

28. 中継方式による坑内無線通信システム

佐藤工業㈱：*村上 裕二，高橋 浩，長谷川 健一

1. はじめに

近年、トンネル工事における自動化・省力化の進展に伴い、遠隔監視・制御を行うためのデータ通信技術が注目されている。従来、トンネル内での通信は、自動化装置と坑外監視・制御装置とを通信ケーブルで接続する方法や坑内電話など有線のものが主であり、無線通信の利用は近距離でのリモートコントロールやトランシーバを利用した音声通信等に限定されていた。トンネル内での無線利用においては、電波の反射・干渉・吸収・減衰等の問題があり、長距離区間を通信することは困難であった。

本報ではこれらの問題を解決し、長距離トンネル全線において複数の移動体との双方向通信を可能とした、新しい中継式無線通信システムの概要について報告する。

2. 開発の背景

当社において、平成6年に開発し道志導水路（早戸工区）新設工事に導入した、複数の無人運転のバッテリー機関車を使用して長距離トンネルのずり搬出・資機材の搬出入を行う「トンネル自動搬送システム」では、各機関車と坑外監視・制御装置との間の通信に、誘導無線システムを採用した。この方式は、レールに沿って誘導線を連続的に敷設し、各機関車に設置したアンテナとの間で通信を行うシステムである。（写真1、図1参照）



写真1 誘導線敷設状況

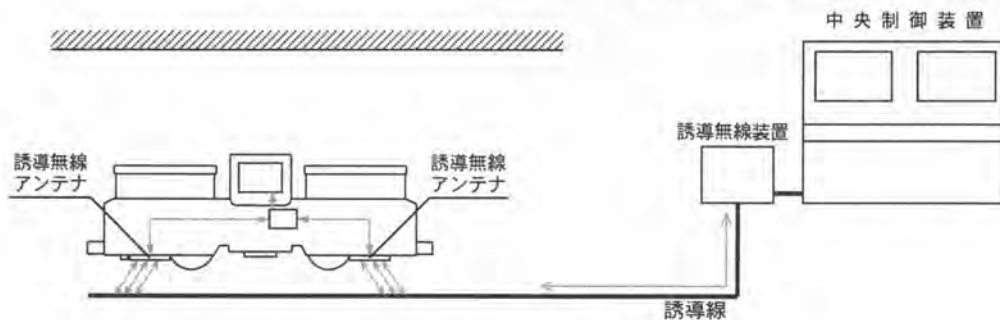


図1 データ通信概念図

誘導無線システムは、安定した通信が行えるため工場・地下鉄等の使用条件の変化しない環境で運用する場合に多く見られる。しかし、建設工事においては、車輛の運行条件が日々変化するため、誘導線の延長・撤去・保守管理などに多大の手間と時間を要し、その対処が課題であった。

そこで当社では、建設工事における誘導無線システムに関する課題を大幅に改善するべく、新通信システムの開発を進め、種々の実験を重ね実用化した。

3. システム構成

本システムは、各々に送受信器を内蔵する主局・固定局・移動局から構成され、固定局をトンネル内に適度な間隔(実績では 200~400m)で設置し、これらを通信ケーブルで接続することにより通信範囲を拡大する。主局と固定局は、隣り合う固定局と通信ケーブルを使用した双方向通信を行うと共に、移動局と常時双方向無線通信を行う。また主局は上位の制御装置と、移動局は移動体の制御装置との間でデータの授受を行う。

トンネル延長方向に通信範囲を拡大する手段として、通信経路にアンプを介在させて信号を増幅する方法もあるが、この方法では周辺からのノイズも増幅してしまうことになり、通信範囲に限界が生じる。本システムにおける固定局は増幅器ではなく、隣接する固定局から受信したデータの中継し次の固定局に送る中継器である。このため周辺ノイズを増幅・累積することなくデータのみを中継できるので、固定局を任意に設置することにより長距離トンネル内(理論的には無限)全線で、移動体通信が可能となる。(図-2 参照)

