

山岳トンネルでの光ケーブルを用いた坑内の無線通信環境の整備

鉄建建設(株) 正会員 ○中原法久 村岡亜美 舟橋孝仁 須志田藤雄
 小山俊滉 山下翔太 佐野雄治 島根米三郎

1. はじめに

当社も DX (デジタルトランスフォーメーション) 推進の一環として、山岳トンネルの切羽において使用する重機の遠隔操作や自動化の開発、遠隔臨場などを進めるために、坑内の無線通信環境の整備を行った。その際、現場の通信環境に影響を与えないように、坑内通信環境としては、必要箇所までは通信設備で実績のある光ケーブルを並設して構築することとした。敷設に関しては、施工ヤードの坑外周縁、坑内進入部、斜坑及び待避所などで屈曲部も多く、光ケーブルの取り扱いに関する検証、トンネルという狭長な閉塞空間での無線通信環境の状態などの確認を行う必要があった。

そこで筆者らは、敷設方法と伝送損失の検証、施工時の延長方法に関する検討、無線通信環境の状態を調べるための電波強度、実効通信容量の検証を行った。

本稿では、著者らが通信設備敷設時に確認した通信環境の整備に関して明らかになった事項について報告する。

2. 主要資機材の選定

遠距離大容量伝送向きの 8 芯シングルモードの屋外用光ケーブル (許容張力 900N, 許容曲げ半径 85 mm (敷設後)) を使用した。無線 AP (アクセスポイント) は、狭長なトンネル構造を考慮し、アンテナ前面の水平方向 120° と垂直方向 30° (5GHz 帯は 15°) の指向性を有する屋外用防塵・防水規格 IP67 のものを使用した。なお、信号伝達距離の製造元の目安は、AP アンテナからデバイスまで障害物なしの距離が 180m 程度、電波強度が約 -65dBm 程度とされている。IP カメラは、遠隔操作の重機等の状況を確認するために、暗い場所と明るい場所が混在する状況やカメラがトンネル建設機械の稼働により振動している状況でも安定した画像が得られる防塵・防水規格 IP66 のものを使用した。

3. 光ケーブルの敷設、養生

掘削施工中の作業を考慮し、光ケーブルの敷設は、滑車を利用した人力による横引きで行った。また、光ケー

ブルを床に置かざるを得ないセントル周辺 (養生台車、覆工セントル, FILM 台車) では、様々な形状の資機材が交錯しているため、セントルの作業中に破損の恐れが高い。そのため、保護管 (FEP 管) 150m を 4 分割し施工状況に合わせて随時 FEP 管カップリングで接続または分割を行えるようにして設置した。それにより、実際の覆工施工中の盛替え時にケーブルを破損したり、引っかかったり、もつれたりすることもなくセントル等の移設に合わせて、容易に移設することが可能であった。

また、掘削に合わせて光ケーブルの延長を容易にするため、光ドラムを最大 2 個設置し、写真 1 に示す余裕長を持たせた。

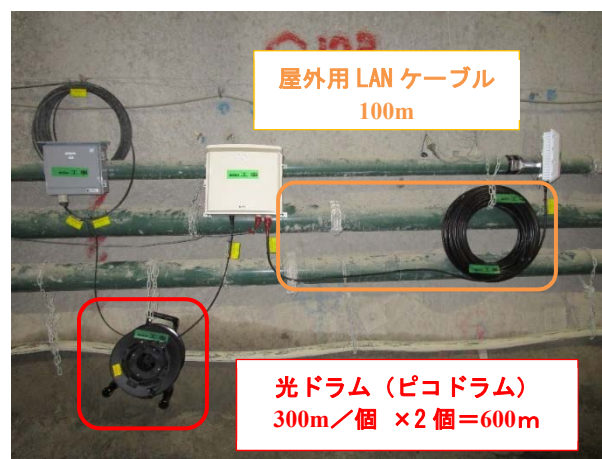


写真1 仮設ケーブルの余裕長

4. 検証結果

4.1 伝送損失の検証

光ケーブル敷設は、施工ヤードの端を通り、斜坑から本坑の切羽付近まで設置したため、半径 20~50cm 程度の多くの屈曲箇所 (光ケーブルの屈曲箇所 48 箇所、余裕線の仮巻き 32 巻き程度) があり、融着は 8 芯の光ファイバ素線に対して、それぞれ 4 箇所で行った。その光伝送路における状態を確認するため伝送損失の試験を実施した。その結果、伝送損失は算出規格値内の値を示しており、光ケーブルに損傷などのない良好な施工結

キーワード 山岳トンネル, 光ケーブル, 坑内通信環境, Wi-Fi, 電波強度, 遠隔操作

連絡先 〒101-8366 東京都千代田区神田三崎町 2-5-3 鉄建建設(株)土木本部 TEL:03-3221-2298

果が得られた。この光ケーブルの許容曲げ半径は8.5cmであり、半径20cm程度の屈曲の配線であれば問題のない施工が可能であることが、実際の測定結果として確認された。

4.2 接続安定性の検証

AP アンテナの向きによる特性を見るため図1に示す3パターンに区分して周波数帯5GHz帯と2.4GHz帯を比較した。なお、パターン2の実験は、パターン1で確認できないAPアンテナ前方の特性を確認する意味で行ったものである。

