

LPWA 無線技術を活用した山岳トンネル施工 における坑内計測省力化システムの開発

水野 史隆¹・谷 卓也²・小原 光弘³・岡田 俊之⁴・金 敬東⁵・
文村 賢一⁶・今村 剛⁷

¹正会員 大成建設株式会社 技術センター (〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1)
E-mail: mznhmt00@pub.taisei.co.jp

²正会員 大成建設株式会社 技術センター (〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1)
E-mail: takuya.tani@sakura.taisei.co.jp

³株式会社 MIRAI Service Design ICT イノベーション事業推進部
(〒101-0021 東京都千代田区外神田 2-4-4)
E-mail: m.ohara@msdcorp.co.jp

⁴株式会社 MIRAI Service Design ICT イノベーション事業推進部
(〒101-0021 東京都千代田区外神田 2-4-4)
E-mail: t.okada@msdcorp.co.jp

⁵ウェイブ・エレクトロニクス・ジャパン株式会社
(〒231-0007 神奈川県横浜市中区弁天通 2-25)
E-mail: kdkim@wavetc.com

⁶正会員 大成建設株式会社 九州支店 大分 212 号跡田トンネル (東工区) 新設工事業所
(〒871-0311 大分県中津市本耶馬溪町跡田字北代 233-1)
E-mail: fumimura@ce.taisei.co.jp

⁷正会員 国土交通省 九州地方整備局 大分河川国道事務所 (〒870-0820 大分県大分市西大道 1-1-71)
E-mail: imamura-g8910@mlit.go.jp

山岳トンネル工事における坑内計測は、現場技術者の重要な業務の一つであるが、計測工 A を除いては、ケーブルによる電源供給やデータ伝送が主流であり、設置や養生、データ回収など多くの手間がかかっている。近年は、坑内 Wi-Fi などの近距離無線を利用した方法もあるが、通信距離が短く、計測箇所近傍へのアクセスポイントの設置や頻繁な受信機の盛替えが必要である。そこで、著者らは、低消費電力で長距離通信が可能な LPWA 無線を活用した坑内計測省力化システムを開発した。本システムは、完全ケーブルレスで、坑内において 1km 以上の長距離通信が可能で、計測データや計測環境のモニタリングを Web アプリケーション上でリアルタイムに確認できることを特徴とする。本報告では、LPWA の坑内通信実験の結果と開発システムの概要、現場導入の検証結果について報告する。

Key Words: measurement, labor-saving, LPWA, LoRaWAN, cloud computing

1. はじめに

山岳トンネルの施工では、坑内変位の把握を目的とした計測工 A や、地中変位、吹付けコンクリートならびに鋼製支保工の応力測定やロックボルトの軸力測定などの計測工 B をはじめとした多くの坑内計測が行われ、トンネル掘削に伴う地山の挙動、すなわち、地山の性質を確認、評価し、これを支保の設計や施工に反映させる情報

化施工が行われている。計測工 B の多くは、ケーブルを通して電力の供給や計測データの伝送をしており、ケーブルの設置と養生、電源の確保、データ回収、覆工コンクリート打設時の機器撤収など、多くの手間を要し、現場技術者の負担となっているのが現状である。近年は、坑内 Wi-Fi や Bluetooth といった近距離無線を利用した計測もあるが、安定した通信を行える距離は数 m から 100 m 程度までであり、計測箇所近傍への坑内アクセスポイ

ントの設置や、切羽の進行に伴う計測箇所の移動に合わせた受信機の頻繁な盛替えが必要となる。

これらの課題を解決し、坑内計測業務の省力化を図るために、著者らは、LPWA（Low Power Wide Area）無線技術に着目した。LPWAは、広域データ通信、低消費電力を特徴とする無線通信の総称¹⁾である。通信速度は、数 kbps から数百 kbps 程度と低速であるが、乾電池程度の電源で、数 km もの長距離をカバーすることが可能な無線技術で、大量のデバイスと同時接続できることから、IoT 製品の通信手段として、近年、多くの産業で普及しつつある（図-1）。建設業においても、工事現場への適用がされ始めているが、山岳トンネル工事への適用事例はこれまでほとんどなかった。しかしながら、低消費電力、長距離通信、多数同時接続といった特徴を持つ LPWA は、これまでの坑内計測データ伝送における課題を解決し得る通信技術と言える。

