

トンネル坑内「無線テレメータシステム」の研究開発

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF WIRELESS TELEMETER SYSTEM IN THE TUNNEL

山崎 多賀一*・芝 司朗*・飯島 正和*・岩崎 次夫*

Takaichi YAMAZAKI, Shiro SHIBA, Masakazu IIJIMA and Tugio IWASAKI

"Wireless Telemeter System" was built, which can transmit the video and data simultaneously by wireless in order to contribute to labor saving and informational construction technology in the tunnel field. This system can transmit both the video information and measuremental data in real time by SS (Spread Spectrum) wireless from the tunnel field to office. And SS wireless which is not influenced by noise and which can be transmitted in long distance is new wireless technology. This paper describes the abstract of this system and the result of experiments to use this system in the tunnel field.

Keywords : Wireless Telemeter System, SS wireless, Tunnel

1. まえがき

トンネル工事における必要な情報の種類にはさまざまなものがある。例えば、トンネル坑内からは作業状況の情報、マシン情報、センサ・計測情報などがある。また、坑外の事務所からは作業伝達指示情報や安全に関わる情報などがある。従来の有線の情報伝達システムでは、これらの情報をケーブルを介して事務所等まで伝送されていたため、掘削の進行にともなう有線ケーブル延長の盛替え作業を必要とした。さらに工事中の必要な情報の追加に関してはその都度ケーブルの敷設が必要となるなど、狭隘なトンネル坑内でのケーブル設置作業は柔軟性に欠け工事の施工に与える影響が課題となっていた。

これらの課題を解決する一手法として、無線通信が考えられるが、従来の無線ではトンネル環境の特殊性からくる伝送距離の問題、データの信頼性など技術的な面も含め積極的に無線利用が図られなかった。

今回、上記の課題を解決する可能性のあるSS無線（スペクトラム拡散通信）を利用した「無線テレメータシステム」を現場で適用し確認実験を行った。このシステムは、SS無線により通信し、事務所にいながら坑内状況やデータをリアルタイムに把握できるもので、今までトンネル坑内において困難とされていた無線の利用を可能とするものである。

ここでは、SS無線と本システムの概要および無線伝送確認実験について報告する。

* 正会員 鉄建建設（株）技術研究所

2. SS無線

システムに使用しているSS(Spread Spectrum:スペクトラム拡散)無線とは、デジタル無線通信の方式で平成4年12月25日の郵政省令の一部改正により使用が可能となった新しい通信方式である。通信の概要は、電波によって信号を送信する際に、変調したデジタルデータの帯域幅をさらに広い周波数幅をもった電波に拡散処理している。そして伝送途中で雑音や干渉波の影響を受けても、受信時の逆拡散処理により元の信号に復帰させる機能を持ち、耐雑音性・干渉性に優れた通信方式である。

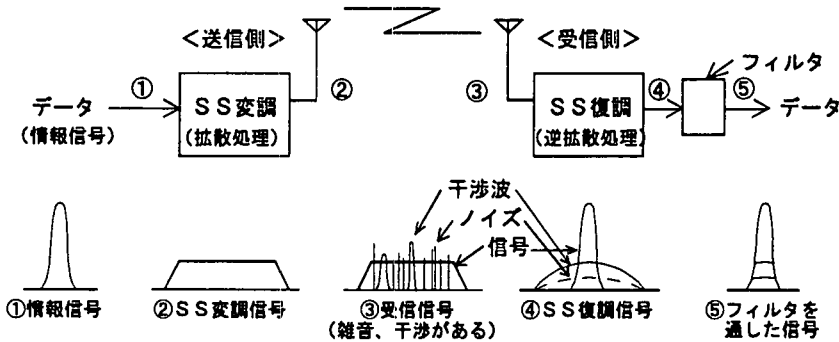


図-1 SS無線の原理

SS無線の原理を図-1に、SS無線機の仕様を表-1に示す。

SS無線の特徴をあげると以下のとおりである。

- (1) 無線免許が不要である。
- (2) ノイズに強く、長距離通信が可能である。
- (3) 双方向、複数局との通信が可能である。
- (4) 有線との併用ネットワークが可能である。

