

4. トンネル内画像無線伝送システムの開発

鹿島：平井 淳一

1. はじめに

小断面トンネルの覆工作業において、トンネル断面が狭いため、コンクリートを遠方より圧送し打設することがある。この場合、コンクリートポンプオペレータは打設作業員の連絡のみでポンプの運転操作をしなければならない。従来、この連絡は音声のみであり、情報を的確に伝えることが難しく作業効率が悪くなりがちであった。

今回、このようなトンネル工事においても取扱い性に優れる画像無線伝送システムを開発したので、この概要について紹介する。

2. 工事概要

本システムを導入したのは北九州市水道局を企業者とする耶馬溪導水路トンネル築造工事（2工区）で、総延長1,981 m、仕上り断面は幅1.8 m、高さ2.2 mで内空断面積3.52 m²と狭隘なトンネル工事である。路盤コンクリート打設時は坑内搬送車が打設箇所まで近づくことができず、最大で250 m程度離れたコンクリートポンプから圧送し打設した。（写真1）

3. 開発概要

3.1 要求項目

無線による画像伝送システムに要求される事項を次のように設定した。

- a. 作業状況が明確に把握できる
- b. 300m程度の画像伝送が可能
- c. 音声情報の伝送も可能
- d. 取扱いや保守が簡便
- e. 無線免許などの手続が簡易

3.2 伝送方式

無線により簡易に画像伝送ができる方式として2.4GHz帯のSS通信（スペクトラム拡散通信方式）とミリ波帯の電波を利用した通信方式があり、この二方式について検討した。表1に伝送方



写真1 坑道全景

式の主要仕様を示す。

3.3 伝送実験

2.4GHz帯のSS通信やミリ波帯の電波を利用した画像伝送装置は地上空間での実績は数多くあるがトンネルなどの閉塞された地下空間での使用実績はほとんどなかった。このため、小断面トンネルにおいて伝送可能距離や障害物の影響等について把握する目的で伝送特性把握実験を実施した。

この結果、二方式とも十分に要求伝送性能を満足したが、特にミリ波帯の電波はトンネル壁面での反射効果により

- a. 簡易なアンテナにより長距離の伝送距離を確保できる
- b. 伝送経路の障害物の影響を受けにくい
- c. アンテナの指向角の調整が不要

など地上空間以上に適用性があることがわかった。

3.4 伝送システムの評価

今回のシステムには、音声の双方向通信や動画像の伝送が可能なミリ波帯電波を利用した50GHz簡易無線を採用した。表2に総合評価結果を示す。

なお、2.4GHz帯SS通信による伝送方式は画像・音声同時送信の開発が進められており、簡易なトンネル内画像・音声伝送装置としての今後の進展に注目していきたい。

表1 伝送方式の主要仕様

項目	2.4GHzSS通信	50GHz簡易無線
電波型式	スペクトラム拡散方式	FM変調方式
周波数帯域	2.447～2.497GHz	50.44～51.40GHz
空中線電力	10mW/MHz	15mW
通信方式	半二重	映像：片方向、音声：双方向
伝送速度	256kb/s	6312kb/s
空中線種別	スリープアンテナ	コニカルホーンアンテナ
電源	AC100V (50w)	DC12V (約15w)

表2 伝送システム評価表

評価項目	要求条件	2.4GHz SS通信	50GHz簡易無線
伝送距離 (3.5 m)	300m以上	○ (550m)	◎ (700m)
伝送遅延時間	数秒以内	○ (1秒程度遅延)	◎ (リアルタイム)
障害物、指向性	影響を受けない	◎	○
画質	作業状況把握程度	△ (1秒毎の静止画)	◎ (動画、鮮明)
音声情報伝送	集音拡声機能	△ (別装置必要)	◎ (双方向通信可)
形状寸法	小型・軽量	○	△
操作性	簡便、保守不要	○	○
免許	簡易	◎ (届出不要)	○ (全国移動で申請)
価格	安価	△	△

