

長距離低功耗廣域網路連結物聯網於監測資料傳遞應用上 最佳化配置研發

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有效傳遞到後台伺服器，一直是防災技術中關鍵的課題。訊號無法有效傳出的原因可能為：電力中斷、基地台毀損、發訊器被淹沒等。長距離低功耗廣域網路為近年發展之通訊技術，在都會區之應用已經日趨成熟與廣泛；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。LoRa 為長距離低功耗廣域網路中，較為成熟之技術之一且其耗電量目前為最低者。過去其傳輸方式較偏向廣播方式而使安全性與資料完整性在使用上造成疑慮，本次實驗以點對點傳輸方式進行，亦即確認接收端收到發送端訊號，才進行通訊，並以 5 秒一次之傳輸頻率進行測試，評估在不同場域與天候下，不同距離與訊號強度以及資料漏失率之關係。結果顯示，某些以 LTE-4G 無法通訊處，以 LoRa 可順利進行，目前確認在坡地無法通識狀態下，距離 550M 可獲得訊號接收成功率至少 95%以上之成果；而以 5 秒 1 次之傳輸頻率服務時間可達一周、以此推估 10 分鐘 1 次之傳輸頻率則服務時間可達超過兩年，其中功耗與距離天候無關。

關鍵詞：坡地災害、監測系統、長距離低功耗廣域網路、物聯網、多感測

目次

摘要	I
目次	II
表次	III
圖次	IV
第一章 研究計畫之背景	1
第一節 邊坡監測面臨之通訊需求	1
第二節 長距離低功耗傳輸技術之發展	2
第三節 LoRa 傳輸技術之發展	3
第三節 現行常見長距離低功耗傳輸技術之比較	7
第二章 研究方法	9
第一節 LoRa 之軟硬體規格	9
第二節 本次試驗採用的頻寬	11
第三節 檢驗通訊能力的方式	14
第二節 測試 LoRa 之長距離傳輸能力	16
第三節 測試 LoRa 於坡地之應用性—明新科大校園坡地區	17
第四節 測試 LoRa 於坡地之應用性—南投縣神木村	20
第五節 測試 LoRa 於坡地之應用性—宜蘭縣大同鄉四季聚落	21
第六節 LoRa 傳輸受障礙影響評估	22
第三章 現階段試驗成果	24
第四章 初步結論與建議	67
參考文獻	69

表次

表 1-1 不同 LPWAN 通訊技術之傳輸能力比較.....	8
表 2-1 不同頻率訊號傳輸性之比較	14
表 2-2 RSSI 與 SNR 與 LoRa 發射接收品質關係	15
表 3-1 試驗資料.....	24

圖次

圖 1-1 各種通訊方式數據傳輸率與傳輸距離關係圖	3
圖 1-2 長距離星型架構示意圖	5
圖 2-1 已模組化實驗設備.....	9
圖 2-2 LoRa 發送器.....	10
圖 2-3 LoRa 接收器.....	10
圖 2-4 LoRa 通訊設備電路板.....	11
圖 2-5 本研究採用之 LoRa 數據傳輸能力關係圖	14
圖 2-6 本研究計畫主要取得之參數圖表畫面示意圖	15
圖 2-7 省道台 68 線與頭前溪河谷之空間相對位置圖	16
圖 2-8 明新科大校園後山滑動面與預計試驗配置圖	17
圖 2-9 崩塌地 S1 正面照、S2 側面照與預計配置接收處 R2 處照	18
圖 2-10 崩塌地 S2 正面照與預計配置接收處 R4 處照	18
圖 2-11 崩塌地 S3 側面照	19
圖 2-12 崩塌地 S1 背面照與預計配置接收處 R1 處照	19
圖 2-13 鳳山溪與預計配置接收處 R3 處照.....	20
圖 2-14 神木村土石流觀測站地勢分佈示意圖(水保局提供).....	21
圖 2-15 宜蘭縣大同鄉四季聚落測試位置分佈示意圖	22
圖 2-16 明新科大校園內之混凝土方塊結構示意圖與俯視照片	23
圖 3-1 試驗 A 之配置(107.6.22 攝於明新科技大學後山校地).....	27
圖 3-2 LoRa 發射端(左)與接收端(右).....	28
圖 3-3 試驗 A 之實驗數據成果.....	28
圖 3-5 LoRa 發射端(左)與接收端(右).....	30
圖 3-6 試驗 B 之實驗數據成果.....	30
圖 3-7 試驗 C 之配置	31
圖 3-8 LoRa 接收端.....	32
圖 3-9 試驗 C 之實驗數據成果.....	32
圖 3-10 試驗 D 之配置.....	33

圖 3-11	LoRa 發射端(右)與接收端(左)	34
圖 3-12	試驗 D 之實驗數據成果	34
圖 3-13	試驗 D 之實驗環境地形條件	34
圖 3-14	試驗 E 之配置	35
圖 3-15	LoRa 發射端(右)與接收端(左)	35
圖 3-14	試驗 F 之配置	36
圖 3-15	試驗 F 之實驗記錄	37
圖 3-16	試驗 G 之配置	39
圖 3-17	LoRa 接收端	39
圖 3-18	試驗 G 之實驗數據成果	40
圖 3-19	試驗 H 之配置	41
圖 3-20	LoRa 發送端	42
圖 3-20	試驗 H 之實驗數據成果	42
圖 3-21	試驗 I 之配置	45
圖 3-22	於神木村試驗照片	46
圖 3-23	試驗 I 之實驗數據成果	47
圖 3-24	試驗 J 之配置	49
圖 3-25	於四季村試驗照片與個別成果圖	61
圖 3-26	於四季村試驗綜合成果圖	62
圖 3-27	試驗 K 之配置	64
圖 3-28	於四季村試驗照片與個別成果圖	66
圖 3-29	於四季村試驗綜合成果圖	66

第一章 研究計畫之背景

第一節 邊坡監測面臨之通訊需求

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。長距離低功耗之通訊方式，勢必為災害來臨前、中、後之重要通訊方式。

另一方面，現行廣泛使用之 3G 或 4G 等通訊技術，雖然頻寬高，但是建置、通訊成本與耗電量亦高，為維持良好通訊往往須加裝其他電力備援(例如：太陽能板等)，整體成本相當可觀。倘若某一站址規劃使用 400 個感測器，則需要 400 組 4G 通訊器材與電力供應裝置，然而其總資料量可能僅需 1 組 4G 通訊器材與電力供應裝置即可完成。如此概念下僅需建置 1 組通

訊器材與電力供應裝置，其他感測器則可透過長距離低功耗低頻寬的低成本的傳輸方式完成。

第二節 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，預計 2018 年將完成 60 個國家的網路布建。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。

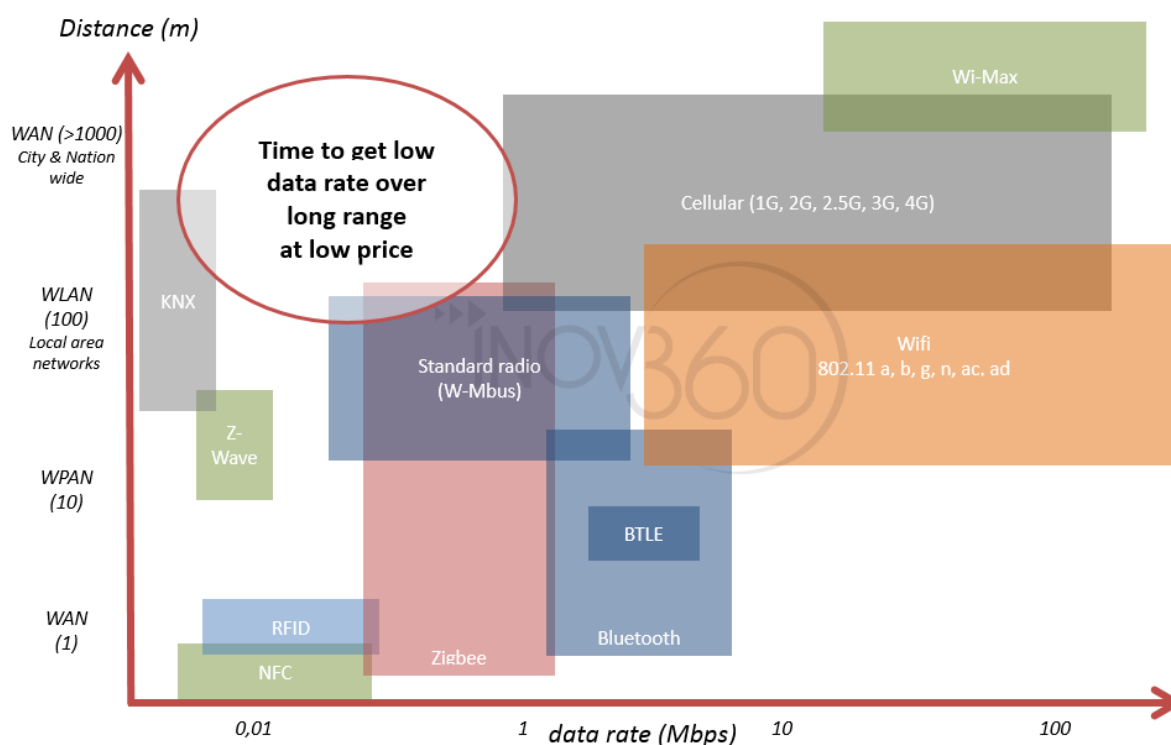


圖 1-1 各種通訊方式數據傳輸率與傳輸距離關係圖

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

第三節 LoRa 傳輸技術之發展

LoRaWAN 是 Long Range WAN，也就是長距離廣域網路的意思，其在市區傳輸距離約 2~5 公里，在遮蔽物較少的郊區則為 15 公里。LoRa 聯盟目前會員數已經超過 500 家，是近年成長最為迅速的產業團體。LoRa 傳輸模式稱為擴散因子(Spreading Factor)，採用 SF7 模式時，傳輸速率為 5468bit/s，傳輸距離約 2 公里，可應用在需求較大資料量的應用，SF8 模式傳輸速率 3125bit/s，傳輸距離 4 公里，一直到 SF12 模式，是傳輸速率最小但距離最長的模式。

LoRa 資料傳輸時透過兩層加密技術包括 Network Session Key 與 Application Session Key，一為傳輸加密，一為資料加密，是一種很安全的無線技術。張興皇解釋，LoRa 因應不同應用情境需求，設計了三種傳輸模式，

Class-A 設計給搭載電池的裝置，以最省電的方式運作，資料傳送後馬上進入待機/休眠狀態，延長電池續航力。

Class-B 則是可應用在電池供電與電源線供電裝置，該模式傳送資料後不會馬上休眠，是 Class-A 加上額外的接收視窗。Class-C 則建議為電源線供電裝置應用，採用連續聽模式，是三個模式最耗電的一種，但服務品質也最好，終端裝置可以隨時收訊。

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，以及很好的抗干擾性，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 1-2 所示。

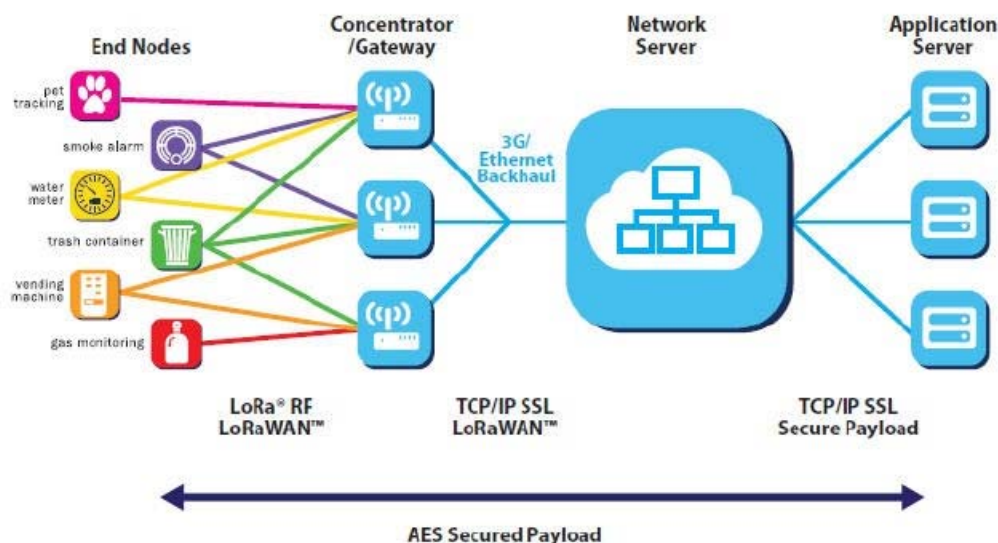


圖 1-2 長距離星型架構示意圖

(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(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(為本研究案未來探討重點之一)。

另一種現行的低功耗長距離通訊技術為 NB-IoT，能與蜂巢式網路基礎架構共同運作。物聯網(IoT)有「最後一哩」的難題。雖然用來收集與分析資料的雲端基礎架構早已就緒，但是，到現在可用來連結大量裝置接上網路、且兼具傳輸距離、低功耗與低成本特性的無線基礎架構卻還沒有到位。窄頻 IoT(NB-IoT)是專為低功耗、低成本 IoT 裝置所開發的新式無線標準，能與蜂巢式網路基礎架構共同運作。無需專屬的閘道器，因此裝置製造商能專注於設計裝置的功能性，不用再擔心無線基礎架構的問題。NB-IoT 標準已於 2016 年 6 月制定完成，成為 3GPP 第十三版的一部分。它是窄頻技術，僅使用 180kHz 頻寬。因此，它的資料傳輸速率僅約 27.2kbit/s 下載及 62.5kbit/s 上傳。雖然此傳輸量比 Wi-Fi、藍牙或高階蜂巢式技術低了許多，但對眾多只需傳送狀態資訊的 IoT 應用來說，已經綽綽有餘。

由於 NB-IoT 的鏈結僅使用很小的頻寬，因此能以低功耗實現長距離通訊。此外，窄頻再加上運作於 GHz 以下頻帶，意味著 NB-IoT 擁有極佳的訊號穿透力。也由於它採用授權頻段，NB-IoT 與藍牙、Wi-Fi、以及其它在日益壅塞的 ISM 免授權頻段上運作的通訊協定相比，擁有更佳的訊號完整

性以及較低的干擾。雖然 NB-IoT 是與蜂巢式網路供應商一起設計，硬體也相容於既有的網路，但事實上，它是一個全新的通訊協定，與既有的 LTE 或 3G 協定並不相同。做為一種「全新設計」的標準，NB-IoT 堆疊簡潔且易於建置，這代表 NB-IoT 無線電模組會比大多數的蜂巢式無線電簡單許多，而且成本相對合理。然而 NB-IoT 使用規範與建置成本由電信廠商制定，可能較無法有彈性地依照使用需求開發不同模組與所需傳輸需求。

第三節 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 LPWA 所推出的三大蜂巢式技術看來，三項技術皆被定位為 LPWA 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(表 1-1 所列)。初步針對 LoRa 與 NB-IOT 之比較如下幾點：

- 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 1-1 不同 LPWAN 通訊技術之傳輸能力比較

通訊標準	技術規格	應用市場	主要晶片商
EC-GSM-IoT	頻寬：200kHz 覆蓋範圍：164dB(在33dBm發射功率下)； 154dB(在23dBm發射功率下) 資料傳輸率：GMSK→70kbits(DL/UL)； 8PSK→240 kbits(DL/UL)	為2G技術升級版，因此原2G應用皆一體適用，包含自動讀表(AMR)、文字簡訊傳輸。	高通(Qualcomm)、英特爾(Intel)、聯發科(MediaTek)、意法半導體(ST)、展訊
LTE-M	由LTE技術延伸而來，針對低頻寬設計的技術。 頻寬：1.08MHz 覆蓋範圍：155.7dB 資料傳輸率：1Mbit/s(DL/UL)	穿戴式裝置、定位式兒童追蹤服務、圖片傳輸(不含影音串流)、血壓監控。	
NB-IoT	相較於EC-GSM、LTE-M傳輸頻率較高。 頻寬：180MHz 覆蓋範圍：164dB 資料傳輸率：250kbit/s(DL) 單頻20kbit/s(UL) 調變250kbit/s(UL)	車輛追蹤、智慧停車、資產追蹤、智慧儀表、感測器監控。	
SIGFOX	頻段：868MHz/902/920MHz ISM 覆蓋範圍：160dB 資料傳輸率：100bit/s	環境感測器、智慧儀表、農業與畜牧業感測器、資產跟追蹤智慧城市。	德州半導體(Pi)、德州儀器(TI)、愛特梅爾(Atmel)、芯科實驗室(Silicon Labs)
LoRa	頻段：433/868/915MHz ISM 覆蓋範圍：157dB 資料傳輸率：EU→250bit/s~50kbit/s US→980~21.9kbit/s	濕度感測器、智慧城市、路燈控制、煙感控制器、智慧儀表。	Semtech

第二章 研究方法

如前述，LoRa 相當新穎之技術，從 2015 年提出至今在都會區之應用已經如火如荼迅速發展，然而在自然災害之應用上還在萌芽階段。本研究預計以不同情境之現地實驗進行資料蒐集，並透過加入地形變異之滾動式演算法，進行 LoRa 於坡地監測時最佳化配置研發，以下分別說明之。

第一節 LoRa 之軟硬體規格

研究團隊將租用已經將 ADC 電路板、天線與電源開發成模組化(圖 2-1)之 LoRa 發送器(圖 2-2)、接收器(圖 2-3)進行本年度之試驗。其中發送器可以直接連結感測器訊號線端子或以 RS-232 連接其他設備；接收器可以以 USB 連結電腦、透過 4G 傳送資料至後端伺服器、儲存資料在記憶卡。



圖 2-1 已模組化實驗設備



圖 2-2 LoRa 發送器



圖 2-3 LoRa 接收器



圖 2-4 LoRa 通訊設備電路板

第二節 本次試驗採用的頻寬

數據傳輸所說的『頻寬』(Bandwidth)，一般都是指『資料傳輸率』(Data Rate)，表示該線路每秒可傳輸多少位元數 (bits per second, bps)，例如 10Mbps (每秒一千萬個位元) 或 200 Mbps (每秒兩億個位元) 的頻寬。某一傳輸設備可以傳輸多少頻寬，不僅是傳輸媒介的因素，還必須配合許多相關設備，例如多工器、交換機、數據機等裝置；所以一個傳輸設備的頻寬是由若干個傳輸裝置共同來完成。另外，針對傳輸媒介上的訊號變化率，稱之為『鮑爾率』(Baud Rate)，也就是常說的傳輸媒介上的頻寬。

