

第V部門 天端部防水シート背面への分布型 TDR センサ取付による覆工コンクリート充填不良防止

(株) 大林組 正会員 ○鶴山 雅夫, 鈴木 拓也
 東日本高速道路 (株) 正会員 河野 久雄
 ESE Consulting LLC 正会員 榊 利博
 (株) レーザック 正会員 藤井 宏和

1. はじめに

首都圏中央連絡自動車道芝山工事（発注者東日本高速道路（株））では、延長 616 m のトンネルを比較的土被りが小さい砂質土地盤中に建設している。覆工コンクリートの仕様は表-1 に示す繊維補強中流動コンクリートである。また、将来的な土地改変や近接施工によるトンネル構造への影響を考慮し、覆工厚を 40 cm とした RC 構造として設計されている。加えて、本トンネルは全線において AGF-φ 工法を採用しており、覆工天端部の充填空間には図-1 のような最大で約 200 mm の凹凸があることから、特に凸部は空気が抜けにくく、背面部は施工が困難な条件である。本稿では、上記の天端部充填状況確認が困難な箇所の対策として分布型 TDR 法を適用・実証した事例について示す。

表-1 繊維補強中流動コンクリートの仕様

設計基準強度 σ_{28} (N/mm ²)	スランプフロー (cm)	加振変形試験 (cm)	U型充填性高さ (障害なし) (mm)	空気量 (%)	繊維混入率 (%)
24	42.5±7.5	10±3	280以上	4.5±1.5	0.3以上

NEXCO 施工管理要領 (令和 2 年 7 月)

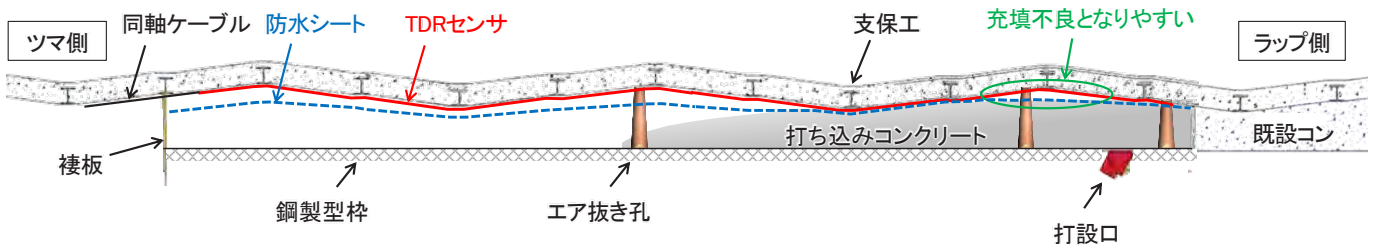


図-1 覆工天端部の概要 (トンネル軸方向断面図)

2. 天端部充填不良への対策

(1) コンクリート検知センサの概要

覆工コンクリートは、充填終了時に天端部の充填状況を目視確認できないことから、充填不良を防止するための各種センサを利用した未充填検知技術が用いられる。しかしながら大半の従来技術では、点計測型のセンサを複数箇所に設置するものでコストや労力の面で課題があった。当社では、長尺の電線をセンシングケーブルとした分布型の TDR 計測法 (Time Domain Reflectometry) によるコンクリートの打ち上がり高さ検知技術の開発を進めている (図-2)。同手法では、測定対象内に設置したセンシングケーブルに沿って電気エネルギーのパルス波を伝搬させ、反射波の波形や伝搬速度を捉えることで、センサ周辺の測定物の性状を特定する。今回、本工事ではこの TDR 計測法を天端部における防水シート背面の覆工コンクリート充填管理技術に応用した。

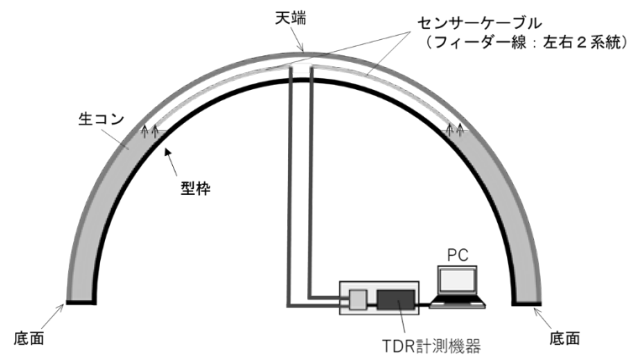


図-2 分布型 TDR 法による打ち上がり高さ検知の概要

Masao UYAMA, Takuya SUZUKI, Hisao KAWANO, Toshihiro SAKAKI, Hirokazu FUJII
uyama.masao@obayashi.co.jp

