

画像通信による坑内自動運搬台車の安全管理

Visual Monitoring For Automatic Conveyance System

(株)フジタ 和気 輝幸*
大井 隆資*
○藤本 直昭*

By Teruyuki Waki Takatugu Ohi Naoaki Fujimoto

シールド工事においては、自動化、省力化が急速に進められており、それに伴う安全管理の重要性も格段に増大してきている。

その一方で、各種センサを用い複雑化した安全装置が、確認ステップの増加、誤作動等から信頼性の低下を招く例も生じている。

本文では、シールド坑内の自動運搬台車に関して

- 1) 坑内自動走行時に台車周囲を常時監視することによる安全性の向上。
- 2) 自動走行緊急停止状態の迅速かつ確実な把握。
- 3) 状態復帰時の速やかな安全確認。

を目的とした坑内における画像通信モニタの実験結果と、今後の安全管理への適用性について述べる。

【キーワード】 自動化・ロボット化, 安全・衛生管理

1. はじめに

シールド工事は、建設工種の中でも、最も自動化・省力化の進んだ工種であり、現在も次々と新しい自動化技術が取り入れられている。

その範囲は、シールドマシンの方向制御（ジャッキ選択）からセグメントの自動組立、さらには切羽前方の障害物探査等、あらゆる分野に波及し、施工全般にわたって自動化の試みがなされている。

これらの自動化システムにおいては、当然のことながら安全が最優先され、安全確保のために各種センサ、確認ステップ、非常停止回路等、2重3重の安全装置が導入されている。

今回、シールド坑内のセグメントおよび掘削土砂の自動運搬台車について、画像通信を取り入れる事により安全を確保しながら自動化制御の効率化を図る試みを行った。

2. 坑内の自動搬送について

(1) 自動運搬台車

シールド坑内の自動運搬台車は、被制御体がかなりの速度で広範囲を移動する事に大きな特徴がある。自動運搬台車の制御方法実績を大分類して表-1に示す。

現状では、プログラム方式に光通信による定点通信方式を加えたシステム、または誘導無線による常時通信システムが主である。

図-1に、誘導無線による自動運搬台車の制御システムを示す。台車の制御は、地上に設営したシールドマシンの運転指令室内でマシンオペレータが一括管理するようにしている。(写真-1)

採用した安全装置を表-2に示す。

表-1 制御方法の比較

方 式	特 徴
1) プログラム制御方式	・ 走行パターンをプログラム化して自動走行台車に搭載し、制御させる。 ・ 位置、状態認識は、マーカ、エンコーダ、タイマ等により行う。 ・ 最も簡単なシステムで稼働させる事ができる。 ・ 発車位置および到着位置以外では、制御不可能。
2) 固定点通信方式 (微弱無線) (光電送)	・ 自動搬送経路の複数の地点において通信により制御信号を与える。 ・ マーカ等の他、各通信点において位置、状態認識や制御信号を送信できる。 ・ 光電送方式等の高速通信方法を用いれば走行状態のままで制御信号の送信と同時に台車の状態をモニタする事も可能である。 ・ あらかじめ設置された通信点以外では、制御不可能。
3) 移動体通信方式 (信号架線) (誘導無線) (簡易無線)	・ 自動搬送経路の全区間にわたって常時通信を行い制御する。 ・ 常時通信により、位置、状態認識および制御をリアルタイムに行える。 ・ システムとしては、最も高価である。 ・ 誘導無線による方法が一般的である。 ・ 簡易無線方式は画像データを電送できる。

