與第四節之結果發現，似乎與預期不符。初步推估成因可能為增益功率越大、訊號範圍越窄所致，蒐集相關資料如下：

天線增益是指：在輸入功率相等的條件下，實際天線與理想的輻射單元在空間同一點處所產生的信號的功率密度之比。它定量地描述一個天線把輸入功率集中輻射的程度。增益顯然與天線方向圖有密切的關係，方向圖主瓣越窄，副瓣越小，增益越高，如圖 2-13~圖 2-15 所示。天線增益是用來衡量天線朝一個特定方向收發信號的能力，它是選擇基站天線最重要的參數之一。一般來說，增益的提高主要依靠減小垂直面向輻射的波瓣寬度，而在水平面上保持全向的輻射性能。天線增益對移動通信系統的運行品質極為重要，因為它決定蜂窩邊緣的信號電平。增加增益就可以在一確定方向上增大網路的覆蓋範圍，或者在確定範圍內增大增益餘量。任何蜂窩系統都是一個雙向過程，增加天線的增益能同時減少雙向系統增益預算餘量。另外，表示天線增益的參數有 dBd 和 dBi。dBi 是相對於點源天線的增益，在各方向的輻射是均勻的；dBd 相對於對稱陣子天線的增益 $dBi = dBd + 2.15$ 。相同的條件下，增益越高，電波傳播的距離越遠。一般地，GSM 定向基站的天線增益為 18dBi，全向的為 11dBi。

當某種輻射源向空間輻射能量時，理想情況下能量是按球狀體散射開來，研究和實踐都發現，如果將這種能量輻射按某個方向集中發射，則能量所達到的距離以及該方向上所覆蓋的範圍都會有很大的提高。這種研究成果應用到無線通訊中就是天線的由來。而天線增益則是用於定量的描述天線把輸入功率(能量)集中輻射的程度，從通信角度講，就是在某個方向和範圍內產生信號能力的大小。

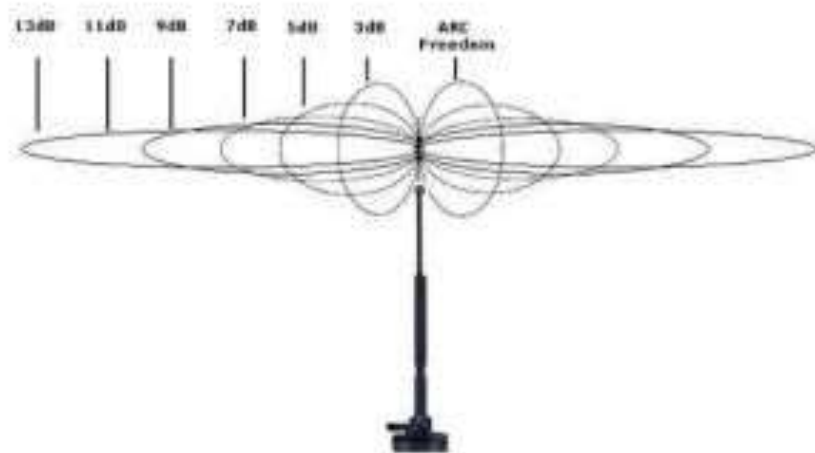


圖 2-15 不同增益比天線之傳訊範圍

天線增益不僅是天線最重要的參數之一，而且對無線通訊系統的運行品質也非常重要，增加天線增益，就可以增大某個方向上的信號覆蓋範圍，或者範圍不變，但該範圍內的信號強度增強。對於單天線而言，要想提高天線的增益，最簡單的辦法就是將天線的發射方向進一步縮窄，就是所謂的縮窄波瓣寬度。而這種方法在實際應用中對系統性能改善畢竟有限。通常直接提升頻寬和頻譜的方法也會受到各種條件制約，也不能無限制地增加。在頻寬和頻譜不變的前提下，為了提高系統的使用者容量、資料輸送量和覆蓋距離和範圍，智慧天線技術和 MIMO 技術應運而生。其中智慧天線技術利用多個天線組成天線陣列，利用天線之間的位置關係，通過向使用者發送相同的資料，相當於某個方向上集中輻射能量，從而提高天線增益，而 MIMO 技術則在收發端都採用多個天線系統，利用多徑傳播等電磁波特性，發收不同資料，提高傳輸效率的同時，實現了空間複用。從天線增益角度看，也可以認為不增大單個天線增益，而是增加天線數量，從而獲得收發天線增益乘積的效果。(以上文字改寫自天線增益：

<https://baike.baidu.com/item/%E5%A4%A9%E7%BA%BF%E5%A2%9E%E7%9B%8A>)

三、109 年度計畫回顧

(一) LoRa 傳輸測試

經過多次的測試與調整後現有中繼傳輸方式之 LoRa 模組，應用至神木國小觀測站進行傳輸測試，測試期間為 109 年 6 月 22 日至 109 年 7 月 6 日，測站分布於下圖 2-16 所示，圖 2-17 則為裝設於神木國小屋突之 LoRa 接收站。試驗時間約為 14 天，試驗結果統計如表 2-5，資料傳輸成功率整體達到 96.42%，經過與氣象局雨場資料進行比對後，可能因訊號收發之時間誤差，以及傳輸天線之搭配，導致成功率無法達到 100%。



圖 2-16 LoRa P2P 於神木村現地耐候性試驗



圖 2-17 LoRa 接收站裝設於神木國小

表 2- 5 109 年 6 月 22 日神木村 LoRa 試驗成果統計表

鋼索檢知器 To 神木國小			
實收筆數	應收筆數	成功率%	漏失率%
112611	116790	96.42	3.57

(二) 穩定性與效能較佳之 LoRa 模組

1. LoRa 模組

原有設備 LoRaWAN 及 LoRa P2P 於現地傳輸成果可能因設置位置或天線配置而有所限制，且 LoRa P2P 因傳輸原理導致有些微時間差，故將系統升級較為穩定、硬體設施更有效節省能源之 LoRa 模組，其傳輸使用之收發晶片採用 Semtech SX1276(圖 2-18)，此晶片可實現-148dbm 之精度，以及增強+20dbm 的傳輸功率，在傳輸範圍、抗干擾性以及低能耗相較傳統設計有顯著的優勢。本研究 LoRa 頻率是使用 915MHz、星狀無線網路架構，無線通訊距離於郊區之通視狀況下最大可達 15 km(LOS)，市區<2 km(LOS)之理論數據，其中 LoRa Gateway(詳細參數見圖 2-19)最多可接入 48 組 LoRa Node，

LoRa Node(詳細參數見圖圖 2-20)又可提供 2~4 通道多重訊號輸入，電力部分於每 10 秒傳輸一筆資料為例，系統可維持 10 天以上，若搭配戶外太陽能電力系統(圖 2-21)，將可長時間於現地進行傳輸而不間斷。傳輸天線部分採用 902-928MHz,5dbi 之 915MHz 天線，此為 LoRa 常用頻段，且中心頻率為 915MHz，使用專用頻段天線較能集中並節省能耗，達到最佳的傳輸效率。



Features

- LoRa Modem
- 168dB maximum link budget
- +20dBm - 100 mW constant RF output vs. V supply
- +14dBm high efficiency PA
- Programmable bit rate up to 300kbps
- High sensitivity: down to -148dBm
- Bullet-proof front end: IIP3 = -11dBm
- Excellent blocking immunity
- Low RX current of 9.9mA, 200nA register retention
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 61Hz
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa and OOK modulation
- Built-in bit synchronizer for clock recovery
- Preamble detection
- 127dB Dynamic Range RSSI
- Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC
- Packet engine up to 256 bytes with CRC
- Built-in temperature sensor and low battery indicator

圖 2-18 本計畫採用 LoRa 模組使用收發器規格

Wireless characteristics	
Chipset	Semtech SX 1276
RF data rate	250 kbit/s
Frequency band	902 - 928 MHz
Channels	27
TX Power	20dBm
Wireless sensitivity	-144 dBm
USB,RS-232/485 Serial Port	
Baud rate (Default)	9600 bps
Data bits	8
Stop bits	1
Parity	None
Handle memory	
Max. handle LoRa Sensor Device	48
Active push data	No
Datalogger	
Full 48 LoRa Sensor Device Storage Capacity(Arrays)	16000
Real Time Clock	Yes
Power requirements	
Power supply	9 to 35 V
Idle	38mA@12 VDC
Work	40mA@12 VDC
Physical characteristics	
Dimensions (Not include Antenna)	148 x 30 x 110 mm

LoRa-Gateway



圖 2-19LoRa Gateway 無線閘道器規格

Analog sensor input	
Number of channels	2 differential channels
Input ranges	±5 V
ADC resolution	0.0001 VDC
ADC accuracy	16 Bit
Rain gauge sensor input	
Number of channel	1 channel
Thermistor sensor input	
Number of channel	1 channel (2 wires)
Temperature range	3K Thermistor
Sensor power support	
Voltage Output Maximum (100 mA)	5.0 VDC
LoRa Wireless characteristics	
Chipset	Semtech™ LoRa SX1276
RF data rate	250 kbit/s
Frequency band	902 - 928 MHz
Channels	27
TX Power	2/4/6/8/10/12/14/16dBm_20dBm
Antenna (Standard)	2 dBi
Transmission Range (LOS)	Up to 15 km
Internal battery power	
Type	3.3V LiFePO4 3200mAh
Voltage range	3.0 - 3.5 V
Power consumption	
Idle	20uA@3.3 VDC(Support with 10mA sensor)
Work	<20mA@3.3 VDC(Support with 10mA sensor)
Battery life	
1 min sample interval(with Sensor)	Up to 3 month (1 x 3.3V 3200mAh LiFePO4 Battery)
External power charge	
USB	5V
Solar power	5 V (Max. 6.5 V input)
Physical characteristics	
Dimensions (Not include Antenna)	118 x 40 x 140 mm



圖 2-20 LoRa Node 無線感測節點規格



圖 2-21 搭配太陽能模組之 LoRa Node

2. 控制系統與介面

後續使用之 LoRa 模組可將裝置連接電腦後，直接修改站點名稱、調整傳輸頻率、回傳間隔以及 LoRa 相關基本參數(如圖 2-22 所示)，數據資料亦可經由電腦進行傳輸、檢視、刪除等功用，其容量約可儲存 16,000 筆，如資料過多則由第一筆資料進行覆寫，資料格式說明如下：

(1). LoRa Gateway 上資料範例如下(共 5 組 LoRa-AI,最多 48 組):

#0030404917052308040205003AD2-00202-002520000021923331-085,007AD2-00172+001

470000021923328-041,006AD2-00268-002040000021923334-091,005AD2-00177-00183000

0021923330-113,004AD2+00226-001710000021923335-085,054\r

表整批資料字頭

003 表LoRa Gateway 之Address

04049 表LoRa Gateway Datalogger 內資料記錄序號,最大16000,大於前述後以循環顯示

170523 表2017/5/23

080402 表08:04:02

05 表Gateway 上有收到5 組LoRa Node 資料,最大48

054 Gateway 內部運用字串,不用理會

\r 表整批資料字尾

每次收到資料需有字頭及字尾,資料才算完整,否則需重新下命令要資料

(2). 整批資料說明如下:

以下表5 組LoRa 資料:

0030404917052308040205003AD2-00202-002520000021923331-085,007AD2-00172+0014

70000021923328-041,006AD2-00268-002040000021923334-091,005AD2-00177-001830000

021923330-113,004AD2+00226-001710000021923335-085,054

(3). 單筆資料(共 36 byts)格式說明如下:

007AD2-00198+002030001521923328-040,

007 表LoRa 之ID

AD2 表LoRa-AI 模組之代號

-00198 表AI0 電壓資料，需除以10000， $-00198/10000=-0.0198$ VDC

+00203 表AI1 電壓資料，需除以10000， $+00203/10000=0.0203$ VDC

00015 表雨量計計數資料，需乘以雨量計轉換系數後即為單位時間內之雨量(mm)

21923 表量測得3K Ω Thermistor 電阻測值，可參考溫度計廠商提供之公式加以計算，

或參考下列公式計算溫度(Degree C)測值

溫度 = $-22.583562 * \ln(21923) + 206.259321$

328 表電池電力，需除以100， $328/100=3.28$ VDC

-040 表LoRa RSSI 訊號強度,以整數表示,-040=-40

，表 LoRa 資料間隔標記



圖 2-22 LoRa 控制介面示意圖

本系統亦可依據各類監測系統客製化，如 LoRa 模組於現場蒐集資料後，事先做初步的運算，再將其資料回傳，並可視需求繪製圖表以供檢視。

監測資料經各站 LoRa Node 傳輸至 Gateway 後，可依照不同的傳輸方式將感測器資料回傳至主端，如 4G、有線網路或 NB-IoT 上傳至雲端及伺服器，作為後續分析、預警等。本架構可以使資料傳輸方便、快速，亦更加穩定，圖 2-23 為 LoRa 監測系統配置圖。



圖 2-23 LoRa 監測系統配置示意圖

3. 傳輸原理與方法

LoRa 傳輸方法為利用發射端(Node)所傳送之電磁波經由調頻天線傳出，再由接收端(Gateway)接收後並記錄，而 Gateway 可同時接收多個 Node 所傳出之訊號，但因傳輸的時間會因為距離、介質和環境而有些微變化，導致 Gateway 無法於發射訊號到達時精準進行接收動作，故其採用被動接收方式持續記錄，以時間間隔做為記錄頻率，舉例來說：假設 Node 發射頻率為每 10 秒鐘一次，Gateway 記錄頻率是接收到後每 1 分鐘紀錄一次，因此在無漏失情形下會收到 6 筆，也就是每分鐘會有 6 次的傳輸量，而資料上會取最後一筆接收到的數值紀錄，如下圖 2-24 所示。

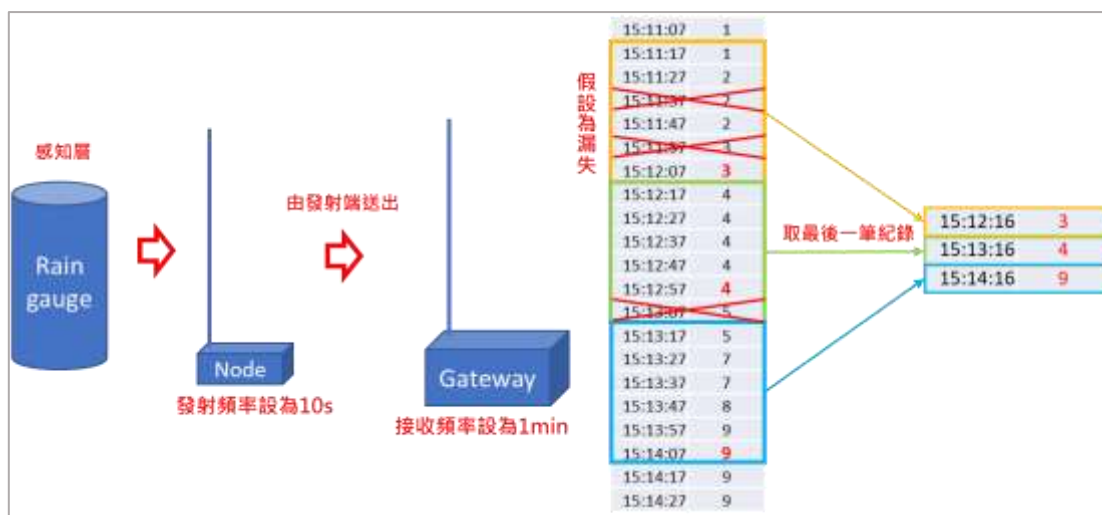


圖 2-24 LoRa 擷取資料範例

(三) 現地試驗結果

在校內以及鄰近區域進行 LoRa 傳輸的穩定性、耐候性以及收發頻率調整之初步測試，成果顯示植被、人工構造物以及地形的阻礙或反射會直接的影響 LoRa 傳輸的品質，降雨部份則可能因設置地點環境條件而有所不同，仍須以長期現地傳輸測試結果進行分析。因此將此套系統放置於傳輸需求較長之現地邊坡，並分別進行短期以及長期之傳輸測試，長期測試部分也加入電池電力損耗分析，以了解發射站在現場可能多霧或陰天的氣候條件下，電力是否足以持續供應。

1. 神木村(長期)：

在經耐候與電力部分進行測試與改良後，將對整套系統進行長期測試，地點同樣位於神木村，頻率為 10 秒發 1 分鐘收，現場配置圖以及照片如下圖 2-25 所示，以完整觀察此處氣候條件下整體運作是否可行。發射站部分，本團隊使用 60W 太陽能板經由充電控制器回充電池後，在供應給 LoRa Gateway 以及將資料回傳至線上之 4G 模組，整體系統除太陽能外，其餘電池外接等裝置放置儀器箱內部。接收站部份，將其放置於 3W 太陽能板之儀器箱內，同樣回充至電

池後再供應予主機，此次測試時間為 109 年 9 月 8 日至 109 年 10 月 8 日，約為一個月。

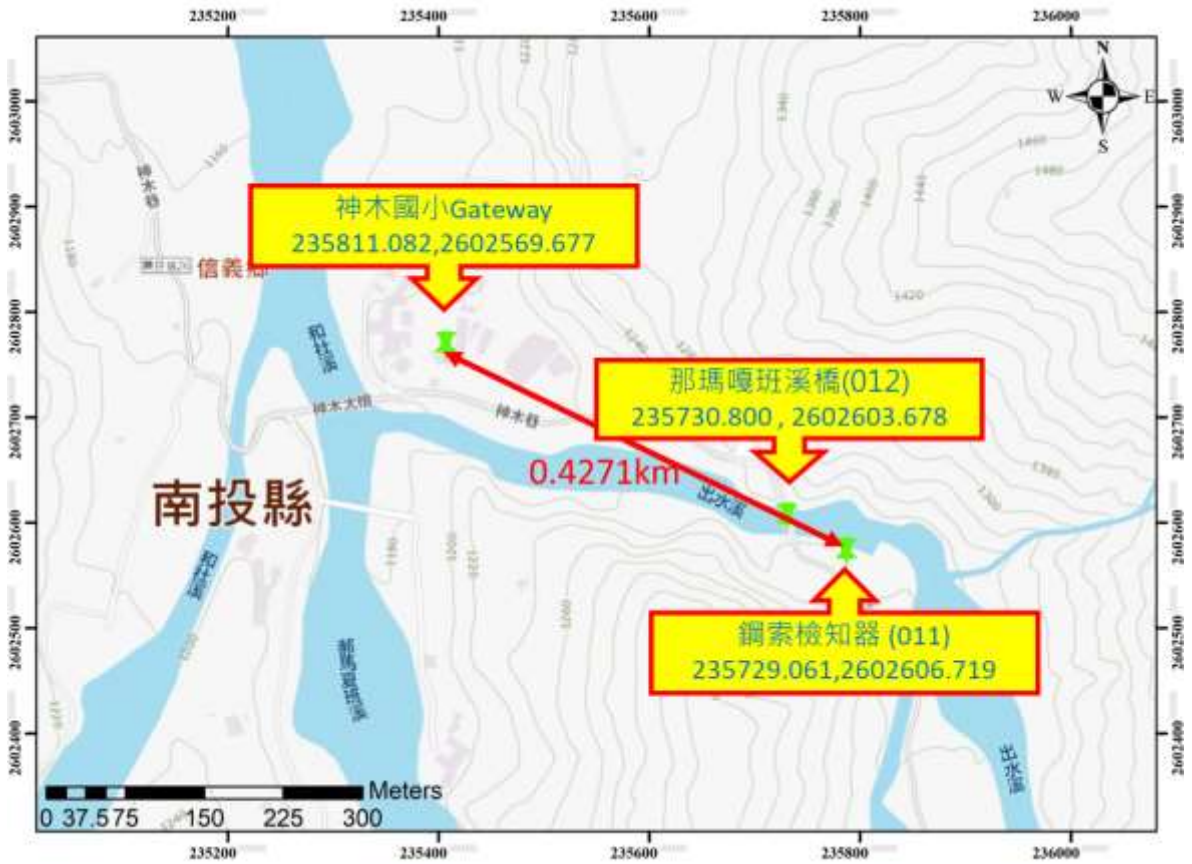


圖 2-25 LoRa 神木村長期傳輸測試配置圖

測試結果分為電力耗能、傳輸成功率與訊號強度 RSSI 兩部分進行說明，圖 2-26 為現場兩站發射站之電池電量變化圖，其中鋼索檢知器發射站 011 因位於較無遮蔽處，故於日間時電池電量較為充足，而那瑪嘎班溪橋 012 即使未在部分遮蔽情形下，電力仍穩定維持在 3.4V 至 3.45V 之電壓，顯示太陽能供應非常穩定，有利於進行更長時間監測。