表-1 SS無線機の仕様

通信方式	スペクトラム拡散方式
変調方式	直接拡散方式
無線周波数帯	2.4GHz帯
空中線電力	10mW/MHz以下
変調速度	256Kbps

3. 無線テレメータシステムの概要

3・1 システムの構成

システムは、次の3つの部分で構成している。

- (1) 画像・データ計測部
- (2) 信号を送信する通信部
- (3) 信号を受信してパソコンやモニタに表示する受信部

画像伝送装置は、画像送信局と画像受信局で構成され、画像送信局のCCDカメラから入力された画像データを変換し画像圧縮処理後、SS無線により伝送する。画像受信局では送信されてきた画像データを受信し画像伸長処理をした後、モニタに表示する。

また、画像受信局のパソコンの端末では、伝送された画像をもとに画像送信局のカメラのパン、チルト、ズーム等の遠隔制御を行うことができる。

画像伝送装置の構成を図-2に示す。また、システムの使用機器一覧を表-2に示す。

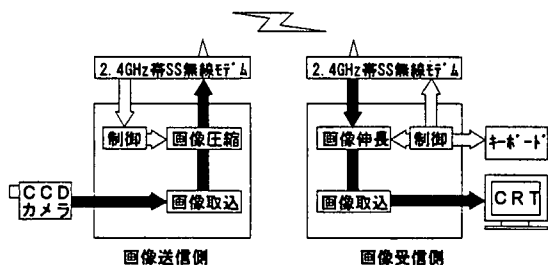


図-2 画像伝送装置の構成

表-2 使用機器一覧

項 目	使 用 機 器
画像・計測部	CCDカメラ、パソコン、計測センサ
通 信 部	SS無線機
受 信 部	表示用ディスプレイ、パソコン

3・2 データ伝送

データ伝送装置はトンネル坑内のセンサ情報や計測データをリレー式に多重伝送ができ、センタ局～端末局、端末局～端末局の相互において無線通信ができる。

仕様では、センタ局に最大255個の端末局が接続でき、トンネル坑内～立坑～事務所間の伝送や急曲線トンネルでの無線伝送が可能となる。データ伝送装置の構成を図-3に示す。

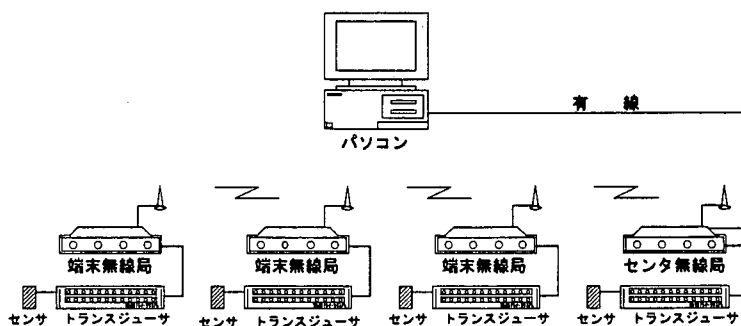


図-3 データ伝送装置の構成

上記の図-2、3に示した伝送装置は個々のシステムとしては完成済みでありトンネル坑内の用途に応じて適用している。図-4には画像伝送装置とデータ伝送装置をオールインワンタイプに統合した無線テレメータシステム（MTS：Musen Telemeter System）の構成イメージを示す。システムの概要は、トンネル坑内での画像とセンサ・計測データを同時にSS無線により順次リレー式に中継伝送し、一旦立坑に設けたセンタ無線局を介し、そこから地上の事務所まで有線または無線により伝送し、事務所内のパソコンやモニタに常時表示し情報管理できるものである。

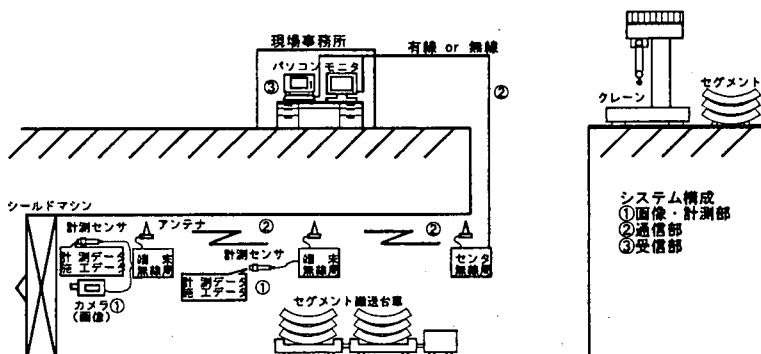


図-4 無線テレメータシステムの構成イメージ

3・3 無線テレメータシステムの特徴

本システムの主な特徴を以下に示す。

- (1) トンネル切羽の進行に伴うケーブル等の敷設作業が不要となり、工事の進捗に応じたシステムの設置拡張が柔軟に行える。
- (2) 複数の坑内画像、センサ・計測データを同時に伝送することができる。
- (3) 中継機を複数台使用することで、長距離伝送が可能となる。
- (4) ケーブル等の異常時や停電時でも、坑内状況を把握できるため、バックアップとしての安全管理や緊急時（ガス検知等）の連絡用システムとしても利用することができる。

