最新無線技術により省力化したトンネル天端傾斜計による切羽前方地山の予測技術

谷 卓也・坂井 一雄・水野 史隆・青木 智幸・工藤 直矢（大成建設株式会社）

■ 受賞技術の概要

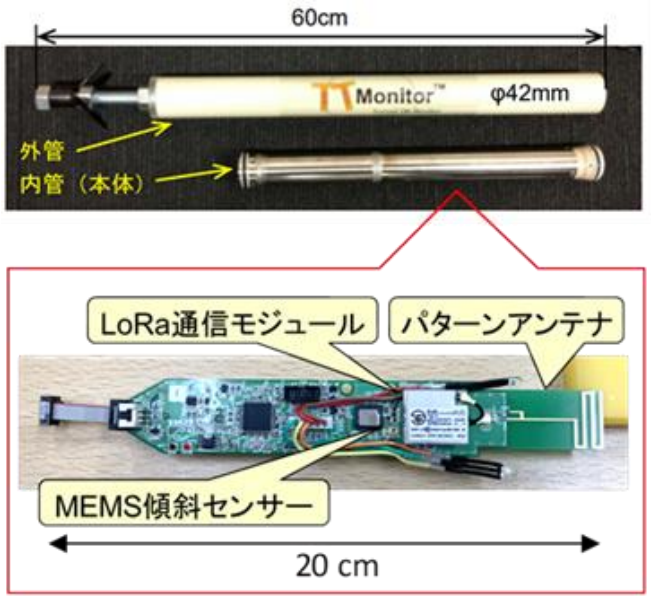
本技術は，欧州で実績のあるSchubert and Budilが提案したトンネル軸方向変位利用した切羽前方地山予測手法L/S（エルバイエス）※を、トンネル内に埋設した高精度傾斜計による微小な傾斜角の変化から地山予測を行う手法として発展させ、計測精度の向上により適用範囲を拡大した独自性かつ優位性のある切羽前方探査技術です。

この技術は、掘削に伴って生じる微小な傾斜角度のトレンド分析により切羽前方の地山の硬軟を予測するもので、3次元のトンネル逐次掘削解析を用いて詳細に検討・検証されており、日本国内の4山岳トンネルでの現場実証でも有効性が裏付けられています。現在も、２つの国内山岳トンネル工事現場で活用されています。

当初、Bluetooth通信によって計測の完全ケーブルレス化を実現しましたが、近年IoTの普及とともに適用が進んでいるLPWA（低消費電力・広範囲）無線規格の適用にも取り組み、クラウドサーバを利用したデータの完全自動回収、Webアプリによる自動グラフ化を実現し、切羽前方の地山予測の大幅な省力化に成功しました。

