

LPWAによる山岳トンネルB計測の効率性・安全性の向上（1）

—無線データロガーと発破防護工構造の開発—

大成建設 フェロー会員 ○青木智幸 正会員 宮永隼太郎 古賀快尚 宮本真吾 谷 卓也
東亜エルメス 堀留知徳

1. はじめに

山岳トンネル工事では、掘削施工中の計測による地山および支保の健全性の評価が重要である。日常計測管理であるA計測に対して、詳細な評価を行う断面で採用されるB計測では、鋼製支保工応力計や地中変位計などの計測機器を支保工あるいは地山に埋設して、多チャンネルデータロガーによる自動計測を行う。これらの設置作業のため、掘進作業を1方以上も停止する必要がある。また、設置には安全を十分に確保することが難しい切羽近傍での作業を伴う。さらに、計測器（センサー部）本体および多数の計測ケーブルを発破の飛石による損傷から守る防護工の施工を要す。

そこで、B計測の実施の効率性と安全性を向上させるため、無線データロガーと施工性の良い発破飛石防護工の構造および設置施工方法を開発した。本報では、開発した無線データロガーとそれを使用したB計測システムの構造と施工方法について報告する。

2. 無線データロガー

小型のバッテリー駆動のデータロガーを計測器（センサー）の近傍に配置し、無線で計測データを基地局に送信することにより、コンパクトな計測システムを構築することができる。免許不要の基地局（ゲートウェイ）をトンネル内の任意の箇所に設置することで数kmの範囲を通信エリアとすることができ、さらに機器の消費電力を抑制することができるという点で、LPWA（Low Power Wide Area）無線技術の一つである「LoRa規格」を用いて開発を進めてきた。特に、今回、B計測用には次の特徴によりPrivate LoRa規格を採用した計測システムを開発した。

- 1) 通信データセットを比較的自由に組める。このため、多チャンネルの計測データの通信に有利である。
- 2) Private LoRa規格は制約無く双方向通信が可能であり、例えば通信親機から計測間隔の変更を通信子機に指示できるなどのメリットがある。

製作した無線データロガーの主な仕様を表-1に示す。これは、計測器の近傍に設置し、計測値をA/D変換するデータロガー機能と通信親機へデータを送信する通信子機の機能を有する。通信親機は、通信モジュールとタブレットPCより構成され、防水防塵の筐体に収納されている。通信制御プログラムは、同時に15台の無線データロガーと通信して計測を行えるように作製しており、これにより1断面フルスペックのB計測に対応できる。また、タブレットPCはLANまたはWi-Fiにて坑外のサーバーと接続することができ、これにより遠隔で計測結果を監視できる。親機は、無線データロガーから数百m離れた位置でも通信可能であり、設置位置に自由度があると共に

表-1 無線データロガー（通信子機）の主な仕様

機能	仕様
測定チャンネル	6 ch
接続センサー	ひずみゲージ型
測定範囲	±40,000μ
測定間隔	10分～24時間
電源（電池）	単一型 3.6V
電池稼働時間	約1年以上（測定間隔1時間の場合）
外形寸法	W175×H125×D79mm
筐体材質	ポリカーボネート
保護等級	IP65



写真-1 無線データロガーの外観

キーワード 山岳トンネル LPWA Private LoRa 坑内計測 ワイヤレス

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設株式会社 技術センター TEL : 045-814-7221

トンネル掘進による移設の必要がない。写真-1 に無線データロガーの外観を、写真-2 に通信親機の外観を示す。

3. 発破飛石防護工構造と設置施工方法

従来のB計測では、例えば鋼製支保工応力計の場合で言えば、薄い一次吹付けコンクリートを掘削した壁面に施工した状態で応力計を設置した鋼製支保工を建て込んだのち、センサーからの計測線を切羽後方へ延長する切羽近傍での結線作業が必要であった。また、支保として作用する二次吹付けコンクリートの施工後に、切羽から約 50m 程度以上後方に設置する多チャンネルデータロガーまで計測線を延長する配線作業と計測線を防護管と吹付けコンクリートで覆う発破飛石防護工が必要であった(写真-3)。

開発したB計測の発破防護構造と設置方法を図-1 に示す。これは、例として鋼製支保工応力計と吹付けコンクリート応力計の場合である。まず、小型の無線データロガーの筐体は鋼製支保工の凹部に収納し、鋼製支保工応力計(ひずみゲージ)を設置して接続する。また、吹付けコンクリート応力計は鋼製支保工に設置した金網の所定の位置に固定して無線データロガーに結線する。この際に、無線データロガーの動作と通信を開始しておく。無線データロガーの収納部にはポリカーボネート製の防護板(8mm厚)を設置する。ポリカーボネート製板は大ハンマーによる強打でも割れないことを確認している。

このように組み上げた鋼製支保工をエレクタで一次吹付け施工後の側壁に建て込み、エレクタで把持したまま支保となる二次吹付けコンクリートを施工する。この時点で、発破飛石防護工を施したB計測の設置作業が完了し、計測が開始している。無線データロガーは、内蔵バッテリーで1年間余り連続動作でき、また、回収して再使用できる。なお、ロックボルト軸力計や地中変位計を設置する場合には二次吹付けコンクリート施工後の作業となるが、この詳細については続報²⁾にて報告する。

4. まとめ

無線データロガーを用いたワイヤレスのB計測システムを開発した。設置施工の安全性と効率性を向上し、B計測の適時かつ効果的な実施に寄与することを期待する。

参考文献

- 1) 水野史隆, 他: 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, トンネル工学報告集, I-6, 2020.
- 2) 青木智幸, 他: LPWA による山岳トンネルB計測の効率性・安全性の向上(3), 土木学会第77回年次学術講演会, VI, 2022. (投稿中)



写真-2 通信親機の外観



写真-3 従来のB計測における計測線防護工の例

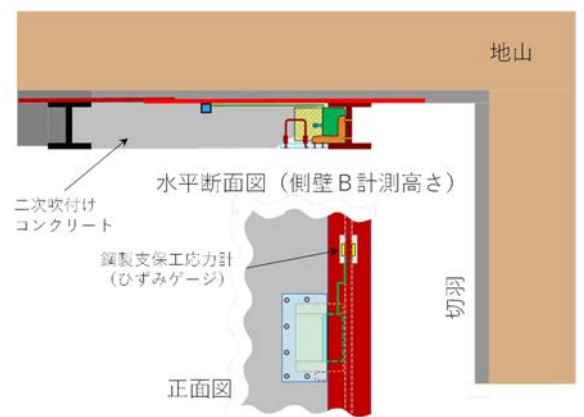
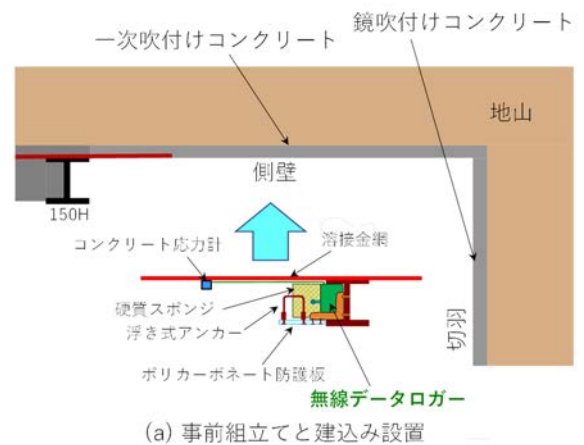


図-1 支保工応力計測構造の概念図