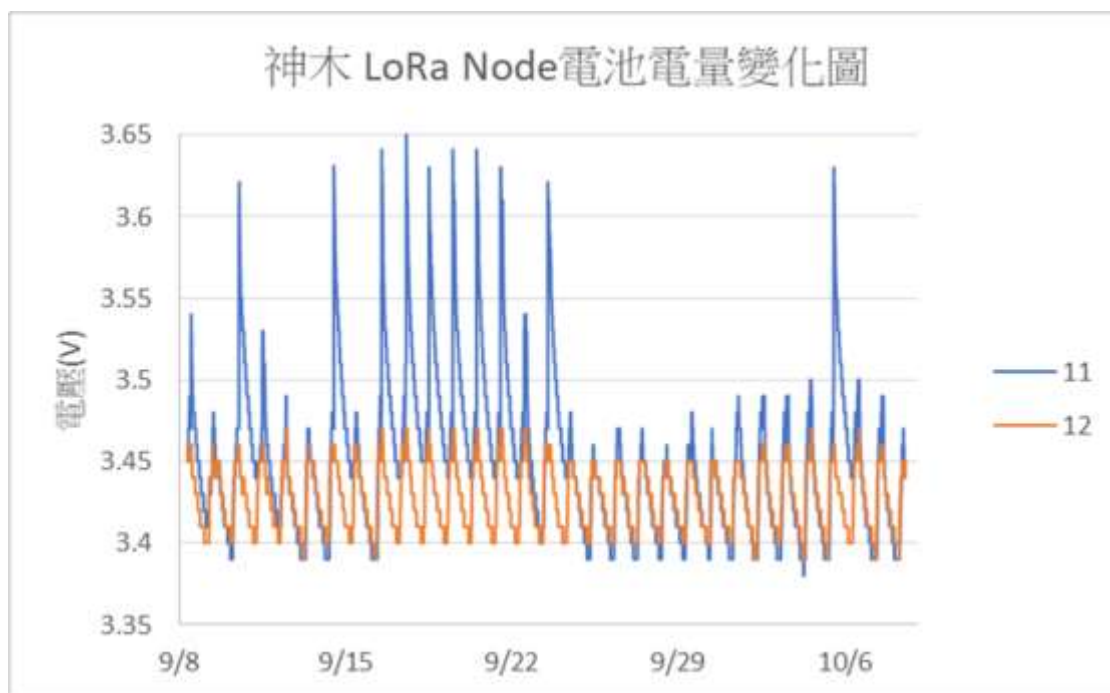


圖 2-26 LoRa 神木村長期傳輸測試 Node 電量變化圖

在資料接收成功率部分，表 2-6 中可以看出在 10 秒鐘發 1 分鐘收的頻率下，可完整接收兩站所有資料，皆達到 100% 的成功率，毫無漏失。

表 2-6 LoRa 神木村長期試驗傳輸率成果

011	應到筆數	實到筆數	成功率	失敗率
	8688	8688	100.00	0.00
012	應到筆數	實到筆數	成功率	失敗率
	8688	8688	100.00	0.00

而在訊號強度 RSSI 部分，圖 2-27 中顯示，兩者 RSSI 大多高於 -100dbi，屬傳輸穩定，而鋼索檢知器 011 站之訊號強度明顯較優且起伏較小，由裝設地點研判，012 是架設於周圍有電杆以及其他監測設備旁，且並無明顯高出其他設備，造成其干擾與訊號強度較低。另外本研究也將現地之降雨資料，與 RSSI 進行對比，9 月 8 日、9 日以及 16 日的次降雨事件中，降下了約 5-20mm 之時雨量，而由對比

途中可以明顯看出在降雨發生時，兩站的 RSSI 有大幅度降低，顯示降雨對於 LoRa 傳輸還是有明顯影響(圖 2-28)。

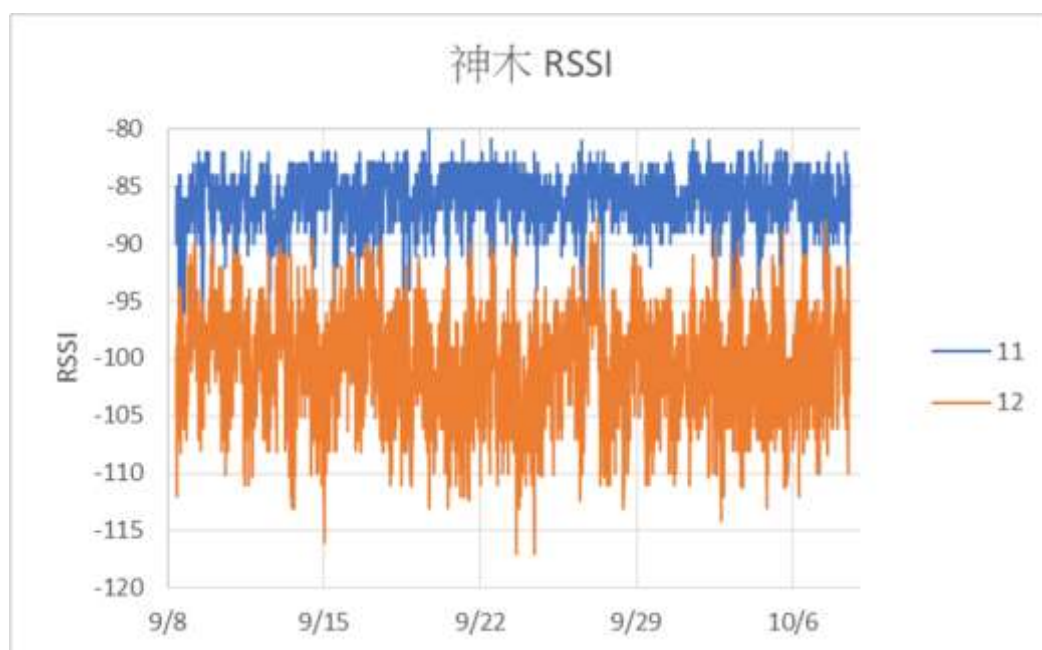


圖 2-27 LoRa 神木村長期試驗 RSSI 歷線圖

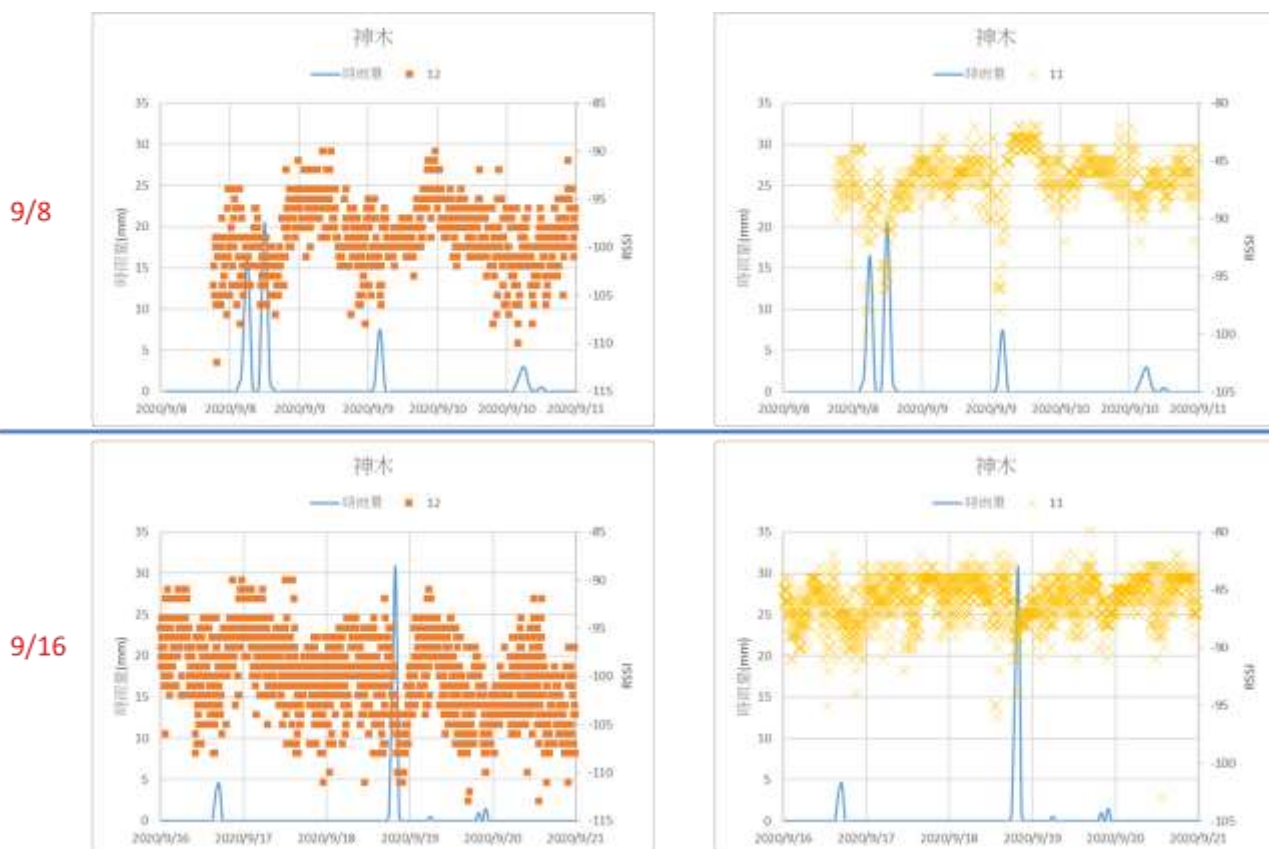


圖 2-28 LoRa 神木村長期試驗 RSSI 與時雨量比對圖

2. 神木村-祝山(長期)：

經由長期設置於神木村所得之 LoRa 傳輸成果，可穩定且不漏失資料地進行傳輸，因此本團隊也再次將接收站移至祝山停機坪進行長期傳輸試驗(圖 2-29)，發射站則維持於鋼索檢知器與那瑪嘎班溪橋上，觀察經由調整頻率為 10 秒發 1 分鐘收的條件下，成功率是否能顯著的提升，另外也藉此持續驗證降雨對於 RSSI 的變化情形。

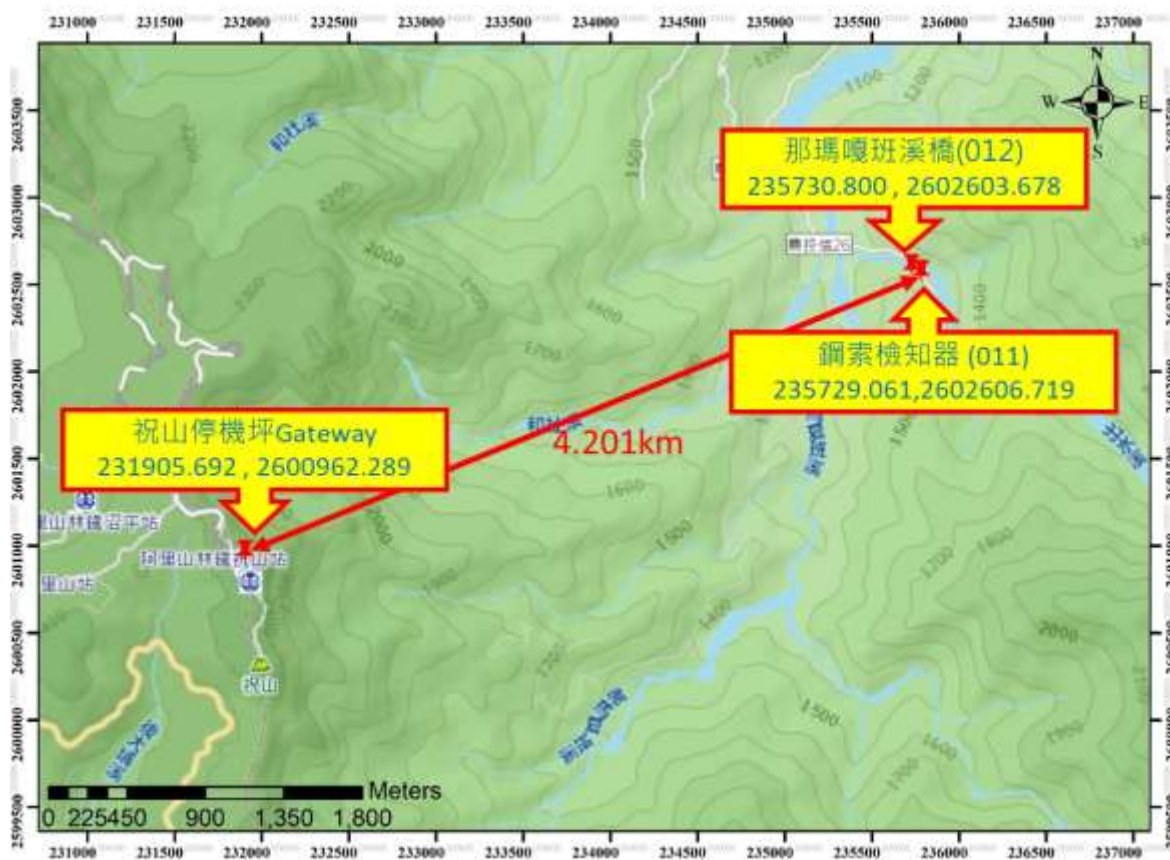


圖 2-29 LoRa 神木村-祝山長期傳輸測試配置圖

在測試結果中(表 2-7)，成功率依舊為鋼索檢知器之 011 站較佳為 85%，而那瑪嘎班溪橋的 012 站也有達到 69%的成功率，有此可證在適當的調整頻率下，雖使資料間隔時間增加，大仍可大幅度的提升其傳輸的成功率。

表 2-7 表 3-8 LoRa 神木村-祝山長期試驗傳輸率成果

011	應到筆數	實到筆數	成功率	失敗率
	6370	5418	85.05	14.95

012	應到筆數	實到筆數	成功率	失敗率
	6376	4419	69.31	30.69

另外在 RSSI 分析部分，仍為鋼索檢知器 011 較為穩定，而圖 2-30 中可觀察到強度已經非常接近-130，似乎低於-130 即無法傳送。在將與量資料納入比較，因兩地相距逾 4km 之遙，高程變化也非常明顯，天氣情況可能有所不同，故分別使用阿里山雨量站、神木雨量站對兩站之 RSSI 結果進行比對。圖 2-31 與圖 2-32 中 10 月 11 日之降雨事件中，對 011 站似乎無明顯影響趨勢，其中阿里山與神木兩雨量站所量測到的時雨量也明顯不同，而 10 月 21 日降雨事件則有明顯資料漏失情況，另外對於 022 站，則對兩場降雨事件皆有相對應的漏失情形，此結果也證明降雨對 RSSI 有明顯影響。