これまでの運用によるデータの他、今後のデータもクラウドサーバに蓄積、分析に活用されるため、研究の発展も期待できます。

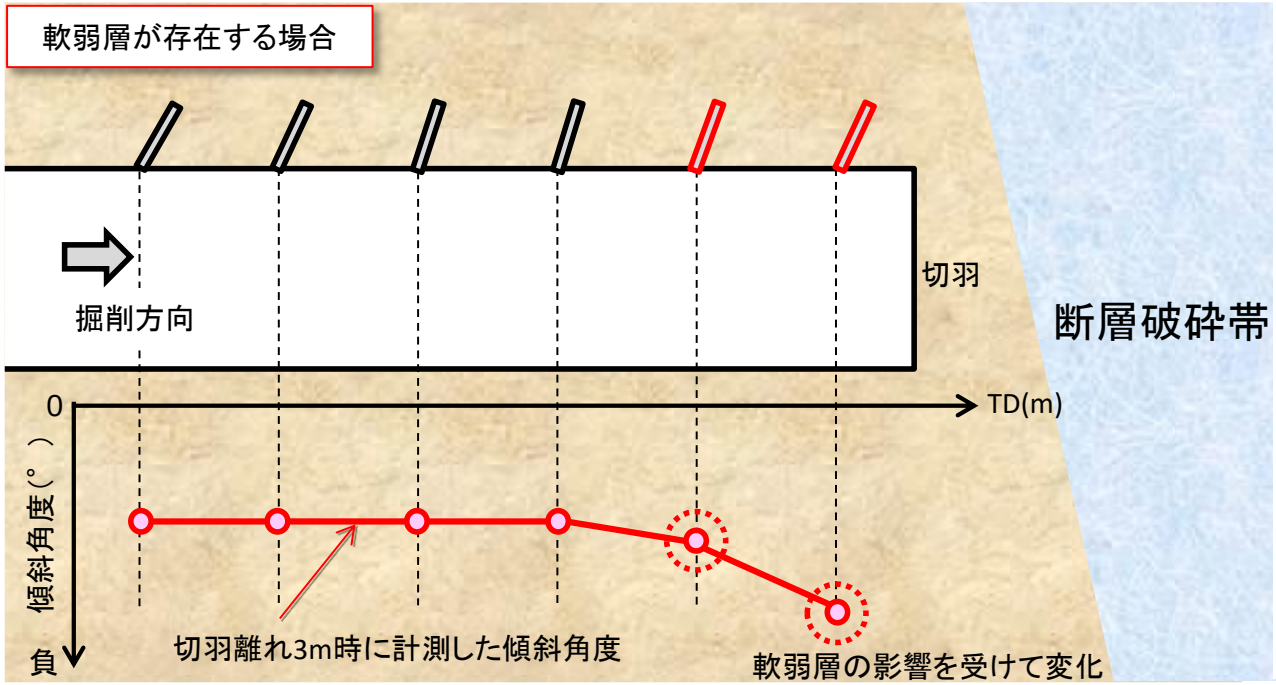
※ L/S法は、100mを超える大土被り、かつ軟弱な地山で大きな変位を生じるトンネル施工にのみ適用可能ですが、開発した切羽前方地山評価手法は土被り数十m程度から適用可能です。

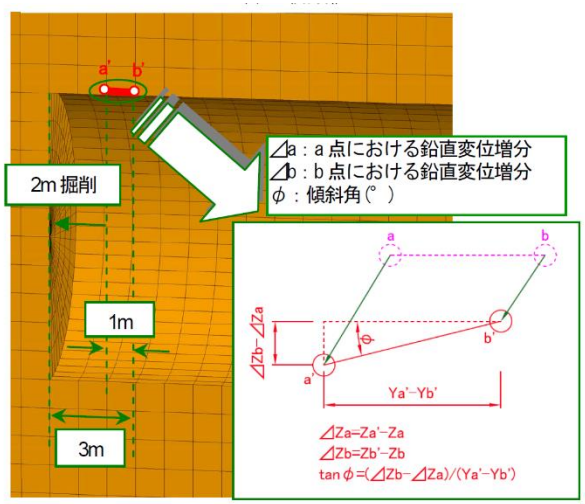


LPWAの無線規格の一つであるLoRaの通信モジュールを組み込んだ高精度傾斜計。地山評価後は内管(本体)を回収し、再利用します。

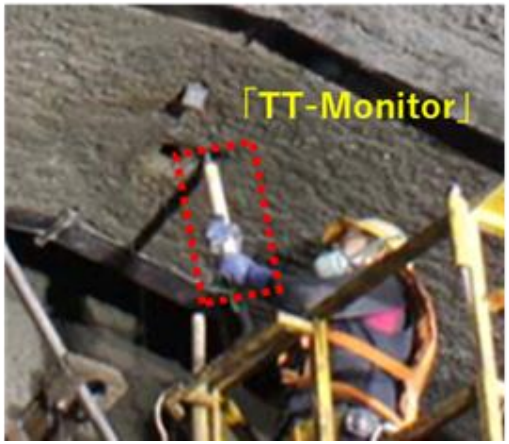
TAISEI
Copyright © 2008 TAISEI CORPORATION All Rights Reserved.