如果以寬頻傳輸之媒介而言，頻寬就是媒介上可以承載的最高頻率。一般同軸電纜為 300~750 MHz，Cat-5 之雙絞線為 45 MHz，依不同的材質，其所能承載的頻率範圍相差很大。在傳輸媒介上訊號變化率不一定等於資

料傳輸率，這牽涉到編碼技巧，例如，基頻傳輸上的曼徹斯特編碼 (Ethernet 網路)，訊號變化率是資料傳輸率的兩倍 (每個位元中間都有變化)。在寬頻傳輸上，Dial-up 數據機所調變的訊號變化率為 3 KHz，而資料傳輸率可達到 56 Kbps。

在區域網路或骨幹網路上所講的頻寬，是該網路設備所能承載的最高資料傳輸率，也是該網路的共享頻寬。例如，某一骨幹線路的頻寬為 100 Mbps，而網路上連接 50 部電腦，也都具有 100 Mbps 的傳輸能力。這表示 50 部電腦共享 100Mbps 的骨幹頻寬，且當任何一部取得網路使用權時，是以 100Mbps 速率傳輸資料。但並非每一部電腦皆能獨享骨幹頻寬，如果按照平均分配，每部電腦只取得 2Mbps 的頻寬；幸而並非每一部電腦都同時在傳輸資料，所以一般使用情況還好。然而一旦網路上傳輸資料過於頻繁時，也許骨幹頻寬就會不符所需。

以說話溝通作為例子說明：說話的時候，不可能只有一種頻率，而會有高音（高頻）與低音（低頻）的變化；也就是說，說話其實是發出某一個頻率範圍的聲音（聲波）。因此，當聲帶以高頻電磁波來傳送語音訊號時，不會只用到一個「頻率」，必須使用某一個「頻率範圍」來通話才行。這個可以傳遞訊號的頻率範圍就稱為頻寬（bandwidth），單位和頻率相同為赫茲（Hz）。

通訊時，每一對通訊使用者必須使用「不同的頻率範圍」來通話，因為手機並不會分辨到底是誰和誰在說話，而是接收「某一個頻率範圍」。換句話說，所有的通訊元件都是「只認頻率不認人」。

假設甲和乙使用頻率 900~901 MHz（兆赫）的電磁波通話，那麼丙和丁就是使用頻率 901~902 MHz 的電磁波通話；因此甲與乙的手機只接收頻率 900~901 MHz 的電磁波，而丙與丁的手機只接收頻率 901~902 MHz 的

電磁波。如果甲的手機可以同時接收到頻率 900~901 MHz 與 901~902 MHz 的電磁波，那麼他就會同時聽到乙、丙、丁三個人的聲音了。

無線通訊的傳輸介質是可以看到的空間，而且共用同一個空間，將所有的訊號往同一個空間裡丟，因此相同的頻率範圍只能使用一次。例如，第二代行動電話 GSM900 系統使用的頻率範圍為 890~960 MHz，則其他的無線通訊（無線電視、無線收音機、衛星通訊、衛星定位、雷達等）就不能再使用這個頻率範圍了，否則會互相干擾。在臺灣，負責頻譜分配的是國家通訊傳播委員會（National Communications Commission, NCC），每一家電信業者都必須先向 NCC 取得使用執照才能經營無線通訊業務。

電磁波是一種連續的波動能量，也就是類比訊號，當我們將類比訊號轉換為數位訊號，所有資料都會變成 0 與 1 兩種不連續的訊號；在進行數位通訊時，實際傳送每個位元(bit)資料的速率，就稱為資料傳輸率(data rate)，它的單位是每秒位元數(bit per second, bps)，代表每秒可以傳送幾個位元，也就是每秒可以傳送幾個 0 或 1。例如 1 Gbps (1G 等於 10 億)，就表示每秒可以傳送 10 億個位元，或者是說 10 億個 0 或 1。

由於目前大部分的通訊系統都是屬於數位通訊，因此使用資料傳輸率來描述更為恰當；資料傳輸率的大小是由傳輸介質與傳輸設備決定，若頻寬愈寬，通常可以提供更高的資料傳輸率，因此數位訊號能讓我們利用不同的調變與多工技術使相同頻寬的介質，具有更高的資料傳輸率，這就是目前許多新的通訊技術，例如：3G 的 WCDMA、4G 的 OFDM 被發明出來的原因。

本研究採用 Semtech 公司出產，發送晶片型號 SX1272 之傳送器、接收晶片型號 SX1301 之接收器。一般常用的頻寬、擴散係數與傳輸率關係如圖 2-5 所示。實務上，高、低頻傳輸對於效果之差異初步整理如表 2-1 所示。為了測試最低頻狀態下之傳輸率，採用帶寬為 125KHz、SF=7、可獲得

5468bps 的傳輸速度。另外獲得 1 個封包(12bytes=96bits)所需的時間為 41.22ms。

Data Rate and Time-on-Air

Bandwidth = 500KHz			Bandwidth = 250KHz		
SF	Data Rate (bps)	Time on Air for 12 bytes (ms)	SF	Data Rate (bps)	Time on Air for 12 bytes (ms)
7	21875	10.3	7	10937	20.61
8	12500	18.05	8	6520	36.1
9	7031	36.1	9	3515	72.19
10	3906	61.95	10	1953	123.9
11	2148	144.38	11	1074	288.77
12	1171	247.81	12	585	495.62

Bandwidth = 125KHz		
SF	Data Rate (bps)	Time on Air for 12 bytes (ms)
7	5468	41.22
8	3125	72.19
9	1757	144.38
10	976	247.81
11	537	577.54
12	292	991.23

Note: Minimum packet size of LoRaWAN is 12 bytes.

圖 2-5 本研究採用之 LoRa 數據傳輸能力關係圖

表 2-1 不同頻率訊號傳輸性之比較

	高頻訊號	低頻訊號
方向性	定向	無方向性
穿透能力	強	弱
繞射能力	弱	強
覆蓋力	小	大
承載能力	大	小

第三節 檢驗通訊能力的方式

發送器與接收器之連結能力，以 RSSI(接收訊號強度指數)、SNR(訊號雜訊比)、耗電量關係進行評估。預計開發出如圖 2-6 之紀錄韌體與軟體

接收訊號強度指數(Received-signal-strength-indication，縮寫為 RSSI)是一個負的 dBm，表示 RF 信號的數值。信號越強，表示連線品質越好。因此，RSSI 越接近 0 越好。訊號雜訊比(Signal-to-noise ratio，縮寫為 SNR 或 S/N)是科學和工程中所用的一種度量，用於比較所需訊號的強度與背景雜訊的強度。其定義為訊號功率與雜訊功率的比率，以分貝(dB)為單位表示。大於比率 1:1(高於 0 分貝)表示訊號多於雜訊。SNR 是一個正的 dB，表示信號比雜訊強多少。雜訊太多就容易有重傳(collision)，有效傳輸就會降低；SNR 最好比 RSSI 高。LoRa 發射與接收品質，將由上述兩者評估，如下表 2-2 所示：

表 2-2 RSSI 與 SNR 與 LoRa 發射接收品質關係

RSSI [dBm]	信號強度	
-50 ~ 0	強	
-100 ~ -50	中	
-100 ~ -140	弱	
< -140	極微(斷訊)	
SNR [dB]	雜訊	訊號品質
大	小	好
小	大	差

The screenshot shows the Kiwi Mono Network interface for LoRaWAN data. It includes a sidebar with navigation options like Home, LoRaWAN, Device List, and Applications. The main area displays a table of data entries with the following columns: Time, DevAddr, DevEUI, GatewayEUI, Owner, RSSI, SNR, SF, BW, Freq, UpClr, Size, and Data. The table shows multiple entries with varying RSSI and SNR values. At the bottom, it indicates 'Showing 1 to 10 of 18 entries' and includes pagination controls.

圖 2-6 本研究計畫主要取得之參數圖表畫面示意圖

第二節 測試 LoRa 之長距離傳輸能力

LoRa 號稱有效距離達 10~15KM，然而實際狀況之成果資料並不多，有賴本案進一步探討。省道台 68 線之路廊趨近平直，從新竹市南寮漁港端一路沿著頭前溪河谷南岸延伸至新竹縣竹東端，長約 23KM(里程終點為 23K+500)，頭前溪兩岸之距離亦大致呈現等比例縮小，初步被本次研究選為測試 LoRa 之長距離傳輸能力之場址，空間分布大致如圖 2-5 所示。

實驗方式為以定點式接收，以車載發送器方式，紀錄離接收站距離與 RSSI(接收訊號強度指數)、SNR(訊號雜訊比)、耗電量關係，如圖 2-7 所示。



圖 2-7 省道台 68 線與頭前溪河谷之空間相對位置圖
(底圖取自 Google Earth)

第三節 測試 LoRa 於坡地之應用性—明新科大校園坡地區

明新科技大學位於新竹縣新豐鄉，校地遼闊，其中將近一大半區域為尚未建構校舍之校區，地形以坡地以及回填廢土、廢棄物而形成之台地為主，該區俗稱為明新科大的後山。然而該區域長期存在地表沉陷、張裂與回填坡體穩定問題，如圖 2-8 所示，崩塌地 S1~S3 與預計配置接收處 R1~R4 處之照片如圖 2-9~2-13 所示。根據校史，試驗場址於 1904 年~2014 年間可看出原山谷以回填土回填後，出現邊坡滑動現象，且持續擴大，已於地面發現相關徵兆。因此若可以圖中三處滑動區進行本案研究，將有助於該邊坡之長期穩定。

上述之配置為 R1~R3 分別為直接正向面對崩塌地 S1~S3 之收處，R4 為背向崩塌地之最近可架設處。概念為 R1~R4 模擬無市電供應之現地狀。

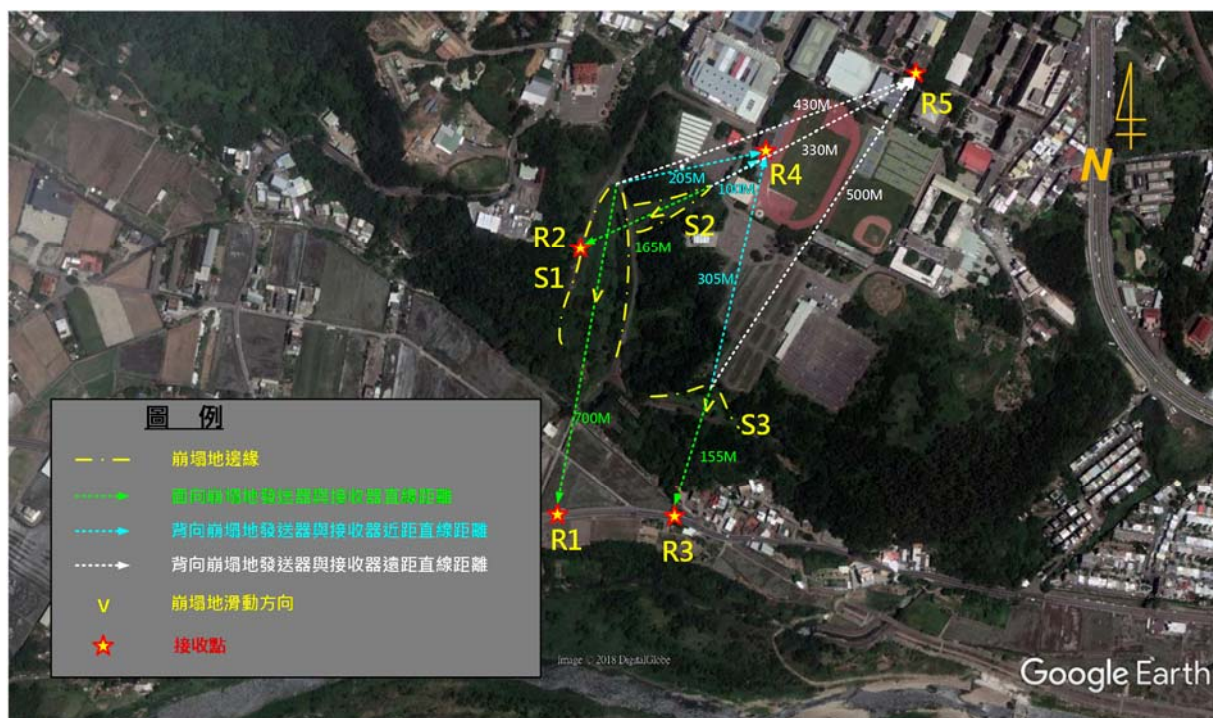


圖 2-8 明新科大校園後山滑動面與預計試驗配置圖



圖 2-9 崩塌地 S1 正面照、S2 側面照與預計配置接收處 R2 處照



圖 2-10 崩塌地 S2 正面照與預計配置接收處 R4 處照



圖 2-11 崩塌地 S3 側面照



圖 2-12 崩塌地 S1 背面照與預計配置接收處 R1 處照



圖 2-13 鳳山溪與預計配置接收處 R3 處照

第四節 測試 LoRa 於坡地之應用性—南投縣神木村

神木村位於南投縣信義鄉西南方，由南投水里至信義往南沿省 21 公路，經豐丘、同富(和社)，經玉泉橋後轉入產業道路可到達神木村；也可由嘉義至阿里山經台 18 號公路(玉山景觀公路)(新中橫)，經自忠、塔塔加、東埔接台 21 公路再到神木村。

過去至災紀錄大致如下：民國 85 年 7 月 31 日至 8 月 1 日賀伯颱風登陸臺灣，最大日雨量達 1094.5mm，最大降雨強度達 74mm/hr(發生頻率 300 年僅 1 次，為阿里山觀測站設站以來之最高記錄)，連續 24 小時之雨量達 610.5mm。陳有蘭溪及和社溪沿岸 28 處災區情況嚴重，民房遭土石掩埋毀損，死亡 27 人，失蹤 14 人，流出總土石約 450,000 方(約為銅門村之 8 倍)；之後幾乎每隔二至三年皆有災情傳出(王虹萍等人 2009)，最近一次為 2017 年 06 月 01 日豪雨導致發生土石流事件。因此，水保局已於此處設置土石流觀測站，相關地勢如圖 2-14 所示，主要包含影像資料、鋼索檢知器、地聲檢知器、土壤含水感測器及雨量計等。

研究團隊於 107 年 8 月 16 日獲得水保局同意(水保防字第 1071810221 號)後，已於 107 年 9 月 4 日至現場進行以 LoRa 通訊能力之測試，並規畫於次年度串接既有之監測項目與引進視覺化監測系統，以進行最佳化之通訊節點配置研究與建議。

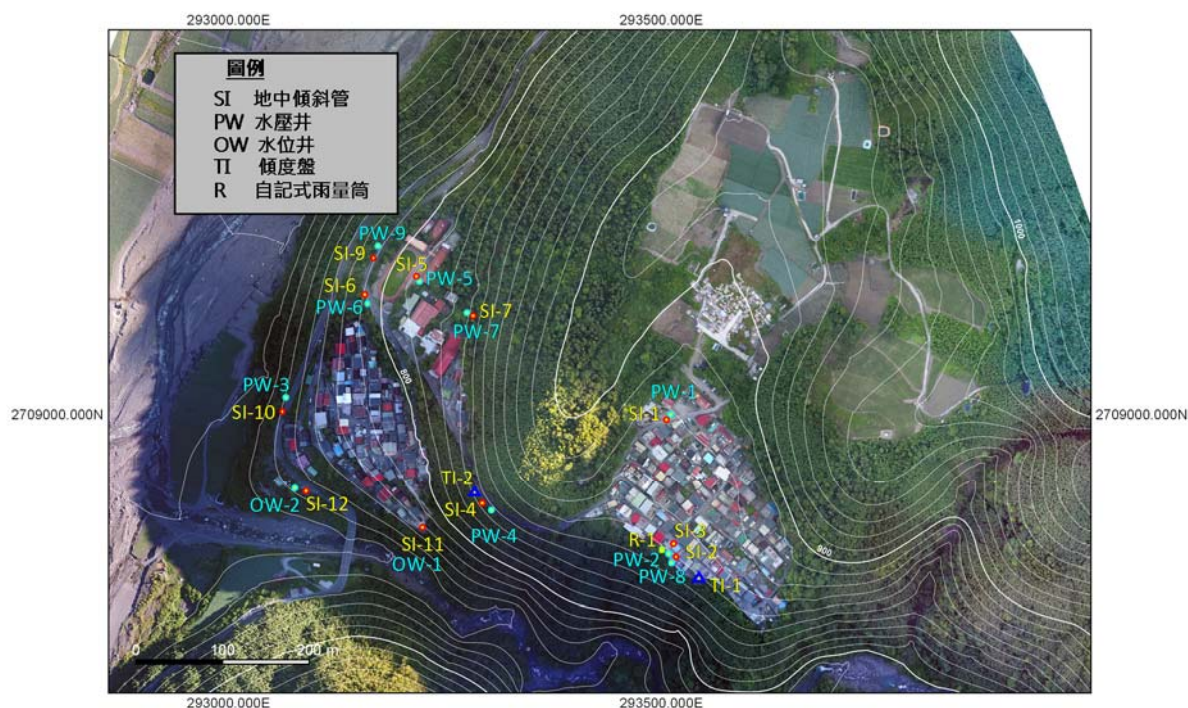


圖 2-14 神木村土石流觀測站地勢分佈示意圖(水保局提供)