著者らは、LPWA の坑内通信実験を行い、山岳トンネル工事への適用性を検討し、LPWA 活用した坑内計測省力化システムを開発した。本システムは、①小型電池で動作し電源供給が不要、かつ、養生の必要がない完全ケーブルレスで、②1km 以上の長距離通信により受信機の盛替えを必要とせず、③計測データや計測環境などを Web アプリケーション上でリアルタイムに確認できることを特徴としている。本報では、LPWA の坑内通信実験の結果と開発したシステムの概要、現場導入における検証結果について報告する。

2. LPWA の坑内適用性検討

(1) 無線通信技術の選定

坑内計測における無線データ伝送の従来技術としては、前述の通信距離が数 10 m から 100 m 程度の坑内 Wi-Fi や Bluetooth が主な方法である。その他には、これらの通信方法より省電力である ZigBee を活用した事例も報告されているが、通信距離は最大 140 m である²⁾。今回、新たな通信手段として、LPWA の他に、第 5 世代移動通信システム（5G）も候補として挙げられた。5G は、超高速、超低遅延、多数同時接続を特徴とし、2020 年より商用サービスが開始された通信規格である。坑内計測への適用を考えた場合、5G は、LPWA と比較して、多くのデータを伝送できるものの、高消費電力、高コストであることから、LPWA を採用することとした。また、5G が 3.5 GHz 帯、4.5 GHz 帯、28 GHz 帯の周波数帯を使用するのに対して、LPWA は、Sub-GHz 帯である 920MHz 帯を使用するため、波長が長く、GHz 帯を使用する 5G と比較して、電波が障害物を回り込んで伝播しやすいことも LPWA 採用の一つの理由である。

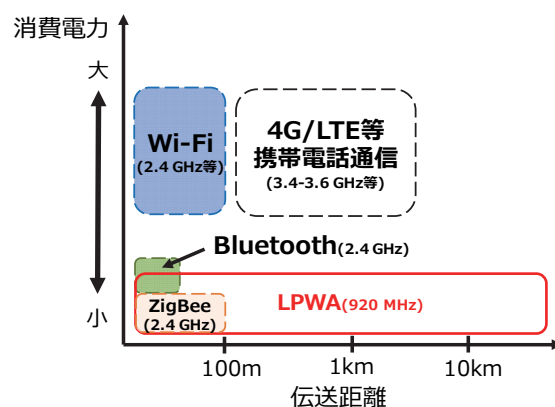


図-1 LPWA の位置付け¹⁾に加筆・修正

LPWA の中でも、Sigfox、LoRaWAN、NB-IoT など、いくつかの通信方式の種類がある。著者らは、これらの LPWA 無線方式の中で、ライセンスを必要とせず、携帯電話通信の電波が届かない山岳地帯でも坑内に自営の基地局を設置でき、低コストの通信システムが構築可能な LoRaWAN（Long Range Wide Area Network）を山岳トンネル工事への適用性が高い通信方式として選定した。この LoRaWAN は、920MHz 帯の ISM バンドを使用し、13dBm（＝20mW）以下の低い送信電力でも長距離通信を可能とする LoRa 変調を採用した通信方式である。

LoRaWAN は、見通しの良い屋外において数 km から数十 km の距離を通信可能であることが報告されているが^{3,4)}、地中の線形構造物であるトンネル坑内における通信特性については、あまり知られていない。そこで 2 つの山岳トンネル工事現場において LoRaWAN の坑内通信実験を行い、通信性能を確認した。

(2) 坑内における LoRaWAN の通信実験

坑内における通信可能距離を検証するために、見通しの良い直線部（実験①）と見通しのきかない丁字路（実験②）で LoRaWAN の通信実験を行った（図-2 の(a)および(b)）。実験には、LoRaWAN 規格の通信機器（PLNetworks 社製 LoRa 送受信機）を用いた。また、吹付けコンクリート面から地山中に削孔して設けた孔内に LoRaWAN の通信機器を挿入した場合の通信実験（実験③）についてもあわせて実施した（図-3）。実験③は、LoRaWAN を実際に坑内計測機器に組み込んだ場合の通信環境を想定した実験である。坑内計測機器のデータ伝送用のアンテナが孔外に露出すると、発破の防護を行う必要があり、設置の手間が増える。そのため、アンテナが孔内に完全に挿入された状態でも通信できるシステムの開発を目的に、基礎検討として、実験③を実施した。実験③では、天端に設けた φ 50 mm の孔に送信機を挿入

