

マルチメディアを用いた山岳トンネル掘削工事の施工管理

Application of Multi-media Managing System in Tunnel Construction

清水建設(株) 河野 重行
清水建設(株) 深井 日出男
清水建設(株) ○小野 啓二
清水建設(株) 西川 一正

By Shigeyuki Kohno . Hideo Fukai . Keiji Ono . Kazumasa Nishikawa

通常、山岳トンネルにおける作業場所は現場事務所から遠くはなれたところに位置しており、現場の施工状況を把握し、施工管理することは難しいとされている。そのうえ、昨今の急激な地下開発の需要増に対し、構造物の大断面化、大深度化、長大化が進み、建設現場においては、厳しい施工管理が求められる。シールドトンネルでは現場事務所で集中管理できるシールド総合管理システムが有効に活用されている。施工管理するために必要な情報の伝送は伝送ケーブルを用いている。しかしながら、山岳トンネルにおいてこの伝送方法では発破の使用、重機の頻繁な移動などから伝送ケーブルの損傷が考えられ、このような施工管理システムの導入は困難とされていた。筆者らは、このような状況の山岳トンネルへ伝送ケーブルを使用せず、無線を利用しマルチメディア使い、リアルタイムに施工管理できるシステムを開発し、現在の山岳トンネル工事に導入し、その有効性を確認した。

【キーワード】マルチメディア、生産性、安全管理、情報管理、システム開発

1. はじめに

昨今の山岳トンネルでは、構造物の大断面化、大深度化、長大化、施工の急速化が進み、建設現場においては、厳しい施工管理が求められる。しかしながら、近年、熟練者の高齢化や若者の建設業離れなどに起因する労働力不足が深刻化しており、建設現場においては、従来以上の人員削減が予想され、現場施工管理の合理化が求められる。建設現場の施工状況のリアルタイムな集中管理は多くの作業が輻輳する工事では安全面においても作業性の向上においても、非常に重要なものとなってきており、特にシールド工事などは総合管理システム (I1) が導入され、有効に活用され、稼働している。

しかしながら、一方、山岳トンネルは人間の経験や勘に頼りながら作業する工事が多いため、作業の定量的な管理が難しいだけでなく、単一の掘削機械が主であるシールド工事と比べ、トンネル工種別に

各種機械が輻輳するトンネル坑内に施工管理のためのケーブルを布設することは実用的ではなく、その結果、山岳トンネルのリアルタイムな施工状況の集中監視は一般的ではなかった。

筆者らは、トンネル内における切羽などの状況に関する画像および音声情報、トンネル坑内の環境および換気状況などの数値情報、非常警報や坑内放送などの複数の情報を事務所においてリアルタイムに集中管理できるマルチメディアネットワークを開発し、現在、富山県にある山岳トンネル工事に適用しており、その概要を報告する。(【2, 3】)

2. システムの目標

システムの開発に先立ち、次の事項を目標とした。

- ①システムの取り扱い性を高めるうえでも、伝送ケーブルを使用しない無線化を検討する。

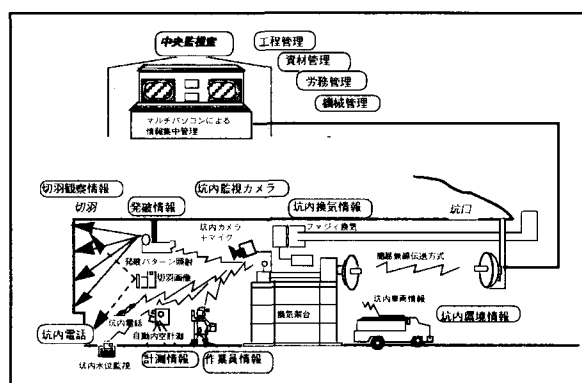
- ②同一の伝送媒体により、リアルタイムにトンネル坑内の画像、音、声、計測データなどで構成される複数の情報の伝達が可能であること。
- ③システムが坑内の電気設備、その他各種機械設備からの影響を受けず、操作可能であること。
- ④1対の伝送装置でトンネル坑内での各情報の伝送距離が1 km以上であること。
- ⑤このシステムは軽量でかつ移動が容易にできること。
- ⑥このシステムはトンネル工事の過酷な状況下においても、安定した性能を発揮するものであること。

