

部 会 報 告

分科会活動報告

21世紀のトンネル工事におけるIT活用の提案

機械部会トンネル機械技術委員会IT分科会

はじめに

近年の社会生活においては、インターネット、携帯電話をはじめとした「IT」と呼ばれる情報関連技術や情報装置の進化が著しく、子供の頃の夢だった物がごく身近なものになってきている。

当然、私たちの生業である建設工事においても例外ではなくIT化の波は押し寄せてきている。社団法人日本建設機械化協会機械部会トンネル機械技術委員会IT分科会では、建設工事の一品生産という特異性から、全体として取組みが遅れていると思われるトンネル工事におけるIT活用について、その現況や情報装置の種類を把握し、さらに21世紀のトンネル工事のIT化への提案といった調査、検討活動を行った。ここにその結果を2章にまとめたものを報告する。

1. 工事を進めている立場の発注者、施工者やその本社、支店、作業所における自動化、装置化、及びIT化についての提案

(1) IT化の現況

(a) 生活の中でのIT化の現況

近年、コンピューターと通信ネットワークおよび計測・通信技術の飛躍的な進歩、高度化により、我々を取巻く環境は大きく変化している。

- ・コンビニで預金がおろせる
- ・インターネットを通じ、商品が買える
- ・パソコンあるいは携帯電話に音楽をダウンロードできる
- ・デジタルカメラで撮った写真を伝送できる
- ・CTIを利用し、タクシーを配車する

等はほんの一例で、我々の生活の中で“IT化”が急速に進展している。今後ますます進化する傾向である。

(b) 建設工事におけるIT化の現況

建設工事においては、建設は一品生産であり、屋外生産であると言った特異性があり、また、関係している企業数がきわめて多いことなどから全体としては取組みが遅れている。しかし、国土交通省などの工事発注機関、

*注：編集の都合で一部表などを割愛しました。

一部の建設会社を中心に、“施工の生産性、品質、安全性の向上”などの施工管理および情報の共有化などを目的として、情報化施工、社内インターネットとして着実に“IT化”が進展している。

(c) トンネル工事におけるIT化の現況

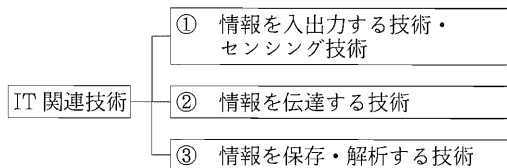
シールド、山岳トンネルなどのトンネル工事は、厳しい施工条件あるいは環境条件での施工が多い。したがって、施工を管理する上で、コンピューターとネットワークを活用した“情報収集・活用”と“情報の共有化”としての“IT化”が進められ、あるいは進められようとしている。

とりわけシールド工事は、掘削機械、計測技術等の機械化、自動化、システム化が図られ、“情報化施工”として施工時の情報を活用する技術の開発、導入が進められ、“施工の生産性、品質、安全性の向上”等にその効果が上げられていることは良く知られているところである。

一方、山岳トンネルは、掘削機械、計測技術等の機械化、自動化、システム化等への取組みが進展するに伴い、“情報収集・活用”と“情報の共有化”としての“IT化”もまた進められようとしている。

(d) 情報化施工、自動化施工を支えるIT関連技術の現状

情報化施工、自動化施工として数々のシステムが開発され、施工に活用されている。このシステムには情報を入力する技術・センシング技術、情報を伝達する技術、情報を保存・解析する技術、などの基盤となるIT関連技術が活用されている。



① 情報を入力する技術・センシング技術

施工の生産性、品質、安全性などの向上に対応するためには、“より早く”、“より正確な”施工情報が必要となる。そのため、電子レベル、電子スタッフ、自動追尾型トランシット、画像機器、GPSなどの種々のセンシング機器が開発、活用されている。今後、さらなる高度化

利用、さらには高精度、高速度でセンシングする機器、センサの開発、技術の確立が期待されている。

② 情報を伝達する技術

トンネル工事において、切羽から坑口、管理事務所、本支店、さらには発注者へとセンシングしたデータあるいは分析、解析結果が通信される。その通信は利用状況により大きく異なるとともに、通信内容も計測値、画像、音声など多岐にわたる。