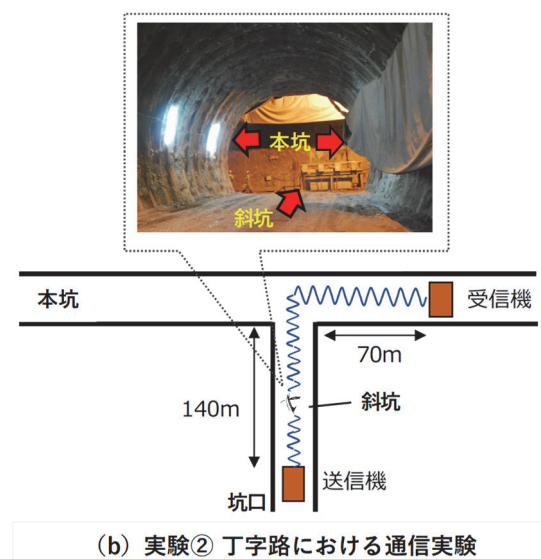
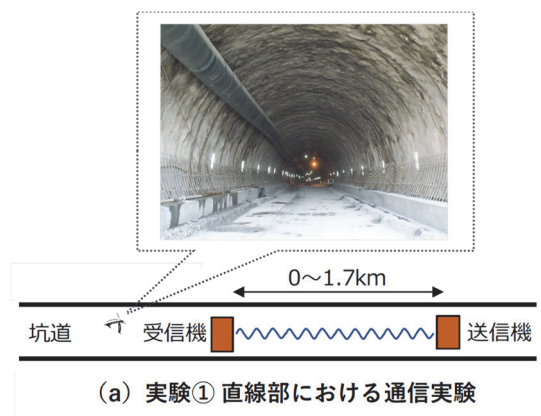


図-2 通信距離検証実験の概要

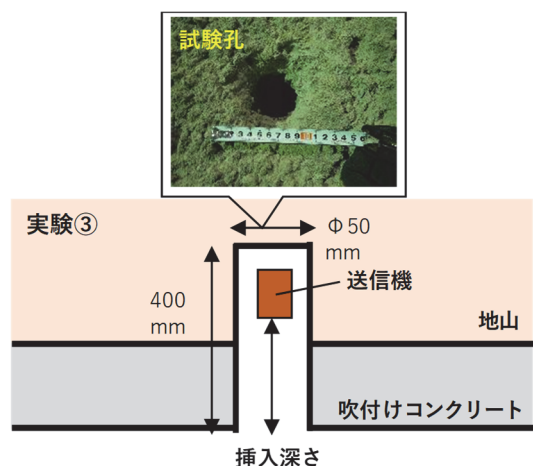


図-3 坑壁（天端）への挿入通信実験の概要

表-1 各実験の実施場所

実験 No.	実施場所
実験①直線	AおよびBトンネル
実験②丁字路	Aトンネル本坑斜坑交差部
実験③坑壁挿入	Bトンネル

し、受信機は孔から約 10 m 離れた孔内に設置して、挿入深さが通信に与える影響について調べた。

通信状況の評価には、RSSI (Received Signal Strength Indication) を用いた⁹⁾。RSSIは、無線通信における受信信号の強度を表す指標であり（単位はdBm）、通信距離が長くなるに従って値が低下し、ある値を下回ると電波が受信できなくなる。本実験に用いた通信機器の通信可能最低 RSSI は-134 dBm であった。

実験①を行った2つのトンネル（Aトンネル、Bトンネル）の特徴について述べる。Aトンネルは、断面積が約 50 m² で、ほぼ直線の見通しの良いトンネル線形である。一方、Bトンネルは、小断面（約35m²）で、一部で曲率の大きな箇所があり、通信環境としては、Aトンネルと比較して、不利な条件にある。坑内の壁面は、Aトンネルでは実験区間のほとんどで覆工コンクリートに覆われた状態であったが、Bトンネルでは全線で吹付けコンクリートと鋼製支保工が露出した状態であった。また、両トンネルともに、ずり出し用のベルトコンベヤが設置されていた。なお、実験②は、Aトンネルの斜坑と本坑の交差部にて、実験③はBトンネルで実施した（表-1）。

(3) 結果と考察

実験①の結果を図-4に示す。両トンネルともに通信距離が長くなるに従って、RSSIの低下が確認された。Aトンネルでは、送受信機間の距離が1.7kmまで通信可能であることを確認した。Aトンネルでの実験では、坑口側に受信機を設置し、送信機を切羽方向に移動しながら計測を行ったが、通信距離1.7km地点で切羽に到達したため、それ以上の距離での検証はできなかった。一方、見通しの悪いBトンネルでは1.4kmまで通信可能であった。1.6km地点でも通信を試みたが、電波は受信できなかった。図-4中に、式(1)のFrisの伝達公式より導出される伝搬損失の推定式¹⁰⁾を点線で示す。

