

Ⅱ-27 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と適用

清水建設（株）：正会員 深井日出男、同 河野重行、上野高敏、○小野啓二

1. はじめに

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。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トンネル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おり、特にシールド工事などはそのために総合管理システム（【1】）が導入され、稼働し、良好な結果を得ている。しかしながら、一方、山岳トンネルでは人間の経験や勘に頼る部分が多いため、作業の定量的な管理が難しいだけでなく、掘削機械が主体であるシールド工事と比べ、トンネル工事工種別に各種機械が輻輳する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、トンネル坑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現場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おいて適用しており、その概要を報告する。（【2，3】）

2. システムの目標

このシステムの開発に先立ち、現場施工管理に必要な情報を抽出し、どのように伝送するか検討し、マルチメディアを利用したシステムとして機能するように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で検討する。
- 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送・受信が可能であること。
- 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1km以上であること。
- ⑤このシステム装置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。

これらの目標のために筆者らは数種類の無線装置を調査し、実際のトンネルの現場でシステムへの適用性を確認する実証実験をおこなった。そして、

表-1 伝送方式の比較検討表

このシステムの目標を満たす無線装置として、簡易無線局50Ghzを選択した。その比較検討表を表-1に示す。

この無線装置は映像情報を1チャンネル、音声情報を双方向で2チャンネルの伝送容量をもっている。映像情報については坑内の施工状況の映像を中央監視室にリアルタイムにを伝送してきており、音声情報については、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の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うように計画されている。

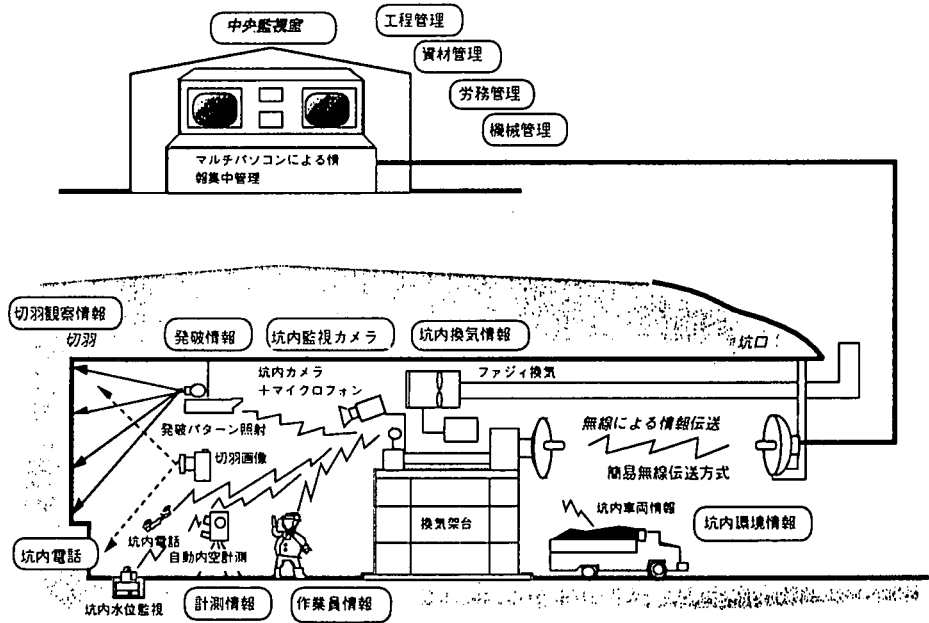
比較項目	簡易無線局	小電力データ通信システム
画像伝送	動画の伝送可能	静止画のみ可
音声伝送	2chの伝送可	不可（開発中）
データ伝送	可能	可能
伝送距離	空中で約10km トンネル内で2.4km	空中で約1km トンネル内で1.2km
指向性	指向性が強く電波の方向に注意	無指向性
障害物の影響	伝送路に金属体があると影響有	殆ど影響無し
免許	不要	不要

3. システムの概要

本システムの概略図を図－1に示す。システムの基本構成は無線伝送装置、坑内監視カメラとそのコントローラ、各種計測装置、坑内の作業時に発生する音や機械の稼働時に発生する音、坑内の作業員や職員の声を伝えるマイクロフォン、マルチメディアパソコン、プリンターとこのシステムを機能させるソフトウェアからなる。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の環境・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。

今回使用した無線伝送装置の伝送距離は屋外では約 10km



図－1 システム概略図

とされているが、開発したシステムでは各種データが確実にトンネル坑内を伝送されるようにするため、伝送距離を実用上、2～3km として計画されている。しかしながら、伝送距離はトンネルの線形、壁面の状況（平坦な覆工面か凹凸のある吹付け面か）、坑内の重機類や機械設備の数量等によって影響される。各種データの伝送距離が性能以上に大きくなり、データが正確に伝送されなくなった時には無線装置を増設し、中継用として設置する。

4. システムの適用

本システムは現在、富山県において施工中の山岳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、施工管理に重要性をおかれ、多種多様な切羽におけるリアルタイムな作業情報・状況の把握の必要性より、本システムが導入された。