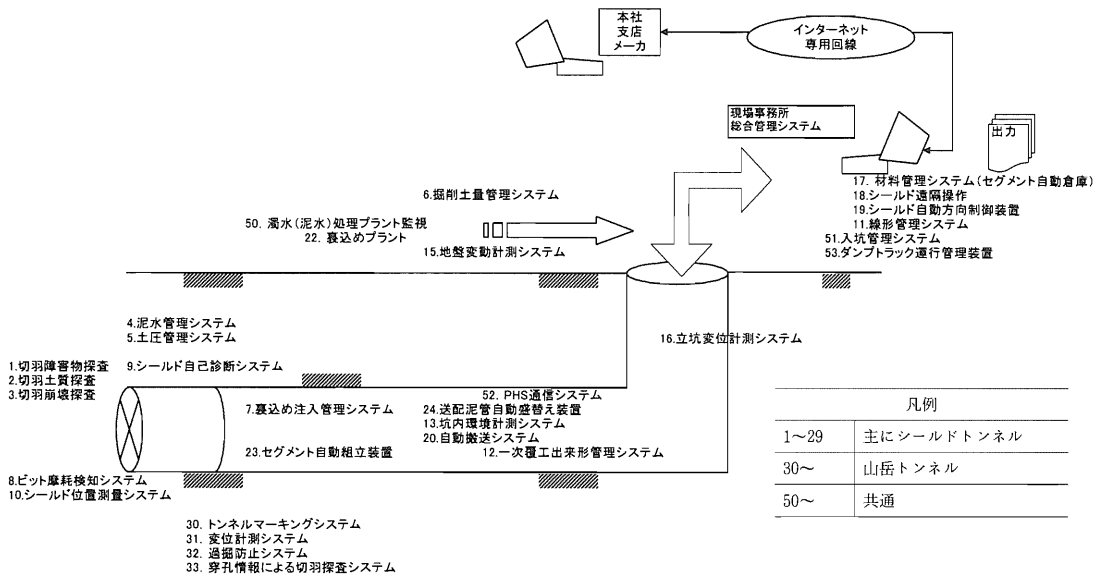
これらの通信手段として、LAN (Local Area Network), WAN (Wide Area Network), Internetなどのコンピューターネットワーク技術が飛躍的に進展し利用されているが、現場への適応性をさらに高めるた

め ISDN, PHS などを応用した広域データ通信技術、アナログとデジタルを混在させて伝送するマルチメディア通信技術、衛星通信ネットワークシステムなどの開発、高度化が期待されている。

③ 情報を保存・解析する技術

センシングやデータ通信によって得られた個々のデータは整理、分析され、分かりやすい形に加工されて初めて活用できる情報となる。そのため、データの解析、画像処理、三次元可視化などの解析技術の高度化が期待されている。

トンネル工事における IT 化システムの現状を図一1、山岳トンネル工事の項目別自動化技術、関連設備（開発



凡例	
1~29	主にシールドトンネル
30~	山岳トンネル
50~	共通

目的					
生産性の向上	品質の確保・向上	安全性の向上	作業環境の向上	自然環境への配慮	事務処理の向上
1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 18, 19, 20, 23, 24, 32, 33, 52	10, 11, 12, 15, 16, 19, 22, 30, 31, 32	13, 15, 16, 20, 23, 24, 31, 51, 52	8, 13, 18, 52	15, 50, 53	6, 17, 53

キーワード	現状の基本機能
監視	<ul style="list-style-type: none"> 各要素とネットワークで結ばれた集中操作盤の FA コンピュータ画面に動作状況が表示される。 グラフィック画面により、全体の施工状況を監視できる。 専用回線やインターネットにより遠隔地でも同様の監視が可能。 計測値。 認識。 在庫。
自動運転制御	<ul style="list-style-type: none"> FA コンピュータにより自動制御され、状況判断、トラブル診断および警報の出力を行う。 無人運転。
データの蓄積・解析	<ul style="list-style-type: none"> 各要素の動作状況は、統計的解析をされ掘進管理等にフィードバックされる。 在庫。

図一1 IT化システムの現状

済み)調査結果を表一1、シールドトンネル工事の項目別自動化技術、関連設備(開発済み)調査結果を表一2に示すが、今後、建設 CALS などの展開に伴い、さらに“IT化”への開発、取組みが本格化するものと思われる。