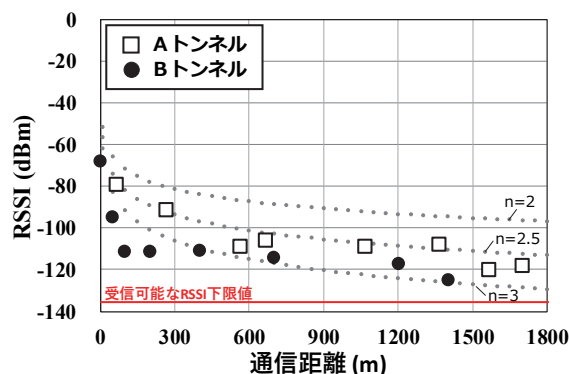


図-4 通信距離と RSSI の関係

$$L = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) - 10n \log(d) \quad (1)$$

ここで、 L は伝搬損失、 λ は波長、 d は通信距離である。 n は経路品質指数で、自由空間の場合は 2.0、見通しの良い郊外では 2.5、見通しの悪い市街地では 3.0 の値を用いる。今回の実験結果から、トンネル坑内が概ね $n=2.5$ から 3.0 の間の条件にあることが確認された。すなわち、坑内における伝搬損失は、一般的な屋外空間と同程度であることが示唆されている。

実験②の丁字路では、図-2(b)に示す条件で通信を行った結果、RSSIは-120dBmであった。これは、直線部における通信距離 1.5 km に相当する RSSI であり、見通しのきかない場合、電波が大きく減衰することがわかった。しかし、まったく見通しのきかない条件においても、通信が可能であることがわかった。

次に、実験③の結果を図-5に示す。送信機の挿入深さに比例して RSSI が低下することがわかった。計測機器に LoRaWAN 通信モジュールをおよびアンテナを組み込む場合の挿入深さは 10 cm 以下を想定している。本実験から、孔内へのアンテナ挿入深さが通信に及ぼす影響は、20dB 以下の RSSI 低減率に留まることがわかった。

3. 坑内計測省力化システムの概要

上述の坑内通信実験の結果から、LoRaWAN は坑内計測のデータ伝送の省力化実現に向けた有望な通信技術であることが確認できた。そこで、LoRaWAN を活用した坑内計測省力化システムを開発した。本章では、本システムの概要および構成について述べる。

本システムは、LoRaWAN の通信モジュールおよびアンテナを内蔵した計測機器、通信を坑内で受信するゲートウェイ、計測データを保存するクラウドサーバー、計測データを確認する Web アプリケーションより構成される坑内計測データの伝送および管理システムである (図-6)。

(1) ハードウェア

a) 計測機器 (LoRaWAN モジュール、通信アンテナ)

本研究開発では、本システムを様々な坑内計測に展開することが将来的な目標であるが、モデルケースとして、小型高精度傾斜計 (以下、傾斜計) に本システムを導入した。傾斜計は、トンネル掘削の進行に伴って生じる天端付近の地山の微小な傾きを高精度の MEMS (Micro Electro mechanical Systems) センサで計測し、その傾向から切羽前方地山の評価および予測を行う計測機器である⁹⁾。トンネル天端に設けた孔に挿入し、坑壁表面から露