第五節 測試 LoRa 於坡地之應用性—宜蘭縣大同鄉四季聚落

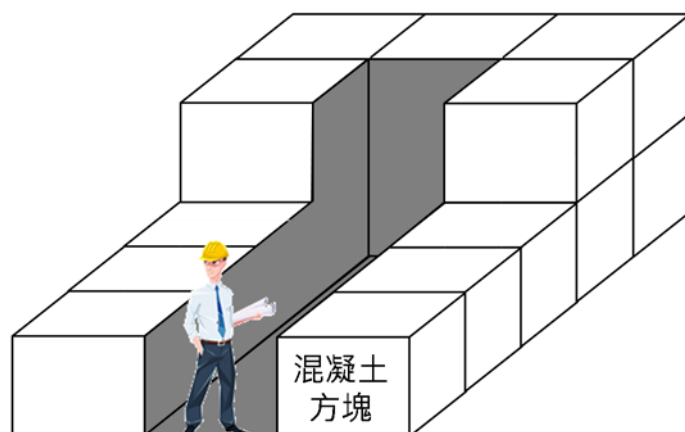
宜蘭縣大同鄉四季村，經 99 年度梅姬颱風來襲後，歷次颱風皆造成四季村受創甚巨(如：四季上部落外緣下邊坡崩滑影響聚落安全，四季村下部落邊坡崩塌嚴重影響台七甲道路通行…等災害)，皆顯示四季部落邊坡滑動潛勢危機。研究團隊執行宜蘭縣政府委託調查與監測，目前共 11 處人工監測傾斜管孔位與鄰近 11 處半自計式水壓計孔位、兩處人工量測傾度盤、1 處自動化雨量監測站，如圖 2-15 所示。本研究亦於 107 年 9 月 6 日、10 月

10 日至現場進行以 LoRa 通訊能力之測試，並規畫於次年度串接既有之監測項目與引進視覺化監測系統，以進行最佳化之通訊節點配置研究與建議。



第六節 LoRa 傳輸受障礙影響評估

研究團隊於明新科大校園內擺置如圖 2-16 之混凝土方塊結構，混凝土方塊尺寸為長寬高 1M，以密接方式排列，形成類似注音符號門字型結構，材料為骨材與水泥。為評估 LoRa 傳輸受障礙物之影響，亦即通視性之影響，研究團隊已經初步於結構內外進行不同通視狀況之測試，將於第三章說明。



(a)混凝土方塊擺放示意圖



(b)混凝土方塊擺放俯視照片

圖 2-16 明新科大校園內之混凝土方塊結構示意圖與俯視照片

第三章 試驗成果

團隊於分別針對「空曠區域通訊效果」、「坡地區域通訊效果」、以及「跨越障礙物(無法通視)」等情境進行一系列的試驗，並分別於明新科大校園、台 68 線東西向快速道路、台 62 線濱海公路與南寮漁港等處進行，以下表 3-1 為試驗編號與目的說明，並分節敘述之。其中自試驗 H 後，至實際進行防災監測傳輸之案場進行試驗，包括南投縣信義鄉神木村土石流觀測站與宜蘭縣大同鄉四季聚落等，並新增訊號漏失率之計算方式。

表 3-1 試驗資料

編號	試驗日期	試驗目的	試驗地點
A	107.06.22	坡地區域(可通視)通訊效果	明新科大後山
B	107.06.22	坡地區域(無法通視)通訊效果	明新科大後山
C	107.07.03	跨越障礙(無法通視)通訊效果	明新科大校園
D	107.07.09	有反射下之長距離通訊效果	竹北市鳳崗路
E	107.07.09	無反射下之長距離通訊效果	南寮漁港
F	107.07.09	有遮蔽物狀況下通訊效果	62 線快速道路
G	107.07.17	長距離通訊效果	68 線快速道路
H	107.08.21	高陡坡區域(無法通視)通訊效果	明新科大校園
I	107.09.04	坡地區域(無法通視)通訊效果	南投縣信義鄉神木村
J	107.09.06	坡地區域(無法通視)通訊效果	宜蘭縣大同鄉四季村
K	107.10.10	坡地區域(無法通視)通訊效果	宜蘭縣大同鄉四季村

根據 Augustin et al.,於 2016 研究 LoRa 傳輸效果指出，SF=12 時，超過 80%資料可於 2,800M 外被成功接收。本研究採用 SF=7，頻寬較高，理論上成功率可能較低。一般評估漏失率方法有兩種，如下所述。

第一種為「遲到」，亦即：

漏失率=(數據間秒數超過預設傳輸時間的筆數)/(總筆數)

第二種為「未到」，亦即：

漏失率=(應該收到的筆數)/總筆數=(傳送時的時間(秒)/預設傳輸時間)

由表 3-2 於宜蘭縣大同鄉四季聚落 SI-5 孔試驗成果為例，本研究 LoRa 間傳送頻率為 5 秒 1 次，25 筆資料中，序列第 3、4、10、11、18、19 筆資料並未如期於 5 秒時送至雲端，資料間時間差為 6 秒，亦即遲到 1 秒。若以第一種算法，則漏失率為 12%；若以第二種算法，則漏失率為 0%。

由於本研究所有試驗 LoRa 傳送頻率皆設定為 5 秒 1 次，再傳輸到雲端紀錄資料，因此可能有網際網路傳輸之時間差。經實際實驗成果顯示，以第一種方式估算之漏失率約 20%，與文獻結果相當；以第二種方式估算之漏失率小於 10%，未來在規劃利用 LoRa 串接網際網路至雲端時須特別注意。

表 3-1 實驗成果案例(於宜蘭縣大同鄉四季聚落 SI-5 孔試驗)

筆數	日期	時間	時間差	RSSI	SNR
1	2018/9/6	02:01:04		-55	10.0
2	2018/9/6	02:00:59	00:00:05	-55	10.5
3	2018/9/6	02:00:54	00:00:05	-49	9.0
4	2018/9/6	02:00:48	00:00:06	-53	9.8
5	2018/9/6	02:00:43	00:00:05	-59	9.8
6	2018/9/6	02:00:38	00:00:05	-51	9.8
7	2018/9/6	02:00:33	00:00:05	-55	10.8
8	2018/9/6	02:00:28	00:00:05	-54	9.5
9	2018/9/6	02:00:23	00:00:05	-61	10.0
10	2018/9/6	02:00:18	00:00:05	-51	10.5
11	2018/9/6	02:00:12	00:00:06	-53	9.5
12	2018/9/6	02:00:07	00:00:05	-54	9.2
13	2018/9/6	02:00:02	00:00:05	-54	9.8
14	2018/9/6	01:59:57	00:00:05	-51	10.2
15	2018/9/6	01:59:52	00:00:05	-60	9.8
16	2018/9/6	01:59:47	00:00:05	-61	10.2
17	2018/9/6	01:59:42	00:00:05	-65	9.2
18	2018/9/6	01:59:37	00:00:05	-65	10.0
19	2018/9/6	01:59:31	00:00:06	-63	9.8
20	2018/9/6	01:59:26	00:00:05	-67	10.5
21	2018/9/6	01:59:21	00:00:05	-67	9.0
22	2018/9/6	01:59:16	00:00:05	-60	10.2
23	2018/9/6	01:59:11	00:00:05	-63	9.8
24	2018/9/6	01:59:06	00:00:05	-55	9.8
25	2018/9/6	01:59:01	00:00:05	-65	10.5

為了測試 LoRa 通訊在坡地應用上不同位置配置可能之影響，在明新科技大學後山校地而進行之不同條件實驗，分別於坡面可通視處與有數從地形障礙處進行試驗 A(可通視)與試驗 B(無法通視)，說明如下：

1. 試驗 A：

現場配置照片如圖 3-1 所示、試驗記錄照片如圖 3-2 所示、成果如圖 3-3 所示。

- 時間：107.06.22
- 地點：明新科技大學後山校地
- 天氣：多雲，溫度大約 30°C
- 初步成果：可看出當發送端置於坡頂 RSSI 與 SNR 變化相當穩定，理論上只要發射處後面有可供反射面，位於坡面其他處應該都可順利接收。



圖 3-1 試驗 A 之配置(107.6.22 攝於明新科技大學後山校地)



圖 3-2 LoRa 發射端(左)與接收端(右)
(107.6.22 攝於明新科技大學後山校地)

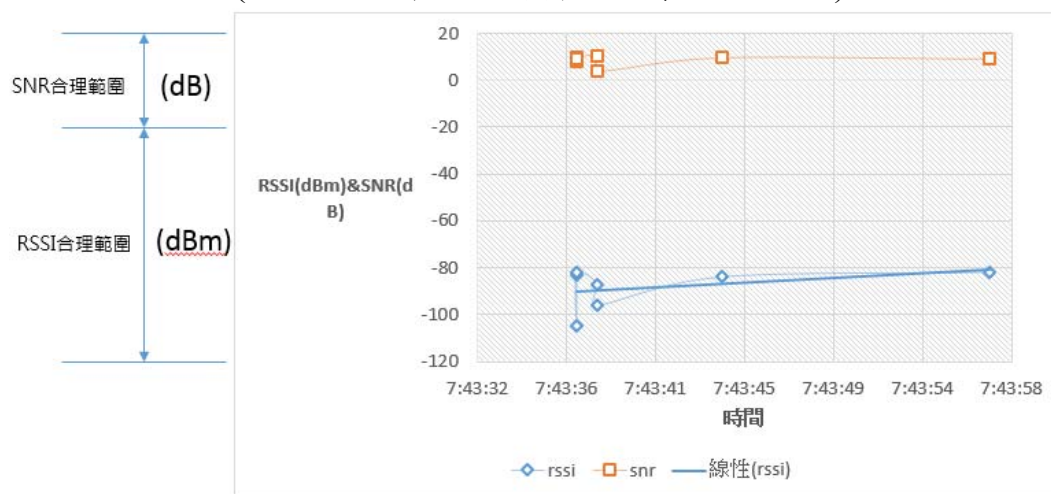


圖 3-3 試驗 A 之實驗數據成果

2. 試驗 B：

現場配置照片如圖 3-4 所示、試驗記錄照片如圖 3-5 所示、成果如圖 3-6 所示。

- 時間：107.06.22
- 地點：明新科技大學後山校地
- 天氣：多雲，溫度大約 30℃
- 初步成果：可以看出訊號原本可通視處(130M 處)於平穩狀態，而漸往旁邊移動(180M、230M)，通視性越來越差，訊號強度也呈現下降狀態；但尚能維持。



圖 3-4 試驗 B 之配置(107.6.22 攝於明新科技大學後山校地)



圖 3-5 LoRa 發射端(左)與接收端(右)
(107.6.22 攝於明新科技大學後山校地)

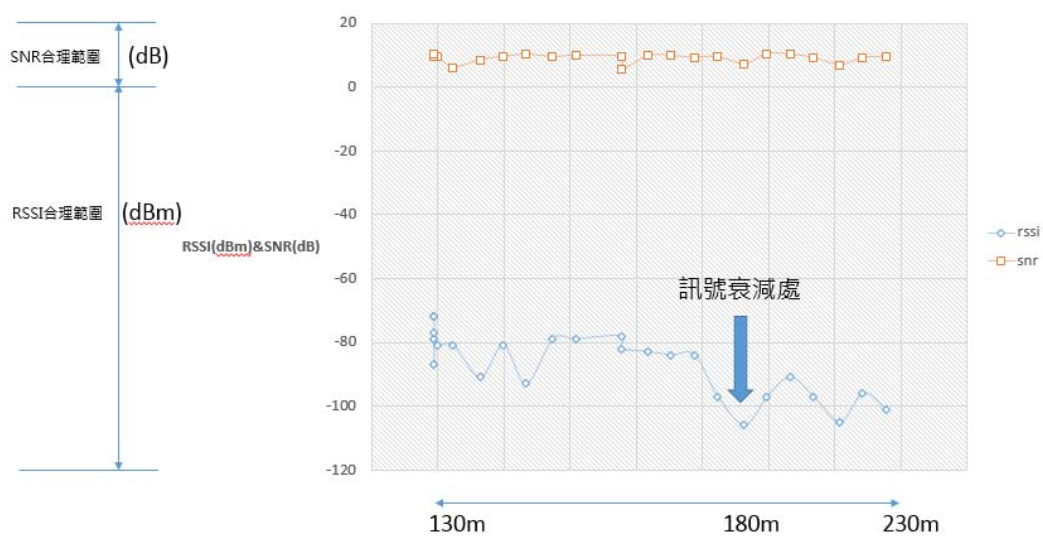


圖 3-6 試驗 B 之實驗數據成果

3. 試驗 C：

為了測試 LoRa 遇到障礙物訊號之變化情形，於明新科大校園進行障礙物影響實驗。現場配置照片如圖 3-7 所示、試驗記錄照片如圖 3-8 所示、成果如圖 3-9 所示。

- 時間：107.07.03
- 地點：明新科技大學校園空曠處
- 天氣：多雲，溫度大約 33℃，濕度 66%
- 初步成果：可以看出 RSSI(接收訊號強度)在有混凝土塊牆阻擋下有明顯的下降，而 SNR(信噪比)在很穩定的狀態下而訊號皆可收發。此次成果說明未來於現地應用時，放置於牆後的發送器仍有機會將訊號傳送至接收器。



圖 3-7 試驗 C 之配置
(107.07.03 攝於明新科技大學校園)



圖 3-8 LoRa 接收端
(107.07.03 攝於明新科技大學校園)

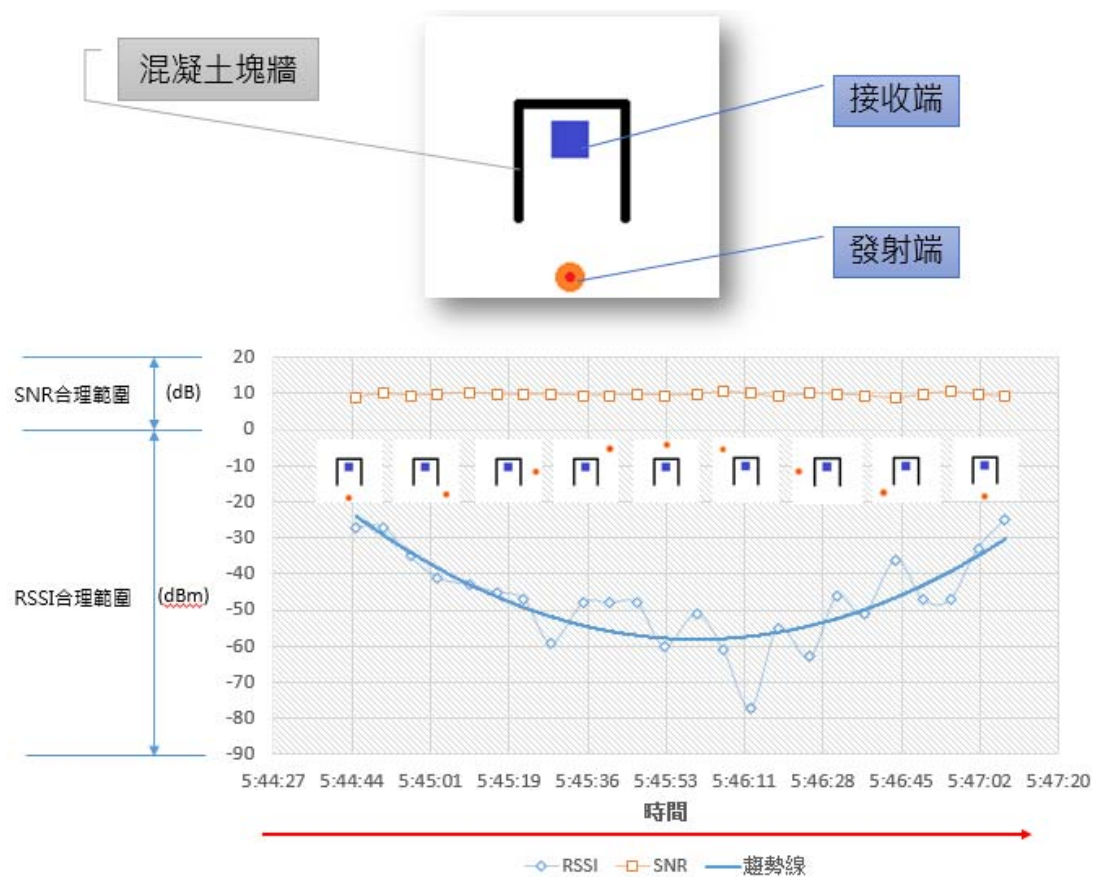


圖 3-9 試驗 C 之實驗數據成果

4. 試驗 D：

為了測試 LoRa 是否可傳輸更遠之距離，於竹北市鳳岡路二段進行實驗。現場配置照片如圖 3-10 所示、試驗記錄照片如圖 3-11 所示、成果如圖 3-12 所示。

- 時間：107.07.09
- 地點：竹北市鳳岡路二段
- 天氣：晴朗，溫度大約 33°C，濕度 60%
- 初步成果：此次實驗看出 RSSI 起伏並未有太大的變化，而 SNR 均在合理範圍內(0~20dB)。圖中雖有房屋阻擋但 RSSI 未受太大影響，推估因右側的山壁讓訊號打回至接收器上，並發現當山壁離發送器越遠(圖 3-13)，收訊有變弱趨勢。此次實驗距離達 1.6 公里，數據都確實收到。



圖 3-10 試驗 D 之配置
(107.07.09 攝於竹北市鳳岡路二段)



圖 3-11 LoRa 發射端(右)與接收端(左)
(107.07.09 攝於竹北市鳳岡路二段)