(2) 21世紀のトンネル工事におけるIT化への提案 (図一2参照)

(a) IT環境

建設 CALS が実用化され、現場事務所は本・支店、発注者、各公共機関および民間会社などとインターネットで結ばれている。インターネットの利用拡大により、地理情報システムなどの普及に弾みがつき各機関のデータベース化が促進され、現場ではこれらの共有データベースの利用により様々な情報を得ることができる。

(b) 施工管理

シールド掘進の例では、自動掘進、自動セグメント組立、自動資材搬送が基本システムになっており、坑内は点検・修理作業以外は無人で、地上の中央管理室において各測定値、映像で施工状況を監視している。また、資機材、残土の搬入搬出および車両運行管理も確立されており、これらも中央管理室で監視している。

表一1 山岳トンネル工事の項目別自動化技術、関連設備 (開発済み)

番号	キーワード	対象・目的	具体的技術名の例
1	遠隔・監視	変位計測	内空変位計測システム (インバー線) 内空変位計測システム (レーザ測距) 変状計測システム 3次元自動計測システム 精密写真計測システム
		環境	坑内環境観測システム 粉塵濃度による換気風量制御システム
		観察	切羽観察/マザー 21 切羽情報管理システム 切羽画像処理システム
2	掘削情報	切羽探査	TBMによる掘削情報システム TBM電磁レーダ探査システム ドリルジャンボ穿孔情報システム
3	自動化・省力化	出来形	三次元マーキングシステム NARAI掘削システム 巻厚・吹付け厚計測管理システム
		掘削	断面計測システム 自動掘進システム搭載自由断面掘削機
		改築補修工事	覆工表面剥離検知システム 改築補修工事タイル剥離診断システム
		装薬	爆薬遠隔装填システム
		割岩	硬岩の静的破碎システム
		その他	多機能型トンネルワークステーション
4	その他	共通	入坑管理システム 湧水管理システム PHS通信システム 産業廃棄物、残土管理

※ただし、技術名は、一例であり、発表されたすべてを網羅していない。

表一2 シールドトンネル工事の項目別自動化技術、関連設備 (開発済み)

番号	キーワード	具体的項目	備考	技術名
1	自動化	①切羽の安定制御		
		②シールド自動測量	光学式、ジャイロ式	シールド自動測量システム セグメント位置計測システム 曲線自動シールド自動測量システム シールド・サーベイ・ロボット・システム ASSC 遠隔自動測量システム SDACS
		③シールド自動方向制御、自動掘進	ニューロファジィ推論、人工知能	ニューロファジィジャッキングシステム シールドトンネル掘削機の姿勢制御システム コクド ANASYS 泥土圧シールド自動掘進管理システム
		④同時裏込め注入		
		⑤テールシールド自動給油		
		⑥掘削土の自動搬出(土砂圧送を含む)		
		⑦自己診断		
		⑧セグメント自動搬送	(搬送台車→エレクタ)	セグメント立坑自動搬送システム 真空パッド利用のセグメント搬送・供給システム
		⑨坑内自動搬送、立坑自動搬送		タイヤ式搬送システム 急勾配資機材搬送システム SURFING 坑内自動搬送システム セグメント自動ストックシステム & 坑内セグメント自動搬送システム
		⑩セグメント(半)自動組立		セグメント自動組立ロボット
2	省力化	⑪管自動接合		フルオートパイプレイヤ
		⑫泥水プラント及び送・排泥(全自動)		
		⑬送・排泥管の自動配管装置		
		⑭泥水性状自動測定		
3	遠隔化・無線化	①無軌道式坑内自動搬送		無軌道式坑内自動搬送システム
		②土砂圧送、掘削土の搬出法		U型トンネルコンベヤ工法(UTC工法)
		③垂直コンベヤ		
		④坑内バキュームポンプ		
		①測量・方向制御、テールクリアランス計測、シールド掘進・セグメント組立て、流体輸送、泥水処理設備、裏込め注入、自動搬送の統合管理		シールド工事施工支援システム(ASTOS) 新 KSCS シールドマスター 21 K-EASIS シールド掘進自動化ロボマスター TII シールド工事・総合自動化システム シールド自動測量ロボット シールド総合施工管理システム(SERV) シールド工法統合管理システム(MATOSS)