4. 画像伝送実験

トンネル坑内での無線利用に影響を与える要因として、トンネル線形、各種のトンネル断面形状、覆工材料等の物理的要因が考えられ、また坑内作業の輻輳等によるノイズ、電波障害等の作業上の要因がある。

また、無線電波は直進する特性があり、曲線部分の多いトンネル区間では使用が困難であった。さらに、従来の微弱タイプの無線では伝送到達距離などに問題があった。このような理由によりトンネル坑内では無線通信の積極的な利用がなされなかった。

実験目的としては、新しい通信方式であるSS無線をトンネル坑内で適用しどのように上記課題が改善されるかを確認することである。実験は、主に画像伝送で無線の伝送距離の確認を行い、通信データの信頼性についてはデータ伝送で行った。また、実験したトンネルは $\phi 2.5\text{m}$ のシールドトンネルと直径10mクラスの山岳トンネルA、Bの3トンネルである。トンネルの断面形状を図-5に示す。

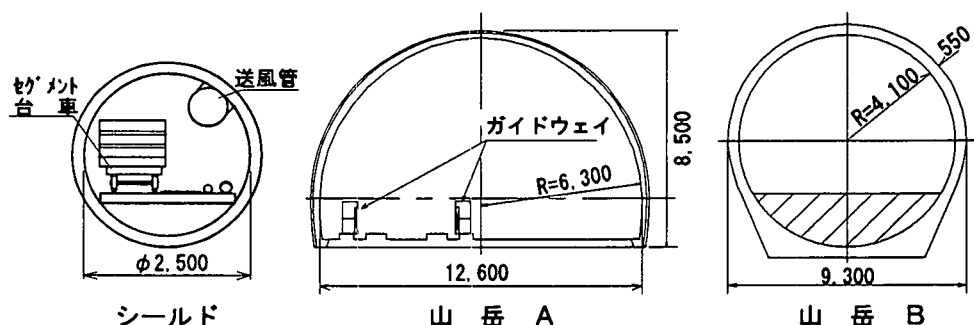


図-5 トンネルの断面形状

4・1 実験方法

写真-1に示す画像伝送装置を用いて、トンネル径の大小と伝送到達距離の関係を確認するものとする。また、データ伝送の信頼性の確認実験はシールドトンネルで図-6に示すデータ伝送装置を用いて行った。

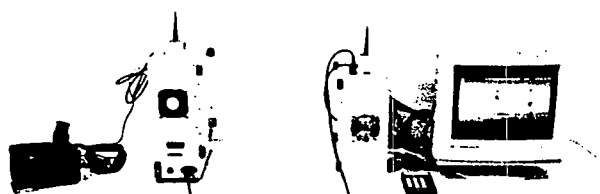


写真-1 画像伝送装置

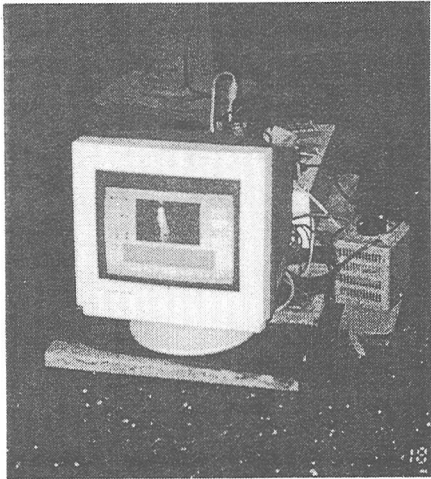


図-6 データ伝送装置

写真－２、写真－３はそれぞれ画像送信状況、画像受信状況を示す。



写真－２ 画像送信状況



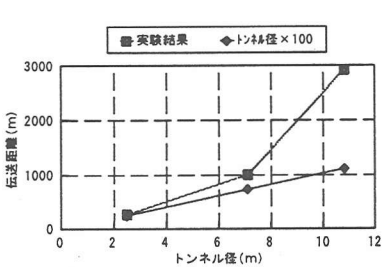
写真－３ 画像受信状況

４・２実験結果とまとめ

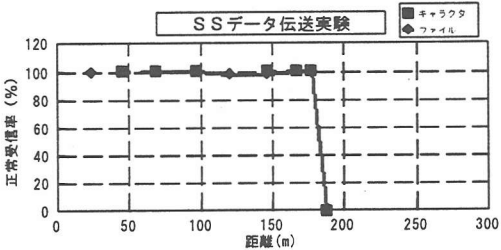
実験したトンネル諸元と伝送結果を表－３に示す。また、画像伝送距離とトンネル径の関係を図－７に示す。さらに、シールドトンネルにおけるデータ伝送の信頼性に関する実験結果として、伝送距離と受信率（全データに対する正常データの割合）の関係を図－８に示す。