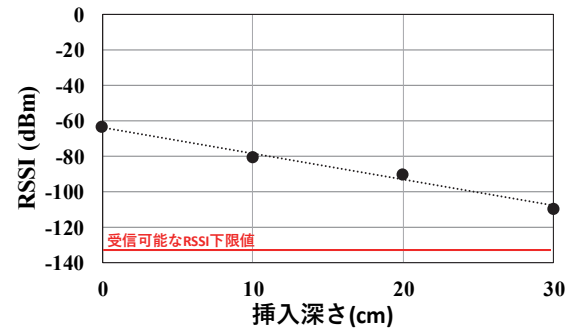


図-5 孔への挿入深さと RSSI の関係

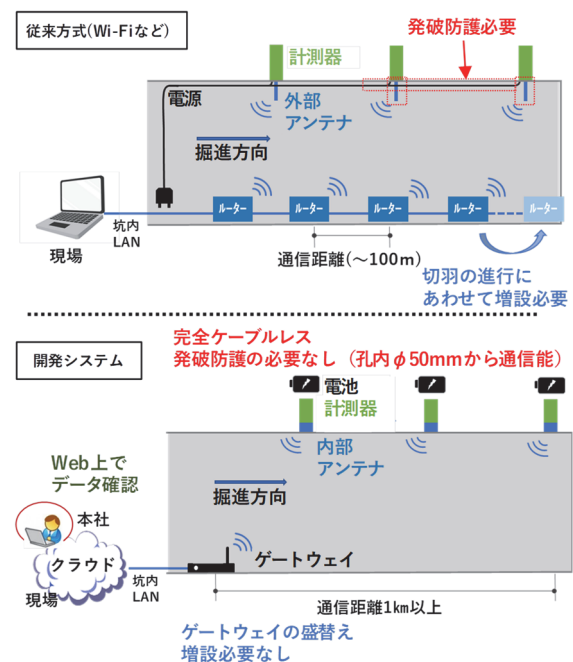


図-6 開発システムの概要
(従来無線技術との比較)

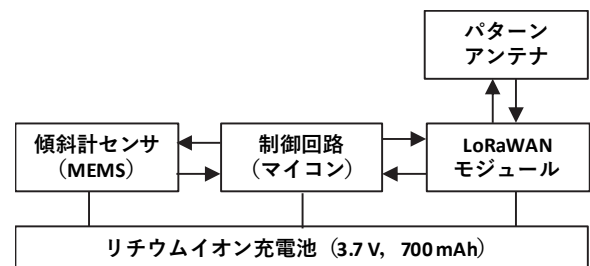


図-7 開発機器 (傾斜計) の構成

出しない状態で計測を行う。当初、この傾斜計は、Bluetooth により計測データの回収を行っていたが、坑内で使用する他の電波の干渉と思われる障害により、センサー近傍でも通信ができず、計測データを回収できない現象がしばしば発生した。

開発した LoRaWAN モジュール搭載傾斜計の構成を図

7に示す。傾斜計は、動作電圧3.7V、容量700mAhのリチウムイオン充電電池で動作し、MEMSの加速度センサから得られる傾斜角度のデータを、LoRaWAN モジュールに直結しているアンテナを通し、伝送する。なお、傾斜計は、トンネルの壁面に設けられた孔内という特殊な条件下で使用するため、2章で述べた孔内挿入実験の結果をもとに、本条件における最適なアンテナの設計および製作を行った。アンテナの種類としては、基盤にプリントされたパターンアンテナと棒状のヘリカルアンテナが候補として挙げられたが、室内試験の結果、双方のアンテナ効率に大きな差はみられなかったため、安定性や量産時の製造性を考慮し、パターンアンテナを採用した。パターンアンテナの設計については、室内試験で最適な利得を得られるパターンを選定し、機器に組み込んでマッティングを行った。

図-8 に本システムを導入した傾斜計の外観およびLoRaWAN モジュールとアンテナの状況を示す。また、表-2 にLoRaWAN モジュールの仕様を示す。外径寸法は、従来の傾斜計と同一である。傾斜計内部にアンテナを組み込んだ構造のため、発破による飛石などの対策や防護は必要ない。

b) ゲートウェイ

傾斜計による計測は、設定した一定時間間隔で行われ、坑内に設置したゲートウェイ（LoRa 無線受信機）に、計測後即時に計測データが伝送される。ゲートウェイの坑内設置状況を図-9 に示す。寸法211×201×76 mmで、IP67 の防水防塵仕様の特注ケース内に取り付け、トンネル施工現場の粉塵、高湿度、振動などの劣悪環境に耐え、簡易に設置できる構造とした。延長2 km 程度のトンネル工事であれば、坑内に1台設置することで盛替えなく運用できる。なお、設置にあたっては、AC100 V の電源と坑内 LAN のアクセスポイントへの接続が必要である。

c) クラウドサーバー

ゲートウェイに伝送された計測データは、坑内 LAN を通して、クラウドサーバーに転送される。クラウドサーバーは、ネットワークサーバー（以下、NS）とアプリケーションサーバー（以下、AS）の2つサーバーで構成される。NSは、LoRaWANの通信制御およびゲートウェイの管理を担い、ASは、計測データの保存や後述のWebアプリケーション上での計測データのグラフ化を行うサーバーである。ゲートウェイからNSに送られた計測データは、ASに転送され、デバイスID、計測日時、RSSIと紐付けされ、テキストデータとして保存される。