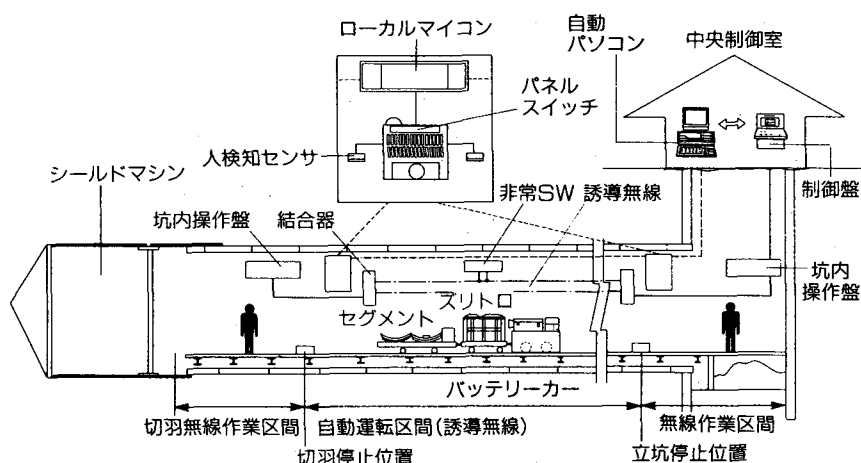


図-1 誘導無線による自動搬送システム図

表-2 安全裝置

項 目	内 容
1)速度制限	・ 指定速度(例: 6 km/hr)を超過した場合、発電制動ブレーキにより減速する。
2)入坑者管理	・ 坑口に設置したセンサとスイッチボックスにより入坑者を管理。 ・ 自動運転区間に入坑者が進入する場合には、自動運転を停止する。
3)非常停止スイッチ	・ 坑内100mごとに非常停止ボタンを設置。
4)前方障害物センサ	・ 前方6m以内に障害物を感知した場合、3 km/hrまで減速する。 (超音波センサ) ・ 前方3m以内に障害物を感知した場合、緊急停止する。 (光センサ)

（２）自動運搬台車の安全上の課題

採用した自動運搬台車の安全装置は、常に余裕を持って安全側で作動するような設定としたが、より確実な安全管理を目指す上で次の課題があった。

- a) セグメント搬送の場合、「押し込み搬送」となり、周囲の配管等に接触し荷崩れを起こす可能性がある。オペレータによる目視確認が必要である。
- b) 何らかの異常により自動運搬台車が停止した場合、停止場所まで人間が出向いて安全確認および再発進を行う必要があるが、その間の安全確保ができない。
- c) 走行に伴う台車の「揺れ」等により、前方障害物センサが誤作動を起こし易いためセンサの設定感度に制限が生じる。

３．画像通信システムの採用

今回、安全性を確保し、且つ自動運搬台車をスムーズに稼働させる方法として、画像通信により常時台車周辺をモニタする方法を試みた。

画像通信は、従来の自動運搬台車制御信号のみを通信する場合に比較して情報量が極端に多くなるため、それに対応できる通信手段として５０ＧＨｚ帯の簡易無線装置を採用した。

（１）簡易無線装置の特徴

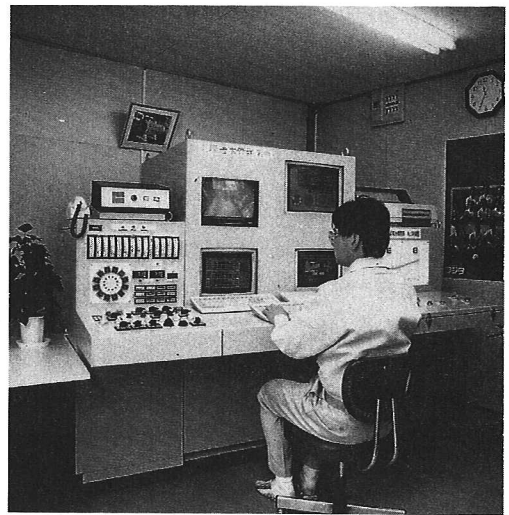
簡易無線装置の外観仕様を図－２、表－３に示す。採用にあたっての主な特長は、次の通りである。

- a) 画像を電送できる。
- b) 指向性電波による通信であため、送受信機を坑口および台車に設置すれば良く、誘導線等は不要である。
- c) 自動搬送台車の制御信号も同時に送受信できる性能を持つ。

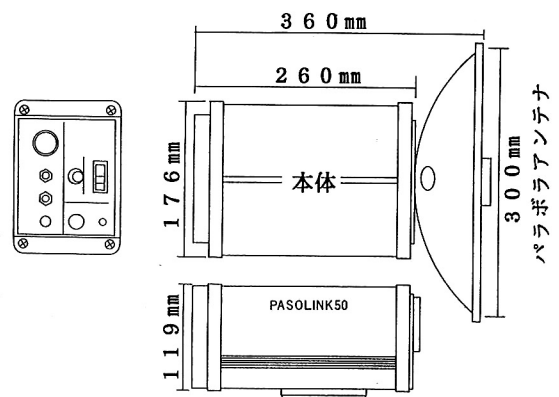
一方、坑内への適用に関して次の課題が存在した。

- a) 坑内のような閉鎖空間での通信実績が無い。
- b) 移動体での通信実績がほとんど無い。
- c) 基本的に、見通し空間において正対した状態で使用するものである。

そこで、上記の課題について、坑内での通信性能と通信により得られる画像の解像度、制御信号の現場実験を実施した。



写真－１ 運転指令室制御盤



図－２ 簡易無線送受信機外観図

表－３ 簡易無線機仕様

商品名	パソリンク５０
通信方式	映像：片方向（半２重） 音声：両方向（全２重）
電送信号	映像：１チャンネル 音声：２チャンネル
電送距離	０～１０km （通常３km以内）
消費電力	約１５w