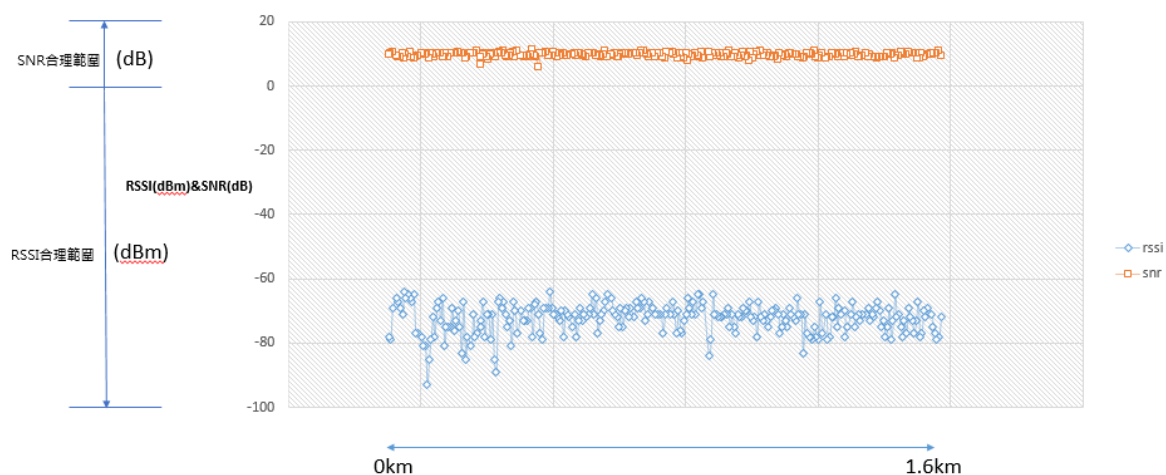


圖 3-12 試驗 D 之實驗數據成果

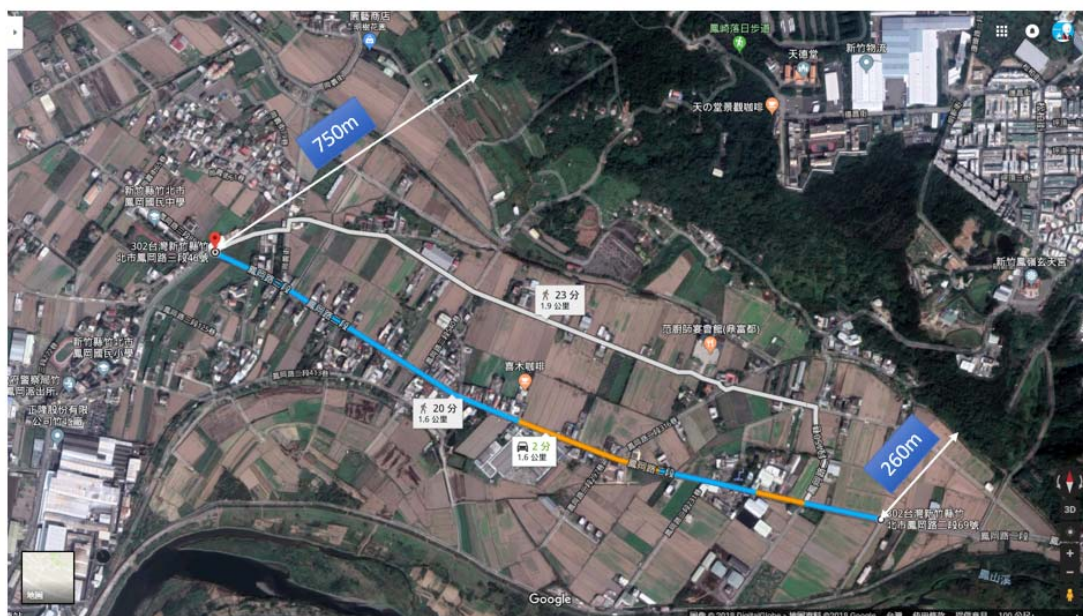


圖 3-13 試驗 D 之實驗環境地形條件

5. 試驗 E：

為了測試 LoRa 是否可傳輸更遠之距離，於南寮漁港與台 68 線西側進行實驗。現場配置照片如圖 3-14 所示、試驗記錄照片如圖 3-15 所示。

- 時間：107.07.09
- 地點：南寮漁港與台 68 線西側
- 天氣：晴朗，溫度大約 33°C，濕度 60%
- 初步成果：此次實驗起點為快速道路 68 號南寮開始往竹東方向進行收發之動作，其訊號只有在起點開始不到 200m 就斷訊。推測其可能影響為將接收器放置於地面、測試時發射端的天線設置在產生金屬屏蔽且移動車輛中等也可能造成負面影響，將於近期內進行改善後複測。



圖 3-14 試驗 E 之配置



圖 3-15 LoRa 發射端(右)與接收端(左)
(107.07.09 攝於南寮漁港)

6. 試驗 F：

為了測試 LoRa 是否可於遮蔽體中進行傳輸，於台 62 線鳳鼻隧道進行實驗。現場配置照片如圖 3-16 所示、試驗成果如圖 3-17 所示。

- 時間：107.07.09
- 地點：台 62 線鳳鼻隧道
- 天氣：晴朗，溫度大約 33℃，濕度 60%
- 初步成果：此次實驗於快速道路 62 號鳳鼻隧道南側朝北方向進行收發之動作，如圖 3-17 所示前段處於穩定之狀況，到了隧道中段之位置(約進隧道後 1.4 公里)，可以看出圖中後段的 RSSI 和 SNR 已經開始急遽下降，之後路段更是連數據都傳達不到，推測其可能影響因素為測試時發射端的天線設置在產生金屬屏蔽且移動車輛中、隧道中無法將訊號透過 4G 發送至雲端，並將於近期內進行改善後複測。



圖 3-14 試驗 F 之配置

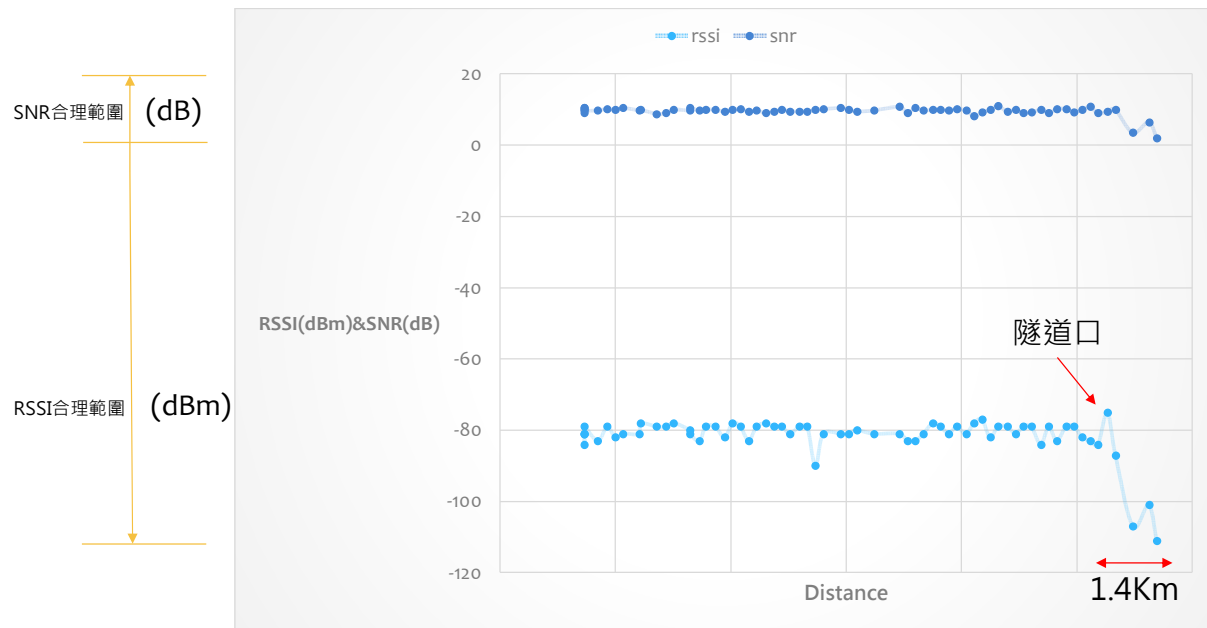


圖 3-15 試驗 F 之實驗記錄

7. 試驗 G：

為了測試 LoRa 是否可傳輸更遠之距離，於省道台 68 線於竹東段進行實驗。現場配置照片如圖 3-16 所示、試驗記錄照片如圖 3-17 所示、成果如圖 3-18 所示。

- 時間：107.07.17
- 地點：新竹縣竹東鎮二重埔明星一路(天橋上)與省道台 68 線
- 天氣：多雲到晴，溫度大約 34°C
- 初步成果：可以看出實驗行經路線上並未完全空曠，在 A 部分因在平面道路上，RSSI 而未有太大的變化。在 B 部分因上 68 快速公路且路況為緩升坡，推估因與訊號接收架設點接近平行，所以 RSSI 才會略上升。在 C 部分可以看出已經到最高點開始緩降坡，以此可以推估因遇到坡度阻礙，RSSI 才急遽下降。在 D 部分 RSSI 已經是非常低的情況下，又因遇到一處小彎，最終導致訊號無法打回接收處。由此可見山壁的對面可假設為無限遠處，訊號才不能藉由反射打回接收器上。推測其可能影響為將接收器放置於天橋上但受到金屬欄杆影響、測試時發射端的天線設置在產生金屬屏蔽且移動車輛中等也可能造成負面影響，將於近期內進行改善後複測。

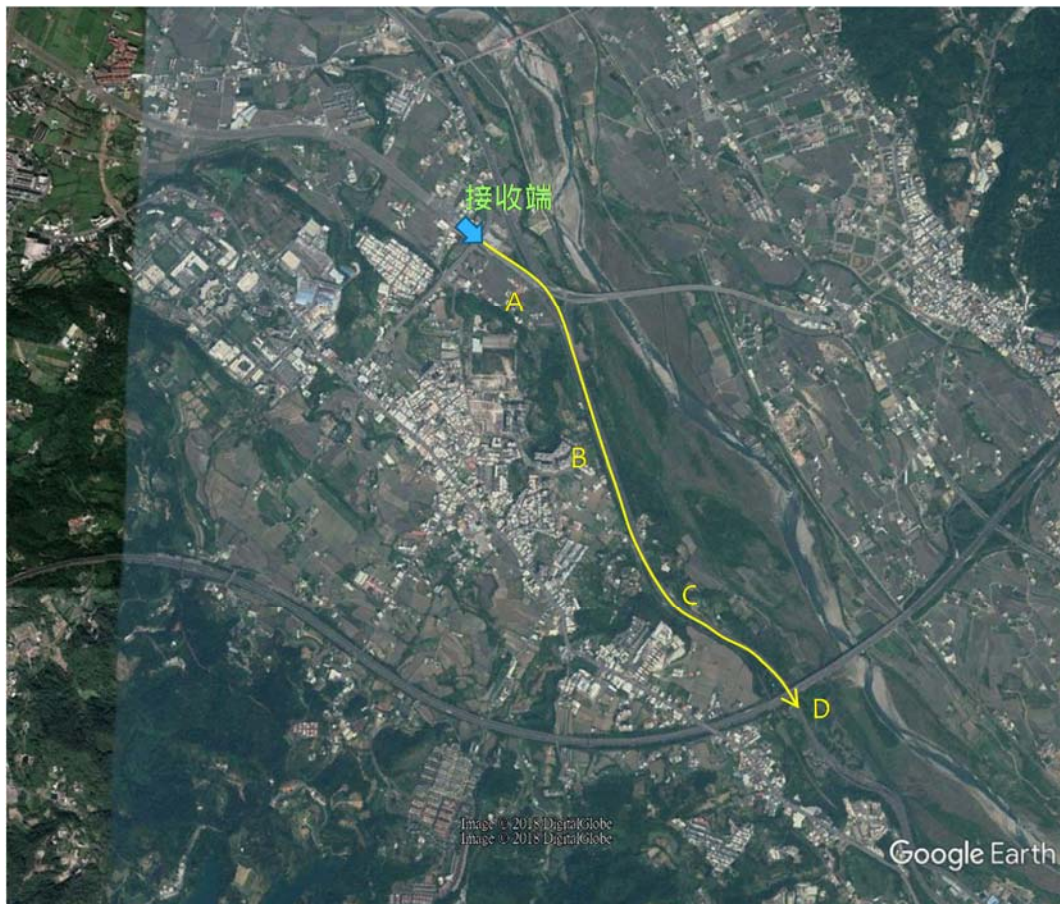


圖 3-16 試驗 G 之配置



圖 3-17 LoRa 接收端

(107.07.17 攝於新竹縣竹東鎮二重埔明星一路天橋上)

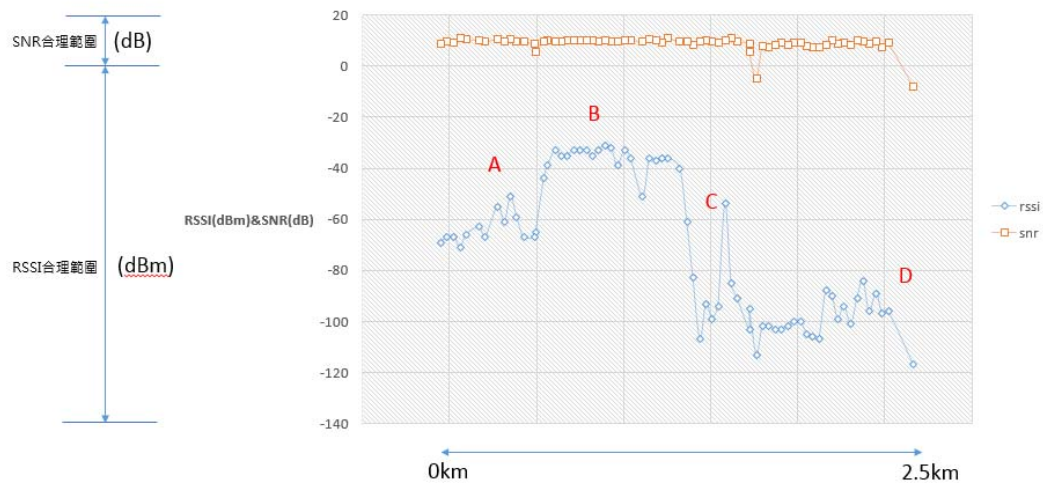


圖 3-18 試驗 G 之實驗數據成果

8. 試驗 H：

為了測試 LoRa 是否可於高陡坡(無法通視)進行傳輸，於明新科大校園後山進行實驗。現場配置照片如圖 3-19 所示、試驗記錄照片如圖 3-20 所示、成果如圖 3-21 所示。

- 時間：107.08.21
 - 地點：明新科大校園後山擋土牆
 - 天氣：多雲炎熱的天氣，濕度 70%，溫度大約 33°C，有時零散驟雨
- 初步成果：可以看出 RSSI 相當穩定，實驗總時間為 51 秒，應收筆數為 10 筆、實收筆數為 8 筆，漏失率為 21.57%。

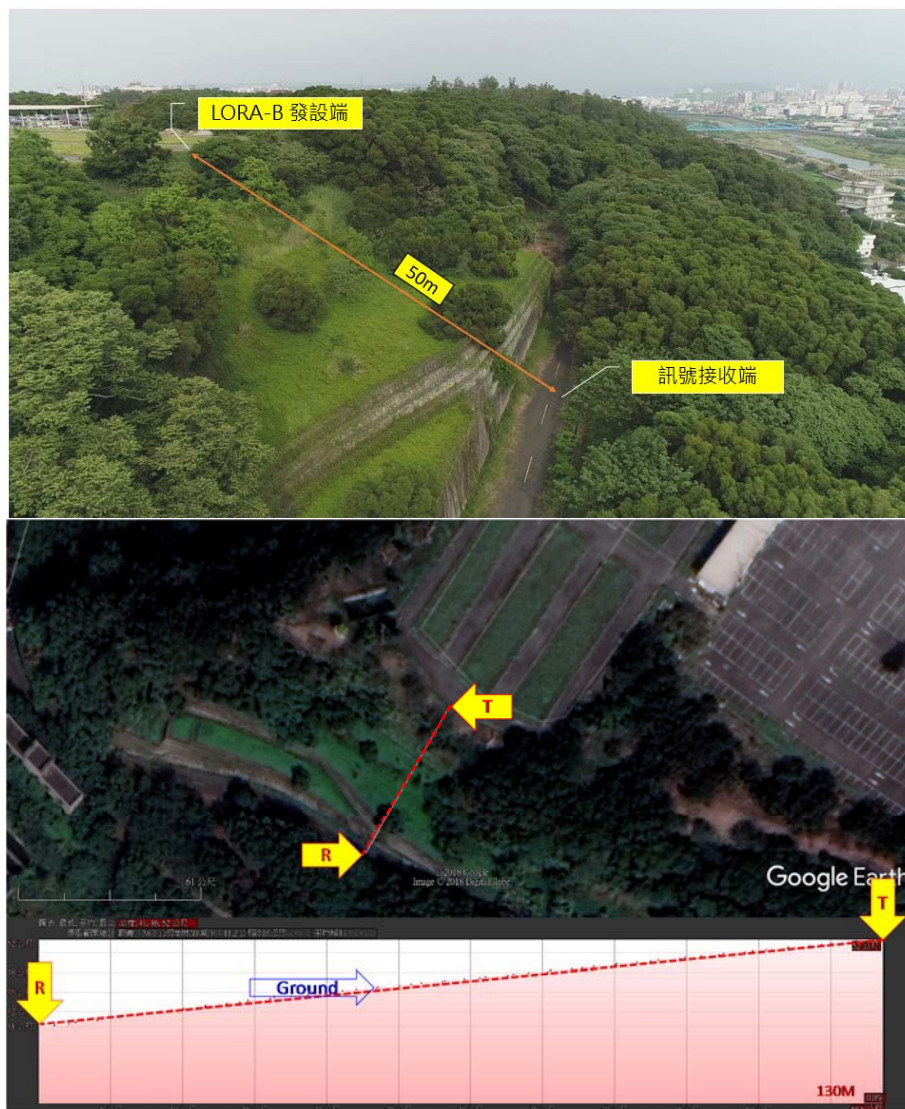


圖 3-19 試驗 H 之配置



圖 3-20 LoRa 發送端
(107.8.21 攝於明新科技大學後停車場)