表-1 伝送方式の比較検討表

この伝送媒体は映像情報1チャンネル、音声情報が双方向2チャンネルの伝送容量をもっている。今回は音声の1チャンネルに坑内の環境・換気情報データを音声モデムを介して数値データを伝送させ、他の1チャンネルではトーン信号で坑内のカメラ制御と坑内と中央監視室の会話に使用し情報の多重化を図り、少ないチャンネル数で効率的な運用を行っている。

本システムの概念図を図-1に示す。システムの

その伝送媒体は切羽と坑口間を簡易無線局 50Ghz、坑口と事務所の中央監視室を同軸ケーブル等の複合ケーブルで構成している。中央監視室では坑内環境・換気データ（ファジィ換気システム [4]）をはじめとする各種計測機器から測定した数値情報、坑内監視カメラでとらえた坑内状況のカラー画像情報、坑内作業の音声情報などを集中管理できる。特に中央監視室から坑内監視カメラの方向、ズームなどの遠隔作業ができ、坑内作業のリアルタイムな状況把握が容易となっている。



【図】-1 システム概念図

4. システムの適用

トンネル工事にて導入し、良好な結果を得ている。当工事は長大トンネルであり、切羽におけるリアルタイムな作業状況の把握の必要性より、本システムが導入された。

今回採用した無線装置は伝送距離が 10Km（屋外空中；仕様）と遠距離まで伝送可能であるが、ただし、それぞれの無線装置は指向性が要求される。

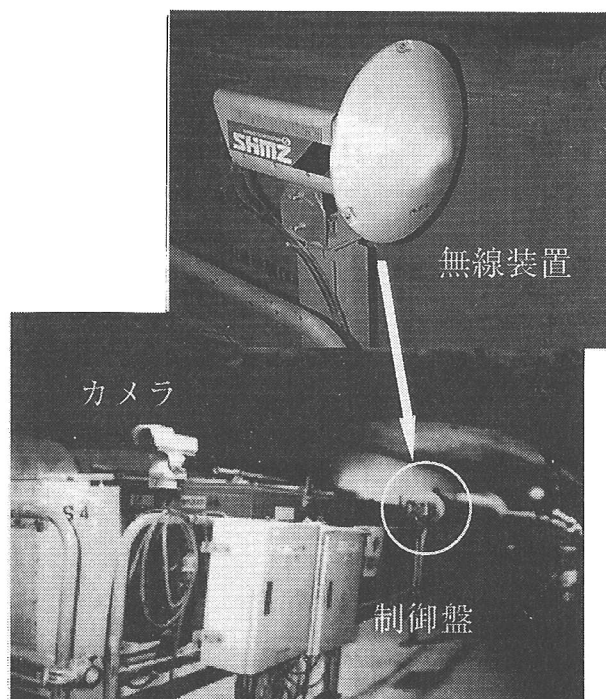
この現場に適用させるために我々は、トンネルの進行に合わせ、無線装置間の指向性の調整を容易にできるようにトンネル坑内の下方に無線装置の片方を設置し、その一方を坑口のトンネルの下方に設置させた。その結果として、坑内重機類や移動車輛の影響で伝送されてくる映像や数値データにゴースト現象やノイズ、エラーが発生した。

そこで坑内は切羽付近の移動台車（換気架台）上に設置し、坑口はトンネル天端付近に設置させ、受信レベルが最大となるよう調整した。その結果、必ずしも無線間の向きが正対しなくとも、また、無線間に 2～3 の重機類や移動車輛が存在しても、映像や数値データは明瞭に送受信できた。これは、この無線装置の特性である電波の直進性（指向性）がトンネル坑内を反射しながら、伝送させたものと考えられる。