表-2

番号	キーワード	具体的項目	備考	技術名
4	機械化・装置化	①ボルト増締め装置		分岐シールド工法
		②軌条施設装置		
		③真円(形状)保持装置		
		④シールドの分岐		
5	情報化	①泥水設備管理		
		②坑内・坑外の通信、警報装置		
		③近接施工する重要構造物への影響計測管理		
6	計測・探知	①地盤変状計測	・配線切断方式 ・油圧配管切断方式 ・超音波検知方式	シールド工法の前方探査システム シールド切羽前方探査(FRASH) 赤外線ガス監視システム メタン検知装置 シールド音響診断システム
		②立坑変位計測		
		③カットビットの摩耗検知		
		④切羽障害物探査		
		①切羽前方の土質探査		
		⑥切羽の崩壊探査		
		⑦可燃性ガス(メタン等)検知装置		
		⑧シールド音響診断		
7	管理・監視	①土圧管理	イメージアップで実施するが多い。	
		②泥水管理		
		③入坑者管理		
8	環境保全・改善	①騒音、振動対策 振動ふるいの低周波防止装置 (防振ダンパ、インバータ)	(機種の問題) 設計：軸流送風機 施工：コントラファン等 (送気管) 積算：損料 施工：買収	
		②地盤沈下防止		
		③水質汚濁防止		
		④地下水水位低下防止		
		⑤換気設備 酸素欠乏防止		
		⑥濁水処理設備		
		⑦人車		
9	防災設備・システム	①消火設備		
		②シールド防爆仕様		

《参考文献》

- 1) シールドトンネルの新技術, 土木工学社, 平成7年
- 2) (社)日本建設機械化協会 トンネル機械技術委員会編: シールド機械設備の要求機能・性能の展開についてアンケート報告書(1. 情報化・装置化施工について)
- 3) (社)日本トンネル技術協会: トンネル工事の安全—建設機械編一, 平成6年2月
- 4) (社)日本電力建設業協会: シールドトンネル工事の現況と施工事例, 平成7, 8事業年度 技術部会報告書
- 5) 先端建設技術センター編: 新建設技術情報ガイド
- 6) 日経コンストラクション, 平成7~9年

掘進路線は、地図情報、地質データ、埋設物データ、都市計画情報などから計画されており、現在の掘進機と近接構造物との位置関係なども瞬時に確認できる。

(c) 機械管理

建設機械のIT化が進み稼働時間、運転状況などのデータを適時入手することで効率的な保守管理が可能となり、コスト削減に繋がっている。建設機械メーカーは、ユーザのデータを共有することにより、保守点検などの的確なアドバイスによる故障率の低下ならびに自社での故障診断により修理時間を短縮できる。

保有機械も同様にIT化され、機械管理センターにおいて多数の機械の所在、稼働状況を把握しており、現場からのニーズに応じた的確な配備が出来る。

(d) 個人情報管理

現場での作業従事者は、ICカードにより常に位置観測されており、危険箇所への立入りなどのチェックができる。また、新規入場者の健康状態、作業経歴、保有資格などの個人情報は、事前にインターネットにより施工協力会社から送られる。

(e) 出来高管理、施工状況管理

発注者には建設CALSで出来高、施工状況を報告する。

支店あるいは事務管理センターでは、出来高、施工状況を入手することで現場状況を把握でき、出来高データにより協力会社への支払い業務などが円滑に進められる。さらに、現場職員の勤務状況データ等により人事管理ができる。