4. 画像無線伝送システム

4.1 システム概要

本システムは打設箇所を設置された画像送信装置とコンクリートポンプに設置された画像受信装置により構成される。図1にこのシステムの概要を示す。

(1) 画像送信装置

画像送信装置は打設状況を撮影する小型 CCD カメラ、作業場所の音声を集音するマイク、ポンプオペレータからの音声を放送するスピーカ及び 50GHz のミリ波帯電波を送受信する伝送装置により構成される。この画像送信装置は打設箇所に追従する移動式インバート均し機に設置し、一日あたり 50m 程度で進行する全区間の監視が可能にした。(写真 2)

(2) 画像受信装置

画像受信装置はコンクリートポンプに設置し、打設箇所からの画像、音声情報の電波を受信し、液晶モニターテレビ及びスピーカーにより打設状況を視覚・音声情報としてポンプオペレータに伝える。また、音声通話は相互通信が可能でポンプオペレータから打設作業員への音声指示も可能である。(写真 3～5)

4.2 システムの特徴

(1) 優れた機動性

画像送信装置は小型軽量であり 배터리



写真 2 打設箇所送信装置

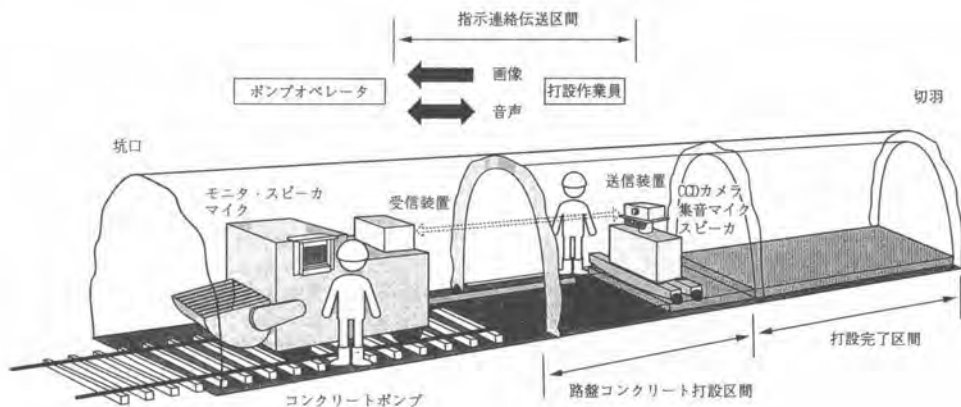


図1 システム概要

駆動のため、移設手間や電線の引回しなどが不要である。

(2) メンテナンス・調整が不要

一般に、ミリ波帯電波を使用した通信機器を移動する物体に設置する場合には電波方向の調整などが必要となるが、小断面トンネルでは壁面での電波の反射効果により電波方向の調整が不要である。また伝送区間内の各種建設資材や作業員などによる伝送障害が少ない。

(3) 優れた情報伝達機能

ポンプオペレータは常時作業状況を監視できるとともに作業場所の音声聞き取りにより臨場感ある情報が得られる。また、オペレータから作業員へ適切な指示ができる。

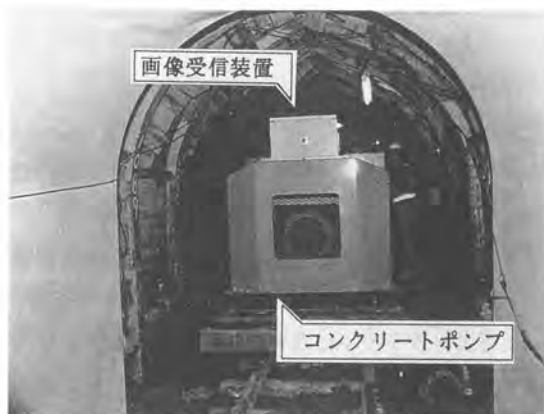


写真3 コンクリートポンプ搭載受信装置

5. まとめ

本システムの採用により打設時間が短縮し、また安全性が向上した。今後、総合的な通信システムとしてさらに発展させていく予定である。

最後に、画像伝送実験に多大な御協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表します。



写真4 コンクリートポンプ操作状況



写真5 液晶モニタ画像