切羽前方地山の予測原理





切羽近傍で生じる天端の傾斜



高精度小型傾斜計の設置状況（ロックボルトと同径の孔に設置可。モルタルにて固定。）

上の図は、実際の計測レイアウトの模式図です。掘削に伴って、トンネルの天端に設置した傾斜計は僅かに切羽側に傾きます。

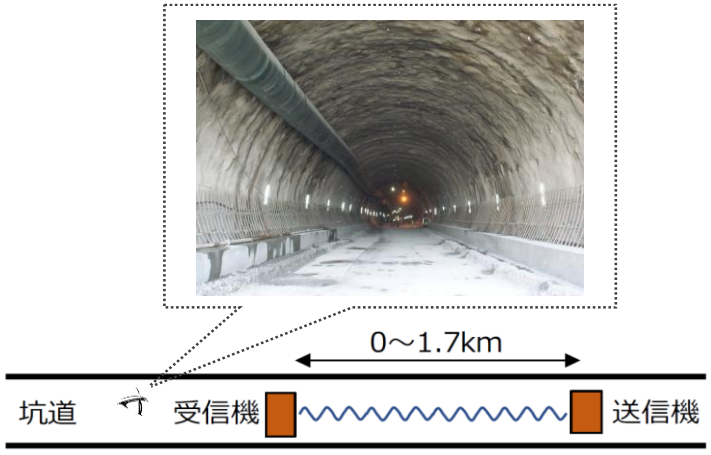
地山が一様であれば、傾斜計の設置から一定距離掘削が進んだ際の傾斜角度は一様な値になると考えられます。しかし、断層破砕帯といった軟質な地山が前方に存在すると、この影響を受けて徐々に角度が大きくなり、傾斜角度の傾向に変化が見られます。

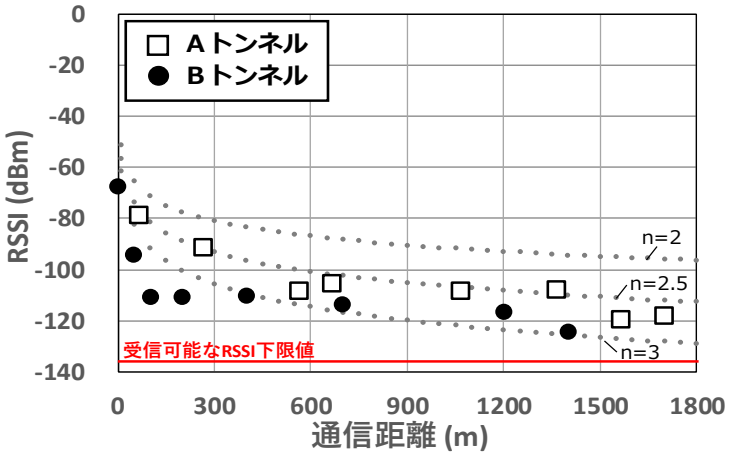
実際の計測では、傾斜計は切羽離れ1mに設置されます。設置時の角度を初期値０として、切羽離れ3mとなった時の傾斜角度を地山評価に利用します。

TAISEI
Copyright © 2008 TAISEI CORPORATION All Rights Reserved.

LPWAの適用

■ トンネル坑内におけるLoRa規格による通信距離実験

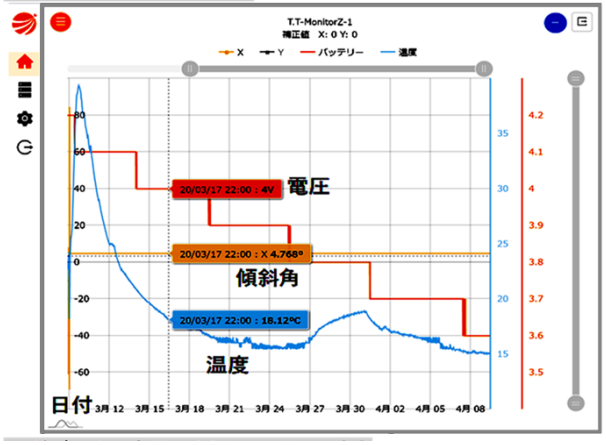




施工中の現場において1.4km以上の通信が可能であることを確認（カーブしていてもOK）

■ トンネル坑内におけるLoRaWANの通信距離実験

データの自動グラフ化表示



ログデータの表示・CSVファイルの出力

Webアプリにより計測データの他、電波の強さ(RSSI)、温度やバッテリー電圧も常時監視可能

TAISEI
Copyright © 2008 TAISEI CORPORATION All Rights Reserved.