4. 現場実験

図-3に現場実験の概要を示す。

実験は、次の事項の確認を目的に4カ所のシールド現場(内径1644mm～2894mm)で行った。

(1) 通信性能

簡易無線によるシールド坑内における移動体通信の性能確認を目的とし、受信電波の強度を計測した。

実験結果の一例を図-4に示す。通信性能について次の結果を得た。

a) 電送強度は、坑壁による乱反射と移動時の振動による影響で、場所により増減する。

最低レベルでは、理論値-30dB程度の電送強度であった。この場合、通信機1セットで画像通信可能な距離は、内径約2000mmで、

・スチールセグメントの場合 約500m

・コンクリート " の場合 約700m

であった。

b) 曲線部においては、電送強度の低下は見られるものの、見通し不可能な区間においても反射波により電送可能であった。

曲線形状は、100R以上であれば、ほぼ直線部と同様の電送強度を示す。

c) 自動搬送車への搭載は、内径1700mm程度の小断面でも可能であった。送信機を断面中央部以外に設置しても電送強度は大差なかった。

以上の点から、5.0GHz簡易無線による画像通信の現場適用は、急曲線部が多い場合を除き可能である。

送受信しながら坑内へ移動する。

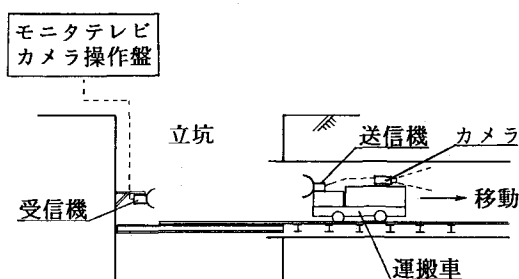


図-3 通信性能実験概要

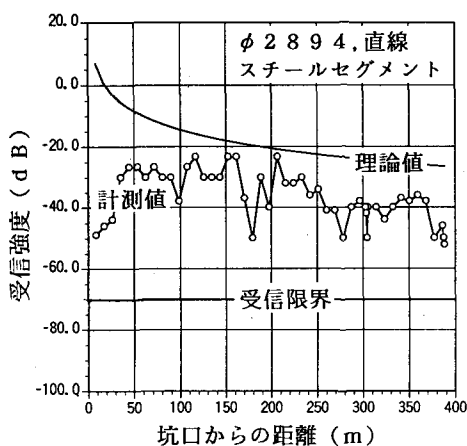


図-4 実験結果の一例

表-4 通信性能実験結果

コンクリートセグメントの場合

アンテナ	電送状態
送信側：無し 受信側：無し	全体的に、理論値+5～+10(dB)。局所的には-20(dB)を考慮する必要がある。 測定：φ2800(mm)で750(m)まで確認。 曲線：ゆるやかな曲線では直線同様に扱える。
送信側：無し 受信側：φ300	最初、理論値-5(dB)程度、後、理論値+5(dB)程度。局所的には-20(dB)を考慮する必要がある。 測定：φ2800(mm)で750(m)まで確認。 曲線：ゆるやかな曲線では直線同様に扱える。
送信側：φ300 受信側：無し	最初、理論値+5(dB)程度、後、理論値-5(dB)程度。局所的には-20(dB)を考慮する必要がある。 測定：φ2800(mm)で750(m)まで確認。 曲線：ゆるやかな曲線では直線同様に扱える。
送信側：φ300 受信側：φ300	全体的に、理論値-5～-10(dB)。局所的には-10(dB)程度を考慮する必要がある。 測定：φ2800(mm)で750(m)まで確認。 曲線：ゆるやかな曲線では直線同様に扱える。

スチールセグメントの場合

アンテナ	電送状態
送信側：無し 受信側：φ300	全体的に、計算値-5～-10(dB)。局所的には-20(dB)程度を考慮する必要がある。 測定：φ1644(mm)で420(m)まで確認。 φ2894(mm)で390(m)まで確認。 φ2700(mm)で450(m)まで確認。 曲線：ゆるやかな曲線では直線とはほぼ同様に扱えるが、距離が長くなると急激に低下する。
送信側：φ300 受信側：φ300	全体的に、計算値-10～-20(dB)。局所的には-10(dB)程度を考慮する必要がある。 測定：φ1644(mm)で420(m)まで確認。 φ2894(mm)で390(m)まで確認。 φ2700(mm)で450(m)まで確認。 曲線：受信機間の見通し不可能となると急激に低下する。現状では見通し空間以外の適用は不可能。

注) 理論値は、晴天、開放、見通し空間での実験式、
(パソリンク技術資料より)