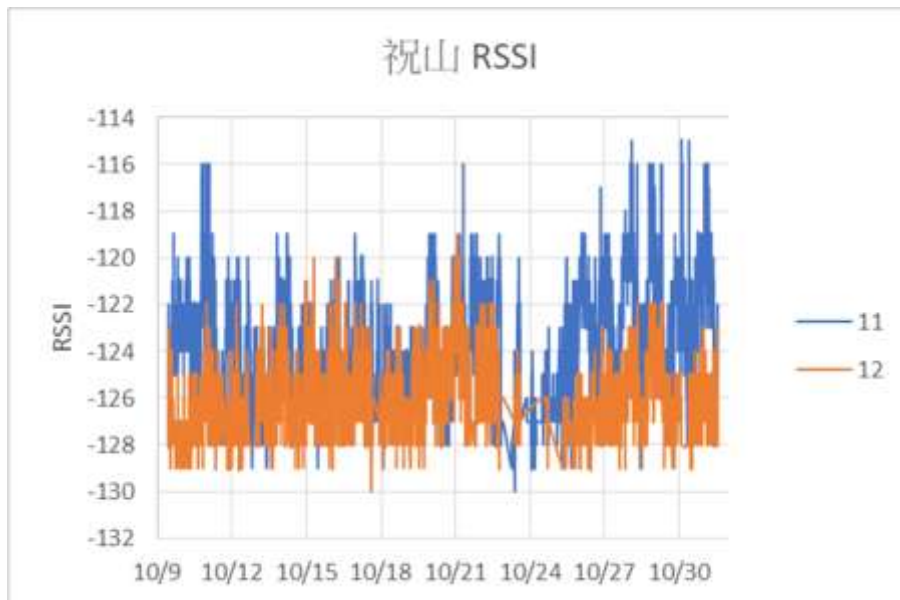


圖 2-30 LoRa 神木村-祝山長期試驗 RSSI 歷線圖

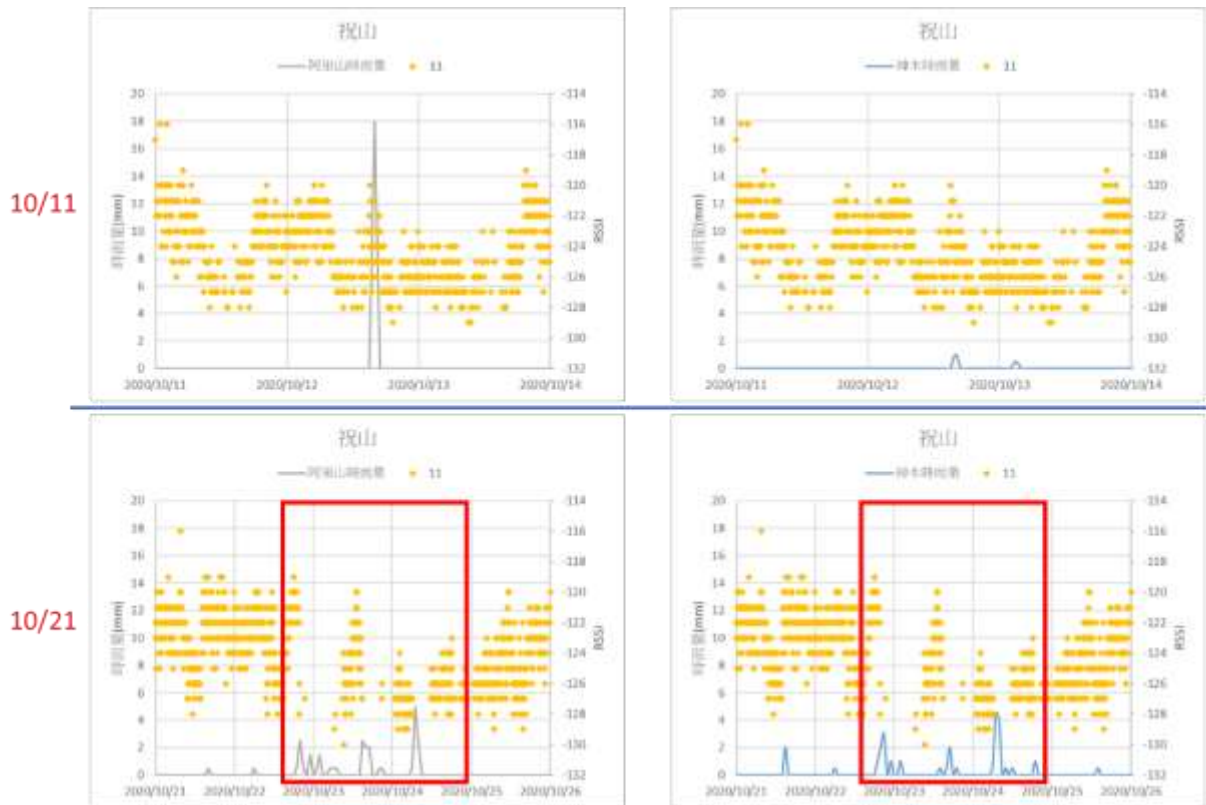


圖 2-31 LoRa 神木村-祝山長期試驗 011 站 RSSI 與時雨量比對圖

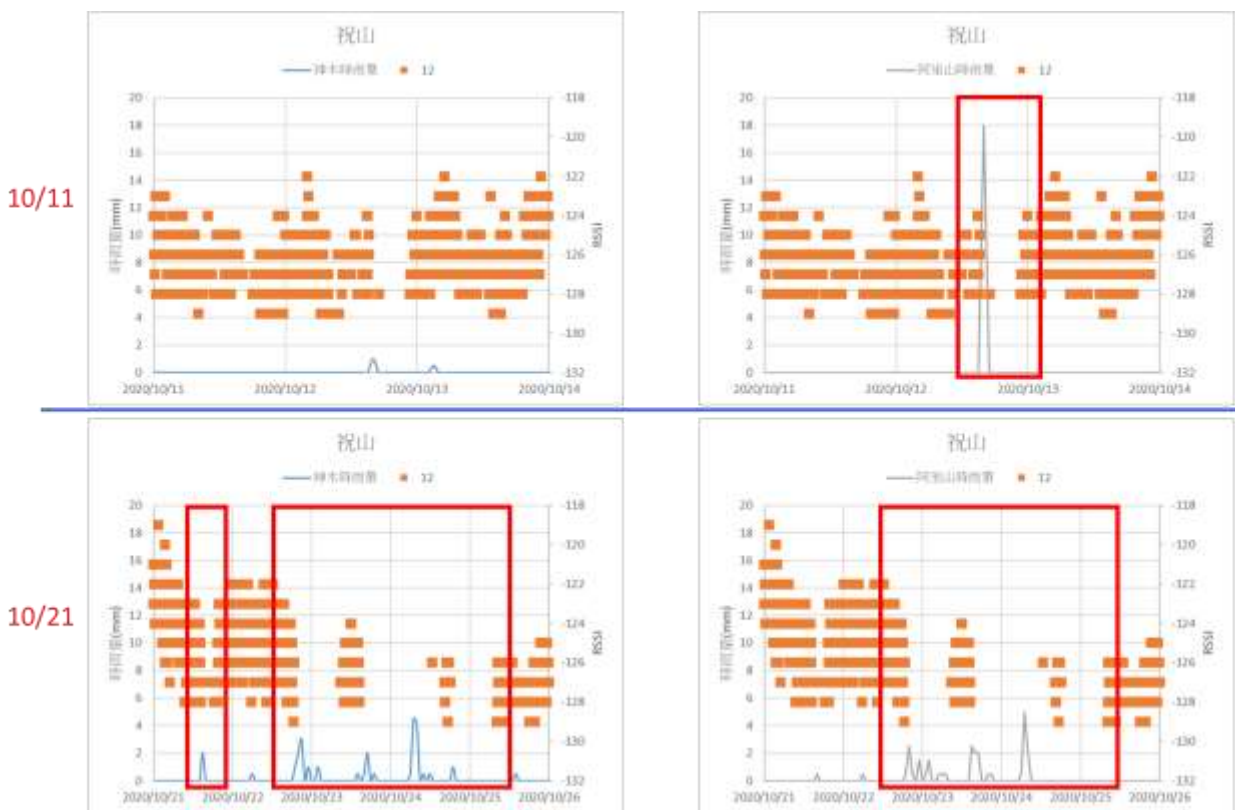


圖 2-32 LoRa 神木村-祝山長期試驗 012 站 RSSI 與時雨量比對圖

(四) NB-IoT

NB-IoT 在經過前期計畫先後於南投縣信義鄉神木村、宜蘭縣大同鄉四季、英士部落與新北市觀天下社區測試後，結果顯示其傳輸品質與當地電信業者基地台訊號強弱有非常顯著的影響，因此選用遠傳電信與中華電信，至神木村、祝山以及南方澳測試兩家電信公司是否應用 NB-IoT 之頻段。

1. NB-IoT 於神木村測試結果

當期計畫先於神木村神木國小與那瑪嘎班溪橋兩處進行傳輸測試，圖 2-33 為 109 年 7 月 21 日於那瑪嘎班溪橋測試照片。NB-IoT 選用模組為 SIMCOM SIM7020(圖 2-34)，其具有多種傳輸介面，顯著提升應用的靈活性，此外專為在各種無線電傳播條件下需要低延遲，低傳輸量數據的應用而設計。由於性能，安全性和靈活性的結合，此模組非常適合 M2M 應用，例如計量、資產追蹤、遠程監控、電子醫療等。此次試驗設置傳輸間隔為每 10 分鐘一筆，比較兩者之漏失率與延遲時間，現場由團隊成員手機訊號判斷遠傳電信訊號優於中華電信，故初步認為遠傳效果可能較佳。



圖 2-33 109 年 7 月 21 日那瑪嘎班溪橋 NB-IoT 傳輸測試

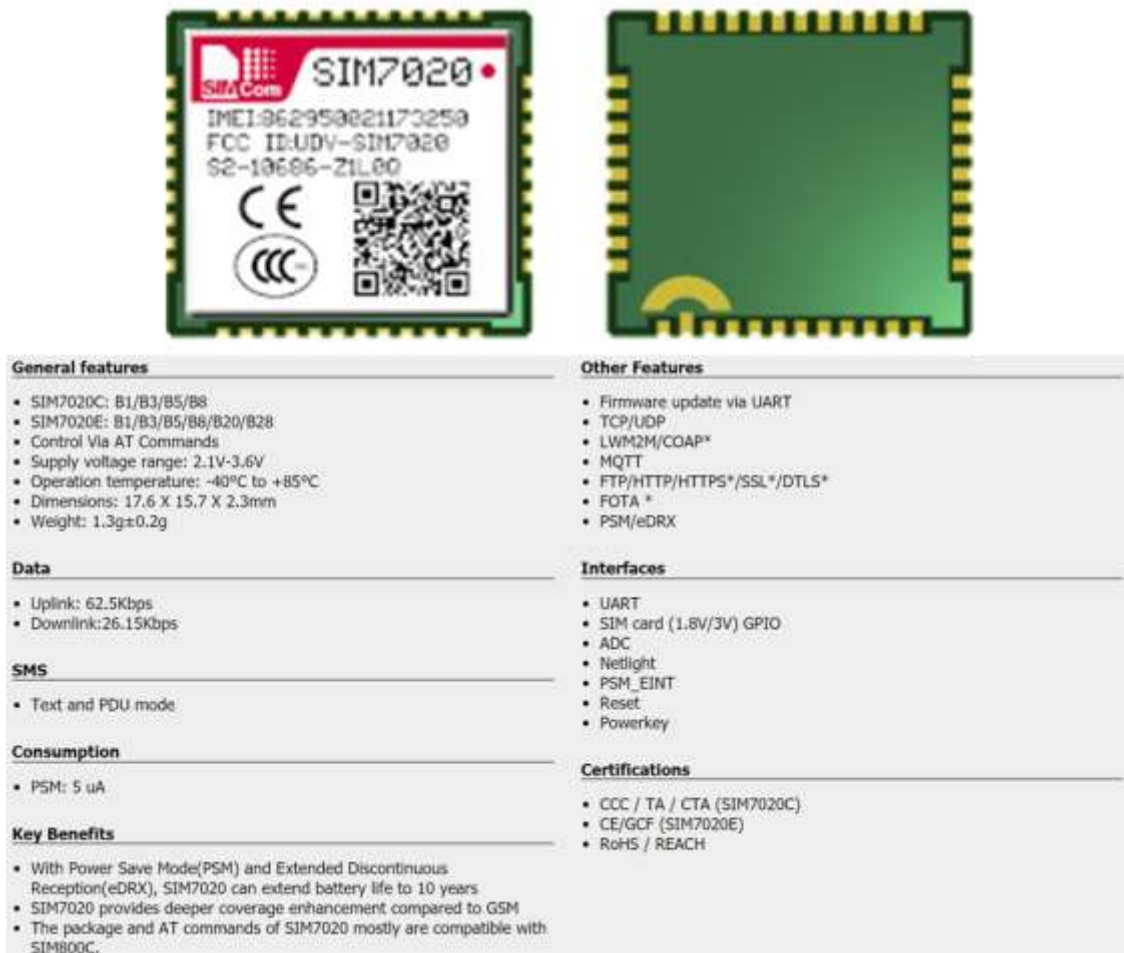


圖 2-34 本計畫所採用 NB-IoT 模組及其規格

測試結果依據遠傳與中華兩家電信，以及神木國小與那瑪嘎班溪橋兩處地點整理出圖 2-35 至圖 2-38 四張圖表，其中垂直軸為資料傳輸間隔時間差，傳輸延時在兩家電信中都介於 2 分鐘內，遠傳電信在兩處皆無資料漏失量，反之中華電信在那瑪嘎班溪橋漏失兩筆，故由此結果研判遠傳之 NB-IoT 較適用於此區域，惟傳輸訊號較微弱，延遲時間長達 2 分鐘，如使用回傳頻率較高之監測設施，仍須考量此部分是否影響後端之分析與預警。

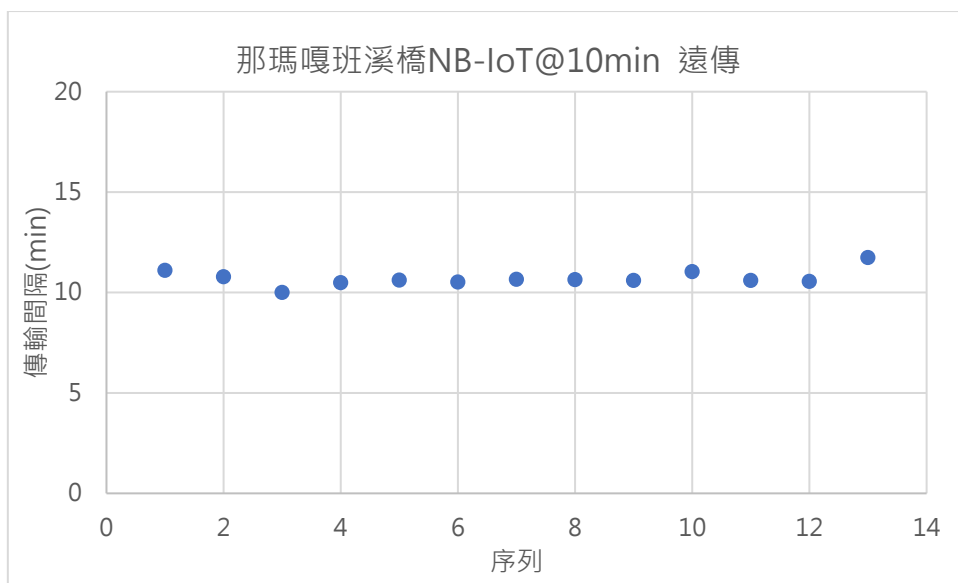


圖 2-35 遠傳電信 NB-IoT 於那瑪嘎班溪橋傳輸時間間隔比對圖

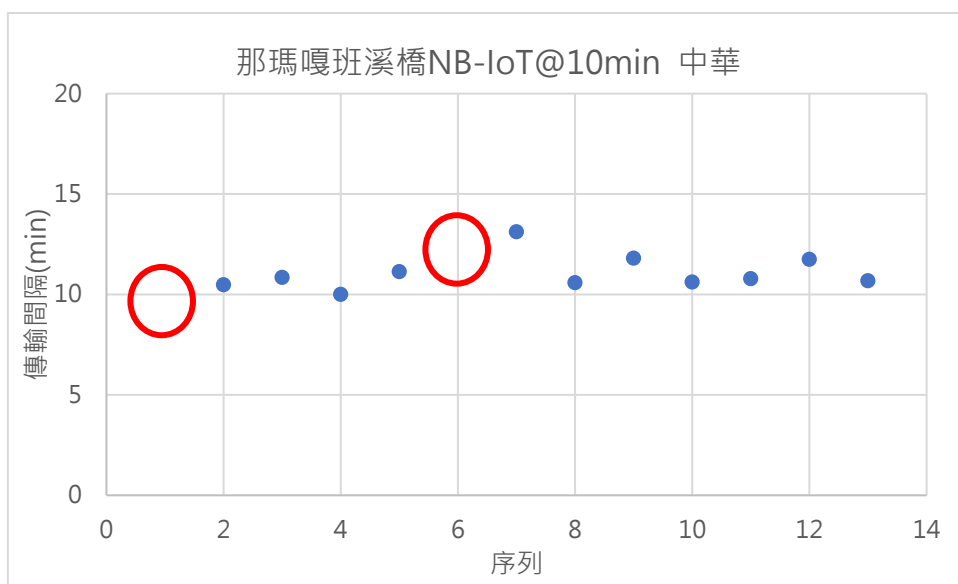


圖 2-36 中華電信 NB-IoT 於那瑪嘎班溪橋傳輸時間間隔比對圖

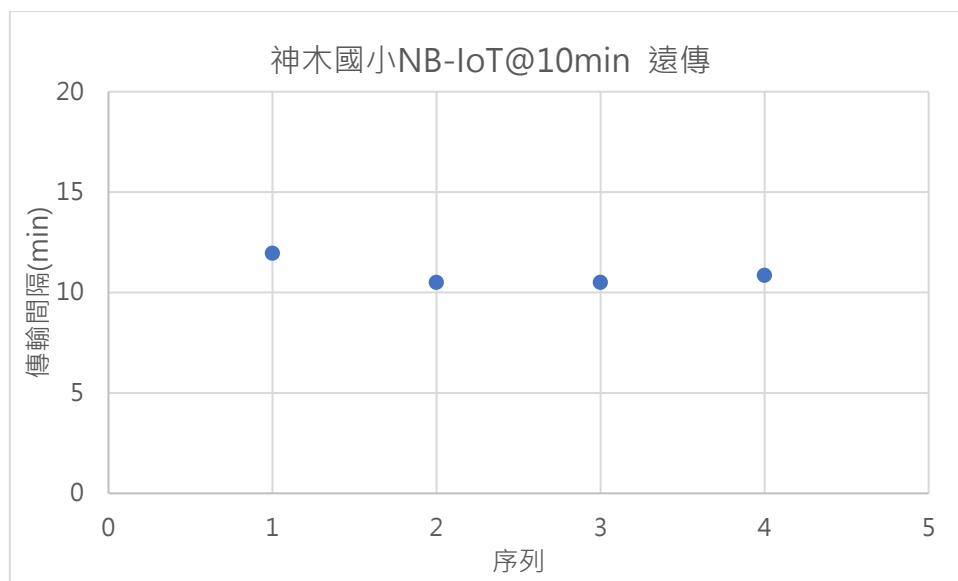


圖 2-37 遠傳電信 NB-IoT 於神木國小傳輸時間間隔比對圖

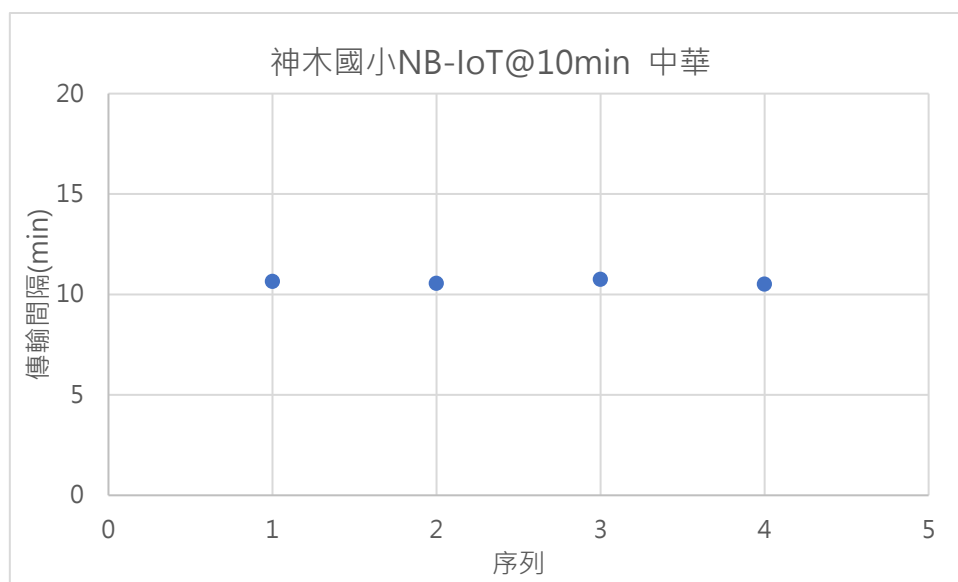


圖 2-38 中華電信 NB-IoT 於神木國小傳輸時間間隔比對圖

6 分鐘多，另外值得一提的事，此區域之 NB-IoT 傳輸成功率中華電信明顯高於遠傳，中華電信為 93.52%，遠傳則僅 44.32%。

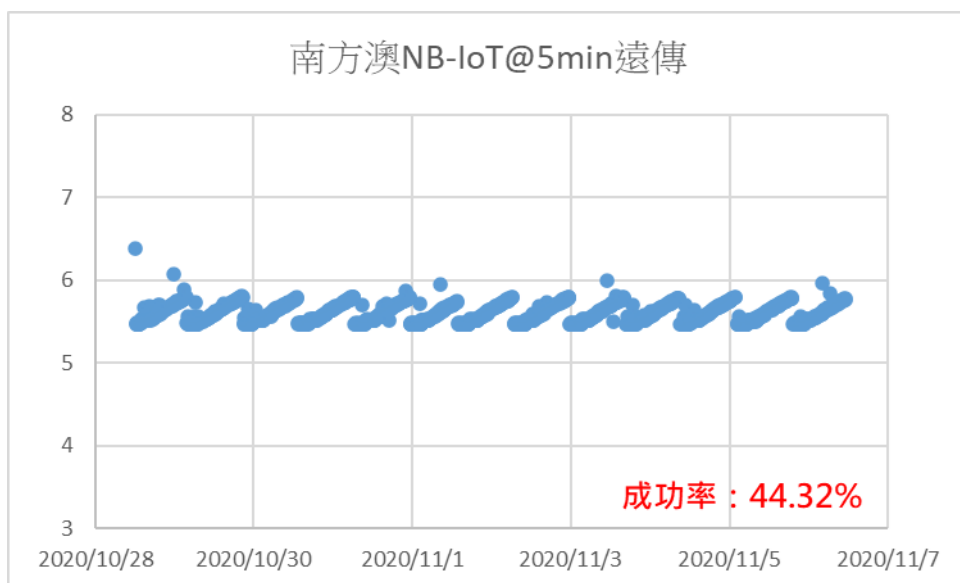


圖 2-43 遠傳電信 NB-IoT 於南方澳傳輸時間間隔比對圖

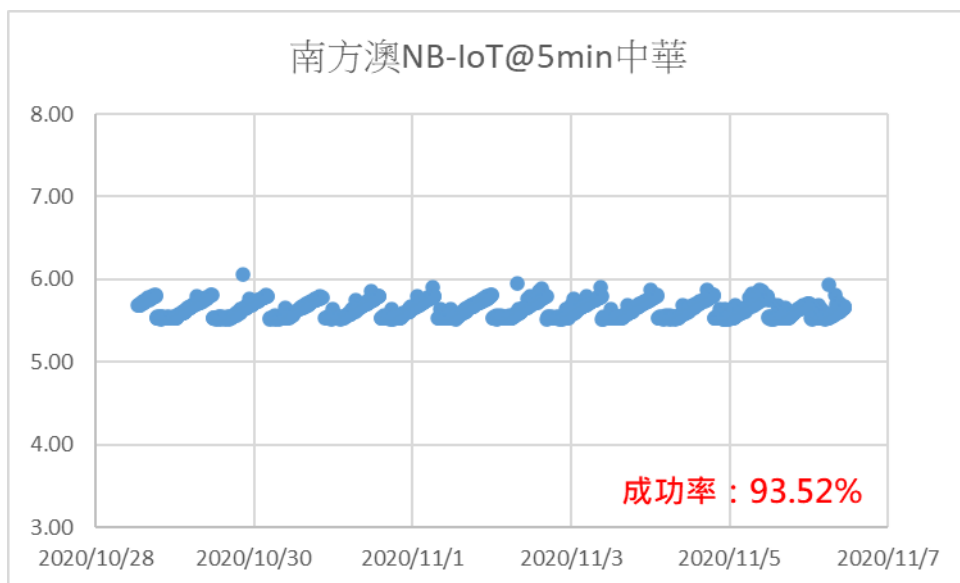


圖 2-44 中華電信 NB-IoT 於南方澳傳輸時間間隔比對圖

第三節 研究區域簡介

根據水土保持局 109 年公布的土石流潛勢溪流資料顯示，全台目前共有 1726 條土石流潛勢溪流，其分布於 159 個鄉鎮、690 個村里。為了強化土石流防災監測及分析土石流產生的相關因子，以提升土石流預警能力。自民國 91 年起，水土保持局在土石流發生的高潛勢溪流重點區建置固定式土石流觀測站，利用各式觀測設備（攝影機、鋼索、雨量計、地聲及土壤含水量計等），執行現地觀測任務及掌握周遭場域的環境狀況。民國 88 年 921 大地震後中部地區山崩地滑更形嚴重，加上民國 90 年至 91 年間桃芝及納莉颱風侵襲，造成台灣部分地區地層鬆動、地質條件改變，提高了引發土石流事件發生的頻率及規模。因此水土保持局於民國 91 年時，首先建置白布帆、九份二山、神木、上安、郡坑及豐丘 6 處土石流觀測示範站。上述各式儀器以有線（非對稱數位用戶線路，ADSL）或是無線網路（衛星通訊或是 4G）傳輸方式，透過各固定式觀測站接收電腦主機將即時觀測數據回傳至土石流防災應變中心進行研判。並視觀測區域內儀器數值是否超過警戒值，及依據攝影機影像或是相關儀器（如鋼索檢知器及地聲檢知器）判斷土石流或崩塌災害的產生，發出警戒訊息告知相關應變人員。

然而這些場域經常遭受有線或無線網路的限制，傳輸效果不如預期穩定，導致觀測資料無法順利完整及時傳至雲端伺服器供相關管理或治理決策判斷參考。

神木土石流示範站在過去觀察到較多之土砂事件紀錄約 16 次，因此維持相關土砂運移的觀測作業與穩定性相當重要，該處之解說牌如圖 2-45 所示。

109
年

神木

Shenmu
Debris Flow Monitoring Station

行政院農業委員會水土保持局
Soil and Water Conservation Bureau, COA

土石流觀測站

南投縣信義鄉神木村

兩岸地質點土砂崩塌地，民國 90 年因 921 地震裂縫開裂，最大位移量約 470mm，崩塌土砂流下溪，為該下游居民生命財產威脅，此崩塌地係由崩塌地帶所造成，導致雙五子溪流域水質污染，雙五子溪上游及下游流域均有石崩落等災情發生，民國 93 年 7 月發生崩塌在神木崩塌地下的 921mm 崩塌地，崩塌土石量約 250mm，發生大規模土石流，大量土石崩塌造成崩塌地，同時發生崩塌地及土石崩落等災情，迄今土石崩塌仍持續發生，雙五子溪、崩塌地、崩落區、崩落區及崩塌地等崩塌地。

Debris flow had frequently occurred at Shenmu area. In July 2004, Typhoon Faxai had brought 420 mm maximum daily rainfall that triggered debris flow and caused serious casualties and property loss to people living at the downstream. Typhoon Morakot in 2006 had brought extremely heavy rainfall. It had caused the Ajiao bridge breaks due to the high river flood. The debris brought from the upper stream had deposited at the bridge location. In July 2003, Typhoon Saola brought about 500 mm rainfall, exceeding the rainfall warning of 350 mm in Shenmu area. A large-scale debris flow occurred and a great amount of debris and boulders were flushed out. At the same time, the monitoring system sent out debris flow warnings to the disaster prevention units. Until now, the debris flow still occurred during typhoons and heavy rainfalls. The debris deposits still can be seen at the Ajiao, Ajiao, and Chushui streams.