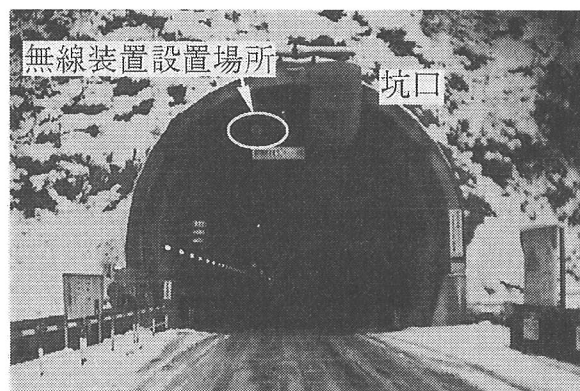
写真－１に坑内切羽付近の換気架台、写真－２に換気架台上に設置したカメラ装置、カメラをコントロールする、また、数値データを変調する制御盤、それらを伝送する無線装置を配置した無線装置関係機器、写真－３に坑口の無線装置の設置位置図を示す。



写真－１ 坑内換気架台



写真－２ 換気架台上無線関係機器



写真－３ 坑口付無線設置場所

次に、本システムの代表的な機能を中央監視室にて出力される具体的なイメージに基づき以下に説明する。

（１）坑内映像情報

写真－４は、中央監視室に設置されたマルチメディアパソコンとその画面であり、パソコン画面上には坑内の環境情報（数値データ表示）と作業状況の映像がリアルタイム（完全動画）に映し出されている。したがって、従来は数値データのみを坑内の管

理に活用していたがこのシステムを導入すれば数値データと作業状況の映像をリアルタイムに確認でき、坑内の状況把握がさらに高度化できる。この映像は最大フル画面で（14インチ）まで任意に拡大可能である。



写真－4 マルチメディアパソコンとその画面

当初は、マルチメディアパソコン1台で坑内の作業監視を予定していたが作業管理上、この映像が非常に有用であることがわかり、現在では20インチ専用モニターを増設し、映像分配器で分配させ、中央監視室では2ヶ所で坑内の映像が確認できる様にした。そうすることにより、坑内の作業状況は常に1台のモニターに映し出されており、マルチメディアパソコンで作業を行っているときでも、作業状況の確認が容易にできる。

また、監視カメラは後方100m～200mに位置する換気架台上に電動雲台とともに写真－1のように設置されており、写真－5に見られるカメラコントロ

ーラから旋回運動、上下運動、ズーム（10倍）、ピントなどの遠隔制御が可能である。旋回角度は350度、上下角度は-70～+20度と幅広い制御が可能のため、切羽をはじめ、覆工作业など坑内の殆どの作業状況が確認できる。



写真－5 監視モニタ+カメラコントローラ+マイク

さらには、マルチメディアパソコンに表示される映像情報はフリーズ・キャプチャー機能により、デジタル情報として取り込むことができ、坑内環境情報やワープロ機能によって任意の情報を付加して作業記録として保存が可能となる。保存された情報は、いつでも必要時にアウトプットが可能となり、ペーパーレス作業に役立つ。その他、このシステムにビデオ装置を組み合わせることで必要な映像を録画し、その後に編集し、提出書類の作成も可能である。

（2）坑内音声情報

坑内の施工監視に必要なものは作業場所のリアルタイムな映像と作業時に発生する音声情報として考えた。それとともに、坑内と中央監視室間で連絡通話できる連絡通信網も必要とされた。

これに対し、当初は音声を集音するために坑内にマイクロフォンを設置して、対応した。ところが、換気ファンなどの音を全部集音するため、中央監視室側では必要以上にうるさく、坑内からの交信についても周辺の音が騒音となり、中央監視室との良好な会話ができなかった。