(2) 防水シート背面への設置

トンネル覆工作業ではトンネル掘削後に防水シートを施工した後にコンクリート充填を行う。その際、トンネル軸方向に凹凸のある一次覆工面に防水シートが追従して密着できるように、図-3のように張付けを行った。従来型の充填検知センサは防水シート表側に貼り付け、コンクリート充填状況を確認するが、本来のシート背面を含む充填空間が全て充填される前にセンサがコンクリートを検知してしまう。一方、今回採用した方法では、図-3、4に示すように TDR センサをトンネル掘削後の吹付コンクリート表面に設置し、充填したコンクリートが防水シートを通して TDR センサに接触する事で、密充填された状態を確認できる方法とした。

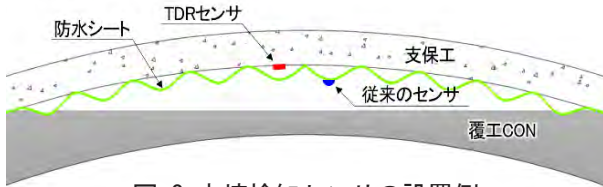


図-3 充填検知センサの設置例
(天端付近横断面)



図-4 TDR センサ (長さ 9.95 m) 取付状況

3. 計測結果

天端部コンクリート充填中の反射強度比を縦軸に、充填完了時点での伝搬時間より求めたケーブル上の距離(m)を横軸に取り、経時変化が分かるようにしたグラフ (TDR センサ検知後から充填完了の60分後までのTDR波形: B点からB'点の変化) を図-5に示す。また、コンクリート充填完了後のケーブルとトンネル天端部の位置関係を示すため、初期検知から60分後の波形(A-B'間)の長さに合わせてスケリングした天端断面図を図-5に重ね合わせた。これらの結果より、ケーブル先端からコンクリートが徐々に充填されている様子を検知できており、最終的にA-B'間で

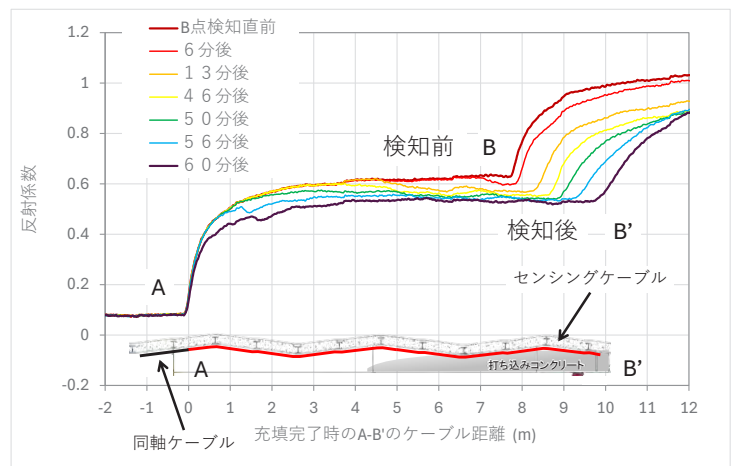


図-5 天端付近充填中の TDR 波形の変化
A:ケーブル始点(複側), B, B':ケーブル終点(ラップ側)

一様に変化したことから未充填部が残留していないことを示す。なお空隙がある場合は、TDR波形に誘電率が高いことを示す凸型の反応がグラフに現れる。エア抜き孔からのモルタルの漏出も確認出来ており、拡幅部に未充填区間が残留することなくコンクリートの充填状況を確認できた。また、充填完了直前の初期検知から60分後の波形において、A-B'間の波形で僅かに確認できる凹みが鋼製支保工の位置と一致していることから、TDRセンサが防水シートを介してコンクリートの圧で鋼製支保工と密着するまで押し上げられており、この結果からも確実に充填されたことを示している。

4. まとめ

今回の結果より、覆工充填時の天端部において防水シート背面に一般的な電線を長尺のTDRセンサとして取り付けることで、防水シートのたるみによる影響なく密充填のコンクリート施工状況を確認できた。また、複数のポイント計測センサではなく、単体の分布型TDRセンサによりケーブルに沿った位置での充填状況を確認できた。この技術により、①型枠天端部の生コン充填状況をリアルタイムかつ防水シートたるみに影響なく計測可能、②センサーに沿った複数点計測により、トンネル天端部全線の型枠内の生コン充填状況を効率的に計測可能、③施工性や経済的に優れた手法を実現し、施工不良の未然防止へ寄与した。

参考文献

1) Sakaki et al. (2023), Detection of potential voids in granulated bentonite mixture and concrete plug in the FE experiment using a parallel-wire cable as an extra-long TDR waveguide,