(3) 情報検索システム・データベースへの提案

21世紀のトンネル工事のIT化として、役に立つ「情報検索システム・データベース」を提案する。

(a) 工事实績情報関連

- ①工事实績文献検索システム
- ②工法パンフレット情報システム

(b) 建設機械・機器関連

- ①建設機械・機器パンフレット情報システム
- ②建設機械・機器CAD図情報システム
- ③建設機械の環境負荷情報システム

(c) 地下情報関連

- ①地質データ情報システム
- ②地下埋設物情報システム
- ③地下構造物情報システム

(d) 自然環境関連

- ①気象情報システム
- ②発生土の再利用情報管理システム

(e) 調達関連

- ①建設資材販売・リース情報管理システム
- ②建設機械・機器販売・リース情報管理システム

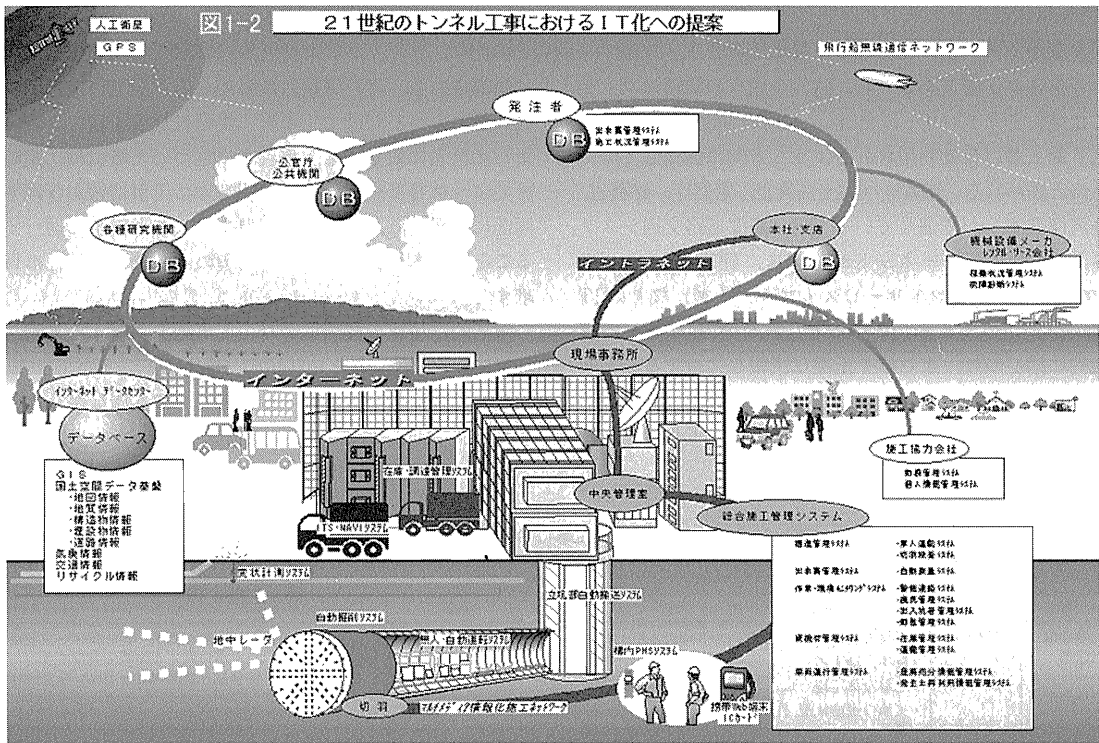


図-2 21世紀のトンネル工事におけるIT化への提案

- ③環境関連機器販売・リース情報管理システム
- ④専門工事会社検索システム

2. 工事により影響を受ける立場の人達へのIT活用の取組み

(1) 第三者から見たトンネル工事へのIT活用

(a) 第三者が欲しい情報とその解説

建設工事における情報化施工は、施工現場で発生する情報を活用し、施工の安全性、生産性、施工品質の向上を目的とした、主として施工者のための情報技術として技術開発、導入が進められてきた。

情報技術の更なる発達及び有効活用により、建設工事のより一層の生産性、施工品質の向上が期待されるほか、これらの技術は、施工者サイドのみに留まらず、工事の影響を被る側へのサービスの向上にも資するものと期待される。

直接的に工事の影響を被るであろう第三者を近隣地域居住者、作業員の家族、通行車輛、行人人及び資機材納入業者とに分類し、第三者の視点からそれらの人々が必要とする情報を整理した。

(b) 第三者へ発信している情報の現況

前項(a)で取上げた第三者が欲しいと思っている情報は、現状ではどのように開示され、伝達されているのか、

現状を把握するために、情報の種類、IT化の段階および情報伝達の手段、方法という点について整理した。

その状況をまとめると、工事において第三者へ発信している情報のIT化のレベルは、一部の現場でインターネット上にホームページを開設したり、電光式文字情報表示盤を採用したりという段階でIT利用による情報発信は、これからと見受けられるが、押し寄せるIT化の進歩に伴い、情報の展開という点での取組みが進み、今後、広く現場に普及浸透していくものと思われる。