(2) Web アプリケーション

ASに保存された計測データは、Webアプリケーションによりブラウザ上で表示、確認できる。したがって、Webアプリケーションの使用には、端末毎に専用ソフト

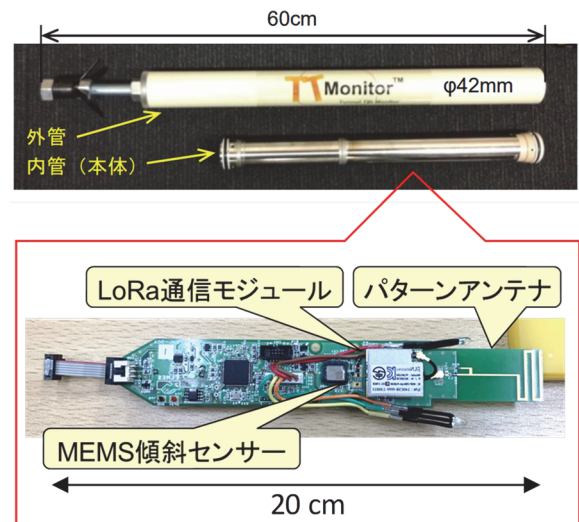


図-8 傾斜計の外観およびLoRaWANモジュール

表-2 LoRaWANモジュールの仕様

使用周波数	902～958MHz
インターフェース	12C,UART,ADC
受信感度	-137 dBm
データレート	0.3～150 kbps
送信出力	20 mW
動作電圧	2.1～3.6 V
消費電流	Max 40mA(TX) 10mA(Listen), 20 μ A(sleep)
動作温度	-40～+85℃
寸法	22×19×3 mm



図-9 ゲートウェイの坑内設置状況

ウェアをインストールする必要がなく、インターネット環境がある場所であれば、Webブラウザ上で、いつでもどこでも計測データを確認できる。ASに保存されたデータのWebブラウザでの表示には、リアルタイムにサーバーと双方向通信できるようになっている。

Web アプリケーションには、ブラウザ上への計測データの自動グラフ化機能や、ログデータの表示、CSVファイルの出力ができる機能を実装した（図-10）。その結果、従来、計測担当者が定期的に行っていた坑内でのデータ回収が不要となり、現場事務所で計測データを確認、回収して、工事関係者で容易に共有できる。

また、計測データのみならず、温度やバッテリーの電圧、RSSI などの計測環境や計測状態に関する情報も、遠隔で確認できる仕様とした（図-10）。

4. 検証試験および試験導入

(1) 検証試験

開発したシステムの検証試験を山岳トンネル工事現場で実施した。本現場における試験実施区間は、見通しの良い直線区間で、掘削は発破方式であった。試験では、切羽近傍の天端に傾斜計を設置し、切羽から約 500 m 後方の坑壁にゲートウェイを取り付け、1 ヶ月間連続通信を行い、計測データの伝送状況（RSSI）、電池の消費量（バッテリー電圧）、その他使い勝手などについて検証した。なお、計測およびデータ伝送の頻度は 10 分間隔に設定した。

(2) 検証結果

図-11 は、約 1 ヶ月間の傾斜角の時間変化を示している。この傾斜計は、切羽直近に設置されたもので、設置直後の数日間、発破による切羽近傍での応力再分配の影響により、傾斜角が大きく変化している。図-12 は同様に、バッテリー電圧と RSSI の約 1 ヶ月間の時間変化を示している。センサーおよびデータ送信の電源となるバッテリーについては、ここに示した計測期間中、約 0.6 V 電圧が低下していることがわかる。しかしながら、計測データは、問題なく伝送できていることを確認した。設計上、バッテリー電圧が 3.0 V 以上であれば安定して動作するようになっている。RSSI については、500m の通信距離に対して、-110dBm 前後であり、通信距離と RSSI の関係は、2 章の実験①と同様の結果となった。ゲートウェイにおける計測データの回収率は表-3 に示すとおり 99 % であり、1 % の欠損はあったものの安定してデータ伝送できることも確認された。回収率が 100 % とならなかった要因は、坑内 Wi-Fi などのその他の無線や電源台車、集塵機などの通信への影響が考えられるが、計測データの評価にあたっては、99 % は十分な回収率である。なお、ゲートウェイで受信できなかった計測データについては、傾斜計に内蔵された記憶媒体より USB を通して直接回収することもできる。

