

デジタルツインを目的とした山岳トンネル坑内通信環境の構築

ペンタテクノサービス株式会社 正会員 ○佐藤 功一
 五洋建設株式会社 正会員 石田 仁
 五洋建設株式会社 正会員 藤田 真司

1. はじめに

建設現場では、現場の施工情報を BIM/CIM モデルにリアルタイムに反映し可視化することで、遠隔地から現場の状況を把握し、多様な分析を行うデジタルツイン（以下 DT と略す）が活用されつつあるが、デジタルツインを活用するためには、光回線や 5G 回線などの高速なインターネット通信環境が必要となることが多い。一方、現状では、高速な通信環境を確保するのが難しい現場も多く、特に土木工事においては、工事を行う地域に通信インフラが行き届いていないケースも多い。本研究では、利用可能な通信規格が 4G 回線に限られる低速なインターネット環境下でも、高機能な DT を実現することが可能な環境構築を試みた。ここで、高機能とは、協力会社も含めた様々な関係者が、状況写真や動画などをタイムリーに共有可能な機能のことを意味する。

今回対象とした現場は「平成 29-32 年度見の越トンネル工事」である。（図 1 参照）

2. データ通信容量

本試行では IoT センサ情報や施工管理情報を DT に登録する。IoT センサの通信には LPWA を用いることとし、LPWA 通信への適用性も考慮して表 1 に示す IoT センサを選定した。DT に登録する施工管理情報は表 2 の通りであり、タブレットや VR デバイス、MR デバイスを使用し、Wifi アクセスポイントを通じてデータの登録を行う。デバイスに必要なデータ容量を表 3 に示す。上記から回線速度は上り、下り共に 36Mbps 以上が望ましい。

3. 通信環境構築

試行現場で利用可能な坑口の 4G 回線の通信速度は、上り 5Mbps～8Mbps、下り 13Mbps～86Mbps であった。坑口の 4G 回線では十分な回線速度が得られていないため、DT 利用時に操作性の低下や表示の遅延などの問題が生じてしまう恐れがある。そこで現場にエッジサーバーを設置した。

また坑内の通信環境として、一般的なトンネル坑内通信は、Ethernet(100BASE-TX 等)、DSL(Digital Subscriber



図 1 工事現場位置図

表 1 IoT センサー一覧

センサ名	必要データ容量(Mbps)	個数
扉センサ	0.0016Mbps(上り)	1個
コントラファンセンサ	0.0016Mbps(上り)	1個
熱煙検知	0.0016Mbps(上り)	1個
作業員のバイタルセンサ	0.0016Mbps(上り)	10個
水質センサ	0.0016Mbps(上り)	1個
漏水センサ	0.0016Mbps(上り)	1個
熱電対	0.0016Mbps(上り)	1個
粉塵センサ	0.0016Mbps(上り)	6個

* 1回当たりの送信容量は242byte 1分間隔で送信

表 2 施工管理情報一覧

施工管理情報	必要データ容量(Mbps)
切羽写真	8Mbps(上り) 1ファイル1Mbyte, 300Kbyte
打撃試験動画	36Mbps(上り) 1ファイル18Mbyte
打撃試験音声	6.4Mbps(上り) 1ファイル 0.8Mbyte

表 3 デバイス一覧

デバイス名	必要データ容量(Mbps)	個数
VRデバイス	0.5Mbps(上り) 2Mbps(下り)	1個
MRデバイス	2Mbps(上り) 0.5Mbps(下り)	1個
タブレット	0.2Mbps(上り) 36Mbps(下り)	作業員数分

キーワード : 山岳トンネル, デジタルツイン, IoT センサ, LPWA, Wifi, エッジサーバー

連絡先 : 〒329-2746 那須塩原市四区町 1534-1 ペンタテクノサービス(株) TEL 0287-39-2130

Line), Wifi 等が用いられているが, それぞれ表 4 に示す課題があるため, 本試行では主として光ファイバー(1000BASE-LX)を用いた坑内通信ネットワークを構築した.(図 2 参照)

坑内通信の機器構成を図 3 に示す. 坑内の

課題として, セントルと切羽付近において毎日作業箇所の移動が発生し, 移設作業時にケーブルの断線が起きやすい. そのため, セントルと切羽付近は断線が生じた際にも容易に復旧が可能なツイストペアケーブルを用いることとし, セントル前後の光ファイバーは巻いて置き, 作業箇所の移動に対応可能な配線とした. これにより, 坑内の Wifi アクセスポイントの移設も容易となった.