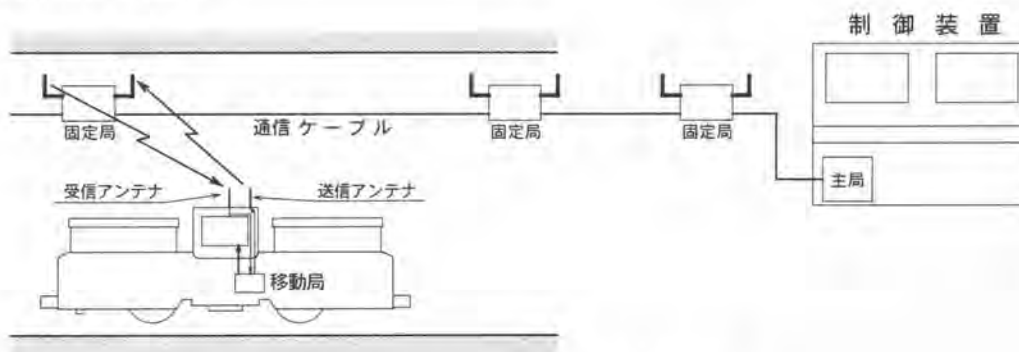


図-2 中継式無線通信システム概念図

4. データ通信

トンネルの延長方向に通信経路を構成するために、固定局をトンネル内の壁面などに適度な間隔で直列に設置する。トンネル内を走行する移動体に搭載された移動局は、近くにある固定局と通信し、移動するに従って通信する相手(固定局)を代えていく。上位の制御装置からのデータは、全ての固定局から移動局に対して一斉に送信され、移動局は通信可能範囲にある固定局からデータを受信する。移動局が複数の固定局から受信した場合は、電波の強い方のデータを有効としている。逆に移動体からのデータは移動局から送信され、通信可能範囲にある固定局で受信される。固定局で受信したデータは、ト

ンネル内に設置された固定局を中継しながら主局まで伝送される。複数の固定局が移動局から受信した場合は、主局に近い固定局のデータを有効としている。

5. 特徴

本システムは、掘削作業とは完全に独立して通信設備の設置ができるため、掘削作業に影響を与えないで通信設備の保守作業が行える。また、空間波方式であるため、移動体の軌道を限定することがなく、トラック等の無軌道移動体との通信にも利用できるなどの利点がある。以下に本通信システムの特長を示す。

- ①固定局は軽量・小型であるためトンネル壁面等に簡単に設置することができ、増設の手間は極めて軽微である。
- ②固定局の設置数に制限はなく、トンネルの長さに関係なく長距離通信が行える。
- ③固定局の間隔を適宜調整することによって、トンネルの線形や内空断面に関係なく常に良好な通信状態を維持することができる。
- ④固定局に故障が生じた場合でも、その固定局周辺だけが通信不能となるので直ちに故障箇所が判明し、復旧が早い。
- ⑤1系列の通信システムで複数車線・複数台の移動体に対応できるため効率が低い。
- ⑥特定小電力無線を用いているので、従業者資格や許可、申請などの煩雑な手続きが不要である。

6. チャンネル設定

本システムでは、掘進に伴い固定局を増設する必要があるため数多くの無線機を使用するため、免許申請の必要のない特定小電力無線を使用している。しかし、現行の電波法に規定されるキャリアセンス機能（送信開始に先立ち送信しようとする周波数をモニタし、他の無線局が使用中ならば送信を中止する）に対応する必要がある。さらに、トンネル内全線を通信可能にするためには、固定局と固定局の間付近でも安定して通信状態を確保する必要がある。しかし、同一チャンネルで固定局が