計測環境としては、LoRaWAN モジュールおよびアン



図-10 Web アプリケーション上でのデータ表示例

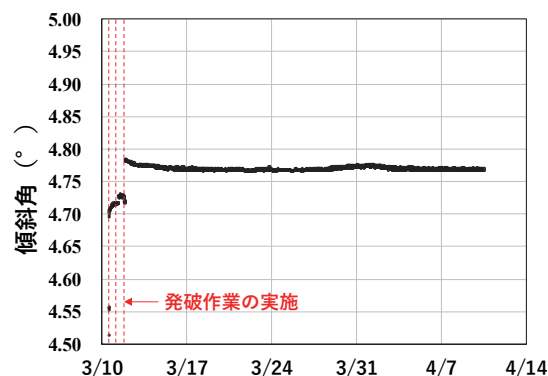


図-11 傾斜角の計測結果

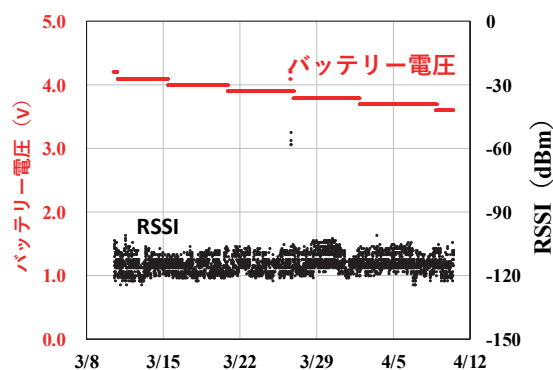


図-12 バッテリー電圧と RSSI の計測結果

テナを装備した計測機器が完全に孔の中に設置され、試験期間中に、発破による飛石、建設機械の移動や作業に伴う接触などにより破損する恐れがないことも確認できた。また、現場計測担当者が円滑に坑内や現場事務所でタブレット端末や事務所 PC から、計測データをチェックできることも確認した。

(3) 試験導入

本節では、開発したシステムを試験導入している大分 212 号跡田トンネル（東工区）新設工事現場における活用事例について報告する。本現場は、延長約 1,100 m、坑口部の掘削断面積約 210 m²の道路トンネル工事である。計測管理の一つとして傾斜計による計測を実施しており、ゲートウェイは坑口から約 50 m 離れた坑外に設置している。システムの設置状況を図-13 に示す。本現場では、傾斜計の計測実施期間中に、坑口部に防音扉の設置を行った（図-14）。そのため、鋼製の防音扉が障害物となり、電波が減衰し、計測データ伝送に支障が生じる恐れがあった。そこで、遠隔からインターネットを通して、計測環境をモニタリングできる機能を活用し、防音扉設置前後の RSSI の移動平均値を比較したところ、図-15 に示すとおり RSSI 低減率は、10 dB 程度であり、防音扉の影響は小さく、その時点では、ゲートウェイの設置位置を見直す必要はないことが判断できた。

従来のデータ伝送システムでは、通信状況をモニタリングできなかったため、定量的な指標に基づかず、ゲートウェイの設置位置や盛替えのタイミングを決定していた。今回の試験導入を通して、Web アプリケーションの活用により、効率的に計測環境をモニタリングし、計測結果を反映できることを確認した。

5. おわりに

山岳トンネル工事における坑内計測業務の省力化を目的に、LPWA 技術の坑内適用性について検討し、LPWA 技術とクラウド技術を活用した坑内計測省力化システムを開発した。システムの概要は以下のとおりである。

- 坑内計測のデータ伝送に LPWA（LoRaWAN）を採用することによって、計測機器に内蔵できる小型電池で、1km 以上の距離を安定して通信できる。また、検証試験では、10 分に 1 回の計測頻度で 1 ヶ月間連続して通信できることを確認した。
- 通信モジュールおよびアンテナの計測機器内部への組み込みにより、完全ケーブルレス化を実現した。計測機器および内蔵アンテナがトンネルの坑壁に設けた孔内に完全に挿入された状態でも通信できるため、発破の防護も不要である。
- 計測データは、自動的にクラウドサーバーに転送され、

表-3 計測データの回収率

傾斜計からゲートウェイへの計測データの伝送回数	4,463 回
ゲートウェイの計測データ回収回数	4,419 回
計測データ欠損率	1.0%
計測データ回収率	99.0%