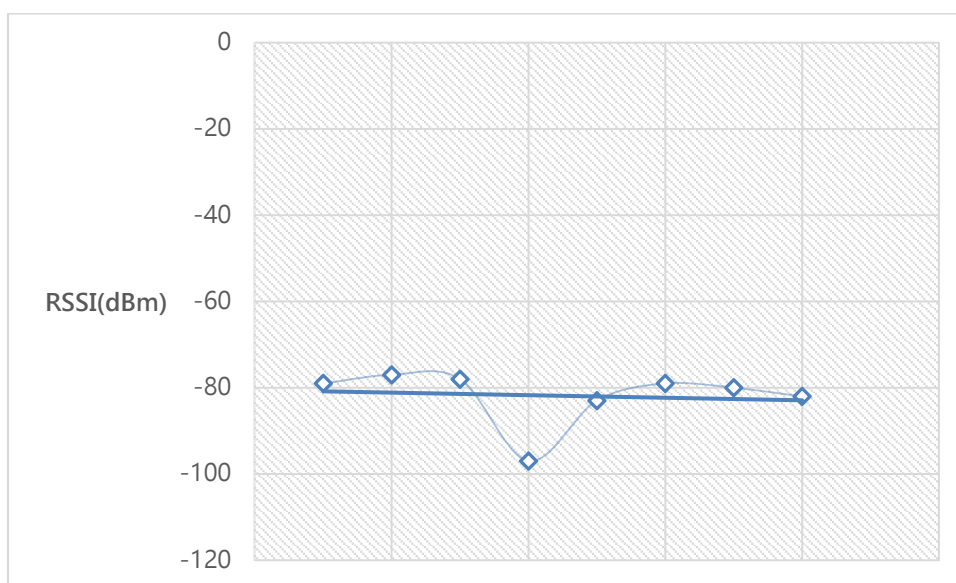


圖 3-20 試驗 H 之實驗數據成果

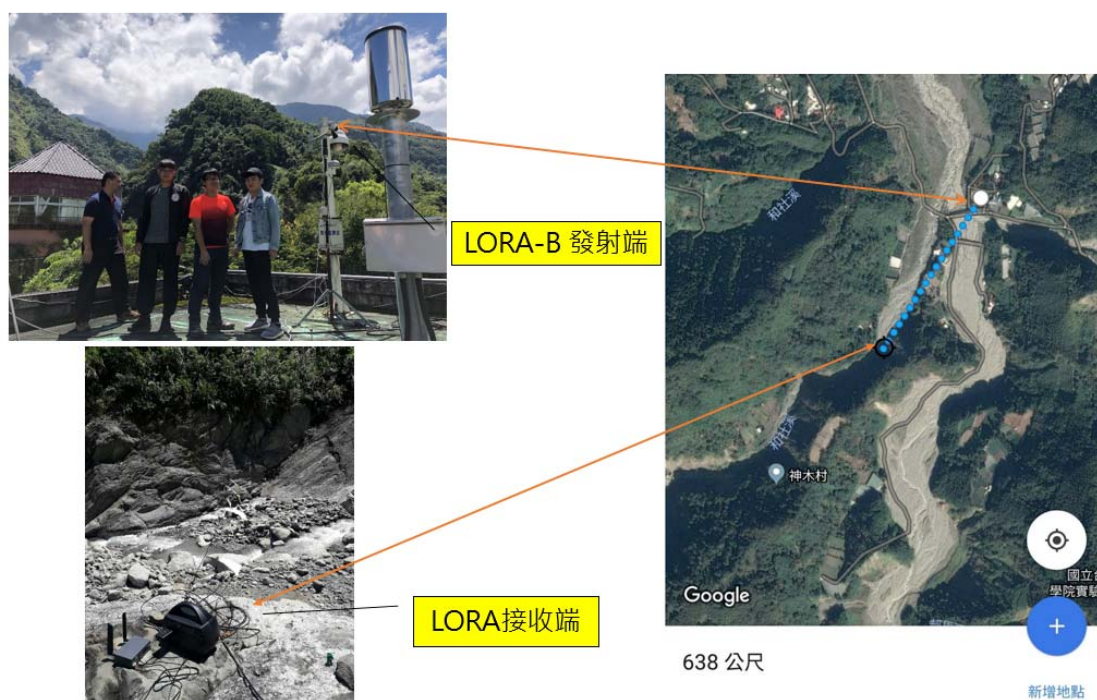
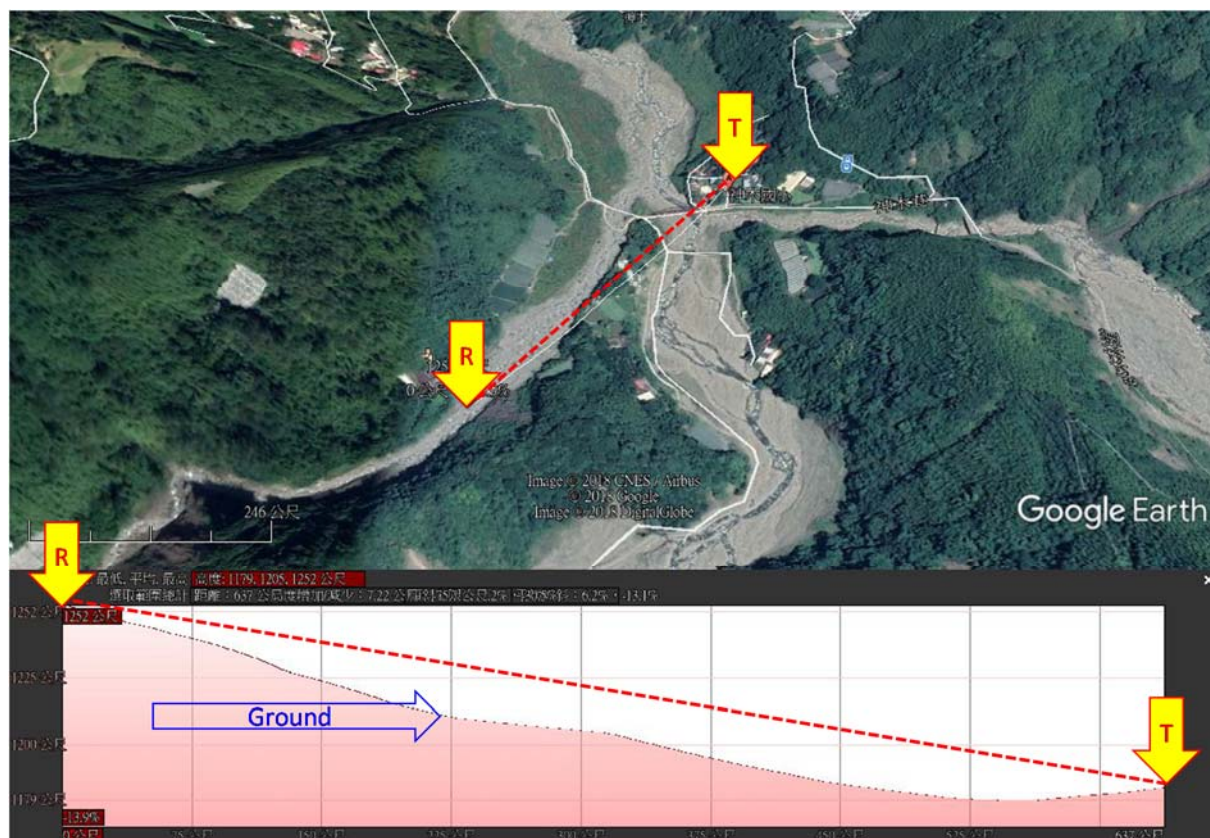
9. 試驗 I：

為了測試 LoRa 是否可於土石流潛勢溪流谷地進行遠距離傳輸，於南投縣信義鄉神木村土石流觀測站進行實驗。現場配置照片如圖 3-21 所示、試驗記錄照片如圖 3-22 所示、成果如圖 3-23 所示。

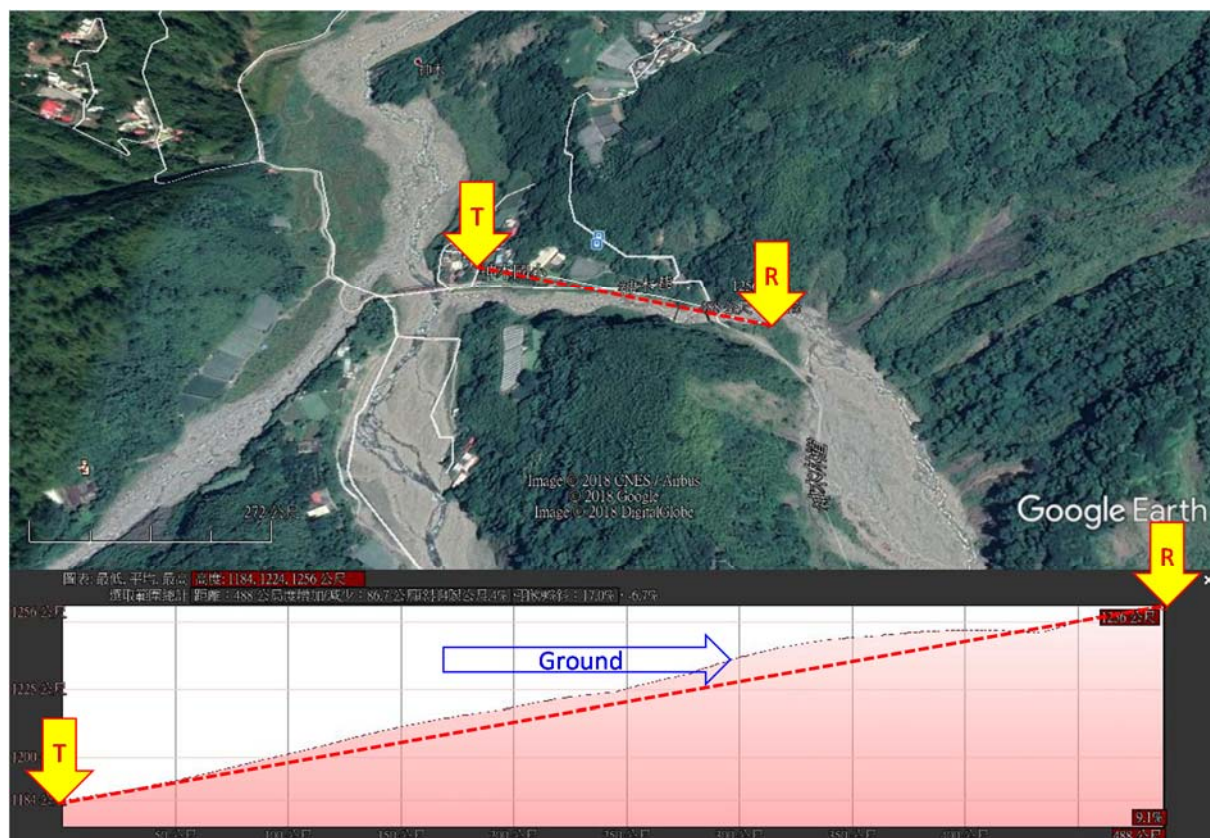
- 時間：107.09.04
- 地點：南投縣信義鄉神木村土石流觀測站
- 天氣：多雲炎熱的天氣，濕度 57%，溫度大約 32℃。
- 各測試點位置狀況與成果：

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

初步成果：可以看出在和社溪與出水溪兩處，SNR 與 RSSI 相當穩定，RSSI 維持在-100dBm 以上，漏失率分別為(1)和社溪部分：實驗時間 731 秒，應收筆數為 146 筆、實收筆數為 143 筆，漏失率為 2.19%；(2)出水溪部分：實驗時間 233 秒，應收筆數為 46 筆、實收筆數為 46 筆，漏失率為 0%。據悉本處之監測器傳輸為採用傳統有線之方式，建議未來可以本研究之 LoRa 傳輸方式為備案。值得注意的是，出水溪的訊號發射處與接收處無法通視，卻可獲得良好且穩定之訊號傳輸。



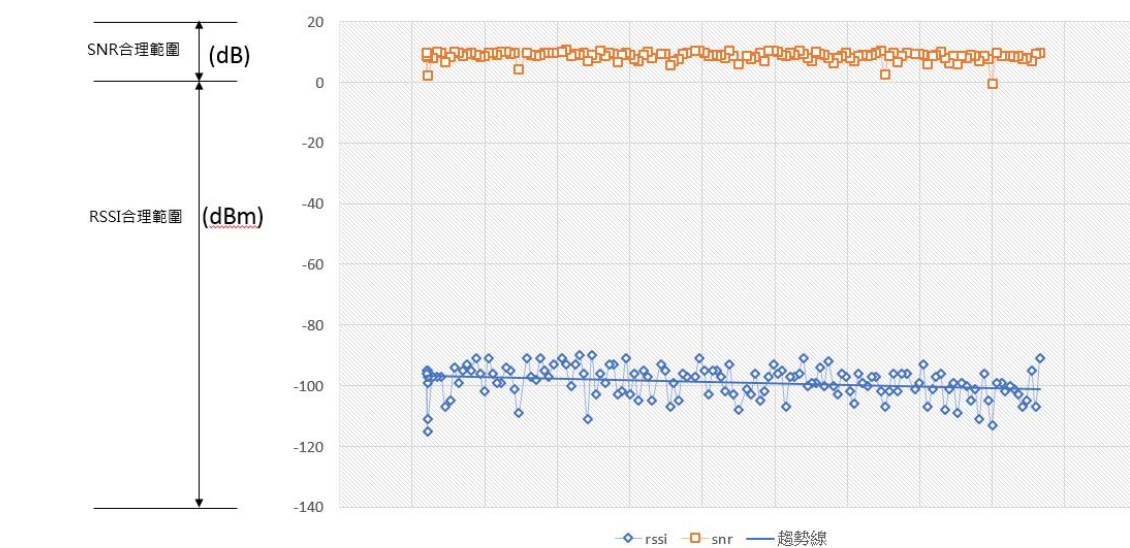
(a) 和社溪部分



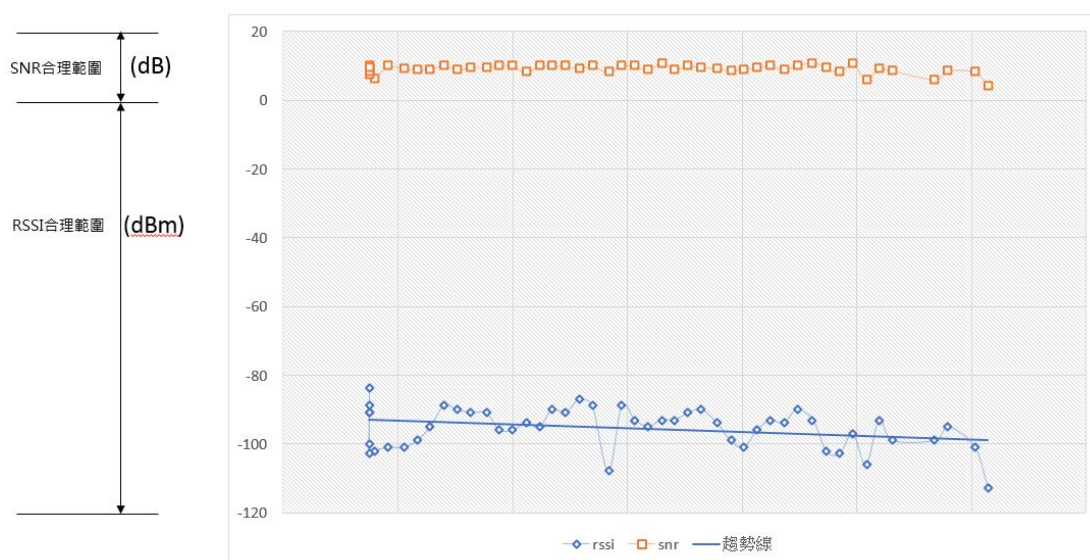
(b) 出水溪部分
 圖 3-21 試驗 I 之配置



圖 3-22 於神木村試驗照片



(a) 和社溪部分



(b) 出水溪部分

圖 3-23 試驗 I 之實驗數據成果

10. 試驗 J：

為了測試 LoRa 是否可於須進行自動化監測之潛在滑動坡地聚落進行遠距離傳輸，於宜蘭縣大同鄉四季聚落進行實驗。現場配置照片如圖 3-24 所示、試驗記錄照片如圖 3-25 所示、成果如圖 3-26 所示。

- 時間：107.09.06
- 地點：宜蘭縣大同鄉四季聚落
- 天氣：初時為多雲炎熱的天氣，午後有雷陣雨，濕度 71%，溫度大約 31℃。
- 各測試點位置狀況與成果：

點位	施測距離 (m)	通視性	RSSI (dBm)	實收資料 數	漏失率 (%)
SI-1	360	不可	-113	28	
SI-2、SI-3、R	440	不可			
SI-4、TI-2	290	不可			
SI-5	30	可			
SI-6	90	不可			
SI-7	90	不可			
SI-9	50	不可			
SI-10	240	不可			
SI-11	310	不可			
SI-12	310	不可			
TI-1	550	不可			

初步成果：可以看出於大部分孔位 SNR 與 RSSI 相當穩定，漏失率在不同天候下，陰天最低為 3.8% 左右、晴天為 3.3% 左右，雨天為 0%，然而雨天樣本過低，建議未來仍需進行。本處之監測器傳輸為採用傳統 4G 之方式，建議未來可以本研究之 LoRa 傳輸方式為備案。