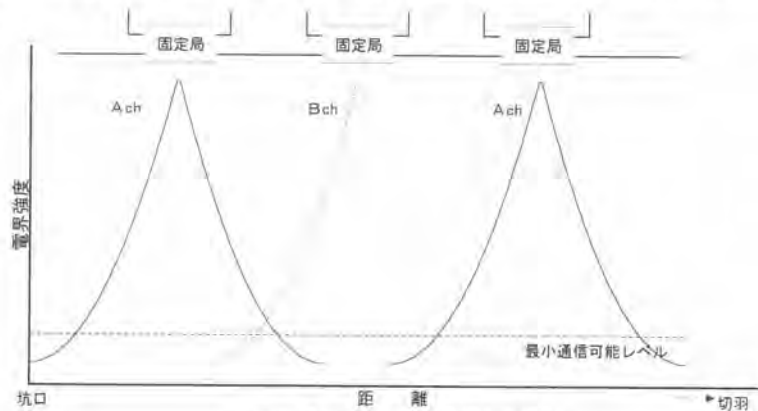


図-3 電界強度特性概念図

ら送信すると、その中間付近で混信する可能性がある。

以上より、キャリアセンスへの対応および混信防止のため、固定局からの送信に2チャンネルを使用し、これらを交互に設置する。(図-3参照)

7. 中継方式

今回のシステムでは、固定局間を通信ケーブルで接続しデータ通信を行う有線中継方式を採用したが、通信範囲を拡大する方法として、固定局間のデータ通信も無線で行う無線中継方式がある。図-4に概念図を示す。

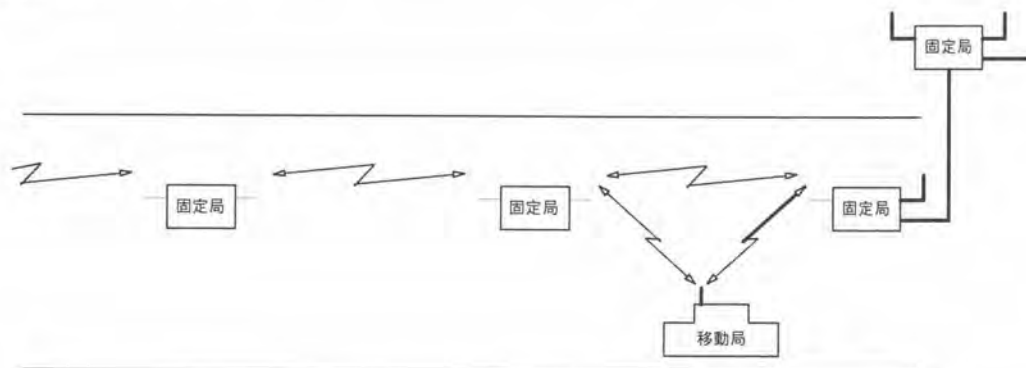


図-4 無線中継方式システム概念図

この方式では、固定局の設置時にその電源を確保するだけで良いため、設置・移設・撤去の手間を軽減できる反面、固定局の構造が有線通信方式に比べ複雑になり、また固定局の設置間隔も短くなる。

以上のように各々の方式には特長があり、使用環境に応じて選定する。さらにこれらを同一トンネルで混在させることも可能である

8. おわりに

有線中継方式の坑内無線システムを採用し、バッテリー機関車を複数使用したトンネル自動搬送システムを2ヶ所（延長約6 km のTBMトンネル、延長約4 km のシールドトンネル）の長距離トンネルに導入し、順調に稼働している。

今後は、これらの工事での使用実績を踏まえ、さらにダンプトラック等の無軌道車両の制御や、移動体との音声・映像通信を含めたマルチメディア化など、本システムの応用範囲の拡大を図っていく所存である。



写真-2 固定局設置状況

また、今回のシステムでは特定小電力無線を使用した。本システムは中継する方式を変更することなく無線方式を容易に変更できるので、経済性・施工性・信頼性を考慮し他の無線方式（SS無線・構内無線他）の採用も検討していきたいと考えている。