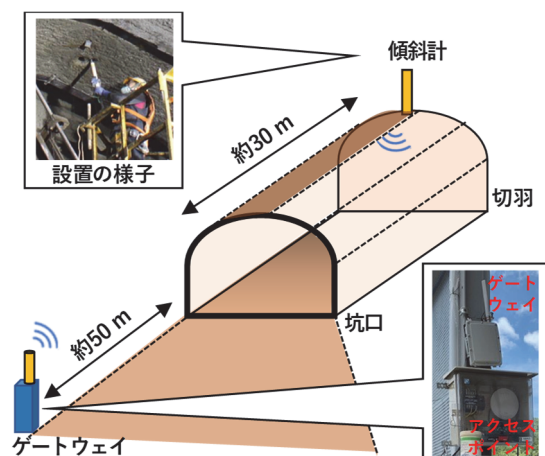


図-13 開発システムの設置状況



図-14 防音扉設置前後の様子

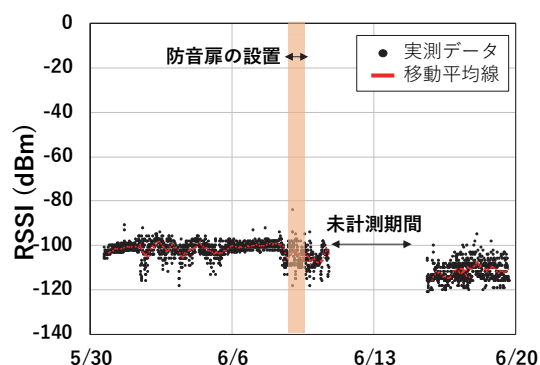


図-15 計測環境のモニタリング
(防音扉設置による RSSI の低下)

インターネット環境があればいつでもどこからでもリアルタイムに計測結果を確認できる。

- 計測データは、Web アプリケーションによりブラウザ上に自動でグラフ表示されるため、視覚的に計測結果

を確認できる。また、温度やバッテリー電圧、RSSIなどの情報も伝送され、遠隔で計測環境や計測状態を確認できる。

施工管理に必要な計測を独立した無線システムで行い、常にデータを確認できる環境を構築することは、施工品質の確保にとって重要であることを実感した。これまで計測データの回収や整理、坑内での計測機器の保守に割いていた時間が大幅に短縮され、データの分析や評価に使う時間が十分に確保できるようになった。今後は、傾斜計のみならず、計測工B全般への本システムの適用によって、さらなる計測業務の省力化を進めていきたい。

参考文献

- 1) 鄭立：IoT ネットワーク LPWA の基礎，リックテレコム，2017.
 - 2) 中村智哉，津野究，富樫陽太，蒲地秀矢，大木裕久：トンネル・地下構造物の変状監視における無線センサの活用，第 44 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，27，pp150-153，2016.
 - 3) 石館勝好，大和優舜：LPWA(LoRa)の通信エリアの調査，岩手県立産業技術短期大学校紀要，第 20 号，2020.
 - 4) 都築伸二，合田大騎，山田芳郎：LoRa-SF12 の伝搬特性，第 18 回インターネットテクノロジーワークショップ，2017.
 - 5) 原晋介：位置推定における統計的推定理論，電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review，4 巻，1 号，2010.
 - 6) 谷卓也，工藤直矢，青木智幸：坑内天端傾斜計測による切羽前方地山評価システムの開発，大成建設技術センター報，第 46 号，27，2013.
- (2020. 8. 7 受付)

DEVELOPMENT OF LABOR-SAVING SYSTEM FOR TUNNEL MEASUREMENT AND DATA COLLECTION USING LPWA

Fumitaka MIZUNO, Takuya TANI, Mitsuhiro OHARA, Toshiyuki OKADA,
Kyung-Dong KIM, Kenichi FUMIMURA and Gou IMAMURA

To conduct underground measurements and evaluate the measured results is important for field engineers. However, current underground measurements are mainly performed by cabled power supply and data transmission, consuming a lot of time in installation, curing, and data collection. On the other hand, there is a method of using short-range wireless such as Wi-Fi in recent years. In the system, communication distance is still limited to about 100 m, and it is necessary to install an access point near the measurement station as well as to reset the receiver locations frequently. To improve the current situation, the authors have developed a measurement wireless labor-saving system that uses LPWA wireless with low-power consumption and long-distance communication. The system allows long-distance communication of 1 km or more, and realizes a complete cableless integration of a small battery and antenna in the measuring equipment. It also checks the measured data and measurement environment in real time on a Web application. Reported in this paper are an outline of the developed system and the results of an LPWA communication experiment, together with the verification results of the field installation.