資料傳收中心 | Data Center

接收及儲存監測站所傳回的資料，即時中心處理及上傳至資料庫，並可隨時查詢及下載資料。

CCD攝影機 | CCD Camera

接收及儲存監測站所傳回的影像，即時中心處理及上傳至資料庫，並可隨時查詢及下載影像。

雨量計 | Rain Gauge

接收及儲存監測站所傳回的雨量資料，即時中心處理及上傳至資料庫，並可隨時查詢及下載雨量資料。

地震感知器 | Acceleration

接收及儲存監測站所傳回的地震資料，即時中心處理及上傳至資料庫，並可隨時查詢及下載地震資料。

土壤含水率感測器 | Soil Moisture Sensor

接收及儲存監測站所傳回的土壤含水率資料，即時中心處理及上傳至資料庫，並可隨時查詢及下載土壤含水率資料。

崩塌感知器 | Collapse Sensor

接收及儲存監測站所傳回的崩塌資料，即時中心處理及上傳至資料庫，並可隨時查詢及下載崩塌資料。

紅外線感測器 | Infrared Sensor

接收及儲存監測站所傳回的红外線資料，即時中心處理及上傳至資料庫，並可隨時查詢及下載紅外線資料。

圖 2-45 神木土石流觀測站

一、 南投縣信義鄉神木村與嘉義縣阿里山鄉

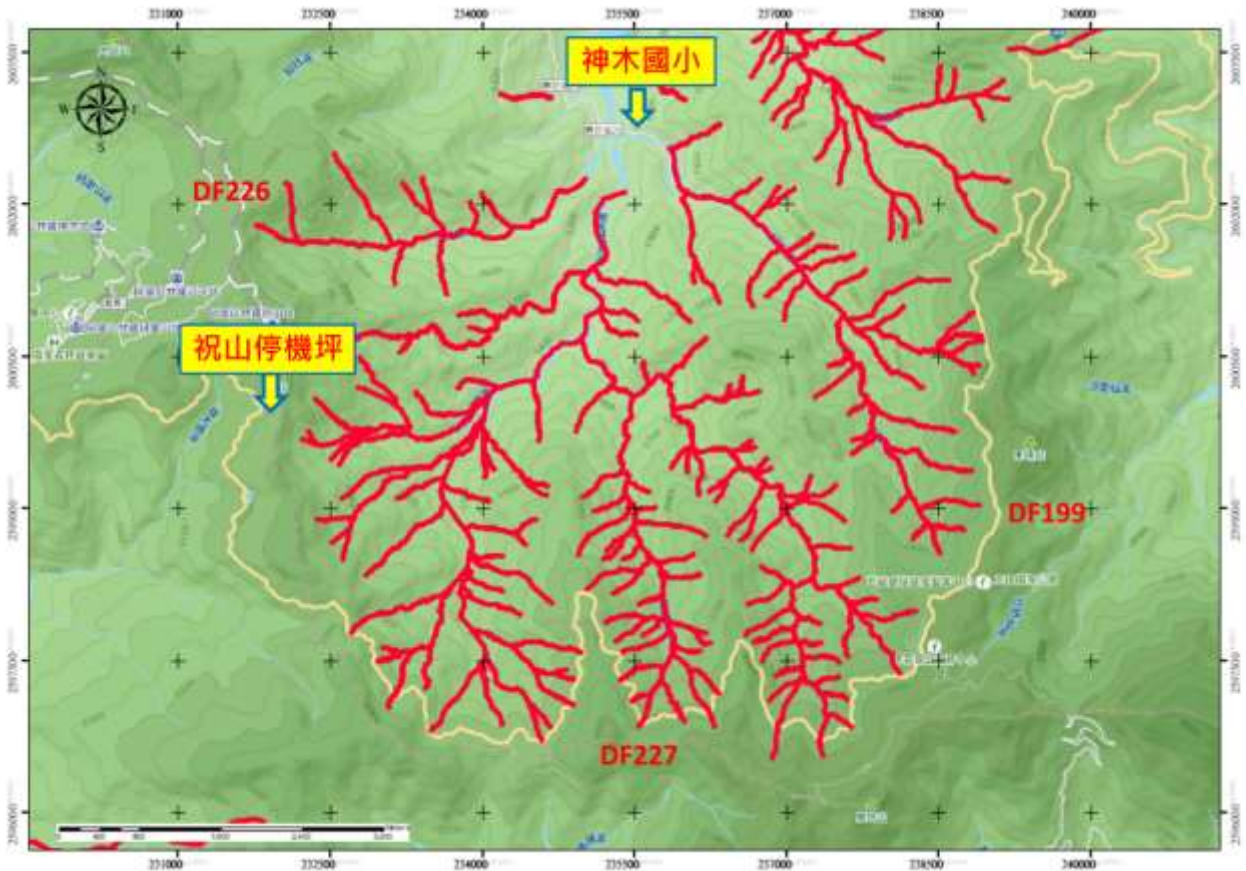


圖 2-46 南投縣信義鄉神木村區域位置圖

神木村：

南投縣信義鄉神木村，為南投水里往南沿台 21 線精豐丘、同富後，轉入產業道路神木巷即到達神木村。於民國 85 年賀伯颱風登入時，於此區域帶來 1094.5mm 最大日雨量、74mm/hr 最大降雨強度以及連續 24 小時 610.5mm 之累積雨量，造成陳有蘭溪與和社溪流出總土石 450,000 方(投縣 DF227)，而後續也經常傳出土石流災情，區域位置圖如圖 2-46，可以發現周圍土石流潛勢溪流之涵蓋範圍非常廣，其中包含和社溪(DF226)、郝馬嘎班溪(DF227)與出水溪(DF199)。圖 2-47 為本團隊於現場拍攝之測試地點，左圖為神木國小，右為出水溪鋼索檢知器設置點。



圖 2-47 神木村 LoRa 測試地點，左為神木國小，右為出水溪鋼索檢知器

嘉義縣阿里山鄉：

本研究於祝山之測試點為祝山停機坪(圖 2-48)，位於阿里山森林遊樂區內，於阿里山森林鐵路祝山站北方約 200 公尺處、南投縣與嘉義縣交界處，標高 2444 公尺，為著名觀景平台，下方即為土石流潛勢溪流 DF227。



圖 2-48 祝山停機坪

第三章 前期計畫結論與本年度計畫待克服重點

第一節 前期計畫結論

- 一、經本計畫室內試驗證明，LoRa 模組在植被之茂密程度越高處，其訊號強度 RSSI 越弱，未來如有需裝設於有植被影響處，且有一定距離下，需盡可能將天線高過植被，以減少植被對訊號的遮蔽所影響。
- 二、在多次 LoRa 現地裝設試驗中，天線的架設地點對傳輸影響甚鉅，相較於間隔距離，即使距離短，也可能因天線架設方式而造成訊號強度差。
- 三、LoRa 傳輸頻率部分，為補足接收站與發射站之間傳輸時差造成之漏失，至少須將接收頻率調整為發射頻率之兩倍，且在長距離傳輸中，適當依現場需求增加接收頻率的間隔時間，可有效提高傳輸成功率。
- 四、室內降雨對 LoRa 傳輸測試中，似乎因傳輸距離較短，無法明顯觀察出降雨對 RSSI 直接的影響，但經由長期現地測試後，可確定降雨期間將明顯降低訊號強度，而長距離傳輸時，甚至可能因此發生資料漏失，因此在設置規劃時，需評估設置地點 RSSI 是否過低，否則在降雨期間可能無法傳輸。
- 五、LoRa 長期設置試驗後，可確認本團隊之 LoRa 模組之耐候性已可應對長期監測之條件，太陽能電力供應也相當充足且穩定。
- 六、NB-IoT 部分，在目前所到之場址皆可進行此傳輸模式，為須考量與測試現場之物聯網電信何者有較佳成果，再進行設置。
- 七、NB-IoT 之傳輸延時須由現場電信訊號強弱決定，故如有傳輸時間限制的需求，建議先於現地實測後，再決定是否適合使用此模組進行傳輸。

第二節 待克服重點

- 一、LoRa 在裝設於現場進行長期試驗期間，無較大雨場事件測試對傳輸的影響，是否因此導致無法傳輸的可能，建議未來可於汛期設置更長時之 LoRa 系統，供後續使用上參考。
- 二、LoRa 與 NB-IoT 傳輸模組中，目前僅使用單純傳輸測試，未來建議嘗試與現場監測設備進行連結，方可更確切了解其電力損耗在實際應用上是否可行。

第四章 低功耗無線傳輸技術現地測試

前期計畫中，對於 LoRa 之設備進行了一系列穩定性、耐候性試驗，也初步至神木村進行長、短距傳輸測試，其試驗成果也測出此系統極限距離，且在如此長距離傳輸條件下，仍然可達到近百分之百的傳輸品質。本計畫延續前期成果，於南投神木村流域、高雄桃源明霸克露橋土石流以及桃園光華崩塌地三處進行現地裝設測試，除不同區域傳輸品質測試外，也嘗試不同感測端的適用性，本章將依序說明環境、裝設方法以及其成果。

第一節 傳輸設備

一、 LoRa 接收站(Gateway)

接收站之資料擷取並記錄的頻率為十分鐘間隔，Node 發送頻率為二分鐘一筆，因此在擷取資料時，會記錄十分鐘內之最後一筆，並傳送至 4G 模組進行回傳。接收站電力部分，採用 145W-160W 高效率之太陽能模組，搭配低能耗太陽能控制器，回充至 100AH 鉛酸電池，其目的為確保整體系統於陰、雨天或濃霧致光照度較低時，電力仍可穩定供應。



圖 4-1 LoRa 接收站實際內部配置

二、 LoRa 發射站

發射站所架設之 LoRa Node，傳送頻率如前節所述為每二分鐘將監測設備資料傳出一筆，電力系統同樣使用小型太陽能板進行內部鋰電池的回充(圖 4-2)，除了供應 LoRa 傳輸外，還需時計加上雨量筒搭配裂縫計或雙軸傾斜儀，測試並分析在不同天氣型態下，其電力損耗情形。其中本研究所使用之雨量筒為 PRONAMIC 的 Rain-O-Matic 簡易雨量計(圖 4-3)，精度為 1mm，內部使用單斗杓設計緣故，相較於一般傾斗式雨量計體積可大為縮小，故可將此雨量計於不影響日照及安裝空間的前提下，附掛於各站 Node 上方；傾斜儀為 KENKUL TS-15 雙軸向傾斜儀，量測範圍為 ± 15 度，精度可達 0.00055 度；裂縫計使用 HONTKO HPS-M1-10-R 電阻型裂縫(變位)計，量測範圍為 1000mm。



圖 4-2 LoRa 發射站實際設備內部配置

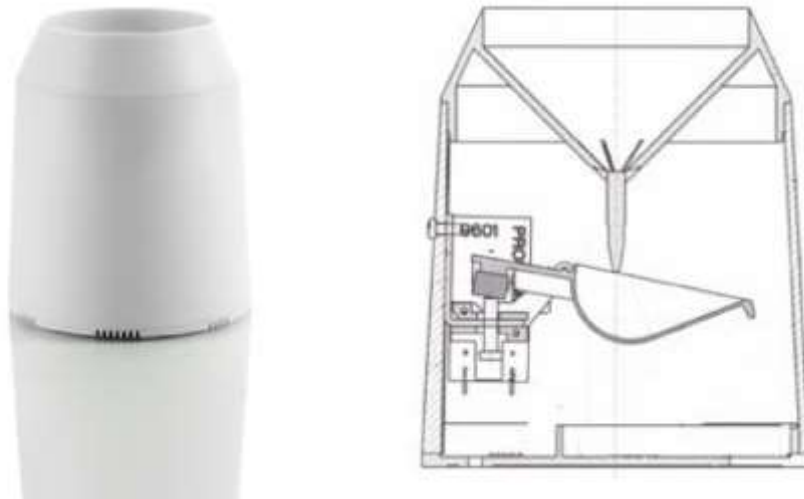


圖 4-3 PRONAMIC Rain-O-Matic 雨量計

三、 WSN 傳輸

WSN(wireless sensor network)全名為無線感測器網路，其定義為監測區域內架設大量感測裝置節點，以無線通信方式形成網路系統。本研究所使用系統，為利用 2.4GHz 頻段進行傳輸之系統，頻道介於 2400MHz 與 2500MHz 間，其中內部使用 3200mAh 鋰電池，在無負載情況下可持續運作約一周(發送間隔設為 1 分鐘)是，主要使用於較短距離傳輸使用，實測最遠距離在無干擾以及可通視條件下約可達 1km(圖 4-5)。



圖 4-4 WSN 內部配置圖



圖 4-5 實測 WSN 傳輸距離示意圖

四、 4G 網路模組

在資料回傳的部分，本研究也利用簡易的手機 4G 訊號強度測試，以神木村以及祝山各站架設點為例，其結果顯示神木國小網路訊號強度是各站之間最佳的(圖 4-6)，雖然僅達到-75，可能有傳輸量不大且不穩定的情形發生，但在 Gateway 內部有固定的儲存空間，假如 4G 模組因未連線造成短時的斷訊，資料會先暫存於 Gateway 本體中，待通訊正常後隨即進行資料補遺的動作，相較於單純仰賴 4G 的設備，便不會因訊號不穩而發生漏失。

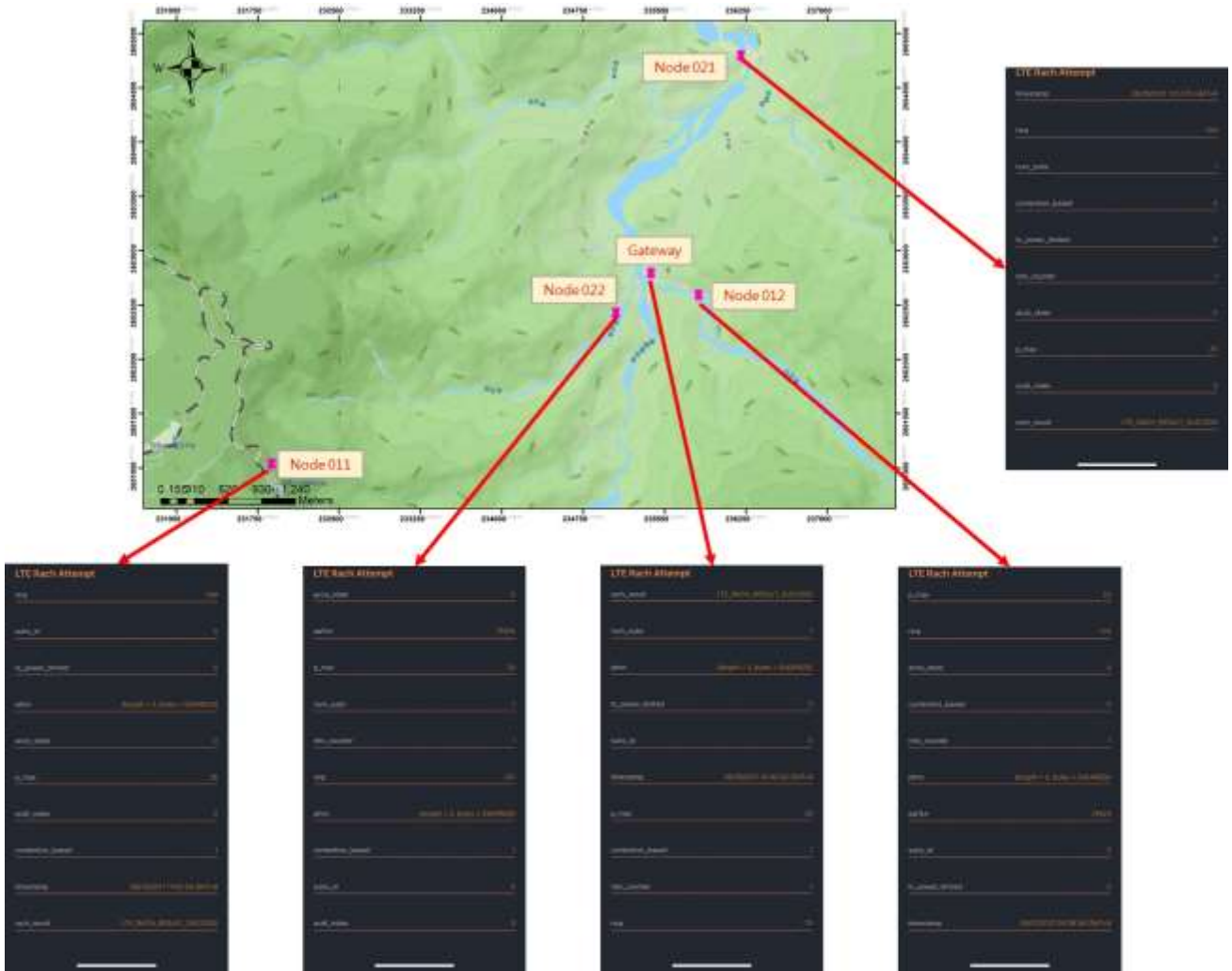


圖 4-6 神木土石流觀測場域各站實際測量手機網路訊號成果

在前述之各站資料，經由接收站(Gateway)統一蒐集紀錄後，再將資料利用 4G 網路模組回傳置本中心之監測平台(圖 4- 7)，其內容依序為日期、時間、監測數值(最多四組值)、Node 電池電壓以及接收端訊號強度 RSSI(圖 4- 8)。