(2) 画像の受信状態

画像通信によるモニタ画像の実用性を評価する目的で、画像の解像度とカメラのズーム変更等遠隔操作試験を実施した。

ここでは、次の現場について述べる。

実験概要は次の通りである。

セグメント：スチールセグメント

外径=1 8 0 0 mm , 内径=1 6 4 4 mm

幅 7 5 0 mm

掘進線形：縦断 ほぼ水平

平面 坑口より1 8 0 m直線

後、R=1 0 0 0 m

モニタ区間：坑口より約4 0 0 m区間

電送内容：画像電送およびカメラ制御信号

写真-2, 3 に運搬車への送信機搭載状況と立坑での受信機設置状況、写真-4 に通信により得られる画像の一例を示す。

実験結果は次の通りである。

- a) 走行中の画像は、坑内特有の「ノイズ」を含むが、搬送車前方の画像モニタは中断無く常時可能であった。
- b) 坑内照明(1 0 W蛍光灯, 5 mピッチ)のみで十分な解像度が得られ、台車周辺および前方3 0 m程度までのモニタが可能であった。
- c) カメラの操作信号は、データ電送であり、画像電送以上に確実な通信が要求されるが、走行中、停止時ともに確実に作動し、通信による遠隔操作が可能で旋回、ズームアップ等により前方、周辺の監視ができた。

5. 安全管理への適用性

坑内自動運搬システムに画像通信を併用した場合の安全管理への適用性は次の通りである。

- a) 自動搬送中のセグメント等、搭載物の荷崩れを走行中も常時監視できる。
- b) 安全装置の検知センサ(光センサ等)が誤作動した場合でも、画像により中央制御室から安全確認、遠隔操作再発進ができ、人間が近づく必要がない。
- c) 万一、安全装置が作動しない場合にも、中央制御室のオペレータにより非常停止可能である。

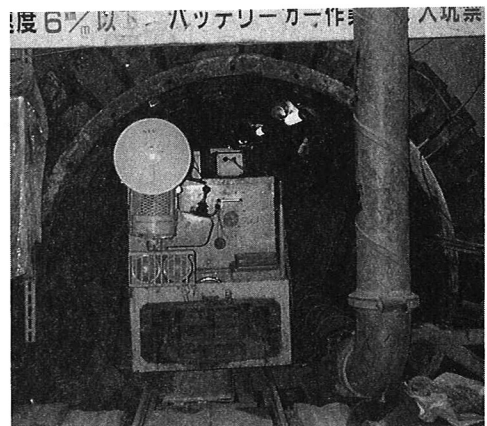


写真-2 送信機設置状況

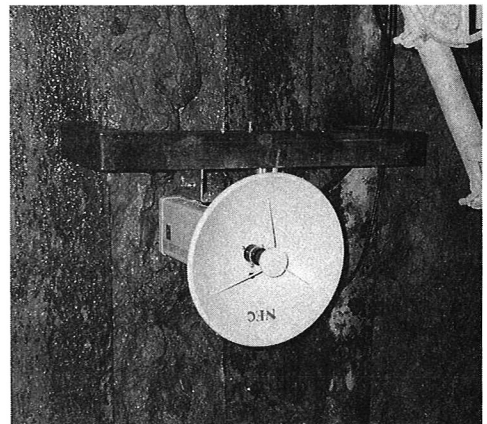


写真-3 受信機設置状況

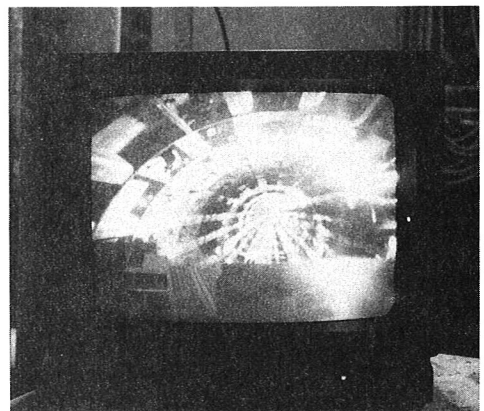


写真-4 モニタ画像の一例

以上から、安全管理に画像モニタを併用することは、安全管理に有効であると考ええる。

一方、今後の課題としては、次の点があげられる。

- a) 人間が行う安全確認のレベルに少しでも近づけるため、カメラの旋回機構等、より死角の少ない監視方法の開発。
- b) 通信機の対環境性、耐久性等の向上。
- c) 坑内通信により適した通信方法(アンテナの組合せ等)の開発。

6. おわりに

今回、安全管理に画像通信を採用し、シールド坑内で適用実験を実施した結果、画像モニタは自動化が進む中で安全に寄与できるものであると確信できた。また、小断面シールドにおいては、待避場所の確保が困難であり、画像モニタによる安全監視は不可欠と考える。

通信方法については、まだ検討すべき課題が残っているがこれらの課題を解決した「使いやすく・より安全な自動化システム」を目指して開発を継続中である。

【参考文献】

- 1) 「PASOLINK50 技術資料」, NEC