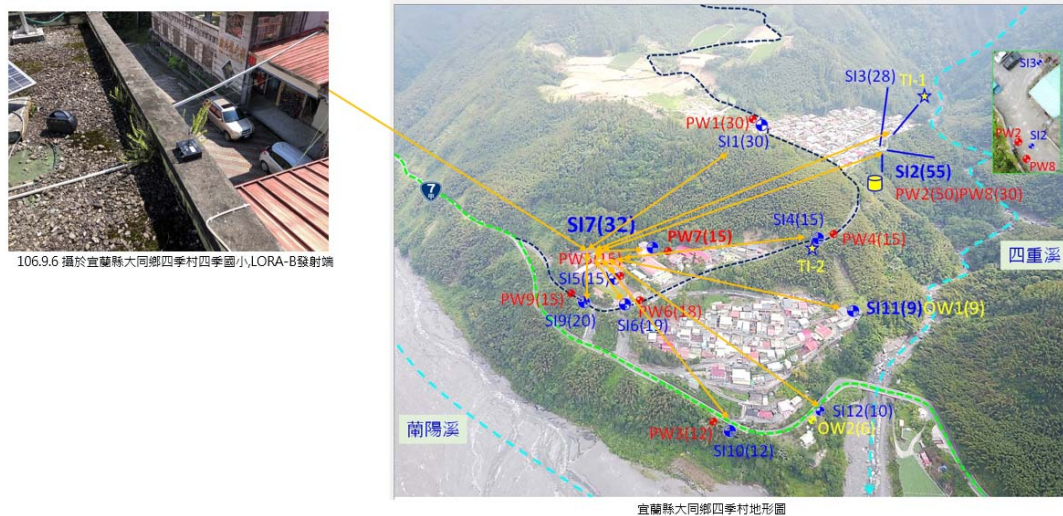
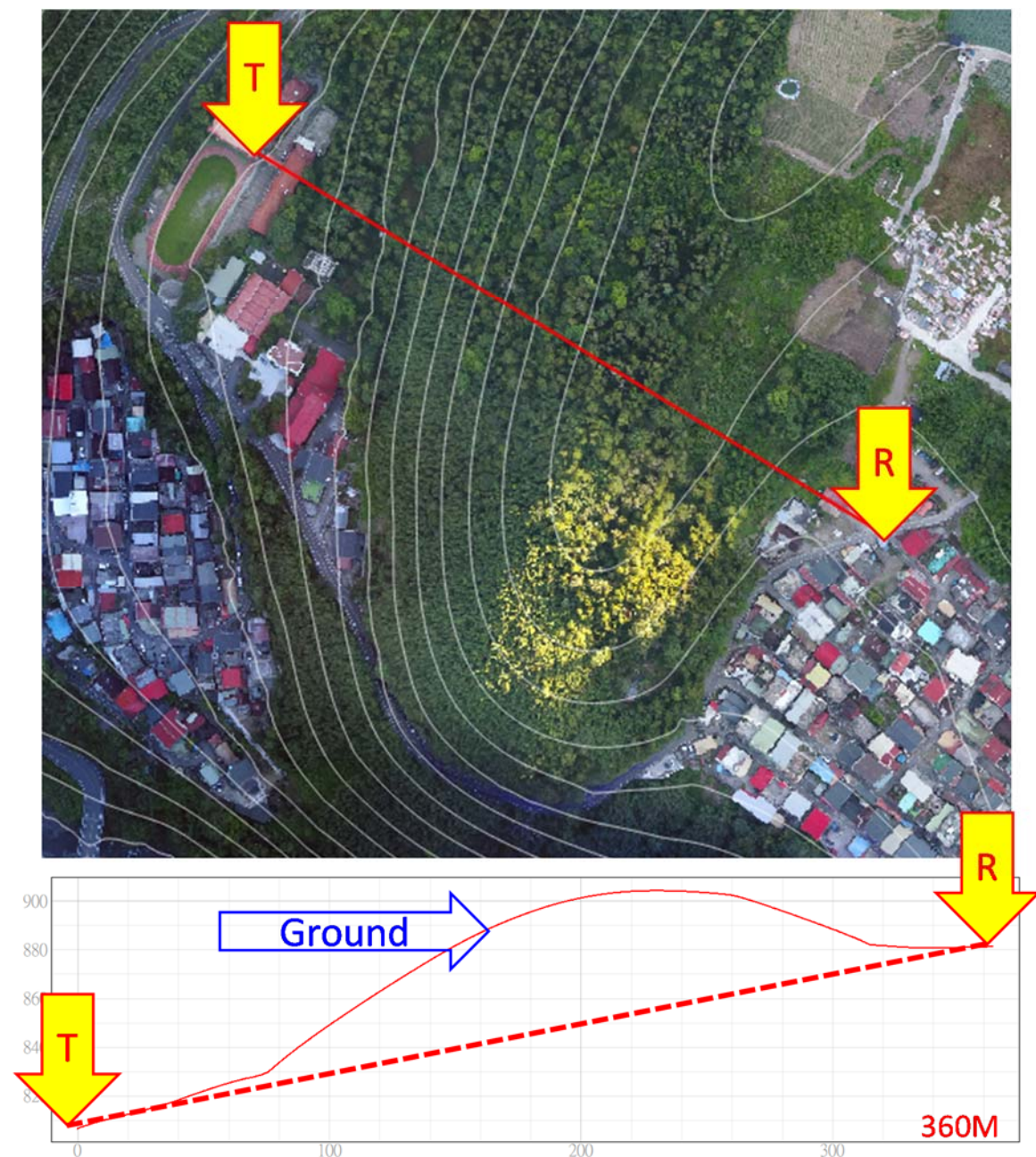
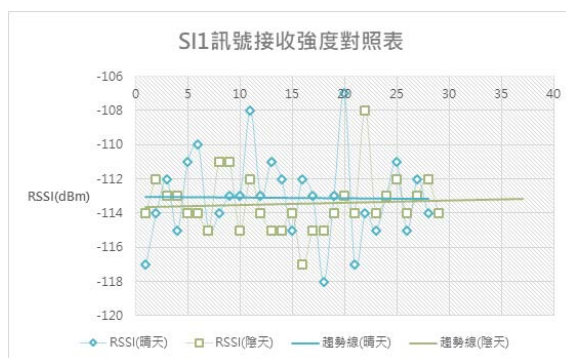
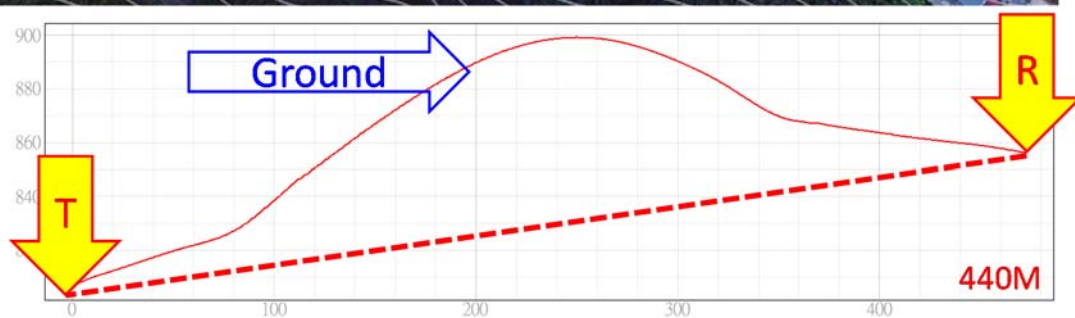


圖 3-24 試驗 J 之配置

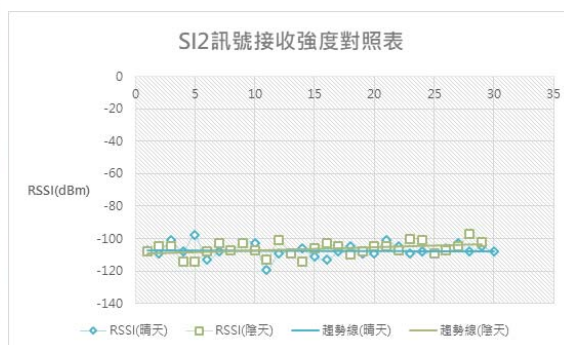


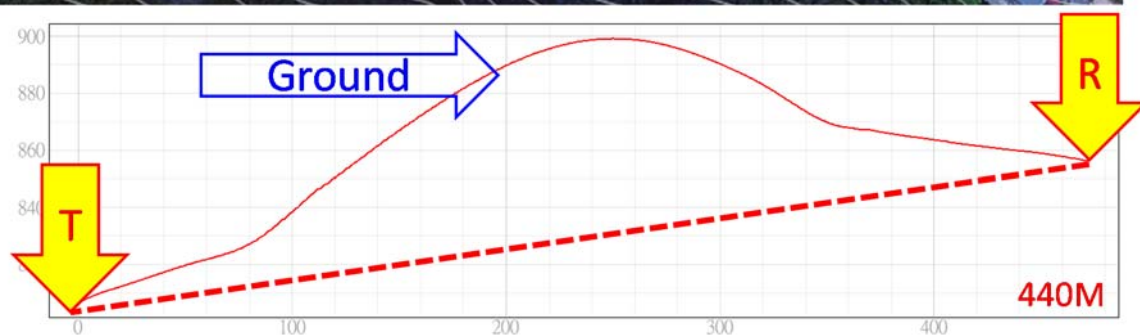
106.9.6 攝於宜蘭縣大同鄉四季村上部落,位於SI1 (晴天)



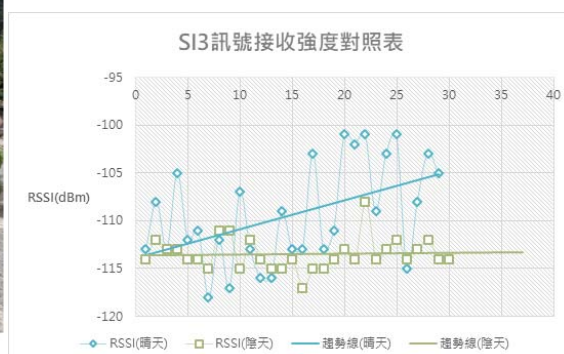


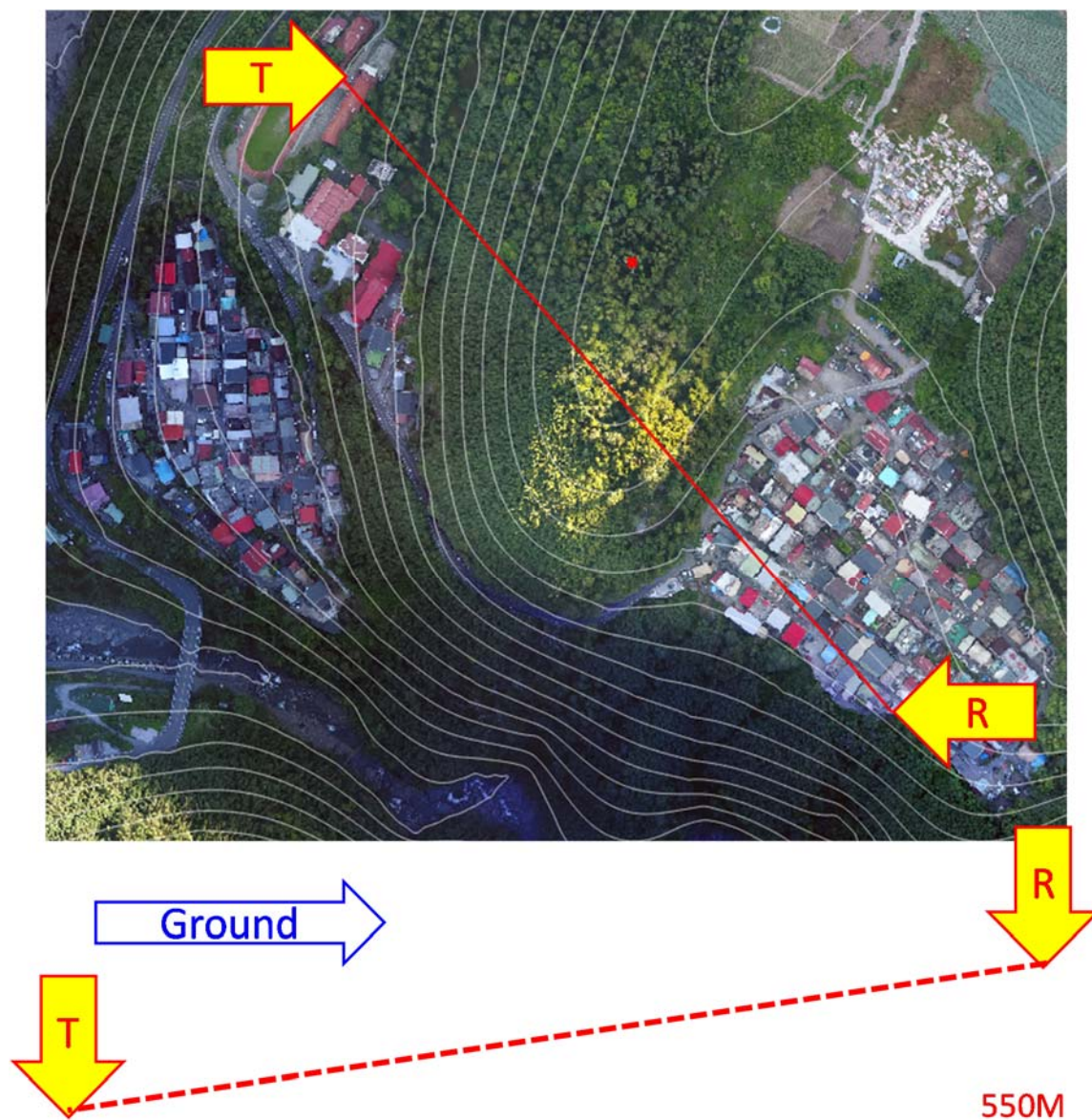
106.9.6 攝於宜蘭縣大同鄉四季村上部落,位於SI2 (陰天)





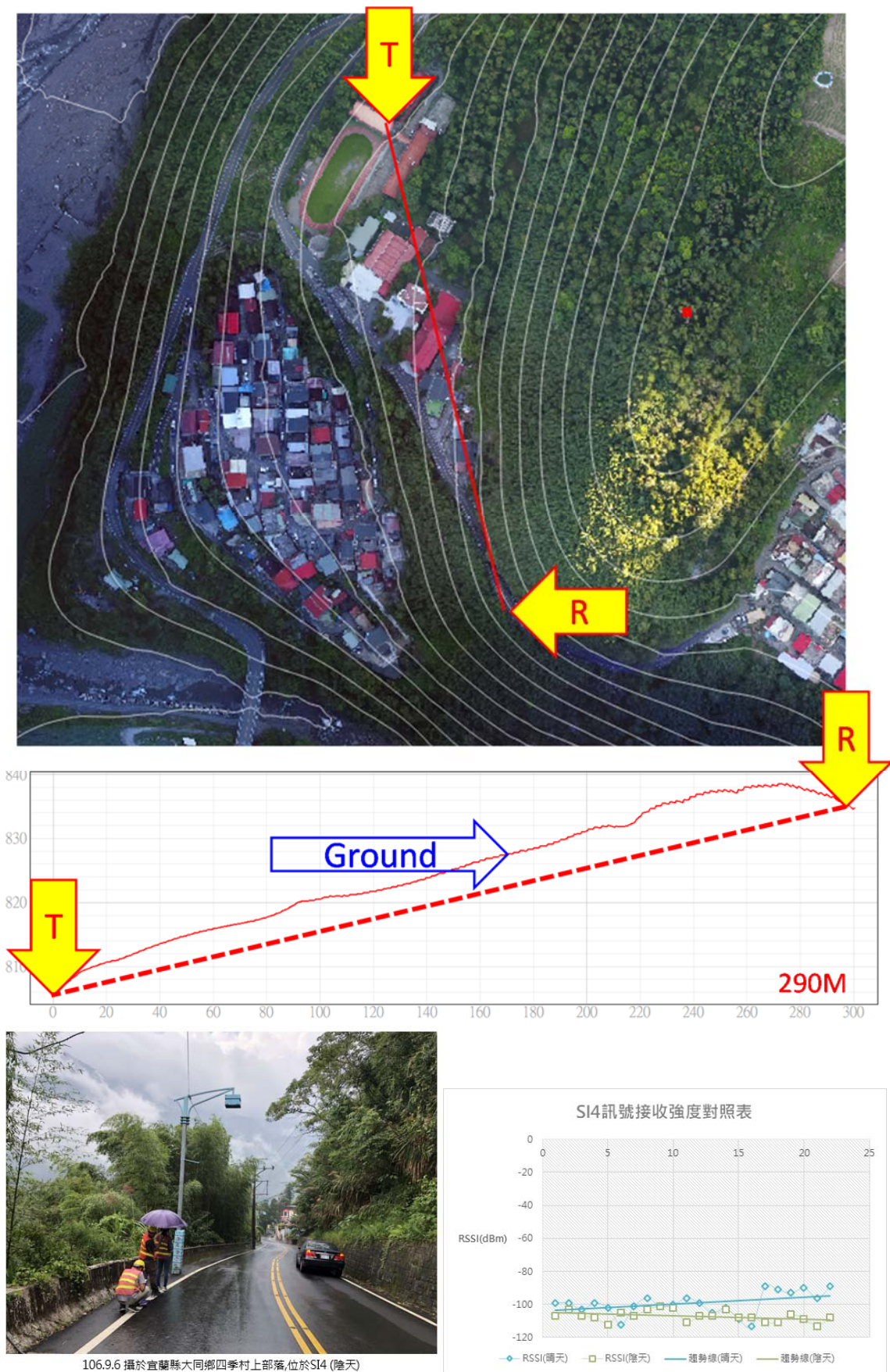
106.9.6 攝於宜蘭縣大同鄉四季村上部落,位於SI3 (晴天)



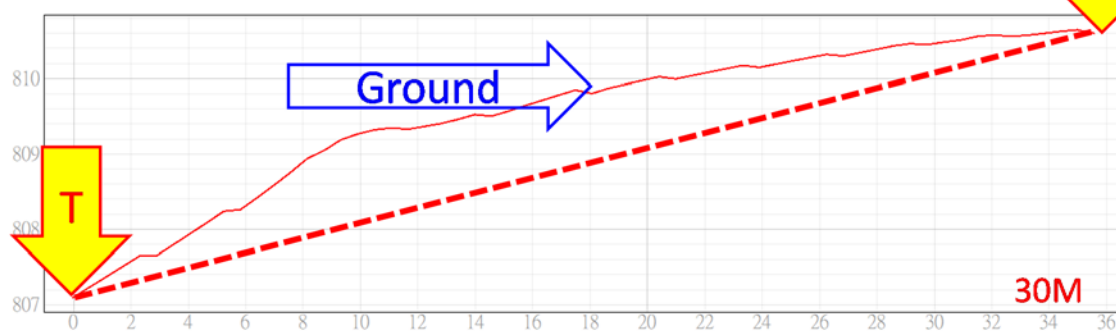


106.9.6 攝於宜蘭縣大同鄉四季村上部落,位於T11 (陰天)