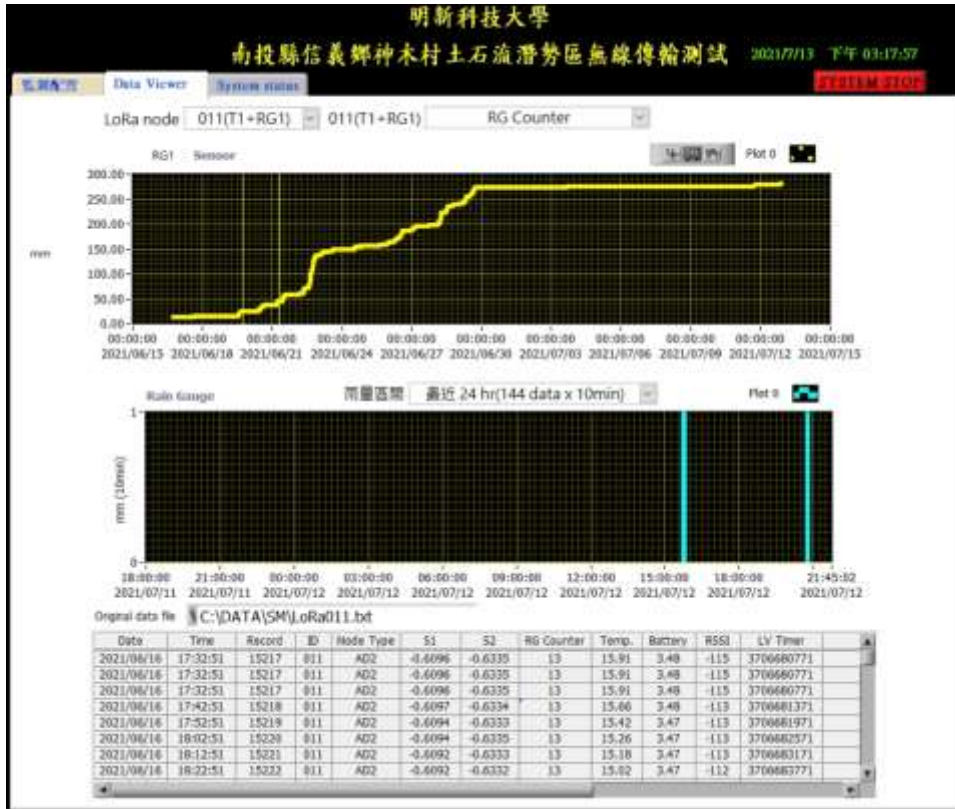


圖 4-7 本中心資料檢視系統示意圖

DATA	TIME	RECORD	ID	Node Type	S1	S2	Rain	Tcm	BAT	RSSI		
2021/6/17	14:12:50	15341	22	AD2	2.3551	-0.0149	0	-19.47	3.31	-91		3706755170
2021/6/17	14:22:50	15342	22	AD2	2.3551	-0.0092	0	-19.47	3.3	-88		3706755770
2021/6/17	14:32:50	15343	22	AD2	2.355	0.0143	6	-19.47	3.3	-80		3706756370
2021/6/17	14:42:50	15344	22	AD2	2.3557	-0.015	6	-19.47	3.3	-91		3706756970
2021/6/17	14:52:50	15345	22	AD2	2.3552	0.0188	6	-19.47	3.3	-96		3706757570
2021/6/17	15:02:50	15346	22	AD2	2.3555	0.0161	6	-19.47	3.3	-90		3706758170
2021/6/17	15:12:50	15347	22	AD2	2.3548	-0.0036	6	-19.47	3.3	-92		3706758770
2021/6/17	15:22:50	15348	22	AD2	2.3553	-0.017	6	-19.47	3.3	-91		3706759370
2021/6/17	15:32:50	15349	22	AD2	2.355	0.0168	6	-19.47	3.3	-94		3706759970
2021/6/17	15:42:50	15350	22	AD2	2.3548	0.0116	6	-19.47	3.3	-91		3706760570
2021/6/17	15:52:50	15351	22	AD2	2.3552	0.0118	6	-19.47	3.3	-92		3706761170
2021/6/17	16:02:50	15352	22	AD2	2.3553	-0.0127	6	-19.47	3.31	-89		3706761770
2021/6/17	16:12:50	15353	22	AD2	2.3547	0.0139	6	-19.47	3.31	-89		3706762370
2021/6/17	16:22:50	15354	22	AD2	2.3553	0.0122	6	-19.47	3.31	-89		3706762970
2021/6/17	16:32:50	15355	22	AD2	2.3549	0.0179	6	-19.47	3.31	-91		3706763570
2021/6/17	16:42:50	15356	22	AD2	2.3554	0.0183	6	-19.47	3.31	-96		3706764170
2021/6/17	16:52:50	15357	22	AD2	2.3551	-0.0114	6	-19.47	3.31	-96		3706764770
2021/6/17	17:02:50	15358	22	AD2	2.3554	-0.0187	6	-19.47	3.31	-95		3706765370
2021/6/17	17:12:50	15359	22	AD2	2.3558	0.015	6	-19.47	3.32	-95		3706765970
2021/6/17	17:22:50	15360	22	AD2	2.3556	0.0151	6	-19.47	3.32	-95		3706766570
2021/6/17	17:32:50	15361	22	AD2	2.3558	0.0175	6	-19.47	3.31	-90		3706767170
2021/6/17	17:42:50	15362	22	AD2	2.3557	-0.0114	6	-19.47	3.31	-90		3706767770
2021/6/17	17:52:50	15363	22	AD2	2.3553	0.0165	6	-19.47	3.31	-92		3706768370
2021/6/17	18:02:50	15364	22	AD2	2.3553	-0.0097	6	-19.47	3.31	-92		3706768970
2021/6/17	18:12:50	15365	22	AD2	2.3547	-0.0151	6	-19.47	3.31	-92		3706769570
2021/6/17	18:22:50	15366	22	AD2	2.3543	0.0198	6	-19.47	3.3	-94		3706770170
2021/6/17	18:32:50	15367	22	AD2	2.3545	0.0164	6	-19.47	3.3	-95		3706770770

圖 4-8 Node 011 原始資料內容示意圖

第二節 LoRa 傳輸技術實施案例-神木土石流觀測站

一、神木土石流觀測站場域

本次計畫為更深入分析本系統設置於神木村至祝山停機坪流域利用 LoRa 傳輸監測資料穩定度之測試，將 LoRa 接收站(Gateway)設置於此流域中心之神木國小，監測站(Node)則分別安裝於祝山停機坪、和社溪(近神木巷)、出水溪攔沙壩以及台 21 線上之愛玉橋旁，各測站配置圖如圖 4-9 所示。



圖 4-9 南投縣信義鄉神木村與嘉義縣阿里山鄉祝山停機坪 LoRa 傳輸測站位置

現地監測工作中，電力的供應是很大的課題，並非無止盡的加大電池及太陽能板的面積即可解決，在測站架設時，當地環境通常相當惡劣，如使用硬體設備體積、重量越大，對於安裝工作以及適用地點越不友善。本次計畫測站部分共有四站，其中將所有 LoRa Node 皆掛載一雨量筒，再分別掛載兩站裂縫計、兩站傾斜計，除了期望能藉此配置分析在神木村流域，於不同天氣情況下之 LoRa 傳輸效果外，也可測試 LoRa Node 掛載一監測設備與一雨量筒進行傳輸時，電力系統是否可負荷整體所消耗之功耗。

天線安裝角度依照前期計畫測試成果建議，朝向距離較遠且高程落差較大之祝山停機坪 Node 站，藉此保持祝山停機坪測站的訊號傳輸穩定，其他各站距離經現地安裝前測試，各站 RSSI 皆屬穩定，甚至於愛玉橋架設臨時接收站時，仍可以-119 之 RSSI 值接收到，顯示正確的安裝方式對資料品質將有很大的助益，現場設置情形如圖 4- 10 所示，各站掛載之監測設備、日照情形與現場安裝成果彙整如表 4- 1 所示。



圖 4- 10 LoRa 接收站實際設置於神木國小(右上圖為內部配置情形)

表 4-1 各測站設備、日照情形及其安裝成果彙整表

測站	監測設備	日照情形	現地安裝成果
Node 011 (祝山停機坪)	雨量筒 傾斜儀	極佳 (周圍無任何遮蔽)	
Node 012 (出水溪攔沙壩)		佳 (地形上稍有遮蔽)	
Node 021 (愛玉橋旁)	雨量筒 裂縫計	極佳 (周圍無任何遮蔽)	
Node 022 (和社溪)		中等 (上方開闊度約 90 度)	

二、 神木土石流觀測站 LoRa 傳輸資料彙整與品質分析

本研究在此彙整 6 月 18 日至 11 月 5 日之間約六個月的資料，以此資料結果進行漏失率、電力系統功耗分析以及雨量對傳輸訊號強度影響分析。在接收資料中，加入了接收筆數的編排，最大筆數是以 Gateway 內部記憶儲存空間而定，為 1 至 16,000，超過 16,000 則歸零，其排序規則依據 Gateway 在每 10 分鐘記錄下當前所接收之各站數據時，即依序加入其編號，方便分析時可由此序號判定是否有發射站資料漏失，如：某站資料數列為 335、336、338、339，則表示缺少第 337 筆資料，以此類推。為使漏失筆數可視化，將資料序號對前一筆相減，如大於 1 者表示資料漏失，其成果如圖 4-11 所示。

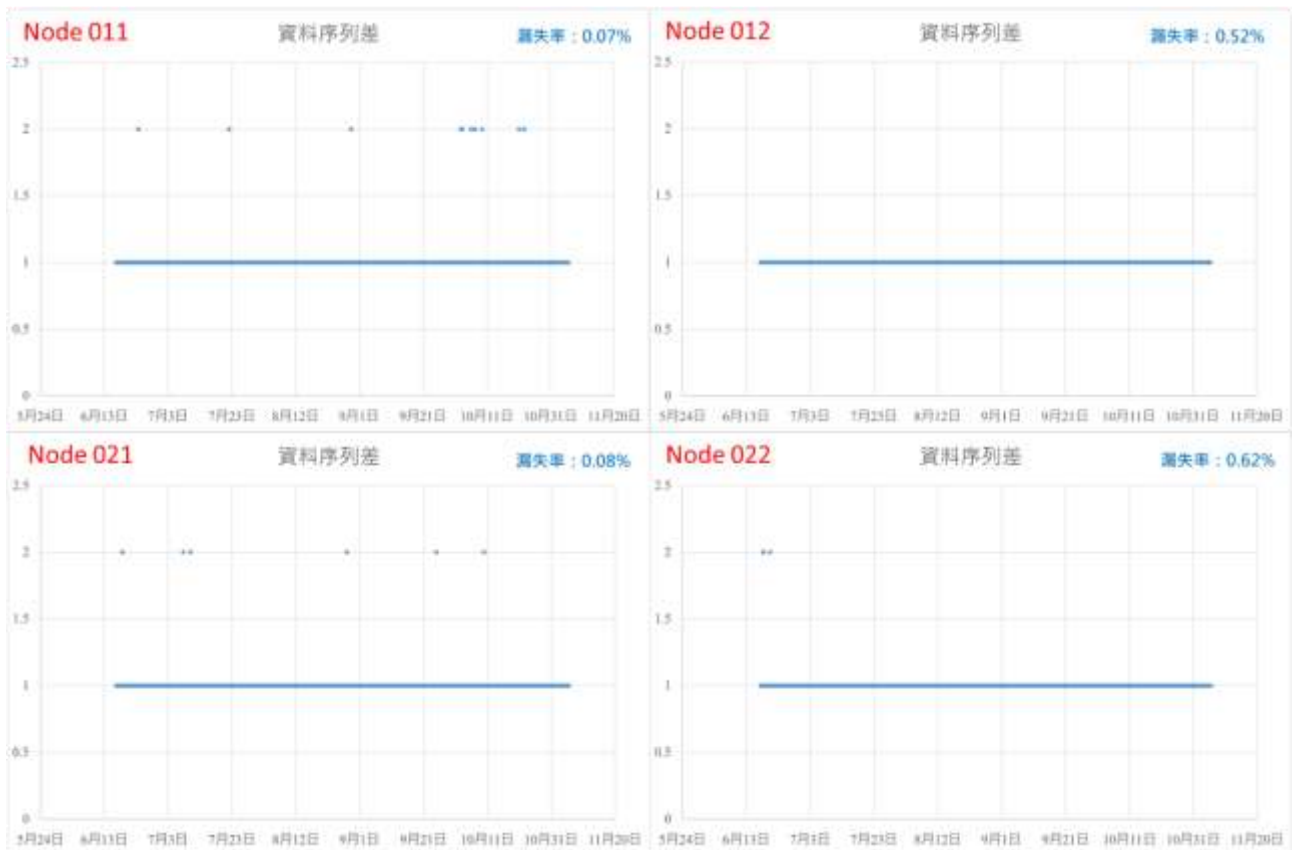


圖 4-11 各站資料序列差

從可明顯看出 Node 012 站在 6 月 18 至 11 月 5 日期間，漏失率幾乎接近零，在 Node 011 與 021 中，各有 16 及 7 筆的漏失，漏失率分別為 0.07%、0.08%，而 Node 012、Node 022 分別漏失 108 與 126 筆，漏失率也僅為 0.52%、0.62%，漏失原因經過與其他數據比對並非與降雨、天氣狀況有關連，漏失資料也都分散於不同時間點，另外比較前後 RSSI 強度也並非屬於不穩的狀態。

三、電力系統分析

圖 4- 12 至圖 4- 13 為電池電壓與環境溫度結果顯示，其中 Node 021 與 Node 022 本身無溫度感測模組，但 Node 011 與 Node 012 有加裝溫度計，而在此初步假設溫度表示日照強弱，其中左側座標軸為現場環境溫度，右側坐標軸為電池電壓，溫度上升時電池電壓會同步上升，從各站最低電壓值來看，最低電壓於穩定後皆高於 3.3V 以上，由此研判各站 Node 電池電量最多消耗至 3.3V 即撐過無日照時間，開始回充電池，在平常時而降雨或濃霧天氣情況下仍然可以正常穩定運行，但在颱風豪雨以及梅雨這類較易致災且最需要監測資料的天氣型態下，可能發生二至三天以上無足夠日照的情形，未來須持續觀察在更嚴苛的天氣型態下，是否會對電力系統有明顯影響。

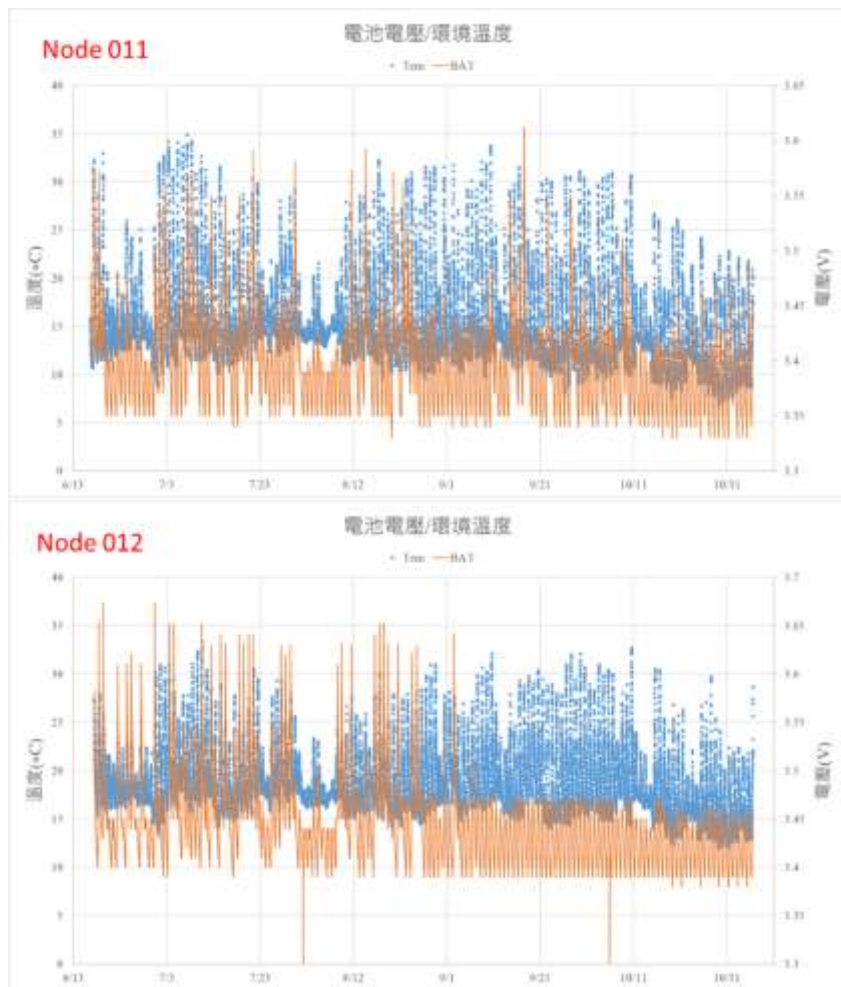


圖 4- 12 電池電壓與環境溫度變化圖

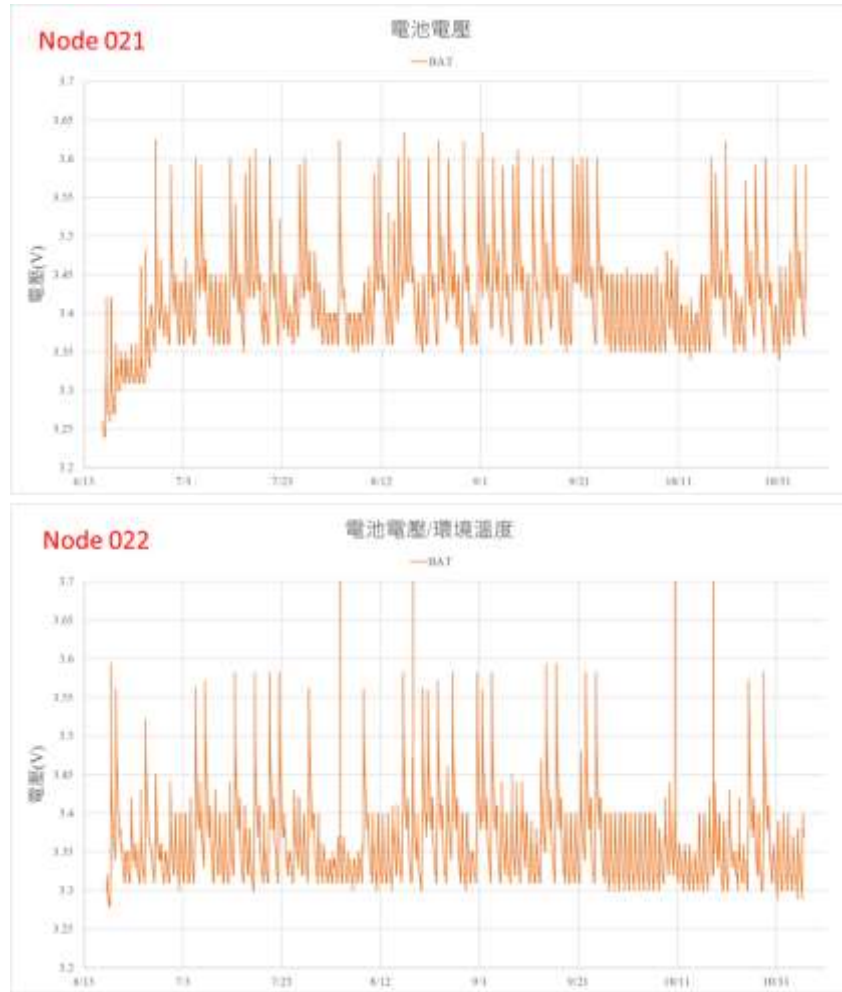


圖 4-13 電池電壓變化圖

四、神木土石流觀測站測得雨量與 RSSI 相關性分析

為確保雨量資料接收的正確性，以及避免上方遮蔽，除挑選合適地點裝設外，也盡量與天線方向相反，水平氣泡部分也都調整至中心，其各站資料接收成果經計算後以日累積雨量圖顯示於圖 4-14，除了祝山停機坪站因地勢較高，降雨較為頻繁以外，其餘三站皆相似。另外綠色線段為氣象局神木村雨量站(C0H9A0)，該站位於神木國小西側約 3 公里處，從圖中可觀察出部分雨場與祝山停機坪相似，但也部分與神木村相近，大約介於兩者之間。