これらを見ると、測定可能距離で見た場合は、図2より分かるように、パターン2が優れている。これは、パターン2はAPアンテナ前方（電波放出面）が坑口方向を向いているため、パターン1は切羽面で放出電波が遮られているためであり、同等以上の特性があると考えられる。ここで、電波強度の安定性を見た場合、図2よりパターン1はAPアンテナ前方の電波強度が安定して-60dBm以上で2.4GHz帯が突出していることが分かる。これは、切羽付近は作業特性から遮蔽するような資機材が少なくなっていることにも起因していると思われる。

なお、実効通信容量の測定値は、光ケーブル端間では、試験用PC間のLANケーブル直結値に近い下り633～上り699Mbps値を示し、Wi-Fiを経由した値は下り260～上り248Mbpsの値を示した。

5. まとめ

- (1) 周波数帯で見た場合は、全般的に5GHz帯より2.4GHz帯が優れている。
- (2) その中で、パターン1の2.4GHz帯が、APアンテナ前方(切羽方向)の電波強度が安定して-60dBm以上であることが確認された。
- (3) パターン2を見ると信号伝達距離は、APアンテナからデバイスまでの距離が、180mまでの電波強度は、障害物ありで約-67dBm前後となり、前述の目安値の性能相当が確保されていた。
- (4) パターン2によると、APアンテナ前方(坑口方向)で、180mより先では電波強度は低下して-67～-80dBm程度となっているものの、292.8mまでビデオ・音声通話が可能であることを確認した。
- (5) 切羽掘削に伴うケーブルの伸長について、ケーブル余裕長は光ドラムの600mとLANケーブルの100mの計700mで、無線APアンテナの信号伝達距離が100

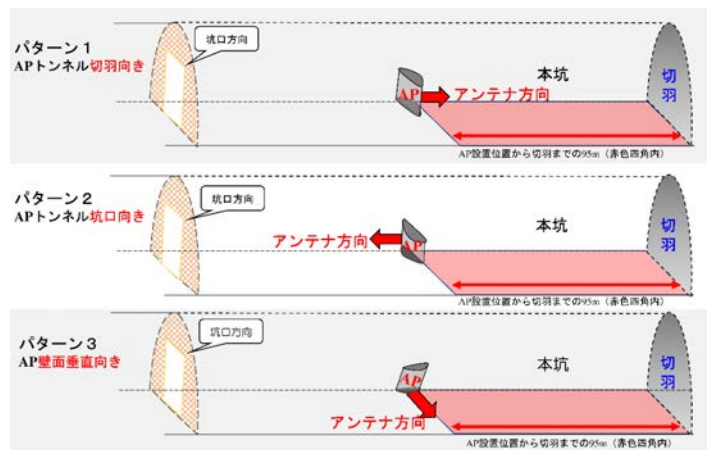


図1 APアンテナの設置方向による検証のパターン区分図

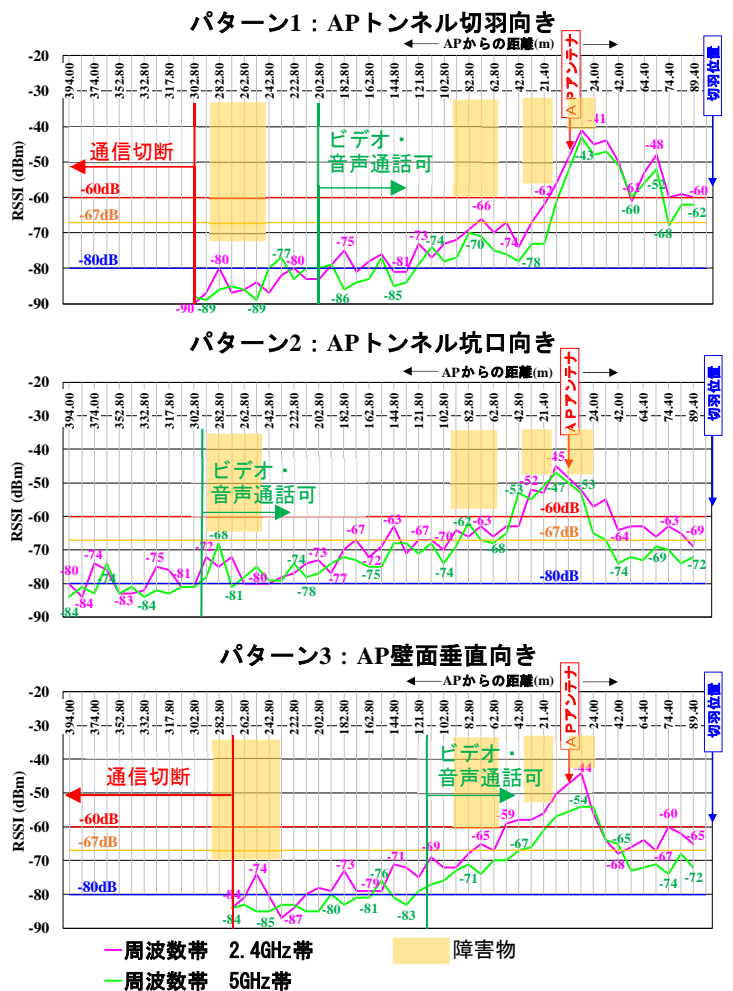


図2 検証結果図

～200m程度であることから、これらを合計すると800～900mである。そのため、現場の負担の少ない800～900mの切羽進行毎に、光ケーブルの延長工事を行うことで対応できる。

ただし、今回は現場稼働停止中に測定したものであるので細かく計測できたが、現場稼働中の電波状況とは必ずしも一致しないと思われる。今後、稼働中の電波状況についても確認する必要がある。