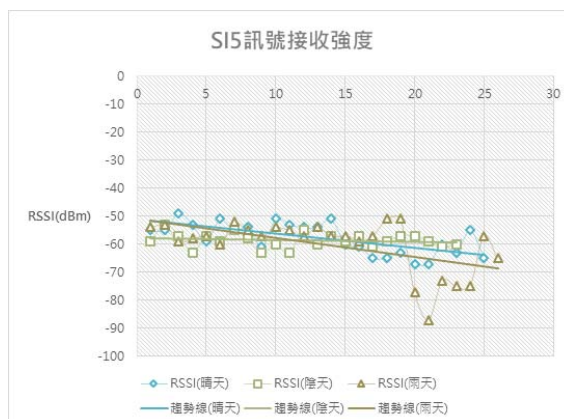


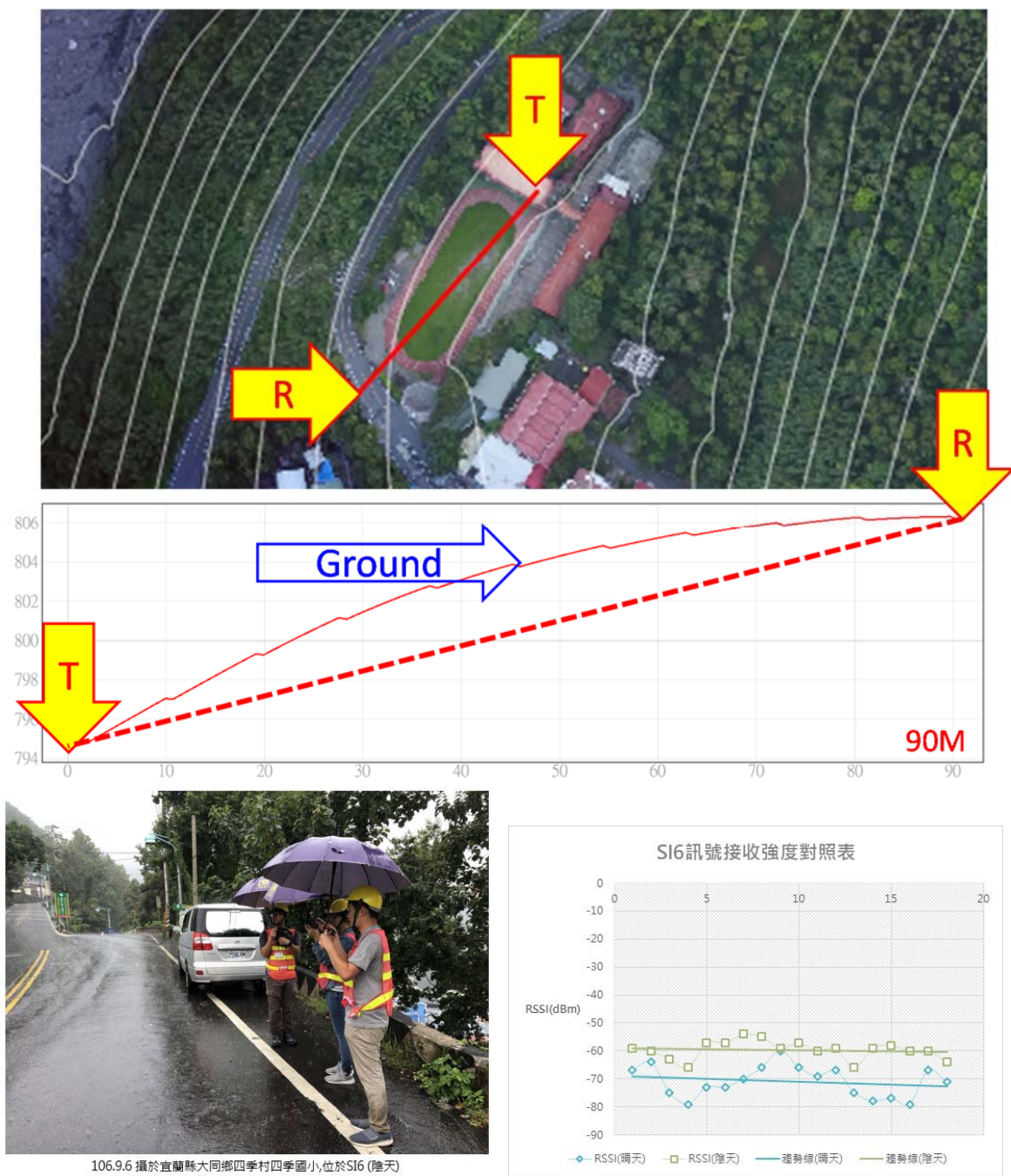


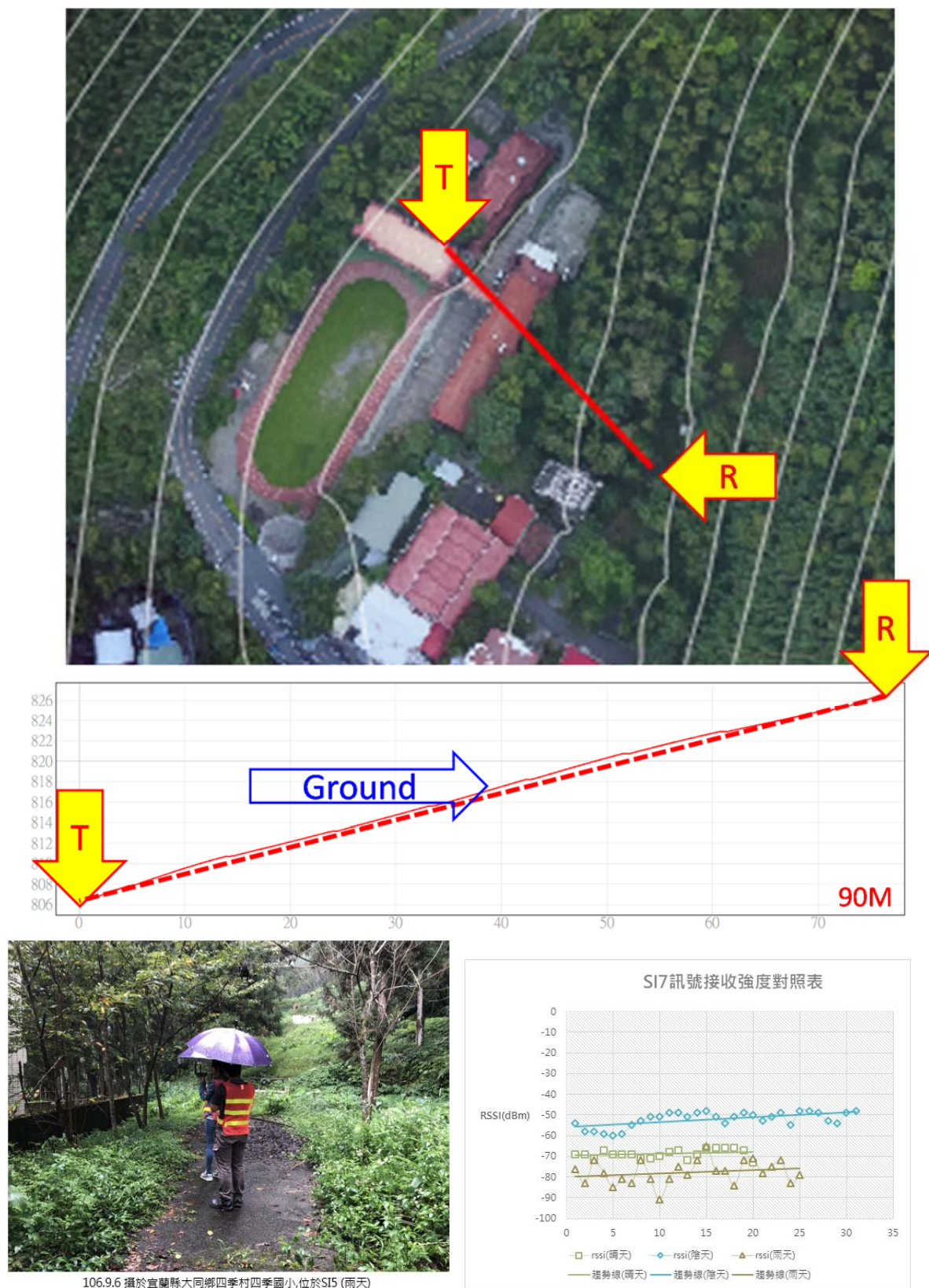
106.9.6 攝於宜蘭縣大同鄉四季村上部落,位於SI4 (陰天)

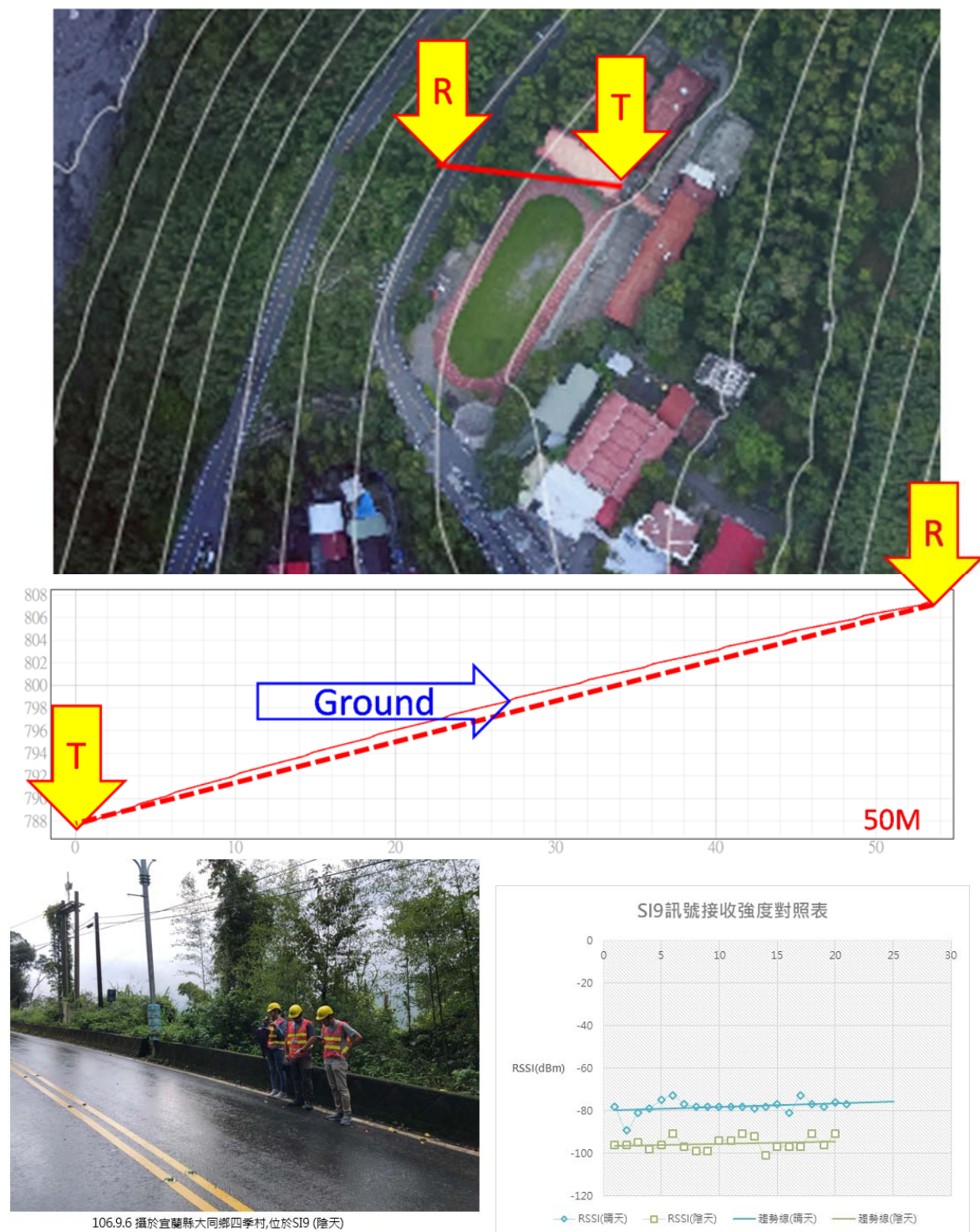


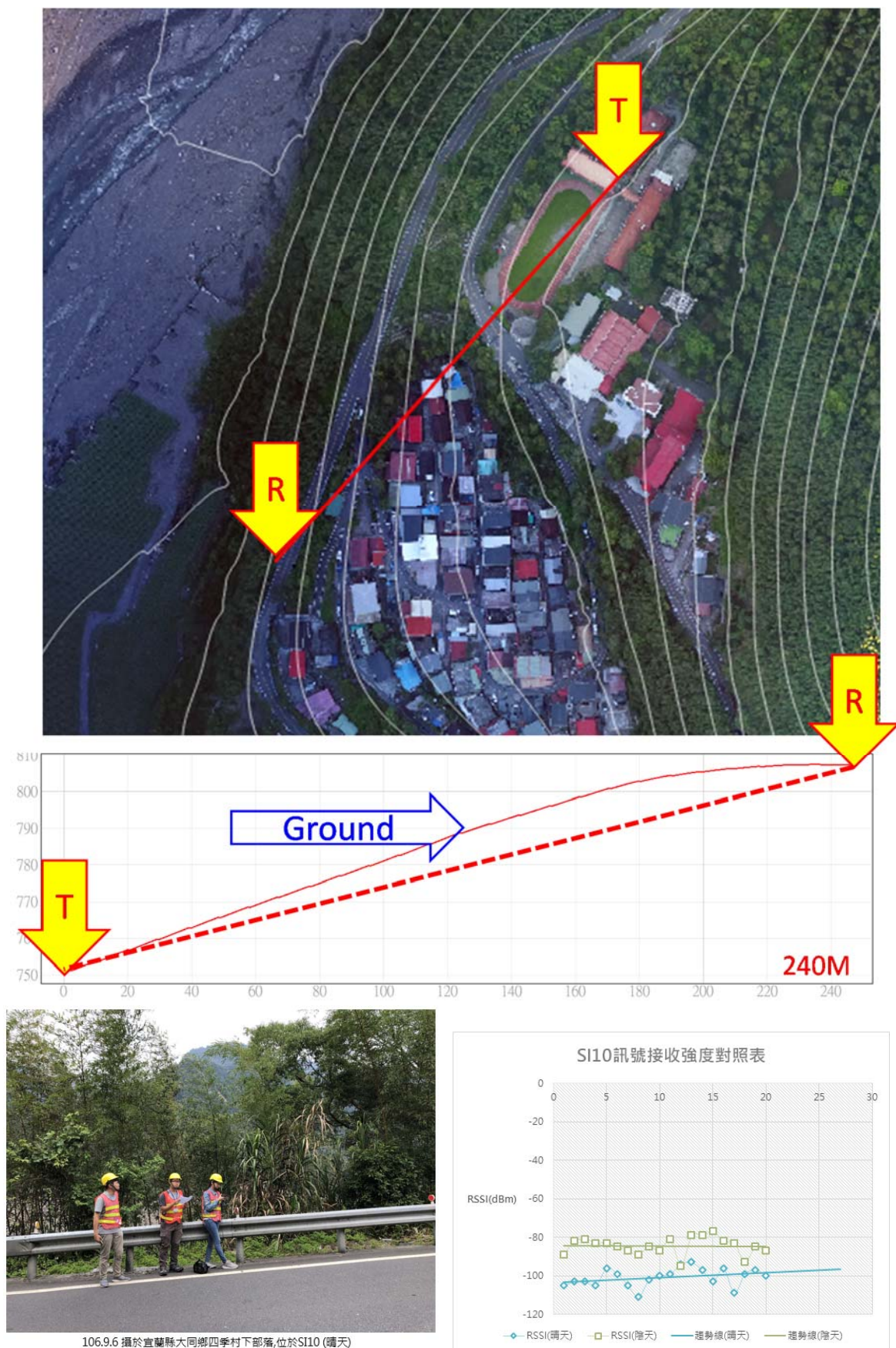
106.9.6 攝於宜蘭縣大同鄉四季村四季國小,位於S15 (陰天)



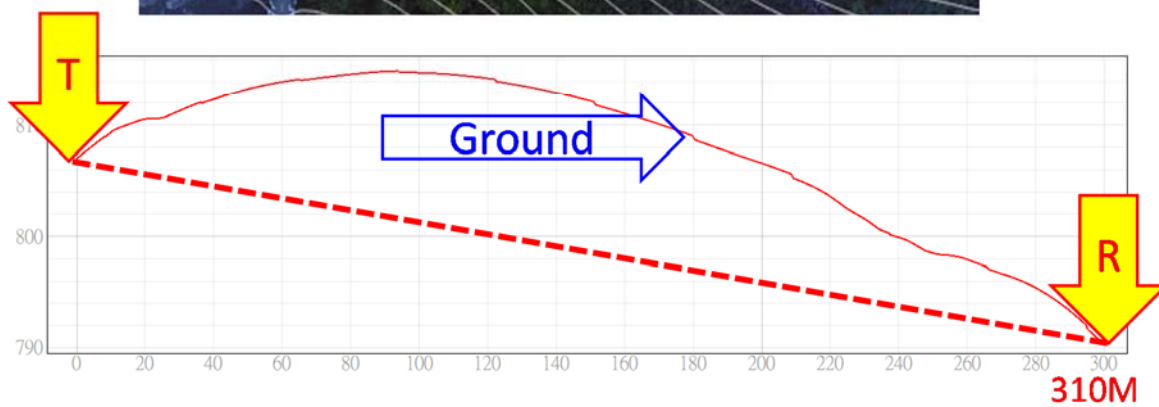




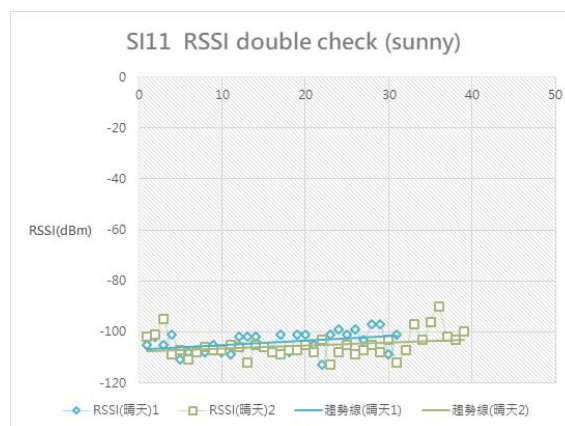




106.9.6 攝於宜蘭縣大同鄉四季村下部落,位於SI10 (晴天)



106.9.6 攝於宜蘭縣大同鄉四季村下部橋,位於SI11 (晴天)