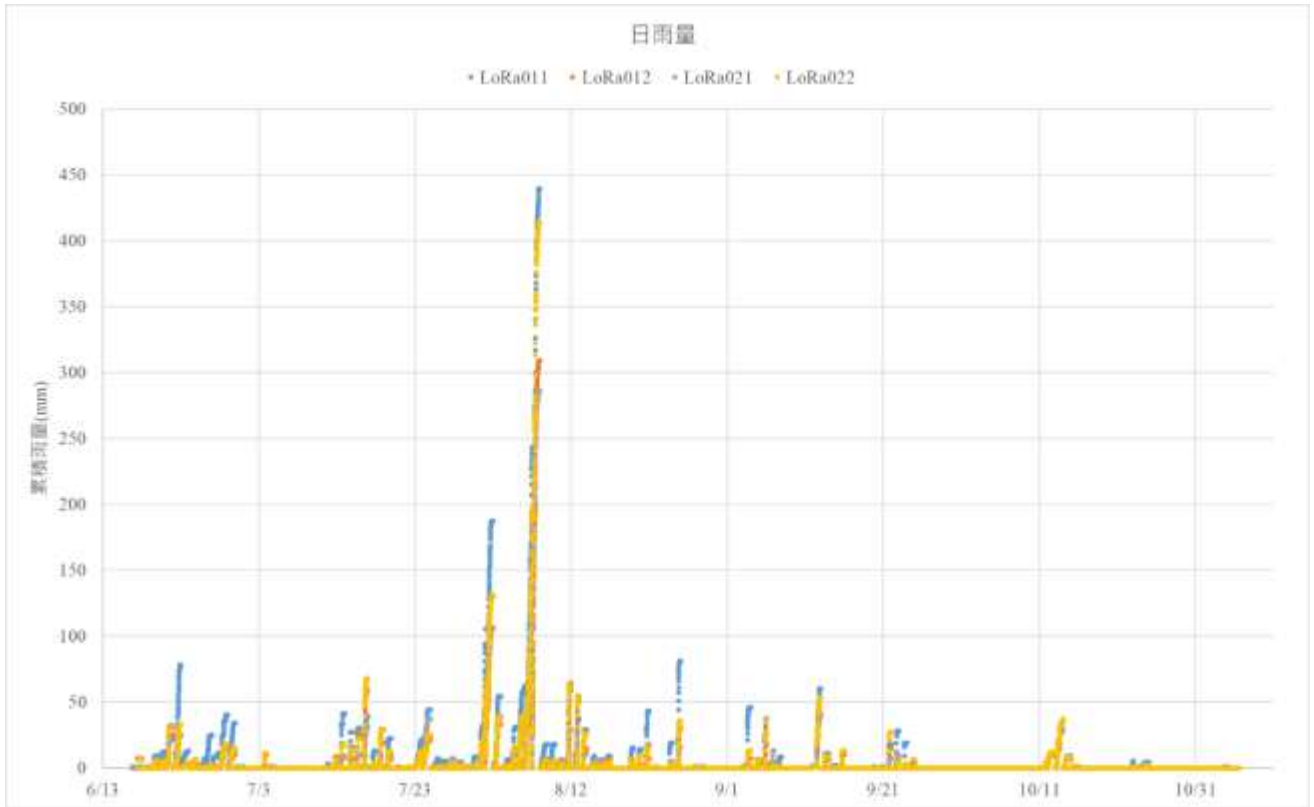


圖 4-14 各監測站與神木村雨量站 C0H9A0 日累積雨量圖

另外在訊號強度 RSSI 部分，經過各站 RSSI 與相對應站點之每小時降雨強度進行比較，如圖 4-15 所示，其中各圖的左側座標軸為 RSSI，表示訊號強度，數值越接近 0 者表示越佳，而由過去經驗可得知，最低 RSSI 值逾-130，則幾乎為無法接收；各圖右側座標軸為每小時降雨強度 mm/hour，祝山停機坪降雨強度較強的時段出現在 6 越 22 日下午，神木地區的三站則為 6 月 21 日中午。

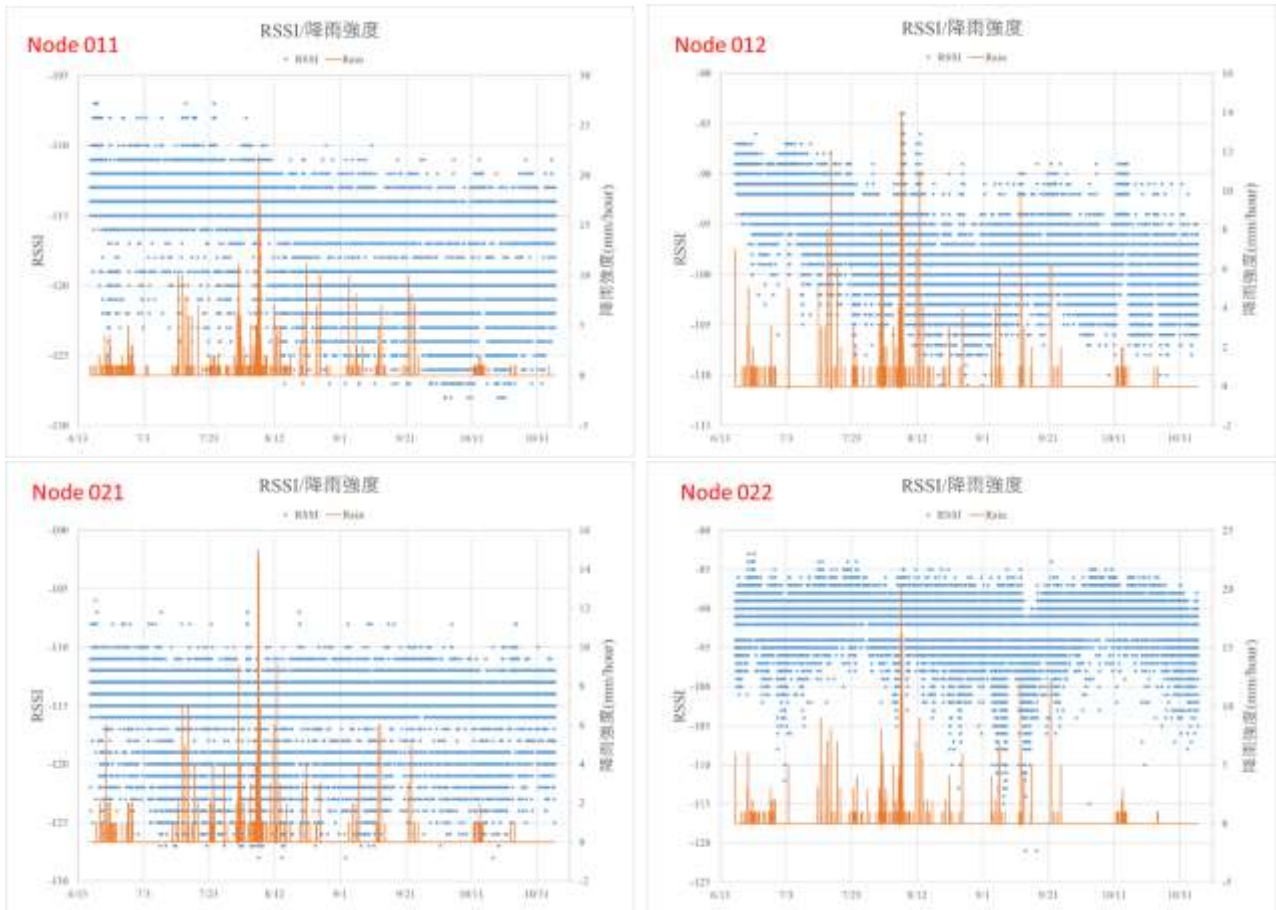


圖 4-15 各站 RSSI 與降雨強度之比較圖

從資料比對結果分析，在降雨強度較強，約每小時近 20mm 的情況下，各站點之 RSSI 並無明顯的增強或減弱的趨勢，後續將監測時間拉長，觀察在降雨強度更高與降雨延時較長的條件下，檢視雨場事件歷時與 RSSI 之影響。

五、 監測儀器成果

在傾斜儀的正規化監測成果中(圖 4-16)，各站資料除溫度效應造成起伏外，僅有 Node 011 站傾斜儀 X 向傾斜了 0.025 度，雖有明顯的變化軌，但大約於 6 月 28 日後就略趨穩定，沒有明顯的傾斜事件發生，此站裝設於祝山停機坪東側護欄下(如圖 4-17 左)，研判可能為裝設後尚未穩固所致。另外 Node 012 之兩向傾斜皆無事件，僅 X 向與 Y 向最大分別以 0.008 度以及 0.01 度的起伏，其裝設地點為攔沙壩內壩體側面，如圖 4-17 右。

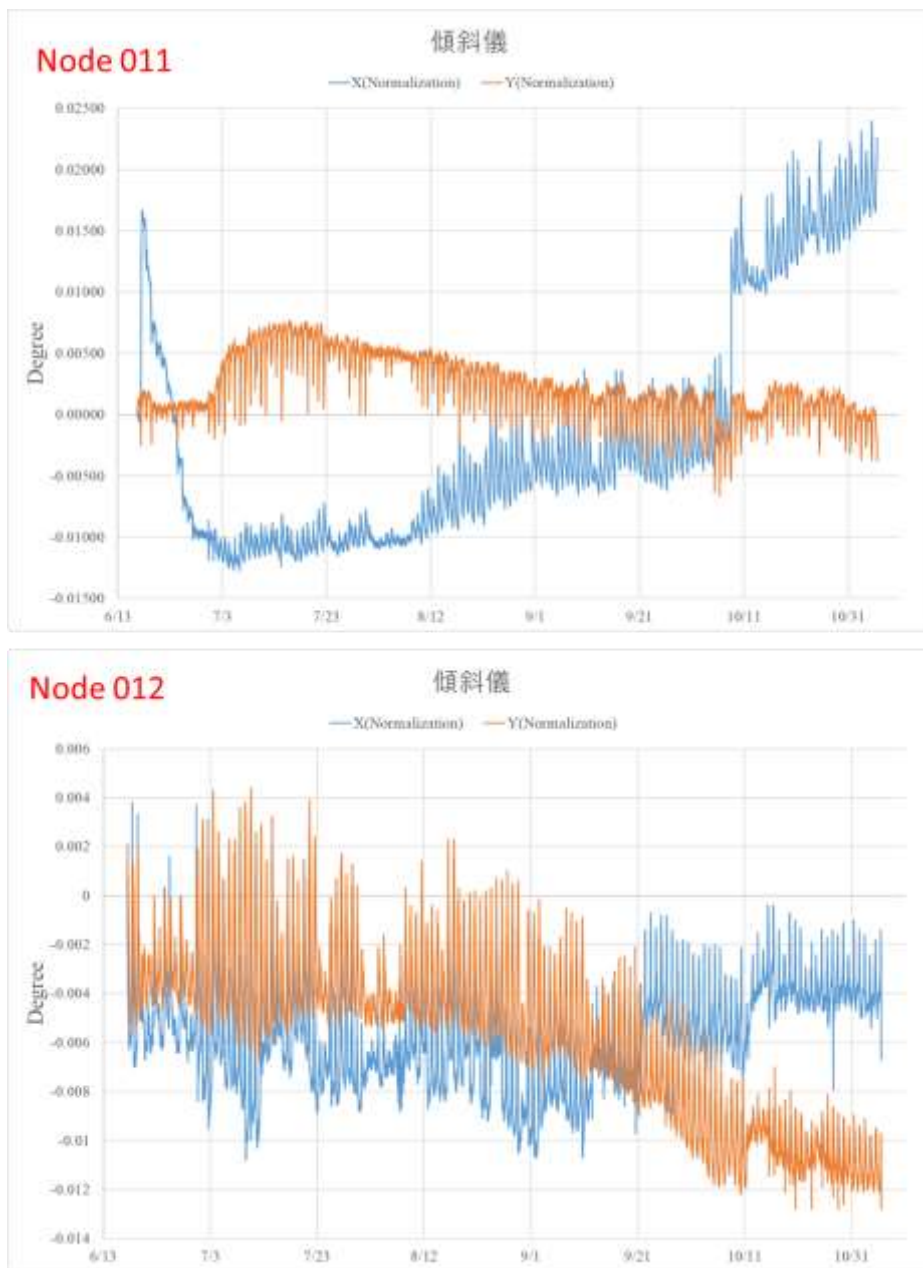


圖 4-16 Node 011 與 Node 012 傾斜儀變化歷時圖



圖 4-17 Node 011 與 Node 012 傾斜儀裝設位置圖

裂縫計的部分屬於絞線式裂縫計，故外在因素影響較大，從圖 4-18 變化歷時圖中，與傾斜儀同樣有明顯的溫度效應造成的起伏，Node 021 裂縫計裝設於愛玉橋旁河道擋土牆上，雖有跨越裂縫，但從裂縫外觀觀察似乎已經過一段時間，縫隙中青苔相當密集，但無法確定是否有位移的可能(圖 4-19 左)；另外 Node 022 裂縫計則裝設於和社溪近神木向旁產業道路護欄(圖 4-19 右)，除可能有掉落枯枝或落石使之拉扯剛絞線外，較無其他變位可能。

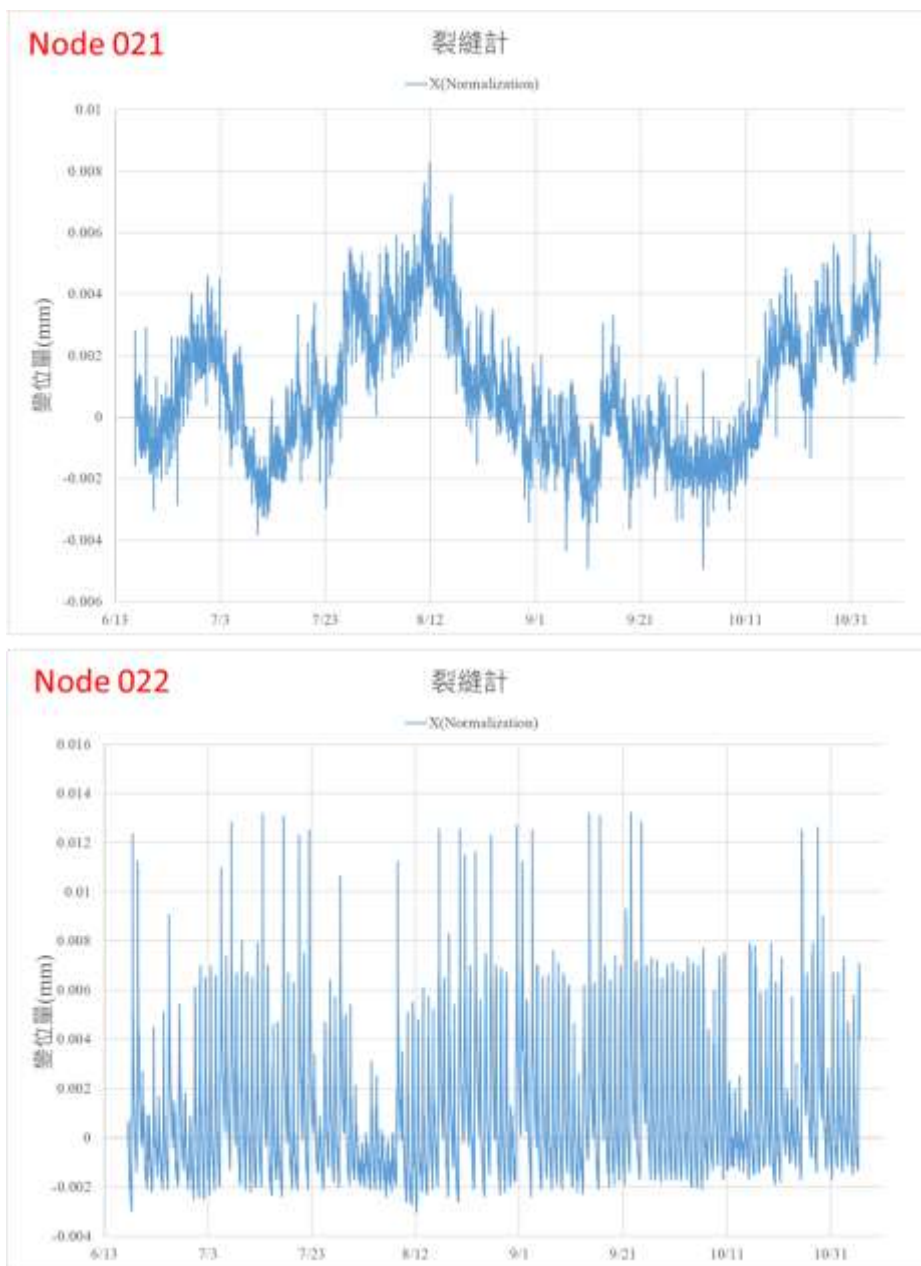


圖 4- 18 Node 021 與 Node 022 裂縫計變化歷時圖



圖 4- 19 Node 021 與 Node 022 裂縫計裝設位置圖

第三節 LoRa 傳輸技術實施案例-明霸克露橋土石流

明霸克露橋位於高雄市桃源區台 20 線南橫公路約 97 公里處，跨越布唐布那斯溪、荖濃溪、玉穗溪交會口，今年(110 年)8 月 0806 水災於桃園區 2 日內降下約 1000 毫米短延時強降雨，造成明霸克露橋 A1~P2 橋梁二跨約 85 公尺，受上游玉穗溪土石流爆發沖毀，造成當地對外聯外道路無法通行。荖濃溪上游集水區廣闊，且因有許多崩塌塊體導致易發生土石流，故現場施工人員如需了解上游狀況，則僅能仰賴雨量資料傳輸至線上供參考，因此本研究規劃將雨量筒設置於上游處，因 4G 傳輸條件不佳，便以 LoRa 通信方式傳輸至下游台 20 線再以 4G 即時回傳，LoRa Gateway 以及 Node 裝設位置如圖 4-20 至圖 4-22 所示，兩處相距約 3km。



圖 4-20 明霸克露橋 LoRa 測站配置圖



圖 4- 21 南橫公路 LoRa 接收站安裝地點



圖 4- 22 明霸克露橋上游 LoRa 發射站安裝地點

在發射站以及接收站之間因地形緣故無法通視，經裝設後實測其接收站之 RSSI 結果約為-120 至-125 之間，RSSI 成果如圖 4- 23 所示，經統計後漏失率約為 5%，目前初步研判其傳輸漏失的可能性，為發射站架設位置直接附掛於電杆上，導致電磁波傳輸亦受阻或干擾，但其漏失區域如預期分散於不同時段，可大略顯示降雨趨勢。其中漏失期間未有明顯降雨事件發生，故

初步可排除降雨之影響，未來將持續測試，以確認其傳輸影響原因為何。

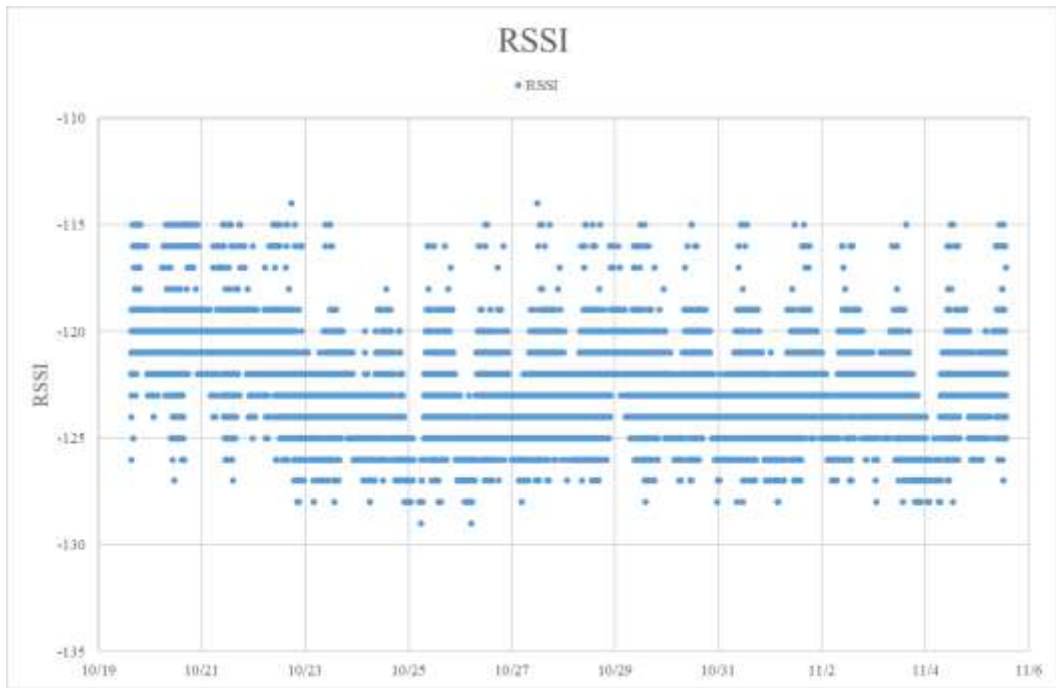


圖 4-23 明霸克露橋 RSSI 成果

在明霸克露橋發射站能耗部分，因現地環境日照充足，且裝設於電杆上，較無植被遮蔽問題，故電力系統非常穩定，內部電池電壓皆達到 3.4V 以上，監測期間電力以及溫度變化情形如下圖 4-24 所示。未來如有需求可規劃在一定調教下增加監測頻率，方可抵銷其漏失情形，達到監測預警的需求。