いつでも、どこでも、誰もが容易く、気軽に欲しい情報に接することができるITを使った情報共有化の手段、ツールは、大きなIT化の流れに後押しされながら、確実に導入が進むものと思われる。

(c) 21世紀のトンネル工事におけるIT活用の事例、提案

ITと呼ばれる情報技術の進歩は、凄まじいスピードで発展しており、映像や音声などの大量の情報をやりとりする「ブロードバンド時代」に入りつつある。また、今までの、新聞、テレビ、ラジオなどに代表される「大衆への一方的な伝達手段(マスコミュケーション)の時代」から、個人が、必要な情報を、必要な時に、いつでも、入手できるような「オンデマンドの情報アクセス時代」に移行しつつある。

今後は、i-モード、Pocket PC、PDAなどのような

「携帯情報端末システム」が更に進化し、情報通信の手段が益々、モバイル化されるものと思われる。

トンネル工事に関しても、時代と個人の要請にマッチした情報をタイムリーに発信し、工事関係者だけでなく、広く第三者に有効利用されるような方向に展開してゆくものと思われる。四省庁（国土交通省、警察庁、総務省、経済産業省）が推進している ITS（高度道路交通システム）、またインターネットサービス、建設業向け ASP（アプリケーション・サービス・プロバイダ）などの IT 環境が整いつつある。さらにそれらを Web サイトで有機的に結びつけ、より早く正確な情報を共有することも試みられようとしている。

例えば、活線によるトンネル拡幅工事施工や立体交差

施工において、工事情報が走行車輛のカーナビゲーションに流れ、セットされた行先きに応じて自動的に迂回路に誘導される。走行車輛台数に応じて、交通信号が制御され最小の待ち時間で工事施工場所付近を通過できる。また歩行者に対しても工事現場に近づいた時には、腕時計のように身につけた携帯情報端末に工事情報が音声や画面に表示され、目や耳の不自由な人でも安全に通行することができ、工事施工場所周辺のバリアフリー化に貢献する。

積極的な情報の展開により、工事施工に対する不安、環境に対する不安などの払拭の一助とすることができる。また、工事に携わる家族の様子をいつでも居ながらにして確認することができる。

