

無線式トンネル三次元反射法弾性波探査システムの開発と検証

鹿島建設株式会社 正会員 ○横田 泰宏
 正会員 山本 拓治
 正会員 小泉 悠
 正会員 名児耶 薫

1. はじめに

著者らは、これまでにトンネル三次元反射法弾性波探査（TRT）を開発し、本技術を数多くのトンネル掘削現場に適用してきた。しかしながら、従来システムは長いケーブルを多数必要とするため、狭いトンネル坑内における発受振レイアウトの制限、探査準備作業にかかる人員・時間の増加等といった問題点が指摘されてきた。本論文は、より経済的にトンネル切羽前方探査を行うことを目的として開発した無線 TRT 探査システムの有効性を確認した結果を報告するものである。

2. 無線 TRT 探査システムの概要

表-1 は、無線式 TRT 探査システムの仕様である。図-1、及び、写真-1 は本システムの構成と構成機器である。本システムは、従来システムのように長いケーブルを必要としない。しかしながら、本システムは前述した問題を解決できる一方で、以下に挙げる新たな課題に対処する必要があった。

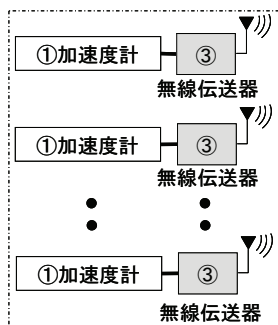
- ・各無線伝送器の時刻同期問題による、波形解析精度の劣化
- ・トンネル内部に配置された施工機械・設備等の無線通信への影響（高周波無線の指向性問題）
- ・トンネル壁面への電波多重反射（マルチパス）による無線通信への影響

そこで、一点目の課題に対しては、始めに、弾性波の発生時刻をトリガ信号伝送器から各無線伝送器へ一斉に送信し、各無線伝送器で弾性波発生時刻情報を受信する。次に、受信した時刻情報を基準とし、各加速度計で反射波を受振する方式をとることによって、各無線伝送器の時刻同期を可能とした。さらに、二、三点目の課題に対しては、無線モジュールに 2.4GHz 帯の特定小電力帯のスペクトラム拡散通信(Spread Spectrum : SS)方式の適用を試みた。ここで、SS 方式とは、信号情報を広い周波数帯に拡散して送信し、受信側で拡散された信号からもとの情報信号を取り出す方法であり、低電力密度・被干渉耐性等といった特徴を有する。

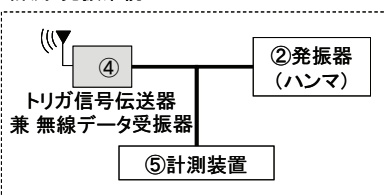
表-1 無線システムの仕様

無線システム仕様	
A/D 分解能	24-bit
サンプリング間隔	0.0625ms(16kHz)~0.5ms(2kHz)
最大記録長	174762samples
無線規格	2.4GHz FHSS

受振系統



計測・発振系統



— : 有線
 ≡ : 無線

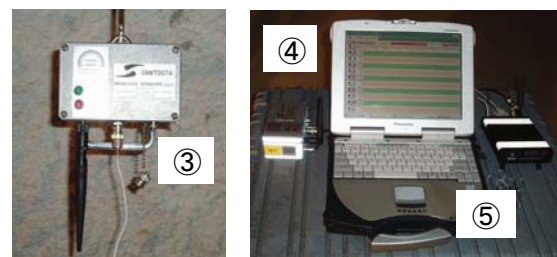
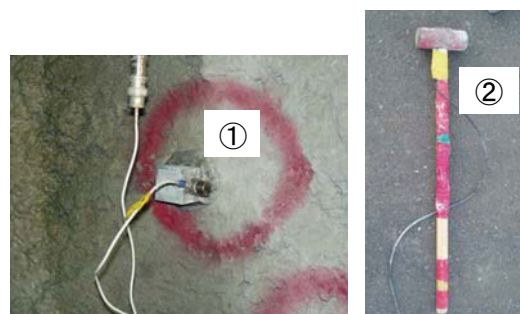


図-1 無線 TRT 探査システムの構成

写真-1 無線 TRT 探査システムの構成機器

キーワード 無線, 反射法弾性波探査, 切羽前方探査, 三次元, イメージング

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2 丁目 19-1 鹿島建設 (株) 技術研究所 TEL 042-489-7088

3. 実トンネルにおける実証試験

表-2 は、実証試験を実施した小断面 TBM トンネル（A トンネル）の仕様である。また、写真-2 は、A トンネルの坑内状況である。このように、A トンネルでは無線通信の障害となる機械や設備が探査区間内に多数設置されている。本実証試験は、無線通信条件が悪いと考えられる小断面トンネルや障害物の多いトンネルにおいて無線 TRT 探査システムの実用性を確認することを目的とした。試験は、トンネル壁面に設置した同一の加速度計を無線式と従来型の有線式に繋ぎ換えて探査性能の比較を行った。