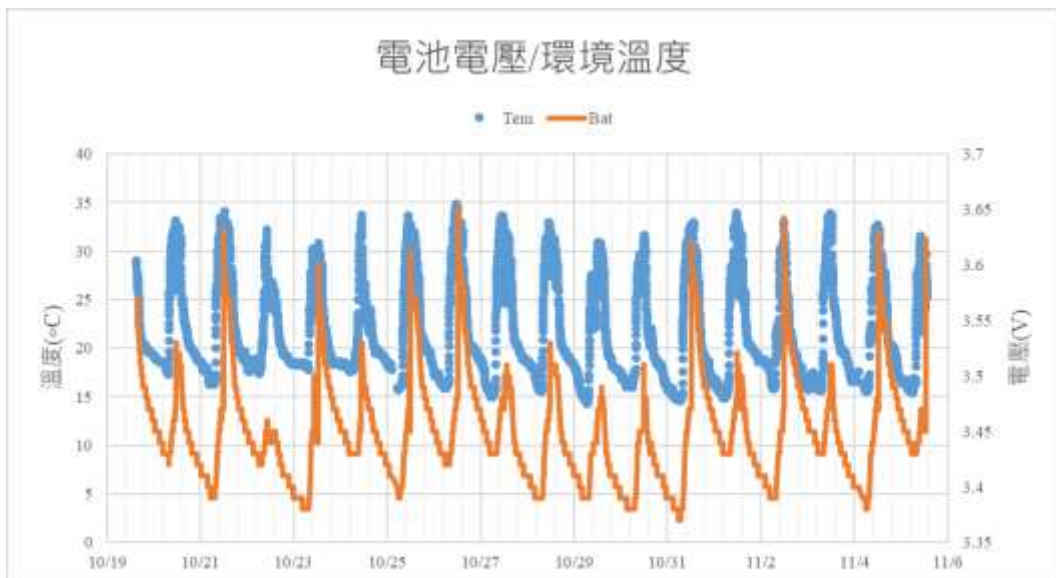


圖 4-24 明霸克露橋 RSSI 電力以及溫度變化圖

第四節 WSN 傳輸技術實施案例-光華崩塌地

光華崩塌潛勢區位於桃園市復興區光華道路上邊坡，東側為三光溪與北橫公路。此邊坡為 2021 年初開始明顯且快速的滑動，造成穿越此邊坡之產業道路封閉，現場不設之傾斜管、地表伸張計等有線監測設備大多都因此破壞無法使用。本團隊有榮幸於此次事件，快速赴現場裝設本計畫之 LoRa 無線傳輸模組，搭配傾斜儀，一方面可進行現地傳輸穩定性測試，分析其適用性以外，更可展現此無線模組快速應變、體積小、可裝設範圍廣以及電力系統穩定等優點，期間也嘗試更換不同設置點做更深入的滑動位態比較，裝設點大致可分為三次不同配置，各站位置如圖 4-25 所示。

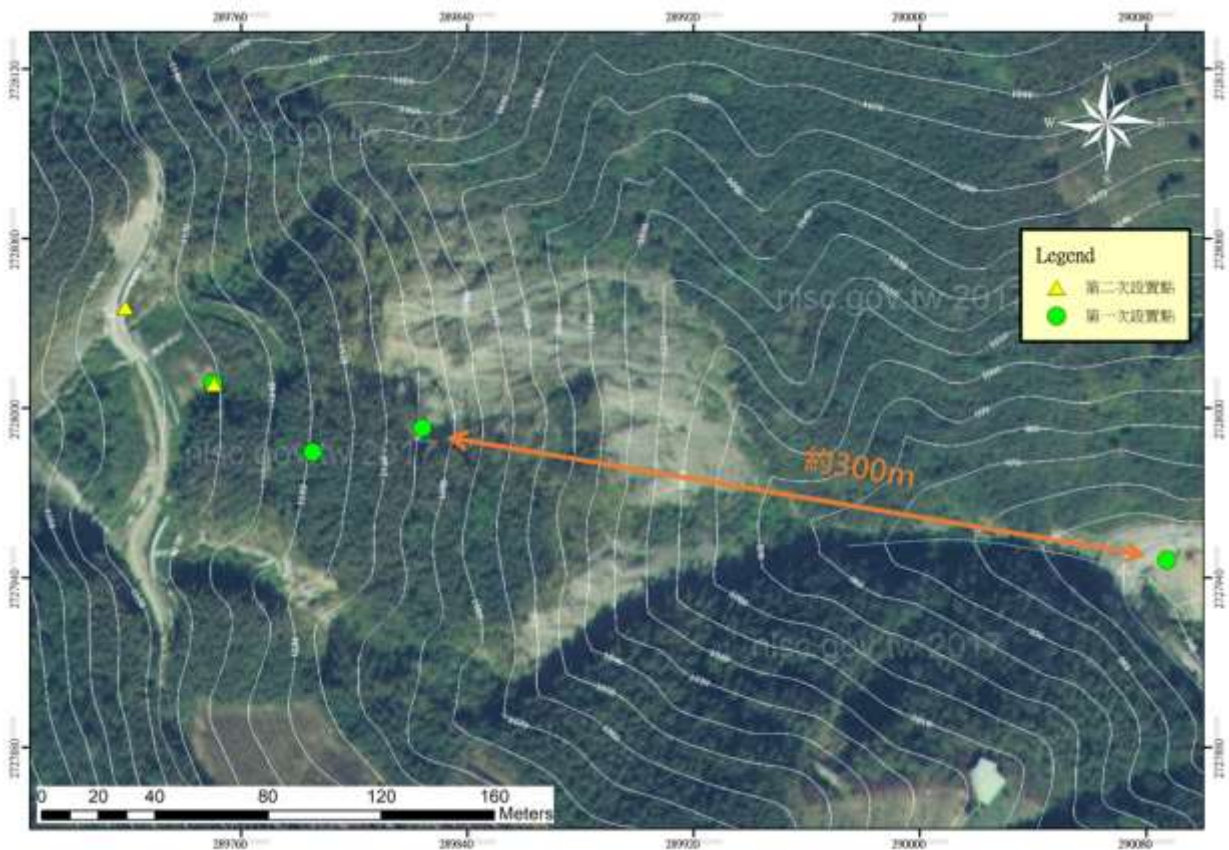


圖 4-25 光華崩塌地 LoRa 測站配置圖

其中第一次配置考量 Gateway 安全性，故將其設置於下方光華道路旁，

資料接收頻率為 1 分鐘發、5 分鐘收，其成果如圖 4-26 所示。在此階段傳輸時，Gateway 架設距離最遠僅 500 公尺，主要影響傳輸的可能為植被，且在安裝方法上有將 Node 測站天線向下傾斜(Gateway 向上)，以利傳輸品質的穩定。另外在 RSSI 結果上，也可明顯看出各站都平均於-100 左右，除了極少數 1 至 2 點降低到 RSSI-120，整體而言非常穩定，且無漏失，顯示在 4G 網路傳輸穩定情況下，LoRa 可適用於光華崩塌地進行長期監測。

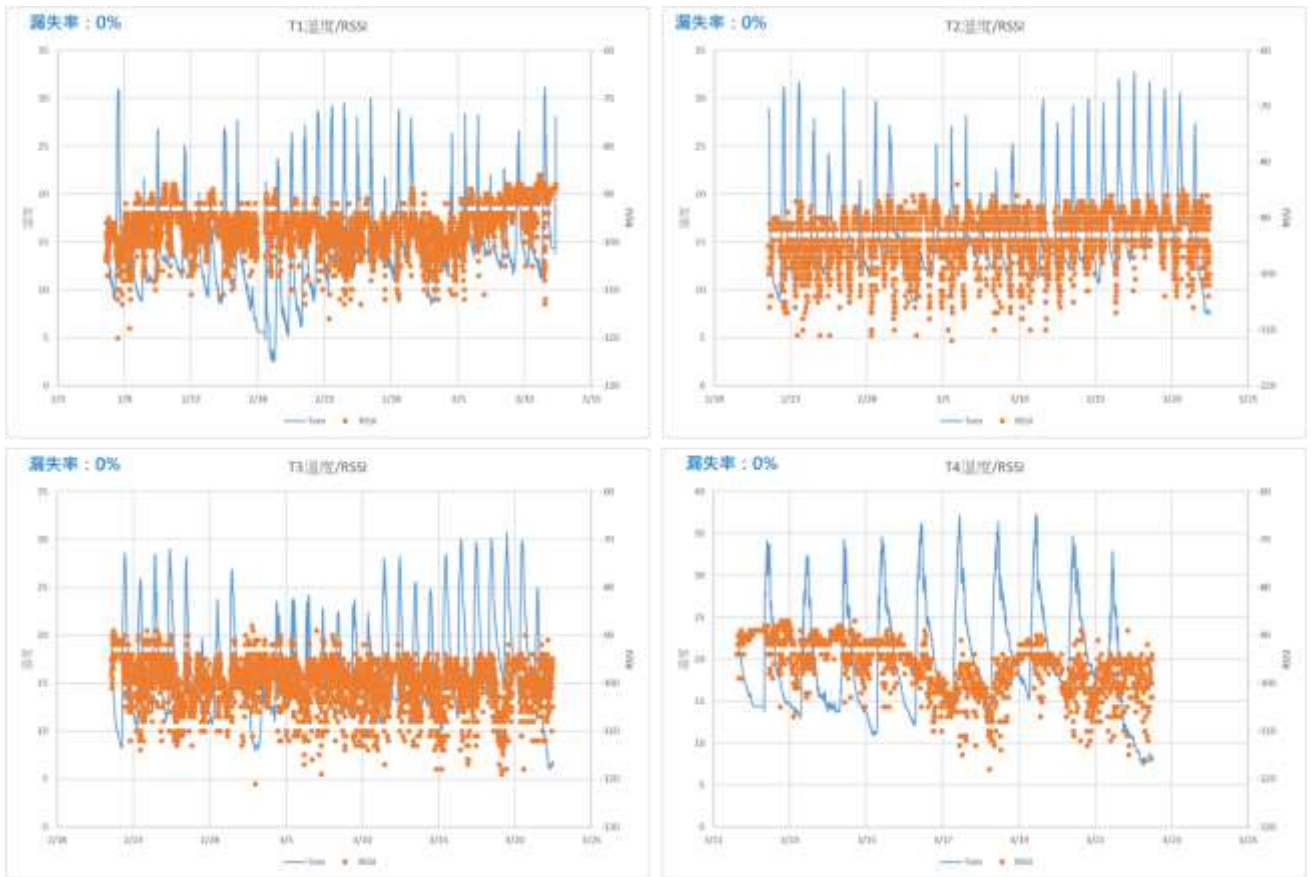


圖 4-26 光華崩塌地 LoRa 傳輸之 RSSI 成果圖

後續因評估滑動塊體旁擋土牆似乎屬安全範圍，故移置 Gateway 於上方；第三次位置與第二次相同，僅因此配置 Node 站點與 Gateway 距離相近，本團隊計畫以同樣為無線傳輸，但頻率為 2.4GHz 之 WSN 進行測試，傾斜儀配置情形如圖 4-27 所示。



圖 4-27 光華崩塌地傾斜儀現場配置圖

從監測成果圖 4-28 中，可發現資料除了 7 月 8 日時設備系統自動更新導致較長時間斷線外，其餘過程無資料漏失，T11 站總筆數為 46,957 筆，T12、T13 因提前拆除但資料筆數也達到 36,282 筆，漏失率皆控制在 0.3% 內，且三者量測到的變化量趨於一致，明確的觀察出擋土牆滑動趨勢，相當符合預期成果；除此之外，110 年 10 月 24 日發生地震芮氏規模 6.5 時，經比對後發現資料有明顯的變化，可明確的觀察出邊坡滑動趨勢，故本技術有如實紀錄地震造成的邊坡變化，如圖 4-29 至圖 4-31 所示。