表—3 21 世紀のトンネル工事における IT 活用の事例、提案

第三者が必要としている情報			IT ツール・手段・方法	活用の事例、提案
分類1	分類2	項目		
近隣地域 居住者	施工情報	<ul style="list-style-type: none"> ・工事の目的 ・施主、施工者 ・工事全体工程 ・工事の進捗状況、作業日・休業日 ・工事の施工方法・施工状況 ・事故、トラブルの発生状況 	<ul style="list-style-type: none"> ・インターネット ・Webカメラ ・i-モード ・PDA(携帯端末情報機) ・LED等を利用した電子掲示板 ・ケーブルテレビ 	<ul style="list-style-type: none"> ・インターネットのWebサイト開設により、ホームページ上に適時、必要な情報を入力し、工事に関する情報を発信する。 ・ホームページにより、パソコン・携帯電話・PDA等で情報が入手できる。 ・電子掲示板に現場入力の情報を表示し、リアルタイムな情報を発信する。
	安全・環境 情報	<ul style="list-style-type: none"> ・安全対策 ・設計図書、観測記録 ・井戸枯渇、地盤沈下等に対する安全性 ・環境情報（粉塵、ガス、酸素濃度、大気汚染、排水） ・農作物、家畜他への影響 ・騒音、振動情報 ・災害（緊急避難）情報 ・落石、その他危険箇所情報 ・防犯対策 	<ul style="list-style-type: none"> ・インターネット ・Webカメラ ・i-モード ・PDA(携帯端末情報機) ・LED等を利用した電子掲示板 ・ITS（高度道路交通システム） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブルテレビにより画像、音声情報提供サービスを行う。 ・場内に設置したカメラにより必要な映像をいつでも動画として配信する。 ・ITS(高度道路交通システム)の情報を活用。 ・インターネット上の道路交通情報の活用。 <p>速報路上工事情報 (国土交通省、関東地方整備局、東京国道工事事務所) 道路交通情報 (東京都建設局)</p>
	近隣・地域 情報	<ul style="list-style-type: none"> ・イベント(現場見学会、催し物)情報 ・現場のセールスポイント、特徴、機械化等 ・質問、問合せコーナー ・住民へのイメージアップ努力(景観、緑化) 	<ul style="list-style-type: none"> ・インターネット ・i-モード ・LED等を利用した電子掲示板 	
作業員の 家族	施工情報	<ul style="list-style-type: none"> ・工事進捗状況、作業日、休業日 ・工事の施工方法、施工状況 ・事故、トラブルの発生状況 	<ul style="list-style-type: none"> ・インターネット ・Webカメラ ・i-モード ・PDA(携帯端末情報機) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホームページにより、パソコン、携帯電話、PDA等で工事情報が入手できる。 ・場内に設置したカメラにより必要な映像をいつでも動画として配信する。
	安全・環境 情報	<ul style="list-style-type: none"> ・安全対策 ・作業、労働環境 		
通行車輛 ・通行人	道路・交通 情報	<ul style="list-style-type: none"> ・通行車両台数の増加予測 ・交通渋滞情報 ・道路占有、通行止め、迂回路情報 ・道路の汚損状況 	<ul style="list-style-type: none"> ・インターネット ・カーナビゲーション・VICS ・PDA(携帯端末情報機) ・ITS（高度道路交通システム） ・歩行者ITS ・LED等を利用した電子掲示板 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホームページにより、パソコン、携帯電話、PDA等で情報が入手できる。 ・インターネット上の道路交通情報やITS(高度道路交通システム)などの情報を有機的に結びつけ活用出来るようにする。 ・通行車輛も通行人もスムーズに迂回路に誘導される。 ・片側通行の信号待ちは、最小時間で済むようになる。 ・ITSやWeb情報、VICSカーナビゲーションの有機的な結合による信号制御や円滑な車輛の流れで活線でのトンネル拡幅工事や交差点立体交差現場付近の通過がスムーズになる。 ・電子掲示板により、リアルタイムな情報の発信をする。
資機材搬入 業者	施工情報	<ul style="list-style-type: none"> ・資材搬入日時 ・運搬車両の待機場所 ・資材運搬車の搬入経路、及び荷降ろし場所 	<ul style="list-style-type: none"> ・インターネット ・カーナビゲーション ・i-モード ・LED等を利用した電子掲示板 ・ITS（高度道路交通システム） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホームページにより、パソコン、携帯電話、PDA等で情報が入手できる。 ・電子掲示板に現場入力の情報を表示し、リアルタイムな情報を発信する。 ・ITS(高度道路交通システム)の情報を活用して駐車や待機場所が確保される。 ・Webサイト情報がカーナビゲーションに結びついて誘導される。



図-3 ITを活用したトンネル工事と第三者へのサービス

これらのことを考慮しながら、表-3に21世紀のトンネル工事におけるIT活用の事例、提案を示す。

(2) ITを活用したトンネル工事と第三者へのサービス提案イメージ

表-3にもとづくイメージを図-3に示す。

おわりに

当分科会では、インターネット、モバイル通信、データベース、情報検索といったIT革命が現実化されようとしている今日、こうしたIT化に建設工事、特にトンネル工事が「どのように対応しているか?」、また「どのような姿を目指していくのか?」について考えてみることを目的に活動した。

トンネル工事のIT化の目指す先は、以下に凝縮されると思われる。

トンネル工事のIT化の目指すところは、

①工事関係者(発注者, 施工者)にとって

- ・施工コストが縮減すること。
- ・施工が効率化すること。
- ・施工が迅速化すること。
- ・安全性が向上すること。

②第三者にとって

- ・ニーズに応じた情報を誰もが、いつでも、何処にいても、色々な手段で、スムーズに入手できるということ。

近未来には、ITを活用して思い切った発想の転換が具体化され、これまでには想像すらできなかった新しい装置やシステムが開発され、工事関係者も、第三者も、誰もが、いつでも、どこでも、それらのシステムや装置をあたかも身体の一部の如く使いこなして情報を入手、取捨選択して工事を安く、早く、安全に進めたり、工事を監視したり、工事の影響を最小限に留めるようにすることができるものと期待される。