以下の通り, 目標とした通信環境の構築を行うことが出来た.

- Wifi アクセスポイントから半径 300m が通信可能であったため, アクセスポイントを最大 600m 間隔で設置することが可能で, 柔軟に Wifi エリアを組み換えながら坑内全域で施工情報登録と閲覧が可能となった.
- LPWA アンテナから半径 600m の範囲の IoT センサのデータ収集が可能であった. 本試行では坑口から切羽まで 2km のため, アンテナ 3 台を配置することで, 坑内の任意の場所のセンサデータの収集が可能な環境を構築できた.
- エッジサーバーの配置により, トンネル坑内においても操作性を損なうことなく DT を活用することが可能となった.

4. おわりに

坑口に設置したエッジサーバーによって 4G 回線の低速環境を補い, 坑内配線については光ファイバー等を組み合わせた柔軟なネットワーク構成を採用することにより, 工事の進捗に合わせて移設が容易となり, 常時 DT を活用可能な環境を構築することができた. 今後も, 通信環境に課題がある現場を対象とし, 機器構成や配置, 運用の見直しを実施することで, 円滑な DT 活用を目指していきたい.

謝辞: 本研究は 2021 年度国土交通省「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の助成を受けた. ここに記して感謝の意を表す.

参考文献

- 1) 小林ら: BIM/CIM と ICT を活用した PC 中空床版橋における品質管理の高度化について, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-714, 2021.9
- 2) 市澤ら: 山岳トンネル坑内におけるメッシュ型無線 LAN の適用性の検証, 土木学会第 76 回年次学術講演会, VI-16, 2020.9

表 4 一般的な坑内通信の課題

通信方法	課題
Ethernet(100BASE-TX等)	ノード間の距離が100m以内と短く, 多段接続を行うと遅延が生じる
Wifi	設置間隔を伸ばしすぎると安定性が低下する ²⁾ 多段接続を行うと遅延が生じる
DSL(Digital Subscriber Line)	長距離に対応できるが, 通信速度が遅い

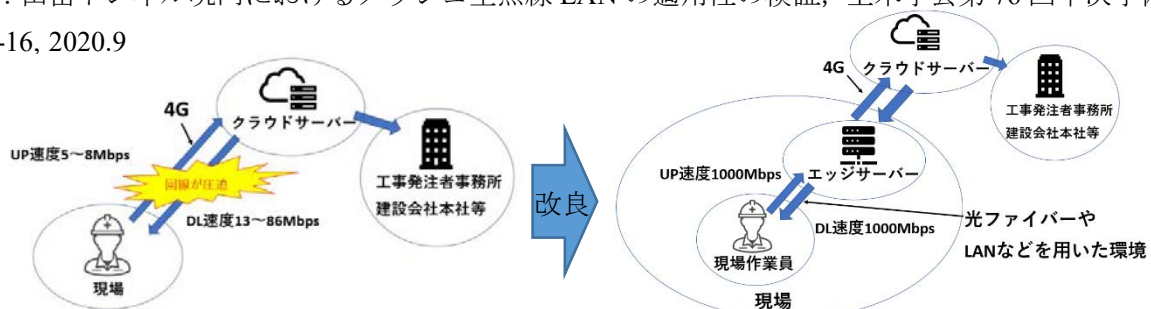


図 2 通信環境の改良の概要

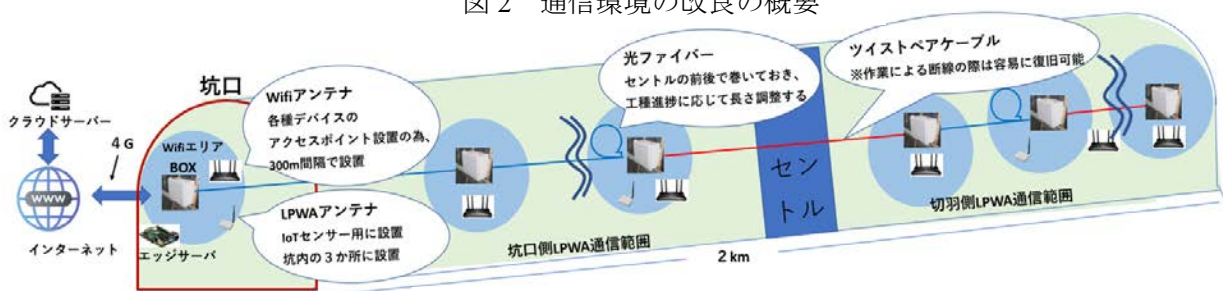


図 3 坑内の通信機器構成