表－３ トンネル諸元と伝送結果

トンネル	シールド	山 岳 A	山 岳 B
掘削工法	泥水シールド	NATM	NATM
覆 工	コンクリートセグメント	二次覆工コンクリート	吹付けコンクリート
トンネル 断面形状	内径：φ 2. 5 m	高さ：8.5m、幅：12.6m 内空断面積：約 9 2 m ²	内径：φ 8. 2 m
トンネル有効 断面の換算径	2. 5 m	1 0. 8 m	7. 1 m
画像伝送距離	2 5 4 m	2, 9 2 0 m	1, 0 0 0 m
現場環境	掘削中 セグメント搬送台車の往来あり	掘削終了 付帯工事作業中	掘削中 大型重機車両の往来あり



図－７ 画像伝送距離とトンネル径



図－８ 伝送距離と受信率

伝送実験より得られた事項は以下のとおりである。

- (1) トンネル径が大きくなる程、画像伝送距離が伸び、トンネル径の100倍以上の伝送が可能である。(トンネル径の100倍が一つの目安となる。)
- (2) 画像伝送については1秒間に1フレームの準動画の伝送速度であるが、画質の劣化はない。
- (3) 急曲線のトンネルや立坑～トンネル坑内の通信では、通信状態が悪化するので無線中継機が必要となる。
- (4) S S無線はデジタルデータを使用しているため伝送データのエラー率(全データに対するエラーデータの割合)は、ほとんどなく信頼性がある。
- (5) 現場作業に伴うノイズ、電波障害に対しても影響されにくい。

以上の実験成果から、本システムがトンネル坑内においても、十分適用可能であることを確認した。

5. 今後の課題

本文で紹介した「無線テレメータシステム」は、プロトタイプのものであり、さらに現場実用化に向けて改善する必要があり、課題としては次のものがある。

- (1) 個々に完成済みの画像伝送装置とデータ伝送装置を一体化した画像・データ同時伝送システムを構築する。
- (2) 画像の伝送速度を画像圧縮技術のソフト対策で向上させ、できるだけ動画に近づける。
- (3) 無線機の小型化を図る。
- (4) 将来的には、トンネル坑内の移動体通信(AGV)に向けてシステムの拡充を図る。

今後、これらの課題に対応したシステムの開発に向けて研究開発を行っていく予定である。

6. おわりに

トンネル坑内で免許が不要で、かつ長距離伝送が可能なS S無線を利用した「無線テレメータシステム」の現場実験により、本システムがトンネル坑内でも十分適用可能であることを確認した。これにより、トンネル坑内での無線通信の利用が積極的に図られると、新たな情報伝達の有望な手段となりうる可能性がある。

また、トンネル切羽と現場事務所間の距離が離れている場合が多いので、本システムを利用することにより現場技術者はリアルタイムに作業状況を把握することができ、さらに必要な情報は事務所～現場間で双方向に伝達でき安全面や緊急時の連絡体制にも貢献できる。

このように、本システムは現場作業の情報化・省力化や、施工の合理化に貢献するものと考えられ、また、トンネル以外の橋梁、ダム等の建設分野においてもシステムの応用が可能で、その波及効果は大きいと考える。しかしながら、今回の実験ではS S無線通信の基礎的な確認を行ったにすぎず、実用化に向けて検討すべき課題は多くあるのが現状である。特に、トンネル坑内での無線のデータの信頼性確保は重要な課題であると考ええる。

最後に、本報告をまとめるに当たり、現場でのシステム適用に御協力をいただいた関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 山内雪路：「スペクトラム拡散通信 次世代高性能通信にむけて」、東京電機大学出版局、1994. 11
- (2) 飯島、芝、山崎、岩崎：「トンネル坑内におけるS S無線による画像・データ伝送システムについて」、土木学会第50回年次学術講演会 VI, pp290-291, 1995. 9