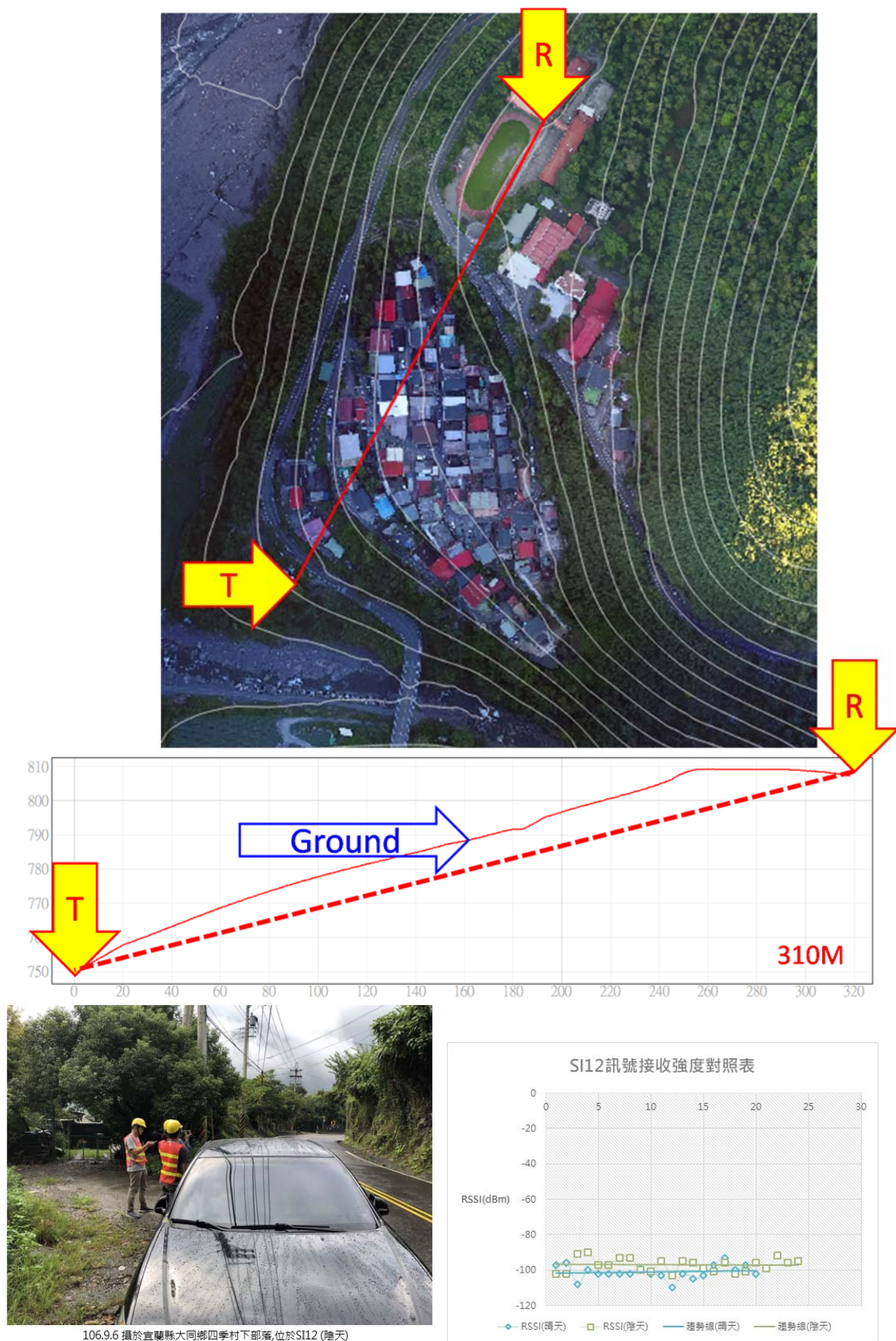
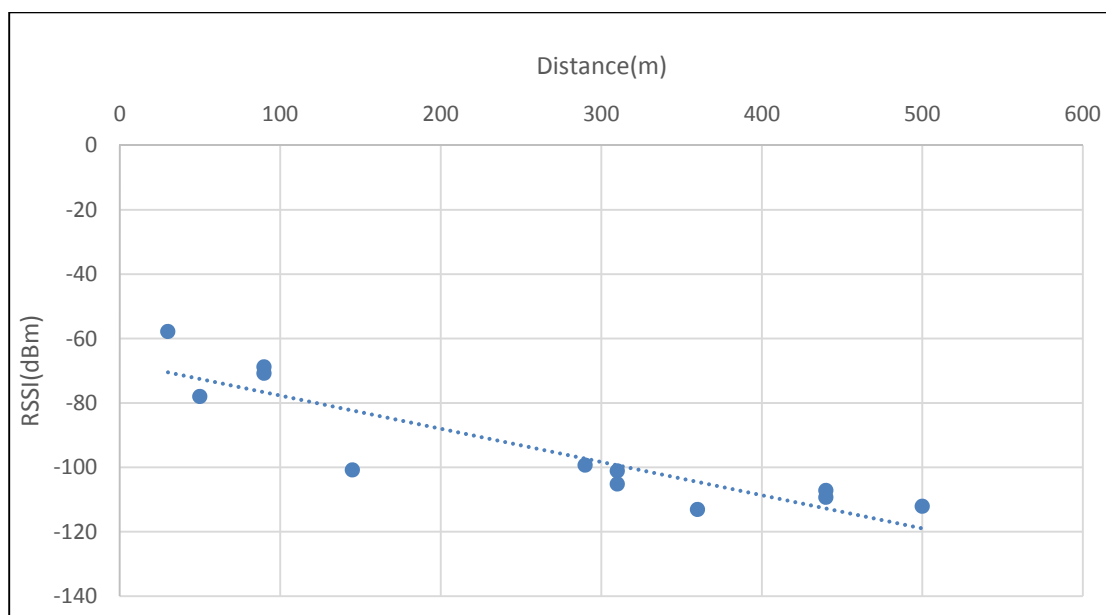
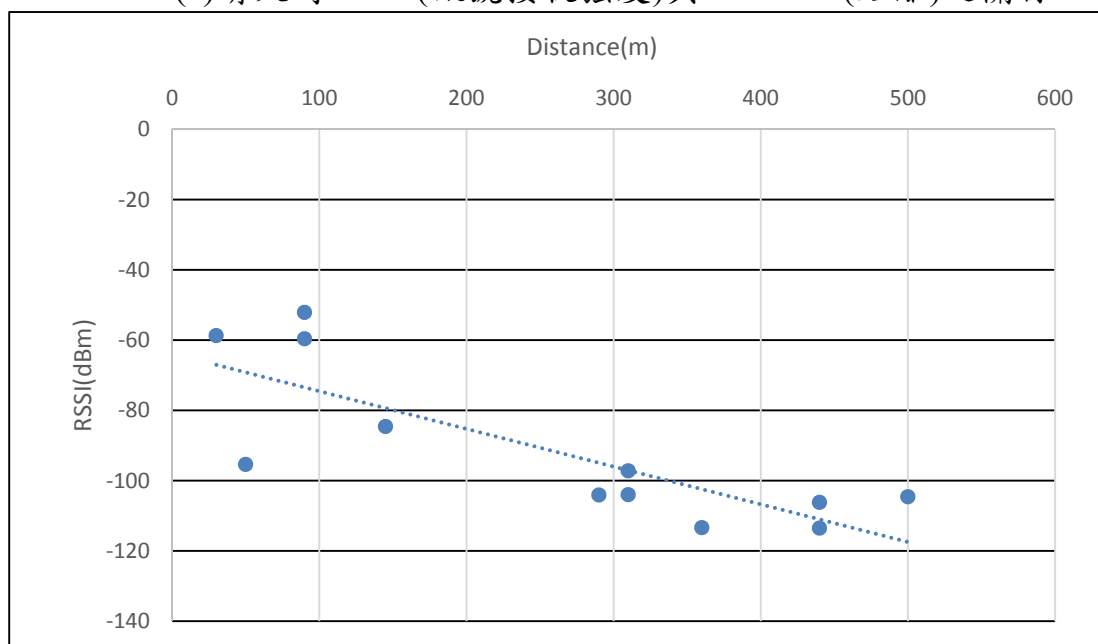


圖 3-25 於四季村試驗照片與個別成果圖

孔號(位置)	與LORA-B直線距離(m)	晴天成功率	陰天成功率	雨天成功率
SI1	360	100.00%	80.56%	100.00%
R(SI2)雨量桶	440	83.15%	100.00%	
SI3	440	87.88%	100.00%	
SI4	290	100.00%	100.00%	
SI5	30	100.00%	100.00%	100.00%
SI6	90	100.00%	100.00%	
SI7	90	95.24%	100.00%	
SI9	50	100.00%	100.00%	
SI10	145	100.00%	100.00%	100.00%
SI11	310	96.88%	100.00%	
SI12	310	100.00%	100.00%	
TI1	500	100.00%	100.00%	
平均		96.77%	96.20%	100.00%



(a)晴天時 RSSI(訊號接收強度)與 Distance(距離)之關係



(a)陰天時 RSSI(訊號接收強度)與 Distance(距離)之關係

圖 3-26 於四季村試驗綜合成果圖

11. 試驗 K：

為了測試 LoRa 是否可於須進行自動化監測之潛在滑動坡地聚落進行遠距離傳輸，於宜蘭縣大同鄉四季聚落進行實驗。現場配置照片如圖 3-27 所示、試驗記錄照片如圖 3-28 所示、成果如圖 3-29 所示。

- 時間：107.10.10
- 地點：宜蘭縣大同鄉四季聚落
- 天氣：初時為多雲炎熱的天氣，午後有雷陣雨，濕度 71%，溫度大約 31℃。施測順序分別遭受不同氣候：SI4 小雨→SI1 小雨→SI3 小雨→SI2 小雨→SI3 大霧→TI1 大霧。
- 各測試點位置狀況與成果：

點位	施測距離 (m)	通視性	RSSI (dBm)	實收資料 數	漏失率 (%)
SI-1	360	不可			
SI-2、SI-3、R	440	不可			
SI-4、TI-2	290	不可			
SI-5	30	可			
SI-6	90	不可			
SI-7	90	不可			
SI-9	50	不可			
SI-10	240	不可			
SI-11	310	不可			
SI-12	310	不可			
TI-1	550	不可			

初步成果：可以看出於大部分孔位 SNR 與 RSSI 相當穩定，漏失率在不同天候下，晴天與陰天為 3% 左右、雨天為 0~8%，然而雨天樣本過低，建議未來仍需進行。本處之監測器傳輸為採用傳統 4G 之方式，建議未來可以本研究之 LoRa 傳輸方式為備案。



104.10.10 攝於宜蘭縣四季國小屋頂 (LoRa 發射端)

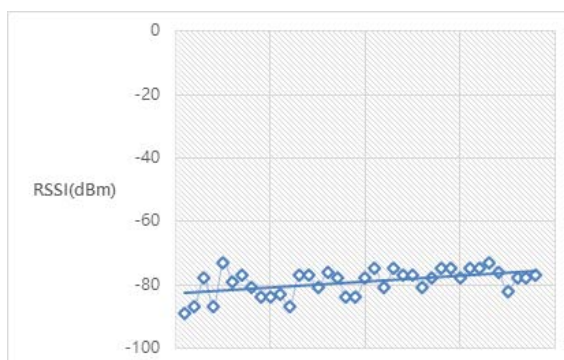


宜蘭縣大同鄉四季村地形圖

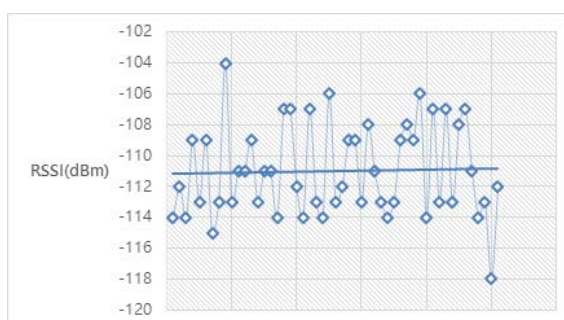
圖 3-27 試驗 K 之配置



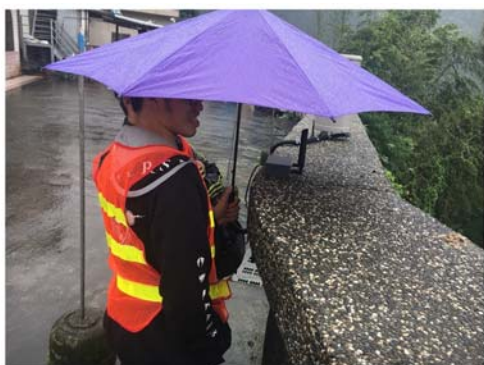
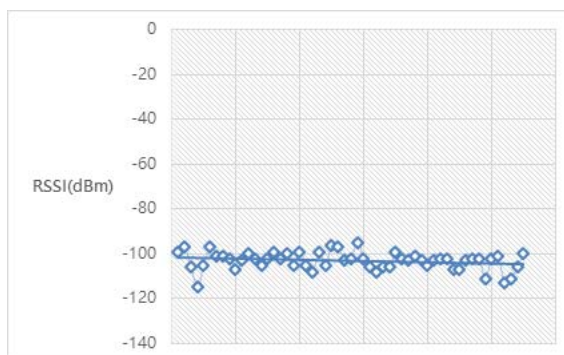
104.10.10 攝於宜蘭縣四季 SI4 (LORA 接收端)



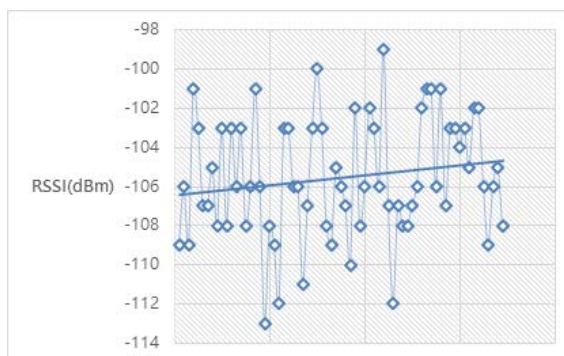
104.10.10 攝於宜蘭縣四季 SI1 (LORA 接收端)



104.10.10 攝於宜蘭縣四季 SI3 (LORA 接收端)

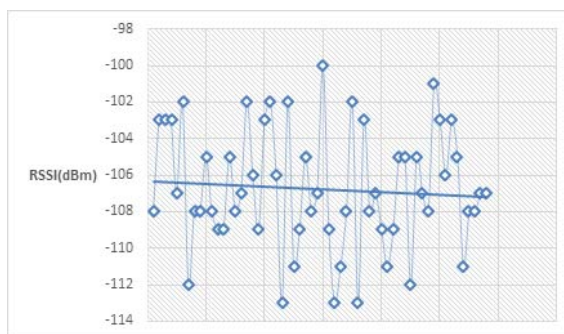


104.10.10 攝於宜蘭縣四季 SI2 (LORA 接收端)





104.10.10 攝於宜蘭縣四季 SI2 (LORA 接收端)



104.10.10 攝於宜蘭縣四季 TI1 (LORA 接收端)

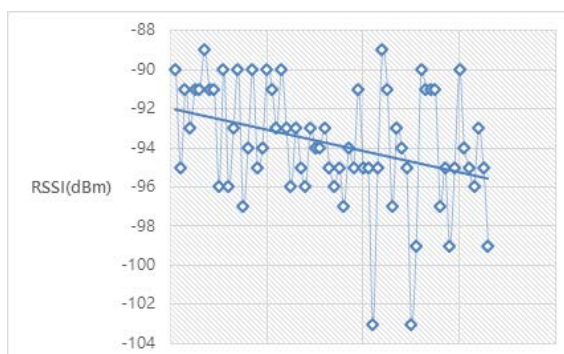


圖 3-28 於四季村試驗照片與個別成果圖

孔號(位置)	與LORA-B直線距離(m)	晴天成功率	陰天成功率	雨天成功率	小雨成功率	大霧成功率
SI1	360	100.00%	80.56%	100.00%	76.12%	100%
R(SI2)雨量桶	440	83.15%	100.00%		100%	
SI3	440	87.88%	81.09%		100%	
SI4	290	100.00%	100.00%		96.94%	
SI5	30	100.00%	100.00%			
SI6	90	100.00%	100.00%			
SI7	90	95.24%	100.00%			
SI9	50	100.00%	100.00%			
SI10	145	100.00%	100.00%			
SI11	310	96.88%	100.00%			
SI12	310	100.00%	100.00%			
TI1	500	100.00%	100.00%			100%
平均		96.77%	96.20%	100.00%	92.68%	100.00%

圖 3-29 於四季村試驗綜合成果圖

第四章 初步結論與建議

本研究計畫於期末報告階段完成不同地點與天候之一系列現地實驗，初步歸納出下列幾點結論與建議後續繼續研究目標：

1. LoRa 耗電量極低，僅約 0.005W，已於本階段進行壓力測試。以 5 秒 1 次的監測頻率，約 6.8 天從 3.34V 掉到 2.50V，因保護作用而關機。反推一般通訊頻率約 10 分鐘一次，則電力滿載後開始服務約可持續 816 天。
2. 本實驗採用之 LoRa 在明新科大校園後山小規模崩塌地、南投縣信義鄉神木村土石流觀測站與宜蘭縣大同鄉四季聚落皆可獲得穩定好通訊效果。
3. 在通訊路徑上有 1M 厚之混凝土塊障礙物時，仍有良好通訊品質。
4. 本實驗採用之 LoRa 在空曠處至少可達 2.5KM 之通訊效果。
5. 通訊品質以陰天最佳、晴天次之、雨天最差。判斷為陰天因雲層較低，可提供較好之反射效果；雨天則因雨水增加屏蔽效果。

參考文獻

1. Aloÿs Augustin, Jiazi Yi, Thomas Clausen, and William Mark Townsley, “A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things,” *Sensors* (Basel). 2016 Sep; 16(9): 1466.
2. Hoult, N.A., Bennet, P.J., Stoianov, I., Maksimović, C., Middleton, C.R., Graham, N.J.G. and Soga, K., “Wireless Sensor Networks: creating ‘Smart Infrastructure’,” *Proceedings of ICE, Civil Engineering*, Vol. 162, August 2009, pp. 136–143
3. Hughes, J., Yan, J., Soga, K., “Development of wireless sensor network using bluetooth low energy (BLE) for construction noise monitoring,” *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 2015, Vol.8, No. 2, pp.1379-1405
4. Sigfox ◦ <https://www.sigfox.com/en>