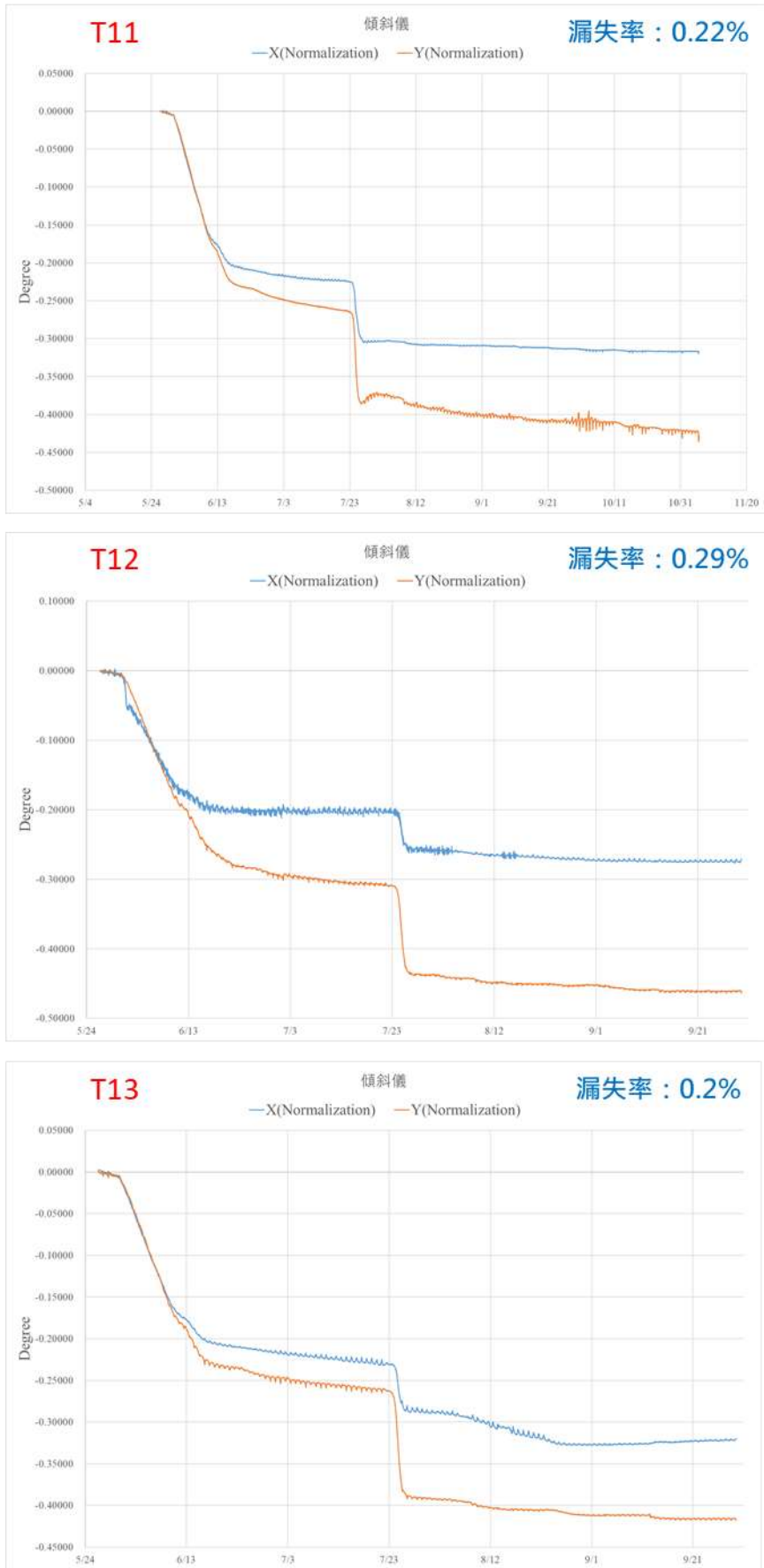


圖 4- 28 光華崩塌地各站傾斜儀變化歷線圖

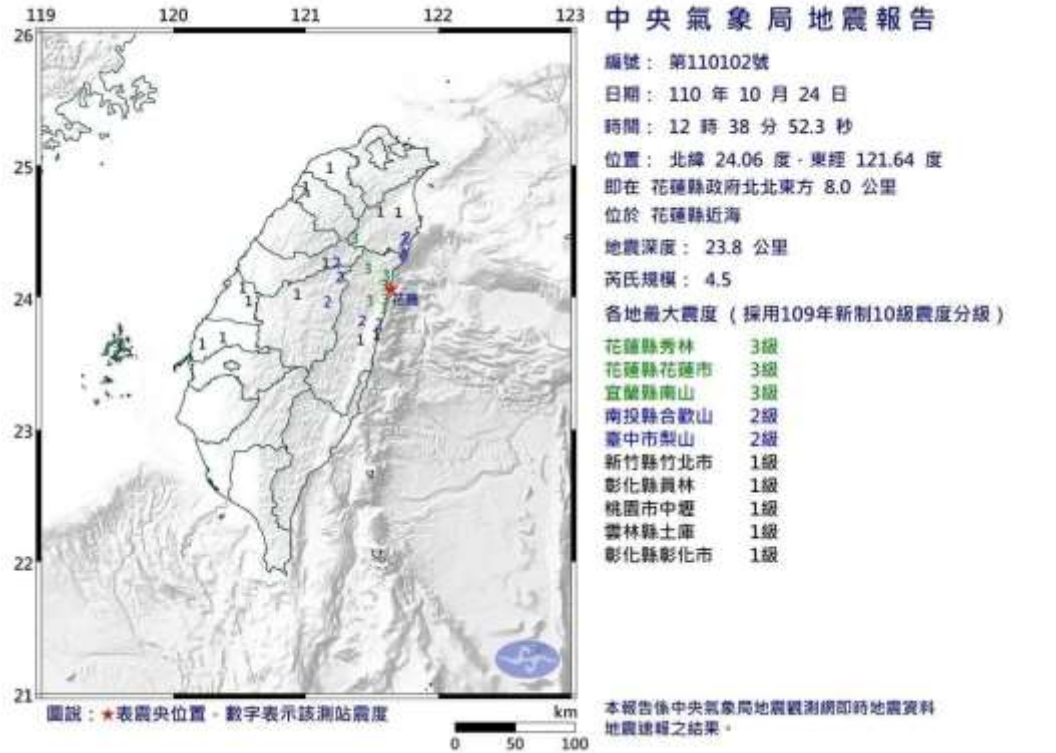


圖 4-29 110 年 10 月 24 日 12 時 38 分中央氣象局地震報告

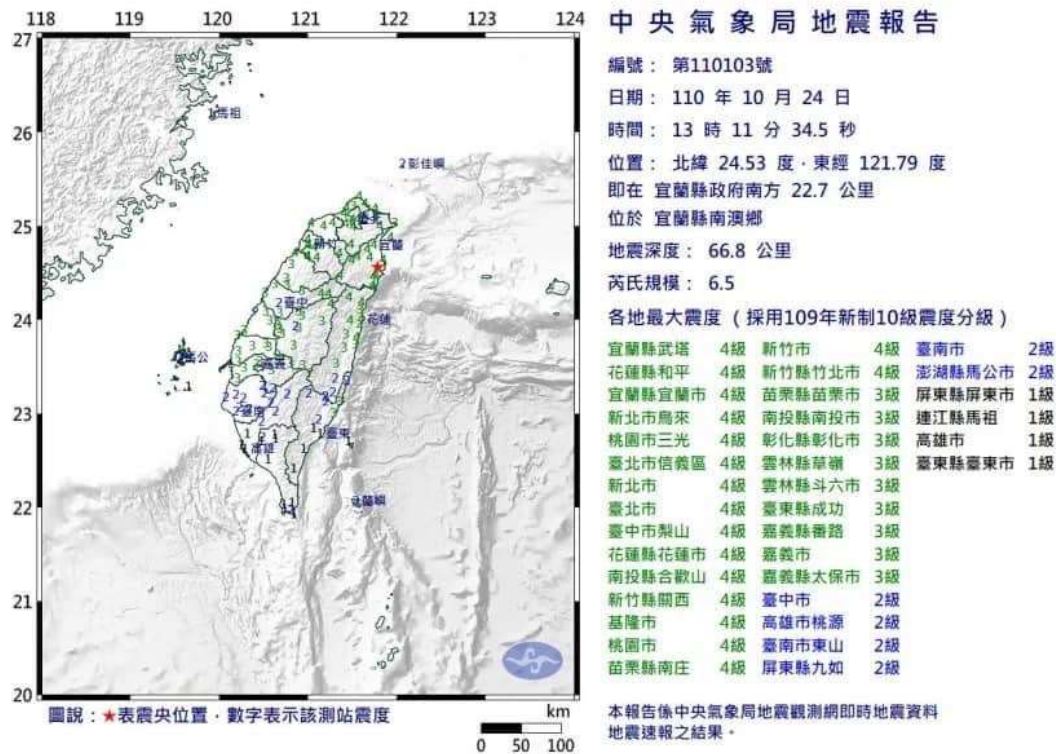


圖 4-30 110 年 10 月 24 日 13 時 11 分中央氣象局地震報告

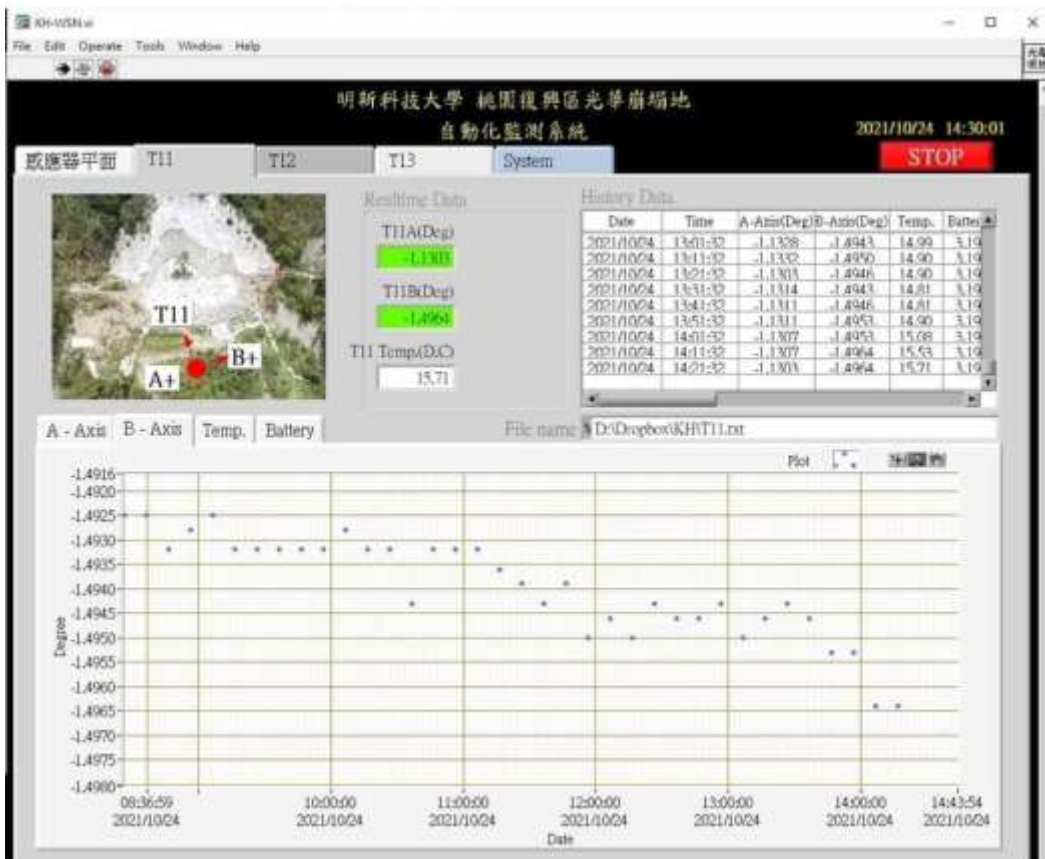
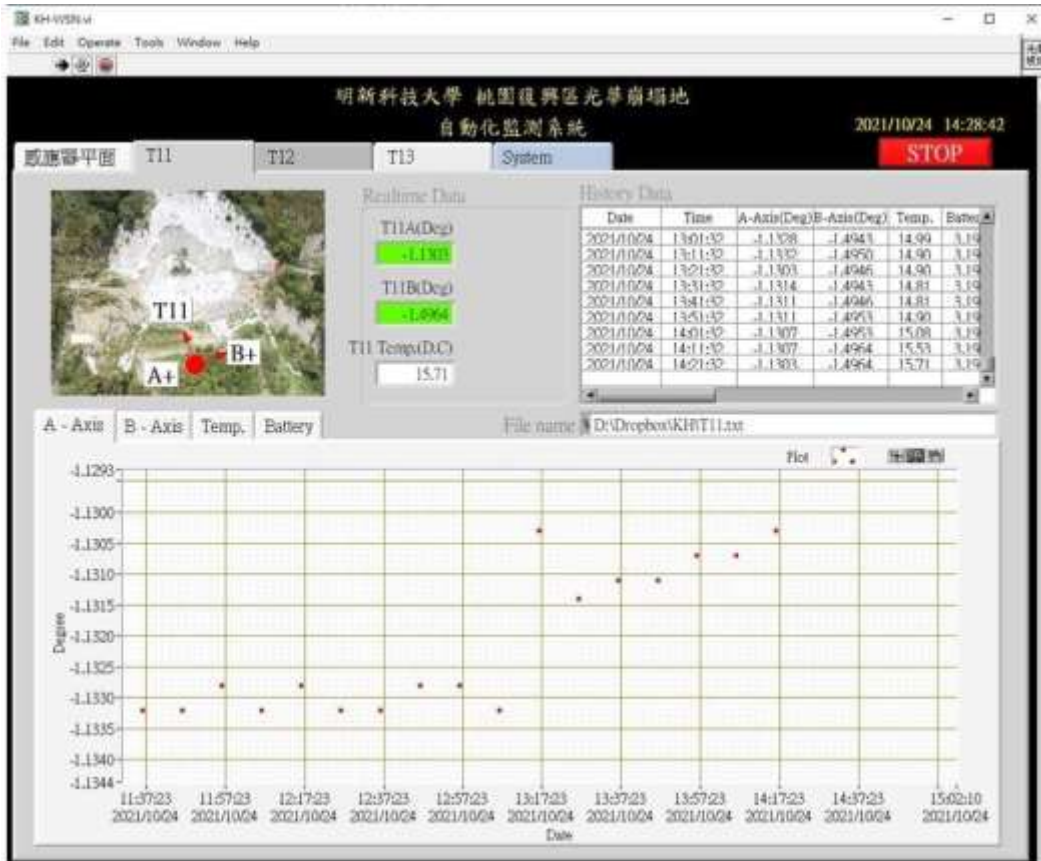


圖 4-31 110 年 10 月 24 日光華崩塌地監測資料

第五節 LoRa 現地架設原則及建議

本計畫中所使用之 LoRa 以及 WSN 系統皆屬於無限電磁波傳輸，電磁波又是屬於不可見型態，在現地如何初步判斷是否適用便非常重要。

一、室內地形資料分析

經過前期計畫試驗後，可大略由地形是否通視以及距離進行評估，例如現地區域之正攝影像、數值地形高程(DSM)以及網路訊號來源等相關資料，經由各測站的設置點分布，得出最佳的接收站設置位置，條件如下：

1. 測站以及接收站兩點盡可能互相通視
2. 直線距離約小於 4-6 公里
3. 現地是否可獲得充足日照(以評估接收站電力取得方式)
4. 如遇無法通視時，天線盡可能為區域最高處
5. 遠離高壓電塔、電線杆等可能造成電磁波干擾之構造物
6. 如有需求安裝於道路時，建議裝設於遠離擋土牆及山壁之外側

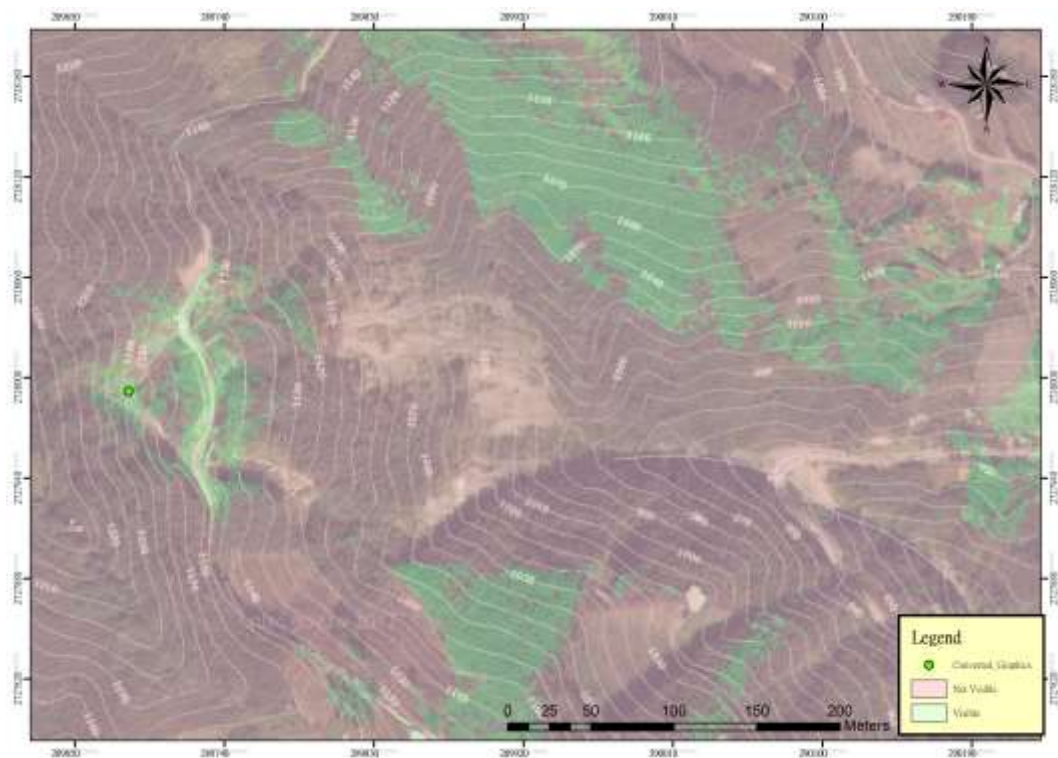


圖 4-32 可利用地形資料進行現地初步測站規劃(視域分析)

二、現地初勘與測站設置

在初次到達現地，可先以簡易測站模組，以較低傳輸、接收間隔測試(圖 4-33)，藉由各站位置回傳至接收站之 RSSI、漏失率等分析傳輸可行性與穩定性(圖 4-34)，待確認各站位置皆可將 RSSI 降低至-100dbi 較佳。



圖 4-33 利用簡易測站模組於現地進行傳輸測試



圖 4-34 現場由回傳資料判斷傳輸成果

測站選定位置後，安裝時如距離接收站有一定距離或無法避免之遮蔽物(如擋土牆、房屋甚至山壁)，則需盡可能將傳輸天線突出地表增加傳輸品質，另外如遇有高程明顯變化，可將測站朝向接收站處傾斜，如圖 4-35 所示安裝，也可增加一定程度之穩定性。



圖 4-35 依照傳輸方向調整天線角度

三、資料處理與設備維護

硬體架設完成後，除了檢視監測值的正確性外，現場僅需定期確認太陽能板是否被遮蔽以及汙損(如使用市電則不須)，其餘測站狀況可由回傳資料檢視，例如電壓以及傳輸品質，做為長、短期的穩定性檢視，也因無線傳輸方式，除測站被竊之外較毋須擔心走線斷裂等問題。

第五章 結論與建議

第一節 結論

- 一、現階段所採用之 LoRa 傳輸模組，在常時天氣狀態下，搭配良好的裝設方法與地點，可以極少的漏失率進行監測資料的回傳，而降雨對通信品質指標 RSSI 之影響由測試結果觀察並無明顯干擾。
- 二、目前可掛載的監測裝置有裂縫計、傾斜儀以及雨量計，是為邊坡監測中最常見也最能及時安裝即時監測的設備，在 LoRa Node 於每 2 分鐘發送一次之頻率下，整體電力系統中可完全負載。
- 三、在 LoRa 傳輸測試中，如需連續傳輸大筆資料時，例如地聲計等，因資料封包過大使 LoRa 無法負荷，易出現漏失。
- 四、在無線傳輸測試中，本研究所使用之 LoRa 以及 2.4G WSN 通信系統，經現地設置於神木村、明霸克露橋以及光華崩塌地三處場址進行測試，漏失率皆低於 1%，其成果證實資料可穩定進行回傳。

第二節 建議

- 一、在本研究期程間，此無線傳輸系統於神木記錄到至多近 450mm 日累積雨量事件，未來如在汛期內經歷較大之降雨事件，乃為最仰賴監測系統之時，仍需觀察其傳輸品質是否因此受影響。
- 二、目前可適用於兩種類型無線傳輸(LoRa、2.4G WSN)之監測設備，經實測常用之如裂縫計、傾斜儀以及雨量計可正常運行，未來可朝向開發不同感測裝置，如 GPS、水壓計等，利用其匯集以及自 4G 網路不佳處回傳特性，將可更廣泛的應用於坡地監測。
- 三、目前 LoRa 無法負荷連續傳輸大筆資料，若未來架設兩台以上之 LoRa 並於後台設定分擔其封包，此部分需在研發與設計。
- 四、團隊在其他場域如明新科大校園、桃園復興光華崩塌地、高雄甲仙玉穗溪流域等亦有運用此技術並獲得成效。將依上述成果初步歸納成整體考量性的 SOP 及實施原則並於總成果報告中提出。

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆
1	萬物聯網是科學上重要里程碑，對水保業務也會有顯著的價值，團隊已投入多年，期待看到成熟的產品。	非常感謝委員肯定，本團隊將持續努力，使監測等睡飽相關業務更有效且更便利。
2	有沒有可能反推訊號源的位置呢？未來應用時，反推位置也是很重要的。	感謝委員意見，LoRa裝置發射站為使整體系統達到低功耗的目的，常時清況下為單純發送，故不在本計畫研究範圍。
3	低功耗(LoRa)廣域網路之適用地文集水區範圍為何？請量化說明其因素。	感謝委員意見，在目前的成果中，最佳的安裝條件與無遮蔽情況下，傳輸距離可達近9公里，但不同水文集水區的植被、地形以及天線角度等環境條件皆會影響傳輸穩定性。
4	LoRa各項感測器之精度是否有校正？及傳輸產量為何？目前執行過程如何提升其傳輸效率或減少漏失率請補充說明。	感謝委員意見，目前本團隊使用之感測器皆有於實驗室內進行測試後再進行現場安裝。另外傳輸效率部分除前期計畫試驗成果中，在傳輸條件相同情況下，天線頻段與功率選用都有明顯影響，而減少漏失率部分是利用間隔時間接收的方式減少因時間差上的漏失。
5	本工作計畫書提供了前期成果，可了解目前發展，值得肯定。建議精簡摘錄即可。	感謝委員意見，已於報告書中修正。
6	Ch3標題LoRa、Ch4標題NB-IOT，都屬於前期成果，標題建議調整。	感謝委員意見，已於報告書中修正。
7	CH5已比較出LoRa及NB-IOT的適	感謝委員意見，目前已於汛期前安

	用性，並指出無較大兩場事件的影響，建議朝這方向突破待解決的問題。	裝至現地進行測試，期望可在這期間紀錄到大型與場事件，可供本計畫做後續分析與判釋。
8	過去傳輸的資料筆數，是否會因為簡單or複雜的資料內容而影響成功率？	感謝委員意見，目前測試情況下以Node站可掛載之監測設備為主，未來如有機會再另外探討資料內容對傳輸效率的影響。
9	本研究開始用RSSI等方式校驗資料傳輸品質，值得肯定。	非常感謝委員肯定。
10	今年初桃園復興區光華大崩潛勢區大位移滑動，臨時加裝銅索及地聲檢知器做為道路預警使用，在安裝過程也遭遇訊號傳輸問題，建議評估LoRa之技術可否應用於類似光華潛勢區訊號傳輸。	感謝委員意見，本團隊於今年初已於現場裝設並測試LoRa適用性，其成果詳見報告書第四章第三節。
11	依據歷年計畫已獲得建置LoRa、NB-IOT的現地測試已有比較佳之傳輸功率及資料回傳頻率等，建議可列成檢測清單，供未來建置之參考。避免重複做錯誤之設置。	感謝委員意見，在LoRa、NB-IOT的現地測試中，現場的通訊品質及條件為最大影響因子，本團隊未來將逐步朝向初步適用性分析方向進行探討。
12	本計畫低功耗廣域網路技術已執行3年，建議可加入歷年技術演進效益的說明及比較。	感謝委員意見，本團隊初期主要採用LoRa WAN以及NB-IoT進行測試，再接著改用P2P中繼站進行現地測試，最後改良出效率較佳之LoRa傳輸模組。詳細說明及比較將於期末報告中加入補充。

附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆
1	本計畫已執行有2年，近幾年試驗場域主要為南投信義鄉神木村及宜蘭四季村為主，試問在其他場域運用此技術，有無整體考量性的sop及實施原則。	謝謝委員意見，在其他場域如明新科大校園、桃園復興光華崩塌地、高雄甲仙玉穗溪流域等亦有運用此技術並獲得成效。團隊將依上述成果初步歸納成整體考量性的SOP及實施原則並於總成果報告中提出。
2	資通訊技術發展日新月異，建議提供相關未來5G世代，可考量引進之資通訊技術，結合本局觀測設施。	謝謝委員建議，目前在4G場域已有相當程度的應用與掌握，未來在5G場域將精進LoRa Gateway的硬體，以結合水保局觀測設施。
3	建議分析LoRa各項感測器之缺點是否有可改進方式？是否可推廣使用？與其他類似的感測器之差異？	謝謝委員建議，LoRa本身為傳輸技術與設備，各項感測器之缺點將回饋給供應商，共研改進方式。現階段主要建議為感測器之省電技術需一併提升。
4	建議期中報告要檢附進度查核表。	謝謝委員建議，由於現在為期末階段，已完成所有計畫書預計施作內容。
5	P-9，有「錯誤！找不到參照來源」的問題。	謝謝委員的建議，此部分已修正。
6	報告大部分的篇幅還是在回顧與陳述過去三年計畫，本年度的工作只有第四章，建議多分幾個章節，多敘述今年的成果。	謝謝委員的建議，因為本案研究發展LoRa技術之應用與時俱進，為使讀者能了解每階段遭遇之問題與成果，故將歷年經驗進行回顧。本期末報告已針對今年成果著墨。
7	本年度的測試都是在晴朗的好天氣完成，建議要將最近幾次颱風豪	謝謝委員的建議，過去因計畫期間未有遭遇颱風豪雨事件，今年已經

	兩期間的傳輸情形附上，以完整評估計畫成效。	歷颱風與地震，已於期末成果報告第四章中敘述。
8	目前僅有兩點初步結論，建議增加目前可應用情境與需突破之關鍵瓶頸，可凸顯計畫成效。	感謝委員的建議，期中階段成果有限，團隊已於期末成果報告第四章與第五章中補充。
9	建議開始嘗試將資料與局內現有一些平台串接，可以增加資料的能見度和未來應用的可能。	感謝委員的建議，團隊於光華崩塌地裝設的三支傾斜計過去已順利與局內現有大規模崩塌監測平台串接，未來期能於其他平台串接，以增加資料的能見度和未來應用的可能。

附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆
1	山區劇烈溫差與濕度變化是否會影響設備的接收品質與儀器本身耐受性。	感謝委員意見，溫差影響在神木的長期試驗中未發現RSSI有明顯變化，濕度部分未來如計畫許可，將再新增相關監測設備。
2	山區地形效應之影響如何？如不同集水區是否會造成傳輸阻礙。	感謝委員意見，傳輸路徑中如遇不同集水區以及山體阻隔，將會對LoRa有明顯影響，故如有此環境條件建議須將接收站設於兩集水區間之高處，以達到盡可能的通視。
3	原則可行。	感謝委員肯定。
4	lora漏包率會不會隨著氣候而增加（如大風大雨時漏包率會增加，能否評估大概雨量超過多少，資料就容易漏包）。	感謝委員意見，在過去計畫中，有進行室內試驗分析降雨對LoRa影響，另外於本計畫中也於神木進行現地長期測試，但可能因室內距離較近以現地環境因素變化大，未發現有因此導致漏失，反而在地形、結構物、距離變化才有明顯增加漏失率。