その結果、本無線システムを介して、すべてのチャンネルで波形を取得でき、トンネルが狭く障害物がある場合においても、通信遮断やマルチパスによる通信エラーが起こらないことが確認できた。

図-2 は、無線式 TRT 探査システムで取得した波形（灰）と有線式で取得した波形（赤）を比較した結果である。時間軸上のズレは両波形に見られなかった。よって、システムの無線化に際して最も課題であると考えられた各無線伝送器の時刻同期は正確に行えたことが確認できた。

図-3 は、無線 TRT 探査システムを使用した解析結果と実際の地質、準岩盤強度、及び、実施支保パターンを比較した結果である。解析結果では、切羽前方 70m 付近で軟質な岩から硬質な岩へ変化する強い反射面群が見られる。当該区間では、実際の地質も硬質な斑レイ岩に変化し、実施支保パターンも B パターンとなった区間であり、解析結果は実際の地質と整合性が見られる結果となった。

4. まとめ

- ・無線システムは、小断面 TBM トンネルにおいても通信遮断やマルチパスによる通信エラーが発生しない。
- ・無線化にあたり最も懸念された各無線伝送器の時刻は、正確に同期することができる。
- ・狭い坑内における発受振点の自由なレイアウトや準備作業に必要な人員・時間の削減が可能である。
- ・小断面 TBM トンネルのように電磁ノイズの多い環境でも、精度の良い探査を行うことができた。

参考文献

- ・白鷺卓，山本拓治，佐藤淳，本庄竹志，西岡和則：反射トモグラフィ“TRT”の現場適用結果，平成 13 年度全国大会第 56 回年次学術講演会講演論文集，III-B014，pp. 28-29，2001

表-2 A トンネルの仕様

TBM仕様	
トンネル径	2.8m
トンネル断面積	6.15m ²
機材占有率	30-40%



写真-2 坑内状況 (A トンネル)

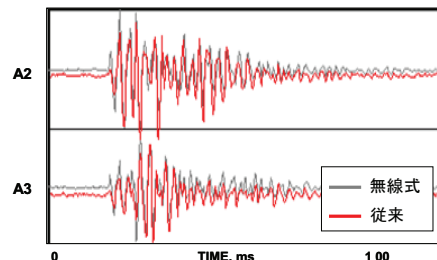


図-2 波形比較

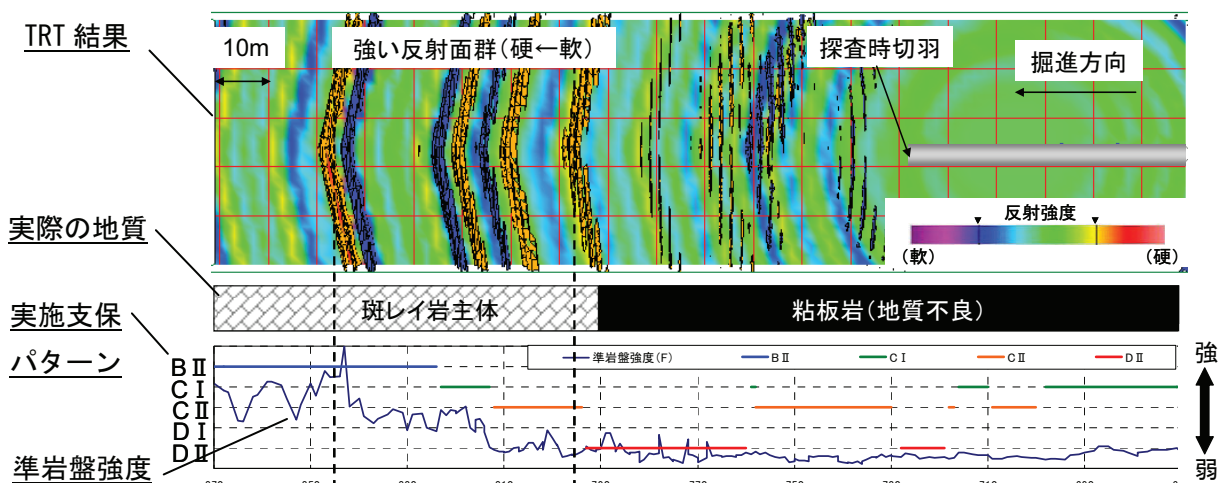


図-3 無線 TRT 探査システムを使用した探査結果（上：縦断面図）と実際の地質（中）、準岩盤強度、実施支保パターン（下）との比較