この改善策として、ヘッドセット型の音声通話機器を採用した。そのヘッドセットの装着時の写真を写真－6に示す。



写真－6 ヘッドセット装着状況

そうすることにより、常時は坑内の作業音が中央監視室で確認できる。坑内と中央監視室での通話が必要なときはパトライトを中央監視室に設置しているカメラコントローラで遠隔操作させ、坑内と中央監視室間での通話が可能となる。

ヘッドセット型の通話機器を選択したのは坑内の作業音に通話が妨げられることをできるだけ防止するため、また、両手がフリーな状態での会話が可能なので映像を利用しながらの会話ができ、相手への意志の伝達が容易であることからである。したがって、重機類が稼働時にも特別大きな声でなくとも良好な会話ができる。その坑内と中央監視室との連絡交信状況を写真－7に示す。



写真－7 坑内と中央監視室の交信状況

(3) 坑内環境・換気情報

坑内の環境・換気情報は写真－1に見られるようにマルチメディアパソコン上に常時表示されている。このため、坑内映像情報と組み合わせて中央監視室内で坑内の作業環境が詳細に把握できる。この情報は5分間隔でコンピュータの補助記憶装置（ハードディスク）に蓄積され、随時検索ができるため、坑内環境日報を作成することができる。これらの坑内環境データとその他の数値データと集中管理することにより、サイクルタイムの自動評価や作業工程の自動化が可能になる。

当現場における使用状況は坑内を重機類が移動するときに映像情報が瞬時乱れることはあるが実用上、特に問題にはなっていない。また、電波受信レベルの減衰も比較的少なくデータ伝送のエラー発生率は殆ど見られず、伝搬状況は良好で実証実験程度の伝送距離は確保できると思われる。無線方式にすることにより、配線の盛り替え工事等が発生せず、保全性に優れており無線化の有用性が確認できた。

5. システムの効果

本システムの適用効果としては、個別では説明してきたが、システム全体としては以下の効果が実現できた。

坑内の作業状況がリアルタイムに把握できることにより、

①技術者個人の作業管理が容易になり、効率的な作業の向上がはかれる。

②坑内の作業工程の管理が迅速にでき、必要に応じて適切な作業指示が出せる。

③画像情報を盛り込んだ作業日報や坑内環境記録を自動作成でき、現場管理の効率化、省力化がはかれる。

④サイクルタイムを含む作業の定量的な管理が可能となる。

⑤緊急の場合には迅速な対応が可能となり、安全性の向上のつながる。

特に一般的には現場中央監視室と切羽の距離が長くなってきており、長大化が進むにつれてその傾向は増加する。中央監視室でリアルタイムに坑内作業

状況が把握できることにより、作業場所への移動作業が軽減される。また、常時坑内作業情報が集中管理できることにより、安全に対する心理的負担が大幅に軽減された。

6. おわりに

マルチメディアネットワークにおける映像、声、音、各種数値データの情報伝達・処理は世界的傾向であり、その要求は確実に高まってきている。筆者らはトンネル工事だけにとらわれず、ダム、土地開発といった他の建設分野でも応用し、建設業界における生産性の向上や労働力の確保にさらに貢献できるよう努力する次第である。

【参考文献】

- [1] 菊池雄一、後藤 徹、藤井 攻、「シールド総合管理システムの開発と適用」、社団法人 日本建設機械化協会、建設機械と施工法シンポジウム論文集、平成7年度
- [2] 深井日出男、河野重行、小野啓二、西川一正、上野文明、「山岳トンネルにおけるマルチメディアネットワークの開発」、土木学会第50回年次学術講演会、1995年9月
- [3] 深井日出男、河野重行、菊池雄一、西川一正、小野啓二、「山岳トンネルにおけるマルチメディアの適用報告」、土木学会第51回年次学術講演会、1996年9月
- [4] 河野重行、菊池雄一、「ファジィ換気システム」、第11回国際ロボットシンポジウム