今回のマルチメディアネットワークシステムで集中管理する情報は表－2に示すとおりである。本システムの代表的な機能を中央監視室にて集中管理される情報伝送の具体的なシステム構成図を図－2に示し、これに基づき、各種情報について以下に説明する。

表－2 適用現場における管理情報

情報	伝送情報	伝送方向
映像	坑内作業状況	トンネル坑内 ⇒ 中央監視室
音・声	坑内作業音	トンネル坑内 ⇒ 中央監視室
	坑内電話（非常警報）	中央監視室 ⇄ トンネル坑内
数値情報	坑内環境データ + 換気データ	トンネル坑内 ⇒ 中央監視室
遠隔操作	カメラ操作	中央監視室 ⇒ トンネル坑内

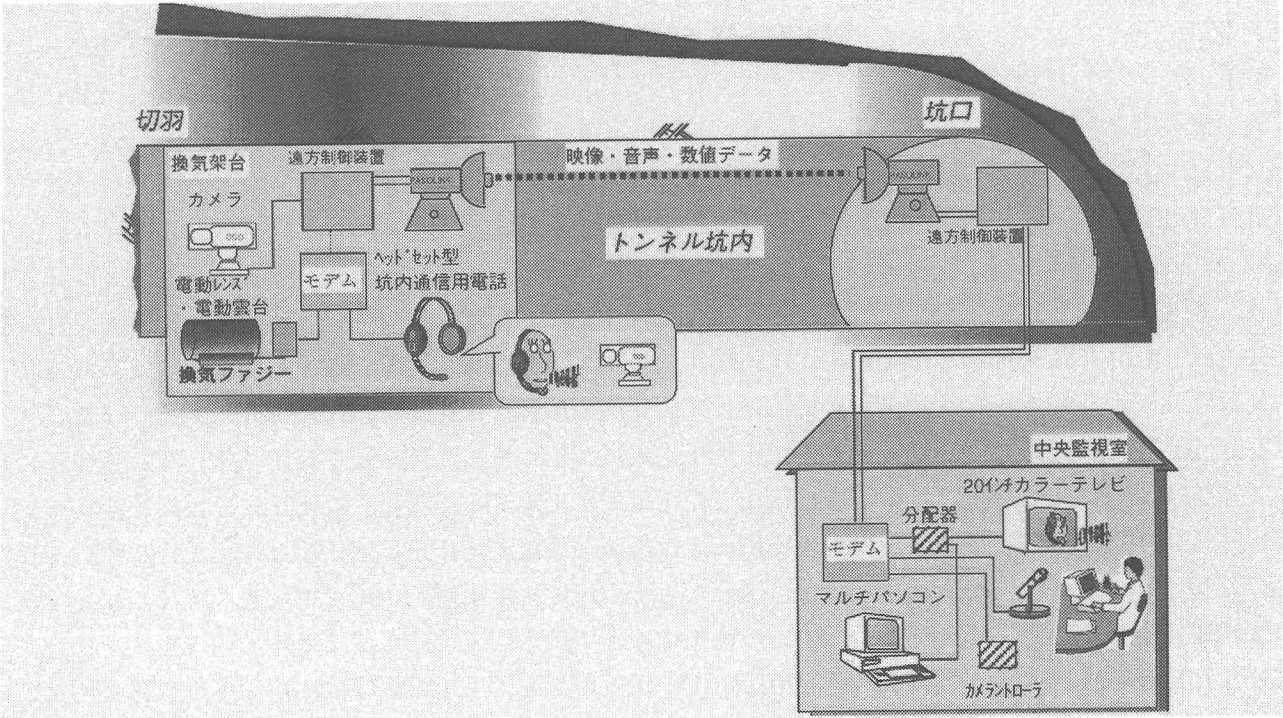


図-2 システム構成図

(1) 坑内映像情報

写真-1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）と作業状況情報として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情報として管理に活用していたが、数値データ情報と作業状況情報の映像をリアルタイムに相互管理ができ、坑内の状況把握がさらに高度化できる。当初は、マルチメディアパソコン1台で施工管理を予定していたが作業管理上、この坑内から伝送される映像情報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ヶ所でリアルタイムに坑内の映像が確認できる。

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設置されており、図-2に見られるカメラコントローラから



写真-1 マルチメディアパソコンとその環境表示画面

zoom (10倍)、ピントなどの遠隔制御が可能である。

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

坑内の施工管理に必要なものは作業場所のリアルタイムな映像とその作業時に発生する音声情報と考えた。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情報の伝達手段として管理上必要とされた。

そのために換気架台上にヘッドセット型の音声通話機器を設け、常時は坑内の作業音が中央監視室で確認でき、坑内と中央監視室での通話が必要ときは坑内を呼び出すことにより、通話が可能となる。

(3) 坑内環境・換気情報

坑内の環境は種々の坑内環境データをもとにファジィ換気システムで制御され、必要な情報は写真-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、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、環境・換気情報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、安全性の向上につながる。

一般的には長大化が進むにつれて現場事務所と作業場所の距離が離れてきている。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、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

マルチメディアを利用して映像、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。筆者らは山岳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貢献できるようにさらに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